



国际辐射单位与测量委员会
国际放射防护委员会

用于外照射辐射的实用量

OPERATIONAL QUANTITIES FOR EXTERNAL RADIATION EXPOSURE

国际辐射单位与测量委员会 / 编著

邓君 孙亮 等 / 译

孙全富 卓维海 / 审校



中国原子能出版社

ICRU Report 95

国际辐射单位与测量委员会第 95 号报告



用于外照射辐射的实用量

OPERATIONAL QUANTITIES FOR EXTERNAL RADIATION EXPOSURE

编 著 国际辐射单位与测量委员会
译 者 邓 君 孙 亮 李梦雪
朱卫国 苏垠平 邓 磊
审 校 孙全富 卓维海



中国原子能出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

用于外照射辐射的实用量 / 国际辐射单位与测量委员会编著; 邓君等译. -- 北京: 中国原子能出版社, 2024. 12. -- ISBN 978-7-5221-3952-4

I. R144.1

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 20240ZU554 号

用于外照射辐射的实用量

出版发行 中国原子能出版社 (北京市海淀区阜成路 43 号 100048)

特邀编辑 汤晓浩

责任编辑 张书玉 张问博

装帧设计 北京华联印刷有限公司

责任校对 刘 铭

责任印制 赵 明

印 刷 北京厚诚则铭印刷科技有限公司

经 销 全国新华书店

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 14.25

字 数 194 千字

版 次 2024 年 12 月第 1 版 2024 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5221-3952-4 定 价 80.00 元

发行电话: 010-88828678

版权所有 侵权必究

声 明

1. 该报告的完整归属：“ICRU 第 95 号报告《用于外照射辐射的实用量》”；*Journal of the ICRU* (20:1)，版权所有 国际辐射单位与测量委员会，经 SAGE 出版公司许可出版。
2. 免责声明：作者和出版社在此明确表示，尽管已尽一切努力确保本出版物的内容真实正确，但在适用法律允许的最大范围内，不承担因本报告刊载的内容而产生的任何及所有责任，包括但不限于原文或译文中的任何错误、遗漏、不准确或由此产生的任何后果。本条款中的任何规定不得排除法律规定不得排除的责任。

Statements

1. Full attribution to the Issue: “ICRU REPORT 95: Operational Quantities for External Radiation Exposure”; *Journal of the ICRU* (20:1), copyright International Commission on Radiation Units & Measurements, published by permission of SAGE Publications, Inc.
2. Disclaimer: “While every effort has been made to ensure that the contents of this publication are factually correct, neither the authors nor the publisher accepts, and they hereby expressly exclude to the fullest extent permissible under applicable law, any and all liability arising from the contents published in this Issue, including, without limitation, from any errors, omissions, inaccuracies in original or following translation, or for any consequences arising therefrom. Nothing in this notice shall exclude liability which may not be excluded by law.”

中文版序

尊敬的读者，

我非常高兴为这部专业技术译著撰写序言。

众所周知，电离辐射是一把双刃剑，其在造福人类的同时，也可能带来危害。电离辐射导致的危害包括人类健康和环境影响，其危害程度取决于剂量的大小。放射防护工作中，既要防止有害组织反应（确定性效应）的发生，同时也要限制癌症和遗传效应（统称为随机性效应）的发生概率。人体受到电离辐射的照射程度和健康影响的大小需通过防护量进行量化，但是防护量无法通过仪器设备直接测量，只能通过在一一定的辐射场和照射条件下经过刻度和校准的仪器测量所得到的实用量进行换算后得到。

在放射防护领域，防护量和实用量是两组十分重要的量值。防护量由国际放射防护委员会（ICRP）提出，包括器官吸收剂量 D_T 、器官当量剂量 H_T 和有效剂量 E ，用于设定剂量限值和实现实践中的防护最优化原则。由于防护量无法直接测量获得，国际辐射单位与测量委员会（ICRU）提出了可测量的实用量，用于估计防护量。1971 年，ICRU 建议将吸收剂量指数和剂量当量指数作为外照射的实用量。1985 年以来，ICRU 对实用量进行了更新，现行的实用量包括周围剂量当量 $H^*(d)$ 、定向剂量当量 $H'(d, \Omega)$ 和个人剂量当量 $H_p(d)$ 等。需要指出的是，这些实用量定义于二十世纪八九十年代，适用的粒子类型和能量范围有限，如仅适用于估计有限能量范围内的光子、电子和中子等的防护量。

近年来，随着现代工业、医学和科学技术的发展，我们对电离辐射的研究和应用越来越广泛，更多粒子类型和更宽能量范围的电离辐射应用不断出现，如那些仅在宇宙辐射和粒子加速器中出现的高能粒子，能量范围高达 200 GeV，既往定义的实用量的缺陷越发凸显：对于高能或低能辐射

可能导致相当程度上的低估或高估。此外，既往定义的实用量在定义基础和计算模体上也与防护量存在差异。为了克服这些问题，ICRU 和 ICRP 于 2020 年联合编制发布了《ICRU 第 95 号报告：用于外照射辐射的实用量》，提出了一套新的实用量体系，实现在定义和计算模体上与防护量相统一。该报告汇集了 ICRU 和 ICRP 多个工作组的大量工作和努力，是这两个国际组织多年研究和实践的结晶。

国内有关机构和专家非常关注国际组织在放射防护领域防护量和实用量值体系方面的理论、方法及进展。我们十分高兴地看到，经过近二十年的坚持和持续努力，国内在多尺度体素模型和曲面模型剂量学等方面已经取得了实质性的进步，进入或领先国际上辐射剂量学的第一梯队。ICRU 第 95 号报告发布后，为了使国内更多关心这一问题的机构和同事深入了解该报告的内容，国内有关机构的专家第一时间在学术杂志通讯上介绍了报告的主要内容，更可喜的是，中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所与 ICRU 联系获得版权、组织翻译了这一报告。这是该报告的首个翻译版。该报告不仅对有关院校开展放射防护外照射剂量学的研究和应用具有重要意义，而且对于从事放射医学、放射卫生、放射生物学、放射生态学等相关领域的专业人员来说，也具有重要的参考意义。该报告的翻译出版可以使更多的国内读者看到原汁原味的报告内容，也有助于推动国内量值传递基础设施能力建设。

谨以此序祝贺《用于外照射辐射的实用量》中文版的出版。希望这本书能够为读者全面理解防护量和实用量的关系带来帮助，同时也希望未来能够引进和出版更多有关国际组织和有关国家的专业书籍，为我们的研究和应用提供更多的借鉴、支持和帮助。

中国原子能科学研究院研究员
中国核工业集团有限公司首席科学家
国际放射防护委员会主委员会委员



中文版前言

中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所作为国家级放射卫生技术支撑和技术指导机构，长期以来十分关注辐射监测与评价和辐射剂量学方面的研究工作。我单位专家一直致力于跟踪国际组织和有关发达国家的先进技术文件或标准，以及其研究和监管动向，近年来组织翻译了国际原子能机构（IAEA）、国际放射防护委员会（ICRP）等重要国际组织的相关报告和出版物，旨在与国内同行更好地分享国际组织和有关国家的建议、工作思路和经验，为放射卫生监管部门不断完善我国相关法规标准体系提供科学参考。

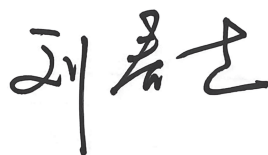
国际辐射单位与测量委员会（ICRU）是发表辐射科学与测量领域重要和热点主题报告的权威国际组织，ICRU 及其报告中建议的电离辐射和放射性活度的量和单位等已得到世界各国和相关国际组织的普遍认同。ICRU 也与 ICRP 开展合作，制定放射防护领域方面的建议。

过去二十多年来，随着电离辐射应用范围不断扩大，越来越多的工作人员受到电离辐射照射。为了更好地对这些人群的辐射照射进行评估，ICRU 持续收集和评价与辐射测量和剂量估算（或计算）问题相关的最新数据和信息，持续审查 ICRU 报告的建议。经过 ICRU 和 ICRP 的全面研究和重新评估，2020 年 12 月，ICRU 和 ICRP 联合发布了《ICRU 第 95 号报告：用于外照射辐射的实用量》，提出了一套与有效剂量和吸收剂量直接相关的实用量体系。新建议的实用量弥补了现行实用量在概念和技术上的不足，可实现对防护量的更好估计。考虑到 ICRU 第 95 号报告的建议对外照射辐

射剂量学研究和应用的重要意义，中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所决定翻译出版 ICRU 第 95 号报告的中文版。

本报告由我单位联合复旦大学、苏州大学与江西省职业病防治研究院相关一线专家共同翻译和审校。译审者已尽最大努力确保本书翻译内容准确、无遗漏、无错误，但不妥不全之处在所难免，敬请同行专家和广大读者批评指正。

中国疾病预防控制中心
辐射防护与核安全医学所

Handwritten signature in black ink, reading '刘君书' (Liu Junshu).

《用于外照射辐射的实用量》

报告编写委员会

N.E. Hertel（联席主席），佐治亚理工学院，美国

D.T. Bartlett（联席主席），英国阿宾顿

R. Behrens，德国联邦物理技术研究院，德国布伦瑞克

J-M. Bordy，法国原子能机构亨利·贝克勒尔国家实验室（LNE-LNHB），
法国伊维特河畔吉夫

G. Dietze*，德国布伦瑞克

A. Endo，日本原子能机构，日本

G. Gualdrini，意大利国家新技术、能源和可持续经济发展局（ENEA），意
大利博洛尼亚（截至 2015 年）

T. Otto，欧洲核子研究组织（CERN），瑞士日内瓦

M. Pelliccioni，意大利国家核物理研究所，意大利弗拉斯卡蒂

报告编写委员会顾问

P. Ambrosi，德国联邦物理技术研究院，德国布伦瑞克（截至 2014 年）

J-F. Bottollier-Depois，法国辐射防护与核安全研究院，法国丰特奈-欧罗斯

J. Daures，法国原子能机构亨利·贝克勒尔国家实验室（LNE-LNHB），法
国伊维特河畔吉夫

K.F. Eckerman，美国橡树岭

P. Ferrari，意大利国家新技术、能源和可持续经济发展局（ENEA），意大
利博洛尼亚

M. Hiller，德国斯托尔伯格

B.R.L. Siebert, 德国布伦瑞克

K.G. Veinot, 美国 Y-12 国家安全中心, 美国橡树岭

ICRU 倡议人

D.T. Burns, 国际度量衡局, 法国塞佛尔

E. Fantuzzi, 意大利国家新技术、能源和可持续经济发展局 (ENEA), 意大利博洛尼亚

H-G. Menzel, 德国海德堡

* G. Dietze 博士在本报告的制定过程中发挥了重要作用。他于 2015 年 1 月 25 日逝世, 是辐射剂量学界的重大损失。

报告编写委员会

N.E. Hertel (Co-Chair), Georgia Institute of Technology, USA

D.T. Bartlett (Co-Chair), Abingdon, UK

R. Behrens, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany

J-M. Bordy, CEA, LIST, Laboratoire National Henri Becquerel (LNE-LNHB),
Gif-sur-Yvette, France

G. Dietze, Braunschweig, Germany

A. Endo, Japan Atomic Energy Agency, Japan

G. Gualdrini, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo
economico sostenibile (ENEA), Bologna, Italy (until 2015)

T. Otto, European Organization for Nuclear Research (CERN), Geneva,
Switzerland

M. Pelliccioni, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Frascati, Italy

报告编写委员会顾问

P. Ambrosi, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany
(until 2014)

J-F. Bottollier-Depois, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire,
Fontenay-aux-Roses, France

J. Daures, CEA, LIST, Laboratoire National Henri Becquerel (LNE-LNHB),
Gif-sur-Yvette, Cedex France

K.F. Eckerman, Oak Ridge, USA

P. Ferrari, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo
economico sostenibile (ENEA), Bologna, Italy

M. Hiller, Stolberg, Germany

B.R.L. Siebert, Braunschweig, Germany

K.G. Veinot, Y-12 National Security Complex, Oak Ridge, USA

ICRU 倡议人

D.T. Burns, Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, France

E. Fantuzzi, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), Bologna, Italy

H-G. Menzel, Heidelberg, Germany

国际辐射单位与测量委员会

引言

国际辐射单位与测量委员会（ICRU）自 1925 年成立以来，其主要目标是就以下方面制定国际公认的建议：

- （1）电离辐射与放射性的量和单位；
- （2）适用于临床放射学和放射生物学中这些量的测量与应用的程序；
- （3）应用这些程序所需的物理数据，使用这些数据有助于确保报告的一致性。

针对放射防护领域，ICRU 还考虑并制定类似类型的建议。在这方面，其工作是与国际放射防护委员会（ICRP）合作开展的。

政策

ICRU 致力于收集和评估与辐射测量及剂量学问题相关的最新数据与信息，并推荐当前使用的最可接受的物理参考数据数值和技术。

为紧跟辐射应用的快速扩展，ICRU 的建议处于持续审查中。

ICRU 认为，各国组织有责任制定本国的详细技术规程，以规范标准的制定和维护工作。然而，它也敦促各国应尽可能严格遵循国际推荐的辐射量和单位的基本概念。

ICRU 负责维护和发展量、单位及概念体系（例如针对放射治疗），并制定具有尽可能最广泛适用范围的测量程序与技术指南。有时可能出现需要针

对当前问题提出权宜性解决方案的情况。

ICRU 邀请并欢迎各方就其建议与报告提出建设性意见和建议。这些意见和建议可以转交给委员会主席。

当前项目

ICRU 确认其有义务在放射治疗、放射防护及这些领域的重要数据汇编，以及辐射的科学研究与工业应用方面提供指南与建议。ICRU 当前工作日益聚焦于诊断放射学与放射肿瘤学中的患者防护及影像质量评估问题。这些工作并未削弱 ICRU 对提供一套严格定义的量 and 单位体系的承诺，该体系在广泛的科学研究中非常有用。

委员会目前正在制定关于以下主题的 ICRU 报告：

- 放射治疗中的生物效应建模与生物当量剂量概念
- 高级优化策略中的剂量处方、报告与记录：在剂量雕刻与稳健计划中的应用
- 基于磁共振直线加速器的图像引导放射治疗（MRGRT）
- 肿瘤学疗效评估定量成像
- 辐射相互作用的随机性质：微剂量学
- 放射性药物治疗计划

ICRU 持续评估放射科学的进展，旨在确定制定指南与建议能够做出重要贡献的领域。

ICRU 与其他组织的关系

除了与 ICRP 保持密切合作关系外，ICRU 还与各国及国际机构与组织建立了合作关系。在这些合作关系中，ICRU 在涉及电离辐射的量、单位与测量以及其在放射科学中的应用方面，被视为主要指导机构。1960 年，通过

一项特别联络协议，ICRU 获得国际原子能机构（IAEA）咨商地位。ICRU 与联合国原子辐射效应科学委员会（UNSCEAR）保持着正式关系，ICRU 观察员受邀列席 UNSCEAR 年度会议。ICRU 与国际标准化组织（ISO）非正式交换会议通知，并被正式指定为 ISO 两个技术委员会的联络机构。ICRU 是国际计量局（BIPM）单位咨询委员会（CCU）与电离辐射咨询委员会（CCRI（I））的成员单位，也是国际计量局 CCRI（II）和 CCRI（III）的观察员。ICRU 还与其姊妹组织—美国辐射防护与测量委员会（NCRP）—保持着密切合作关系。本质上，ICRU 与 NCRP 系由同一批人士同时创立。目前，这一长期合作关系通过一项特别联络协议正式确认。

ICRU 还与下列组织交换报告：

- 国际计量局（BIPM）
- 欧盟委员会（EC）
- 国际电工委员会（IEC）
- 国际医学物理组织（IOMP）
- 国际辐射防护协会（IRPA）
- 联合国教科文组织（UNESCO）

ICRU 认为与上述所有这些组织的合作关系是富有成效的，并对 ICRU 项目大有裨益。

运营资金

ICRU 获得以下机构的资金支持：

- 美国医学物理学家协会（AAPM）
- 国际原子能机构（IAEA）
- 国际辐射防护协会（IRPA）
- 北美放射学会（RSNA）

除上述这些机构提供的直接资金支持外，多家机构/组织还为 ICRU 项目

开展提供间接支持。这种支持以多种形式提供，包括但不限于以下方面的补贴：（1）参加 ICRU 活动的人员时间，（2）参加 ICRU 会议的差旅费用，以及（3）会议设施与服务。

ICRU 对所有支持机构提供的慷慨资助深表谢意，正是这些支持使其工作得以持续开展。

Vincent Grégoire
ICRU 主席
Centre Léon Bérard
法国里昂

目 录

前言	1
献给 Günther Dietze (1937—2015)	3
基本量的术语和定义	5
摘要	13
执行要点	15
1 绪言	19
1.1 报告目的和适用范围	19
1.2 报告概要	23
2 ICRP 第 103 号出版物防护量和 ICRU 第 39/51 号报告实用量	24
2.1 防护量	24
2.2 实用量的目的	25
2.3 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量	26
2.4 ICRU 第 39/51 号报告实用量的局限性	28
3 用于外照射辐射的实用量	31
3.1 建议实用量的依据	31
3.2 周围剂量	32
3.3 周围剂量率	33
3.4 眼晶状体定向吸收剂量	34
3.5 眼晶状体定向吸收剂量率	35
3.6 局部皮肤定向吸收剂量	35
3.7 局部皮肤定向吸收剂量率	37

3.8	个人剂量	37
3.9	个人眼晶状体吸收剂量	39
3.10	个人局部皮肤吸收剂量	40
3.11	小结	41
4	转换系数	43
4.1	引言	43
4.2	概述	43
4.3	转换系数的计算	44
4.3.1	周围剂量转换系数的计算	45
4.3.2	个人剂量转换系数的计算	45
4.3.3	眼晶状体吸收剂量转换系数的计算	46
4.3.4	局部皮肤吸收剂量转换系数的计算	46
4.4	建议值与 ICRU 第 39/51 号报告实用量的比较	47
4.4.1	总论	47
4.4.2	周围剂量和个人剂量	49
4.4.3	眼晶状体定向和个人吸收剂量	54
4.4.4	局部皮肤定向和个人吸收剂量	56
5	采纳建议实用量的实际影响	59
5.1	引言	59
5.2	个人剂量计和场所监测仪器的设计	60
5.2.1	ICRU 第 39/51 号报告实用量要求的个人剂量计响应特性	60
5.2.2	光子剂量计和场所监测仪器对建议实用量的响应特性	61
5.2.3	中子个人剂量计和场所监测仪器对建议实用量的响应特性	64
5.2.4	重新设计个人剂量计和场所监测仪器的结论	65
5.3	个人剂量计和场所监测仪器的校准	66
5.3.1	校准程序概略	66
5.3.2	个人剂量计校准模体	67

5.3.3 光子校准的特殊规定	68
5.3.4 ICRU 球的作用	69
5.4 建议实用量对放射防护质量的影响	69
5.5 建议实用量对剂量记录的影响	70
5.6 未来可能发生的变化	71
6 结语	73
附录	75
附录 A 转换系数值	76
A.1 周围剂量	76
A.2 个人剂量	89
A.3 眼晶状体定向和个人吸收剂量	107
A.4 局部皮肤定向和个人吸收剂量	117
A.5 带电粒子平衡场中能量高达 50 MeV 光子的实用量	149
A.6 空气比释动能	173
附录 B 程序说明	174
B.1 PHITS	174
B.2 FLUKA	175
B.3 MCNP	176
B.4 EGSnrc	178
B.5 转换系数计算的不确定度	179
附录 C 眼晶状体吸收剂量的可替代转换系数	181
C.1 眼晶状体定向和个人吸收剂量, 敏感细胞的吸收剂量, $d_{\text{lens sens}}$	181
C.2 带电粒子平衡场中能量高达 50 MeV 的光子	192
参考文献	197

前言

国际放射防护委员会（ICRP）在 2007 年的 ICRP 出版物中建议了防护量，用于践行职业受照人员和公众的剂量限值以及放射防护最优化原则（ICRP，2007 年）。这些防护量是在人体组织和空间扩展场中定义的，不适用于场所和个人剂量测量仪器的校准。为此，国际辐射单位与测量委员会（ICRU）定义了另一组量，即实用量。这些实用量均基于空间中某一点定义。

历史上，ICRU 第 19 号报告（1971 年 a）建议将吸收剂量指数和剂量当量指数作为外照射的实用量。在 ICRU 第 20 号报告（1971 年 b）中，考虑使用人体受照最大剂量当量作为实用量。ICRU 第 39 号报告（1985 年）和第 43 号报告（1988 年）介绍了实用量的进一步发展，将*周围剂量当量*、*定向剂量当量*和*个体剂量当量*（individual dose equivalent）定义为实用量。ICRU 第 51 号报告（1993 年）对个体监测的量进行了部分修改，用*个人剂量当量*（personal dose equivalent）取代了*个体剂量当量*。ICRU 第 43 号和第 47 号报告（1988 年；1992 年）给出了光子和电子使用上述实用量的介绍，ICRU 第 66 号报告（2001 年）给出了中子使用上述实用量的介绍。ICRU 第 43 号和第 47 号报告发布了从辐射场量和剂量学量到实用量的转换系数，并与 ICRP 在 ICRU 第 57 号报告（1998 年）和 ICRP 第 74 号出版物（1996 年）中联合发布。

在第 103 号出版物（ICRP，2007 年）中，ICRP 重新审查了最初 ICRP 第 60 号出版物（1990 年）引入的包括有效剂量在内的防护量。ICRP 第 116 号出版物（2010 年）发布了各种粒子从物理量到防护量的转换系数，包括只存在于宇宙辐射和粒子加速器中的粒子，以及在某些情况下能量高达 200

GeV 的粒子。该报告确定了光子和中子的能量范围，指出了在此范围内 ICRU 第 39 号和第 51 号报告引入的实用量与防护量之间存在有显著偏离。

对于核燃料循环（铀处理）、核电厂和核废料贮存、回收过程中存在的，能量范围介于 50 keV~3 MeV 光子和热中子~20 MeV 中子，ICRU 第 39 号和第 51 号报告给出的实用量是对防护量的可接受估计。这些实用量同样适用于放射性核素的其他应用。然而，近 20 年来，在医学和科研应用以及商业航空中，越来越多的工作人员暴露于能量低于和高于现行实用量可测量的辐射场中。这些人群的职业照射防护需要更适宜的实用量对防护量进行评估。

防护量及其应用的变化促使 ICRU 重新审查现行实用量。本报告基于与防护量定义相同的模体，建议了一种定义实用量的替代方法。采用该方法得到的实用量是防护量的良好估计。本报告提出了一套新的实用量，并给出了适用于更广泛粒子类型和能量范围的转换系数，首次包括了仅在高能辐射场中才出现的粒子。

Nolan E. Hertel

David T. Bartlett

献给 Günther Dietze

(1937—2015)

Günther 是国际辐射单位与测量委员会（ICRU）基本量和单位委员会委员，该委员会近期发布了 ICRU 第 85a 号报告《电离辐射的基本量和单位》。他还曾参与 ICRU 第 47 号报告《光子和电子外照射剂量当量的测量》和第 57 号报告《用于外照射放射防护的转换系数》的编写工作，并为本报告的编写做出了重大贡献。



Günther Dietze 博士于 2015 年 1 月 25 日逝世

Günther 曾任德国联邦物理技术研究院（PTB，位于布伦瑞克）电离辐射部的负责人，其职责涵盖放射性、医学应用剂量学、放射防护剂量学和中子计量学领域。他曾热衷于中子剂量学研究，发表了多篇关于探测器和谱仪的论文。Günther 曾任德国辐射防护委员会委员且后期担任该委员会领导，同时兼任根据欧洲原子能共同体（EURATOM）条约第 31 条设立的专家组成员。作为欧洲辐射剂量学工作组（EURADOS）创始理事会成员之一，Günther 于 1991 年至 2001 年间担任该组织主席。

Günther 曾任职于多个国家与国际委员会，担任国际放射防护委员会（ICRP）第 2 委员会委员，为任务组及包括 ICRP 第 103 号出版物《国际

放射防护委员会 2007 年建议书》在内的多份 ICRP 出版物的编写做出了重大贡献。他是 ICRP 第 123 号出版物《太空中宇航员辐射照射评估》的编写委员会主席。他还曾担任《Radiation Protection Dosimetry》杂志的顾问编辑。

Günther 的逝世是剂量学界的重大损失。

基本量的术语和定义

粒子能量 (Particle Energy)

在本报告中，粒子能量用符号 E_p 表示，以区别于有效剂量的符号 E 。粒子能量指粒子的动能。

带电粒子平衡 (Charged-Particle Equilibrium)

在带电粒子最大射程范围内，如果带电粒子辐射度随粒子能量的分布是恒定的，则该点存在带电粒子平衡。在带电粒子平衡条件下，关注点处的碰撞比释动能与吸收剂量在数值上是相等的。

ICRU 四元素 (软) 组织 [ICRU 4-Element (Soft) Tissue]

ICRU 四元素软组织 (ICRU, 1980 年) 的密度为 $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，其组成的质量百分比分别为氧 76.2%、碳 11.1%、氢 10.1%、氮 2.6%。ICRU 未对该材料的其他特性做进一步说明。

ICRU 球 (ICRU Sphere)

ICRU 球 (ICRU, 1980 年) 是一个直径 300 mm 的 ICRU 四元素软组织球体。

ICRP 和 ICRU 成年拟人参考计算体模 (ICRP and ICRU Adult Anthropomorphic Reference Computational Phantoms)

ICRP 和 ICRU 成年拟人参考计算体模是 ICRP 第 110 号出版物 (2009 年) 介绍和描述的人体模型，其解剖和生理学特征在 ICRP 第 89 号出版物

(2002 年) 中进行了定义, 分为成年男性体模和成年女性体模。ICRP 第 110 号出版物介绍的体模由基于医学断层图像的立方体体素阵列表示, 其中解剖结构由小三维体积元描述。男性和女性体模的体积元尺寸 (长×宽×高) 分别为 2.137 mm×2.137 mm×8.0 mm 和 1.775 mm×1.775 mm×4.84 mm。ICRP 第 110 号出版物 (2009 年) 对这些体素的组合, 以及人体指定的器官、组织的成分和密度进行了具体规定。

注量 (Fluence)

注量 Φ (ICRU, 2011 年) 是 dN 与 da 的商, 即:

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

其中, dN 是入射到截面积为 da 的球体内的粒子数。注量 Φ 的单位为 m^{-2} 。

在剂量学计算中, 注量常用粒子运动轨迹的长度来表述。注量可以由下式给出 (Papiez 和 Battista, 1994 年; 以及其中的参考文献):

$$\Phi = dl / dV$$

其中, dl 是体积 dV 中的粒子运动轨迹的长度之和。

注量的能量分布 Φ_{E_p} 由下式给出:

$$\Phi_{E_p} = \frac{d\Phi}{dE_p}$$

其中, $d\Phi$ 是能量介于 E_p 和 $E_p + dE_p$ 之间的粒子的注量。 Φ_{E_p} 单位为 $\text{m}^{-2} \cdot \text{J}^{-1}$ 。

在某些情况下, 需要涉及微分立体角 $d\Omega$ 的量, 注量双微分的完整表示为 $\Phi_{E_p, \Omega}(E_p, \Omega)$, 其中 Ω 为粒子运动方向。

注量率 (Fluence Rate)

注量率 $\dot{\Phi}$ (ICRU, 2011 年) 是 $d\Phi$ 与 dt 的商, 其中 $d\Phi$ 是时间间隔 dt 内粒子注量的增量, 即:

$$\dot{\Phi} = \frac{d\Phi}{dt}$$

其中，注量率 $\dot{\Phi}$ 的单位是 $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

粒子辐射度 (Particle Radiance)

粒子辐射度 $\dot{\Phi}_{\Omega}$ (ICRU, 2011 年) 是 $d\dot{\Phi}$ 与 $d\Omega$ 的商，即：

$$\dot{\Phi}_{\Omega} = \frac{d\dot{\Phi}}{d\Omega}$$

其中 $d\dot{\Phi}$ 是围绕着特定方向在立体角 $d\Omega$ 内传播的粒子的注量率。粒子辐射度的单位是 $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

粒子辐射度随能量的分布由下式给出：

$$\dot{\Phi}_{\Omega, E_p} = \frac{d\dot{\Phi}_{\Omega}}{dE_p}$$

其中， $d\dot{\Phi}_{\Omega}$ 是能量介于 E_p 和 $E_p + dE_p$ 之间的粒子辐射度。 $\dot{\Phi}_{\Omega, E_p}^*$ 在辐射输运理论中有时被称为角通量或相通量。

除了对本文不太重要的一些特别方面（如极化），给定粒子的辐射场完全由粒子辐射度随粒子能量分布的 $\dot{\Phi}_{\Omega, E_p}$ 来规定，因为它定义了在给定的方向上传播的粒子的数量、能量、局部密度和到达率。这个量和随能量的分布变化的辐射度可以被认为是辐射测量的基本量。

仪器响应 (Response of an Instrument)

仪器响应 R 定义为以下量的比值，即：

$$R = \frac{G}{C}$$

其中， G 为个人剂量计或场所监测仪器所测量的指示值， C 为该量的约定真值。

参考响应 $R_{r,0}$ 定义为仪器测量的量的指示值与参考条件下标准辐射场

* 译者注：原文此处符号为 $\dot{\Phi}_{E_p, \Omega}$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $\dot{\Phi}_{\Omega, E_p}$ 。

中测试点处该量的约定真值之间的比值。参考响应的倒数即校准系数 $N_{r,0}$ 。

相对响应 r 是仪器的响应 R 与参考响应 $R_{r,0}$ 的比值，即：

$$r = \frac{R}{R_{r,0}}$$

比释动能（Kerma）

比释动能 K （ICRU，2011 年）适用于不带电粒子，是 $dE_{p\text{tr}}$ 除以 dm 的商，即：

$$K = \frac{dE_{p\text{tr}}}{dm}$$

其中 $dE_{p\text{tr}}$ 是不带电粒子在质量为 dm 的材料中释放的所有带电粒子的初始动能的总和。比释动能的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，其专用名称是戈瑞（Gy）， $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

尽管比释动能是一个与能量向物质初始转移有关的量，但它有时被用作吸收剂量的近似值。当达到带电粒子平衡、辐射损失可以忽略不计，并且不带电粒子的能量与释放的带电粒子的结合能相比很大时，比释动能的数值可等同于吸收剂量的数值。

当辐射损失不可忽略时，一个与比释动能相关的量，称为碰撞比释动能，长期以来一直被用作吸收剂量的近似值（Attix，1979 年 a；1979 年 b）。碰撞比释动能， K_{col} ，不包括被释放的带电粒子的辐射损失，对于特定材料中能量为 E_p 的不带电粒子的注量 Φ 由下式给出：

$$K_{\text{col}} = \Phi E_p \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} = \Phi E_p \frac{\mu_{\text{tr}}}{\rho} (1 - g) = K(1 - g)$$

其中， μ_{en} / ρ 是质能吸收系数， μ_{tr} / ρ 是能量为 E_p 的不带电粒子的质能转移系数， g 是在该材料中次级带电粒子因辐射损失的能量份额。

在剂量计算中，碰撞比释动能 K_{col} 可以用不带电粒子注量的能量分布函

数 Φ_{E_p} 来表示:

$$K_{\text{col}} = \int \Phi_{E_p} E_p \frac{\mu_{\text{en}}}{\rho} dE_p = \int \Phi_{E_p} E_p \frac{\mu_{\text{tr}}}{\rho} (1 - g) dE_p = K(1 - \bar{g})$$

其中, \bar{g} 是比释动能随电子能量分布 g 的平均值。

比释动能率 \dot{K} , 是 dK 除以 dt 的商, 其中 dK 是比释动能在时间间隔 dt 内的增量, 即:

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

比释动能率的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 其专用名称是戈瑞每秒 ($\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)。

授予能 (Energy Imparted)

授予能 ε (ICRU, 2011 年) 是给定体积的某种物质中所有能量沉积的总和, 即:

$$\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i$$

授予能对该体积中的所有能量沉积 ε_i 进行求和。授予能的单位是 J , 也可以用 eV 表示。

授予能 ε 是一个随机量。进行求和的能量沉积可以是第二次事件之前的一个或多个事件的能量沉积。术语“事件”表示统计上相关粒子向物质授予能量的过程。例如质子及其次级电子、正负电子对或核反应中的初级和次级粒子。

如果在给定体积中授予物质的能量是由单个能量沉积事件引起的, 则它等于与能量沉积事件相关的体积中能量沉积的总和。如果在给定体积中授予物质的能量是由几个能量沉积事件引起的, 则它等于每一次能量沉积事件授予该体积中物质单个能量的总和。

给定体积中物质的平均辐射授予能 $\bar{\varepsilon}$ 等于所有进入该体积的带电和不带电电离粒子的平均辐射能 (R_{in}), 减去所有离开该体积的带电和不带电电离粒子的平均辐射能 (R_{out}), 再加上该体积中原子核和基本粒子的所有静止

能量变化的平均值 ΣQ ($Q > 0$: 静止能量减少; $Q < 0$: 静止能量增加), 因此:

$$\bar{\varepsilon} = R_{\text{in}} - R_{\text{out}} + \Sigma Q$$

吸收剂量 (Absorbed Dose)

吸收剂量 D (ICRU, 2011 年) 是 $d\bar{\varepsilon}$ 除以 dm 的商, 即:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm}$$

其中, $d\bar{\varepsilon}$ 是电离辐射授予质量为 dm 物质的平均能量, 吸收剂量的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其专用名称是戈瑞 (Gy)。

吸收剂量率 (Absorbed Dose Rate)

吸收剂量率 \dot{D} (ICRU, 2011 年) 是 dD 除以 dt 的商, 即:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

其中, dD 是时间间隔 dt 内吸收剂量的增量。吸收剂量率的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 其专用名称是戈瑞每秒 ($\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$)。

器官/组织的平均吸收剂量 (Mean Absorbed Dose in an Organ or Tissue)

器官/组织 T 的平均吸收剂量 D_T (ICRP, 2007 年), 定义为:

$$D_T = 1/m_T \int D dm$$

其中, m_T 是器官/组织的质量, D 是质量单元 dm 中的吸收剂量。平均吸收剂量的单位是焦耳每千克 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$), 其专用名称是戈瑞 (Gy)。

对有效剂量贡献很小或没有贡献的两个器官/组织 (局部皮肤和眼晶状体) 值得关注, 以防止超过阈值剂量而导致确定性效应或组织反应的发生。

器官当量剂量 (Organ Equivalent Dose)

器官当量剂量作为防护量的一个定义，它基于某一特定器官/组织 T 的一定体积内 R 类辐射的平均吸收剂量 $D_{T,R}$ 。辐射类型 R 由入射到身体内的射线或存在于体内的放射性核素发出的射线种类和能量给出。防护量——器官/组织的器官当量剂量， H_T ，定义如下：

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

其中， w_R 是辐射类型 R 的辐射权重因子。应对所有涉及的辐射类型进行求和。器官当量剂量的单位是 $J \cdot kg^{-1}$ ，其专用名称是希沃特 (Sv)。

有效剂量 (Effective Dose)

有效剂量 E 是人体所有特定器官和组织的吸收剂量的加权总和 (ICRP, 2007 年)，表达式为：

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R}$$

其中， w_T 是性别平均的组织权重因子，用于表示由于随机效应而导致的单个组织和器官对总体辐射危害的贡献。 E 是对辐射诱发随机效应的敏感器官和组织进行求和。 $D_{T,R}$ 定义见上文。

有效剂量定义中使用的组织权重因子 w_T 是四舍五入值，表示单个器官和组织对总体随机危害（主要是癌症死亡）的贡献，基于流行病学研究得出的年龄、性别和人群相对危害的平均值 (ICRP, 2007 年)。有效剂量的单位是 $J \cdot kg^{-1}$ ，其专用名称是希沃特 (Sv)。

转换系数 (Conversion Coefficients)

通过乘以转换系数，可将描述辐射场的物理量计算为防护量或实用量。该术语适用于外照射情况，而在内照射剂量学中，剂量学量与活度量的比值称为剂量系数。对于外照射，给出了根据辐射物理量和注量、空气比释动能等剂量学量计算防护量或实用量的转换系数。

摘 要

用于外照射防护的可测量实用量是对本质上不可测量防护量的补充。通过测量或计算，实用量可用于对辐射场进行预测性和回顾性评估。个人剂量计和场所监测仪器被设计用于表征实用量，通过与实用量相关的标准辐射场对这些仪器进行定期校准。

国际辐射单位与测量委员会（ICRU）第 39 号报告（1985 年）、第 43 号报告（1988 年）和第 51 号报告（1993 年）定义的实用量，对*个人剂量当量*和*周围剂量当量*，给出了能量范围 70 keV~3 MeV 光子的有效剂量（ICRP，2007 年）的可接受估计。而对能量更低和更高的光子，ICRU 第 39/51 号报告定义的实用量分别显著地高估和低估防护量。此外，这些报告仅给出了光子、电子和中子三种粒子实用量的转换系数。

本报告提出了一种实用量的新定义，与既往定义相比，新定义的实用量能够更好地对防护量进行估计。对于广泛能量范围内的多种类型粒子，本报告提供了从辐射场物理量（注量和对于光子而言的空气比释动能）计算防护量的转换系数，包括光子、电子、中子、质子、 μ 子、 π 子和氦离子。本报告建议仪器制造商和开发商改进剂量计和仪器，以便准确提供符合这些建议的测量结果。本报告还建议国际组织和各国主管当局应采取循序渐进的过程，用审慎的态度采纳新实用量体系，这将有助于平衡统一新实用量体系（代表测量中的防护量）所能带来的益处与耗费的成本之间的矛盾。

执行要点

当前,全世界的放射防护立法与法规都基于 ICRP 第 26 号出版物(1977 年)提出的放射防护三项基本原则:电离辐射对人体照射实践的正当性、剂量限值和防护最优化。具体应用最优化原则和剂量限值,需要定量测量辐射照射。为此,ICRP 于 1978 年定义了有效剂量当量 H_E 这一防护量。在 ICRP 第 60 号出版物(1991 年)中, H_E 被有效剂量 E 所取代。与 H_E 类似, E 是全身照射的一种度量,国际上用于设定照射限值,并用来定量指导控制辐射诱发随机性效应最优化原则的具体实施。

对全身的有效剂量定义为:

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad (1)$$

人体特定组织和器官 T 的平均吸收剂量 $D_{T,R}$ 经所有入射辐射类型 R 的辐射权重因子 w_R 加权,称为组织或器官 T 的当量剂量。有效剂量 E 是当量剂量的加权平均值,使用组织权重因子来表示器官和组织对总体随机危害的相对贡献(即所有 $w_T < 1$ 且 $\sum w_T = 1$)。

外照射的有效剂量与表征辐射场的量有关,通常是粒子注量或对于光子而言的空气比释动能。辐射场量到有效剂量的转换系数 h ,是基于数字化拟人参考体模(ICRP, 2009 年)针对八个标准几何方向入射辐射场(ICRP, 2010 年)的数值计算得到的。

有效剂量不是针对单一点定义的,而是全身器官和组织的平均值。因此,它无法直接测量。为此,ICRU 定义了一套基于剂量当量(ICRU 第 39 号报告, 1985 年; ICRU 第 51 号报告, 1993 年)的实用(可测量的)量,作为外照射有效剂量的估计量,用于补充防护量体系。剂量当量定义为吸收剂量和辐射品质因子的乘积:

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} Q(L) D_L(d) dL \quad (2)$$

吸收剂量 D 是在人体或模体中指定深度 d 的某一点处进行评估的。对于全身监测， d 选取为 10 mm。辐射品质因子 Q 是粒子在相互作用处的传能线密度（LET 或 L_{∞} ）的函数（ICRU，1993 年）。

ICRU 第 39/51 号报告中的实用量体系对个人辐射监测量（*个人剂量当量*）和场所辐射监测量（*定向和周围剂量当量*）进行了区分。*个人剂量当量* $H_p(d)$ 定义在“人体代表性位置”下的 d 深度处（通常为 10 mm），但*定向剂量当量*和*周围剂量当量* $H'(d)$ 定义在 ICRU 球（由直径为 30 cm 的 ICRU 四元素组织构成）中的指定深度处（ICRU，1993 年）。通过对所有场矢量进行虚拟扩展齐向，使得*周围剂量当量*与入射辐射方向无关。

防护量和实用量的定义不同，用于从辐射场量计算各自系数的模体也不相同。

（1）计算有效剂量和实用量的转换系数，一直都是利用模体和辐射输运程序来进行的。对于器官和组织的当量剂量以及有效剂量，近来多采用 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模（ICRP，2009 年）作为拟人体模。为计算用于放射防护监测仪校准的实用量转换系数，采用几何结构更为简单的模体：*周围剂量当量*采用 ICRU 球，*个人剂量当量*采用平板模体（尺寸为 300 mm × 300 mm × 150 mm）。因此，相应的几何和结构差异限制了从实用量测量得到有效剂量估计值的准确性。ICRU 球与用于计算有效剂量的拟人体模及其解剖结构之间几乎无相似之处。

（2）对单一深度 d 评估的*个人剂量当量*和*周围剂量当量*并不能反映人体几何解剖结构的复杂性，也不能反映针对有效剂量的转换系数的计算中，有效剂量在拟人参考体模中作为对特定人体器官和组织当量剂量的加权平均值。

（3）用于计算剂量当量的辐射品质因子 $Q(L)$ ，和用于计算当量剂量以及有效剂量的辐射权重因子 w_R ，常被用来解释不同辐射类型的（效应）

效能差异。然而，它们是基于不同方法得到的，并不完全等同。

(4) 迄今为止，已公布并广泛应用的光子实用量转换系数是基于比释动能近似法计算获得的。这种简化方法计算得到高能光子的实用量会导致防护量被高估。

对于某些粒子和能量而言，式(1)和式(2)的差异是实用量测量结果不适用于估算有效剂量的主要原因。更通俗地说，它们是有有效剂量转换系数与实用量转换系数之间存在差异的主要原因。

本报告介绍了外照射实用量的另一种定义，该定义可克服其作为有效剂量估计用途方面的不足。在本报告中，实用量定义为粒子注量和转换系数的乘积(Endo, 2016年)，可表示为：

$$H = \Phi \cdot h_{\phi} \quad (3)$$

有效剂量转换系数是ICRP/ICRU成年拟人参考体模(ICRP, 2009年)中针对指定入射方向评估的有效剂量值除以无体模时粒子注量的商，转换系数符号如下：

$$h_E = E / \Phi \quad (4)$$

式(3)和式(4)在有效剂量转换系数和实用量的相应值之间提供了良好的数值一致性，这主要是因为用于计算防护量和实用量的模体现在是完全相同的。

用于监测放射工作人员全身照射的量称为个人剂量 H_p ，是粒子注量 Φ 和能量以及角度相关转换系数 $h_p(E_p, \Omega)$ 的乘积。这些转换系数是在与计算有效剂量 E 相同的拟人体模上计算得到的。本报告给出了体表不同入射角度的转换系数，用以评估个人剂量计的角度依赖性。显然，对于同一粒子能量， $H_p(E_p, 0^\circ)$ 与 $E(AP)$ 在数值上是相同的。

评估某一给定场所潜在的有效剂量的量（主要为预测性评估）称为周围剂量 H^* ，定义为在粒子的所有能量处，在ICRP第116号出版物发布的拟人体模上(2010年)，入射平面平行辐射场不同方向的有效剂量的最大值。不同入射方向的最大值的选择确保了周围剂量提供接近但始终保守的有效

剂量估计值。

放射防护不仅关注随机性效应的控制，也关注确定性效应（组织反应）的控制，尤其是眼晶状体和局部皮肤。当前，对于各种特定的照射限值，都采用当量剂量来设定。在实践中，实用量也用于眼晶状体和局部皮肤的剂量监测。对于眼晶状体的个人监测，使用实用量个人剂量当量 $H_p(3)$ ；对于局部皮肤的个人监测，使用个人剂量当量 $H_p(0.07)$ 。

关于控制眼晶状体和局部皮肤组织反应的实用量，本报告认为，基于吸收剂量的量比当量剂量更适合于非随机性效应的控制。实用量个人眼晶状体吸收剂量在眼部数值模体中定义，类似于既往计算眼晶状体当量剂量的转换系数。个人局部皮肤吸收剂量的定义是基于躯干、手臂和手指的简化数学模型。它们既用于相关量的定义，也用于转换系数的确切计算。

本报告为光子、电子、正电子、中子、 α 粒子、正负 μ 子、正负 π 子的 H^* 和 H_p 提供了一整套的转换系数值。本报告发布数据的能量范围与ICRP第116号出版物给出的能量范围相对应，有效剂量转换系数的能量范围可扩展到10 GeV。

本报告提出的用于控制随机性效应的实用量定义，将导致转换系数的能量依赖性发生变化。因此，必须重新审查剂量计的校准系数。例如，对于能量低于30 keV的光子，若按ICRU第39/51号报告的实用量进行个人剂量计和巡测仪校准，将出现过高的响应。在最常见能量范围（50 keV~3 MeV），直接重新校准就足够了。

本报告标志着外照射放射防护实用量定义的重大变化。通过统一防护量和实用量的定义，消除了复杂且可能混淆的中间步骤，从而简化了放射防护实践中使用的量值体系。

本报告的附录给出了一整套涵盖了广泛能量范围的转换系数，将为今后的仪器设计和校准提供坚实的基础，并能对辐射场进行预测性计算。它还将有助于协调和补充既往出版物未涵盖的电离辐射类型的放射防护监测。

1 绪 言

1.1 报告目的和适用范围

预防电离辐射对健康的影响，既要防止组织反应（确定性效应）的发生，同时也要限制癌症和遗传效应（统称为随机性效应）的风险。为了满足这些需求，国际放射防护委员会（ICRP）第 103 号出版物（2007 年）定义了与风险相关的剂量学量——器官当量剂量和有效剂量。器官当量剂量用于设定限值以防止确定性效应的发生；有效剂量用于剂量限值设定和防护最优化，以降低随机性效应发生概率。由于防护量无法直接测量，因此通过测量其他相关量来进行评估。为了控制职业和环境中的外照射辐射，国际辐射单位与测量委员会（ICRU）定义了一系列可测量的实用量，这些量也用于仪器的校准。

ICRU 第 39 号（1985 年）和第 51 号报告（1993 年）中定义的实用量，为 20 世纪 80、90 年代最常应用能量范围内的光子、电子和中子的防护量提供了可接受的估计。然而，近几十年来，随着对能量范围极高和极低的粒子的考虑日益增加，现行实用量相当程度上低估或高估了这些粒子的防护量。为了解决这一问题，与 ICRU 联合出版的 ICRP 第 116 号出版物（2010 年），提供了广泛粒子类型和能量下从粒子注量和空气比释动能到防护量的转换系数。ICRP 第 116 号出版物的计算采纳了 ICRP 第 103 号出版物（2007 年）在 2007 年提出的新防护量，并引入了与 ICRU 联合发布的 ICRP 第 110 号出版物（2009 年）提供的成年男性和成年女性的拟人参考计算

模型。这些进展推动了对实用量计算方法的重新评估，并促使本报告对实用量体系提出相关的简化和扩展建议。

ICRP 防护量的计算过程（2007 年）分为三个主要步骤。首先，计算人体器官和组织的平均吸收剂量、器官和组织的当量剂量，以及有效剂量。由于不同类型辐射的单位吸收剂量引起的健康效应程度不同，因此第二步是将吸收剂量值乘以辐射权重因子，这些辐射权重因子是对不同类型辐射生物学效应差异的简化调整，用于计算器官当量剂量。第三步是考虑由于单位当量剂量引起不同器官和组织的致癌敏感性不同，将器官和组织当量剂量乘以组织权重因子。组织权重因子基于相对危害，简化调整了不同器官和组织对总体随机性危害的贡献；有效剂量是各器官当量剂量的加权平均值。器官当量剂量用于设定眼睛和皮肤受到局部照射的限值。有效剂量用于设定剂量限值和最优化防护，以降低随机性效应发生概率，为此提出了线性无阈剂量-响应关系假设（ICRP，2007 年）。

ICRU 建议的实用量旨在为防护量值提供可接受估计。ICRU 第 39 号（1985 年）、第 43 号（1988 年）和第 51 号（1993 年）报告建议的用于外照射监测的实用量分两大类：个人监测、工作场所与环境监测。选择人体特定深度处或特定几何形状和深度的模体中的剂量当量来描述受照情况。剂量当量定义为吸收剂量和辐射品质因子的乘积，其中，辐射品质因子是相互作用点处辐射传能线密度的函数。用于评估个人监测中有效剂量的实用量，是指人体内 10 mm 深度处的 *个人剂量当量*；对于工作场所和环境，是 ICRU 球内 10 mm 深度处的 *周围剂量当量*。用于眼晶状体和局部皮肤当量剂量估计的实用量分别是 3 mm 和 0.07 mm 深度处的 *个人剂量当量*，以及 ICRU 球内相应深度处的 *定向剂量当量*。

本报告对 ICRU 第 39 号和第 51 号报告提出的实用量体系进行了简化，采用 ICRP/ICRU 拟人参考体模作为计算实用量和防护量的基础，确

保了实用量能够为所有能量范围的防护量提供可接受的估计。目前,ICRP 正在重新评估防护量的使用情况,并建议基于吸收剂量而非器官当量剂量来更准确地设定剂量限值以防止组织反应(确定性效应)发生,因为计算器官当量剂量时使用的辐射权重因子与随机性效应有关,而非确定性效应。为了与这一变化保持一致,建议使用实用量,即个人剂量和周围剂量作为有效剂量的度量;使用个人吸收剂量和定向吸收剂量作为眼晶状体和局部皮肤吸收剂量的度量。ICRP 第 116 号出版物(2010 年)提供了从粒子注量到有效剂量的转换系数,涵盖了多种粒子类型:能量高达 10 GeV 的光子、中子、电子、正电子、质子、负 μ 子和正 μ 子;对正、负 π 子,能量高达 200 GeV;对 He^{2+} 离子,能量高达 100 GeV $\cdot \text{u}^{-1}$ 。本报告提供了这些能量范围的粒子从粒子注量到实用量——周围剂量和个人剂量的转换系数,并将光子、中子、电子、正电子和质子的能量和角度依赖性与 ICRU 第 39/51 号报告方法获得的数值进行了比较。ICRP 第 116 号出版物和本报告均采用了一种新的全辐射输运计算方法,而非比释动能近似法。

对实用量提出的修改建议会对个人剂量计和监测仪器的设计和校准有一定影响,但必要的修改应当保持简单明了。ICRP 计划仅在发布下一个基本建议时对防护量进行修改,更新的实用量与之同步引入将更为适宜。将本报告的建议纳入安全标准和立法可能需要大约 20 年的时间来准备和实施。然而,考虑到剂量计和场所监测仪器的技术寿命,20 年时间跨度是充足的,足以适应这些变更。

图 1.1 为 ICRP 第 103 号出版物给出的防护量与 ICRU 第 39/51 号报告给出的实用量之间的关系,图 1.2 为 ICRP 第 103 号出版物给出的防护量与本报告建议的实用量之间的关系。防护量和实用量与通过国家计量机构的初级标准获得的辐射场量和剂量学量有关。

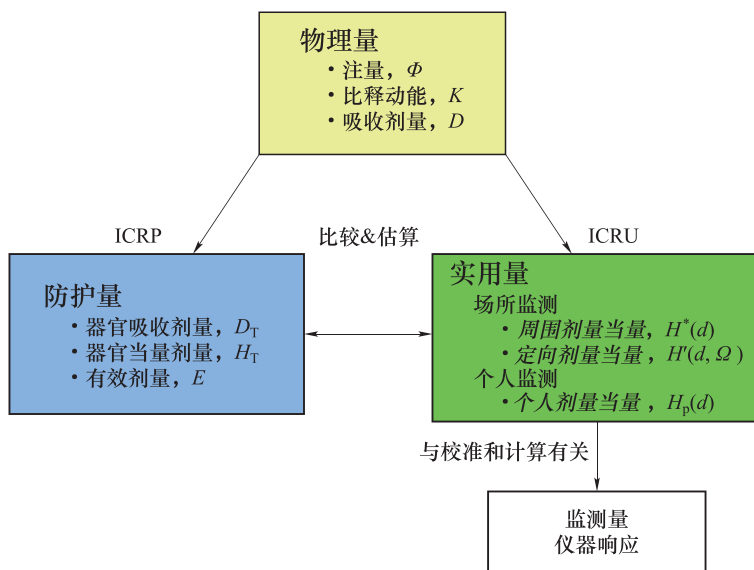


图 1.1 放射防护实践中 ICRP 第 103 号出版物定义的防护量与 ICRU 第 39/51 号报告定义的实用量之间的关系

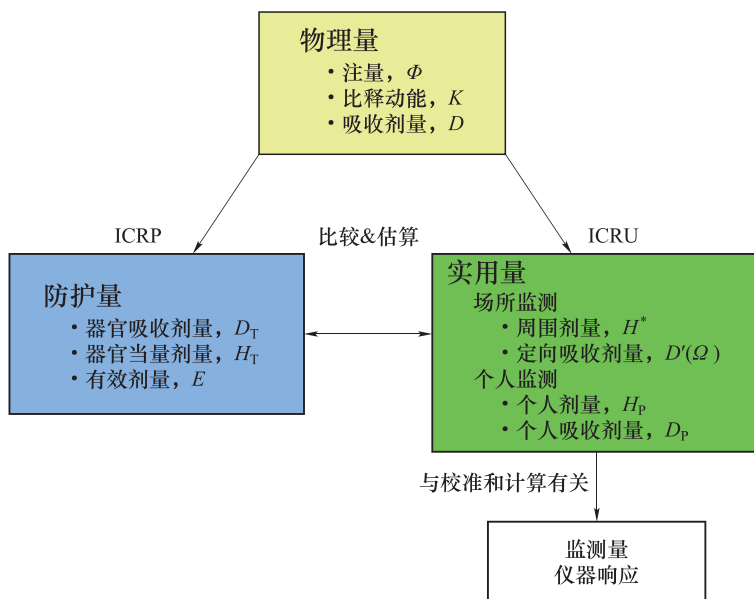


图 1.2 放射防护实践中 ICRP 第 103 号出版物定义的防护量与本报告建议实用量之间的关系

1.2 报告概要

本报告第 2 章介绍了实用量作为防护量的可测量量补充的必要性，首先回顾了 ICRU 第 39/51 号报告中实用量的早期定义（实用量是模体内指定深度处吸收剂量与 LET 相关辐射品质因子的乘积），然后解释了这些实用量的概念和技术缺陷。第 3 章介绍了本报告建议的实用量的新定义，这些量是基于描述外照射辐射场的物理量和转换系数的乘积。考虑到本报告中给出的理由，这体现了既往实用量定义的一个范式变化。第 4 章介绍了从辐射场量到实用量的转换系数，首先阐述了它们的数值计算方法，随后比较了本报告与 ICRU 第 57 号报告（1998 年）和 ICRP 第 74 号出版物（1996 年）给出的转换系数，以明确它们之间的差异。基于第 4 章的描述和比较，第 5 章介绍了在实施新的建议量时将给仪器设计和校准带来的变化。第 6 章介绍了建议实用量所带来的改进的基本结论，阐述了建议实用量如何为高能光子、电子、中子以及其他粒子类型辐射场的放射防护问题提供解决方案。

附录 A 中包含建议实用量转换系数的相关表和图。

附录 B 描述了计算的程序。

附录 C 给出了眼晶状体吸收剂量的替代转换系数。

2 ICRP 第 103 号出版物防护量和 ICRU 第 39/51 号报告实用量

2.1 防护量

放射防护要求对人体所受电离辐射照射的程度进行量化。为此，国际放射防护委员会（ICRP）制定了一套防护量：器官/组织的平均吸收剂量 D_T 、器官/组织当量剂量 H_T 和有效剂量 E 。这些防护量用于实施剂量限值 and 防护最优化原则。ICRP 2007 年建议书发布了这些防护量的最新定义（2007 年）。

ICRP 防护量中的有效剂量 E ，被认为是控制辐射随机性效应的单一风险相关量，它适用于在相同照射条件下的所有受照人员，不受性别和受照人员其他个体特征的影响。此外，有效剂量的概念也适用于摄入放射性核素导致的内照射情况。

当吸收剂量超过几百毫戈瑞时，便需关注可能出现的组织反应（确定性效应），并评估某些组织和器官的吸收剂量（Harrison 等，2016 年；ICRP，2007 年；2012 年）。为了防止眼晶状体和局部皮肤损伤，ICRP 设定了特定的器官当量剂量限值（2007 年）。

ICRP 与国际辐射单位与测量委员会（ICRU）联合发布的 ICRP 第 116 号出版物（2010 年），提供了一整套从粒子注量到防护量的转换系数，相较于以往联合发布的出版物（ICRP，1996 年；ICRU，1998 年），其覆盖的辐射类型和粒子能量范围更广。ICRP 第 116 号出版物中的防护量转换系数取代了既往发布的数值。

2.2 实用量的目的

防护量是与人体相关的量，定义为器官和组织的平均值，以及这些平均值的加权求和。这些量不是在某一点上定义的，而是针对扩展场定义的，因此实践中无法对其进行直接测量。因此，防护量是不能直接用作测量和监测辐射照射的量。

在本报告中，ICRU 建议了一套全新的实用量，用于补充不同照射情况下的防护量。实用量的作用是提供防护量的可接受估计，用于防护控制措施和最优化的预期规划，以及对遵守法规限值的回顾性评估。

(1) 在放射防护控制措施规划和防护最优化中的预测性应用。

① 在计划照射和现存照射情况下，提供周围剂量和周围剂量率、眼晶状体和局部皮肤的定向吸收剂量和吸收剂量率的预测估计值。此类估计包括从简单的计算到复杂的蒙特卡罗辐射输运模拟计算的结果。

② 使用根据周围剂量率或定向剂量率校准的场所监测仪器，或在某些情况下使用根据实用量周围剂量校准的个人剂量计，对工作场所或环境中眼晶状体和局部皮肤的周围剂量和定向吸收剂量进行测量评估。

③ 在计划照射和现存照射情况下，针对受照人员所接受的集体剂量优化工作计划和程序。

(2) 回顾性应用，以确定是否对工作人员的辐射危害进行了有效控制，并符合法定限值。

① 使用根据这些实用量校准的个人剂量计对个人剂量、眼晶状体吸收剂量和人体受到的局部照射剂量进行测量。

② 用于监测天然辐射源和人工辐射源引起的公众辐射照射。如使用场所监测仪器在核设施、医用设施和其他设施外围进行剂量率监测。

对于低于剂量约束值和显著低于剂量限值的剂量，通常可用实用量来代替剂量登记或评估中的防护量（ICRP，2007 年）。只有当剂量接近或超

过剂量约束，才需要更精确的信息以便更好地估计防护量。这需要考虑工作场所、实用量与防护量转换过程中的各种不确定性，以及个人剂量计相对于实用量转换系数的响应特性的缺陷。

2.3 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量

ICRU 第 39/51 号报告中的实用量在 ICRU 第 39 号（1985 年）和第 43 号报告（1988 年）中作了介绍，并在第 51 号报告（1993 年）中进行了修订。ICRU 针对光子和电子的第 43 号和第 47 号报告（1988 年；1992 年）和针对中子的第 66 号报告（2001 年）均提供了关于仪器响应和校准程序的详细信息。在过去 30 年中，许多国家通过放射防护法令和条例将 ICRU 建议的用于外照射测量的实用量引入实践，大多数个人剂量计和场所监测仪器都是根据这些实用量进行校准的。ICRU 第 57 号报告（1998 年）和 ICRP 第 74 号出版物（1996 年）给出了从粒子注量到 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量的转换系数，ICRU 第 66 号报告（2001 年）也给出了适用于能量 10 GeV 以下中子的转换系数。国际标准化组织（见 ISO 8529-3: 1998 年；ISO 6980-3: 2006 年；ISO 4037-3: 2019 年）和 ICRU 第 66 号报告（2001 年）给出了参考校准场中的光子空气比释动能、组织中电子吸收剂量和中子注量的转换系数值。

ICRU 第 39/51 号报告中的实用量体系区分了人员监测实用量（即 *个人剂量当量*）和工作场所或环境监测实用量（即 *定向和周围剂量当量*）。剂量当量定义为组织或器官吸收剂量和辐射品质因子的乘积：

$$H = QD \quad (2.1)$$

吸收剂量 D 是在人体或模体指定深度 d 处评估的，对于全身剂量监测 d 取 10 mm，对于眼晶状体剂量监测 d 取 3 mm，用于局部皮肤剂量监测 d 取 0.07 mm。表示不同辐射生物效应的辐射品质因子 Q 是粒子在水中相互作用

点处传能线密度（LET 或 L_{∞} ）的函数。

个人剂量当量 $H_p(d)$ 在“人体代表性位置”下的指定深度 d 处定义，定向剂量当量 $H'(d, \Omega)$ 和周围剂量当量 $H^*(d)$ 在 ICRU 球中的深度 d 处定义。

定向剂量当量的定义要求在放置测量仪器的关注区域内的辐射场是均匀扩展的。周围剂量当量对扩展和齐向辐射场提出了额外要求，这里将一个点的辐射场扩展为一个入射 ICRU 球表面的场。在实践中，这一定义要求仪器具有各向同性均匀的响应。

表 2.1 概述了定义的实用量及其与防护量的关系。

表 2.1 防护量（ICRP, 2007 年）与 ICRU 第 39/51 号报告建议的实用量之间的关系，本报告第 3 章建议了新的实用量

	全身	眼晶状体	局部皮肤
防护量	有效剂量 E	眼晶状体当量剂量 $H_{T \text{ lens}}$	局部皮肤当量剂量 $H_{T \text{ local skin}}$
实用量			
场所监测	周围剂量当量 $H^*(10)$	定向剂量当量 $H'(3, \Omega)$	定向剂量当量 $H'(0.07, \Omega)$
个人监测	个人剂量当量 $H_p(10)$	个人剂量当量 $H_p(3)$	个人剂量当量 $H_p(0.07)$

在 ICRU/ICRP 联合报告（ICRP, 1996 年；ICRU, 1998 年）中，从辐射场量和剂量学量到实用量的转换系数是在不同的模体中计算得到的，与用于计算防护量转换系数的模体不同（见表 2.2）。ICRU 球用于计算周围剂量当量 $H^*(10)$ 和定向剂量当量 $H'(3)$ 与 $H'(0.07)$ ，而尺寸为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 的 ICRU 组织平板模体用于计算个人剂量当量 $H_p(10)$ 、 $H_p(3)$ 和 $H_p(0.07)$ 。最近，一种尺寸为 $\varnothing 200 \text{ mm} \times 200 \text{ mm}$ 的圆柱状模体用于计算眼晶状体个人剂量当量 $H_p(3)$ ；长度为 300 mm 、直径分别为 73 mm 和 19 mm 的柱状模体和棒状模体用于计算局部皮肤个人剂量当量 $H_p(0.07)$ 。

表 2.2 用于计算从辐射场量（注量，空气比释动能）到防护量（ICRP, 2007）和 ICRU 第 39/51 号报告实用量转换系数的模体

	全身	眼晶状体	局部皮肤
防护量	全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考模体（ICRP, 2009 年）	嵌入全身体模的眼部模型（Behrens 和 Dietze, 2011 年）	100 mm × 100 mm × 100 mm 皮肤组织模体（ICRP, 2010 年）
实用量			
场所监测	ICRU 球，Ø 300 mm	ICRU 球，Ø 300 mm	ICRU 球，Ø 300 mm
个人监测	平板模体， 300 mm × 300 mm × 150 mm	圆柱状模体， Ø 200 mm × 200 mm	平板模体， 300 mm × 300 mm × 150 mm； 柱状模体， Ø 73 mm × 300 mm； 棒状模体， Ø 19 mm × 300 mm

注：用于计算实用量的所有模体均由 ICRU 四元素组织构成。

2.4 ICRU 第 39/51 号报告实用量的局限性

ICRU 第 39/51 号报告定义的一套实用量存在以下几点不一致性和局限性。

（1）由于各自的定义不同，防护量和实用量存在如下不一致。

① 周围剂量当量 $H^*(10)$ 在 ICRU 球内定义，与用于定义防护量有效剂量 E 的参考拟人体模无相似之处。

② 个人剂量当量 $H_p(d)$ 是在人体指定深度 d 处定义的，但转换系数是在平板、圆柱状和棒状的简单几何体中计算得到的。

③ 在 $d=10$ mm 深度某一点处对个人剂量当量和周围剂量当量的评估并不能反映人体不同部位器官（组织）的几何结构复杂性，这在有效剂量 E 的定义和计算中有明确的说明。这导致中子能量在低于 1 MeV 时有效剂量 E 被高估，而能量高于 10 MeV 时有效剂量 E 被逐渐低估（ICRU, 1985 年）。

④ 光子能量较低时（ $E_p < 70$ keV），选择 $d=10$ mm 的深度定义周围剂量当量和个人剂量当量会导致有效剂量被大大高估（见图 2.1）。同时，由于在低能光子条件下表征实用量有高灵敏度的要求，因此难以构建适合于该能量范围的个人剂量计和场所监测仪器。

⑤ 对于能量低于 1 MeV 的电子，实用量 $H'(3)$ 和 $H_p(3)$ 会低估眼晶状

体当量剂量，特别是在考虑晶状体内的辐射敏感部位时。当辐射以倾斜角度入射，以及对于能量更低的辐射时，剂量的低估程度可能会进一步增加（Behrens, 2012 年）。

⑥ 定义辐射品质因子 $Q(L)$ 和辐射权重因子 w_R 的目的是给不同类型的辐射赋予相应的权重，但它们基于定义和测量辐射有效性的不同概念。

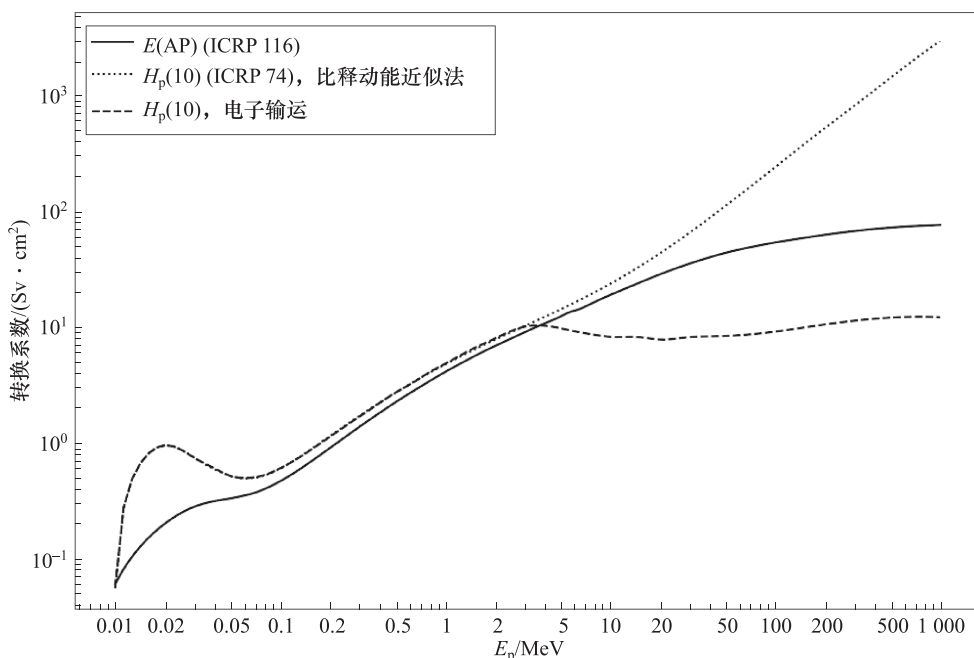


图 2.1 光子剂量-剂量转换系数的比较

实线：前后位照射时有效剂量 E 的转换系数；点虚线：个人剂量当量转换系数， $h_p(10)$ （ICRP, 1996 年；ICRU, 1998 年）；短虚线：使用全电子输运计算的剂量当量转换系数， $h_p(10)$ （目前的计算）。

注：对于能量低于 3 MeV 的光子，点虚线和短虚线重合。在高能光子和低能光子情况下，实用量显示出对防护量的高估和低估。

这些不一致性导致实用量对某些粒子和能量的防护量估计不准确，以及防护量和实用量的转换系数之间普遍存在差异。

（2）ICRP 即将发布的出版物审查了防护量的应用情况，鉴于计算当量剂量时所用的辐射权重因子与随机性效应而非组织反应相关，报告建议使用吸收剂量而非当量剂量来设定限值，以防止眼晶状体和局部皮肤的损伤。

相应的实用量也将基于吸收剂量重新定义。对于防护量和实用量，可酌情采用与特定健康影响相关的吸收剂量的相对生物效应（RBE）进行加权。

（3）采用比释动能近似法计算光子实用量的转换系数（ICRP，1996 年；ICRU，1998 年）。在这一近似方法中，光子转移到靶物质的能量在相互作用处沉积。这种近似忽略了产生的次级电子对能量的进一步传输，但在迄今为止所应用的能量范围内，它仍能够提供可接受的结果，满足放射防护的需求。然而，使用比释动能近似法得到的实用量和防护量之间存在如下差异。

① 对于高能光子（ $d = 10 \text{ mm}$ ， $E_p > 3 \text{ MeV}$ ； $d = 3 \text{ mm}$ ， $E_p > 740 \text{ keV}$ ； $d = 0.07 \text{ mm}$ ， $E_p > 65 \text{ keV}$ ），如果使用比释动能近似法计算个人剂量当量和周围剂量当量，会高估相应的防护量。例如，在光子能量大于 65 keV 时，局部皮肤吸收剂量使用实用量 $H_p(0.07)$ 来估计时会过于保守（即高估），如对于 10 MeV 光子会高估 90 倍（Veinot 和 Hertel，2011 年）。

② 然而，如果光子的个人剂量当量 $H_p(10)$ 和周围剂量当量 $H^*(10)$ 是在产生的电子全输运模式下准确计算，则会导致对有效剂量 E 的逐步低估（见图 2.1）。

ICRU 第 57 号报告（1998 年）和 ICRP 第 74 号出版物（1996 年）仅给出了适用于有限能量范围的光子、中子和电子的实用量转换系数集。在这些转换系数发布时，已经认识到高能辐射的计划照射和现存照射情况在粒子加速器的应用中具有重要意义。此外，高空飞行可能带来多种高能辐射照射，其放射防护也日益成为人们关注的热点（ICRP，2016 年；ICRU，2010 年）。目前，这些行业的设施数量和受照人数已超过核技术应用领域。ICRP 考虑到了这一点，其在 ICRP 第 116 号出版物（2010 年）中提供了更广泛辐射类型和能量范围的有效剂量转换系数。为了确保预测性和回顾性应用的精确性，实用量的粒子类型和能量范围应与防护量的粒子类型和能量范围相匹配。由于实用量和防护量之间的差异，并考虑到其他辐射类型的引入，简单扩展基于 ICRU 第 39/51 号报告定义的 ICRU 第 39、43、47、51 和 66 号报告（ICRU，1985 年；1988 年；1992 年；1993 年；2001 年）的实用量辐射类型和能量范围已不再是一种合适的方法。

3 用于外照射辐射的实用量

3.1 建议实用量的依据

为满足辐射类型和能量范围的扩展需求，并确保与防护量保持良好的近似关系，有必要对实用量的定义方式进行调整。本报告建议将实用量重新定义为空间中或身体表面某一点处的辐射场量或剂量学量与防护量相关转换系数的乘积（Bartlett 和 Dietze，2010 年；Endo，2016 年）。这种方法在既往的研究中已有探讨（例如：Burlin，1981 年；Burlin 和 Wheatley，1971 年；Burlin 等，1979 年；欧洲共同体委员会，1983 年；ICRP 第 15 号出版物，1969 年；ICRP 第 21 号出版物，1973 年；Jahr 等，1981 年；NCRP 第 38 号报告，1971 年；Sidwell 等，1969 年；Siebert 和 Bartlett，1995 年^①）。若存在国际公认模体的转换系数，则这类量便可实际应用。ICRP 和 ICRU 目前已经在 ICRP 第 110 号出版物（2009 年）定义了 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模。这些参考体模不仅可用于确定防护量转换系数的参考值，也可用于定义实用量。本报告提出的实用量简化了防护量和实用量体系，并且有助于放射防护量的理解。

这里定义了一个通用方案，在以下小节中介绍了不同实用量的变化。本报告建议实用量定义为粒子注量或空气比释动能与转换系数的乘积。对于能量为 E_p 的 R 类辐射，当单能粒子注量为 Φ 时，其实用量可以写为：

^① Siebert, B. R. L., and Bartlett, D. J. (1995). 8th Symposium Neutron Dosimetry, Paris. *Personal communication* (Braunschweig, Germany).

$$H_R = h_R(E_p) \cdot \Phi_R \quad (3.1)$$

其中, H_R 表示 R 类辐射的通用实用量。辐射场中实用量的数值可以通过辐射场量(在本例中为注量 Φ) 与转换系数 h_R 相乘得到。一般情况下, 辐射场是多方向的且具有能量分布, 因此该表达式应在注量的能量和方向分布上进行积分:

$$H_R(\Omega) = \int h_R(E_p, \Omega) \Phi_R(E_p, \Omega) dE_p \quad (3.2)$$

特定方向入射粒子的转换系数 h_R , 就是在全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模或其他专用体模中评估的剂量值与该处没有放置体模时粒子注量的商, 即

$$h_R(E_p, \Omega) = \frac{H_R(E_p, \Omega)}{\Phi_R(E_p, \Omega)} \quad (3.3)$$

这一定义产生的结果如下。

① 在图 1.2 中展示的放射防护量和实用量具有类似的体系。

② 除局部皮肤吸收剂量外, 使用与防护量相同的模体计算实用量的转换系数。在 ICRP 第 110 号出版物(2009 年) 和第 116 号出版物(2010 年) 中描述了拟人全身体模和眼晶状体模型。

③ 实用量的定义与防护量紧密相关。对于某些粒子能量和入射角度的组合, 实用量与防护量的数值是相等的。

上述定义对防护量和实用量采用了相同的模体、相同的权重因子和相同的计算模型, 因此确保了在特定辐射类型、能量和入射方向的条件下载(防护量和实用量) 的一致性及其数值的近似。如前所述, 光子的转换系数也可以用空气比释动能代替粒子注量来定义。

3.2 周围剂量

辐射场某点处的周围剂量 H^* 是该点粒子注量 Φ 与转换系数 h^* 的乘积, 该系数将粒子注量与各种照射条件下的有效剂量最大值 E_{\max} 关联起来。

对于动能为 E_p 的第 i 类粒子, 其转换系数 $h_i^*(E_p) = E_{\max, i}(E_p) / \Phi_i(E_p)$ 是

针对均匀平行宽束入射到全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模 (ICRP, 2009 年) 中计算得到的。对于光子和中子, 照射几何条件包括前-后 (AP)、后-前 (PA)、左侧 (LLAT)、右侧 (RLAT)、旋转 (ROT)、各向同性 (ISO)、上半身半各向同性 (SS-ISO) 和下半身半各向同性 (IS-ISO) 场; 对于电子、正电子、 μ 子和 π 子, 照射几何条件有 AP、PA、ISO、SS-ISO 和 IS-ISO; 对于 He^{2+} 离子, 照射几何条件包括 AP、PA 和 ISO (见图 3.1)。

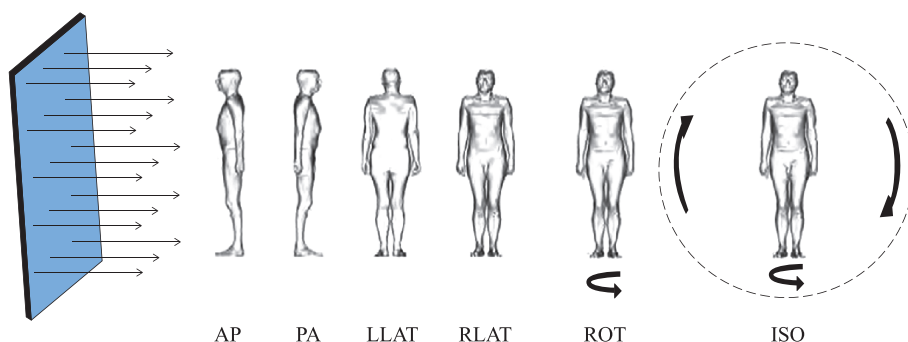


图 3.1 ICRP 第 116 号出版物考虑的理想化照射几何条件示意图

注: AP: 前-后; PA: 后-前; LLAT: 左侧; RLAT: 右侧;
ROT: 旋转; ISO: 各向同性。

对于第 i 类粒子的分布, 有:

$$H_i^* = \int h_i^*(E_p) \left[\frac{d\Phi_i(E_p)}{dE_p} \right] dE_p \quad (3.4)$$

其中, $d\Phi_i(E_p)/dE_p$ 是能量在 E_p 附近 dE_p 间隔内的粒子注量。对所有类型辐射求和可得:

$$H^* = \sum H_i^* \quad (3.5)$$

周围剂量的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$, 专用名称为希沃特 (Sv)。

3.3 周围剂量率

周围剂量率 \dot{H}^* 是 dH^* 除以 dt 的商, 其中 dH^* 是指在时间间隔 dt 内周围

剂量的增量，因此：

$$\dot{H}^* = \frac{dH^*}{dt} \quad (3.6)$$

周围剂量率的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，专用名称为希沃特每秒（ $\text{Sv} \cdot \text{s}^{-1}$ ）。

3.4 眼晶状体定向吸收剂量

在辐射场中具有特定入射方向 Ω 的某点上，眼晶状体定向吸收剂量 $D'_{\text{lens}}(\Omega)$ 是该点处粒子注量 $\Phi(\Omega)$ 与转换系数 $d'_{\text{lens}}(\Omega)$ 的乘积，该转换系数建立了粒子注量与眼晶状体吸收剂量之间的联系。

对于给定的动能为 E_p 的第 i 类粒子，转换系数 $d'_{\text{lens},i}(E_p, \Omega) = D'_{\text{lens},i}(E_p, \Omega) / \Phi_i(E_p, \Omega)$ 是沿 Ω 方向入射的均匀平行宽束照射人眼模型和全身体模（Behrens 和 Dietze，2011 年；ICRP，2010 年）情况下计算得到的。对于给定的 Ω ，计算中取右眼或左眼晶状体中吸收剂量的最大值（见图 3.2）。

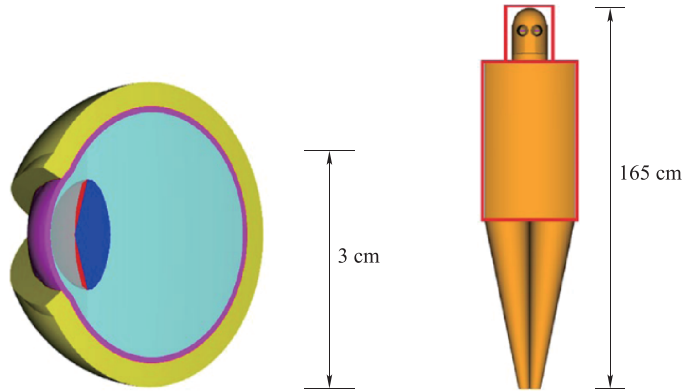


图 3.2 人眼模型的详细视图（左：放射敏感部位 [红色] 和晶状体的其余部分 [深蓝色]；有关材料和构造的详细信息，请参阅 Behrens，2017 年 a）和用于计算的包括双眼的完整模体（右）。均匀平行宽束照射头部和躯干部位（右侧的红框部分）。

对于具有能量分布的第 i 类粒子，有：

$$D'_{\text{lens},i}(\Omega) = \int d'_{\text{lens},i}(E_p, \Omega) \left[\frac{d\Phi_i(E_p, \Omega)}{dE_p} \right] dE_p \quad (3.7)$$

其中， $d\Phi_i(E_p, \Omega)/dE_p$ 是沿 Ω 方向入射，且动能在 E_p 附近 dE_p 间隔内的粒子注量。对沿 Ω 方向所有 i 类粒子求和可得：

$$D'_{\text{lens}}(\Omega) = \sum D'_{\text{lens},i}(\Omega) \quad (3.8)$$

眼晶状体定向吸收剂量单位为 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，其专用名称是戈瑞（Gy）。

入射方向 Ω 的指定需要一个参考坐标系。对于场所监测量而言，该参考坐标系应与确定实用量的辐射场建立关联。在单向场这一特殊情况下，方向可与该方向 Ω_0 之间的夹角 φ 相关，即与程式化眼部模体的前-后（AP）位夹角相关。当 $\varphi = 0^\circ$ 时，使用该指定方向进行测量的关注点处的 $D'_{\text{lens}}(\Omega)$ 值应表示为 D'_{lens} 。

3.5 眼晶状体定向吸收剂量率

眼晶状体定向吸收剂量率 $\dot{D}'_{\text{lens}}(\Omega)$ 是 $dD'_{\text{lens}}(\Omega)$ 除以 dt 的商，其中 $dD'_{\text{lens}}(\Omega)$ 是在时间间隔 dt 内眼晶状体定向吸收剂量的增量，因此有：

$$\dot{D}'_{\text{lens}}(\Omega) = \frac{dD'_{\text{lens}}(\Omega)}{dt} \quad (3.9)$$

眼晶状体定向吸收剂量率的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，专用名称为戈瑞每秒（ $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ ）。

3.6 局部皮肤定向吸收剂量

局部皮肤定向吸收剂量 $D'_{\text{local skin},i}(\Omega)$ ，是在辐射场中特定入射方向为 Ω 的某点处的粒子注量 Φ 与转换系数 $d'_{\text{local skin}}(\Omega)$ 的乘积， $d'_{\text{local skin}}(\Omega)$ 建立了粒子注量与局部皮肤吸收剂量数值之间的联系。

对于动能为 E_p 的第 i 类粒子，转换系数 $d'_{\text{local skin},i}(E_p, \Omega) = D'_{\text{local skin},i}(E_p, \Omega) / \Phi(E_p, \Omega)$ 是在沿 Ω 方向入射的均匀平行宽束照射情况下计算得到的。计算该转换系数需在上述照射条件下采用一个特定模型（由 ICRU 四元素组织构成，密度 $\rho = 1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ，尺寸为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 148 \text{ mm}$ 的平板），其前表面覆有一层厚度为 2 mm 、密度为 $1.09 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ （ICRP，2009 年）的皮肤，其元素组成可参考 ICRP 第 89 号出版物（2002 年）。吸收剂量在一个圆柱状体积内取平均值得到的，该圆柱状体的中心轴垂直于 $50 \mu\text{m}$ 和 $100 \mu\text{m}$ 深度之间的表面，横截面积为 1 cm^2 （见图 3.3）。

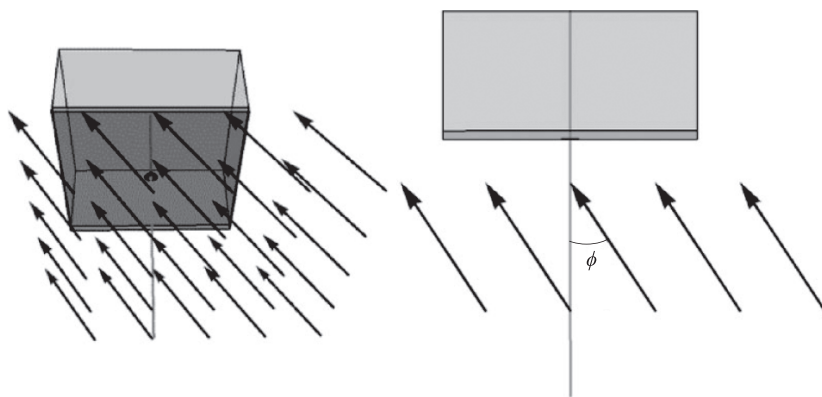


图 3.3 平板模体的几何示意图

注：左：等距视图。右：俯视图。为了便于观察，表皮层厚度和圆形目标体积直径都已扩大。

对于具有能量分布的第 i 类粒子，有：

$$D'_{\text{local skin},i}(\Omega) = \int d'_{\text{local skin},i}(E_p, \Omega) \left[\frac{d\Phi_i(E_p, \Omega)}{dE_p} \right] dE_p \quad (3.10)$$

其中， $d\Phi_i(E_p, \Omega) / dE_p$ 为沿 Ω 入射方向，且动能在 E_p 附近 dE_p 间隔内的粒子注量。对沿 Ω 方向所有 i 类粒子求和可得：

$$D'_{\text{local skin}}(\Omega) = \sum D'_{\text{local skin},i}(\Omega) \quad (3.11)$$

入射方向 Ω 的指定需要一个参考坐标系。对于场所监测量而言，该参

坐标系应能与确定实用量的辐射场建立关联。在单向场的特定情况下，该方向可以和入射方向与垂直于平板模体前表面 Ω_0 之间的夹角 φ 相关。当 $\varphi=0^\circ$ 时，即垂直入射时，使用该指定方向进行测量的关注点处的 $D'_{\text{local skin}}(\Omega)$ 值应写为 $D'_{\text{local skin}}$ 。局部皮肤定向吸收剂量的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，专用名称为戈瑞（Gy）。

3.7 局部皮肤定向吸收剂量率

局部皮肤定向吸收剂量率 $\dot{D}'_{\text{local skin}}(\Omega)$ 是 $dD'_{\text{local skin}}(\Omega)$ 除以 dt 的商，其中 $dD'_{\text{local skin}}(\Omega)$ 是局部皮肤定向吸收剂量在时间间隔 dt 内的增量，因此有：

$$\dot{D}'_{\text{local skin}}(\Omega) = \frac{dD'_{\text{local skin}}(\Omega)}{dt} \quad (3.12)$$

