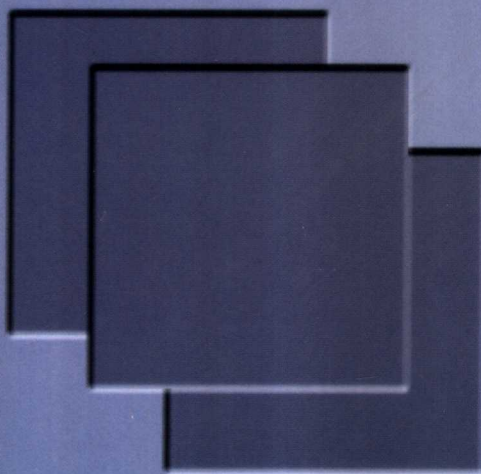




全国高职高专电气类精品规划教材

电能计量

主编 杜蒙祥 毛幸远



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专电气类精品规划教材

电能计量

主 编 杜蒙祥 毛幸远

副主编 周 敏 王运全



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 简 介

本教材是按照高等职业技术教育的要求,根据电能计量技术监督标准和国家标准、电力行业标准以及供用电生产实际情况而编写的。在编写特点上突出先进性、实用性、严谨性。主要内容有:感应式电能表、电子式电能表的结构和原理,各种无功电能表的结构和原理,电能表的误差及调整装置,各种特种电能表,计量装置的正确接线和错误接线分析,电能表的校验与调整,测量用互感器的结构、误差、工作原理和试验,反窃电技术,计量装置的综合误差,计量装置合理配置等。各章均有本章内容小结和习题,教材表格中列有相关常用数据参数。

本教材可作为高职高专院校供用电技术专业 and 用电管理专业的教材,也可作为电气工程等其他专业相关课程的教材,还可作为供电和用电专业的培训教材以及电气工程技术人员从事电能计量、用电检查、用电营业工作的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电能计量 / 杜蒙祥, 毛幸远主编. —北京: 中国水利
水电出版社, 2004
全国高职高专电气类精品规划教材
ISBN 7-5084-2286-4

I. 电... II. ①杜... ②毛... III. 电能—电量测量
—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 075038 号

书 名	全国高职高专电气类精品规划教材 电能计量
作 者	主编 杜蒙祥 毛幸远
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	鑫达电脑工作室
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm × 960mm 16 开本 20.25 印张 396 千字
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001—5100 册
定 价	29.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007 年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线和全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。因此，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，2003 年 12 月，在福建厦门，中国水利水电出版社组织全国 14 家高职高专学校共同研讨高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专电气类精品规划教材》。

《全国高职高专电气类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用为主线的技能型特别是高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地反映了当前电气技术的先进水平和最新岗位资格要求，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了

满足这一发展需要的内容编写要求,可以说,这套教材既能适应三年制高职高专教育的要求,也适应两年制高职高专教育的要求。

《全国高职高专电气类精品规划教材》的出版,是对高职高专教材建设的一次有益探讨,因为时间仓促,教材可能存在一些不妥之处,敬请读者批评指正。

《全国高职高专电气类精品规划教材》编委会

2004年8月

前

言

近些年来,高等电力职业技术教育发展很快,全国各省市大部分电力学校已升格为电力职业技术学院。因此,编写统一的、适应高等电力职业技术教育的教材是急需解决的问题。

本教材是按照高等职业技术教育的要求,根据电能计量技术监督标准和国家标准、电力行业标准以及供用电生产实际情况而编写的。在编写上,突出先进性、实用性、严谨性。全书介绍了各种有功电能表、各种无功电能表、各种特种电能表结构和原理,电能表的误差及调整装置,计量装置的正确接线和错误接线分析,电能表的校验与调整,测量用互感器的结构、误差、工作原理和试验,反窃电技术,计量装置的综合误差,计量装置合理配置等内容。各章均有内容小结和习题,附表中列有相关常用数据参数以便于读者学习。

本教材共分9章,其中绪论以及第4、7、8章由江西电力职业技术学院杜蒙祥编写,第2、6章由福建水利电力职业技术学院毛幸远编写,第1、3章由四川电力职业技术学院周敏编写,第5、9章以及第7章电子式校表台部分由山东电力研究院王运全编写。本教材由杜蒙祥副教授统稿。

