



用电管理培训教材

电能 计量

水利电力部电力生产司 组编

水利电力出版社

YONGDIAN GUANLI PEIXUN JIAOCAI

内 容 提 要

本书系统阐述了感应式电度表和测量用互感器的原理、使用和检验的有关技术问题,同时对电度表的调整、检修、电能计量方式及电能计量装置的综合误差也作了较详细的介绍,为配合电价改革,还对几种常用的特殊电度表作了简单的叙述。

本书为用电管理专业人员在在职培训教材,也可供中等专业学校、电力技工学校有关专业的师生和工业主管部门、厂矿企业用电单位电能管理专业人员参考。

用电管理培训教材

电 能 计 量

水利电力部电力生产司 组编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行,各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 17.75印张 404千字

1985年12月第一版 1985年12月北京第一次印刷

印数00001—19130册 定价3.65元

书号 15143·5729

前 言

在现代社会里,电力已成为国民经济和人民生活必不可少的二次能源。但是,电力作为电力工业的一种产品,具有与其他任何产品不同的特点,这就是它的生产、输送和使用(即产、供、销)是在同一时间内完成的,三个环节互相依存、互相制约。电力工业部门的生产、用电单位的生产以及人民生活能否正常进行,不仅决定于电力生产部门本身,同时还决定于广大的用电单位。因此搞好用电管理工作,做到安全、经济、合理用电,提高全社会的经济效益,是保证电力安全生产和向用电单位正常供电的必要条件。

用电管理是电力工业部门经营管理工作的重要环节,涉及社会各个方面,因此它具有社会性很广、政策性很强、技术业务性也很强的特点。

建国以来,我们培养了一批用电管理人员,建立起一支用电管理队伍,积累了一些用电管理工作经验。但是从实现我国四个现代化的要求来看,这支队伍还有待加强,用电管理人员需要充实专业技术知识。

为了发展和壮大这支队伍,提高用电管理专业的水平,我们组织编写了一套用电管理培训教材,即《计划用电》、《节约用电》、《安全用电》、《营业管理》、《电能计量》、《电气设备》、《继电保护》等共计七册,作为用电管理专业人员的在职培训教材,也可作为中等专业学校、电业技工学校用电管理专业的专业课试用教材,还可供大专院校用电管理专业师生和工业主管部门、厂矿企业用电单位的电能管理专业人员参考。

这套用电管理专业教材的编写,限于经验和水平,加之成书时间仓促,书中错误和不妥之处恳请读者批评指正。

《电能计量》主要内容为感应式电度表的结构和工作原理,电度表的误差特性及调整装置、校验装置、检验与调整、检修,测量用互感器,电能计量装置的综合误差、现场校验以及计量方法,考虑到配合电价改革的一些特种电度表的应用日益广泛,还对几种常用的特种电度表的结构、原理与应用做了简要介绍。

本书由水利电力部委托西北电业管理局负责编写。东北技改局蓝永林编写第三、四、五、六、十一章,昆明供电局邹瑛编写第一、二、七、八章,咸阳供电局姚华锋编写第九、十章,西北电力试验研究所唐佐梁对全书进行了修改、整理和补充,并担任主编。

在初稿完成后,曾由水利电力部组织白健民、史豪华、奚伯温、黄再昌、梁德正、彭东初、汪又雄、陈偈、熊为群、刘传才、李宰唐、何利余、刘启钊、汪含柳等同志参加审稿,提出了修改、补充意见,并经上海供电局供用电研究所奚伯温进行了复审。

水利电力部电力生产司

一九八四年十一月

目 录

前 言

第一章 概述	1
第一节 电能计量装置的一般概念	1
第二节 电度表的发展概况	1
第三节 电度表的分类及铭牌标志	2
第二章 感应式电度表的结构和工作原理	5
第一节 单相电度表的结构	5
第二节 单相电度表的工作原理	11
第三节 三相电度表的结构	25
第三章 电能计量方式	27
第一节 有功电能的测量	27
第二节 无功电能的测量	35
第三节 三相有功和无功电度表的联合接线	47
第四章 电度表的误差特性及调整装置	49
第一节 电度表的负载特性曲线	49
第二节 外界因素对电度表的影响	60
第三节 误差调整装置	77
第五章 电度表的校验装置	88
第一节 校验装置的主要设备	88
第二节 电度表校验台	103
第三节 电度表的自动化校验	109
第六章 电度表的校验与调整	117
第一节 电度表的校验	117
第二节 有功电度表的调整	126
第三节 三相无功电度表的调整	136
第四节 用单相法调整三相电度表	142
第七章 特种电度表	146
第一节 感应式标准电度表	146
第二节 损耗电度表	148
第三节 最大需量电度表	153
第四节 多路最大综合需量电度表	157
第五节 其它种类电度表	161
第八章 电度表检修	164
第一节 外部检修	164
第二节 内部检修	165

