

计量中专试用教材

热工常用电测 仪器仪表

潘圣铭 贾峰 编

中国计量出版社

计量中专试用教材

7

热工常用电测仪器仪表

潘圣铭 贾 峰 编

中国计量出版社

(京) 新登字 024 号

内 容 提 要

本书重点阐述热工计量中常用的标准电池、标准电阻、电阻箱、直流电位差计、电桥、检流计、数字式仪表、稳压电源、稳流电源和多点转换开关等仪器仪表及辅助设备的工作原理、结构、技术性能、检测方法和误差来源等基本知识。

本书除做中专教材外, 还可供各领域从事热工检定、测试、修理人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

热工常用电测仪器仪表/潘圣铭, 贾峰编. —北京: 中国计量出版社, 1994. 8
ISBN 7-5026-0694-7

I. 热… II. ①潘… ②贾… III. 热工测量-电工仪表 IV. ①TM93 ②TH81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 09036 号

计量中专试用教材
热工常用电测仪器仪表
潘圣铭 贾 峰 编
责任编辑 王 红

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲 2 号
河北省永清县第一胶印厂
新华书店北京发行所发行

*

开本 787×1092/16 印张 14.25 字数 343 千字
1994 年 8 月第 1 版 1994 年 8 月第 1 次印刷
印数 1—5000

ISBN 7-5026-0694-7/TH·21

定价 10.50 元

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。

本书是委托山东省标准计量中等专业学校组织编写的热工专业的专业课教材。

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，这套教材是根据四年制普通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

1993.3

7-A-100/100

编者的话

本教材是受国家技术监督局宣教司的委托，根据中专教学大纲的要求编写的。

主要分三大部分：一是测量直流电压的直流电位差计，讲述直流电位差计的工作原理、线路结构、主要技术指标及使用方法等；二是测量电阻的电桥，主要讲述单电桥、双臂电桥和测温专用电桥的工作原理、线路结构、使用方法等；三是数字显示仪表，主要讲述数字电压表和其扩展测量功能的数显仪表，如数字多用表和热工数字显示仪表等。本书为适应热工计量技术发展的需要，扩展热工计量人员的视野，讲述了一些准确度比较高的电测仪器，如直流电流比较仪式的电位差计、电桥，交流电感电桥，自动电桥等。

本书由潘圣铭编写一～六章，贾峰编写七、八章。其中第八章第三节部分内容引自清华大学王家桢主编的《电动显示调节仪表》，特此说明。全书由潘圣铭同志统稿。

本书在编写和审定过程中，吕崇德、潘儒文、赵焕箕、朱渠、何伟仁、刘方、韩国刚、李学琪、高庆忠、刘心一等教授、专家对本书提出了许多宝贵的意见，在此向他们表示衷心感谢！

清华大学吕崇德教授，中国计量科学院潘儒文研究员对本书进行了认真细致的审阅，并提出许多宝贵的修改意见，国家技术监督局东征、安国、杜小平、窦爱东等同志也参加了本书的审定工作。

由于作者水平有限，缺少经验，书中难免存在不少的缺点和错误，敬请教课老师、读者及有关专家提出宝贵意见。

编者 1993.2

目 录

绪论	(1)
第一章 标准电池	(5)
第一节 标准电池的结构原理	(5)
第二节 影响标准电池电动势的误差因素	(6)
第三节 标准电池使用与保管的注意事项	(9)
第四节 标准电池的主要技术要求	(10)
第二章 直流标准电阻器与直流电阻箱	(12)
第一节 直流标准电阻器	(12)
第二节 直流电阻箱	(16)
第三章 直流电位差计	(21)
第一节 直流电位差计概述	(21)
第二节 直流电位差计的工作原理及主要技术特性	(21)
第三节 电位差计测量线路的结构形式	(25)
第四节 电位差计线路分析实例	(36)
第五节 直流电位差计的应用	(44)
第六节 直流电流比较仪式电位差计	(48)
第四章 电桥	(56)
第一节 电桥的概述	(56)
第二节 直流单电桥	(57)
第三节 测量铂电阻温度计用的单电桥	(60)
第四节 双臂电桥	(66)
第五节 π 型史密斯电桥	(69)
第六节 直流电流比较仪式电桥	(76)
第七节 直流比较仪式测温电桥	(78)
第八节 交流测温电桥	(84)
第九节 自动交流电桥	(92)
第五章 检流计	(99)
第一节 磁电式检流计	(99)
第二节 光电放大检流计	(109)
第三节 晶体管放大式检流计	(118)
第六章 电测装置的其它辅助设备	(121)
第一节 直流稳压电源	(121)
第二节 直流稳流电源	(127)
第三节 多点转换开关	(133)

