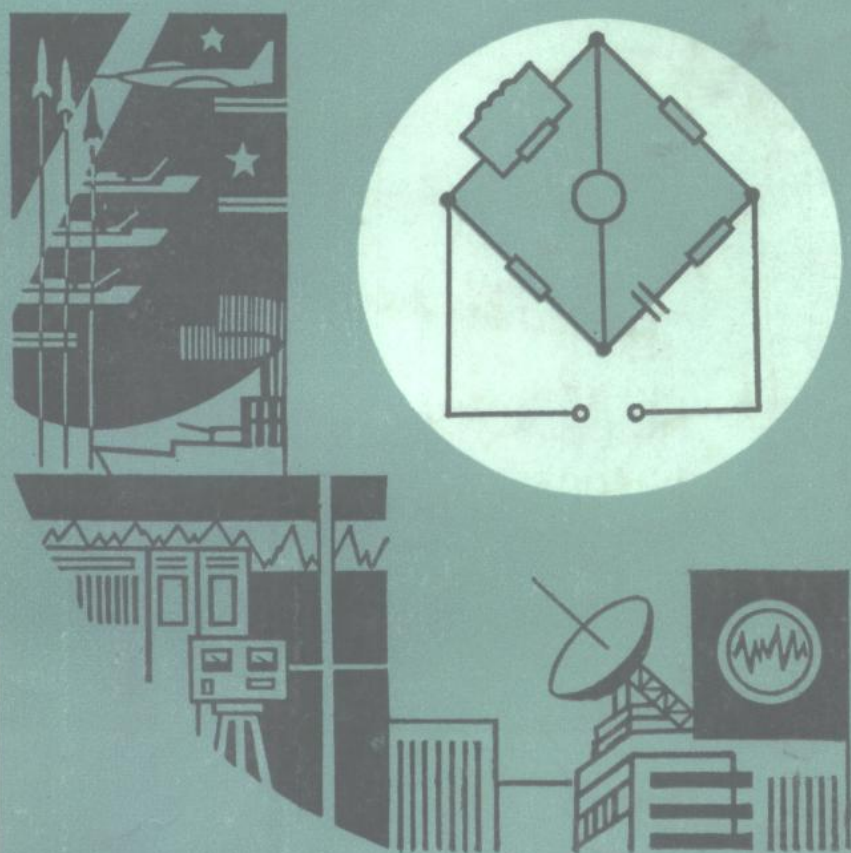


计量中专试用教材

电学计量

郑福成 李东炜 编
苏盛津 陈玉琳



中国计量出版社

71.461
818

计量中专试用教材

电 学 计 量

郑福成 李东炜 编
苏盛津 陈玉琳

中国计量出版社

内 容 提 要

本书是按照计量中等专业学校教材编写会议制订的教学大纲组织编写的，全书共分七章。第一章介绍电学计量的基础知识；第二章叙述电学计量标准量具的原理、结构和特点；第三章叙述电学计量仪器的原理、特点和误差分析；第四至第六章分别介绍电学计量仪器、仪表、标准量具、电能表等的检定要求、基本检定方法和数据处理等；第七章简要介绍电学计量中常见干扰现象的产生原因和屏蔽防护的基本方法。

全书内容通俗易懂，实用性强，除作计量中等专业学校电磁学计量专业的专业课教材外，也可供从事电磁学测量，具有中等以上文化程度的计量检测人员、企业计量管理人员和有关工程技术人员使用。

计量中专试用教材

电 学 计 量

郑福成 李东炜 编
苏盛津 陈玉琳 编
责任编辑 王晓莹

—*—

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*—

开本 787×1092/16 印张 22.75 字数 585千字
1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷
印数 1—6 000

ISBN 7-5026-0446-4/TB·35J

定价 12.50 元

95119150

出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门，负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才，举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质、改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远的影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此，我们根据国家技术监督局的决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在1988至1991年内出版齐。

本书是委托吉林省计量中等专业学校组织编写的电磁学计量专业的专业课教材。

计量事业教育基础十分薄弱，组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足。因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误，我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的，在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到。因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性，其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编 者 的 话

本书是依据原国家计量局审定的计量中等专业学校电磁学计量专业教学大纲、结合实际工作需要和中等专业教学特点而编写的专业课教材。

本书从介绍电学计量基本知识入手,根据现行检定规程,以介绍原理和检定方法为主,与其它专业教材相配套,力求文字简练,循序渐进,理论联系实际,使读者能够学以致用。同时,针对电学计量的发展动态,适当地介绍了电学计量仪器的新技术。

鉴于计量中等专业学校中学生知识水平参差不齐,本书章节中加“*”号部分为参考知识,可以作为扩大知识面、加深知识层次的教学内容,各校可以根据课时计划和学生水平灵活机动安排教学。

