

计量培训教材

电离辐射计量

国防科工委科技与质量司组织编写

原子能出版社

计 量 培 训 教 材

电离辐射计量

国防科工委科技与质量司组织编写

原 子 能 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

电离辐射计量/容超凡主编. —北京: 原子能出版社, 2002.6

计量培训教材

ISBN 7-5022-2338-X

I. 电… II 容… III. 电离辐射—计量—技术培训—教材 IV. TB98

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 027482 号

内 容 简 介

《电离辐射计量》是计量培训教材的第 7 卷, 本卷共分七篇, 较全面地介绍了电离辐射计量基础知识, 放射性核素活度、电离辐射剂量、中子等领域的计量基础知识, 常用的标准装置工作原理, 各类仪器仪表检定方法以及检定工作中注意的问题, 各部分还介绍了测量结果的计算方法以及测量不确定度的评定方法。其中, 根据核工业特点, 本书将核化学计量、氡及氡子体测量和放射性勘查仪表检定等有关内容独立成篇。各章之后附有思考题, 各篇之后附有参考文献。

本书是一本实用性很强的专业技术参考书, 它除作为计量培训教材外, 也可供从事电离辐射专业科技研究人员、计量管理人员和高等院校相关专业师生参考。

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 赵志军

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

保定市印刷厂印刷 新华书店经销

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张 29 字数 721 千字

2002 年 9 月北京第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1500

定价: 70.00 元

《计量培训教材》总编委会

总编审委员会

顾问：栾恩杰

主任：高志强

副主任：吴伟仁 马恒儒

委员：(按姓氏笔画排列)

白忠泉 朱春元 牟安成 孙忠慧 孙家辉 杨长利
宋森尧 庞海涛 柯 松 柴芳蓉 徐炳仑 韩 俊
傅 宽

总编辑委员会

总主编：马恒儒

副总主编：岳 峰 靳书元 宋素秀

委员：(按姓氏笔画排列)

王广顺 冯永祥 达道安 朱正辉 李淑敏 吴申贤
辛光和 张 辉 张东军 张铎清 陆治平 陈开来
金慧茹 赵守林 赵志祥 胡焕性 俞德飞 贾成武
徐建良 唐亮武 常文君 梁燕熙 童本敏 曾令儒
谢静谦 熊开国 潘陆原

总编委会办公室

主任：岳 峰

成员：(按姓氏笔画排列)

孔 玥 李宗扬 张 立 武晓雪 周 欣 常文君
游志红

第7卷《电离辐射计量》编委会

编审委员会

主 任：杨长利

副 主 任：赵志祥 金慧茹 李金英 容超凡

委 员：(按姓氏笔画排列)

丁声耀 王鸿筠 叶宏生 包宗渝 李先杰

李景云 汪建清 张积运 张铄清 赵守林

高良才 曹淑琴

编辑委员会

主 编：容超凡

副 主 编：李金英 丁声耀

编 辑：(按姓氏笔画排列)

叶宏生 包宗渝 李先杰 李朝栋 李景云

汪建清 张积运 陈云东 陈细林 赵玉华

姚继军 高良才 曹淑琴

责任编辑：赵志军

责任校对：徐淑惠

版式设计：崔 彤

封面设计：李松林 吕 茜

总序

计量是关于测量的科学，它涉及测量理论、测量技术和测量实践等多个领域。计量是科学技术的一个重要组成部分，是与人类社会进步和科学技术发展同步发展的。现代计量是国民经济建设和国防建设中一项重要的技术基础，是一个国家、一个地区和一个行业发展的探测器。计量技术是科技创新的基础技术，又是高技术产业化发展的一个重要条件。

老一辈无产阶级革命家聂荣臻元帅曾经指出“科技要发展，计量须先行”。半个世纪以来，国防科技工业计量工作者同全国计量同行一道，自力更生、艰苦奋斗、勇于创新、拼搏进取，形成了学科门类比较齐全的计量体系，创造了辉煌业绩，积累了宝贵经验，不断丰富和发展着现代计量。进入21世纪，产品测量数据的准确性、可靠性、可追溯性及国际互认性都对计量技术水平提出了更高的要求，我们要加强计量技术研究和计量人才的建设，为加入WTO后我国国家计量体系的建立作出应有的贡献。

当今的时代是竞争的时代，而人才是竞争之本，以信息技术为代表的高新技术迅速发展，对计量人员的整体素质提出了更高的要求。因此，迫切需要培养一大批掌握高新计量技术的人才。《计量培训教材》的编撰和出版，将为培养和造就一支为国民经济和国防现代化建设服务的计量人才队伍作出应有的贡献。