局部皮肤定向吸收剂量率的单位是 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ，专用名称为戈瑞每秒（ $\text{Gy} \cdot \text{s}^{-1}$ ）。

3.8 个人剂量

人体某一点的个人剂量 H_p 是该点粒子注量 Φ 和转换系数 h_p 的乘积，该系数建立了粒子注量与有效剂量 E 之间的联系。

对于动能为 E_p 沿 Ω 方向入射的第 i 类粒子，其转换系数 $h_{p,i}(E_p, \Omega) = E_i(E_p, \Omega) / \Phi_i(E_p, \Omega)$ 是在均匀平行宽束照射全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模（ICRP，2009 年）情况下计算得到的。

坐标系采用以人体中点为中心的右手正交坐标系，其中 x 轴从后到前， y 轴从右到左， z 轴从脚趾到头部。照射方向角 Ω 是根据分向量 θ 和 φ 定义的，其中 θ 是相对于 z 轴的夹角（沿头部方向 θ 为零），而 φ 是在 xy 平面上的投影（正 φ 角方向指向身体左侧；见图 3.4）。

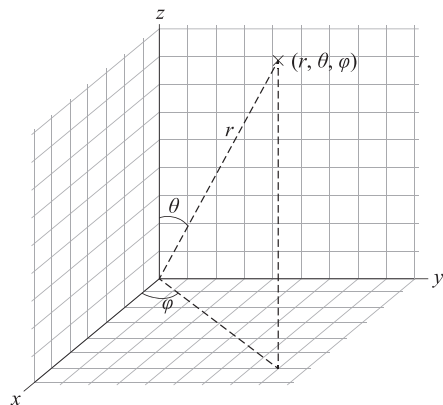


图 3.4 个人剂量的坐标系示意图

对于给定的 Ω ，除了 0° 、 180° 、ROT、ISO、IS-ISO 和 SS-ISO 照射几何条件外，转换系数取从左到右照射所致有效剂量的平均值（见图 3.5）。

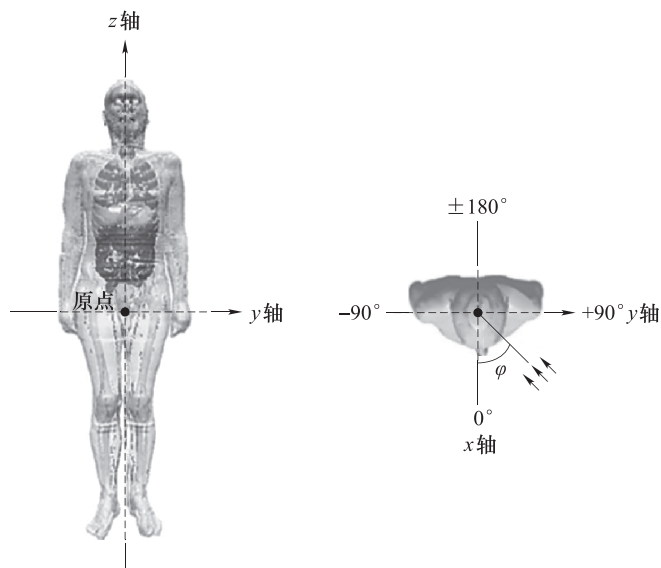


图 3.5 个人剂量的坐标系的原点位于人体的中点

对于第 i 类粒子的分布，有：

$$H_{p,i} = \iint h_{p,i}(E_p, \Omega) \left[\frac{d^2 \Phi_i(E_p, \Omega)}{dE_p d\Omega} \right] dE_p d\Omega \quad (3.13)$$

其中, $d^2\Phi_i(E_p, \Omega)/dE_p d\Omega$ 是在该点处动能在 E_p 附近 dE_p 间隔内、入射方向在 Ω 附近 $d\Omega$ 间隔内的粒子注量。所有类型粒子造成的个人剂量总和为:

$$H_p = \sum H_{p,i} \quad (3.14)$$

个人剂量单位为 $J \cdot kg^{-1}$, 专用名称为希沃特 (Sv)。

3.9 个人眼晶状体吸收剂量

在头部或身体上某一点处的个人眼晶状体吸收剂量 $D_{p \text{ lens}}$ 是入射到该点处粒子注量 Φ 和转换系数 $d_{p \text{ lens}}$ 的乘积。转换系数建立了粒子注量与眼晶状体吸收剂量之间的联系。

对于动能为 E_p 沿 Ω 方向入射的第 i 类粒子, 转换系数 $d_{p \text{ lens},i}(E_p, \Omega) = D_{p \text{ lens},i}(E_p, \Omega) / \Phi_i(E_p, \Omega)$ 是均匀平行宽束照射嵌入全身体模的眼部模型 (Behrens 和 Dietze, 2011 年) 情况下计算得到的。对于给定的方向 Ω , 转换系数取右眼或左眼晶状体吸收剂量的最大值 (图 3.2)。

对于第 i 类粒子的分布, 有:

$$D_{p \text{ lens},i} = \iint d_{p \text{ lens},i}(E_p, \Omega) \left[\frac{d^2\Phi_i(E_p, \Omega)}{dE_p d\Omega} \right] dE_p d\Omega \quad (3.15)$$

其中, $d^2\Phi_i(E_p, \Omega)/dE_p d\Omega$ 是动能在 E_p 附近 dE_p 间隔内、入射方向在 Ω 附近 $d\Omega$ 间隔内的粒子注量。所有类型粒子造成的个人眼晶状体吸收剂量总和为:

$$D_{p \text{ lens}} = \sum D_{p \text{ lens},i} \quad (3.16)$$

个人眼晶状体吸收剂量单位为 $J \cdot kg^{-1}$, 专用名称为戈瑞 (Gy)。

对于躯干受照情况, 采用的是与 H_p 相同的右手正交坐标系。尽管该坐标系与 ICRP 第 116 号出版物 (2010 年) 中使用的 Behrens-Dietze 模型在计算方法上有所不同, 但这并不影响数值结果。

3.10 个人局部皮肤吸收剂量

个人局部皮肤吸收剂量 $D_{\text{p local skin}}$ 是入射到躯干或四肢上的粒子注量 Φ 和转换系数 $d_{\text{p local skin}}$ 的乘积，该系数建立了粒子注量与局部皮肤吸收剂量之间的联系。

对于动能为 E_p 沿 Ω 方向入射的第 i 类粒子，转换系数 $d_{\text{p local skin},i}(E_p, \Omega) = D_{\text{p local skin},i}(E_p, \Omega) / \Phi_i(E_p, \Omega)$ 是均匀平行宽束照射指定模体计算得到的。对于后文所述不同尺寸的模体，有一层厚度为 2 mm、密度为 $1.09 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的皮肤覆盖层（ICRP，2009 年），元素组成见 ICRP 第 89 号出版物（2002 年）。局部皮肤模体如下：

（1）躯干：在尺寸为 $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 148 \text{ mm}$ 的 ICRU 四元素组织（ $\rho = 1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）平板前表面中心下方覆盖一层 2 mm 厚的皮肤。吸收剂量是在一个圆柱状体积上取平均值。圆柱状体中心轴垂直于 50 μm 和 100 μm 深度之间的表面，横截面积为 1 cm^2 （图 3.3）。

（2）四肢：在直径为 69 mm、长度为 300 mm 的 ICRU 四元素组织（在本例中密度取 $1.11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）的柱状表面一半长度处覆盖一层 2 mm 厚的皮肤。吸收剂量是在面积为 1 cm^2 的圆垂直投影于半径 36.4 mm 和 36.45 mm 圆柱表面间的体积上取平均值（见图 3.6）。

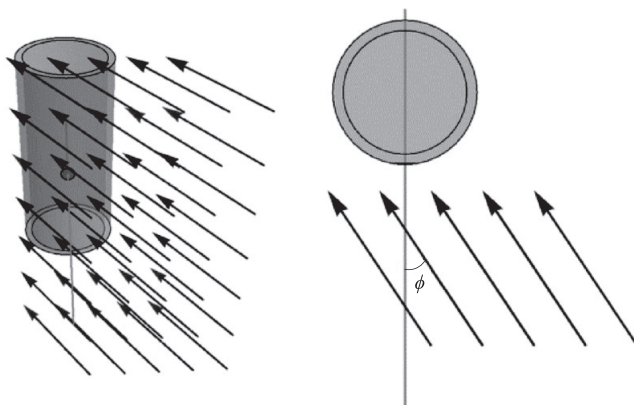


图 3.6 圆柱状模体的几何示意图（不按比例）

注：左：等距视图。右：俯视图。为了便于观察，表皮层厚度和圆形目标体积直径都已扩大。

(3) 手指：在直径为 15 mm、长度为 300 mm 的 ICRU 四元素组织（在本例中密度取 $1.11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ）的棒状圆柱形表面一半长度处覆盖有一层 2 mm 厚的皮肤。吸收剂量在面积为 1 cm^2 的圆垂直投影于半径 9.4 mm 和 9.45 mm 圆柱表面间的体积上取平均值（见图 3.6）。

对于平板模体， θ 是相对于表面法线的射线入射角，而 φ 是方位角。对于圆柱状几何体，入射角 θ 、 φ 是相对于圆柱体轴线而言的。

对于第 i 类粒子的分布，有：

$$D_{\text{p local skin},i} = \iint d_{\text{p local skin},i}(E_p, \Omega) \left[\frac{d^2 \Phi_i(E_p, \Omega)}{dE_p d\Omega} \right] dE_p d\Omega \quad (3.17)$$

其中， $d^2 \Phi_i(E_p, \Omega) / dE_p d\Omega$ 是动能在 E_p 附近 dE_p 间隔内、入射方向在 Ω 附近的 $d\Omega$ 间隔内的粒子注量。所有类型粒子造成的个人局部皮肤吸收剂量总和为：

$$D_{\text{p local skin}} = \sum D_{\text{p local skin},i} \quad (3.18)$$

个人局部皮肤吸收剂量单位为 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，专用名称为戈瑞（Gy）。

3.11 小结

表 3.1 给出了防护量和本报告建议实用量之间的关系。表 3.2 描述了用于计算建议实用量转换系数的模体。

表 3.1 防护量与建议实用量之间的关系

	全身	眼晶状体	局部皮肤
防护量	有效剂量 E	眼晶状体当量剂量 $H_{\text{T lens}}$	局部皮肤当量剂量 $H_{\text{T local skin}}$
实用量			
场所监测	周围剂量 H^*	眼晶状体定向吸收剂量 $D'_{\text{lens}}(\Omega)$	局部皮肤定向吸收剂量 $D'_{\text{local skin}}(\Omega)$
个人监测	个人剂量 H_p	个人眼晶状体吸收剂量 $D_{\text{p lens}}^*$	个人局部皮肤吸收剂量 $D_{\text{p local skin}}$

* 译者注：原文此处符号为 $D_{\text{p,lens}}$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $D_{\text{p lens}}$ 。

表 3.2 用于计算从场量（注量、空气比释动能）到防护量和
建议实用量转换系数的模体

	全身	眼晶状体	局部皮肤
防护量	全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模 (ICRP, 2009 年)	嵌入全身体模的眼部模型 (Behrens 和 Dietze, 2011 年)	100 mm × 100 mm × 100 mm 的皮肤组织模体 (ICRP, 2010 年)
实用量			
场所监测	全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模	嵌入全身体模的眼部模型	平板模体 ^a 300 mm × 300 mm × 148 mm 的 ICRU 四元素组织, 前表面覆盖 2 mm 皮肤
个人监测	全身 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模	嵌入全身体模的眼部模型	平板模体 ^a 300 mm × 300 mm × 148 mm 的 ICRU 四元素组织, 前表面覆盖 2 mm 皮肤 柱状模体 ^a ∅ 69 mm × 300 mm 的 ICRU 四元素组织, 圆柱状表面覆盖 2 mm ICRP 皮肤 棒状模体 ^a ∅ 15 mm × 300 mm 的 ICRU 四元素组织, 圆柱状表面覆盖 2 mm ICRP 皮肤

^a ICRP 皮肤圆柱体中的刻划线, 横截面积为 1 cm², 轴垂直于表面, 深度为 50~100 μm, 位于模体面的中心。

4 转换系数

4.1 引言

转换系数建立了防护量和实用量与表征辐射场的辐射场量和剂量学量之间的关联。在实践中，外照射防护中通常使用或计算的量是某种辐射的粒子注量 Φ 。对于光子，除了粒子注量外，还使用自由空气比释动能 K_{air} 。

因此，有效剂量 E 可通过适当的转换系数与某一类型粒子的注量关联起来。ICRP 第 116 号出版物（2010 年）提供了一套国际认可的防护量转换系数，可用于职业照射的放射防护。它们是针对真空中均匀平行宽束对人体体模进行全身照射计算得到的，计算时假设了以下职业照射的几何条件：前-后（AP），后-前（PA），左侧（LLAT），右侧（RLAT），旋转（ROT），各向同性（ISO），上半身半各向同性（SS-ISO）和下半身半各向同性（IS-ISO）场。有效剂量的转换系数仅适用于这些理想的照射几何条件。

4.2 概述

本报告的两个目的：一是为克服 ICRU 第 39/51 号报告实用量的局限性而引入外照射防护实用量的通用定义；二是发布根据表征辐射场的物理量来计算实用量的特定转换系数（见附录 A 和附录 C）。

从 ICRU 第 39 号报告（1985 年）建议实用量到 ICRU 第 43 号和第 47 号报告（1988 年；1992 年）发布转换系数，经过了数年时间。此后，又经

过了十多年，ICRU 和 ICRP 联合发布光子、中子和电子的特定转换系数（ICRP，1996 年；ICRU，1998 年）。联合报告编写委员会根据同行评审的期刊和“灰色文献”（通常指研究机构内部出版物和私人通信）中发表的大量转换系数，提出了参考值建议。虽然这些系数是在不同照射几何条件和模体条件下，通过若干数值程序计算得出的，但它们在某些统计不确定度区间内是相互一致的。ICRU 和 ICRP 报告发布的转换系数建议值，是通过综合不同来源的、可比较的数据进行平均和平滑处理获得的。

本报告编写委员会面临的情况则有所不同，实用量的建议和转换系数参考值的公布是同时进行的。报告编写委员会的成员和顾问开展了计算，并基于以下观察结果进行简化。

- 根据定义，从辐射场量和剂量学量到个人剂量和周围剂量的转换系数值，等于粒子特定能量和入射角下有效剂量的转换系数值。这是检验一致性的一种方法。
- 经过几十年的发展和验证，目前有一些通用的蒙特卡罗辐射输运程序可用于此类计算（见附录 B）；在使用了正确的输入参数和合理的程序约束范围情况下，这些程序代表了最先进的计算剂量学。

4.3 转换系数的计算

从辐射场量和剂量学量到实用量的转换系数是通过蒙特卡罗辐射输运程序计算得出的。附录 B 简要描述了所用程序的特点。这些辐射输运程序能够准确模拟模体和辐射场的特性（粒子能量和入射角）。吸收剂量是通过在模体的特定区域内计数得到的，适用时还可通过辐射权重因子和组织权重因子进行加权。因此，技术上完全可以实现第 3 章中定义的各实用量以及从辐射场量或剂量学量到这些实用量的转换系数的计算。通常，选择注量作为计算其他量的基础。对于能量高达 50 MeV 的光子，还额外给出了从空气比释动能计算得到的转换系数。转换系数的计算是在真空中采用均

匀平行宽束照射模体，某些情况下还适用旋转和各向同性场。

为了指定入射方向 Ω ，需要规定一个参考坐标系。对于确定定向吸收剂量的场所监测仪器的响应，该参考坐标系与仪器受照的辐射场相关。对于用于确定个人剂量、眼晶状体和局部皮肤吸收剂量的个人剂量计，这个参考坐标系与身体、头部、眼睛和四肢相关。

本报告中所有的计算均采用了次级粒子的全输运模拟。根据相关量和粒子类型，在高能情况下，模体计数区域的辐射场不满足带电粒子的平衡条件。用于光子监测的个人剂量计和场所监测仪器通常是在建立带电粒子平衡的体系中进行校准的。为使计算结果与带电粒子平衡状态下的数值更为接近，采用比释动能近似法计算了光子的附加转换系数。

附录 A 按物理量、粒子类型、能量和入射角给出了转换系数集的结果。

4.3.1 周围剂量转换系数的计算

从粒子注量到周围剂量的转换系数 h^* 值的计算，是 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模在均匀平行宽束以及旋转和各向同性场共 8 种照射几何条件全身照射情况下得到有效剂量 E 最大值的转换系数。8 种照射几何条件如 ICRP 第 116 号出版物（2009 年）和图 3.1 所示。

4.3.2 个人剂量转换系数的计算

针对 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模的全身照射，计算了从粒子注量到个人剂量转换系数 $h_p(\varphi)$ 的值（ICRP，2009 年）。

本报告给出的针对特定角度 φ （见图 3.5）均匀平行宽束入射的转换系数，是从 0° （AP）到 90° 计算的，每隔 15° 计算一次，取左右照射的平均值；同时还计算了 180° 、旋转、各向同性、上半身半各向同性和下半身半各向同性等照射几何条件的转换系数。

附录 A.2 中的转换系数是根据 ICRP 第 116 号出版物（2010 年）和 Endo

(2017 年)^①的计算得出的, 其中角度 φ 为 0° 、 180° 、 $+90^\circ$ 和 -90° 的个人剂量转换系数 $h_p(\varphi)$ 在数值上分别与照射几何条件为 AP、PA、LLAT 和 RLAT 的有效剂量转换系数相同。ICRP 第 116 号出版物未提供的照射几何条件的转换系数取自 Endo 的计算^①(2017 年)。ICRP 第 116 号出版物与 Endo 计算结果之间的数值一致性已得到研究验证(Endo, 2017 年)。对于光子和质子, 本报告计算结果与 ICRP 第 116 号出版物(2010 年)计算结果之间的差异小于 2%; 对于电子、正电子、 μ 子、 π 子和氦离子, 差异小于 5%; 对于中子, 在大多数能量下差异小于 5%, 在一些能量下差异小于 10%。

4.3.3 眼晶状体吸收剂量转换系数的计算

对于相同的粒子类型、能量和方向或入射角度, 从粒子注量到眼晶状体定向吸收剂量的转换系数 d'_{lens} 与从注量到个人眼晶状体吸收剂量的转换系数 $d_{\text{p lens}}$ 在数值上是相同的, 在附录 A.3 中用符号 d_{lens} 表示。

针对特定照射几何条件下全身照射的程式化眼部模型(Behrens 和 Dietze, 2011 年), 给出了眼晶状体吸收剂量的转换系数; 在均匀平行宽束照射情况下, 入射角度 φ 从 0° (AP)到 $\pm 90^\circ$, 每隔 15° 计算一次, 见图 3.2。无论是右侧还是左侧照射或旋转照射, 报告给出的都是吸收剂量的最大值。对于旋转场, 每隔 5° 计算一次。

4.3.4 局部皮肤吸收剂量转换系数的计算

对于相同类型、能量和方向或角度的粒子入射到特定的模体, 从粒子注量到局部皮肤定向吸收剂量的转换系数 $d'_{\text{local skin}}$ 与从粒子注量到个人局部皮肤吸收剂量的转换系数 $d_{\text{p local skin}}$ 在数值上是相同的。在附录 A.4 中用符号 $d_{\text{local skin}}$ 表示。

除在平板模体上法向入射的 α 粒子外, 为所有粒子在以下特定照射几何条件下计算了转换系数 $d'_{\text{local skin}}$ 。

^① Endo, A. (2016). *Personal communication*. (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

- 躯干照射：在尺寸为 $300\text{ mm} \times 300\text{ mm} \times 148\text{ mm}$ 的 ICRU 四元素组织 ($\rho = 1.0\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 平板模体前表面中心覆盖一层 2 mm 厚的皮肤 ($\rho = 1.09\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) (ICRP, 2009 年), 元素组成见 ICRP 第 89 号出版物 (2002 年)。吸收剂量是在一个圆柱状体积上取平均值, 圆柱体中心轴垂直于 $50\text{ }\mu\text{m}$ 和 $100\text{ }\mu\text{m}$ 深度之间的表面, 横截面积为 1 cm^2 , 角度 φ 从 0° (AP) 到 75° , 每隔 15° 计算一次, 得到正圆柱体内的剂量平均值 (见图 3.3)。

- 四肢照射：在一个直径 69 mm 、长度 300 mm 的 ICRU 四元素组织柱状模体 (考虑到内部结构, $\rho = 1.11\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 表面的一半长度处覆盖一层 2 mm 厚的皮肤。吸收剂量在面积为 1 cm^2 的圆垂直投影于半径 36.4 mm 和 36.45 mm 圆柱表面间的体积上取平均值, 角度 φ 从 0° 到 180° , 每隔 15° 计算一次, 或以旋转照射几何方式计算 (见图 3.6)。

- 手指照射：在直径为 15 mm 、长度为 300 mm 的 ICRU 四元素组织 (这种情况下密度取为 $1.11\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) 棒状圆柱体表面的一半长度处覆盖一层 2 mm 厚的皮肤。吸收剂量在面积为 1 cm^2 的圆垂直投影于半径 9.4 mm 和 9.45 mm 圆柱表面间的体积上取平均值, 角度 φ 从 0° 到 180° , 每隔 15° 计算一次, 或以旋转照射几何方式计算 (见图 3.6)。

表 A.4.5 和图 A.4.5 给出了 α 粒子的转换系数, 该系数是针对深度在 $50\text{ }\mu\text{m}$ 和 $100\text{ }\mu\text{m}$ 之间圆柱状体积和密度为 $1\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的 ICRU 四元素组织构成的 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 模体的前表面中心处 10 mm^2 横截面积进行计算的。该模体无 2 mm 厚皮肤层 (ICRP, 2010 年)。

4.4 建议值与 ICRU 第 39/51 号报告实用量的比较

4.4.1 总论

本节分析了特定照射几何条件下本报告中的建议值与 ICRU 第 39/51 号报告中的转换系数之间的能量依赖性差异。本节还重点强调了它们之间的

变化，并指出了在应用实用量时需要进一步研究的具体领域。

ICRU 第 57 号报告（1998 年）和 ICRP 第 74 号出版物（1996 年）已经注明，光子的 $H^*(10)$ 和 $H_p(10)$ 以及 $H'(0.07)$ 和 $H_p(0.07)$ 的转换系数数值是用比释动能近似法计算的。ICRU 和 ICRP 指出，在使用这些值时必须谨慎。能量为 3 MeV、740 keV 和 65 keV 的电子在人体组织中的射程分别为 10 mm、3 mm 和 0.07 mm。在这些能量之上，在真空中照射 ICRU 球或物体时分别计算 $H^*(10)$ 和 $H_p(10)$ 、 $H'(3)$ 和 $H_p(3)$ ，以及 $H'(0.07)$ 和 $H_p(0.07)$ 不满足带电粒子平衡条件（Daures 等，2011 年；Dimbylow 和 Francis，1983 年；1984 年；Ferrari 和 Pelliccioni，1994 年；1995 年）。ICRP 第 116 号出版物（2010 年）中，各种粒子从注量到防护量的转换系数是利用辐射场的全输运计算得到的。先前的实用量 *周围剂量当量* 转换系数包括 ICRP 第 116 号出版物（2010 年）中的图表也使用了次级粒子的全输运计算。

在某些情况下，无法获得之前定义的量的转换系数，因此也就未进行比较。为了比较眼晶状体吸收剂量的转换系数，本报告采用了柱状模体中的 $H_p(3)$ 值。

在下文中，以根据 ICRU 第 39/51 号报告定义的转换系数值与本报告建议值的比值形式给出了图形比较。本报告第 4 章节及附录图中所用的符号的定义见表 4.1。

表 4.1 第四章及附录中用到的转换系数符号

符号	物理本征	转换系数的名称
h^*	H^* / Φ	注量到周围剂量
$h^*(10)$	$H^*(10) / \Phi$	注量到 <i>周围剂量当量</i>
$h_p(\varphi)$	$H_p(\varphi) / \Phi$	注量到个人剂量
$h_p(10, \varphi)$	$H_p(10, \varphi) / \Phi$	注量到 <i>个人剂量当量</i> （10 mm 深度处）
$d'_{\text{lens}}(\varphi)$	$D'_{\text{lens}}(\varphi) / \Phi$	注量到眼晶状体定向吸收剂量
$h'(3, \varphi)$	$H'(3, \varphi) / \Phi$	注量到 <i>定向剂量当量</i> （3 mm 深度处）
$d_{\text{p lens}}(\varphi)$	$D_{\text{p lens}}(\varphi) / \Phi$	注量到个人眼晶状体吸收剂量
$h_p(3, \varphi)$	$H_p(3, \varphi) / \Phi$	注量到 <i>个人剂量当量</i> （3 mm 深度处）

续表

符号	物理本征	转换系数的名称
$d'_{\text{local skin}}(\varphi)$	$D'_{\text{local skin}}(\varphi) / \Phi$	注量到局部皮肤定向吸收剂量
$h'(0.07, \varphi)$	$H'(0.07, \varphi) / \Phi$	注量到定向剂量当量 (0.07 mm 深度处)
$d_{\text{p local skin}}(\varphi)^*$	$D_{\text{p local skin}}(\varphi) / \Phi$	注量到个人局部皮肤吸收剂量
$h_{\text{p}}(0.07, \varphi)$	$H_{\text{p}}(0.07, \varphi) / \Phi$	注量到个人剂量当量 (0.07 mm 深度处)

ICRU 第 39/51 号报告实用量名称为斜体。

4.4.2 周围剂量和个人剂量

在能量和入射角度相等时，周围剂量和个人剂量的数值与有效剂量的特定值相同。因此，ICRU 第 39/51 号报告中的量与建议实用量的比较相当于与防护量的比较。周围剂量转换系数的数值列于附录 A.1，个人剂量转换系数的数值列于附录 A.2。

由图 4.1～图 4.3 中可看出，ICRU 第 39/51 号报告中的*周围剂量当量*和*个人剂量当量*明显高估了能量低于 70 keV 光子的有效剂量。*个人剂量当量*和*周围剂量当量*是在 10 mm 深度，而有效剂量是整个模体的加权平均值，低于此能量的光子不会穿透很远。在能量分布的另一端，当能量超过 3 MeV 时，可以看到这些量逐渐低估了光子的有效剂量 (Pelliccioni, 1998 年; 2000 年)，因为在 10 mm 的深度只有部分累积，而在拟人体模的其他部位有更多累积。ICRU 第 39 号报告 (1985 年) 选择在组织中 10 mm 深度处评估剂量当量，以近似表示人体器官和组织的最大剂量当量，导致*周围剂量当量*和*个人剂量当量*高估了 100 keV 和 3 MeV 能量范围内的有效剂量。在 3 MeV 和 10 MeV 能量范围内，ICRP 第 74 号出版物 (1996 年) 和 ICRU 第 57 号报告 (1998 年) 采用比释动能近似法计算*周围剂量当量*和*个人剂量当量*的转换系数，人为地使能量在 10 mm 深度处充分累积，使得与光子和电子贡献之和的量值更接近于有效剂量的计算结果。

* 译者注：原文此处符号为 $d'_{\text{local skin}}(\varphi)$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)$ 。

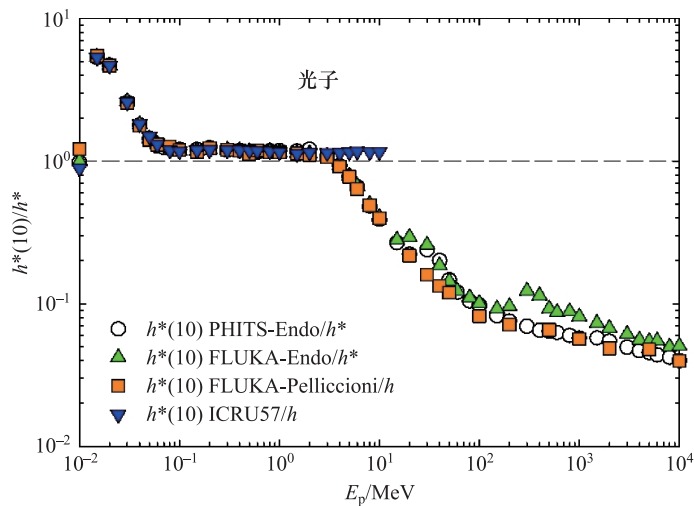


图 4.1 入射光子在 10 mm 深度处从注量到周围剂量当量的转换系数 $h^*(10)$ 的比较，显示为其与建议值 h^* 的比值

注： $h^*(10)$ 计算采用的不同程序：Endo^①采用 PHITS 和 FLUKA，Pelliccioni（2000 年）采用 FLUKA，ICRU 第 57 号报告（1998 年）采用比释动能近似法。

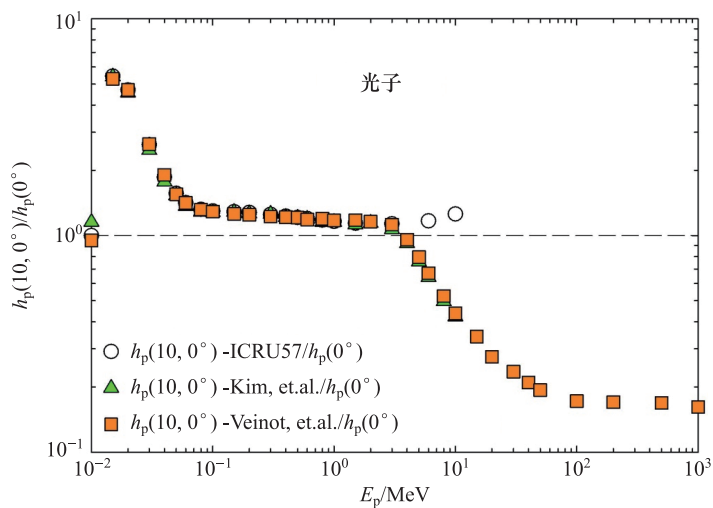


图 4.2 入射光子在 10 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(10,0^\circ)$ 的比较，显示为与建议值 $h_p(0^\circ)$ 的比值

注： $h_p(10,0^\circ)$ 计算采用的不同程序：Kim 和 Kim（1999 年），Veinot 和 Hertel（2011 年），ICRU 第 57 号报告（1998 年）采用比释动能近似法。

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

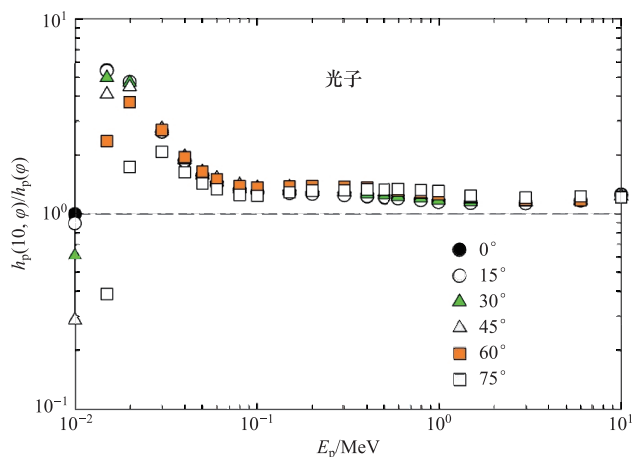


图 4.3 入射光子在 10 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(10, \varphi)$ 的比较，数据取自于使用比释动能近似法的 ICRU 第 57 号报告（1998 年），显示为其与建议值 $h_p(\varphi)$ 的比值（Endo, 2017 年）

图 4.4 和 4.5 表明球体或人体中 10 mm 深度处不是估算中子有效剂量的最合适的深度（ICRU, 1985 年）。对能量高于 40 MeV 的中子，ICRU 第 39/51 号报告建议的 $H^*(10)$ 会导致对有效剂量的低估越来越严重。这反映了一个事实，即中子从该能量开始，吸收剂量在组织中 10 mm 深度处的能量累积是不完整的。其他变化是在周围剂量和个人剂量中使用辐射权重因子而非品质因子，以及从 ICRU 球 10 mm 深度处变为拟人体模。

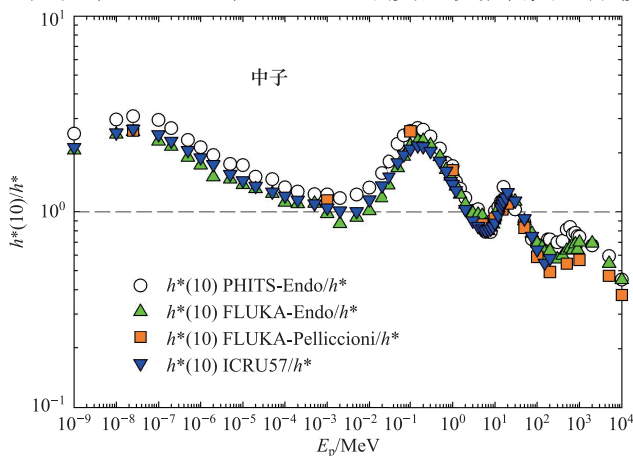


图 4.4 入射中子在 10 mm 深度处从注量到周围剂量当量的转换系数 $h^*(10)$ 的比较，显示为其与建议值 h^* 的比值

注： $h^*(10)$ 计算采用的不同程序：Endo^①采用 PHITS 和 FLUKA，Pelliccioni（2000 年）采用 FLUKA，以及来自 ICRU 第 57 号报告（1998 年）。

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

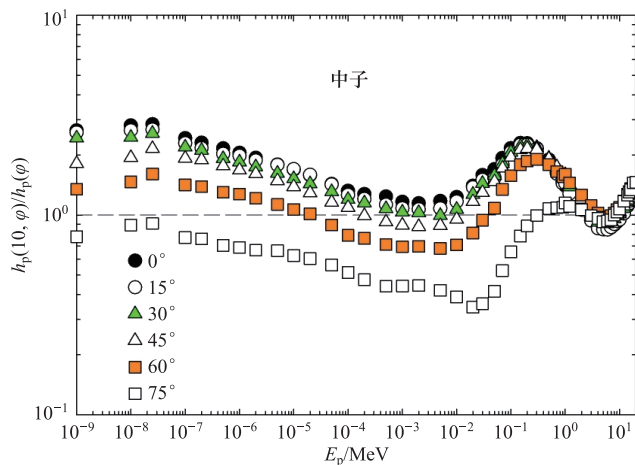


图 4.5 入射中子在 10 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(10, \varphi)$ 的比较，数据取自 ICRU 第 57 号报告（1998 年），显示为其与建议值 $h_p(\varphi)$ 的比值（Endo, 2017 年）

图 4.6~图 4.8 显示，对于电子和正电子，ICRU 第 39/51 号报告的量， $H^*(10)$ 和 $H_p(10)$ ，高估了能量在 3 MeV 和 30 MeV 之间的有效剂量。在电子能量小于 2 MeV 时， $H^*(10)$ 和 $H_p(10)$ 对有效剂量的严重低估是由于电子射程（ $r < 10$ mm）的限制。建议的实用量 H^* 考虑了对皮肤的危害，其对有效剂量贡献的组织权重因子 $w_T = 0.01$ 。对于正电子，在 10 mm 深度处产生的湮灭光子沉积的吸收剂量补偿了初级粒子的有限射程。

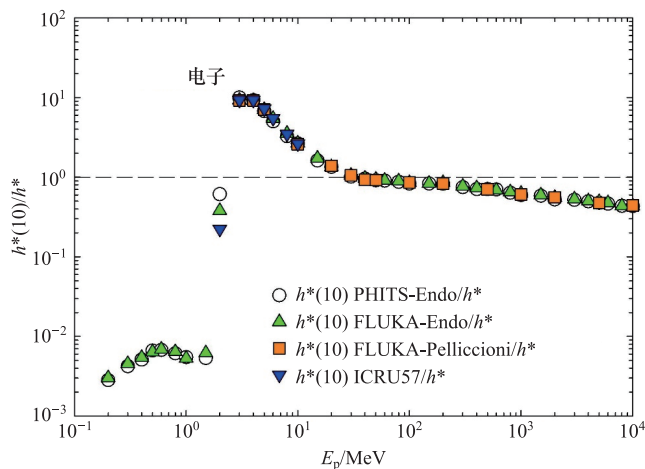


图 4.6 入射电子在 10 mm 深度处从注量到周围剂量当量的转换系数 $h^*(10)$ 的比较，显示为其与建议值 h^* 的比值

注： $h^*(10)$ 计算采用的不同程序：Endo^①采用 PHITS 和 FLUKA，Pelliccioni（2000 年）采用 FLUKA，以及来自 ICRU 第 57 号报告（1998 年）。

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

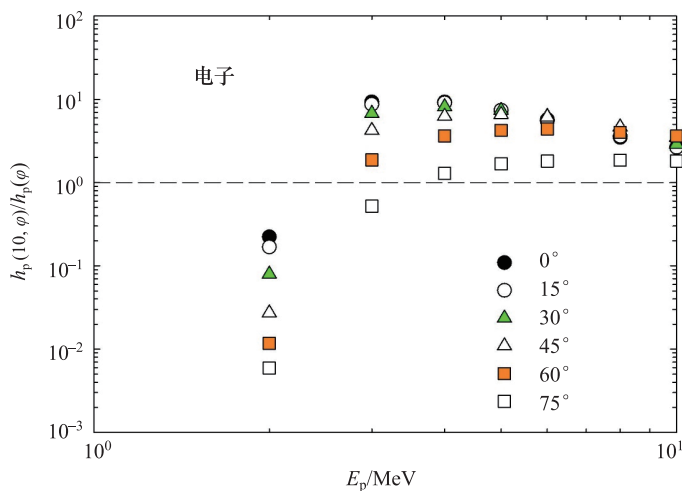


图 4.7 入射电子在 10 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(10, \varphi)$ 的比较，数据取自 Grosswendt 和 Chartier（1994 年）和 ICRU 第 57 号报告（1998 年），显示为其与建议值 $h_p(\varphi)$ 的比值（Endo，2017 年）

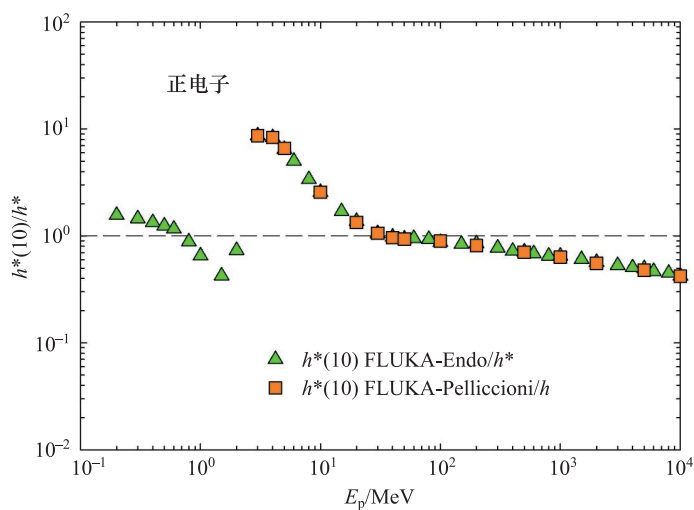


图 4.8 入射正电子在 10 mm 深度处从注量到周围剂量当量的转换系数 $h^*(10)$ 的比较，显示为其与建议值 h^* 的比值

注： $h^*(10)$ 计算采用的不同程序：Endo^①和 Pelliccioni（2000 年）均采用 FLUKA。

图 4.9 显示，能量 $E_p < 80$ MeV 质子的周围剂量当量 $H^*(10)$ 比周围剂量 H^* 高估了，因为在组织中 10 mm 深度处沉积的能量超过了 H^* 和 H_p 所基于的器官中能量沉积的加权平均值。在高于约 100 MeV 的高能情况下，转换

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

系数表现出与中子相同的趋势。

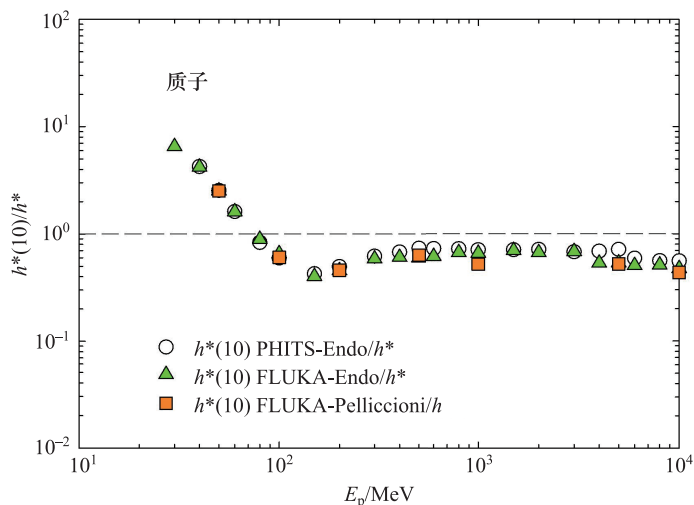


图 4.9 入射质子在 10 mm 深度处从注量到周围剂量当量的转换系数 $h^*(10)$ 的比较，显示为其与建议值 h^* 的比值

注： $h^*(10)$ 计算采用的不同程序：Endo^①采用 PHITS 和 FLUKA，Pelliccioni（2000 年）采用 FLUKA。

4.4.3 眼晶状体定向和个人吸收剂量

对于相同的注量、粒子类型、能量和入射方向，从粒子注量到眼晶状体定向和个人吸收剂量的转换系数数值是相同的。图 4.10～图 4.12 比较了 ICRU 第 39/51 号报告定义的 $H'(3)$ 和 $H_p(3)$ 的转换系数值，与本报告建议的从粒子注量到 $d'_{\text{lens}}(\varphi)$ 和 $d_{\text{p.lens}}(\varphi)$ 的转换系数值，它是光子和电子能量的函数。

图 4.10 和 4.11 显示，当光子能量在 20 keV～2 MeV 之间时，ICRU 第 39/51 号报告的实用量 $h'(3, \varphi)$ 和 $h_p(3, \varphi)$ 非常接近于防护量（数值接近 d'_{lens} 和 $d_{\text{p.lens}}$ ）。在更高的光子能量下，由于先前使用比释动能近似法，导致眼晶状体的剂量逐渐被高估。在低能量下，防护量的高估或低估主要取决于光子的入射角度。

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

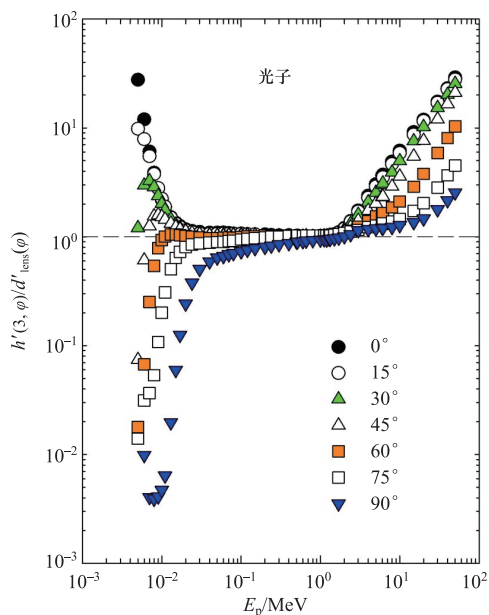


图 4.10 入射光子在 3 mm 深度处从注量到定向剂量当量的转换系数 $h'(3, \varphi)$ 的比较， $h'(3, \varphi)$ 使用比释动能近似法计算（Behrens, 2017 年 b），显示为其与本报告建议值 $d'_{\text{lens}}(\varphi)$ 的比值（Behrens, 2017 年 a）

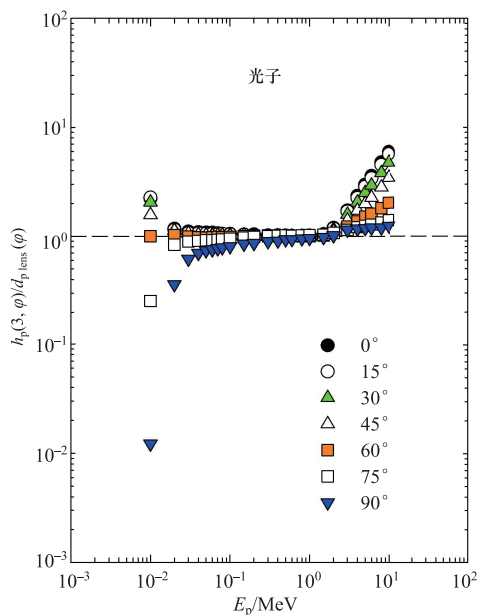


图 4.11 入射光子在 3 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(3, \varphi)$ 的比较，显示为其与本报告建议值 $d_{\text{p,lens}}(\varphi)$ 的比值（Behrens, 2017 年 a）

注： $h_p(3, \varphi)$ 计算使用的不同程序：（Daures 等, 2011 年；Gualdrini 等, 2011 年）。

$h_p(3, \varphi)$ 的数据仅适用于 10 keV 到 10 MeV 的能量范围。

* 译者注：原文此处符号为 $d'_{\text{p,lens}}(\varphi)$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $d_{\text{p,lens}}(\varphi)$ 。

对于能量约为 1 MeV 的入射电子，ICRU 第 39/51 号报告中的实用量 $h_p(3, \varphi)$ 高估了眼晶状体的防护量。对于能量在 2 MeV 和 10 MeV 之间的电子，当入射角小于或等于 60° 时，ICRU 第 39/51 号报告中的实用量的估计是合理的，如图 4.12 所示。

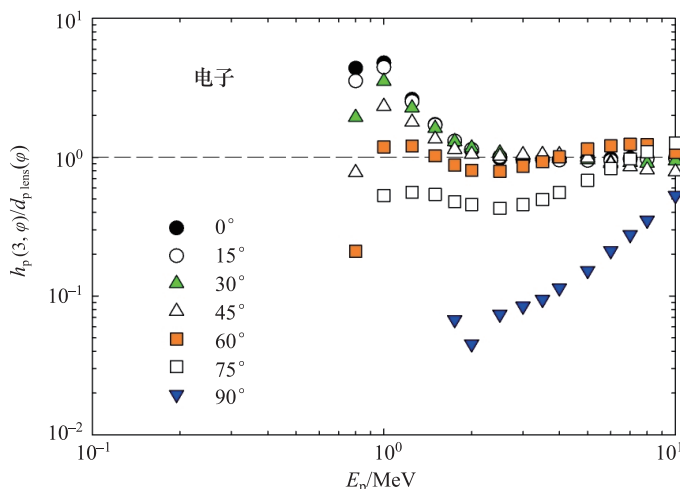


图 4.12 入射电子在 3 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(3, \varphi)$ 的比较， $h_p(3, \varphi)$ 引自 Ferrari 和 Gualdrini (2012 年)，显示为其与本报告建议值 $d_{p,lens}(\varphi)$ * (任一只眼睛的完整晶状体的剂量最大值) 的比值 (Behrens, 2017 年 a)

4.4.4 局部皮肤定向和个人吸收剂量

对于相同的注量、粒子类型、能量、方向和特定模体，从粒子注量到平板模体局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数的数值相同。图 4.13~图 4.15 比较了 ICRU 第 39/51 号报告定义的 $H'(0.07)$ 和 $H_p(0.07)$ 的值，与本报告建议的从粒子注量到 $d'_{local\ skin\ slab}(\varphi)$ 和 $d_{p\ local\ skin\ slab}(\varphi)$ 的转换系数值，它们是光子和电子能量的函数。

在能量 200 keV 以上，ICRU 第 57 号报告 (1998 年) 和 ICRP 第 74 号出版物 (1996 年) 给出的 $H'(0.07, \varphi)$ 和 $H_p(0.07)$ 的转换系数值是使用比释动能近似法获得的，它高估了局部皮肤的吸收剂量，对于 10 MeV 的光子

* 译者注：原文此处符号为 $d'_{p,lens}(\varphi)$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $d_{p,lens}(\varphi)$ 。

可高估 90 倍（Veinot 和 Hertel，2011 年）。

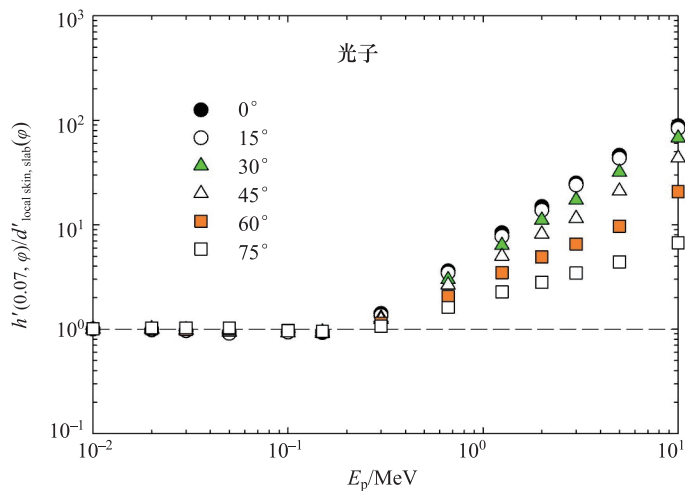


图 4.13 入射光子在 0.07 mm 深度处从注量到定向剂量当量的转换系数 $h'(0.07, \varphi)$ 的比较，显示为其与本报告建议的 $d'_{\text{local skin slab}}(\varphi)$ 的比值^①

注： $h'(0.07, \varphi)$ 的计算结果来自采用比释动能近似法的 ICRU 第 57 号报告（1998 年）。

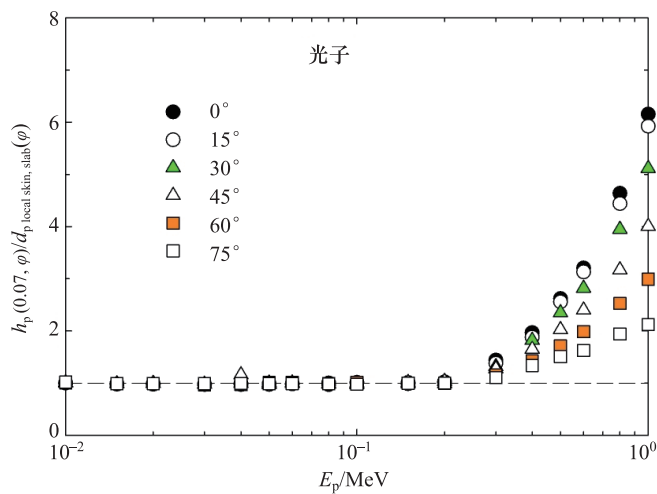


图 4.14 入射光子在 0.07 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(0.07, \varphi)$ 的比较，显示为其与本报告建议的 $d_{p, \text{local skin slab}}(\varphi)$ 的比值^①

注： $h_p(0.07, \varphi)$ 的计算结果来自采用比释动能近似法的 ICRU 第 57 号报告（1998 年）。

① Daures, J. (2017). *Personal communication* (Gif-sur-Yvette, Cedex France).

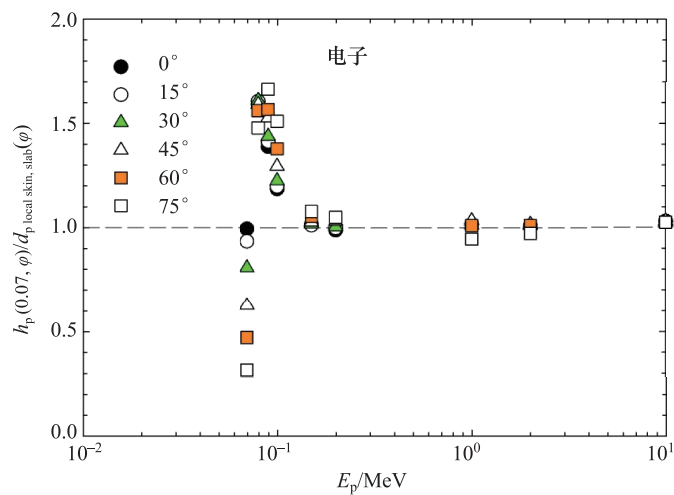


图 4.15 入射电子在 0.07 mm 深度处从注量到个人剂量当量的转换系数 $h_p(0.07, \varphi)$ 的比较，显示为其与本报告建议的 $d_{p, \text{local skin slab}}(\varphi)$ 的比值^①
注： $h_p(0.07, \varphi)$ 的计算结果引自 ICRU 第 57 号报告（1998 年）。

① Daures, J. (2017). *Personal communication* (Gif-sur-Yvette, Cedex France).

5 采纳建议实用量的实际影响

5.1 引言

在外照射防护中引入实用量的原因之一是防护量无法测量，因为它们是在扩展体积上定义的。实用量必须满足以下 3 项准则。

- 在单个点定义；
- 给出相关防护量可接受准确度的估计；
- 可使用仪器（个人剂量计和场所监测仪器）进行可靠测量。

本报告建议实用量的定义满足前两个准则。最后一项准则看似无关紧要，但它的实现需要依赖于适当的仪器。外照射实用量的引入将对放射防护实践产生影响。本报告第 4.4 节比较了建议的注量-剂量、比释动能-剂量转换系数与 ICRU 第 39/51 号报告转换系数的能量和角度依赖性。如果个人剂量计和场所监测仪器的响应能够精准复现 ICRU 第 39/51 号报告相关量的能量和角度依赖性，其响应应当与本报告建议的实用量所示值相等。一般来说在限定的能量范围之外，这类个人剂量计和场所监测仪器不适合用于准确评估本报告所建议的实用量。

本节概述了放射防护仪器及其校准的预期变化，以准确评估建议的实用量。在利用蒙特卡罗程序进行放射防护估算时，可直接、便捷地将本报告建议的转换系数引入程序中。

5.2 个人剂量计和场所监测仪器的设计

适用于评估剂量或剂量率的个人剂量计是基于一个或多个敏感元件（“探测器”），利用电离辐射的物理效应产生某一能量粒子的可再现信号。剂量计对描述辐射场（主要为粒子注量）的辐射场量或剂量学量的响应特性，其随能量和角度的变化关系，模拟了实用量对同一辐射场量的能量和角度依赖性。

目前，对于超出有限的能量和角度范围以及多种粒子类型，仍无个人剂量计（或基于现有知识的设计）能够满足准确测量的要求。开发能够适应未来几十年内被重新定义或修改的物理量的个人剂量计和场所监测仪器，本身就是一门科学。电离室（Ionization chambers）和盖革-米勒计数器（Geiger-Müller counters）是两类用于光子放射防护监测的主要探测器，已有近百年的历史。摄影胶片是贝克勒尔发现放射性时使用的探测器，直到现在，摄影胶片才逐渐被现代替代品在个人剂量测定领域所取代。雷姆计数器（Rem-counter）最早由 Andersson 和 Braun（1963 年）提出，几经改进，至今仍是测量中子实用量最常用的仪器。在 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量发布之前，上述经典的仪器就已投入市场，但均未能精确模拟能量和角度的依赖性。尽管存在这一局限性，经验丰富的放射防护专业人员还是能够利用这些仪器提供有用的剂量和剂量率评估。

5.2.1 ICRU 第 39/51 号报告实用量要求的个人剂量计响应特性

ICRU 第 39/51 号报告实用量是在 20 世纪 80 年代制定的，并在 20 世纪 90 年代被引入到许多国家的放射防护法规中。对于实用量的测量，国际电工委员会（International Electrotechnical Commission, IEC）针对不同的测量情况和剂量计类型，制定了具有法律约束力的性能标准（IEC 60846，2009 年；IEC 61526，2010 年；IEC 62387，2012 年；IEC 61005，2014 年）。

这些标准是在与制造商和从业人员协商和合作后制定的，它们反映了当时的技术状况。最广泛使用的光子个人剂量计，IEC 62387 标准（2012 年）要求在 80 keV~1.25 MeV 的光子能量范围，当入射角度不大于 60° 时，其对 $H_p(10, \varphi)$ 的响应在 0.71~1.67 之间。对于测量 $H_p(3, \varphi)$ 和 $H_p(0.07, \varphi)$ 的个人剂量计，也有类似的要求。这些都是对剂量计的最低要求，制造商可以提供相对响应特性更好、能量和角度范围更广的剂量计。虽然很多剂量测量系统对低于 80 keV 的光子能量具有可接受的相对响应特性，但能够测量平均能量高于 1.25 MeV 光子的剂量计却很少见。

对于中子，由于物理探测器的成本较高且市场也较小，因此标准允许剂量计具有较窄的能量或角度响应范围，以获得满意的响应特性 [国际标准化组织 (International Organization for Standardization, ISO), ISO 21909-1: 2015 年]。

以下两小节阐述了引入建议实用量对几种广泛使用的个人剂量计和场所监测仪器的影响。这些阐述仅作为示例，并不代表对所有可用仪器的完整概述。可以预见，研究人员和制造商将会开展合作，改造现有剂量计和场所监测仪器，或开发新的产品，以满足本报告建议实用量所需的测量要求。

5.2.2 光子剂量计和场所监测仪器对建议实用量的响应特性

剂量计或场所监测仪器所测量的实用量对注量或空气比释动能响应特性具有能量和角度的依赖性，这些特性应尽可能地模拟相应转换系数的依赖性。剂量计的响应定义为剂量计指示值 G 与约定真值 C 的比值：

$$R = \frac{G}{C} \quad (5.1)$$

如果约定真值发生了变化，比如量的新定义，则新响应 R 可以通过已知的旧响应 ($R_{\text{old}} = G / C_{\text{old}}$)、新旧转换系数 h 和 h_{old} 分别计算得到：

$$R = \frac{G}{C_{\text{old}}} \frac{C_{\text{old}}}{C} = R_{\text{old}} \frac{C_{\text{old}}}{C} = R_{\text{old}} \frac{h_{\text{old}}}{h} \quad (5.2)$$

如果旧的量和建议实用量的照射方法保持不变，个人剂量计的照射模体相同，场所监测仪器在自由空气中，则式（5.2）对建议实用量是适用的。

例如，基于盖革-米勒计数器的场所监测仪器的响应采用仪器常数“每单位周围剂量的计数”表示：

$$R = \frac{N}{H^*} \quad (5.3)$$

当剂量计对先前周围剂量当量 $H^*(10)$ 的响应已知时， R 可计算为：

$$R = \frac{N}{H^*(10)} \frac{H^*(10)}{H^*} = R_{\text{old}} \frac{H^*(10)}{H^*} = R_{\text{old}} \frac{h^*(10)}{h^*} \quad (5.4)$$

通常，通过对仪器在参考条件下的响应进行归一化处理，可以确定仪器对建议量的相对响应。对于光子剂量计和场所监测仪器，参考条件通常是 ^{137}Cs 同位素在 0° 入射角下的辐射（ $E_p = 662 \text{ keV}$ ）。

图 5.1 显示了使用盖革-米勒计数器场所监测仪器测量周围剂量 H^* 和周围剂量当量 $H^*(10)$ 对 662 keV 光子的相对响应。这两个值的比值与图 4.1 中的 $h^*(10)/h^*$ 比值相对应。由于仪器外壳为铝制，这类结实的现场监测仪器的灵敏度下限低于 60 keV 。显而易见，对于这类仪器来说，引入建议的新实用量并不需要对仪器进行任何改动，只需在 662 keV 能量下对单位周围剂量的读数进行重新校准即可。

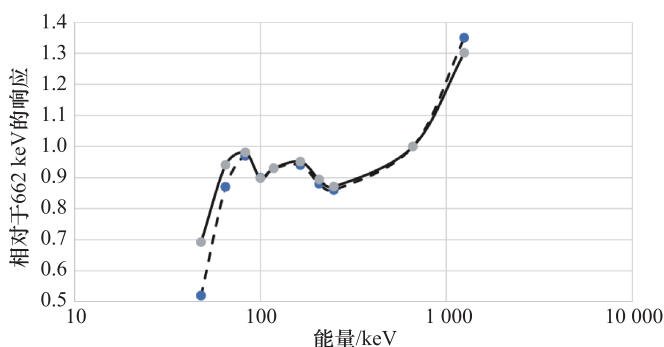


图 5.1 基于盖革-米勒计数器的商用场所监测仪器的周围剂量 H^* （实线）和周围剂量当量 $H^*(10)$ （虚线）相对于能量 662 keV 的响应（改编自 Otto, 2019 年）

一些电离室仪器 (Otto, 2019 年) 也得到了与图 5.1 相似的结果, 而其他电离室仪器对能量低于 70 keV 光子的周围剂量 H^* 表现出过响应。目前公认的模拟 $H_p(10)$ 能量响应的剂量计, 与这些测量 $H^*(10)$ 的电离室一样, 也显示出对低于 70 keV 光子的过响应问题, 因此高估了有效剂量 E 。个人剂量计必须对低能光子敏感, 以覆盖医疗照射领域的监测。在低能量情况下, 个人剂量的转换系数低于个人剂量当量的转换系数 (见图 4.2), 引入建议的实用量需要对低能光子的能量响应进行修正。这可以通过在探测器元件前增加低能光子衰减材料来实现, 但需注意斜入射辐射的响应特性; 或通过改变探测器本身来实现。图 5.2 展示了一个基于热释光探测器的被动式个人剂量计的示例。通过附加屏蔽, 可以在很大程度上纠正 H_p 的过度响应问题 (Eakins 和 Tanner, 2019 年); 还展示了 IEC 建议的个人剂量当量限值 (IEC 62387: 2012 年): 这些限值可能不适用于 $H_p(\phi)$ 。

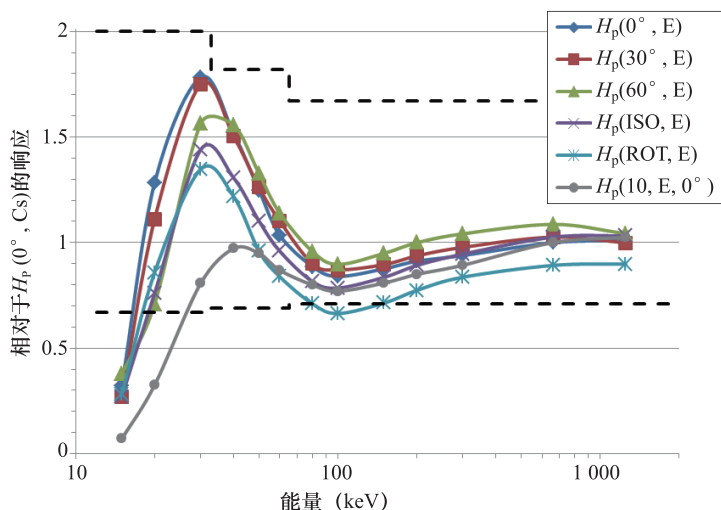


图 5.2 重新设计的热释光剂量计的 $H_p(\phi)^*$ 与 $H_p(0^\circ, \text{Cs})$ 的相对响应

注: 图中还显示了重新设计的 $H_p(10, 0^\circ) / H_p(10, 0^\circ, \text{Cs})$ 的相对响应 (Eakins 和 Tanner, 2019 年)

对于装有不同厚度衰减材料的配备有两个或多个探测器的个人剂量计, 可以通过改变评估算法中的系数来适应新的响应要求, 这些系数通常

* 译者注: 原文此处符号为 $H_p(\phi)$, 经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实, 此处符号应为 $H_p(\phi)$ 。

是对不同探测器信号进行线性组合。

5.2.3 中子个人剂量计和场所监测仪器对建议实用量的响应特性

在第 4.4.2 小节和图 4.5 中，讨论了 ICRU 第 39/51 号报告的实用量 $H_p(10, \varphi)^*$ 和本报告建议的实用量 $H_p(\varphi)$ 的中子注量响应差异。Tanner 等分析了基于烯丙基二甘醇碳酸酯（CR-39）材料的径迹蚀刻中子个人剂量计对 $H_p(\varphi)$ 的响应（Tanner 等，2018 年）。研究发现，该剂量计对常见入射角的辐射具有较高的敏感度，因而展现出良好的信噪比，这在中子个人剂量学中是至关重要的。然而，剂量计对 $H_p(\varphi)$ 响应的角度依赖性较 $H_p(10, \varphi)^*$ 差。原因在于 $H_p(\varphi)$ 的角度依赖性更显著，如图 4.5 所示。研究人员认为，从技术上讲，对剂量计进行重新设计以改善其角度依赖性是可行的。

Eakins 等通过将测量或计算的响应应用于 19 个工作场所的中子场，计算出中子场所监测仪器（雷姆计数器）的周围剂量响应（Eakins 等，2018 年）。雷姆计数器通过慢化超热中子和快中子，来探测产生的热中子。这些探测器的能量和角度响应特性在很大程度上取决于慢化剂的形状和材料。对四种仪器的研究表明，在 100 keV 左右的能量范围内，它们的响应变化高达 2.5 倍。Schuhmacher 等在 EVIDOS 项目中研究了包括核燃料循环设施在内的 workplaces 中子辐射场（Schuhmacher 等，2006 年）。

工作场所的周围剂量或周围剂量当量的参考值是注量能量分布的积分：

$$H = \int dE \frac{d\varphi}{dE} h_{\varphi}(E) \quad (5.5)$$

其中， H 代表 H^* 或 $H^*(10)$ ， $h_{\varphi}(E)$ 是对应的转换系数。

图 5.3 展示了 4 台雷姆计数器在具有宽能谱分布的实际工作场所中计算的相对响应的研究结果。这些雷姆计数器对周围剂量 H^* 的相对响应高于周围剂量当量 $H^*(10)$ 。对于建议的实用量，这可能导致辐射场的测量结果更为保守。

* 译者注：原文此处符号为 $H_p(10, \theta)$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $H_p(10, \varphi)$ 。

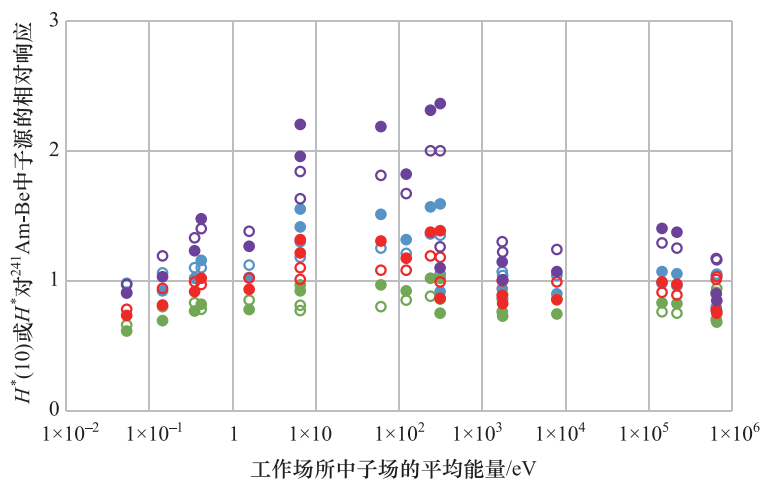


图 5.3 19 个工作场所的中子场中计算得到 4 台雷姆计数器对 $^{241}\text{Am-Be}$ 中子源的相对响应 (Eakins 等, 2018 年)

注：空心符号表示对 $H^*(10)$ 的相对响应，实心符号表示对 H^* 的响应，每台仪器用一种颜色表示，每个中子场的平均能量以该场计算的 $H^*(10)$ 转换系数表示。

这种高估可以通过以下两种方式进行校正。

- 研究发现，雷姆计数器慢化剂的改进可减少低能中子的响应。
- 更简单的方案是对这 4 台雷姆计数器 H^* 的过响应进行校正。在 19 个工作场所中， $H^*(10)$ 与 H^* 的平均比值为 1.6，标准差为 0.25。通常情况下，估算的 $H^*(10)$ 可以通过采用校正系数 $c \approx 1/1.6$ 来使 H^* 的相对响应总体准确度与之前保持一致。

5.2.4 重新设计个人剂量计和场所监测仪器的结论

前两小节中的示例表明，建议实用量一旦成为法定量，用于放射防护的剂量计仍具有实用性。ICRU 第 39/51 号报告中的实用量在 1990—2010 年间被采纳，大学、研究机构和制造商之间的合作促进了新剂量计设计的科学技术发展。在此期间，利用蒙特卡罗程序模拟粒子输运预测探测仪器响应的方法已经普及，不再仅限于少数专家使用。这促进了适用于建议实用量的个人剂量计和场所监测仪器的设计。如今，剂量计可以在原型机制作之前利用计算机进行数字设计，与以前相比，显著降低了开发成本。

另一个成本考量是更换过时的剂量计。对于个人剂量服务机构而言，这是一个值得关注的问题，因为剂量计的存量已达 10 万量级。然而，从本报告发布到建议量引入国际要求（如国际原子能机构或欧盟的基本安全标准）、纳入国家立法并最终强制应用，将需要相当长的时间。如果剂量计的商业寿命为 20 年^①，那么近期投入使用的剂量计寿命将和建议实用量纳入法律要求所需时间相当。因此，更换剂量计所需的投资不仅是建议量导致的结果，也是基于更新剂量体系的经济必要性。然而，根据经验，监管部门会设定一个过渡期，允许 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量和本报告中的建议实用量在放射防护实践中共存一段时间，特别是目前设计和认证的光子剂量计往往会高估本报告中的建议实用量。本报告建议，国际组织和国家主管部门应认识到需要逐步和审慎地实施具有法律约束力的实用量，以平衡实施成本，同时在预测性和回顾性测量中更好地估计防护量。

5.3 个人剂量计和场所监测仪器的校准

这些仪器设备的校准程序基本上保持不变。唯一的变化是，在根据空气中测量的注量或空气比释动能计算校准场中实用量时，应采用本报告建议的转换系数。

5.3.1 校准程序概略

具体的校准程序如下。

（1）在校准点，使用一级标准或二级标准，或使用已由一级或二级标准服务机构校准的量值传递仪器，确定校准辐射场空气中的注量率或空气比释动能率。若使用的是二级标准或量值传递的仪器，该测定应在无模体、自由空气中进行。

^① 由于微电子技术的广泛应用和技术淘汰的快速循环，使得系统（剂量计）的寿命估计比指示值（20 年）还要短。

(2) 对于光子和中子，适用于待校准的个人剂量计或场所监测仪器的实用量率 \dot{H} 或 \dot{D} ，是基于空气中测量得到的注量率或空气比释动能率，并通过使用相应粒子类型、能量和入射角度，以及正在校准的个人剂量计或场所监测仪器的转换系数计算得到的。本报告附录给出了单能辐射的转换系数；对于具有能量分布的辐射，需通过对能量分布进行积分来计算这些系数。对于电子辐射，适用于待校准剂量计或场所监测仪器的实用量率 \dot{H} 或 \dot{D} ，是根据测量得到的组织吸收剂量率（通常在组织等效平板模体内使用一个外推电离室进行测量，例如，在一个聚甲基丙烯酸甲脂（PMMA）模体的 0.07 mm 深度处），并应用与入射角度和局部皮肤模体或眼晶状体模体相对应的校正因子来确定的。

(3) 个人剂量计或场所监测仪器的参考点位于校准点。个人剂量计放置在相应的模体上（见下文）。个人剂量计的参考点和参考方向由制造商规定。通常，剂量计的参考点位于其内部。经客户同意，可以将参考点设置在其他位置，如模体正面的中心位置（ISO 29661: 2012 年/Amd: 2015 年）。

(4) 将个人剂量计或场所监测仪器置于校准场中进行照射，并对其指示值 G 进行评估。

(5) 照射结束后，校准系数由以下比值确定：

$$N = \frac{G}{H} \text{ 或 } N = \frac{G}{D} \quad (5.6)$$

其中， H 和 D 是根据第 (2) 步中测量得到 \dot{H} 和 \dot{D} 的时间积分计算得到的实用量约定值。

对于不同的入射角度、粒子能量乃至粒子类型，这一校准过程可能需要根据不同的剂量计或场所监测仪器的类型及所需的校准范围重复进行。

5.3.2 个人剂量计校准模体

用于校准个人剂量计的不同量值的建议模体和 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量的模体相同。

(1) 个人剂量：由 PMMA 制成的空心水箱，外形尺寸为宽 300 mm、高 300 mm 和深 150 mm，前壁厚度为 2.5 mm，其余侧壁和底面厚度均为 10 mm (ISO 4037-3: 2019 年)；

(2) 个人眼晶状体吸收剂量：由 PMMA 制成的中空充水圆筒，外径 200 mm，长度 200 mm，圆柱面及上下端面厚度 5 mm (Daures 等, 2011 年; Gualdrini 等, 2011 年; Vanhavere 等, 2012 年)；

(3) 个人局部皮肤吸收剂量：

- 对于躯干，采用与个人剂量相同的充水平板模体 (ISO 4037-3: 2019 年)；
- 对于四肢（手和脚），由 PMMA 制成的中空充水圆柱，外径 73 mm，长度 300 mm，圆柱状壁厚 2.5 mm，端面厚度 10 mm (ISO 4037-3: 2019 年)；
- 对于手指，由 PMMA 制成的实心棒，直径为 19 mm、长度为 300 mm (ISO 4037-3: 2019 年)。

多项研究表明（例如，见 ICRU 第 47 号报告，1992 年），在放射防护计量学可达到的测量精度范围内，使用 ICRU 和国际放射防护委员会 (ICRP) 建议的组织等效材料制成的模体和使用 PMMA 制成并充满水的模体获得的转换系数之间的差异是可以忽略的。充满水的平板模体是人体躯干的良好替代，是评估全身照射有效剂量时佩戴个人剂量计的首选。

5.3.3 光子校准的特殊规定

在光子辐射场中校准场所监测仪器和个人剂量计的常规程序基于这样一个条件：带电粒子近似达到完全平衡。因此，对于能量高达 50 MeV 的光子，提供了一组额外的光子转换系数，这些系数采用比释动能近似法来模拟带电粒子平衡（见附录 A.5）。

如光子源与监测仪器、个人剂量计或场所监测仪器之间空气层厚度不足，可以通过在监测仪器、个人剂量计或场所监测仪器前放置由 PMMA 材料制成的叠层板来实现带电粒子平衡，叠层板厚度取决于光子的能量。在计算校准点的实用量率时，必须对叠层材料的微弱衰减进行

校正（ISO 4037-3：2019 年）。由于叠层板消除了光子束中的电子污染并建立了带电粒子平衡，这一校准程序与所用校准源的设计和准直无关，确保了校准条件的可重复性。该方法在未达到带电粒子平衡的光子场中提供了保守的校准系数，但需要单独监测可能影响辐射场的电子污染。

5.3.4 ICRU 球的作用

实用量，包括*周围剂量当量* $H^*(10)$ 和*定向剂量当量* $H'(d,\Omega)^*$ ，是在 ICRU 球 d 深度处定义的，该球是由 ICRU 四元素组织制成的模体，可用于计算测量深度处的反散射对剂量的贡献。由于实际上无法制造出 ICRU 四元素组织，因此实用量无法与标准实验室中定义的量完全等同。至少需要有一个初级（一级）标准实验室使用替代材料构建的“近似 ICRU 球”来实现实用量^①，并评估替代物和真正的 ICRU 球在单一光子能量下的差异（Boutillon 和 Allisy-Roberts，1996 年；Perroche 和 Boutillon，1989 年）。尽管如此，从粒子注量和空气比释动能到 ICRU 第 39/51 号报告中的实用量计算的转换系数，已应用于放射防护中使用的场所监测仪器和个人剂量计的校准（ISO 6980-3：2006 年；ISO 8529-3：1998 年；ISO 4037-3：2019 年）。鉴于这些转换系数的可用性，委员会认为，放弃使用 ICRU 球并不意味着计量链从一级和二级实验室到剂量计制造商和最终用户的弱化。

5.4 建议实用量对放射防护质量的影响

放射防护遵循正当性、剂量限值和防护最优化三项基本原则。对全身、眼晶状体、局部皮肤和四肢设定的剂量限值确保了最低防护标准，但放射工作人员的雇主有责任通过应用屏蔽、时间限制、改进工作方法、自动化和其他技术手段来优化防护措施，合理可行尽可能降低工作人员的剂量。

* 译者注：原文此处符号为 $H'(d,\theta)$ ，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处符号应为 $H'(d,\Omega)$ 。

① 这是制造平板状、棒状和柱状模体用于校准个人剂量计的例行操作。

在防护最优化过程中，使用周围剂量 H^* 校准的场所监测仪器评估辐射场。通过比较不同的剂量优化选项，确定辐射场中活动的优选行动方案。在某些辐射场景中，周围剂量 H^* 相对于以往的 *周围剂量当量* $H^*(10)$ 能更好地估计预期的有效剂量。

例如，对专门使用低能 X 射线的人员，采用 *个人剂量当量* $H_p(10)$ 代替有效剂量 E 会导致对有效剂量 E 的高估。对于能量在 ISO N 系列中处于 N-10 和 N-40 之间的 X 射线，*个人剂量当量* $H_p(10)$ 的数值比有效剂量 E 高 2.5~5 倍（见图 4.2 和图 4.3）。如果以 $H_p(10)$ 计算的年剂量接近法定剂量限值，放射防护专家可以根据其受照条件等信息来评估有效剂量 E ，并判定是否符合法规要求。由于引入了建议的个人剂量 H_p 和合适的个人剂量计来更准确地开展测量，可以减少对有效剂量 E 的高估情况。从事介入放射学的外科医生和护士就是这样一个群体。雇主和医疗机构的放射防护专家有责任正确判断和优化其受照情况。他们是否能在手术室内工作更长的时间，不仅取决于辐射照射，还受到如最长工作时间和职业健康与安全等多种因素的影响。只要雇主和放射防护专家认真执行优化程序，且员工遵守经批准的优化工作方案和约束条件，使用个人剂量 H_p 对有效剂量进行评估，其放射防护效果就不会受到影响。

在个人剂量记录中，通常使用个人剂量 H_p 代替有效剂量。一旦年剂量接近法定剂量限值，或月度剂量计的读数异常高，或放射防护专家判定剂量计在技术上无法给出有效剂量 E 的可靠估计时，专家有权根据相关知识纠正剂量计读数，或仅根据相关知识确定有效剂量。这些知识可以是辐射场的空间分布及其能量和角度的依赖性、主要受照体位相关的工作方式、剂量计响应等信息。这些都可能导致个人剂量和有效剂量的高估或低估。

5.5 建议实用量对剂量记录的影响

从第 4 章的转换系数与前一节举例的差异可以看出，在给定的辐射场中，个人剂量的数值与 *个人剂量当量* 的数值存在显著差异，周围剂量与周

围剂量当量也存在显著差异。正如上文所述，低能 X 射线的情况也是如此。同样，针对个人剂量 H_p 和周围剂量 H^* （来自 ^{137}Cs 源的辐射）校准的个人剂量计或场所监测仪器的指示数值，将比 $H_p(10)$ 或 $H^*(10)$ 的指示结果低 18%。这一差异基于建议量的注量-剂量转换系数低于 ICRU 第 39/51 号报告给出的转换系数。然而，经验表明：

- 由于平均效应，转换系数的微小差异可能会在实际辐射场中因辐射能量和角度的广泛分布而得到补偿；
- 很少有个人剂量计能够在大范围的角度和能量内精确模拟转换系数的能量和角度依赖性；
- 职业照射的每月受照剂量通常接近个人剂量计的检测限，其中允许的测量不确定度最高可达 2 倍。

鉴于这些原因，在将建议的实用量引入实践之后，就预测放射工作人员记录剂量值会出现大幅变化，目前为时尚早。

剂量记录的汇编和提交对环境监测较为重要，但由于环境辐射场中辐射的能量和角度分布通常较宽，因此，由转换系数变化引起的修正幅度不太可能很大。

5.6 未来可能发生的变化

建议实用量的数值取决于测定方法，包括模体的建模、有效剂量 E 、眼晶状体吸收剂量 D_{lens} 和局部皮肤吸收剂量 $D_{\text{local skin}}$ 的参数设置。有效剂量 E 取决于组织权重因子 w_T 和辐射权重因子 w_R 。ICRP 只有在新的科学证据出现之后，才考虑并决定是否调整这些因子。例如，质子的辐射权重因子从 ICRP 第 60 号出版物（1990 年）的 $w_R = 5$ 修改为第 103 号出版物（2007 年）的 $w_R = 2$ 。这一变化对计算商用航空机组人员的有效剂量值产生了直接影响。预计辐射权重因子不太可能有进一步的实质性变化。

预计 ICRP 将在下一次发布基本建议书时采纳本报告的建议，即以吸收

剂量而非当量剂量设定眼晶状体和局部皮肤的剂量限值，相应的实用量也以吸收剂量设定。

组织权重因子的重新赋值（其总和归一化为 1）可能会导致防护量的能量和角度依赖性仅发生微小变化。这些变化可能小于个人剂量计和场所监测仪器的测量不确定度，因此不具实际意义。

可以合理预期，本报告提出的变更将同步引入防护量变更中。ICRP 仅将在发布新版基本建议书时更新防护量，新的实用量适宜同步引入。预计将建议纳入安全标准和立法，整个过程可能需要大概 20 年。

6 结 语

基于某一点的辐射场量、剂量学量以及转换系数的实用量到防护量体系的应用，以往已开展过相关研究。随着国际放射防护委员会（ICRP）在拟人参考计算体模中定义了有效剂量，并发布了从粒子注量到有效剂量的转换系数，上述方法现在被认为是可以接受的。

有效剂量是一个用于控制和优化辐射照射健康风险的相关量。它适用于外照射和内照射以及所有类型的电离辐射。有效剂量的缺点是不能被测量，因为其被定义为辐射类型和人体器官/组织的加权平均值。为评估特定器官、眼晶状体、四肢和局部皮肤的剂量以及电离辐射确定性效应的可能靶点，进一步引入了防护量。

实用量是用于确定在空间中某一点定义的电离辐射的可测量量。本报告基于转换系数定义了建议的实用量，包括个人剂量、个人眼晶状体吸收剂量、个人局部皮肤吸收剂量、周围剂量、眼晶状体定向吸收剂量和局部皮肤定向吸收剂量；这些量与防护量、有效剂量，及眼晶状体、局部皮肤吸收剂量数值直接相关。这一点与 ICRU 第 39/51 号报告基于简单模体或 ICRU 四元素球指定深度处剂量当量值来确定实用量数值相比是一个重大变化，可为防护量提供更好的估计。防护量与实用量体系得到了简化，有助于使用者理解放射防护量的一致性。

对于能量为 70 keV~2 MeV 的光子，周围剂量和个人剂量转换系数的数值与 ICRU 第 51 号报告定义的相差 15%以内。对于能量为 3~10 MeV 的光子，在带电粒子完全平衡的条件下，这些转换系数的数值与 ICRU 第 57

号报告（1998 年）和 ICRP 第 74 号出版物（1996 年）采用比释动能近似方法计算得到的结果相差 18% 以内。对于上述光子能量范围，场所监测仪器和个人剂量计校准仅涉及对设备刻度系数进行调整（ICRU 第 76 号报告，2006 年）。本报告还提供了使用比释动能近似法计算的转换系数，用于在带电粒子平衡条件下对光子的场所监测仪器和个人剂量计进行校准。

在使用 β 射线的核医学中，提高眼晶状体吸收剂量评估的准确性可能是特别令人关注的问题。

对于中子，相较于 ICRU 第 39/51 号报告的量值，本报告建议的周围剂量和个人剂量在防护量定量方面有很大改进。对于基于中子慢化测量原理的场所监测仪器，在目前可接受的准确度范围内，无须改变工作场所的中子场要求。

本报告建议的实用量将为高能光子、中子、电子的辐射场和其他类型粒子的防护问题提供一个解决方案。

在某些阶段，至少对于某些应用场合，需要对现有仪器的设计或算法进行修改：

- 对于能量低于 70 keV 的光子，需要对基于 ICRU 第 39/51 号报告定义的场所监测仪器和个人剂量计进行纠正以避免对有效剂量的高估；
- 提高光子和电子所致眼晶状体吸收剂量的估算准确度；
- 在带电粒子不平衡条件下，需要对能量在 3~10 MeV 光子的周围剂量和个人剂量进行准确定量，但这取决于探测器系统。
- 通过补偿从粒子注量到 H^* 和 H_p （与 $H^*(10)$ 和 $H_p(10)$ 相比）转换系数的变化，以提高场所监测仪器和个人剂量计的性能。对于从热中子到 2 MeV 的中子，其转换系数值更低；而对于能量大于 50 MeV 的中子，其转换系数值更高。

附录

附录 A 给出了从注量到实用量的建议转换系数。对于光子，增加了从空气比释动能到实用量的转换系数。本附录包括以下几个部分：

- A.1 周围剂量
- A.2 个人剂量
- A.3 眼晶状体定向和个人吸收剂量
- A.4 局部皮肤定向和个人吸收剂量
- A.5 带电粒子平衡场中能量高达 50 MeV 光子的实用量
- A.6 空气比释动能

附录 B 描述了计算转换系数的计算机程序，并讨论了不确定度。本附录包括以下几个部分：

- B.1 PHITS
- B.2 FLUKA
- B.3 MCNP
- B.4 EGSnrc
- B.5 转换系数计算的不确定度

附录 C 眼晶状体吸收剂量的可替代转换系数：

- C.1 眼晶状体定向和个人吸收剂量，敏感细胞吸收剂量， $d_{\text{lens sens}}$
- C.2 带电粒子平衡场中能量高达 50 MeV 的光子

ICRU 第 90 号报告《电离辐射剂量学的关键数据：测量标准与应用》（ICRU，2014 年）对水中带电粒子的阻止能力稍做了更改。这一更改预计不会对本报告使用的蒙特卡罗计算产生显著影响。

