



交流电度表 检定与调整

蓝永林 编著

中国计量出版社

933.4

内 容 提 要

为正确地贯彻执行《交流电度表检定规程》(JJG 307—82),促进电能计量工作,特编著此书。

本书简述了交流电度表的工作原理,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,简述有功和无功电度表的调整步骤和电度表检定装置。尤其对装置的主要技术要求,试验方法,组成部件的典型线路,单相和三相试验台,确定装置总合误差的原则,都做了详细而系统地介绍。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。

本书供具有中等文化程度的计量、生产、科研部门的交流电度表检定与调试人员阅读和参考。

交流电度表检定与调整

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11区7号)

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

✱

开本787×1092 1/32 印张 9 1/8

字数 210 千字 印数 1—2 0000

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷

统一书号 15210·602

定价 1.95 元

前 言

电度表是有关节能和经济结算的重要计量器具，而且使用极为广泛，因此几乎无例外地在世界各国均被列为由国家计量部门进行强制管理的对象。为了加强对电度表的计量管理，国家计量局颁布了《JJG 307—82 交流电度表检定规程》。在贯彻执行该规程的过程中，各地从事有关工作的同志们不断提出建议，希望我们组织编写一本系统阐述有关交流电度表的基础知识、检定方法和调整技术的书，以利于对检定规程内容的统一理解和正确贯彻，同时帮助提高电度表检定、调修人员的技术水平。为此，特约请该规程主要起草人蓝永林同志，在他为编写该规程而积累的大量资料和经验的基础上，以及为宣传贯彻该规程而编写的、经过多次使用和修改补充的讲稿的基础上着力编写了本书。因此，我们相信，本书将具有良好的实用性。

国家计量局法规处

目 录

第一章 电度表的基本结构和工作原理	(1)
一、电度表的基本结构.....	(1)
二、电度表的工作原理.....	(12)
复习思考题	(31)
第二章 电度表的接线	(32)
一、正弦电流电路中的功率.....	(32)
二、有功电度表的接线.....	(40)
三、三相无功电度表的接线.....	(49)
四、电度表的错误接线及其检查方法.....	(73)
五、铭牌标志和电量的抄读.....	(86)
复习思考题	(91)
第三章 电度表的基本误差特性	(92)
一、影响基本误差的主要因素.....	(92)
二、基本误差特性曲线.....	(101)
三、改善基本误差特性的常用方法.....	(108)
复习思考题	(113)
第四章 电度表的附加误差特性	(114)
一、电压变化.....	(114)
二、频率变化.....	(117)
三、温度变化.....	(121)
四、自热影响.....	(126)
五、波形畸变.....	(127)
六、位置倾斜.....	(129)
七、负载波动.....	(130)
八、三相电压不对称.....	(132)
九、相序改变.....	(133)

十、负载不平衡	(136)
复习思考题	(139)
第五章 电度表的检定	(140)
一、适用范围	(140)
二、技术要求	(141)
三、检定项目和检定周期	(143)
四、检定条件	(144)
五、检定方法	(156)
六、检定结果的处理	(168)
复习思考题	(173)
第六章 交流电度表检定装置	(174)
一、基本技术要求和试验方法	(174)
二、检定装置的主要设备	(182)
三、电度表检验台	(205)
四、电度表或功率表与互感器的综合误差	(214)
五、确定检定装置测量误差的原则	(226)
复习思考题	(237)
第七章 电度表的调整	(238)
一、误差调整装置	(238)
二、单相有功电度表的调整	(255)
三、三相有功电度表的调整	(261)
四、三相无功电度表的调整	(270)
五、用单相法调整三相电度表	(277)
六、同步调整法	(280)
复习思考题	(282)

第一章 电度表的基本结构 和 工 作 原 理

常用的单相电度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。三相电度表各组元件与单相电度表相似，通过一定的测量电路才能测量三相电能。因此，本章只叙及单相电度表的基本结构和工作原理。

一、电度表的基本结构

1. 测量机构

图 1-1 是单相电度表的测量机构简图，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。

电压元件由电压铁芯 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。电压铁芯用 $0.35 \sim 0.5 \text{ mm}$ 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。