在编写本书过程中,得到了江西省电力公司市场营销处单鹏高级工程师、汤克坚高级工程师、南昌供电局刘圣秉高级技师、江西电力职业技术学院电力系陈家瑛主任的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中错误或不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2004.8

目 录

序

前言

绪论 1

第1章 电能表的结构和工作原理 6

1.1 感应式单相电能表的结构 6

1.2 感应式单相电能表的工作原理 14

1.3 计度器的积算原理 22

1.4 三相电能表的结构及测量原理 26

1.5 电子式电能表 30

小结 44

习题 45

第2章 无功电能表的结构及测量原理 47

2.1 无功电能测量及特点 47

2.2 90°型无功电能表 51

2.3 60°型无功电能表 54

2.4 数字化无功电能的计量 57

小结 63

习题 63

第3章 电能表误差及其调整装置 65

3.1 感应式电能表的基本误差 65

3.2 感应式电能表误差调整装置 67

3.3 电能表的附加误差 79

3.4 电子式电能表误差及其调整 84

小结 87

习题 87

第4章 测量用互感器	89
4.1 电压互感器的结构和原理	89
4.2 电流互感器结构及原理	108
4.3 互感器的试验	125
小结	137
习题	138
第5章 电能计量装置的接线	140
5.1 电能表的正确接线	140
5.2 电能表的典型错误接线	172
5.3 电能计量装置接线的检查	179
5.4 电能计量装置电量的抄读及退补电量的计算	200
小结	206
习题	206
第6章 特种电能计量表	207
6.1 最大需量电能的计量	207
6.2 复费率电能表	212
6.3 预付费电能表	217
6.4 多功能电能表	223
小结	242
习题	243
第7章 电能表的校验与调整	244
7.1 电能表的校验	244
7.2 电能表校验台	249
7.3 电能表的校验接线及调整顺序	266
7.4 电能表的现场校验	274
7.5 特种电能表的校验	277
小结	280
习题	281

第8章 电能计量装置的综合误差	283
8.1 电能计量装置综合误差的概念	283
8.2 电能计量装置综合误差的计算	286
8.3 减少计量装置综合误差的方法	294
小结	298
习题	298
第9章 反窃电技术	300
9.1 对窃电的有关法律规定	300
9.2 常见的窃电方式	302
9.3 反窃电技术的应用	304
9.4 关于窃电数额的计算	310
小结	311
习题	311
参考文献	312

绪 论

1. 电能计量装置概念

电能是重要的二次能源。电能现代社会中普遍使用，不管是工业、商业、交通运输业，还是公用事业、农业以及日常人民生活等，都离不开电能。在一个现代化社会，没有电能是没法生存下去的。所以，一个国家发达与否，可以看它的电气化程度和现代化的水平，以及电力工业发展是否满足国民经济和人民生活需求。电气化程度直接反映了一个国家的生产水平、人民生活的富裕程度，代表着该国的现代化水准。

电能又是一种特殊的商品，是电力企业的产品。由于它不能大量储存，因此其生产、运输、销售必须同时进行，具有一定的特殊性。但是，作为商品，其交易过程就必须遵循市场规律，做到买卖公平。电从发电厂开始到用户为止，中间要经过多级输电线路和配电装置。为了计量在产、供、销各个环节中流通的电能数量，使经济核算更准确、生产调度更合理，线路中装设了大量的电能计量装置（见图 0-1），用于计量发电量、厂用电量、供电量和销售电量等。如大家熟知的单相电能表就是一种最简单的电能计量装置，其作用是计量居民的用电量。在高电压、大电流系统中，电压和电流往往会超过电能表的量程，这时电能表就不能直接接入电路，必须先通过电压互感器和电流互感器，分别将高电压、大电流变换成低电压、小电流，才能再接入电能表进行测量。

一般我们把电能表、与其配套使用的互感器以及电能表到互感器的二次回路（图 0-1 中虚线所示部分）统称为电能计量装置。它包括各种类型的电能表、计量用电压互感器（TV）、电流互感器（TA）及其二次回路、电能计量柜（箱）等。

