

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANNENG JILIANG JISHU

电能计量技术

(第二版)

黄伟 主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA

TM933.4/9=2

2007

DIANNENG JILIANG JISHU
电能计量技术
(第二版)

主编 黄 伟
编写 付良秀 王鲁杨
主审 张建华



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十一五”规划教材。

全书共分八章,包括电能计量技术概述、感应式电能表、电子式电能表及特种电能表、测量用互感器、电能计量方式、电能计量装置的接线检查、电能计量检验装置及检验方法、电能计量自动化抄表。

本书主要作为普通高等院校电气工程及其自动化及相关专业的本科教材,也可作为高职高专和函授教材,以及工程技术人员的函授教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电能计量技术/黄伟主编. —2版. —北京:中国电力出版社,
2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5938 - 0

I. 电… II. 黄… III. 电能—电量测量—高等学校—
教材 IV. TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 112378 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004 年 7 月第一版

2007 年 8 月第二版 2007 年 8 月北京第四次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 260 千字

印数 9001—12000 册 定价 19.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神，加强教材建设，确保教材质量，中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校，满足学科发展和人才培养的需求，坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为修订教材。

本书介绍了电能计量技术的发展历史，从电能计量装置出发，重点阐述了感应式电能表、电子式电能表及特种电能表的结构、工作原理和误差特性；系统地介绍了测量用互感器、电能计量方式和远程自动化抄表及电能计费系统等，力求将电能计量专业中出现的新技术、新设备贯彻到书中。在参考已有教材的基础上，重新调整了编写内容和结构，增加了很多新的内容，为教材建设做了初步尝试。每章后面均有小结、复习思考题和习题。这些内容旨在使读者理顺和系统地运用所学的理论知识。本书在第一版基础上，做了相应的审阅和修订，力图反映最新的技术成果及发展动向。

本书的第二、四、五章由山西大学工程学院付良秀副教授编写，第三、六、七章由上海电力学院王鲁杨副教授编写，第一、八章和第五章的第六节由华北电力大学黄伟副教授编写。黄伟副教授任本书主编，华北电力大学张建华教授为本书主审。

在本书编写过程中，得到华北电力大学、山西大学工程学院和上海电力学院有关领导和教师的支持和帮助，特别是教师王禾兴、研究生晏璐在收集资料和整理过程中做了一定的工作，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中错误及不妥之处在所难免，望广大读者批评指正。

编者

2007年7月

目 录

前言

第一章 电能计量技术概述	1
第一节 电能计量技术的基本概念	1
第二节 电能计量的发展和现状	2
第三节 电能计量装置的分类及铭牌标志	3
小结	6
复习思考题	7
第二章 感应式电能表	8
第一节 感应式电能表的结构和工作原理	8
第二节 感应式电能表的误差特性	19
第三节 感应式电能表的调整装置	28
小结	36
复习思考题	37
第三章 电子式电能表及特种电能表	38
第一节 电子式电能表的结构和原理	38
第二节 脉冲电能表和最大需量电能表	43
第三节 预付费电能表和分时计量电能表	46
第四节 多功能电子式电能表	52
第五节 电子式电能表的误差特性及调整	55
小结	57
复习思考题	58
第四章 测量用互感器	59
第一节 电流互感器	59
第二节 电压互感器	67
第三节 * 二次导线有源压降补偿的原理和应用	74
第四节 * 电压断相计时仪的接线和使用	76
小结	78
复习思考题	79
第五章 电能计量方式	80
第一节 单相有功电能的计量	80
第二节 三相有功电能的计量	81
第三节 无功电能计量方式	86
第四节 电能表和互感器的联合接线	91
第五节 电能计量装置的综合误差	94

第六节 * 谐波对电能计量的影响	101
小结	106
复习思考题	107
第六章 电能计量装置的接线检查	109
第一节 互感器的接线检查	109
第二节 电能表的接线检查	117
第三节 电能表现场校验仪检查电能表的接线	123
第四节 退补电量的计算方法	130
小结	137
复习思考题	137
第七章 电能计量检验装置及检验方法	139
第一节 电能计量检验装置的基本原理	139
第二节 检验装置的主要功能和使用方法	146
小结	150
复习思考题	151
第八章 电能计量远程自动化抄表	153
第一节 智能式电能表	153
第二节 远程自动抄表系统	157
第三节 电能计量网关及计量系统	162
小结	164
复习思考题	165
参考文献	166

