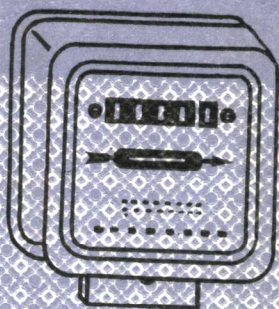


计量检定参考丛书

交流电能表检定与调整

(第二版)

蓝永林 编著



中国计量出版社

交流电能表检定与调整

(第二版)

蓝永林 编著

中国计量出版社

新登(京)字 024 号

内 容 提 要

为正确贯彻执行《交流电能表检定规程》(JJG307—88),促进电能计量工作,本书在原《交流电度表检定与调整》一书基础上进行了修订。

本书简述了交流电能表的工作原理,基本误差和附加误差特性,各种接线及接线正确性的检查方法。着重解释规程中的主要条款,简述有功和无功电能表的调整步骤和电能表检定装置。全书共分七章,为帮助读者抓住重点,每章后面都有复习思考题。

本书供计量、生产、科研部门的交流电能表检定与调试人员阅读和参考。

交流电能表检定与调整

(第二版)

蓝永林 编著

责任编辑 王朋植

—*

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—*

开本 787×1092/32

印张 11.625 字数 264 千字

1992年12月第2版

1992年12月第4次印刷

印数 50001—56500

ISBN 7-5026-0537-1/TB·409

定价 9.30 元

再 版 前 言

交流电能表属于依法管理的、执行强制检定的工作计量器具的范围。交流电能表是电力工业发电、供电、用电各个环节的“一杆秤”，其给出电能量值准确与否，直接关系到节能和经济核算。因此，长期以来电能计量器具的法制管理一直受到国家有关部门极大重视。自1982年原国家计量局颁布的《JJG 307—82 交流电度表检定规程》（简称JJG 307—82）以后的六年中，该规程为检定交流电能表的计量特性，确定其是否符合法定要求，统一电能单位量值，对电能计量实行国家监督等方面都曾起过重要的作用。但是，根据我国电能计量工作的发展和需要，以及根据国家计量检定规程应与相应的国家标准或国际建议、国际标准相协调一致的政策，经有关专家多次论证，对“JJG 307—82”进行了修订，颁布了《JJG 307—88 交流电能表检定规程》（简称JJG 307—88）。它们之间最主要的差别是：

1. 1988年国家技术监督局262号文件规定：“申报生产许可证和评优的工业产品，凡以计量单位的名称命名的应改为以量（通称为物理量）的名称命名”。根据这一规定，原有《交流电度表检定规程》应改称为《交流电能表检定规程》。

2. 为了使JJG 307—88的计量要求与相应的国家标准GB 3924—83及国际标准IEC 736—82协调一致，在“JJG 307—88”中规定：“交流电能表检定装置不保留0.6准确度等级”。与此相关的原0.6准确度等级的检定装置配备0.5级

标准电能表，应变更为 0.3 准确度等级的检定装置配备 0.2 级标准电能表，而被检电能表仍同是 2 级表。

因此，以“JJG 307—82”为基础的《交流电度表 检定与调整》一书已不适应新规程的需要。作者（该规程主要起草人）在新规程的基础上，吸取了专家和读者的意见，重新修订和改写成《交流电能表检定与调整》一书。本书法制管理内容由国家技术监督局量传处陈传家同志审定；技术内容由中国计量科学研究院电磁处张德实研究员审定。我们相信，本书将对《JJG 307—88 交流电能表检定规程》的统一理解和正确贯彻，以及提高交流电能表检定、调修人员的业务水平有所裨益。

国家技术监督局计量司量值传递处

1992. 2.

