

II

CE

LIANG

剂量测量的标准化

国际原子能机构编

第一卷

原子能出版社

剂量测量的标准化

第 一 卷

国际原子能机构 编

陈丽姝 杨文霞 译

刘远迈 张之彬

张永兴 校

原 子 能 出 版 社

National and International Standardization of
Radiation Dosimetry
Proceedings of an International Symposium on
National and International Standardization of
Radiation Dosimetry held by the International
Atomic Energy Agency in Atlanta,
Georgia, 5—9 December 1977 Vol. I
International Atomic Energy Agency, Vienna, 1978

剂量测量的标准化

第一卷

陈丽姝 杨文霞 译
刘远迈 张之彬
张永兴 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

(西便门南大道甲53号)

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32·印张17.5·字数386千字

1987年9月北京第一版·1987年6月北京第一次印刷

印数: 1—1300 ·统一书号: 15175·767

定价: 3.55元

317661

内 容 简 介

本书是国际原子能机构剂量测量标准化首次会议录,分两卷出版。本卷介绍了各个国家和国际组织在剂量测量方面复现基本单位及其逐级传递的标准化程序中最近取得的重要进展(如各国的基准与标准的维护、利用和现有水平,以及为放射生物学、医学和辐射防护等领域校准环境、防护、诊断、治疗和辐射加工工艺等水平的辐射剂量测量仪表所提供的设备和方法),开展的检定业务;报道了各国及国际比对研究所用的方法和比对结果;叙述了各国的量值传递体系、地区性校准实验室、次级标准剂量实验室的组织机构及其在质量保证和对国家基准的追溯性方面所起的作用与应做的工作。

本书可供电离辐射计量、放射治疗、辐射防护和剂量测量标准化、各级检定站等专业人员,以及大专院校有关专业师生参考。

原版编辑说明

国际原子能机构编辑部编纂了这本论文集及各篇的讨论记录，以求对广大读者有所裨益。当然，各篇论文所阐述的观点和文章采用的体裁仍应由署名作者或参加人员负责。此外，这些观点并不一定是该署名国家政府的观点或署名组织的观点。

已编入本论文集的文章均未重新加工，对此我们已通知作者及其政府当局，并对他们的协助表示衷心的感谢。本论文集是通过打字机打印然后用胶印的方法印制而成。在这种方法所能做到的范围内，我们作了各种努力，力求达到编辑上要求的高标准；尤其是，尽量做到单位和符号的统一，并与国际上有权威的一些团体推荐的标准相一致。

本论文集中对一些国家和地区使用了特殊的名称，这并不意味着这些国家或地区的法律地位、他们的主管部门和协会的法律地位或者他们的边界划分的法律状况等方面已得到本出版者，即国际原子能机构的任何承认。

文中提到了一些个别公司及其产品或商标，这并不表示得到了国际原子能机构的承认或推荐。

从其它出处复制有版权的资料时，作者本人需负责办理必要的批准手续。

前 言

公众对辐射安全所有问题的关注已经产生了一种对电离辐射要进行准确测量的强烈呼声。这种呼声不只是要求把准确的测量用于对人及其环境的保护，而且还要求用于辐射工作起重要作用的所有活动领域——医学、核动力、工业辐照处理和科学研究等。所有这一切都需要有某种类型的管理办法。因而在许多国家中出版了关于应用电离辐射的新规定或修订后的规定，这也就要求剂量测量在国家级和国际级实现标准化。

在辐射测量领域中采用国际单位制 (SI) 后引起了对有关物理概念及其量与单位的一场严肃评论。这场评论恰值剂量学观点发生明显转变的时期，亦即用于特定辐射质的照射量这个量向吸收剂量 (或空气的比释动能) 这个量过渡的时期。因此，现在重新来考虑和讨论辐射基准单位的复现及其通过整个校准系统的传递，以便为这个领域中的准确测量提供实用单位，看来是适时的。

