



国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材

电 能 计 量

主 编 韦佳伟 雷红梅
主 审 龙艳红



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

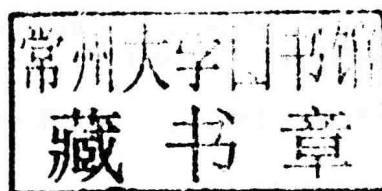


国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材

电 能 计 量

主 编 韦佳伟 雷红梅

主 审 龙艳红



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书结合电能计量课程的特点，按照项目化的教学理念，以电能计量装置为载体，本书内容包括认识电能计量装置、安装电能计量装置、计量装置验收、抄表技术。本书集知识学习与技能训练为一体，注重基础知识的巩固和专业基本技能的训练。

本书可作为高职高专院校电力技术类专业教学用书，也可作为电力行业和各企事业单位技术人员的参考用书。

图书在版编目（C I P）数据

电能计量 / 韦佳伟, 雷红梅主编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2014. 9
国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材
ISBN 978-7-5170-2753-9

I. ①电… II. ①韦… ②雷… III. ①电能计量—高等职业教育—教材 IV. ①TM933. 4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第303549号

书 名	国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材 电能计量
作 者	主编 韦佳伟 雷红梅 主审 龙艳红
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 7. 75 印张 184 千字
版 次	2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	18. 00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

国家骨干高职院校工学结合创新成果系列教材

编 委 会

主 任：刘延明

副主任：黄伟军 黄 波 皮至明 汪卫星

委 员：张忠海 吴汉生 凌卫宁 陆克芬

邓海鹰 梁建和 宁爱民 黄晓东

陈炳森 方 崇 陈光会 方渝黔

况照祥 叶继新 许 昕 欧少冠

梁喜红 刘振权 陈治坤 包才华

秘 书：饶亚娟

前言

近年来,在政府和经济发展需求的推动下,我国高等职业教育的规模有了很大发展,高职发展已由规模扩展进入内涵建设阶段。而课程建设是高职内涵建设的突破口,加强高等职业教育课程建设的关键就是让高职学生学有兴趣,学有成效。结合学生特点和课程特点,通过项目化课程改造进行课程改革,而项目化课程要转化为具体的教学活动,就必须有相应的教材支持。

本书就是为了高职高专院校电力技术类专业学生开设项目化课程而开发并编写的。编者通过与企业专家研讨,参考了大量文献资料,并总结多年来积累的电能计量教学经验,将相关的理论知识融于项目中,以培养学生职业能力为基础,应用能力为目标。

全书以电能计量装置为载体,贯穿整本教材。本书内容共分4个项目,分别是认识电能计量装置、安装电能计量装置、计量装置验收、抄表技术。每个项目又按照由简到难的原则,划分了若干任务。全书内容既注重了理论知识的学习,又加强了实践技能的训练。

本书由韦佳伟和雷红梅任主编,龙艳红教授任主审。韦佳伟对编写思路与大纲进行了总体策划,并负责全书的组织和统稿;雷红梅负责项目1的编写;马华远负责项目2的编写;黄蓓负责项目3的编写;石帅负责项目4的编写;黔西南民族职业技术学院佟远凤参与编写项目3、项目4的部分内容。本教材的编写得到了南宁供电局计量中心李咏梅、石丹、赵雄、聂晓光的大力支持,他们对本教材的编写提出了宝贵的意见,在此表示感谢。

与本书配套的电子课件下载地址:<http://www.waterpub.com.cn/soft-down/>。

由于时间仓促,编者水平和资料收集所限,书中难免存在错误和疏漏,不妥之处,恳请读者批评指正,不胜感激。

编者

2014年5月

目 录

前言

项目 1 认识电能计量装置	1
任务 1.1 介绍电能计量装置	1
任务 1.2 认识单相电能表	3
任务 1.3 认识三相电能表	11
任务 1.4 认识多功能电能表	13
任务 1.5 认识智能电能表	20
任务 1.6 认识用电信息采集终端	23
思考及练习题	23
项目 2 安装电能计量装置	25
任务 2.1 单相电能表安装接线	25
任务 2.2 直入式三相有功电能表安装接线	29
任务 2.3 三相无功电能表安装接线	33
任务 2.4 三相电能表与互感器安装接线	40
思考及练习题	58
项目 3 计量装置验收	60
任务 3.1 单相电能表校验	60
任务 3.2 三相有功电能表校验	67
任务 3.3 三相无功电能表校验	69
任务 3.4 电子式电能表校验	70
任务 3.5 现场电能表校验	75
任务 3.6 错误接线判断	80
思考及练习题	85
项目 4 抄表技术	87
任务 4.1 本地抄表技术	87
任务 4.2 远程抄表技术	93
任务 4.3 电力负荷控制技术	102
任务 4.4 智能家居	108
思考及练习题	114
参考文献	115