《计量培训教材》是一部12卷共18册1280余万字的大型计量专业技术丛书，是我国第一部学科专业齐全的计量培训教材。前10卷涵盖现代计量学10大专业技术领域，后2卷介绍计量技术和计量管理的基础知识，不仅展现了国内外计量科研的最新成果，而且突出了我国计量工作的特色。它

的出版凝聚了国防科技工业众多专家和计量工作者多年的心血，是集体智慧的结晶。希望读者通过阅读这部丛书，能够熟悉计量基础知识，并在实践中掌握运用，在计量工作中取得更大的成绩。

社会在进步，科技在发展。我相信，随着高新技术应用研究的积极开展，新的技术和新的成果将会充实和丰富《计量培训教材》的内容；专家和读者对书中的不足提出的批评指正意见，将会补充和完善这部丛书的内容，使之成为广大计量工作者的良师益友。

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The signature appears to be '张立' (Zhang Li).

2002 年 8 月 18 日

前言

电离辐射是一种物理现象，研究与这一现象相关的量的测量方法，是电离辐射计量的基本任务。电离辐射计量学是现代十大计量之一。电离辐射计量诞生于基础研究之中，1895年伦琴在研究阴极射线管的工作中发现了X射线，随后贝可勒尔在为探索X射线的特性所进行的实验中，发现铀晶体除了产生X射线外，还产生能被电场和磁场偏转的射线，这一现象后来被称为放射性，把能产生放射性的物质称作放射性物质。后来人们发现了中子，中子能引起重核裂变现象引起科学界极大重视。1942年美国建成了第一座受控核裂变反应堆，相继研制成功原子弹、氢弹，标志人类进入了原子能时代。这些极大地促使各国对电离辐射计量工作的研究，因此电离辐射计量工作获得快速的发展。电离辐射测量技术在国民经济、国防建设，特别是核武器研制、试验、核动力装置设计和运行、核工业生产、核科学技术研究、核技术应用等各个领域得到日益广泛的应用。

电离辐射计量是研究X、 γ 射线、 α 、 β （电子）、中子等直接和间接致电离辐射的测量方法，建立测量装置和相应标准装置。电离辐射测量的量大致可分为确定发射的粒子数目（如放射性核素活度通过测定单位时间内发射的粒子数目来确定核素衰变速率），或确定某一时刻某一能态下放射性核的数目（如中子源强度——确定单位时间内中子源发出总的中子数目和中子注量）、测定辐射的能量（一般是一个谱分布）以及测定辐射与物质相互作用的概率（如核反应截面、辐射的衰减系数等）和作用过程中能量的损失、传递、吸收及其引起的生物效应（如吸收剂量、剂量当量）等等。

由于电离辐射的辐射类型和产生方式有多种多样，辐射所具有的能量范围宽，测量的量多，测量方法也很多，本卷共分成七篇来对电离辐射计量有关的基础知识和主要测量方法进行介绍。

本书第一篇介绍与电离辐射计量有关的基础知识，包括作为电离辐射计量人员必须掌握的一些基本概念，常用量和单位以及最常用的测量方法和测量器具。第二篇介绍放射性活度计量基础知识，活度测量标准装置和活度检定方面的有关知识，针对活度测量的需要，专门介绍了放射性标准物质和放射源的制备技术。第三篇电离辐射剂量计量工作，重点介绍X、 γ 和 β 射线的剂量计量工作有关基础知识和标准装置，分别介绍用于辐射防

护的剂量仪表、用于治疗剂量仪表和辐射加工中使用的剂量计校准、检定工作相关的内容。第四篇为中子计量,较详细介绍了中子源的有关知识,具体介绍了中子源强度、中子注量、中子能谱、中子截面和中子注量测量的有关测量方法和使用的测量标准装置等内容,还介绍了中子计量仪表检定方法和应注意的问题。根据当前的实际情况和核科技工业的特点,本书增加了第五篇核化学计量,本篇着重介绍在核行业中最常用的核化学标准物质,核化学工作中最常用的分析方法和测试技术。同时,为了培训授课方便,考虑到专业特点,本书还把氦和氦子体测量仪表检定以及地质勘查仪表检定两部分内容独立成篇。第六篇为氦和氦子体计量,详细介绍了氦浓度测量、氦子体浓度测量以及氦和氦子体测量仪的检定方法。第七篇则详细介绍放射性勘查仪表检定所需建立的各类标准模型,模型的制备及其定值方法和这类测量工作中特殊使用的量和单位,这类仪表的检定方法等内容。本书在各有关部分介绍了有关的检定规程和检定方法,还特别介绍了检定工作中数据处理,测量结果不确定度评定等方面内容。