本书除与其它教材配套适于教学之外,其内容相对独立,亦可作为具有中等以上文化程度的人员、企业计量管理人员及中专以上院校师生、有关工程技术人员和科技工作者的专业技术参考书。

本书共分七章。第一章介绍法制计量和误差理论的基本知识;第二章叙述电学计量标准量具的原理、结构和特点;第三章叙述大量使用的电学计量仪器的原理、特点及误差分析;第四至第六章分别介绍电测量仪表、仪器、标准量具、电能表等的检定要求、基本检定方法及数据处理等;第七章简要介绍电学计量中常见干扰现象的产生原因及对屏蔽防护的基本方法。

本书的编写是在原国家计量局教育处、吉林省标准计量局的直接组织下,在吉林省计量中等专业学校的具体主持下完成的。郑福成和李东炜对全书的选材、结构及表述等进行了整体设计。第一章由郑福成、苏盛津编写;第二章由苏盛津编写;第三章由郑福成、李东炜、陈玉琳编写;第四章、第七章由李东炜编写;第五章、第六章由陈玉琳编写。

本书由中国计量科学研究院阮永顺副研究员主审。

在原国家计量局教育处的直接关怀下,本教材审定会于1988年5月在长春召开,来自全国各地的教授、专家曾为本书提供了极为珍贵的意见。在编写过程中,还曾得到中国计量科学研究院金士杰副研究员、阴天晓副研究员、中国计量学院王景元教授、哈尔滨电工学院袁禄明教授、吉林省计量测试技术研究所刘涛工程师以及其它单位有关同志的热情帮助和支持,在此谨向他们表示衷心感谢。

由于时间仓促和水平有限,书中难免有不妥甚至错误之处,望读者批评指正。

目 录

| | |
|----------------------------|---------|
| 第一章 电学计量基础知识 | (1) |
| 第一节 概述 | (1) |
| 第二节 计量单位制及常用电(磁)量的单位 | (1) |
| 第三节 电学计量单位的复现及保存 | (6) |
| 第四节 计量基准和计量标准 | (10) |
| 第五节 量值传递、检定系统和检定规程 | (10) |
| 第六节 电学计量检定的基本知识 | (12) |
| 第七节 测量误差的基本知识 | (19) |
| 练习题 | (32) |
| 第二章 电学计量标准量具 | (33) |
| 第一节 标准电池 | (33) |
| 第二节 标准电阻器 | (38) |
| 第三节 标准电容器 | (42) |
| 第四节 标准电感器 | (50) |
| 练习题 | (55) |
| 第三章 电学计量仪器 | (57) |
| 第一节 直流电位差计 | (57) |
| 第二节 直流电桥 | (69) |
| 第三节 交流电位差计 | (91) |
| *第四节 电流比较仪 | (100) |
| *第五节 感应分压器 | (104) |
| 第六节 交流电桥 | (103) |
| 第七节 交直流转换技术 | (126) |
| 练习题 | (130) |
| 第四章 电学计量标准量具及仪器的检定 | (132) |
| 第一节 外观及线路检查 | (132) |
| 第二节 绝缘电阻测量及绝缘电压试验 | (133) |
| 第三节 标准电池的检定 | (134) |
| 第四节 直流标准电阻器的检定 | (145) |
| 第五节 直流电位差计的检定 | (152) |
| 第六节 直流电桥的检定 | (173) |
| 第七节 直流电阻箱的检定 | (193) |