为了在地理上和数量上扩大那些标定过的辐射测量装置的利用率，国家基准实验室显然还应当增加一些工作项目。在一些较大的工业化国家中，已经制订出提供校准服务的庞大计划，此计划均以国家标准实验室作为基准的参考中心。许多新近进入核能领域的国家，或者在医学和工业部门采用辐射的国家，建立次级标准剂量实验室 (SSDL) 似乎是解决辐射单位传递问题的最合适而又最经济的方法。次级标准剂量实验室的任务是校准三级剂量计和现场用剂量计，还作为基准实验室和使用辐射的用户之间的必要桥梁。这种次级标准剂量实验室——按照国际原子能机构 (IAEA) 和世界

卫生组织(WHO)关于SSDL网的编制——遍布全世界，因此要求它们之间互相协作并与基准实验室相配合，以保证标准完全一致。

因此，在筹备这次辐射剂量测量的国家和国际标准化会议时，我们认为除了要讨论基准和基准实验室的工作之外，还需要对次级标准剂量实验室的具体工作、通过校准传递系统得到的测量结果和不确定度的表述，以及诸如最初由国际、地区或国家实验室发起的那些剂量比对的组织工作和比对结果等问题进行适当讨论。从这个意义上来看，对剂量计性能的国家标准和国际标准，鉴定程序和典型检验程序等问题进行讨论也是很贴切的。

必须强调指出，要继续研究与剂量测量有关的基本物理现象，并要在国际性会议上进行讨论。整个校准系统都会用到那些表征辐射与物质相互作用的基本数据，这就要求国际上对这些数值实行标准化。这又一次说明，标准化实验室的任务不能只局限于按照基准或次级标准分别校准次级标准剂量计或三级标准剂量计，还必须包括辐射单位传递系统的全部事项，这样才能最终通过仪表说明书明确地告诉用户如何根据仪表的读数来确定指定点的吸收剂量。

在医学领域中，许多国家和国际组织出版了关于用光子和电子辐射进行治疗时的剂量测量实用规程，其中有些建议目前正在审议或修订中。目前已提出了一套新体系，它可以取代广泛采用的照射量校准因子和剂量换算因子。这种新方法看来不仅更一致和更准确，而且它还给光子和电子辐射的校准带来统一的程序。

辐射剂量测量标准化工作的进展是和国际辐射单位与测量委员会(ICRU)的活动密切相关的。自从1925年ICRU

涉及这个课题之后，它在辐射测量标准化方面起过的作用比其它任何组织都大。目前IC R·U的一项活动是为计算绝对辐射标准用的基本物理特性提供必需的各种因子的资料。

本次会议期间共开了10次专题讨论会，其中有两次是关于国家标准化实验室的校准工作，两次是关于次级标准剂量实验室的工作以及有关的国际活动，两次是关于辐射防护的标准化和校准，一次是关于放射源的标准化和校准，一次是关于基本物理问题，还有两次是关于吸收剂量的测定。总共介绍了65篇论文，其中有9篇是特邀代表的发言。出席会议的137位代表，代表着26个国家和8个国际组织。会议文集分两卷出版，包括论文和随后的讨论。

目 录

一、德意志联邦共和国目前在光子和电子剂量学标准化方面的工作	1
二、测定7.5—30kV X射线在水中的吸收剂量的基准	27
三、电离辐射测量系统的追溯性	40
四、辐照处理工业的剂量标准	70
五、剂量测定的基准和次级标准 ——匈牙利的刻度方法	93
六、英国辐射剂量测量的标准化	106
七、英国检定中心在放射学领域的活动	127
八、日本目前在剂量学标准方面的工作	135
九、美国标准局的医学剂量标准计划	157
十、外逸电子剂量计的参考系列	182
十一、次级标准剂量实验室 ——传递系统中的必要桥梁	198
十二、对美国放射治疗校准工作必要性的估价	204
十三、澳大利亚剂量测量实验室 ——国家标准及常规校准中心	211
十四、用电离室进行照射量的比对 ——以三个比对检验源为基础	225
十五、安迪生医院的地区性校准实验室	231
十六、斯隆-凯特林 (Memorial Sloan-Kettering) 治癌中心的一级剂量标准	241