目 录

第一章 电能表的基本结构和工作原理	(1)
一、电能表的基本结构	(1)
二、电能表的工作原理	(12)
复习思考题	(31)
第二章 电能表的接线	(32)
一、正弦电流电路中的功率	(32)
二、有功电能表的接线	(40)
三、三相无功电能表的接线	(49)
四、电能表的错误接线及其检查方法	(75)
五、铭牌标志和电量的抄读	(88)
复习思考题	(93)
第三章 电能表的基本误差特性	(94)
一、影响基本误差的主要因素	(94)
二、基本误差特性曲线	(103)
三、改善基本误差特性的常用方法	(110)
复习思考题	(115)
第四章 电能表的附加误差特性	(116)
一、电压变化	(116)
二、频率变化	(119)
三、温度变化	(123)
四、自热影响	(128)
五、波形畸变	(129)
六、位置倾斜	(131)
七、负载波动	(132)
八、三相电压不对称	(134)

九、相序改变.....	(134)
十、负载不平衡.....	(138)
复习思考题.....	(141)
第五章 电能表的检定	(142)
一、适用范围.....	(142)
二、技术要求.....	(144)
三、检定条件.....	(151)
四、检定方法.....	(184)
五、检定结果处理和检定周期.....	(200)
复习思考题.....	(207)
第六章 交流电能表检定装置	(208)
一、基本技术要求.....	(208)
二、主要设备.....	(211)
三、制造和选购检定装置应注意的问题.....	(248)
四、电能表检验台.....	(254)
五、电能表或功率表与互感器的综合误差.....	(273)
六、检定装置的检定.....	(282)
复习思考题.....	(296)
第七章 电能表的调整	(297)
一、误差调整装置.....	(297)
二、单相有功电能表的调整.....	(314)
三、三相有功电能表的调整.....	(321)
四、三相无功电能表的调整.....	(329)
五、用单相法调整三相电能表.....	(337)
六、同步调整法.....	(340)
复习思考题.....	(341)
附录 检定装置的测量误差和测量不确定度	(343)

第一章 电能表的基本结构 和 工 作 原 理

常用的单相电能表都是感应系三磁通型积算式仪表，它由测量机构和辅助部件组成。三相电能表各组件与单相电能表相似，通过一定的测量电路才能测量三相电能。因此，本章只叙及单相电能表的基本结构和工作原理。

一、电能表的基本结构

1. 测量机构

图 1-1 是单相电能表的测量机构简图，它是电能测量的核心部分，由驱动元件、转动元件、制动元件、轴承、计度器和调整装置（图中未画出，将在第七章叙及）组成。

1.1 驱 动 元 件

驱动元件由电压元件和电流元件组成，用来将交变的电压和电流转变为交变磁通，切割转盘形成驱动力矩，使转盘转动。

电压元件由电压铁心 7、电压线圈 2 和回磁极 12 组成，用来把交流电压转变为交变的电压磁通，因为电压线圈总是和负载并联，所以又把电压元件称为并联电路或电压线路。电压铁心用 $0.35 \sim 0.5 \text{ mm}$ 厚的硅钢片迭成，电压线圈用线径 $0.08 \sim 0.16 \text{ mm}$ 的漆包线绕成，使电压元件能产生所需要的电压磁通和具有较大的阻抗和阻抗角，减少功率消耗。回

磁极用 $1.5 \sim 2 \text{ mm}$ 厚的钢片冲压制成，作为电压工作磁通的回路。

电流元件由电流铁心 3、电流线圈 4 和磁分路（图 1-1 中未画出）组成，用来把交流电流转变为交变的电流磁通。因为电流线圈总是和负载串联，所以又把电流元件称为串联电路或电流线路。电流铁心用 0.35 mm 厚的高硅钢片迭成。