项目1 认识电能计量装置

学习目标

1. 了解电能计量装置；
2. 了解单相电能表的结构、种类、用途、特点和电量的抄录；
3. 了解三相电能表的结构、种类、用途、安装要求和计量装置的配置；
4. 了解多功能电能表的种类、性能和功能；
5. 了解智能电能表的原理、特点和功能；
6. 了解用电信息采集终端的种类和功能。

项目导航

1. 介绍电能计量装置；
2. 认识单相电能表；
3. 认识三相电能表；
4. 认识多功能电能表；
5. 认识智能电能表；
6. 认识用电信息采集终端。

任务1.1 介绍电能计量装置

电力的生产和其他产品的生产不一样，其特点是发、供、用这三个部门连成一个系统，不能间断地同时完成，而是互相紧密联系缺一不可的，它们互相之间如何销售，如何经济计算，就需要一个计量器具在三个部门之间测量计算出电能的数量，这个装置就是电能计量装置。如果没有它，在发、供、用电三个方面就无法进行销售、买卖，所以电能计量装置在发、供、用电过程中的地位是十分重要的。

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，为制订生产计划、搞好经济核算、计收电量提供依据。

在工农业生产、商贸经营等工作用电中，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器具。

电能计量装置为计量电能所必需的计量器具和辅助设备的总称，包括电能表、负荷管理终端、智能计量终端、集中抄表数据采集终端、集中抄表集中器、计量柜（计量表箱）、电压互感器、电流互感器、试验接线盒及其二次回路等。

1.1.1 负荷管理终端

负荷管理终端是安装于专变客户现场的用于现场服务与管理的终端设备，实现对专变



客户的远程抄表和电能计量设备工况以及客户用电负荷和电能量的监控功能。

1.1.2 配变监测计量终端

配变监测计量终端是安装于 10kV 公共变压器现场的用于实现配变供电计量和监测的现场终端设备。配变监测计量终端具备计量和自动化功能。

1.1.3 集中抄表数据采集终端

集中抄表数据采集终端用于采集多个客户电能表电能量信息，并经处理后通过信道将数据传送到系统上一级（中继器或集中器）的设备。

1.1.4 集中抄表集中器

集中抄表集中器用于收集各采集终端的数据，并进行处理储存，同时能和主站进行数据交换的设备。

1.1.5 电能计量柜

对电力客户用电进行计量的专用柜。计量柜包括固定式电能计量柜和可移开式电能计量柜，分专用高压电能计量柜与专用低压电能计量柜。

1.1.6 计量表箱

计量表箱为对客户用电进行计量的专用箱。适合安装电能表、低压互感器、计量自动化终端设备和试验接线盒，适用于 10kV 高供高计、10kV 高供低计和 380V/220V 低压计量方式。

1.1.7 试验接线盒

试验接线盒用于进行电能表现场试验及换表时，不致影响计量和用电的专用接线部件。

1.1.8 测控接线盒

测控接线盒用于进行负荷管理终端的现场试验及接线，不致影响计量和用电的专用接线部件。

1.1.9 电能计量装置的设置

(1) 应在用户每一个受电点内按照不同的电价类别，分别安装电能计量装置，每个受电点作为用户的一个计费单位。

(2) 对用户报装总容量在 100kVA 及以上的，原则上必须采用专变供电。

(3) 电能计量装置原则上应设在电力设施的产权分界处。如果产权处不具备安装条件或者为了方便管理，可调整在其他位置。对专线供电的高压客户，应在变电站出线处计量；特殊情况下，专线供电的客户可在客户侧计量。



