

电能计量基础及新技术

DIANNENG JILIANG JICHU JI XINJISHU

主编 吴安岚 副主编 李书跃 郑小平



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

电能计量基础及新技术

DIANNENG JILIANG JICHU JI XINJISHU

主编 吴安岚 副主编 李书跃 郑小平 参编 刘朝山 杨秀清



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共有 10 章。首先,介绍了电能计量的基本知识,使读者对电能计量有一个整体认识。接着,从电能计量装置的信号源器件——互感器开始,介绍了各种互感器、电能表的结构、原理,如何选择、如何使用。然后,从电能计量装置的整体出发,介绍各种计量方式的接线。接下来是接线安装、接线检查和异常计量的判断与处理。最后,是反窃电技术与电能计量管理。书中介绍了电子式电能表、远方抄表、光互感器及电子式互感器、计量器具及用户的条形码管理、综自站电能计量、反窃电技术、电能量信息的分类与编码、检查错误接线、无功电能计量等方面的新技术。

本书适合于供电公司在计量岗位及相关岗位的现场技术人员和技术工人学习、阅读,可作为供电公司的培训教材和干部的技术读本,也可供电力类大中专学生学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电能计量基础及新技术/吴安岚主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2004
ISBN 7-5084-1906-5

I. 电... II. 吴... III. 电能—电量测量
IV. TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004082 号

书 名	电能计量基础及新技术
作 者	主编 吴安岚 副主编 李书跃 郑小平
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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 16.75 印张 397 千字
版 次	2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷
印 数	0001—4100 册
定 价	36.00 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

前 言

目前图书市场上,有关电能计量的书分为三类:一类是供科研人员、校表人员及电能计量管理干部阅读的理论书籍,推导严谨,篇幅较长;一类是供电能计量工种竞赛、定岗用的题库,针对性强,专业面集中;第三类是供与电能计量有关的在现场工作的技术人员及技术工人阅读的基础教材,重在基础环节、实践环节,理论知识要求较全面但不深奥,篇幅适中,适用面宽。本书编写面对的读者属于后一类,适合于在电力市场营销中与电能计量有关的十几个工种的现场人员阅读。

在编写中,我们注意到讲解理论知识要通俗易懂,讲清来龙去脉,深入浅出,使工人们愿意看,看得懂,记得住;选择的材料要符合目前现场的实际,过时了已被淘汰的接线和产品不再出现,以免混淆正确与错误的界线;详细、全面地介绍了电子式电能表的结构、原理、用途及发展前景;编写中贯穿了电能计量技术规范的要求,强化了接线的规范性,对与计量正确性相联系的接线检查、异常计量的判断与处理、反窃电技术等问题,用了较大的篇幅;最后一章讲述了电能计量管理体系。本书的另一个显著特点是,跟上了电能计量新技术的发展步伐,向读者介绍了一系列电能计量的新技术。

本书的第1、2、3、7章由吴安岚编写,第4、5章由郑小平、李书跃编写,第6、8、9章由吴安岚、刘朝山、杨秀清编写,第10章由李书跃、吴安岚编写。全书写成后由吴安岚及李书跃统稿。全书请张道纲教授和王学信总工程师审稿,感谢他们提出了许多宝贵的意见。在编写过程中,我们得到了西北电力职工培训中心领导、长沙市电业局领导、长沙威胜电子有限公司领导的支持,还得到了长沙电业局、西安供电局、延安供电局、临汾供电局同行们的帮助,在此一并谨向他们表示衷心的感谢,并致以崇高的敬意。

由于编者水平有限,书中一定还存在有不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2003年7月

目 录

前言

第 1 章 电能计量基本概念	1
1.1 电能计量装置与电能计量管理简介	1
1.2 电能计量装置的类别与接线方式	2
1.3 互感器简介	5
1.4 电能表简介	7
1.5 各种结构电能表的比较	13
第 2 章 电能计量用互感器	22
2.1 电流互感器	22
2.2 电压互感器	29
2.3 其他互感器介绍	33
第 3 章 感应式电能表	36
3.1 感应式电能表的结构	37
3.2 感应式电能表的工作原理	41
3.3 感应式电能表的误差及调整	45
3.4 长寿命感应式电能表	50
3.5 感应式电能表的选择	52
第 4 章 电子式电能表	53
4.1 电子式电能表的一般结构与原理	53
4.2 电能测量的原理	60
4.3 数据处理及功能实现电路	72
4.4 电子式电能表的使用	92
第 5 章 特殊电子式电能表和自动抄表系统	102
5.1 IC 卡预付费电能表	102
5.2 机电一体化电能表	112
5.3 自动抄表系统	117
第 6 章 电能计量方式	128
6.1 单相电能表的接线方式	128
6.2 三相三线有功电能表的接线方式	129
6.3 三相三线无功电能表的接线方式	130
6.4 三相四线制有功电能表的接线方式	133
6.5 三相四线制无功电能表的接线方式	134
6.6 新型无功电能表的计量方式	135