| | | |
|-------------|-----------------------------|--------------|
| 第八节 | 直流电阻分压箱的检定 | (200) |
| 第九节 | 标准电容器和标准电感器的检定 | (210) |
| 第十节 | 交流电桥的检定 | (215) |
| 第十一节 | 测量用互感器的检定 | (225) |
| | 练习题 | (237) |
| 第五章 | 电测量指示仪表的检定 | (239) |
| 第一节 | 电测量指示仪表概述 | (239) |
| 第二节 | 电测量指示仪表的误差和电气、机械性能要求 | (241) |
| 第三节 | 检定项目及检定条件 | (250) |
| 第四节 | 指示仪表检定的一般规定 | (252) |
| 第五节 | 用直流电位差计测定指示仪表的基本误差 | (253) |
| 第六节 | 用热电式交直流比较仪测量指示仪表的基本误差 | (261) |
| 第七节 | 用数字电压表测定指示仪表的基本误差 | (272) |
| 第八节 | 用直接比较法测定仪表的基本误差 | (275) |
| 第九节 | 工频相位表与频率表基本误差的测定 | (285) |
| 第十节 | 绝缘电阻表与接地电阻表基本误差的测定 | (295) |
| 第十一节 | 检定结果的处理 | (298) |
| | 练习题 | (302) |
| 第六章 | 交流电能表的检定 | (304) |
| 第一节 | 概述 | (304) |
| 第二节 | 交流电能表的技术要求 | (305) |
| 第三节 | 检定电能表的标准设备 | (311) |
| 第四节 | 检定项目与基本误差的测定 | (314) |
| | 练习题 | (326) |
| 第七章 | 电测量线路的屏蔽 | (327) |
| 第一节 | 概述 | (327) |
| 第二节 | 串、并联测量线路的干扰及防护 | (329) |
| 第三节 | 测量线路的漏电及等电位屏蔽 | (332) |
| 第四节 | 静电影响及静电屏蔽 | (339) |
| 第五节 | 磁场影响及防护 | (341) |
| 第六节 | 空间电磁场的干扰和防护 | (343) |
| 第七节 | 电测仪表的屏蔽保护 | (345) |
| 第八节 | 交流电网供电仪器的合理接地及屏蔽 | (348) |
| | 练习题 | (353) |
| 附录 | | |
| 附录 1 | 常用电工仪器仪表类组代号表 | (354) |
| 附录 2 | 常见国产标准电池主要性能表 | (355) |
| 附录 3 | 常见国产直流标准电阻器主要性能表 | (356) |
| 参考资料 | | (357) |

第一章 电学计量基础知识

第一节 概 述

电是当今世界上最主要的能源之一，电自被人类认识以来，就与人们的生产活动、科学实践以及人民的日常生活紧密地联系在一起，广泛应用于科研生产等各个领域。

电的应用促进了科学技术的发展，科学技术的发展又推动了人类社会的进步与繁荣。长期以来，人们在不断地对电进行探索的过程中，发明创造了大量的电测量仪器、仪表和设备，并日趋完善，从模拟式指示仪表发展到数字式智能仪表以及配用电子计算机的自动化测量系统，使对电参量的测量达到了新水平。目前已能测量高达数百 kV 的高电压、数十 kA 的大电流和低到 10^{-9} V 的低电压、 10^{-14} A 的弱电流。电测量仪器的应用与发展对人类进一步认识客观世界和改造主观世界，促进科学技术的进步与发展，产生着越来越深远的影响。

电学计量是应用电测量仪器、仪表及设备采用相应的方法对被测电量进行定量分析的一门科学，其任务是在电测量领域中保证单位制统一和量值可靠。它包括：

- (1) 研究、复现和保存电学计量单位的国家基准及各准确度等级的计量标准。
- (2) 组织并实施电学计量单位的量值传递。
- (3) 研究电计量器具的检定和测量方法。
- (4) 研究元件及材料的电气性能测试方法。

电学计量技术具有测量方法种类繁多，灵敏度高以及适宜连续测量和远距离测量等特点。与测量传感器相配合，可以实现对多种物理量、化学量的测量。根据常用电学计量器具的特点，可以把它分为直流量计量器具和交流（主要指在工频或音频范围内使用）量计量器具两大类，如图 1.1 所示。

第二节 计量单位制及常用电（磁）量的单位

有明确的定义和名称并令其数值为 1 的一个固定的量称为计量单位。

一、国际单位制的构成

国际单位制是由 SI 单位（包括 7 个 SI 基本单位、2 个 SI 辅助单位和 19 个具有专门名称以及若干个不具有专门名称的导出单位）、SI 词头（16 个）和 SI 单位的十进倍数和分数

