



DIANDUBIAO YU DIANDUJILIANG

电度表与电度计量

陕西人民出版社

33.4

电度表与电度计量

陕西省电管局中心试验所编

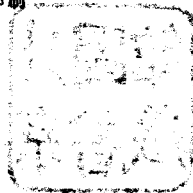
陕西人民出版社出版

陕西省新华书店发行 国营五二三厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 12.375 字数 200,000

1978年5月第1版 1978年5月第1次印刷

统一书号: 15094·91 定价: 0.86元



前 言

随着我省工业生产的发展，从事电度计量工作的专业技术队伍不断壮大。为了适应这一形势，我们在深入实际调查研究的基础上，编写了《电度表与电度计量》一书。内容除重点介绍了电度表和互感器的原理、校验和调整方法外，还叙述了电度表和互感器在使用方面的知识，如电度计量装置和试验台的综合误差计算，互感器二次负载的估算，错误接线及其检查的方法等。书中附有例题和插图。可供从事这项工作的工人、技术人员学习参考。本书由梁德正、唐佐梁同志编写，并由李谦同志作了补充修订。另外，参加编写工作的还有武炳炎、张梅英及电测室部分同志。由于我们水平所限，缺点和错误在所难免，希望读者批评指正。

本书在编写过程中，曾得到水利电力部热工研究所、北京电管局电力试验所、西安市供电局和西安电力学校等单位的大力支持和协助，谨此致谢。

一九七七年十月

目 录

第一章 电度表的一般概念

第一节 电能的计量	1
第二节 电度表的分类	2
一、电解式电度表	2
二、电子式电度表	2
三、电气机械式电度表	3
四、感应型电度表的分类	4
第三节 电度表的使用	6
一、电度表的装置办法	6
二、电度表的校验	7
三、电度表容量和计费倍率的计算	7
四、电度表的损耗及其测定	9

第二章 感应型电度表的结构及工作原理

第一节 结 构	12
第二节 工作原理	13

第三章 感应型电度表的误差特性及调整方法

第一节 摩擦力矩和摩擦误差	19
一、摩擦力矩	19
二、摩擦误差	22

三、减小摩擦力矩的措施	23
第二节 电流电磁铁的非线性误差	28
第三节 轻负载下误差的调整及防潜动	30
一、轻负载误差的调整	30
二、灵敏度和防潜动	34
第四节 相位角误差及其调整	38
一、相位角误差产生的原因	38
二、相位角误差公式	41
三、电度表相位角误差的调整	42
第五节 制动力矩和全负载下误差的调整	48
一、制动力矩	48
二、全负载下误差的调整	49
三、永久磁铁	51
第六节 电度表的误差公式及负载特性	53
一、误差公式	53
二、负载特性及误差曲线	54
三、过负载特性及过负载补偿装置	56
四、冲击电流对电度表误差的影响	59
第七节 电度表的电压和频率特性	59
一、电压特性	59
二、电压特性的改善	62
三、频率附加误差及其产生的原因	63
第八节 电度表的温度特性及其补偿	70
一、温度误差的规定	70
二、温度误差产生的原因	71
三、温度误差的补偿	73
四、电度表的自热影响	77
第九节 电度表的其他特性	78

一、波形影响	78
二、倾斜影响	81
三、电度表运行中产生响声的原因	82
第十节 电度表的调整	83
一、调整的顺序	84
二、调整中应注意的问题	86

第四章 三相电度表的特性和调整

第一节 三相电度表的结构	93
一、三相电路里功率和电能的测量	93
二、三相电度表的结构	96
第二节 三相电度表元件间的电磁干扰	99
一、电磁干扰及其产生的原因	99
二、干扰的补偿与消除方法	106
第三节 三相电度表的相位角误差及其调整	108
一、正相序接线时的相位误差	109
二、反相序接线时的相位误差	112
三、三相三线电度表按单相校验时的相位误差	113
第四节 元件转矩不平衡对误差的影响	114
一、正相序时的误差	115
二、反相序时的误差	116
三、三相三线电度表单相接线时的不平衡误差	117
四、转矩的平衡调整	118
第五节 三相电度表的调整	119
一、负载不平衡特性	119
二、电度表的调整方法	120
三、调整中应注意的问题	124
四、电度表调整不良引起的倒转	125