电流元件由电流铁芯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。电流铁芯用0.35 mm厚的高硅钢片迭成。电

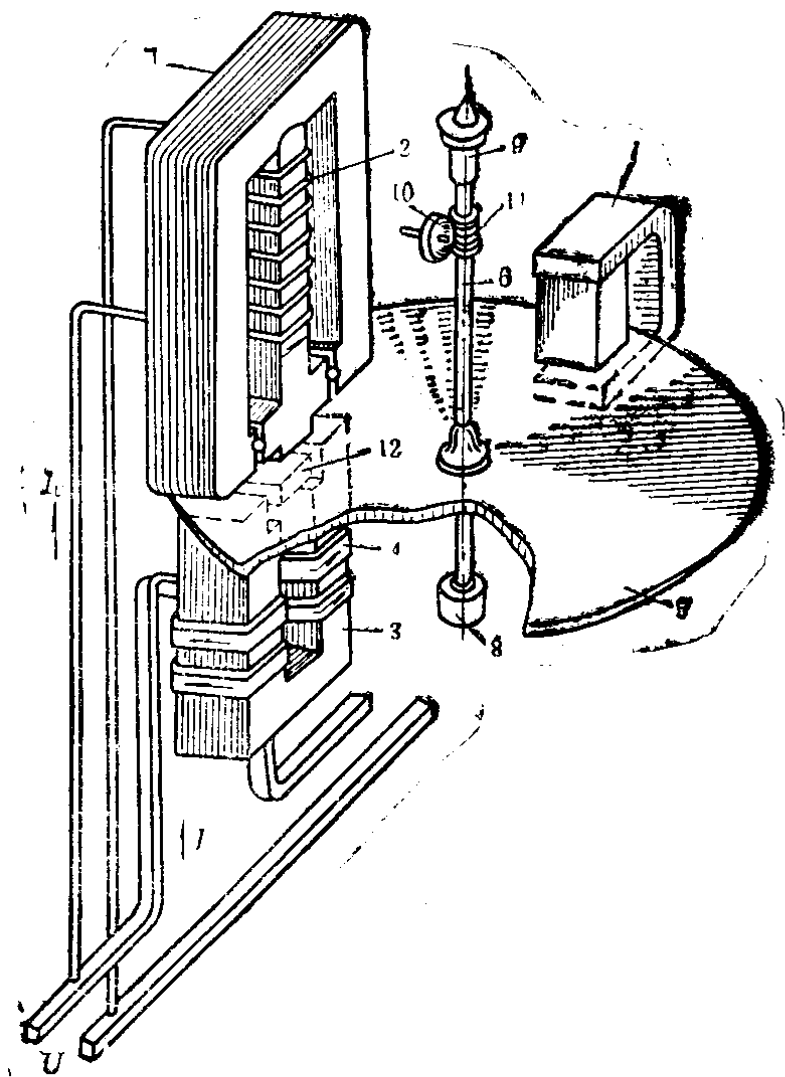


图1-1 单相电度表的测量机构简图

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

流线圈线径和匝数由电度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，分别绕在电流铁芯的两柱上。磁分路作为电流非工作磁通的回路，用来改善电度表的误差特性。

驱动元件有辐射式和切线式两种布置形式。电压铁芯硅钢片 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）。

