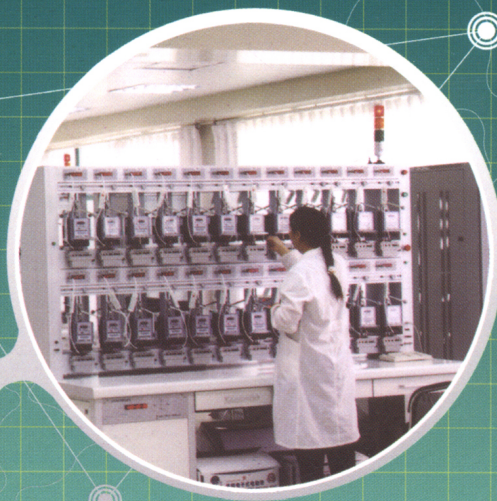


现场人员专业基础培训适用

电能计量基础 与技术实践

牟民生 牟平江 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

现场人员专业基础培训适用

电能计量基础 与技术实践

牟民生 牟平江 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍了电力行业中电能计量专业的基础知识、技术实践、应用管理以及农电工作人员和电工朋友在工作中遇到的疑难问题解答等方面的内容。

本书内容广泛、丰富、实用，可操作性强，可作为从事电能计量的专业人员和城乡电工、工矿企业电工的培训教材和实习教材，也可供从事用电检查、电力营销管理、农电管理的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电能计量基础与技术实践/牟民生，牟平江编著. —北京：中国电力出版社，2010.7

ISBN 978-7-5123-0472-7

I. ①电… II. ①牟…②牟… III. ①电能-电量测量
IV. ①TM933.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 098109 号

中国电力出版社出版、发行

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

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 1 月第一版 2011 年 1 月北京第一次印刷

850 毫米×1168 毫米 32 开本 12.625 印张 331 千字

印数 0001—3000 册 定价 25.00 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

序

电能计量基础与技术实践

改革开放 30 年来，全国农村电网发生了根本性的改变，尤其是经过新一轮农村电网的建设与改造以后，供电设备更新换代，供电能力大幅度增加，供电线路覆盖了偏远地区的家家户户，促使农村用电量大幅度增长，农村经济发展走上快车道，农民生活不断得到改善。

随着全国电力事业的发展，山东省蓬莱市供电公司也发生了深刻变化。蓬莱市是位于胶东大地的一个人口不足 50 万的中等县级市，改革开放前全市年用电量只有 0.39 亿 kWh ，人均用电量不到 $80kWh$ 。到 2009 年，年供电量达到近 14 亿 kWh ，人均用电量突破 $3000kWh$ 。蓬莱电网由线变网，由小变大，由弱变强，实现了从孤立弱网到现代化科技型强网的大跨越。变电所全部实行双电源、双主变压器、有载调压的环网供电；实施了无人值守和遥信、遥测、遥视、遥调、遥控以及光纤测温、远程图像监控管理系统；配电网基本实现了自动化；电力信息通信系统实现了光缆传输和无线专网，双通道传输为智能电网的建设提供了很好的信息通信保障。与此同时，率先完成了“95598”客户服务系统的升级改造，优质供电、优质服务得到保证。

蓬电人秉承国家电网公司“努力超越，追求卓越”的企业精神，顽强拼搏，敢为人先，不断创新，始终走在全县县

级供电企业的前列。蓬莱市荣获“全国农村电气化县”、“全国节电先进县”、“全国新农村电气化县”荣誉称号。蓬莱市供电公司荣获“全国一流县供电企业”、“全国电力‘三为’服务达标单位”、“全国电力‘三为’服务达标先进单位”、“全国农电同业对标综合标杆单位”、“全国双文明单位”、“全国企业文化建设先进单位”、“全国模范职工之家”、“国家电网公司综合管理标杆单位”、“国家电网公司文明单位”等荣誉称号。目前，正在为争创“全国科技先进县”而努力。

从蓬莱市供电公司的巨变可以看出，由改革开放和农村电网的建设与改造带来的新变化、新科技、新发展。学习、掌握农村电网各个环节中的新技术、新业务、新技能，是农村电网安全、经济运行的需要，也是提高各方面人员技术素质和管理水平、管好用好农村电网的需要。

由中国电力出版社出版的《电能计量基础与技术实践》一书，是我公司继《抄表核算收费》一书之后，独立完成的第二本电业职工和城乡电工的培训教材和工作参考书。

《电能计量基础与技术实践》一书是由我公司牟民生和牟平江同志利用业余和休息时间，历经八个多月，不辞辛苦所完成的。此书编写了电能计量人员必需的基础知识，总结了电能计量各个环节的工作实践经验，具有很强的实用性与可操作性。相信本书的出版一定会给全国农电系统的电能计量、用电检查、营销管理、农电管理等方面的工作人员及城乡电工朋友提供有益的指导与帮助，共同为新农村、新电力的建设作出贡献。