十七、美国克利夫兰城维克多林地区性校准实验 室的组织和作用	256
十八、次级标准剂量实验室在核动力利用中的 作用	268
十九、印度地区次级标准剂量测量实验室的组织	285
二十、 ^{60}Co 辐射治疗中剂量测量的准确度和一 致性的评价	294
二十一、国际辐射单位与测量委员会在建立国际 辐射标准方面的作用	304
二十二、在生物和医学应用中剂量测量比对对中 子剂量测量标准化的意义	314
二十三、反复比对的必要性和欧洲协同研究晚期 效应中X射线剂量学的标准化	329
二十四、1977年国际原子能机构试点研究高压X 射线治疗机邮寄剂量比对(用热释光 剂量计)	343
二十五、欧洲共同体剂量基准和次级标准的标准 化	361
二十六、国际标准参考辐射及其在剂量仪表典型 检验方面的应用	368
二十七、美国国家标准局刻度个人剂量计用的标 准参考中子场	400
二十八、瑞典斯图茨维克标准化个人剂量测量系 统中的刻度程序	412
二十九、意大利国家核能委员会辐射防护部的电 离辐射刻度工作	421
三十、个人剂量计的刻度	436

三十一、辐射防护仪表的检验和校准	453
三十二、美国检验个人剂量测量性能的准则	462
三十三、测量辐射剂量的物理要求及其与设计和 使用个人剂量计的关系	465
三十四、光子刻度个人剂量计时使用模体的问题	482
三十五、环境巡测仪器的刻度	494
三十六、在橡树岭国立研究所保健物理研究反应 堆上进行的个人剂量测量比对研究	516
三十七、校准低水平辐射监测仪时的准确度和精 密度	537
附录	544

一、德意志联邦共和国 目前在光子和电子剂量学 标准化方面的工作

H. Reich

摘 要

自二十世纪七十年代初期以来,由于系统地建立了若干法规,德意志联邦共和国在剂量学方面的活动已有显著增加,由此也导致一些新的基准装置和服务工作的发展。本文报道了物理技术研究院(PTB)在传递水中的吸收剂量或组织中的剂量当量这些量的单位方面所做的工作。为了将来通过测量电离室平衡离子剂量提供一些基准,在光子能量很低时采用了无壁外推电离室的原理;对于中等能量则使用空气等效壁的外推电离室;而对于高能光子,将采用三种不同方法来实现水中的吸收剂量单位,即用量热法、电离法和化学剂量测定法。鼓励在次级标准实验室使用联邦德国公司制造的、具有8个 ^{137}Cs 源和2个 ^{60}Co 源的辐照装置。物理技术研究院用于 β 射线的外推电离室基准与英国国家物理实验室(NPL, UK)和法国电离辐射计量研究所(LMRI)相应的基准完全一致。用来代表次级标准的一组经物理技术研究院刻度过的 β 射线源,其中包括支架和快门装置,在市场上都可以买到。联邦德国某个研究所的Markus研制了一台适于用作高能电子参考电离室的小电离室。最后,简短地评述了表示物理技术研究院检定证书中测量结果不确定的原则。

1. 引 言

过去的十年间, 由于广大公众对辐射安全各个方面的极大关注, 促使德意志联邦共和国在辐射防护和操作各种类型辐射源方面颁布了几种新的, 亦即修订后的法规^[1-3]。由此, 大大推动了物理技术研究院和整个联邦共和国的剂量测量工作。

本文首先对法律概况作了简短的评述, 接着报告了关于基准设备最新(1973—1977年间)的进展, 进而提到某些新的次级标准和所提供的服务工作。然后, 报告了由辐射防护剂量计的定型检验得到的初步经验。最后, 简短地讨论了将来在物理技术研究院的检定证书中怎样表述检验结果的不确定度。