电能计量装置的种类很多，实际工作中经常遇到的有以下几种：①大多数的电能计量装置仅有一只电能表；②除电能表外还有电流互感器及其计量二次回路；③包含



有电能表，电压、电流互感器及其计量二次回路；④电能计量柜或电能计量箱。

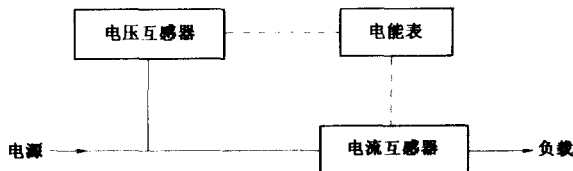


图 0-1 电能计量装置示意图

有人把电能计量装置比作电力企业的一杆秤，这杆秤准确与否，不仅关系到电力投资者、经营者的经济利益，同时也关系到每一个使用者的利益。因此掌握电能计量技术具有十分重要的现实意义。

2. 电能表概况

电能表在世界上的出现和发展已有一百多年的历史。1881 年，爱迪生发明了最早的电能测量器——直流安培小时计。这是根据电解原理制成的，尽管这种电能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。

1888 年，交流电的发现和应用，又向电能表的发展提出了新的要求。经过一些科学家的努力，感应式电能表诞生了。由于感应式电能表具有结构简单、操作安全、价廉、耐用、便于维修和批量生产等一系列优点，所以发展很快。现在每只电能表有的还不到 1kg 重，精度达到了 0.5~0.2 级。从 20 世纪二三十年代开始，陆续出现了各种无功电能表、脉冲电能表、分时计量电能表以及 0.2 级以上的标准电能表。20 世纪 60 年代以来，开始出现采用固体电路的电子式电能表，精度达 0.01 级，80 年代出现了应用微处理机的电能表。

当今世界发达国家对电能表生产和发展极为重视。为了提高电能表的质量、产量和降低制造成本，各国都在电能表的结构、使用材料及元件等方面不断地研究改进。电能表的质量是以精度、过负荷能力和延长一次使用寿命等几项指标为主要标志的。目前国外感应式单相电能表精度可达 1.0 级，三相感应式电能表可达 0.5 级；单相电能表的过负荷能力为 400%~667%；一次使用寿命在 6~7 年以上，个别国家 15~30 年校验一次。此外，为了提高电能计量的准确性和合理性，各种功能的表计均已出现，如多达 99 种功能的多功能电能表、磁卡电能表等。

我国电能表的生产始于 20 世纪 50 年代。从仿制外国电能表开始，经过几十年的努力，使我国的电能表生产、制造具备了相当的水平 and 规模，我国自行设计和大批量



生产的各种类型的电能表,不仅供给国内,还远销国外。

改革开放 20 多年来,我国电能测量技术与仪表的开发生产得到了飞速的发展,取得了巨大的成绩,在我国经济建设中发挥了重要作用。为满足推行峰谷电价制的需要,开发与生产了各种复费率电能表;为满足一户一表制的需要,开发了 IC 卡预付费表;为防窃电,开发了防窃电电能表;为满足用电营业管理的需要,开发了多功能电能表、电能管理系统;为满足负荷监控的需要,开发了无线电力负荷监控系统;为实现抄表自动化、远程化,开发了远程电能表抄表系统。各种类型电能表(感应式、全电子式)在品种和质量上得到了扩展与提高。在标准电能表方面,开发与生产了 0.2 级~0.01 级各种准确等级的标准电能表,其中云南计量测试所研制成功的单相数字采样式标准电能表和 0.02 级三相数字式标准电能表,经测试鉴定,其技术指标不亚于国外同类产品,达到国际先进水平,且造价远低于国外同类成品。随着电力工业的发展,为满足不同电能测量的要求,将有多种类型的多功能的电能表不断问世。

3. 电能计量装置的分类

(1) 电能计量装置的分类。

根据 DL/T 448—2000《电能计量装置技术管理规程》规定,运行中的电能计量装置按其所计量电能量的多少和计量对象的重要程度分 5 类(I、II、III、IV、V)进行管理。

1) I 类电能计量装置:月平均用电量 500 万 kW·h 及以上或变压器容量为 10000kVA 及以上的高压计费用户、200MW 及以上发电机、发电企业上网电量、电网经营企业之间的供电关口计量点的电能计量装置。