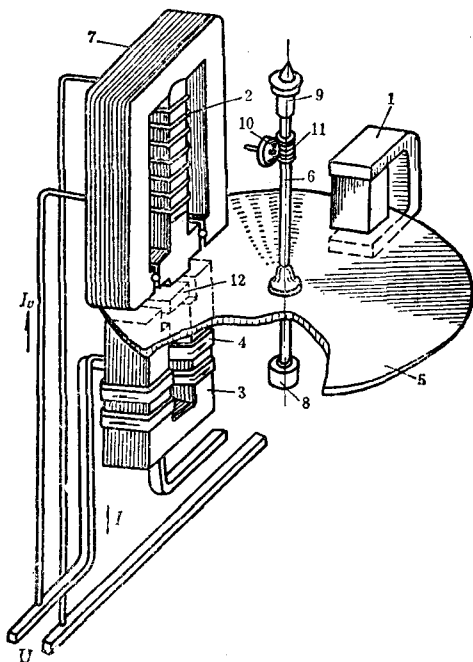


图 1-1 单相电能表的测量机构简图

- 1——制动磁铁，2——电压线圈，3——电流铁心，
4——电流线圈，5——转盘，6——转轴，7——电压铁心，
8——下轴承，9——上轴承，10——蜗轮，11——蜗杆，
12——回磁极

电流线圈线径和匝数由电能表的额定最大电流确定，其安匝数一般在 65~150 范围。常将电流线圈分成相互串联而匝数相等的两部分，分别绕在电流铁心的两柱上。磁分路作为电流非工作磁通的回路，用来改善电能表的误差特性。

驱动元件有辐射式和切线式两种布置形式。电压铁心硅钢片 1 平面平行转盘半径的为辐射式（见图 1-2），垂直转盘半径的为切线式（见图 1-3）。

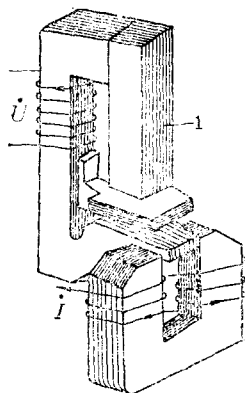


图 1-2 辐射式驱动元件

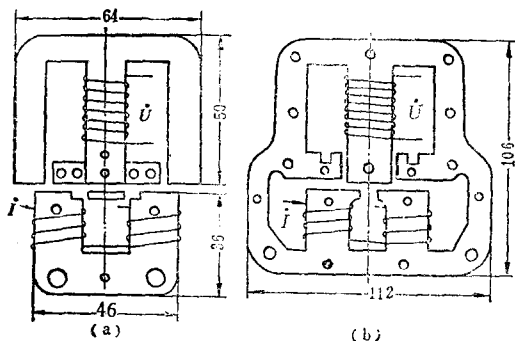


图 1-3 切线式驱动元件

(a) 分离式；(b) 封闭式

切线式驱动元件的结构简单，便于安装和大批量生产，具有较好的技术性能，得到广泛采用。这类元件又成分离式和封闭式两种基本结构。分离式结构的电压铁心和电流铁心彼此分开，用螺钉固定在基架上，它所耗用的钢材较少，

也便于检修。但是沿电压、电流铁心各磁路气隙和铁心本身的对称性不易控制，使同一类型电能表的计量特性的一致性较差，所以分离式驱动元件常用在准确度较低的普通电能表中。

封闭式结构的电压、电流铁心用整块硅钢片冲成，可利用一部分电压工作磁通磁化电流铁心，改善轻负载时的误差特性。同一类型电能表的计量特性的一致性较好，但它冲制铁心耗用的钢材较多，绕制和检修电压、电流线圈比较困难，所以封闭式驱动元件多用在产量较少而准确度较高的精密电能表中。

1.2 转 动 元 件

它由转轴 6 和转盘 5 组成（见图 1-1），能在驱动元件所建立的交变磁场作用下连续转动。为增大电能表的驱动力矩和减轻重量，转盘用电导率较大而重量较轻且有一定机械强度的电解铝板制成，其直径通常为 80~100 mm 而厚度为 0.6~1.2 mm，同时转盘上还印有计算转数的标记。为增强转动元件的静平衡和动平衡能力，有些转盘下方喷有白漆或红漆，切勿擦掉。多数转盘并非光泽如镜，表面常压成麻纹状态，以减小转盘模压成型后的机械应力和形变。