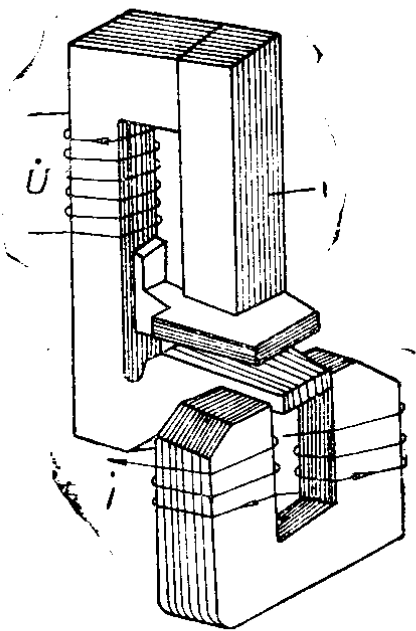


图1-2 辐射式驱动元件

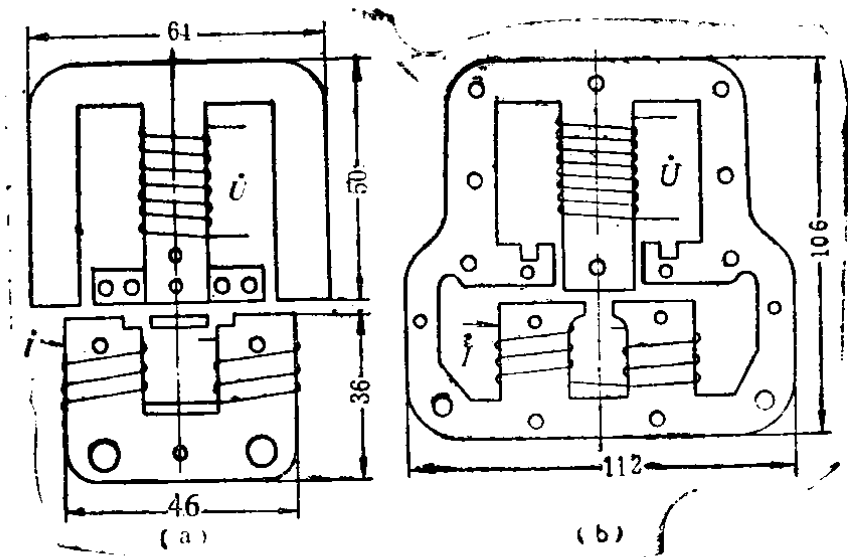


图1-3 切线式驱动元件
(a) 分离式； (b) 封闭式

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。这类元件又分成分离式和封闭式两种基本结构。分离式结构的电压铁芯和电流铁芯彼此分开，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、电流铁芯各磁路气隙和铁芯本身的对称性不易控制，使同一类型电度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度表中。

封闭式结构的电压、电流铁芯用整块硅钢片冲成，可利用一部分电压工作磁通磁化电流铁芯，改善轻负载时的误差特性，同一类型电度表的计量特性的一致性较好，但它冲制铁芯耗用的钢材较多，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度表中。

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。为增大电度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。

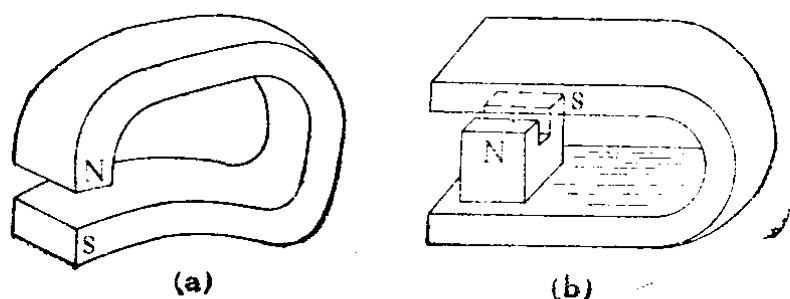


图1-4 制动磁铁
(a) 单磁通型； (b) 双磁通型

1.4 轴 承

轴承支撑转动元件，对电度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力矩，但是，曲率半径过大也会增大电度表的倾斜误差。为增强轴承硬度和耐磨性能，宝石的光轴在 $75^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 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