蓬莱，山海名邦，人称“人间仙境”。蓬莱供电，初踏征

程，任重而道远。热忱欢迎供电系统同仁莅临蓬莱传经送宝，蓬莱供电的未来一定会和全国各地电力事业一样取得更大发展。

山东省蓬莱市供电公司经理



2010 年 10 月

前 言

电能计量基础与技术实践

目前，全国各地农村电网的建设与改造已经基本完成。在农村电网的建设与改造中，广泛采用新设备、新材料、新技术，农村电网的建设规模、高科技含量以及现代化管理迈上了新的台阶。

为了帮助从事电能计量、营销（业扩报装、抄表、电费核算、收费）、用电检查、负荷控制管理、农电管理等的技术人员以及城乡电工、工矿电工学习、掌握相关知识，提高业务、技术、管理水平和实际操作技能，以适应农村电网不断发展的需要，我们特编写了《电能计量基础与技术实践》一书，全书共分为 4 章 39 节。

第一章主要介绍了与电能计量专业相关的基础知识，其目的：一是使相关工作人员和电工朋友能够通过学习，拓展、丰富其知识内涵；二是在工作中用到或涉及与基础知识有关的内容时，可随时查阅；三是希望能够突破三个难点：①看懂、会用电气图纸；②会利用相量分析准确判断电能计量装置的错误接线，正确计算退补电量；③能够完成变损和线损的计算。

第二章主要介绍了电能计量各个环节的技术实践，每节都有不同的课题和目标，牵涉电能计量工作的方方面面，包括电能计量装置投运之前的选型，计量方式与计量点的选择、安装、验收，电能计量装置投运之后的现场检验、故障处理、

电量退补以及与电能计量装置相关的电能表抄录与电费核算，电能计量装置的检修与鉴定，营销普查与用电检查，围绕电能计量装置的窃电与反窃电等方面的内容。

第三章主要介绍了电能计量管理的相关内容，包括乡镇供电所计量点的管理、县级电能计量中心的管理以及供电企业计量检测体系的 *ISO* 认证。

为了配合全国农村电网建设与改造的实施，本书作者受《农村电工》杂志社的邀请，在其杂志上举办了 19 期“电能计量基础知识讲座”。文章发表后陆续收到了全国各地农电工作者和电工朋友的来信，要求解答其工作中遇到的一些疑难问题，作者一一给予了答复。

第四章即是将来信中提到的疑难问题汇总后，分列为 8 个方面的问题，分几个方面介绍了基础知识和业务技术方面的问题，还介绍了电量退补计算的步骤、方法。没有针对各种具体问题进行解答，目的是让相关人员及电工朋友掌握、了解计算方法，举一反三，解决实际工作遇到的各种不同问题。

本书作者曾被聘为山东电力系统电能计量工人技术比赛裁判、烟台电网电能计量技术监督竞赛检查评比小组成员、烟台电网电业职工岗位技能培训教师，多次为蓬莱市供电公司的电能计量、用电检查、抄表收费、供电所所长等岗位人员进行技术讲座，为全市几十期进网作业电工培训班授课等，因此对相关工作人员及电工朋友需要了解、掌握的基础知识和技术实践内容比较清楚。在本书编写过程中，在章节内容的选材上进行了认真地筛选、推敲和锤炼。为了便于学习与应用，本书力求通俗易懂、简明扼要、有的放矢，以达到学以致用、立竿见影的效果。

本书在编写过程中，得到了山东省蓬莱市供电公司的鼎力支持，得到了公司所属的营销部、电能计量中心、电费结算中心、电力器材厂等单位及许多电工朋友的热心帮助，公司经理秦鹏理先生在百忙中抽出时间为本书撰写序言，在此，一并向他们表示衷心感谢。由于时间紧促和作者水平所限，书中难免有差错之处，敬请广大读者朋友提出宝贵意见。

作者

2010 年 10 月

目 录

电能计量基础与技术实践

序

前言

第一章 电能计量基础	1
第一节 基本知识	2
第二节 电气识图	18
第三节 相量分析	37
第四节 电能表基础知识	50
第五节 互感器基础知识	74
第六节 计量回路	87
第七节 配电装置	91
第八节 无功功率补偿	103
第九节 变损与线损	113
第十节 电工仪表	132
第二章 电能计量技术实践	152
第一节 电能计量装置在农村电网建设与改造中的应用	152
第二节 电子式电能表的应用	161
第三节 电流互感器与电压互感器的应用	168
第四节 穿心式电流互感器的应用	172
第五节 电能计量装置的二次接线	178
第六节 试验接线盒在电能计量装置二次回路中的应用	183
第七节 电能计量装置的现场检验	188
第八节 电压互感器二次压降的测量与超差后的改造	193