转轴用铝合金、铜质和钢质棒材制成，转轴上部有蜗杆 11 与计度器的蜗轮 10 衔接，将转盘的转动传递给计度器。

1.3 制 动 磁 铁

图 1-1 中的制动磁铁 1 用来产生制动磁通，该磁通被转动着的转盘切割时与转盘中的感应电流相互作用形成制动力矩，从而阻止转盘加速转动。

制动磁铁由铝镍合金或铝镍钴合金压铸而成。这类磁铁有较大的矫顽力和剩磁感应强度，受外界磁场和温度影响较

小，因而磁性稳定。

制动磁铁可分成单磁通和双磁通两种基本结构（见图1-4），前者由低磁能合金铸成细长的整体而无磁轭，具有较高的机械强度，但其制动磁通只穿过转盘一次，会增大转动元件的振动。双磁通制动磁铁由磁性较稳定的高磁能合金制成，固定在铸钢磁轭上。为减小电网内的短路电流或雷电流的退磁影响，磁铁常用铝合金封装。这类磁铁因其磁通多次穿过转盘会增大制动力矩，减小转动元件的振动，所以它得到广泛应用。

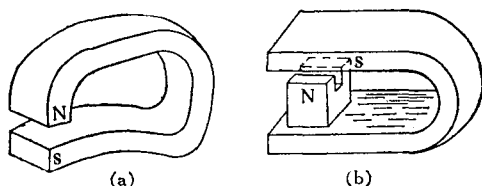


图 1-4 制动磁铁

(a) 单磁通型，(b) 双磁通型

1.4 轴 承

轴承支撑转动元件，对电能表误差的稳定性和使用寿命有很大影响。根据轴承所在位置，可分为下轴承和上轴承。图1-5是下轴承的三种基本结构，它位于转轴下端承受转动元件的全部重量，轴承组成部件已在图注中说明。轴承中的钢珠由铬钢或不锈钢制成，其直径为0.8~1.5 mm，表面要精细抛光。

宝石多采用人造刚玉制成，其曲率半径为1.7~2.3 mm，它应大于钢珠半径的3倍，否则会急剧增大轴承中的摩擦转矩，但是，曲率半径过大也会增大电能表的倾斜误差。为增强轴承硬度和耐磨性能，宝石的光轴在75°~90°较为合适。

倒宝石轴承中的宝石凹面向下，灰尘不易落入球穴。硬

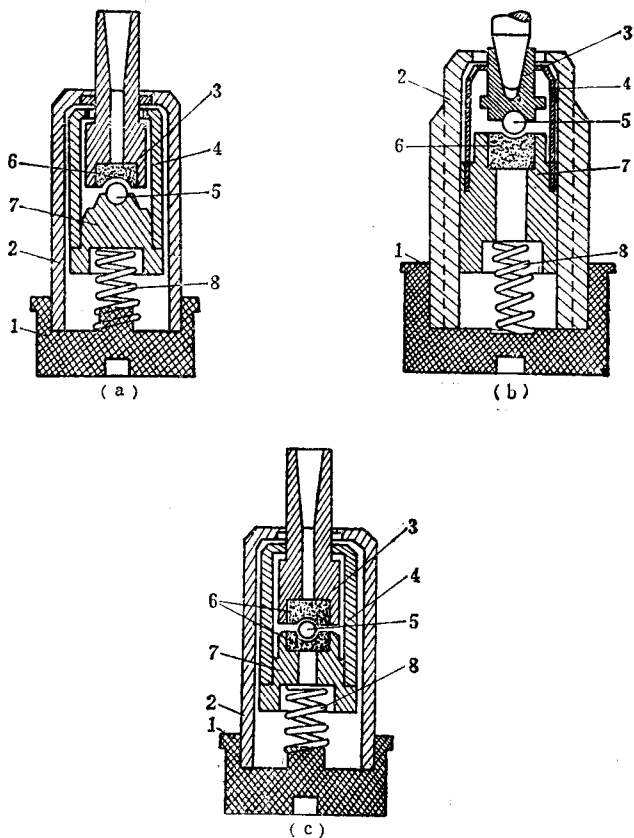


图 1-5 下轴承的三种基本结构

(a) 倒宝石轴承, (b) 正宝石轴承,

(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

度较大的宝石镶在轴座上与镶在支承上的钢珠作相对运动，故其磨损比正宝石轴承小。双宝石轴承中的钢珠在电磁振动力作用下可以转动，表面受磨较均匀，这就延长了轴承的使用寿命。但是，双宝石轴承容易受到转动元件的倾斜影响，因此，调试和安装此类电能表时，要特别注意把表放端正。