本书由本卷编辑委员会成员分工编写。有部分内容直接采用了韩奎初、丁声耀主编的《实用电离辐射计量学》的相关部分,对参加原书编写工作的韩奎初、杨景霞、李小弟、朱耀兹、王远大、周友朴、陈云东等同志表示感谢。

本书在编写过程中,巩玲华、姚历农、刘永福等同志参加了相关章节的修改和审订工作,并提出了宝贵的意见;还有段曦微、骆海龙、魏可新、孟军等同志对本书编写的文字输入等方面也做了不少工作,有关单位和出版社给予了大力帮助,在此一并表示感谢。

本书内容适合于中专以上计量人员阅读。为了使该书更具实用性,编写中也注意尽量地收集有关的实用测量方法、有用的数据表格、及相关领域当前的发展状况。本书可供从事电离辐射测量工作者参考,也可供大学核物理和核化学专业本科学生学习参考。由于编者的水平和经验所限,疏漏和不足之处,敬请读者批评指正。

第7卷《电离辐射计量》编委会
2002年6月

目 录

第一篇 电离辐射计量基础知识

第一章 电离辐射基础知识	3
第一节 电离辐射基本概念	3
第二节 辐射源	4
第三节 射线与物质相互作用	10
思考题	13
第二章 电离辐射的常用量和单位	14
第一节 与放射性有关的量和单位	14
第二节 与辐射场性质以及辐射与物质相互作用有关的量和单位	15
第三节 剂量学的量和单位	19
思考题	22
第三章 电离辐射测量的基本方法	22
第一节 电离辐射测量的基本内容	22
第二节 活度测量的基本方法	26
第三节 中子测量的基本方法	28
第四节 辐射剂量测量的基本方法和测量器具	31
思考题	34
参考文献	34

第二篇 放射性活度计量

第一章 放射性标准物质和标准源的制备技术	37
第一节 放射性标准溶液的制备技术	37
第二节 放射性标准源的制备技术	42
第三节 环境放射性标准物质的制备技术	49
第四节 活度测量中薄膜源的制备	53
第五节 液体闪烁计数源的制备技术	60
思考题	65
第二章 放射性活度测量方法	65

II 求

第一节	放射性活度测量基础知识	65
第二节	$4\pi\beta-\gamma$ 符合测量方法	69
第三节	$4\pi X-\gamma$ 符合方法	75
第四节	其他符合方法	76
第五节	小立体角法	79
第六节	液体闪烁计数器	80
第七节	内充气正比计数器	90
第八节	$4\pi\gamma$ 电离室	93
第九节	2π 多丝正比计数器	101
思考题	.....	103
第三章	γ 和 X 射线能谱测量	104
第一节	能谱测量的基本知识	104
第二节	γ 和 X 射线谱仪	112
第三节	γ 和 X 射线能谱的测量与分析	121
思考题	.....	131
参考文献	.....	131

第三篇 电离辐射剂量计量

第一章	电离辐射剂量计量基础知识	137
第一节	电离辐射场与辐射场量	137
第二节	剂量学基础	138
第三节	辐射防护剂量学量	141
思考题	.....	145
第二章	电离辐射剂量标准装置	146
第一节	X 照射量标准——自由空气电离室	146
第二节	γ 照射量标准——空腔电离室	149
第三节	β 射线和电子束吸收剂量标准——外推电离室	151
第四节	测量 γ 射线和电子吸收剂量的量热计	155
思考题	.....	159
第三章	剂量仪器仪表检定	160
第一节	检定的基本知识	160
第二节	一般程序	163
第三节	修正因子	164

目 录

思考题	166
第四章 放射治疗剂量仪表检定	166
第一节 辐射质规范	166
第二节 检定体系	170
第三节 剂量标准	171
第四节 检定条件	172
第五节 检定内容和结果处理	173
思考题	174
第五章 防护剂量仪表校准	174
第一节 校准基础	175
第二节 8 keV ~ 1.3 MeV X 和 γ 射线防护仪器	176
第三节 β 射线防护仪器校准	195
第四节 4 ~ 9 MeV 高能 γ 射线辐射防护仪表校准	202
附录 A 光子仪表标准检验条件和转换系数	212
附录 B β 剂量仪表参考条件和标准检验条件、转换系数	218
思考题	219
第六章 辐射加工剂量学	220
第一节 辐射加工用的辐射源	220
第二节 辐射加工剂量中用的几个量	222
第三节 吸收剂量的测量	223
第四节 测量吸收剂量的化学方法	228
思考题	239
参考文献	240