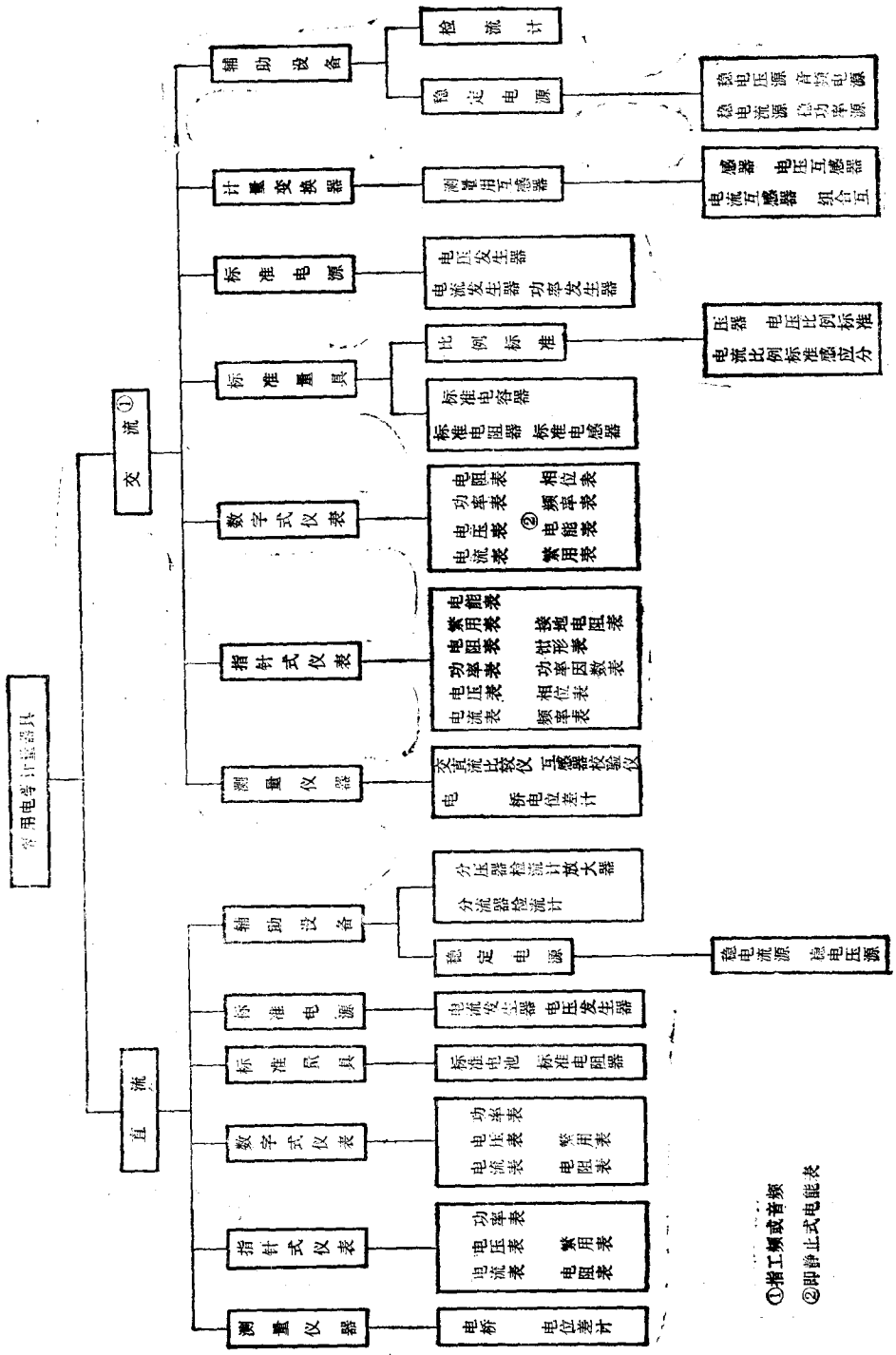


图 1.1 常用电学计量器具分类

①指工频或市频
②即静止式电能表

单位三部分所构成。

国际单位制的 7 个基本单位是：

- (1) 长度单位——米，符号是 m。
- (2) 质量单位——千克（公斤），符号是 kg。
- (3) 时间单位——秒，符号是 s。
- (4) 电流单位——安[培]，符号是 A。
- (5) 热力学温度单位——开[尔文]，符号是 K。
- (6) 物质的量单位——摩[尔]，符号是 mol
- (7) 发光强度单位——坎[德拉]，符号是 cd。

在上述 7 个基本单位中，电流单位安[培]是电学计量的基本单位。

在实际应用中，为了表示某种量的不同数值，仅有一个主单位显然是不够的，可以用 SI 词头和 SI 单位组合在一起，构成一系列倍数单位和分数单位。例如，将安培这个单位扩大或缩小，可以有千安（kA）、毫安（mA）、微安（ μ A）等。其中，千（k）、毫（m）和微（ μ ）称为词头。电学计量中常用的 SI 词头如表 1.1 所示。

二、法定计量单位

由国家以法令形式规定强制使用或允许使用的计量单位称为法定计量单位。

我国的法定计量单位是以国际单位制为基础，保留了少数其它计量单位组合而成。它包括：

- (1) 国际单位制的 7 个基本单位；
- (2) 国际单位制的 2 个辅助单位；
- (3) 国际单位制中 19 个具有专门名称的导出单位；
- (4) 国家选定的 15 个非国际制单位，如时间单位分（min），[小]时（h），日（d），级差单位分贝（dB）等；
- (5) 由以上 43 个单位构成的组合形式的单位，如电能单位千瓦[小]时（kW·h），电阻率单位欧[姆]米（ $\Omega\cdot$ m）等；