6.7 电能计量专用接线端子盒与电能计量屏(箱)	137
6.8 电能计量装置的综合误差	138
第7章 电能计量装置的接线安装与接线检查	144
7.1 电能计量装置的接线安装	144
7.2 电压互感器的接线检查	146
7.3 电流互感器的接线检查	150
7.4 误接线下更正系数的定义及意义	152
7.5 三相三线有功电能计量装置的误接线综合分析	157
7.6 三相三线电能计量现场接线模拟装置的应用	172
7.7 三相四线有功电能计量装置的误接线综合分析	190
7.8 无功电能表的更正系数	195
第8章 异常计量的判断与处理	199
8.1 用“瓦一秒法”初略测定电能表的误差	200
8.2 异常计量退补电量的计算	204
第9章 电能计量中的反窃电技术	211
9.1 反窃电的法律知识	211
9.2 窃电的一般手段	215
9.3 利用电专业技能窃电	217
9.4 反窃电的管理与技术	220
9.5 高科技防窃电简介	225
9.6 查窃电的技巧	229
第10章 电能计量管理	234
10.1 电能计量管理的职能	234
10.2 电能计量设备的管理	237
10.3 电能计量工作的安全管理	242
10.4 电能计量装置的设计审查	244
10.5 电能计量装置的现场维护	245
10.6 电能计量防伪铅封钳与铅封的管理	249
10.7 关口电能计量装置的管理	251
10.8 电能量的采集与分析系统介绍	253
10.9 单相预付费电能表的管理	257
参考文献	261

第 1 章

电能计量基本概念

在电力市场的整体运作中，电能计量装置的读数作为电力产品贸易结算的依据，已越来越受到贸易双方的重视，是贸易双方经济核算的重要指标。随着我国加入 WTO、融入国际大市场的步伐，工农业生产的自动化程度及劳动生产率已大大提高，降低产品的电能成本已成为广大电力用户追求的目标，人们比过去更加重视电能计量的准确性。电力行业现已厂网分家，今后还可能输、配、售分开核算，独立经营，电力生产企业之间的电能计量装置，其性质由内部核算变为贸易核算，是质的变化。电力市场中的发电公司、电网公司、供电公司、用电客户，分属于电力系统中的上、下游产业，相互之间均有对电能量的计量及贸易结算业务，相互间的经济关系靠“电能计量装置”这杆“秤”来裁定，加之城乡广大居民客户推行一户一表，工商客户推行分时电价，集中用户推行集中抄表，大电力客户实行远方抄表及远方监控，特定用户推行预付费电能表，大用户推行安装无功电能表、最大需量表，所以整个电力市场中电能计量装置的数量、类型，在近几年间急骤增多，新技术含量大幅度提高，电能计量在电力市场中的地位显著提高。

必须加强电能计量基础知识的学习，加强电能计量新技术的学习，使电能计量工作管理规范化，符合国家标准，计量准确可靠，接线正确统一，为查获违章用电及防止窃电提供良好的技术环境，为处理电费纠纷提供理论依据，从而降低管理线损，降低供电成本，提高供电企业的综合效益。最终达到稳定电价、开拓电力市场，服务于人民、服务于社会，增强我国工农业产品的国际竞争力的目的。

1.1 电能计量装置及电能计量管理简介

电能计量是由电能计量装置来确定电能量值的一组操作，是为实现电能量单位及其量值准确、可靠的一系列活动。

电能计量装置的原理框图如图 1-1 所示。用户供电线路分支是与高压配电系统相连接的，要对这个高压供电系统分支的电能进行计量，首先要通过电压信号源器件将高电压信号成正比地变为低电压信号，通过电流信号源器件将大电流信号成正比地变为小电流信号；然后通过传输线将这个低电压、小电流信号传输给电能量采样、测量、计算、显示、存储器件。电压信号源器件一般选用电磁式电压互感器，也有用电容分压器或电阻分压器的，高

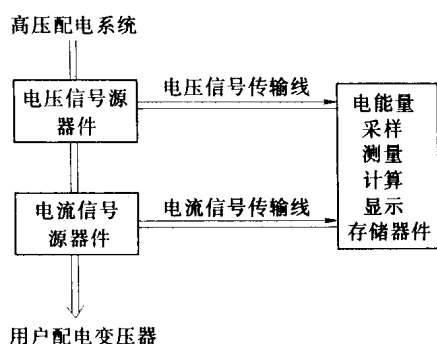


图 1-1 电能计量装置的原理框图

新技术选用光电压互感器；电流信号源器件一般选用电磁式电流互感器，高新技术选用电子式电流互感器、光电流互感器；传输线一般选用电缆，高新技术选用光缆；电能量采样、测量、计算、显示、存储一般由电能表来完成，高新技术直接用计算机来取代电能表。

目前广泛使用的电能计量装置包括：计量用电流电压互感器、电能表、互感器与电能表之间的二次回路、电能计量箱（柜）、电能计量集抄设备等。

电能通过电网传输会产生网损，通过专线传输会产生线损，一个变压器台区变压器的供电量会大于售电量之和，其差值也称为线损。线损造成的经济损失使输电、供电成本加大，电力系统中各级电能计量装置计量结果正确与否会影响每段线路记录的线损大小，影响线损的归属，是个值得注意的经济问题。在一些发达国家，电能计量工作由独立的计量装表公司、技术监督部门来管理，这可使发电、供电、用电各方的经济利益得到保护，使电力市场更加公平、公正。