附录 A 转换系数值

A.1 周围剂量

表 A.1.1a~表 A.1.10 和图 A.1.1a~图 A.1.10 给出了从粒子注量到周围剂量的转换系数数值 h^* ，涵盖了多种粒子类型：能量高达 10 GeV 的光子、中子、电子、正电子、质子、负 μ 子和正 μ 子；能量高达 200 GeV 的负 π 子和正 π 子；能量高达 $100 \text{ GeV} \cdot \text{u}^{-1}$ 的 He^{2+} 离子。转换系数将粒子注量与有效剂量的最大值 E_{\max} 联系起来， E_{\max} 是基于均匀平行宽束入射 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模（ICRP，2009 年）的全身照射计算获得，对于光子和中子，照射几何条件有 AP、PA、LLAT、RLAT 及 ROT、ISO、SS-ISO 和 IS-ISO 场；对于电子、正电子、 μ 子和 π 子，照射几何条件有 AP、PA、ISO、SS-ISO 及 IS-ISO 场；对于 He^{2+} 离子，照射几何条件有 AP、PA 和 ISO（ICRP，2010 年），见表 A.1.0；照射几何条件图形集详见第 3.2 节。表 A.1.1a~表 A.1.10 和图 A.1.1a~图 A.1.10 的转换系数引自 ICRP 第 116 号出版物（ICRP，2010 年）和 Endo^①的计算结果。表 A.1.1b 和图 A.1.1b 给出了能量高达 50 MeV 光子从空气比释动能到周围剂量的转换系数。本报告中的表 A.6 列出了从光子注量到空气比释动能的转换系数。

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

表 A.1.0 周围剂量 H^* 转换系数

表/图	粒子类型	物理量	能量范围/MeV	最大值的照射几何条件
A.1.1a	光子	注量	$5.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^4$	AP, PA, LLAT, RLAT,
A.1.1b	光子	空气比释动能	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$	ROT, ISO,
A.1.2	中子	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^4$	SS-ISO, IS-ISO
A.1.3	电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^4$	
A.1.4	正电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^4$	
A.1.5	质子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^4$	AP, PA,
A.1.6	负 μ 子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^4$	ISO,
A.1.7	正 μ 子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^4$	SS-ISO, IS-ISO
A.1.8	负 π 子	注量	$1.0 \sim 2.0 \times 10^5$	
A.1.9	正 π 子	注量	$1.0 \sim 2.0 \times 10^5$	
A.1.10	He^{2+} 离子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^5$ ^a	AP, PA, ISO

^a He^{2+} 离子的能量单位为 MeV/u。

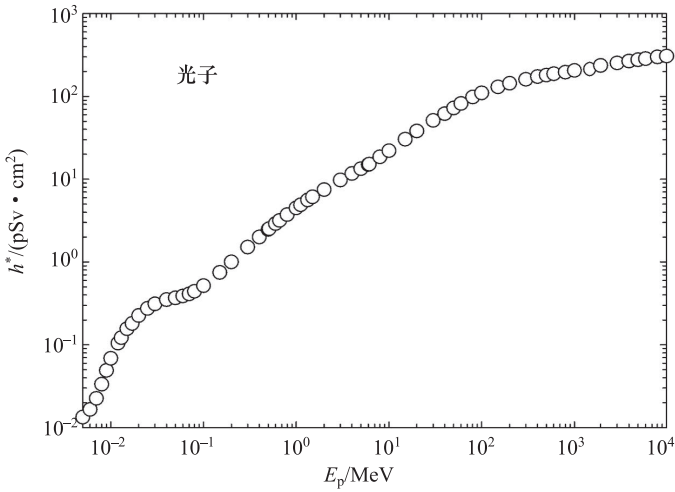


图 A.1.1a 从光子注量到周围剂量的转换系数 (Endo^①; ICRP, 2010 年)

① A. Endo, *personal communication*, 2016 (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

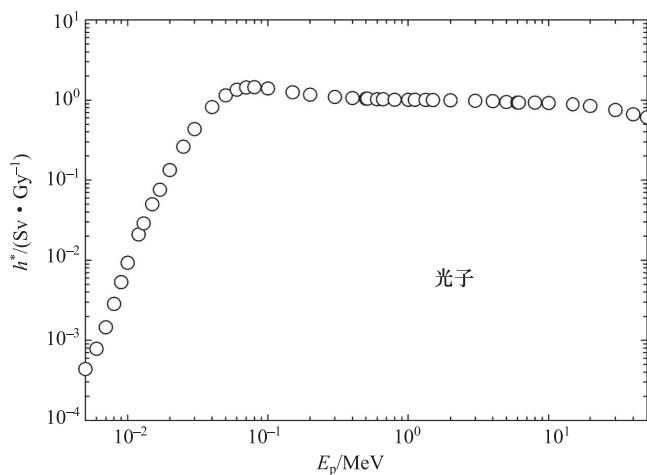
表 A.1.1a 从光子注量到周围剂量的转换系数 (Endo^①; ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$	E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
5.000×10^{-3}	1.34×10^{-2}	2.000	7.48
6.000×10^{-3}	1.66×10^{-2}	3.000	9.75
7.000×10^{-3}	2.25×10^{-2}	4.000	1.17×10^1
8.000×10^{-3}	3.35×10^{-2}	5.000	1.34×10^1
9.000×10^{-3}	4.90×10^{-2}	6.000	1.50×10^1
1.000×10^{-2}	6.85×10^{-2}	6.129	1.52×10^1
1.200×10^{-2}	1.05×10^{-1}	8.000	1.86×10^1
1.300×10^{-2}	1.22×10^{-1}	1.000×10^1	2.21×10^1
1.500×10^{-2}	1.56×10^{-1}	1.500×10^1	3.04×10^1
1.700×10^{-2}	1.81×10^{-1}	2.000×10^1	3.82×10^1
2.000×10^{-2}	2.25×10^{-1}	3.000×10^1	5.13×10^1
2.500×10^{-2}	2.75×10^{-1}	4.000×10^1	6.18×10^1
3.000×10^{-2}	3.12×10^{-1}	5.000×10^1	7.23×10^1
4.000×10^{-2}	3.50×10^{-1}	6.000×10^1	8.21×10^1
5.000×10^{-2}	3.69×10^{-1}	8.000×10^1	9.81×10^1
6.000×10^{-2}	3.89×10^{-1}	1.000×10^2	1.10×10^2
7.000×10^{-2}	4.11×10^{-1}	1.500×10^2	1.30×10^2
8.000×10^{-2}	4.43×10^{-1}	2.000×10^2	1.44×10^2
1.000×10^{-1}	5.18×10^{-1}	3.000×10^2	1.61×10^2
1.500×10^{-1}	7.47×10^{-1}	4.000×10^2	1.73×10^2
2.000×10^{-1}	1.00	5.000×10^2	1.81×10^2
3.000×10^{-1}	1.51	6.000×10^2	1.87×10^2
4.000×10^{-1}	2.00	8.000×10^2	1.96×10^2
5.000×10^{-1}	2.47	1.000×10^3	2.06×10^2
5.110×10^{-1}	2.52	1.500×10^3	2.13×10^2
6.000×10^{-1}	2.91	2.000×10^3	2.36×10^2
6.620×10^{-1}	3.17	3.000×10^3	2.53×10^2
8.000×10^{-1}	3.73	4.000×10^3	2.67×10^2
1.000	4.49	5.000×10^3	2.77×10^2
1.117	4.90	6.000×10^3	2.85×10^2
1.330	5.60	8.000×10^3	2.99×10^2
1.500	6.12	1.000×10^4	3.07×10^2

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

表 A.1.1b 从光子空气比释动能到周围剂量的转换系数 (Endo^①; ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$	E_p/MeV	$h^*/(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$
5.000×10^{-3}	4.37×10^{-4}	5.000×10^{-1}	1.04
6.000×10^{-3}	7.81×10^{-4}	5.110×10^{-1}	1.04
7.000×10^{-3}	1.45×10^{-3}	6.000×10^{-1}	1.02
8.000×10^{-3}	2.84×10^{-3}	6.620×10^{-1}	1.02
9.000×10^{-3}	5.31×10^{-3}	8.000×10^{-1}	1.01
1.000×10^{-2}	9.26×10^{-3}	1.000	1.00
1.200×10^{-2}	2.09×10^{-2}	1.117	1.00
1.300×10^{-2}	2.88×10^{-2}	1.330	1.00
1.500×10^{-2}	4.99×10^{-2}	1.500	9.96×10^{-1}
1.700×10^{-2}	7.58×10^{-2}	2.000	9.90×10^{-1}
2.000×10^{-2}	1.34×10^{-1}	3.000	9.77×10^{-1}
2.500×10^{-2}	2.60×10^{-1}	4.000	9.64×10^{-1}
3.000×10^{-2}	4.32×10^{-1}	5.000	9.45×10^{-1}
4.000×10^{-2}	8.16×10^{-1}	6.000	9.28×10^{-1}
5.000×10^{-2}	1.14	6.129	9.25×10^{-1}
6.000×10^{-2}	1.35	8.000	9.24×10^{-1}
7.000×10^{-2}	1.43	1.000×10^1	9.16×10^{-1}
8.000×10^{-2}	1.44	1.500×10^1	8.82×10^{-1}
1.000×10^{-1}	1.39	2.000×10^1	8.42×10^{-1}
1.500×10^{-1}	1.25	3.000×10^1	7.48×10^{-1}
2.000×10^{-1}	1.17	4.000×10^1	6.62×10^{-1}
3.000×10^{-1}	1.09	5.000×10^1	6.07×10^{-1}
4.000×10^{-1}	1.06		

图 A.1.1b 从光子空气比释动能到周围剂量的转换系数 (Endo^①; ICRP, 2010 年)

① A. Endo, personal communication, 2016 (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

表 A.1.2 从中子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$	E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00×10^{-9}	3.09	3.00	4.58×10^2
1.00×10^{-8}	3.55	4.00	4.83×10^2
2.50×10^{-8}	4.00	5.00	4.94×10^2
1.00×10^{-7}	5.20	6.00	4.98×10^2
2.00×10^{-7}	5.87	7.00	4.99×10^2
5.00×10^{-7}	6.59	8.00	4.99×10^2
1.00×10^{-6}	7.03	9.00	5.00×10^2
2.00×10^{-6}	7.39	1.00×10^1	5.00×10^2
5.00×10^{-6}	7.71	1.20×10^1	4.99×10^2
1.00×10^{-5}	7.82	1.40×10^1	4.95×10^2
2.00×10^{-5}	7.84	1.50×10^1	4.93×10^2
5.00×10^{-5}	7.82	1.60×10^1	4.90×10^2
1.00×10^{-4}	7.79	1.80×10^1	4.84×10^2
2.00×10^{-4}	7.73	2.00×10^1	4.77×10^2
5.00×10^{-4}	7.54	2.10×10^1	4.74×10^2
1.00×10^{-3}	7.54	3.00×10^1	4.53×10^2
2.00×10^{-3}	7.61	5.00×10^1	4.33×10^2
5.00×10^{-3}	7.97	7.50×10^1	4.39×10^2
1.00×10^{-2}	9.11	1.00×10^2	4.44×10^2
2.00×10^{-2}	1.22×10^1	1.30×10^2	4.46×10^2
3.00×10^{-2}	1.57×10^1	1.50×10^2	4.46×10^2
5.00×10^{-2}	2.30×10^1	1.80×10^2	4.47×10^2
7.00×10^{-2}	3.06×10^1	2.00×10^2	4.48×10^2
1.00×10^{-1}	4.19×10^1	3.00×10^2	4.73×10^2
1.50×10^{-1}	6.06×10^1	4.00×10^2	5.15×10^2
2.00×10^{-1}	7.88×10^1	5.00×10^2	5.33×10^2
3.00×10^{-1}	1.14×10^2	6.00×10^2	5.69×10^2
5.00×10^{-1}	1.77×10^2	7.00×10^2	6.25×10^2
7.00×10^{-1}	2.32×10^2	8.00×10^2	6.38×10^2
9.00×10^{-1}	2.79×10^2	9.00×10^2	6.45×10^2
1.00	3.01×10^2	1.00×10^3	6.63×10^2
1.20	3.30×10^2	2.00×10^3	7.69×10^2
1.50	3.65×10^2	5.00×10^3	1.04×10^3
2.00	4.07×10^2	1.00×10^4	1.39×10^3

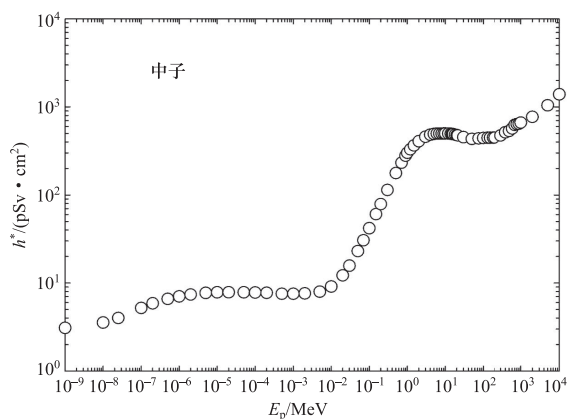


图 A.1.2 从中子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

表 A.1.3 从电子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$	E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00×10^{-2}	2.69×10^{-2}	1.50×10^1	1.88×10^2
1.50×10^{-2}	4.04×10^{-2}	2.00×10^1	2.36×10^2
2.00×10^{-2}	5.39×10^{-2}	3.00×10^1	3.02×10^2
3.00×10^{-2}	8.10×10^{-2}	4.00×10^1	3.29×10^2
4.00×10^{-2}	1.08×10^{-1}	5.00×10^1	3.37×10^2
5.00×10^{-2}	1.35×10^{-1}	6.00×10^1	3.44×10^2
6.00×10^{-2}	1.63×10^{-1}	8.00×10^1	3.58×10^2
8.00×10^{-2}	2.18×10^{-1}	1.00×10^2	3.66×10^2
1.00×10^{-1}	2.75×10^{-1}	1.50×10^2	3.79×10^2
1.50×10^{-1}	4.18×10^{-1}	2.00×10^2	3.88×10^2
2.00×10^{-1}	5.69×10^{-1}	3.00×10^2	4.11×10^2
3.00×10^{-1}	8.89×10^{-1}	4.00×10^2	4.35×10^2
4.00×10^{-1}	1.24	5.00×10^2	4.49×10^2
5.00×10^{-1}	1.63	6.00×10^2	4.64×10^2
6.00×10^{-1}	2.05	8.00×10^2	4.88×10^2
8.00×10^{-1}	4.04	1.00×10^3	5.08×10^2
1.00	7.10	1.50×10^3	5.25×10^2
1.50	1.50×10^1	2.00×10^3	5.68×10^2
2.00	2.24×10^1	3.00×10^3	6.08×10^2
3.00	3.61×10^1	4.00×10^3	6.38×10^2
4.00	4.82×10^1	5.00×10^3	6.61×10^2
5.00	5.93×10^1	6.00×10^3	6.83×10^2
6.00	7.06×10^1	8.00×10^3	7.16×10^2
8.00	9.79×10^1	1.00×10^4	7.42×10^2
1.00×10^1	1.25×10^2		

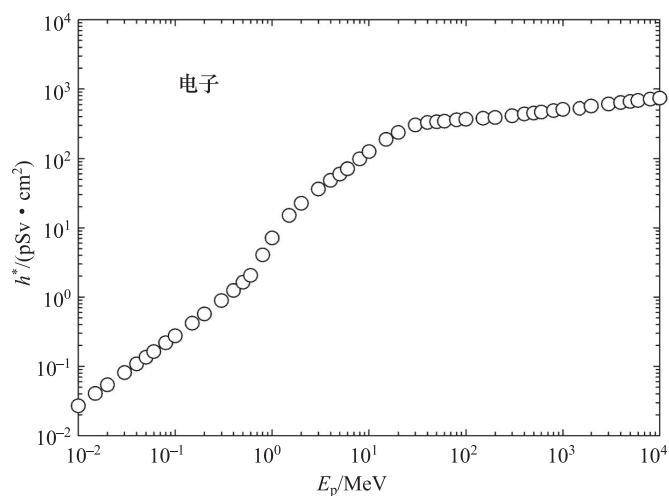


图 A.1.3 从电子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

表 A.1.4 从正电子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$	E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00×10^{-2}	3.28	1.50×10^1	1.84×10^2
1.50×10^{-2}	3.29	2.00×10^1	2.29×10^2
2.00×10^{-2}	3.30	3.00×10^1	2.94×10^2
3.00×10^{-2}	3.33	4.00×10^1	3.20×10^2
4.00×10^{-2}	3.36	5.00×10^1	3.27×10^2
5.00×10^{-2}	3.39	6.00×10^1	3.34×10^2
6.00×10^{-2}	3.42	8.00×10^1	3.49×10^2
8.00×10^{-2}	3.47	1.00×10^2	3.57×10^2
1.00×10^{-1}	3.53	1.50×10^2	3.71×10^2
1.50×10^{-1}	3.67	2.00×10^2	3.83×10^2
2.00×10^{-1}	3.84	3.00×10^2	4.12×10^2
3.00×10^{-1}	4.16	4.00×10^2	4.35×10^2
4.00×10^{-1}	4.52	5.00×10^2	4.49×10^2
5.00×10^{-1}	4.90	6.00×10^2	4.62×10^2
6.00×10^{-1}	5.36	8.00×10^2	4.85×10^2
8.00×10^{-1}	7.41	1.00×10^3	5.05×10^2
1.00	1.05×10^1	1.50×10^3	5.22×10^2
1.50	1.83×10^1	2.00×10^3	5.66×10^2
2.00	2.57×10^1	3.00×10^3	6.04×10^2
3.00	3.91×10^1	4.00×10^3	6.33×10^2
4.00	5.10×10^1	5.00×10^3	6.59×10^2
5.00	6.17×10^1	6.00×10^3	6.83×10^2
6.00	7.29×10^1	8.00×10^3	7.16×10^2
8.00	9.90×10^1	1.00×10^4	7.46×10^2
1.00×10^1	1.26×10^2		

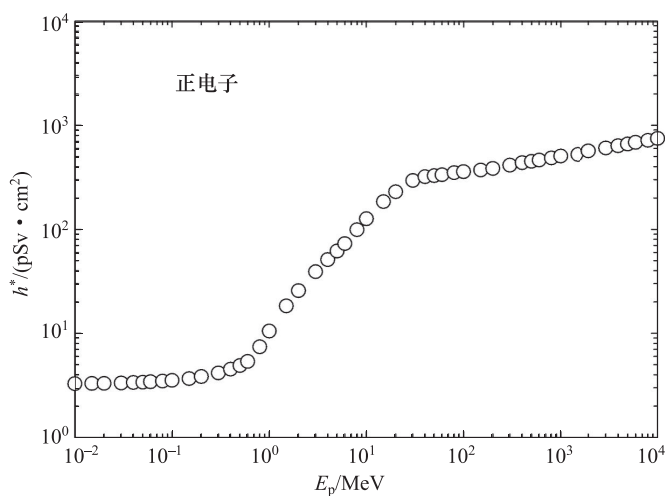


图 A.1.4 从正电子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

表 A.1.5 从质子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00	5.47
1.50	8.21
2.00	1.09×10^1
3.00	1.64×10^1
4.00	2.19×10^1
5.00	2.73×10^1
6.00	3.28×10^1
8.00	4.37×10^1
1.00×10^1	5.49×10^1
1.50×10^1	1.89×10^2
2.00×10^1	4.28×10^2
3.00×10^1	7.50×10^2
4.00×10^1	1.02×10^3
5.00×10^1	1.18×10^3
6.00×10^1	1.48×10^3
8.00×10^1	2.16×10^3
1.00×10^2	2.51×10^3
1.50×10^2	2.82×10^3
2.00×10^2	2.18×10^3
3.00×10^2	1.45×10^3
4.00×10^2	1.30×10^3
5.00×10^2	1.24×10^3
6.00×10^2	1.23×10^3
8.00×10^2	1.23×10^3
1.00×10^3	1.23×10^3
1.50×10^3	1.25×10^3
2.00×10^3	1.28×10^3
3.00×10^3	1.35×10^3
4.00×10^3	1.48×10^3
5.00×10^3	1.46×10^3
6.00×10^3	1.71×10^3
8.00×10^3	1.88×10^3
1.00×10^4	1.93×10^3

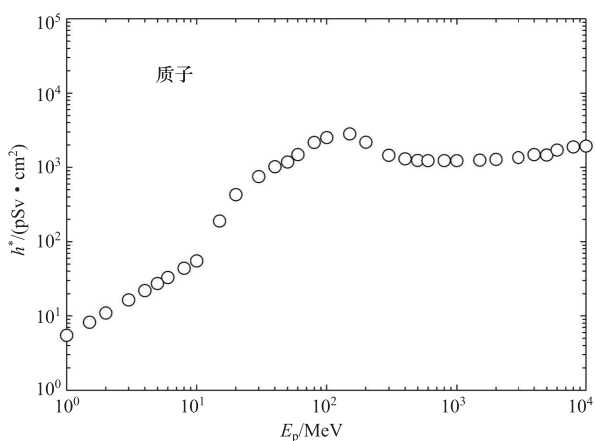


图 A.1.5 从质子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

表 A.1.6 从负 μ 子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00	1.80×10^2
1.50	1.80×10^2
2.00	1.84×10^2
3.00	1.88×10^2
4.00	1.93×10^2
5.00	2.05×10^2
6.00	2.42×10^2
8.00	2.93×10^2
1.00×10^1	3.32×10^2
1.50×10^1	4.14×10^2
2.00×10^1	4.65×10^2
3.00×10^1	6.57×10^2
4.00×10^1	7.35×10^2
5.00×10^1	7.55×10^2
6.00×10^1	7.75×10^2
8.00×10^1	5.05×10^2
1.00×10^2	4.35×10^2
1.50×10^2	3.55×10^2
2.00×10^2	3.33×10^2
3.00×10^2	3.22×10^2
4.00×10^2	3.22×10^2
5.00×10^2	3.24×10^2
6.00×10^2	3.28×10^2
8.00×10^2	3.33×10^2
1.00×10^3	3.42×10^2
1.50×10^3	3.38×10^2
2.00×10^3	3.41×10^2
3.00×10^3	3.44×10^2
4.00×10^3	3.47×10^2
5.00×10^3	3.48×10^2
6.00×10^3	3.47×10^2
8.00×10^3	3.49×10^2
1.00×10^4	3.49×10^2

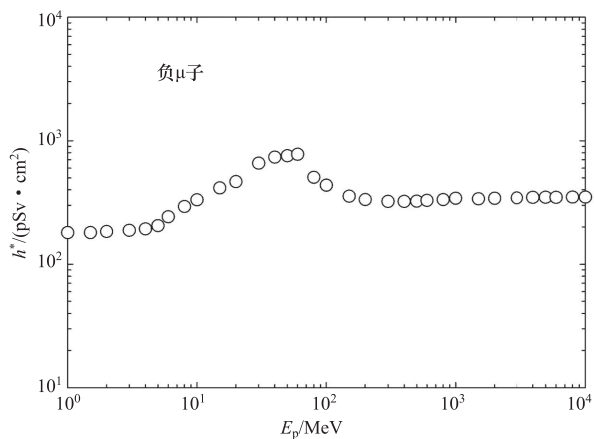
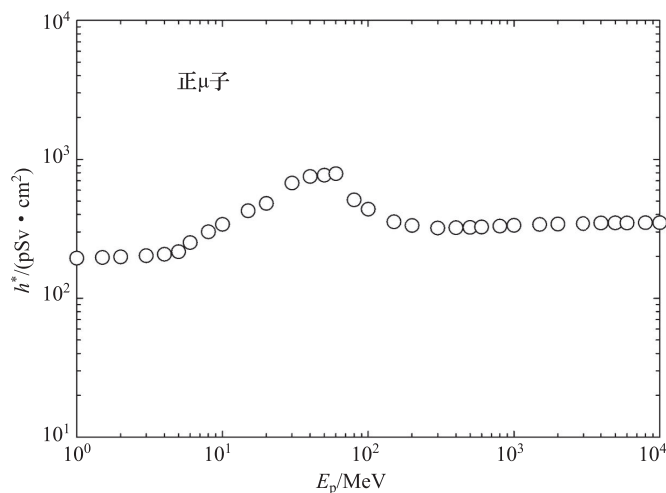


图 A.1.6 从负 μ 子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

表 A.1.7 从正 μ 子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00	1.94×10^2
1.50	1.96×10^2
2.00	1.98×10^2
3.00	2.02×10^2
4.00	2.07×10^2
5.00	2.16×10^2
6.00	2.51×10^2
8.00	3.00×10^2
1.00×10^1	3.40×10^2
1.50×10^1	4.25×10^2
2.00×10^1	4.81×10^2
3.00×10^1	6.74×10^2
4.00×10^1	7.51×10^2
5.00×10^1	7.68×10^2
6.00×10^1	7.87×10^2
8.00×10^1	5.10×10^2
1.00×10^2	4.37×10^2
1.50×10^2	3.54×10^2
2.00×10^2	3.33×10^2
3.00×10^2	3.20×10^2
4.00×10^2	3.21×10^2
5.00×10^2	3.23×10^2
6.00×10^2	3.25×10^2
8.00×10^2	3.30×10^2
1.00×10^3	3.34×10^2
1.50×10^3	3.39×10^2
2.00×10^3	3.41×10^2
3.00×10^3	3.44×10^2
4.00×10^3	3.47×10^2
5.00×10^3	3.48×10^2
6.00×10^3	3.47×10^2
8.00×10^3	3.49×10^2
1.00×10^4	3.49×10^2

图 A.1.7 从正 μ 子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)表 A.1.8 从负 π 子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$	E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00	4.06×10^2	6.00×10^2	9.17×10^2
1.50	4.22×10^2	8.00×10^2	9.76×10^2
2.00	4.33×10^2	1.00×10^3	1.02×10^3
3.00	4.58×10^2	1.50×10^3	1.08×10^3
4.00	4.91×10^2	2.00×10^3	1.12×10^3
5.00	5.28×10^2	3.00×10^3	1.13×10^3
6.00	6.73×10^2	4.00×10^3	1.17×10^3
8.00	9.65×10^2	5.00×10^3	1.23×10^3
1.00×10^1	1.09×10^3	6.00×10^3	1.26×10^3
1.50×10^1	1.25×10^3	8.00×10^3	1.39×10^3
2.00×10^1	1.28×10^3	1.00×10^4	1.46×10^3
3.00×10^1	1.77×10^3	1.50×10^4	1.60×10^3
4.00×10^1	1.92×10^3	2.00×10^4	1.70×10^3
5.00×10^1	1.93×10^3	3.00×10^4	1.86×10^3
6.00×10^1	1.99×10^3	4.00×10^4	1.99×10^3
8.00×10^1	1.31×10^3	5.00×10^4	2.11×10^3
1.00×10^2	1.03×10^3	6.00×10^4	2.21×10^3
1.50×10^2	9.27×10^2	8.00×10^4	2.42×10^3
2.00×10^2	9.02×10^2	1.00×10^5	2.60×10^3
3.00×10^2	8.48×10^2	1.50×10^5	2.98×10^3
4.00×10^2	8.50×10^2	2.00×10^5	3.14×10^3
5.00×10^2	8.80×10^2		

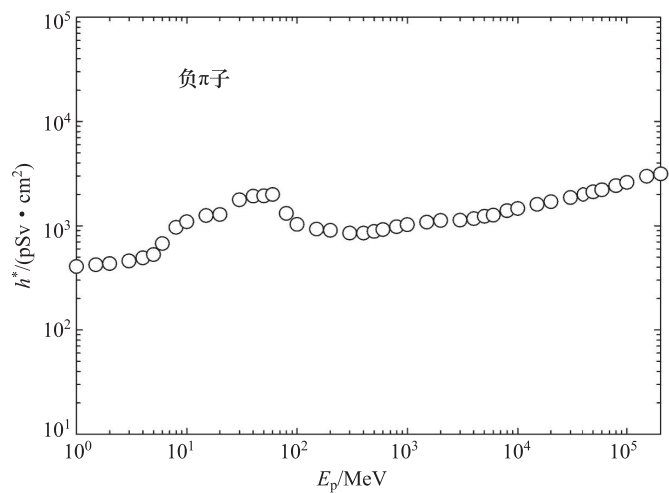


图 A.1.8 从负 π^- 子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

表 A.1.9 从正 π^+ 子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$	E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00	3.14×10^2	6.00×10^2	9.80×10^2
1.50	3.24×10^2	8.00×10^2	1.04×10^3
2.00	3.40×10^2	1.00×10^3	1.09×10^3
3.00	3.79×10^2	1.50×10^3	1.16×10^3
4.00	4.29×10^2	2.00×10^3	1.19×10^3
5.00	4.89×10^2	3.00×10^3	1.18×10^3
6.00	5.40×10^2	4.00×10^3	1.21×10^3
8.00	7.17×10^2	5.00×10^3	1.27×10^3
1.00×10^1	8.19×10^2	6.00×10^3	1.29×10^3
1.50×10^1	1.00×10^3	8.00×10^3	1.39×10^3
2.00×10^1	1.10×10^3	1.00×10^4	1.46×10^3
3.00×10^1	1.52×10^3	1.50×10^4	1.60×10^3
4.00×10^1	1.75×10^3	2.00×10^4	1.69×10^3
5.00×10^1	1.83×10^3	3.00×10^4	1.86×10^3
6.00×10^1	1.82×10^3	4.00×10^4	1.97×10^3
8.00×10^1	1.38×10^3	5.00×10^4	2.09×10^3
1.00×10^2	1.13×10^3	6.00×10^4	2.20×10^3
1.50×10^2	1.22×10^3	8.00×10^4	2.38×10^3
2.00×10^2	1.25×10^3	1.00×10^5	2.53×10^3
3.00×10^2	1.10×10^3	1.50×10^5	2.90×10^3
4.00×10^2	9.98×10^2	2.00×10^5	3.24×10^3
5.00×10^2	9.70×10^2		

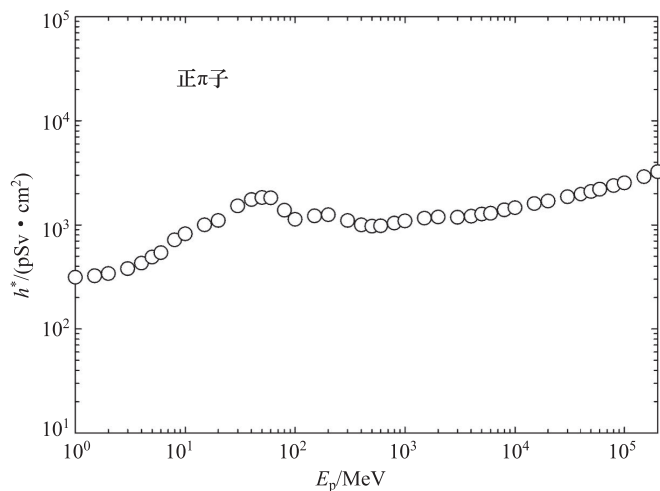


图 A.1.9 从正 π 子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

表 A.1.10 从 He^{2+} 离子注量到周围剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

$E_p/(\text{MeV} \cdot \text{u}^{-1})$	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00	2.19×10^2
2.00	4.38×10^2
3.00	6.57×10^2
5.00	1.09×10^3
1.00×10^1	2.19×10^3
1.40×10^1	4.61×10^3
2.00×10^1	1.72×10^4
3.00×10^1	3.01×10^4
5.00×10^1	4.75×10^4
7.50×10^1	8.05×10^4
1.00×10^2	1.01×10^5
1.50×10^2	1.10×10^5
2.00×10^2	7.29×10^4
3.00×10^2	5.33×10^4
5.00×10^2	4.49×10^4
7.00×10^2	4.60×10^4
1.00×10^3	4.47×10^4
2.00×10^3	4.80×10^4
3.00×10^3	5.01×10^4
5.00×10^3	5.17×10^4
1.00×10^4	6.26×10^4
2.00×10^4	7.10×10^4
5.00×10^4	9.67×10^4
1.00×10^5	1.24×10^5

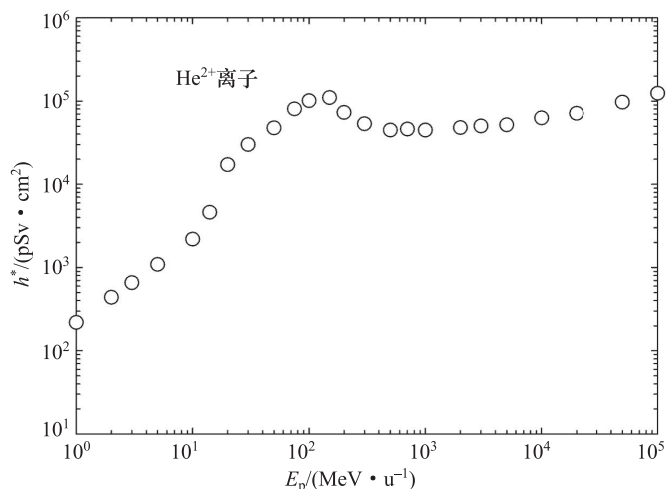


图 A.1.10 从 He^{2+} 离子注量到周围剂量的转换系数 (ICRP, 2010 年)

A.2 个人剂量

表 A.2.1a~表 A.2.10 和图 A.2.1a~图 A.2.10 给出了从粒子注量到个人剂量的转换系数数值, 涵盖了多种粒子类型: 能量高达 1 GeV 的光子、中子、电子、正电子、质子、负 μ 子、正 μ 子、负 π 子和正 π 子; 能量高达 $1 \text{ GeV} \cdot \text{u}^{-1}$ 的 He^{2+} 离子。转换系数 $h_p(\varphi)$ 建立了粒子注量与 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模 (ICRP, 2009 年) 全身照射有效剂量 E 之间的联系, 适用于以下不同入射角度 φ 均匀平行宽束的入射: 从 0° (AP) 到 90° , 每隔 15° 计算一次, 转换系数取左右两侧照射时有效剂量平均值; 以及 180° 、旋转、各向同性、上半身半各向同性和下半身半各向同性场。对于能量高达 50 MeV 的光子, 表 A.2.1b 和图 A.2.1b 给出了从空气比释动能得到的转换系数, 如表 A.2.0 所示。

表 A.2.1a~表 A.2.10 和图 A.2.1a~图 A.2.10 的转换系数引自 ICRP 第 116 号出版物 (ICRP, 2010 年) 和 Endo^① 的计算结果。ICRP 第 116

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

号出版物提供了辐射场均匀平行宽束和各向同性入射的转换系数,对于光子和中子,照射几何条件有 AP、PA、LLAT、RLAT、ROT、ISO 和 SS-ISO 场。对于电子、正电子、 μ 子和 π 子,照射几何条件有 AP、PA、ISO、SS-ISO 和 IS-ISO 场;对于 He^{2+} 离子,照射几何条件有 AP、PA 和 ISO 场。对于能量高达 50 MeV 的光子,表 A.2.1b 和图 A.2.1b 给出了从空气比释动能到个人剂量的转换系数。

$h_p(\alpha)$ 在 xy 平面上的入射角度 $\varphi=0^\circ$, 180° , $+90^\circ$ 和 -90° 分别对应于照射几何条件 AP、PA、LLAT 和 RLAT 场,表 A.2.1a/b~表 A.2.10 和图 A.2.1a/b~图 A.2.10 引用了 ICRP 第 116 号出版物的这些转换系数。ICRP 第 116 号出版物没有提供的照射几何条件的转换系数,则引用了 Endo^① (2017 年)的计算结果。ICRP 第 116 号出版物与 Endo 计算结果的数值一致性已得到研究验证 (Endo, 2017 年)。

表 A.2.0 入射角度为 $0^\circ \sim 90^\circ$ 、 180° 、ROT、ISO、SS-ISO 和 IS-ISO 的个人剂量 H_p 转换系数

表/图	粒子类型	物理量	能量范围/MeV
A.2.1a	光子	注量	$5.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.1b	光子	空气比释动能	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
A.2.2	中子	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.3	电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.4	正电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.5	质子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.6	负 μ 子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.7	正 μ 子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.8	负 π 子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.9	正 π 子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^3$
A.2.10	He^{2+} 离子	注量	$1.0 \sim 1.0 \times 10^3$ ^a

^a He^{2+} 离子的能量单位为 MeV/u。

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

表 A.2.1a 从光子注量到个人剂量的转换系数 (Endo^①, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
5.0×10 ⁻³	1.34×10 ⁻²	1.41×10 ⁻²	1.39×10 ⁻²	1.30×10 ⁻²	1.16×10 ⁻²	9.37×10 ⁻³	6.87×10 ⁻³	1.33×10 ⁻²	1.15×10 ⁻²	1.04×10 ⁻²	1.05×10 ⁻²	1.02×10 ⁻²
6.0×10 ⁻³	1.66×10 ⁻²	1.79×10 ⁻²	1.81×10 ⁻²	1.71×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²	1.19×10 ⁻²	8.28×10 ⁻³	1.59×10 ⁻²	1.41×10 ⁻²	1.28×10 ⁻²	1.31×10 ⁻²	1.25×10 ⁻²
7.0×10 ⁻³	2.25×10 ⁻²	2.43×10 ⁻²	2.42×10 ⁻²	2.25×10 ⁻²	1.97×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²	9.88×10 ⁻³	1.78×10 ⁻²	1.74×10 ⁻²	1.58×10 ⁻²	1.61×10 ⁻²	1.53×10 ⁻²
8.0×10 ⁻³	3.35×10 ⁻²	3.48×10 ⁻²	3.36×10 ⁻²	3.03×10 ⁻²	2.57×10 ⁻²	1.93×10 ⁻²	1.20×10 ⁻²	1.87×10 ⁻²	2.16×10 ⁻²	1.94×10 ⁻²	2.00×10 ⁻²	1.87×10 ⁻²
9.0×10 ⁻³	4.90×10 ⁻²	4.97×10 ⁻²	4.62×10 ⁻²	4.05×10 ⁻²	3.35×10 ⁻²	2.45×10 ⁻²	1.48×10 ⁻²	1.86×10 ⁻²	2.73×10 ⁻²	2.36×10 ⁻²	2.45×10 ⁻²	2.26×10 ⁻²
1.0×10 ⁻²	6.85×10 ⁻²	6.71×10 ⁻²	6.13×10 ⁻²	5.26×10 ⁻²	4.25×10 ⁻²	3.06×10 ⁻²	1.86×10 ⁻²	1.84×10 ⁻²	3.37×10 ⁻²	2.88×10 ⁻²	3.01×10 ⁻²	2.75×10 ⁻²
1.2×10 ⁻²	1.05×10 ⁻¹	1.03×10 ⁻¹	9.38×10 ⁻²	7.94×10 ⁻²	6.24×10 ⁻²	4.42×10 ⁻²	2.67×10 ⁻²	1.62×10 ⁻²	4.70×10 ⁻²	3.95×10 ⁻²	4.06×10 ⁻²	3.75×10 ⁻²
1.3×10 ⁻²	1.22×10 ⁻¹	1.20×10 ⁻¹	1.09×10 ⁻¹	9.30×10 ⁻²	7.26×10 ⁻²	5.09×10 ⁻²	3.10×10 ⁻²	1.56×10 ⁻²	5.32×10 ⁻²	4.49×10 ⁻²	4.58×10 ⁻²	4.26×10 ⁻²
1.5×10 ⁻²	1.56×10 ⁻¹	1.50×10 ⁻¹	1.39×10 ⁻¹	1.19×10 ⁻¹	9.28×10 ⁻²	6.40×10 ⁻²	4.03×10 ⁻²	1.55×10 ⁻²	6.65×10 ⁻²	5.60×10 ⁻²	5.77×10 ⁻²	5.43×10 ⁻²
1.7×10 ⁻²	1.81×10 ⁻¹	1.79×10 ⁻¹	1.66×10 ⁻¹	1.44×10 ⁻¹	1.13×10 ⁻¹	7.72×10 ⁻²	4.78×10 ⁻²	1.75×10 ⁻²	7.83×10 ⁻²	6.50×10 ⁻²	6.54×10 ⁻²	6.32×10 ⁻²
2.0×10 ⁻²	2.25×10 ⁻¹	2.19×10 ⁻¹	2.05×10 ⁻¹	1.78×10 ⁻¹	1.42×10 ⁻¹	9.77×10 ⁻²	6.14×10 ⁻²	2.61×10 ⁻²	9.88×10 ⁻²	8.13×10 ⁻²	8.22×10 ⁻²	8.02×10 ⁻²
2.5×10 ⁻²	2.75×10 ⁻¹	2.71×10 ⁻¹	2.55×10 ⁻¹	2.26×10 ⁻¹	1.83×10 ⁻¹	1.29×10 ⁻¹	7.87×10 ⁻²	5.64×10 ⁻²	1.30×10 ⁻¹	1.04×10 ⁻¹	1.05×10 ⁻¹	1.01×10 ⁻¹
3.0×10 ⁻²	3.12×10 ⁻¹	3.07×10 ⁻¹	2.89×10 ⁻¹	2.55×10 ⁻¹	2.09×10 ⁻¹	1.52×10 ⁻¹	9.88×10 ⁻²	9.46×10 ⁻²	1.59×10 ⁻¹	1.27×10 ⁻¹	1.29×10 ⁻¹	1.25×10 ⁻¹
4.0×10 ⁻²	3.50×10 ⁻¹	3.40×10 ⁻¹	3.24×10 ⁻¹	2.90×10 ⁻¹	2.42×10 ⁻¹	1.84×10 ⁻¹	1.26×10 ⁻¹	1.63×10 ⁻¹	1.99×10 ⁻¹	1.58×10 ⁻¹	1.62×10 ⁻¹	1.54×10 ⁻¹
5.0×10 ⁻²	3.69×10 ⁻¹	3.59×10 ⁻¹	3.44×10 ⁻¹	3.07×10 ⁻¹	2.64×10 ⁻¹	2.00×10 ⁻¹	1.45×10 ⁻¹	2.09×10 ⁻¹	2.26×10 ⁻¹	1.80×10 ⁻¹	1.84×10 ⁻¹	1.76×10 ⁻¹
6.0×10 ⁻²	3.89×10 ⁻¹	3.82×10 ⁻¹	3.64×10 ⁻¹	3.26×10 ⁻¹	2.81×10 ⁻¹	2.19×10 ⁻¹	1.62×10 ⁻¹	2.43×10 ⁻¹	2.48×10 ⁻¹	1.98×10 ⁻¹	2.04×10 ⁻¹	1.94×10 ⁻¹
7.0×10 ⁻²	4.11×10 ⁻¹	4.06×10 ⁻¹	3.87×10 ⁻¹	3.48×10 ⁻¹	3.00×10 ⁻¹	2.38×10 ⁻¹	1.78×10 ⁻¹	2.73×10 ⁻¹	2.73×10 ⁻¹	2.18×10 ⁻¹	2.23×10 ⁻¹	2.09×10 ⁻¹
8.0×10 ⁻²	4.43×10 ⁻¹	4.36×10 ⁻¹	4.18×10 ⁻¹	3.75×10 ⁻¹	3.30×10 ⁻¹	2.63×10 ⁻¹	1.97×10 ⁻¹	3.02×10 ⁻¹	2.97×10 ⁻¹	2.38×10 ⁻¹	2.46×10 ⁻¹	2.32×10 ⁻¹
1.0×10 ⁻¹	5.18×10 ⁻¹	5.12×10 ⁻¹	4.85×10 ⁻¹	4.50×10 ⁻¹	3.95×10 ⁻¹	3.18×10 ⁻¹	2.40×10 ⁻¹	3.63×10 ⁻¹	3.56×10 ⁻¹	2.86×10 ⁻¹	2.95×10 ⁻¹	2.79×10 ⁻¹
1.5×10 ⁻¹	7.47×10 ⁻¹	7.45×10 ⁻¹	7.10×10 ⁻¹	6.55×10 ⁻¹	5.84×10 ⁻¹	4.87×10 ⁻¹	3.69×10 ⁻¹	5.43×10 ⁻¹	5.29×10 ⁻¹	4.29×10 ⁻¹	4.45×10 ⁻¹	4.13×10 ⁻¹
2.0×10 ⁻¹	1.00	9.95×10 ⁻¹	9.54×10 ⁻¹	8.88×10 ⁻¹	8.01×10 ⁻¹	6.73×10 ⁻¹	5.18×10 ⁻¹	7.45×10 ⁻¹	7.22×10 ⁻¹	5.89×10 ⁻¹	6.10×10 ⁻¹	5.68×10 ⁻¹
3.0×10 ⁻¹	1.51	1.50	1.45	1.36	1.24	1.07	8.39×10 ⁻¹	1.16	1.12	9.32×10 ⁻¹	9.64×10 ⁻¹	9.00×10 ⁻¹
4.0×10 ⁻¹	2.00	1.98	1.94	1.82	1.68	1.45	1.18	1.58	1.53	1.28	1.32	1.24
5.0×10 ⁻¹	2.47	2.44	2.39	2.27	2.12	1.84	1.51	1.99	1.92	1.63	1.67	1.59
6.0×10 ⁻¹	2.91	2.89	2.85	2.69	2.52	2.21	1.84	2.39	2.31	1.97	2.02	1.92
8.0×10 ⁻¹	3.73	3.73	3.65	3.52	3.30	2.93	2.49	3.14	3.04	2.62	2.70	2.54
1.0	4.49	4.50	4.41	4.26	4.03	3.57	3.12	3.84	3.73	3.25	3.32	3.18
1.5	6.12	6.11	6.04	5.86	5.60	5.16	4.55	5.41	5.24	4.67	4.74	4.58
2.0	7.48	7.49	7.41	7.20	6.93	6.48	5.81	6.77	6.56	5.91	6.03	5.77
3.0	9.75	9.81	9.65	9.53	9.33	8.69	8.03	9.13	8.85	8.08	8.22	7.94
4.0	1.17×10 ¹	1.17×10 ¹	1.16×10 ¹	1.15×10 ¹	1.13×10 ¹	1.06×10 ¹	1.00×10 ¹	1.12×10 ¹	1.09×10 ¹	1.00×10 ¹	1.02×10 ¹	9.80
5.0	1.34×10 ¹	1.34×10 ¹	1.33×10 ¹	1.32×10 ¹	1.32×10 ¹	1.25×10 ¹	1.18×10 ¹	1.32×10 ¹	1.27×10 ¹	1.18×10 ¹	1.20×10 ¹	1.16×10 ¹
6.0	1.50×10 ¹	1.51×10 ¹	1.49×10 ¹	1.49×10 ¹	1.48×10 ¹	1.42×10 ¹	1.35×10 ¹	1.50×10 ¹	1.44×10 ¹	1.35×10 ¹	1.37×10 ¹	1.33×10 ¹
8.0	1.78×10 ¹	1.80×10 ¹	1.79×10 ¹	1.79×10 ¹	1.80×10 ¹	1.73×10 ¹	1.68×10 ¹	1.86×10 ¹	1.76×10 ¹	1.66×10 ¹	1.69×10 ¹	1.63×10 ¹

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

续表

E_p MeV	$h_p(\phi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
1.0×10^1	2.05×10^1	2.06×10^1	2.05×10^1	2.06×10^1	2.09×10^1	2.04×10^1	1.99×10^1	2.21×10^1	2.07×10^1	1.97×10^1	1.99×10^1	1.93×10^1
1.5×10^1	2.61×10^1	2.64×10^1	2.64×10^1	2.67×10^1	2.73×10^1	2.72×10^1	2.72×10^1	3.04×10^1	2.77×10^1	2.68×10^1	2.68×10^1	2.62×10^1
2.0×10^1	3.08×10^1	3.10×10^1	3.13×10^1	3.19×10^1	3.29×10^1	3.37×10^1	3.44×10^1	3.82×10^1	3.44×10^1	3.38×10^1	3.39×10^1	3.37×10^1
3.0×10^1	3.79×10^1	3.82×10^1	3.87×10^1	4.03×10^1	4.26×10^1	4.49×10^1	4.77×10^1	5.13×10^1	4.60×10^1	4.61×10^1	4.61×10^1	4.61×10^1
4.0×10^1	4.32×10^1	4.31×10^1	4.46×10^1	4.68×10^1	5.08×10^1	5.54×10^1	6.01×10^1	6.18×10^1	5.60×10^1	5.69×10^1	5.66×10^1	5.72×10^1
5.0×10^1	4.71×10^1	4.70×10^1	4.86×10^1	5.21×10^1	5.71×10^1	6.37×10^1	7.10×10^1	7.01×10^1	6.43×10^1	6.61×10^1	6.58×10^1	6.66×10^1
6.0×10^1	5.01×10^1	5.13×10^1	5.35×10^1	5.75×10^1	6.38×10^1	7.23×10^1	8.04×10^1	7.65×10^1	7.11×10^1	7.41×10^1	7.35×10^1	7.47×10^1
8.0×10^1	5.45×10^1	5.57×10^1	5.84×10^1	6.33×10^1	7.16×10^1	8.28×10^1	9.55×10^1	8.62×10^1	8.18×10^1	8.71×10^1	8.55×10^1	8.89×10^1
1.0×10^2	5.78×10^1	5.93×10^1	6.20×10^1	6.77×10^1	7.72×10^1	9.03×10^1	1.07×10^2	9.27×10^1	8.95×10^1	9.75×10^1	9.61×10^1	9.89×10^1
1.5×10^2	6.32×10^1	6.46×10^1	6.75×10^1	7.52×10^1	8.67×10^1	1.03×10^2	1.26×10^2	1.03×10^2	1.02×10^2	1.16×10^2	1.15×10^2	1.18×10^2
2.0×10^2	6.72×10^1	6.82×10^1	7.17×10^1	7.97×10^1	9.31×10^1	1.11×10^2	1.39×10^2	1.10×10^2	1.10×10^2	1.29×10^2	1.25×10^2	1.35×10^2
3.0×10^2	7.23×10^1	7.40×10^1	7.69×10^1	8.64×10^1	1.01×10^2	1.21×10^2	1.55×10^2	1.18×10^2	1.21×10^2	1.47×10^2	1.40×10^2	1.54×10^2
4.0×10^2	7.54×10^1	7.81×10^1	8.13×10^1	9.11×10^1	1.07×10^2	1.29×10^2	1.66×10^2	1.23×10^2	1.28×10^2	1.59×10^2	1.50×10^2	1.68×10^2
5.0×10^2	7.74×10^1	7.86×10^1	8.27×10^1	9.26×10^1	1.10×10^2	1.33×10^2	1.74×10^2	1.27×10^2	1.32×10^2	1.67×10^2	1.58×10^2	1.78×10^2
6.0×10^2	7.87×10^1	8.01×10^1	8.41×10^1	9.44×10^1	1.12×10^2	1.37×10^2	1.79×10^2	1.30×10^2	1.36×10^2	1.74×10^2	1.65×10^2	1.83×10^2
8.0×10^2	8.04×10^1	8.22×10^1	8.62×10^1	9.70×10^1	1.16×10^2	1.42×10^2	1.87×10^2	1.34×10^2	1.41×10^2	1.85×10^2	1.74×10^2	1.96×10^2
1.0×10^3	8.16×10^1	8.35×10^1	8.79×10^1	9.95×10^1	1.18×10^2	1.46×10^2	1.93×10^2	1.37×10^2	1.45×10^2	1.93×10^2	1.80×10^2	2.06×10^2

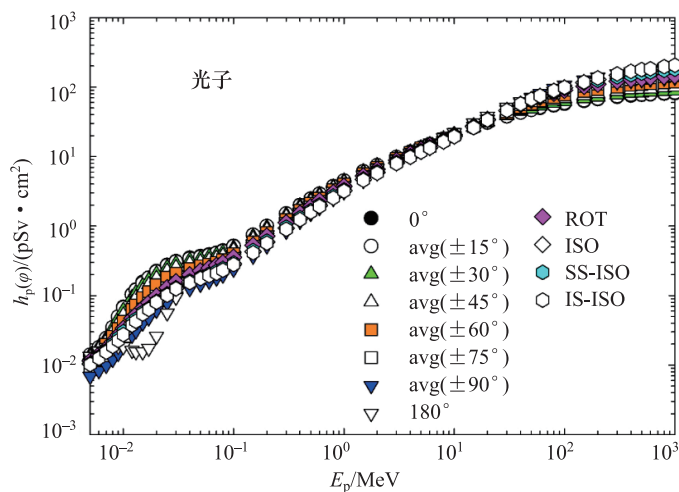
图 A.2.1a 从光子注量到个人剂量的转换系数 (Endo^①, 2017 年; ICRP, 2010 年)① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

表 A.2.1b 从光子空气比释动能到个人剂量的转换系数 (Endo^①, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
5.0×10^{-3}	4.36×10^{-4}	4.58×10^{-4}	4.55×10^{-4}	4.23×10^{-4}	3.77×10^{-4}	3.06×10^{-4}	2.24×10^{-4}	4.35×10^{-4}	3.74×10^{-4}	3.39×10^{-4}	3.42×10^{-4}	3.33×10^{-4}
6.0×10^{-3}	7.80×10^{-4}	8.41×10^{-4}	8.51×10^{-4}	8.04×10^{-4}	7.12×10^{-4}	5.60×10^{-4}	3.90×10^{-4}	7.47×10^{-4}	6.62×10^{-4}	6.05×10^{-4}	6.15×10^{-4}	5.90×10^{-4}
7.0×10^{-3}	1.45×10^{-3}	1.57×10^{-3}	1.56×10^{-3}	1.45×10^{-3}	1.27×10^{-3}	9.74×10^{-4}	6.37×10^{-4}	1.15×10^{-3}	1.12×10^{-3}	1.02×10^{-3}	1.04×10^{-3}	9.89×10^{-4}
8.0×10^{-3}	2.84×10^{-3}	2.96×10^{-3}	2.85×10^{-3}	2.57×10^{-3}	2.18×10^{-3}	1.64×10^{-3}	1.02×10^{-3}	1.59×10^{-3}	1.84×10^{-3}	1.64×10^{-3}	1.69×10^{-3}	1.58×10^{-3}
9.0×10^{-3}	5.31×10^{-3}	5.39×10^{-3}	5.01×10^{-3}	4.39×10^{-3}	3.63×10^{-3}	2.66×10^{-3}	1.60×10^{-3}	2.02×10^{-3}	2.96×10^{-3}	2.56×10^{-3}	2.66×10^{-3}	2.45×10^{-3}
1.0×10^{-2}	9.26×10^{-3}	9.07×10^{-3}	8.28×10^{-3}	7.10×10^{-3}	5.74×10^{-3}	4.13×10^{-3}	2.51×10^{-3}	2.49×10^{-3}	4.55×10^{-3}	3.89×10^{-3}	4.07×10^{-3}	3.72×10^{-3}
1.2×10^{-2}	2.09×10^{-2}	2.05×10^{-2}	1.87×10^{-2}	1.58×10^{-2}	1.24×10^{-2}	8.80×10^{-3}	5.31×10^{-3}	3.23×10^{-3}	9.36×10^{-3}	7.87×10^{-3}	8.09×10^{-3}	7.47×10^{-3}
1.3×10^{-2}	2.87×10^{-2}	2.83×10^{-2}	2.58×10^{-2}	2.19×10^{-2}	1.71×10^{-2}	1.20×10^{-2}	7.32×10^{-3}	3.67×10^{-3}	1.26×10^{-2}	1.06×10^{-2}	1.08×10^{-2}	1.01×10^{-2}
1.5×10^{-2}	4.99×10^{-2}	4.81×10^{-2}	4.44×10^{-2}	3.80×10^{-2}	2.97×10^{-2}	2.05×10^{-2}	1.29×10^{-2}	4.96×10^{-3}	2.13×10^{-2}	1.79×10^{-2}	1.85×10^{-2}	1.74×10^{-2}
1.7×10^{-2}	7.56×10^{-2}	7.49×10^{-2}	6.97×10^{-2}	6.02×10^{-2}	4.74×10^{-2}	3.23×10^{-2}	2.00×10^{-2}	7.31×10^{-3}	3.28×10^{-2}	2.72×10^{-2}	2.74×10^{-2}	2.64×10^{-2}
2.0×10^{-2}	1.34×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.22×10^{-1}	1.06×10^{-1}	8.45×10^{-2}	5.80×10^{-2}	3.64×10^{-2}	1.55×10^{-2}	5.87×10^{-2}	4.83×10^{-2}	4.88×10^{-2}	4.76×10^{-2}
2.5×10^{-2}	2.60×10^{-1}	2.56×10^{-1}	2.41×10^{-1}	2.14×10^{-1}	1.73×10^{-1}	1.22×10^{-1}	7.45×10^{-2}	5.34×10^{-2}	1.23×10^{-1}	9.81×10^{-2}	9.92×10^{-2}	9.57×10^{-2}
3.0×10^{-2}	4.32×10^{-1}	4.25×10^{-1}	4.01×10^{-1}	3.54×10^{-1}	2.89×10^{-1}	2.10×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.31×10^{-1}	2.20×10^{-1}	1.76×10^{-1}	1.79×10^{-1}	1.73×10^{-1}
4.0×10^{-2}	8.16×10^{-1}	7.92×10^{-1}	7.55×10^{-1}	6.75×10^{-1}	5.65×10^{-1}	4.28×10^{-1}	2.93×10^{-1}	3.80×10^{-1}	4.64×10^{-1}	3.68×10^{-1}	3.78×10^{-1}	3.59×10^{-1}
5.0×10^{-2}	1.14	1.11	1.07	9.50×10^{-1}	8.18×10^{-1}	6.18×10^{-1}	4.49×10^{-1}	6.47×10^{-1}	7.00×10^{-1}	5.57×10^{-1}	5.70×10^{-1}	5.45×10^{-1}
6.0×10^{-2}	1.35	1.32	1.26	1.13	9.72×10^{-1}	7.59×10^{-1}	5.59×10^{-1}	8.41×10^{-1}	8.58×10^{-1}	6.85×10^{-1}	7.06×10^{-1}	6.72×10^{-1}
7.0×10^{-2}	1.43	1.41	1.34	1.21	1.04	8.27×10^{-1}	6.18×10^{-1}	9.49×10^{-1}	9.49×10^{-1}	7.57×10^{-1}	7.74×10^{-1}	7.27×10^{-1}
8.0×10^{-2}	1.44	1.42	1.36	1.22	1.07	8.56×10^{-1}	6.42×10^{-1}	9.85×10^{-1}	9.68×10^{-1}	7.76×10^{-1}	8.02×10^{-1}	7.56×10^{-1}
1.0×10^{-1}	1.39	1.38	1.30	1.21	1.06	8.57×10^{-1}	6.45×10^{-1}	9.77×10^{-1}	9.59×10^{-1}	7.70×10^{-1}	7.94×10^{-1}	7.51×10^{-1}
1.5×10^{-1}	1.25	1.24	1.18	1.09	9.75×10^{-1}	8.13×10^{-1}	6.15×10^{-1}	9.06×10^{-1}	8.83×10^{-1}	7.16×10^{-1}	7.42×10^{-1}	6.89×10^{-1}
2.0×10^{-1}	1.17	1.16	1.11	1.04	9.35×10^{-1}	7.86×10^{-1}	6.04×10^{-1}	8.70×10^{-1}	8.43×10^{-1}	6.88×10^{-1}	7.12×10^{-1}	6.63×10^{-1}
3.0×10^{-1}	1.09	1.09	1.05	9.87×10^{-1}	8.96×10^{-1}	7.71×10^{-1}	6.06×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.10×10^{-1}	6.74×10^{-1}	6.97×10^{-1}	6.51×10^{-1}
4.0×10^{-1}	1.06	1.05	1.02	9.62×10^{-1}	8.87×10^{-1}	7.65×10^{-1}	6.21×10^{-1}	8.35×10^{-1}	8.09×10^{-1}	6.77×10^{-1}	6.98×10^{-1}	6.55×10^{-1}
5.0×10^{-1}	1.04	1.03	1.01	9.53×10^{-1}	8.90×10^{-1}	7.74×10^{-1}	6.35×10^{-1}	8.36×10^{-1}	8.07×10^{-1}	6.85×10^{-1}	7.02×10^{-1}	6.68×10^{-1}
6.0×10^{-1}	1.02	1.02	1.00	9.47×10^{-1}	8.86×10^{-1}	7.77×10^{-1}	6.47×10^{-1}	8.40×10^{-1}	8.12×10^{-1}	6.93×10^{-1}	7.10×10^{-1}	6.75×10^{-1}
8.0×10^{-1}	1.01	1.01	9.85×10^{-1}	9.51×10^{-1}	8.92×10^{-1}	7.91×10^{-1}	6.71×10^{-1}	8.48×10^{-1}	8.21×10^{-1}	7.08×10^{-1}	7.29×10^{-1}	6.86×10^{-1}
1.0	1.00	1.00	9.84×10^{-1}	9.50×10^{-1}	8.98×10^{-1}	7.97×10^{-1}	6.95×10^{-1}	8.57×10^{-1}	8.32×10^{-1}	7.25×10^{-1}	7.41×10^{-1}	7.10×10^{-1}
1.5	9.96×10^{-1}	9.94×10^{-1}	9.82×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.11×10^{-1}	8.40×10^{-1}	7.39×10^{-1}	8.80×10^{-1}	8.52×10^{-1}	7.60×10^{-1}	7.71×10^{-1}	7.46×10^{-1}
2.0	9.90×10^{-1}	9.91×10^{-1}	9.80×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.17×10^{-1}	8.57×10^{-1}	7.69×10^{-1}	8.96×10^{-1}	8.68×10^{-1}	7.82×10^{-1}	7.98×10^{-1}	7.64×10^{-1}
3.0	9.77×10^{-1}	9.83×10^{-1}	9.67×10^{-1}	9.55×10^{-1}	9.35×10^{-1}	8.71×10^{-1}	8.05×10^{-1}	9.15×10^{-1}	8.87×10^{-1}	8.10×10^{-1}	8.24×10^{-1}	7.96×10^{-1}
4.0	9.64×10^{-1}	9.64×10^{-1}	9.55×10^{-1}	9.51×10^{-1}	9.31×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.25×10^{-1}	9.23×10^{-1}	8.98×10^{-1}	8.24×10^{-1}	8.40×10^{-1}	8.07×10^{-1}
5.0	9.45×10^{-1}	9.43×10^{-1}	9.40×10^{-1}	9.34×10^{-1}	9.32×10^{-1}	8.80×10^{-1}	8.32×10^{-1}	9.31×10^{-1}	8.96×10^{-1}	8.32×10^{-1}	8.46×10^{-1}	8.18×10^{-1}
6.0	9.28×10^{-1}	9.32×10^{-1}	9.22×10^{-1}	9.18×10^{-1}	9.16×10^{-1}	8.75×10^{-1}	8.35×10^{-1}	9.28×10^{-1}	8.91×10^{-1}	8.35×10^{-1}	8.47×10^{-1}	8.23×10^{-1}
8.0	8.84×10^{-1}	8.92×10^{-1}	8.90×10^{-1}	8.90×10^{-1}	8.93×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.32×10^{-1}	9.24×10^{-1}	8.74×10^{-1}	8.25×10^{-1}	8.40×10^{-1}	8.10×10^{-1}

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

续表

E_p / MeV	$h_p(\phi) / (\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
1.0×10^1	8.50×10^{-1}	8.54×10^{-1}	8.51×10^{-1}	8.54×10^{-1}	8.65×10^{-1}	8.46×10^{-1}	8.23×10^{-1}	9.16×10^{-1}	8.58×10^{-1}	8.16×10^{-1}	8.25×10^{-1}	8.00×10^{-1}
1.5×10^1	7.57×10^{-1}	7.66×10^{-1}	7.65×10^{-1}	7.74×10^{-1}	7.92×10^{-1}	7.90×10^{-1}	7.89×10^{-1}	8.82×10^{-1}	8.04×10^{-1}	7.78×10^{-1}	7.77×10^{-1}	7.59×10^{-1}
2.0×10^1	6.79×10^{-1}	6.83×10^{-1}	6.90×10^{-1}	7.04×10^{-1}	7.26×10^{-1}	7.44×10^{-1}	7.57×10^{-1}	8.42×10^{-1}	7.58×10^{-1}	7.45×10^{-1}	7.47×10^{-1}	7.43×10^{-1}
3.0×10^1	5.53×10^{-1}	5.57×10^{-1}	5.64×10^{-1}	5.88×10^{-1}	6.20×10^{-1}	6.54×10^{-1}	6.95×10^{-1}	7.48×10^{-1}	6.71×10^{-1}	6.72×10^{-1}	6.72×10^{-1}	6.72×10^{-1}
4.0×10^1	4.63×10^{-1}	4.62×10^{-1}	4.78×10^{-1}	5.02×10^{-1}	5.45×10^{-1}	5.94×10^{-1}	6.44×10^{-1}	6.62×10^{-1}	6.00×10^{-1}	6.10×10^{-1}	6.07×10^{-1}	6.13×10^{-1}
5.0×10^1	3.95×10^{-1}	3.95×10^{-1}	4.08×10^{-1}	4.37×10^{-1}	4.79×10^{-1}	5.35×10^{-1}	5.96×10^{-1}	5.88×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.55×10^{-1}	5.52×10^{-1}	5.59×10^{-1}

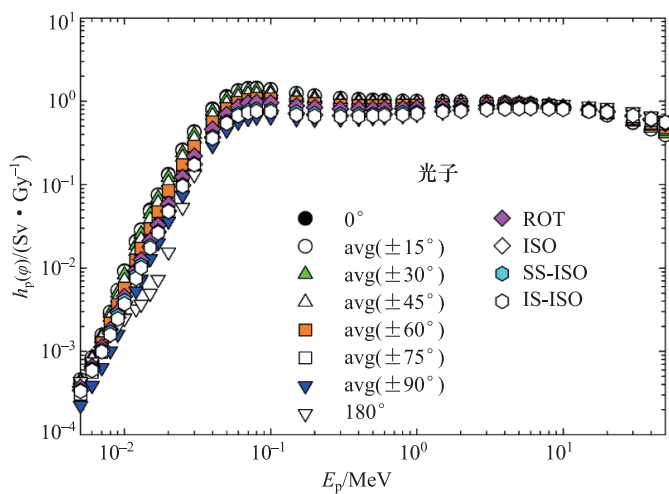
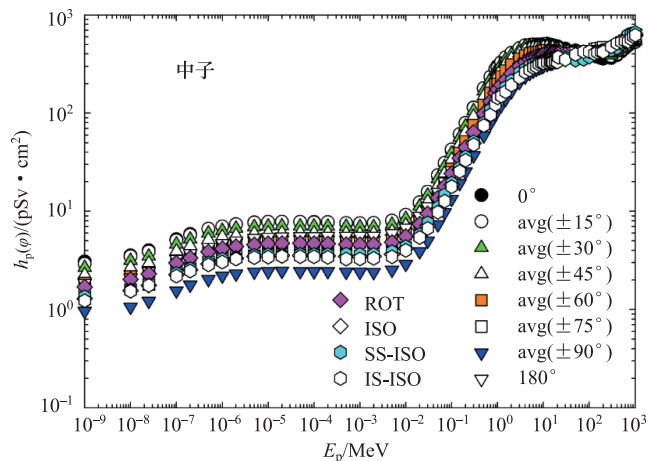
图 A.2.1b 从光子空气比释动能到个人剂量的转换系数 (Endo^①, 2017 年; ICRP, 2010 年)

图 A.2.2 从中子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

① Endo, A. (2016). *Personal communication* (Japan Atomic Energy Agency, Tokai, Ibaraki, Japan).

表 A.2.2 从中子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p MeV	$h_p(\theta) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
1.0×10^{-9}	3.09	2.93	2.67	2.25	1.86	1.38	9.67×10^{-1}	1.85	1.70	1.29	1.35	1.23
1.0×10^{-8}	3.55	3.48	3.14	2.67	2.18	1.60	1.06	2.11	2.03	1.56	1.58	1.54
2.5×10^{-8}	4.00	3.89	3.48	2.97	2.41	1.79	1.22	2.44	2.31	1.76	1.76	1.76
1.0×10^{-7}	5.20	5.06	4.62	3.93	3.16	2.35	1.56	3.25	2.98	2.26	2.33	2.19
2.0×10^{-7}	5.87	5.73	5.20	4.45	3.58	2.61	1.79	3.72	3.36	2.54	2.61	2.47
5.0×10^{-7}	6.59	6.65	6.00	5.14	4.16	3.05	2.04	4.33	3.86	2.92	2.99	2.85
1.0×10^{-6}	7.03	7.01	6.34	5.51	4.34	3.26	2.21	4.73	4.17	3.15	3.25	3.05
2.0×10^{-6}	7.39	7.37	6.70	5.69	4.59	3.41	2.32	5.02	4.40	3.32	3.37	3.27
5.0×10^{-6}	7.71	7.69	6.95	5.95	4.83	3.53	2.43	5.30	4.59	3.47	3.56	3.38
1.0×10^{-5}	7.82	7.81	7.06	6.02	4.87	3.65	2.45	5.44	4.68	3.52	3.62	3.42
2.0×10^{-5}	7.84	7.83	7.09	6.04	4.87	3.64	2.47	5.51	4.72	3.54	3.60	3.48
5.0×10^{-5}	7.82	7.81	7.06	6.09	4.87	3.61	2.45	5.55	4.73	3.55	3.65	3.45
1.0×10^{-4}	7.79	7.71	7.06	6.00	4.90	3.63	2.44	5.57	4.72	3.54	3.64	3.44
2.0×10^{-4}	7.73	7.75	7.01	6.04	4.85	3.63	2.45	5.59	4.67	3.52	3.64	3.40
5.0×10^{-4}	7.54	7.59	7.00	5.96	4.78	3.56	2.42	5.60	4.60	3.47	3.67	3.27
1.0×10^{-3}	7.54	7.56	6.91	5.89	4.80	3.51	2.41	5.60	4.58	3.46	3.64	3.28
2.0×10^{-3}	7.61	7.61	6.94	5.98	4.76	3.54	2.40	5.62	4.61	3.48	3.64	3.32
5.0×10^{-3}	7.97	8.03	7.33	6.23	5.03	3.76	2.54	5.95	4.86	3.66	3.88	3.44
1.0×10^{-2}	9.11	9.21	8.41	7.21	5.83	4.30	2.90	6.81	5.57	4.19	4.38	4.00
2.0×10^{-2}	1.22×10^1	1.23×10^1	1.13×10^1	9.68	7.78	5.78	3.91	8.93	7.41	5.61	5.80	5.42
3.0×10^{-2}	1.57×10^1	1.59×10^1	1.45×10^1	1.26×10^1	1.00×10^1	7.43	5.01	1.12×10^1	9.46	7.18	7.66	6.70
5.0×10^{-2}	2.30×10^1	2.33×10^1	2.14×10^1	1.83×10^1	1.48×10^1	1.09×10^1	7.35	1.57×10^1	1.37×10^1	1.04×10^1	1.10×10^1	9.80
7.0×10^{-2}	3.06×10^1	3.10×10^1	2.84×10^1	2.43×10^1	1.97×10^1	1.45×10^1	9.73	2.00×10^1	1.80×10^1	1.37×10^1	1.47×10^1	1.27×10^1
1.0×10^{-1}	4.19×10^1	4.25×10^1	3.90×10^1	3.36×10^1	2.70×10^1	1.99×10^1	1.34×10^1	2.59×10^1	2.43×10^1	1.86×10^1	1.94×10^1	1.78×10^1
1.5×10^{-1}	6.06×10^1	6.10×10^1	5.63×10^1	4.86×10^1	3.92×10^1	2.89×10^1	1.94×10^1	3.49×10^1	3.47×10^1	2.66×10^1	2.77×10^1	2.55×10^1
2.0×10^{-1}	7.88×10^1	7.93×10^1	7.35×10^1	6.38×10^1	5.16×10^1	3.81×10^1	2.53×10^1	4.31×10^1	4.47×10^1	3.44×10^1	3.57×10^1	3.31×10^1
3.0×10^{-1}	1.14×10^2	1.13×10^2	1.05×10^2	9.24×10^1	7.50×10^1	5.55×10^1	3.70×10^1	5.81×10^1	6.38×10^1	4.94×10^1	5.11×10^1	4.77×10^1
5.0×10^{-1}	1.77×10^2	1.79×10^2	1.67×10^2	1.48×10^2	1.21×10^2	8.90×10^1	5.91×10^1	8.59×10^1	9.91×10^1	7.71×10^1	7.97×10^1	7.45×10^1
7.0×10^{-1}	2.32×10^2	2.34×10^2	2.20×10^2	1.96×10^2	1.62×10^2	1.20×10^2	7.91×10^1	1.12×10^2	1.31×10^2	1.02×10^2	1.08×10^2	9.60×10^1
9.0×10^{-1}	2.79×10^2	2.81×10^2	2.65×10^2	2.36×10^2	1.96×10^2	1.48×10^2	9.72×10^1	1.36×10^2	1.60×10^2	1.26×10^2	1.30×10^2	1.22×10^2
1.0	3.01×10^2	2.88×10^2	2.72×10^2	2.42×10^2	1.99×10^2	1.48×10^2	1.06×10^2	1.48×10^2	1.74×10^2	1.37×10^2	1.31×10^2	1.43×10^2
1.2	3.30×10^2	3.31×10^2	3.15×10^2	2.82×10^2	2.35×10^2	1.79×10^2	1.20×10^2	1.67×10^2	1.93×10^2	1.53×10^2	1.57×10^2	1.49×10^2
1.5	3.65×10^2	3.69×10^2	3.50×10^2	3.18×10^2	2.70×10^2	2.08×10^2	1.39×10^2	1.95×10^2	2.19×10^2	1.74×10^2	1.83×10^2	1.65×10^2
2.0	4.07×10^2	4.11×10^2	3.92×10^2	3.57×10^2	3.10×10^2	2.43×10^2	1.66×10^2	2.35×10^2	2.54×10^2	2.03×10^2	2.13×10^2	1.93×10^2
3.0	4.58×10^2	4.57×10^2	4.39×10^2	4.07×10^2	3.58×10^2	2.93×10^2	2.07×10^2	2.92×10^2	3.01×10^2	2.44×10^2	2.58×10^2	2.30×10^2
4.0	4.83×10^2	4.90×10^2	4.74×10^2	4.39×10^2	3.88×10^2	3.18×10^2	2.35×10^2	3.30×10^2	3.31×10^2	2.71×10^2	2.81×10^2	2.61×10^2
5.0	4.94×10^2	4.92×10^2	4.78×10^2	4.52×10^2	4.05×10^2	3.43×10^2	2.55×10^2	3.54×10^2	3.51×10^2	2.90×10^2	3.05×10^2	2.75×10^2
6.0	4.98×10^2	4.99×10^2	4.85×10^2	4.59×10^2	4.15×10^2	3.54×10^2	2.70×10^2	3.71×10^2	3.65×10^2	3.03×10^2	3.15×10^2	2.91×10^2
7.0	4.99×10^2	4.95×10^2	4.82×10^2	4.58×10^2	4.18×10^2	3.68×10^2	2.81×10^2	3.83×10^2	3.74×10^2	3.13×10^2	3.28×10^2	2.98×10^2

续表

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
8.0	4.99×10^2	4.93×10^2	4.81×10^2	4.56×10^2	4.20×10^2	3.66×10^2	2.90×10^2	3.92×10^2	3.81×10^2	3.21×10^2	3.29×10^2	3.13×10^2
9.0	5.00×10^2	4.93×10^2	4.82×10^2	4.59×10^2	4.22×10^2	3.72×10^2	2.97×10^2	3.98×10^2	3.86×10^2	3.27×10^2	3.32×10^2	3.22×10^2
1.0×10^1	5.00×10^2	5.04×10^2	4.90×10^2	4.68×10^2	4.32×10^2	3.81×10^2	3.03×10^2	4.04×10^2	3.90×10^2	3.32×10^2	3.40×10^2	3.24×10^2
1.2×10^1	4.99×10^2	5.08×10^2	4.95×10^2	4.73×10^2	4.37×10^2	3.85×10^2	3.13×10^2	4.12×10^2	3.95×10^2	3.39×10^2	3.49×10^2	3.29×10^2
1.4×10^1	4.95×10^2	4.95×10^2	4.87×10^2	4.68×10^2	4.34×10^2	3.93×10^2	3.22×10^2	4.17×10^2	3.98×10^2	3.44×10^2	3.56×10^2	3.32×10^2
1.5×10^1	4.93×10^2	4.93×10^2	4.84×10^2	4.67×10^2	4.36×10^2	3.91×10^2	3.25×10^2	4.19×10^2	3.98×10^2	3.46×10^2	3.59×10^2	3.33×10^2
1.6×10^1	4.90×10^2	4.87×10^2	4.79×10^2	4.62×10^2	4.30×10^2	3.92×10^2	3.28×10^2	4.20×10^2	3.99×10^2	3.47×10^2	3.62×10^2	3.32×10^2
1.8×10^1	4.84×10^2	4.64×10^2	4.62×10^2	4.44×10^2	4.18×10^2	3.83×10^2	3.33×10^2	4.22×10^2	3.99×10^2	3.50×10^2	3.65×10^2	3.35×10^2
2.0×10^1	4.77×10^2	4.62×10^2	4.61×10^2	4.45×10^2	4.22×10^2	3.84×10^2	3.38×10^2	4.23×10^2	3.98×10^2	3.52×10^2	3.73×10^2	3.31×10^2
2.1×10^1	4.74×10^2	4.09×10^2	4.04×10^2	3.97×10^2	3.85×10^2	3.59×10^2	3.39×10^2	4.23×10^2	3.98×10^2	3.53×10^2	3.35×10^2	3.71×10^2
3.0×10^1	4.53×10^2	4.27×10^2	4.23×10^2	4.19×10^2	4.05×10^2	3.88×10^2	3.53×10^2	4.22×10^2	3.95×10^2	3.58×10^2	3.66×10^2	3.50×10^2
5.0×10^1	4.33×10^2	4.01×10^2	4.00×10^2	4.00×10^2	3.92×10^2	3.85×10^2	3.75×10^2	4.28×10^2	3.95×10^2	3.71×10^2	3.46×10^2	3.96×10^2
7.5×10^1	4.20×10^2	4.11×10^2	4.12×10^2	4.09×10^2	4.08×10^2	4.04×10^2	3.96×10^2	4.39×10^2	4.02×10^2	3.87×10^2	3.53×10^2	4.21×10^2
1.0×10^2	4.02×10^2	4.14×10^2	4.18×10^2	4.20×10^2	4.25×10^2	4.24×10^2	4.07×10^2	4.44×10^2	4.06×10^2	3.97×10^2	3.73×10^2	4.21×10^2
1.3×10^2	3.82×10^2	4.23×10^2	4.30×10^2	4.39×10^2	4.46×10^2	4.49×10^2	4.15×10^2	4.46×10^2	4.11×10^2	4.07×10^2	4.12×10^2	4.02×10^2
1.5×10^2	3.73×10^2	4.19×10^2	4.23×10^2	4.40×10^2	4.47×10^2	4.57×10^2	4.19×10^2	4.46×10^2	4.14×10^2	4.12×10^2	4.09×10^2	4.15×10^2
1.8×10^2	3.63×10^2	4.05×10^2	4.09×10^2	4.31×10^2	4.45×10^2	4.59×10^2	4.25×10^2	4.47×10^2	4.18×10^2	4.21×10^2	4.22×10^2	4.20×10^2
2.0×10^2	3.59×10^2	4.04×10^2	4.09×10^2	4.30×10^2	4.49×10^2	4.67×10^2	4.28×10^2	4.48×10^2	4.22×10^2	4.26×10^2	4.33×10^2	4.19×10^2
3.0×10^2	3.63×10^2	3.80×10^2	3.89×10^2	4.06×10^2	4.27×10^2	4.47×10^2	4.46×10^2	4.64×10^2	4.43×10^2	4.55×10^2	4.37×10^2	4.73×10^2
4.0×10^2	3.89×10^2	3.98×10^2	4.07×10^2	4.25×10^2	4.41×10^2	4.61×10^2	4.78×10^2	4.96×10^2	4.72×10^2	4.88×10^2	4.61×10^2	5.15×10^2
5.0×10^2	4.22×10^2	4.38×10^2	4.49×10^2	4.65×10^2	4.85×10^2	5.08×10^2	5.17×10^2	5.33×10^2	5.03×10^2	5.21×10^2	5.09×10^2	5.33×10^2
6.0×10^2	4.57×10^2	4.72×10^2	4.83×10^2	5.03×10^2	5.24×10^2	5.46×10^2	5.55×10^2	5.69×10^2	5.32×10^2	5.53×10^2	5.66×10^2	5.40×10^2
7.0×10^2	4.86×10^2	4.94×10^2	5.06×10^2	5.23×10^2	5.43×10^2	5.69×10^2	5.88×10^2	5.99×10^2	5.58×10^2	5.80×10^2	6.25×10^2	5.35×10^2
8.0×10^2	5.08×10^2	5.10×10^2	5.22×10^2	5.42×10^2	5.64×10^2	5.90×10^2	6.12×10^2	6.23×10^2	5.80×10^2	6.04×10^2	6.38×10^2	5.70×10^2
9.0×10^2	5.24×10^2	5.20×10^2	5.33×10^2	5.54×10^2	5.75×10^2	6.01×10^2	6.30×10^2	6.40×10^2	5.98×10^2	6.24×10^2	6.45×10^2	6.03×10^2
1.0×10^3	5.37×10^2	5.28×10^2	5.40×10^2	5.63×10^2	5.84×10^2	6.12×10^2	$.43 \times 10^2$	6.54×10^2	6.14×10^2	6.42×10^2	6.63×10^2	6.21×10^2