(4) 城镇居民用电一般实行一户一表。

(5) 10kV 及以下电力客户处的电能计量点应采用统一标准的电能计量柜(箱), 低压计量柜应紧邻进线处; 高压计量柜则可设置在主受电柜后面。

(6) 计量方式。

1) 低压计量。对于 100kVA 以下的公用变压器供电客户和公用变压器参考计量点, 采用低压计量方式, 按容量分为三相(400V) 计量方式和单相(220V) 计量方式。

a. 低压侧为中性点直接接地系统, 应采用三相四线电能表。

b. 低压供电方式为单相二线者应安装单相电能表。低压供电方式为三相者应安装三相四线电能表。

c. 负荷电流为 50A 及以下时, 宜采用直接接入式的电能表; 负荷电流为 50A 以上时, 宜采用经电流互感器接入式的电能表。

d. 低压供电客户采用专用计量表箱。

2) 高压计量。根据业务扩展要求选择高供高计或者高供低计计量方式。

a. 高供高计。高压侧为中性点绝缘系统, 应采用三相三线多功能电能表。

高供高计专变客户应采用专用计量柜, 对不具备安装高压计量柜条件的, 可考虑采用 10kV 组合式互感器。

b. 高供低计。低压侧为中性点非绝缘系统, 应采用三相四线计量方式。

a) 高压计量电流互感器的一次额定电流, 应按总配变容量确定, 为达到相应的动热稳定要求, 其电能计量互感器应选用高动热稳定电流互感器。

b) 对于 10kV 双回路供电的情况, 两回路应分别安装电能计量装置, 电压互感器不得切换。

c) 10kV 及以下电力客户处的电能计量点应采用统一标准的电能计量柜(箱), 低压计量柜应紧邻进线处; 高压计量柜则可设置在主受电柜后面。

本项目主要介绍单相电能表、三相电能表、多功能电能表、智能电能表和用电信息采集终端。

任务 1.2 认识单相电能表

1.2.1 电能表的发展概况简介

电能表就是专门用于计量某一时间段电能累计值的仪表, 又称为电度表, 如图 1.1 所示。

电能表在世界上的出现和发展已有 100 多年的历史了, 最早的电能表是在 1881 年根据电解原理制成的, 尽管这种电能表箱每只重达几十千克, 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重视和赞扬, 并很快地在工程上得到采用。

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

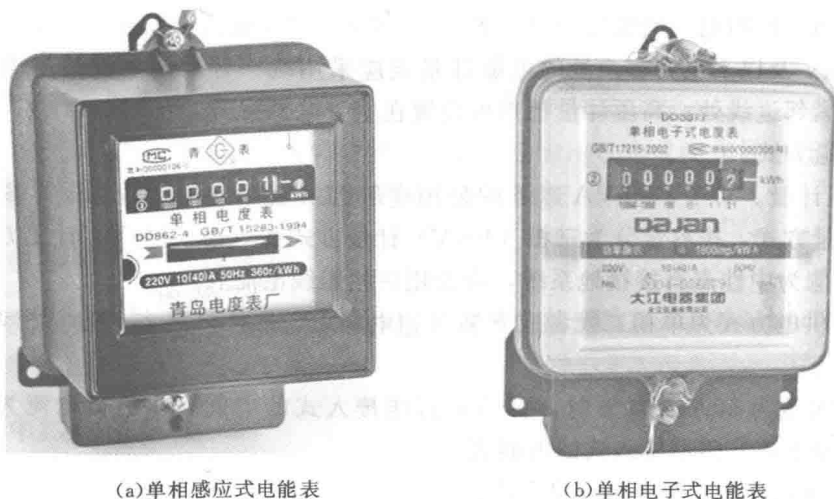


图 1.1 电能表

用、又便于维修和批量生产等一系列优点，所以发展很快。每只单相电能表有的还不到1kg重，精度达到了0.5~0.2级，并且有了几十个品种、规格。随着科学技术飞速发展，电子技术、电子元器件已在一些国家电能表生产中应用，研制生产了电子式电能表。电子式电能表精度高（目前已达到0.01级），具有多路遥测等功能，为电能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20多年的努力，现在电能表生产制造已具备了较高的水平和规模。我国自行设计和大批量生产的各种类型电能表不仅供给国内，还远销国外。目前我国已经具备了国内电能计量需要的各种类型、功能的电能表生产、制造能力。