对电能计量装置管理的目的是为了保证电能计量量值的准确、统一和电能计量装置运行的安全可靠。

对电能计量进行管理包括：计量方案的确定；计量器具的选用、订货验收、抽检、周期轮换、周期检定、耐压走字、检修、保管、报废；电能计量装置的数据安全与闭锁；电能计量装置的线路设计及审查、设备安装及竣工验收；现场运行维护巡视，现场接线检查，现场误差检验，故障处理；查获跨越或围绕计量装置实施的窃电事件；异常电量的退补计算；电能计量资产及账务管理；电能计量数据的分析与统计；有时还要涉及到与电能计量有关的失压计时器、失流计时器、防窃电器，电能量抄核收计费系统，远方集中抄表系统，综自站的自动监测系统等相关内容。

在供电公司，以上内容牵涉到的工种或班组有：客户代表、营业接洽、资产采购、用户配电装置设计审查及施工、反窃电稽查大队、装表接电工、电能表校验工、电能表修理工、计量内外勤工、互感器校验工、计量器具资产管理、电能计量数据统计员、用电监察（检查）员、营业普查员、计量微机管理员、电量电费抄核收人员、变电运行人员等等，在这些工种工作的员工和各级干部都必须学习、掌握电能计量知识，并且不断进行知识更新，以适应不断向前发展的电能计量新科技。

1.2 电能计量装置的类别与接线方式

1.2.1 电能计量装置的类别

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性程度分为五类。

I 类电能计量装置：月平均用电量 500 万 kWh 及以上或变压器容量为 1 万 kVA 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电量交换点、省级电网经营企业与其供电企业的供电关口计量点的电能计量装置。

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

Ⅲ类电能计量装置：月平均用电量 10 万 kWh 及以上或变压器容量为 315kVA 及以上的计费用户，100MW 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。

Ⅳ类电能计量装置：负荷容量为 315kVA 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。

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。

显然，从Ⅴ类至Ⅰ类，随着贸易电量的增多及计量对象重要性的递增，所配置的电能表、互感器设备的准确度等级也随之递增，并应符合表 1-1 所列值。

表 1-1 五类电能计量装置所配设备的准确度等级

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

* 0.2 级电流互感器仅指发电机出口电能计量装置中配用。

其中“0.2s”或“0.5s”中的“s”，表示这种电能表或互感器要求在极低负荷下的准确度比一般同等级的表计要高。如非“S”级电能表在 5% I_b 以下没有误差要求，而带“S”级电能表在 1% I_b 即有误差要求，周检时要求在这个负荷点校验其准确性。

1.2.2 电能计量装置的接线方式及配置原则

110kV 及以上电压等级的高电压、大电流接地系统，是中性点直接接地系统，其 TV 常采用 3 台单相电压互感器按 YNyn 方式接线，同时接入 3 台单相电流互感器，用三相四线有功、无功电能表进行计量，表型最好采用三相四线多功能电子式电能表。35kV 电压等级的中性点绝缘系统，可采用 Yyn 接线方式的电压互感器及三元件电流互感器将信号接入至有三组电能采样元件的有功、无功电能表进行计量。35kV、10kV 电压等级的城乡配电网，均是中性点绝缘系统，中性点无任何接地线，电能计量装置若安装在用户配电变压器的一次高压侧，称为高压计量方式，俗称“高供高计”，一般通过 Vv 接线方式的电压互感器及两元件电流互感器接入至三相三线有功、无功电能表，这种表表内只有两组电能采样元件；10kV 供电，用户变压器容量小于 315kVA 时，为了节省用户申请接电的一次性投资，开拓电力市场，可采用低压计量方式，俗称“高供低计”，电能计量装置安装在用户变压器的低

压侧，低压侧中性点有接地线，必须采用 3 台电流互感器接入三相四线有功、无功电能表进行计量，这种表表内有三组电能采样元件，同时每次抄表加计变压器的电能损耗。

单相供电电流超过 40A 时宜采用三相四线制供电，以平衡各相负荷，增强安全保障。三相低压供电最大负荷电流在 50A 以上时宜采用电流互感器接入电能表。

贸易结算用的电能计量装置原则上应设置在供用电设施产权分界处；在发电企业上网线路、电网经营企业间的联络线路和专线供电线路的两侧均应设置结算用、考核用电能计量装置。

I、II、III 类贸易结算用的电能计量装置应按计量点配置专用电压、电流互感器或者专用二次绕组。电能计量专用电压、电流互感器或专用二次绕组及其二次回路不得接入与电能计量无关的设备。

计量单机容量在 100MW 及以上发电机组上网贸易结算电量的电能计量装置和电网经营企业之间购销电量的电能计量装置，宜配置准确度等级相同的主、副两套有功电能表。即在同一回路的同一计量点安装一主一副两套电能表，同时运行、同时记录，实时比对和监测，以保证电能计量装置的准确、可靠，避免大的差错出现。