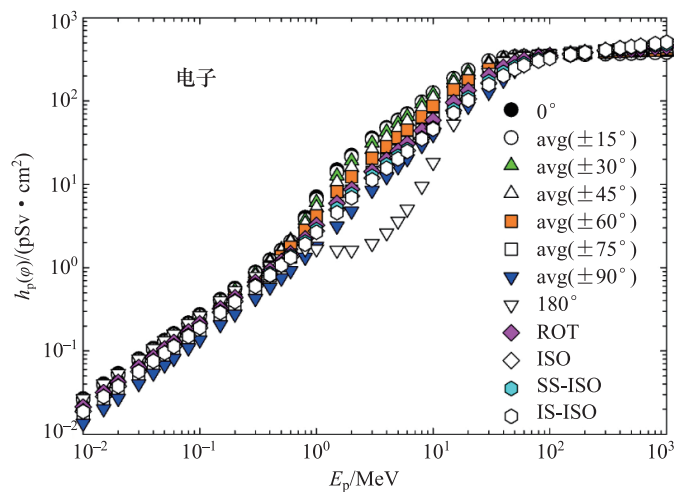


图 A.2.3 从电子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

表 A.2.3 从电子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
1.0×10^{-2}	2.69×10^{-2}	2.60×10^{-2}	2.44×10^{-2}	2.20×10^{-2}	1.98×10^{-2}	1.67×10^{-2}	1.35×10^{-2}	2.68×10^{-2}	2.13×10^{-2}	1.88×10^{-2}	1.89×10^{-2}	1.87×10^{-2}
1.5×10^{-2}	4.04×10^{-2}	3.88×10^{-2}	3.64×10^{-2}	3.28×10^{-2}	2.94×10^{-2}	2.49×10^{-2}	2.02×10^{-2}	4.02×10^{-2}	3.17×10^{-2}	2.83×10^{-2}	2.84×10^{-2}	2.82×10^{-2}
2.0×10^{-2}	5.39×10^{-2}	5.17×10^{-2}	4.85×10^{-2}	4.37×10^{-2}	3.92×10^{-2}	3.32×10^{-2}	2.70×10^{-2}	5.35×10^{-2}	4.22×10^{-2}	3.77×10^{-2}	3.78×10^{-2}	3.76×10^{-2}
3.0×10^{-2}	8.10×10^{-2}	7.76×10^{-2}	7.29×10^{-2}	6.57×10^{-2}	5.88×10^{-2}	4.99×10^{-2}	4.05×10^{-2}	8.01×10^{-2}	6.34×10^{-2}	5.67×10^{-2}	5.70×10^{-2}	5.64×10^{-2}
4.0×10^{-2}	1.08×10^{-1}	1.04×10^{-1}	9.75×10^{-2}	8.80×10^{-2}	7.89×10^{-2}	6.68×10^{-2}	5.41×10^{-2}	1.07×10^{-1}	8.48×10^{-2}	7.58×10^{-2}	7.59×10^{-2}	7.57×10^{-2}
5.0×10^{-2}	1.35×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.22×10^{-1}	1.10×10^{-1}	9.87×10^{-2}	8.37×10^{-2}	6.76×10^{-2}	1.33×10^{-1}	1.06×10^{-1}	9.48×10^{-2}	9.50×10^{-2}	9.46×10^{-2}
6.0×10^{-2}	1.63×10^{-1}	1.56×10^{-1}	1.47×10^{-1}	1.33×10^{-1}	1.19×10^{-1}	1.01×10^{-1}	8.12×10^{-2}	1.60×10^{-1}	1.27×10^{-1}	1.14×10^{-1}	1.15×10^{-1}	1.13×10^{-1}
8.0×10^{-2}	2.18×10^{-1}	2.10×10^{-1}	1.98×10^{-1}	1.79×10^{-1}	1.60×10^{-1}	1.35×10^{-1}	1.09×10^{-1}	2.13×10^{-1}	1.70×10^{-1}	1.52×10^{-1}	1.54×10^{-1}	1.50×10^{-1}
1.0×10^{-1}	2.75×10^{-1}	2.63×10^{-1}	2.49×10^{-1}	2.25×10^{-1}	2.02×10^{-1}	1.70×10^{-1}	1.36×10^{-1}	2.67×10^{-1}	2.13×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.92×10^{-1}	1.90×10^{-1}
1.5×10^{-1}	4.18×10^{-1}	4.02×10^{-1}	3.85×10^{-1}	3.50×10^{-1}	3.12×10^{-1}	2.60×10^{-1}	2.06×10^{-1}	3.99×10^{-1}	3.23×10^{-1}	2.91×10^{-1}	2.94×10^{-1}	2.88×10^{-1}
2.0×10^{-1}	5.69×10^{-1}	5.48×10^{-1}	5.29×10^{-1}	4.85×10^{-1}	4.32×10^{-1}	3.56×10^{-1}	2.78×10^{-1}	5.30×10^{-1}	4.37×10^{-1}	3.93×10^{-1}	3.96×10^{-1}	3.90×10^{-1}
3.0×10^{-1}	8.89×10^{-1}	8.65×10^{-1}	8.50×10^{-1}	7.92×10^{-1}	6.99×10^{-1}	5.63×10^{-1}	4.26×10^{-1}	7.87×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.06×10^{-1}	6.16×10^{-1}	5.96×10^{-1}
4.0×10^{-1}	1.24	1.22	1.22	1.15	1.01	7.98×10^{-1}	5.81×10^{-1}	1.04	9.21×10^{-1}	8.32×10^{-1}	8.51×10^{-1}	8.13×10^{-1}
5.0×10^{-1}	1.63	1.60	1.65	1.56	1.36	1.06	7.48×10^{-1}	1.28	1.19	1.08	1.09	1.07
6.0×10^{-1}	2.05	2.06	2.13	2.03	1.77	1.35	9.19×10^{-1}	1.50	1.48	1.35	1.38	1.32
8.0×10^{-1}	4.04	3.79	3.70	3.36	2.82	2.06	1.33	1.68	2.23	1.97	2.03	1.91
1.0	7.10	6.55	6.07	5.25	4.20	2.94	1.81	1.68	3.23	2.76	2.86	2.66
1.5	1.50×10^1	1.40×10^1	1.26×10^1	1.05×10^1	8.16	5.50	3.16	1.62	5.93	4.96	5.10	4.57
2.0	2.24×10^1	2.13×10^1	1.92×10^1	1.60×10^1	1.23×10^1	8.27	4.76	1.62	8.73	7.24	7.59	6.89
3.0	3.61×10^1	3.45×10^1	3.12×10^1	2.63×10^1	2.06×10^1	1.40×10^1	8.44	1.95	1.42×10^1	1.19×10^1	1.25×10^1	1.13×10^1
4.0	4.82×10^1	4.69×10^1	4.27×10^1	3.64×10^1	2.85×10^1	1.98×10^1	1.23×10^1	2.62	1.96×10^1	1.64×10^1	1.72×10^1	1.56×10^1
5.0	5.93×10^1	5.82×10^1	5.39×10^1	4.65×10^1	3.66×10^1	2.54×10^1	1.63×10^1	3.63	2.50×10^1	2.10×10^1	2.18×10^1	2.02×10^1
6.0	7.06×10^1	6.94×10^1	6.54×10^1	5.68×10^1	4.50×10^1	3.16×10^1	2.03×10^1	5.04	3.07×10^1	2.55×10^1	2.62×10^1	2.48×10^1
8.0	9.79×10^1	9.70×10^1	9.27×10^1	8.14×10^1	6.46×10^1	4.50×10^1	2.92×10^1	9.46	4.43×10^1	3.55×10^1	3.59×10^1	3.51×10^1
1.0×10^1	1.25×10^2	1.26×10^2	1.21×10^2	1.09×10^2	8.71×10^1	6.08×10^1	3.96×10^1	1.83×10^1	5.87×10^1	4.67×10^1	4.74×10^1	4.60×10^1
1.5×10^1	1.88×10^2	1.87×10^2	1.80×10^2	1.65×10^2	1.36×10^2	9.95×10^1	6.40×10^1	5.31×10^1	9.63×10^1	7.69×10^1	7.85×10^1	7.18×10^1
2.0×10^1	2.36×10^2	2.35×10^2	2.25×10^2	2.07×10^2	1.76×10^2	1.32×10^2	8.62×10^1	1.04×10^2	1.34×10^2	1.06×10^2	1.10×10^2	1.02×10^2
3.0×10^1	3.02×10^2	3.05×10^2	2.90×10^2	2.72×10^2	2.39×10^2	1.89×10^2	1.27×10^2	2.20×10^2	2.03×10^2	1.64×10^2	1.71×10^2	1.57×10^2
4.0×10^1	3.29×10^2	3.31×10^2	3.25×10^2	3.11×10^2	2.87×10^2	2.46×10^2	1.78×10^2	2.97×10^2	2.56×10^2	2.12×10^2	2.21×10^2	2.01×10^2
5.0×10^1	3.37×10^2	3.40×10^2	3.38×10^2	3.33×10^2	3.18×10^2	2.90×10^2	2.32×10^2	3.31×10^2	2.90×10^2	2.49×10^2	2.57×10^2	2.41×10^2
6.0×10^1	3.41×10^2	3.45×10^2	3.42×10^2	3.41×10^2	3.33×10^2	3.17×10^2	2.71×10^2	3.44×10^2	3.12×10^2	2.75×10^2	2.82×10^2	2.68×10^2
8.0×10^1	3.46×10^2	3.49×10^2	3.49×10^2	3.50×10^2	3.48×10^2	3.45×10^2	3.16×10^2	3.58×10^2	3.37×10^2	3.09×10^2	3.16×10^2	3.02×10^2
1.0×10^2	3.49×10^2	3.52×10^2	3.53×10^2	3.55×10^2	3.55×10^2	3.56×10^2	3.40×10^2	3.66×10^2	3.51×10^2	3.31×10^2	3.37×10^2	3.25×10^2
1.5×10^2	3.55×10^2	3.58×10^2	3.59×10^2	3.63×10^2	3.67×10^2	3.75×10^2	3.70×10^2	3.79×10^2	3.70×10^2	3.63×10^2	3.66×10^2	3.60×10^2

续表

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
2.0×10^2	3.59×10^2	3.61×10^2	3.62×10^2	3.67×10^2	3.76×10^2	3.85×10^2	3.92×10^2	3.88×10^2	3.84×10^2	3.83×10^2	3.84×10^2	3.82×10^2
3.0×10^2	3.65×10^2	3.67×10^2	3.68×10^2	3.75×10^2	3.86×10^2	4.01×10^2	4.20×10^2	3.99×10^2	3.98×10^2	4.10×10^2	4.09×10^2	4.11×10^2
4.0×10^2	3.69×10^2	3.70×10^2	3.73×10^2	3.81×10^2	3.92×10^2	4.12×10^2	4.37×10^2	4.08×10^2	4.08×10^2	4.30×10^2	4.25×10^2	4.35×10^2
5.0×10^2	3.72×10^2	3.73×10^2	3.75×10^2	3.85×10^2	4.00×10^2	4.19×10^2	4.50×10^2	4.14×10^2	4.16×10^2	4.45×10^2	4.41×10^2	4.49×10^2
6.0×10^2	3.75×10^2	3.78×10^2	3.79×10^2	3.89×10^2	4.06×10^2	4.26×10^2	4.60×10^2	4.19×10^2	4.24×10^2	4.57×10^2	4.50×10^2	4.64×10^2
8.0×10^2	3.79×10^2	3.79×10^2	3.84×10^2	3.94×10^2	4.09×10^2	4.37×10^2	4.78×10^2	4.28×10^2	4.37×10^2	4.78×10^2	4.68×10^2	4.88×10^2
1.0×10^3	3.82×10^2	3.83×10^2	3.86×10^2	4.00×10^2	4.18×10^2	4.45×10^2	4.94×10^2	4.34×10^2	4.47×10^2	4.95×10^2	4.82×10^2	5.08×10^2

表 A.2.4 从正电子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
1.0×10^{-2}	3.28	3.11	2.81	2.37	1.92	1.43	9.99×10^{-1}	1.62	1.77	1.39	1.45	1.33
1.5×10^{-2}	3.29	3.00	2.70	2.28	1.85	1.38	9.68×10^{-1}	1.64	1.71	1.40	1.47	1.33
2.0×10^{-2}	3.30	2.98	2.67	2.24	1.82	1.36	9.68×10^{-1}	1.65	1.70	1.41	1.46	1.36
3.0×10^{-2}	3.33	2.98	2.66	2.24	1.81	1.37	9.71×10^{-1}	1.68	1.70	1.43	1.49	1.37
4.0×10^{-2}	3.36	3.06	2.74	2.32	1.87	1.42	1.00	1.71	1.75	1.45	1.50	1.40
5.0×10^{-2}	3.39	3.07	2.77	2.32	1.87	1.42	1.01	1.73	1.77	1.47	1.52	1.42
6.0×10^{-2}	3.42	3.09	2.78	2.34	1.90	1.44	1.03	1.76	1.78	1.49	1.57	1.41
8.0×10^{-2}	3.47	3.13	2.81	2.37	1.93	1.46	1.05	1.82	1.82	1.53	1.60	1.46
1.0×10^{-1}	3.53	3.18	2.86	2.40	1.97	1.50	1.07	1.87	1.86	1.57	1.63	1.51
1.5×10^{-1}	3.67	3.32	2.99	2.53	2.07	1.59	1.14	2.01	1.97	1.67	1.72	1.62
2.0×10^{-1}	3.84	3.46	3.13	2.66	2.20	1.68	1.21	2.14	2.07	1.77	1.81	1.73
3.0×10^{-1}	4.16	3.79	3.47	2.98	2.47	1.89	1.35	2.40	2.32	1.98	2.05	1.91
4.0×10^{-1}	4.52	4.13	3.84	3.37	2.79	2.13	1.50	2.65	2.57	2.21	2.28	2.14
5.0×10^{-1}	4.90	4.54	4.29	3.79	3.15	2.39	1.66	2.90	2.84	2.45	2.54	2.36
6.0×10^{-1}	5.36	5.00	4.77	4.28	3.57	2.69	1.84	3.12	3.13	2.72	2.82	2.62
8.0×10^{-1}	7.41	6.80	6.41	5.65	4.66	3.41	2.24	3.32	3.90	3.38	3.51	3.25
1.0	1.05×10^1	9.61	8.83	7.58	6.07	4.33	2.73	3.37	4.94	4.20	4.39	4.01
1.5	1.83×10^1	1.71×10^1	1.54×10^1	1.30×10^1	1.01×10^1	6.92	4.15	3.44	7.66	6.42	6.50	5.87
2.0	2.57×10^1	2.42×10^1	2.18×10^1	1.83×10^1	1.42×10^1	9.75	5.79	3.59	1.05×10^1	8.70	9.13	8.27
3.0	3.91×10^1	3.72×10^1	3.37×10^1	2.84×10^1	2.22×10^1	1.55×10^1	9.45	4.19	1.59×10^1	1.33×10^1	1.39×10^1	1.27×10^1
4.0	5.10×10^1	4.92×10^1	4.50×10^1	3.83×10^1	3.01×10^1	2.12×10^1	1.33×10^1	5.11	2.13×10^1	1.80×10^1	1.88×10^1	1.72×10^1
5.0	6.17×10^1	6.01×10^1	5.57×10^1	4.79×10^1	3.80×10^1	2.68×10^1	1.72×10^1	6.31	2.66×10^1	2.24×10^1	2.33×10^1	2.15×10^1

续表

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
6.0	7.29×10^1	7.12×10^1	6.71×10^1	5.84×10^1	4.63×10^1	3.28×10^1	2.13×10^1	8.03	3.23×10^1	2.69×10^1	2.77×10^1	2.61×10^1
8.0	9.90×10^1	9.75×10^1	9.32×10^1	8.18×10^1	6.56×10^1	4.58×10^1	3.01×10^1	1.40×10^1	4.61×10^1	3.67×10^1	3.77×10^1	3.57×10^1
1.0×10^1	1.26×10^2	1.24×10^2	1.19×10^2	1.08×10^2	8.65×10^1	6.13×10^1	3.95×10^1	2.36×10^1	5.95×10^1	4.76×10^1	4.89×10^1	4.63×10^1
1.5×10^1	1.84×10^2	1.83×10^2	1.75×10^2	1.59×10^2	1.33×10^2	9.68×10^1	6.37×10^1	5.90×10^1	9.55×10^1	7.55×10^1	7.72×10^1	7.17×10^1
2.0×10^1	2.29×10^2	2.25×10^2	2.16×10^2	1.99×10^2	1.72×10^2	1.28×10^2	8.47×10^1	1.11×10^2	1.30×10^2	1.04×10^2	1.08×10^2	1.00×10^2
3.0×10^1	2.94×10^2	2.89×10^2	2.78×10^2	2.58×10^2	2.28×10^2	1.82×10^2	1.24×10^2	2.21×10^2	1.95×10^2	1.62×10^2	1.65×10^2	1.59×10^2
4.0×10^1	3.20×10^2	3.14×10^2	3.08×10^2	2.95×10^2	2.73×10^2	2.38×10^2	1.72×10^2	2.91×10^2	2.42×10^2	2.09×10^2	2.10×10^2	2.08×10^2
5.0×10^1	3.27×10^2	3.22×10^2	3.20×10^2	3.12×10^2	3.00×10^2	2.75×10^2	2.19×10^2	3.21×10^2	2.76×10^2	2.43×10^2	2.44×10^2	2.42×10^2
6.0×10^1	3.33×10^2	3.26×10^2	3.27×10^2	3.22×10^2	3.16×10^2	3.01×10^2	2.58×10^2	3.34×10^2	2.96×10^2	2.68×10^2	2.67×10^2	2.69×10^2
8.0×10^1	3.39×10^2	3.35×10^2	3.35×10^2	3.34×10^2	3.31×10^2	3.27×10^2	2.98×10^2	3.49×10^2	3.20×10^2	3.02×10^2	3.00×10^2	3.04×10^2
1.0×10^2	3.42×10^2	3.38×10^2	3.40×10^2	3.39×10^2	3.39×10^2	3.40×10^2	3.24×10^2	3.57×10^2	3.34×10^2	3.23×10^2	3.19×10^2	3.27×10^2
1.5×10^2	3.49×10^2	3.47×10^2	3.48×10^2	3.50×10^2	3.54×10^2	3.59×10^2	3.59×10^2	3.71×10^2	3.55×10^2	3.56×10^2	3.49×10^2	3.46×10^2
2.0×10^2	3.54×10^2	3.52×10^2	3.54×10^2	3.58×10^2	3.63×10^2	3.73×10^2	3.79×10^2	3.81×10^2	3.68×10^2	3.77×10^2	3.71×10^2	3.83×10^2
3.0×10^2	3.62×10^2	3.59×10^2	3.61×10^2	3.67×10^2	3.78×10^2	3.90×10^2	4.06×10^2	3.93×10^2	3.85×10^2	4.05×10^2	3.98×10^2	4.12×10^2
4.0×10^2	3.66×10^2	3.64×10^2	3.66×10^2	3.74×10^2	3.86×10^2	4.02×10^2	4.26×10^2	4.02×10^2	3.99×10^2	4.25×10^2	4.15×10^2	4.35×10^2
5.0×10^2	3.69×10^2	3.68×10^2	3.72×10^2	3.81×10^2	3.92×10^2	4.13×10^2	4.39×10^2	4.09×10^2	4.08×10^2	4.40×10^2	4.31×10^2	4.49×10^2
6.0×10^2	3.72×10^2	3.71×10^2	3.75×10^2	3.84×10^2	3.99×10^2	4.20×10^2	4.53×10^2	4.15×10^2	4.18×10^2	4.53×10^2	4.44×10^2	4.62×10^2
8.0×10^2	3.76×10^2	3.76×10^2	3.79×10^2	3.90×10^2	4.08×10^2	4.30×10^2	4.72×10^2	4.24×10^2	4.32×10^2	4.74×10^2	4.63×10^2	4.85×10^2
1.0×10^3	3.79×10^2	3.80×10^2	3.83×10^2	3.95×10^2	4.14×10^2	4.41×10^2	4.89×10^2	4.30×10^2	4.36×10^2	4.91×10^2	4.77×10^2	5.05×10^2

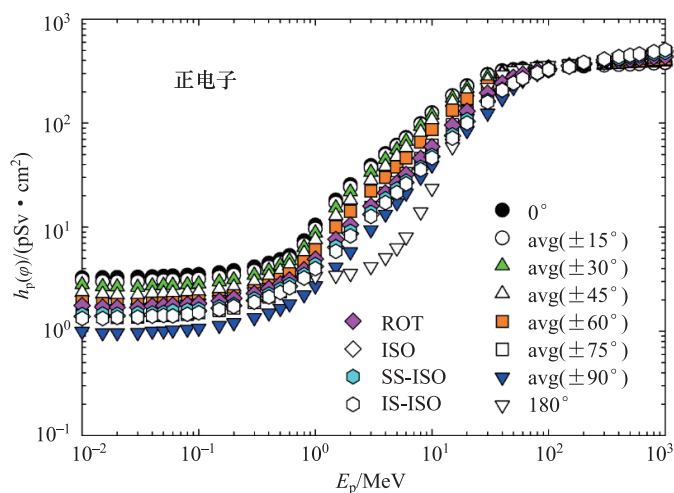


图 A.2.4 从正电子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

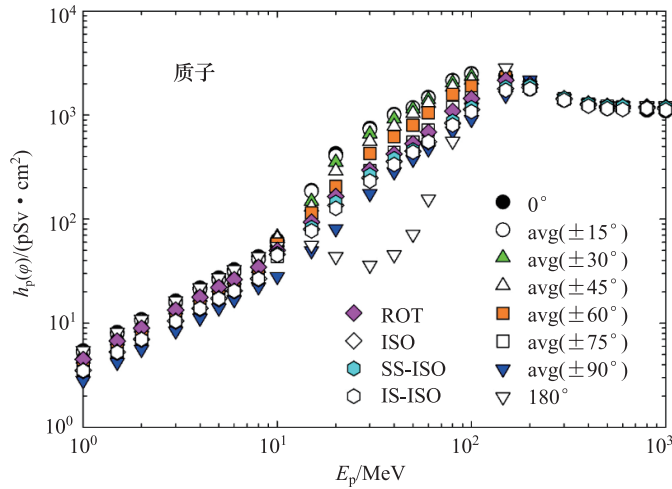


图 A.2.5 从质子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

表 A.2.5 从质子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p / MeV	$h_p(\phi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
1.0	5.46	5.30	5.01	4.53	4.07	3.44	2.81	5.47	4.50	3.52	3.44	3.51
1.5	8.20	7.94	7.50	6.78	6.09	5.15	4.21	8.21	6.75	5.28	5.16	5.26
2.0	1.09×10^1	1.06×10^1	9.97	9.01	8.10	6.86	5.62	1.09×10^1	8.98	7.02	6.86	7.00
3.0	1.64×10^1	1.58×10^1	1.49×10^1	1.34×10^1	1.21×10^1	1.02×10^1	8.42	1.64×10^1	1.34×10^1	1.05×10^1	1.03×10^1	1.05×10^1
4.0	2.19×10^1	2.10×10^1	1.97×10^1	1.77×10^1	1.60×10^1	1.36×10^1	1.12×10^1	2.19×10^1	1.78×10^1	1.39×10^1	1.36×10^1	1.39×10^1
5.0	2.73×10^1	2.61×10^1	2.44×10^1	2.19×10^1	1.98×10^1	1.69×10^1	1.40×10^1	2.73×10^1	2.21×10^1	1.73×10^1	1.69×10^1	1.72×10^1
6.0	3.28×10^1	3.11×10^1	2.90×10^1	2.60×10^1	2.34×10^1	2.01×10^1	1.68×10^1	3.28×10^1	2.63×10^1	2.05×10^1	2.01×10^1	2.05×10^1
8.0	4.37×10^1	4.09×10^1	3.76×10^1	3.36×10^1	3.03×10^1	2.63×10^1	2.24×10^1	4.37×10^1	3.45×10^1	2.68×10^1	2.62×10^1	2.67×10^1
1.0×10^1	5.49×10^1	6.28×10^1	6.75×10^1	6.54×10^1	5.78×10^1	4.39×10^1	2.81×10^1	5.46×10^1	5.01×10^1	4.58×10^1	4.66×10^1	4.50×10^1
1.5×10^1	1.89×10^2	1.85×10^2	1.49×10^2	1.30×10^2	1.15×10^2	8.59×10^1	4.98×10^1	5.61×10^1	9.37×10^1	8.01×10^1	8.31×10^1	7.71×10^1
2.0×10^1	4.28×10^2	4.04×10^2	3.52×10^2	2.90×10^2	2.06×10^2	1.45×10^2	8.08×10^1	4.36×10^1	1.65×10^2	1.36×10^2	1.45×10^2	1.27×10^2
3.0×10^1	7.50×10^2	7.26×10^2	6.60×10^2	5.59×10^2	4.28×10^2	2.92×10^2	1.76×10^2	3.61×10^1	2.96×10^2	2.49×10^2	2.66×10^2	2.32×10^2
4.0×10^1	1.02×10^3	1.00×10^3	9.19×10^2	7.80×10^2	6.19×10^2	4.38×10^2	2.84×10^2	4.55×10^1	4.22×10^2	3.58×10^2	3.81×10^2	3.35×10^2
5.0×10^1	1.18×10^3	1.18×10^3	1.15×10^3	1.04×10^3	7.97×10^2	5.50×10^2	3.76×10^2	7.15×10^1	5.32×10^2	4.51×10^2	4.62×10^2	4.40×10^2
6.0×10^1	1.48×10^3	1.46×10^3	1.41×10^3	1.30×10^3	1.05×10^3	7.18×10^2	4.74×10^2	1.56×10^2	6.87×10^2	5.51×10^2	5.47×10^2	5.55×10^2
8.0×10^1	2.16×10^3	2.14×10^3	2.04×10^3	1.86×10^3	1.58×10^3	1.19×10^3	7.01×10^2	5.60×10^2	1.09×10^3	8.37×10^2	8.71×10^2	8.03×10^2
1.0×10^2	2.51×10^3	2.48×10^3	2.36×10^3	2.17×10^3	1.90×10^3	1.46×10^3	9.06×10^2	1.19×10^3	1.44×10^3	1.13×10^3	1.18×10^3	1.08×10^3
1.5×10^2	2.38×10^3	2.40×10^3	2.41×10^3	2.44×10^3	2.30×10^3	2.10×10^3	1.55×10^3	2.82×10^3	2.16×10^3	1.79×10^3	1.85×10^3	1.73×10^3
2.0×10^2	1.77×10^3	1.79×10^3	1.81×10^3	1.84×10^3	1.91×10^3	2.01×10^3	2.17×10^3	1.93×10^3	1.96×10^3	1.84×10^3	1.90×10^3	1.78×10^3
3.0×10^2	1.38×10^3	1.39×10^3	1.40×10^3	1.41×10^3	1.43×10^3	1.44×10^3	1.45×10^3	1.45×10^3	1.44×10^3	1.42×10^3	1.45×10^3	1.39×10^3

续表

E_p / MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
4.0×10^2	1.23×10^3	1.25×10^3	1.25×10^3	1.26×10^3	1.28×10^3	1.28×10^3	1.28×10^3	1.30×10^3	1.28×10^3	1.25×10^3	1.28×10^3	1.22×10^3
5.0×10^2	1.15×10^3	1.19×10^3	1.19×10^3	1.21×10^3	1.22×10^3	1.22×10^3	1.21×10^3	1.24×10^3	1.22×10^3	1.18×10^3	1.21×10^3	1.15×10^3
6.0×10^2	1.16×10^3	1.16×10^3	1.17×10^3	1.18×10^3	1.20×10^3	1.20×10^3	1.20×10^3	1.23×10^3	1.22×10^3	1.17×10^3	1.21×10^3	1.13×10^3
8.0×10^2	1.11×10^3	1.13×10^3	1.14×10^3	1.15×10^3	1.17×10^3	1.17×10^3	1.20×10^3	1.23×10^3	1.20×10^3	1.17×10^3	1.18×10^3	1.16×10^3
1.0×10^3	1.09×10^3	1.11×10^3	1.12×10^3	1.14×10^3	1.15×10^3	1.16×10^3	1.19×10^3	1.23×10^3	1.19×10^3	1.15×10^3	1.18×10^3	1.12×10^3

表 A.2.6 从负 μ 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p / MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
1.0	1.80×10^2	1.77×10^2	1.62×10^2	1.40×10^2	1.14×10^2	8.32×10^1	5.33×10^1	7.52×10^1	9.75×10^1	7.87×10^1	8.18×10^1	7.56×10^1
1.5	1.80×10^2	1.80×10^2	1.64×10^2	1.41×10^2	1.15×10^2	8.39×10^1	5.42×10^1	7.68×10^1	9.93×10^1	7.95×10^1	8.28×10^1	7.62×10^1
2.0	1.84×10^2	1.82×10^2	1.68×10^2	1.43×10^2	1.16×10^2	8.58×10^1	5.46×10^1	7.83×10^1	1.00×10^2	8.09×10^1	8.39×10^1	7.79×10^1
3.0	1.88×10^2	1.87×10^2	1.70×10^2	1.48×10^2	1.21×10^2	8.85×10^1	5.69×10^1	8.14×10^1	1.04×10^2	8.37×10^1	8.70×10^1	8.04×10^1
4.0	1.93×10^2	1.93×10^2	1.77×10^2	1.55×10^2	1.26×10^2	9.23×10^1	5.89×10^1	8.48×10^1	1.07×10^2	8.71×10^1	9.06×10^1	8.36×10^1
5.0	2.05×10^2	2.04×10^2	1.86×10^2	1.64×10^2	1.34×10^2	9.76×10^1	6.14×10^1	8.77×10^1	1.12×10^2	9.15×10^1	9.51×10^1	8.79×10^1
6.0	2.42×10^2	2.36×10^2	2.11×10^2	1.77×10^2	1.43×10^2	1.04×10^2	6.61×10^1	8.67×10^1	1.22×10^2	9.81×10^1	1.03×10^2	9.32×10^1
8.0	2.93×10^2	2.82×10^2	2.56×10^2	2.16×10^2	1.69×10^2	1.21×10^2	7.46×10^1	8.68×10^1	1.41×10^2	1.13×10^2	1.18×10^2	1.08×10^2
1.0×10^1	3.32×10^2	3.22×10^2	2.95×10^2	2.48×10^2	1.97×10^2	1.41×10^2	8.79×10^1	8.86×10^1	1.58×10^2	1.27×10^2	1.33×10^2	1.21×10^2
1.5×10^1	4.14×10^2	4.07×10^2	3.73×10^2	3.21×10^2	2.58×10^2	1.85×10^2	1.21×10^2	1.00×10^2	2.00×10^2	1.61×10^2	1.68×10^2	1.54×10^2
2.0×10^1	4.65×10^2	4.65×10^2	4.45×10^2	3.98×10^2	3.18×10^2	2.26×10^2	1.52×10^2	1.22×10^2	2.41×10^2	1.91×10^2	1.97×10^2	1.85×10^2
3.0×10^1	6.57×10^2	6.54×10^2	6.20×10^2	5.64×10^2	4.78×10^2	3.53×10^2	2.25×10^2	2.51×10^2	3.57×10^2	2.75×10^2	2.83×10^2	2.67×10^2
4.0×10^1	7.35×10^2	7.29×10^2	6.95×10^2	6.41×10^2	5.63×10^2	4.40×10^2	2.91×10^2	4.57×10^2	4.62×10^2	3.63×10^2	3.77×10^2	3.49×10^2
5.0×10^1	7.55×10^2	7.59×10^2	7.08×10^2	6.58×10^2	5.91×10^2	4.94×10^2	3.40×10^2	7.03×10^2	5.56×10^2	4.46×10^2	4.64×10^2	4.28×10^2
6.0×10^1	6.28×10^2	6.38×10^2	6.57×10^2	6.69×10^2	6.09×10^2	5.71×10^2	4.29×10^2	7.75×10^2	5.98×10^2	4.96×10^2	5.15×10^2	4.77×10^2
8.0×10^1	4.31×10^2	4.36×10^2	4.49×10^2	4.79×10^2	5.27×10^2	5.89×10^2	6.19×10^2	4.85×10^2	5.29×10^2	4.98×10^2	5.05×10^2	4.91×10^2
1.0×10^2	3.82×10^2	3.89×10^2	3.90×10^2	3.97×10^2	4.06×10^2	4.26×10^2	4.80×10^2	4.02×10^2	4.27×10^2	4.32×10^2	4.35×10^2	4.29×10^2
1.5×10^2	3.40×10^2	3.48×10^2	3.48×10^2	3.51×10^2	3.50×10^2	3.50×10^2	3.61×10^2	3.45×10^2	3.52×10^2	3.54×10^2	3.53×10^2	3.55×10^2
2.0×10^2	3.26×10^2	3.36×10^2	3.37×10^2	3.41×10^2	3.41×10^2	3.37×10^2	3.45×10^2	3.29×10^2	3.39×10^2	3.32×10^2	3.31×10^2	3.33×10^2
3.0×10^2	3.19×10^2	3.33×10^2	3.34×10^2	3.38×10^2	3.37×10^2	3.32×10^2	3.39×10^2	3.21×10^2	3.33×10^2	3.21×10^2	3.20×10^2	3.22×10^2
4.0×10^2	3.20×10^2	3.35×10^2	3.37×10^2	3.40×10^2	3.40×10^2	3.35×10^2	3.41×10^2	3.21×10^2	3.36×10^2	3.21×10^2	3.20×10^2	3.22×10^2
5.0×10^2	3.21×10^2	3.39×10^2	3.41×10^2	3.45×10^2	3.44×10^2	3.39×10^2	3.46×10^2	3.24×10^2	3.41×10^2	3.23×10^2	3.22×10^2	3.24×10^2
6.0×10^2	3.25×10^2	3.43×10^2	3.44×10^2	3.48×10^2	3.47×10^2	3.41×10^2	3.48×10^2	3.26×10^2	3.43×10^2	3.26×10^2	3.24×10^2	3.28×10^2
8.0×10^2	3.27×10^2	3.45×10^2	3.47×10^2	3.51×10^2	3.50×10^2	3.45×10^2	3.52×10^2	3.32×10^2	3.47×10^2	3.31×10^2	3.29×10^2	3.33×10^2
1.0×10^3	3.33×10^2	3.50×10^2	3.52×10^2	3.55×10^2	3.54×10^2	3.49×10^2	3.56×10^2	3.37×10^2	3.51×10^2	3.37×10^2	3.32×10^2	3.42×10^2

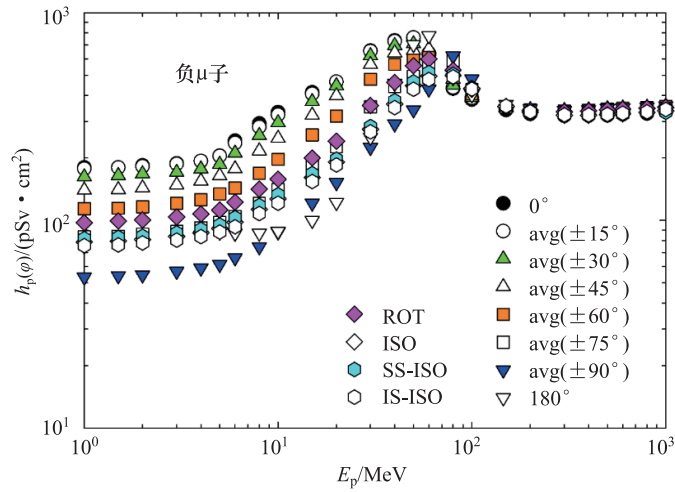


图 A.2.6 从负 μ 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

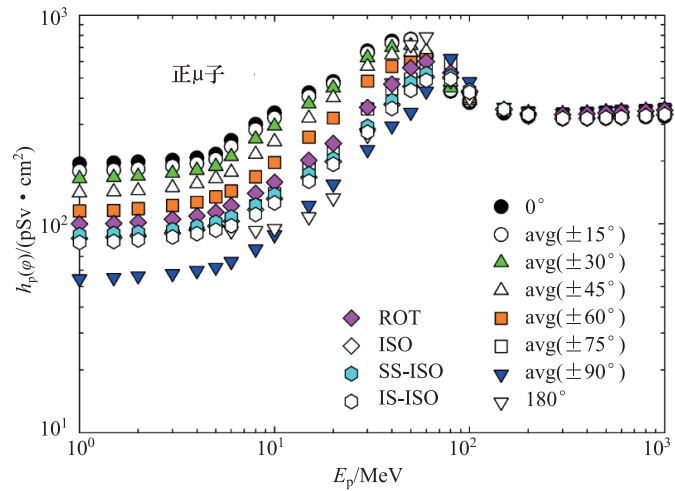


图 A.2.7 从正 μ 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

表 A.2.7 从正 μ 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p / MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
1.0	1.94×10^2	1.79×10^2	1.65×10^2	1.41×10^2	1.15×10^2	8.50×10^1	5.45×10^1	8.26×10^1	1.00×10^2	8.52×10^1	8.89×10^1	8.15×10^1
1.5	1.96×10^2	1.81×10^2	1.67×10^2	1.43×10^2	1.16×10^2	8.51×10^1	5.53×10^1	8.41×10^1	1.01×10^2	8.62×10^1	9.00×10^1	8.24×10^1
2.0	1.98×10^2	1.83×10^2	1.69×10^2	1.44×10^2	1.18×10^2	8.64×10^1	5.63×10^1	8.57×10^1	1.02×10^2	8.75×10^1	9.12×10^1	8.38×10^1
3.0	2.02×10^2	1.89×10^2	1.75×10^2	1.49×10^2	1.23×10^2	8.97×10^1	5.78×10^1	8.89×10^1	1.05×10^2	9.03×10^1	9.40×10^1	8.66×10^1

续表

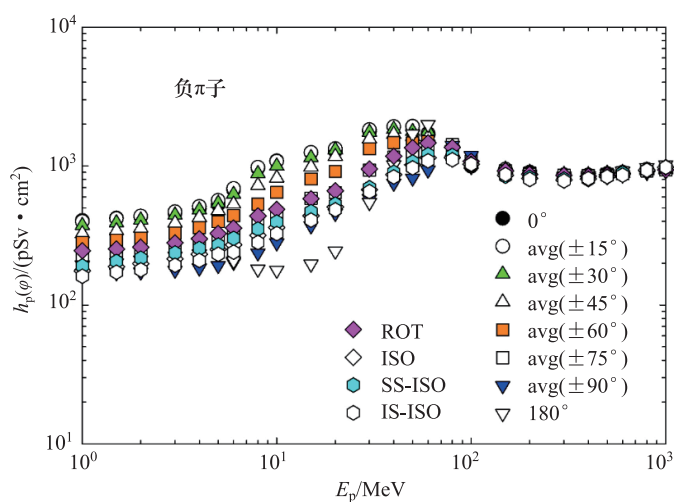
$E_p /$ MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
4.0	2.07×10^2	1.94×10^2	1.81×10^2	1.56×10^2	1.27×10^2	9.37×10^1	5.97×10^1	9.21×10^1	1.09×10^2	9.36×10^1	9.74×10^1	8.98×10^1
5.0	2.16×10^2	2.04×10^2	1.89×10^2	1.65×10^2	1.35×10^2	9.90×10^1	6.20×10^1	9.43×10^1	1.14×10^2	9.77×10^1	1.02×10^2	9.34×10^1
6.0	2.51×10^2	2.34×10^2	2.10×10^2	1.77×10^2	1.44×10^2	1.06×10^2	6.61×10^1	9.25×10^1	1.22×10^2	1.03×10^2	1.08×10^2	9.80×10^1
8.0	3.00×10^2	2.83×10^2	2.55×10^2	2.16×10^2	1.68×10^2	1.22×10^2	7.57×10^1	9.28×10^1	1.40×10^2	1.17×10^2	1.23×10^2	1.11×10^2
1.0×10^1	3.40×10^2	3.22×10^2	2.94×10^2	2.48×10^2	1.97×10^2	1.40×10^2	8.86×10^1	9.48×10^1	1.58×10^2	1.32×10^2	1.38×10^2	1.26×10^2
1.5×10^1	4.25×10^2	4.07×10^2	3.76×10^2	3.21×10^2	2.60×10^2	1.88×10^2	1.23×10^2	1.08×10^2	2.02×10^2	1.67×10^2	1.74×10^2	1.60×10^2
2.0×10^1	4.81×10^2	4.68×10^2	4.48×10^2	4.02×10^2	3.21×10^2	2.27×10^2	1.55×10^2	1.33×10^2	2.43×10^2	1.99×10^2	2.05×10^2	1.93×10^2
3.0×10^1	6.74×10^2	6.60×10^2	6.26×10^2	5.68×10^2	4.82×10^2	3.56×10^2	2.27×10^2	2.65×10^2	3.61×10^2	2.84×10^2	2.93×10^2	2.75×10^2
4.0×10^1	7.51×10^2	7.34×10^2	6.99×10^2	6.46×10^2	5.68×10^2	4.42×10^2	2.94×10^2	4.73×10^2	4.67×10^2	3.73×10^2	3.89×10^2	3.57×10^2
5.0×10^1	7.68×10^2	7.64×10^2	7.14×10^2	6.63×10^2	5.94×10^2	4.95×10^2	3.42×10^2	7.21×10^2	5.59×10^2	4.56×10^2	4.76×10^2	4.36×10^2
6.0×10^1	6.35×10^2	6.42×10^2	6.59×10^2	6.72×10^2	6.13×10^2	5.75×10^2	4.32×10^2	7.87×10^2	5.99×10^2	5.06×10^2	5.25×10^2	4.87×10^2
8.0×10^1	4.31×10^2	4.37×10^2	4.49×10^2	4.79×10^2	5.26×10^2	5.91×10^2	6.20×10^2	4.83×10^2	5.29×10^2	5.02×10^2	5.10×10^2	4.94×10^2
1.0×10^2	3.81×10^2	3.89×10^2	3.90×10^2	3.97×10^2	4.06×10^2	4.27×10^2	4.79×10^2	3.99×10^2	4.27×10^2	4.32×10^2	4.37×10^2	4.27×10^2
1.5×10^2	3.39×10^2	3.48×10^2	3.48×10^2	3.51×10^2	3.50×10^2	3.50×10^2	3.61×10^2	3.45×10^2	3.52×10^2	3.54×10^2	3.54×10^2	3.54×10^2
2.0×10^2	3.26×10^2	3.35×10^2	3.37×10^2	3.41×10^2	3.41×10^2	3.37×10^2	3.45×10^2	3.28×10^2	3.39×10^2	3.32×10^2	3.31×10^2	3.33×10^2
3.0×10^2	3.18×10^2	3.33×10^2	3.34×10^2	3.38×10^2	3.37×10^2	3.32×10^2	3.38×10^2	3.20×10^2	3.33×10^2	3.20×10^2	3.20×10^2	3.20×10^2
4.0×10^2	3.19×10^2	3.35×10^2	3.37×10^2	3.40×10^2	3.39×10^2	3.34×10^2	3.41×10^2	3.21×10^2	3.36×10^2	3.20×10^2	3.20×10^2	3.20×10^2
5.0×10^2	3.20×10^2	3.39×10^2	3.41×10^2	3.45×10^2	3.44×10^2	3.39×10^2	3.46×10^2	3.23×10^2	3.41×10^2	3.22×10^2	3.22×10^2	3.22×10^2
6.0×10^2	3.22×10^2	3.43×10^2	3.44×10^2	3.48×10^2	3.46×10^2	3.41×10^2	3.48×10^2	3.25×10^2	3.43×10^2	3.24×10^2	3.24×10^2	3.24×10^2
8.0×10^2	3.25×10^2	3.45×10^2	3.47×10^2	3.51×10^2	3.50×10^2	3.45×10^2	3.52×10^2	3.30×10^2	3.46×10^2	3.29×10^2	3.29×10^2	3.29×10^2
1.0×10^3	3.27×10^2	3.50×10^2	3.51×10^2	3.55×10^2	3.54×10^2	3.49×10^2	3.56×10^2	3.33×10^2	3.51×10^2	3.33×10^2	3.32×10^2	3.34×10^2

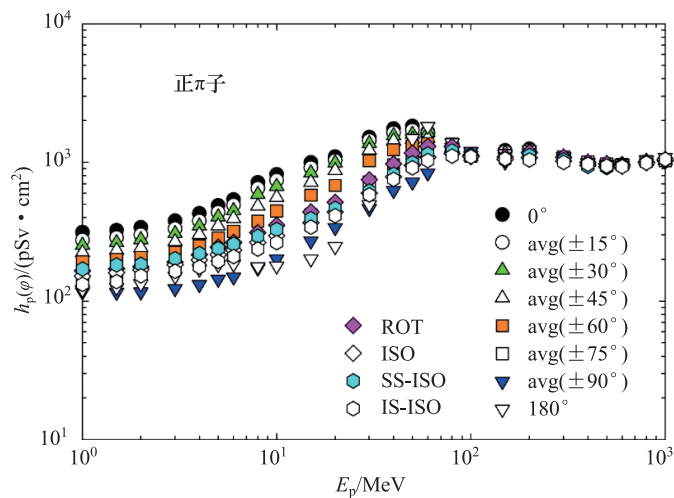
表 A.2.8 从负 π 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

$E_p /$ MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
1.0	4.06×10^2	3.99×10^2	3.73×10^2	3.27×10^2	2.81×10^2	2.25×10^2	1.70×10^2	1.94×10^2	2.45×10^2	1.76×10^2	1.91×10^2	1.61×10^2
1.5	4.22×10^2	4.19×10^2	3.91×10^2	3.42×10^2	2.92×10^2	2.31×10^2	1.70×10^2	2.01×10^2	2.53×10^2	1.89×10^2	2.06×10^2	1.72×10^2
2.0	4.33×10^2	4.36×10^2	4.09×10^2	3.57×10^2	3.03×10^2	2.37×10^2	1.73×10^2	2.10×10^2	2.61×10^2	1.98×10^2	2.17×10^2	1.79×10^2
3.0	4.58×10^2	4.69×10^2	4.44×10^2	3.88×10^2	3.28×10^2	2.53×10^2	1.78×10^2	2.25×10^2	2.80×10^2	2.15×10^2	2.37×10^2	1.93×10^2
4.0	4.91×10^2	5.12×10^2	4.84×10^2	4.26×10^2	3.60×10^2	2.72×10^2	1.85×10^2	2.33×10^2	3.00×10^2	2.32×10^2	2.55×10^2	2.09×10^2

续表

E_p MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
5.0	5.28×10^2	5.66×10^2	5.41×10^2	4.77×10^2	3.98×10^2	2.96×10^2	1.92×10^2	2.37×10^2	3.27×10^2	2.51×10^2	2.70×10^2	2.32×10^2
6.0	6.73×10^2	6.90×10^2	6.26×10^2	5.32×10^2	4.40×10^2	3.26×10^2	2.03×10^2	2.08×10^2	3.59×10^2	2.71×10^2	3.02×10^2	2.40×10^2
8.0	9.65×10^2	9.79×10^2	8.81×10^2	7.26×10^2	5.32×10^2	3.95×10^2	2.37×10^2	1.81×10^2	4.37×10^2	3.17×10^2	3.52×10^2	2.82×10^2
1.0×10^1	1.09×10^3	1.08×10^3	1.00×10^3	8.20×10^2	6.46×10^2	4.59×10^2	2.80×10^2	1.78×10^2	4.88×10^2	3.61×10^2	3.96×10^2	3.26×10^2
1.5×10^1	1.25×10^3	1.25×10^3	1.15×10^3	9.85×10^2	8.07×10^2	5.86×10^2	3.71×10^2	1.97×10^2	5.81×10^2	4.39×10^2	4.70×10^2	4.08×10^2
2.0×10^1	1.28×10^3	1.33×10^3	1.31×10^3	1.17×10^3	9.13×10^2	6.43×10^2	4.56×10^2	2.44×10^2	6.62×10^2	5.08×10^2	5.31×10^2	4.85×10^2
3.0×10^1	1.77×10^3	1.83×10^3	1.75×10^3	1.57×10^3	1.33×10^3	9.32×10^2	5.82×10^2	5.47×10^2	9.51×10^2	6.76×10^2	6.98×10^2	6.54×10^2
4.0×10^1	1.92×10^3	1.92×10^3	1.84×10^3	1.69×10^3	1.48×10^3	1.16×10^3	7.53×10^2	1.02×10^3	1.18×10^3	8.68×10^2	9.01×10^2	8.35×10^2
5.0×10^1	1.93×10^3	1.93×10^3	1.77×10^3	1.63×10^3	1.47×10^3	1.22×10^3	8.20×10^2	1.70×10^3	1.36×10^3	1.02×10^3	1.07×10^3	9.70×10^2
6.0×10^1	1.68×10^3	1.71×10^3	1.79×10^3	1.61×10^3	1.50×10^3	1.33×10^3	9.36×10^2	1.99×10^3	1.47×10^3	1.15×10^3	1.21×10^3	1.09×10^3
8.0×10^1	1.14×10^3	1.17×10^3	1.21×10^3	1.26×10^3	1.41×10^3	1.43×10^3	1.41×10^3	1.31×10^3	1.36×10^3	1.15×10^3	1.19×10^3	1.11×10^3
1.0×10^2	9.95×10^2	1.03×10^3	1.03×10^3	1.03×10^3	1.04×10^3	1.08×10^3	1.19×10^3	9.91×10^2	1.08×10^3	1.03×10^3	1.03×10^3	1.03×10^3
1.5×10^2	9.27×10^2	9.50×10^2	9.48×10^2	9.45×10^2	9.25×10^2	9.12×10^2	8.75×10^2	8.89×10^2	9.22×10^2	8.57×10^2	8.45×10^2	8.69×10^2
2.0×10^2	9.02×10^2	9.01×10^2	8.98×10^2	9.01×10^2	8.89×10^2	8.70×10^2	8.41×10^2	8.71×10^2	8.71×10^2	8.15×10^2	8.28×10^2	8.02×10^2
3.0×10^2	8.48×10^2	8.63×10^2	8.65×10^2	8.72×10^2	8.60×10^2	8.54×10^2	8.24×10^2	8.43×10^2	8.57×10^2	7.94×10^2	8.06×10^2	7.82×10^2
4.0×10^2	8.44×10^2	8.62×10^2	8.62×10^2	8.66×10^2	8.52×10^2	8.48×10^2	8.26×10^2	8.50×10^2	8.43×10^2	8.07×10^2	8.02×10^2	8.12×10^2
5.0×10^2	8.69×10^2	8.82×10^2	8.86×10^2	8.87×10^2	8.70×10^2	8.67×10^2	8.45×10^2	8.80×10^2	8.63×10^2	8.38×10^2	8.37×10^2	8.39×10^2
6.0×10^2	9.01×10^2	8.96×10^2	8.84×10^2	8.95×10^2	8.93×10^2	8.79×10^2	8.62×10^2	9.17×10^2	8.83×10^2	8.75×10^2	8.90×10^2	8.60×10^2
8.0×10^2	9.47×10^2	9.31×10^2	9.26×10^2	9.39×10^2	9.27×10^2	9.24×10^2	8.99×10^2	9.76×10^2	9.18×10^2	9.35×10^2	9.37×10^2	9.33×10^2
1.0×10^3	9.77×10^2	9.43×10^2	9.38×10^2	9.57×10^2	9.44×10^2	9.39×10^2	9.22×10^2	1.02×10^3	9.38×10^2	9.79×10^2	9.78×10^2	9.80×10^2

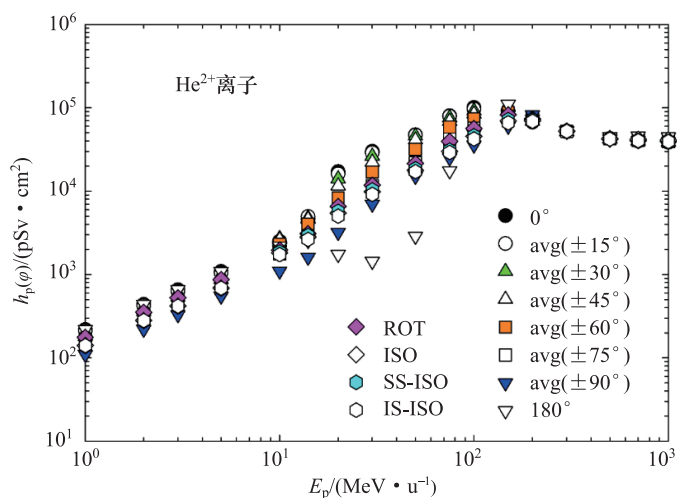
图 A.2.8 从负 π 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

图 A.2.9 从正 π 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)表 A.2.9 从正 π 子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

E_p / MeV	$h_p(\phi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
1.0	3.14×10^2	2.75×10^2	2.53×10^2	2.23×10^2	1.92×10^2	1.53×10^2	1.16×10^2	1.21×10^2	1.65×10^2	1.51×10^2	1.70×10^2	1.32×10^2
1.5	3.24×10^2	2.87×10^2	2.64×10^2	2.32×10^2	1.99×10^2	1.56×10^2	1.15×10^2	1.25×10^2	1.71×10^2	1.60×10^2	1.82×10^2	1.38×10^2
2.0	3.40×10^2	3.01×10^2	2.77×10^2	2.42×10^2	2.06×10^2	1.58×10^2	1.16×10^2	1.33×10^2	1.76×10^2	1.68×10^2	1.84×10^2	1.52×10^2
3.0	3.79×10^2	3.33×10^2	3.06×10^2	2.67×10^2	2.24×10^2	1.72×10^2	1.23×10^2	1.51×10^2	1.91×10^2	1.83×10^2	2.02×10^2	1.64×10^2
4.0	4.29×10^2	3.78×10^2	3.48×10^2	3.02×10^2	2.50×10^2	1.90×10^2	1.31×10^2	1.70×10^2	2.16×10^2	1.98×10^2	2.20×10^2	1.76×10^2
5.0	4.89×10^2	4.36×10^2	4.05×10^2	3.48×10^2	2.85×10^2	2.13×10^2	1.44×10^2	1.83×10^2	2.45×10^2	2.16×10^2	2.39×10^2	1.93×10^2
6.0	5.40×10^2	4.92×10^2	4.49×10^2	3.94×10^2	3.17×10^2	2.31×10^2	1.49×10^2	1.85×10^2	2.64×10^2	2.33×10^2	2.57×10^2	2.09×10^2
8.0	7.17×10^2	6.50×10^2	5.87×10^2	4.84×10^2	3.77×10^2	2.72×10^2	1.72×10^2	1.77×10^2	3.11×10^2	2.65×10^2	2.93×10^2	2.37×10^2
1.0×10^1	8.19×10^2	7.43×10^2	6.71×10^2	5.59×10^2	4.46×10^2	3.17×10^2	2.01×10^2	1.79×10^2	3.52×10^2	2.96×10^2	3.28×10^2	2.64×10^2
1.5×10^1	1.00×10^3	9.14×10^2	8.38×10^2	7.17×10^2	5.80×10^2	4.18×10^2	2.71×10^2	2.01×10^2	4.38×10^2	3.67×10^2	3.93×10^2	3.41×10^2
2.0×10^1	1.10×10^3	1.03×10^3	9.91×10^2	8.71×10^2	6.82×10^2	4.89×10^2	3.38×10^2	2.47×10^2	5.17×10^2	4.39×10^2	4.66×10^2	4.12×10^2
3.0×10^1	1.52×10^3	1.44×10^3	1.36×10^3	1.22×10^3	1.03×10^3	7.23×10^2	4.65×10^2	4.94×10^2	7.49×10^2	6.02×10^2	6.21×10^2	5.83×10^2
4.0×10^1	1.75×10^3	1.64×10^3	1.56×10^3	1.43×10^3	1.23×10^3	9.59×10^2	6.27×10^2	9.06×10^2	9.77×10^2	7.87×10^2	8.20×10^2	7.54×10^2
5.0×10^1	1.83×10^3	1.71×10^3	1.59×10^3	1.47×10^3	1.31×10^3	1.07×10^3	7.21×10^2	1.48×10^3	1.17×10^3	9.53×10^2	9.93×10^2	9.13×10^2
6.0×10^1	1.66×10^3	1.62×10^3	1.64×10^3	1.49×10^3	1.37×10^3	1.18×10^3	8.38×10^2	1.82×10^3	1.30×10^3	1.09×10^3	1.15×10^3	1.03×10^3
8.0×10^1	1.22×10^3	1.21×10^3	1.24×10^3	1.28×10^3	1.36×10^3	1.35×10^3	1.28×10^3	1.38×10^3	1.30×10^3	1.16×10^3	1.21×10^3	1.11×10^3
1.0×10^2	1.13×10^3	1.11×10^3	1.10×10^3	1.10×10^3	1.11×10^3	1.14×10^3	1.20×10^3	1.12×10^3	1.12×10^3	1.10×10^3	1.10×10^3	1.10×10^3
1.5×10^2	1.22×10^3	1.19×10^3	1.18×10^3	1.16×10^3	1.12×10^3	1.08×10^3	1.01×10^3	1.15×10^3	1.09×10^3	1.05×10^3	1.04×10^3	1.06×10^3
2.0×10^2	1.25×10^3	1.22×10^3	1.22×10^3	1.22×10^3	1.19×10^3	1.15×10^3	1.09×10^3	1.23×10^3	1.18×10^3	1.08×10^3	1.12×10^3	1.04×10^3
3.0×10^2	1.07×10^3	1.08×10^3	1.09×10^3	1.09×10^3	1.09×10^3	1.10×10^3	1.07×10^3	1.10×10^3	1.09×10^3	1.02×10^3	1.04×10^3	1.00×10^3
4.0×10^2	9.69×10^2	9.91×10^2	9.98×10^2	1.00×10^3	1.00×10^3	1.01×10^3	9.87×10^2	9.98×10^2	1.00×10^3	9.53×10^2	9.36×10^2	9.70×10^2
5.0×10^2	9.43×10^2	9.73×10^2	9.69×10^2	9.81×10^2	9.73×10^2	9.72×10^2	9.53×10^2	9.70×10^2	9.75×10^2	9.30×10^2	9.19×10^2	9.41×10^2
6.0×10^2	9.52×10^2	9.58×10^2	9.58×10^2	9.65×10^2	9.65×10^2	9.62×10^2	9.48×10^2	9.80×10^2	9.62×10^2	9.38×10^2	9.44×10^2	9.32×10^2
8.0×10^2	9.99×10^2	1.00×10^3	1.01×10^3	1.02×10^3	1.01×10^3	1.01×10^3	9.96×10^2	1.04×10^3	1.00×10^3	9.93×10^2	9.97×10^2	9.89×10^2
1.0×10^3	1.04×10^3	1.02×10^3	1.03×10^3	1.04×10^3	1.03×10^3	1.03×10^3	1.02×10^3	1.09×10^3	1.03×10^3	1.05×10^3	1.05×10^3	1.05×10^3

表 A.2.10 从 He^{2+} 离子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

$E_p /$ ($\text{MeV} \cdot \text{u}^{-1}$)	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)					
1.0	2.19×10^2	2.12×10^2	2.00×10^2	1.81×10^2	1.63×10^2	1.37×10^2	1.10×10^2	2.19×10^2	1.76×10^2	1.41×10^2	1.38×10^2	1.40×10^2
2.0	4.38×10^2	4.23×10^2	3.99×10^2	3.60×10^2	3.24×10^2	2.74×10^2	2.20×10^2	4.38×10^2	3.52×10^2	2.81×10^2	2.75×10^2	2.80×10^2
3.0	6.56×10^2	6.32×10^2	5.95×10^2	5.37×10^2	4.83×10^2	4.10×10^2	3.30×10^2	6.57×10^2	5.26×10^2	4.19×10^2	4.10×10^2	4.18×10^2
5.0	1.09×10^3	1.04×10^3	9.75×10^2	8.77×10^2	7.90×10^2	6.75×10^2	5.50×10^2	1.09×10^3	8.66×10^2	6.89×10^2	6.74×10^2	6.87×10^2
1.0×10^1	2.19×10^3	2.51×10^3	2.70×10^3	2.61×10^3	2.31×10^3	1.75×10^3	1.10×10^3	2.19×10^3	1.97×10^3	1.82×10^3	1.86×10^3	1.73×10^3
1.4×10^1	4.61×10^3	4.95×10^3	4.74×10^3	4.58×10^3	4.03×10^3	2.94×10^3	1.61×10^3	2.56×10^3	3.09×10^3	2.81×10^3	2.95×10^3	2.64×10^3
2.0×10^1	1.72×10^4	1.61×10^4	1.41×10^4	1.16×10^4	8.24×10^3	5.78×10^3	3.19×10^3	1.74×10^3	6.56×10^3	5.46×10^3	5.73×10^3	5.02×10^3
3.0×10^1	3.01×10^4	2.89×10^4	2.63×10^4	2.23×10^4	1.70×10^4	1.16×10^4	7.00×10^3	1.44×10^3	1.18×10^4	9.86×10^3	1.04×10^4	9.15×10^3
5.0×10^1	4.75×10^4	4.70×10^4	4.58×10^4	4.13×10^4	3.17×10^4	2.20×10^4	1.51×10^4	2.88×10^3	2.15×10^4	1.78×10^4	1.86×10^4	1.71×10^4
7.5×10^1	8.05×10^4	7.91×10^4	7.59×10^4	6.90×10^4	5.87×10^4	4.19×10^4	2.50×10^4	1.75×10^4	3.94×10^4	3.00×10^4	3.11×10^4	2.91×10^4
1.0×10^2	1.01×10^5	9.66×10^4	9.18×10^4	8.46×10^4	7.39×10^4	5.69×10^4	3.58×10^4	4.84×10^4	5.64×10^4	4.55×10^4	4.62×10^4	4.23×10^4
1.5×10^2	9.25×10^4	9.16×10^4	9.18×10^4	9.29×10^4	8.78×10^4	8.00×10^4	6.01×10^4	1.10×10^5	8.26×10^4	6.95×10^4	7.21×10^4	6.61×10^4
2.0×10^2	6.74×10^4	6.79×10^4	6.86×10^4	7.01×10^4	7.25×10^4	7.52×10^4	8.22×10^4	7.29×10^4	7.36×10^4	7.01×10^4	7.20×10^4	6.90×10^4
3.0×10^2	5.14×10^4	5.13×10^4	5.14×10^4	5.19×10^4	5.23×10^4	5.22×10^4	5.29×10^4	5.33×10^4	5.22×10^4	5.25×10^4	5.33×10^4	5.22×10^4
5.0×10^2	4.27×10^4	4.23×10^4	4.22×10^4	4.26×10^4	4.27×10^4	4.24×10^4	4.23×10^4	4.49×10^4	4.23×10^4	4.27×10^4	4.27×10^4	4.20×10^4
7.0×10^2	4.11×10^4	3.98×10^4	3.98×10^4	4.01×10^4	4.05×10^4	4.04×10^4	4.04×10^4	4.60×10^4	4.03×10^4	4.19×10^4	4.04×10^4	4.03×10^4
1.0×10^3	4.00×10^4	3.84×10^4	3.82×10^4	3.90×10^4	3.93×10^4	3.93×10^4	3.91×10^4	4.47×10^4	3.92×10^4	4.09×10^4	3.89×10^4	3.94×10^4

图 A.2.10 从 He^{2+} 离子注量到个人剂量的转换系数 (Endo, 2017 年; ICRP, 2010 年)

A.3 眼晶状体定向和个人吸收剂量

从粒子注量到眼晶状体定向吸收剂量的转换系数 d'_{lens} 和从粒子注量到个人眼晶状体吸收剂量转换系数 $d_{\text{p lens}}$ 的数值相同，本节的表和图中使用 d_{lens} 符号表示眼晶状体吸收剂量转换系数。这里给出的转换系数是针对嵌入全身体模的眼部模型（Behrens 和 Dietze, 2011 年）的照射情况计算得出的，适用于水平面上入射的均匀平行宽束，角度 φ 从 0° （A-P）到 90° ，每隔 15° 计算一次，同时也适用于旋转场。中子的转换系数计算是针对头部和颈部照射，包括 180° 的入射角度。左右两侧照射时，取右眼和左眼晶状体吸收剂量的最大值。由于每个角度均选择了眼晶状体吸收剂量的最大值，导致 ROT 照射的计算数值与通过角度 φ 结果积分获得的数值不一致。对于光子（无论是否存在带电粒子平衡）、电子和正电子之类的粒子，计算的吸收剂量最大转换系数值与 ROT 照射转换系数值之比介于 1.0~1.3 之间：使用最大值结果的不一致性始终低于 30%。

对于能量高达 50 MeV 的光子、中子、电子和正电子，表 A.3.1a~表 A.3.4 和图 A.3.1a~图 A.3.4 给出了从粒子注量到吸收剂量的转换系数数值，表 A.3.1b 和图 A.3.1b 给出了光子从空气比释动能到吸收剂量的转换系数数值，如表 A.3.0 所示。

表 A.3.0 左右两侧照射时，眼晶状体最大吸收剂量的转换系数 d_{lens} ，
入射角度范围为 $0^\circ \sim 90^\circ$ （中子包括 180° ）和 ROT

表/图	粒子类型	物理量	能量范围/MeV
A.3.1a	光子	注量	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
A.3.1b	光子	空气比释动能	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
A.3.2	中子	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 5.0 \times 10^1$
A.3.3	电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$
A.3.4	正电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$

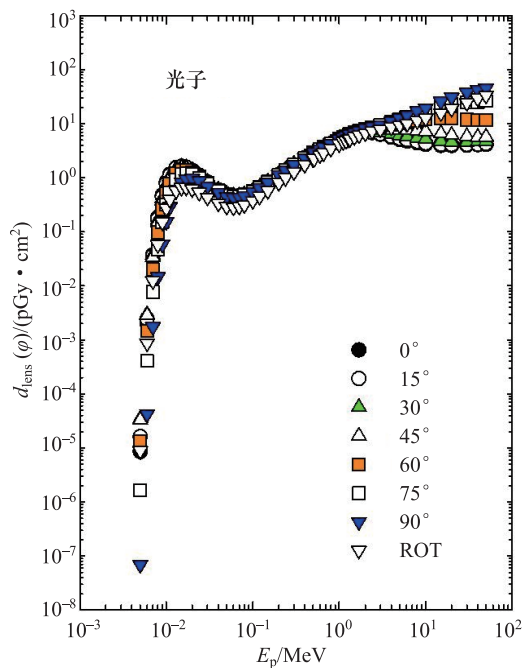


图 A.3.1a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

表 A.3.1a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	8.61×10^{-6}	1.63×10^{-5}	3.47×10^{-5}	3.29×10^{-5}	1.35×10^{-5}	1.66×10^{-6}	6.90×10^{-8}	8.85×10^{-6}
0.006	2.00×10^{-3}	2.44×10^{-3}	2.97×10^{-3}	2.85×10^{-3}	1.48×10^{-3}	4.08×10^{-4}	4.26×10^{-5}	8.75×10^{-4}
0.007	3.74×10^{-2}	3.56×10^{-2}	3.67×10^{-2}	3.38×10^{-2}	2.02×10^{-2}	7.75×10^{-3}	1.75×10^{-3}	1.24×10^{-2}
0.008	1.85×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.63×10^{-1}	1.50×10^{-1}	9.81×10^{-2}	4.70×10^{-2}	1.47×10^{-2}	5.81×10^{-2}
0.009	4.75×10^{-1}	4.41×10^{-1}	4.13×10^{-1}	3.77×10^{-1}	2.66×10^{-1}	1.50×10^{-1}	5.89×10^{-2}	1.50×10^{-1}
0.01	8.33×10^{-1}	7.78×10^{-1}	7.30×10^{-1}	6.72×10^{-1}	5.07×10^{-1}	3.20×10^{-1}	1.52×10^{-1}	2.74×10^{-1}
0.011	1.15	1.10	1.04	9.66×10^{-1}	7.72×10^{-1}	5.35×10^{-1}	2.89×10^{-1}	3.98×10^{-1}
0.013	1.54	1.52	1.46	1.35	1.19	9.32×10^{-1}	5.98×10^{-1}	5.80×10^{-1}
0.015	1.63	1.63	1.58	1.49	1.37	1.16	8.31×10^{-1}	6.57×10^{-1}
0.017	1.55	1.57	1.54	1.46	1.39	1.23	9.53×10^{-1}	6.66×10^{-1}
0.02	1.35	1.37	1.36	1.30	1.27	1.16	9.65×10^{-1}	6.19×10^{-1}
0.024	1.09	1.11	1.11	1.07	1.06	9.98×10^{-1}	8.69×10^{-1}	5.35×10^{-1}
0.03	8.12×10^{-1}	8.35×10^{-1}	8.34×10^{-1}	8.13×10^{-1}	8.13×10^{-1}	7.80×10^{-1}	6.99×10^{-1}	4.34×10^{-1}
0.04	5.80×10^{-1}	5.93×10^{-1}	6.01×10^{-1}	5.89×10^{-1}	5.92×10^{-1}	5.69×10^{-1}	5.29×10^{-1}	3.36×10^{-1}

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.05	4.83×10^{-1}	4.94×10^{-1}	5.04×10^{-1}	4.96×10^{-1}	4.95×10^{-1}	4.76×10^{-1}	4.47×10^{-1}	2.95×10^{-1}
0.06	4.50×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.67×10^{-1}	4.64×10^{-1}	4.61×10^{-1}	4.50×10^{-1}	4.28×10^{-1}	2.85×10^{-1}
0.07	4.55×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.67×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.61×10^{-1}	4.53×10^{-1}	4.33×10^{-1}	2.94×10^{-1}
0.08	4.82×10^{-1}	4.83×10^{-1}	4.89×10^{-1}	4.85×10^{-1}	4.90×10^{-1}	4.79×10^{-1}	4.58×10^{-1}	3.15×10^{-1}
0.1	5.59×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.69×10^{-1}	5.71×10^{-1}	5.70×10^{-1}	5.57×10^{-1}	5.41×10^{-1}	3.76×10^{-1}
0.12	6.63×10^{-1}	6.66×10^{-1}	6.72×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.71×10^{-1}	6.63×10^{-1}	6.43×10^{-1}	4.52×10^{-1}
0.15	8.38×10^{-1}	8.40×10^{-1}	8.46×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.36×10^{-1}	8.11×10^{-1}	5.80×10^{-1}
0.2	1.13	1.15	1.16	1.17	1.15	1.14	1.13	8.10×10^{-1}
0.24	1.38	1.38	1.41	1.42	1.39	1.38	1.37	1.00
0.3	1.74	1.75	1.77	1.80	1.75	1.75	1.73	1.28
0.4	2.29	2.32	2.34	2.38	2.35	2.31	2.32	1.75
0.5	2.83	2.84	2.89	2.93	2.90	2.84	2.83	2.22
0.511	2.88	2.88	2.97	3.01	2.98	2.89	2.89	2.26
0.6	3.34	3.36	3.40	3.46	3.41	3.36	3.35	2.64
0.662	3.63	3.65	3.66	3.77	3.70	3.65	3.64	2.90
0.8	4.26	4.28	4.33	4.39	4.37	4.28	4.27	3.46
1	5.06	5.09	5.14	5.27	5.21	5.08	5.12	4.20
1.117	5.50	5.55	5.56	5.65	5.64	5.56	5.57	4.63
1.2	5.83	5.84	5.86	5.98	5.95	5.82	5.92	4.87
1.3	6.07	6.14	6.16	6.35	6.30	6.15	6.20	5.18
1.33	6.16	6.26	6.26	6.40	6.45	6.29	6.29	5.25
1.5	6.59	6.63	6.71	6.88	6.91	6.74	6.83	5.76
1.7	6.92	6.93	7.08	7.25	7.40	7.23	7.37	6.20
2	7.04	7.16	7.29	7.66	7.92	7.88	8.05	6.75
2.4	6.84	6.93	7.24	7.84	8.47	8.64	8.74	7.32
3	6.35	6.49	6.92	7.87	8.99	9.61	9.32	7.86
4	5.62	5.85	6.43	7.67	9.64	1.09×10^1	1.10×10^1	8.63
5	5.13	5.35	6.08	7.68	1.01×10^1	1.22×10^1	1.26×10^1	9.35
6	4.82	5.05	5.87	7.60	1.07×10^1	1.34×10^1	1.40×10^1	9.99
6.129	4.79	5.06	5.76	7.62	1.08×10^1	1.34×10^1	1.43×10^1	1.01×10^1
8	4.42	4.67	5.52	7.47	1.16×10^1	1.56×10^1	1.71×10^1	1.14×10^1
10	4.17	4.38	5.19	7.16	1.22×10^1	1.76×10^1	1.95×10^1	1.27×10^1
15	3.97	4.16	4.78	6.58	1.25×10^1	2.08×10^1	2.57×10^1	1.58×10^1
20	3.94	4.08	4.60	6.15	1.24×10^1	2.29×10^1	3.09×10^1	1.89×10^1
30	4.01	4.12	4.58	5.84	1.19×10^1	2.46×10^1	3.79×10^1	2.45×10^1
40	4.09	4.18	4.68	5.69	1.17×10^1	2.55×10^1	4.22×10^1	2.95×10^1
50	4.16	4.32	4.71	5.70	1.16×10^1	2.64×10^1	4.53×10^1	3.36×10^1

表 A.3.1b 左右两侧照射时，从光子空气比释动能到眼晶状体最大
吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\phi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	2.81×10^{-7}	5.30×10^{-7}	1.13×10^{-6}	1.07×10^{-6}	4.39×10^{-7}	5.42×10^{-8}	2.25×10^{-9}	2.89×10^{-7}
0.006	9.41×10^{-5}	1.15×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.34×10^{-4}	6.97×10^{-5}	1.92×10^{-5}	2.01×10^{-6}	4.12×10^{-5}
0.007	2.41×10^{-3}	2.29×10^{-3}	2.37×10^{-3}	2.18×10^{-3}	1.30×10^{-3}	5.00×10^{-4}	1.13×10^{-4}	7.99×10^{-4}
0.008	1.57×10^{-2}	1.46×10^{-2}	1.38×10^{-2}	1.27×10^{-2}	8.32×10^{-3}	3.98×10^{-3}	1.24×10^{-3}	4.92×10^{-3}
0.009	5.15×10^{-2}	4.78×10^{-2}	4.47×10^{-2}	4.09×10^{-2}	2.89×10^{-2}	1.63×10^{-2}	6.39×10^{-3}	1.63×10^{-2}
0.01	1.13×10^{-1}	1.05×10^{-1}	9.87×10^{-2}	9.09×10^{-2}	6.85×10^{-2}	4.33×10^{-2}	2.06×10^{-2}	3.70×10^{-2}
0.011	1.91×10^{-1}	1.82×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.60×10^{-1}	1.28×10^{-1}	8.86×10^{-2}	4.78×10^{-2}	6.59×10^{-2}
0.013	3.63×10^{-1}	3.59×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.20×10^{-1}	2.82×10^{-1}	2.20×10^{-1}	1.41×10^{-1}	1.37×10^{-1}
0.015	5.20×10^{-1}	5.21×10^{-1}	5.07×10^{-1}	4.76×10^{-1}	4.40×10^{-1}	3.72×10^{-1}	2.66×10^{-1}	2.10×10^{-1}
0.017	6.49×10^{-1}	6.58×10^{-1}	6.43×10^{-1}	6.11×10^{-1}	5.82×10^{-1}	5.15×10^{-1}	3.99×10^{-1}	2.79×10^{-1}
0.02	7.99×10^{-1}	8.15×10^{-1}	8.07×10^{-1}	7.71×10^{-1}	7.55×10^{-1}	6.91×10^{-1}	5.73×10^{-1}	3.68×10^{-1}
0.024	9.47×10^{-1}	9.64×10^{-1}	9.67×10^{-1}	9.29×10^{-1}	9.21×10^{-1}	8.67×10^{-1}	7.56×10^{-1}	4.66×10^{-1}
0.03	1.12	1.16	1.16	1.13	1.13	1.08	9.69×10^{-1}	6.02×10^{-1}
0.04	1.35	1.38	1.40	1.37	1.38	1.33	1.23	7.85×10^{-1}
0.05	1.50	1.53	1.56	1.54	1.53	1.48	1.38	9.12×10^{-1}
0.06	1.56	1.59	1.62	1.61	1.60	1.56	1.48	9.86×10^{-1}
0.07	1.58	1.61	1.62	1.61	1.60	1.58	1.51	1.02
0.08	1.57	1.58	1.59	1.58	1.60	1.56	1.49	1.03
0.1	1.51	1.51	1.53	1.54	1.54	1.50	1.46	1.01
0.12	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.44	1.40	9.81×10^{-1}
0.15	1.40	1.40	1.41	1.41	1.41	1.39	1.35	9.67×10^{-1}
0.2	1.32	1.34	1.36	1.37	1.34	1.33	1.32	9.45×10^{-1}
0.24	1.30	1.30	1.32	1.33	1.31	1.30	1.29	9.44×10^{-1}
0.3	1.26	1.26	1.28	1.31	1.27	1.26	1.25	9.28×10^{-1}
0.4	1.21	1.23	1.24	1.26	1.24	1.22	1.23	9.27×10^{-1}
0.5	1.19	1.19	1.21	1.23	1.22	1.19	1.19	9.31×10^{-1}
0.511	1.18	1.18	1.22	1.24	1.23	1.19	1.19	9.28×10^{-1}
0.6	1.18	1.18	1.20	1.22	1.20	1.18	1.18	9.28×10^{-1}
0.662	1.17	1.17	1.18	1.21	1.19	1.17	1.17	9.31×10^{-1}
0.8	1.15	1.16	1.17	1.19	1.18	1.15	1.15	9.35×10^{-1}
1	1.13	1.13	1.15	1.18	1.16	1.13	1.14	9.36×10^{-1}
1.117	1.13	1.14	1.14	1.16	1.15	1.14	1.14	9.48×10^{-1}
1.2	1.13	1.13	1.14	1.16	1.15	1.13	1.15	9.42×10^{-1}
1.3	1.10	1.12	1.12	1.16	1.15	1.12	1.13	9.43×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							ROT
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
1.33	1.10	1.12	1.12	1.14	1.15	1.12	1.12	9.39×10^{-1}
1.5	1.07	1.08	1.09	1.12	1.12	1.10	1.11	9.37×10^{-1}
1.7	1.03	1.03	1.05	1.08	1.10	1.08	1.10	9.22×10^{-1}
2	9.32×10^{-1}	9.48×10^{-1}	9.64×10^{-1}	1.01	1.05	1.04	1.07	8.93×10^{-1}
2.4	7.99×10^{-1}	8.10×10^{-1}	8.46×10^{-1}	9.16×10^{-1}	9.89×10^{-1}	1.01	1.02	8.54×10^{-1}
3	6.36×10^{-1}	6.51×10^{-1}	6.93×10^{-1}	7.89×10^{-1}	9.02×10^{-1}	9.63×10^{-1}	9.35×10^{-1}	7.88×10^{-1}
4	4.63×10^{-1}	4.82×10^{-1}	5.29×10^{-1}	6.32×10^{-1}	7.94×10^{-1}	9.01×10^{-1}	9.04×10^{-1}	7.11×10^{-1}
5	3.62×10^{-1}	3.77×10^{-1}	4.29×10^{-1}	5.41×10^{-1}	7.15×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.89×10^{-1}	6.60×10^{-1}
6	2.98×10^{-1}	3.12×10^{-1}	3.63×10^{-1}	4.70×10^{-1}	6.62×10^{-1}	8.30×10^{-1}	8.68×10^{-1}	6.18×10^{-1}
6.129	2.92×10^{-1}	3.08×10^{-1}	3.50×10^{-1}	4.63×10^{-1}	6.55×10^{-1}	8.13×10^{-1}	8.69×10^{-1}	6.15×10^{-1}
8	2.20×10^{-1}	2.32×10^{-1}	2.74×10^{-1}	3.71×10^{-1}	5.74×10^{-1}	7.73×10^{-1}	8.47×10^{-1}	5.67×10^{-1}
10	1.73×10^{-1}	1.81×10^{-1}	2.15×10^{-1}	2.97×10^{-1}	5.06×10^{-1}	7.28×10^{-1}	8.07×10^{-1}	5.26×10^{-1}
15	1.15×10^{-1}	1.21×10^{-1}	1.39×10^{-1}	1.91×10^{-1}	3.62×10^{-1}	6.04×10^{-1}	7.47×10^{-1}	4.59×10^{-1}
20	8.69×10^{-2}	9.00×10^{-2}	1.01×10^{-1}	1.35×10^{-1}	2.74×10^{-1}	5.04×10^{-1}	6.81×10^{-1}	4.17×10^{-1}
30	5.84×10^{-2}	6.00×10^{-2}	6.68×10^{-2}	8.51×10^{-2}	1.74×10^{-1}	3.59×10^{-1}	5.53×10^{-1}	3.57×10^{-1}
40	4.39×10^{-2}	4.48×10^{-2}	5.01×10^{-2}	6.10×10^{-2}	1.26×10^{-1}	2.73×10^{-1}	4.52×10^{-1}	3.16×10^{-1}
50	3.49×10^{-2}	3.62×10^{-2}	3.95×10^{-2}	4.79×10^{-2}	9.77×10^{-2}	2.21×10^{-1}	3.80×10^{-1}	2.82×10^{-1}

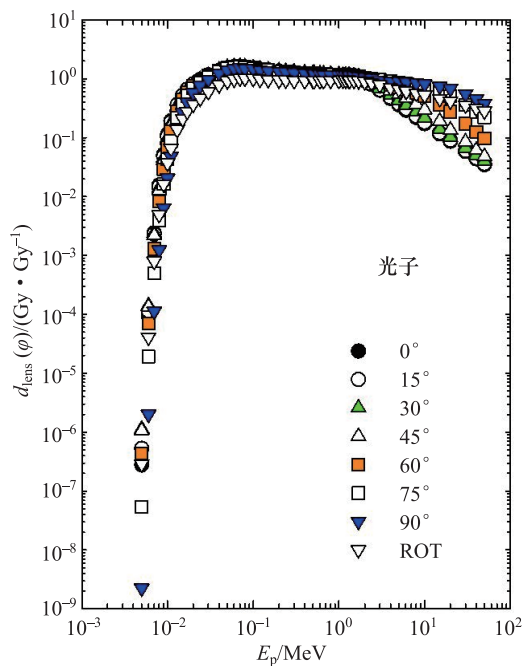


图 A.3.1b 左右两侧照射时，从光子空气比释动能到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

表 A.3.2 左右两侧照射时，从中子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数（Hertel 等，2021）*

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$								
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	180°	ROT
1.00×10^{-9}	2.31	2.38	2.49	2.31	2.04	1.64	1.17	1.20×10^{-1}	9.30×10^{-1}
1.00×10^{-8}	2.75	2.83	2.89	2.72	2.49	1.97	1.47	1.40×10^{-1}	1.11
2.50×10^{-8}	2.73	2.90	3.02	2.87	2.57	2.10	1.57	1.60×10^{-1}	1.19
1.00×10^{-7}	2.79	2.94	3.07	3.14	2.76	2.38	1.86	2.10×10^{-1}	1.31
2.00×10^{-7}	2.76	3.06	3.22	2.99	2.80	2.46	1.95	2.50×10^{-1}	1.37
5.00×10^{-7}	2.78	3.03	3.06	3.02	2.83	2.46	2.07	2.80×10^{-1}	1.39
1.00×10^{-6}	2.80	2.87	3.14	2.99	2.78	2.50	2.04	3.20×10^{-1}	1.41
2.00×10^{-6}	2.73	2.75	2.88	2.83	2.76	2.43	2.06	3.30×10^{-1}	1.45
5.00×10^{-6}	2.62	2.72	2.87	2.87	2.66	2.42	2.01	3.50×10^{-1}	1.41
1.00×10^{-5}	2.57	2.68	2.67	2.77	2.57	2.35	1.94	3.50×10^{-1}	1.37
2.00×10^{-5}	2.39	2.51	2.67	2.46	2.48	2.20	1.84	3.70×10^{-1}	1.35
5.00×10^{-5}	2.20	2.50	2.40	2.48	2.26	2.09	1.82	3.50×10^{-1}	1.30
1.00×10^{-4}	2.20	2.22	2.29	2.34	2.18	2.00	1.75	3.70×10^{-1}	1.26
2.00×10^{-4}	2.02	2.17	2.28	2.26	2.09	1.92	1.66	3.90×10^{-1}	1.19
5.00×10^{-4}	1.93	2.04	2.14	2.12	2.00	1.88	1.59	3.70×10^{-1}	1.17
1.00×10^{-3}	1.97	1.91	2.00	2.08	1.94	1.81	1.60	3.80×10^{-1}	1.13
2.00×10^{-3}	1.91	2.03	2.09	2.12	1.85	1.80	1.58	3.50×10^{-1}	1.14
5.00×10^{-3}	1.99	2.17	2.25	2.07	2.12	1.88	1.62	3.60×10^{-1}	1.20
1.00×10^{-2}	2.39	2.52	2.47	2.41	2.35	2.13	1.87	3.60×10^{-1}	1.34
2.00×10^{-2}	3.04	3.11	3.05	3.03	2.93	2.70	2.33	3.50×10^{-1}	1.58
3.00×10^{-2}	3.69	3.73	3.71	3.66	3.54	3.31	2.80	4.00×10^{-1}	1.88
5.00×10^{-2}	4.94	4.88	4.82	4.60	4.60	4.32	3.79	3.90×10^{-1}	2.43
7.00×10^{-2}	5.99	5.93	5.95	5.64	5.71	5.37	4.77	4.10×10^{-1}	3.04
1.00×10^{-1}	7.29	7.42	7.35	7.02	7.19	6.65	5.89	4.20×10^{-1}	3.60
1.50×10^{-1}	9.41	9.43	9.29	9.05	9.00	8.60	7.76	4.40×10^{-1}	4.65
2.00×10^{-1}	1.11×10^1	1.12×10^1	1.10×10^1	1.08×10^1	1.07×10^1	1.03×10^1	9.39	4.40×10^{-1}	5.48
3.00×10^{-1}	1.39×10^1	1.43×10^1	1.39×10^1	1.36×10^1	1.37×10^1	1.33×10^1	1.23×10^1	4.90×10^{-1}	7.18
5.00×10^{-1}	1.83×10^1	1.89×10^1	1.85×10^1	1.78×10^1	1.84×10^1	1.78×10^1	1.70×10^1	5.60×10^{-1}	9.79
7.00×10^{-1}	2.14×10^1	2.19×10^1	2.16×10^1	2.08×10^1	2.11×10^1	2.09×10^1	1.98×10^1	6.70×10^{-1}	1.19×10^1
9.00×10^{-1}	2.48×10^1	2.53×10^1	2.49×10^1	2.42×10^1	2.37×10^1	2.42×10^1	2.30×10^1	8.40×10^{-1}	1.38×10^1
1.00	2.96×10^1	3.01×10^1	2.95×10^1	3.01×10^1	2.87×10^1	2.82×10^1	2.66×10^1	6.50×10^{-1}	1.54×10^1
1.20	2.84×10^1	2.89×10^1	2.88×10^1	2.69×10^1	2.75×10^1	2.77×10^1	2.70×10^1	1.09	1.65×10^1

* 译者注：ICRU 第 95 号报告出版后，报告编写委员会对报告中的部分图表进行了更新，本译著展示的是更新后的表 A.3.2。

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$								
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	180°	ROT
1.50	3.07×10^1	3.11×10^1	3.11×10^1	2.95×10^1	3.06×10^1	2.98×10^1	2.97×10^1	1.64	1.85×10^1
2.00	3.48×10^1	3.44×10^1	3.43×10^1	3.54×10^1	3.37×10^1	3.35×10^1	3.32×10^1	2.76	2.18×10^1
3.00	4.02×10^1	4.01×10^1	3.97×10^1	4.08×10^1	3.90×10^1	3.91×10^1	3.89×10^1	5.53	2.75×10^1
4.00	4.78×10^1	4.70×10^1	4.79×10^1	4.86×10^1	4.61×10^1	4.59×10^1	4.72×10^1	7.34	3.22×10^1
5.00	5.00×10^1	4.93×10^1	4.96×10^1	5.07×10^1	4.85×10^1	4.72×10^1	4.83×10^1	1.09×10^1	3.59×10^1
6.00	5.40×10^1	5.38×10^1	5.41×10^1	5.42×10^1	5.27×10^1	5.17×10^1	5.25×10^1	1.29×10^1	3.90×10^1
7.00	5.37×10^1	5.32×10^1	5.34×10^1	5.38×10^1	5.27×10^1	5.18×10^1	5.27×10^1	1.65×10^1	4.11×10^1
8.00	5.68×10^1	5.61×10^1	5.74×10^1	5.62×10^1	5.58×10^1	5.51×10^1	5.56×10^1	1.79×10^1	4.33×10^1
9.00	6.06×10^1	5.95×10^1	6.00×10^1	6.02×10^1	5.92×10^1	5.82×10^1	5.89×10^1	1.94×10^1	4.57×10^1
1.00×10^1	6.31×10^1	6.31×10^1	6.49×10^1	6.44×10^1	6.19×10^1	6.14×10^1	6.15×10^1	2.15×10^1	4.92×10^1
1.20×10^1	7.00×10^1	6.89×10^1	7.03×10^1	7.01×10^1	6.71×10^1	6.72×10^1	6.88×10^1	2.42×10^1	5.37×10^1
1.40×10^1	7.09×10^1	7.11×10^1	7.18×10^1	7.17×10^1	6.83×10^1	6.95×10^1	7.04×10^1	2.81×10^1	5.65×10^1
1.50×10^1	7.46×10^1	7.38×10^1	7.54×10^1	7.47×10^1	7.22×10^1	7.20×10^1	7.36×10^1	3.01×10^1	5.88×10^1
1.60×10^1	7.44×10^1	7.52×10^1	7.50×10^1	7.54×10^1	7.29×10^1	7.21×10^1	7.33×10^1	3.22×10^1	5.99×10^1
1.80×10^1	7.45×10^1	7.47×10^1	7.37×10^1	7.51×10^1	7.26×10^1	7.19×10^1	7.51×10^1	3.55×10^1	6.19×10^1
2.00×10^1	7.56×10^1	7.37×10^1	7.74×10^1	7.60×10^1	7.29×10^1	7.35×10^1	7.61×10^1	3.87×10^1	6.36×10^1
3.00×10^1	7.01×10^1	7.05×10^1	7.44×10^1	7.97×10^1	6.71×10^1	7.43×10^1	7.91×10^1	4.88×10^1	6.73×10^1
5.00×10^1	5.57×10^1	5.82×10^1	6.19×10^1	7.13×10^1	7.09×10^1	7.66×10^1	7.97×10^1	6.61×10^1	6.86×10^1