第九节	预付费电能计量装置的应用	198
第十节	无功电能的计量与收费	207
第十一节	无功补偿在高压电动机中的应用	213
第十二节	电能计量装置误差的在线测量	219
第十三节	电能计量装置常见故障与故障查找方法	229
第十四节	电能计量装置故障期间的电量退补	236
第十五节	电能表的抄录与电费核算	251
第十六节	电能计量器具的检修与检定	272
第十七节	营销普查与用电检查	292
第十八节	窃电与反窃电	303
第三章	电能计量管理	309
第一节	乡镇供电所计量点的管理	309
第二节	县级电能计量中心的管理	312
第三节	供电企业计量检测体系的 ISO 认证	320
第四章	电能计量疑难解答	327
第一节	电能量值的溯源管理	327
第二节	外界因素对电能表误差的影响及补偿方法	328
第三节	电能表潜动形成的原因与解决办法	334
第四节	宽负荷、长寿命电能表与 S 级电流互感器	336
第五节	电能计量现场操作经验	340
第六节	电能计量装置的综合误差与退补电量的计算	341
第七节	穿心式电流互感器用电量与退补电量的计算	349
第八节	电能计量装置错误接线与退补电量的计算	351
附录 A	供电营业规划 (摘录)	362
附录 B	用电检查管理办法 (摘录)	373
附录 C	三角函数表	377
参考文献		389

第一章

电能计量基础

计量，是对各类物理量量值的衡量。计量，是科学技术进步和生产发展的技术基础。计量水平的高低，已成为衡量一个国家生产发展水平的重要标志。

电工计量，是对各种电气量量值的衡量，是计算范畴的组成部分。电工计量，与发电、供电、用电密切相关，电气工作人员和城乡电工与之接触最多，应用最为广泛。随着科学技术与电力生产的发展，电工计量的理论已日趋成熟，计量设备、计量设施广泛应用于电力生产、科研各领域，是电力事业发展的重要支撑。

电能计量，是电工计量的组成部分，因其直接参与贸易结算而显得特别重要。电能计量，以保证电能量值的准确、统一和计量装置运行的安全、可靠为主要内容，已经形成了一个专门学科。

电能计量，是供电企业的技术基础之一。准确、统一、安全、可靠，是电能计量工作者为之努力的目标。电能计量工作关系到电能计量装置能否准确、公正计量电能，能否安全、可靠运行，直接影响着电能销售后的电费回收，影响着综合线损率、供电成本等一系列经营考核指标的完成，是供电企业不可忽视的重要环节。

电能计量包含大量具体、细致的工作内容，其中有些具有专业性较强、技术性较高的特点。因此，学习掌握必要的基础知识和业务技能，提高工作质量和效率，以适应电力不断发展的需要，是对电能计量专业人员以及与电能计量工作相关的电工朋友的基本要求。

城乡电工、工矿企业电工是电力事业建设的生力军。在这支

队伍中，有些电工经常从事一些与电能计量相关的工作，例如：电能表、电流互感器、电压互感器、计量回路、计量设备的安装；本区域或本单位电能表的抄录、电费核算、电能计量装置误差的现场测算；调节无功补偿设施，减少无功电能的消耗，使功率因数调整电费达到合理水平；提出电力负荷峰谷数据，利用分时电能表执行分时计费，削峰填谷，使有限的电能发挥更大的作用等等。所以，城乡电工、工矿企业电工掌握有关电能计量方面的基础知识与技术实践，就显得十分必要。

第一节 基 本 知 识

本节汇集了电能计量相关人员和电工经常接触、用到的有关计量、电工方面的定义、概念、单位换算、计算公式以及三角函数等方面的内容。为了读者看书时直观、查找时方便，大多采用了表格形式。