第一章 电能计量技术概述

本章主要介绍了电能计量技术的基本概念、电能计量的发展和特点以及电能计量装置的组成分类和铭牌。这些内容是供用电技术人员应当掌握的常识性的知识,是学习本课程的预备知识。

第一节 电能计量技术的基本概念

一、电能计量技术的基本概念

电能计量技术是由电能计量装置来确定电能量值,为实现电能量单位的统一及其量值准确、可靠的一系列活动。在电力系统中,电能计量是电力生产、销售以及电网安全运行的重要环节,发电、输电、配电和用电均需要对电能准确测量。因此,搞好电能计量技术具有十分重要的意义。

电既是电力企业的产品,又是商品。作为商品,其交易过程就必须遵循市场规律,做到买卖公平,它的交易过程是通过电能计量装置来实现的,电能计量装置起着秤杆子的作用,它的准确与否涉及千家万户的利益,直接关系到各项电业技术经济指标的正确计算、营业计费的准确性和公正性,事关电力工业的发展、国家与电力用户的合法权益。

通常我们把电能表、与其配合使用的互感器以及电能表到互感器的二次回路连接统称为电能计量装置。

电能表是电能计量装置的核心部分,它起着计量负载消耗的或电源发出的电能的作用。然而,在高电压、大电流系统中,一般的测量表计不能直接接入被测电路进行测量,需要先通过电压互感器和电流互感器将高电压、大电流变换成低电压、小电流后再接入电能表进行测量。使用互感器一方面可以降低仪表绝缘强度、保证人身安全,另一方面扩大了电能表的量程、减小了仪表的制造规格。电能计量装置二次回路是通过导线将电能表和互感器连接的,易于工作人员监测,但所构成的二次回路可能会对电能计量装置的准确度产生影响。

二、对电能计量装置的要求

(1) 电力系统具有跨区、跨省联网运营的自然特性,要求整个系统内的电能量值准确统一。

(2) 电力生产具有发、供、用电同时完成的特性,要求电能计量装置是在线的、不间断的,又必须准确可靠。

(3) 电能计量工作要遵守电力系统的安全、运行规则,要求电能计量装置与其它电气设备必须配套,并连接成网络一起运行。

(4) 电能计量是电力营销的重要环节,要求应当公正、诚信。

从发电厂到用户,电能的传输与测量正是通过电能计量装置来测量发电量、厂用电量、供电量以及售电量等,随着电子和计算机技术的发展和电力系统自动化水平的提高,实现了远方抄表和电能计量管理系统,其目的是更好地为生产调度和电力企业经济核算服务。

第二节 电能计量的发展和现状

一、电能表的发展概况

自从 1831 年法拉第发现了电磁感应定律以来,人们就不断地探索使用和测量电能。电能表作为测量电能的专用仪表至今已有 100 多年的历史,1880 年,德国人爱迪生用电解原理制成的直流电能表是世界上最早的电能表;随着交流电的产生和应用,1888 年,意大利物理学教授费拉里斯 (Ferraris) 和美国某电工技术学校的物理教师几乎同时提出了利用旋转磁场测量交流电能的原理,为制造感应式电能表奠定了理论基础。1889 年,匈牙利岗兹公司的布勒泰制成了一个重达 36.5kg 的感应式电能表,其电压铁芯就重达 6kg,且无单独电流铁芯感应式电能表;1890 年,出现了带电流铁芯的感应式电能表,反作用力矩靠交流电磁铁产生,转动元件是一个铜环;直到 19 世纪末,人们利用交流电磁铁代替直流电磁铁,铝盘代替铜制的转盘,表的计数机构几经改进,生产了单相和三相的感应式交流电能表。

在 20 世纪的很长的时间内,电能表的发展方向主要放在如何缩小体积和改善工作性能的研究上,随着高导磁材料的出现,使电能表的重量和体积大大降低,每只表的质量降到了 1.5~2kg。