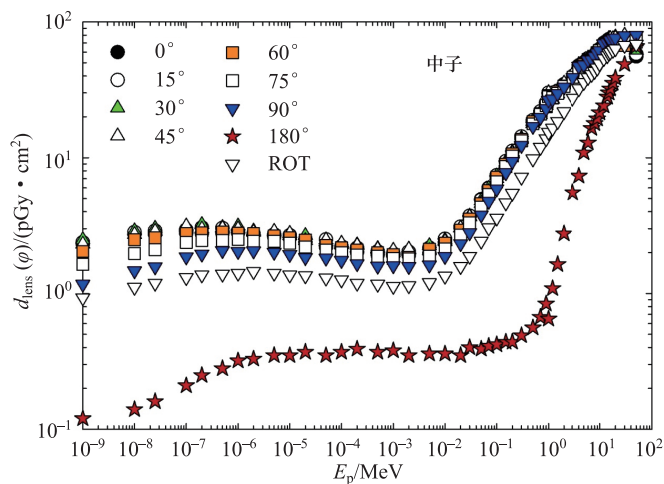


图 A.3.2 左右两侧照射时，从中子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数（Hertel 等，2021）*

* 译者注：ICRU 第 95 号报告出版后，报告编写委员会对报告中的部分图表进行了更新，本译著展示的是更新后的图 A.3.2。

表 A.3.3 左右两侧照射时, 从电子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数 (Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.01	6.50×10^{-7}	7.33×10^{-7}	6.46×10^{-7}	4.68×10^{-7}	3.82×10^{-7}	2.91×10^{-7}	1.67×10^{-7}	3.32×10^{-7}
0.015	1.55×10^{-5}	1.47×10^{-5}	1.37×10^{-5}	1.20×10^{-5}	1.10×10^{-5}	6.71×10^{-6}	3.99×10^{-6}	4.60×10^{-6}
0.02	5.26×10^{-5}	5.21×10^{-5}	4.29×10^{-5}	4.00×10^{-5}	3.07×10^{-5}	2.01×10^{-5}	1.56×10^{-5}	1.69×10^{-5}
0.03	1.62×10^{-4}	1.69×10^{-4}	1.52×10^{-4}	1.37×10^{-4}	9.59×10^{-5}	7.96×10^{-5}	4.59×10^{-5}	5.49×10^{-5}
0.04	3.16×10^{-4}	3.04×10^{-4}	3.07×10^{-4}	2.53×10^{-4}	1.99×10^{-4}	1.55×10^{-4}	8.87×10^{-5}	9.57×10^{-5}
0.05	4.90×10^{-4}	5.09×10^{-4}	4.76×10^{-4}	3.94×10^{-4}	3.45×10^{-4}	2.36×10^{-4}	1.44×10^{-4}	1.56×10^{-4}
0.06	6.27×10^{-4}	6.42×10^{-4}	6.12×10^{-4}	5.17×10^{-4}	4.43×10^{-4}	3.05×10^{-4}	1.93×10^{-4}	2.19×10^{-4}
0.08	1.03×10^{-3}	1.05×10^{-3}	9.82×10^{-4}	8.34×10^{-4}	7.25×10^{-4}	5.15×10^{-4}	3.28×10^{-4}	3.51×10^{-4}
0.1	1.43×10^{-3}	1.47×10^{-3}	1.34×10^{-3}	1.26×10^{-3}	1.01×10^{-3}	7.44×10^{-4}	4.96×10^{-4}	4.84×10^{-4}
0.15	2.60×10^{-3}	2.66×10^{-3}	2.48×10^{-3}	2.14×10^{-3}	1.79×10^{-3}	1.37×10^{-3}	9.10×10^{-4}	9.40×10^{-4}
0.2	3.87×10^{-3}	4.05×10^{-3}	3.76×10^{-3}	3.39×10^{-3}	2.81×10^{-3}	2.18×10^{-3}	1.43×10^{-3}	1.44×10^{-3}
0.3	7.36×10^{-3}	7.18×10^{-3}	6.86×10^{-3}	6.29×10^{-3}	5.15×10^{-3}	4.07×10^{-3}	2.84×10^{-3}	2.63×10^{-3}
0.4	1.14×10^{-2}	1.15×10^{-2}	1.08×10^{-2}	1.02×10^{-2}	8.49×10^{-3}	6.68×10^{-3}	4.73×10^{-3}	4.19×10^{-3}
0.5	1.65×10^{-2}	1.63×10^{-2}	1.56×10^{-2}	1.44×10^{-2}	1.22×10^{-2}	9.69×10^{-3}	6.87×10^{-3}	6.38×10^{-3}
0.6	4.71×10^{-2}	5.68×10^{-2}	6.98×10^{-2}	6.62×10^{-2}	4.51×10^{-2}	2.34×10^{-2}	1.16×10^{-2}	2.29×10^{-2}
0.7	1.46	1.65	1.88	1.73	1.17	5.49×10^{-1}	1.73×10^{-1}	5.98×10^{-1}
0.8	1.00×10^1	1.03×10^1	1.04×10^1	9.08	6.28	3.28	1.18	3.45
1	6.95×10^1	6.74×10^1	6.02×10^1	4.86×10^1	3.36×10^1	1.89×10^1	7.80	2.08×10^1
1.25	1.92×10^2	1.85×10^2	1.64×10^2	1.32×10^2	9.15×10^1	5.38×10^1	2.43×10^1	5.71×10^1
1.5	3.08×10^2	2.99×10^2	2.69×10^2	2.23×10^2	1.61×10^2	9.82×10^1	4.72×10^1	9.53×10^1
1.75	3.85×10^2	3.78×10^2	3.50×10^2	3.02×10^2	2.28×10^2	1.46×10^2	7.39×10^1	1.26×10^2
2	4.16×10^2	4.12×10^2	3.95×10^2	3.58×10^2	2.83×10^2	1.93×10^2	1.03×10^2	1.45×10^2
2.5	4.08×10^2	4.12×10^2	4.13×10^2	4.04×10^2	3.52×10^2	2.70×10^2	1.62×10^2	1.61×10^2
3	3.78×10^2	3.87×10^2	3.99×10^2	4.11×10^2	3.82×10^2	3.21×10^2	2.11×10^2	1.64×10^2
3.5	3.54×10^2	3.66×10^2	3.82×10^2	4.05×10^2	3.91×10^2	3.52×10^2	2.54×10^2	1.64×10^2
4	3.39×10^2	3.51×10^2	3.69×10^2	3.99×10^2	3.87×10^2	3.70×10^2	2.86×10^2	1.64×10^2
5	3.23×10^2	3.35×10^2	3.54×10^2	3.92×10^2	3.68×10^2	3.81×10^2	3.33×10^2	1.65×10^2
6	3.15×10^2	3.28×10^2	3.49×10^2	3.94×10^2	3.49×10^2	3.76×10^2	3.61×10^2	1.68×10^2
7	3.10×10^2	3.22×10^2	3.46×10^2	4.01×10^2	3.37×10^2	3.64×10^2	3.75×10^2	1.72×10^2
8	3.07×10^2	3.18×10^2	3.41×10^2	4.06×10^2	3.28×10^2	3.53×10^2	3.76×10^2	1.77×10^2
10	3.04×10^2	3.12×10^2	3.30×10^2	4.03×10^2	3.44×10^2	3.36×10^2	3.61×10^2	1.85×10^2
15	3.01×10^2	3.06×10^2	3.09×10^2	3.53×10^2	4.15×10^2	3.15×10^2	3.25×10^2	2.01×10^2
20	3.01×10^2	3.03×10^2	3.05×10^2	3.23×10^2	4.03×10^2	3.76×10^2	3.12×10^2	2.12×10^2
30	3.03×10^2	3.04×10^2	3.06×10^2	3.12×10^2	3.67×10^2	3.67×10^2	3.09×10^2	2.36×10^2
40	3.03×10^2	3.07×10^2	3.03×10^2	3.13×10^2	3.47×10^2	3.46×10^2	3.13×10^2	2.64×10^2
50	3.00×10^2	3.01×10^2	3.06×10^2	3.10×10^2	3.41×10^2	3.32×10^2	3.13×10^2	2.90×10^2

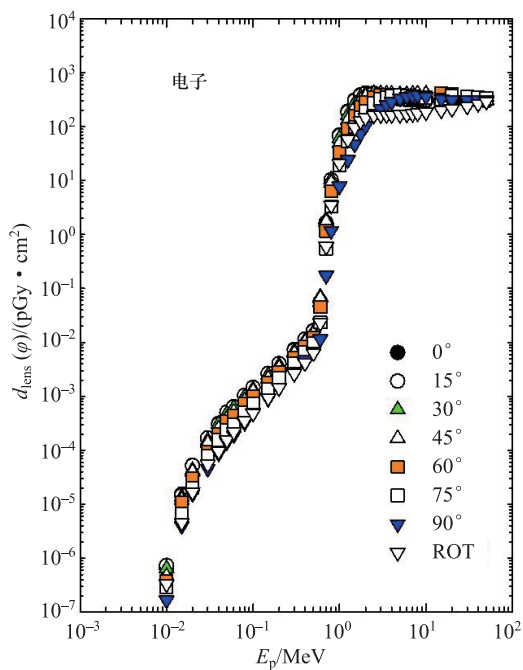


图 A.3.3 左右两侧照射时，从电子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数
(Behrens, 2017 年 a)

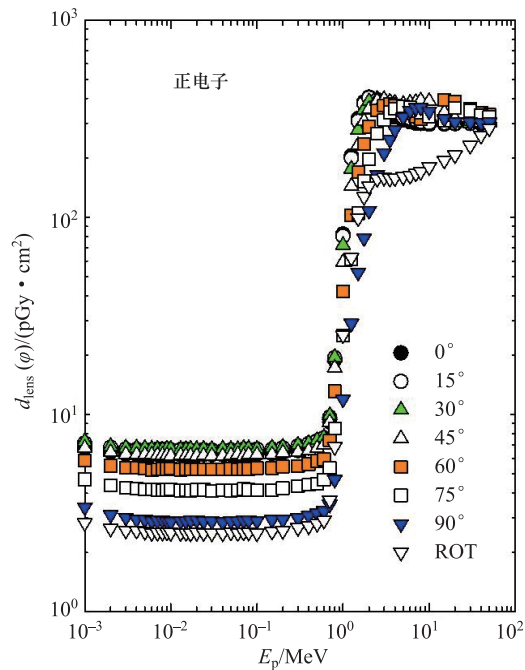


图 A.3.4 左右两侧照射时，从正电子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数
(Behrens, 2017 年 a)

表 A.3.4 左右两侧照射时，从正电子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数 (Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.001	6.79	7.16	7.32	6.78	5.84	4.70	3.40	2.83
0.002	6.47	6.82	6.92	6.44	5.51	4.37	3.11	2.65
0.003	6.32	6.68	6.79	6.30	5.38	4.26	3.01	2.59
0.004	6.29	6.65	6.78	6.27	5.37	4.21	2.95	2.59
0.005	6.30	6.62	6.75	6.27	5.33	4.18	2.94	2.55
0.006	6.26	6.61	6.71	6.25	5.24	4.17	2.88	2.52
0.007	6.27	6.67	6.70	6.23	5.28	4.15	2.91	2.52
0.008	6.26	6.66	6.65	6.23	5.31	4.14	2.93	2.52
0.009	6.25	6.65	6.71	6.23	5.30	4.16	2.89	2.54
0.01	6.26	6.63	6.71	6.18	5.33	4.18	2.86	2.52
0.013	6.25	6.65	6.67	6.23	5.26	4.12	2.89	2.51
0.015	6.24	6.66	6.65	6.19	5.31	4.13	2.89	2.52
0.017	6.23	6.59	6.71	6.20	5.30	4.12	2.91	2.50

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.02	6.23	6.58	6.69	6.18	5.28	4.15	2.92	2.52
0.024	6.27	6.64	6.70	6.21	5.30	4.16	2.88	2.51
0.03	6.26	6.59	6.66	6.19	5.26	4.10	2.88	2.51
0.04	6.26	6.55	6.73	6.19	5.28	4.14	2.85	2.50
0.05	6.29	6.62	6.66	6.22	5.31	4.12	2.89	2.53
0.06	6.26	6.58	6.68	6.28	5.28	4.14	2.88	2.51
0.07	6.29	6.66	6.75	6.18	5.31	4.20	2.91	2.53
0.08	6.26	6.64	6.73	6.26	5.31	4.15	2.91	2.53
0.1	6.30	6.66	6.70	6.27	5.36	4.13	2.90	2.51
0.15	6.36	6.68	6.79	6.28	5.35	4.15	2.93	2.56
0.2	6.43	6.78	6.85	6.43	5.46	4.24	2.94	2.58
0.3	6.56	6.93	7.02	6.46	5.48	4.34	2.98	2.67
0.4	6.76	7.11	7.16	6.57	5.62	4.41	3.07	2.72
0.5	6.98	7.36	7.42	6.75	5.82	4.45	3.16	2.80
0.6	7.31	7.60	7.67	7.04	5.95	4.67	3.25	2.91
0.7	9.18	9.70	9.91	9.15	7.40	5.37	3.51	3.68
0.8	1.89×10^1	1.94×10^1	1.96×10^1	1.73×10^1	1.31×10^1	8.52	4.68	6.87
1	8.22×10^1	8.02×10^1	7.23×10^1	5.91×10^1	4.20×10^1	2.51×10^1	1.20×10^1	2.53×10^1
1.25	2.05×10^2	1.99×10^2	1.76×10^2	1.44×10^2	1.03×10^2	6.13×10^1	2.90×10^1	6.24×10^1
1.5	3.17×10^2	3.07×10^2	2.78×10^2	2.32×10^2	1.70×10^2	1.05×10^2	5.25×10^1	9.91×10^1
1.75	3.84×10^2	3.77×10^2	3.51×10^2	3.07×10^2	2.35×10^2	1.52×10^2	7.86×10^1	1.27×10^2
2	4.06×10^2	4.03×10^2	3.87×10^2	3.53×10^2	2.88×10^2	1.98×10^2	1.08×10^2	1.44×10^2
2.5	3.88×10^2	3.94×10^2	3.97×10^2	3.89×10^2	3.49×10^2	2.66×10^2	1.65×10^2	1.57×10^2
3	3.59×10^2	3.69×10^2	3.78×10^2	3.96×10^2	3.69×10^2	3.12×10^2	2.12×10^2	1.59×10^2
3.5	3.38×10^2	3.47×10^2	3.65×10^2	3.85×10^2	3.73×10^2	3.40×10^2	2.48×10^2	1.57×10^2
4	3.22×10^2	3.36×10^2	3.53×10^2	3.81×10^2	3.68×10^2	3.55×10^2	2.78×10^2	1.58×10^2
5	3.10×10^2	3.22×10^2	3.42×10^2	3.74×10^2	3.49×10^2	3.65×10^2	3.23×10^2	1.60×10^2
6	3.05×10^2	3.17×10^2	3.38×10^2	3.80×10^2	3.36×10^2	3.60×10^2	3.48×10^2	1.63×10^2
7	3.00×10^2	3.12×10^2	3.34×10^2	3.84×10^2	3.25×10^2	3.46×10^2	3.59×10^2	1.67×10^2
8	2.99×10^2	3.06×10^2	3.32×10^2	3.91×10^2	3.16×10^2	3.38×10^2	3.61×10^2	1.70×10^2
10	2.96×10^2	3.02×10^2	3.23×10^2	3.88×10^2	3.33×10^2	3.23×10^2	3.44×10^2	1.80×10^2
15	2.97×10^2	3.01×10^2	3.06×10^2	3.40×10^2	3.94×10^2	3.09×10^2	3.17×10^2	1.94×10^2
20	2.98×10^2	2.99×10^2	3.01×10^2	3.16×10^2	3.86×10^2	3.58×10^2	3.05×10^2	2.07×10^2
30	2.99×10^2	2.99×10^2	3.00×10^2	3.07×10^2	3.53×10^2	3.47×10^2	3.03×10^2	2.31×10^2
40	2.99×10^2	3.03×10^2	3.03×10^2	3.03×10^2	3.40×10^2	3.30×10^2	3.01×10^2	2.60×10^2
50	3.02×10^2	3.00×10^2	3.03×10^2	3.02×10^2	3.31×10^2	3.23×10^2	3.03×10^2	2.83×10^2

A.4 局部皮肤定向和个人吸收剂量

对于平板模体照射，从粒子注量到局部皮肤定向吸收剂量的转换系数 $d'_{\text{local skin}}$ 和从粒子注量到个人局部皮肤吸收剂量的转换系数 $d_{\text{p local skin}}$ 的数值相同。本节的表和图中使用 $d_{\text{local skin}}$ 符号表示平板模体局部皮肤吸收剂量转换系数。局部皮肤吸收剂量转换系数如表 A.4.0 所示。针对能量高达 50 MeV 的光子、中子、电子和正电子以及能量高达 10 MeV 的 α 粒子，表 A.4.1.1a、表 A.4.1.2a、表 A.4.1.3a、表 A.4.4、表 A.4.5 和图 A.4.1.1a、图 A.4.1.2a、图 A.4.1.3a、图 A.4.4、图 A.4.5 给出了这些粒子从粒子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数数值。表 A.4.1.1b、表 A.4.1.2b、表 A.4.1.3b 和图 A.4.1.1b、图 A.4.1.2b、图 A.4.1.3b 给出了从光子空气比释动能到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数数值。转换系数将粒子注量与局部皮肤吸收剂量值相关联，该值是为特定方向入射的均匀平行宽束和旋转场特定模体而计算的。转换系数计算如下。

- 对于躯干：尺寸为 300 mm × 300 mm × 148 mm 的 ICRU 四元素组织构成的平板模体 ($\rho = 1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)，其前表面中心下方覆盖有厚度为 2 mm、密度为 $1.09 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的皮肤层 (ICRP, 2009 年)，其元素组成详见 ICRP 第 89 号出版物 (2002 年)。局部皮肤吸收剂量是在一个正圆柱体体积上取平均值。圆柱体中心轴垂直于 50 μm 和 100 μm 深度之间前表面，横截面积为 1 cm^2 。

- 对于四肢：直径为 69 mm、长度为 300 mm 的 ICRU 四元素组织构成的圆柱体 (在这种情况下，密度取 $1.11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)，该圆柱体表面一半长度处覆盖有厚度为 2 mm 的皮肤层。局部皮肤吸收剂量是在面积为 1 cm^2 的圆垂直投影于半径 36.4 mm 和 36.45 mm 圆柱表面间的体积上取平均值。

- 对于手指：直径为 15 mm、长度为 300 mm 的 ICRU 四元素组织构成的棒状模体 (在这种情况下，密度取 $1.11 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)，该棒状圆柱体表面一半长度处覆盖有厚度为 2 mm 的皮肤。局部皮肤吸收剂量是在面积为 1 cm^2 的圆垂直投影于半径 9.4 mm 和 9.45 mm 圆柱表面间的体积上取平均值。

表 A.4.5 和图 A.4.5 给出的 α 粒子的转换系数，其计算模型为尺寸 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的 ICRU 四元素组织构成的模体 ($\rho = 1.0\text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)，表面无 2 mm 厚皮肤覆盖层 (ICRP, 2010 年)；吸收剂量是在模体前表面中心下方的一个体积上取平均求得，该体积的横截面积为 1 cm^2 、深度在前表面 $50\text{ }\mu\text{m}$ 和 $100\text{ }\mu\text{m}$ 之间。

表 A.4.0 局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数， $d'_{\text{local skin}}$ 和 $d_{\text{p local skin}}$

表/图	粒子类型	模体	物理量	能量范围/MeV	角度范围
A.4.1.1a	光子	平板	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 75^\circ$
A.4.1.1b	光子	平板	空气比释动能	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 75^\circ$
A.4.1.2a	光子	柱状	注量	$2.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.1.2b	光子	柱状	空气比释动能	$2.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.1.3a	光子	棒状	注量	$2.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.1.3b	光子	棒状	空气比释动能	$2.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.2.1	中子	平板	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 75^\circ$
A.4.2.2	中子	柱状	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 2.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.2.3	中子	棒状	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.3.1	电子	平板	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 75^\circ$
A.4.3.2	电子	柱状	注量	$5.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.3.3	电子	棒状	注量	$5.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.4.1	正电子	平板	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 75^\circ$
A.4.4.2	正电子	柱状	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.4.3	正电子	棒状	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$	$0^\circ \sim 180^\circ$, ROT
A.4.5	He^{2+} 离子	平板	注量	$6.6 \sim 1.0 \times 10^1$	0°

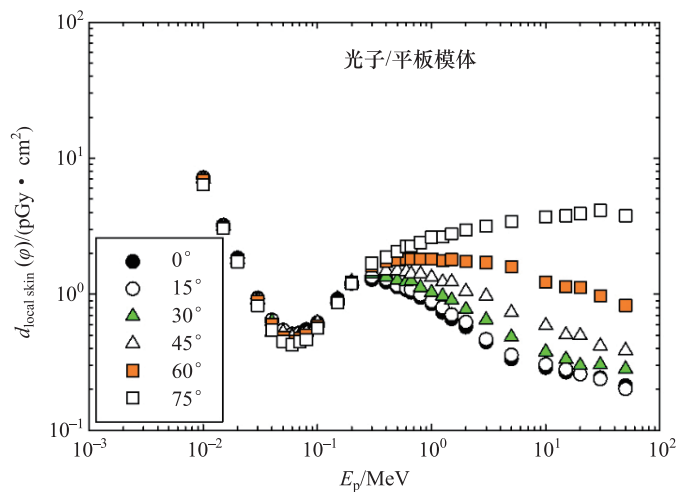
表 A.4.1.1a 平板模体上从光子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.01	7.20	7.17	7.14	7.04	6.89	6.38
0.015	3.22	3.20	3.19	3.17	3.14	3.04
0.02	1.85	1.83	1.81	1.80	1.79	1.73
0.03	9.35×10^{-1}	9.24×10^{-1}	9.18×10^{-1}	9.05×10^{-1}	8.89×10^{-1}	8.24×10^{-1}
0.04	6.36×10^{-1}	6.47×10^{-1}	6.30×10^{-1}	6.25×10^{-1}	6.00×10^{-1}	5.45×10^{-1}
0.05	5.43×10^{-1}	5.46×10^{-1}	5.23×10^{-1}	5.26×10^{-1}	4.81×10^{-1}	4.49×10^{-1}

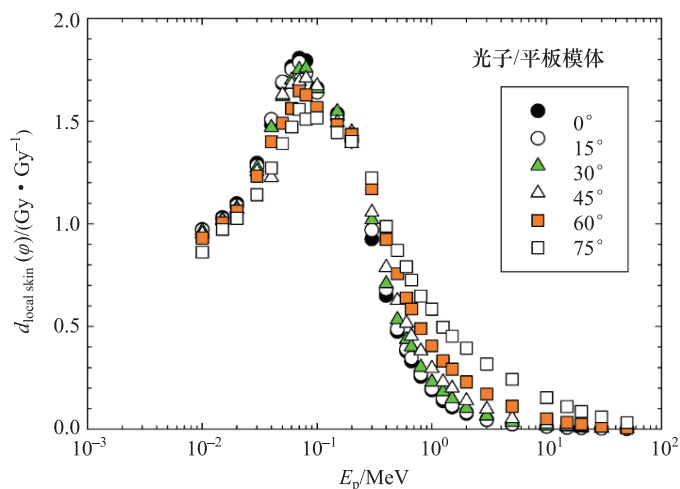
① J. Daures, J. Gouriou, and J.-M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.06	5.10×10^{-1}	5.06×10^{-1}	4.91×10^{-1}	4.85×10^{-1}	4.51×10^{-1}	4.25×10^{-1}
0.07	5.20×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.04×10^{-1}	4.87×10^{-1}	4.74×10^{-1}	4.48×10^{-1}
0.08	5.50×10^{-1}	5.31×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.24×10^{-1}	4.99×10^{-1}	4.63×10^{-1}
0.1	6.17×10^{-1}	6.09×10^{-1}	6.16×10^{-1}	6.21×10^{-1}	5.81×10^{-1}	5.63×10^{-1}
0.15	9.21×10^{-1}	9.04×10^{-1}	9.27×10^{-1}	8.95×10^{-1}	8.88×10^{-1}	8.66×10^{-1}
0.2	1.20	1.21	1.24	1.19	1.23	1.20
0.3	1.28	1.34	1.41	1.46	1.62	1.69
0.4	1.23	1.29	1.34	1.49	1.75	1.87
0.5	1.13	1.16	1.27	1.49	1.80	2.07
0.6	1.08	1.11	1.24	1.47	1.82	2.25
0.662	1.03	1.08	1.25	1.41	1.82	2.26
0.8	9.46×10^{-1}	9.89×10^{-1}	1.12	1.41	1.81	2.40
1	8.52×10^{-1}	8.87×10^{-1}	1.03	1.33	1.82	2.62
1.25	7.35×10^{-1}	7.98×10^{-1}	9.72×10^{-1}	1.23	1.77	2.65
1.5	6.59×10^{-1}	7.06×10^{-1}	9.05×10^{-1}	1.23	1.80	2.78
2	5.74×10^{-1}	6.23×10^{-1}	7.74×10^{-1}	1.05	1.74	2.98
3	4.46×10^{-1}	4.66×10^{-1}	6.48×10^{-1}	9.71×10^{-1}	1.71	3.17
5	3.34×10^{-1}	3.57×10^{-1}	4.85×10^{-1}	7.33×10^{-1}	1.59	3.44
10	2.88×10^{-1}	3.05×10^{-1}	3.77×10^{-1}	5.88×10^{-1}	1.23	3.72
15	2.67×10^{-1}	2.80×10^{-1}	3.33×10^{-1}	5.02×10^{-1}	1.14	3.78
20	2.59×10^{-1}	2.58×10^{-1}	3.00×10^{-1}	4.96×10^{-1}	1.12	3.93
30	2.43×10^{-1}	2.38×10^{-1}	3.03×10^{-1}	4.16×10^{-1}	9.71×10^{-1}	4.14
50	2.13×10^{-1}	2.01×10^{-1}	2.82×10^{-1}	3.86×10^{-1}	8.26×10^{-1}	3.78

图 A.4.1.1a 平板模体上从光子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

① J. Daures, J. Gouriou, and J.-M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

图 A.4.1.1b 平板模体上从光子空气比释动能到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①表 A.4.1.1b 平板模体上从光子空气比释动能到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\phi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.01	9.73×10^{-1}	9.69×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.51×10^{-1}	9.31×10^{-1}	8.62×10^{-1}
0.015	1.03	1.02	1.02	1.01	1.00	9.73×10^{-1}
0.02	1.10	1.09	1.07	1.07	1.06	1.03
0.03	1.30	1.28	1.27	1.25	1.23	1.14
0.04	1.48	1.51	1.47	1.46	1.40	1.27
0.05	1.68	1.69	1.62	1.63	1.49	1.39
0.06	1.77	1.75	1.70	1.68	1.56	1.47
0.07	1.81	1.79	1.75	1.69	1.65	1.56
0.08	1.79	1.73	1.76	1.71	1.63	1.51
0.1	1.66	1.64	1.66	1.67	1.56	1.52
0.15	1.54	1.51	1.55	1.49	1.48	1.44
0.2	1.40	1.41	1.45	1.39	1.44	1.40
0.3	9.26×10^{-1}	9.69×10^{-1}	1.02	1.06	1.17	1.22
0.4	6.50×10^{-1}	6.82×10^{-1}	7.08×10^{-1}	7.88×10^{-1}	9.25×10^{-1}	9.88×10^{-1}
0.5	4.75×10^{-1}	4.88×10^{-1}	5.34×10^{-1}	6.26×10^{-1}	7.57×10^{-1}	8.70×10^{-1}
0.6	3.80×10^{-1}	3.90×10^{-1}	4.36×10^{-1}	5.17×10^{-1}	6.40×10^{-1}	7.91×10^{-1}
0.662	3.31×10^{-1}	3.47×10^{-1}	4.02×10^{-1}	4.53×10^{-1}	5.85×10^{-1}	7.26×10^{-1}
0.8	2.56×10^{-1}	2.67×10^{-1}	3.03×10^{-1}	3.81×10^{-1}	4.89×10^{-1}	6.48×10^{-1}

^① J. Daures, J. Gouriou, and J.-M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1	1.90×10^{-1}	1.98×10^{-1}	2.30×10^{-1}	2.97×10^{-1}	4.06×10^{-1}	5.85×10^{-1}
1.25	1.38×10^{-1}	1.50×10^{-1}	1.82×10^{-1}	2.31×10^{-1}	3.32×10^{-1}	4.97×10^{-1}
1.5	1.07×10^{-1}	1.15×10^{-1}	1.47×10^{-1}	2.00×10^{-1}	2.93×10^{-1}	4.52×10^{-1}
2	7.60×10^{-2}	8.24×10^{-2}	1.02×10^{-1}	1.39×10^{-1}	2.30×10^{-1}	3.94×10^{-1}
3	4.47×10^{-2}	4.67×10^{-2}	6.49×10^{-2}	9.73×10^{-2}	1.71×10^{-1}	3.18×10^{-1}
5	2.36×10^{-2}	2.52×10^{-2}	3.42×10^{-2}	5.17×10^{-2}	1.12×10^{-1}	2.43×10^{-1}
10	1.19×10^{-2}	1.26×10^{-2}	1.56×10^{-2}	2.44×10^{-2}	5.10×10^{-2}	1.54×10^{-1}
15	7.75×10^{-3}	8.13×10^{-3}	9.66×10^{-3}	1.46×10^{-2}	3.31×10^{-2}	1.10×10^{-1}
20	5.71×10^{-3}	5.69×10^{-3}	6.61×10^{-3}	1.09×10^{-2}	2.47×10^{-2}	8.66×10^{-2}
30	3.54×10^{-3}	3.47×10^{-3}	4.42×10^{-3}	6.07×10^{-3}	1.42×10^{-2}	6.04×10^{-2}
50	1.79×10^{-3}	1.69×10^{-3}	2.37×10^{-3}	3.24×10^{-3}	6.93×10^{-3}	3.17×10^{-2}

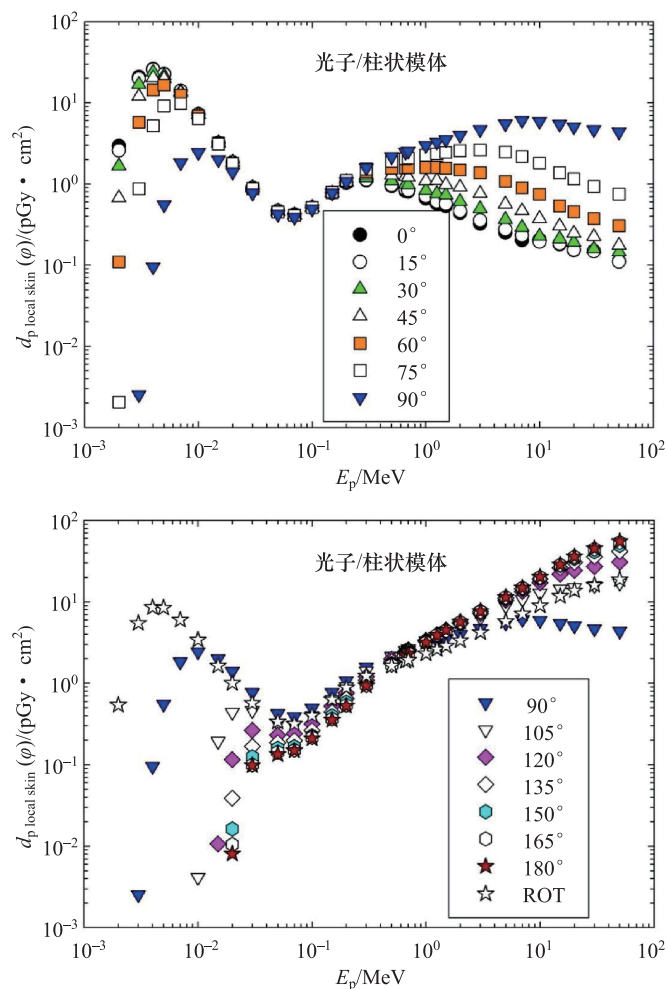
表 A.4.1.2a 柱状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	2.94	2.59	1.67	6.73×10^{-1}	1.10×10^{-1}	2.05×10^{-3}	3.28×10^{-5}
0.003	2.08×10^1	1.98×10^1	1.69×10^1	1.20×10^1	5.71	8.73×10^{-1}	2.53×10^{-3}
0.004	2.62×10^1	2.57×10^1	2.38×10^1	2.04×10^1	1.43×10^1	5.20	9.54×10^{-2}
0.005	2.27×10^1	2.24×10^1	2.16×10^1	1.99×10^1	1.65×10^1	9.14	5.56×10^{-1}
0.007	1.40×10^1	1.40×10^1	1.37×10^1	1.33×10^1	1.24×10^1	9.81	1.83
0.01	7.20	7.22	7.17	7.14	6.94	6.37	2.44
0.015	3.22	3.22	3.22	3.20	3.18	3.08	2.00
0.02	1.85	1.84	1.85	1.83	1.81	1.77	1.41
0.03	8.97×10^{-1}	9.00×10^{-1}	9.04×10^{-1}	8.90×10^{-1}	8.86×10^{-1}	8.68×10^{-1}	7.72×10^{-1}
0.05	4.64×10^{-1}	4.67×10^{-1}	4.55×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.54×10^{-1}	4.50×10^{-1}	4.23×10^{-1}
0.07	4.19×10^{-1}	4.20×10^{-1}	4.17×10^{-1}	4.13×10^{-1}	4.13×10^{-1}	4.10×10^{-1}	3.90×10^{-1}
0.1	5.11×10^{-1}	5.11×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.09×10^{-1}	5.11×10^{-1}	5.13×10^{-1}	4.93×10^{-1}
0.15	7.77×10^{-1}	7.79×10^{-1}	7.73×10^{-1}	7.73×10^{-1}	7.83×10^{-1}	7.95×10^{-1}	7.74×10^{-1}
0.2	1.03	1.04	1.05	1.06	1.08	1.11	1.07
0.3	1.11	1.13	1.19	1.28	1.42	1.54	1.58
0.5	9.41×10^{-1}	9.72×10^{-1}	1.09	1.28	1.57	1.90	2.17
0.662	8.19×10^{-1}	8.59×10^{-1}	9.85×10^{-1}	1.23	1.58	2.04	2.47
0.7	8.05×10^{-1}	8.37×10^{-1}	9.75×10^{-1}	1.21	1.60	2.08	2.54
1	6.63×10^{-1}	7.08×10^{-1}	8.32×10^{-1}	1.09	1.60	2.26	2.98
1.25	5.74×10^{-1}	6.08×10^{-1}	7.57×10^{-1}	1.10	1.60	2.35	3.29

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1.5	5.33×10^{-1}	5.72×10^{-1}	7.29×10^{-1}	9.77×10^{-1}	1.56	2.45	3.53
2	4.40×10^{-1}	4.63×10^{-1}	6.05×10^{-1}	9.11×10^{-1}	1.49	2.57	3.99
3	3.24×10^{-1}	3.56×10^{-1}	4.96×10^{-1}	7.63×10^{-1}	1.37	2.62	4.69
5	2.51×10^{-1}	2.76×10^{-1}	3.65×10^{-1}	5.63×10^{-1}	1.08	2.48	5.52
7	2.03×10^{-1}	2.33×10^{-1}	2.92×10^{-1}	4.67×10^{-1}	8.95×10^{-1}	2.17	6.06
10	2.06×10^{-1}	1.94×10^{-1}	2.27×10^{-1}	3.74×10^{-1}	7.47×10^{-1}	1.81	5.91
15	1.81×10^{-1}	1.85×10^{-1}	2.11×10^{-1}	3.03×10^{-1}	5.35×10^{-1}	1.37	5.44
20	1.53×10^{-1}	1.54×10^{-1}	1.90×10^{-1}	2.47×10^{-1}	4.55×10^{-1}	1.15	5.07
30	1.49×10^{-1}	1.48×10^{-1}	1.58×10^{-1}	2.24×10^{-1}	3.73×10^{-1}	9.26×10^{-1}	4.67
50	1.11×10^{-1}	1.11×10^{-1}	1.45×10^{-1}	1.76×10^{-1}	3.04×10^{-1}	7.51×10^{-1}	4.37
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43×10^{-1}
0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.48
0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.55
0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.45
0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.01
0.01	4.14×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41
0.015	1.94×10^{-1}	1.07×10^{-2}	8.54×10^{-4}	1.52×10^{-4}	8.87×10^{-5}	3.80×10^{-5}	1.64
0.02	4.41×10^{-1}	1.15×10^{-1}	3.88×10^{-2}	1.63×10^{-2}	1.05×10^{-2}	8.05×10^{-3}	1.01
0.03	4.62×10^{-1}	2.65×10^{-1}	1.68×10^{-1}	1.24×10^{-1}	9.98×10^{-2}	9.86×10^{-2}	5.70×10^{-1}
0.05	3.24×10^{-1}	2.31×10^{-1}	1.86×10^{-1}	1.59×10^{-1}	1.43×10^{-1}	1.34×10^{-1}	3.38×10^{-1}
0.07	3.07×10^{-1}	2.40×10^{-1}	1.98×10^{-1}	1.67×10^{-1}	1.51×10^{-1}	1.49×10^{-1}	3.18×10^{-1}
0.1	3.99×10^{-1}	3.16×10^{-1}	2.63×10^{-1}	2.26×10^{-1}	2.17×10^{-1}	2.10×10^{-1}	4.03×10^{-1}
0.15	6.35×10^{-1}	5.25×10^{-1}	4.42×10^{-1}	3.99×10^{-1}	3.65×10^{-1}	3.56×10^{-1}	6.34×10^{-1}
0.2	9.12×10^{-1}	7.57×10^{-1}	6.46×10^{-1}	5.86×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.28×10^{-1}	8.87×10^{-1}
0.3	1.42	1.21	1.08	9.82×10^{-1}	9.45×10^{-1}	9.33×10^{-1}	1.23
0.5	2.12	1.98	1.85	1.74	1.68	1.65	1.64
0.662	2.55	2.48	2.36	2.28	2.22	2.18	1.88
0.7	2.66	2.57	2.46	2.38	2.32	2.32	1.93
1	3.34	3.36	3.28	3.24	3.18	3.19	2.32
1.25	3.75	3.95	3.93	3.91	3.92	3.88	2.62
1.5	4.22	4.48	4.50	4.47	4.43	4.49	2.87
2	4.97	5.47	5.63	5.60	5.62	5.69	3.37
3	6.38	7.19	7.62	7.67	7.62	7.67	4.23
5	8.92	1.04×10^1	1.11×10^1	1.13×10^1	1.14×10^1	1.14×10^1	5.77
7	1.07×10^1	1.33×10^1	1.43×10^1	1.47×10^1	1.49×10^1	1.49×10^1	7.14
10	1.28×10^1	1.71×10^1	1.90×10^1	1.97×10^1	2.00×10^1	2.02×10^1	9.01
15	1.44×10^1	2.18×10^1	2.61×10^1	2.79×10^1	2.84×10^1	2.86×10^1	1.18×10^1
20	1.50×10^1	2.43×10^1	3.06×10^1	3.41×10^1	3.57×10^1	3.60×10^1	1.38×10^1
30	1.58×10^1	2.71×10^1	3.58×10^1	4.13×10^1	4.44×10^1	4.53×10^1	1.61×10^1
50	1.70×10^1	3.07×10^1	4.16×10^1	4.93×10^1	5.37×10^1	5.53×10^1	1.88×10^1

图 A.4.1.2a 柱状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①表 A.4.1.2b 柱状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p / MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\phi) / (\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	1.80×10^{-2}	1.58×10^{-2}	1.02×10^{-2}	4.11×10^{-3}	6.70×10^{-4}	1.25×10^{-5}	2.00×10^{-7}
0.003	2.76×10^{-1}	2.64×10^{-1}	2.24×10^{-1}	1.59×10^{-1}	7.59×10^{-2}	1.16×10^{-2}	3.36×10^{-5}
0.004	5.50×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.01×10^{-1}	4.28×10^{-1}	3.01×10^{-1}	1.09×10^{-1}	2.00×10^{-3}
0.005	7.40×10^{-1}	7.31×10^{-1}	7.04×10^{-1}	6.48×10^{-1}	5.38×10^{-1}	2.98×10^{-1}	1.81×10^{-2}
0.007	9.04×10^{-1}	9.01×10^{-1}	8.87×10^{-1}	8.60×10^{-1}	8.02×10^{-1}	6.33×10^{-1}	1.18×10^{-1}
0.01	9.74×10^{-1}	9.75×10^{-1}	9.69×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.38×10^{-1}	8.61×10^{-1}	3.30×10^{-1}

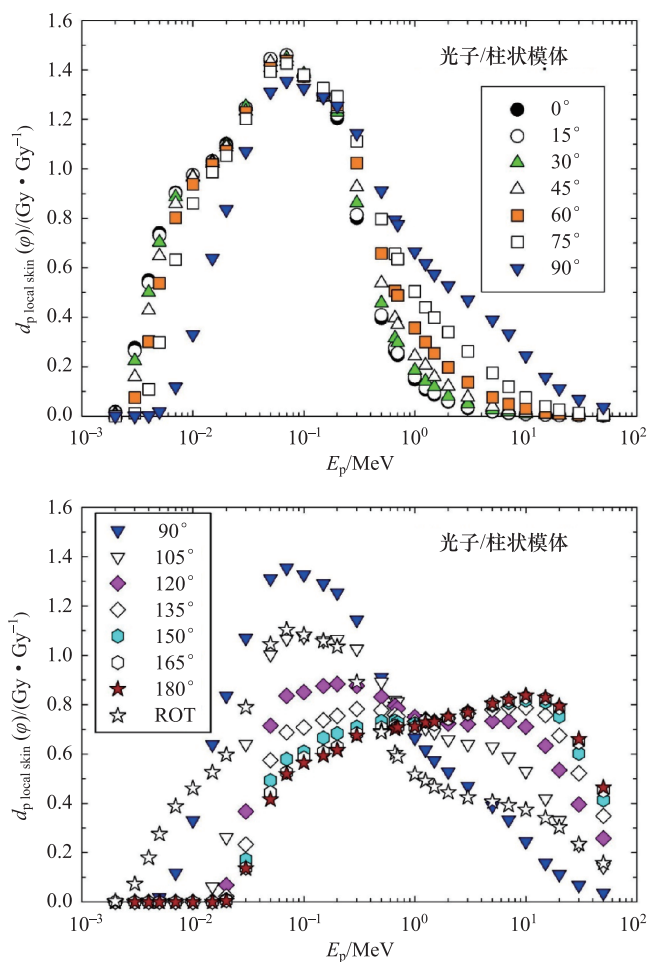
① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.015	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	9.86×10^{-1}	6.39×10^{-1}
0.02	1.10	1.09	1.10	1.09	1.07	1.05	8.35×10^{-1}
0.03	1.24	1.25	1.25	1.23	1.23	1.20	1.07
0.05	1.44	1.45	1.41	1.43	1.41	1.39	1.31
0.07	1.46	1.46	1.45	1.43	1.44	1.43	1.35
0.1	1.37	1.38	1.38	1.37	1.37	1.38	1.33
0.15	1.30	1.30	1.29	1.29	1.31	1.33	1.29
0.2	1.20	1.22	1.23	1.24	1.26	1.29	1.25
0.3	8.01×10^{-1}	8.14×10^{-1}	8.62×10^{-1}	9.27×10^{-1}	1.02	1.11	1.14
0.5	3.96×10^{-1}	4.08×10^{-1}	4.57×10^{-1}	5.38×10^{-1}	6.58×10^{-1}	7.97×10^{-1}	9.11×10^{-1}
0.662	2.63×10^{-1}	2.76×10^{-1}	3.16×10^{-1}	3.97×10^{-1}	5.06×10^{-1}	6.56×10^{-1}	7.94×10^{-1}
0.7	2.46×10^{-1}	2.55×10^{-1}	2.98×10^{-1}	3.71×10^{-1}	4.88×10^{-1}	6.36×10^{-1}	7.75×10^{-1}
1	1.48×10^{-1}	1.58×10^{-1}	1.86×10^{-1}	2.43×10^{-1}	3.57×10^{-1}	5.04×10^{-1}	6.65×10^{-1}
1.25	1.08×10^{-1}	1.14×10^{-1}	1.42×10^{-1}	2.06×10^{-1}	3.00×10^{-1}	4.41×10^{-1}	6.17×10^{-1}
1.5	8.68×10^{-2}	9.30×10^{-2}	1.19×10^{-1}	1.59×10^{-1}	2.54×10^{-1}	3.99×10^{-1}	5.74×10^{-1}
2	5.82×10^{-2}	6.13×10^{-2}	8.01×10^{-2}	1.21×10^{-1}	1.97×10^{-1}	3.40×10^{-1}	5.28×10^{-1}
3	3.25×10^{-2}	3.57×10^{-2}	4.97×10^{-2}	7.65×10^{-2}	1.38×10^{-1}	2.62×10^{-1}	4.70×10^{-1}
5	1.77×10^{-2}	1.94×10^{-2}	2.57×10^{-2}	3.97×10^{-2}	7.60×10^{-2}	1.75×10^{-1}	3.90×10^{-1}
7	1.11×10^{-2}	1.28×10^{-2}	1.61×10^{-2}	2.57×10^{-2}	4.92×10^{-2}	1.20×10^{-1}	3.33×10^{-1}
10	8.54×10^{-3}	8.05×10^{-3}	9.39×10^{-3}	1.55×10^{-2}	3.09×10^{-2}	7.50×10^{-2}	2.45×10^{-1}
15	5.25×10^{-3}	5.36×10^{-3}	6.13×10^{-3}	8.80×10^{-3}	1.55×10^{-2}	3.98×10^{-2}	1.58×10^{-1}
20	3.37×10^{-3}	3.40×10^{-3}	4.20×10^{-3}	5.45×10^{-3}	1.00×10^{-2}	2.54×10^{-2}	1.12×10^{-1}
30	2.17×10^{-3}	2.16×10^{-3}	2.31×10^{-3}	3.27×10^{-3}	5.44×10^{-3}	1.35×10^{-2}	6.81×10^{-2}
50	9.33×10^{-4}	9.27×10^{-4}	1.22×10^{-3}	1.48×10^{-3}	2.55×10^{-3}	6.30×10^{-3}	3.67×10^{-2}
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32×10^{-3}
0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.27×10^{-2}
0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80×10^{-1}
0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76×10^{-1}
0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.88×10^{-1}
0.01	5.60×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.61×10^{-1}
0.015	6.21×10^{-2}	3.41×10^{-3}	2.73×10^{-4}	4.87×10^{-5}	2.84×10^{-5}	1.22×10^{-5}	5.26×10^{-1}
0.02	2.62×10^{-1}	6.85×10^{-2}	2.31×10^{-2}	9.66×10^{-3}	6.24×10^{-3}	4.78×10^{-3}	5.97×10^{-1}
0.03	6.40×10^{-1}	3.67×10^{-1}	2.33×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.38×10^{-1}	1.37×10^{-1}	7.90×10^{-1}
0.05	1.00	7.15×10^{-1}	5.75×10^{-1}	4.92×10^{-1}	4.44×10^{-1}	4.16×10^{-1}	1.05
0.07	1.07	8.36×10^{-1}	6.87×10^{-1}	5.79×10^{-1}	5.26×10^{-1}	5.19×10^{-1}	1.10
0.1	1.07	8.51×10^{-1}	7.08×10^{-1}	6.09×10^{-1}	5.85×10^{-1}	5.65×10^{-1}	1.08
0.15	1.06	8.75×10^{-1}	7.37×10^{-1}	6.65×10^{-1}	6.08×10^{-1}	5.93×10^{-1}	1.06
0.2	1.07	8.84×10^{-1}	7.54×10^{-1}	6.84×10^{-1}	6.29×10^{-1}	6.16×10^{-1}	1.04
0.3	1.03	8.76×10^{-1}	7.82×10^{-1}	7.10×10^{-1}	6.84×10^{-1}	6.75×10^{-1}	8.91×10^{-1}
0.5	8.92×10^{-1}	8.32×10^{-1}	7.77×10^{-1}	7.33×10^{-1}	7.06×10^{-1}	6.93×10^{-1}	6.88×10^{-1}
0.662	8.20×10^{-1}	7.95×10^{-1}	7.58×10^{-1}	7.34×10^{-1}	7.14×10^{-1}	7.02×10^{-1}	6.04×10^{-1}
0.7	8.13×10^{-1}	7.85×10^{-1}	7.52×10^{-1}	7.27×10^{-1}	7.10×10^{-1}	7.08×10^{-1}	5.91×10^{-1}
1	7.45×10^{-1}	7.50×10^{-1}	7.32×10^{-1}	7.23×10^{-1}	7.10×10^{-1}	7.12×10^{-1}	5.18×10^{-1}
1.25	7.03×10^{-1}	7.41×10^{-1}	7.37×10^{-1}	7.33×10^{-1}	7.35×10^{-1}	7.28×10^{-1}	4.91×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						ROT
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
1.5	6.87×10^{-1}	7.28×10^{-1}	7.32×10^{-1}	7.27×10^{-1}	7.21×10^{-1}	7.31×10^{-1}	4.67×10^{-1}
2	6.58×10^{-1}	7.23×10^{-1}	7.45×10^{-1}	7.42×10^{-1}	7.44×10^{-1}	7.52×10^{-1}	4.45×10^{-1}
3	6.39×10^{-1}	7.21×10^{-1}	7.64×10^{-1}	7.69×10^{-1}	7.64×10^{-1}	7.69×10^{-1}	4.24×10^{-1}
5	6.29×10^{-1}	7.33×10^{-1}	7.80×10^{-1}	7.97×10^{-1}	8.03×10^{-1}	8.04×10^{-1}	4.07×10^{-1}
7	5.89×10^{-1}	7.33×10^{-1}	7.89×10^{-1}	8.08×10^{-1}	8.19×10^{-1}	8.21×10^{-1}	3.92×10^{-1}
10	5.30×10^{-1}	7.10×10^{-1}	7.88×10^{-1}	8.18×10^{-1}	8.30×10^{-1}	8.37×10^{-1}	3.74×10^{-1}
15	4.19×10^{-1}	6.33×10^{-1}	7.57×10^{-1}	8.10×10^{-1}	8.25×10^{-1}	8.29×10^{-1}	3.41×10^{-1}
20	3.31×10^{-1}	5.35×10^{-1}	6.75×10^{-1}	7.52×10^{-1}	7.87×10^{-1}	7.94×10^{-1}	3.03×10^{-1}
30	2.31×10^{-1}	3.95×10^{-1}	5.22×10^{-1}	6.02×10^{-1}	6.47×10^{-1}	6.61×10^{-1}	2.35×10^{-1}
50	1.43×10^{-1}	2.57×10^{-1}	3.49×10^{-1}	4.13×10^{-1}	4.51×10^{-1}	4.64×10^{-1}	1.58×10^{-1}

图 A.4.1.2b 柱状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

① T. Otto (2017). Personal communication (CERN, Geneva, Switzerland).

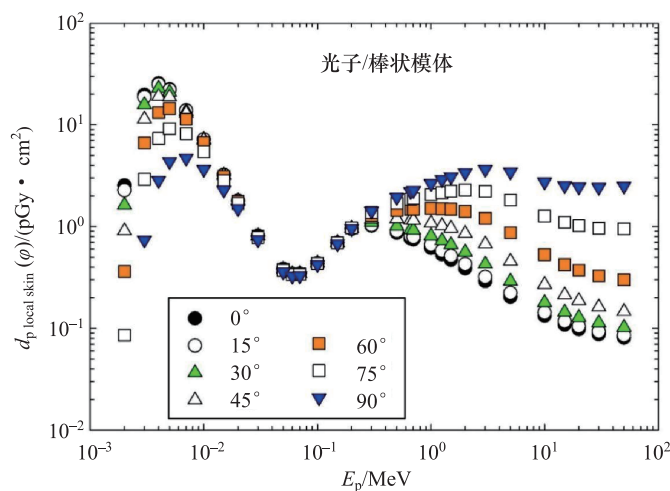
表 A.4.1.3a 棒状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	2.54	2.28	1.63	9.08×10^{-1}	3.62×10^{-1}	8.54×10^{-2}	0.00
0.003	1.97×10^1	1.87×10^1	1.58×10^1	1.14×10^1	6.66	2.91	7.39×10^{-1}
0.004	2.56×10^1	2.49×10^1	2.29×10^1	1.90×10^1	1.32×10^1	7.36	2.84
0.005	2.24×10^1	2.21×10^1	2.10×10^1	1.88×10^1	1.45×10^1	9.19	4.35
0.007	1.39×10^1	1.38×10^1	1.36×10^1	1.30×10^1	1.14×10^1	8.19	4.71
0.01	7.22	7.21	7.17	7.06	6.68	5.44	3.65
0.015	3.23	3.22	3.21	3.18	3.11	2.83	2.29
0.02	1.80	1.80	1.80	1.79	1.77	1.69	1.50
0.03	8.14×10^{-1}	8.14×10^{-1}	8.13×10^{-1}	8.09×10^{-1}	8.03×10^{-1}	7.84×10^{-1}	7.41×10^{-1}
0.05	3.83×10^{-1}	3.82×10^{-1}	3.81×10^{-1}	3.79×10^{-1}	3.77×10^{-1}	3.71×10^{-1}	3.58×10^{-1}
0.06	3.43×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.42×10^{-1}	3.41×10^{-1}	3.37×10^{-1}	3.26×10^{-1}
0.07	3.44×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.39×10^{-1}	3.29×10^{-1}
0.1	4.36×10^{-1}	4.36×10^{-1}	4.36×10^{-1}	4.36×10^{-1}	4.36×10^{-1}	4.33×10^{-1}	4.24×10^{-1}
0.15	6.93×10^{-1}	6.93×10^{-1}	6.94×10^{-1}	6.96×10^{-1}	6.97×10^{-1}	6.93×10^{-1}	6.79×10^{-1}
0.2	9.51×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.57×10^{-1}	9.64×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.74×10^{-1}	9.59×10^{-1}
0.3	1.02	1.04	1.10	1.18	1.28	1.37	1.42
0.5	8.71×10^{-1}	9.05×10^{-1}	1.01	1.19	1.44	1.70	1.94
0.662	7.67×10^{-1}	8.08×10^{-1}	9.36×10^{-1}	1.16	1.48	1.86	2.22
0.7	7.49×10^{-1}	7.90×10^{-1}	9.19×10^{-1}	1.15	1.48	1.88	2.27
1	6.19×10^{-1}	6.65×10^{-1}	8.10×10^{-1}	1.08	1.51	2.06	2.65
1.25	5.34×10^{-1}	5.79×10^{-1}	7.28×10^{-1}	1.02	1.50	2.16	2.90
1.5	4.72×10^{-1}	5.16×10^{-1}	6.63×10^{-1}	9.64×10^{-1}	1.48	2.23	3.09
2	3.89×10^{-1}	4.28×10^{-1}	5.62×10^{-1}	8.55×10^{-1}	1.41	2.29	3.39
3	2.92×10^{-1}	3.20×10^{-1}	4.27×10^{-1}	6.74×10^{-1}	1.21	2.22	3.65
5	2.04×10^{-1}	2.23×10^{-1}	2.90×10^{-1}	4.56×10^{-1}	8.71×10^{-1}	1.82	3.45
10	1.33×10^{-1}	1.43×10^{-1}	1.79×10^{-1}	2.70×10^{-1}	5.29×10^{-1}	1.27	2.75
15	1.09×10^{-1}	1.17×10^{-1}	1.44×10^{-1}	2.13×10^{-1}	4.23×10^{-1}	1.10	2.53
20	9.85×10^{-2}	1.05×10^{-1}	1.28×10^{-1}	1.87×10^{-1}	3.73×10^{-1}	1.02	2.45
30	8.76×10^{-2}	9.32×10^{-2}	1.13×10^{-1}	1.62×10^{-1}	3.28×10^{-1}	9.65×10^{-1}	2.43
50	8.12×10^{-2}	8.56×10^{-2}	1.02×10^{-1}	1.46×10^{-1}	3.00×10^{-1}	9.53×10^{-1}	2.51
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.45×10^{-1}
0.003	4.71×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
0.004	4.55×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.62
0.005	1.08	1.93×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	8.52
0.007	1.77	1.70×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	6.13
0.01	1.85	5.05×10^{-1}	5.54×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	3.60
0.015	1.61	9.41×10^{-1}	4.97×10^{-1}	2.91×10^{-1}	2.06×10^{-1}	1.84×10^{-1}	1.93

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						ROT
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
0.02	1.24	9.50×10^{-1}	7.16×10^{-1}	5.72×10^{-1}	4.97×10^{-1}	4.73×10^{-1}	1.29
0.03	6.77×10^{-1}	6.02×10^{-1}	5.34×10^{-1}	4.86×10^{-1}	4.58×10^{-1}	4.49×10^{-1}	6.79×10^{-1}
0.05	3.39×10^{-1}	3.16×10^{-1}	2.95×10^{-1}	2.79×10^{-1}	2.69×10^{-1}	2.66×10^{-1}	3.39×10^{-1}
0.06	3.09×10^{-1}	2.89×10^{-1}	2.72×10^{-1}	2.59×10^{-1}	2.51×10^{-1}	2.48×10^{-1}	3.09×10^{-1}
0.07	3.14×10^{-1}	2.96×10^{-1}	2.78×10^{-1}	2.65×10^{-1}	2.57×10^{-1}	2.55×10^{-1}	3.13×10^{-1}
0.1	4.08×10^{-1}	3.89×10^{-1}	3.70×10^{-1}	3.56×10^{-1}	3.47×10^{-1}	3.44×10^{-1}	4.05×10^{-1}
0.15	6.57×10^{-1}	6.30×10^{-1}	6.05×10^{-1}	5.85×10^{-1}	5.71×10^{-1}	5.66×10^{-1}	6.53×10^{-1}
0.2	9.33×10^{-1}	8.95×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.27×10^{-1}	8.25×10^{-1}	9.19×10^{-1}
0.3	1.44	1.43	1.40	1.37	1.35	1.34	1.30
0.5	2.11	2.20	2.24	2.25	2.24	2.24	1.73
0.662	2.50	2.69	2.79	2.83	2.85	2.85	1.99
0.7	2.59	2.79	2.91	2.96	2.98	2.99	2.05
1	3.17	3.54	3.77	3.89	3.95	3.97	2.45
1.25	3.57	4.08	4.39	4.57	4.65	4.68	2.73
1.5	3.92	4.56	4.97	5.19	5.30	5.33	2.98
2	4.50	5.41	6.00	6.33	6.49	6.53	3.43
3	5.27	6.71	7.73	8.31	8.59	8.67	4.13
5	5.60	7.86	9.76	1.11×10^1	1.18×10^1	1.20×10^1	4.94
10	4.93	7.50	9.93	1.18×10^1	1.30×10^1	1.34×10^1	4.92
15	4.72	7.37	9.92	1.19×10^1	1.32×10^1	1.36×10^1	4.88
20	4.68	7.41	1.01×10^1	1.22×10^1	1.35×10^1	1.40×10^1	4.93
30	4.76	7.67	1.05×10^1	1.28×10^1	1.43×10^1	1.48×10^1	5.13
50	5.02	8.20	1.14×10^1	1.39×10^1	1.55×10^1	1.61×10^1	5.51

图 A.4.1.3a 棒状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

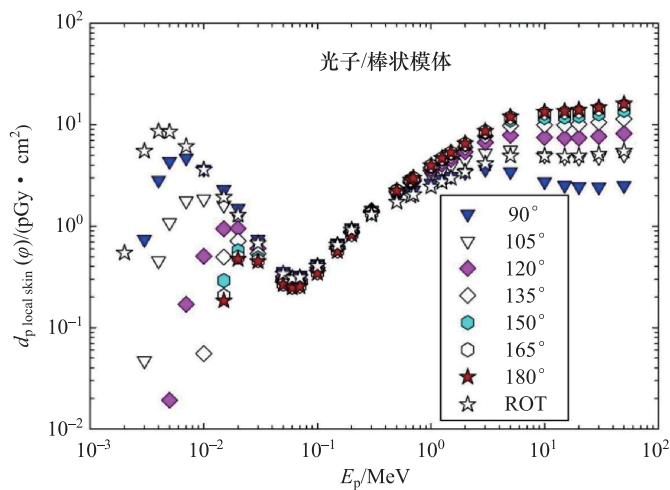


图 A.4.1.3a 棒状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数（续）

表 A.4.1.3b 棒状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	1.55×10^{-2}	1.39×10^{-2}	9.96×10^{-3}	5.55×10^{-3}	2.21×10^{-3}	5.22×10^{-4}	0.00
0.003	2.62×10^{-1}	2.48×10^{-1}	2.10×10^{-1}	1.51×10^{-1}	8.84×10^{-2}	3.86×10^{-2}	9.81×10^{-3}
0.004	5.38×10^{-1}	5.23×10^{-1}	4.81×10^{-1}	3.99×10^{-1}	2.77×10^{-1}	1.55×10^{-1}	5.96×10^{-2}
0.005	7.31×10^{-1}	7.21×10^{-1}	6.85×10^{-1}	6.13×10^{-1}	4.73×10^{-1}	3.00×10^{-1}	1.42×10^{-1}
0.007	8.97×10^{-1}	8.90×10^{-1}	8.77×10^{-1}	8.39×10^{-1}	7.35×10^{-1}	5.28×10^{-1}	3.04×10^{-1}
0.01	9.76×10^{-1}	9.74×10^{-1}	9.69×10^{-1}	9.54×10^{-1}	9.03×10^{-1}	7.35×10^{-1}	4.93×10^{-1}
0.015	1.03	1.03	1.03	1.02	9.95×10^{-1}	9.06×10^{-1}	7.33×10^{-1}
0.02	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.00	8.91×10^{-1}
0.03	1.13	1.13	1.13	1.12	1.11	1.09	1.03
0.05	1.19	1.18	1.18	1.17	1.17	1.15	1.11
0.06	1.19	1.19	1.19	1.18	1.18	1.17	1.13
0.07	1.20	1.20	1.20	1.20	1.19	1.18	1.14
0.1	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.14
0.15	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.13
0.2	1.11	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.12
0.3	7.38×10^{-1}	7.52×10^{-1}	7.95×10^{-1}	8.53×10^{-1}	9.26×10^{-1}	9.91×10^{-1}	1.03
0.5	3.66×10^{-1}	3.80×10^{-1}	4.25×10^{-1}	5.00×10^{-1}	6.05×10^{-1}	7.15×10^{-1}	8.15×10^{-1}
0.662	2.46×10^{-1}	2.60×10^{-1}	3.01×10^{-1}	3.73×10^{-1}	4.76×10^{-1}	5.98×10^{-1}	7.13×10^{-1}
0.7	2.29×10^{-1}	2.41×10^{-1}	2.81×10^{-1}	3.51×10^{-1}	4.52×10^{-1}	5.74×10^{-1}	6.93×10^{-1}
1	1.05×10^{-1}	1.15×10^{-1}	1.48×10^{-1}	2.15×10^{-1}	3.30×10^{-1}	4.98×10^{-1}	6.90×10^{-1}

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1.25	1.00×10^{-1}	1.09×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.91×10^{-1}	2.81×10^{-1}	4.05×10^{-1}	5.44×10^{-1}
1.5	1.01×10^{-1}	1.08×10^{-1}	1.32×10^{-1}	1.76×10^{-1}	2.46×10^{-1}	3.35×10^{-1}	4.31×10^{-1}
2	5.15×10^{-2}	5.66×10^{-2}	7.44×10^{-2}	1.13×10^{-1}	1.87×10^{-1}	3.03×10^{-1}	4.49×10^{-1}
3	2.93×10^{-2}	3.21×10^{-2}	4.28×10^{-2}	6.76×10^{-2}	1.21×10^{-1}	2.23×10^{-1}	3.66×10^{-1}
5	1.44×10^{-2}	1.57×10^{-2}	2.05×10^{-2}	3.22×10^{-2}	6.14×10^{-2}	1.28×10^{-1}	2.43×10^{-1}
10	5.51×10^{-3}	5.93×10^{-3}	7.42×10^{-3}	1.12×10^{-2}	2.19×10^{-2}	5.26×10^{-2}	1.14×10^{-1}
15	3.16×10^{-3}	3.40×10^{-3}	4.18×10^{-3}	6.18×10^{-3}	1.23×10^{-2}	3.19×10^{-2}	7.34×10^{-2}
20	2.17×10^{-3}	2.31×10^{-3}	2.82×10^{-3}	4.12×10^{-3}	8.22×10^{-3}	2.25×10^{-2}	5.40×10^{-2}
30	1.28×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.65×10^{-3}	2.36×10^{-3}	4.78×10^{-3}	1.41×10^{-2}	3.54×10^{-2}
50	6.81×10^{-4}	7.18×10^{-4}	8.56×10^{-4}	1.22×10^{-3}	2.52×10^{-3}	7.99×10^{-3}	2.11×10^{-2}
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33×10^{-3}
0.003	6.25×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.32×10^{-2}
0.004	9.55×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81×10^{-1}
0.005	3.52×10^{-2}	6.30×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78×10^{-1}
0.007	1.14×10^{-1}	1.10×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	3.95×10^{-1}
0.01	2.50×10^{-1}	6.82×10^{-2}	7.49×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	4.86×10^{-1}
0.015	5.15×10^{-1}	3.01×10^{-1}	1.59×10^{-1}	9.31×10^{-2}	6.59×10^{-2}	5.89×10^{-2}	6.18×10^{-1}
0.02	7.36×10^{-1}	5.64×10^{-1}	4.25×10^{-1}	3.40×10^{-1}	2.95×10^{-1}	2.81×10^{-1}	7.66×10^{-1}
0.03	9.38×10^{-1}	8.34×10^{-1}	7.40×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.35×10^{-1}	6.22×10^{-1}	9.41×10^{-1}
0.05	1.05	9.79×10^{-1}	9.14×10^{-1}	8.64×10^{-1}	8.33×10^{-1}	8.24×10^{-1}	1.05
0.06	1.07	1.00	9.42×10^{-1}	8.97×10^{-1}	8.69×10^{-1}	8.58×10^{-1}	1.07
0.07	1.09	1.03	9.66×10^{-1}	9.21×10^{-1}	8.93×10^{-1}	8.86×10^{-1}	1.09
0.1	1.10	1.05	9.96×10^{-1}	9.59×10^{-1}	9.34×10^{-1}	9.26×10^{-1}	1.09
0.15	1.10	1.05	1.01	9.76×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.44×10^{-1}	1.09
0.2	1.09	1.04	1.01	9.79×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.63×10^{-1}	1.07
0.3	1.04	1.03	1.01	9.91×10^{-1}	9.76×10^{-1}	9.69×10^{-1}	9.40×10^{-1}
0.5	8.87×10^{-1}	9.25×10^{-1}	9.42×10^{-1}	9.46×10^{-1}	9.42×10^{-1}	9.42×10^{-1}	7.27×10^{-1}
0.662	8.03×10^{-1}	8.64×10^{-1}	8.97×10^{-1}	9.09×10^{-1}	9.16×10^{-1}	9.16×10^{-1}	6.39×10^{-1}
0.7	7.91×10^{-1}	8.52×10^{-1}	8.89×10^{-1}	9.04×10^{-1}	9.10×10^{-1}	9.13×10^{-1}	6.26×10^{-1}
1	8.75×10^{-1}	1.02	1.11	1.16	1.18	1.19	6.65×10^{-1}
1.25	6.70×10^{-1}	7.65×10^{-1}	8.23×10^{-1}	8.57×10^{-1}	8.72×10^{-1}	8.78×10^{-1}	5.12×10^{-1}
1.5	5.16×10^{-1}	5.76×10^{-1}	6.13×10^{-1}	6.33×10^{-1}	6.43×10^{-1}	6.46×10^{-1}	3.99×10^{-1}
2	5.95×10^{-1}	7.16×10^{-1}	7.94×10^{-1}	8.38×10^{-1}	8.59×10^{-1}	8.64×10^{-1}	4.54×10^{-1}
3	5.28×10^{-1}	6.73×10^{-1}	7.75×10^{-1}	8.33×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.69×10^{-1}	4.14×10^{-1}
5	3.95×10^{-1}	5.54×10^{-1}	6.88×10^{-1}	7.83×10^{-1}	8.32×10^{-1}	8.46×10^{-1}	3.48×10^{-1}
10	2.04×10^{-1}	3.11×10^{-1}	4.12×10^{-1}	4.89×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.55×10^{-1}	2.04×10^{-1}
15	1.37×10^{-1}	2.14×10^{-1}	2.88×10^{-1}	3.45×10^{-1}	3.83×10^{-1}	3.95×10^{-1}	1.42×10^{-1}
20	1.03×10^{-1}	1.63×10^{-1}	2.23×10^{-1}	2.69×10^{-1}	2.98×10^{-1}	3.09×10^{-1}	1.09×10^{-1}
30	6.94×10^{-2}	1.12×10^{-1}	1.53×10^{-1}	1.87×10^{-1}	2.08×10^{-1}	2.16×10^{-1}	7.48×10^{-2}
50	4.21×10^{-2}	6.88×10^{-2}	9.56×10^{-2}	1.17×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.35×10^{-1}	4.62×10^{-2}

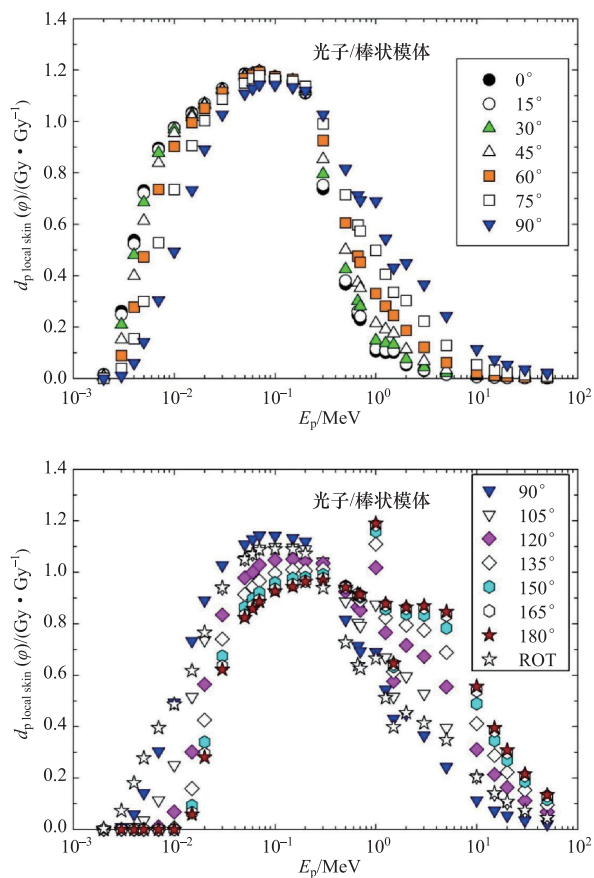


图 A.4.1.3b 棒状模体上从光子空气比动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

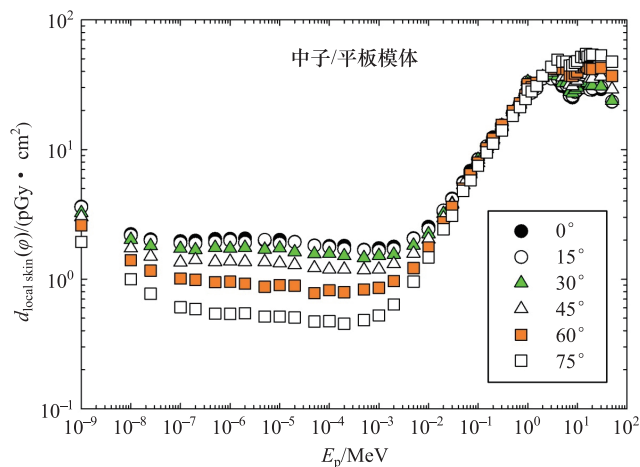


图 A.4.2.1 平板模体上从中子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数 (Veinot 等, 2020 年)

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

表 A.4.2.1 平板模体上从中子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的
转换系数 (Veinot 等, 2020 年)

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1.00×10^{-9}	3.63	3.59	3.25	3.02	2.60	1.94
1.00×10^{-8}	2.22	2.17	2.02	1.73	1.40	1.00
2.50×10^{-8}	2.03	1.99	1.81	1.50	1.16	7.71×10^{-1}
1.00×10^{-7}	1.96	1.89	1.72	1.35	1.01	6.07×10^{-1}
2.00×10^{-7}	1.98	1.88	1.68	1.41	9.90×10^{-1}	5.88×10^{-1}
5.00×10^{-7}	2.04	1.92	1.75	1.36	9.48×10^{-1}	5.42×10^{-1}
1.00×10^{-6}	2.05	1.98	1.72	1.37	9.55×10^{-1}	5.39×10^{-1}
2.00×10^{-6}	2.06	1.91	1.75	1.36	9.23×10^{-1}	5.45×10^{-1}
5.00×10^{-6}	1.98	2.01	1.69	1.36	8.73×10^{-1}	5.15×10^{-1}
1.00×10^{-5}	2.01	1.88	1.73	1.33	8.99×10^{-1}	5.15×10^{-1}
2.00×10^{-5}	1.94	1.93	1.62	1.29	8.91×10^{-1}	5.06×10^{-1}
5.00×10^{-5}	1.82	1.81	1.56	1.22	7.80×10^{-1}	4.71×10^{-1}
1.00×10^{-4}	1.80	1.76	1.57	1.19	8.22×10^{-1}	4.73×10^{-1}
2.00×10^{-4}	1.81	1.70	1.51	1.19	7.94×10^{-1}	4.54×10^{-1}
5.00×10^{-4}	1.69	1.67	1.46	1.18	8.31×10^{-1}	4.83×10^{-1}
1.00×10^{-3}	1.73	1.65	1.52	1.19	8.56×10^{-1}	5.25×10^{-1}
2.00×10^{-3}	1.78	1.70	1.55	1.31	9.66×10^{-1}	6.38×10^{-1}
5.00×10^{-3}	2.07	2.05	1.82	1.58	1.22	9.58×10^{-1}
1.00×10^{-2}	2.54	2.42	2.23	2.03	1.76	1.47
2.00×10^{-2}	3.32	3.38	3.20	2.96	2.75	2.42
3.00×10^{-2}	4.18	4.12	3.83	3.76	3.61	3.09
5.00×10^{-2}	5.59	5.49	5.32	5.35	4.98	4.79
7.00×10^{-2}	6.84	6.46	6.65	6.47	6.43	5.78
1.00×10^{-1}	8.42	8.36	8.37	7.87	7.94	7.49
1.50×10^{-1}	1.06×10^1	1.06×10^1	1.05×10^1	1.01×10^1	1.02×10^1	9.48
2.00×10^{-1}	1.24×10^1	1.22×10^1	1.21×10^1	1.18×10^1	1.21×10^1	1.11×10^1
3.00×10^{-1}	1.54×10^1	1.53×10^1	1.53×10^1	1.49×10^1	1.55×10^1	1.40×10^1
5.00×10^{-1}	1.89×10^1	1.92×10^1	1.95×10^1	1.95×10^1	1.98×10^1	1.82×10^1
7.00×10^{-1}	2.21×10^1	2.26×10^1	2.27×10^1	2.22×10^1	2.27×10^1	2.13×10^1
9.00×10^{-1}	2.61×10^1	2.60×10^1	2.60×10^1	2.60×10^1	2.62×10^1	2.45×10^1
1.00	3.19×10^1	3.30×10^1	3.33×10^1	3.16×10^1	3.19×10^1	2.91×10^1
1.20	2.95×10^1	2.73×10^1	2.96×10^1	2.93×10^1	3.02×10^1	2.80×10^1
1.50	3.15×10^1	2.96×10^1	3.18×10^1	3.16×10^1	3.27×10^1	3.09×10^1
2.00	3.51×10^1	3.52×10^1	3.59×10^1	3.64×10^1	3.68×10^1	3.70×10^1
3.00	3.57×10^1	3.51×10^1	3.74×10^1	3.93×10^1	4.19×10^1	4.34×10^1
4.00	3.43×10^1	3.53×10^1	3.68×10^1	4.04×10^1	4.62×10^1	4.93×10^1

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
5.00	3.08×10^1	3.16×10^1	3.26×10^1	3.62×10^1	4.20×10^1	4.75×10^1
6.00	3.03×10^1	3.15×10^1	3.27×10^1	3.65×10^1	4.17×10^1	4.77×10^1
7.00	2.59×10^1	2.62×10^1	2.78×10^1	3.18×10^1	3.71×10^1	4.44×10^1
8.00	2.51×10^1	2.59×10^1	2.72×10^1	3.09×10^1	3.69×10^1	4.46×10^1
9.00	2.75×10^1	2.77×10^1	2.88×10^1	3.32×10^1	3.86×10^1	4.67×10^1
1.00×10^1	2.86×10^1	2.87×10^1	3.01×10^1	3.40×10^1	3.99×10^1	4.80×10^1
1.20×10^1	3.09×10^1	3.19×10^1	3.40×10^1	3.75×10^1	4.30×10^1	5.17×10^1
1.40×10^1	3.05×10^1	3.01×10^1	3.23×10^1	3.63×10^1	4.30×10^1	5.14×10^1
1.50×10^1	3.21×10^1	3.18×10^1	3.37×10^1	3.80×10^1	4.41×10^1	5.45×10^1
1.60×10^1	3.08×10^1	3.19×10^1	3.29×10^1	3.78×10^1	4.32×10^1	5.20×10^1
1.80×10^1	2.98×10^1	2.89×10^1	3.10×10^1	3.55×10^1	4.21×10^1	5.31×10^1
2.00×10^1	2.88×10^1	2.96×10^1	3.11×10^1	3.53×10^1	4.17×10^1	5.37×10^1
3.00×10^1	2.91×10^1	3.03×10^1	3.07×10^1	3.67×10^1	4.25×10^1	5.33×10^1
5.00×10^1	2.33×10^1	2.34×10^1	2.38×10^1	2.92×10^1	3.69×10^1	4.76×10^1

表 A.4.2.2 柱状模体上从中子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数（Veinot 等，2020 年）

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1.00×10^{-9}	3.14	3.10	2.97	2.83	2.52	2.02	7.31×10^{-1}
1.00×10^{-8}	1.77	1.72	1.67	1.52	1.34	1.09	5.71×10^{-1}
2.50×10^{-8}	1.44	1.43	1.35	1.24	1.12	9.15×10^{-1}	5.48×10^{-1}
1.00×10^{-7}	1.18	1.18	1.10	1.06	9.44×10^{-1}	7.79×10^{-1}	5.71×10^{-1}
2.00×10^{-7}	1.09	1.08	1.05	9.80×10^{-1}	8.91×10^{-1}	7.72×10^{-1}	6.18×10^{-1}
5.00×10^{-7}	9.87×10^{-1}	1.01	9.43×10^{-1}	8.85×10^{-1}	8.62×10^{-1}	7.55×10^{-1}	6.14×10^{-1}
1.00×10^{-6}	9.36×10^{-1}	9.21×10^{-1}	8.71×10^{-1}	8.59×10^{-1}	8.10×10^{-1}	6.95×10^{-1}	6.19×10^{-1}
2.00×10^{-6}	8.41×10^{-1}	8.17×10^{-1}	8.26×10^{-1}	8.01×10^{-1}	7.45×10^{-1}	7.07×10^{-1}	5.98×10^{-1}
5.00×10^{-6}	7.95×10^{-1}	7.97×10^{-1}	7.60×10^{-1}	7.33×10^{-1}	6.88×10^{-1}	6.43×10^{-1}	5.69×10^{-1}
1.00×10^{-5}	7.34×10^{-1}	7.17×10^{-1}	7.44×10^{-1}	7.06×10^{-1}	6.69×10^{-1}	6.17×10^{-1}	5.22×10^{-1}
2.00×10^{-5}	6.98×10^{-1}	6.84×10^{-1}	6.89×10^{-1}	6.39×10^{-1}	6.05×10^{-1}	5.67×10^{-1}	5.11×10^{-1}
5.00×10^{-5}	6.31×10^{-1}	6.01×10^{-1}	6.06×10^{-1}	5.81×10^{-1}	5.70×10^{-1}	5.25×10^{-1}	4.97×10^{-1}
1.00×10^{-4}	5.65×10^{-1}	5.44×10^{-1}	5.77×10^{-1}	5.68×10^{-1}	5.20×10^{-1}	4.88×10^{-1}	4.55×10^{-1}
2.00×10^{-4}	5.35×10^{-1}	5.31×10^{-1}	5.38×10^{-1}	5.12×10^{-1}	4.93×10^{-1}	4.93×10^{-1}	4.50×10^{-1}
5.00×10^{-4}	5.25×10^{-1}	5.37×10^{-1}	5.28×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.04×10^{-1}	4.75×10^{-1}	4.44×10^{-1}
1.00×10^{-3}	5.50×10^{-1}	5.65×10^{-1}	5.53×10^{-1}	5.22×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.12×10^{-1}	4.42×10^{-1}
2.00×10^{-3}	6.08×10^{-1}	6.05×10^{-1}	6.24×10^{-1}	6.20×10^{-1}	6.08×10^{-1}	5.90×10^{-1}	5.17×10^{-1}
5.00×10^{-3}	8.93×10^{-1}	8.78×10^{-1}	8.97×10^{-1}	8.87×10^{-1}	9.02×10^{-1}	9.03×10^{-1}	7.14×10^{-1}
1.00×10^{-2}	1.35	1.34	1.34	1.37	1.40	1.39	1.06