第五章 特殊用途的电度表

第一节 无功电度表	129
一、无功电能和无功电度表的分类	129
二、正弦电度表 (0° 型或 180° 型)	131
三、 60° 型三相无功电度表 (DX2型)	133
四、 90° 型三相无功电度表 (DX1型和JNP-1型)	137
五、无功电度表的特点	140
六、三相无功电度表的校验	141
第二节 标准电度表	144
一、结 构	145
二、特 性	146
第三节 最大需量表	147
一、基本工作原理和结构	147
二、误差试验	149
第四节 铁损表和铜损表	150
一、铁损电度表	151
二、铜损电度表和线损电度表	153

第六章 电度表的校验

第一节 一般概念	156
一、电度表试验的内容	156
二、误差试验	157
三、电度表的常数	158
四、计度器的传动比	159
第二节 标准设备和校验装置	160
一、标准设备	160
二、调节装置	165

三、对三相校表台的技术要求和试验方法	173
第三节 电度表的校验方法	176
一、瓦特表——秒表法（简称瓦一秒法）	177
二、标准电度表法	179
第四节 电度表的校验步骤和接线	181
一、校验步骤和技术要求	181
二、现场误差的试验	186
三、校验时的接线	186
四、三相电度表的单相法校验	188

第七章 测量用互感器

第一节 电压互感器及其误差补偿	191
一、工作原理	191
二、误差补偿	196
三、电容式电压互感器	168
第二节 电流互感器及其误差补偿	199
一、工作原理与特性	199
二、误差补偿	203
第三节 互感器的误差试验及互感器试验器	217
一、直接法（绝对法）	220
二、比较法（相对法或测差法）及几种常用的 互感器试验器	222
三、三相电压互感器的校验方法	236
第四节 互感器的使用特性	240
一、电流互感器的使用	240
二、电流互感器二次负载的估算	242
三、电压互感器的使用	249
四、电压互感器二次负载的估算	251

五、电压互感器二次连接导线电阻的影响	264
--------------------------	-----

第八章 电度量综合误差的计算

第一节 电流表和电压表的综合误差	274
第二节 有功电度表（或瓦特表）的综合误差	275
一、单相有功电度表（或瓦特表）的综合误差	275
二、三相三线有功电度表（或瓦特表）的综合误差	282
三、对带有互感器的三相四线有功电度表的综合误差	290
第三节 无功电度表（或无功功率表） 的综合误差	291
第四节 计算互感器综合误差的向量投影法算图	293
第五节 校验电度表时的综合误差	302
一、概 述	302
二、校验装置的系统误差	305
三、偶然误差的估算和试验	311
第六节 减少综合误差的方法	315
一、减少运行中的电度表综合误差的方法	316
二、减少校验装置误差的方法	317
第七节 系统误差的更正方法	318

第九章 电度表的接线检查

第一节 不带电检查	320
一、电度表接线检查的意义	320
二、检查的内容和方法	321
第二节 带电检查互感器和电度表接线	329
一、互感器接线的检查	329
二、带电检查时的安全注意事项	335

三、电度表和互感器联合接线的检查	336
第三节 电度表的错误接线	348
一、三相三线有功电度表的可能误接线图	348
二、三相有功和无功电度表在错误接线时的更正系数	360
附录1 常用三角公式、常用三角函数值及弧、 度互换关系	364
附录2 三角函数表	366
附录3 外国电度表常数的表示方法	377
附录4 希腊字母表	378
附录5 国产电度表型号含义	378
附录6 国产电度表电压线圈数据	379
附录7 外国电度表电压线圈数据	380
附录8 国产电流互感器型号的含义	381
附录9 国产电压互感器型号的含义	382
附录10 电度表接线检查图表	384

第一章 电度表的一般概念

第一节 电能的计量

电能是工农业生产和人们日常生活中的主要能源。电能的数量和质量如电压、电流、频率、功率、能量等等都是可以通过一系列仪表来测量的。专门用以测量电能量的仪表叫做电度表，有时也叫瓦時計或火表。正确计量电能量，对于电能的供应和消耗，合理拟定生产计划、核算经济指标等都有重要意义，所以电度表的使用范围非常广泛。