第四篇 中子计量

第一章 中子计量基础知识	243
第一节 中子源	243
第二节 中子的探测	248
思考题	250
第二章 中子源强度测量	251
第一节 中子源强度的绝对测量方法	251
第二节 中子源强度的相对测量方法	255
思考题	257

第三章 中子注量测量	257
第一节 中子注量测量的基本知识	258
第二节 热中子注量率的绝对测量	261
第三节 0.1~1.5 MeV 能区中子注量(率)的绝对测量	263
第四节 1.5~5 MeV 中子注量(率)的绝对测量	265
第五节 5~18 MeV 中子注量(率)的绝对测量	267
第六节 伴随放射性法和伴随粒子法	268
第七节 长计数器	271
第八节 中子注量(率)测量的量值传递	273
思考题	275
第四章 中子能谱测量	276
第一节 慢中子能区中子能谱的测量	276
第二节 快中子能区中子能谱的测量	278
第三节 14 MeV 能区参考辐射场中子能量的准确测定	286
思考题	288
第五章 中子截面测量	289
第一节 中子截面概述	289
第二节 全截面的测量	291
第三节 活化截面的测量	291
第四节 中子核数据库	293
思考题	294
第六章 中子剂量计量	294
第一节 中子剂量计量概述	294
第二节 测量中子吸收剂量的电离室法	296
第三节 测量中子吸收剂量的量热计法	298
第四节 中子剂量计量的硫酸亚铁剂量计法	299
思考题	300
第七章 中子测量仪表的检定	301
第一节 检定的基础知识	301
第二节 一般的检定原理	304
第三节 检定用设备	305
第四节 散射中子的来源	307
第五节 散射中子的修正	308



第六节 常规检定	310
思考题	311
参考文献	312

第五篇 核化学计量

第一章 核化学计量概论	317
第一节 核化学计量的研究范围	317
第二节 核化学计量的现状与发展	318
第三节 表示物质含量与成分的量	320
思考题	323
第二章 核化学标准物质	324
第一节 核标准物质简介	324
第二节 核化学标准物质研制的一般过程	325
第三节 我国现有核化学标准物质	334
思考题	339
第三章 核化学标准分析方法	339
第一节 铀矿石分析标准方法	340
第二节 铀水冶产品分析标准方法	340
第三节 核燃料和核材料分析标准方法	341
第四节 环境样品中铀分析标准方法	344
思考题	344
第四章 核化学分析方法	344
第一节 库仑分析法	345
第二节 无机质谱法	348
第三节 原子吸收光谱法	358
第四节 原子发射光谱法	363
思考题	368
参考文献	368

第六篇 氦及氦子体计量

第一章 氦的基本知识	371
第一节 氦的来源	371

目 录

第二节	氦及氦子体的特性	372
第三节	氦及氦子体计量单位	374
思考题	.....	375
第二章	氦浓度测量	375
第一节	静电计测氦法	376
第二节	闪烁室测氦法	377
第三节	双滤膜测氦法	379
第四节	气球测氦法	380
第五节	活性炭测氦法	382
第六节	静电收集氦子体测量法	384
第七节	径迹蚀刻法	385
思考题	.....	386
第三章	氦子体浓度测量	386
第一节	氦子体测量的基本原理	386
第二节	托马斯三段法	389
第三节	五段法	390
第四节	马尔柯夫法	391
第五节	库斯尼茨法	392
第六节	氦子体连续测量法	393
思考题	.....	394
第四章	氦及氦子体测量仪的检定	394
第一节	标准氦室	394
第二节	氦及氦子体测量参数的测定	395
第三节	测氦仪的检定	397
第四节	氦子体测量仪的检定	400
思考题	.....	402
参考文献	.....	402

第七篇 放射性勘查计量

第一章	放射性勘查仪表的校准设施	405
第一节	放射性勘查仪表校准的发展历程	405
第二节	校准模型的分类	406
第三节	混凝土校准模型的建造	408

目 录

第四节	校准模型的配置	410
思考题	.....	411
第二章	校准模型的含量定值	412
第一节	校准模型含量定值的目的与方法	412
第二节	样品收集和制备	413
第三节	含量定值的现场测量	413
第四节	模型含量的确定	417
第五节	模型的密封与长期监测	418
思考题	.....	419
第三章	放射性勘查计量标准的建立	419
第一节	放射性勘查通用的量值和单位	419
第二节	放射性勘查计量标准的组成	421
思考题	.....	423
第四章	放射性勘查计量仪器的检定	423
第一节	放射性勘查计量仪器检定规程	423
第二节	放射性勘查计量仪器的检定方法	427
思考题	.....	446
参考文献	.....	447

第 **1** 篇



电离辐射计量基础知识