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
2.00×10^{-2}	2.23	2.24	2.25	2.28	2.33	2.36	1.78
3.00×10^{-2}	3.04	3.03	3.07	3.10	3.20	3.22	2.43
5.00×10^{-2}	4.46	4.44	4.47	4.56	4.67	4.76	3.65
7.00×10^{-2}	5.65	5.65	5.70	5.80	5.94	6.05	4.69
1.00×10^{-1}	7.18	7.17	7.23	7.36	7.56	7.70	6.09
1.50×10^{-1}	9.27	9.28	9.35	9.49	9.74	9.94	8.17
2.00×10^{-1}	1.10×10^1	1.10×10^1	1.11×10^1	1.12×10^1	1.15×10^1	1.18×10^1	9.92
3.00×10^{-1}	1.40×10^1	1.40×10^1	1.40×10^1	1.42×10^1	1.45×10^1	1.48×10^1	1.28×10^1
5.00×10^{-1}	1.74×10^1	1.74×10^1	1.76×10^1	1.81×10^1	1.87×10^1	1.94×10^1	1.75×10^1
7.00×10^{-1}	2.06×10^1	2.06×10^1	2.08×10^1	2.12×10^1	2.18×10^1	2.24×10^1	2.07×10^1
9.00×10^{-1}	2.41×10^1	2.41×10^1	2.43×10^1	2.46×10^1	2.52×10^1	2.58×10^1	2.39×10^1
1.00	3.05×10^1	3.05×10^1	3.03×10^1	3.02×10^1	3.04×10^1	3.07×10^1	2.74×10^1
1.20	2.77×10^1	2.77×10^1	2.78×10^1	2.80×10^1	2.85×10^1	2.92×10^1	2.75×10^1
1.50	2.96×10^1	2.96×10^1	2.97×10^1	3.00×10^1	3.07×10^1	3.16×10^1	3.02×10^1
2.00	3.32×10^1	3.26×10^1	3.25×10^1	3.34×10^1	3.41×10^1	3.45×10^1	3.47×10^1
3.00	3.24×10^1	3.34×10^1	3.29×10^1	3.70×10^1	3.78×10^1	4.00×10^1	4.02×10^1
4.00	3.15×10^1	3.14×10^1	3.27×10^1	3.62×10^1	4.14×10^1	4.58×10^1	4.78×10^1
5.00	2.79×10^1	2.80×10^1	2.94×10^1	3.28×10^1	3.69×10^1	4.29×10^1	4.85×10^1
6.00	2.71×10^1	2.70×10^1	2.82×10^1	3.15×10^1	3.58×10^1	4.31×10^1	4.85×10^1
7.00	2.20×10^1	2.30×10^1	2.34×10^1	2.76×10^1	3.33×10^1	4.03×10^1	4.65×10^1
8.00	2.16×10^1	2.19×10^1	2.40×10^1	2.73×10^1	3.15×10^1	4.11×10^1	4.63×10^1
9.00	2.33×10^1	2.35×10^1	2.43×10^1	2.80×10^1	3.36×10^1	4.03×10^1	4.87×10^1
1.00×10^1	2.42×10^1	2.43×10^1	2.59×10^1	2.99×10^1	3.45×10^1	4.31×10^1	4.99×10^1
1.20×10^1	2.62×10^1	2.70×10^1	2.77×10^1	3.18×10^1	3.67×10^1	4.63×10^1	5.46×10^1
1.40×10^1	2.55×10^1	2.53×10^1	2.74×10^1	3.06×10^1	3.44×10^1	4.33×10^1	5.21×10^1
1.50×10^1	2.71×10^1	2.74×10^1	2.87×10^1	3.32×10^1	3.77×10^1	4.71×10^1	5.58×10^1
1.60×10^1	2.66×10^1	2.67×10^1	2.83×10^1	3.20×10^1	3.76×10^1	4.55×10^1	5.42×10^1
1.80×10^1	2.57×10^1	2.58×10^1	2.68×10^1	2.99×10^1	3.43×10^1	4.51×10^1	5.47×10^1
2.00×10^1	2.54×10^1	2.54×10^1	2.69×10^1	3.01×10^1	3.53×10^1	4.48×10^1	5.28×10^1
3.00×10^1	2.74×10^1	1.97×10^1	2.71×10^1	3.11×10^1	3.69×10^1	4.44×10^1	5.38×10^1
5.00×10^1	2.00×10^1	1.60×10^1	2.24×10^1	2.50×10^1	3.07×10^1	3.84×10^1	4.88×10^1
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
1.00×10^{-9}	2.13×10^{-1}	1.78×10^{-1}	1.52×10^{-1}	1.45×10^{-1}	1.40×10^{-1}	1.42×10^{-1}	1.39
1.00×10^{-8}	2.47×10^{-1}	2.07×10^{-1}	1.87×10^{-1}	1.67×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.60×10^{-1}	8.22×10^{-1}
2.50×10^{-8}	2.77×10^{-1}	2.39×10^{-1}	2.11×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.80×10^{-1}	7.10×10^{-1}
1.00×10^{-7}	3.75×10^{-1}	3.10×10^{-1}	2.86×10^{-1}	2.68×10^{-1}	2.54×10^{-1}	2.59×10^{-1}	6.55×10^{-1}
2.00×10^{-7}	4.12×10^{-1}	3.55×10^{-1}	3.24×10^{-1}	2.93×10^{-1}	2.87×10^{-1}	2.82×10^{-1}	6.46×10^{-1}
5.00×10^{-7}	4.77×10^{-1}	4.04×10^{-1}	3.79×10^{-1}	3.57×10^{-1}	3.45×10^{-1}	3.25×10^{-1}	6.41×10^{-1}
1.00×10^{-6}	4.99×10^{-1}	4.28×10^{-1}	3.91×10^{-1}	3.76×10^{-1}	3.62×10^{-1}	3.53×10^{-1}	6.23×10^{-1}
2.00×10^{-6}	4.98×10^{-1}	4.44×10^{-1}	3.94×10^{-1}	3.94×10^{-1}	3.77×10^{-1}	3.59×10^{-1}	6.00×10^{-1}
5.00×10^{-6}	5.01×10^{-1}	4.44×10^{-1}	4.25×10^{-1}	3.99×10^{-1}	3.73×10^{-1}	3.72×10^{-1}	5.75×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
1.00×10^{-5}	4.88×10^{-1}	4.26×10^{-1}	4.18×10^{-1}	4.02×10^{-1}	3.78×10^{-1}	3.77×10^{-1}	5.54×10^{-1}
2.00×10^{-5}	4.63×10^{-1}	4.27×10^{-1}	4.00×10^{-1}	3.94×10^{-1}	3.70×10^{-1}	3.55×10^{-1}	5.22×10^{-1}
5.00×10^{-5}	4.28×10^{-1}	4.06×10^{-1}	3.91×10^{-1}	3.86×10^{-1}	3.47×10^{-1}	3.57×10^{-1}	4.86×10^{-1}
1.00×10^{-4}	4.28×10^{-1}	3.92×10^{-1}	3.67×10^{-1}	3.63×10^{-1}	3.40×10^{-1}	3.43×10^{-1}	4.58×10^{-1}
2.00×10^{-4}	4.07×10^{-1}	3.70×10^{-1}	3.50×10^{-1}	3.51×10^{-1}	3.30×10^{-1}	3.22×10^{-1}	4.37×10^{-1}
5.00×10^{-4}	3.94×10^{-1}	3.53×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.20×10^{-1}	3.29×10^{-1}	3.25×10^{-1}	4.30×10^{-1}
1.00×10^{-3}	3.69×10^{-1}	3.30×10^{-1}	3.15×10^{-1}	3.09×10^{-1}	2.98×10^{-1}	3.04×10^{-1}	4.30×10^{-1}
2.00×10^{-3}	3.39×10^{-1}	3.22×10^{-1}	3.05×10^{-1}	3.00×10^{-1}	2.92×10^{-1}	2.86×10^{-1}	4.65×10^{-1}
5.00×10^{-3}	3.81×10^{-1}	3.04×10^{-1}	2.95×10^{-1}	2.81×10^{-1}	2.64×10^{-1}	2.73×10^{-1}	6.06×10^{-1}
1.00×10^{-2}	4.33×10^{-1}	3.11×10^{-1}	2.90×10^{-1}	2.77×10^{-1}	2.61×10^{-1}	2.69×10^{-1}	8.56×10^{-1}
2.00×10^{-2}	5.80×10^{-1}	3.24×10^{-1}	2.71×10^{-1}	2.57×10^{-1}	2.62×10^{-1}	2.56×10^{-1}	1.35
3.00×10^{-2}	7.50×10^{-1}	3.61×10^{-1}	2.83×10^{-1}	2.43×10^{-1}	2.50×10^{-1}	2.33×10^{-1}	1.80
5.00×10^{-2}	1.11	4.48×10^{-1}	3.00×10^{-1}	2.60×10^{-1}	2.54×10^{-1}	2.54×10^{-1}	2.61
7.00×10^{-2}	1.52	5.59×10^{-1}	3.49×10^{-1}	2.80×10^{-1}	2.57×10^{-1}	2.59×10^{-1}	3.31
1.00×10^{-1}	2.12	7.55×10^{-1}	4.33×10^{-1}	3.49×10^{-1}	2.90×10^{-1}	2.66×10^{-1}	4.23
1.50×10^{-1}	3.09	1.22	6.34×10^{-1}	4.51×10^{-1}	3.63×10^{-1}	3.41×10^{-1}	5.54
2.00×10^{-1}	4.09	1.72	9.21×10^{-1}	5.81×10^{-1}	4.90×10^{-1}	4.51×10^{-1}	6.68
3.00×10^{-1}	5.98	2.79	1.54	1.05	8.03×10^{-1}	7.54×10^{-1}	8.65
5.00×10^{-1}	9.36	4.76	2.93	2.12	1.71	1.60	1.16×10^1
7.00×10^{-1}	1.23×10^1	7.15	4.94	3.62	3.03	2.91	1.42×10^1
9.00×10^{-1}	1.51×10^1	8.94	6.42	4.80	4.12	3.90	1.68×10^1
1.00	1.54×10^1	8.13	5.11	3.90	3.32	3.11	1.93×10^1
1.20	1.84×10^1	1.21×10^1	9.05	7.10	6.05	5.91	1.99×10^1
1.50	2.15×10^1	1.54×10^1	1.18×10^1	9.56	8.39	8.16	2.23×10^1
2.00	2.66×10^1	1.94×10^1	1.54×10^1	1.35×10^1	1.22×10^1	1.17×10^1	2.59×10^1
3.00	3.12×10^1	2.67×10^1	2.26×10^1	1.95×10^1	1.83×10^1	1.80×10^1	3.04×10^1
4.00	3.77×10^1	3.19×10^1	2.73×10^1	2.39×10^1	2.26×10^1	2.20×10^1	3.38×10^1
5.00	4.10×10^1	3.56×10^1	3.11×10^1	2.86×10^1	2.68×10^1	2.59×10^1	3.40×10^1
6.00	4.34×10^1	3.84×10^1	3.30×10^1	3.12×10^1	2.89×10^1	2.89×10^1	3.47×10^1
7.00	4.52×10^1	4.00×10^1	3.68×10^1	3.42×10^1	3.23×10^1	3.28×10^1	3.42×10^1
8.00	4.82×10^1	4.45×10^1	3.98×10^1	3.62×10^1	3.48×10^1	3.41×10^1	3.53×10^1
9.00	4.76×10^1	4.44×10^1	4.13×10^1	3.88×10^1	3.66×10^1	3.67×10^1	3.64×10^1
1.00×10^1	5.16×10^1	4.95×10^1	4.37×10^1	4.15×10^1	3.96×10^1	3.90×10^1	3.88×10^1
1.20×10^1	5.48×10^1	5.29×10^1	4.97×10^1	4.56×10^1	4.44×10^1	4.45×10^1	4.22×10^1
1.40×10^1	5.44×10^1	5.46×10^1	5.17×10^1	4.91×10^1	4.68×10^1	4.69×10^1	4.21×10^1
1.50×10^1	5.89×10^1	5.77×10^1	5.38×10^1	5.08×10^1	4.95×10^1	4.83×10^1	4.49×10^1
1.60×10^1	5.74×10^1	5.64×10^1	5.49×10^1	5.25×10^1	5.24×10^1	5.03×10^1	4.47×10^1
1.80×10^1	5.72×10^1	5.93×10^1	5.68×10^1	5.47×10^1	5.27×10^1	5.26×10^1	4.47×10^1
2.00×10^1	5.83×10^1	5.87×10^1	5.95×10^1	5.63×10^1	5.48×10^1	5.62×10^1	4.53×10^1
3.00×10^1	5.85×10^1	6.40×10^1	6.53×10^1	6.30×10^1	6.32×10^1	6.38×10^1	4.76×10^1
5.00×10^1	5.97×10^1	6.66×10^1	7.19×10^1	6.95×10^1	7.25×10^1	7.31×10^1	4.73×10^1

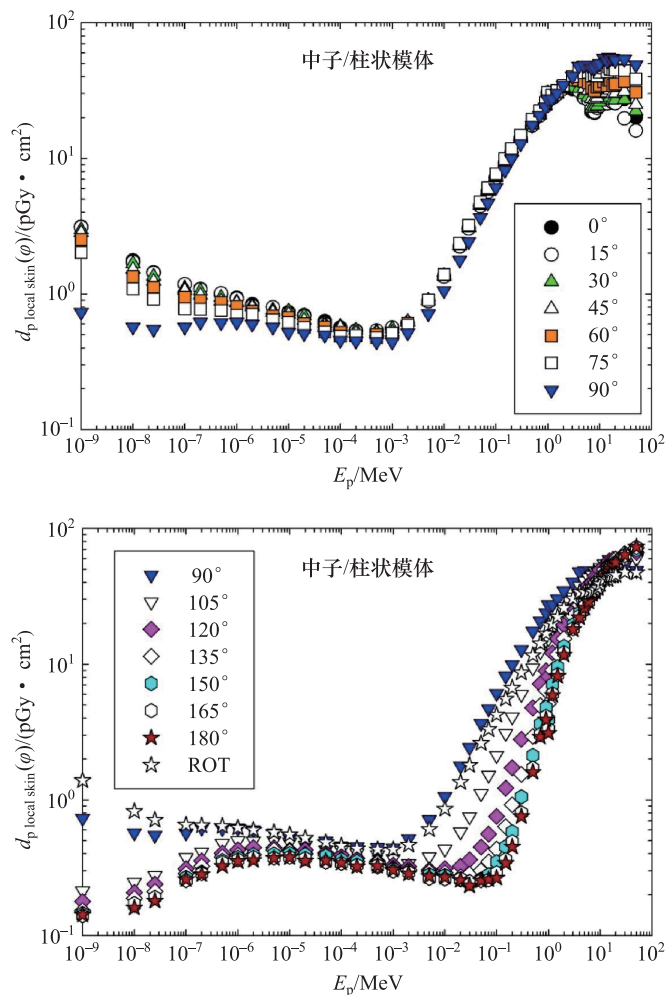


图 A.4.2.2 柱状模体上从中子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数（Veinot 等，2020 年）

表 A.4.2.3 棒状模体上从中子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数（Veinot 等，2020 年）

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1.00×10^{-9}	2.66	2.64	2.58	2.45	2.12	1.64	1.07
1.00×10^{-8}	1.22	1.21	1.18	1.13	1.05	8.68×10^{-1}	6.42×10^{-1}
2.50×10^{-8}	8.56×10^{-1}	8.59×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.21×10^{-1}	7.51×10^{-1}	6.35×10^{-1}	5.25×10^{-1}
1.00×10^{-7}	4.95×10^{-1}	4.94×10^{-1}	4.85×10^{-1}	4.79×10^{-1}	4.61×10^{-1}	4.24×10^{-1}	3.68×10^{-1}
2.00×10^{-7}	3.80×10^{-1}	3.76×10^{-1}	3.76×10^{-1}	3.72×10^{-1}	3.68×10^{-1}	3.47×10^{-1}	3.12×10^{-1}
5.00×10^{-7}	2.55×10^{-1}	2.58×10^{-1}	2.61×10^{-1}	2.58×10^{-1}	2.58×10^{-1}	2.50×10^{-1}	2.31×10^{-1}
1.00×10^{-6}	1.95×10^{-1}	2.03×10^{-1}	2.01×10^{-1}	2.00×10^{-1}	2.04×10^{-1}	1.98×10^{-1}	1.85×10^{-1}
2.00×10^{-6}	1.44×10^{-1}	1.44×10^{-1}	1.46×10^{-1}	1.49×10^{-1}	1.50×10^{-1}	1.46×10^{-1}	1.41×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
5.00×10^{-6}	1.03×10^{-1}	1.01×10^{-1}	1.05×10^{-1}	1.11×10^{-1}	1.16×10^{-1}	1.15×10^{-1}	1.11×10^{-1}
1.00×10^{-5}	8.05×10^{-2}	8.01×10^{-2}	8.09×10^{-2}	8.59×10^{-2}	8.89×10^{-2}	8.81×10^{-2}	8.69×10^{-2}
2.00×10^{-5}	6.64×10^{-2}	6.67×10^{-2}	6.86×10^{-2}	6.95×10^{-2}	7.06×10^{-2}	7.01×10^{-2}	6.99×10^{-2}
5.00×10^{-5}	5.28×10^{-2}	5.17×10^{-2}	5.36×10^{-2}	5.47×10^{-2}	5.74×10^{-2}	5.68×10^{-2}	5.57×10^{-2}
1.00×10^{-4}	4.71×10^{-2}	4.78×10^{-2}	4.81×10^{-2}	4.91×10^{-2}	4.95×10^{-2}	5.09×10^{-2}	4.94×10^{-2}
2.00×10^{-4}	5.03×10^{-2}	4.93×10^{-2}	5.02×10^{-2}	5.03×10^{-2}	5.34×10^{-2}	5.16×10^{-2}	4.84×10^{-2}
5.00×10^{-4}	7.24×10^{-2}	7.25×10^{-2}	7.33×10^{-2}	7.49×10^{-2}	6.85×10^{-2}	7.31×10^{-2}	6.12×10^{-2}
1.00×10^{-3}	1.21×10^{-1}	1.21×10^{-1}	1.22×10^{-1}	1.23×10^{-1}	1.19×10^{-1}	1.16×10^{-1}	1.02×10^{-1}
2.00×10^{-3}	2.20×10^{-1}	2.22×10^{-1}	2.24×10^{-1}	2.27×10^{-1}	2.23×10^{-1}	2.15×10^{-1}	1.88×10^{-1}
5.00×10^{-3}	5.21×10^{-1}	5.23×10^{-1}	5.26×10^{-1}	5.33×10^{-1}	5.31×10^{-1}	5.11×10^{-1}	4.48×10^{-1}
1.00×10^{-2}	9.99×10^{-1}	1.00	1.01	1.02	1.02	9.87×10^{-1}	8.69×10^{-1}
2.00×10^{-2}	1.89	1.89	1.90	1.93	1.93	1.87	1.66
3.00×10^{-2}	2.69	2.70	2.72	2.75	2.76	2.69	2.39
5.00×10^{-2}	4.11	4.10	4.12	4.17	4.19	4.10	3.67
7.00×10^{-2}	5.30	5.28	5.32	5.38	5.42	5.31	4.79
1.00×10^{-1}	6.77	6.78	6.82	6.90	6.96	6.85	6.26
1.50×10^{-1}	8.80	8.81	8.86	8.95	9.06	8.93	8.25
2.00×10^{-1}	1.06×10^1	1.05×10^1	1.05×10^1	1.06×10^1	1.07×10^1	1.07×10^1	9.88
3.00×10^{-1}	1.33×10^1	1.32×10^1	1.33×10^1	1.34×10^1	1.34×10^1	1.34×10^1	1.25×10^1
5.00×10^{-1}	1.66×10^1	1.66×10^1	1.67×10^1	1.69×10^1	1.72×10^1	1.73×10^1	1.66×10^1
7.00×10^{-1}	1.96×10^1	1.96×10^1	1.97×10^1	1.99×10^1	2.01×10^1	2.03×10^1	1.95×10^1
9.00×10^{-1}	2.26×10^1	2.26×10^1	2.27×10^1	2.29×10^1	2.31×10^1	2.32×10^1	2.23×10^1
1.00	2.77×10^1	2.77×10^1	2.76×10^1	2.75×10^1	2.74×10^1	2.72×10^1	2.57×10^1
1.20	2.59×10^1	2.59×10^1	2.60×10^1	2.61×10^1	2.61×10^1	2.63×10^1	2.54×10^1
1.50	2.80×10^1	2.79×10^1	2.81×10^1	2.81×10^1	2.81×10^1	2.84×10^1	2.77×10^1
2.00	3.12×10^1	3.12×10^1	3.12×10^1	3.15×10^1	3.17×10^1	3.12×10^1	3.06×10^1
3.00	3.12×10^1	3.17×10^1	3.25×10^1	3.42×10^1	3.58×10^1	3.65×10^1	3.66×10^1
4.00	2.97×10^1	3.02×10^1	3.15×10^1	3.40×10^1	3.69×10^1	3.92×10^1	4.17×10^1
5.00	2.59×10^1	2.65×10^1	2.82×10^1	3.08×10^1	3.45×10^1	3.80×10^1	4.16×10^1
6.00	2.37×10^1	2.46×10^1	2.61×10^1	2.93×10^1	3.30×10^1	3.76×10^1	4.14×10^1
7.00	2.07×10^1	2.14×10^1	2.30×10^1	2.66×10^1	3.10×10^1	3.59×10^1	4.15×10^1
8.00	2.03×10^1	2.08×10^1	2.24×10^1	2.52×10^1	3.01×10^1	3.57×10^1	4.08×10^1
9.00	2.13×10^1	2.17×10^1	2.32×10^1	2.62×10^1	3.12×10^1	3.70×10^1	4.30×10^1
1.00×10^1	2.17×10^1	2.21×10^1	2.42×10^1	2.69×10^1	3.17×10^1	3.73×10^1	4.40×10^1
1.20×10^1	2.47×10^1	2.49×10^1	2.69×10^1	3.02×10^1	3.47×10^1	4.09×10^1	4.72×10^1
1.40×10^1	2.40×10^1	2.50×10^1	2.57×10^1	2.93×10^1	3.44×10^1	4.06×10^1	4.77×10^1
1.50×10^1	2.57×10^1	2.58×10^1	2.69×10^1	3.04×10^1	3.52×10^1	4.14×10^1	4.70×10^1
1.60×10^1	2.53×10^1	2.57×10^1	2.74×10^1	3.10×10^1	3.56×10^1	4.17×10^1	4.83×10^1
1.80×10^1	2.47×10^1	2.46×10^1	2.59×10^1	2.90×10^1	3.31×10^1	3.96×10^1	4.63×10^1
2.00×10^1	2.45×10^1	2.48×10^1	2.56×10^1	2.86×10^1	3.38×10^1	3.91×10^1	4.65×10^1
3.00×10^1	2.61×10^1	2.61×10^1	2.73×10^1	3.06×10^1	3.33×10^1	3.90×10^1	4.56×10^1
5.00×10^1	2.02×10^1	2.04×10^1	2.22×10^1	2.37×10^1	2.79×10^1	3.27×10^1	3.91×10^1

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
1.00×10^{-9}	6.44×10^{-1}	2.56×10^{-1}	1.51×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.28×10^{-1}	1.27
1.00×10^{-8}	4.38×10^{-1}	2.64×10^{-1}	1.80×10^{-1}	1.58×10^{-1}	1.46×10^{-1}	1.46×10^{-1}	6.63×10^{-1}
2.50×10^{-8}	3.78×10^{-1}	2.56×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.53×10^{-1}	1.52×10^{-1}	5.08×10^{-1}
1.00×10^{-7}	2.96×10^{-1}	2.35×10^{-1}	1.94×10^{-1}	1.76×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.58×10^{-1}	3.41×10^{-1}
2.00×10^{-7}	2.65×10^{-1}	2.25×10^{-1}	1.94×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.66×10^{-1}	1.64×10^{-1}	2.88×10^{-1}
5.00×10^{-7}	2.06×10^{-1}	1.83×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.51×10^{-1}	1.47×10^{-1}	1.44×10^{-1}	2.14×10^{-1}
1.00×10^{-6}	1.71×10^{-1}	1.54×10^{-1}	1.36×10^{-1}	1.30×10^{-1}	1.27×10^{-1}	1.28×10^{-1}	1.72×10^{-1}
2.00×10^{-6}	1.29×10^{-1}	1.24×10^{-1}	1.17×10^{-1}	1.08×10^{-1}	1.05×10^{-1}	1.03×10^{-1}	1.33×10^{-1}
5.00×10^{-6}	1.06×10^{-1}	9.50×10^{-2}	9.12×10^{-2}	8.64×10^{-2}	8.57×10^{-2}	8.59×10^{-2}	1.03×10^{-1}
1.00×10^{-5}	8.49×10^{-2}	8.00×10^{-2}	7.61×10^{-2}	7.32×10^{-2}	7.03×10^{-2}	7.00×10^{-2}	8.13×10^{-2}
2.00×10^{-5}	6.78×10^{-2}	6.56×10^{-2}	6.24×10^{-2}	6.04×10^{-2}	5.85×10^{-2}	5.77×10^{-2}	6.71×10^{-2}
5.00×10^{-5}	5.38×10^{-2}	4.96×10^{-2}	4.70×10^{-2}	4.56×10^{-2}	4.62×10^{-2}	4.60×10^{-2}	5.25×10^{-2}
1.00×10^{-4}	4.65×10^{-2}	4.35×10^{-2}	3.95×10^{-2}	3.72×10^{-2}	3.74×10^{-2}	3.67×10^{-2}	4.63×10^{-2}
2.00×10^{-4}	4.44×10^{-2}	4.00×10^{-2}	3.50×10^{-2}	3.33×10^{-2}	3.01×10^{-2}	3.14×10^{-2}	4.25×10^{-2}
5.00×10^{-4}	5.79×10^{-2}	4.65×10^{-2}	3.66×10^{-2}	3.31×10^{-2}	3.00×10^{-2}	3.06×10^{-2}	5.59×10^{-2}
1.00×10^{-3}	8.47×10^{-2}	6.78×10^{-2}	4.65×10^{-2}	3.61×10^{-2}	3.28×10^{-2}	3.19×10^{-2}	8.70×10^{-2}
2.00×10^{-3}	1.54×10^{-1}	1.17×10^{-1}	8.00×10^{-2}	5.91×10^{-2}	5.16×10^{-2}	5.13×10^{-2}	1.57×10^{-1}
5.00×10^{-3}	3.66×10^{-1}	2.64×10^{-1}	1.88×10^{-1}	1.38×10^{-1}	1.19×10^{-1}	1.15×10^{-1}	3.72×10^{-1}
1.00×10^{-2}	7.10×10^{-1}	5.16×10^{-1}	3.66×10^{-1}	2.71×10^{-1}	2.35×10^{-1}	2.31×10^{-1}	7.20×10^{-1}
2.00×10^{-2}	1.35	1.00	7.20×10^{-1}	5.45×10^{-1}	4.81×10^{-1}	4.67×10^{-1}	1.37
3.00×10^{-2}	1.98	1.48	1.08	8.29×10^{-1}	7.33×10^{-1}	7.12×10^{-1}	1.98
5.00×10^{-2}	3.08	2.39	1.74	1.39	1.25	1.24	3.07
7.00×10^{-2}	4.09	3.18	2.42	1.97	1.80	1.76	4.04
1.00×10^{-1}	5.43	4.33	3.38	2.78	2.61	2.58	5.32
1.50×10^{-1}	7.16	5.97	4.81	4.04	3.84	3.78	7.08
2.00×10^{-1}	8.75	7.35	5.99	5.18	4.97	4.89	8.57
3.00×10^{-1}	1.13×10^1	9.75	8.26	7.17	7.03	6.89	1.11×10^1
5.00×10^{-1}	1.54×10^1	1.37×10^1	1.20×10^1	1.07×10^1	1.05×10^1	1.04×10^1	1.47×10^1
7.00×10^{-1}	1.82×10^1	1.66×10^1	1.48×10^1	1.34×10^1	1.33×10^1	1.30×10^1	1.76×10^1
9.00×10^{-1}	2.08×10^1	1.90×10^1	1.71×10^1	1.56×10^1	1.55×10^1	1.53×10^1	2.03×10^1
1.00	2.34×10^1	2.07×10^1	1.80×10^1	1.64×10^1	1.57×10^1	1.55×10^1	2.32×10^1
1.20	2.39×10^1	2.20×10^1	2.02×10^1	1.93×10^1	1.86×10^1	1.85×10^1	2.35×10^1
1.50	2.63×10^1	2.46×10^1	2.31×10^1	2.21×10^1	2.21×10^1	2.18×10^1	2.60×10^1
2.00	2.89×10^1	2.76×10^1	2.61×10^1	2.53×10^1	2.53×10^1	2.54×10^1	2.91×10^1
3.00	3.50×10^1	3.38×10^1	3.26×10^1	3.16×10^1	3.11×10^1	3.11×10^1	3.35×10^1
4.00	4.13×10^1	4.01×10^1	3.90×10^1	3.74×10^1	3.65×10^1	3.58×10^1	3.67×10^1
5.00	4.18×10^1	4.19×10^1	4.13×10^1	3.98×10^1	3.98×10^1	3.98×10^1	3.64×10^1
6.00	4.40×10^1	4.42×10^1	4.35×10^1	4.21×10^1	4.24×10^1	4.15×10^1	3.68×10^1
7.00	4.43×10^1	4.53×10^1	4.52×10^1	4.41×10^1	4.48×10^1	4.46×10^1	3.63×10^1
8.00	4.53×10^1	4.74×10^1	4.75×10^1	4.71×10^1	4.67×10^1	4.62×10^1	3.69×10^1
9.00	4.85×10^1	5.09×10^1	5.22×10^1	5.01×10^1	5.02×10^1	4.88×10^1	3.91×10^1

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
1.00×10^1	4.88×10^1	5.18×10^1	5.34×10^1	5.24×10^1	5.27×10^1	5.27×10^1	4.02×10^1
1.20×10^1	5.28×10^1	5.68×10^1	5.81×10^1	5.73×10^1	5.49×10^1	5.53×10^1	4.37×10^1
1.40×10^1	5.29×10^1	5.75×10^1	6.14×10^1	6.02×10^1	6.06×10^1	5.91×10^1	4.48×10^1
1.50×10^1	5.31×10^1	5.90×10^1	6.18×10^1	6.29×10^1	6.29×10^1	6.11×10^1	4.58×10^1
1.60×10^1	5.40×10^1	5.93×10^1	6.16×10^1	6.28×10^1	6.35×10^1	6.32×10^1	4.63×10^1
1.80×10^1	5.28×10^1	5.73×10^1	6.13×10^1	6.30×10^1	6.38×10^1	6.39×10^1	4.51×10^1
2.00×10^1	5.33×10^1	5.87×10^1	6.26×10^1	6.39×10^1	6.64×10^1	6.45×10^1	4.57×10^1
3.00×10^1	5.35×10^1	6.05×10^1	6.48×10^1	7.04×10^1	6.57×10^1	7.08×10^1	4.70×10^1
5.00×10^1	4.67×10^1	5.42×10^1	6.19×10^1	6.79×10^1	7.07×10^1	7.39×10^1	4.28×10^1

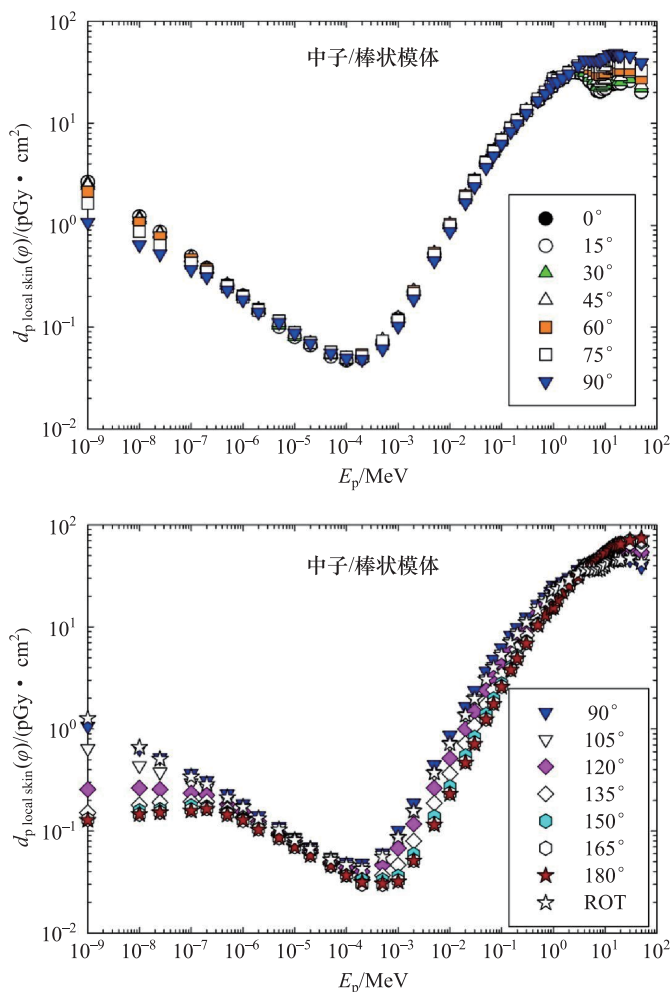
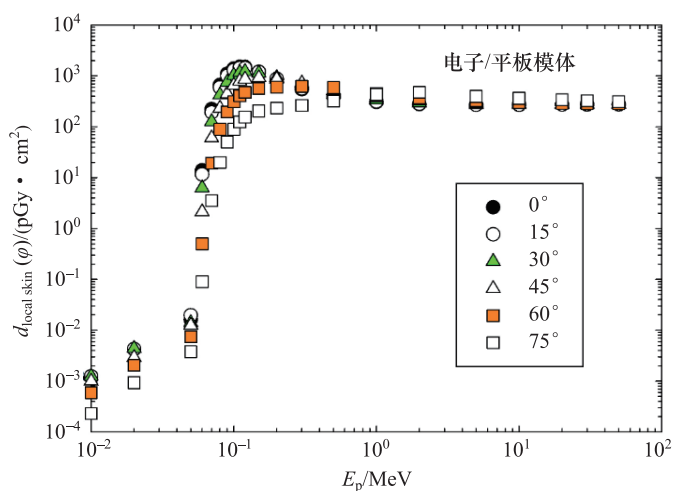


图 A.4.2.3 棒状模体上从中子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数 (Veinot 等, 2020 年)

表 A.4.3.1 平板模体上从电子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.01	1.18×10^{-3}	1.24×10^{-3}	1.25×10^{-3}	9.98×10^{-4}	5.93×10^{-4}	2.30×10^{-4}
0.02	4.21×10^{-3}	4.27×10^{-3}	4.39×10^{-3}	2.92×10^{-3}	2.05×10^{-3}	9.30×10^{-4}
0.05	1.62×10^{-2}	1.97×10^{-2}	1.41×10^{-2}	1.25×10^{-2}	7.51×10^{-3}	3.77×10^{-3}
0.06	1.39×10^1	1.16×10^1	6.29	2.13	5.02×10^{-1}	8.94×10^{-2}
0.07	2.22×10^2	1.92×10^2	1.26×10^2	6.01×10^1	1.93×10^1	3.52
0.08	6.63×10^2	5.94×10^2	4.23×10^2	2.31×10^2	8.93×10^1	2.00×10^1
0.09	1.10×10^3	1.00×10^3	7.53×10^2	4.45×10^2	1.96×10^2	5.05×10^1
0.1	1.40×10^3	1.30×10^3	1.03×10^3	6.53×10^2	3.11×10^2	8.91×10^1
0.11	1.51×10^3	1.42×10^3	1.17×10^3	7.91×10^2	4.07×10^2	1.25×10^2
0.12	1.49×10^3	1.42×10^3	1.22×10^3	8.67×10^2	4.73×10^2	1.56×10^2
0.15	1.21×10^3	1.20×10^3	1.14×10^3	9.22×10^2	5.67×10^2	2.05×10^2
0.2	8.43×10^2	8.73×10^2	9.29×10^2	8.67×10^2	6.00×10^2	2.34×10^2
0.3	5.44×10^2	5.67×10^2	6.40×10^2	7.23×10^2	6.20×10^2	2.64×10^2
0.5	3.86×10^2	3.98×10^2	4.38×10^2	5.15×10^2	5.91×10^2	3.20×10^2
1	3.07×10^2	3.12×10^2	3.34×10^2	3.70×10^2	4.53×10^2	4.31×10^2
2	2.78×10^2	2.82×10^2	2.94×10^2	3.19×10^2	3.69×10^2	4.74×10^2
5	2.69×10^2	2.69×10^2	2.75×10^2	2.89×10^2	3.26×10^2	3.96×10^2
10	2.67×10^2	2.70×10^2	2.73×10^2	2.80×10^2	3.02×10^2	3.61×10^2
20	2.71×10^2	2.71×10^2	2.74×10^2	2.78×10^2	2.91×10^2	3.39×10^2
30	2.72×10^2	2.74×10^2	2.76×10^2	2.78×10^2	2.86×10^2	3.25×10^2
50	2.73×10^2	2.75×10^2	2.77×10^2	2.78×10^2	2.85×10^2	3.11×10^2

图 A.4.3.1 平板模体上从电子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

^① J. Daures, J. Gouriou, and J.-M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

表 A.4.3.2 柱状模体上从电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.05	1.90×10^{-2}	2.00×10^{-2}	1.62×10^{-2}	1.17×10^{-2}	7.53×10^{-3}	3.42×10^{-3}	3.52×10^{-4}
0.055	7.57×10^{-1}	6.18×10^{-1}	3.19×10^{-1}	1.03×10^{-1}	2.72×10^{-2}	7.17×10^{-3}	7.04×10^{-4}
0.06	2.20×10^1	1.85×10^1	1.06×10^1	4.11	1.08	1.71×10^{-1}	7.78×10^{-3}
0.065	1.12×10^2	9.64×10^1	6.14×10^1	2.80×10^1	8.82	1.70	8.78×10^{-2}
0.07	2.75×10^2	2.42×10^2	1.64×10^2	8.31×10^1	2.96×10^1	6.61	3.79×10^{-1}
0.075	4.84×10^2	4.33×10^2	3.05×10^2	1.65×10^2	6.46×10^1	1.57×10^1	9.96×10^{-1}
0.08	7.11×10^2	6.42×10^2	4.67×10^2	2.66×10^2	1.11×10^2	2.96×10^1	1.98
0.085	9.39×10^2	8.55×10^2	6.38×10^2	3.78×10^2	1.66×10^2	4.67×10^1	3.33
0.09	1.14×10^3	1.05×10^3	8.00×10^2	4.90×10^2	2.25×10^2	6.62×10^1	4.91
0.1	1.38×10^3	1.29×10^3	1.04×10^3	6.78×10^2	3.37×10^2	1.08×10^2	8.48
0.11	1.44×10^3	1.37×10^3	1.14×10^3	7.93×10^2	4.22×10^2	1.45×10^2	1.21×10^1
0.12	1.41×10^3	1.35×10^3	1.16×10^3	8.50×10^2	4.78×10^2	1.73×10^2	1.49×10^1
0.15	1.16×10^3	1.15×10^3	1.09×10^3	8.85×10^2	5.53×10^2	2.19×10^2	2.02×10^1
0.2	8.20×10^2	8.47×10^2	8.88×10^2	8.33×10^2	5.90×10^2	2.51×10^2	2.38×10^1
0.3	5.81×10^2	6.03×10^2	6.67×10^2	7.10×10^2	5.82×10^2	2.68×10^2	2.62×10^1
0.5	4.12×10^2	4.25×10^2	4.66×10^2	5.41×10^2	5.56×10^2	3.11×10^2	3.20×10^1
1	3.20×10^2	3.27×10^2	3.49×10^2	3.94×10^2	4.73×10^2	3.88×10^2	5.06×10^1
2	2.86×10^2	2.89×10^2	3.02×10^2	3.30×10^2	3.91×10^2	4.51×10^2	9.82×10^1
5	2.73×10^2	2.75×10^2	2.79×10^2	2.90×10^2	3.22×10^2	4.40×10^2	2.78×10^2
10	2.72×10^2	2.73×10^2	2.75×10^2	2.79×10^2	2.89×10^2	3.40×10^2	4.33×10^2
20	2.72×10^2	2.73×10^2	2.74×10^2	2.77×10^2	2.81×10^2	2.93×10^2	3.49×10^2
50	2.72×10^2	2.72×10^2	2.74×10^2	2.76×10^2	2.79×10^2	2.85×10^2	3.01×10^2
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.73×10^{-3}
0.055	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.21×10^{-1}
0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.79
0.065	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.10×10^1
0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.53×10^1
0.075	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02×10^2
0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56×10^2
0.085	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13×10^2
0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67×10^2
0.1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.46×10^2
0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83×10^2
0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.94×10^2
0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.75×10^2
0.2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20×10^2
0.3	3.50×10^{-4}	1.00×10^{-4}	1.39×10^{-4}	2.04×10^{-4}	3.09×10^{-4}	9.97×10^{-4}	2.62×10^2
0.5	1.86×10^{-3}	3.49×10^{-4}	2.67×10^{-4}	1.13×10^{-4}	2.53×10^{-4}	1.22×10^{-3}	2.11×10^2

① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
1	6.52×10^{-3}	4.89×10^{-3}	2.85×10^{-3}	2.04×10^{-3}	5.05×10^{-3}	1.58×10^{-3}	1.78×10^2
2	2.13×10^{-1}	3.03×10^{-2}	1.79×10^{-2}	1.72×10^{-2}	1.43×10^{-2}	1.58×10^{-2}	1.67×10^2
5	2.44×10^1	1.04	2.23×10^{-1}	2.36×10^{-1}	2.41×10^{-1}	2.21×10^{-1}	1.71×10^2
10	2.03×10^2	7.43×10^1	1.60×10^1	2.29	9.93×10^{-1}	1.08	1.94×10^2
20	3.23×10^2	3.09×10^2	2.82×10^2	2.45×10^2	2.14×10^2	2.01×10^2	2.80×10^2
50	3.06×10^2	3.15×10^2	3.21×10^2	3.24×10^2	3.25×10^2	3.24×10^2	2.98×10^2

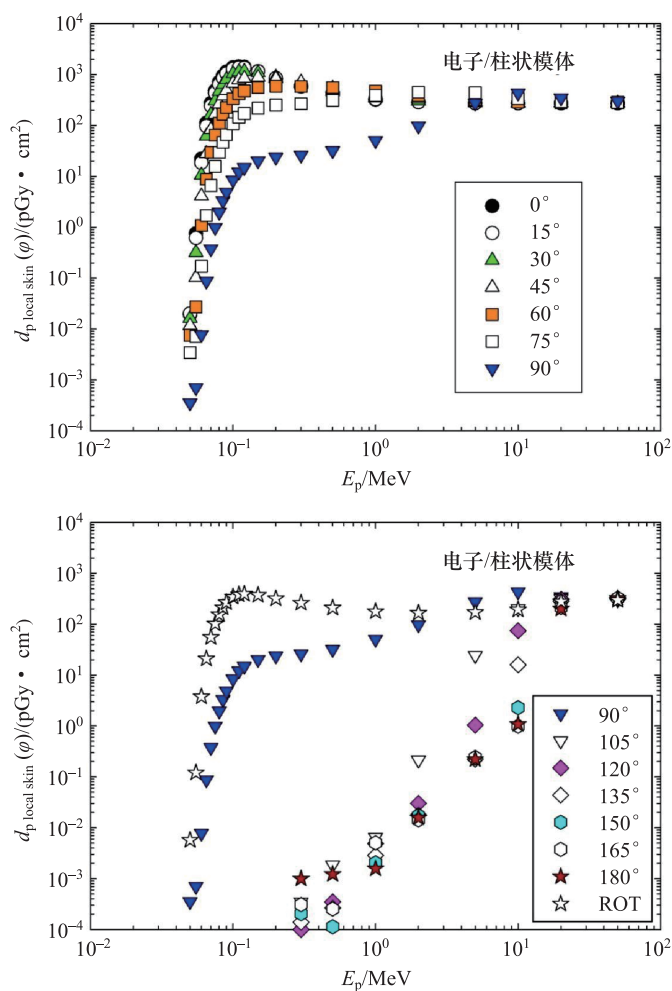
图 A.4.3.2 柱状模体上从电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

表 A.4.3.3 棒状模体上从电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.05	1.90×10^{-2}	1.83×10^{-2}	1.63×10^{-2}	1.29×10^{-2}	8.66×10^{-3}	4.65×10^{-3}	1.86×10^{-3}
0.055	7.84×10^{-1}	6.88×10^{-1}	4.54×10^{-1}	2.19×10^{-1}	7.71×10^{-2}	2.07×10^{-2}	4.15×10^{-3}
0.06	1.93×10^1	1.71×10^1	1.18×10^1	6.19	2.38	6.52×10^{-1}	1.19×10^{-1}
0.065	9.66×10^1	8.67×10^1	6.24×10^1	3.53×10^1	1.54×10^1	4.87	1.04
0.07	2.39×10^2	2.17×10^2	1.61×10^2	9.64×10^1	4.53×10^1	1.59×10^1	3.82
0.075	4.26×10^2	3.89×10^2	2.95×10^2	1.84×10^2	9.14×10^1	3.46×10^1	9.02
0.08	6.33×10^2	5.82×10^2	4.49×10^2	2.88×10^2	1.49×10^2	5.93×10^1	1.65×10^1
0.085	8.44×10^2	7.80×10^2	6.12×10^2	4.02×10^2	2.15×10^2	8.88×10^1	2.58×10^1
0.09	1.04×10^3	9.63×10^2	7.65×10^2	5.13×10^2	2.82×10^2	1.20×10^2	3.63×10^1
0.1	1.29×10^3	1.21×10^3	9.86×10^2	6.90×10^2	3.99×10^2	1.81×10^2	5.84×10^1
0.11	1.37×10^3	1.29×10^3	1.08×10^3	7.89×10^2	4.78×10^2	2.28×10^2	7.73×10^1
0.12	1.35×10^3	1.29×10^3	1.11×10^3	8.32×10^2	5.22×10^2	2.59×10^2	9.16×10^1
0.15	1.14×10^3	1.11×10^3	1.01×10^3	8.24×10^2	5.61×10^2	3.02×10^2	1.15×10^2
0.2	8.34×10^2	8.38×10^2	8.23×10^2	7.30×10^2	5.42×10^2	3.16×10^2	1.30×10^2
0.3	5.62×10^2	5.80×10^2	6.14×10^2	6.00×10^2	4.92×10^2	3.19×10^2	1.45×10^2
0.5	4.02×10^2	4.15×10^2	4.53×10^2	4.82×10^2	4.34×10^2	3.13×10^2	1.66×10^2
1	3.14×10^2	3.20×10^2	3.44×10^2	3.87×10^2	3.90×10^2	3.17×10^2	2.02×10^2
2	2.82×10^2	2.85×10^2	2.95×10^2	3.28×10^2	3.68×10^2	3.44×10^2	2.66×10^2
5	2.71×10^2	2.71×10^2	2.74×10^2	2.81×10^2	3.05×10^2	3.30×10^2	3.41×10^2
10	2.71×10^2	2.72×10^2	2.73×10^2	2.76×10^2	2.84×10^2	2.93×10^2	3.00×10^2
20	2.72×10^2	2.73×10^2	2.74×10^2	2.76×10^2	2.80×10^2	2.86×10^2	2.91×10^2
50	2.72×10^2	2.72×10^2	2.73×10^2	2.75×10^2	2.78×10^2	2.82×10^2	2.87×10^2
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.05	4.25×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.08×10^{-3}
0.055	7.32×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	1.09×10^{-4}	1.55×10^{-1}
0.06	1.24×10^{-2}	1.53×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
0.065	1.19×10^{-1}	1.28×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12×10^1
0.07	4.81×10^{-1}	5.72×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50×10^1
0.075	1.25	1.48×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	1.01×10^2
0.08	2.41	2.88×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55×10^2
0.085	4.01	5.24×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	2.12×10^2
0.09	5.80	7.80×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	2.67×10^2
0.1	9.96	1.39×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	3.48×10^2
0.11	1.39×10^1	2.18×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	3.87×10^2
0.12	1.72×10^1	2.80×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00×10^2
0.15	2.31×10^1	4.38×10^{-1}	1.69×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	3.77×10^2
0.2	2.79×10^1	6.57×10^{-1}	7.56×10^{-4}	4.15×10^{-4}	1.72×10^{-4}	2.15×10^{-4}	3.19×10^2
0.3	3.42×10^1	1.08	4.41×10^{-4}	5.53×10^{-4}	6.36×10^{-4}	6.42×10^{-4}	2.55×10^2

① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.5	4.63×10^1	2.32	1.70×10^{-3}	1.13×10^{-3}	9.15×10^{-4}	9.53×10^{-4}	2.09×10^2
1	7.85×10^1	8.79	1.38×10^{-1}	6.64×10^{-3}	6.25×10^{-3}	5.64×10^{-3}	1.84×10^2
2	1.53×10^2	4.72×10^1	9.21	1.14	1.14×10^{-1}	8.30×10^{-2}	1.86×10^2
5	3.32×10^2	2.95×10^2	2.53×10^2	2.20×10^2	1.97×10^2	1.89×10^2	2.77×10^2
10	3.06×10^2	3.06×10^2	3.06×10^2	3.07×10^2	3.07×10^2	3.08×10^2	2.93×10^2
20	2.97×10^2	3.01×10^2	3.05×10^2	3.08×10^2	3.10×10^2	3.11×10^2	2.91×10^2
50	2.93×10^2	2.99×10^2	3.04×10^2	3.09×10^2	3.12×10^2	3.13×10^2	2.90×10^2

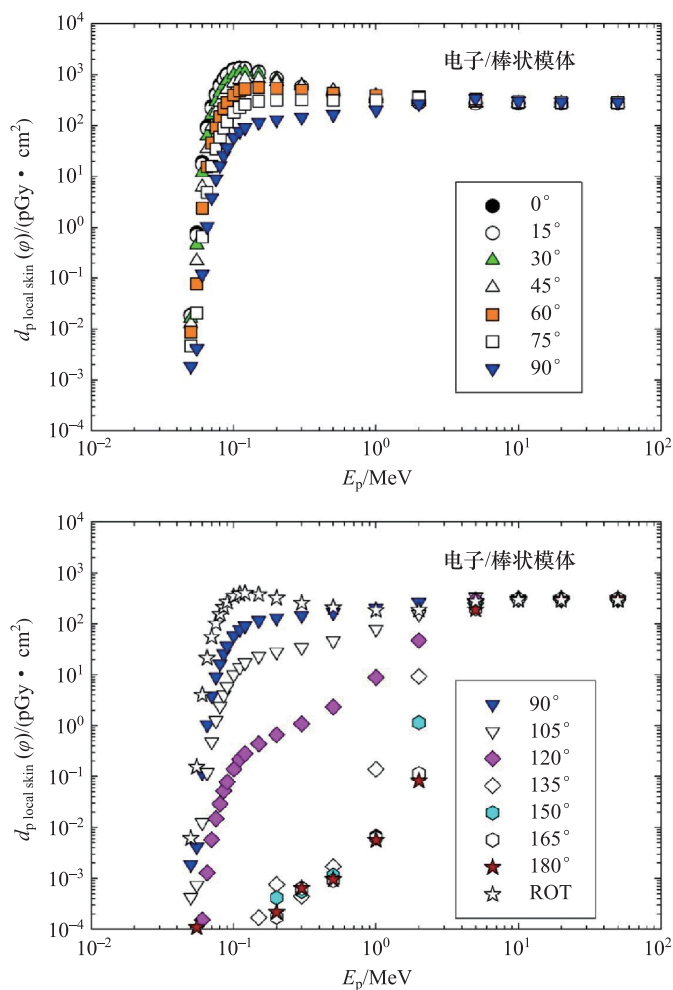
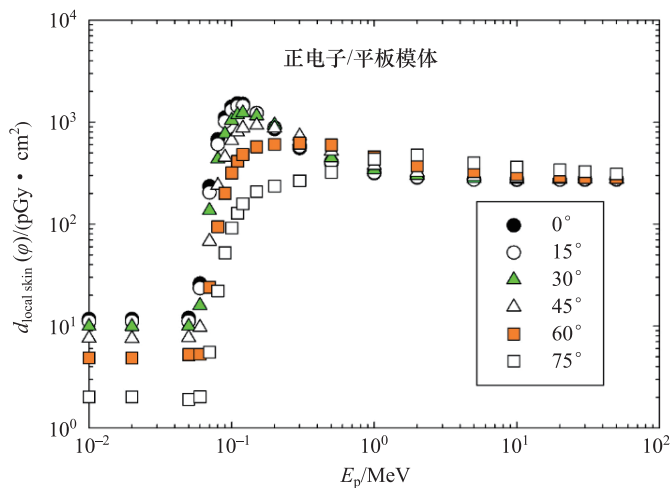
图 A.4.3.3 棒状模体上从电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

表 A.4.4.1 平板模体上从正电子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.01	1.17×10^1	1.11×10^1	9.91	7.59	4.89	2.02
0.02	1.17×10^1	1.11×10^1	9.90	7.55	4.85	2.02
0.05	1.20×10^1	1.11×10^1	9.94	7.70	5.25	1.91
0.06	2.60×10^1	2.35×10^1	1.59×10^1	9.71	5.29	2.03
0.07	2.34×10^2	2.04×10^2	1.36×10^2	6.79×10^1	2.40×10^1	5.53
0.08	6.75×10^2	6.04×10^2	4.34×10^2	2.39×10^2	9.43×10^1	2.21×10^1
0.09	1.11×10^3	1.01×10^3	7.63×10^2	4.53×10^2	2.00×10^2	5.24×10^1
0.1	1.41×10^3	1.31×10^3	1.04×10^3	6.60×10^2	3.16×10^2	9.12×10^1
0.11	1.52×10^3	1.43×10^3	1.18×10^3	7.99×10^2	4.12×10^2	1.28×10^2
0.12	1.50×10^3	1.44×10^3	1.23×10^3	8.75×10^2	4.79×10^2	1.58×10^2
0.15	1.23×10^3	1.22×10^3	1.15×10^3	9.31×10^2	5.72×10^2	2.08×10^2
0.2	8.54×10^2	8.83×10^2	9.38×10^2	8.73×10^2	6.04×10^2	2.36×10^2
0.3	5.55×10^2	5.77×10^2	6.51×10^2	7.31×10^2	6.24×10^2	2.66×10^2
0.5	3.96×10^2	4.07×10^2	4.46×10^2	5.20×10^2	5.97×10^2	3.22×10^2
1	3.15×10^2	3.20×10^2	3.42×10^2	3.77×10^2	4.58×10^2	4.33×10^2
2	2.85×10^2	2.88×10^2	3.00×10^2	3.23×10^2	3.73×10^2	4.76×10^2
5	2.73×10^2	2.73×10^2	2.80×10^2	2.93×10^2	3.29×10^2	3.97×10^2
10	2.71×10^2	2.74×10^2	2.74×10^2	2.82×10^2	3.05×10^2	3.63×10^2
20	2.72×10^2	2.73×10^2	2.75×10^2	2.80×10^2	2.92×10^2	3.39×10^2
30	2.72×10^2	2.75×10^2	2.77×10^2	2.78×10^2	2.86×10^2	3.27×10^2
50	2.73×10^2	2.75×10^2	2.76×10^2	2.78×10^2	2.86×10^2	3.10×10^2

图 A.4.4.1 平板模体上从正电子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数^①

^① J. Daures, J. Gouriou, and J.-M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

表 A.4.4.2 柱状模体上从正电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}} (\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.005	1.01×10^1	9.90	9.04	7.13	5.21	3.16	1.36
0.01	1.05×10^1	1.01×10^1	8.97	7.18	5.28	3.08	1.51
0.02	1.06×10^1	1.04×10^1	9.26	7.61	5.40	3.07	1.55
0.04	1.06×10^1	1.06×10^1	9.31	7.21	5.14	3.28	1.26
0.05	1.09×10^1	1.08×10^1	9.50	7.39	5.22	2.93	1.38
0.06	2.81×10^1	2.48×10^1	1.75×10^1	1.05×10^1	6.23	3.00	1.32
0.065	1.06×10^2	9.28×10^1	6.08×10^1	3.06×10^1	1.24×10^1	4.46	1.33
0.07	2.58×10^2	2.27×10^2	1.55×10^2	8.02×10^1	3.06×10^1	8.43	1.58
0.075	4.60×10^2	4.11×10^2	2.90×10^2	1.57×10^2	6.28×10^1	1.68×10^1	2.31
0.08	6.84×10^2	6.17×10^2	4.48×10^2	2.54×10^2	1.07×10^2	2.95×10^1	3.18
0.085	9.12×10^2	8.30×10^2	6.17×10^2	3.63×10^2	1.60×10^2	4.57×10^1	4.32
0.09	1.12×10^3	1.03×10^3	7.82×10^2	4.77×10^2	2.18×10^2	6.47×10^1	5.91
0.1	1.39×10^3	1.30×10^3	1.03×10^3	6.73×10^2	3.32×10^2	1.06×10^2	9.34
0.11	1.46×10^3	1.39×10^3	1.15×10^3	7.96×10^2	4.20×10^2	1.43×10^2	1.29×10^1
0.12	1.43×10^3	1.38×10^3	1.18×10^3	8.60×10^2	4.80×10^2	1.73×10^2	1.60×10^1
0.15	1.19×10^3	1.18×10^3	1.11×10^3	9.03×10^2	5.63×10^2	2.23×10^2	2.16×10^1
0.2	8.38×10^2	8.62×10^2	9.03×10^2	8.46×10^2	5.99×10^2	2.55×10^2	2.54×10^1
0.3	5.88×10^2	6.11×10^2	6.72×10^2	7.15×10^2	5.85×10^2	2.70×10^2	2.72×10^1
0.5	4.14×10^2	4.27×10^2	4.67×10^2	5.39×10^2	5.54×10^2	3.09×10^2	3.30×10^1
1	3.21×10^2	3.27×10^2	3.48×10^2	3.91×10^2	4.66×10^2	3.84×10^2	5.11×10^1
2	2.87×10^2	2.90×10^2	3.01×10^2	3.27×10^2	3.85×10^2	4.46×10^2	9.92×10^1
5	2.74×10^2	2.75×10^2	2.79×10^2	2.89×10^2	3.18×10^2	4.32×10^2	2.76×10^2
10	2.73×10^2	2.73×10^2	2.74×10^2	2.78×10^2	2.87×10^2	3.34×10^2	4.22×10^2
20	2.72×10^2	2.73×10^2	2.74×10^2	2.77×10^2	2.80×10^2	2.91×10^2	3.44×10^2
50	2.72×10^2	2.73×10^2	2.74×10^2	2.76×10^2	2.80×10^2	2.84×10^2	2.98×10^2
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.005	9.83×10^{-1}	7.16×10^{-1}	5.98×10^{-1}	7.67×10^{-1}	5.72×10^{-1}	5.01×10^{-1}	3.73
0.01	1.02	7.38×10^{-1}	7.15×10^{-1}	5.01×10^{-1}	7.23×10^{-1}	6.69×10^{-1}	3.78
0.02	9.96×10^{-1}	7.40×10^{-1}	6.96×10^{-1}	5.42×10^{-1}	5.97×10^{-1}	6.10×10^{-1}	3.87
0.04	9.60×10^{-1}	9.00×10^{-1}	6.24×10^{-1}	5.70×10^{-1}	5.00×10^{-1}	6.01×10^{-1}	3.83
0.05	9.49×10^{-1}	7.33×10^{-1}	6.46×10^{-1}	6.12×10^{-1}	6.05×10^{-1}	4.93×10^{-1}	3.87
0.06	9.12×10^{-1}	6.29×10^{-1}	5.98×10^{-1}	5.89×10^{-1}	5.25×10^{-1}	4.68×10^{-1}	6.74
0.065	8.38×10^{-1}	7.56×10^{-1}	5.79×10^{-1}	5.37×10^{-1}	6.27×10^{-1}	4.93×10^{-1}	2.16×10^1
0.07	8.94×10^{-1}	6.30×10^{-1}	7.37×10^{-1}	6.09×10^{-1}	5.97×10^{-1}	6.44×10^{-1}	5.30×10^1
0.075	8.36×10^{-1}	7.11×10^{-1}	7.94×10^{-1}	6.00×10^{-1}	5.93×10^{-1}	5.60×10^{-1}	9.79×10^1
0.08	9.43×10^{-1}	7.59×10^{-1}	7.00×10^{-1}	6.17×10^{-1}	4.81×10^{-1}	5.36×10^{-1}	1.50×10^2
0.085	9.28×10^{-1}	7.44×10^{-1}	5.48×10^{-1}	7.14×10^{-1}	7.06×10^{-1}	4.60×10^{-1}	2.07×10^2
0.09	9.66×10^{-1}	6.23×10^{-1}	6.29×10^{-1}	6.47×10^{-1}	5.84×10^{-1}	6.09×10^{-1}	2.62×10^2
0.1	8.78×10^{-1}	7.23×10^{-1}	6.49×10^{-1}	5.52×10^{-1}	4.86×10^{-1}	8.47×10^{-1}	3.46×10^2
0.11	9.13×10^{-1}	7.50×10^{-1}	7.72×10^{-1}	5.38×10^{-1}	6.18×10^{-1}	5.89×10^{-1}	3.87×10^2
0.12	8.18×10^{-1}	7.98×10^{-1}	7.32×10^{-1}	6.11×10^{-1}	5.65×10^{-1}	6.63×10^{-1}	4.01×10^2
0.15	8.97×10^{-1}	7.43×10^{-1}	6.78×10^{-1}	6.67×10^{-1}	6.23×10^{-1}	5.30×10^{-1}	3.84×10^2

① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.2	7.66×10^{-1}	6.39×10^{-1}	6.34×10^{-1}	5.00×10^{-1}	6.27×10^{-1}	7.27×10^{-1}	3.26×10^2
0.3	8.80×10^{-1}	7.39×10^{-1}	6.63×10^{-1}	6.58×10^{-1}	6.16×10^{-1}	5.42×10^{-1}	2.65×10^2
0.5	1.07	7.90×10^{-1}	5.95×10^{-1}	6.59×10^{-1}	5.30×10^{-1}	4.43×10^{-1}	2.12×10^2
1	1.01	9.46×10^{-1}	7.67×10^{-1}	7.17×10^{-1}	5.99×10^{-1}	6.85×10^{-1}	1.78×10^2
2	1.34	9.81×10^{-1}	8.88×10^{-1}	8.79×10^{-1}	7.67×10^{-1}	7.35×10^{-1}	1.66×10^2
5	2.61×10^1	2.71	1.67	1.53	1.48	1.64	1.70×10^2
10	1.99×10^2	7.68×10^1	1.93×10^1	4.77	3.23	3.24	1.92×10^2
20	3.15×10^2	3.00×10^2	2.73×10^2	2.39×10^2	2.11×10^2	1.99×10^2	2.76×10^2
50	2.99×10^2	3.02×10^2	3.05×10^2	3.05×10^2	3.04×10^2	3.04×10^2	2.91×10^2

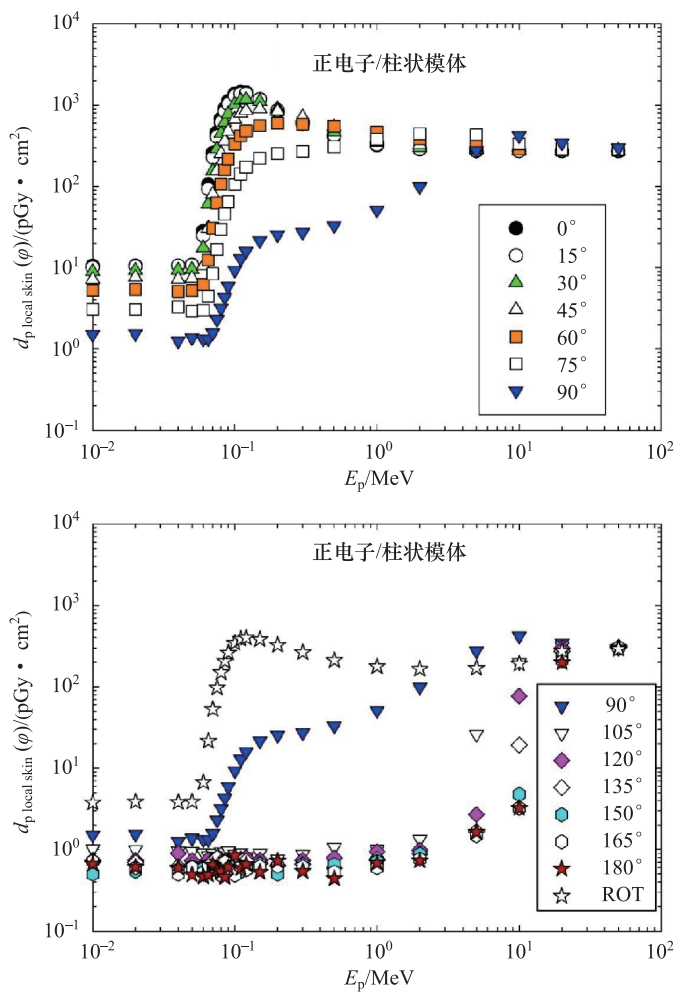
图 A.4.4.2 柱状模体上从正电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

表 A.4.4.3 棒状模体上从正电子注量到局部皮肤个人吸收剂量之间的转换系数^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.005	8.08	7.79	7.03	5.88	4.43	3.07	2.05
0.01	7.96	7.76	7.12	6.00	4.73	3.41	2.26
0.02	8.11	7.95	7.26	6.12	4.72	3.25	2.12
0.04	8.24	8.05	7.40	6.26	4.70	3.16	2.02
0.05	8.29	7.94	7.14	5.91	4.39	3.12	2.07
0.06	2.45×10^1	2.24×10^1	1.71×10^1	1.12×10^1	6.36	3.47	2.01
0.065	9.17×10^1	8.28×10^1	6.08×10^1	3.62×10^1	1.74×10^1	7.10	2.85
0.07	2.25×10^2	2.04×10^2	1.52×10^2	9.24×10^1	4.47×10^1	1.70×10^1	5.33
0.075	4.06×10^2	3.70×10^2	2.81×10^2	1.76×10^2	8.79×10^1	3.42×10^1	1.00×10^1
0.08	6.10×10^2	5.60×10^2	4.33×10^2	2.77×10^2	1.44×10^2	5.82×10^1	1.72×10^1
0.085	8.21×10^2	7.58×10^2	5.93×10^2	3.89×10^2	2.08×10^2	8.66×10^1	2.61×10^1
0.09	1.02×10^3	9.47×10^2	7.51×10^2	5.02×10^2	2.75×10^2	1.18×10^2	3.65×10^1
0.1	1.29×10^3	1.21×10^3	9.83×10^2	6.85×10^2	3.95×10^2	1.79×10^2	5.84×10^1
0.11	1.39×10^3	1.31×10^3	1.10×10^3	7.95×10^2	4.79×10^2	2.28×10^2	7.75×10^1
0.12	1.38×10^3	1.31×10^3	1.12×10^3	8.43×10^2	5.28×10^2	2.61×10^2	9.29×10^1
0.15	1.16×10^3	1.14×10^3	1.04×10^3	8.39×10^2	5.71×10^2	3.06×10^2	1.17×10^2
0.2	8.48×10^2	8.53×10^2	8.37×10^2	7.43×10^2	5.52×10^2	3.23×10^2	1.34×10^2
0.3	5.65×10^2	5.83×10^2	6.17×10^2	6.03×10^2	4.95×10^2	3.21×10^2	1.47×10^2
0.5	4.02×10^2	4.15×10^2	4.53×10^2	4.81×10^2	4.33×10^2	3.13×10^2	1.66×10^2
1	3.13×10^2	3.19×10^2	3.41×10^2	3.83×10^2	3.85×10^2	3.13×10^2	2.00×10^2
2	2.79×10^2	2.82×10^2	2.93×10^2	3.24×10^2	3.63×10^2	3.40×10^2	2.63×10^2
5	2.70×10^2	2.71×10^2	2.72×10^2	2.78×10^2	2.99×10^2	3.21×10^2	3.29×10^2
10	2.70×10^2	2.71×10^2	2.72×10^2	2.74×10^2	2.81×10^2	2.88×10^2	2.94×10^2
20	2.71×10^2	2.71×10^2	2.72×10^2	2.74×10^2	2.78×10^2	2.83×10^2	2.87×10^2
50	2.71×10^2	2.72×10^2	2.73×10^2	2.75×10^2	2.78×10^2	2.82×10^2	2.86×10^2
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.005	1.39	1.13	1.12	1.06	1.02	1.06	3.38
0.01	1.63	1.26	1.13	1.24	1.34	1.36	3.55
0.02	1.35	1.07	9.70×10^{-1}	9.49×10^{-1}	1.02	1.00	3.44
0.04	1.40	1.16	1.14	1.01	8.95×10^{-1}	9.26×10^{-1}	3.48
0.05	1.50	1.23	9.94×10^{-1}	8.43×10^{-1}	7.36×10^{-1}	7.49×10^{-1}	3.36
0.06	1.34	1.14	1.05	9.70×10^{-1}	9.23×10^{-1}	9.19×10^{-1}	6.72
0.065	1.55	1.21	1.13	1.09	1.09	1.15	2.16×10^1
0.07	1.78	1.15	1.04	9.32×10^{-1}	9.12×10^{-1}	9.06×10^{-1}	5.29×10^1
0.075	2.54	1.17	1.06	9.74×10^{-1}	8.92×10^{-1}	9.17×10^{-1}	9.74×10^1
0.08	3.56	1.14	1.08	1.11	1.10	1.09	1.50×10^2
0.085	5.08	1.12	9.57×10^{-1}	9.43×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.89×10^{-1}	2.07×10^2
0.09	6.81	1.13	1.02	1.24	1.56	1.64	2.63×10^2
0.1	1.11×10^1	1.28	1.11	9.82×10^{-1}	8.72×10^{-1}	9.71×10^{-1}	3.47×10^2
0.11	1.47×10^1	1.18	8.52×10^{-1}	7.46×10^{-1}	6.90×10^{-1}	6.45×10^{-1}	3.92×10^2
0.12	1.85×10^1	1.73	1.25	1.11	9.58×10^{-1}	9.71×10^{-1}	4.06×10^2
0.15	2.44×10^1	1.47	1.10	1.12	1.16	1.19	3.85×10^2
0.2	2.96×10^1	1.68	8.91×10^{-1}	8.88×10^{-1}	8.70×10^{-1}	8.25×10^{-1}	3.25×10^2

① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						ROT
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
0.3	3.57×10^1	2.19	1.05	1.12	1.13	1.14	2.58×10^2
0.5	4.77×10^1	3.65	1.27	1.32	1.27	1.18	2.10×10^2
1	7.92×10^1	1.05×10^1	1.64	1.32	1.05	9.01×10^{-1}	1.83×10^2
2	1.53×10^2	4.86×10^1	1.10×10^1	2.72	1.50	1.47	1.85×10^2
5	3.19×10^2	2.83×10^2	2.46×10^2	2.15×10^2	1.95×10^2	1.87×10^2	2.71×10^2
10	2.96×10^2	2.94×10^2	2.90×10^2	2.88×10^2	2.87×10^2	2.86×10^2	2.84×10^2
20	2.90×10^2	2.92×10^2	2.94×10^2	2.96×10^2	2.97×10^2	2.97×10^2	2.85×10^2
50	2.90×10^2	2.95×10^2	2.99×10^2	3.03×10^2	3.05×10^2	3.06×10^2	2.87×10^2

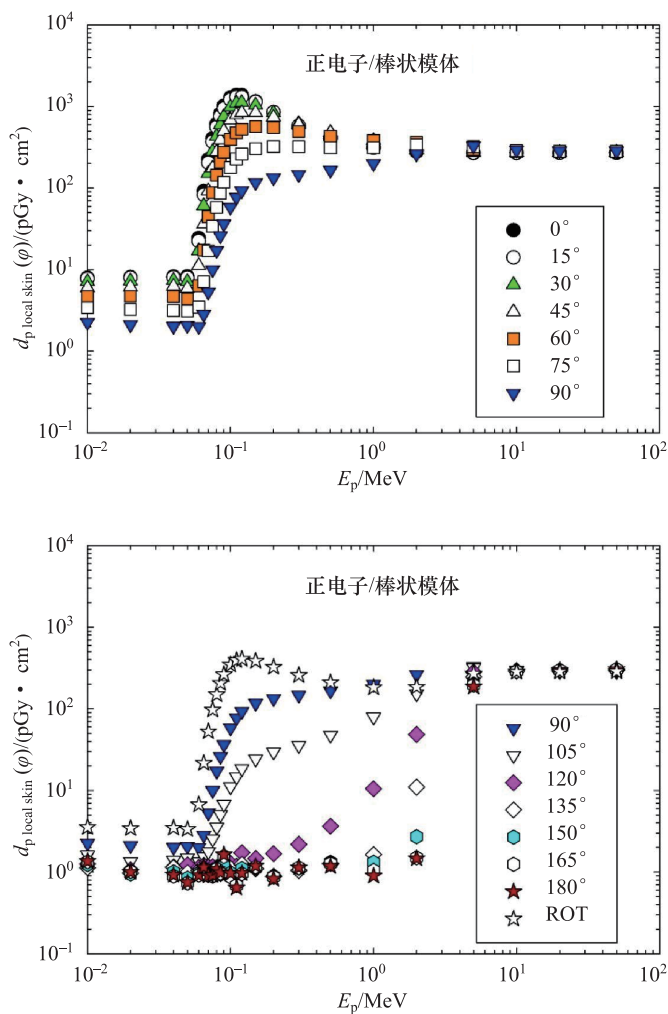
图 A.4.4.3 棒状模体上从正电子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数^①① T. Otto (2020). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

表 A.4.5 平板模体上法向入射的 α 粒子从注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数（ICRP，2010 年）

E_p/MeV	法向入射的 $d_{\text{local skin}}/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$
6.5	1.11×10^3
6.8	2.56×10^4
7.0	4.20×10^4
7.5	7.52×10^4
8.0	1.03×10^5
8.5	1.28×10^5
9.0	1.50×10^5
9.5	1.72×10^5
10.0	1.80×10^5

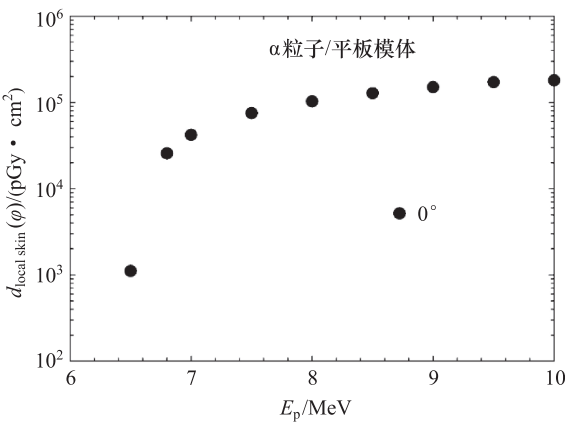


图 A.4.5 平板模体上法向入射的 α 粒子从注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数（ICRP，2010）

A.5 带电粒子平衡场中能量高达 50 MeV 光子的实用量

对于光子辐射，场所监测仪器和个人剂量计的校准通常在空气中进行，仪器前放置有充足的材料为试验点提供完全带电粒子平衡（第 5.3.3 节*），以测量周围剂量、个人剂量、眼晶状体和局部皮肤的定向和个人吸收剂量。当存在近似带电粒子平衡时，这里给出的转换系数是使用比释动能近似方法计算得到的吸收剂量。

* 译者注：原文此处为“Section 6.2”，经与 ICRU 第 95 号报告编写委员会核实，此处应为“Section 5.3.3”，即“第 5.3.3 节”。

眼晶状体数据：表 A.5.1a 和图 A.5.1a 给出了从光子注量到周围剂量的转换系数数值；表 A.5.1b 和图 A.5.1b 是从光子空气比释动能到周围剂量的转换系数数值；表 A.5.2a 和图 A.5.2a 是从光子注量到个人剂量的转换系数数值；表 A.5.2b 和图 A.5.2b 是从光子空气比释动能到个人剂量的转换系数数值；表 A.5.3a 和图 A.5.3a 是从光子注量到眼晶状体定向和个人吸收剂量的转换系数数值；表 A.5.3b 和图 A.5.3b 是从光子空气比释动能到眼晶状体定向和个人吸收剂量的转换系数数值（见表 A.5.0）。

皮肤数据：表 A.5.4.1a、表 A.5.4.2a、表 A.5.4.3a 和图 A.5.4.1a、图 A.5.4.2a、图 A.5.4.3a 是从光子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数数值；表 A.5.4.1b、表 A.5.4.2b、表 A.5.4.3b 和图 A.5.4.1b、图 A.5.4.2b、图 A.5.4.3b 从光子空气比释动能到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数数值。

表 A.5.0 采用比释动能近似法计算的光子转换系数

表/图	物理量	实用量	模体	能量范围/MeV
A.5.1a	注量	周围剂量 H^*	ICRU/ICRP 拟人体模	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$
A.5.1b	空气比释动能			
A.5.2a	注量	个人剂量 H_p	眼部模型 (Behrens 和 Dietze, 2011)	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
A.5.2b	空气比释动能			
A.5.3a	注量	眼晶状体吸收剂量 D_{lens}	平板	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$
A.5.3b	空气比释动能			
A.5.4.1a	注量	局部皮肤吸收剂量 D_{skin}	柱状	$2.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
A.5.4.1b	空气比释动能			
A.5.4.2a	注量		棒状	
A.5.4.2b	空气比释动能			
A.5.4.3a	注量			
A.5.4.3b	空气比释动能			

表 A.5.1a 从光子注量到周围剂量的转换系数（比释动能近似法计算结果）（Endo, 2017 年）

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
1.00×10^{-2}	6.75×10^{-2}
1.50×10^{-2}	1.53×10^{-1}
2.00×10^{-2}	2.22×10^{-1}
3.00×10^{-2}	3.10×10^{-1}

续表

E_p/MeV	$h^*/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$
4.00×10^{-2}	3.45×10^{-1}
5.00×10^{-2}	3.64×10^{-1}
6.00×10^{-2}	3.85×10^{-1}
7.00×10^{-2}	4.11×10^{-1}
8.00×10^{-2}	4.43×10^{-1}
1.00×10^{-1}	5.19×10^{-1}
1.50×10^{-1}	7.48×10^{-1}
2.00×10^{-1}	9.98×10^{-1}
3.00×10^{-1}	1.50
4.00×10^{-1}	2.00
5.00×10^{-1}	2.46
6.00×10^{-1}	2.91
8.00×10^{-1}	3.73
1.00	4.49
1.50	6.13
2.00	7.54
3.00	9.98
4.00	1.21×10^1
5.00	1.42×10^1
6.00	1.61×10^1
8.00	1.99×10^1
1.00×10^1	2.37×10^1
1.50×10^1	3.33×10^1
2.00×10^1	4.32×10^1
3.00×10^1	6.41×10^1
4.00×10^1	8.63×10^1
5.00×10^1	1.09×10^2

表 A.5.1b 从光子空气比释动能到周围剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)(Endo, 2017 年)

E_p/MeV	$h^*/(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$
1.0×10^{-2}	9.12×10^{-3}
1.5×10^{-2}	4.89×10^{-2}
2.0×10^{-2}	1.32×10^{-1}
3.0×10^{-2}	4.30×10^{-1}
4.0×10^{-2}	8.05×10^{-1}
5.0×10^{-2}	1.13
6.0×10^{-2}	1.33

续表

E_p/MeV	$h^*/(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$
7.0×10^{-2}	1.43
8.0×10^{-2}	1.44
1.0×10^{-1}	1.40
1.5×10^{-1}	1.25
2.0×10^{-1}	1.16
3.0×10^{-1}	1.09
4.0×10^{-1}	1.06
5.0×10^{-1}	1.04
6.0×10^{-1}	1.02
8.0×10^{-1}	1.01
1.0	1.00
1.5	9.98×10^{-1}
2.0	9.97×10^{-1}
3.0	1.00
4.0	1.00
5.0	1.00
6.0	9.97×10^{-1}
8.0	9.89×10^{-1}
1.0×10^1	9.82×10^{-1}
1.5×10^1	9.65×10^{-1}
2.0×10^1	9.52×10^{-1}
3.0×10^1	9.34×10^{-1}
4.0×10^1	9.25×10^{-1}
5.0×10^1	9.17×10^{-1}

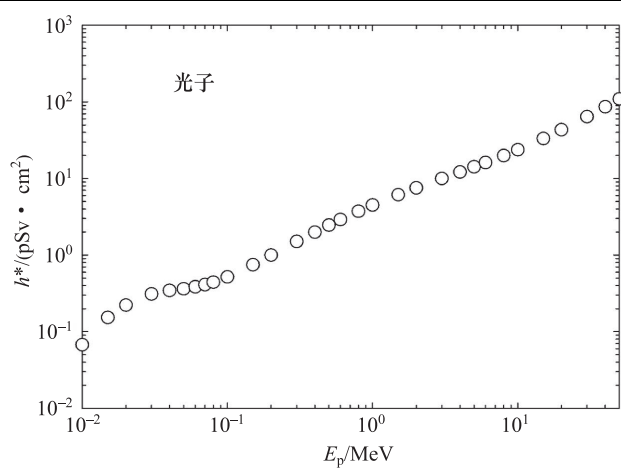


图 A.5.1a 从光子注量到周围剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Endo, 2017 年)

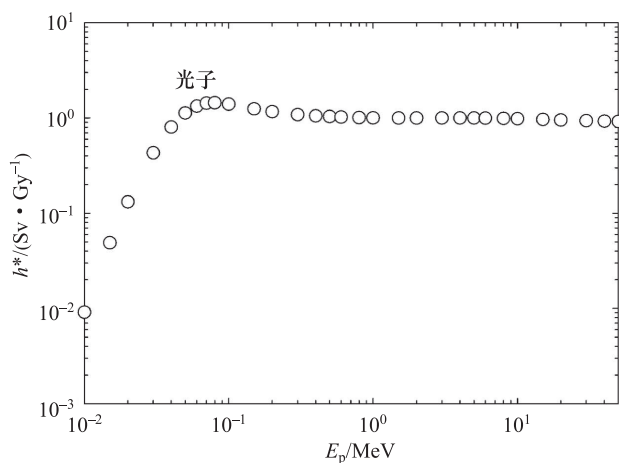


图 A.5.1b 从光子空气比释动能到周围剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Endo, 2017 年)

表 A.5.2a 从光子注量到个人剂量的转换系数 (比释动能近似法计算结果) (Endo, 2017 年)

E_p / MeV	$h_p(\varphi) / (\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$											
	0°	avg ($\pm 15^\circ$)	avg ($\pm 30^\circ$)	avg ($\pm 45^\circ$)	avg ($\pm 60^\circ$)	avg ($\pm 75^\circ$)	avg ($\pm 90^\circ$)	180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
1.0×10^{-2}	6.75×10^{-2}	6.68×10^{-2}	6.13×10^{-2}	5.26×10^{-2}	4.24×10^{-2}	3.06×10^{-2}	1.83×10^{-2}	1.80×10^{-2}	3.31×10^{-2}	2.90×10^{-2}	2.94×10^{-2}	2.76×10^{-2}
1.5×10^{-2}	1.53×10^{-1}	1.50×10^{-1}	1.39×10^{-1}	1.19×10^{-1}	9.29×10^{-2}	6.41×10^{-2}	3.91×10^{-2}	1.53×10^{-2}	6.57×10^{-2}	5.45×10^{-2}	5.63×10^{-2}	5.33×10^{-2}
2.0×10^{-2}	2.22×10^{-1}	2.17×10^{-1}	2.03×10^{-1}	1.80×10^{-1}	1.42×10^{-1}	9.70×10^{-2}	5.96×10^{-2}	2.65×10^{-2}	9.97×10^{-2}	8.04×10^{-2}	8.00×10^{-2}	7.73×10^{-2}
3.0×10^{-2}	3.10×10^{-1}	3.05×10^{-1}	2.87×10^{-1}	2.55×10^{-1}	2.10×10^{-1}	1.52×10^{-1}	9.63×10^{-2}	9.61×10^{-2}	1.58×10^{-1}	1.24×10^{-1}	1.27×10^{-1}	1.22×10^{-1}
4.0×10^{-2}	3.45×10^{-1}	3.41×10^{-1}	3.22×10^{-1}	2.87×10^{-1}	2.41×10^{-1}	1.84×10^{-1}	1.23×10^{-1}	1.62×10^{-1}	1.97×10^{-1}	1.57×10^{-1}	1.60×10^{-1}	1.51×10^{-1}
5.0×10^{-2}	3.64×10^{-1}	3.60×10^{-1}	3.41×10^{-1}	3.07×10^{-1}	2.61×10^{-1}	2.03×10^{-1}	1.43×10^{-1}	2.07×10^{-1}	2.22×10^{-1}	1.78×10^{-1}	1.82×10^{-1}	1.72×10^{-1}
6.0×10^{-2}	3.85×10^{-1}	3.82×10^{-1}	3.62×10^{-1}	3.27×10^{-1}	2.81×10^{-1}	2.22×10^{-1}	1.59×10^{-1}	2.40×10^{-1}	2.44×10^{-1}	1.97×10^{-1}	2.01×10^{-1}	1.91×10^{-1}
7.0×10^{-2}	4.11×10^{-1}	4.07×10^{-1}	3.85×10^{-1}	3.51×10^{-1}	3.04×10^{-1}	2.42×10^{-1}	1.76×10^{-1}	2.71×10^{-1}	2.67×10^{-1}	2.16×10^{-1}	2.21×10^{-1}	2.11×10^{-1}
8.0×10^{-2}	4.43×10^{-1}	4.37×10^{-1}	4.16×10^{-1}	3.80×10^{-1}	3.30×10^{-1}	2.64×10^{-1}	1.94×10^{-1}	3.01×10^{-1}	2.95×10^{-1}	2.37×10^{-1}	2.43×10^{-1}	2.28×10^{-1}
1.0×10^{-1}	5.19×10^{-1}	5.12×10^{-1}	4.87×10^{-1}	4.50×10^{-1}	3.93×10^{-1}	3.19×10^{-1}	2.36×10^{-1}	3.61×10^{-1}	3.50×10^{-1}	2.85×10^{-1}	2.94×10^{-1}	2.76×10^{-1}
1.5×10^{-1}	7.48×10^{-1}	7.40×10^{-1}	7.11×10^{-1}	6.58×10^{-1}	5.82×10^{-1}	4.81×10^{-1}	3.65×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.21×10^{-1}	4.31×10^{-1}	4.44×10^{-1}	4.17×10^{-1}
2.0×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.91×10^{-1}	9.54×10^{-1}	8.91×10^{-1}	7.97×10^{-1}	6.68×10^{-1}	5.13×10^{-1}	7.35×10^{-1}	7.15×10^{-1}	5.94×10^{-1}	6.07×10^{-1}	5.72×10^{-1}
3.0×10^{-1}	1.50	1.49	1.45	1.37	1.24	1.06	8.33×10^{-1}	1.15	1.11	9.34×10^{-1}	9.64×10^{-1}	9.06×10^{-1}
4.0×10^{-1}	2.00	1.98	1.93	1.83	1.68	1.46	1.16	1.57	1.51	1.28	1.32	1.25

续表

E_p/MeV	$h_p(\varphi)/(\text{pSv} \cdot \text{cm}^2)$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
5.0×10^{-1}	2.46	2.45	2.39	2.28	2.10	1.85	1.50	1.98	1.90	1.64	1.68	1.58
6.0×10^{-1}	2.91	2.89	2.83	2.71	2.51	2.23	1.84	2.37	2.29	1.98	2.02	1.91
8.0×10^{-1}	3.73	3.72	3.65	3.50	3.29	2.96	2.48	3.12	3.01	2.63	2.69	2.57
1.0	4.49	4.47	4.40	4.24	4.01	3.64	3.09	3.82	3.70	3.25	3.33	3.18
1.5	6.13	6.11	6.03	5.86	5.60	5.18	4.52	5.38	5.22	4.68	4.77	4.58
2.0	7.54	7.52	7.43	7.26	6.98	6.52	5.80	6.75	6.57	5.95	6.05	5.83
3.0	9.98	9.97	9.86	9.67	9.36	8.88	8.05	9.10	8.90	8.18	8.32	8.03
4.0	1.21×10^1	1.21×10^1	1.20×10^1	1.18×10^1	1.15×10^1	1.09×10^1	1.01×10^1	1.12×10^1	1.10×10^1	1.02×10^1	1.03×10^1	1.00×10^1
5.0	1.42×10^1	1.41×10^1	1.40×10^1	1.38×10^1	1.34×10^1	1.29×10^1	1.20×10^1	1.31×10^1	1.29×10^1	1.20×10^1	1.22×10^1	1.19×10^1
6.0	1.61×10^1	1.61×10^1	1.59×10^1	1.57×10^1	1.53×10^1	1.47×10^1	1.38×10^1	1.50×10^1	1.47×10^1	1.38×10^1	1.40×10^1	1.36×10^1
8.0	1.99×10^1	1.99×10^1	1.97×10^1	1.94×10^1	1.90×10^1	1.83×10^1	1.72×10^1	1.86×10^1	1.83×10^1	1.73×10^1	1.75×10^1	1.71×10^1
1.0×10^1	2.37×10^1	2.36×10^1	2.35×10^1	2.31×10^1	2.26×10^1	2.19×10^1	2.07×10^1	2.22×10^1	2.19×10^1	2.07×10^1	2.10×10^1	2.05×10^1
1.5×10^1	3.33×10^1	3.32×10^1	3.30×10^1	3.25×10^1	3.18×10^1	3.08×10^1	2.93×10^1	3.12×10^1	3.09×10^1	2.93×10^1	2.96×10^1	2.90×10^1
2.0×10^1	4.32×10^1	4.31×10^1	4.28×10^1	4.22×10^1	4.14×10^1	4.01×10^1	3.81×10^1	4.05×10^1	4.02×10^1	3.82×10^1	3.85×10^1	3.77×10^1
3.0×10^1	6.41×10^1	6.39×10^1	6.35×10^1	6.26×10^1	6.13×10^1	5.94×10^1	5.65×10^1	6.00×10^1	5.96×10^1	5.66×10^1	5.72×10^1	5.60×10^1
4.0×10^1	8.63×10^1	8.61×10^1	8.55×10^1	8.42×10^1	8.25×10^1	7.99×10^1	7.61×10^1	8.08×10^1	8.02×10^1	7.62×10^1	7.70×10^1	7.54×10^1
5.0×10^1	1.09×10^2	1.09×10^2	1.08×10^2	1.07×10^2	1.05×10^2	1.01×10^2	9.63×10^1	1.02×10^2	1.02×10^2	9.64×10^1	9.75×10^1	9.55×10^1