35kV 以上贸易结算用的电能计量装置中电压互感器二次回路，应不装设隔离开关辅助接点，但可装设熔断器；35kV 及以下贸易结算用的电能计量装置中电压互感器二次回路，应不装设隔离开关辅助接点和熔断器。

两元件电流互感器宜采用四线连接，三元件电流互感器宜采用六线连接，即采用分相接线方式，不提倡采用电流互感器的公共回线。电流互感器二次端子与试验端子盒之间的二次回路导线上，不允许有接头，应采用直达线。

安装在用户处的贸易结算用的电能计量装置，10kV 及以下电压供电的用户，应配置符合全国统一标准 GB/T16934 的电能计量柜或电能计量箱；35kV 电压供电的用户，宜配置符合全国统一标准 GB/T16934 的电能计量柜或电能计量箱。

贸易结算用高压电能计量装置应装设电压失压计时器。未配置计量柜（箱）的，其互感器二次回路的所有接线端子、试验端子应能实施铅封。

执行功率因数调整电费的用户，无功电能应就地平衡，除安装有功电能表外，还要安装能分别累计感性和容性无功电能的无功电能表。用户应在提高用电自然功率因数的基础上，按有关标准、设计和安装无功补偿设备，并做到随其负荷和电压变动及时投入或切除，防止无功电能倒送。

另外实行两部制电价的用户，需安装最大需量表或有计量最大需量功能的多功能电能表。执行分时电价的用户，需安装具有分时计量功能的复费率电能表或多功能电能表。

带有数据通信接口的电能表，其通信规约应符合 DL/T645 的要求。

具有正反向送电功能的计量点，如有供、受电量能力的地方电网、有自备发电设备的用户、省际电网间的关口变电站等均应装设能计量正反向有功电能及四象限无功电能的电能表。

有两路及两路以上供电线路或供电电源的重要用户，每一路均应分别安装计量装置。

不同用户应分别安装电能计量装置。同一用户有不同电价类别的用电设备时，对每一类别必须分别安装电能计量装置，不得混计。

1.3 互感器简介

互感器分为电压互感器与电流互感器两种，它起着一次系统和二次系统之间的桥梁作用。

1.3.1 互感器的作用

在计量高电压、大电流系统的电能时，要用到电压互感器，按电压互感器的变比 K_u 降低电压；用到电流互感器，按电流互感器变比 K_i 来缩小电流，使接到二次侧的电能表能够准确、安全地计量电能。此时所计电能量 W 为：

$$W = (\text{本月抄见数} - \text{上月抄见数}) K_u K_i$$

尽管一次电压与电流有各种不同的值，但通过合理选择互感器变比，可使电压互感器的二次额定线电压统一为 100V，使电流互感器二次额定电流统一为 5A（或者 1A），这样可使电能表制造规格单一化、标准化，使电能表校准及资产管理时的程序简单化、规范化。

现在一般将电流互感器简称为 TA，将电压互感器简称为 TV。电流互感器过去的简称是：CT、LH；电压互感器过去的简称是 PT、YH，这些简称现在还经常出现在各种书刊、文献上。

1.3.2 测量用电流互感器介绍

电流互感器的准确度等级有：0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、3.0、10 级，其中 0.1 级及以上各级别的为标准互感器，在实验室及标准仪器中使用；0.2、0.5 级用于电能计量；1.0 级及以下用于电流、功率、功率因数等电量的监视测量，还用于继电保护装置中。

电流互感器根据一次绕组匝数可分为单匝式和多匝式，根据铁芯多少可分为单铁芯和多铁芯。

单匝式电流互感器结构简单，尺寸小，价格低，通过短路电流时稳定性较好，但是当被测电流很小时测量准确度低。因此，单匝式电流互感器一次的额定电流一般为 150A 以上，一次额定电流超过 600A 的电流互感器都制成单匝式。

多匝式电流互感器，其一次绕组由穿过环形铁芯的多匝绕组构成，由于一次绕组匝数较多，所以即使一次电流很小，也能获得较高的准确度，但构造比较复杂，且不能做成母线型 TA。

多匝式电流互感器还可以有两个或两个以上的铁芯，每个铁芯都有自己单独的二次绕组，一次绕组为两个铁芯共用。因此，在不改变电流互感器的尺寸，且造价增加不多的情况下可得到两个电流变比。两个铁芯的二次绕组互不影响，因为改变一个二次绕组的负荷时，一次电流值并不改变，所以对第二个铁芯没有影响。国内生产的 35kV 及以上的电流互感器，还可根据需要作成具有三个铁芯或四个铁芯的结构，以供多种测量、控制所需。

电流互感器的类型根据安装方式可分为穿墙式、支柱式和套管式；根据安装地点可分为户内式和户外式；根据绝缘方式可分为环氧树脂浇注绝缘式、油浸瓷绝缘式、支柱绝缘

式等。

电压为 110kV 的电流互感器的一次绕组，由相同的两段组成，可串联或并联连接，这样使同一个电流互感器适用于两个不同的额定一次电流值。电压为 220kV 的电流互感器的一次绕组由四段组成，四段间可串联、两两串联后并联或四段并联，故可适用于三种不同的额定一次电流值。