第三节	电度表的装配	169
第四节	改变电度表的量限	170
第五节	检修电度表的常用设备	172
第九章	测量用互感器	178
第一节	电流互感器的原理与使用	178
第二节	电压互感器的原理与使用	192
第三节	特殊结构互感器的原理	204
第四节	互感器的试验	205
第五节	常用的互感器校验仪	223
第十章	电能计量装置的综合误差	230
第一节	综合误差的计算	230
第二节	校验电度表时的误差分析	245
第三节	减少综合误差的方法	251
第十一章	电能计量装置的现场检验	253
第一节	电能计量装置的接线检查	253
第二节	电能计量装置的错误接线	264
第三节	电度表的现场检验与调整	273
第四节	“实用倍率”的计算和电量的抄读	276
附录	电度表备用零部件、常用检修材料及工具、设备	278

第一章 概 述

第一节 电能计量装置的一般概念

在电力系统中，为了安全生产、保证电能质量以及做好经济核算工作，装设了各种各样的测量表计，使我们能随时检测所需要的各种参量，诸如电压、电流、功率、频率、电能……。在这些仪表中，有反映瞬时值的表计，也有记录累积值的表计。本书讲述的电度表是专门用来测量电能累积值的一种表计。

在电压或电流超过一定数值的电路里，一般的测量表计就不能直接接入该电路进行测量，而需要使用电压互感器和电流互感器，将高电压、大电流变换为低电压、小电流接入表计，而表计标度尺的分度值也按照所用互感器的变比进行换算，使其直接指出电路中的实际被测值来。我们把电度表和与其配合使用的互感器以及电度表到互感器的二次回路接线统称为电能计量装置。

在电力系统发、供、用电的各个环节中，装设了大量的电能计量装置，用来测量发电量、厂用电量、供电量、售电量等。为制定生产计划，搞好经济核算合理计收电费提供依据；在工农业生产用电中，为加强经营管理，大力节约能源，考核单位产品耗电量，制定电力消耗定额，提高经济效益，电能计量装置是必备的计量工具。随着人民生活的不断提高，民用电量与日俱增，电度表已逐渐成为千家万户不可缺少的电气仪表。总而言之，凡是有电之处，就少不了电度表。

由于电度表是一种计量某一段时间内通过的电能的累积值的仪表，因此校验、检修有其特殊要求。电能计量装置又因其重要性和普遍性，在电业部门内部已逐渐形成了一个较完整的专业部门，加之全国范围内出现了许多专门生产电度表的制造厂，促使电度计量工作得到进一步发展。

第二节 电度表的发展概况

电度表在世界上的出现和发展已有一百多年的历史了。最早的电度表是1881年根据电解原理制成的，尽管这种电度表每只重达几十公斤，十分笨重，又无精度的保证，但是，这在当时仍然被作为科技界的一项重大发明而受到人们的重视和赞扬，并很快地在工程上采用了它。

1888年，交流电的发现和应用，又向电度表的发展提出了新的要求。经过一些科学家的努力，感应式电度表诞生了。由于感应式电度表具有结构简单、操作安全、价廉、耐用、又便于维修和批量生产等一系列优点，所以发展很快。现在每只电度表有的还不到1公斤重，精度达到了0.5~0.2级，并且有了几十个品种规格。

随着电子元件的发展和应用,目前已有一些国家研制生产了电子式电度表。电子式电度表具有精度高(目前已可达0.05级),并能作多路遥测等功能,为电度表的发展开辟了又一新的途径,也为电能测量自动化创造了更好的条件。

我国电度表的生产始于五十年代。从仿制外国电度表开始,经过了二十多年的努力,现在电度表生产制造已具备了相当的水平和规模,我国自行设计和大批量生产的各种类型的电度表,不仅供给国内,还远销国外。目前我国正在研制0.1~0.05级电子式标准电度表、多路综合需量表、分时计费电度表等特种电度表。

当今世界发达国家对电度表的生产和发展极为重视。为了提高电度表的质量、产量和降低制造成本,各国都在电度表的结构、使用材料及元件等方面不断地研究改进。在提高电度表的质量方面,是以提高精度、过负载能力和延长一次使用寿命等几项指标为主要内容。目前国外为:单相电度表精度可达1.0级,三相电度表可达0.5级。单相电度表过负载能力为400~667%。一次使用寿命在6~7年以上,个别国家还可达到每15~30年检验一次。

此外,在电度表的制造中采用装配自动线,在电度表的校验中采用电脑自动化校验装置,都能大大地提高劳动生产率、降低成本,这也是国外的一个发展动向。

近年来,新品种也在增加。如为了降低高峰负荷,节约能源,国外一些电力公司推行一种分时计费电度表,在电价上奖励避峰用电,收到很好的效果。我国也正在研制和生产这种电度表。

第三节 电度表的分类及铭牌标志

为适应工农业生产现代化进程的要求,电度表的品种规格不断增加,今已较为繁多。其类别可按不同情况划分如下:

按照所测不同电流种类可分为:直流式和交流式;

按照不同用途可分为:单相电度表、三相电度表和特种用途电度表(特种用途电度表包括标准电度表、最高需量表、损耗表、定量电度表、分时计费电度表、多路综合需量表等);

按照准确度等级可划分为:普通电度表(分为3.0、2.0、1.0、0.5级);标准电度表(分为0.5、0.2、0.1、0.05级)。

每只出厂的电度表,在表盘上都钉有一块铭牌,通常标注了名称、型号、准确度等级、电能计算单位、标定电流和额定最大电流、额定电压、电度表常数、频率等项标志。国产电度表铭牌上各项标志的含意分别说明如下:

(1)名称 标明该电度表按用途分类的名称,如单相电度表、三相三线有功电度表、三相无功电度表……。

(2)型号 我国对电度表型号表示方式规定如下:

第一部分	第二部分	第三部分
类别代号	组别代号	设计序号

D——电度表

D——单相

阿拉伯数字

S——三相三线

T——三相四线

X——无功

B——标准

Z——最高需量

J——直流

L——打点记录

F——伏特小时计

A——安培小时计

H——总耗

例如:

1) DD——表示单相电度表, 如DD5、DD28型。

2) DS——表示三相三线有功电度表, 如DS8、DS15型。

3) DB——表示标准电度表, 如DB1、DB5型。

4) DBS——表示三相三线标准电度表, 如DBS25型。

(3) 准确度等级 用置于圆圈内的数字来表示, 如②表明该表准确度等级为2.0级。

(4) 电能计算单位 有功电度表为“千瓦·小时”(即通常所说的“度”)或“kW·h”; 无功电度表为“千乏·小时”或“kvar·h”。

(5) 标定电流和额定最大电流 标明于电度表上作为计算负载的基数电流值叫标定电流, 用 I_b 表示。把电度表能长期正常工作, 而误差与温升完全满足规定要求(如国家或制造厂家的技术条件上所作的规定)的最大电流值叫额定最大电流, 用 I_z 表示。

电度表铭牌上, 一般都标注了标定电流 I_b 。有的电度表铭牌上, 在标定电流数字之后加上一括号, 内注额定最大电流。如DD28型电度表铭牌的标定电流栏内, 注2(4)A时, 表明标定电流 I_b 为2A, 额定最大电流 I_z 为4A。

电度表的额定最大电流 I_z , 在我国原机械工业部部颁标准《交流电度表》(JB793-78)中规定:

直接接入式的单相电度表 $I_z \geq 2I_b$;

直接接入式的三相电度表 $I_z \geq 1.5I_b$;

经互感器接入式的电度表 $I_z \geq 1.2I_b$;

若铭牌上只标出标定电流 I_b 数值的电度表 $I_z \leq 1.5I_b$ 。

(6) 额定电压 三相电度表铭牌上额定电压有不同的标注方法, 在此需要加以说明, 如标注为 $3 \times 380V$, 表示相数是三相, 额定线电压是380V; 如标注为 $3 \times 380/220V$, 表示相数是三相, 额定线电压是380V, 额定相电压是220V, 这就是说此表电压线圈长期承受的额定电压是220V; 如系经电压互感器接入式的电度表, 一般即用电压互感器的额

定变比的形式来标注，如 $3 \times \frac{3000}{100} \text{V}$ ，表示此表额定电压为100V。

(7) 电度表常数 就是电度表的计度器的指示数和圆盘转数之间的比例数。标明为“ $1 \text{kW} \cdot \text{h} = \square$ 盘转数”或“ $\square$ 转/ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ”，“ $1 \text{kvar} \cdot \text{h} = \square$ 盘转数”或“ $\square$ 转/ $\text{kvar} \cdot \text{h}$ ”。

有的进口电度表用瓦时常数 K_h 来表示，如 $K_h=1.2$ ，即电度表转盘转一整圈代表1.2W·h，那么 $1 \text{kW} \cdot \text{h} = \frac{1000}{1.2} = 833.3$ 盘转数。

(8) 额定频率 在电度表上标为“50Hz”。

第二章 感应式电度表的结构和工作原理

第一节 单相电度表的结构

目前,常用的单相电度表,都是感应式三磁通型积算式仪表。尽管单相电度表的型号不同,但其基本结构是相似的,都由测量机构(驱动元件、传动元件、制动磁铁、上轴承、下轴承、计度器)和辅助部件(基架、底座、表盖、端钮盒和铭牌)组成。

一、测量机构

测量机构是电度表实现电能测量的核心部分,图2-1是单相电度表的测量机构简图,它由下述部件组成:

1. 驱动元件

驱动元件包括电压元件和电流元件,它的作用是将交变的电压和电流转变为穿过转盘的交变磁通,与其在转盘中感应的电流相互作用,产生驱动力矩,使转盘转动。

(1) 电压元件 电压元件由电压铁芯1、电压线圈2和回磁极12组成(图2-1)。绕在电压铁芯上的电压线圈接在被测电压所接入的线路上与负载并联,所以称为并联电路或电压线路。不管有无负载电流,电压线圈总是保持带电的,要消耗功率。为了使其消耗的功率不超过一定的限度(一般不应超过 $0.5\sim 1.5\text{W}$),绕制电压线圈时,在保证所需安匝数(一般在 $100\sim 200$ 安匝)的条件下,应选取较多的匝数($25\sim 50$ 匝/V),并采用线径较细的漆包线(直径为 $0.08\sim 0.16\text{mm}$)。电压铁芯用 $0.35\sim 0.5\text{mm}$ 厚的硅钢片叠成,具有较高的导磁率,使电压元件在不大的激磁安匝下就能得到所需的电压磁通。匝数较多的电压线圈和电压铁芯,能形成较大的阻抗,限制了并联回路中的电流和功率消耗,并能使电压线圈中的电流滞后电压的相位角达到 $75^\circ\sim 80^\circ$ 。