当今世界发达国家对电能表的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。在提高电能表的质量方面，以提高精度、过载能力和延长一次性使用寿命等几项指标为主要内容，目前生产的单相感应式电能表准确度等级可达到1.0级，三相可达到0.5级（电子式可达到0.2S级）。单、三相电能表过载能力为基本电流的400%~600%，一次使用寿命5~10年或15~30年检验一次。电子式电能表一次寿命可达10年，过载能力为基本电流的400%。近年来，新品种也不断增加，如为了降低高峰负荷、节约能源，电力公司推行的一种分时计量电能表，在电价上奖励避峰用电，收到了很好的效果，成为集多种功能为一体的全电子式多功能表。

1.2.2 电能表的分类及铭牌标志

1. 电能表的分类

为适应工农业生产、商贸的发展、人民生活的需求等现代化进程的需要，电能表的品种、规格不断增加，如今较为繁多，其类别可按不同情况划分如下：

- (1) 按结构和工作原理可分为：感应式、电子式、机电一体式等。
- (2) 按相别可分为：单相、三相三线、三相四线等。



(3) 按功能和用途分为：有功电能表、无功电能表、最高需量表、复费率电能表、多功能电能表、智能电能表、损耗表（线损、铜损、铁损）等。

(4) 按准确度等级可分为：普通级（分为 3.0、2.0、1.0、0.5、0.5S、0.2S 级），标准级电能表（0.2、0.1、0.05、0.02、0.01 级）。更高级别的有进口表，德国、瑞士、美国的能达到 0.005、0.003 级国家级最高标准。

2. 铭牌标志

每只出厂的电能表在表盘上都有一块铭牌。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、电能表常数、频率等项标志以及国批机电产品许可标识、质量技术监督部门的标识等。

(1) 电能表名称。单相电能表、三相三线有功电能表、三相四线有功电能表、三相无功电能表等。

(2) 电能表型号。我国对电能表型号的表示方式规定分三部分：

第一部分：类别代号。

第二部分：组别代号。

第三部分：设计序号。

例如：

DD——单相，DD86 电能表；

DS——三相三线，DS86 电能表；

DT——三相四线，DT86 电能表；

DX——无功电能表；

DZ——最大需量；

DB——标准电能表；

DDY、DTY——预付费电能表；

DDFG、DTFG、DSFG——复费率电能表；

DSD——单相电子式电能表；

DSSD——三相三线式电子式电能表；

DTSD——三相四线式电子式电能表。

(3) 电能表的准确度等级。2 代表 2.0 级，1 代表 1.0 级，0.5 代表 0.5 级。

(4) 电能计量单位。有功电能为“千瓦·小时”（即通常所说的“度”）或 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，无功电能为“千乏·小时”或 $\text{kvar} \cdot \text{h}$ 。

(5) 标定电流（基本电流）和额定最大电流。电能表上作为计算负载的基数电流值叫标定电流，用 I_b 表示。把电能表能长期正常工作，而误差与温升完全满足规定要求的最大电流值称为额定最大电流，用 $I_{\max}$ 表示。电能表铭牌上一般表示 5 (20) A，10 (40) A，20 (80) A。

(6) 额定电压。三相电能表铭牌上额定电压有不同的标注方法，需要说明一下：如标注为 $3 \times 380\text{V}$ ，表示相数是三相，额定线电压是 380V；如标注为 $3 \times 380/220\text{V}$ ，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。如经电压互感器接入式的电能表，一般使用电压互感器额定变比的



形式来标注。如： $3\times 100\text{V}$ ，表示此表额定电压为100V。

(7) 电能表常数。电能表常数指的是电能表计度器的指示数和转盘转数之间的比例常数，常用 C 表示，如 $C=7200\text{r}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ，说明转盘转了7200r，计度器的指示数增加 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

电能表常数： $C=n/W$

式中 n ——转数；

W ——负载所消耗的电能。

在某一测量时间内，负载所消耗的电能 W 与电能表内铝盘的转数 n 成正比。

课堂练习：

某单相电能表2.0级，电能表常数 $2500\text{r}/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 、额定电压220V、标定电流5A，当负载为一只60W的白炽灯时，转盘转10r，用秒表记录时间为 $t=243\text{s}$ ，问该单相表计量是否准确？