1.3.3 测量用电压互感器介绍

准确度等级为 0.1 级以上的电压互感器为标准互感器，在实验室及标准仪器中使用；0.2、0.5 级用于电能计量；1.0 级用于电压、功率、功率因数等电量的监视测量；3.0 级用于继电保护装置中。电压互感器的测量准确度与接入的二次负荷大小有关，二次负荷阻抗值越大、二次负荷电流越小表明负荷越轻，随着二次负荷电流的增大电压互感器的比差会从正值变为负值，只有在实际二次负荷等于额定二次负荷时误差才最小。

电压互感器根据绝缘方式一般分为干式、浇注绝缘式和油浸式三种。油浸式电压互感器又分为普通结构和串级式两种。

干式电压互感器仅用于电压为 6kV 及以下的空气干燥的屋内配电装置中，其主要优点是重量轻、无着火和爆炸的危险。

浇注绝缘式电压互感器供 3~35kV 电压等级户内使用，如 JDZ—10 型为单相双绕组环氧树脂浇注绝缘式电压互感器，其一次绕组额定电压为安装点系统的线电压。JDZJ 型为单相三绕组环氧树脂浇注绝缘式电压互感器，其一次绕组额定电压为安装点系统的相电压。

油浸式电压互感器分为普通式和串级式两种。普通式用于 3~35kV 系统，串级式用于 110kV 及以上系统。普通结构的油浸式电压互感器由铁芯、绕组、油箱和瓷套管等组成。铁芯和绕组浸在充有变压器油的油箱中，绕组的引出线通过瓷套管引出。

串级油浸式电压互感器的电压等级为 110kV 及以上，这种电压互感器的铁芯和绕组装在充油的瓷外壳内。普通结构的电压互感器中，高压一次绕组与铁芯和副绕组之间，是按装置的全部线电压来进行绝缘的，而在串级式电压互感器中，其绝缘是均匀分布于各级的，每一级只处在装置的一部分电压之下，各级之间串接起来，因此可将 110kV 及以上的高压分降在各级中，从而降低了绝缘要求，可大量节约绝缘材料。

电容分压式电压互感器广泛用于 110~330kV 中性点直接接地的电网中，基本原理是电容分压。

1.3.4 光互感器介绍

光互感器是高新技术在互感器设计中的应用，它分为两类：一类是光电压互感器 OPT (Optical Potential Transformer)，原理是波克尔斯 (Pockels) 电光效应；另一类为光电流互感器 OCT (Optical Current Transformer)，原理是法拉第 (Faraday) 磁光效应。利用波克尔斯电光效应和法拉第磁光效应来实现从一次电压、一次电流到光的转换，用光信号而不是电信号作为测量信息的载体，接着用光纤而不是用金属导线来传递测量信息，然后经过光电变换后，可重新取出相应的电信号，供后续电能测量线路和单片机处理。

OPT 的测量原理是根据波克尔斯电光效应来实现的，波克尔斯电光效应是指某些透明

光学介质(如 BGO 晶体), 在外电场作用下, 其折射率线性地随外电场改变。在外电场 E 作用下, BGO 晶体由各向同性变成各向异性的双折射晶体。当线偏振光投射到双折射晶体的端面, 入射光束就会变成初相角相同而电位移矢量互相垂直的两束光, 由于它们在 BGO 晶体中的传播速度不同, 出射时有一定相位差, 采用检偏器将互相垂直的两束出射光变成偏振相同的相干光, 产生相干干涉, 从而将相位调制光变成振幅调制光, 将相位差的测量转化为光强的测量, 最后获得被测电压值。由于 OPT 是被测母线的电场在影响传感头, 传感头放置的位置影响电压信号的获取, 必须寻找合适的位置, 使电场与电压成正比, 还要克服邻近相电场及地电位的影响。

OCT 的测量原理是根据法拉第磁光效应来实现的, 法拉第磁光效应是指一束线偏振光在磁场作用下通过磁材料时, 它的偏振面将发生偏转, 偏转的角度与产生该磁场的被测母线中的电流成正比。

与传统的电磁式互感器相比, 光互感器具有以下明显优势: ①体积小、质量轻; ②抗干扰能力强, 具有良好的绝缘性能, 可降低互感器在保证其绝缘性能上的投资; ③不会产生磁饱和现象, 可以完整地传递交、直流信号, 能同时满足计量和继电保护的需要, 避免多个 TA 的重复投资, 实现信息共享; ④测量准确度和灵敏度较高, 动态范围大, 其额定电流可由几十安至几千安, 过电流范围可达几十万安; ⑤具有良好的频率特性, 响应速度快, 可测出高压线路的谐波电流, 进行电流暂态、高频大电流的测量, 捕获故障时瞬变过程中的电流波形; ⑥可与光纤通信系统相结合, 构成可靠地检测、传输一体化的数据采集系统; ⑦具有很高的性能价格比。

由于光学材料本身难以克服的双折射和温度稳定性影响, 光互感器长期运行结果目前还不理想, 实用化进程比较缓慢, 存在一些不足。但中外科研人员对此 20 年来不懈的努力及现场运行结果是令人鼓舞的。可以预见, 光互感器在电能计量及继电保护方面拥有广阔的应用前景。