电压表、电流表和瓦特表等仅能反映电能的瞬时值，而电度表却是一种累积式仪表，它能反映在某一段时间内电能量的累积值。因此在某段时间内的电能量可以用以下公式来表达，即：

$$A = \int_{t_1}^{t_2} p dt \quad (1-1)$$

式中：A—电能；

p—电功率的瞬时值；

t—时间。

如果上式中电功率的单位是千瓦，时间的单位是小时，则电能的单位就是千瓦·小时，表示符号为“kwh”，通常称作“度”。

第二节 电度表的分类

随着我国工业生产的发展，电度表的产量和品种都在不断增加，按其结构、工作原理、测量电流的性质、测量的对象等可以分为许多类。

按照结构可分为：电解式、数字式、电气机械式三大类。

一、电解式电度表

它是以电流的化学效应为基本工作原理。在电解式电度表中应用最广泛的要算是汞和氢的电量电度表。在前一种表中，通入电流后，由于电解的结果，使得电解液中有汞沉积，这些沉积的汞聚集在向下的量管中；后一种表，电解的结果释放出氢气，这些氢气集结在向上的量管中。汞柱和氢柱的高度，就用来量度通过电度表电量的大小，测量的单位是“安培小时”。所以这种表也称作安培小时计，它同磁电型电度表都被用于化学工业和电解铜、铝工业中测量电量的消耗以及检查、控制生产工艺过程。

二、电子式电度表

电子数字式仪表是一种新型的测量仪表，是应用模数转换技术和脉冲数字技术作为工作基础的。待测量通过转换器被转换为连续的脉冲、再由计数器计数并显示出测量结果。目前国内试制成的这类电度表已经见到的有时分割乘法器式，FET模拟乘法器式和二极管式等各种方式。

时分割乘法器是用固体集成运算放大器按时分割原理作成模拟乘法器，反映了电压和电流的乘积，然后再通过 V—F 转换器将乘积（电压值）转换为频率（即脉冲），计数并显示。这种表精度可以作到 0.1%~0.02%，使用的频率范围很宽，但结构复杂，造价高，可靠性还不很理想，所以只适合于试验室作为标准和精密测量用。

二极管式电度表是利用二极管的平方律特性。在一个由三极管和二极管、电阻组成的平方电路中，电压 V 和电流 i 的和与差的平方差为 $(V + iR)^2 - (V - iR)^2 = 4RVi$ ，得到与功率成比例的电流，这就是 W—I 转换器。然后再通过 I—F 转换器转换为计数脉冲。这种表的特点是结构比较简单，价格低，目前可以作到 2.0 级。

电子式电度表还有其它的结构形式，这是一种新型的仪表，它有很多优点，例如高精度，宽频带，电压范围大，特别适合于遥测，寿命长等，这些都是具有旋转圆盘的感应型电度表所不能比拟的。但由于结构和可靠性的原因，在目前还不能取代传统的感应型电度表，所以现在实际使用和大量制造的还是感应型电度表。

三、电气机械式电度表

这是现代应用最普遍的电能量测量仪表，按照其工作原理可以分为感应型、电动型和磁电型等。它们的共同特点是有一个可以旋转的可动体在电磁场中转动，指示器是一个机械计数器。

磁电型用作直流安培小时计，而电动型则主要用于测量直流电能，在交流电路里，几乎全部都使用感应型电度表。

它的特点是结构简单，转动力矩大，工作可靠，在所有电气测量仪表中它数量最多，使用最普遍。所以本书后面所讲的电度表就是指用于交流电路里的感应型电度表。

四、感应型电度表的分类

在交流电路里由于用途不同，感应型电度表又可分为：

1. 有功电度表 这是最主要且应用最多的一种表。发电厂发出的或用户消费的电能就是依靠它来测量，其测量结果可用下式表示：

$$A_1 = UI t \cos \varphi \text{ (千瓦·时)} \quad (1-2)$$

式中：U, I—电路电压和负荷电流；

φ —U和I之间的相位角；

$\cos \varphi$ —功率因数，俗称力率；

t—测量的时间间隔。

2. 无功电度表 由于用电负荷性质的关系，电路里电压和负荷电流之间的相位角 φ 对于不同负荷性质的用户是不相同的。从1—2式可以看出：对于 $\cos \varphi = 0.5$ 和 $\cos \varphi = 1.0$ 的用户，为了得到同样多的电能，前者所需的电流为后者的一倍。也就是说，当功率因数低时，发电机、变压器和输电线路的负担加重了，线路和变压器的损耗也加大了。为了保证电能的供给，有时不得不增加机组容量，变电设备和输电线路的容量或者投入无功补偿装置。

功率因数表示了有功功率和无功功率的比例。所以为了得到精确的平均功率因数，在测量有功电能的同时还必须测量所谓的无功电能（也叫虚能） A_2 。

$$A_2 = UI t \sin \varphi \text{ (千乏小时)} \quad (1-3)$$

$\sin \varphi$ 称为无功功率因数。平均功率因数可以根据下式求出：

$$\cos \varphi = \frac{A_s}{\sqrt{A_s^2 + A_r^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{A_r}{A_s}\right)^2}} \quad (1-4)$$