例1.1：某用户主要用电器的额定功率见表1.1，黑体字是常用负载。

表1.1 某用户主要用电器的额定功率

用电器	节能灯 5 盏	空调	电视机	电饭锅
额定功率/W	每盏 8	1000	120	1000

问：给该用户选用2.0级的10(20)A和5(10)A的电能表哪个更合适？

解：求用户最大的负载电流为：

$$P=8\text{W}\times 5+1000\text{W}+120\text{W}+1000\text{W}=2160\text{W}$$

$$I=P/U=2160\text{W}/220\text{V}=9.82\text{A}$$

常用负载电流为

$$I=P/U=1160\text{W}/220\text{V}=5.27\text{A}$$

选择5(10)A的电能表比较合适。

例1.2：某用户电能表的铭牌上标有5(20)A，表1.2是他家主要用电器的额定功率。问：该用户的用电器能否同时使用？

表1.2 某用户主要用电器的额定功率

用电器	白炽灯四盏	电热水壶	电视机	空调机
额定功率/W	每盏 60	1000	120	1200

解： $P=60\text{W}\times 4+1000\text{W}+120\text{W}+1200\text{W}=2560\text{W}$

$$I=P/U=2560\text{W}/220\text{V}=11.64\text{A}$$

则可以同时使用。

1.2.3 感应式单相电能表

感应式单相电能表的型号、规格虽然很多，且各有不同，但它们的基本结构及工作原理都很相似。下面主要学习感应式单相电能表的结构及原理。



1. 结构

感应式单相电能表是由测量机构，补偿、调整装置和辅助部件所组成。单相感应式电能表的结构如图 1.2 所示。

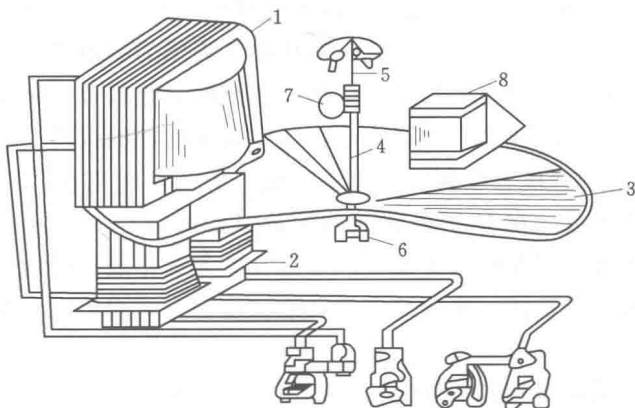


图 1.2 单相感应式—电能表的结构

1—电压组件；2—电流组件；3—圆盘；4—转轴；5—上轴承；6—下轴承；7—计度器；8—制动磁铁

(1) 测量机构。单相感应式电能表的测量机构是电能表的核心部分，它包括以下四部分。

1) 驱动元件。它由电压组件 1 和电流组件 2 组成。其作用是产生驱动磁场，并与圆盘相互作用产生驱动力矩，使电能表的转动部分做旋转运动。

2) 转动元件。由圆盘 3 和转轴 4 组成，并配以支撑转动的轴承。轴承分为上、下两部分，上轴承 5 主要起导向作用；下轴承 6 主要用来承担转动部分的全部重量，它是影响电能表准确度及使用寿命的主要部件，因此对其质量要求较高。感应式长寿命技术电能表一般采用没有直接摩擦的磁力轴承。

3) 制动元件 8。由永久磁铁和磁轭组成，其作用一是在圆盘转动时产生制动力矩使其匀速旋转，其次是使转速与负荷的大小呈正比。

4) 计度器 7。蜗轮通过减速轮、字码轮把电能表圆盘的转数变成与电能量相对应的指示值，其显示单位就是电能表的计量单位，有功电能表的计量单位是 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，无功电能表的计量单位是 $\text{kvar} \cdot \text{h}$ 。

(2) 补偿、调整装置。补偿、调整装置是改善电能表的使用特性和满足准确度要求不可缺少的重要组成部分，单相电能表装有全载调整装置、轻载调整装置、相位角调整装置、防潜调整装置，有些电能表还装有过载补偿装置及温度补偿装置。三相电能表还应装有平衡调整装置。