上轴承位于转轴的上端起导向作用，不承受转动元件的重量。图 1-6 为常用的一种上轴承结构，其中轴销（钢针）4 用弹簧钢丝或不锈钢条制成，其直径为 $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$ ，工作长度为 $4 \sim 6 \text{ mm}$ ，表面也要精细抛光。轴销长度和弹性对减小噪声和磨损都有影响。衬套 5 一般由黄铜制成，套在留有贮油室 6 的转轴 7 上；轴销通过衬套上端的孔穴（有的在孔穴上镶有宝石环）进入贮油室。有些电能表则在衬套中加一个浸油的胶布垫，或者采用聚甲醛和聚碳酸酯制造衬垫。

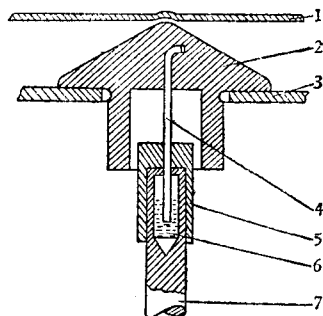


图 1-6 常用的一种上轴承结构

- 1——弹簧片，2——夹持器，
3——基架，4——轴销，
5——衬套，6——贮油室，
7——转轴

主要由宝石和钢珠组成的轴承磨损较大，影响电能表寿命，因此国内、外有些电能表采用磁推轴承或磁力减载轴承，它靠两部分永久磁铁间的磁力，使转动元件处于悬浮状态。图 1-7 为磁推轴承的结构实例，圆筒形磁铁 2 镶在转轴 1 下端的钢环 4 内，与它同极性的另一圆筒形磁铁 3 镶在钢环 5 内，每一磁铁的磁通经各自的钢环闭合。转动元件靠这两块磁铁间的排斥力处在悬浮状态，所以称为“磁推轴承”。

定位用的石墨衬管 8 和 9 与轴销 6 和 7 之间只有很小的摩擦，故能延长电能表寿命。

图 1-8 为磁力减载轴承的结构实例，圆筒形磁铁 1 的磁通 Φ ，经环形软铁垫片 9 和软铁罩 2 闭合。为避免发生偶然振动而使磁铁和软铁垫片吸住，在衬管 8 上留有比软铁垫片高的圆台。圆筒形磁铁 1 和软铁垫片 9 之间的吸引力抵偿了

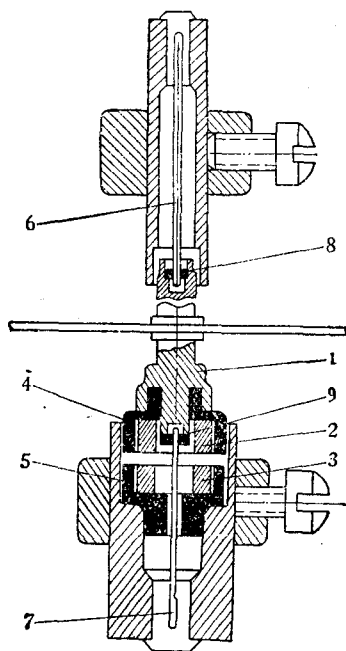


图 1-7 磁推轴承

- 1——转轴；
- 2 和 3——圆筒形磁铁；
- 4 和 5——钢环；
- 6 和 7——轴销；
- 8 和 9——石墨衬管

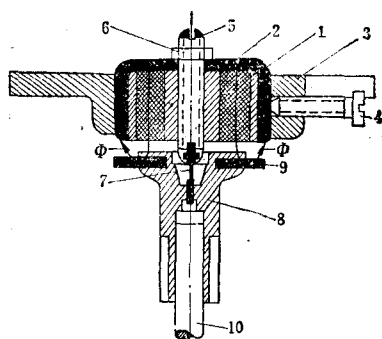


图 1-8 磁力减载轴承

- 1——圆筒形磁铁；2——软铁罩；
- 3——基架；4——螺钉；
- 5——有导向孔的螺钉；6——螺母；
- 7——轴销；8——铝合金管；
- 9——环形软铁垫片；10——转轴

