

计量培训教材

电磁学计量

上册

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

电磁学计量

下册

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

电磁学计量

(上册)

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

电磁学计量

(下册)

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

电磁学计量 / 曾令儒主编. —北京: 原子能出版社, 2002.6

计量培训教材

ISBN 7-5022-2335-5

I. 电… II. 曾… III. 电磁学—计量—技术培训—教材 IV. TB97

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 027074 号

内 容 简 介

《电磁学计量》是计量培训教材的第4卷, 本书共分13篇, 系统地介绍了电磁学领域各计量项目的实施方法。内容包括: 电磁学计量基础知识, 直流电压计量, 直流电阻计量, 交流阻抗计量, 交直流高电压计量, 交直流功率电能计量, 交直流比率计量, 交直流模拟仪器计量, 交直流数字仪器计量, 交直流转换仪计量, 电学工程测量仪器计量, 磁参量计量和磁性材料计量等。

本书文字表达力求深入浅出, 公式推导尽可能简化。每个计量项目实施方法的叙述基本上包括了方法原理、测量装置、测量步骤、数据处理和不确定度分析等方面内容。每章后有思考题, 每篇后有参考文献。该书适合广大电磁学计量检定、校准、测试、检验人员培训和自学之用, 也可供电磁学专业学生和工程技术人员学习参考之用。

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 元珏坤 徐向超

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 59.75 字数 1465 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—3000

定价: 144.00 元 (全二册)

《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	张铄清	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4卷《电磁学计量》编委会

编审委员会

主 任：庞海涛

副 主 任：曾令儒 王南光 刘燕虹

委 员：(按姓氏笔画排列)

马志毅	王 路	刘 民	刘志宏	刘燕虹
李继东	张铎清	赵 治	赵文峰	赵守林
胡毅飞	黄 晶	黄晓钉		

编辑委员会

主 编：曾令儒

副 主 编：刘燕虹 刘 民 胡毅飞

编 辑：(按姓氏笔画排列)

马志毅	王 路	田秋雄	刘远安	刘志宏
李艾励	李振才	李继东	杨亦强	陈竹年
罗春妹	赵 治	赵文峰	赵晓光	顾世红
黄 晶	黄晓钉			

责任编辑：元玥坤 徐向超

责任校对：李建慧 冯莲凤

版式设计：崔 彤

封面设计：李松林 崔 彤

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队伍建设，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, appearing to read '张立' (Zhang Li).

2002 年 8 月 18 日

前言

电磁学计量是科研生产的技术基础，是产品电磁质量的保证，同时，是市场经济运作中的重要环节。为保证电磁量的单位统一及量值准确可靠，需要加强电磁学计量测试新方法新技术新仪器的研究，不断提高计量测试水平。

本书系统地介绍了电磁学计量测试技术，汇集了多年来相关的科研成果和教学内容，归纳了计量测试工作所需的知识，总结了计量测试工作经验，详细解释了计量检定规程，旨在使其成为电磁计量测试人员学习和培训的参考书，并作为检定校准测试检验工作的指导工具书。

电磁学计量卷内容按检定人员资格培训考核项目和被检仪器类别分为十三篇，包括电磁学计量基础知识，直流电压计量，直流电阻计量，交流阻抗计量，交直流高电压计量，交直流功率电能计量，交直流比率计量，交直流模拟仪器计量，交直流数字仪器计量，交直流转换仪计量，电学工程测量仪器计量，磁参量计量，磁性材料计量。为保证各篇自成系统，完整独立，各篇内容略有适当重叠，但要求其内容协调一致。

电磁学量值传递，包括基本单位和导出单位，均是从国家基准到各级计量标准，直至工作计量器具来进行的。电流的单位安培是七个法定基本单位之一，用电流天平法，电动力计法和质子回旋磁比法等方法按定义复现电流的单位。电压的单位伏特是法定导出单位，用电压天平、液体静电计等方法按定义复现电压单位，用约瑟夫逊效应建立电压自然基准，用实物计量基准——标准电池复现和保存电压量。电阻的单位欧姆是法定导出单位，用计算电容法，按定义复现电阻单位，用克里青量子化霍尔效应建立电阻自然基准，用实物计量基准——标准电阻复现和保存电阻量。电容量是用计算电容法来复现电容单位。用实物计量基准——标准电容来复现和保存电容量。用实物计量基准——标准电感来复现和保存电感量。用标准互感线圈来计算磁通，用核磁共振导出磁感应强度自然基准。从这些基本单位，国家基准开始逐级向下量传。