第七章 数字多用表.....	(138)
第一节 概述.....	(138)
第二节 模—数转换技术.....	(139)
第三节 数字电压表中的自动装置.....	(139)
第四节 高精度数字多用表.....	(152)
第五节 便携式数字多用表电路.....	(176)
第六节 数字多用表的准确度.....	(178)
第七节 防护技术.....	(181)
第八章 数字式显示仪表.....	(186)
第一节 概述.....	(186)
第二节 数字式温度显示仪表的基本原理.....	(186)
第三节 微机化数字温度显示仪原理简介.....	(199)
第四节 微机化仪表实例.....	(213)
第五节 数字温度显示仪表的主要技术指标.....	(216)
第六节 数字式温度显示仪表的检定.....	(217)

绪 论

热工测量包括温度、压力、流量等参数的测量。热工量都是非电量，根据现代化生产发展的需要，这些非电量测量法远远不能满足科研和生产的需要，因为现代化生产要求测量是远距离，快速度，而且能最佳地自动控制生产过程，这只有采用电量测量法才能满足其需要。热工量用电测法测量首先要通过传感器，使非电量转换成电量。所以热工计量除非电量测量的仪器仪表外，它还包括传感器、变送器和显示仪表等。本课程主要是讲述热工量变换为电量后的仪器仪表所需对其检测的热工常用的电测仪器仪表。所以，此课程是热工计量人员必须掌握的一门知识。

热工量的电测法是从1800年A·伏打发现热电现象后，应用热电偶的热电特性，通过测量热电动势的电测法来确定其温度。1871年西门子制造出第一支铂热电阻，应用热电阻随温度变化的特性，通过测量电阻的电测法来确定其温度，以后又出现了应变式、电感式、电容式等早期的机械传感器测量热工量。随着科学技术的发展，对测量的准确度、速度都提出了新的要求，尤其对动态变化的物理过程进行测量，以及对物理量的远距离测量，用非电的方法已经不能满足要求了。尤其到70年代，由于新材料、新工艺的出现，机械结构型传感器又得到新的发展，传感器的稳定性和精度也有了新的提高，例如石英晶体、光电变换等传感器的出现。近年来，更多地发展了利用半导体、电介质、磁性体等固体元件构成的传感器。利用材料的压阻、湿敏、热敏、光敏、磁敏、气敏等效应把应变、湿度、温度等物理量变成电量的传感器。

热工量的电测技术的关键是传感器，传感器的发展直接影响它的水平。而作为热工量测量仪器是实现电测的物质基础。热工量电测仪表是由传感器、测量电路、输出显示或记录设备组成。

一、传 感 器

传感器是指某种非电量（例如物理量、化学量或生物量）按一定规律和处理方法将其转变为电量的器件或仪器。为实现热工量的电测量，必须先将热工量转变为电量，而这一转换主要靠传感器来实现。

传感器又由两个基本环节组成，一是敏感元件，二是转换元件。

敏感元件（预变换器）。当具体完成非电量到电量的转换时，并非所有的非电量都能利用现有的技术手段直接转换为电量，必须进行预转换。就是说，将被测的热工量预先转换为另一种易于转换成电量的非电量，然后再转换为电量。例如压力传感器中的膜片就是敏感元件，它首先将压力预转换为位移，然后再将位移量转换为电容量，能完成预转换的器件称为敏感元件，又称预转换器。此外，在某些场合为了扩大现有转换器的应用，也常采用敏感元件，实现其它非电量到变换器输入量非电量的转换，例如应变片可以测量应变，当采用应变元件简作敏感元件时就可以将被测力预转换为应变，再通过应变片就可以扩展到力的测量。

变换器（转换元件）：凡是能把一种性质的量变成另一种性质的量的仪表、单元或基元、部件、元件都是变换器。变换器是传感器不可缺少的重要组成部分，它是完成非电量到电量转换的主要任务。例如位移可直接转换为电容，电阻和电感的电容变换器，电阻变换器和电感变换器等。