1.4 电能表简介

电能表由爱迪生 1881 年首先发明。100 多年来, 各国在电能表的原理、结构、材料、工艺、准确度、过载能力、一次寿命、功能多样化、自动化程度上展开了激烈竞争, 使电能表行业发生着日新月异的变化。

1.4.1 电能表的作用

电能表除在电力市场中做贸易结算依据外, 发电厂还用它计量厂用电量; 供电公司用它测量每条线路的实际线损; 工农业用户用它计算单位产品耗电量, 进行电能成本核算; 电力系统从发电厂直至电力用户每个企业与其下属车间、分公司、各部门之间用它计量分电量, 以便内部经济承包核算。

1.4.2 电能表的分类

电能表按所测电能种类分, 可分为有功电能表、无功电能表、直流电能表三种, 后者

一般用于特殊行业，不用于电力贸易计量。有功电能表计量用户实际消耗的电能 $W_{有}$ ，这些电能已经不可逆转地变成了机械能、热能、光能、化学能、生物能等。无功电能表用于计量用户的无功电能 $W_{无}$ ，无功电能 $W_{无}$ 是用户的感性无功电能和容性无功电能的绝对值之和。无功电能不是用户消耗的电能，而是用户曾经存储起来的电能，这部分电能会与电网进行能量交换。计量无功电能的目的，是要核算用户一个抄表期内的平均功率因数 λ ，即平均力率，即

$$\lambda = \cos \phi = \frac{W_{有}}{\sqrt{W_{无}^2 + W_{有}^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (W_{无}/W_{有})^2}}$$

用户消耗的无功电能越多，平均功率因数就越低，配电网在为用户输送这些无功电能时，要增加的线损就越多，增加了供电成本。因此在电费结算时要对功率因数进行考核，功率因数高的用户，供电公司对其在电费中要进行奖励，反之功率因数低则要给予适当的处罚，用经济杠杆来鼓励用户提高本单位的功率因数。

电能表按相别及接线方式分，可分为单相、三相三线制和三相四线制三种。

按电压等级分可分为高压表、低压表两种，前者因为要配接电压互感器，其额定线电压为 100V，后者额定相电压统一为 220V。

按电流的测量范围分，可分为直通表和经电流互感器接入两种，后者的额定二次电流一般为 1.5 (6) A，330kV 及以上电压等级的计量装置中采用额定二次电流为 0.3 (1.2) A 的电能表，配上各种不同变比的电流互感器，可用来测量不同负荷容量用户的电能。

按准确度等级分，可分为 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、2.0、3.0 级等等。准确度等级的数字越小，准确度等级越高。0.01~0.1 级一般作为计量室标准使用，其他等级在现场使用。所计量的电能量越多、计量性质越重要，所选用的表计准确度等级要求越高。

按结构原理分，可分为感应式电能表、全电子式电能表、机电一体化电能表。

按所计电能量多少和重要程度分，可分为五类，如表 1-1 所示。

按测量功能分，可分为分时计费（复费率）电能表、最大需量电能表、预付费电能表、集抄电能表、多功能电能表等等。

分时计费（复费率）电能表将一天 24h 划分为基本固定的几个时段，尖峰用电时段的电量称为尖峰电量；高峰用电时段的电量称为峰段电量；低谷用电时段的电量称为谷段电量；平时用电时段的电量称为平段电量。先确定一个实行分时计费的基础电价，一般峰段电价按基础电价上浮 50% 左右，谷段电价则下浮 50% 左右，平时电价与基础电价持平，尖峰电价则比峰段电价更高。为了时段设置方便，有的地方仅分有高峰与低谷两个时段的电价，又称为“黑白电价”，即白天、黑夜之义，与北京相近时区的地域，高峰用电时段一般为早 7 时~晚 23 时，低谷用电时段为晚 23 时~早 7 时。我国西部地区与北京时区相差较大，可根据实际情况灵活调整时段。在高峰用电时段里，生产、办公和居民生活用电量大，发电机组、输电网、配电网的负担加重，系统要启用备用机组，接近满负荷时，输、配电损耗加大，尖峰负荷时电网调度困难，增加调度成本，有时甚至影响系统稳定；而在低谷用电时段大部分用电负荷停止工作，造成大量发电机组及电网设施闲置或轻载运行，但参与电力系统维护及运行的人员得 24h 上班，在这个时段内有大量的设备及人力资源浪费，造

成包括用户在内的整个电力系统的综合效益下降。为解决这个矛盾，提高电力设备利用率、电网负荷率，世界各国都采用经济杠杆刺激人们在低谷时段用电，降低谷段电价，抬高峰段电价。尤其是工农业生产，可将集中用电的工序移到后半夜，使供用电双方均降低成本，实现双赢。分时计费（复费率）电能表的作用是将不同费率时段的电量分别累计，过去机械式复费率表误差大已完全淘汰，现在的分时计费电能表在复费率计数环节上全部采用电子线路及单片机系统。