一、计量名词及其定义

常用计量名词及其定义见表 1-1。

表 1-1 常用计量名词及其定义

名 词	定 义
计 量	为确定某种量值而进行的一组操作。这一组操作可能是相当复杂的，也可能是极其简单的
电能计量	专门为确定电能量值而进行的操作。电能计量已发展成为一个专门学科
计量单位	约定选取的特定量（通常其数值为 1），用以定量表示同类量的值
基本单位	给定量制中基本量的计量单位。如长度为 m、质量为 kg、时间为 s、电流为 A 等
导出单位	给定量制中导出量的计量单位。如频率为 Hz、功率为 W、电荷量为 C、电压（电位、电动势）为 V、电容为 F、电阻为 Ω 、电导为 S、磁通量为 Wb、磁通量密度（磁感应强度）为 T、电感为 H 等
单位制	为给定量制所建立的一组单位，包括选定的一组基本单位和根据定义及比例因数确定的导出单位

续表

名 词	定 义
量 值	由数字和计量单位的组合所表示的量的大小。如 5s、10A
测 试	具有一定探索性（试验）的计量。习惯上往往将不是严格按照约定规程或成熟方案进行的计量统称为测试
量的真值	某量在所处的条件下，被完全或严格定义的量值。实际上不可能确切得知，而只能随着科学技术的发展和认识的提高，去逐渐接近它
计量标准	用以定义、实现、保持或复现计量单位或一个或多个已知量值的实物量具、物质、计量仪器或计量系统。根据不同需要和使用范围，计量标准有不同的类型和等级
基 准	在特定领域内，具有当代最高特性的计量标准。基准概念等效地适用于基本单位和导出单位
国际基准	经国际协议公认，具有现代科学技术所能达到的、最高精度的计量标准，是给定量的所有其他标准在国际上定值的依据
国家标准	经国家正式确认，具有现代或本国科学技术所能达到的、最高精度的计量标准，是给定量的所有其他标准在国内定值的依据
检 定	国家法制计量部门（或其他法定授权的组织）为确定或证实计量器具的技术性能是否合格所进行的工作
计量原理	计量方法的科学基础和理论依据
计量方法	根据给定的原理，为实施计量所涉及的理论运用和实际操作
计量器具	用于计量目的技术装置
计量装置	为执行特定计量工作所需要的全部计量技术设备，包括应用给定方法所需的、根据一定设计装配的全部计量器具和辅助器件
电能计量装置	由电能表、互感器（TA、TV）和二次线路组成的测量电能量值的组合设备，称为电能计量装置
计量设备	进行一类或几类量的计量所需要的全部计量装置
计量系统	组合起来以执行特定计量任务的全套计量仪器和其他设备
计量结果	由计量所得到的被计量的量的值。对于一般计量，计量结果由数字和计量单位的组合来表示；对于正规的计量，计量结果还应注明计量的不确定度，甚至相应的主要影响量的值或范围
示 值	计量器具所给出的、被计量的量值。示值用被计量的量的单位表示。实物量具的示值就是其标称值或铭刻值。示值也适用于记录式仪器所记录的量值或计量系统中的计量信号等

名 词	定 义
计量器具常数	为得到器具的示值而必须对实测数值乘以一个系数。单标尺多量程的计量器具具有几个常数，分别对应于量程选择开关的不同位置
精密度	在相同条件下进行多次计量时，所得结果的一致程度（反映随机误差的大小）
正确度	计量结果与真值的接近程度（反映系统误差的大小）
准确度	计量结果的一致性及与真值的接近程度（系统误差和随机误差的综合反映）

二、计量单位及其定义

常用计量单位及其定义见表 1-2。

表 1-2 常用计量单位及其定义

计量单位	符号	定 义
米	m	长度单位。光在真空中于 1/299 792 458s 时间间隔内所经路径的长度
千克	kg	质量单位。等于国际千克原器质量
秒	s	时间单位。与铯—133 原子基态的两个超精细能级间跃迁相对应的辐射的 9 192 631 770 个周期的持续时间
安培	A	电流单位。在真空中，截面积可忽略的两根相距 1m 的无限长平行圆直导线内通以等量恒定电流时，若导线间相互作用力在每米长度上为 2×10^{-7} N，则每根导线中的电流为 1A
开尔文	K	热力学温度单位。等于水的三相点热力学温度的 1/273. 16
摩尔	mol	物质的量单位。摩尔是一系统的物质的量（表明个数的单位），该系统中所包含的基本单元数与 0. 012kg 碳—12 的原子数目相等
坎德拉	cd	发光强度单位。是一光源在给定方向上的发光强度，该光源发出的频率为 540×10^{12} Hz 的单色辐射，且在此方向上的辐射强度为 1/683W/sr
伏特	V	电压、电位、电位差、电动势等量的单位。在载有 1A 恒定电流导线中，当两点间消耗 1W 的电功率时，这两点间的电位差为 1V。1V=1W/A