在传感器中有一些比较简单的，例如热电偶、热电阻等，这类敏感元件输出是电量，它同时也兼有转换元件的作用，这类传感器也称为检测元件。

二、测量电路

传感器输出的电信号需要经测量电路进行加工和处理，如衰减、放大、调制和解调，滤波，运算和数字化等。

根据测量任务的难易程度，测量对象的复杂程度，被测量的种类和数量以及对测量结果提出的要求，有时可采用相当简单的测量电路制成简单的仪表，有时则要用相当复杂的电路才能制成多种参数、多种功能的测量仪器和设备。

三、输出显示或记录设备

给出测量结果的是输出显示或记录设备。它能显示和记录数据和图形。由于测量任务不同，输出电路给出的测量结果的形式也不同，难易程度也不一样。最简单的显示方法是用表头指示。为了显示被测量的变化过程则常采用示波器、记录仪、屏幕显示器、打字机和磁带机等输出设备。

在划分非电量仪器结构时，有的技术书籍和文献中也常把测量仪器的传感器部分称为一次元件（或仪表），而把测量电路和输出电路部分合称为二次仪表。

在这两部分内，传感器占有极重要的地位。当测量环境比较复杂，要求测量准确度高，特别是有些热工量难以有效地变换成电量时，传感器的设计和选用就成为能否完成非电量到电量的测量的关键。

热工量电测法具有如下优点：

1. 极宽的测量范围，采用电子技术，用放大或衰减的办法很容易改变仪器的灵敏度，使测量仪器具有很宽的幅域。
2. 电子测量仪器具有极小的惯性，因而既能测量缓慢变化的量，也可测量快速变化的量，采用电子技术将具有很宽的频域。
3. 可实现远距离（或遥感技术）的热工量测量。
4. 利用对信号进行各种运算和处理，易于实现多种参数的自动巡回检测和生产的自动控制。若配用微处理机，将实现智能化的测量。

在热工计量中温度、流量、压力、液位等非电量的参数，可以通过转换器的转换输出电参数，如电压、电流、电荷、电阻、电容、电感等。现将其输出量的变换方式及典型应用列于表1中。

表 1 热工测量常用的变换器

变 分 换 类 器 类		变换原理	变换器名称	典型应用
电 参 数 式 变 换 器	电 阻 式	移动电位器触点改变电阻	电位器	压力，位移
		利用电阻的温度物理效应（电阻温度系数）	热丝计	气流速度，液体流量
			电阻温度计	温度，热辐射
			热敏电阻	温度
		利用电阻的光敏效应	光敏电阻	光强，辐射测温
	利用电阻的温度物理效应	电阻湿度计	湿度	
	电 容 式	改变电容的几何尺寸	电容式压力计	位移，压力
	电 感 式	改变磁路几何尺寸，导磁体位置来改变变换器电感	电感变换器	位移，压力
		利用压磁物理效应	压磁计	压力
		改变电感	差动变压器	位移，压力
	频 率 计	利用改变电的或机械的固有参数来改变谐振频率	振弦式压力传感器	压力
			振筒式气压传感器	气压
			石英晶体谐振式传感器	压力
电 量 变 换 器	电 势	热电效应	热电偶	温度，热流
			热电堆	热辐射测温
	霍尔效应	霍尔变送器	压力，流量	
	光电效应	光电池	光强，辐射测温	
	电 荷	光致电子发射	光发射管	光强，辐射测温

与传感器配合使用的仪表种类很多, 常用的有动圈显示仪表, 自动平衡显示仪表, 数字式显示仪表和组合单元仪表等。

显示仪表和转换成电量输出的传感器的量值必须通过直接或间接的测量方法与电学同类量进行比较, 以确定电量与被测的热工量之间的函数关系。

本课程所述的热工常用电测仪器仪表, 实际上是电工仪器仪表的一部分。不过有的仪器仪表是热工检测中专用的电测设备, 但是, 多数是通用的电测设备。本书叙述了标准电池、标准电阻、电位差计、电桥、电阻箱、检流计、数字仪表、稳压电源、稳流电源、多点转换开关等。

热工计量常用的仪器仪表中常见的有三大类:

1. 标准量具——是复制和保存测量单位的,是测量单位的实物复制体,如标准电池的电动势单位“伏特”的量具,标准电阻是电阻单位“欧姆”的量具。它们分为国家基准组、副基准组、工作基准组、一等、二等标准组。工作量具的标准电池分为0.000 2, 0.000 5, 0.001, 0.005, 0.01, 0.02级等;工作用的标准电阻分为:0.005, 0.01, 0.02级等。此外,还有交流标准电容,标准电感(及互感)等。

由于标准量具是计量“单位”的实物复制体,它是确定热工仪器仪表的量值。根据计量量值传递的特点,本书把它们放在前面叙述,同时也符合教学由浅入深的特点。

2. 比较用仪器——此类仪器是将被测量与标准量具进行比较后才能确定量值大小的一种仪器,如果不与标准量具共同使用,就无法达到测量目的,属此范围的称为比较用仪器。如电位差计、电桥等,其准确度有0.000 5, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5级等。

3. 直读仪表——能直接读取被测量大小的仪表。为了指示数值的准确,此种仪表要与标准量具作比较进行分度,在测量过程中不必再与标准量具一起使用就可直接获得测量结果。按结构原理可分为:磁电系、电磁系、电动系、静电系、感应系等等。准确级别一般分为:0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2.5, 5.0级等。

随着科技工作的发展,电子技术的应用也日趋广泛,自动控制和自动测量促使了数字式仪表在近几十年内已发展到较高的水平,其测量准确度为 $\pm 0.000 1\%$, 0.001% , 0.01% , 0.05% 等。测量灵敏度一般为1微伏、10微伏,有的可达纳伏的数量级。其中数字电压表具有很高输入阻抗(基本量程),并达到高精度、高灵敏度水平,所以在电子技术和电工计量中已被较广泛地应用。

以前电磁单位的基准器多是建立在实物复制体的基础上,所以精度一直在 10^{-5} 附近徘徊。但随着计算电容和计算电感技术的出现,电容已达 10^{-7} ,电感已达 10^{-6} 。通过计算电容、电感、绝对测定欧姆的精度也达到 $10^{-6}\sim 10^{-7}$ 数量级,而电流强度的绝对测定精度也已达到 $10^{-5}\sim 10^{-6}$ 数量级。只有电压的绝对测定目前仍在 $10^{-5}\sim 10^{-6}$ 附近,但是用硫酸镉饱和标准电池组保持电压基准的年稳定性,目前已在 10^{-7} 数量级左右。电阻基准器是由1欧锰铜标准电阻来保持的,年稳定性也在 10^{-7} 数量级左右。

随着科学技术的发展,人们尽量设法用物质的自然现象或物理常数来建立电学计量的自然基准,以取代人为的实物基准器,如利用低温超导的约瑟夫逊效应装置,来监视标准电动势。目前国际上对这方面研究已做了不少的工作。

热工常用电测仪器仪表是热工计量人员必备的测量设备。因此,热工计量人员对此类电工计量仪器必须有进一步的认识,了解其结构、原理、特点和使用方法,以便自如地选择、应用、维护、修理和对测量结果进行综合的误差分析,保证测量结果的准确可靠。

本课程中学生学习的重点是省级以下热工计量最常用的电测仪器仪表点。对新发展的、准确度相当高的(如直流比较仪电位差计、直流电流比较仪电桥、交流测温电桥、自动测温电桥等)和线路比较复杂的部分可不列入重点,这部分内容要求学生把重点放在理解其工作原理、大体由几部分组成及其相互间关系上。

第一章 标准电池

标准电池是电动势单位“伏特”的基准、标准量具，在热工计量中用直流电位差计作为标准化回路电压比较的电压标准器具，以保证电位差计测量回路具有高准确度的规范化的工作电流。

标准电池是一种化学电池，电池内所用的化学物质均经过严格提纯，有确定的化学成分，用量准确，电动势稳定。它是用来当作标准电动势的原电池，是复制“伏特”量值的标准量具，经过特别挑选的这种电池组可以作为国家电压单位的基准器，与一等，二等标准电池一起作为电压单位的标准量具进行量值传递工作。

第一节 标准电池的结构原理

标准电池是用来当作电动势标准的原电池，它的电动势稳定，但由于内阻高，在充放电情况下会极化，故不能用它来供电。镉标准电池自1908年被国际正式采用到今天，已有90年历史，由于它的电动势恒定，容易制造，造价便宜，目前仍然被人们所采用。