2. 法 律 概 况

计量检定法(The Law on Metrology and Verification)(Eichgesetz, 1969^[4])对贸易和工业、公共安全或公共卫生中使用的大量测量仪器起法律监督作用。1975年颁布的“测量仪器法律监督的第二条例”^[5](Second Ordinance on the Legal Control of Measuring Instruments), 将必须接受检定的仪器扩展到了剂量计。对于辐射防护监测仪来讲, 这个条例1977年1月生效, 对于治疗水平的仪器来讲, 这个条例将在1980年1月生效。这个条例既不涉及象胶片佩章那样的个人剂量监测仪(这种仪器每隔一定时间由官方的中央办公室来鉴定), 也不涉及诸如监测工艺过程用的这类剂

量计。目前,该条例只针对那些测量能量低于 3MeV 的光子辐射的剂量计。预计今后扩展到较高的能量和其他类型的辐射(例如电子、中子等)。第二条例的补编是“检定有效期的条例”(Ordinance on the Validity Period of Verification)(Eichgültigkeitsverordnung,1976^[6]),它对定期检定规定了时间限制。辐射防护水平和治疗水平剂量计的检定周期不同,而且取决于仪器是否带有放射性检验源。

这里必须提到的是第二条例的两个要点。第一个要点是,对任何一台仪器来说,允许接受检定的先决条件是定型检定。仪器的定型与研究该仪器的技术特性时所做的检验有关,尤其是与引起测量误差的原因有关。这些检验都是根据物理技术研究院订的书面技术要求^[7]提出来的,它与国际标准相一致,经过若干年的实践以后,就将列为检定规程(Verification Order)的一部分(Eichordnung^[8])。根据这种定型鉴定推测的资料全然超出了目前所知道的关于这些剂量计的资料,而且也将使用户的处境比以前去估计某一次的测量不确定度要好些。颁发定型证书时,还希望对该仪器提供一份完整的说明书和充分的技术数据。

第二个要点是,对各台仪器都必须进行检定。为此,在联邦德国政府主管部门的领导下,目前在联邦共和国已经设立或将要设立三到四个检定办公室。另外,联邦德国的有些公司还设有检定调度室和半官方的校准服务机构,但现在我不想讨论这些组织问题。

为了保证不同部门对仪器有同样的处理办法,物理技术研究院编辑了一套称之为检验须知(testing instructions)的丛书。最近发表的这套丛书中的第二册是针对辐射防护剂量计的,将要发表的另一册是针对治疗水平剂量计的。这种

小册子给出了关于检验范围、测试设备和装置、测量的几何条件和布局、参照用的标准和检验条件、检验性能、检验洽谈记录以及检验证书等等的全部细节。1973年的检定规程(Eichanweisung^[10])是制订检验须知的依据,它列出了实际鉴定的一般规则。

全部例型检验都是以基准装置测量的剂量单位作为依据的。

3. 基 准

3.1 光子基准

首先研究能量范围在2MeV以下的基准装置。关于测量自由空气中照射量的基准,基本上没有什么新的进展可以报道,国际比对表明,彼此在千分之几以内是一致的,不需要有更高的准确度,但是已经在对结构和辅助仪器进行改进。物理技术研究院专门测量400kV以下电压产生的X射线用的平行平板型自由空气电离室,已于1974年投入运转,它很可能是目前大型的经典平行平板型自由空气电离室。电离室的板间距离为58cm,工作的极化电压是10kV。图1表示的是用于数据处理的整套新型电路,用它能够部分自动化地完成常规测量,而这将提高效率和准确度。

除了自由空气中的照射量以外,部分用户的要求还促进了测量其他一些量的标准仪器的发展。对于低能辐射和高能辐射,就治疗而言,迫切需要测量的是水中的吸收剂量;就辐射防护而言,迫切需要测量的是组织中的剂量当量。但直到目前为止,还只能利用转换因子表^[11-13]来计算这些量,因而不确定度较大。用标准装置来测定吸收剂量的困难在于