续表

计量单位	符号	定 义
欧姆	Ω	电阻、电抗等量的单位。当在导体两点间加上 1V 恒定电压时，在导体内产生 1A 的电流，这两点间的电阻便是 1Ω 。 $1\Omega=1\text{V}/\text{A}$
瓦特	W	功率单位。1s 内产生 1J（焦耳）能量时，功率为 1W。 $1\text{W}=1\text{J}/\text{s}$
赫兹	Hz	频率单位。1s 内周期现象的数值。 $1\text{Hz}=1/\text{s}$
库仑	C	电荷量单位。1A 恒定电流在 1s 内所传送的电荷量为 1C。 $1\text{C}=1\text{A}\cdot\text{s}$
法拉	F	电容量单位。当电容器充 1C 电荷量、两极板间产生 1V 的电位差时，两极板间的电容量为 1F。 $1\text{F}=1\text{C}/\text{V}$
西门子	S	电导的单位。具有 1Ω 电阻的导线，其电导是 1S。 $1\text{S}=1/\Omega$ 。电导与电阻互为倒数关系
亨利	H	电感的单位，也是磁导等的单位。当一线圈中流过的电流以 $1\text{A}/\text{s}$ 的速率均匀变化时，能产生 1V 的感应电动势，则此线圈的电感为 1H。 $1\text{H}=\frac{1\text{V}\cdot\text{s}}{\text{A}}=1\Omega\cdot\text{s}$
韦伯	Wb	磁通量的单位。当与单匝线圈相链的磁通在 1s 内均匀地减小到零时，线圈内能感生 1V 的电动势，则相链磁通的起始值为 1Wb。 $1\text{Wb}=1\text{V}\cdot\text{s}$
特斯拉	T	磁通量密度的单位，也是磁感应强度等的单位。磁通量为 $1\text{Wb}/\text{m}^2$ 时，磁通密度为 1T， $1\text{T}=1\text{Wb}/\text{m}^2$
牛顿	N	力的单位。使质量为 1kg 的物体产生 $1\text{m}/\text{s}^2$ 加速度的力称为 1N。 $1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ 。在工程制中，俗用千克力（kgf）为单位， $1\text{kgf}=9.806\ 65\text{N}\approx 9.8\text{N}$
焦耳	J	功的单位。物体在 1N 力作用下，使其作用点在力的方向上位移 1m 所做的功为 1J。 $1\text{J}=1\text{N}\cdot\text{m}$
分贝	dB	是由声强大小决定的声强级的单位。以声强 $I_0=10^{-12}\text{W}/\text{m}^2$ 为标准，某一声波的声强为 I 时，则比值 I/I_0 的对数，叫做声强级贝尔，取 $1/10$ 为分贝
瓦(特)· (小)时	$\text{W}\cdot\text{h}$	电能的单位。功率为 1W 的用电器，消耗的电能为 $1\text{W}\cdot\text{h}$ 。在工程制中，常用千瓦·时（kW·h）为单位， $1\text{kW}\cdot\text{h}=1000\text{W}\cdot\text{h}$

三、计量单位换算

计量单位换算见表 1-3。

表 1-3 计 量 单 位 换 算

量的名称	量的符号	单位名称	单位符号	单位换算(备注)
长 度	$l(L)$	米	m	SI 基本单位
		千米(公里)	km	1km=10 ³ m
		海里	nmile	1nmile=1852m
		英尺	ft	1ft=0.3048m
		英寸	in	1in=0.0254m
质量	m	千克(公斤)	kg	SI 基本单位
		吨	t	1t=10 ³ kg
		克	g	1kg=10 ³ g
时间	t	秒	s	SI 基本单位
		分	min	1min=60s
		(小)时	h	1h=60min
		天(日)	d	1d=1440min=86400s
电 流	I	安(培)	A	1A=1000mA 1mA=1000 μ A 1kA=1000A
热力学温度	T	开(尔文)	K	SI 基本单位
物质的量	n	摩(尔)	mol	SI 基本单位
发光强度	I	坎(德拉)	cd	SI 基本单位
(平面)角	$\alpha、\beta、\gamma、\theta、\varphi$	弧度 (角)秒 (角)分 度	rad (") (') (°)	SI 辅助单位 1"= $\pi/648\,000$ rad 1'= $\pi/10\,800$ rad=60" 1°= $\pi/180$ rad=60'
立体角	Ω	球面度	sr	SI 辅助单位
电压	U	伏(特)	V	SI 导出单位
电阻	R	欧(姆)	Ω	SI 导出单位
电阻率	ρ	欧·米	$\Omega\cdot\text{m}$	SI 导出单位
有功功率	P	瓦(特) 千瓦	W kW	SI 导出单位 1kW=1000W