30 年代,由于采用铬钢、铝镍合金磁铁代替钨铜使转盘转速降低,降低了损耗,同时改善了电能表的负荷特性。

由于感应式电能表具有结构简单、操作安全、维修方便、造价低廉、经久耐用等一系列优点,一直被广泛应用,发展非常迅速。在以后的几十年中,人们不断对感应式电能表的结构和性能进行改进,使其合理、完善,陆续出现了各种无功电能表、脉冲电能表、分时电能计量表等,品种规格发展至几十种,有的电能表每只还不到 1kg 重,准确度可达到 3.0~0.5 级。

电能表的质量是以准确度、过负载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过负荷能力达 600% 以上;采用双宝石轴承和磁力轴承,使电能表寿命达到 15~30 年;由于感应式电能表受制造和机理的限制,单相电能表准确度可达 1.0 级,三相感应式电能表可达 0.5 级。

随着电子技术的飞速发展,对电能表产生了巨大的影响,20 世纪 60 年代出现了电子式电能表,大大提高了电能表的计量准确度,在此基础上,研究不断朝着提高准确度和降低成本的方向发展。

70 年代,为实用化,主要对电子式电能表的测量电能机理进行研究,先后出现了热电乘法器构成的电子式电能表、时分割乘法器构成的电子式电能表和四象限模拟乘法器的技术方案。

80 年代,集成电路开始在计量装置中应用,使电子式电能表准确度达 0.5~0.05 级。电能表出现了质的变化,由功能简单的感应式电能表逐步过渡到机电脉冲式电能表、全电子式电能表,直到智能型多功能电能表。

进入 90 年代,随着微机技术的发展,基于先购电、再用电的管理思想,开发研制和使用智能型 IC 卡预付费电能表。远程电能表数据采集系统也开始了实施应用。

目前,电子式电能表已发展到与电能的智能化计量管理密不可分的水平,电能表数据采集技术有力推动了远程抄表技术的发展,组成了智能型电能量采集与计费管理自动化系统。

我国电能表的生产始于 50 年代初,经过几十年的努力,电能测量技术和仪表的开发生产得到了飞速发展。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,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,开发了远程自动化抄表系统。不仅供给国内,还远销国外。

二、互感器的发展与现状

自 1876 年,俄罗斯科学家亚布·洛其可夫研制了第一台变压器以来,人们就一直探索发明电压互感器和电流互感器,其目的是为了测量高电压和大电流。基于变压器的原理,1881 年就诞生了电压互感器,1885 年出现了电流互感器。从此,人们在缩小互感器的体积,提高测量准确度上下功夫。

到目前为止,电厂和大型枢纽变电站采用 0.2 级的电压互感器和电流互感器,其他的一般采用 0.5 级电压、电流互感器。为了减小误差,提高测量准确度,对电压互感器和电流互感器的无源补偿和有源补偿装置、对电压互感器二次侧导线压降的有源补偿装置也应运而生。

随着新型材料的发展,近年来由于超高压直流输电网络以及光电、半导体技术和计算机技术的不断发展,使新的电气测量方法,如无线电的、光电的互感器已进入试运行阶段。

三、电能表校验装置的发展概况

电能表校验装置主要是电能计量基准与标准校验装置和便携式电能表现场校验仪两方面。

20 世纪 60、70 年代以前,大部分采取的是利用实负荷与表计对比等原始校验方法,如瓦秒法和比较法等,这种方法速度慢、准确度不高、工作效率低。

80 年代初期,出现了计量与微机接口的软件操作平台,通过光电传感电路,把光信号转换成电信号,经过模/数变换,传给计算机,使准确度和效率大大提高,这种电能表校验装置具备了准确度高、自动化程度高,多表位、多功能等特点。使电能表校验逐步向程序化、规模化方向发展。

目前,我国电能计量基准与标准校验生产了 0.36~0.0015 级的单相和三相校验装置,便携式电能表现场校验仪生产了 0.3~0.1 级的各类产品,达到了国际先进水平。

第三节 电能计量装置的分类及铭牌标志

电能计量主要从电能计量装置和电能计量技术管理进行分类,电能计量装置包括电能表、电压互感器和电流互感器以及由它们组成的计量柜,电能计量技术管理依据计量点用途和作用分类。

一、电能表的分类及铭牌

1. 电能表的分类

专门用于计量负荷在某一段时间内所消耗的电能仪表称为电能表。它反应的是这段时间内平均功率与时间的乘积。根据其用途,一般将电能表分为两大类,即测量电能表和标准电能表。测量用能表又可分成以下不同的类别:

(1) 按结构和工作原理分:感应式(机械式)、静止式(电子式)和机电一体式(混合式)。

(2) 按接入电源性质分:交流电能表和直流电能表。

(3) 按准确度等级分:普通级和标准级。普通电能表一般用于测量电能,常见等级有0.5、1.0、2.0、3.0级;标准电能表一般用于检验不同电能表,常见等级有0.01、0.05、0.2、0.5级等。

(4) 按安装接线方式分:直接接入式和间接接入式,其中又有单相、三相三线和三相四线电能表之分。

(5) 按用途分:工业与民用电能表、电子标准电能表和特殊用途电能表等。常见的电能表有脉冲电能表、最大需量电能表和复费率电能表等。

2. 电能表的铭牌

每只电能表在表盘上都有一块铭牌,各国电能表的标识有所不同,我国电能表各项主要标志的含义如下。

(1) 电能表的名称及型号:如表1-1所示,类别代号+组别代号+设计序号+派生号。

表 1-1 电能表型号表示

类别代号	组别代号	设计序号	派生号
D—电能表	D—单相	862, 95, 68 等	T—湿热、干燥两用
	S—三相三线		TH—温热带用
	T—三相四线		TA—干热带用
	X—无功		G—高原用
	B—标准		H—船用
	F—复费率		F—化工防腐用

例如:DTF—三相四线复费率电能表,如DTF68、DTF9型。

(2) 电能计量单位:有功电能表为kWh;无功电能表为kvarh。

(3) 字轮式计度器的窗口:整数位和小数位用不同的颜色区分,中间有小数点;若无小数位,窗口各字轮均有被乘系数,如 $\times 100$, $\times 10$, $\times 1$ 等。

(4) 准确度等级:以相对误差来表示准确度等级,如用 $\textcircled{0.5}$ 或CL.0.5表示。

(5) 基本电流和额定最大电流:作为计算负载的基数电流值叫基本电流,用 I_b 表示;能长期工作,而且误差与温升完全满足技术条件的最大电流值叫额定最大电流,用 I_m 表示。如DS8型三相电能表铭牌标明“ $3\times 5(20)A$ ”时,表明基本电流为5A,额定最大电流为20A。

(6) 额定电压:三相电能表额定电压的标注有三种方法:

直接接入式三相三线,标注“ $3\times 380\text{V}$ ”,表示三相,额定线电压为 380V;

直接接入式三相四线,标注“ $3\times 380/220\text{V}$ ”,表示三相,额定线电压为 380V,额定相电压为 220V;间接接入式,标注“ $3\times \frac{6000}{100}\text{V}$ ”,表示经电压互感器接入式的电能表,用电压互感器的额定变化形式来标注,电能表的额定电压为 100V。

(7) 电能表常数:表示电能表记录的电能和转盘转数或脉冲数之间关系的比例数。有功电能表以 r/Wh 或 r/kWh 表示,如 $A=1200\text{r/kWh}$ 。

(8) 额定频率:50Hz。

二、互感器的分类和铭牌

互感器是电力系统供测量仪器、仪表和继电保护等电器采样使用的重要设备。

1. 互感器的分类

(1) 按互感器功能分:电流互感器和电压互感器。

(2) 按互感器工作原理分:电磁式、电容式、光电式三种互感器。

(3) 按测量对象分:单相、三相等。

(4) 按用途分:计量用、测量用、保护用互感器。

(5) 按互感器绝缘结构分:干式、固体浇注式和油浸式,以及气体绝缘式互感器。

2. 电流互感器铭牌

(1) 型号:我国规定用汉语拼音字母组成互感器的型号,不同的字母分别表示其主要结构形式、绝缘类别和用途,国产电流互感器型号含义如表 1-2 所示。

表 1-2 国产电流互感器型号含义

字母排列次序	代号含义
1	L—电流互感器
2	A—穿墙式; B—支持式; C—瓷箱式; F—多匝式等
3	C—瓷绝缘式; Z—浇注式; L—电缆电容式等
4	B—保护级; D—差动保护