最大需量电能表用来测量用户的最大需量，是为配合大工业用户实行两部制电价而设计的。两部制电价其一为电量电费，与该用户用电量挂钩；其二为基本电费，与该用户变压器容量或最大需量挂钩。最大需量是用户在一个抄表期（如一个月）内每 15min 平均用电功率中的最大值，它反映了该用户对电力供应的最大需求。电力生产者制定电力生产发展计划，兴建发电厂、扩建输电网都是为了满足用户的这个最大需求，所以用户就应该为这个“最大需求”而付费，这是一笔基本固定的费用。测量用户的最大需量还有别的意义，现在大工业用户基本上都装上了多功能电能表，可以实现对最大需量的遥测、遥控，持续对大用户最大需量数据的采集、跟踪、分析可以了解各用户及本地区的负荷变化规律，便于配网改造计划的制定、便于负荷预测、便于减少制定电力生产发展计划的盲目性，有很大的现实意义。

为完全按商品交换的原则进行购电用电，人们开发了预付费电能表，先买电，后用电。先后有投币式、磁卡式、电卡式、IC 卡式、寻呼式预付费电能表问世。目前，前三者已被淘汰，而 IC 卡预付费电能表显示出较多的优越性，寻呼式预付费电能表还处在研制试运行阶段。对边远乡寨的零散用户、流动人群用户、常欠电费用户、企事业单位内部分表用户 IC 卡电能表比较适用。IC 卡电能表兼有计量收费、功率限定、购电警告、欠费断电、防窃电等功能。IC 卡电能表又分为全电子式及机电一体化两种，两种表型除电能采样途径不同外，电能量的计数、控制及 IC 卡接口、断电系统均由单片机控制运行，原理相同。每一 IC 卡预付费电能表都有一个编码和用于插入 IC 卡的插槽，对应的用户手中有惟一一张与该电能表配合使用的 IC 卡。IC 卡的编码与电能表的编码相同，它是用来在供电公司与用户之间传递用电量的媒介。为防止伪造，IC 卡密码可经常更换，由于不同用户的 IC 卡密码也不同，所以用户之间不可相互借用 IC 卡。IC 卡可反复多次使用，供电公司用专用计算机将用户预先购买的用电量写入用户的 IC 卡，并将卡置为有效。当用户将有效的 IC 卡插入电能表的 IC 卡插槽中时，电能表将 IC 卡的购电量读进，与以前的剩余电量相加后，经电能表面板上的显示器显示出来，同时将 IC 卡置为无效，此时 IC 卡即可拔走。已给电能表输送过新购电量再拔出的 IC 卡，若再插入 IC 卡电能表的插槽中，已不起作用，即为“无效”，电能表会自动识别。IC 卡电能表无论用户电流正进还是反进始终正计数，可防用户反接电流进线窃电。显示器显示出的是用户累计总用电量和用户可用的剩余电量。当剩余电量少到一定数量时，发出报警，提醒用户及时购电。购电量用完前某一时刻起，连续报警，提醒用户做好断电前准备，然后电能表自动切断电源。电能表内的备用电池可在停电情况下使电能表所记各种数据信息保存下来而不丢失。

集抄电能表是含有通信接口的可自动传输用户用电数据进行远方抄表的新产品，一种利用电力载波进行通信；另一种利用公用电话网进行通信，还有一种采用无线通信。各种

方式的集抄电能表在各地都有不同面积的试用，产品正在走向成熟。集抄可减少电费抄核收环节的人为干扰，减少计费错误，节省人力及时间，为供用电管理无纸化奠定基础。

多功能表是功能齐全、价格较高的全电子式电能表，可计量正、反向有功电能、四象限无功电能、最大需量，具有分时计费、失压记录、失流记录、缺相记录、窃电记录、数据存储、远方通信等多种功能。在各电网交汇处、枢纽变电站、关口变电所、大型发电机组并网点等重要电量贸易结算点，多功能电能表可跟踪计量正、反向有功电能、四象限无功电能，分别累计，实时监测，十分方便。

对于供电公司的计量室负责人，一项十分重要的工作是对电能表、互感器、计量柜的型号及其生产厂家进行正确的选择。这既不能脱离配电网的技术现状、经济现状，一味追求高自动化；也不能因循守旧，影响电力市场营销的推进。要适当选择一些技术含量高、准确度高、功能齐全的表计。应考虑尽早购买安装居民、商业用户的分时计费电能表；适应集中抄表具有通信接口的全电子电能表；结构紧凑、防窃电功能强、可靠性好的整体计量柜等等。选择中还须排除私心，抵制表计厂商的金钱利诱，抵制上级领导地方保护主义指定厂家表型。须加强学习，广泛了解电能表市场行情，以质量可靠为第一标准，选择好电能表生产厂家后，要求提供完善的售后服务，技术指导，与之友好合作，建立稳固的互惠互利关系，使电力营销中的计量装置万无一失。选择的厂家不能过多，否则表计太杂，给管理和使用都带来不便；也不能仅为一两家，使厂家间不能形成竞争势态，宜采用招投标的方式来选择质量可靠、价格合理的产品。