回磁极用 $1.5\sim 2\text{mm}$ 厚的钢板冲压而成,用作电压工作磁通的回路,并在上面装设了补偿力矩调整装置。

(2) 电流元件 电流元件由电流铁芯3、电流线圈4和过载补偿装置(图2-1中未画出)组成。绕在电流铁芯上的电流线圈由于接在被测电流所流过的线路中与负载串联,所以又称为串联电路或电流线路。电流铁芯用 0.35 毫米厚的“U”形高硅电工钢片叠成。电流线圈的安匝数一般在 $60\sim 150$ 范围内,例如标定电流为 5A 的表,电流线圈是 $12\sim 30$ 匝。为了减少自制动力矩引起的误差,改善负载特性,电流线圈则应选择较少线圈匝数。电流线圈通常分成匝数相等的两部分,分别绕在U形铁芯的两柱上,其绕制方向应使电流磁通在铁芯内部的方向相同。选择线圈线径一般按电流密度为 $3\sim 5\text{A}/\text{mm}^2$ 考虑。我国原机械工业部《交流电度表》标准(JB793-78)规定,电度表单个电流线路在通入标定电流时,所消耗的视在功率不超过 $2.0\text{V}\cdot\text{A}$ 。

为了提高电度表的过载能力,在某些电度表上还加装了过载补偿装置,一般是用截面

较小的矽钢片制成。在U形电流铁芯的缺口处加装一个磁分路，其作用是当电流过大时，因磁分路饱和，使在标定电流下，经过它的非工作磁通与穿过圆盘的工作磁通间的分配重新改变，使工作磁通增大与电流增大成正比，从而使转盘转速保持与电流成正比。

电度表的驱动元件，从其布置形式来看，有辐射式和切线式两种。在图2-2中，电压

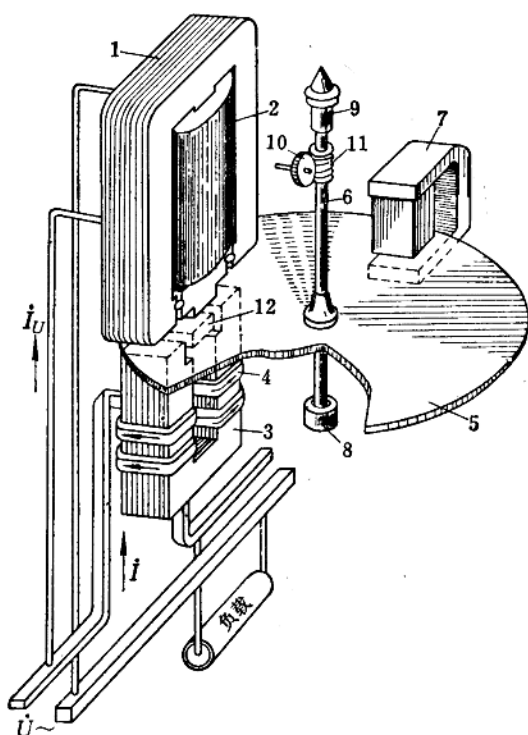


图 2-1 单相电度表的测量机构简图

1—电压铁芯；2—电压线圈；3—电流铁芯；4—电流线圈；
5—转盘；6—转轴；7—制动元件；8—下轴承；9—上轴承；
10—蜗轮；11—蜗杆；12—回磁板

铁芯 1 的硅钢片平面平行转盘半径的称为辐射式；在图 2-3 中，电压铁芯硅钢片平面垂直转盘半径的称为切线式。

切线式驱动元件比辐射式的结构简单，体积小，便于安装及大批量生产，并具有较好的技术性能，因此，它得到广泛采用。

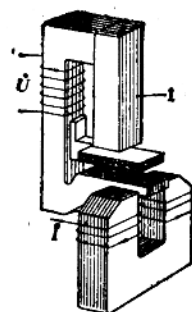


图 2-2 辐射式驱动元件

切线式驱动元件又分成分离式、封闭式和组合封闭式等三种基本结构（图2-3）。图2-3（a）为分离式结构，其电压铁芯和电流铁芯是彼此分开的，并用螺钉固定在基架上。此类结构耗用的硅钢片较少，而且便于检修。但是沿电压、电流铁芯的各个磁路气隙和铁芯本身的对称性不易控制，往往造成同一类型电度表的计量特性不一致，并且容易产生电压、电流潜动，所以在检修时，分离式驱动元件应尽量避免拆卸。

图2-3（b）为封闭式结构，其电压、电流铁芯用整块硅钢片冲成整片，再叠成一个整体。它的主要优点是可以利用电压工作磁通磁化电流铁芯，改善轻载时的特性，同一类型电度表的计量特性的重复性较好，不易产生电压、电流潜动，但是冲制铁芯耗用的钢材较多，绕制和检修电压、电流线圈比较困难。