3. 最大需量电度表 对于用户来讲，它们在一天的不同时间之内所用的电能并不是相等的。所以电力系统的负荷与一昼夜的各段时间是密切相关的，经常在中午和后半夜，电力系统处于低负荷；而在前半夜和白天的其它时间内处于高负荷，在个别时间内还会出现尖峰负荷。

图 1—1 即为某电力系统的一昼夜负荷曲线的形状。

可以看出，虽然在一昼夜中较长的时间内，系统的一部分设备处于备用状态，但为了满足用户用电的全部需要，电力系统仍得按最大功率的要求来设计安装，显然这是不合理的。这种负荷的不均匀性不但

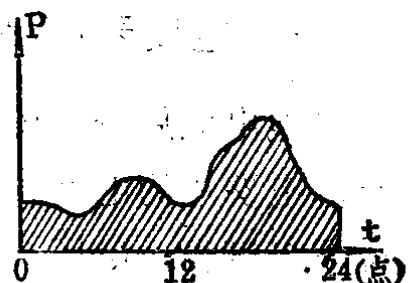


图1—1 电力系统的
日负荷曲线

使发供电设备的潜力不能充分利用，而且也造成了电能的供不应求。为了保证合理的分配电能，减少负荷的不均匀性，特别是降低尖峰负荷，在许多大的用户那里除了安装有功和无功电度表外，还装有带最大功率指示器的电度表即最大需量电度表，用于测量用户在单位时间内（例如15分钟）平均功率的最大值。

另外还有用于测量变压器铁损和铜损的铁损表和铜损表。

根据用途和准确度还可以分为普通电度表和用于校验普通电度表的标准电度表；单相电度表 and 三相电度表等。

在国外，还有一些名目繁多的品种，例如预付电费电度表，这些对于我们来讲并没有什么实用意义，故不一一介绍。

第三节 电度表的使用

水利电力部颁发的“全国供用电规则”中，对电度表装置、使用以及计收电费的办法都作了明确的规定，这些规定是所有的供电部门和用电者都应了解，并按照执行的依据。

一、电度表的装置办法

当地电业局按照用户的用电类别和电价分类，负责装置计算电费用的电度表（包括有功电度表、无功电度表、最大需量电度表；电压、电流互感器等）。这些计量装置的校验、安装、移动、拆除、封印、启封及接线等，均由电业部门负责办理。

对于高压供电的用户，应在高压侧安装电度表；低压供电的用户应在低压侧装电度表。如有特殊原因，经电业部门同意，高压用户也可以暂在低压侧装表，但在计算电费时，应将变压器的损耗包括在内。

对于城市电灯用电，原则上是按每一公安门牌内或每一幢楼房安装一只电度表，同一门牌内或同一楼房内的住户用电负荷的总和应不超过电度表规定的许可容量，如超过时，应由用户办理增容手续。

二、电度表的校验

电业部门对计算用户电费的电度表，按照有关的校验规程和规定，进行定期或不定期的校验或更换。

三、电度表容量和计费倍率的计算

1. 额定容量的选择 电度表额定容量的大小应根据用户负荷的高低来进行选择。用电负荷的上限应不超过电度表的额定容量；下限不应低于电度表允许误差规定的负荷电流值。

〔例1〕一用户装有25瓦、40瓦和60瓦的电灯各一只，根据计算：

$$I_{\text{最大}} = \frac{P}{U} = \frac{(25 + 40 + 60) \text{瓦}}{220 \text{伏}} = 0.56 \text{安}$$

$$I_{\text{最小}} = \frac{25 \text{瓦}}{220 \text{伏}} = 0.11 \text{安}$$

所以应选择一只最大额定电流为1安培，额定电压220伏的单相电度表。

〔例2〕一个动力兼照明低压用户，装电灯容量为1千瓦，电动机10千瓦，用电的功率因数按0.8考虑则：

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{11000 \text{瓦}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8 \text{伏}} = 20.8 \text{安}$$

所以应选用一只三相四线3×220/380伏，25安的电度表，或选用5安培的电度表和三台30/5安培的电流互感器。实际上当用电设备很多时，还应考虑设备用电的同时率。

2. 计费电度表倍率的计算 如电度表按照铭牌上注明的