1) 全载调整装置。就是永久磁铁也就是制动元件，主要在 100% 标定电流时通过改变电能表永久磁铁的制动力矩来改变圆盘的转速。

2) 轻载调整装置。也叫补偿力矩调整装置。装在电压元件上，主要用来补偿电能表在 5%~20% 标定电流范围内运行时的摩擦误差和电流铁芯工作磁通的非线性误差以及由于装配的不对称而产生的潜动力矩。



3) 相位角调整装置。也叫力率调整装置,主要是用于调整电能表电压工作磁通与电流工作磁通之间的相位角使它们之间的相相差满足 $\Phi_U = 90^\circ - \Phi_I$ 的要求,以保证电能表在不同功率因数的负载下都能正确计量。

4) 防潜调整装置。它的作用是制止电能表无负载时的空转现象。有两种方法:一种是在圆盘适当位置打1~2个1mm的小孔,利用小孔周围的涡流变化与磁通之间产生附加制动力矩,防止潜动;另一种是利用改变电压铁芯上的磁化铁片与圆盘转轴上铁丝或铁片之间的距离,改变它们之间防潜力矩的大小,达到防止潜动的目的。

5) 过载补偿装置及温度补偿装置。过载补偿一般固定在电流元件上,过载补偿装置一般用较小的矽钢片制成,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,从而使圆盘转速保持与电流成正比。温度补偿一般固定在磁钢或电压线圈及磁推轴承上。

(3) 辅助部件。辅助部件包括外壳、基架、端钮盒和铭牌。

1) 外壳。表壳、表底组成电能表的外壳。为了防止潮气和灰尘进入表内,要求外壳有良好的密封性能。

2) 基架。要求各种元件本身和元件与元件之间的相对位置安装必须精确、牢固,所以要求基架有足够的机械强度和精密的加工工艺。

3) 端钮盒。电能表的电流、电压回路都是通过端钮盒与外部电路连接的,端钮盖上印有电能表的接线原理图。端钮盖上的螺丝留有封表用的孔洞,可以防止用户私自开启端钮盒影响电能表的正确计量和危及人身安全。

4) 铭牌。电能表的铭牌上通常标注名称、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、电能表常数、频率、制造厂名称或商标、工厂制造年份和厂内编号、电能表产品生产许可证的标记和编号。计度器显示数的整数位与小数位的窗口应有不同的颜色,在它们之间应有区分的小数点、使用条件和包装运输条件分组的代号(将代号置于一个三角形内)、对具有止逆器的电能表应标明“止逆”字样。

2. 工作原理

单相电能表中,驱动元件和转动元件是交流感应式电能表基本结构中的两个主要组成部分,其工作原理是:单相电能表接在交流电路中,当电压线圈两端加以线路电压,电流线圈串接在电源与负载之间流过负载电流时,电压元件和电流元件就产生在空间上不同位置,相角上不同相位的电压和电流工作磁通。它们分别穿过圆盘(根据电工学的右手定则原理)在圆盘中产生感应涡流(电流),于是电压工作磁通与电流工作磁通产生的感应涡流(电流)相互作用(根据电工学的左手定则原理),结果在圆盘中就形成以圆盘转轴为中心的转动力矩,使电能表圆盘始终按左手定则指示的方向转动起来。

左手定则:伸开左手,使大拇指跟其余四指垂直并且跟手掌处于一个平面内,把手放入磁场中,让磁感线垂直穿入手心,并使4指指向电流方向,那么大拇指所指的方向就是通电导线在磁场中所受电磁力的方向。

右手定则(安培定则):用右手握住螺线管,让弯曲的四指所指方向与电流方向一致,大拇指所指的方向就是螺线管内部磁力线的方向。



在以上内容的基础上，进一步分析单相电能表产生转动力矩的过程和原理，如图 1.3 所示。

电能表正确接入电路后，电压线圈与负载并联，其两端有电压 u ，产生工作磁通 $\dot{\Phi}_U$ ；电流线圈与负载串联，流过工作电流 i ，产生工作磁通 $\dot{\Phi}_I$ 、 $\dot{\Phi}_I'$ 。交变的工作磁通 $\dot{\Phi}_I$ 、 $\dot{\Phi}_I'$ 和 $\dot{\Phi}_U$ 穿过圆盘时，在圆盘上产生相应滞后 90° 的感应电动势以及感应电流（涡流） I_{PI} 、 I_{PI}' 和 I_{PU} 。