2) II 类电能计量装置:月平均用电量 100 万 kW·h 及以上或变压器容量为 2000kVA 及以上的高压计费用户、100MW 及以上的发电机、供电企业之间的电量交换点的电能计量装置。

3) III 类电能计量装置:月平均用电量 10 万 kW·h 及以上或变压器容量为 315kVA 及以上的计费用户、100MW 以下的发电机、发电企业厂(站)用电量、供电企业内部用于承包考核的计量点、考核有功电量平衡的 110kV 及以上的送电线路电能计量装置。

4) IV 类电能计量装置:负荷容量为 315kVA 及以下的计费用户、发供电企业内部经济技术指标分析、考核用的电能计量装置。

5) V 类电能计量装置:单相供电的电力用户计费用电能计量装置。

各类电能计量装置的配制精度要求不应低于表 0-1。



表 0-1

各类电能计量装置的配制表

电能计量 装置类别	准 确 度 等 级			
	有功电能表	无功电能表	电压互感器	电流互感器
I	0.2S 或 0.5S	2.0	0.2	0.2S 或 0.2*
II	0.2S 或 0.5S	2.0	0.2	0.2S 或 0.2*
III	1.0	2.0	0.5	0.5S
IV	2.0	3.0	0.5	0.5S
V	2.0	—	—	0.5S

* 0.2级电流互感器仅指发电机出口电能计量装置中配用。

I、II类用于贸易结算的电能计量装置中，电压互感器二次回路电压降应不大于其额定二次电压的0.2%；其他电能计量装置中二次回路电压降应不大于其额定二次电压的0.5%。

(2) 电能表的分类。

电能表就是专门用于计量某一时间段电能累计值的仪表，又称电能表。

我国电能表的分类一般根据电能表的用途、结构型式、工作原理、准确度等级、量对象的不同，以及所接的电源性质和接入方式、付款方式的不同，将电能表分成若干类别。

根据其用途，一般将电能表分为两大类，即测量用电能表和标准电能表。测量用电能表又可分成以下不同的类别：

1) 按其结构和工作原理的不同分为：感应式（机械式）、静止式（电子式）和机电一体式（混合式）。

2) 根据接入电源的性质可分为：交流电能表和直流电能表。

3) 按其准确度等级一般分为：3级、2级、1级、0.5级等不同等级的电能表。随着静止式电能表制造工艺及电子组件质量的提高，近年来又增加了0.5S级和0.2S级静止式电能表。S级电能表与非S级电能表的主要区别在于对轻负载计量的准确度要求不同。非S级电能表在5% I_b 以下没有误差要求，而S级电能表在1% I_b 即有误差要求。

4) 按平均寿命的长短，单相感应式电能表又分为：普通型和长寿命技术电能表。长寿命技术电能表是指平均寿命为20年及以上，且平均寿命的统计分布服从指数分布规律的测量频率为50Hz（或60Hz）的感应式电能表。通常用于装配量大、而用电较小的单相供用电量的计量。

5) 根据付款方式还有预付费电能表〔投币式、磁卡式、电卡式（IC卡）等〕。



6) 根据计量对象的不同, 不论任何结构的电能表又可分为: 有功电能表、无功电能表、最大需量表、分时计量表、多功能电能表。

电能表的铭牌标志将在第1章中介绍。

4. 电能计量方式

供、用电的性质及对象不同, 被选择的电能计量装置的种类、结构就不相同, 电能计量方式与供电方式、电价、收费方式密切相关。根据《供电营业规则》的规定, 我国目前的电能计量方式有:

(1) 电能计量点原则上应设置在供电设施与受电设施的产权分界处, 单相供用电的装设单相电能计量装置, 三相供用电的装设三相电能计量装置。若产权分界处不适宜装设计量装置时, 对由专线供电的高压客户, 可在供电变压器侧计量; 由公用线路供电的高压客户, 可在客户受电装置的低压侧计量。

(2) 用电客户的每一个受电点都应按不同的电价类别分别装设用电计量装置, 一个受电点即是一个电能计量点; 客户受电点内难以按电价类别分别装设用电计量装置时, 可装设总的用电计量装置, 按不同电价类别, 用定比或定量的方法进行分算, 分别计费。