转动元件一部分重量，所以电能表下轴承所受的压力也就大大减小。

1.5 计 度 器

计度器用来积算转盘转数，以显示所测定的电能。计度器有机械式和光电脉冲式两种类型，前者又有字轮式和指针式两种结构。多数国家生产的安装式电能表（工作电能表）采用图 1-9 所示的字轮式计度器，由图看出，转轴的转动经过各对齿轮传递，带动各位字轮相继转动。每当字轮进位时，其间的摩擦力增加使转盘转速变慢。为减小计度器重量和摩擦，广泛采用铝合金或工程塑料压制字轮和齿轮。横轴用耐磨的不锈钢条制造，其直径为 1~1.2 mm。

北美国家生产的安装式电能表常采用指针式计度器（见图 1-10）。各指针套在相应的横轴上并露在字盘表面，依次连续转动，其间的摩擦力及其变化很小。在字盘上所标的 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 等系数，表示指针示数应乘上相应的系数。相邻两指针的旋转方向相反，读数时应当注意。

无论是字轮式还是指针式计度器，各齿轮的推动力都由转轴向字轮方向传递。因此，我们把蜗杆 G、齿轮 B 和 D 等称为主动轮，把随主动轮转动的齿轮 A、C、E 等称为从动轮。相互啮合的一对齿轮的传动比，等于从动轮齿数与主动轮齿数之比。计度器传动比 K 等于各对齿轮传动比的连乘积，即

$$K = \frac{Z_a Z_c Z_e}{Z_g Z_b Z_d}$$

式中 Z_a 、 Z_c 、 Z_e ——从动轮 A、C、E 的齿数；

Z_b 、 Z_d 、 Z_g ——主动轮 B、D、G 的齿数。

图 1-11 为光电脉冲式计度器的方框图。特制的非金属

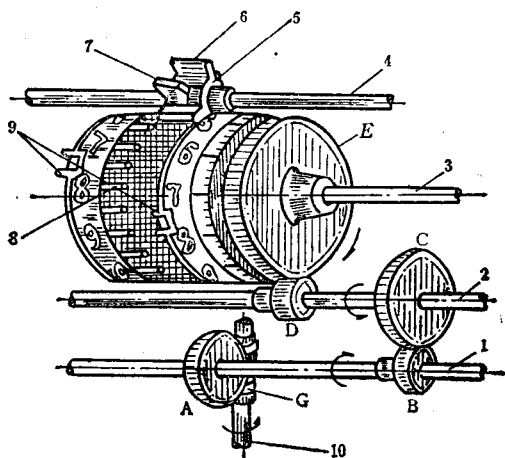


图 1-9 字轮式计度器

G——蜗杆，A——蜗轮，B和D——主动轮，
C和E——从动轮，1~4——横轴，
5——进位轮，6——长齿，7——短齿，
8——梢齿，9——槽齿，10——转轴

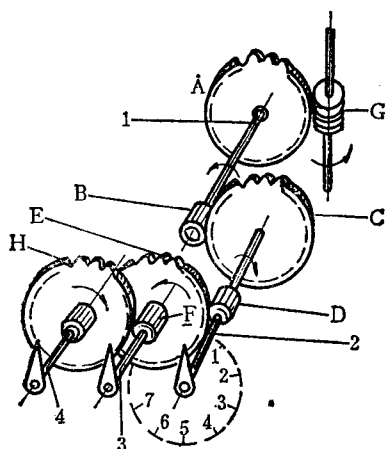


图 1-10 指针式计度器

G——蜗杆，A——蜗轮，B、D、F——主动轮，
C、E、H——从动轮，1~4——横轴