由于电压工作磁通 Φ_U 与电流工作磁通产生的感应电流 I_{PI} 、 I_{PI}' ；电流工作磁通 Φ_I 、 Φ_I' 与电压工作磁通产生的感应电流 I_{PU} ，在空间上不重合，在时间上存在着相位差，就会产生电磁力的作用，该力在圆盘上产生综合的驱动力矩 M_Q ，使电能表的圆盘按照该力矩的方向转动。通过电路理论分析推导，可知

$$M_Q = K \Phi_U \Phi_I \sin \Phi$$

式中 K ——驱动力矩常数，决定于电能表的结构；

Φ —— $\dot{\Phi}_U$ 与 $\dot{\Phi}_I$ 的相位差角， $\Phi \neq 0$ 。

即驱动力矩的大小是正比于电压工作磁通 Φ_U 、电流工作磁通 Φ_I 与这两个磁通相位差的正弦之积。

电压工作磁通 $\dot{\Phi}_U$ 一次穿过圆盘，而电流工作磁通从不同位置两次穿过圆盘，相当于有大小相等、方向相反的两个电流工作磁通 $\dot{\Phi}_I$ 和 $\dot{\Phi}_I'$ 作用在圆盘上面，这样电压和电流工作磁通就相当于有 3 束磁通作用在圆盘上，它们的相位不同、空间位置不重合，这是产生驱动力矩的必要条件，通过分析可知驱动力矩 M_Q 的方向总是由相位超前的磁通所在的空间位置指向相位滞后的磁通所在的空间位置。

然而，当电能表仅仅有驱动力矩作用时，圆盘将作匀加速运动，这样，便破坏了驱动力矩与负载功率成正比的关系。为了使圆盘转动速度始终保持与负载功率成正比，必须在电能表中装设永久磁铁用以产生与驱动力矩方向相反的制动力矩。当驱动力矩与制动力矩处于平衡时，圆盘就可以在一定的功率下作匀速转动了。所以，永久磁铁的作用就是使圆盘在一定的功率下做匀速转动，以保证驱动力矩与负载功率成正比。

假如永久磁铁的磁通 Φ_T 自上而下穿过圆盘，当圆盘在驱动力矩 M_Q 的作用下，按逆时针方向旋转。磁通 Φ_T 被圆盘切割，因而在圆盘上产生感应电流 I ，感应电流 I 的方向以右手定则判断，感应电流 I 与磁通 Φ_T 相互作用产生电磁力 F_T ，其方向以左手定则判断。在电磁力 F_T 的作用下形成与驱动力矩方向相反的制动力矩 M_T ，因此，使圆盘受到制动，以实现在一定功率下做匀速转动。

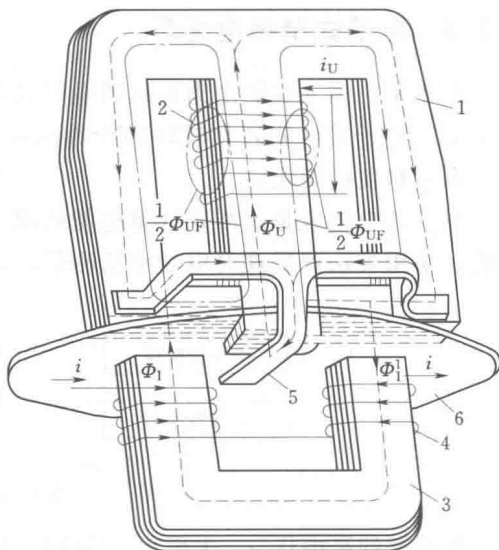


图 1.3 电能表内磁通的分布情况

1—电压铁芯；2—电压线圈；3—电流铁芯；
4—电流线圈；5—回磁板；6—圆盘



1.2.4 电子式单相电能表

近年来,进入我国电力系统的电子式电能表逐年增多,并广泛应用在电能计量和计费工作中。电子式电能表有较好的线性度和稳定度,具有功耗小、电压和频率的响应速度快、测量精度高等优点。