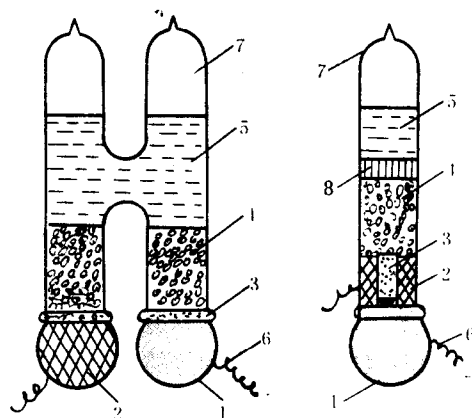
标准电池按电解液（硫酸镉溶液）的浓度分为饱和标准电池和不饱和标准电池两类。

凡在整个使用范围内电解液为饱和硫酸镉溶液并含有硫酸镉结晶（ $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ ）者，为饱和标准电池；而在整个使用温度范围内电解液保持不饱和者称为不饱和电池，它的一般结构形式如图1-1和图1-2所示。

图1-1 为饱和电池。它的结构分为H型(a)和单管型(b)两种结构，在密封容器中从“负”极到“正”极之间是一个电化学的体系，即：

10%固液态镉汞齐（ CdHg ） $\longrightarrow$ 硫酸镉结晶体（ $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ） $\longrightarrow$ 硫酸镉饱和溶液（ CdSO_4 ） $\longrightarrow$ 硫酸镉结晶体（ $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ） $\longrightarrow$ 固态硫酸亚汞（ Hg_2SO_4 ） $\longrightarrow$ 汞。

图1-2 为不饱和电池，它的结构也分为H型和单管型(b)两种结构，在密封容器中从



(a) (b)

图1-1 饱和标准电池

- 1—汞 Hg（电池正极）；
- 2—10% 镉汞齐 CdHg （电池负极）；
- 3—硫酸亚汞 Hg_2SO_4 （去极化剂）；
- 4—硫酸镉结晶体（ $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ）；
- 5—硫酸镉饱和溶液（ CdSO_4 ）；
- 6—铂引线；
- 7—玻璃容器；
- 8—微孔塞片

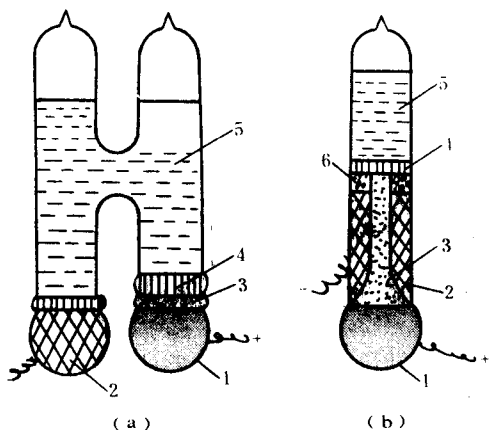


图 1-2 不饱和和标准电池

- 1—汞；
- 2—12.5% 镉汞齐；
- 3—硫酸亚汞；
- 4—微孔塞片；
- 5—硫酸镉浓溶液；
- 6—石英砂

“负”极到“正”极之间电化学体系为：

12.5% 的固液态镉汞齐 (CdHg) $\longrightarrow$ 微孔塞片 $\longrightarrow$ 硫酸镉 (CdSO_4) 浓溶液 $\longrightarrow$ 微孔塞片 $\longrightarrow$ 固态硫酸亚汞 (Hg_2SO_4) $\longrightarrow$ 汞。

饱和标准电池是由 Cd , Hg , SO_3 和 H_2O 四个组份组成。并具有固相镉汞齐、液相镉汞齐、 $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ 晶体、硫酸镉饱和溶液、 Hg_2SO_4 和 Hg 六个相，及两个电极上存在两个电位的两个表面。根据相律的独立，变量 γ 等于：

$$\gamma = [(K+S) + 2] - \varphi \quad (1-1)$$

式中： K ——体系的组分数；

S ——标准电池的表面积数；

2——数字（一般在此处系指温度和压力两个量）；

φ ——体系的相。

故 $\gamma = [(4+2) + 2] - 6 = 2$ 。因此，如果饱和电池的温度和压力固定不变，则独立变量 $\nu = 0$ 。在一般情况下，压力是变化不大，只要温度恒定，则饱和电池的电动势