表1.1 常用的 SI 词头

| 因 数 | 词 头 名 称 | 词 头 符 号 |
|------------|---------|---------|
| 10^{12} | 太[拉] | T |
| 10^9 | 吉[伽] | G |
| 10^6 | 兆 | M |
| 10^3 | 千 | k |
| 10^{-3} | 毫 | m |
| 10^{-6} | 微 | μ |
| 10^{-9} | 纳[诺] | n |
| 10^{-12} | 皮[可] | p |

表1.2 常用电(磁)学计量的量和计量单位

| 量 | | SI 单 位 | | 备 注 |
|----------------------------|------------------|----------|-----------------------|--|
| 名 称 | 符 号 | 名 称 | 符 号 | |
| 电 流 | I | 安[培] | A | |
| 电 荷 量 | Q | 库[仑] | C | $1\text{C} = 1\text{A}\cdot\text{s}$ |
| 电 场 强 度 | $E, (K)$ | 伏[特]每米 | V/m | $1\text{V}/\text{m} = 1\text{N}/\text{C}$ |
| 电 位, (电 势) | V, φ | 伏[特] | V | $1\text{V} = 1\text{W}/\text{A}$ |
| 电 位 差, (电 势 差), | U | | | |
| 电 压 | E | | | |
| 电 动 势 | E | | | |
| 电 容 | C | 法[拉] | F | $1\text{F} = 1\text{C}/\text{V}$ |
| 介 电 常 数 (电 容 率) | ϵ | 法[拉]每米 | F/m | $1\text{F}/\text{m} = 1\text{C}/(\text{V}\cdot\text{m})$ |
| 真 空 介 电 常 数 (真 空 电 容 率) | ϵ_0 | | | |
| 相 对 介 电 常 数 (相 对 电 容 率) | ϵ_r | | | |
| 电 流 密 度 | $J, (S, \delta)$ | 安[培]每平方米 | A/m^2 | |
| 磁 场 强 度 | H | 安[培]每米 | A/m | $1\text{A}/\text{m} = 1\text{N}/\text{Wb}$ |
| 磁 通(量)密 度, 磁 感 应 强 度 | B | 特[斯拉] | T | $1\text{T} = 1\text{Wb}/\text{m}^2 = 1\text{N}/(\text{A}\cdot\text{m})$ $= 1\text{V}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ |
| 磁 通(量) | Φ | 韦[伯] | Wb | $1\text{Wb} = 1\text{V}\cdot\text{s} = 1\text{T}\cdot\text{m}^2$ |
| 自 感 | L | 亨[利] | H | $1\text{H} = 1\text{Wb}/\text{A}$ $= 1\text{V}\cdot\text{s}/\text{A}$ |
| 互 感 | $M, L_{1,2}$ | | | |
| 漏 磁 系 数 | σ | | | 无量纲 |
| 磁 导 率 | μ | 亨[利]每米 | H/m | $1\text{H}/\text{m} = 1\text{Wb}/(\text{A}\cdot\text{m})$ $= 1\text{V}\cdot\text{s}/(\text{A}\cdot\text{m})$ |
| 真 空 磁 导 率 | μ_0 | | | |
| 相 对 磁 导 率 | μ_r | | | 无量纲 |
| (直 流)电 阻 | R | 欧[姆] | Ω | $1\Omega = 1\text{V}/\text{A}$ |
| (直 流)电 导 | G | 西[门子] | S | $1\text{S} = 1\text{A}/\text{V}$ |
| 电 阻 率 | ρ | 欧[姆]米 | $\Omega\cdot\text{m}$ | $1\Omega\cdot\text{m} = 1\text{m}/\text{S} = 1\text{V}\cdot\text{m}/\text{A}$ $= 1\text{s}\cdot\text{m}/\text{F} = 1\text{H}\cdot\text{m}/\text{s}$ |