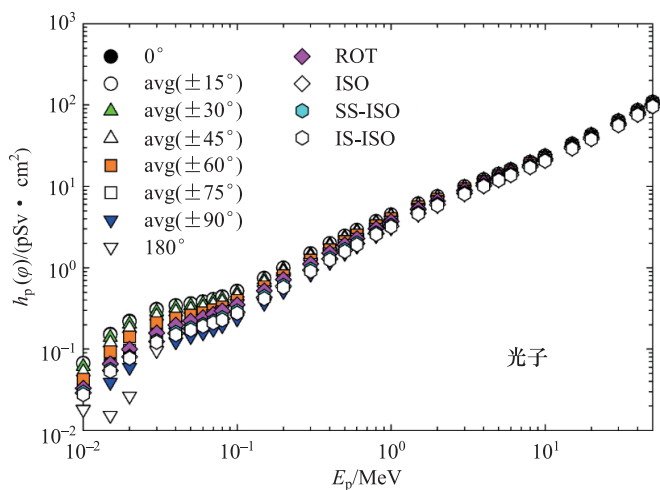


图 A.5.2a 从光子注量到个人剂量的转换系数（比释动能近似法计算结果）（Endo, 2017 年）

表 A.5.2b 从光子空气比释动能到个人剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)(Endo, 2017 年)

E_p/MeV	$h_p(\varphi)/(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
1.0×10^{-2}	9.12×10^{-3}	9.03×10^{-3}	8.28×10^{-3}	7.11×10^{-3}	5.73×10^{-3}	4.14×10^{-3}	2.47×10^{-3}	2.44×10^{-3}	4.47×10^{-3}	3.91×10^{-3}	3.98×10^{-3}	3.73×10^{-3}
1.5×10^{-2}	4.89×10^{-2}	4.80×10^{-2}	4.43×10^{-2}	3.81×10^{-2}	2.97×10^{-2}	2.05×10^{-2}	1.25×10^{-2}	4.90×10^{-3}	2.10×10^{-2}	1.74×10^{-2}	1.80×10^{-2}	1.71×10^{-2}
2.0×10^{-2}	1.32×10^{-1}	1.29×10^{-1}	1.21×10^{-1}	1.07×10^{-1}	8.44×10^{-2}	5.76×10^{-2}	3.54×10^{-2}	1.57×10^{-2}	5.92×10^{-2}	4.77×10^{-2}	4.75×10^{-2}	4.59×10^{-2}
3.0×10^{-2}	4.30×10^{-1}	4.23×10^{-1}	3.98×10^{-1}	3.53×10^{-1}	2.91×10^{-1}	2.10×10^{-1}	1.33×10^{-1}	1.33×10^{-1}	2.19×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.76×10^{-1}	1.69×10^{-1}
4.0×10^{-2}	8.05×10^{-1}	7.95×10^{-1}	7.52×10^{-1}	6.69×10^{-1}	5.62×10^{-1}	4.30×10^{-1}	2.87×10^{-1}	3.79×10^{-1}	4.60×10^{-1}	3.65×10^{-1}	3.74×10^{-1}	3.51×10^{-1}
5.0×10^{-2}	1.13	1.11	1.06	9.52×10^{-1}	8.10×10^{-1}	6.29×10^{-1}	4.42×10^{-1}	6.40×10^{-1}	6.87×10^{-1}	5.52×10^{-1}	5.65×10^{-1}	5.33×10^{-1}
6.0×10^{-2}	1.33	1.32	1.25	1.13	9.73×10^{-1}	7.67×10^{-1}	5.49×10^{-1}	8.30×10^{-1}	8.44×10^{-1}	6.82×10^{-1}	6.96×10^{-1}	6.62×10^{-1}
7.0×10^{-2}	1.43	1.41	1.34	1.22	1.06	8.40×10^{-1}	6.10×10^{-1}	9.41×10^{-1}	9.28×10^{-1}	7.49×10^{-1}	7.70×10^{-1}	7.32×10^{-1}
8.0×10^{-2}	1.44	1.43	1.36	1.24	1.08	8.60×10^{-1}	6.34×10^{-1}	9.83×10^{-1}	9.62×10^{-1}	7.74×10^{-1}	7.93×10^{-1}	7.45×10^{-1}
1.0×10^{-1}	1.40	1.38	1.31	1.21	1.06	8.59×10^{-1}	6.36×10^{-1}	9.71×10^{-1}	9.42×10^{-1}	7.67×10^{-1}	7.90×10^{-1}	7.44×10^{-1}
1.5×10^{-1}	1.25	1.23	1.19	1.10	9.70×10^{-1}	8.03×10^{-1}	6.09×10^{-1}	8.99×10^{-1}	8.69×10^{-1}	7.19×10^{-1}	7.41×10^{-1}	6.95×10^{-1}
2.0×10^{-1}	1.16	1.16	1.11	1.04	9.30×10^{-1}	7.80×10^{-1}	5.99×10^{-1}	8.58×10^{-1}	8.34×10^{-1}	6.93×10^{-1}	7.08×10^{-1}	6.68×10^{-1}
3.0×10^{-1}	1.09	1.08	1.05	9.88×10^{-1}	8.96×10^{-1}	7.66×10^{-1}	6.02×10^{-1}	8.34×10^{-1}	8.06×10^{-1}	6.75×10^{-1}	6.97×10^{-1}	6.55×10^{-1}
4.0×10^{-1}	1.06	1.05	1.02	9.68×10^{-1}	8.87×10^{-1}	7.70×10^{-1}	6.15×10^{-1}	8.29×10^{-1}	7.99×10^{-1}	6.79×10^{-1}	6.98×10^{-1}	6.59×10^{-1}
5.0×10^{-1}	1.04	1.03	1.00	9.57×10^{-1}	8.84×10^{-1}	7.77×10^{-1}	6.31×10^{-1}	8.32×10^{-1}	8.01×10^{-1}	6.88×10^{-1}	7.04×10^{-1}	6.64×10^{-1}
6.0×10^{-1}	1.02	1.02	9.95×10^{-1}	9.52×10^{-1}	8.83×10^{-1}	7.85×10^{-1}	6.46×10^{-1}	8.35×10^{-1}	8.04×10^{-1}	6.95×10^{-1}	7.10×10^{-1}	6.72×10^{-1}
8.0×10^{-1}	1.01	1.01	9.86×10^{-1}	9.47×10^{-1}	8.88×10^{-1}	8.00×10^{-1}	6.70×10^{-1}	8.44×10^{-1}	8.13×10^{-1}	7.10×10^{-1}	7.25×10^{-1}	6.94×10^{-1}
1.0	1.00	9.99×10^{-1}	9.83×10^{-1}	9.47×10^{-1}	8.95×10^{-1}	8.13×10^{-1}	6.90×10^{-1}	8.52×10^{-1}	8.25×10^{-1}	7.25×10^{-1}	7.42×10^{-1}	7.10×10^{-1}
1.5	9.98×10^{-1}	9.94×10^{-1}	9.80×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.11×10^{-1}	8.43×10^{-1}	7.35×10^{-1}	8.76×10^{-1}	8.50×10^{-1}	7.61×10^{-1}	7.76×10^{-1}	7.46×10^{-1}
2.0	9.97×10^{-1}	9.95×10^{-1}	9.84×10^{-1}	9.61×10^{-1}	9.24×10^{-1}	8.63×10^{-1}	7.67×10^{-1}	8.93×10^{-1}	8.69×10^{-1}	7.87×10^{-1}	8.01×10^{-1}	7.71×10^{-1}

续表

E_p/MeV	$h_p(\varphi)/(\text{Sv} \cdot \text{Gy}^{-1})$							180°	ROT	ISO	SS-ISO	IS-ISO
	0°	avg (±15°)	avg (±30°)	avg (±45°)	avg (±60°)	avg (±75°)	avg (±90°)					
3.0	1.00	9.99×10^{-1}	9.89×10^{-1}	9.69×10^{-1}	9.39×10^{-1}	8.90×10^{-1}	8.07×10^{-1}	9.12×10^{-1}	8.92×10^{-1}	8.20×10^{-1}	8.34×10^{-1}	8.05×10^{-1}
4.0	1.00	9.98×10^{-1}	9.90×10^{-1}	9.72×10^{-1}	9.44×10^{-1}	9.01×10^{-1}	8.30×10^{-1}	9.20×10^{-1}	9.03×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.51×10^{-1}	8.25×10^{-1}
5.0	1.00	9.97×10^{-1}	9.89×10^{-1}	9.72×10^{-1}	9.47×10^{-1}	9.08×10^{-1}	8.43×10^{-1}	9.24×10^{-1}	9.08×10^{-1}	8.50×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.37×10^{-1}
6.0	9.97×10^{-1}	9.94×10^{-1}	9.86×10^{-1}	9.71×10^{-1}	9.47×10^{-1}	9.10×10^{-1}	8.51×10^{-1}	9.26×10^{-1}	9.11×10^{-1}	8.56×10^{-1}	8.66×10^{-1}	8.43×10^{-1}
8.0	9.89×10^{-1}	9.87×10^{-1}	9.80×10^{-1}	9.66×10^{-1}	9.43×10^{-1}	9.10×10^{-1}	8.56×10^{-1}	9.24×10^{-1}	9.10×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.70×10^{-1}	8.48×10^{-1}
1.0×10^1	9.82×10^{-1}	9.80×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.59×10^{-1}	9.38×10^{-1}	9.07×10^{-1}	8.57×10^{-1}	9.19×10^{-1}	9.07×10^{-1}	8.59×10^{-1}	8.68×10^{-1}	8.48×10^{-1}
1.5×10^1	9.65×10^{-1}	9.63×10^{-1}	9.57×10^{-1}	9.43×10^{-1}	9.24×10^{-1}	8.95×10^{-1}	8.50×10^{-1}	9.06×10^{-1}	8.96×10^{-1}	8.51×10^{-1}	8.60×10^{-1}	8.42×10^{-1}
2.0×10^1	9.52×10^{-1}	9.50×10^{-1}	9.44×10^{-1}	9.30×10^{-1}	9.12×10^{-1}	8.83×10^{-1}	8.40×10^{-1}	8.93×10^{-1}	8.85×10^{-1}	8.41×10^{-1}	8.50×10^{-1}	8.32×10^{-1}
3.0×10^1	9.34×10^{-1}	9.32×10^{-1}	9.26×10^{-1}	9.13×10^{-1}	8.94×10^{-1}	8.66×10^{-1}	8.24×10^{-1}	8.75×10^{-1}	8.69×10^{-1}	8.25×10^{-1}	8.34×10^{-1}	8.16×10^{-1}
4.0×10^1	9.25×10^{-1}	9.23×10^{-1}	9.16×10^{-1}	9.03×10^{-1}	8.84×10^{-1}	8.57×10^{-1}	8.16×10^{-1}	8.66×10^{-1}	8.60×10^{-1}	8.16×10^{-1}	8.26×10^{-1}	8.09×10^{-1}
5.0×10^1	9.17×10^{-1}	9.15×10^{-1}	9.09×10^{-1}	8.95×10^{-1}	8.77×10^{-1}	8.49×10^{-1}	8.08×10^{-1}	8.58×10^{-1}	8.52×10^{-1}	8.09×10^{-1}	8.18×10^{-1}	8.01×10^{-1}

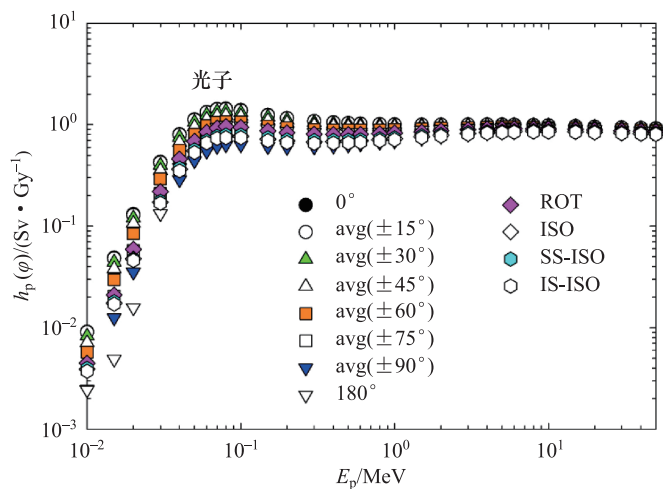


图 A.5.2b 从光子空气比释动能到个人剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Endo, 2017 年)

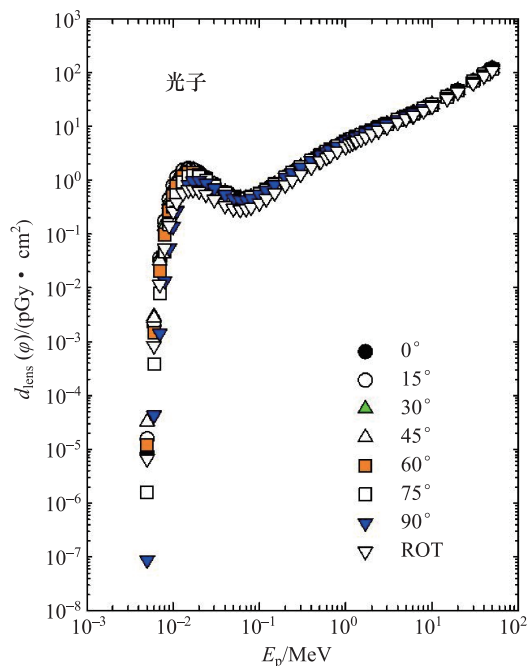


图 A.5.3a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Behrens, 2017 年 a)

表 A.5.3a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	8.43×10^{-6}	1.56×10^{-5}	3.25×10^{-5}	3.23×10^{-5}	1.20×10^{-5}	1.59×10^{-6}	8.80×10^{-8}	6.67×10^{-6}
0.006	2.01×10^{-3}	2.34×10^{-3}	2.97×10^{-3}	2.76×10^{-3}	1.46×10^{-3}	3.83×10^{-4}	4.32×10^{-5}	8.42×10^{-4}
0.007	3.47×10^{-2}	3.55×10^{-2}	3.65×10^{-2}	3.19×10^{-2}	2.03×10^{-2}	7.95×10^{-3}	1.44×10^{-3}	1.15×10^{-2}
0.008	1.73×10^{-1}	1.72×10^{-1}	1.64×10^{-1}	1.41×10^{-1}	9.78×10^{-2}	4.72×10^{-2}	1.35×10^{-2}	5.45×10^{-2}
0.009	4.49×10^{-1}	4.40×10^{-1}	4.12×10^{-1}	3.56×10^{-1}	2.67×10^{-1}	1.51×10^{-1}	5.48×10^{-2}	1.44×10^{-1}
0.01	7.96×10^{-1}	7.78×10^{-1}	7.30×10^{-1}	6.44×10^{-1}	5.08×10^{-1}	3.22×10^{-1}	1.39×10^{-1}	2.63×10^{-1}
0.011	1.12	1.10	1.04	9.34×10^{-1}	7.72×10^{-1}	5.36×10^{-1}	2.70×10^{-1}	3.87×10^{-1}
0.013	1.54	1.52	1.46	1.35	1.19	9.34×10^{-1}	5.79×10^{-1}	5.75×10^{-1}
0.015	1.65	1.63	1.58	1.50	1.38	1.16	8.29×10^{-1}	6.60×10^{-1}
0.017	1.58	1.57	1.54	1.48	1.39	1.23	9.58×10^{-1}	6.73×10^{-1}
0.02	1.38	1.38	1.36	1.32	1.27	1.17	9.82×10^{-1}	6.28×10^{-1}
0.024	1.11	1.12	1.11	1.09	1.06	9.99×10^{-1}	8.87×10^{-1}	5.46×10^{-1}
0.03	8.32×10^{-1}	8.36×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.32×10^{-1}	8.11×10^{-1}	7.78×10^{-1}	7.17×10^{-1}	4.41×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.04	5.87×10^{-1}	5.95×10^{-1}	5.96×10^{-1}	5.96×10^{-1}	5.90×10^{-1}	5.71×10^{-1}	5.35×10^{-1}	3.40×10^{-1}
0.05	4.88×10^{-1}	4.90×10^{-1}	4.98×10^{-1}	4.99×10^{-1}	4.95×10^{-1}	4.79×10^{-1}	4.53×10^{-1}	2.98×10^{-1}
0.06	4.55×10^{-1}	4.56×10^{-1}	4.64×10^{-1}	4.67×10^{-1}	4.62×10^{-1}	4.46×10^{-1}	4.27×10^{-1}	2.86×10^{-1}
0.07	4.56×10^{-1}	4.62×10^{-1}	4.66×10^{-1}	4.67×10^{-1}	4.64×10^{-1}	4.52×10^{-1}	4.34×10^{-1}	2.95×10^{-1}
0.08	4.81×10^{-1}	4.87×10^{-1}	4.91×10^{-1}	4.90×10^{-1}	4.88×10^{-1}	4.78×10^{-1}	4.60×10^{-1}	3.15×10^{-1}
0.1	5.59×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.72×10^{-1}	5.71×10^{-1}	5.65×10^{-1}	5.59×10^{-1}	5.41×10^{-1}	3.77×10^{-1}
0.12	6.64×10^{-1}	6.67×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.74×10^{-1}	6.72×10^{-1}	6.66×10^{-1}	6.44×10^{-1}	4.52×10^{-1}
0.15	8.35×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.46×10^{-1}	8.50×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.19×10^{-1}	5.81×10^{-1}
0.2	1.13	1.14	1.15	1.17	1.15	1.15	1.13	8.17×10^{-1}
0.24	1.38	1.39	1.40	1.41	1.39	1.38	1.37	1.00
0.3	1.74	1.74	1.76	1.79	1.75	1.75	1.73	1.29
0.4	2.30	2.34	2.34	2.37	2.34	2.32	2.29	1.75
0.5	2.82	2.85	2.88	2.93	2.90	2.84	2.85	2.21
0.511	2.88	2.90	2.94	2.99	2.96	2.90	2.91	2.25
0.6	3.33	3.35	3.39	3.45	3.42	3.35	3.36	2.64
0.662	3.63	3.65	3.69	3.77	3.72	3.65	3.65	2.91
0.8	4.24	4.28	4.30	4.39	4.38	4.28	4.29	3.46
1	5.08	5.10	5.15	5.25	5.23	5.13	5.12	4.21
1.117	5.54	5.57	5.63	5.69	5.68	5.55	5.56	4.63
1.2	5.83	5.91	5.94	5.99	5.96	5.89	5.88	4.92
1.3	6.20	6.21	6.27	6.37	6.36	6.22	6.25	5.24
1.33	6.29	6.31	6.37	6.46	6.44	6.34	6.34	5.36
1.5	6.88	6.90	6.92	7.04	7.05	6.86	6.90	5.86
1.7	7.49	7.53	7.58	7.67	7.65	7.49	7.54	6.48
2	8.39	8.39	8.44	8.56	8.53	8.41	8.37	7.25
2.4	9.44	9.49	9.50	9.63	9.64	9.48	9.53	8.33
3	1.10×10^1	1.10×10^1	1.10×10^1	1.11×10^1	1.11×10^1	1.10×10^1	1.09×10^1	9.77
4	1.32×10^1	1.32×10^1	1.33×10^1	1.33×10^1	1.33×10^1	1.32×10^1	1.32×10^1	1.19×10^1
5	1.53×10^1	1.53×10^1	1.54×10^1	1.54×10^1	1.55×10^1	1.53×10^1	1.53×10^1	1.39×10^1
6	1.74×10^1	1.74×10^1	1.74×10^1	1.75×10^1	1.75×10^1	1.74×10^1	1.74×10^1	1.59×10^1
6.129	1.76×10^1	1.77×10^1	1.77×10^1	1.78×10^1	1.78×10^1	1.76×10^1	1.76×10^1	1.61×10^1
8	2.15×10^1	2.14×10^1	2.15×10^1	2.15×10^1	2.15×10^1	2.14×10^1	2.13×10^1	1.94×10^1
10	2.54×10^1	2.54×10^1	2.55×10^1	2.54×10^1	2.54×10^1	2.53×10^1	2.54×10^1	2.35×10^1
15	3.57×10^1	3.58×10^1	3.56×10^1	3.56×10^1	3.57×10^1	3.55×10^1	3.56×10^1	3.28×10^1
20	4.63×10^1	4.66×10^1	4.65×10^1	4.66×10^1	4.64×10^1	4.63×10^1	4.62×10^1	4.30×10^1
30	6.92×10^1	6.91×10^1	6.93×10^1	6.91×10^1	6.94×10^1	6.91×10^1	6.86×10^1	6.39×10^1
40	9.30×10^1	9.35×10^1	9.33×10^1	9.28×10^1	9.32×10^1	9.32×10^1	9.23×10^1	8.63×10^1
50	1.18×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.18×10^2	1.18×10^2	1.18×10^2	1.18×10^2	1.09×10^2

表 A.5.3b 左右两侧照射时, 从光子空气比释动能到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)(Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	2.75×10^{-7}	5.10×10^{-7}	1.06×10^{-6}	1.05×10^{-6}	3.92×10^{-7}	5.20×10^{-8}	2.87×10^{-9}	2.18×10^{-7}
0.006	9.46×10^{-5}	1.10×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.30×10^{-4}	6.88×10^{-5}	1.80×10^{-5}	2.03×10^{-6}	3.96×10^{-5}
0.007	2.24×10^{-3}	2.29×10^{-3}	2.36×10^{-3}	2.06×10^{-3}	1.31×10^{-3}	5.13×10^{-4}	9.28×10^{-5}	7.45×10^{-4}
0.008	1.47×10^{-2}	1.46×10^{-2}	1.39×10^{-2}	1.19×10^{-2}	8.29×10^{-3}	4.00×10^{-3}	1.15×10^{-3}	4.62×10^{-3}
0.009	4.87×10^{-2}	4.77×10^{-2}	4.47×10^{-2}	3.86×10^{-2}	2.89×10^{-2}	1.64×10^{-2}	5.95×10^{-3}	1.56×10^{-2}
0.01	1.08×10^{-1}	1.05×10^{-1}	9.87×10^{-2}	8.71×10^{-2}	6.87×10^{-2}	4.35×10^{-2}	1.88×10^{-2}	3.56×10^{-2}
0.011	1.86×10^{-1}	1.83×10^{-1}	1.73×10^{-1}	1.55×10^{-1}	1.28×10^{-1}	8.87×10^{-2}	4.47×10^{-2}	6.41×10^{-2}
0.013	3.63×10^{-1}	3.58×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.19×10^{-1}	2.81×10^{-1}	2.20×10^{-1}	1.37×10^{-1}	1.36×10^{-1}
0.015	5.27×10^{-1}	5.21×10^{-1}	5.06×10^{-1}	4.81×10^{-1}	4.41×10^{-1}	3.72×10^{-1}	2.65×10^{-1}	2.11×10^{-1}
0.017	6.62×10^{-1}	6.57×10^{-1}	6.43×10^{-1}	6.21×10^{-1}	5.82×10^{-1}	5.13×10^{-1}	4.01×10^{-1}	2.82×10^{-1}
0.02	8.20×10^{-1}	8.17×10^{-1}	8.05×10^{-1}	7.84×10^{-1}	7.54×10^{-1}	6.92×10^{-1}	5.83×10^{-1}	3.73×10^{-1}
0.024	9.67×10^{-1}	9.70×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.50×10^{-1}	9.24×10^{-1}	8.69×10^{-1}	7.72×10^{-1}	4.75×10^{-1}
0.03	1.15	1.16	1.16	1.15	1.12	1.08	9.94×10^{-1}	6.11×10^{-1}
0.04	1.37	1.39	1.39	1.39	1.38	1.33	1.25	7.92×10^{-1}
0.05	1.51	1.52	1.54	1.54	1.53	1.48	1.40	9.21×10^{-1}
0.06	1.57	1.58	1.61	1.61	1.60	1.54	1.48	9.89×10^{-1}
0.07	1.58	1.61	1.62	1.62	1.61	1.57	1.51	1.03
0.08	1.57	1.59	1.60	1.60	1.59	1.56	1.50	1.03
0.1	1.51	1.51	1.54	1.54	1.52	1.50	1.46	1.01
0.12	1.44	1.45	1.46	1.46	1.46	1.45	1.40	9.82×10^{-1}
0.15	1.39	1.40	1.41	1.42	1.41	1.40	1.37	9.69×10^{-1}
0.2	1.32	1.33	1.35	1.36	1.34	1.34	1.31	9.54×10^{-1}
0.24	1.30	1.31	1.31	1.33	1.31	1.30	1.29	9.41×10^{-1}
0.3	1.26	1.26	1.27	1.29	1.27	1.26	1.25	9.34×10^{-1}
0.4	1.22	1.23	1.24	1.25	1.24	1.23	1.21	9.27×10^{-1}
0.5	1.19	1.20	1.21	1.23	1.22	1.19	1.20	9.29×10^{-1}
0.511	1.19	1.19	1.21	1.23	1.22	1.19	1.20	9.27×10^{-1}
0.6	1.17	1.18	1.19	1.21	1.20	1.18	1.18	9.29×10^{-1}
0.662	1.17	1.17	1.19	1.21	1.20	1.17	1.17	9.35×10^{-1}
0.8	1.15	1.16	1.16	1.19	1.18	1.16	1.16	9.35×10^{-1}
1	1.13	1.14	1.15	1.17	1.17	1.14	1.14	9.39×10^{-1}
1.117	1.13	1.14	1.15	1.16	1.16	1.14	1.14	9.47×10^{-1}
1.2	1.13	1.14	1.15	1.16	1.15	1.14	1.14	9.52×10^{-1}
1.3	1.13	1.13	1.14	1.16	1.16	1.13	1.14	9.53×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							ROT
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	
1.33	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.13	1.13	9.57×10^{-1}
1.5	1.12	1.12	1.13	1.15	1.15	1.12	1.12	9.54×10^{-1}
1.7	1.11	1.12	1.13	1.14	1.14	1.11	1.12	9.63×10^{-1}
2	1.11	1.11	1.12	1.13	1.13	1.11	1.11	9.60×10^{-1}
2.4	1.10	1.11	1.11	1.12	1.13	1.11	1.11	9.73×10^{-1}
3	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.10	1.09	9.79×10^{-1}
4	1.09	1.09	1.10	1.10	1.10	1.08	1.08	9.77×10^{-1}
5	1.08	1.08	1.08	1.09	1.09	1.08	1.08	9.80×10^{-1}
6	1.07	1.08	1.08	1.08	1.08	1.07	1.08	9.80×10^{-1}
6.129	1.07	1.08	1.07	1.08	1.08	1.07	1.07	9.79×10^{-1}
8	1.07	1.06	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06	9.66×10^{-1}
10	1.05	1.05	1.06	1.05	1.05	1.05	1.05	9.73×10^{-1}
15	1.04	1.04	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	9.52×10^{-1}
20	1.02	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	9.48×10^{-1}
30	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	9.32×10^{-1}
40	9.97×10^{-1}	1.00	1.00	9.94×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.99×10^{-1}	9.89×10^{-1}	9.26×10^{-1}
50	9.92×10^{-1}	9.99×10^{-1}	9.96×10^{-1}	9.93×10^{-1}	9.88×10^{-1}	9.91×10^{-1}	9.88×10^{-1}	9.18×10^{-1}

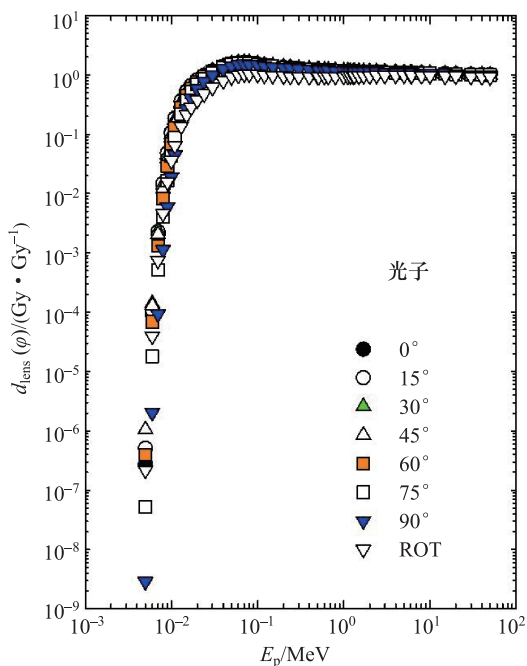


图 A.5.3b 左右两侧照射时，从光子空气比释动能到眼晶状体最大吸收剂量的转换系数（比释动能近似法计算结果）（Behrens, 2017 年 a）

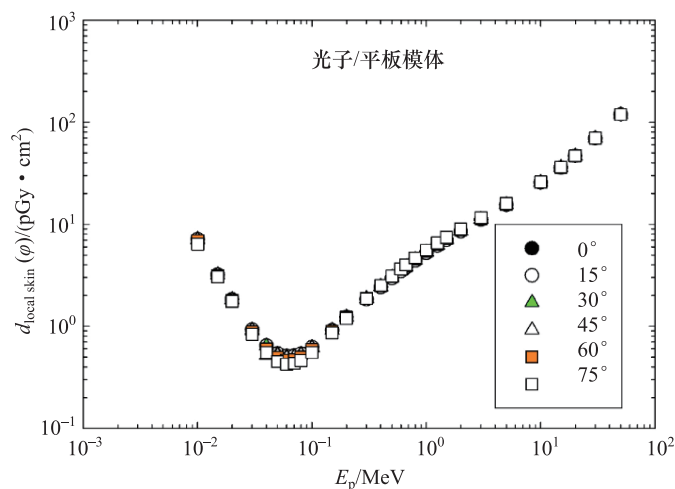


图 A.5.4.1a 平板模体上从光子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

表 A.5.4.1a 平板模体上从光子注量到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.01	7.16	7.15	7.13	7.04	6.89	6.38
0.015	3.20	3.19	3.19	3.17	3.14	3.05
0.02	1.84	1.83	1.83	1.82	1.80	1.75
0.03	9.28×10^{-1}	9.26×10^{-1}	9.21×10^{-1}	9.08×10^{-1}	8.83×10^{-1}	8.34×10^{-1}
0.04	6.47×10^{-1}	6.45×10^{-1}	6.40×10^{-1}	6.26×10^{-1}	6.01×10^{-1}	5.52×10^{-1}
0.05	5.43×10^{-1}	5.40×10^{-1}	5.35×10^{-1}	5.21×10^{-1}	4.97×10^{-1}	4.52×10^{-1}
0.06	5.10×10^{-1}	5.08×10^{-1}	5.02×10^{-1}	4.90×10^{-1}	4.67×10^{-1}	4.24×10^{-1}
0.07	5.15×10^{-1}	5.12×10^{-1}	5.07×10^{-1}	4.95×10^{-1}	4.72×10^{-1}	4.33×10^{-1}
0.08	5.40×10^{-1}	5.38×10^{-1}	5.33×10^{-1}	5.22×10^{-1}	5.01×10^{-1}	4.62×10^{-1}
0.1	6.25×10^{-1}	6.24×10^{-1}	6.21×10^{-1}	6.11×10^{-1}	5.92×10^{-1}	5.54×10^{-1}
0.15	9.14×10^{-1}	9.13×10^{-1}	9.15×10^{-1}	9.09×10^{-1}	8.97×10^{-1}	8.61×10^{-1}
0.2	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.20
0.3	1.84	1.84	1.86	1.87	1.89	1.87
0.4	2.42	2.42	2.44	2.46	2.50	2.51
0.5	2.96	2.96	2.99	3.02	3.07	3.11
0.6	3.47	3.47	3.50	3.54	3.61	3.66
0.662	3.77	3.78	3.81	3.84	3.92	4.00
0.8	4.40	4.41	4.44	4.49	4.58	4.69

^① J. Daures, J. Gouriou, and J. M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1	5.24	5.25	5.29	5.34	5.45	5.58
1.25	6.18	6.19	6.23	6.28	6.40	6.57
1.5	7.03	7.03	7.08	7.13	7.26	7.46
2	8.55	8.54	8.59	8.64	8.79	9.01
3	1.11×10^1	1.11×10^1	1.12×10^1	1.12×10^1	1.13×10^1	1.16×10^1
5	1.55×10^1	1.55×10^1	1.56×10^1	1.56×10^1	1.57×10^1	1.60×10^1
10	2.57×10^1	2.57×10^1	2.57×10^1	2.57×10^1	2.58×10^1	2.60×10^1
15	3.60×10^1	3.59×10^1	3.60×10^1	3.60×10^1	3.61×10^1	3.62×10^1
20	4.67×10^1	4.67×10^1	4.68×10^1	4.67×10^1	4.69×10^1	4.70×10^1
30	6.96×10^1	6.95×10^1	6.97×10^1	6.96×10^1	6.97×10^1	6.97×10^1
50	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2

表 A.5.4.1b 平板模体上从光子空气比释动能到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
0.01	9.68×10^{-1}	9.66×10^{-1}	9.64×10^{-1}	9.51×10^{-1}	9.31×10^{-1}	8.62×10^{-1}
0.015	1.02	1.02	1.02	1.01	1.00	9.76×10^{-1}
0.02	1.09	1.09	1.09	1.08	1.07	1.04
0.03	1.29	1.28	1.28	1.26	1.22	1.16
0.04	1.51	1.50	1.49	1.46	1.40	1.29
0.05	1.68	1.67	1.66	1.61	1.54	1.40
0.06	1.77	1.76	1.74	1.70	1.62	1.47
0.07	1.79	1.78	1.76	1.72	1.64	1.50
0.08	1.76	1.75	1.74	1.70	1.63	1.51
0.1	1.68	1.68	1.67	1.65	1.59	1.49
0.15	1.52	1.52	1.53	1.52	1.50	1.44
0.2	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.40
0.3	1.33	1.33	1.34	1.35	1.37	1.35
0.4	1.28	1.28	1.29	1.30	1.32	1.33
0.5	1.24	1.24	1.26	1.27	1.29	1.31
0.6	1.22	1.22	1.23	1.24	1.27	1.29
0.662	1.21	1.21	1.22	1.23	1.26	1.29
0.8	1.19	1.19	1.20	1.21	1.24	1.27
1	1.17	1.17	1.18	1.19	1.22	1.25
1.25	1.16	1.16	1.17	1.18	1.20	1.23

^① J. Daures, J. Gouriou, and J. M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$					
	0°	15°	30°	45°	60°	75°
1.5	1.14	1.14	1.15	1.16	1.18	1.21
2	1.13	1.13	1.14	1.14	1.16	1.19
3	1.11	1.11	1.12	1.12	1.13	1.16
5	1.09	1.09	1.10	1.10	1.11	1.13
10	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.08
15	1.04	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05
20	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.04
30	1.01	1.01	1.02	1.01	1.02	1.02
50	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}

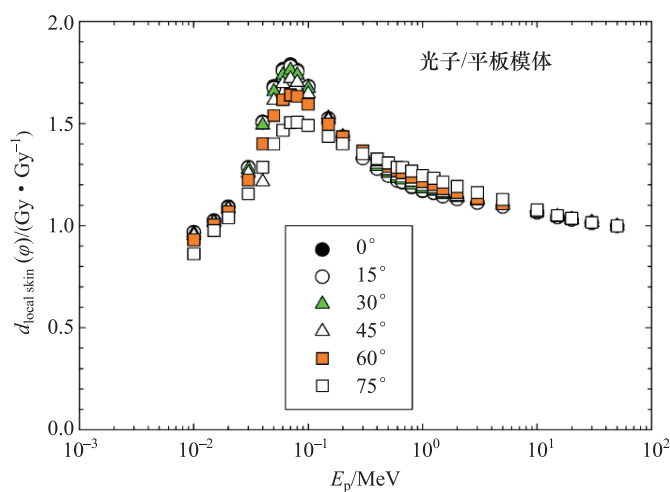


图 A.5.4.1b 平板模体上从光子空气比释动能到局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

表 A.5.4.2a 柱状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^②

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{p local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	2.95	2.58	1.67	6.77×10^{-1}	1.09×10^{-1}	2.16×10^{-3}	2.33×10^{-5}
0.003	2.08×10^1	1.99×10^1	1.69×10^1	1.20×10^1	5.71	8.70×10^{-1}	2.59×10^{-3}
0.004	2.62×10^1	2.57×10^1	2.39×10^1	2.04×10^1	1.43×10^1	5.19	9.66×10^{-2}
0.005	2.26×10^1	2.24×10^1	2.16×10^1	1.98×10^1	1.64×10^1	9.14	5.54×10^{-1}
0.007	1.40×10^1	1.39×10^1	1.38×10^1	1.34×10^1	1.24×10^1	9.83	1.84
0.01	7.23	7.20	7.20	7.12	6.93	6.37	2.44

① J. Daures, J. Gouriou, and J. M. Bordy (2017). *Personal communication* (Laboratoire National Henri Becquerel, Gif-sur-Yvette, Cedex France).

② T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.015	3.22	3.23	3.22	3.19	3.17	3.09	1.99
0.02	1.84	1.85	1.84	1.84	1.82	1.78	1.41
0.03	9.07×10^{-1}	9.04×10^{-1}	8.99×10^{-1}	8.93×10^{-1}	8.79×10^{-1}	8.67×10^{-1}	7.70×10^{-1}
0.05	4.64×10^{-1}	4.71×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.68×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.28×10^{-1}
0.07	4.22×10^{-1}	4.18×10^{-1}	4.19×10^{-1}	4.12×10^{-1}	4.13×10^{-1}	4.13×10^{-1}	3.89×10^{-1}
0.1	5.19×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.18×10^{-1}	5.14×10^{-1}	5.07×10^{-1}	5.12×10^{-1}	4.89×10^{-1}
0.15	7.87×10^{-1}	7.87×10^{-1}	7.86×10^{-1}	7.89×10^{-1}	7.89×10^{-1}	7.95×10^{-1}	7.69×10^{-1}
0.2	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.11	1.07
0.3	1.68	1.67	1.67	1.68	1.70	1.72	1.69
0.5	2.78	2.78	2.77	2.80	2.82	2.85	2.85
0.662	3.62	3.57	3.55	3.61	3.66	3.65	3.66
0.7	3.77	3.77	3.75	3.78	3.85	3.83	3.85
1	5.13	5.03	5.02	5.06	5.15	5.21	5.20
1.25	6.00	5.99	5.97	6.00	6.07	6.18	6.14
1.5	6.96	6.86	6.83	6.92	6.97	6.98	6.94
2	8.38	8.30	8.31	8.24	8.36	8.79	8.34
3	1.10×10^1	1.11×10^1	1.11×10^1	1.09×10^1	1.12×10^1	1.12×10^1	1.08×10^1
5	1.58×10^1	1.53×10^1	1.51×10^1	1.54×10^1	1.56×10^1	1.50×10^1	1.55×10^1
7	1.96×10^1	1.94×10^1	1.95×10^1	1.96×10^1	1.95×10^1	1.93×10^1	1.94×10^1
10	2.56×10^1	2.56×10^1	2.58×10^1	2.55×10^1	2.51×10^1	2.52×10^1	2.54×10^1
15	3.71×10^1	3.55×10^1	3.53×10^1	3.65×10^1	3.61×10^1	3.65×10^1	3.61×10^1
20	4.85×10^1	4.53×10^1	4.67×10^1	4.73×10^1	4.64×10^1	4.71×10^1	4.71×10^1
30	7.16×10^1	6.92×10^1	6.95×10^1	7.08×10^1	6.98×10^1	6.95×10^1	6.91×10^1
50	1.20×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.22×10^2	1.20×10^2	1.19×10^2	1.20×10^2
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.43×10^{-1}
0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.48
0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.56
0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.44
0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.01
0.01	4.60×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.41
0.015	1.94×10^{-1}	1.17×10^{-2}	8.12×10^{-4}	1.39×10^{-4}	2.81×10^{-5}	3.28×10^{-5}	1.64
0.02	4.40×10^{-1}	1.17×10^{-1}	3.79×10^{-2}	1.71×10^{-2}	1.02×10^{-2}	7.85×10^{-3}	1.01
0.03	4.61×10^{-1}	2.68×10^{-1}	1.67×10^{-1}	1.25×10^{-1}	1.02×10^{-1}	9.23×10^{-2}	5.70×10^{-1}
0.05	3.23×10^{-1}	2.35×10^{-1}	1.85×10^{-1}	1.49×10^{-1}	1.35×10^{-1}	1.41×10^{-1}	3.39×10^{-1}
0.07	3.11×10^{-1}	2.39×10^{-1}	1.96×10^{-1}	1.70×10^{-1}	1.52×10^{-1}	1.52×10^{-1}	3.18×10^{-1}
0.1	4.01×10^{-1}	3.20×10^{-1}	2.63×10^{-1}	2.35×10^{-1}	2.13×10^{-1}	2.12×10^{-1}	4.04×10^{-1}
0.15	6.47×10^{-1}	5.27×10^{-1}	4.51×10^{-1}	3.94×10^{-1}	3.67×10^{-1}	3.53×10^{-1}	6.39×10^{-1}
0.2	9.14×10^{-1}	7.48×10^{-1}	6.49×10^{-1}	5.83×10^{-1}	5.41×10^{-1}	5.37×10^{-1}	8.98×10^{-1}
0.3	1.46	1.26	1.12	9.94×10^{-1}	9.48×10^{-1}	9.45×10^{-1}	1.43
0.5	2.54	2.23	2.00	1.88	1.81	1.74	2.47
0.662	3.33	2.93	2.68	2.52	2.45	2.35	3.22
0.7	3.49	3.11	2.84	2.67	2.56	2.51	3.39
1	4.72	4.38	3.93	3.79	3.74	3.67	4.64
1.25	5.65	5.29	4.93	4.71	4.50	4.45	5.56
1.5	6.53	6.07	5.71	5.58	5.36	5.41	6.41
2	8.09	7.43	7.14	6.83	6.80	6.66	7.85

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						ROT
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
3	1.07×10^1	1.02×10^1	9.51	9.51	9.05	9.23	1.04×10^1
5	1.52×10^1	1.46×10^1	1.38×10^1	1.34×10^1	1.34×10^1	1.34×10^1	1.48×10^1
7	1.87×10^1	1.81×10^1	1.74×10^1	1.79×10^1	1.70×10^1	1.71×10^1	1.87×10^1
10	2.47×10^1	2.44×10^1	2.38×10^1	2.28×10^1	2.29×10^1	2.27×10^1	2.46×10^1
15	3.49×10^1	3.42×10^1	3.32×10^1	3.15×10^1	3.27×10^1	3.18×10^1	3.48×10^1
20	4.54×10^1	4.47×10^1	4.28×10^1	4.26×10^1	4.15×10^1	4.19×10^1	4.51×10^1
30	6.64×10^1	6.49×10^1	6.50×10^1	6.40×10^1	6.41×10^1	6.14×10^1	6.73×10^1
50	1.14×10^2	1.12×10^2	1.10×10^2	1.06×10^2	1.03×10^2	1.03×10^2	1.15×10^2

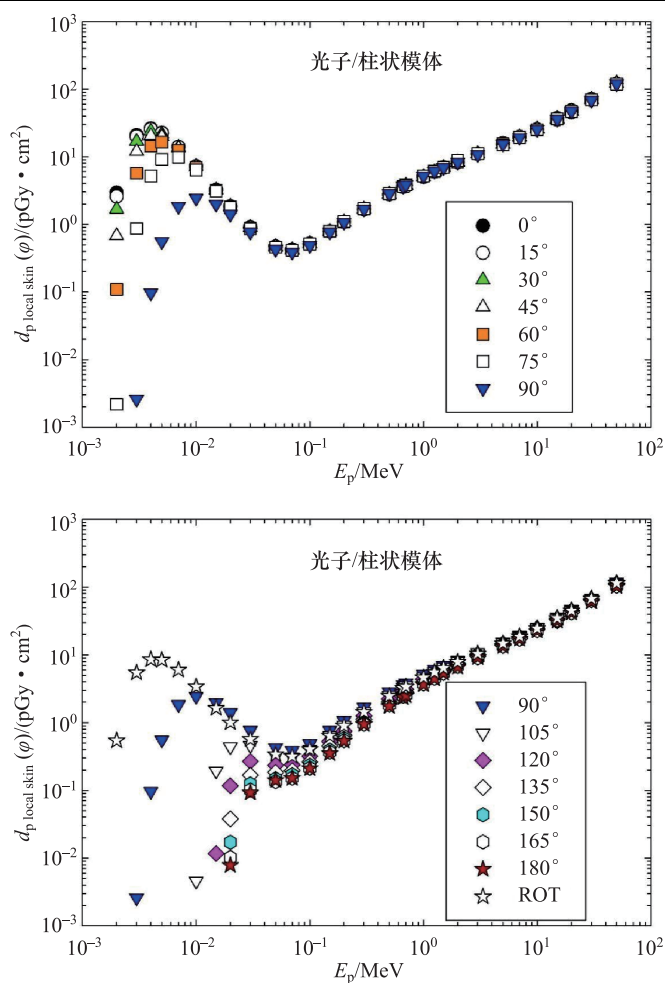


图 A.5.4.2a 柱状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

表 A.5.4.2b 柱状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\phi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	1.80×10^{-2}	1.58×10^{-2}	1.02×10^{-2}	4.13×10^{-3}	6.67×10^{-4}	1.32×10^{-5}	1.42×10^{-7}
0.003	2.77×10^{-1}	2.64×10^{-1}	2.25×10^{-1}	1.59×10^{-1}	7.58×10^{-2}	1.15×10^{-2}	3.44×10^{-5}
0.004	5.51×10^{-1}	5.39×10^{-1}	5.01×10^{-1}	4.28×10^{-1}	3.01×10^{-1}	1.09×10^{-1}	2.03×10^{-3}
0.005	7.39×10^{-1}	7.31×10^{-1}	7.04×10^{-1}	6.47×10^{-1}	5.37×10^{-1}	2.98×10^{-1}	1.81×10^{-2}
0.007	9.02×10^{-1}	8.99×10^{-1}	8.88×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.02×10^{-1}	6.34×10^{-1}	1.19×10^{-1}
0.01	9.76×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.62×10^{-1}	9.37×10^{-1}	8.61×10^{-1}	3.30×10^{-1}
0.015	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	9.90×10^{-1}	6.36×10^{-1}
0.02	1.09	1.10	1.09	1.09	1.08	1.06	8.37×10^{-1}
0.03	1.26	1.25	1.25	1.24	1.22	1.20	1.07
0.05	1.44	1.46	1.42	1.45	1.42	1.42	1.32
0.07	1.47	1.45	1.45	1.43	1.43	1.44	1.35
0.1	1.40	1.38	1.40	1.38	1.37	1.38	1.32
0.15	1.31	1.31	1.31	1.32	1.32	1.33	1.28
0.2	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27	1.29	1.25
0.3	1.21	1.21	1.21	1.21	1.23	1.24	1.22
0.5	1.17	1.17	1.16	1.18	1.19	1.20	1.20
0.662	1.16	1.15	1.14	1.16	1.17	1.17	1.18
0.7	1.15	1.15	1.15	1.16	1.18	1.17	1.18
1	1.14	1.12	1.12	1.13	1.15	1.16	1.16
1.25	1.13	1.12	1.12	1.13	1.14	1.16	1.15
1.5	1.13	1.12	1.11	1.13	1.13	1.14	1.13
2	1.11	1.10	1.10	1.09	1.11	1.16	1.10
3	1.10	1.11	1.11	1.10	1.12	1.12	1.08
5	1.12	1.08	1.07	1.09	1.10	1.06	1.09
7	1.08	1.06	1.07	1.08	1.07	1.06	1.07
10	1.06	1.06	1.07	1.06	1.04	1.04	1.05
15	1.08	1.03	1.03	1.06	1.05	1.06	1.05
20	1.07	9.99×10^{-1}	1.03	1.04	1.02	1.04	1.04
30	1.04	1.01	1.01	1.03	1.02	1.01	1.01
50	1.01	1.00	9.98×10^{-1}	1.03	1.00	9.95×10^{-1}	1.01
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.32×10^{-3}
0.003	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.28×10^{-2}
0.004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80×10^{-1}
0.005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.75×10^{-1}
0.007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.88×10^{-1}
0.01	6.21×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.60×10^{-1}
0.015	6.21×10^{-2}	3.75×10^{-3}	2.60×10^{-4}	4.45×10^{-5}	8.99×10^{-6}	1.05×10^{-5}	5.25×10^{-1}

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p \text{ local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						ROT
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
0.02	2.61×10^{-1}	6.97×10^{-2}	2.25×10^{-2}	1.02×10^{-2}	6.08×10^{-3}	4.66×10^{-3}	5.97×10^{-1}
0.03	6.39×10^{-1}	3.71×10^{-1}	2.32×10^{-1}	1.73×10^{-1}	1.41×10^{-1}	1.28×10^{-1}	7.89×10^{-1}
0.05	1.00	7.27×10^{-1}	5.73×10^{-1}	4.60×10^{-1}	4.19×10^{-1}	4.37×10^{-1}	1.05
0.07	1.08	8.31×10^{-1}	6.82×10^{-1}	5.92×10^{-1}	5.28×10^{-1}	5.28×10^{-1}	1.11
0.1	1.08	8.63×10^{-1}	7.07×10^{-1}	6.32×10^{-1}	5.73×10^{-1}	5.71×10^{-1}	1.09
0.15	1.08	8.80×10^{-1}	7.53×10^{-1}	6.57×10^{-1}	6.12×10^{-1}	5.89×10^{-1}	1.07
0.2	1.07	8.73×10^{-1}	7.58×10^{-1}	6.81×10^{-1}	6.32×10^{-1}	6.27×10^{-1}	1.05
0.3	1.05	9.11×10^{-1}	8.11×10^{-1}	7.19×10^{-1}	6.86×10^{-1}	6.83×10^{-1}	1.04
0.5	1.07	9.38×10^{-1}	8.42×10^{-1}	7.89×10^{-1}	7.63×10^{-1}	7.33×10^{-1}	1.04
0.662	1.07	9.41×10^{-1}	8.62×10^{-1}	8.09×10^{-1}	7.89×10^{-1}	7.55×10^{-1}	1.03
0.7	1.07	9.49×10^{-1}	8.68×10^{-1}	8.16×10^{-1}	7.83×10^{-1}	7.67×10^{-1}	1.03
1	1.05	9.78×10^{-1}	8.78×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.35×10^{-1}	8.18×10^{-1}	1.03
1.25	1.06	9.92×10^{-1}	9.25×10^{-1}	8.83×10^{-1}	8.44×10^{-1}	8.35×10^{-1}	1.04
1.5	1.06	9.87×10^{-1}	9.29×10^{-1}	9.08×10^{-1}	8.72×10^{-1}	8.80×10^{-1}	1.04
2	1.07	9.83×10^{-1}	9.45×10^{-1}	9.03×10^{-1}	8.99×10^{-1}	8.81×10^{-1}	1.04
3	1.07	1.02	9.53×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.07×10^{-1}	9.25×10^{-1}	1.05
5	1.07	1.03	9.76×10^{-1}	9.48×10^{-1}	9.46×10^{-1}	9.46×10^{-1}	1.04
7	1.03	9.96×10^{-1}	9.57×10^{-1}	9.81×10^{-1}	9.33×10^{-1}	9.42×10^{-1}	1.03
10	1.02	1.01	9.85×10^{-1}	9.46×10^{-1}	9.47×10^{-1}	9.41×10^{-1}	1.02
15	1.01	9.94×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.13×10^{-1}	9.50×10^{-1}	9.24×10^{-1}	1.01
20	1.00	9.85×10^{-1}	9.44×10^{-1}	9.40×10^{-1}	9.15×10^{-1}	9.23×10^{-1}	9.95×10^{-1}
30	9.68×10^{-1}	9.46×10^{-1}	9.48×10^{-1}	9.33×10^{-1}	9.34×10^{-1}	8.95×10^{-1}	9.82×10^{-1}
50	9.58×10^{-1}	9.43×10^{-1}	9.19×10^{-1}	8.86×10^{-1}	8.65×10^{-1}	8.65×10^{-1}	9.62×10^{-1}

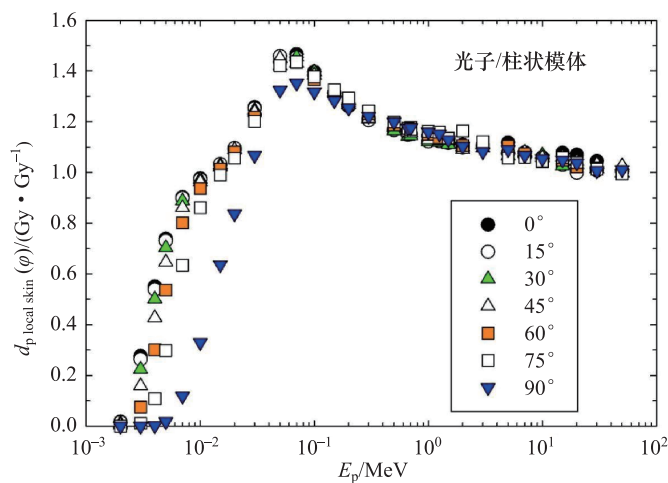


图 A.5.4.2b 柱状模体上从光子空气比动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

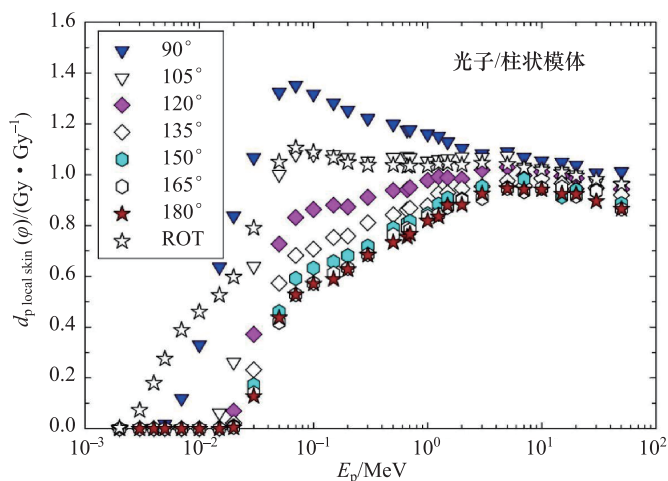


图 A.5.4.2b 柱状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (续)

表 A.5.4.3a 棒状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	2.54	2.28	1.63	9.08×10^{-1}	3.63×10^{-1}	8.56×10^{-2}	0.00
0.003	1.97×10^1	1.87×10^1	1.58×10^1	1.14×10^1	6.66	2.91	7.39×10^{-1}
0.004	2.56×10^1	2.49×10^1	2.29×10^1	1.90×10^1	1.32×10^1	7.35	2.84
0.005	2.24×10^1	2.21×10^1	2.10×10^1	1.88×10^1	1.45×10^1	9.19	4.36
0.007	1.39×10^1	1.39×10^1	1.36×10^1	1.30×10^1	1.14×10^1	8.19	4.71
0.01	7.21	7.20	7.15	7.04	6.64	5.39	3.62
0.015	3.21	3.21	3.20	3.18	3.12	2.84	2.30
0.02	1.81	1.81	1.80	1.79	1.77	1.69	1.50
0.03	8.16×10^{-1}	8.15×10^{-1}	8.13×10^{-1}	8.10×10^{-1}	8.04×10^{-1}	7.84×10^{-1}	7.42×10^{-1}
0.05	3.79×10^{-1}	3.80×10^{-1}	3.80×10^{-1}	3.81×10^{-1}	3.80×10^{-1}	3.74×10^{-1}	3.59×10^{-1}
0.06	3.42×10^{-1}	3.42×10^{-1}	3.42×10^{-1}	3.41×10^{-1}	3.40×10^{-1}	3.36×10^{-1}	3.25×10^{-1}
0.07	3.46×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.43×10^{-1}	3.42×10^{-1}	3.40×10^{-1}	3.37×10^{-1}	3.28×10^{-1}
0.1	4.43×10^{-1}	4.43×10^{-1}	4.43×10^{-1}	4.43×10^{-1}	4.42×10^{-1}	4.38×10^{-1}	4.26×10^{-1}
0.15	6.98×10^{-1}	6.98×10^{-1}	6.98×10^{-1}	6.99×10^{-1}	7.00×10^{-1}	6.98×10^{-1}	6.86×10^{-1}
0.2	9.90×10^{-1}	9.87×10^{-1}	9.87×10^{-1}	9.87×10^{-1}	9.88×10^{-1}	9.87×10^{-1}	9.71×10^{-1}
0.5	2.67	2.67	2.67	2.67	2.68	2.68	2.65
0.662	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.49	3.46

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	4.98	4.97	4.97	4.98	4.98	4.98	4.95
1.25	5.93	5.93	5.94	5.95	5.96	5.95	5.92
1.5	6.78	6.79	6.79	6.80	6.81	6.80	6.77
2	8.31	8.32	8.32	8.32	8.34	8.33	8.30
3	1.09×10^1	1.09×10^1	1.09×10^1	1.09×10^1	1.10×10^1	1.09×10^1	1.09×10^1
5	1.53×10^1	1.54×10^1	1.54×10^1	1.54×10^1	1.54×10^1	1.53×10^1	1.53×10^1
10	2.56×10^1	2.56×10^1	2.55×10^1	2.55×10^1	2.55×10^1	2.55×10^1	2.54×10^1
20	4.68×10^1	4.68×10^1	4.68×10^1	4.66×10^1	4.65×10^1	4.65×10^1	4.65×10^1
30	6.91×10^1	6.92×10^1	6.91×10^1	6.91×10^1	6.91×10^1	6.90×10^1	6.87×10^1
50	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.18×10^2
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.45×10^{-1}
0.003	4.70×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.51
0.004	4.54×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.62
0.005	1.09	1.93×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	8.52
0.007	1.77	1.72×10^{-1}	0.00	0.00	0.00	0.00	6.14
0.01	1.83	4.98×10^{-1}	5.45×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	3.59
0.015	1.61	9.40×10^{-1}	5.00×10^{-1}	2.93×10^{-1}	2.05×10^{-1}	1.80×10^{-1}	1.92
0.02	1.24	9.51×10^{-1}	7.19×10^{-1}	5.79×10^{-1}	5.05×10^{-1}	4.81×10^{-1}	1.29
0.03	6.77×10^{-1}	6.02×10^{-1}	5.35×10^{-1}	4.87×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.50×10^{-1}	6.80×10^{-1}
0.05	3.38×10^{-1}	3.14×10^{-1}	2.93×10^{-1}	2.78×10^{-1}	2.70×10^{-1}	2.67×10^{-1}	3.39×10^{-1}
0.06	3.09×10^{-1}	2.90×10^{-1}	2.72×10^{-1}	2.60×10^{-1}	2.52×10^{-1}	2.50×10^{-1}	3.09×10^{-1}
0.07	3.14×10^{-1}	2.95×10^{-1}	2.78×10^{-1}	2.65×10^{-1}	2.57×10^{-1}	2.55×10^{-1}	3.12×10^{-1}
0.1	4.09×10^{-1}	3.88×10^{-1}	3.69×10^{-1}	3.54×10^{-1}	3.46×10^{-1}	3.43×10^{-1}	4.08×10^{-1}
0.15	6.66×10^{-1}	6.37×10^{-1}	6.08×10^{-1}	5.86×10^{-1}	5.73×10^{-1}	5.69×10^{-1}	6.57×10^{-1}
0.2	9.43×10^{-1}	9.06×10^{-1}	8.70×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.28×10^{-1}	8.23×10^{-1}	9.34×10^{-1}
0.5	2.60	2.53	2.47	2.42	2.39	2.38	2.58
0.662	3.41	3.33	3.26	3.20	3.17	3.16	3.38
1	4.88	4.80	4.72	4.65	4.59	4.58	4.85
1.25	5.84	5.75	5.66	5.59	5.55	5.54	5.82
1.5	6.70	6.61	6.52	6.44	6.39	6.37	6.67
2	8.23	8.12	8.02	7.95	7.92	7.92	8.19
3	1.08×10^1	1.07×10^1	1.06×10^1	1.05×10^1	1.05×10^1	1.05×10^1	1.08×10^1
5	1.52×10^1	1.51×10^1	1.50×10^1	1.49×10^1	1.48×10^1	1.48×10^1	1.52×10^1
10	2.53×10^1	2.52×10^1	2.50×10^1	2.49×10^1	2.48×10^1	2.47×10^1	2.53×10^1
20	4.64×10^1	4.61×10^1	4.58×10^1	4.56×10^1	4.55×10^1	4.54×10^1	4.63×10^1
30	6.85×10^1	6.80×10^1	6.76×10^1	6.75×10^1	6.74×10^1	6.75×10^1	6.85×10^1
50	1.17×10^2	1.16×10^2	1.16×10^2	1.15×10^2	1.14×10^2	1.15×10^2	1.17×10^2

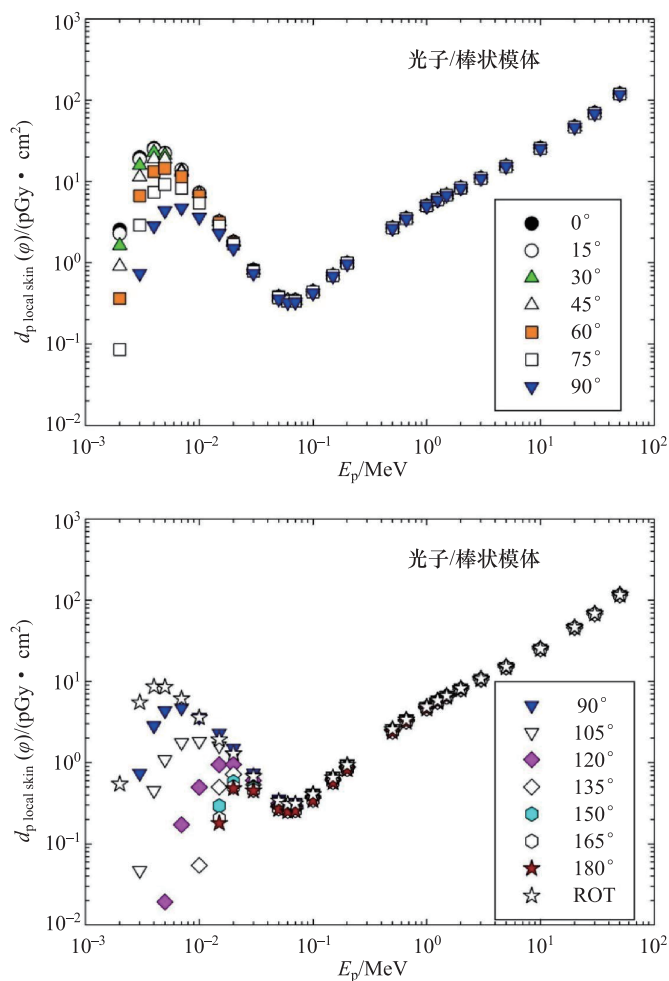


图 A.5.4.3a 棒状模体上从光子注量到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

表 A.5.4.3b 棒状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.002	1.55×10^{-2}	1.39×10^{-2}	9.96×10^{-3}	5.55×10^{-3}	2.22×10^{-3}	5.23×10^{-4}	0.00
0.003	2.62×10^{-1}	2.48×10^{-1}	2.10×10^{-1}	1.51×10^{-1}	8.84×10^{-2}	3.86×10^{-2}	9.81×10^{-3}
0.004	5.38×10^{-1}	5.23×10^{-1}	4.81×10^{-1}	3.99×10^{-1}	2.77×10^{-1}	1.54×10^{-1}	5.96×10^{-2}
0.005	7.31×10^{-1}	7.21×10^{-1}	6.85×10^{-1}	6.13×10^{-1}	4.73×10^{-1}	3.00×10^{-1}	1.42×10^{-1}
0.007	8.97×10^{-1}	8.97×10^{-1}	8.77×10^{-1}	8.39×10^{-1}	7.35×10^{-1}	5.28×10^{-1}	3.04×10^{-1}
0.01	9.74×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.66×10^{-1}	9.51×10^{-1}	8.97×10^{-1}	7.28×10^{-1}	4.89×10^{-1}

① T. Otto (2017). *Personal communication* (CERN, Geneva, Switzerland).

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0.015	1.03	1.03	1.02	1.02	9.98×10^{-1}	9.09×10^{-1}	7.36×10^{-1}
0.02	1.07	1.07	1.07	1.06	1.05	1.00	8.91×10^{-1}
0.03	1.13	1.13	1.13	1.12	1.11	1.09	1.03
0.05	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18	1.16	1.11
0.06	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.16	1.12
0.07	1.20	1.20	1.19	1.19	1.18	1.17	1.14
0.1	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.18	1.15
0.15	1.16	1.16	1.16	1.17	1.17	1.16	1.14
0.2	1.16	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.13
0.5	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.13	1.11
0.662	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.11
1	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.10
1.25	1.11	1.11	1.11	1.12	1.12	1.12	1.11
1.5	1.10	1.10	1.10	1.11	1.11	1.11	1.10
2	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10
3	1.09	1.09	1.09	1.09	1.10	1.09	1.09
5	1.08	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08
10	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05
20	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
30	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
50	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.98×10^{-1}	9.90×10^{-1}
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	ROT
0.002	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.33×10^{-3}
0.003	6.24×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.32×10^{-2}
0.004	9.53×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.81×10^{-1}
0.005	3.56×10^{-2}	6.30×10^{-4}	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78×10^{-1}
0.007	1.14×10^{-1}	1.11×10^{-2}	0.00	0.00	0.00	0.00	3.96×10^{-1}
0.01	2.47×10^{-1}	6.73×10^{-2}	7.36×10^{-3}	0.00	0.00	0.00	4.85×10^{-1}
0.015	5.15×10^{-1}	3.01×10^{-1}	1.60×10^{-1}	9.38×10^{-2}	6.56×10^{-2}	5.76×10^{-2}	6.14×10^{-1}
0.02	7.36×10^{-1}	5.65×10^{-1}	4.27×10^{-1}	3.44×10^{-1}	3.00×10^{-1}	2.86×10^{-1}	7.66×10^{-1}
0.03	9.38×10^{-1}	8.34×10^{-1}	7.41×10^{-1}	6.75×10^{-1}	6.36×10^{-1}	6.24×10^{-1}	9.42×10^{-1}
0.05	1.05	9.72×10^{-1}	9.07×10^{-1}	8.61×10^{-1}	8.36×10^{-1}	8.27×10^{-1}	1.05
0.06	1.07	1.00	9.42×10^{-1}	9.00×10^{-1}	8.72×10^{-1}	8.65×10^{-1}	1.07
0.07	1.09	1.03	9.66×10^{-1}	9.21×10^{-1}	8.93×10^{-1}	8.86×10^{-1}	1.08
0.1	1.10	1.04	9.94×10^{-1}	9.53×10^{-1}	9.32×10^{-1}	9.24×10^{-1}	1.10
0.15	1.11	1.06	1.01	9.78×10^{-1}	9.56×10^{-1}	9.49×10^{-1}	1.10
0.2	1.10	1.06	1.02	9.86×10^{-1}	9.66×10^{-1}	9.61×10^{-1}	1.09
0.5	1.09	1.06	1.04	1.02	1.00	1.00	1.08
0.662	1.10	1.07	1.05	1.03	1.02	1.02	1.09
1	1.09	1.07	1.05	1.04	1.02	1.02	1.08
1.25	1.10	1.08	1.06	1.05	1.04	1.04	1.09
1.5	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.04	1.09

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{p, \text{local skin}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$						ROT
	105°	120°	135°	150°	165°	180°	
2	1.09	1.07	1.06	1.05	1.05	1.05	1.08
3	1.08	1.07	1.06	1.05	1.05	1.05	1.08
5	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04	1.07
10	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.05
20	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.02
30	9.99×10^{-1}	9.91×10^{-1}	9.86×10^{-1}	9.84×10^{-1}	9.83×10^{-1}	9.84×10^{-1}	9.99×10^{-1}
50	9.82×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.73×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.56×10^{-1}	9.65×10^{-1}	9.82×10^{-1}

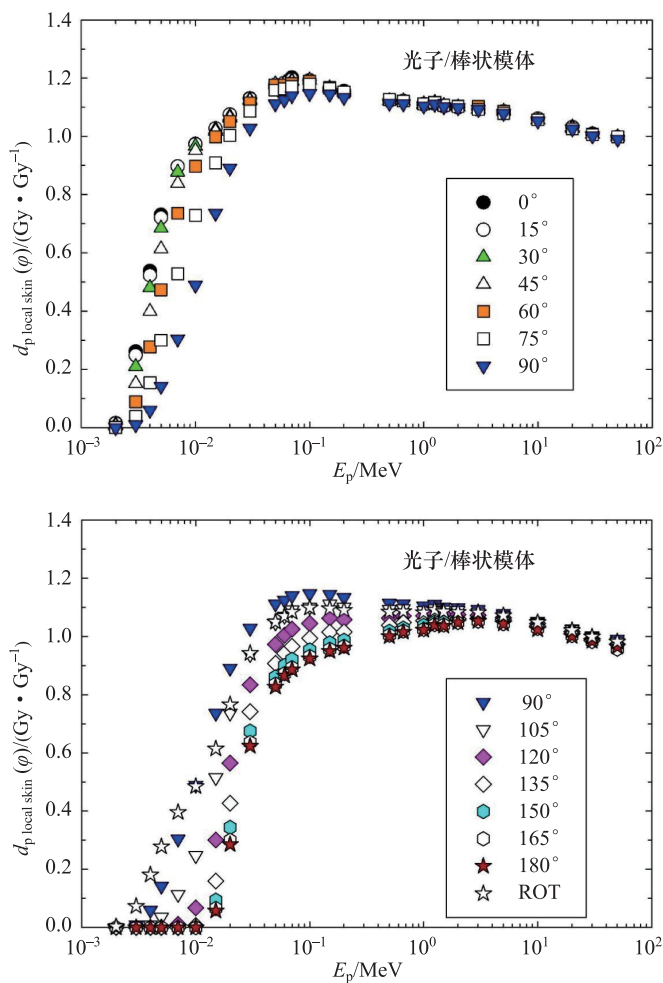


图 A.5.4.3b 棒状模体上从光子空气比释动能到局部皮肤个人吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果)^①

① T. Otto (2017). Personal communication (CERN, Geneva, Switzerland).

A.6 空气比释动能

表 A.6 给出了从 2 keV 到 50 MeV 能量范围内光子注量到空气比释动能的转换系数值。空气比释动能系数, $K_{\text{air}} / \Phi = (\mu_{\text{en}} / \rho) E_{\text{p}} (1 - g)^{-1}$, 用于每注量剂量与每空气比释动能剂量的转换。 μ_{en} / ρ 值来自 Seltzer (1993 年) 和 Hubbell 与 Seltzer (1995 年) 的计算, 使用了重新归一化的 Scofield 光效应截面 (ICRU, 2014 年)。 g 值来自 Seltzer^①。对于引用文献中未提供的 (μ_{en} / ρ) 值, 本表中用**粗斜体**书写表示, 它们是通过插值获得。

表 A.6 从光子注量到空气比释动能的转换系数
Table A.6 Conversion coefficients from photon fluence to air kerma

光子能量 E/MeV	空气比释动能系数/(pGy · cm ²)	光子能量 E/MeV	空气比释动能系数/(pGy · cm ²)
0.002	163.7	0.500	2.379
0.003	75.32	0.511	2.431
0.004	47.62	0.600	2.844
0.005	30.65	0.662	3.112
0.006	21.25	0.700	3.275
0.007	15.50	0.800	3.702
0.008	11.79	1.000	4.481
0.009	9.221	1.117	4.884
0.010	7.400	1.200	5.165
0.011	6.043	1.250	5.332
0.012	5.022	1.300	5.498
0.013	4.236	1.330	5.596
0.015	3.125	1.500	6.147
0.017	2.388	1.700	6.725
0.020	1.684	2.000	7.557
0.024	1.150	2.400	8.563
0.025	1.056	3.000	9.977
0.030	0.7217	4.000	12.14
0.040	0.4289	5.000	14.18
0.050	0.3229	6.000	16.17
0.060	0.2889	6.129	16.44
0.070	0.2878	7.000	18.19
0.080	0.3067	8.000	20.13
0.100	0.3714	10.000	24.13
0.120	0.4606	15.000	34.46
0.150	0.5994	20.000	45.36
0.200	0.8567	30.000	68.59
0.240	1.062	40.000	93.29
0.300	1.383	50.000	119.2
0.400	1.892		

注. 表中**粗斜体**书写的数值, 除了 70 keV 外, 均使用了双对数插值; 在该能量下, 如取最小值会导致曲线的能量依赖, 因此, 对该能量采用了自然三次样条函数插值。

① S Seltzer (2017). *Personal communication* (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland).