例如: LFC—10 型,即为 10kV 多匝式瓷绝缘电流互感器。

(2) 额定电流比:额定电流比是指一次额定电流和二次额定电流之比。

(3) 准确度级别:测量用互感器的准确度,用其在额定电流下所规定的最大允许电流误差的百分数表示,一般有 0.1、0.2、0.5、1.0、3.0、5.0 级,宽量限的 S 级的电流互感器的准确度级别有 0.2S 和 0.5S 级的。

(4) 额定容量:对于电流互感器二次侧额定电流为 5A 时,额定容量有 2.5、5、10、15、20、30、60kVA 等。

(5) 额定电压:指一次绕组和二次绕组对地能够承受的最大电压,表明电流互感器一次绕组的绝缘强度,有 10、35、110、220、330、500kV 等。

(6) 极性标志:为了确保正确接线,电流互感器一次和二次绕组的出线端都有极性标志,一般按减极性相连接。

3. 电压互感器铭牌

(1) 型号:用汉语拼音字母组成互感器的型号,不同的字母分别表示其主要结构形式、

绝缘类别和用途。国产电压互感器型号含义如表 1-3 所示。

表 1-3 国产电压互感器型号含义

字母排列次序	代 号 含 义
1	Y—电压互感器
2	D—单相；S—三相；L—串级式
3	Z—浇注式；R—电容分压式；C—瓷箱式等
4	B—三线圈五柱铁芯；D—接地保护线圈等

(2) 额定电压及额定电压比：额定电压比是一次额定电压和二次额定电压之比。

(3) 准确度级别：在规定的使用条件下，电压互感器的误差应在规定的限度内，常用的有 0.1、0.2、0.5、1.0、3.0、5.0 级。

(4) 额定容量：即以额定二次电压为基准时规定二次回路允许接入的负荷，通常以视在功率 VA 值表示。

此外，电能计量柜和计量箱是把计量用的电能表、互感器、电压失压计时器等全部或部分组装在专用的柜中的电能计量装置。主要分为整体式和分体式两类。

三、电能计量装置分类

电力企业的技术管理应将运行中的电能计量装置按其所测量的多少和计量对象的重要程度分为 5 类，如表 1-4 所示。

表 1-4 电能计量装置技术管理分类

I 类	月平均用电量 500 万 kWh 及以上或变压器容量在 10000kVA 及以上的高压计费用户，100MW 及以上发电机、发电企业上网电量，省网和供电企业间电量交换点及供电关口等
II 类	月平均用电量 100 万 kWh 及以上或变压器容量在 2000kVA 及以上的高压计费用户，100MW 及以上发电机、供电企业间的电量交换点
III 类	月平均用电量 10 万 kWh 及以上或变压器容量在 315kVA 及以上的高压计费用户，100MW 及以下发电机、发电企业厂（站）用电量、供电企业内部用于承包考核计量
IV 类	负载容量为 315kVA 以下计费用户，发供电企业内部经济技术指标分析考核计量
V 类	单相供电的电力用户计费计量

小 结

本章主要介绍了由电能表、与其配合使用的互感器以及电能表到互感器的二次回路连接线组成的电能计量装置，电能计量的发展和特点以及电能计量装置的分类和铭牌，这些内容是供用电技术人员应当掌握的常识性的知识。其目的是为了进一步了解本课程所学的内容，建立基本概念。在学习本课程的内容时，应重点放在理解基本概念上，要从理论和实践上理解电能计量装置的结构、工作原理、接线方式和误差特性，学会电能测量校验技术，了解远程抄表及电能计量管理系统及电能计量技术发展的新技术和新设备，灵活运用，为搞好用电管理与检查服务。

复习思考题

- 1-1 什么是电能计量装置？它的作用是什么？
- 1-2 电能表常数的物理意义是什么？
- 1-3 电能表额定最大电流和基本电流的物理意义是什么？
- 1-4 电能计量装置是如何进行分类的？

第二章 感应式电能表

本章首先简介感应式电能表的结构,其次重点讲述电能表的工作原理,然后分析电能表的误差特性,最后介绍电能表的调整装置。

第一节 感应式电能表的结构和工作原理

利用固定交流磁场与由该磁场在可动部分的导体中所感应的电流之间的作用力而工作的仪表,称为感应式仪表。常用的单相电能表就是一种感应式仪表。尽管单相电能表的型号繁多,但其结构基本相同,都是由测量机构和辅助部件(基架、底座、外壳、端钮盒和铭牌)组成。