续表

| 量 | | SI 单 位 | | 备 注 |
|---------------------------|-----------------------|------------|--------------------------|--|
| 名 称 | 符 号 | 名 称 | 符 号 | |
| 电导率 | ν, σ, κ | 西(门子)每米 | S/m | $1 \text{ S/m} = 1 \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ $= 1 \text{ A}/(\text{V} \cdot \text{m})$ $= 1 \text{ F}/(\text{s} \cdot \text{m})$ $= 1 \text{ s}/(\text{H} \cdot \text{m})$ |
| 绕组的匝数 | N | | | 无量纲 |
| 相数 | m | | | |
| 极对数 | p | | | |
| 相(位)差, 相(位)移 | φ | 弧度 | rad | |
| 阻抗,(复数阻抗) 电抗 | Z X | 欧(姆) | Ω | $1 \Omega = 1 \text{ V/A}$ |
| (交流)电阻 | R | 欧(姆) | Ω | |
| 品质因数 | Q | | | 无量纲 |
| 导纳,(复数导纳) 电纳 (交流)电导 | Y B G | 西(门子) | S | $1 \text{ S} = 1 \text{ A/V}$ |
| 功率 | P | 瓦(特) | W | $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$, 视在功率(表现功率) $S, (P_s)$ 单位为伏安(V·A), 无功功率 Q (P_q) 单位为乏(var) 功率因数 $\lambda, \lambda = \cos \varphi$ (无量纲) |
| 电能(量) | W | 焦(耳) | J | $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}$ |
| 周期 | T | 秒 | s | |
| 时间常数 | $\tau(T)$ | 秒 | s | |
| 频率 | $f(\nu)$ | 赫(兹) | Hz | |
| 角频率, 圆频率 | ω | 弧度每秒 每秒 | rad/s s^{-1} | $\omega = 2 \pi f$ |
| 振幅级差,场级差 | L_p | | | 无量纲 |
| 功率级差 | L_p | | | 无量纲 |

(6) 由 16 个词头和以上 43 个单位所构成的 10 进位数和分数单位, 如 1 kV, 5 MΩ, 3 mA, 8 μF 等。

三、常用电(磁)量及其计量单位

(一) 在电(磁)学计量中, 常用的量和计量单位

表 1.2 列出了常用电(磁)学计量的量和单位。

(二) 在由电(磁)学计量中, 常用计量单位的定义

(1) 安培(A)是电流单位。在真空中, 截面积可忽略的两根相距 1 m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时, 若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} N, 则每根导线中的电流为 1 A。

(2) 伏特(V)是电位、电位差、电压、电动势等的单位。两点间的电位差, 在载有 1 安培恒定电流导线的这两点间消耗 1 瓦特的功率。

$$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A} \quad (1.1)$$

(3) 欧姆(Ω)是电阻、电抗等的单位。一导体两点间的电阻, 当在此两点间加上 1 伏特恒定电压时, 在导体内产生 1 安培的电流。

$$1 \Omega = 1 \text{ V/A} \quad (1.2)$$

(4) 法拉(F)是电容器的电容, 当该电容器充以 1 库仑电荷量时, 电容器两极间产生 1 伏特的电位差。

$$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V} \quad (1.3)$$

(5) 亨利(H)是电感、磁导等的单位。一闭合回路的电感, 当此回路中流过的电流以 1 安培每秒的速率均匀变化时, 回路中产生 1 伏特的电动势。

$$1 \text{ H} = 1 \text{ V}\cdot\text{s/A} \quad (1.4)$$

(6) 韦伯(Wb)是单匝环路的磁通量, 当它在 1 秒内均匀地减少到零时, 环路内产生 1 伏特的电动势。

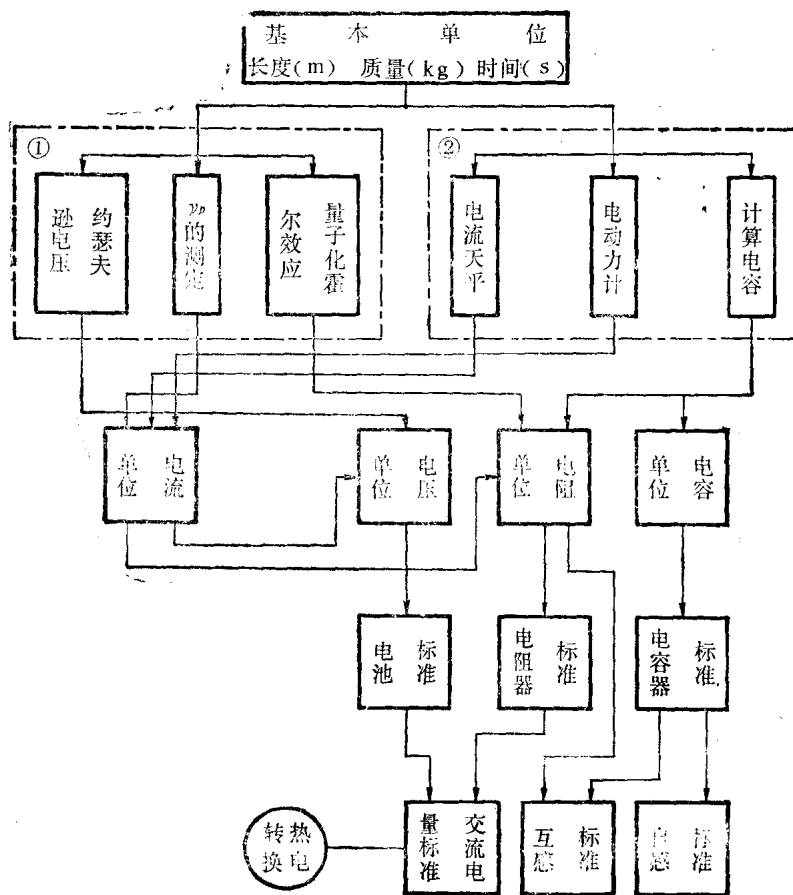
$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V}\cdot\text{s} \quad (1.5)$$