就恒定。这就是标准饱和电池需恒温使用的原因。

在不饱和电池中，因不含 $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ ，因此少了一相，所以 $\gamma = [(4+2) + 2] - 5 = 3$ 。这样，即使在恒温恒压下，还有一个变量 $\gamma = 1$ ，所以电动势仍要变化。所以不饱和电池的电动势没有饱和标准电池稳定。

虽然饱和电池是符合相律要求的，但从实验结果来看仍然有微小电动势变化，这可能是电池中电极组分间有扩散作用以及与相律无关的玻璃有微量的溶解造成的。酸性标准电池长期使用中也由于玻璃溶解导致电解液酸度下降，使标准电池电动势微升。

标准电池主要是由松散的化学物质装入玻璃容器内构成，它的电极属于固液两相之间，因之不允许振动或倒置。但也有在管内加微孔塞片的，这样可以防止松散物质倒置而损坏。还有的采用同心圆型的单管型结构（如图 1-1 和图 1-2 中 (b) 所示），克服了 H 型电池由于两电极温差所引起的电动势的变化而造成的误差。

第二节 影响标准电池电动势的误差因素

一、温度影响

标准电池不同温度区间的“电动势—温度”特性，与电池内部结构材料在不同温度的稳定形式有关，以饱和电池为例，它内部的硫酸镉晶体一般在 $+3 \sim +43.6^\circ\text{C}$ 之间是以 $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ 的晶体形式存在，当温度低于 $+3^\circ\text{C}$ 时为 $\text{CdSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，而温度高于 43.6°C 时而生成为 $\text{CdSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 晶体，所以饱和电池使用温度一般推荐为 $4 \sim +40^\circ\text{C}$ 为宜，而且温度系数约为 $-40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

对于不饱和电池,虽然两个电极的温度系数都很大($>300\mu\text{V}/^\circ\text{C}$),但由于它们之间温度系数在数值上很相近,相互补偿,故影响很小,其一次温度系数 α 仅为 $-1\sim-5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,其“电动势—温度”特性曲线如图 1-3 所示。而且在使用时一般不必进行温度修正,因此,用携带式电位差计和数字式电压表中就特别方便。

另外还应注意,饱和标准电池的正极温度系数为 $+310\mu\text{V}/^\circ\text{C}$,负极温度系数为 $+350\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。这就要求在精密使用中,两电极的温度要求一样,如果差 0.01°C ,其误差可达 $3\mu\text{V}$ 。两电极的电动势 $E=E_+-E_-$,所以只有在两极温度相同时,在 20°C 下温度系数约为 $-40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

饱和标准电池在偏离温度 20°C 时的电动势值由式 (1-2) 确定:

$$E_t = E_{20} - [39.9 \times (t - 20) + 0.94 \times (t - 20)^2 - 0.009 \times (t - 20)^3] \times 10^{-6} \text{ (V)} \quad (1-2)$$

式中: E_t —— 在温度 $t^\circ\text{C}$ 下的电动势值 (V);

E_{20} —— 在温度 20°C 下的电动势值 (V);

t —— 温度 ($^\circ\text{C}$)。

饱和标准电池和不饱和标准电池偏离 20°C 时的电动势—温度特性曲线见图 1-3 所示。

饱和标准电池的参考温度范围,工作温度范围应符合表 1-1 的规定。

表 1-1

等级指数	参考温度范围 ($^\circ\text{C}$)	工作温度范围 ($^\circ\text{C}$)
0.000 2	17.5~22.5	15~25
0.000 5	15~25	10~30
0.001	12.5~32.5	5~35
0.002	10~35	5~40
0.005	10~40	0~40
0.01	10~40	0~40

在参考温度范围内任一温度下所测定的电动势值及按式 1-2 所计算的电动势值之间的差值,不超过相应等级指数的 50%。

不饱和标准电池的参考温度范围和工作温度范围应符合表 1-2 的规定。

对于不饱和标准电池,在参考温度范围内任一温度下所测定的电池电动势值和温度 20°C 时的电动势值之间的差值,不超过相应等级指数值的 50%。

表 1-2

等级指数	参考温度范围 ($^\circ\text{C}$)	工作温度范围 ($^\circ\text{C}$)
0.002	18~22	15~25
0.005	12.5~27.5	10~30
0.01	5~35	4~40