图2-3（c）为组合封闭式结构，其电压铁芯和电流铁芯用铆钉或螺钉联结成一个整

体，并另设回磁极。它比封闭式较易装配电压、电流线圈。

大批量生产的普通电度表，多采用分离式驱动元件，而精密电度表(0.2级至0.5级)，由于要求有相当好的误差特性，常采用封闭式或组合封闭式驱动元件。

2. 转动元件

它由转盘5和转轴6组成(图2-1)，能在驱动元件所建立的交变磁场作用下连续转动。转盘的导电率要大，重量要轻，且要保证一定的机械强度，所以转盘用纯铝板制成。转盘直径通常为80~100mm，厚度为0.8~1.2mm。有些转盘上还印有计算转数的标记。

转轴用铝合金或铜合金棒材制成。转轴上端装有蜗杆11和上轴销9(上轴销构造见下一节)。蜗杆11与蜗轮10啮合，把转盘的转数传递给计度器累积成电度数。此外，转轴上还装有用钢丝绕制的防潜钩(图中未画)。

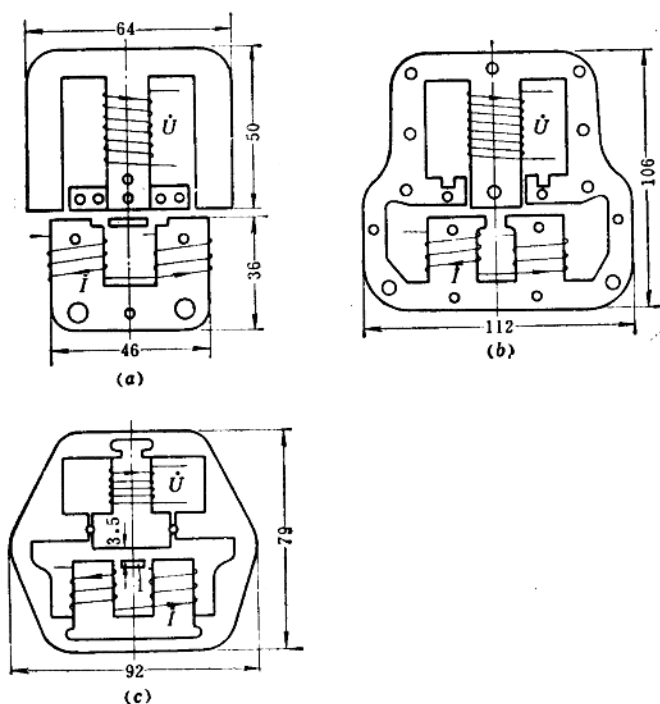


图 2-3 切线式驱动元件的结构
(a)分离式；(b)封闭式；(c)组合封闭式
1—回磁极

3. 轴承

电度表的轴承是主要元件，下轴承位于转轴下端，支撑转动元件的全部重量，减小转动时的摩擦，其质量好坏对电度表准确度和使用寿命有很大影响。现代电度表轴承分为钢珠宝石结构和磁力结构两种。上轴承位于转轴上端不承受转动元件重量，只起导向作用。

(1) 钢珠宝石轴承 钢珠由铬钢或不锈钢材料精磨而成，直径一般为0.8~1.5mm。

宝石用钢玉(三氧化二铝)制成, 其曲率半径为 $1\sim 1.7\text{mm}$ 。图2-4示出钢珠宝石结构轴承的三种基本类型。图(a)和图(b)分别为正宝石轴承和倒宝石轴承。倒宝石轴承中的宝石6镶在轴座3上, 宝石的凹面向下, 灰尘不易落入球穴内。这种轴承的宝石与转轴相连, 在宝石与钢珠的相对运动中, 硬度较大的宝石为主动态, 故其磨损较正宝石轴承为小。图(c)为双宝石轴承, 其中的钢珠在两个宝石之间可以自由转动, 因此钢珠表面受磨均匀, 大大延长了轴承的使用寿命。双宝石轴承较单宝石轴承的制造工艺复杂, 成本较

高, 易受转动元件的倾斜影响, 因此在校验和安装此类电度表时, 应特别注意把电度表放平竖直。

弹簧8的作用是可以减小因振动而引起的宝石和钢珠之间的相对撞击力, 从而延长轴承的使用寿命。但另一方面又会引起钢珠与宝石的相对移动和摆动, 影响电度表的稳定性, 所以一些电度表的下轴承中也有没有弹簧的。

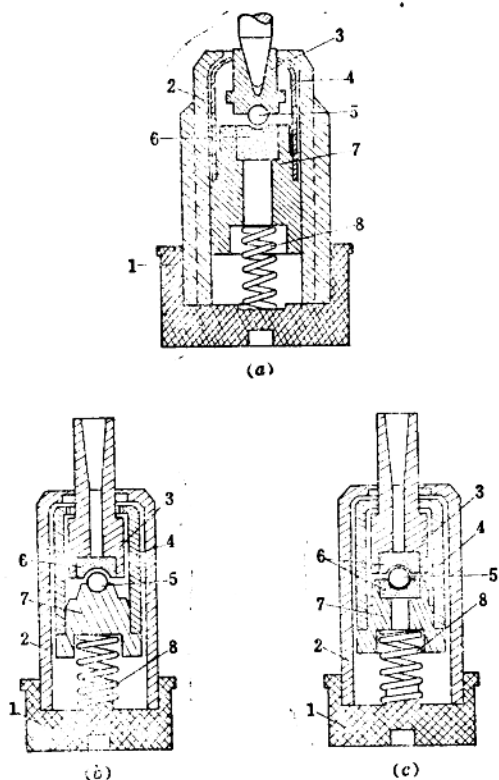


图 2-4 钢珠宝石轴承的三种基本类型
(a)正宝石轴承; (b)倒宝石轴承; (c)双宝石轴承
1—螺帽; 2—衬套; 3—轴承; 4—卡套; 5—钢珠;
6—宝石; 7—支承; 8—弹簧