(7) 特斯拉(T)是磁通量密度、磁感应强度、磁极化强度等的单位。1 特斯拉等于 1 韦伯的磁通量均匀而垂直地通过 1 平方米面积的磁通量密度。

$$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2 \quad (1.6)$$

第三节 电学计量单位的复现及保存

在电学计量中, 电学计量单位是根据国际单位制中长度单位(m)、质量单位(kg)、时间单位(s)和电流单位(A)确定和导出的, 并形成了以电流单位——安培为基础和电压单位——伏特、电阻单位——欧姆、电容单位——法拉和电感单位——亨利等相互联系的电学计量基准的量值传递体系。如图 1.2 所示。



①量子标准

②绝对测量

图 1.2 电学计量基准量值传递体系

一、电流单位的复现和保存

(一) 电流单位的复现

电流单位——安培是电（磁）学计量的基础。要想通过绝对测量法（定义计量法）来复现电流单位——安培是很难实现的。例如，要制作两根无限长的载流平行导线是不可能的。然而，按照安培定义的等效形式，采用测量某种特定形式的载流线圈之间的作用力，来复现电流单位——安培却是可行的。

在各种复现电流单位——安培的绝对测量方法中，普遍采用的是电流天平法，其复现准确度为 1×10^{-6} 。继电流天平法之后，采用电动力计法和测量质子回旋磁比 γ_p 的方法对电流单位——安培进行绝对测量，以复现其单位，已得到普遍应用。

(二) 电流单位的保存

在计量科学技术中，电流单位——安培是国际单位制中七个基本单位之一，但目前还没有找到合适的实物基准器来保存它的单位量值，而由国际单位制导出的电压单位——伏特和电阻单位——欧姆，却早已找到合适的实物基准器来保存它们的单位量值。因而，电流单位——安培的保存，是通过电压单位——伏特的实物基准器——标准电阻器（数只）来实现的。

二、电压单位的复现和保存

(一) 电压单位的复现

由于电流、电压和电阻三个量可以通过欧姆定律联系起来，如果知道其中两个量，便可以导出第三个量。因此，多年来大多数国家按电磁学理论，即采用电流及电阻单位导出的方法来复现电压单位——伏特。也有一些国家采用电压天平和液体静电计来实现电压单位的复现。

1962年约瑟夫逊效应理论提出后，采用约瑟夫逊结电压复现电压单位——伏特的方法，在一些国家已经得到普遍的应用，其复现准确度为 5×10^{-8} 。我国定为从1990年1月起采用约瑟夫逊效应复现电压电位，取代原国家伏特基准。

根据第18届电学咨询委员会（CCE）的建议，1988年第77届国际计量委员会（IPM）的决议，确定自1990年1月1日起国际上正式启用约瑟夫逊常数 $k_J = 483\,597.9 \text{ GHz/V}$ 来定义和复现电压电位。

(二) 电压单位的保存

1. 标准电池组

由于韦斯顿饱和式标准电池具有长时间稳定性好（电动势年变化小于 0.5×10^{-6} ）的特点，因此，长时间以来，世界各国均采用标准电池组作为实物基准器——伏特主基准组来保存本国的电压单位——伏特的量值。

由于饱和式标准电池的结构及物理化学特性等因素决定，选入主基准组内的标准电池，虽然经过严格的筛选和多年的考核，但是随着时间的推移，其性能也有所变化。有的电池电动势上升了一点，而有的电池又下降了一些，在一组电动势值中可以相互抵消一部分，这就是用一组电池而不采用一只标准电池作为基准的道理。为避免饱和式标准电池使用时间过长而发生量值变化，需要对其定期更换和进行国际比对。

2. 电子式电压标准器

由于饱和式标准电池存在电动势温度系数较大（约为 $-40 \mu\text{V/K}$ ）和使用条件苛刻等缺点，近年来，有些国家已研制成功并已得到使用的电子式电压标准装置，它利用硅稳压二极管的反向雪崩特性得到稳定的直流电压，其不确定度仅为 2×10^{-6} ，而电动势温度系数减小到 $1 \times 10^{-7}/\text{K}$ （指相对变化），因而不需要专门恒温条件也可以使用。这种器件在进一步改善后，有可能逐步取代传统的饱和式标准电池。