附录 B 程序说明

B.1 PHITS

PHITS (Particle and Heavy Ion Transport Code System, 粒子和重离子的输运程序系统) 程序是一种多用途蒙特卡罗程序, 它使用多种核反应模型和核数据库模拟任意三维几何结构中强子、轻子和重离子的输运和相互作用 (Sato 等, 2013 年)。本报告使用 PHITS 2.82 版本。用于计算 *周围剂量当量*、周围剂量和个人剂量的模型和参数如下所述。

通常使用核内级联模型 JAM (Nara 等, 1999 年) /INCL4.6 (Boudard 等, 2013 年) 和量子分子动力学模型 JQMD (Niita 等, 1995 年) 来分别模拟强子和原子核诱导的核反应动力学阶段。使用蒸发和裂变模型 GEM (Furihata, 2000 年) 模拟其静态阶段。

使用 SPAR (Armstrong 和 Chandler, 1973 年) 或 ATIMA (Geissel 等, 2013 年) 程序和连续慢化近似法计算除电子和正电子之外的带电粒子的能量损失。利用评估中子数据库模拟能量 ≤ 20 MeV 的中子输运; 计算中采用了 ENDF/B-VI (Dunford, 1991 年)。对于低能中子的散射, 使用水中氢的 $S(\alpha, \beta)$ 数据评估氢的化学结合效应的影响。

光子、电子和正电子输运采用并入 PHITS 的 EGS5 程序算法 (Hirayama 等, 2005 年) 进行模拟。除了初始能量低于 40 keV 的初级光子外 (其截止能取 1 keV), 光子输运通常会在光子能量下降到 5 keV 时终止。除了初始动能低于 40 keV 的初级电子和正电子外 (过去曾被跟踪到动能降至 5 keV), 电子和正电子通常可被跟踪直到它们的动能达到 10 keV。使用 JQMD 和 GEM 处理高达 1 GeV 的光核反应。

ICRU 球用于 *周围剂量当量* 的计算。ICRU 球在真空中被单能平行射束照射了其整个体积。ICRU 球中的能量沉积记为 R-Z 箱式圆柱结构中沿主

轴深度和半径的函数。 $H^*(10)/\Phi$ 值在 9~11 mm 的深度范围内取平均值，半径为 5 mm。

ICRP 成年拟人参考计算体模（ICRP，2009 年）用于计算周围剂量和个人剂量。PHITS 程序中使用重复结构和晶格体系的几何包放置模体。对真空中模体暴露于不同入射角的单能宽束平行射线和各向同性场的全身照射进行计算，并计算器官和组织的能量沉积。

通过计算 10 批次平均数的标准差估计统计不确定度。对于各种粒子在所有几何体中，转换系数的统计不确定度约为 1%，在大多数情况下甚至更小。

B.2 FLUKA

FLUKA 是一个用于计算粒子和光子输运的通用蒙特卡罗程序（Böhlen 等，2014 年；Ferrari 等，2005 年），可以模拟包括重离子在内的近 60 种不同粒子在物质中的相互作用和输运。可以模拟光核反应。本报告使用 FLUKA 2011 版本。对于柱状和棒状模体上光子、电子和正电子转换系数的计算，以下描述汇集 FLUKA 中这些粒子的辐射输运。

带电粒子输运通过应用基于库伦散射的 Moliere 理论的多重散射算法来描述。该算法包括对磁场中曲线轨迹的精确处理。能量损失是根据 Bethe-Bloch 理论和韧致辐射、康普顿效应、光电效应和电子对生成确定的，考虑了电离涨落。

采用 PRECISION 默认设置进行计算，其中对于光子和电子的设置包括以下内容：

- 激活康普顿散射和康普顿剖面的瑞利散射和非弹性形状因子修正；
- 激活详细光电边缘处理和荧光光子；
- 设置初级和次级带电粒子在最小允许能量下的多次散射阈值；
- 限制强子/ μ 子和 EM 粒子的电离涨落；
- 每步的最大能量损失为 5%。

光子转换系数采用 PRECISION 默认设置进行计算，无须做进一步修改。

数值模体置于真空中，通过平面平行束和旋转场照射，均匀覆盖模体的几何延伸。如第 3.10 小节所述，对每个粒子在定义为敏感体积中沉积的能量进行统计。

在统计区域内（距离超过 8 mm 的敏感体积和敏感区），选择极低的粒子产生和输运阈值，以精确模拟陡峭的剂量梯度。光子可被输运直到能量达到 1 keV，电子可被输运直至能量达到 10 keV。

在统计体积之外，电子和光子的输运和产生阈值更高。8 mm 超出了 $E_{\text{kin}} = 500 \text{ keV}$ 的电子范围。该值被认为是高的初始能量下电子和正电子的产生和输运阈值。光子可被追踪直至能量达到 10 keV。

对于电子和正电子，内部校验和与其他程序比较显示，在区域边界引入单次散射可以得到更精确的结果。电子/正电子输运的标准 Molière 多重散射算法在边界交叉（真空与模体之间，敏感体积边界处，ICRP 皮肤和 ICRU 组织之间）处被 2 个单次散射事件取代。单次散射可非常精确地模拟电子输运的物理过程，但由于计算时间太长，无法贯穿全程使用；因此，FLUKA 手册（MULSOPT 选项）中建议仅在敏感区域局部使用。此外，在统计区域关闭了次级电子产生过程中（从技术上讲，FUDGEM 参数设置为 10^{-5} ）原子电子影响的校正。

本报告进行的所有蒙特卡罗计算的统计不确定度均低于 1%。蒙特卡罗不确定度由 10 次独立运行结果的标准误差确定。为了达到目标精度水平，电子模拟通常至少需要 10^7 粒子数（10 批 10^6 粒子数），光子模拟需要 10^8 粒子数。

B.3 MCNP

粒子辐射输运程序 MCNP（Monte Carlo N-Particle）是一种通用的三维模拟工具，可模拟输运 37 种不同的粒子类型。MCNP 可应用于放射防护及剂量学、辐射屏蔽、射线成像、医学物理学、核临界安全、探测器设计与分析、加速器靶设计、裂变与聚变反应堆设计、去污和核反应堆退役等诸

多领域。本报告使用程序是 MCNPX 2.7e 版本和 MCNP 6.2 版本（Werner 等，2017 年；2018 年）。

中子、质子、电子和光子的输运使用能量表上限以下的表格数据。能量上限随核素和需要的截面数据而发生变化。在能量上限以上，可以使用多种模型的组合来描述输运和反应过程。关于程序中可用模型的更多详细信息，请参阅 Goorley 等人的文章（Goorley 等，2013 年）。

对于光子、电子和正电子，本报告使用 MCNPX 2.7e 版本对平板模体局部皮肤定向和个人吸收剂量的转换系数进行计算。计算中未引入偏差，只是在计数单元格中设置了更高的重要性以提高收敛性。ITP 选项用于电子输运。分别对电子能量跟踪截止、光子能量跟踪截止和每个能量阶的电子输运子步数影响进行了测试。结果的变化，尤其是电子输运子步数参数有时对低能粒子来说很重要，但很难解释。因此，为了在所有能量范围内保持一致，决定使用同一组参数。因此，多使用程序提供的默认模拟参数：电子能量截止值为 1 keV（组织 100 eV 除外）；光子能量截止值为 1 keV 和每个能量输运次数的电子输运子步数为 3。使用了该 MCNP 版本提供的光子库和电子库的最新版本，即对应于 ENDF/B-VI 版本 8 光子的 04p 和 03e。

对于中子，本报告使用 MCNP 6.2 版本对眼晶状体和局部皮肤吸收剂量的转换系数进行计算，并采用点状截面。本报告局部皮肤和眼晶状体中子剂量的计算采用水的 $S(\alpha, \beta)$ 热中子散射模型。如果可以获得扩展到 150 MeV 的中子截面表，那么该截面表用于 30 MeV 和 50 MeV 中子的计算。对于一些次要同位素，模拟中仅有最高 20 MeV 的截面列表数据。在这种情况下，程序根据需要对列表的截面数据库和物理模型进行调整和匹配，以覆盖模拟中所需要的能量范围。本报告计算使用的中子库数据来自 Conlin（2017 年），选择了最新截面数据。

对于光子，MCNP 考虑了非相干散射和相干散射、光电吸收后荧光发射的可能性、电子对产生吸收、湮灭辐射发射，以及韧致辐射。连续慢化模型用于电子输运，包括正电子、特征 K 层 X 射线和韧致辐射。光核物理

适用于部分核素子集。

MCNP 包含许多灵活的计数选项：面电流和通量（表面交叉）、体积通量（径迹长度）、点型探测器或环形探测器、粒子加热、裂变释热、能量沉积或电荷沉积的脉冲高度计数、网格计数和射线成像计数选项。对于本报告的中子计算，能量沉积计数（+f6 卡）用于计算吸收剂量。

B.4 EGSnrc

本报告中的计算使用了电子伽马光子簇射程序系统 EGSnrc v4-r2-4-0 版本（Kawrakow 等，2013 年）。该程序由加拿大国家研究委员会（NRC）运行维护，是 EGS4 的扩展和改进版本（Nelson 等，1985 年）。可以模拟粒子动能从 1 keV 到几百 GeV 的光子、电子和正电子的输运。然而，某些物理增强只能在 1 GeV 以下启用。

对于光子输运，使用了 Storm 和 Israel 的 EGSnrc 截面。所有能量都考虑了 K、L 和 M 壳层的康普顿散射和光电效应。在这两种情况下，都会产生荧光或俄歇电子和 Coster-Kronig 电子。在能量 10 MeV、20 MeV 和 50 MeV 条件下使用 MCNP 的模拟结果显示，光核反应对器官剂量的贡献远小于 1%（Behrens，2017 年 a），因此不考虑光核反应的影响。在本报告中除初始动能低于 510 keV 的初级粒子外（光子输运在光子能量降至 1 keV 以下时终止），光子输运在光子能量降至 10 keV 以下时终止。

采用“II 类浓缩历史技术”（Berger，1963 年）进行电子和正电子输运计算，输运产生的粒子在选定的能量基础上产生。轫致辐射截面为 Bethe-Heitler 截面，即 EGS4 截面（Nelson 等，1985 年）。选用 Koch 和 Motz 轫致辐射角（1959 年）。电子碰撞电离采用默认截面建模（Kawrakow，2002 年）。当选样截面不能产生电离时，则采用经典的 Møller 截面或 Bhabha 截面。对于弹性散射，考虑了自旋效应。电子对产生采用 EGS4 中的方法进行模拟（Nelson 等，1985 年）。所有粒子的三重态产生过程均忽略不计。本报告除了初始动能低于 110 keV 初级粒子（其输运过程可跟踪至 1 keV），

电子输运过程通常在其动能降至 10 keV 以下时终止。对于外照射，动能低于 500 keV 的电子很少能够到达内脏器官，这些器官的剂量很低，主要是由进入模体几毫米内产生的韧致辐射所致。比释动能近似法是通过完全不跟踪电子来实现的，即把它们的截止能量设置为初始能量的最大值。

本报告中，EGSnrc 用于计算眼晶状体吸收剂量的所有转换系数。

B.5 转换系数计算的不确定度

对于眼晶状体吸收剂量转换系数的计算，其总的非统计不确定度估计为 2.5%（40 keV 以下为 3.6%）（Behrens, 2017 年 a）。这些主要由电子碰撞阻止能力的不确定度决定。对于在低 Z 介质中传输的 12 MeV 以下的电子，ICRU 第 37 号报告（ICRU, 1984 年）指出，“能量在 100 keV 以上，碰撞阻止能力的不确定度估计为 1%~2%”，余下的非统计不确定度估计在 1.5% 左右。因此，100 keV 以上阻止能力总的非统计不确定度估计为 2.5%。当光子能量低于 40 keV 时，使用 XCOM 光子截面获得的值与使用 EGSnrc 标准光子截面获得的值最大偏差为 ±9%。因此，在该能量区域中，假设额外的平均标准不确定度贡献为 3%。根据蒙特卡罗计算的一般经验，能量低于 40 keV 时，余下的非统计贡献估计为 2% 左右。因此，总的非统计不确定度估计为 2.5%（40 keV 以下为 3.6%）。

采用 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模，结合模拟人体内辐射输运的蒙特卡罗程序，计算周围剂量和个人剂量的转换系数。由于模体的器官和组织元素构成和密度已指定，转换系数的非统计不确定度来源于蒙特卡罗程序中使用的相互作用模型和截面数据。ICRP 第 116 号报告对该问题进行了讨论（ICRP, 2010 年）。对于给定辐射和照射几何条件，器官吸收剂量转换系数采用相同的 ICRP/ICRU 成年拟人参考体模但不同的蒙特卡罗程序计算，如 EGSnrc、FLUKA、GEANT4、MCNPX 和 PHITS。总的来说，无论使用何种蒙特卡罗程序，计算得到的器官吸收剂量都非常一致，通常在 10% 以内。然而，在较高的能量下，不同程序的计算结果有一定的差异，这可

能是因为使用了不同的相互作用模型和截面数据。器官吸收剂量的差异程度取决于器官大小、器官在人体内的位置、粒子类型和能量，以及照射几何条件等参数。例如，对于能量高达 20 MeV 的中子，采用 PHITS、FLUKA、MCNPX 和 GEANT4 计算的中子照射女性体模的性腺吸收剂量非常一致，这些程序都使用了估算的截面数据模拟中子核反应输运。相比之下，对于能量从 20 MeV~10 GeV 的中子，吸收剂量的相对差异在 10%~50%之间。这些差异主要来源于不同程序使用了不同的理论模型和截面数据。由于有效剂量是人体所有特定器官和组织吸收剂量的加权和，器官吸收剂量转换系数的差异不会直接反映有效剂量的转换系数差异。在本报告所考虑的辐射类型和能量范围内，基于不同程序计算的有效剂量、周围剂量和个人剂量的转换系数总体差异估计小于 10%。

附录 C 眼晶状体吸收剂量的可替代转换系数

C.1 眼晶状体定向和个人吸收剂量，敏感细胞的吸收剂量，

$$d_{\text{lens sens}}$$

从粒子注量到眼晶状体定向吸收剂量的转换系数 $d'_{\text{lens max}}$ 和从注量到个人眼晶状体吸收剂量的转换系数 $d_{\text{p lens sens}}$ 数值相同，本节的表和图中采用符号 $d_{\text{lens sens}}$ 表示。图 C.1.0 给出的转换系数不是第 A.3 节给出的整个眼晶状体的吸收剂量值，而是位于晶状体前赤道区域辐射敏感细胞的吸收剂量值，详见 ICRP 第 116 号出版物（ICRP，2010 年）。左右两侧照射时，取左眼、右眼晶状体辐射敏感细胞吸收剂量的最大值。这里给出的转换系数是针对嵌入全身体模的眼部模型（Behrens 和 Dietze，2011 年）的照射情况计算得出的，适用于水平面上入射的均匀平行宽束，角度 φ 从 0° （A-P）到 90° ，每隔 15° 计算一次，同时也适用于旋转场（ROT）。中子的转换系数计算是针对头部和颈部照射，入射角度 φ 还包括 180° 。敏感细胞转换系数取左、右眼晶状体吸收剂量的最大值。如果通过将敏感细胞的较大值在所有角度 φ 上进行积分获得旋转照射的值，则该结果与旋转照射的计算值不一致。对于光子（无论是否存在带电粒子平衡）、电子和正电子之类的粒子，这些数值的比值介于 1.0~1.3 之间：使用角度 φ 较大值的积分代替旋转照射结果的差异始终在 30% 以下。在使用这些转换系数时，必须考虑放射防护和监管环节。

对于能量高达 50 MeV 的光子、中子、电子和正电子，表 C.1.1a~表 C.1.4 和图 C.1.1a~图 C.1.4 给出了从粒子注量得到的眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量转换系数值；表 C.1.1b 和图 C.1.1b 给出的是从空气比释动能得到的眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量转换系数值，如表 C.1.0 所示。

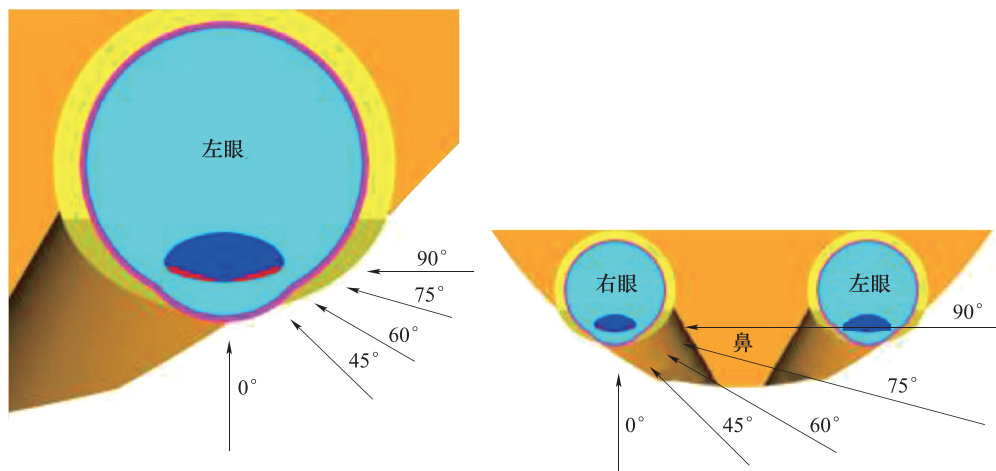


图 C.1.0 左眼切面（左）和双眼（右）在其中心水平的俯视图。可以看到辐射敏感部分（红色）和晶状体其余部分（深蓝色）。箭头表示平行宽束的入射示例（Behrens, 2017 年 a）。

表 C.1.0 左右两侧照射时，眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数 $d_{\text{lens sens}}$ ，入射角度为 $0^\circ \sim 90^\circ$ （中子 $0^\circ \sim 180^\circ$ ），以及 ROT

表/图	粒子类型	物理量	能量范围/MeV
C.1.1a	光子	注量	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
C.1.1b	光子	空气比释动能	$5.0 \times 10^{-3} \sim 5.0 \times 10^1$
C.1.2	中子	注量	$1.0 \times 10^{-9} \sim 5.0 \times 10^1$
C.1.3	电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$
C.1.4	正电子	注量	$1.0 \times 10^{-2} \sim 5.0 \times 10^1$

表 C.1.1a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	4.17×10^{-5}	7.65×10^{-5}	1.54×10^{-4}	1.52×10^{-4}	6.90×10^{-5}	8.41×10^{-6}	3.34×10^{-7}	4.34×10^{-5}
0.006	7.75×10^{-3}	9.30×10^{-3}	1.06×10^{-2}	1.05×10^{-2}	5.87×10^{-3}	1.73×10^{-3}	1.70×10^{-4}	3.28×10^{-3}
0.007	1.13×10^{-1}	1.07×10^{-1}	1.05×10^{-1}	9.55×10^{-2}	6.16×10^{-2}	2.48×10^{-2}	5.50×10^{-3}	3.64×10^{-2}
0.008	4.46×10^{-1}	4.12×10^{-1}	3.77×10^{-1}	3.37×10^{-1}	2.37×10^{-1}	1.22×10^{-1}	3.95×10^{-2}	1.37×10^{-1}
0.009	9.37×10^{-1}	8.79×10^{-1}	8.00×10^{-1}	7.04×10^{-1}	5.20×10^{-1}	3.18×10^{-1}	1.30×10^{-1}	2.94×10^{-1}
0.01	1.42	1.34	1.23	1.09	8.49×10^{-1}	5.74×10^{-1}	2.82×10^{-1}	4.63×10^{-1}
0.011	1.75	1.68	1.57	1.41	1.15	8.45×10^{-1}	4.68×10^{-1}	6.03×10^{-1}
0.013	2.01	1.99	1.89	1.73	1.54	1.23	8.09×10^{-1}	7.58×10^{-1}
0.015	1.94	1.96	1.89	1.75	1.62	1.41	1.01	7.91×10^{-1}
0.017	1.76	1.79	1.74	1.64	1.55	1.40	1.09	7.62×10^{-1}
0.02	1.45	1.49	1.48	1.39	1.36	1.26	1.03	6.74×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.024	1.14	1.16	1.16	1.12	1.10	1.04	9.07×10^{-1}	5.61×10^{-1}
0.03	8.26×10^{-1}	8.54×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.17×10^{-1}	8.27×10^{-1}	8.02×10^{-1}	7.08×10^{-1}	4.48×10^{-1}
0.04	5.80×10^{-1}	5.96×10^{-1}	6.03×10^{-1}	5.87×10^{-1}	5.86×10^{-1}	5.74×10^{-1}	5.30×10^{-1}	3.39×10^{-1}
0.05	4.77×10^{-1}	4.92×10^{-1}	4.94×10^{-1}	4.92×10^{-1}	4.94×10^{-1}	4.78×10^{-1}	4.39×10^{-1}	2.95×10^{-1}
0.06	4.45×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.69×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.51×10^{-1}	4.50×10^{-1}	4.27×10^{-1}	2.83×10^{-1}
0.07	4.52×10^{-1}	4.60×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.60×10^{-1}	4.56×10^{-1}	4.48×10^{-1}	4.23×10^{-1}	2.91×10^{-1}
0.08	4.78×10^{-1}	4.78×10^{-1}	4.89×10^{-1}	4.84×10^{-1}	4.87×10^{-1}	4.80×10^{-1}	4.52×10^{-1}	3.15×10^{-1}
0.1	5.57×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.63×10^{-1}	5.72×10^{-1}	5.66×10^{-1}	5.49×10^{-1}	5.40×10^{-1}	3.77×10^{-1}
0.12	6.66×10^{-1}	6.70×10^{-1}	6.69×10^{-1}	6.79×10^{-1}	6.60×10^{-1}	6.61×10^{-1}	6.40×10^{-1}	4.52×10^{-1}
0.15	8.35×10^{-1}	8.42×10^{-1}	8.41×10^{-1}	8.45×10^{-1}	8.48×10^{-1}	8.38×10^{-1}	7.91×10^{-1}	5.77×10^{-1}
0.2	1.13	1.14	1.17	1.16	1.15	1.14	1.12	8.10×10^{-1}
0.24	1.39	1.40	1.40	1.40	1.40	1.38	1.39	1.01
0.3	1.74	1.75	1.77	1.83	1.79	1.74	1.75	1.27
0.4	2.28	2.31	2.31	2.37	2.36	2.32	2.36	1.74
0.5	2.80	2.83	2.87	2.89	2.96	2.83	2.85	2.20
0.511	2.87	2.90	2.91	3.02	3.02	2.83	2.86	2.25
0.6	3.33	3.32	3.40	3.44	3.47	3.35	3.33	2.62
0.662	3.58	3.65	3.63	3.75	3.73	3.59	3.66	2.90
0.8	4.18	4.22	4.29	4.31	4.44	4.27	4.33	3.48
1	4.97	4.97	5.08	5.27	5.24	5.14	5.08	4.19
1.117	5.40	5.41	5.50	5.49	5.56	5.58	5.46	4.56
1.2	5.66	5.66	5.71	5.76	5.92	5.82	5.89	4.84
1.3	5.79	5.85	5.91	6.08	6.31	6.06	6.26	5.10
1.33	5.85	5.92	6.05	6.04	6.37	6.18	6.38	5.15
1.5	5.97	6.04	6.18	6.48	6.79	6.56	6.76	5.57
1.7	6.02	6.09	6.33	6.62	7.07	6.98	7.14	5.93
2	5.76	5.95	6.16	6.76	7.44	7.55	7.72	6.35
2.4	5.41	5.48	5.96	6.72	7.77	8.27	8.27	6.84
3	4.84	5.00	5.51	6.67	8.06	9.05	9.20	7.23
4	4.20	4.45	5.10	6.44	8.60	1.03×10^1	1.07×10^1	7.94
5	3.80	4.05	4.80	6.42	9.02	1.15×10^1	1.24×10^1	8.63
6	3.53	3.80	4.59	6.30	9.53	1.28×10^1	1.37×10^1	9.28
6.129	3.52	3.79	4.51	6.32	9.56	1.27×10^1	1.38×10^1	9.35
8	3.22	3.46	4.29	6.12	1.01×10^1	1.48×10^1	1.68×10^1	1.07×10^1
10	3.02	3.24	3.96	5.85	1.06×10^1	1.65×10^1	1.90×10^1	1.18×10^1
15	2.84	3.02	3.60	5.18	1.04×10^1	1.93×10^1	2.50×10^1	1.50×10^1
20	2.80	2.95	3.47	4.83	9.99	2.10×10^1	3.00×10^1	1.80×10^1
30	2.82	2.92	3.43	4.60	9.26	2.23×10^1	3.64×10^1	2.33×10^1
40	2.86	2.98	3.46	4.43	8.71	2.30×10^1	4.02×10^1	2.82×10^1
50	2.90	3.08	3.44	4.41	8.63	2.39×10^1	4.29×10^1	3.22×10^1

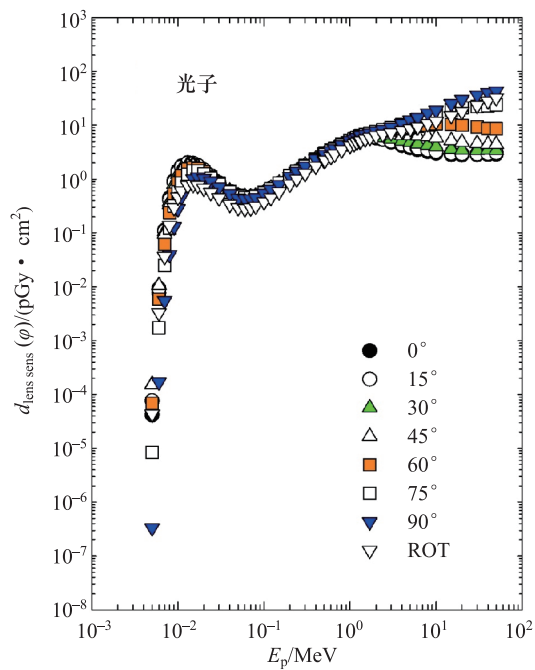


图 C.1.1a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

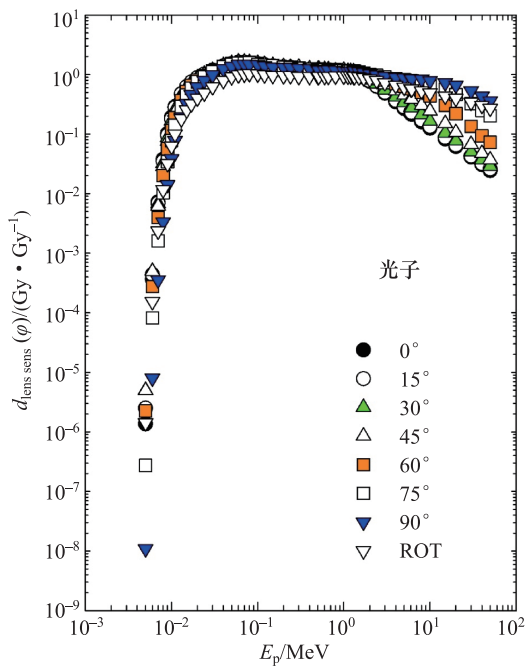


图 C.1.1b 左右两侧照射时，从光子空气比释动能到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

表 C.1.1b 左右两侧照射时, 从光子空气比释动能到眼晶状体敏感细胞
最大吸收剂量的转换系数 (Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	1.36×10^{-6}	2.50×10^{-6}	5.01×10^{-6}	4.95×10^{-6}	2.25×10^{-6}	2.74×10^{-7}	1.09×10^{-8}	1.42×10^{-6}
0.006	3.65×10^{-4}	4.38×10^{-4}	4.98×10^{-4}	4.95×10^{-4}	2.76×10^{-4}	8.16×10^{-5}	7.99×10^{-6}	1.54×10^{-4}
0.007	7.27×10^{-3}	6.90×10^{-3}	6.78×10^{-3}	6.16×10^{-3}	3.97×10^{-3}	1.60×10^{-3}	3.55×10^{-4}	2.35×10^{-3}
0.008	3.78×10^{-2}	3.49×10^{-2}	3.20×10^{-2}	2.86×10^{-2}	2.01×10^{-2}	1.03×10^{-2}	3.35×10^{-3}	1.16×10^{-2}
0.009	1.02×10^{-1}	9.53×10^{-2}	8.68×10^{-2}	7.63×10^{-2}	5.63×10^{-2}	3.45×10^{-2}	1.41×10^{-2}	3.19×10^{-2}
0.01	1.91×10^{-1}	1.80×10^{-1}	1.66×10^{-1}	1.48×10^{-1}	1.15×10^{-1}	7.75×10^{-2}	3.82×10^{-2}	6.25×10^{-2}
0.011	2.89×10^{-1}	2.78×10^{-1}	2.59×10^{-1}	2.34×10^{-1}	1.90×10^{-1}	1.40×10^{-1}	7.74×10^{-2}	9.97×10^{-2}
0.013	4.74×10^{-1}	4.71×10^{-1}	4.47×10^{-1}	4.07×10^{-1}	3.62×10^{-1}	2.91×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.79×10^{-1}
0.015	6.21×10^{-1}	6.26×10^{-1}	6.05×10^{-1}	5.60×10^{-1}	5.19×10^{-1}	4.51×10^{-1}	3.24×10^{-1}	2.53×10^{-1}
0.017	7.36×10^{-1}	7.48×10^{-1}	7.30×10^{-1}	6.85×10^{-1}	6.51×10^{-1}	5.86×10^{-1}	4.56×10^{-1}	3.19×10^{-1}
0.02	8.63×10^{-1}	8.82×10^{-1}	8.78×10^{-1}	8.24×10^{-1}	8.09×10^{-1}	7.51×10^{-1}	6.14×10^{-1}	4.00×10^{-1}
0.024	9.94×10^{-1}	1.01	1.01	9.70×10^{-1}	9.59×10^{-1}	9.05×10^{-1}	7.89×10^{-1}	4.87×10^{-1}
0.03	1.14	1.18	1.17	1.13	1.15	1.11	9.81×10^{-1}	6.21×10^{-1}
0.04	1.35	1.39	1.41	1.37	1.37	1.34	1.24	7.91×10^{-1}
0.05	1.48	1.52	1.53	1.52	1.53	1.48	1.36	9.15×10^{-1}
0.06	1.54	1.60	1.62	1.60	1.56	1.56	1.48	9.79×10^{-1}
0.07	1.57	1.60	1.61	1.60	1.58	1.55	1.47	1.01
0.08	1.56	1.56	1.59	1.58	1.59	1.57	1.47	1.03
0.1	1.50	1.51	1.51	1.54	1.52	1.48	1.45	1.01
0.12	1.44	1.46	1.45	1.47	1.43	1.44	1.39	9.82×10^{-1}
0.15	1.39	1.40	1.40	1.41	1.41	1.40	1.32	9.62×10^{-1}
0.2	1.32	1.34	1.36	1.35	1.34	1.33	1.31	9.46×10^{-1}
0.24	1.30	1.32	1.32	1.32	1.32	1.30	1.31	9.54×10^{-1}
0.3	1.26	1.27	1.28	1.33	1.29	1.26	1.26	9.22×10^{-1}
0.4	1.21	1.22	1.22	1.25	1.25	1.22	1.25	9.20×10^{-1}
0.5	1.18	1.19	1.21	1.22	1.24	1.19	1.20	9.26×10^{-1}
0.511	1.18	1.19	1.20	1.24	1.24	1.17	1.17	9.25×10^{-1}
0.6	1.17	1.17	1.19	1.21	1.22	1.18	1.17	9.23×10^{-1}
0.662	1.15	1.17	1.17	1.20	1.20	1.15	1.18	9.31×10^{-1}
0.8	1.13	1.14	1.16	1.16	1.20	1.15	1.17	9.41×10^{-1}
1	1.11	1.11	1.13	1.18	1.17	1.15	1.13	9.36×10^{-1}
1.117	1.10	1.11	1.13	1.12	1.14	1.14	1.12	9.33×10^{-1}
1.2	1.09	1.10	1.11	1.12	1.15	1.13	1.14	9.38×10^{-1}
1.3	1.05	1.06	1.07	1.11	1.15	1.10	1.14	9.28×10^{-1}
1.33	1.05	1.06	1.08	1.08	1.14	1.10	1.14	9.21×10^{-1}
1.5	9.72×10^{-1}	9.83×10^{-1}	1.01	1.05	1.10	1.07	1.10	9.07×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
1.7	8.95×10^{-1}	9.05×10^{-1}	9.41×10^{-1}	9.85×10^{-1}	1.05	1.04	1.06	8.81×10^{-1}
2	7.63×10^{-1}	7.87×10^{-1}	8.15×10^{-1}	8.95×10^{-1}	9.85×10^{-1}	9.99×10^{-1}	1.02	8.40×10^{-1}
2.4	6.32×10^{-1}	6.40×10^{-1}	6.96×10^{-1}	7.85×10^{-1}	9.08×10^{-1}	9.66×10^{-1}	9.66×10^{-1}	7.98×10^{-1}
3	4.85×10^{-1}	5.01×10^{-1}	5.52×10^{-1}	6.68×10^{-1}	8.07×10^{-1}	9.07×10^{-1}	9.22×10^{-1}	7.24×10^{-1}
4	3.46×10^{-1}	3.67×10^{-1}	4.20×10^{-1}	5.31×10^{-1}	7.09×10^{-1}	8.48×10^{-1}	8.83×10^{-1}	6.54×10^{-1}
5	2.68×10^{-1}	2.85×10^{-1}	3.38×10^{-1}	4.53×10^{-1}	6.36×10^{-1}	8.12×10^{-1}	8.73×10^{-1}	6.08×10^{-1}
6	2.18×10^{-1}	2.35×10^{-1}	2.84×10^{-1}	3.90×10^{-1}	5.89×10^{-1}	7.93×10^{-1}	8.47×10^{-1}	5.74×10^{-1}
6.129	2.14×10^{-1}	2.30×10^{-1}	2.75×10^{-1}	3.84×10^{-1}	5.81×10^{-1}	7.71×10^{-1}	8.41×10^{-1}	5.69×10^{-1}
8	1.60×10^{-1}	1.72×10^{-1}	2.13×10^{-1}	3.04×10^{-1}	5.01×10^{-1}	7.35×10^{-1}	8.35×10^{-1}	5.31×10^{-1}
10	1.25×10^{-1}	1.34×10^{-1}	1.64×10^{-1}	2.43×10^{-1}	4.38×10^{-1}	6.83×10^{-1}	7.87×10^{-1}	4.91×10^{-1}
15	8.24×10^{-2}	8.76×10^{-2}	1.04×10^{-1}	1.50×10^{-1}	3.02×10^{-1}	5.60×10^{-1}	7.26×10^{-1}	4.34×10^{-1}
20	6.16×10^{-2}	6.51×10^{-2}	7.66×10^{-2}	1.06×10^{-1}	2.20×10^{-1}	4.62×10^{-1}	6.62×10^{-1}	3.97×10^{-1}
30	4.11×10^{-2}	4.26×10^{-2}	5.01×10^{-2}	6.70×10^{-2}	1.35×10^{-1}	3.25×10^{-1}	5.31×10^{-1}	3.40×10^{-1}
40	3.07×10^{-2}	3.19×10^{-2}	3.71×10^{-2}	4.75×10^{-2}	9.34×10^{-2}	2.47×10^{-1}	4.31×10^{-1}	3.02×10^{-1}
50	2.43×10^{-2}	2.59×10^{-2}	2.89×10^{-2}	3.70×10^{-2}	7.24×10^{-2}	2.01×10^{-1}	3.60×10^{-1}	2.70×10^{-1}

表 C.1.2 左右两侧照射时，从中子注量到眼晶状体敏感细胞
最大吸收剂量的转换系数（Hertel 等，2021）*

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens, max}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$								
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	180°	ROT
1.00×10^{-9}	2.57	2.64	2.60	2.45	2.20	1.69	1.20	1.10×10^{-1}	1.01
1.00×10^{-8}	2.86	2.94	3.04	2.85	2.53	2.02	1.44	1.40×10^{-1}	1.16
2.50×10^{-8}	2.70	2.87	3.14	2.79	2.48	2.05	1.56	1.60×10^{-1}	1.18
1.00×10^{-7}	2.71	2.96	2.85	2.93	2.65	2.25	1.77	2.10×10^{-1}	1.23
2.00×10^{-7}	2.73	3.00	3.15	2.76	2.70	2.34	1.83	2.50×10^{-1}	1.30
5.00×10^{-7}	2.73	2.89	2.94	2.94	2.62	2.41	1.99	2.70×10^{-1}	1.33
1.00×10^{-6}	2.73	2.81	2.90	2.84	2.59	2.36	1.97	3.20×10^{-1}	1.34
2.00×10^{-6}	2.71	2.75	2.67	2.75	2.59	2.34	2.02	3.40×10^{-1}	1.39
5.00×10^{-6}	2.45	2.47	2.66	2.60	2.44	2.30	1.87	3.40×10^{-1}	1.36
1.00×10^{-5}	2.37	2.59	2.48	2.58	2.33	2.18	1.85	3.40×10^{-1}	1.30
2.00×10^{-5}	2.26	2.33	2.55	2.35	2.34	2.08	1.75	3.80×10^{-1}	1.28
5.00×10^{-5}	2.15	2.31	2.19	2.38	2.19	1.88	1.69	3.60×10^{-1}	1.26

* 译者注：ICRU 第 95 号报告出版后，报告编写委员会对报告中的部分图表进行了更新，本译著展示的是更新后的表 C.1.2。

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens, max}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$								
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	180°	ROT
1.00×10^{-4}	2.03	2.05	2.16	2.24	2.08	1.98	1.60	3.80×10^{-1}	1.21
2.00×10^{-4}	1.91	1.98	2.18	2.08	2.00	1.81	1.53	3.60×10^{-1}	1.15
5.00×10^{-4}	1.90	1.82	2.07	1.97	1.92	1.81	1.53	3.60×10^{-1}	1.13
1.00×10^{-3}	1.90	1.76	1.95	1.80	1.85	1.67	1.45	3.70×10^{-1}	1.06
2.00×10^{-3}	1.85	1.88	1.95	2.00	1.73	1.64	1.51	3.60×10^{-1}	1.09
5.00×10^{-3}	1.96	2.14	2.12	1.98	2.04	1.76	1.64	3.70×10^{-1}	1.19
1.00×10^{-2}	2.40	2.44	2.46	2.39	2.34	2.18	1.83	3.50×10^{-1}	1.31
2.00×10^{-2}	3.04	3.11	3.09	3.12	2.96	2.79	2.42	3.60×10^{-1}	1.63
3.00×10^{-2}	3.71	3.75	3.78	3.71	3.58	3.39	2.91	3.80×10^{-1}	1.90
5.00×10^{-2}	4.98	5.04	4.93	4.85	4.76	4.56	3.92	3.90×10^{-1}	2.45
7.00×10^{-2}	6.20	6.21	6.07	5.70	5.86	5.60	4.93	3.80×10^{-1}	3.04
1.00×10^{-1}	7.50	7.68	7.47	7.28	7.42	6.96	6.20	4.00×10^{-1}	3.72
1.50×10^{-1}	9.99	9.73	9.52	9.27	9.19	8.89	8.13	4.30×10^{-1}	4.72
2.00×10^{-1}	1.14×10^1	1.16×10^1	1.13×10^1	1.11×10^1	1.09×10^1	1.08×10^1	9.78	4.30×10^{-1}	5.84
3.00×10^{-1}	1.41×10^1	1.46×10^1	1.43×10^1	1.38×10^1	1.38×10^1	1.40×10^1	1.26×10^1	4.70×10^{-1}	7.15
5.00×10^{-1}	1.87×10^1	1.92×10^1	1.90×10^1	1.80×10^1	1.86×10^1	1.85×10^1	1.72×10^1	5.50×10^{-1}	9.93
7.00×10^{-1}	2.15×10^1	2.22×10^1	2.20×10^1	2.11×10^1	2.12×10^1	2.17×10^1	2.07×10^1	6.50×10^{-1}	1.17×10^1
9.00×10^{-1}	2.48×10^1	2.56×10^1	2.54×10^1	2.44×10^1	2.38×10^1	2.49×10^1	2.36×10^1	8.00×10^{-1}	1.38×10^1
1.00	3.06×10^1	3.07×10^1	3.01×10^1	3.12×10^1	2.88×10^1	2.91×10^1	2.69×10^1	6.30×10^{-1}	1.56×10^1
1.20	2.88×10^1	2.90×10^1	2.91×10^1	2.82×10^1	2.81×10^1	2.86×10^1	2.73×10^1	1.03	1.67×10^1
1.50	3.09×10^1	3.11×10^1	3.12×10^1	3.07×10^1	3.06×10^1	3.11×10^1	2.94×10^1	1.58	1.83×10^1
2.00	3.50×10^1	3.48×10^1	3.39×10^1	3.45×10^1	3.45×10^1	3.42×10^1	3.36×10^1	2.68	2.20×10^1
3.00	4.06×10^1	4.14×10^1	3.96×10^1	4.06×10^1	3.97×10^1	4.02×10^1	3.88×10^1	5.38	2.74×10^1
4.00	4.81×10^1	4.82×10^1	4.91×10^1	4.84×10^1	4.82×10^1	4.66×10^1	4.68×10^1	7.23	3.25×10^1
5.00	5.17×10^1	5.02×10^1	4.88×10^1	5.21×10^1	5.16×10^1	4.75×10^1	4.87×10^1	1.06×10^1	3.58×10^1
6.00	5.51×10^1	5.48×10^1	5.56×10^1	5.48×10^1	5.47×10^1	5.35×10^1	5.36×10^1	1.24×10^1	3.99×10^1
7.00	5.62×10^1	5.44×10^1	5.44×10^1	5.46×10^1	5.60×10^1	5.31×10^1	5.34×10^1	1.63×10^1	4.17×10^1
8.00	5.80×10^1	5.97×10^1	5.85×10^1	5.89×10^1	5.74×10^1	5.74×10^1	5.56×10^1	1.76×10^1	4.41×10^1
9.00	6.27×10^1	6.18×10^1	6.18×10^1	6.39×10^1	6.23×10^1	5.96×10^1	5.87×10^1	1.94×10^1	4.69×10^1
1.00×10^1	6.59×10^1	6.67×10^1	6.68×10^1	6.70×10^1	6.51×10^1	6.30×10^1	6.24×10^1	2.09×10^1	4.89×10^1
1.20×10^1	7.38×10^1	7.34×10^1	7.39×10^1	7.32×10^1	7.08×10^1	7.20×10^1	6.64×10^1	2.41×10^1	5.50×10^1
1.40×10^1	7.40×10^1	7.42×10^1	7.46×10^1	7.55×10^1	7.10×10^1	7.18×10^1	7.04×10^1	2.76×10^1	5.90×10^1
1.50×10^1	7.81×10^1	7.73×10^1	8.06×10^1	7.65×10^1	7.49×10^1	7.76×10^1	7.38×10^1	2.93×10^1	6.25×10^1
1.60×10^1	7.73×10^1	7.82×10^1	7.65×10^1	7.85×10^1	7.71×10^1	7.51×10^1	7.15×10^1	3.03×10^1	6.11×10^1
1.80×10^1	7.73×10^1	7.72×10^1	7.73×10^1	7.75×10^1	8.00×10^1	7.86×10^1	7.53×10^1	3.44×10^1	6.19×10^1
2.00×10^1	7.48×10^1	7.48×10^1	7.77×10^1	7.86×10^1	7.59×10^1	7.87×10^1	7.38×10^1	3.79×10^1	6.40×10^1
3.00×10^1	6.43×10^1	6.51×10^1	6.95×10^1	7.59×10^1	6.85×10^1	7.13×10^1	7.54×10^1	4.70×10^1	6.69×10^1
5.00×10^1	5.07×10^1	5.54×10^1	5.93×10^1	6.64×10^1	6.77×10^1	7.61×10^1	7.80×10^1	6.50×10^1	6.70×10^1

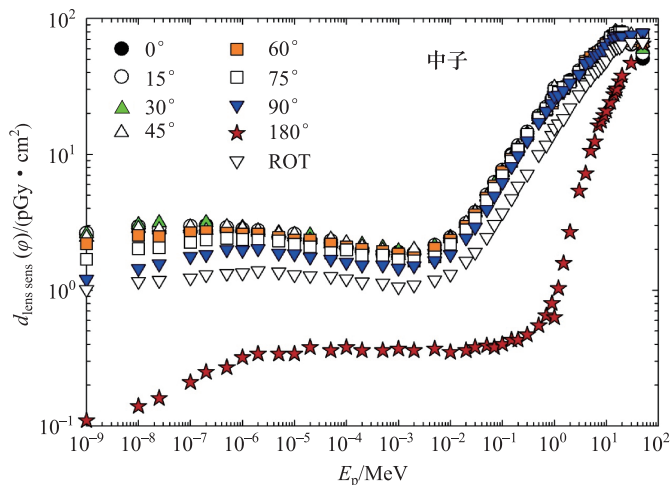


图 C.1.2 左右两侧照射时，从中子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（Hertel 等，2021）*

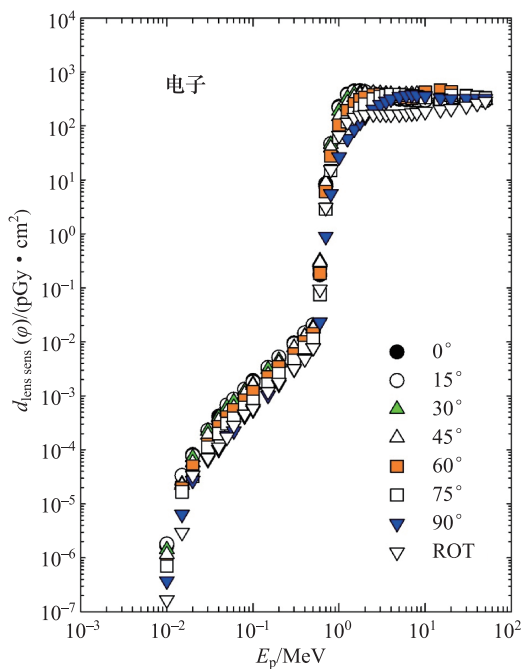


图 C.1.3 左右两侧照射时，从电子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（Behrens，2017 年 a）

* 译者注：ICRU 第 95 号报告出版后，报告编写委员会对报告中的部分图表进行了更新，本译著展示的是更新后的图 C.1.2。

表 C.1.3 左右两侧照射时, 从电子注量到眼晶状体敏感细胞
最大吸收剂量的转换系数 (Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{fens sens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.01	1.68×10^{-6}	1.81×10^{-6}	1.43×10^{-6}	1.16×10^{-6}	7.55×10^{-7}	7.04×10^{-7}	3.74×10^{-7}	1.67×10^{-7}
0.015	2.26×10^{-5}	3.34×10^{-5}	2.34×10^{-5}	2.22×10^{-5}	1.96×10^{-5}	1.66×10^{-5}	6.43×10^{-6}	2.95×10^{-6}
0.02	8.15×10^{-5}	7.79×10^{-5}	7.25×10^{-5}	5.81×10^{-5}	4.99×10^{-5}	3.24×10^{-5}	2.73×10^{-5}	3.40×10^{-5}
0.03	2.23×10^{-4}	2.30×10^{-4}	2.25×10^{-4}	1.89×10^{-4}	1.26×10^{-4}	1.12×10^{-4}	6.60×10^{-5}	7.02×10^{-5}
0.04	4.16×10^{-4}	3.40×10^{-4}	4.04×10^{-4}	3.49×10^{-4}	2.71×10^{-4}	2.00×10^{-4}	1.02×10^{-4}	1.13×10^{-4}
0.05	6.07×10^{-4}	6.75×10^{-4}	6.16×10^{-4}	5.09×10^{-4}	4.08×10^{-4}	3.06×10^{-4}	1.86×10^{-4}	1.72×10^{-4}
0.06	8.47×10^{-4}	8.68×10^{-4}	7.80×10^{-4}	6.15×10^{-4}	5.57×10^{-4}	3.87×10^{-4}	2.24×10^{-4}	2.83×10^{-4}
0.08	1.31×10^{-3}	1.33×10^{-3}	1.23×10^{-3}	1.08×10^{-3}	8.32×10^{-4}	6.11×10^{-4}	4.21×10^{-4}	4.60×10^{-4}
0.1	1.92×10^{-3}	1.80×10^{-3}	1.66×10^{-3}	1.57×10^{-3}	1.20×10^{-3}	7.97×10^{-4}	5.48×10^{-4}	5.86×10^{-4}
0.15	3.24×10^{-3}	3.36×10^{-3}	3.11×10^{-3}	2.47×10^{-3}	2.23×10^{-3}	1.65×10^{-3}	1.02×10^{-3}	1.20×10^{-3}
0.2	5.04×10^{-3}	5.21×10^{-3}	4.60×10^{-3}	4.07×10^{-3}	3.47×10^{-3}	2.59×10^{-3}	1.64×10^{-3}	1.77×10^{-3}
0.3	9.58×10^{-3}	9.08×10^{-3}	7.91×10^{-3}	7.83×10^{-3}	6.02×10^{-3}	4.52×10^{-3}	3.11×10^{-3}	3.20×10^{-3}
0.4	1.41×10^{-2}	1.47×10^{-2}	1.29×10^{-2}	1.25×10^{-2}	1.00×10^{-2}	7.88×10^{-3}	5.09×10^{-3}	4.83×10^{-3}
0.5	2.06×10^{-2}	2.06×10^{-2}	1.91×10^{-2}	1.76×10^{-2}	1.41×10^{-2}	1.13×10^{-2}	7.66×10^{-3}	7.78×10^{-3}
0.6	1.75×10^{-1}	2.32×10^{-1}	3.17×10^{-1}	2.97×10^{-1}	1.86×10^{-1}	7.49×10^{-2}	2.32×10^{-2}	9.44×10^{-2}
0.7	7.56	8.46	9.60	8.88	6.08	2.89	8.98×10^{-1}	3.08
0.8	4.62×10^1	4.66×10^1	4.57×10^1	3.93×10^1	2.77×10^1	1.50×10^1	5.51	1.54×10^1
1	2.29×10^2	2.18×10^2	1.89×10^2	1.50×10^2	1.04×10^2	6.11×10^1	2.66×10^1	6.64×10^1
1.25	3.87×10^2	3.73×10^2	3.29×10^2	2.69×10^2	1.92×10^2	1.19×10^2	5.77×10^1	1.17×10^2
1.5	4.42×10^2	4.30×10^2	3.94×10^2	3.39×10^2	2.57×10^2	1.69×10^2	8.67×10^1	1.44×10^2
1.75	4.45×10^2	4.41×10^2	4.17×10^2	3.80×10^2	3.06×10^2	2.12×10^2	1.16×10^2	1.57×10^2
2	4.30×10^2	4.29×10^2	4.19×10^2	4.01×10^2	3.39×10^2	2.52×10^2	1.46×10^2	1.62×10^2
2.5	3.87×10^2	3.94×10^2	4.00×10^2	4.09×10^2	3.75×10^2	3.13×10^2	2.02×10^2	1.65×10^2
3	3.55×10^2	3.65×10^2	3.78×10^2	4.02×10^2	3.85×10^2	3.49×10^2	2.46×10^2	1.64×10^2
3.5	3.35×10^2	3.46×10^2	3.62×10^2	3.91×10^2	3.82×10^2	3.70×10^2	2.85×10^2	1.64×10^2
4	3.23×10^2	3.35×10^2	3.53×10^2	3.85×10^2	3.72×10^2	3.80×10^2	3.14×10^2	1.63×10^2
5	3.11×10^2	3.23×10^2	3.42×10^2	3.78×10^2	3.51×10^2	3.82×10^2	3.50×10^2	1.65×10^2
6	3.04×10^2	3.16×10^2	3.38×10^2	3.82×10^2	3.33×10^2	3.73×10^2	3.69×10^2	1.68×10^2
7	3.00×10^2	3.11×10^2	3.34×10^2	3.86×10^2	3.23×10^2	3.59×10^2	3.75×10^2	1.72×10^2
8	2.97×10^2	3.06×10^2	3.27×10^2	3.88×10^2	3.56×10^2	3.47×10^2	3.72×10^2	1.76×10^2
10	2.95×10^2	3.00×10^2	3.16×10^2	3.79×10^2	4.20×10^2	3.32×10^2	3.57×10^2	1.84×10^2
15	2.90×10^2	2.95×10^2	2.98×10^2	3.31×10^2	4.60×10^2	3.11×10^2	3.29×10^2	1.99×10^2
20	2.91×10^2	2.93×10^2	2.95×10^2	3.11×10^2	4.28×10^2	3.71×10^2	3.15×10^2	2.09×10^2
30	2.92×10^2	2.96×10^2	2.96×10^2	3.04×10^2	3.71×10^2	3.55×10^2	3.20×10^2	2.33×10^2
40	2.93×10^2	2.95×10^2	2.96×10^2	3.03×10^2	3.45×10^2	3.37×10^2	3.20×10^2	2.60×10^2
50	2.90×10^2	2.93×10^2	2.97×10^2	3.04×10^2	3.31×10^2	3.27×10^2	3.21×10^2	2.86×10^2

表 C.1.4 左右两侧照射时，从正电子注量到眼晶状体敏感细胞
最大吸收剂量的转换系数（Behrens, 2017 年 a）

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.001	7.43	7.94	7.89	7.35	6.13	4.91	3.47	3.06
0.002	7.17	7.47	7.43	6.98	5.88	4.58	3.21	2.87
0.003	6.99	7.26	7.39	6.71	5.61	4.43	3.05	2.76
0.004	6.88	7.34	7.28	6.64	5.70	4.36	3.01	2.72
0.005	7.02	7.17	7.29	6.72	5.67	4.24	3.07	2.74
0.006	6.97	7.18	7.33	6.59	5.54	4.33	2.91	2.70
0.007	6.85	7.31	7.22	6.65	5.58	4.33	2.98	2.69
0.008	6.92	7.31	7.21	6.65	5.51	4.27	2.95	2.77
0.009	6.84	7.30	7.14	6.60	5.57	4.30	2.94	2.73
0.01	6.87	7.26	7.18	6.61	5.52	4.31	2.94	2.67
0.013	6.78	7.32	7.20	6.62	5.53	4.23	2.98	2.65
0.015	6.88	7.29	7.08	6.55	5.65	4.38	2.92	2.69
0.017	6.96	7.19	7.23	6.56	5.55	4.30	2.94	2.63
0.02	6.79	7.13	7.17	6.59	5.49	4.24	3.01	2.72
0.024	6.93	7.22	7.28	6.57	5.59	4.30	2.92	2.67
0.03	6.95	7.18	7.27	6.49	5.59	4.31	2.94	2.68
0.04	6.94	7.15	7.26	6.69	5.62	4.39	2.91	2.67
0.05	6.87	7.20	7.20	6.76	5.55	4.29	2.92	2.77
0.06	6.91	7.04	7.28	6.74	5.61	4.31	3.00	2.71
0.07	6.99	7.17	7.35	6.48	5.52	4.33	2.96	2.68
0.08	6.96	7.20	7.21	6.80	5.61	4.38	3.01	2.71
0.1	6.97	7.43	7.26	6.71	5.57	4.25	3.00	2.73
0.15	6.94	7.30	7.30	6.68	5.63	4.23	2.98	2.79
0.2	7.13	7.42	7.60	6.93	5.76	4.43	2.99	2.75
0.3	7.29	7.61	7.66	6.97	5.80	4.50	3.12	2.90
0.4	7.60	7.97	7.71	7.12	5.88	4.70	3.16	2.96
0.5	7.91	8.35	8.11	7.36	6.23	4.70	3.24	3.02
0.6	8.44	8.70	8.86	8.11	6.67	4.98	3.39	3.26
0.7	1.71×10^1	1.84×10^1	1.95×10^1	1.80×10^1	1.34×10^1	8.33	4.46	6.91
0.8	5.95×10^1	5.97×10^1	5.86×10^1	5.03×10^1	3.65×10^1	2.15×10^1	9.54	2.02×10^1
1	2.48×10^2	2.37×10^2	2.06×10^2	1.64×10^2	1.15×10^2	6.88×10^1	3.18×10^1	7.28×10^1
1.25	3.94×10^2	3.79×10^2	3.35×10^2	2.77×10^2	2.03×10^2	1.27×10^2	6.18×10^1	1.21×10^2
1.5	4.34×10^2	4.24×10^2	3.90×10^2	3.41×10^2	2.61×10^2	1.72×10^2	9.22×10^1	1.45×10^2
1.75	4.32×10^2	4.24×10^2	4.10×10^2	3.72×10^2	3.06×10^2	2.13×10^2	1.20×10^2	1.54×10^2
2	4.13×10^2	4.13×10^2	4.05×10^2	3.87×10^2	3.35×10^2	2.50×10^2	1.46×10^2	1.58×10^2

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
2.5	3.68×10^2	3.76×10^2	3.83×10^2	3.92×10^2	3.68×10^2	3.04×10^2	2.03×10^2	1.59×10^2
3	3.41×10^2	3.50×10^2	3.64×10^2	3.87×10^2	3.68×10^2	3.37×10^2	2.47×10^2	1.61×10^2
3.5	3.22×10^2	3.31×10^2	3.48×10^2	3.77×10^2	3.66×10^2	3.53×10^2	2.76×10^2	1.59×10^2
4	3.12×10^2	3.24×10^2	3.40×10^2	3.71×10^2	3.56×10^2	3.69×10^2	3.03×10^2	1.58×10^2
5	3.02×10^2	3.13×10^2	3.36×10^2	3.63×10^2	3.34×10^2	3.70×10^2	3.40×10^2	1.60×10^2
6	2.97×10^2	3.08×10^2	3.29×10^2	3.68×10^2	3.24×10^2	3.57×10^2	3.52×10^2	1.63×10^2
7	2.93×10^2	3.04×10^2	3.26×10^2	3.72×10^2	3.13×10^2	3.39×10^2	3.64×10^2	1.69×10^2
8	2.92×10^2	2.96×10^2	3.21×10^2	3.76×10^2	3.46×10^2	3.35×10^2	3.58×10^2	1.71×10^2
10	2.89×10^2	2.94×10^2	3.11×10^2	3.68×10^2	4.08×10^2	3.23×10^2	3.44×10^2	1.80×10^2
15	2.90×10^2	2.91×10^2	2.98×10^2	3.22×10^2	4.39×10^2	3.10×10^2	3.23×10^2	1.94×10^2
20	2.89×10^2	2.91×10^2	2.94×10^2	3.06×10^2	4.12×10^2	3.55×10^2	3.11×10^2	2.06×10^2
30	2.90×10^2	2.91×10^2	2.92×10^2	2.98×10^2	3.59×10^2	3.37×10^2	3.09×10^2	2.29×10^2
40	2.91×10^2	2.94×10^2	2.95×10^2	2.98×10^2	3.37×10^2	3.24×10^2	3.06×10^2	2.57×10^2
50	2.93×10^2	2.91×10^2	2.95×10^2	2.95×10^2	3.23×10^2	3.23×10^2	3.10×10^2	2.78×10^2

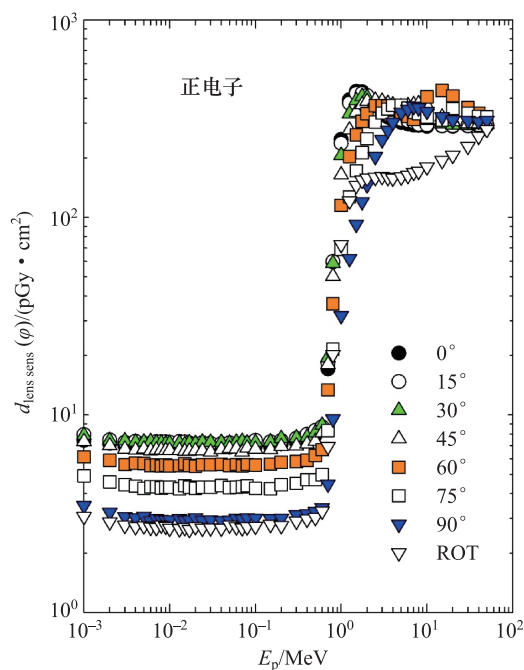


图 C.1.4 左右两侧照射时，从正电子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（Behrens，2017 年 a）

C.2 带电粒子平衡场中能量高达 50 MeV 的光子

场所监测仪器和个人剂量计的校准是为了测量光子的周围剂量、眼晶状体和局部皮肤定向及个人吸收剂量、个人剂量，通常通过在仪器和个人剂量计前放置足够的材料进行校准以确保在测试点提供完全带电粒子平衡。

对于能量高达 50 MeV 的光子，采用比释动能近似法来近似带电粒子平衡，表 C.2.1a 和图 C.2.1a 给出了从光子注量到眼晶状体定向和个人吸收剂量的转换系数值，表 C.2.1b 和图 C.2.1b 给出了从空气比释动能到眼晶状体定向和个人吸收剂量的转换系数值。这里给出的转换系数是针对嵌入全身体模的眼部模型（Behrens 和 Dietze，2011 年）的照射情况计算得出的，适用于水平面上入射的均匀平行宽束，角度 φ 从 0° （A-P）到 90° ，每隔 15° 计算一次，同时也适用于旋转场（ROT）。敏感细胞转换系数取左、右眼晶状体吸收剂量的最大值。如果在所有角度上对敏感单元的最大值进行积分以获得旋转照射的值，则结果与旋转照射计算值不一致。

表 C.2.1a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（比释动能近似法计算结果）（Behrens，2017 年 a）

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	4.10×10^{-5}	6.91×10^{-5}	1.48×10^{-4}	1.56×10^{-4}	5.95×10^{-5}	7.94×10^{-6}	4.11×10^{-7}	3.06×10^{-5}
0.006	7.94×10^{-3}	8.87×10^{-3}	1.06×10^{-2}	1.02×10^{-2}	5.73×10^{-3}	1.56×10^{-3}	1.74×10^{-4}	3.13×10^{-3}
0.007	1.07×10^{-1}	1.06×10^{-1}	1.05×10^{-1}	9.16×10^{-2}	6.22×10^{-2}	2.67×10^{-2}	4.67×10^{-3}	3.39×10^{-2}
0.008	4.25×10^{-1}	4.12×10^{-1}	3.79×10^{-1}	3.24×10^{-1}	2.35×10^{-1}	1.23×10^{-1}	3.65×10^{-2}	1.29×10^{-1}
0.009	9.03×10^{-1}	8.76×10^{-1}	7.97×10^{-1}	6.77×10^{-1}	5.21×10^{-1}	3.20×10^{-1}	1.22×10^{-1}	2.85×10^{-1}
0.01	1.38	1.34	1.23	1.06	8.58×10^{-1}	5.79×10^{-1}	2.63×10^{-1}	4.52×10^{-1}
0.011	1.73	1.69	1.57	1.39	1.15	8.45×10^{-1}	4.43×10^{-1}	5.92×10^{-1}
0.013	2.02	2.00	1.90	1.74	1.53	1.25	7.87×10^{-1}	7.59×10^{-1}
0.015	1.98	1.96	1.89	1.77	1.63	1.41	1.02	7.97×10^{-1}
0.017	1.80	1.79	1.74	1.67	1.55	1.40	1.11	7.72×10^{-1}
0.02	1.49	1.49	1.47	1.43	1.35	1.26	1.07	6.87×10^{-1}
0.024	1.16	1.17	1.15	1.14	1.11	1.05	9.27×10^{-1}	5.79×10^{-1}
0.03	8.53×10^{-1}	8.48×10^{-1}	8.50×10^{-1}	8.50×10^{-1}	8.24×10^{-1}	7.93×10^{-1}	7.28×10^{-1}	4.59×10^{-1}
0.04	5.89×10^{-1}	5.95×10^{-1}	5.97×10^{-1}	5.92×10^{-1}	5.87×10^{-1}	5.77×10^{-1}	5.30×10^{-1}	3.43×10^{-1}

续表

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\phi)/(\text{pGy} \cdot \text{cm}^2)$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.05	4.89×10^{-1}	4.88×10^{-1}	4.94×10^{-1}	5.00×10^{-1}	4.97×10^{-1}	4.80×10^{-1}	4.46×10^{-1}	2.99×10^{-1}
0.06	4.51×10^{-1}	4.52×10^{-1}	4.61×10^{-1}	4.64×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.41×10^{-1}	4.28×10^{-1}	2.86×10^{-1}
0.07	4.55×10^{-1}	4.63×10^{-1}	4.61×10^{-1}	4.61×10^{-1}	4.59×10^{-1}	4.46×10^{-1}	4.31×10^{-1}	2.92×10^{-1}
0.08	4.81×10^{-1}	4.86×10^{-1}	4.84×10^{-1}	4.87×10^{-1}	4.77×10^{-1}	4.77×10^{-1}	4.60×10^{-1}	3.14×10^{-1}
0.1	5.58×10^{-1}	5.59×10^{-1}	5.68×10^{-1}	5.69×10^{-1}	5.62×10^{-1}	5.58×10^{-1}	5.42×10^{-1}	3.75×10^{-1}
0.12	6.62×10^{-1}	6.70×10^{-1}	6.68×10^{-1}	6.73×10^{-1}	6.62×10^{-1}	6.66×10^{-1}	6.42×10^{-1}	4.56×10^{-1}
0.15	8.35×10^{-1}	8.39×10^{-1}	8.48×10^{-1}	8.41×10^{-1}	8.44×10^{-1}	8.37×10^{-1}	8.07×10^{-1}	5.78×10^{-1}
0.2	1.14	1.14	1.16	1.17	1.15	1.15	1.12	8.08×10^{-1}
0.24	1.38	1.40	1.40	1.39	1.42	1.40	1.38	9.96×10^{-1}
0.3	1.75	1.76	1.76	1.78	1.80	1.76	1.73	1.30
0.4	2.29	2.37	2.33	2.37	2.39	2.34	2.29	1.75
0.5	2.82	2.82	2.88	2.93	3.01	2.86	2.84	2.23
0.511	2.91	2.91	2.95	3.00	2.98	2.90	2.92	2.26
0.6	3.35	3.37	3.42	3.48	3.49	3.39	3.38	2.64
0.662	3.64	3.65	3.69	3.78	3.78	3.66	3.65	2.92
0.8	4.24	4.33	4.31	4.38	4.41	4.32	4.31	3.46
1	5.09	5.10	5.12	5.24	5.31	5.12	5.09	4.24
1.117	5.58	5.57	5.71	5.68	5.74	5.57	5.54	4.63
1.2	5.81	5.93	5.93	5.98	6.03	5.90	5.85	4.87
1.3	6.23	6.27	6.29	6.41	6.43	6.25	6.26	5.25
1.33	6.32	6.36	6.35	6.45	6.51	6.37	6.35	5.39
1.5	6.89	6.98	6.91	7.02	7.10	6.90	6.89	5.98
1.7	7.47	7.58	7.59	7.68	7.78	7.55	7.53	6.49
2	8.39	8.44	8.47	8.53	8.62	8.42	8.35	7.23
2.4	9.41	9.53	9.52	9.71	9.72	9.48	9.60	8.32
3	1.10×10^1	1.10×10^1	1.11×10^1	1.11×10^1	1.12×10^1	1.09×10^1	1.09×10^1	9.82
4	1.32×10^1	1.33×10^1	1.34×10^1	1.33×10^1	1.34×10^1	1.32×10^1	1.32×10^1	1.18×10^1
5	1.54×10^1	1.54×10^1	1.55×10^1	1.57×10^1	1.56×10^1	1.53×10^1	1.55×10^1	1.38×10^1
6	1.74×10^1	1.74×10^1	1.75×10^1	1.76×10^1	1.75×10^1	1.74×10^1	1.75×10^1	1.56×10^1
6.129	1.76×10^1	1.77×10^1	1.77×10^1	1.80×10^1	1.81×10^1	1.74×10^1	1.76×10^1	1.61×10^1
8	2.15×10^1	2.17×10^1	2.14×10^1	2.15×10^1	2.16×10^1	2.15×10^1	2.16×10^1	1.93×10^1
10	2.54×10^1	2.55×10^1	2.57×10^1	2.55×10^1	2.55×10^1	2.56×10^1	2.56×10^1	2.36×10^1
15	3.59×10^1	3.61×10^1	3.57×10^1	3.57×10^1	3.59×10^1	3.55×10^1	3.52×10^1	3.32×10^1
20	4.61×10^1	4.63×10^1	4.69×10^1	4.66×10^1	4.67×10^1	4.65×10^1	4.64×10^1	4.35×10^1
30	6.96×10^1	6.97×10^1	6.96×10^1	6.93×10^1	6.87×10^1	7.00×10^1	6.86×10^1	6.45×10^1
40	9.40×10^1	9.34×10^1	9.35×10^1	9.40×10^1	9.49×10^1	9.33×10^1	9.21×10^1	8.72×10^1
50	1.19×10^2	1.19×10^2	1.20×10^2	1.19×10^2	1.19×10^2	1.17×10^2	1.17×10^2	1.09×10^2

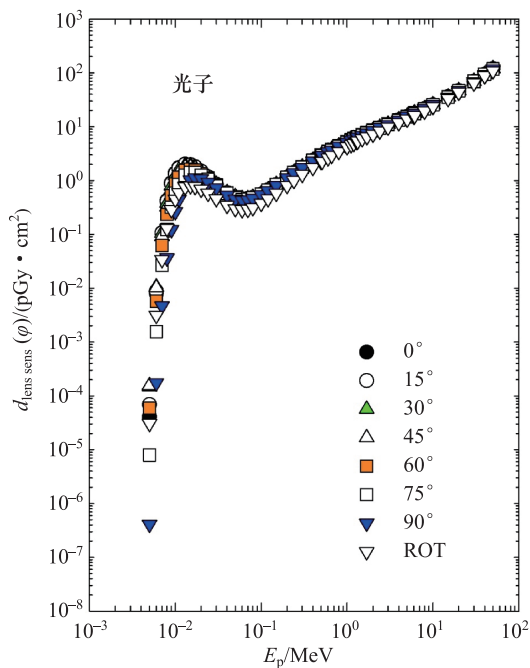


图 C.2.1a 左右两侧照射时，从光子注量到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Behrens, 2017 年 a)

表 C.2.1b 左右两侧照射时，从光子空气比释动能到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数
(比释动能近似法计算结果) (Behrens, 2017 年 a)

E_p/MeV	ϕ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\phi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.005	1.34×10^{-6}	2.25×10^{-6}	4.84×10^{-6}	5.10×10^{-6}	1.94×10^{-6}	2.59×10^{-7}	1.34×10^{-8}	9.99×10^{-7}
0.006	3.74×10^{-4}	4.17×10^{-4}	4.99×10^{-4}	4.79×10^{-4}	2.69×10^{-4}	7.33×10^{-5}	8.21×10^{-6}	1.47×10^{-4}
0.007	6.88×10^{-3}	6.86×10^{-3}	6.75×10^{-3}	5.91×10^{-3}	4.01×10^{-3}	1.72×10^{-3}	3.01×10^{-4}	2.19×10^{-3}
0.008	3.61×10^{-2}	3.50×10^{-2}	3.21×10^{-2}	2.75×10^{-2}	1.99×10^{-2}	1.05×10^{-2}	3.09×10^{-3}	1.10×10^{-2}
0.009	9.80×10^{-2}	9.50×10^{-2}	8.65×10^{-2}	7.35×10^{-2}	5.65×10^{-2}	3.47×10^{-2}	1.33×10^{-2}	3.09×10^{-2}
0.01	1.86×10^{-1}	1.81×10^{-1}	1.66×10^{-1}	1.44×10^{-1}	1.16×10^{-1}	7.82×10^{-2}	3.55×10^{-2}	6.11×10^{-2}
0.011	2.86×10^{-1}	2.79×10^{-1}	2.59×10^{-1}	2.29×10^{-1}	1.91×10^{-1}	1.40×10^{-1}	7.32×10^{-2}	9.80×10^{-2}
0.013	4.78×10^{-1}	4.71×10^{-1}	4.48×10^{-1}	4.11×10^{-1}	3.61×10^{-1}	2.96×10^{-1}	1.86×10^{-1}	1.79×10^{-1}
0.015	6.33×10^{-1}	6.26×10^{-1}	6.03×10^{-1}	5.68×10^{-1}	5.22×10^{-1}	4.51×10^{-1}	3.25×10^{-1}	2.55×10^{-1}
0.017	7.56×10^{-1}	7.49×10^{-1}	7.29×10^{-1}	7.01×10^{-1}	6.49×10^{-1}	5.86×10^{-1}	4.63×10^{-1}	3.23×10^{-1}
0.02	8.87×10^{-1}	8.83×10^{-1}	8.74×10^{-1}	8.47×10^{-1}	8.03×10^{-1}	7.50×10^{-1}	6.36×10^{-1}	4.08×10^{-1}
0.024	1.01	1.02	1.00	9.89×10^{-1}	9.61×10^{-1}	9.12×10^{-1}	8.06×10^{-1}	5.04×10^{-1}
0.03	1.18	1.18	1.18	1.18	1.14	1.10	1.01	6.35×10^{-1}
0.04	1.37	1.39	1.39	1.38	1.37	1.34	1.24	7.99×10^{-1}
0.05	1.52	1.51	1.53	1.55	1.54	1.49	1.38	9.27×10^{-1}

续表

E_p/MeV	φ 角入射辐射的 $d_{\text{lens sens}}(\varphi)/(\text{Gy} \cdot \text{Gy}^{-1})$							
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	ROT
0.06	1.56	1.57	1.60	1.60	1.59	1.53	1.48	9.89×10^{-1}
0.07	1.58	1.61	1.60	1.60	1.59	1.55	1.50	1.01
0.08	1.57	1.59	1.58	1.59	1.55	1.55	1.50	1.02
0.1	1.50	1.51	1.53	1.53	1.51	1.50	1.46	1.01
0.12	1.44	1.45	1.45	1.46	1.44	1.44	1.39	9.90×10^{-1}
0.15	1.39	1.40	1.42	1.40	1.41	1.40	1.35	9.64×10^{-1}
0.2	1.33	1.34	1.35	1.36	1.34	1.34	1.31	9.43×10^{-1}
0.24	1.30	1.32	1.32	1.30	1.34	1.32	1.30	9.38×10^{-1}
0.3	1.27	1.27	1.27	1.29	1.30	1.27	1.25	9.38×10^{-1}
0.4	1.21	1.25	1.23	1.25	1.26	1.24	1.21	9.24×10^{-1}
0.5	1.18	1.19	1.21	1.23	1.26	1.20	1.19	9.36×10^{-1}
0.511	1.20	1.20	1.21	1.23	1.22	1.19	1.20	9.29×10^{-1}
0.6	1.18	1.18	1.20	1.22	1.23	1.19	1.19	9.30×10^{-1}
0.662	1.17	1.17	1.19	1.21	1.22	1.18	1.17	9.37×10^{-1}
0.8	1.15	1.17	1.16	1.18	1.19	1.17	1.16	9.35×10^{-1}
1	1.14	1.14	1.14	1.17	1.18	1.14	1.14	9.45×10^{-1}
1.117	1.14	1.14	1.17	1.16	1.18	1.14	1.13	9.48×10^{-1}
1.2	1.13	1.15	1.15	1.16	1.17	1.14	1.13	9.43×10^{-1}
1.3	1.13	1.14	1.14	1.17	1.17	1.14	1.14	9.55×10^{-1}
1.33	1.13	1.14	1.14	1.15	1.16	1.14	1.13	9.62×10^{-1}
1.5	1.12	1.13	1.12	1.14	1.15	1.12	1.12	9.72×10^{-1}
1.7	1.11	1.13	1.13	1.14	1.16	1.12	1.12	9.65×10^{-1}
2	1.11	1.12	1.12	1.13	1.14	1.11	1.10	9.56×10^{-1}
2.4	1.10	1.11	1.11	1.13	1.14	1.11	1.12	9.72×10^{-1}
3	1.10	1.11	1.11	1.11	1.13	1.09	1.09	9.84×10^{-1}
4	1.09	1.10	1.11	1.10	1.10	1.09	1.09	9.72×10^{-1}
5	1.09	1.08	1.09	1.11	1.10	1.08	1.09	9.71×10^{-1}
6	1.08	1.08	1.08	1.09	1.08	1.08	1.08	9.68×10^{-1}
6.129	1.07	1.08	1.07	1.09	1.10	1.06	1.07	9.79×10^{-1}
8	1.07	1.08	1.06	1.07	1.07	1.07	1.07	9.61×10^{-1}
10	1.05	1.05	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	9.78×10^{-1}
15	1.04	1.05	1.03	1.04	1.04	1.03	1.02	9.62×10^{-1}
20	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02	9.58×10^{-1}
30	1.01	1.02	1.01	1.01	1.00	1.02	9.99×10^{-1}	9.41×10^{-1}
40	1.01	1.00	1.00	1.01	1.02	1.00	9.87×10^{-1}	9.35×10^{-1}
50	9.95×10^{-1}	1.00	1.01	9.97×10^{-1}	9.95×10^{-1}	9.78×10^{-1}	9.81×10^{-1}	9.15×10^{-1}

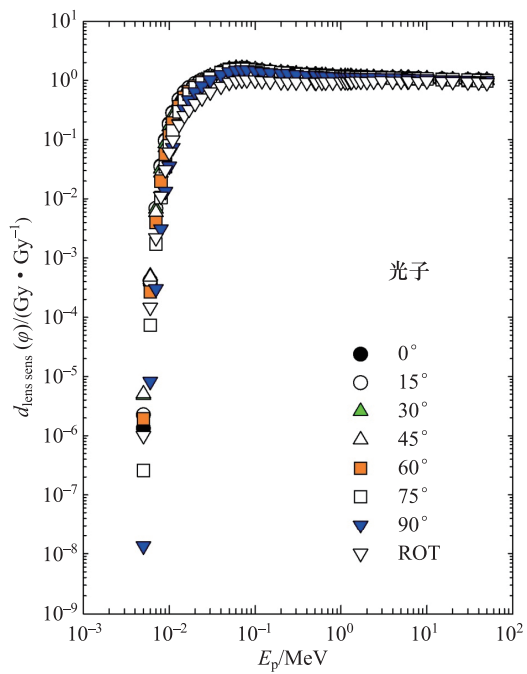


图 C.2.1b 左右两侧照射时，从光子空气比释动能到眼晶状体敏感细胞最大吸收剂量的转换系数（比释动能近似法计算结果）（Behrens, 2017 年 a）

参考文献

- Anderson, I. O, and Braun, J. (1963). “A neutron rem counter with uniform sensitivity from 0.25 eV to 10 MeV,” pp. 87-95 in *Neutron Dosimetry, Proceedings of the Symposium on Neutron Detection Dosimetry Standards* 287 (Harwell, England).
- Armstrong, T. W., and Chandler, K. C. (1973). *SPAR, a FORTRAN Program for Computing Stopping Powers and Ranges for Muons, Charged Pions, Protons and Heavy Ions*, ORNL-4869 (Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN).
- Attix, F. H. (1979a). “The partition of kerma to account for Bremsstrahlung,” *Health. Phys.* 36, 347-354.
- Attix, F. H. (1979b). “Addendum to The partition of kerma to account for Bremsstrahlung,” *Health. Phys.* 36, 536.
- Bartlett, D. T., and Dietze, G. (2010). ICRU Operational Quantities. *Radiat. Prot. Dosim.* 139, 475-476.
- Behrens, R. (2012). “On the operational quantity $H_p(3)$ for eye lens dosimetry,” *J. Radiol. Prot.* 32, 455-464.
- Behrens, R. (2017a). “Compilation of conversion coefficients for the dose to the lens of the eye,” *Radiat. Prot. Dosim.* 174, 348-370.
- Behrens, R. (2017b). “Conversion coefficients for $H'(3; \infty)$ for photons,” *J. Radiol. Prot.* 37, 354-378.
- Behrens, R., and Dietze, G. (2011). “Dose conversion coefficients for photon exposure of the human eye lens,” *Phys. Med. Biol.* 56, 415-437.
- Berger, M. J. (1963). “Monte carlo calculation of the penetration and diffusion of fast charged particles,” pp. 135-215 in *Methods in Computational*

- Physics*, Alder, B., Fernbach, S., and Rotenberg, M., Eds. (Academic Press, New York).
- Böhlen, T. T., Cerutti, F., Chin, M. P. W., et al (2014). “The FLUKA code: Developments and challenges for high energy and medical applications,” *Nucl. Data Sheets*. 120, 211-214.
- Boudard, A., Cugnon, J., David, J. C., Leray, S., and Mancusi, D. (2013). “New potentialities of the Liege Intranuclear Cascade Model for reactions induced by nucleons and light charged particles,” *Phys. Rev. C* 87, 014606.
- Boutillon, M., and Allisy-Roberts, P. J. (1996). *Measurement of Air Kerma and Ambient Dose Equivalent in a ^{137}Cs Beam*, Rapport BIPM-1996/07. <http://www.bipm.org/utis/common/pdf/rap-portBIPM/RapportBIPM-1996-07.pdf>.
- Burlin, T. E. (1981). “The relevance of fluence data to radiation protection,” pp. 33-46 in *Radiation Protection Quantities for External Exposure*, Proceedings of European Seminar Braunschweig, 1980. (Harwood/CEC, Brussels and Luxembourg).
- Burlin, T. E., and Wheatley, B. M (1971). “A unified approach to dosimetry in radiological protection,” *Phys. Med. Biol.* 16, 47-56.
- Burlin, T. E., Davies, M. L., and Wheatley, B. M. (1979). “Cavity ionisation theory applied to the design of a maximum permissible fluence instrument,” *Phys. Med. Biol.* 24 (1), 44-56.
- CEC (1983). Commission of the European Communities. *Operational Quantities for Use in External Radiation Protection Measurements. An Investigation of Concepts and Principles*, Radiological Protection-27, Report Eur 8346 EN (European Communities, Luxembourg).
- Conlin, J. L. Ed. (2017). *Listing of Available ACE Tables*, Los Alamos National Laboratory, LA-UR-17-20709 (Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico).

- Daures, J., Gouriou, J., and Bordy, J-M. (2011). “Monte Carlo determination of the conversion coefficients $H_p(3)/K_a$ in a right cylinder phantom with PENELOPE code. Comparison with “MCNP” simulations,” *Radiat. Prot. Dosim.* 144 (1-4), 37-42.
- Dimbylow, P. J., and Francis, T. M. (1983). “The effect of photon scatter and consequent electron build-up in air on the calculation of dose equivalent quantities in the ICRU sphere for photon energies from 0.662 to 10 MeV,” *Phys. Med. Biol.* 28, 817-828.
- Dimbylow, P. J., and Francis, T. M. (1984). “The calculation of dose equivalent quantities in the ICRU sphere for photon energies from 0.01 to 10 MeV,” *Radiat. Prot. Dosim.* 9, 49-53.
- Dunford, C. L. (1991). “Evaluated nuclear data file, ENDF/B-VI,” pp. 788-792 in *Proceedings of an International Conference on Nuclear Data for Science and Technology* (Jülich, Germany).
- Eakins, J. S., and Tanner, R. J. (2019). “The effects of a revised operational dose quantity on the response characteristics of a $^{2/3}$ personal dosimeter,” *J. Radiol. Prot.* 39, 399-421.
- Eakins, J. S., Tanner, R. J., and Hager, L. H. (2018). “The effect of a revised operational dose quantity on the response characteristics of neutron survey instruments,” *J. Radiol. Prot.* 38, 688-701.
- Endo, A. (2016). “Operational quantities and new approach by ICRU,” *Ann. ICRP.* 45 Supplement 1, 178-187.
- Endo, A. (2017). “Calculation of fluence-to-effective dose conversion coefficients for the operational quantity proposed by ICRU RC 26,” *Radiat. Prot. Dosim.* 175, 378-387.
- Ferrari, F., and Gualdrini, G. (2012). *Eye Lens Dosimetry for Electrons. $H_p(3)$ Per Unit Fluence Conversion Coefficients for Electrons from 800 keV to*

- 10 MeV Based on MCNPX Simulations on a Cylindrical Phantom*. ENEA Technical Report RT/2012/6/ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Rome).
- Ferrari, A., and Pelliccioni, M. (1994). “On the conversion coefficients from fluence to ambient dose equivalent,” *Radiat. Prot. Dosim.* 51, 251-255.
- Ferrari, A., and Pelliccioni, M. (1995). “The effect of air on the dose equivalent at 10 mm depth in the ICRU sphere,” *Radiat. Prot. Dosim.* 60, 243-247.
- Ferrari, A., Sala, P. R., Fassò, A., and Ranft, J. (2005). *FLUKA: A Multi-Particle Transport Code*, CERN-2005-10, INFN/TC_05/11, SLAC-R-773 (Stanford Linear Accelerator Center, Stanford University, Stanford, CA).
- Furihata, S. (2000). “Statistical analysis of light fragment production from medium energy proton-induced reactions,” *Nucl. Instrum. Meth.* B171, 251-258.
- Geissel, H., Scheidenberger, C., Malzacher, P., Kunzendorf, J., and Weick, H. (2013, March 4). *ATIMA* (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Darmstadt, Germany). <https://web-docs.gsi.de/~weick/atima/>.
- Goorley, J. T., James, M. R., Booth, T. E., *et al* (2013). *Initial MCNP6 Release Overview*, LA-UR-13-22934 (Los Alamos National Laboratories, Los Alamos, NM).
- Grosswendt, B., and Chartier, J. -L. (1994). *Fluence-to-Absorbed-Dose Conversion Coefficients and Angular-Dependence Factors for 4-Element ICRU Tissue, Water and PMMA Slab Phantoms Irradiated by Broad Electron Beams*, PTB-Dos-24 (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany).
- Gualdrini, G., Mariotti, F., Wach, S., *et al* (2011). “A new cylindrical phantom for eye lens dosimetry development,” *Radiat. Meas.* 46, 1231-1234.

- Harrison, J. D., Balonov, M., Martin, C. J., *et al* (2016). “Use of effective dose,” *Ann. ICRP*. 45 Supplement 1, 215-224.
- Hertel N. E., Veinot K. G., Hiller M. M., *et al* (2021). “Neutron dose coefficients for the lens of the eye,” *J. Radiol. Prot.* 41, 628-653.*
- Hirayama, H., Namito, Y., Bielajew, A. F., Wilderman, S. J., and Nelson, W. R. (2005). *The EGS5 Code System*, SLAC-R-730 and KEK Report 2005-8 (High Energy Accelerator Research Organization, Japan).
- Hubbell, J. H., and Seltzer, S. M. (1995). *Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-Absorption Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substances of Dosimetric Interest*, Report NISTIR 5632 (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD).
- ICRU (1971a). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Radiation Protection Instrumentation and Its Application*, ICRU Report 20 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (1971b). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Radiation Quantities and Units*, ICRU Report 19 (International Commission on Radiation Protection, Bethesda, MD).
- ICRU (1980). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Radiation Quantities and Units*, ICRU Report 33 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (1984). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Stopping Powers for Electrons and Positrons*, ICRU Report 37 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).

* 译者注：ICRU 95 号报告出版后，报告编写委员会对报告中的部分图表进行了更新并引用了新的参考文献，此为更新图表引用的参考文献。

- ICRU (1985). International Commission on Radiation Units and Measurement. *Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources*, ICRU Report 39 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (1988). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Determination of Dose Equivalents from External Radiation Sources-Part 2*, ICRU Report 43 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (1992). International Commission on Radiation Units and Measurement. *Measurements of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations*, ICRU Report 47 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (1993). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry*, ICRU Report 51 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (1998). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection Against External Radiation*, ICRU Report 57 (International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD).
- ICRU (2001). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Determination of Operational Dose Equivalent Quantities for Neutrons*, ICRU Report 66, J. ICRU 1 (3) (Oxford University Press, Oxford).
- ICRU (2006). International Commission on Radiation Units and Measurements (2006). *Measurement Quality Assurance for Ionizing Radiation Dosimetry*, ICRU Report 76, J. ICRU 6 (2) (Oxford University Press, Oxford).
- ICRU (2010). International Commission on Radiation Units and Measurements.

- Reference Data for the Validation of Doses from Cosmic-Radiation Exposure of Aircraft Crew*, ICRU Report 84, J. ICRU 10 (2) (Oxford University Press, Oxford).
- ICRU (2011). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Fundamental Quantities and Units for Ionizing Radiation*, ICRU Report 85a, J. ICRU 11 (1a) (Oxford University Press, Oxford). ICRU (2014). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Key Data for Ionizing-Radiation Dosimetry: Measurement Standards and Applications*, ICRU Report 90, J. ICRU 14 (1) (Oxford University Press, Oxford).
- ICRU (2014). International Commission on Radiation Units and Measurements. *Key Data for Ionizing-Radiation Dosimetry: Measurement Standards and Applications*, ICRU Report 90, J. ICRU 14 (1) (Oxford University Press, Oxford).
- ICRP (1969). International Commission on Radiological Protection. *Protection against Ionizing Radiation from External Sources*, ICRP Publication 15 (Pergamon Press, Oxford).
- ICRP (1971). International Commission on Radiological Protection. *Protection against Ionizing Radiation from External Sources: Supplement to ICRP Publication 15*, ICRP Publication 21 (Pergamon Press, Oxford).
- ICRP (1991). International Commission on Radiological Protection. *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 60 (Pergamon Press, Oxford).
- ICRP (1996). International Commission on Radiological Protection. *Conversion Coefficients for Use in Radiological Protection against External Radiation*, ICRP Publication 74, Ann. ICRP 26 (3-4). (Elsevier Science, Oxford).
- ICRP (2002). International Commission on Radiological Protection. *Basic Anatomical and Physiological Data for use in Radiological Protection*,

- ICRP Publication 89, Ann. ICRP 32 (3-4). (Elsevier Science, Oxford).
- ICRP (2007). International Commission on Radiological Protection. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4). (Elsevier Science, Oxford).
- ICRP (2009). International Commission on Radiological Protection. *Adult Reference Computational Phantoms*, ICRP Publication 110, Ann. ICRP 38 (2). (Elsevier Science, Oxford).
- ICRP (2010). International Commission on Radiological Protection. *Conversion Coefficients for Radiological Protection for External Radiation Exposures*, ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40 (2-5) (Elsevier Science, Oxford).
- ICRP (2012). International Commission on Radiological Protection. *ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs—Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context*, ICRP Publication 118, Ann. ICRP 41 (1-2) (Elsevier Science, Oxford).
- ICRP (2016). International Commission on Radiological Protection. *Radiological Protection from Cosmic Radiation in Aviation*, ICRP Publication 132, Ann. ICRP 45 (1) (Elsevier Science, Oxford).
- IEC (2009). International Electrotechnical Commission. *Radiation Protection Instrumentation—Ambient and/or Directional Dose Equivalent (Rate) Meters and/or Monitors for Beta, X and Gamma Radiation—Part 1: Portable Workplace and Environmental Meters and Monitors*, IEC 60846-1: 2009 (International Electrotechnical Commission, Geneva).
- IEC (2010). International Electrotechnical Commission. *Radiation Protection Instrumentation—Measurement of Personal Dose Equivalents $H_p(10)$ and $H_p(0, 07)$ for X, Gamma, Neutron and Beta Radiations—Direct Reading*

- Personal Dose Equivalent Meters and Monitors*, IEC 61526 Ed. 3 (International Electrotechnical Commission, Geneva).
- IEC (2012). International Electrotechnical Commission. *Radiation Protection Instrumentation—Passive Integrating Dosimetry Systems for Environmental and Personal Monitoring of Photon and Beta Radiation*, IEC 62387 (International Electrotechnical Commission, Geneva).
- IEC (2014). International Electrotechnical Commission. *Radiation Protection Instrumentation—Neutron Ambient Dose Equivalent (Rate) Meters*; IEC 61005 (International Electrotechnical Commission, Geneva).
- ISO (1998). International Organization for Standardization. *Reference Neutron Radiations -Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and Determination of Response as a Function of Energy and Angle of Incidence*, ISO 8529-3: 1998 (International Organization for Standardization, Geneva).
- ISO (2006). International Organization for Standardization., *Nuclear Energy—Reference Beta—particle Radiation—Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Determination of Their Response as a Function of Beta Radiation Energy and Angle of Incidence*, ISO 6980-3: 2006 (International Organization for Standardization, Geneva).
- ISO (2012). International Organization for Standardization. *Reference Radiation Fields for Radiation Protection — Definitions and Fundamental Concepts*, ISO 29661: 2012 (International Organization of Standards, Geneva).
- ISO (2015). International Organization for Standardization. *Passive Neutron Dosimetry Systems—Part 1: Performance and Test Requirements for Personal Dosimetry*, ISO 21909-1: 2015 (International Organization of Standards, Geneva).
- ISO (2019). International Organization for Standardization. *Radiological Protection—X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters*

- and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy — Part 3: Calibration of Area and Personal Dosimeters and the Measurement of Their Response as a Function of Energy and Angle of Incidence*, ISO 4037-3: 2019 (International Organization for Standardization, Geneva).
- Jahr, R., Hollnagel, R. A., and Siebert, B. R. L. (1981). “A conceptual physical basis for monitoring external radiation,” *Radiat. Prot. Dosim.* 1, 299-304.
- Kawrakow, I. (2002). “Electron impact ionization cross sections for EGSnrc,” *Med. Phys.* 29, 1230.
- Kawrakow, I., Mainegra-Hing, E., Rogers, D. W. O., Tessier, F., and Walters, B. R. B. (2013). *The EGSnrc Code System: Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport*, PIRS Report 701 (National Research Council, Ottawa).
- Kim, J. O., and Kim, J. K. (1999). “Dose equivalent per unit fluence near the surface of the ICRU phantom by including the secondary electron transport for photons,” *Radiat. Prot. Dosim.* 83 (3), 211-219.
- Koch, H. W., and Motz, J. W. (1959). “Bremsstrahlung cross-section formulas and related data,” *Rev. Mod. Phys.* 31, 920-955.
- Nara, Y., Otuka, H., Ohnishi, A., Niita, K., and Chiba, S. (1999). “Relativistic nuclear collisions at 10 A GeV energies from p+Be to Au+Au with the hadronic cascade model,” *Phys. Rev. C* 61, 024901.
- NCRP (1971). National Council on Radiation Protection and Measurements. *Protection Against Neutron Radiation*, NCRP Report No. 38 (National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD).
- Nelson, W. R., Hirayama, H., and Rogers, D. W. O. (1985). *The EGS4 Code System*. SLAC Report 265 (Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, CA).

- Niita, K., Chiba, S., Maruyama, T., *et al* (1995). “Analysis of the (N, Xn) reactions by quantum molecular dynamics plus statistical decay model,” *Phys. Rev. C* 52, 2620-2635.
- Otto, T. (2019). “Response of Photon Dosimeters and Survey Instruments to New Operational Quantities, Proposed by ICRU RC 26,” *J. Instrum.* 14 P01010.
- Papiez, L., and Battista, J. J. (1994). “Radiance and particle fluence,” *Phys. Med. Biol.* 39, 1053-1062.
- Pelliccioni, M. (1998). “Fluence to dose equivalent conversion data and radiation weighting factors for high energy radiation,” *Radiat. Prot. Dosim.* 77, 159-170.
- Pelliccioni, M. (2000). “Overview of fluence-to-effective dose and fluence-to-ambient dose equivalent conversion coefficients for high energy radiation calculated using the FLUKA Code,” *Radiat. Prot. Dosim.* 88, 279-297.
- Perroche, A-M., and Boutillon, M. (1989). “Measurement of ambient dose equivalent and directional dose equivalent in a ^{60}Co beam,” *Radiat. Prot. Dosim.* 27, 139-148.
- Sato, T., Niita, K., Matsuda, N., *et al* (2013). “Particle and heavy ion transport code system PHITS, version 2.52,” *J. Nucl. Sci. Technol.* 50, 913-923.
- Schuhmacher, H., Bartlett, D. T., Bolognese-Milsztajn, T., *et al* (2006). *Evaluation of Individual Dosimetry in Mixed Neutron and Photon Radiation Fields*, Report PTB-N-49 (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany).
- Seltzer, S. M. (1993). “Calculation of photon mass energy-transfer and mass energy-absorption coefficients,” *Radiat. Res.* 136, 147-170.
- Sidwell, J. M., Burlin, T. E., and Wheatley, B. M. (1969). “Calculations of the absorbed dose in a phantom from photon fluence and some applications to

- radiological protection,” *Br. J. Radiol.* 42, 522-529.
- Tanner, R. J., Hager, L., and Eakins, J. (2018). “The response of the PHE neutron personal dosimeter in terms of the proposed ICRU personal dose equivalent,” *Radiat. Prot. Dosim.* 180 (1-4), 17-20.
- Vanhavere, F., Carinou, E., Gualdrini, G., *et al* (2012). *ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff*, EURADOS Report 2012-02 (European Radiation Dosimetry Group, Neuherberg).
- Veinot, K. G., and Hertel, N. E. (2011). “Personal dose equivalent conversion coefficients for photons to 1 GeV,” *Radiat. Prot. Dosim.* 145 (1), 28-35.
- Veinot, K. G., Hertel, N. E., Hiller, M. M., and Eckerman, K. F. (2020). “Neutron dose coefficients for the local skin,” *J. Radiol. Prot.* 20 (2), 554-582.
- Werner, C. J., Ed. (2017). *MCNP User Manual Code Version 6.2*, LA-UR-17-2pp81 (Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM).
- Werner, C. J., Bull, J. S., Solomon, C. J., *et al* (2018). *MCNP Release Notes*, LA-UR-18-20808 (Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM).

用于外照射辐射的实用量
OPERATIONAL QUANTITIES FOR EXTERNAL RADIATION EXPOSURE

国际辐射单位与测量委员会 / 编著
邓君 孙亮 等 / 译
孙全富 卓维海 / 审校



中国原子能出版社