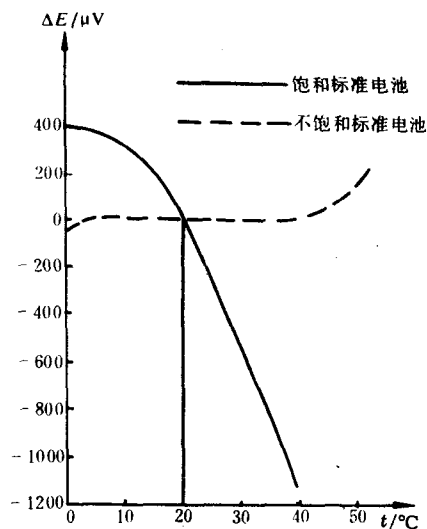


图 1-3 标准电池“电动势—温度”特性曲线

在工作温度范围内,任一温度下所测定的电池电动势值和温度在 20℃时的电动势值之间的差值不超过相应等级指数的 100%。

由于电位差计常在非 20℃使用时,要求对饱和标准电池进行温度修正,为了查用方便,将饱和标准电池的“电动势—温度”关系的修正值列于表 1-3 中,表中给出小数点后两位。

表 1-3

饱和标准电池在 0~40℃范围内的温度修正值 ΔE_t							
$\Delta E_t = -39.9 (t-20) - 0.94 (t-20)^2 + 0.009 (t-20)^3 \text{ (}\mu\text{V)}$							
t (℃)	ΔE_t (μV)	t (℃)	ΔE_t (μV)	t (℃)	ΔE_t (μV)	t (℃)	ΔE_t (μV)
0	+350.00			18.0	+75.97		
1	+357.03	21	-40.83	18.1	+72.36	20.1	-4.00
2	+361.15	22	-83.49	18.2	+68.72	20.2	-8.02
3	+362.42	23	-127.92	18.3	+65.67	20.3	-12.05
4	+360.90	24	-174.06	18.4	+61.39	20.4	-16.11
5	+356.62	25	-221.87	18.5	+57.70	20.5	-20.19
6	+349.66	26	-271.13	18.6	+54.00	20.6	-24.28
7	+340.07	27	-322.27	18.7	+50.26	20.7	-28.39
8	+327.89	28	-374.75	18.8	+46.51	20.8	-32.52
9	+313.18	29	-428.68	18.9	+42.74	20.9	-36.66
10	+296.00	30	-484.00	19.0	+38.95	21.0	-40.83
11	+276.40	31	-540.66	19.1	+35.14	21.1	-45.02
12	+254.43	32	-598.61	19.2	+31.32	21.2	-49.21
13	+230.15	33	-657.79	19.3	+27.47	21.3	-53.44
14	+203.62	34	-718.14	19.4	+23.60	21.4	-57.68
15	+174.87	35	-779.62	19.5	+19.71	21.5	-61.94
16	+143.98	36	-842.18	19.6	+15.81	21.6	-66.21
17	+111.00	37	-905.74	19.7	+11.89	21.7	-70.51
18	+75.97	38	-970.27	19.8	+7.94	21.8	-74.82
19	+38.95	39	-1 035.71	19.9	+3.98	21.9	-79.14
20		40	-1 102.00	20.0	+0	22.0	-83.49

二、标准电池的极化

标准电池在使用过程中，不可避免产生充、放电。当电流流过电极时出现电极电位偏离于平衡值的现象，称为电极的极化。放电时则电动势下降，充电时则电动势上升。其极化程度视充、放电的电流大小及时间长短而定。如果电流不大于 $1\mu\text{A}$ ，则充放电后电动势仍能很快恢复。根据标准电池的技术要求规定：0.005 级电池放电 1 微安 1 分钟，则 10 分钟后与放电前的电动势变化值不应大于 10 微伏。所以，在操作时切勿把标准电池短路，也不允许与电位差计连接时把极性接反。更不允许用电压表、万用表之类的仪表测量标准电池的电动势。因为，这些表通过动圈的电流较大（一般为 $50\sim 100\mu\text{A}$ 的表头），这样会损害标准电池，而且所测得标准电池的电动势值也是不准确的。

不饱和标准电池在放电过程中是不可逆的，当电流流过电池后，电解液慢慢增浓，随着时间的增长，最后变成饱和电池，所以不饱和电池在长期使用中也会失效。对电动势不稳定，内阻增大很多的标准电池应淘汰。