直流电压计量主要包括约瑟夫逊电压自然基准、固态电压标准、标准电池等。直流电阻计量主要包括标准电阻、直流电桥、直流电阻箱、直流高阻测量仪、微欧计等。交流阻抗计量主要包括标准电容、标准电感、交

流标准电阻、交流电桥、RLC测量仪等。交直流高电压计量主要包括高压表、高压分压器、高压标准源等。交直流功率电能计量主要包括功率表、电能表、标准功率源等。交直流比率计量主要包括分压箱、分流器、互感器等。交直流模拟仪器计量主要包括电学模拟指示仪表、电位差计等。交直流数字仪器计量主要包括电学数字仪表、电学标准源等。交直流转换仪计量主要包括交直流电压转换仪、交直流电流转换仪等。电学工程测量仪器计量主要包括绝缘电阻表、耐压测试仪、泄漏电流测试仪、接地电阻表、非接触式静电电压表、稳定电源、太阳电池、电性能测量仪、电阻应变仪、电阻率测量仪等。

本书由《电磁学计量》卷编辑委员会成员分工编撰。在编写过程中得到赵伟、卢伯英、王祁等教授和阮永顺、王立吉、金惕若、谷玉良等研究员的大力支持和指导，有关厂、所、院校给予了大力帮助，在此一并表示诚挚的感谢。

参加编撰本书的人员较多，由于经验不足和水平有限，本教材会存在内容取舍不妥和差错之处，恳请广大读者和专家批评指正。

第4卷《电磁学计量》编委会
2002年6月

目 录

第一篇 电磁学计量基础知识

第一章 概述	3
第一节 电磁计量技术及其特点	3
第二节 电磁学计量现状及发展趋势	6
思考题	7
第二章 电磁学计量单位及其复现	8
第一节 电磁学计量单位	8
第二节 电学计量单位的复现	10
第三节 磁学计量单位的复现	12
思考题	15
第三章 线性直流电路	15
第一节 电路元件	15
第二节 电源电路	17
第三节 电阻电路及其等效变换	20
第四节 电路基本定律	24
第五节 电路分析方法	26
思考题	30
第四章 正弦交流电路	30
第一节 正弦量及其向量表示	31
第二节 正弦电路中的功率	33
第三节 简单正弦电路分析	37
第四节 谐振电路	39
思考题	41
第五章 三相交流电路	41
第一节 三相电压的产生	41
第二节 三相制的星形接法和三角形接法	42
第三节 三相电路的计算	45
思考题	46
第六章 恒定磁通磁路	47
第一节 磁场与磁路	47
第二节 铁磁性物质的磁化	48

目 录

第三节	磁路定律	49
思考题	.....	51
第七章	电磁计量实验室一般要求	51
第一节	电源和接地	51
第二节	环境条件	52
思考题	.....	53
第八章	安全用电常识	54
第一节	电流对人体的危害	54
第二节	用电安全技术	55
思考题	.....	56
参考文献	.....	56

第二篇 直流电压计量

第一章	直流电压计量基础知识	59
第一节	直流电压计量概述	59
第二节	直流电压量值传递	62
第三节	直流电压计量标准的主要用途	65
第四节	直流电压的技术规范	67
第五节	直流电压计量技术国内外现状与发展	68
思考题	.....	70
第二章	标准电池	71
第一节	标准电池的分类及结构	71
第二节	标准电池的基本原理	73
第三节	标准电池的计量特性	78
第四节	标准电池的使用与维护	80
思考题	.....	81
第三章	标准电池的检定	82
第一节	标准电池的检定条件和检定项目	82
第二节	标准电池的检定方法	84
思考题	.....	88
第四章	固态电压标准	88
第一节	固态电压标准的特点	88
第二节	固态电压标准的基本原理	89

目 录

第三节	固态电压标准的计量特性	91
第四节	固态电压标准的使用与维护	92
思考题	.....	93
第五章	固态电压标准的检定	93
第一节	固态电压标准的检定条件和检定项目	94
第二节	固态电压标准的检定方法	94
第三节	固态电压标准检定结果的处理	101
思考题	.....	103
第六章	直流电压计量标准的建立	103
第一节	直流电压国家基准的建立	104
第二节	直流电压工作基准的建立	108
第三节	校准实验室参考标准的建立	110
思考题	.....	111
第七章	直流电压测量不确定度分析	111
第一节	检定标准电池的测量不确定度分析	111
第二节	检定固态电压标准的测量不确定度分析	113
思考题	.....	116
参考文献	.....	116