三、电阻单位的复现和保存

(一) 电阻单位的复现

电阻是电学计量中的基本参量之一，为复现其单位量值，各国的计量研究机构不断改进测量技术，从多种角度对电阻单位进行了绝对测量。60年代初期，电阻单位的绝对测量都是由计算电感与频率通过交流电桥获得，后来提出了用计算电容实现电阻单位绝对测量的方法，使准确度从 1×10^{-5} 提高到 1×10^{-7} 以上。

1980年“克里青效应”发现后，在建立量子化霍尔电阻基准方面，使准确度提高到 10^{-8} 数量级。根据第18届电学咨询委员会（CCE）的建议和1988年第77届国际计量委员会（IPM）的决议，确定从1990年起，国际上正式启用量子化霍尔电阻来复现电阻单位，量子化霍尔电阻的表达式为

$$R_H = \frac{h}{ie^2} \quad (1.7)$$

式中 h ——普朗克常数；

e ——电子电荷；

i ——正整数。

R_H 仅由基本常数 h 、 e 和正整数 i 决定，当 $i=1$ 时， $R_H = 25\,812.807\ \Omega$ 。

(二) 电阻单位的保存

电阻单位使用实物基准器保存，普遍采用的电阻单位实物基准器都是由优质锰铜材料制成的 $1\ \Omega$ 标准电阻器组，借助传递装置按十进制向两端扩展，将量值传递到最小标称值为 $10^{-4}\ \Omega$ ，最大标称值为 $10^8\ \Omega$ 的标准电阻器中。

我国的电阻单位的实物基准器是由10个 $1\ \Omega$ 的标准电阻器组成，取其电阻的平均值作为基准量值，其稳定度优于 $1 \times 10^{-7}/a$ 。

四、电容与电感单位的复现和保存

(一) 电容与电感单位的复现

采用“计算电容法”复现电容单位如前所述。复现电容量值的不确定度为 10^{-7} 数量级。

电感单位的复现，可以采用“计算电容法”和“计算电感法”。

(二) 电容和电感单位的保存

电容单位也是用实物基准器保存。根据不同的量值，电容基准器可以采用不同的结构和

材料。标称值 10 nF 以下的，可以采用空气电容器，其稳定度为 $1 \times 10^{-5}/a$ ，损耗因数小于 1×10^{-5} ；标称值为 10 pF 的，可以采用熔融石英电容器，其稳定度优于 $1 \times 10^{-6}/a$ ，损耗因数小于 2×10^{-8} ；标称值在 $1 \times 10^{-2} \sim 1 \mu\text{F}$ 的，一般采用云母电容器，其稳定度为 $1 \times 10^{-4}/a$ ，损耗因数为 1×10^{-4} ；1 μF 以上的标准电容器很难制造，通常采用感应分压器构成大容量的等效电容器，其不确定度约为 5×10^{-3} 。

电感单位的保存，是由作为电感基准的精密电感线圈来实现。我国用于保存电感单位的电感基准的标称值为 0.1 H，其不确定度为 1×10^{-4} 。

第四节 计量基准和计量标准

一、国家基准

用以复现和保存计量单位量值，经国家鉴定并批准，作为统一全国量值最高依据的计量器具称为国家基准。

国家基准具有现代科学技术所能达到的最高准确度。

计量基准的分类：

(1) 按层次等级可以分为国家基准、副基准和工作基准。

(2) 按组合形式可以分为单件基准(如 0.5 pF 或 1 pF 计算电容基准器)、集合基准(如标准电池组和直流电阻基准组)。

二、计量标准

按国家规定的准确度等级，实际用于检定工作的计量器具称为计量标准。计量标准在国家检定系统中的地位在工作基准之下。

根据需要，计量标准分为不同的等级，例如标准电池分为：一等标准电池组、二等标准电池组等。在很多情况下，各等级的计量标准不仅准确度不同，而且原理、结构也是不同的。

第五节 量值传递、检定系统和检定规程

一、量值传递

通过对计量器具的检定或校准，将国家基准所复现的计量单位量值，通过各等级计量标准传递到工作计量器具，以保证对被测对象量值的准确和一致，这种传递称为量值传递。例如电阻单位的量值传递关系如图 1.3 所示。

量值准确一致的关键在于计量结果能够量值溯源，即被测的量值必须具有与上一级计量标准量值以及逐级溯源到国家计量基准量值的联系特性。为此，要求每一件计量器具都必须逐级经过上一个等级的计量标准直至国家计量基准的检定。所谓量值溯源就是量值传递的逆过程。