(3) 城镇居民用电均应实行一户一表计量。

(4) 同一计量点具有正、反向送受电时, 应分别装设计量正向和反向有功电量, 以及四象限无功电量的电能表或多功能电能表计量。

(5) 任何一个供电点或受电点, 都应装设电能计量装置计量其供电量或用电量。

(6) 中性点非绝缘系统或三相负载不平衡场合应采用三相四线计量方式; 中性点绝缘系统可采用三相三线计量方式。

(7) 地方电网和有自备电厂的企业与电力系统联网者, 应在并网点上设置送、受电计量装置计量送、受电量。



第 1 章

电能表的结构和工作原理

1.1 感应式单相电能表的结构

感应式电能表的种类、型号尽管很多，但它们的基本结构都是相似的，即都是由测量机构（驱动元件、转动元件、制动元件、轴承、计度器）、补偿调整装置和辅助部件（外壳、机架、端钮盒、铭牌）所组成。

1.1.1 测量机构

测量机构是电能表实现电能测量的核心部分。图 1-1 是感应式单相电能表测量机构简图。它由下述部件组成。

1. 驱动元件（电磁元件）

驱动元件又分为电压元件与电流元件，其作用是将交变的电压和电流转变为穿过圆盘的交变磁通，与其在圆盘内产生的感应电流相互作用，进而产生驱动力矩，使圆盘转动。

（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（见图 1-1）。绕在电压铁芯上的电压线圈接在被测电压所接入的线路中与负载并联，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

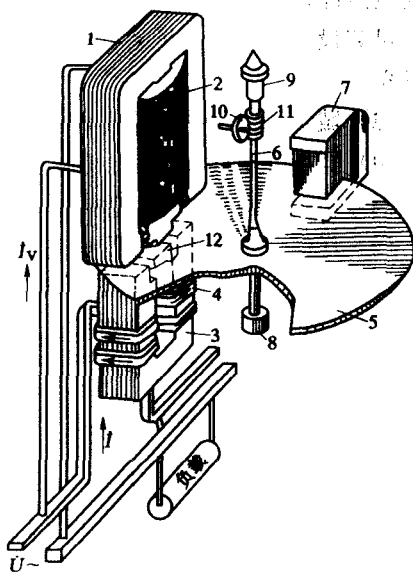


图 1-1 感应式单相电能表测量机构简图

- 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—永久磁铁；
8—下轴承；9—上轴承；10—蜗轮；11—蜗杆；
12—回磁极



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 $0.08 \sim 0.16\text{mm}$ ）。匝数较多的电压线圈，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，电压的相位角几乎达到 90° 。

回磁极用 $1.5 \sim 2.0\text{mm}$ 厚的铁板冲压而成，构成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：电流元件是用粗的绝缘铜线绕成匝数不多的电流线圈 4，套在 U 型的电流铁芯 3 上。电流线圈是串接在电源与负荷之间，故又称为串联线圈。电流线圈绕制的方向必须按图 1-2 所示那样，使左柱的磁通由下柱往上时，则右柱的磁通由上往下，也就是两柱上线圈绕制的方向相反，这样两柱上所产生的磁通才能叠加起来，否则两磁通会互相相减，不能产生转动力矩。同时因负荷电流是流过电流线圈的，所以要求电流线圈的阻抗小，即匝数少而且导线要粗。

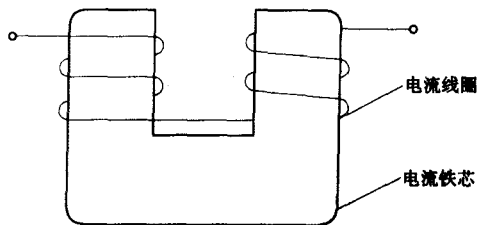


图 1-2 电流线圈的绕制

驱动元件相对于圆盘的位置可分为正切式及辐射式两种。正切式是指电压元件平面在转盘上的投影线与转盘半径方向相垂直；辐射式是指电压元件平面在转盘上的投影线与转盘半径方向一致。我国多采用正切式电磁元件。正切式电磁元件可分为封闭式铁芯、半封闭式铁芯、分离式铁芯三种。