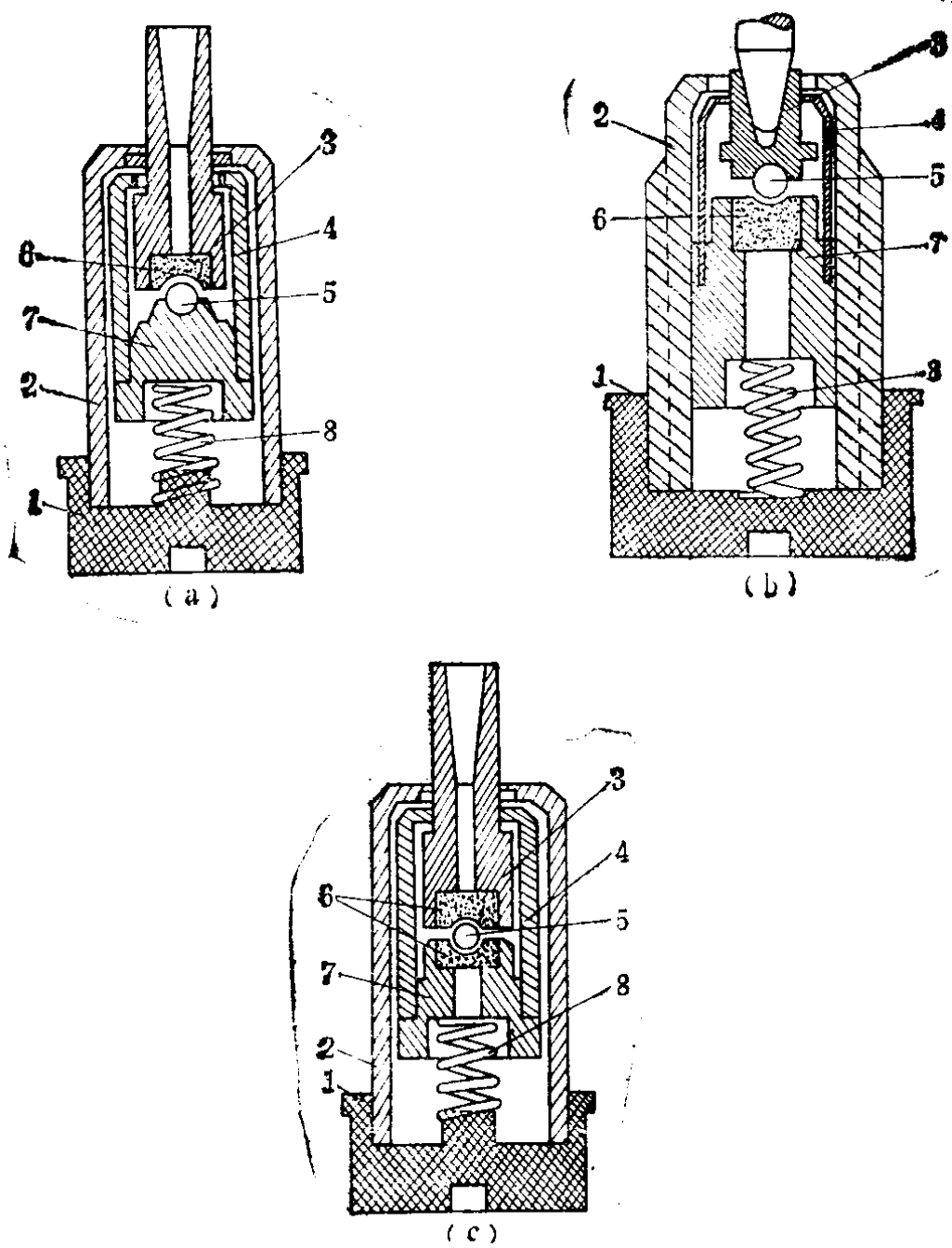


图1-5 下轴承的三种基本结构

(a) 正宝石轴承； (b) 倒宝石轴承；
(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，故其磨损较正宝石轴承小。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，调试和安装此类电度表时，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0.3~0.5 mm，工作长度为4~6 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，套在留有储油室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）进入储油室。有些电度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脂制造衬垫。