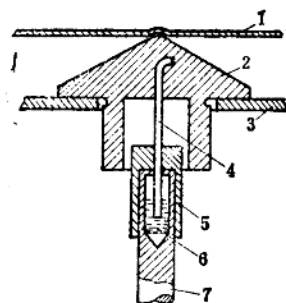


图 2-5 常用的一种上轴承结构
1—弹簧片; 2—针夹持器;
3—基架; 4—钢针; 5—轴套;
6—储油室; 7—转轴

(2) 上轴承 图2-5为一种常用的上轴承结构。钢针4用具有弹性的钢丝制成, 其直径为 $0.3\sim 0.5\text{mm}$, 工作长度为 $4\sim 9\text{mm}$ 。轴套5一般用黄铜制成, 套在留有储油室6的转轴7上。钢针4可通过轴套5顶端的孔穴(有的孔穴上镶有宝石环)进入储油室。

(3) 磁力轴承 由宝石和钢珠构成的轴承, 由于宝石和钢珠之间机械磨损、润滑油老化, 影响电度表一次使用寿命, 为此研制和应用了磁力轴承。其优点是利用磁力平衡转盘产生的重力, 消除轴向压力, 而采用石墨塑料等自润滑材料制造的轴衬, 无需润滑油便

能达到润滑目的，因而可长期使用。

磁力轴承一般分为磁悬和磁推两种。

图2-6 (a) 为磁悬结构。转盘2全部重量由圆筒形磁铁9和圆柱形磁铁14的吸力所悬吊，使转盘悬浮在空间。转轴上下二端由石墨衬套5、6与钢针3、4定位导向。当转动元件倾斜受侧压力影响时，它们之间摩擦很小。

图2-6 (b) 为磁推结构。转盘2全部重量由上下圆筒形磁铁9和15的斥力所推顶。定位用的石墨衬套管5、6与钢针3、4之间只有很小摩擦力。

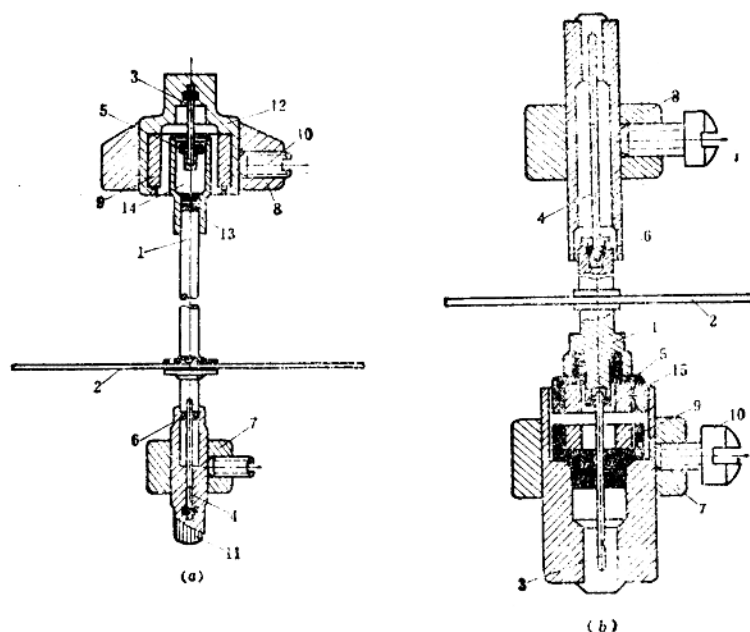


图 2-6 磁力轴承

(a) 磁悬轴承；(b) 磁推轴承

1—转轴；2—转盘；3、4—钢针；5、6—石墨衬套；7、8—基架；
9、15—圆筒形磁铁；10—紧锁螺母；11、12—铝合金罩；
13—铝筒；14—圆柱形磁铁

4. 制动元件

图2-1中的制动元件由永久磁铁及其调整装置组成。永久磁铁产生的磁通与其被转动着的转盘切割时在转盘中所产生的感应电流相互作用形成制动力矩，使转盘的转动速度和被测功率成正比变化。调整装置是为了改变制动力矩大小而设置，将在第四章第三节详细介绍。