三、光对标准电池的影响

标准电池中去极化物质硫酸亚汞是一种光敏物质，在常温的光照中就会变质，变质后的标准电池可能仍具有正常的电动势，但去极化能力减弱，滞后增大。所以，标准电池应保存在暗处，或装在不透明的盒子中。

四、标准电池的滞后效应

标准电池具有一定的热惯性，当环境温度发生突变时，其电动势不能相应地随温度变化而变化，这样测得的温度值所相应的电动势与实际电动势有差别。大于对应温度的正常值时称为正滞后效应，小于正常值时称为负滞后效应。根据实验可知，旧电池比新电池严重，降温时的滞后比升温时的滞后严重。

造成标准电池滞后原因是：

1. 正负极热容量不同，特别是负极镉汞齐固相、液相间的相互转化。
2. 饱和标准电池中， $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ 晶体大小及溶解度随温度而变化，温度变化后电化学体系热平衡需有一定的时间。
3. 标准电池对有机杂质的吸附，主要是在汞的电极表面上吸附有机杂质。
4. 对光敏感的硫酸亚汞已变质，也会导致滞后现象。

为了克服滞后现象，应将标准电池放置在温度比较稳定的地方，有的把它放置在广口保温瓶中，对精密的标准电池则应放在恒温槽中。

第三节 标准电池使用与保管的注意事项

- (1) 饱和标准电池都不允许倾斜，更不允许倒置或晃动。运输后的标准电池，必须静放

1~3 天之后方可使用。

(2) 绝不能用万用表或电压表去测量标准电池的电动势, 工作用标准电池的放电电流不允许超过 $1\mu\text{A}$, 放电时间不得超过 1 分钟。用上叙仪表测量的工作电流均达数十微安。

(3) 标准电池不允许存放在有强光照射及靠近热源的地方。因为在上述环境下, 硫酸亚汞去极化剂容易变质丧失作用, 使标准电池的内部极化作用增强而损坏。

(4) 使用和保管的地方温度波动要小。温度变化太剧烈会造成标准电池的电动势不稳定, 长期下去也会造成损坏。

(5) 标准电池应在工作温度 (见表 1-1) 范围内使用, 否则修正公式就不适用。

(6) 标准电池的极性不能接反。在热电偶检定中采用 B4-65 开关, 切不可在开关处于电流换向的位置进行电位差计工作电流标准化, 否则会损坏标准电池和检流计。

第四节 标准电池的主要技术要求

我国标准电池的级别是按一年期间电动势稳定程度来区分的, 其基本参数及主要技术指标列于表 1-4 中。

其它技术要求:

1. 标准电池在正常使用时, 短期间 (偶然) 允许放电电流: 一等标准电池不超过 $0.1\mu\text{A}$, 二等标准电池不超过 $0.2\mu\text{A}$ 。

2. 绝缘电阻:

在正常条件下 (工作温度范围内, 相对湿度不大于 80% 时), 标准电池的电路对外壳的绝缘电阻应满足如下要求:

(1) 一等和二等标准电池组, 0.000 2, 0.000 5 及 0.001 级标准电池应不小于 $5 \times 10^{10} \Omega$ (试验电压为 500V)。

(2) 0.002、0.005 及 0.01 级标准电池应不小于 $1 \times 10^{10} \Omega$ (试验电压为 500V)。

表 1-4

类 型	等 级 指 数	20℃时电动势实际值 允许范围 (V)		一年期间电动势 允许变化值 (μV)	内 阻 值		相对 湿度 (%)
		从	到		新生产	使用中	
饱 和	0.000 2	1.018 5900	1.018 680 0	≤ 2	≤ 700	$\leq 1\ 000$	≤ 80
	0.000 5	1.018 590	1.018 680	≤ 5	≤ 700	$\leq 1\ 000$	≤ 80
	0.001	1.018 590	1.018 680	≤ 10	$\leq 1\ 000$	$\leq 1\ 500$	≤ 80
	0.002	1.018 550	1.018 680	≤ 20	$\leq 1\ 000$	$\leq 1\ 500$	≤ 80
	0.005	1.018 55	1.018 68	≤ 50	$\leq 1\ 000$	$\leq 2\ 000$	≤ 80
	0.01	1.018 55	1.018 68	≤ 100	$\leq 1\ 000$	$\leq 3\ 000$	≤ 80