(1) 封闭式电磁元件：封闭式电磁元件的铁芯的结构的特点是电压、电流铁芯成为一个整体，铁芯间没有接缝，工作气隙固定，容易保持磁路对称，所以可得到良好的技术特性。缺点是在于制造工艺复杂，装套电压线圈的工艺工作量大，耗料较大，如图 1-3 (a) 所示。这种封闭式电磁元件的铁芯一般是用在精度要求较高的电能表中，如 0.5 级电能表和标准电能表等。

(2) 半封闭式电磁元件：半封闭式电磁元件的外形与封闭式近似，如图 1-3 (b) 所示。但电压、电流铁芯之一或两者可以拆卸，以利于套线圈，这种铁芯能简化制造工艺，并且能获得较好的技术特性。

(3) 分离式电磁元件：分离式电磁元件结构简单，电压、电流铁芯是分开的，套装电压、电流线圈方便简单快捷，如图 1-3 (c) 所示。但缺点是气隙较大，不易控制，很难保证磁路对称，对电能表工作性能有影响，可加强工艺管理使其特性达到要求，这种分离式铁芯用料省，加工方便，损耗材料也少，所以大量的 2.0 级电能表都



广泛采用这种分离式铁芯。

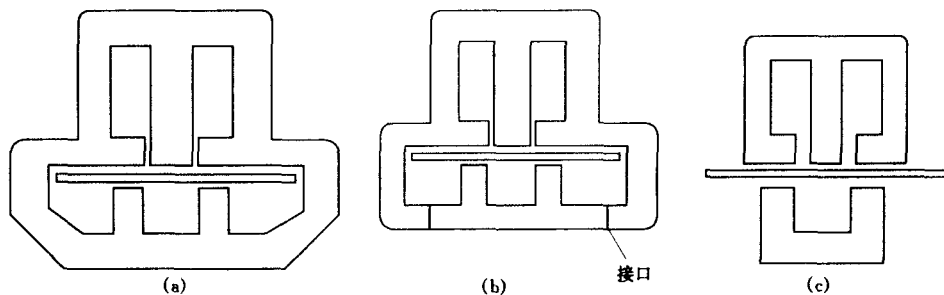


图 1-3 正切式电磁元件的结构型式

2. 转动元件

转动元件由铝质转盘 5 和转轴 6 用合金压铸在一起组成。转盘材料要求导电性能良好,质量轻,耐腐蚀,铝最符合要求。作为转盘材料的铝的纯度为 99% 左右,转盘直径一般为 80~100mm,厚度为 0.5~1.2mm,质量为 20g 上下。其作用是在驱动元件建立的交变磁通的作用下,圆盘上产生感应电流,进而产生驱动力矩使圆盘转动,并把转动的圈数通过蜗轮 10 与蜗杆 11 的啮合传递给计度器。圆盘固定在转轴上,边缘涂有计读转数的有色标记,有的在背面喷有校正平衡的重质涂料,转轴上部套有蜗杆以便和计度器的齿轮啮合。

3. 制动元件 (永久磁铁)

制动元件由永久磁铁及其调整元件组成,其作用是产生与驱动力矩相反的制动力矩,以便使圆盘的转动速度与被测电路的功率成正比。制动元件的永久磁铁是用具有较高矫顽力和剩磁感应强度的材料制成,如铝合金和铝镍钴合金等压铸而成。

永久磁铁的型式根据磁铁的结构磁极在转盘一侧的磁通分布情况可分为下面几种。

(1) 单磁通单磁铁:单磁通单磁铁型的形状多为 C 型,如图 1-4 (a) 所示。这种型式制动元件的特点是:制动磁通只穿过圆盘一次,气隙内磁场上下比较对称、机械强度高、形状简单、加工方便,但容易引起转盘的振动。此结构常用于老式电能表。

(2) 单磁通双磁铁:单磁通双磁铁型的特点是在铝盘两侧对称装置两只单磁通单磁铁,其极性相反,如图 1-4 (b) 所示。增加一只永久磁铁后,不但可以增加制动力矩,而且可以减小转动元件的振动。

(3) 双磁通单磁铁:双磁通单磁铁型的形状多为 U 型,如图 1-4 (c) 所示。这种型式制动元件的特点是:永久磁铁装于转盘的一面,另一面加一块软铁片作为磁通