永久磁铁采用具有较大的矫顽力和剩磁感应强度的合金材料，如铝镍合金或铝镍钴合金压铸而成。磁性稳定，受外界磁场和温度影响较小。

永久磁铁的形状虽然多种多样，但其基本结构可分为两类：单磁通永久磁铁和双磁通永久磁铁。图2-7 (a) 为单磁通永久磁铁，它是由低磁能合金铸成细长的整体形状，无

磁轭，其制动磁通只穿过转盘一次构成回路。这类磁铁机械强度较高，但引起转动元件的振动较大。

图2-7(b)为双磁通永久磁铁，它由高磁能的合金制成，磁铁固定在铸钢磁轭上，其磁通两次穿过转盘构成回路，磁的稳定性较高。当电网内产生短路电流或雷电流时，为减小这些强大电流的祛磁影响，双磁通永久磁铁常固定在铝合金外套内。这类永久磁铁的机械强度虽然较差，但能增大制动力矩，引起转动元件的振动较小，所以，它得到了广泛的应用。

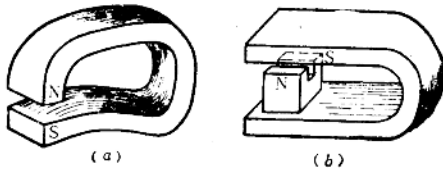


图 2-7 永久磁铁
(a)单磁通型；(b)双磁通型

5. 计度器

计度器又称积算机构，用来累计转盘的转数，以显示所测定的电能。计度器有

三种型式，即字轮式、指针式和字盘式。这里只介绍应用较广的前两种。

字轮式计度器的结构简图见图2-8。当转轴10向一定的方向转动时，固定在转轴上的蜗杆G带动与它啮合的蜗轮A转动，与蜗轮固定在同一横轴1上的主动轮B也跟着转动，从而带动固定在横轴2上的从动轮C和另一主动轮D转动，这样依次传递下去，最后带动了字轮转动。当最小位字轮回转一周时，槽齿9便和进位轮的一颗长齿6啮合，带动进位轮回转，从而拨动了邻近的第二位字轮的稍齿8，使第二位字轮转动一个数字，即回转 $\frac{1}{10}$ 转。

每当字轮进位时，其间的摩擦力增加，使转盘的转速减慢，因此遇字轮进位时，不宜测定电度表的误差。

目前，广泛采用铝合金或工程塑料压制字轮和齿轮，以减小计度器的重量和摩擦力。横轴则采用耐磨的不锈钢条制造，其直径一般为1~1.2mm。

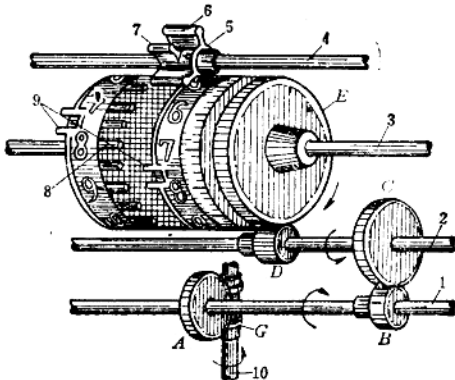


图 2-8 字轮式计度器
G—蜗杆；A—蜗轮；B、D—主动轮；C、E—从动轮；1~4—横轴；5—进位轮；6—长齿；7—短齿；8—稍齿；9—槽齿；10—转轴

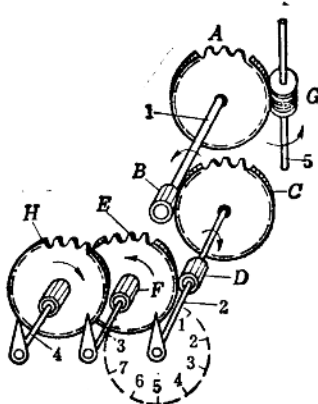


图 2-9 指针式计度器
G—蜗杆；A—蜗轮；B、D、F—主动轮；C、E、H—从动轮；1~4—横轴；5—转轴

指针式计度器如图2-9所示（图中只画出了三位指针）。各指针套在相应的横轴上，并露在字盘表面。在字盘上方所标的 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 等系数，表盘的实际数值为指针示数应乘上相应的系数。相邻两指针旋转方向相反，读数时应当注意。

无论是指针式还是字轮式计度器，各齿轮的推动力都是由转轴向字轮方向传递的，因此我们把蜗杆 G 、齿轮 B 、 D 、 F 叫做主动轮，把随主动轮而转动的蜗轮 A 、齿轮 C 、 E 和 H 叫做从动轮。主动轮的转速与从动轮的转速之比，叫做这对齿轮的传动比。然而各齿轮的转速是与其半径或齿数成反比。所以，通常以从动轮的齿数与主动轮的齿数之比表示相互啮合的一对齿轮的传动比。