它密切地依赖于几何条件和材料的参数。物理技术研究院正在筹备下列计划。

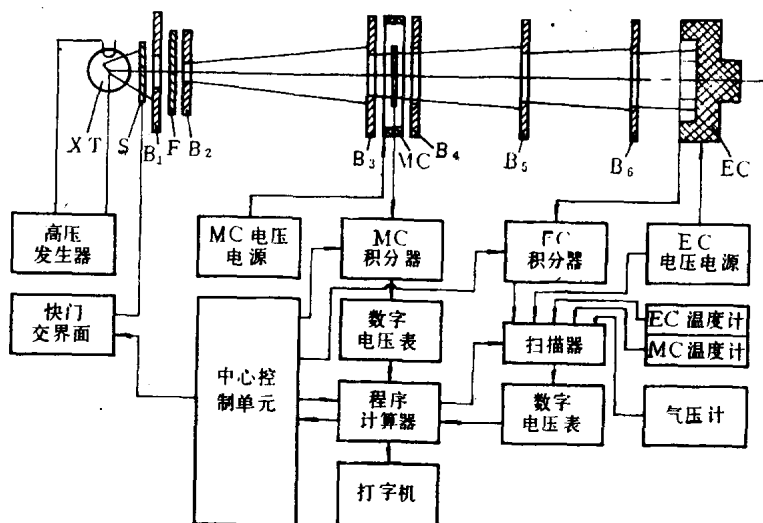


图 1 用X射线刻度电离室时的测量布局

其中标准装置是外推电离室(EC); XT: X射线管; S: 快门;
MC: 监督电离室; B₁到B₆: 光阑。

在X射线范围内,用电离室型仪器进行测量,目前仍然是复现不同材料中吸收剂量单位的最佳方法。从这一前提出发,物理技术研究院正在通过两种不同途径发展外推电离室原理。在很低能量时(初期,管电压大约到30kV;后期,大概到100kV),采用的是一种特殊的方法,即确定放在模体内的无壁电离室中的所谓平衡离子剂量(Böhm等^[14])。根据这个量,再用光子吸收系数比值和空气的 $\bar{W}/e$ 值,就可算

出已知材料的吸收剂量。基准仪器的形状和结构与物理技术研究院测量 β 射线的基准相同 (Böhm^[15])。图2示出了整个电离室装置, 更详细的内容请看这次会议文集的其他文章^[14]。

这种仪器对于测定反散射因子也是有用的。为此, 把测得的电离室平衡离子剂量与在相同位置上用平行平板自由空

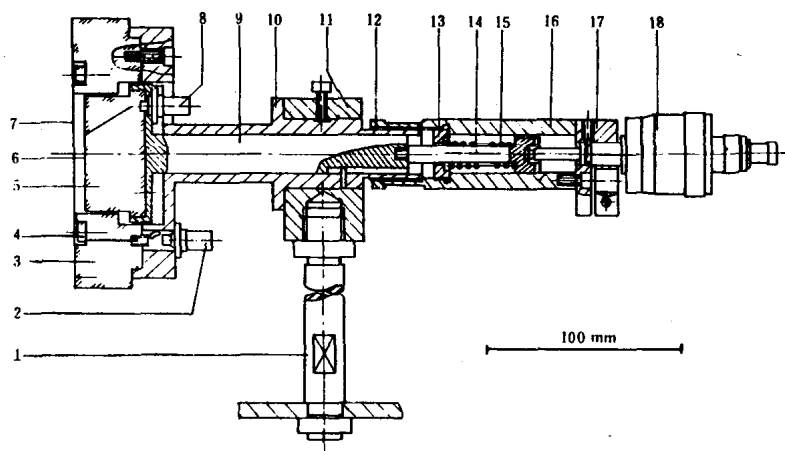


图2 作为 β 射线和软X射线基准的外推电离室^[15]

1. 支架; 2. 加极化电压的插座; 3. PMMA (有机玻璃) 壳;
4. 绷紧的环; 5. 60mm 直径的有机玻璃块; 6. 涂石墨的表面, 其上分成收集极 (30mm 直径) 和保护环; 7. 入射窗; 8. 收集电极的插座; 9. 滑动配合的杆; 10. 杆9的圆柱形导套;
11. 支座; 12. 可调螺母; 13. 带螺纹的环; 14. 螺栓; 15. 弹簧; 16. 套管; 17. 窗位零件; 18. 螺旋测微仪。