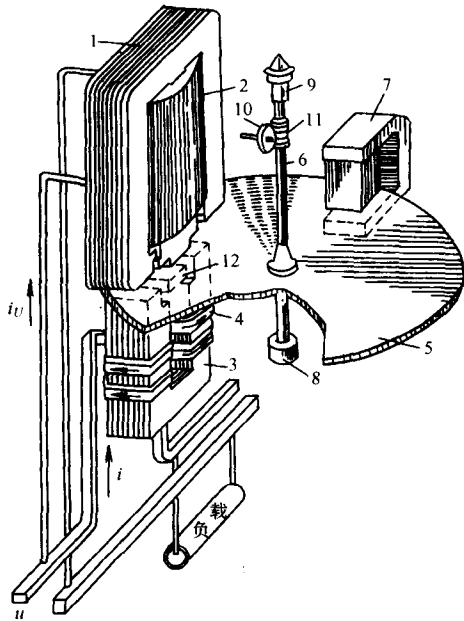


图 2-1 单相电能表的测量机构简图

- 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—回磁极

一、单相感应式电能表的结构

(一) 测量机构

测量机构是电能表实现电能测量的核心。图 2-1 所示为单相电能表的测量机构简图,它由驱动元件、转动元件、制动元件、上轴承、下轴承、计度器组成。

1. 驱动元件

驱动元件包括电压元件和电流元件,它的作用是在交变的电压和电流产生的交变磁通穿过转盘时,该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。绕在电压铁芯上的电压线圈与负载相并联,不论有无负载电流,电压线圈总是消耗功率的,一般其消耗功率控制在 0.5~1.5W 之内。电压线圈的特点是:匝数多(25~50 匝/V),线径细(直径为 0.08~0.16mm),电压铁芯采用 0.35~0.5mm 厚的硅钢片叠成,片间有绝缘,并具有较高的导磁率,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。回磁极采用 1.5~2.0mm 厚的钢板冲

压而成,为电压工作磁通提供回路。

电压元件的等值电路图和相量图,如图 2-2 所示。一般电压线圈中的电流 \dot{I}_U 滞后电压 \dot{U} 的相位角约为 $75^\circ\sim 80^\circ$ 。

(2) 电流元件。电流元件由电流铁芯 3 和电流线圈 4 组成。绕在电流铁芯上的电流线圈与负载相串联,因此通过电流线圈的电流就是负载电流。电流铁芯采用 0.35mm 厚的“U”

形高硅钢片叠成，电流线圈的特点是：匝数少，通常分成匝数相等的两部分，分别绕在“U”形铁芯上，其绕制方向应使电流、磁通在铁芯内部的方向相同。它的安匝数一般在 60~150 安匝范围内，线圈线径一般按电流密度为 3~5 A/mm² 考虑。根据《交流电能表》(JB 793—1978) 标准规定，电能表单个电流线圈在通入标定电流时，所消耗的视在功率不超过 2.0VA。

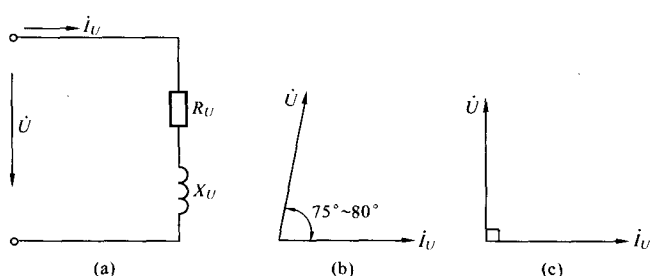


图 2-2 电压电磁铁的等值电路图和相量图
(a) 等值电路图；(b) 实际相量图；(c) 理想相量图

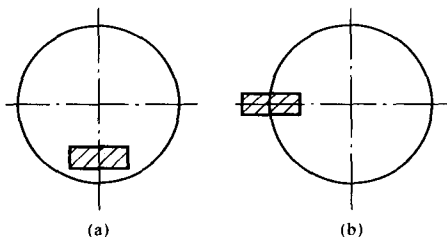


图 2-3 电能表驱动元件的布置形式
(a) 切线式驱动元件；(b) 辐射式驱动元件

电能表的驱动元件，从其布置形式来看，有切线式和辐射式两种。切线式的电压铁芯垂直于转盘半径方向平面放置，如图 2-3 (a) 所示；辐射式的电压铁芯平行于转盘半径方向放置，如图 2-3 (b) 所示。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，得到广泛的采用。