第三篇 直流电阻计量

第一章	直流电阻计量基础知识	119
第一节	电阻单位的保存和传递	119
第二节	我国的电阻单位	122
第三节	直流电阻的量值传递方法	125
思考题	.....	131
第二章	直流标准电阻器	131
第一节	直流标准电阻器的基本原理	132
第二节	直流标准电阻器的技术要求	134
第三节	直流标准电阻器的检定条件	137
第四节	直流标准电阻器的检定	140
思考题	.....	148
第三章	直流电阻箱	149
第一节	直流电阻箱的原理及技术要求	149

目 录

第二节	直流电阻箱的检定	151
思考题	.....	156
第四章	直流电桥	156
第一节	直流电桥的工作原理及技术要求	157
第二节	直流电桥的检定	159
思考题	.....	164
第五章	高阻计	165
第一节	高阻计的工作原理及技术要求	165
第二节	高阻计的检定	167
思考题	.....	174
第六章	直流低电阻表	174
第一节	直流低电阻表工作原理及技术要求	175
第二节	直流低电阻表的检定	177
思考题	.....	181
第七章	标准电阻器标准装置的建立	181
第一节	直流标准电阻器不确定度分析	182
第二节	建标报告的填写	188
思考题	.....	195
参考文献	.....	195

第四篇 交流阻抗计量

第一章	交流阻抗计量基础知识	199
第一节	交流阻抗概述	199
第二节	交流阻抗的量值传递	208
第三节	交流阻抗计量标准	213
第四节	交流阻抗计量技术的现状与发展	214
思考题	.....	215
第二章	标准电容器	216
第一节	标准电容器的原理	216
第二节	标准电容器的屏蔽	221
第三节	标准电容器的等效电路	223
第四节	标准电容器的技术特性	224
第五节	标准电容器的检定	228

目 录

思考题	231
第三章 标准电感器	231
第一节 标准电感器的原理	231
第二节 标准电感器的等效电路	236
第三节 标准电感器的技术特性	237
第四节 标准电感器的检定	240
思考题	243
第四章 标准交流电阻器	244
第一节 标准交流电阻器的基本原理	244
第二节 标准交流电阻器的检定方法	250
思考题	254
第五章 交流阻抗测量仪	255
第一节 交流电桥的原理	255
第二节 RLC 数字测量仪原理	263
第三节 交流电桥的误差分析	266
第四节 交流电桥的检定	269
思考题	282
参考文献	282

第五篇 交直流高电压计量

第一章 交直流高电压计量基础知识	285
第一节 高电压绝缘	285
第二节 高电压的检定系统	289
第三节 高电压测量的特殊问题	291
思考题	293
第二章 交直流高电压计量器具	293
第一节 交直流高电压测量仪器的基本原理	294
第二节 交直流高电压源的基本原理	299
思考题	302
第三章 交直流高电压计量器具的检定	302
第一节 直流高电压标准源的检定	303
第二节 直流高电压标准分压器的检定	308
第三节 高压静电电压表的检定	311

目 录

第四节	测量用电压互感器的检定	316
第五节	工频高压分压器的检定	322
思考题	.....	325
第四章	交直流高电压测量不确定度分析	325
思考题	.....	328
参考文献	.....	328

第六篇 交直流功率电能计量

第一章	功率电能计量基础知识	333
第一节	功率电能概述	333
第二节	功率电能的基本概念	334
第三节	交直流功率与电能的量值传递	339
第四节	功率电能计量标准的主要用途	343
第五节	功率电能计量技术的现状与发展	345
思考题	.....	346
第二章	交直流功率电能测量方法	347
第一节	直流电功率的测量	347
第二节	电动系指示表法测量交直流功率	348
第三节	交直流比较法测量电功率	349
第四节	模拟乘法器法测量交直流电功率	352
第五节	波形算法测量电功率	355
第六节	感应系电能表	356
第七节	三相功率和电能的测量	358
思考题	.....	360
第三章	交直流功率电能表主要技术要求	360
第一节	交直流功率表	360
第二节	交直流电能表	363
思考题	.....	366
第四章	交直流功率电能表的检定	367
第一节	交直流功率表的检定	367
第二节	交直流电能表的检定	371
思考题	.....	376
第五章	交直流功率电能检定不确定度评定及建标举例	377