电子式电能表是怎样来计量电能的呢?电子式电能表是在数字功率表的基础上发展起来的,采用乘法器实现对电功率的测量,其工作原理框图如图1.4所示。



图 1.4 电子式电能表工作原理框图

被测量的高电压 u 、大电流 i 经电压变换器和电流变换器转换后送至乘法器 M ,乘法器 M 完成电压和电流瞬时值相乘,输出一个与一段时间内的平均功率成正比的直流电压 U ,然后再利用电压/频率转换器, U 被转换成相应的脉冲频率 f ,将该频率分频,并通过一段时间内计数器的计数,显示出相应的电能。

1. 用途

用于低压电力用户集中抄表系统,实现单个居民用户的用电计量和低压电力线载波通信。

2. 主要功能

(1) 采用低功耗高性能的微处理器,整表外围元器件少,结构简单,能长期安全可靠地运行。

(2) 有功电能计量准确,长期工作不须调校。

(3) 采用扩频方式实现电力线载波通信,数据传输准确可靠,支持三级中继功能。

(4) 具有断送电控制功能。

(5) LCD 显示,停电常显总电量。

(6) 红外通信,可实现本地抄表。

3. 主要特点

(1) 电量冻结。电表在每月 1 日零点自动冻结当时电量成为上月末电量,并保存最近 3 个月的冻结电量;电表自动冻结每日零点和每小时整点的电量,每日零点电量保存 8 日,每小时整点电量保存 48h。

(2) 通断电及指示。可通过低压电力线载波通信对电能表进行远程断送电控制,电表收到断电命令后,为保护继电器,在电流不大于 $0.5I_b$ 的情况下执行断电操作,收到送电命令后立即执行送电操作,电表断电后拉闸指示灯点亮。

(3) 时钟及停电显示。表内带有时钟,并可在年月日相同时进行广播对时。外部电源失电后,由环保柱式锂电池支持 LCD 停电常显当前电量并维持电表时钟运行可达 3 年以上。



1.2.5 电量的抄录

1. 电量的抄录方式

- (1) 使用抄表卡手工抄表。
- (2) 使用抄表微机手工抄表。
- (3) 远红外抄表。
- (4) 集中抄表系统抄表。
- (5) 远程（负控）抄表。

2. 抄录工作顺序

- (1) 了解所负责抄表的区域和用户情况，特别是新用户的基本资料。
- (2) 掌握抄表日的排列顺序。
- (3) 合理设计抄表线路。
- (4) 检查应配备的抄表工具。

3. 抄录新装和变更用户电量时注意事项

- (1) 核对用户的户名、地址、电表编号。
- (2) 核对用户的用电性质、电价、互感器变比、变压器容量。
- (3) 核对电能计量装置情况。
- (4) 核对总、分表关系。
- (5) 核对功率因数调整电费考核标准是否正确。

任务 1.3 认识三相电能表

1.3.1 三相感应式电能表和三相电子式电能表

三相感应式电能表与单相感应式电能表在结构上的不同点是电磁组件和圆盘个数不等，因而基架、底座、外壳等都存在一定的差异，但其转动原理都完全一样，由测量机构和辅助组件两大部分组成。常见的感应式三相电能表有三相三线两元件电能表和三相四线三元件电能表，主要可以分为三相三线有功电能表、三相三线无功电能表、三相四线有功电能表、三相四线无功电能表等。内部示意图如图 1.5 所示。

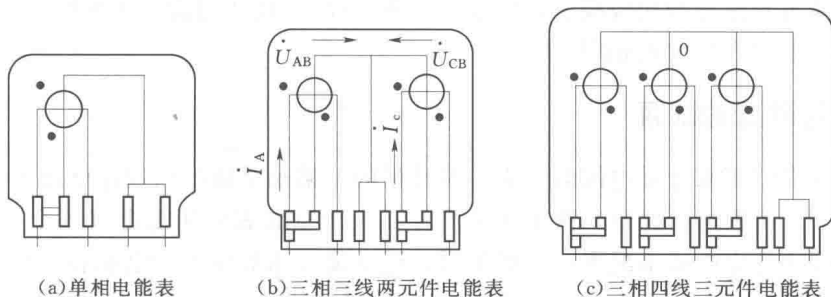


图 1.5 电能表的内部示意图