切线式驱动元件又分成分离式、封闭式和组合式三种基本结构，如图 2-4 所示。图 2-4 (a) 所示为分离式结构，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。该结构耗用的硅钢片

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能表的计量特性不一致，并且容易产生电压、电流潜动，因此在检修时，应尽量避免拆卸。图 2-4 (b) 所示为封闭式结构，其电压、电流铁芯用整块硅钢片冲成整片，再叠成一个整体。它的主要特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，同一类型电能表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 2-4 (c) 所示为组合式结构，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能表，多采用分离式驱动元件，而精密电能表 (0.2~0.5 级)，由于要求有相当好的误差特性，常采用封闭式或组合式驱动元件。

2. 转动元件

转动元件由转盘 5 和转轴 6 组成。转盘在驱动元件所产生的驱动力矩作用下连续转动。转盘的导电率要大、重量要轻，且要保证一定的机械强度，因此转盘用纯铝板制成。转盘直径通常为 80~100mm，厚度为 0.5~1.2mm。转轴用铝合金或铜合金棒材制成，转轴上端装有蜗杆 11 和上轴承 9。蜗杆 11 和蜗轮 10 啮合，将转盘的转数传递给计度器累计成 kWh 数。此外，转轴上还装有用钢丝绕制的防潜装置。

3. 制动元件

制动元件 7 由永久磁铁及其调整装置组成。永久磁铁产生的磁通被转动着的转盘切割时

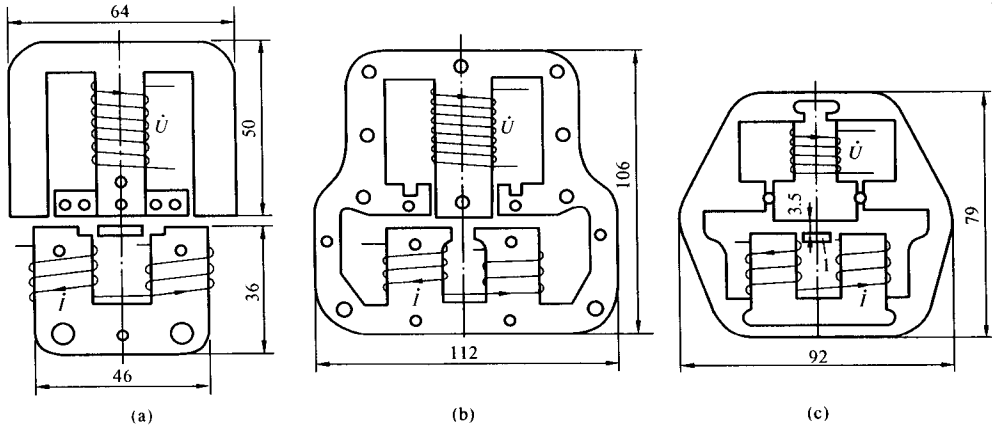


图 2-4 切线式驱动元件的结构
(a) 分离式; (b) 封闭式; (c) 组合式
1—回磁板

与在转盘中所产生的感应电流相互作用形成制动力矩, 使转盘的转速与被测功率成正比变化。永久磁铁采用具有较大的矫变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。调整装置是为了改变制动力矩大小而设置的, 将在第四节中详细介绍。

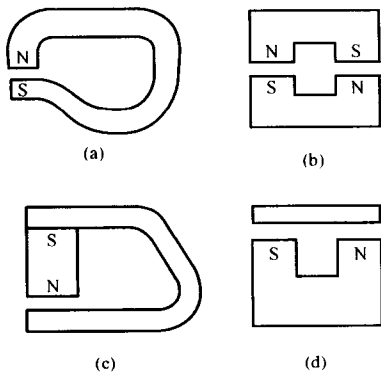


图 2-5 永久磁铁
(a) 对称分布单磁通型; (b) 对称分布双磁通型;
(c) 不对称分布单磁通型;
(d) 不对称分布双磁通型

永久磁铁如图 2-5 所示, 按气隙磁场分布情况 (相对于转盘), 可分为对称分布和不对称分布两种。对称分布者, 当转盘轴向位移时, 制动力矩基本不变; 而不对称分布者, 制动力矩变化较大。按结构又可分为单磁通型和双磁通型两种, 单磁通型永久磁铁是由低磁能合金铸成细长的整体形状, 无磁轭, 制动磁通只穿一次构成回路, 机械强度较高, 但引起转动元件的振动也较大。双磁通型永久磁铁是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, 磁稳定性较高, 机械强度较差, 但能增大制动力矩。引起转动元