计度器的传动比 k ，表示转盘转 k 转时，计度器最小位字轮或指针刚好旋转一周，因此它等于各对齿轮传动比的连乘积，即

$$k = \frac{Z_a}{Z_g} \cdot \frac{Z_c}{Z_b} \cdot \frac{Z_e}{Z_d} \quad (2-1)$$

改变计度器传动比 k 的方法，通常是改变 C 、 B 这一对齿轮的齿数比 $\frac{Z_c}{Z_b}$ 来得到一系列传动比的。

式中 Z_a 、 Z_c 、 Z_e —— A 、 C 、 E 的齿数；

Z_b 、 Z_d ——主动轮 B 、 D 的齿数；

Z_g ——蜗杆头数，通常为1或2（或为平面牙轮）。

二、辅助部件

1. 基架

电度表的基架用来支撑和固定测量机构，它对电度表的技术特性有一定的影响。基架应有足够的强度。常用的基架有与底座分开的和与底座连成一个整体的两种。

2. 外壳

电度表的外壳由底座与表盖等组合而成，可用绝缘材料或金属材料制作。底座用来组装测量机构。国产电度表的表盖有用铝板冲成的，也有用玻璃、胶木或塑料压制而成的。

3. 端钮盒

端钮盒用来连接电度表的电流、电压线圈和被测电路，其中的铜质端钮表面要有良好的镀层，整个端钮盒应有足够的机械强度和良好的绝缘。

4. 铭牌

电度表的铭牌附在表盖上，或固定在计度器的框架上，它应标明制造厂、表型、额定电压、标定电流、频率、相数、准确度等级，以及 $1 \text{ kW}\cdot\text{h}$ 的转盘数等。

第二节 单相电度表的工作原理

一、转盘转动原理与驱动力矩表达式

由电工原理得知，载流导体在磁场内受到的电磁力 F 与载流导体中的电流 i 和磁场中的磁通量 ϕ 的乘积成正比，可用下式表示

$$F = C i \phi$$

(2-2)

式中 C ——比例系数。

运行中的电度表，其转盘之所以能转动，就是因为受到某种电磁力所形成的转动力矩的作用。转盘就是一个载流导体，而盘中的电流 i 是由驱动元件产生的交变磁通感应产生的。

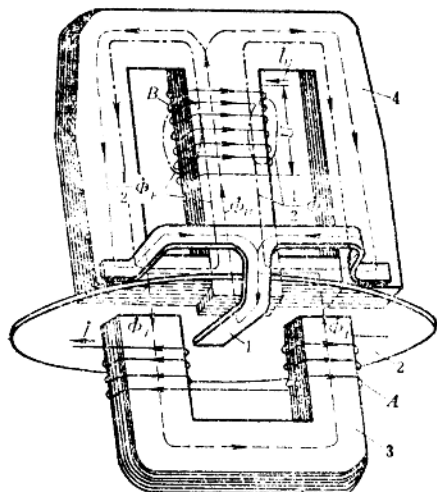


图 2-10 电度表内各磁通的分布情况
1—回磁极；2—转盘；3—电流铁芯；4—电压铁芯；A—电流线圈；B—电压线圈

图2-10示出了电度表内各磁通的路径和分布情况。图中箭头指向为某一瞬间电流及其磁通方向。

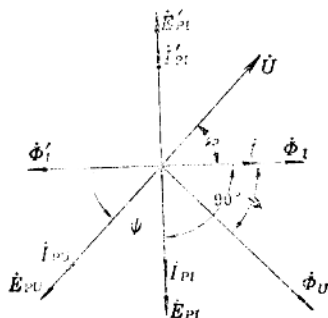


图 2-11 磁通和感应电势、感应电流相位关系

当负载电流 I 通过电流线圈 A 时，产生了 Φ_I 和 Φ_{IF} 两部分磁通（图中未画 Φ_{IF} ），磁通 Φ_I 沿电流铁芯、空气隙、穿过转盘，经电压铁芯，再穿过转盘回到电流铁芯另一柱，把这部分磁通称为电流工作磁通。而非工作磁通 Φ_{IF} 不穿过圆盘，它比 Φ_I 大，它又分为两部分，其中一部分沿电流铁芯、回磁极到电流铁芯另一柱构成回路；另一部分是电流线圈的漏磁通。电流非工作磁通 Φ_{IF} 对改善电度表负载特性是必要的。但因与所介绍的电度表工作原理无直接关系，所以暂不讨论。

当电压线圈 B 加上电压 U 时，线圈中有电流 I_U 通过，产生了磁通 Φ_U 和 Φ_{UF} ，它们总称为电压总磁通 $\Phi_{\Sigma U}$ 。 Φ_U 从电压铁芯的中柱向上，分别从上部磁轭两边、沿两个边柱、再经回磁极、通过回磁极与电压铁芯间的气隙穿过转盘、回到电压铁芯中柱构成回路，这部分穿过转盘的磁通叫电压工作磁通。磁通 Φ_{UF} 比 Φ_U 大得多，它分两部分，一部分沿电压铁芯中柱、两边柱、上下磁轭构成回路。另一部分是电压线圈的漏磁通。因 Φ_{UF} 不穿过转盘而被称为电压非工作磁通。

从图2-10看出，电流工作磁通从不同位置两次穿过转盘构成回路，对转盘而言，相当于有大小相等方向相反的两个电流工作磁通 Φ_I 和 Φ_I' 作用在上面。再加上电压工作磁通 Φ_U 一次穿过转盘的作用，便构成“三磁通”型感应式仪表。

假设电压铁芯和电流铁芯基本磁化曲线的工作部分是线性的，则在正弦交流电压和电流作用下，各磁通也按正弦规律变化。若以电流工作磁通 Φ_I 为参考向量（假设电流磁通同