1.4.3 电能表的铭牌标志

电能表铭牌上主要标有名称、型号、准确度等级、额定参数、电能表常数、脉冲常数、厂家表号等多种信息，新型电能表铭牌上还加贴了用于计费管理的条形码。

名称说明该表的用途，有三相三线、三相四线之分，有功表、无功表之分，感应式、全电子式之分，单功能、多功能之分，是否有预付费功能等等。

型号一般由 2~4 个字母加数字再加字母数字组成。电能表型号组成如表 1-2 所示：

表 1-2 电 能 表 型 号 组 成

类别代号	组别代号	结构及功能代号		设计序号	派生号
D—电能表	D—单相 S—三相三线 T—三相四线 B—标准表	S—静止式 Y—预付费 D—多功能 I—载波抄表 Z—最大需量	F—复费率 X—无功电能 L—长寿命 M—脉冲表 J—直流	阿拉伯数字 (可指代是某个厂家的产品)	T—湿热、干热两用 TH—湿热带用 TA—干热带用 G—高原用 F—化工防腐用

最重要的是前面几个字母，它说明了该表计的用途、接线方式、结构及功能。只要第三个字母不是“S”，表明为感应式表。不出现“X”这个字母，就是有功电能表；出现“(X)”，表明有功、无功电能都能测量；仅出现“X”，是单纯的无功电能表。

如“DSSD331—1”型为“三相三线全电子多功能电能表”，“331”为设计序号，是“威胜电子有限公司”的一款产品，横线后的“1”为辅助说明，如为“—2”则表明为第二代

产品。“DTSD341”是“威胜电子有限公司”生产的“三相四线全电子多功能电能表”。

再如“DTZF930M”型为“三相四线感应式最大需量复费率表”即为机电一体化脉冲式有功电能表，“M”表示脉冲表。

再如“DDSI251”型为“陕西银河公司”的“单相全电子式载波电能表”。“DTS(X)251”型为“陕西银河公司”的“三相四线全电子式有功无功电能表”。

额定参数包括电流和电压的额定值。

电流又分为标定电流 I_b 和额定最大电流 I_{max} 。标定电流 I_b 是计算负载的基数电流值，由 I_b 确定电能表的特性。最大额定电流 I_{max} 是电能表能长期工作，而且误差与温升完全满足技术条件的最大电流值。如 5(20)A，10(40)A， $3 \times 1.5(6)$ A， $3 \times 0.3(1.2)$ A 等等。前面的数字是 I_b ，括号中的是 I_{max} ，乘号前面的 3 表明是三相表， I_{max}/I_b 一般称为“过载倍率”，该比值越大，表明该电能表所能计量的负荷范围越宽，目前过载倍率为 4 的表型比较流行，也有 3 倍，甚至 6 倍的。为提高低负荷计量的准确性，应至少选用过载倍率为 4 的电能表，直接接入式的电能表的标定电流，应按正常运行负荷电流的 30% 进行选择。用户负荷电流若超过 I_{max} ，对于感应式电能表会出现很大的负误差，少记电量；对各种结构的计量设备会增加温升，增加电流二次导线压降，影响计量准确，缩短表计寿命，甚至烧毁线路，因此必须限制用户的最大用电功率，不超过额定值。

电压额定值，若为单相表，即为 220V。三相表若标为 $3 \times 220V/380V$ ，即为低压三相表额定线电压为 380V，额定相电压为 220V；若标为 $3 \times 100V$ 或 $3 \times 100/\sqrt{3}V$ ，则为高供高计方式，计量装置安装在用户变压器的高压侧，需用电压互感器将高电压降为 100V 的线电压或 $100/\sqrt{3}$ 的相电压加在电能表上。

电能表常数用 A (有的书中用 C) 表示，它是电能表计度器的指示数和转盘转数之间的比例数。如 $A=400r/kWh$ ，其中“r”表示转盘的“转”数，电能表常数在这里的意义是用户每消耗 1kWh 电能，对应于转盘转 400 转。

电能表常数还有几种变化的表示方式，如：

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{每转代表多少千瓦时：即} & \frac{1}{A} = \frac{1}{400} (kWh/r) = 0.0025 (kWh/r) \\ \text{每瓦时转多少转：} & \text{即} \quad A \times \frac{1}{1000} = \frac{400}{1000} (r/Wh) = 0.4 (r/Wh) \\ \text{每瓦秒转多少转：} & \text{即} \quad A \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{3600} (r/Ws) \\ \text{每千瓦秒多少转：} & \text{即} \quad A \times \frac{1}{3600} (r/kWs) \end{array} \right.$$

这些均可由 A 推导而来，用于现场检验电能表的准确性。电能表铭牌上所标的 A 是设计理论值，又叫标称值，若电能表有误差，其实际运行时每 kWh 对应的转数可能是另外一个值，用 A_0 表示，称为实际电能表常数。校准电能表就是要将实际电能表常数 A_0 调到与标称值 A 相一致的程度。

脉冲常数出现在全电子式或机电一体化电能表的铭牌上，它是电能表数字显示的电能数和与之对应的脉冲数之间的比例数，用 A' 表示，如 $A'=1600imP/(kWh)$ ，其中“imP”表示“多少个脉冲”，同前理也可求出