件的振动较小。近代电能表逐步趋向采用多磁通对称分布的结构。

4. 轴承

电能表的轴承分为上轴承和下轴承, 下轴承 8 位于转轴 6 下端, 支撑转动元件的全部重量, 减小转动时的摩擦, 其质量好坏对电能表的准确度和使用寿命有很大影响。下轴承 9 位于转轴 6 上端, 不承受转动元件的重量, 只起导向作用。现代电能表轴承分为钢珠宝石结构和磁力结构两种。

(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。宝石用刚玉 (三氧化二铝) 制成, 其曲率半径为 1.0~1.7mm。图 2-6 所示为钢珠宝石结构轴承的三种基本类型。图 2-6 (a) 和图 2-6 (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。这种轴承的宝石与轴

承相连,在宝石和钢球的相对运动中,硬度较大的宝石为主动态,故其磨损较正宝石轴承要小。图 2-6 (c) 为双宝石轴承,其中的钢珠在两个宝石之间自由转动,因此钢珠表面受磨损均匀,大大延长了轴承的寿命。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,在检修和安装此类电能表时,应特别注意把电能表竖直放平。另外,钢珠宝石轴承由于钢珠和宝石之间的机械磨损、润滑油老化等原因,也影响了电能表的一次使用寿命。

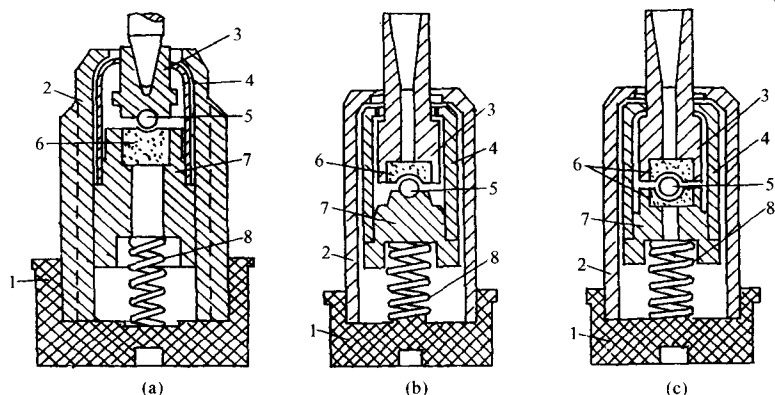


图 2-6 钢珠宝石轴承的三种基本类型

(a) 正宝石轴承; (b) 倒宝石轴承; (c) 双宝石轴承

1—螺帽; 2—衬管; 3—轴座; 4—卡套; 5—钢珠; 6—宝石; 7—支承; 8—弹簧

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;另一方面又会引起钢珠与宝石之间的相对移动和摆动,影响电能表的稳定性。所以,一些电能表的下轴承中也有没有弹簧的。

(2) 磁力轴承。这是近年逐渐发展起来的一种轴承。它的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承,无需润滑油便能达到润滑的目的,因而可以长期使用。

磁力轴承一般分为磁悬式和磁推式两种,如图 2-7 所示。图 (a) 为磁悬轴承转盘 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,使转盘悬浮在空中。转轴 1 上下两端由石墨轴套 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,它们之间摩擦最小。图 (b) 为磁推轴承,转盘 2 全部重量由上下圆筒形磁铁 9 和 15 的斥力所推顶。

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。因此,为了记录负载所消耗的电能,每一种感应式电能表不管形式如何,都有一个依靠联动机构与可动部分相连的积算机构。目前,常见的计度器有两种形式,即字轮式和指针式。

字轮式计度器的结构如图 2-8 所示,主要由齿轮联动机件、若干个 0 到 9 的 10 个数码的轮子以及遮盖联动机件和轮子的铝板组成。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,这样依次传动下去,最后字轮转动。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 1/10 转。