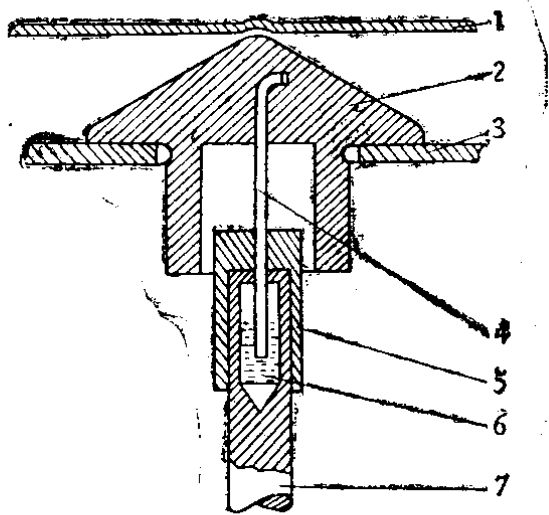


图1-6 常用的一种上轴承结构

1——弹簧片； 2——夹持器；
3——基架； 4——轴销；
5——衬套； 6——储油室；
7——转轴

主要由宝石和钢珠组成的轴承磨损较大，影响电度表寿命，因此国内、外有些电度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,故能延长电度表寿命。

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

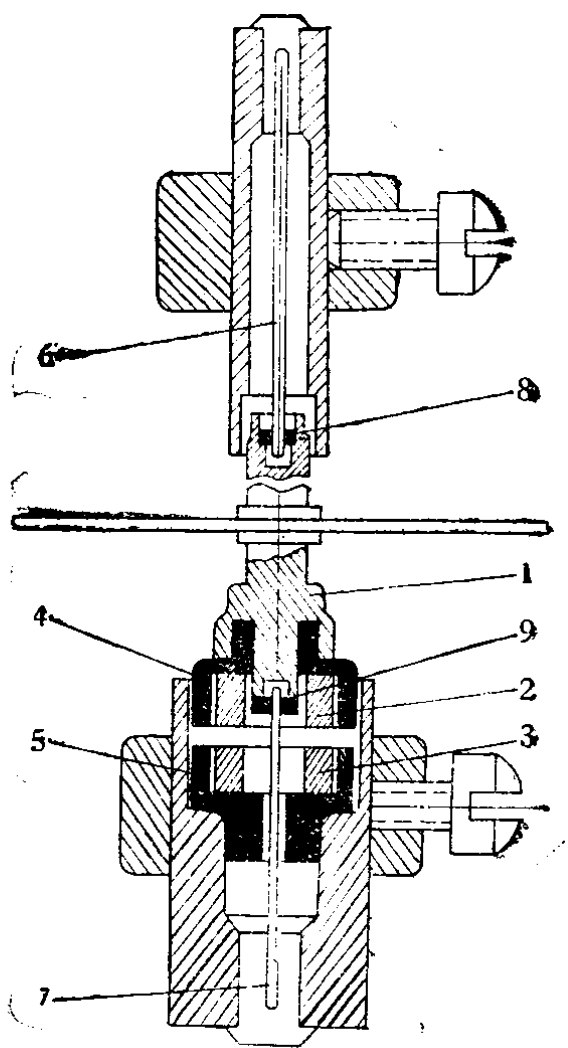


图1-7 磁推轴承

- 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

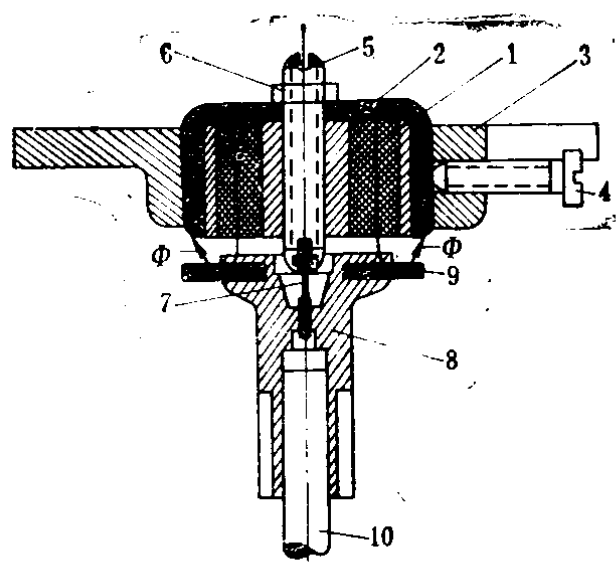


图1-8 磁力减载轴承

- 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，所以电度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度表（工作电度表）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1~1.2mm。

北美国家生产的安装式电度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

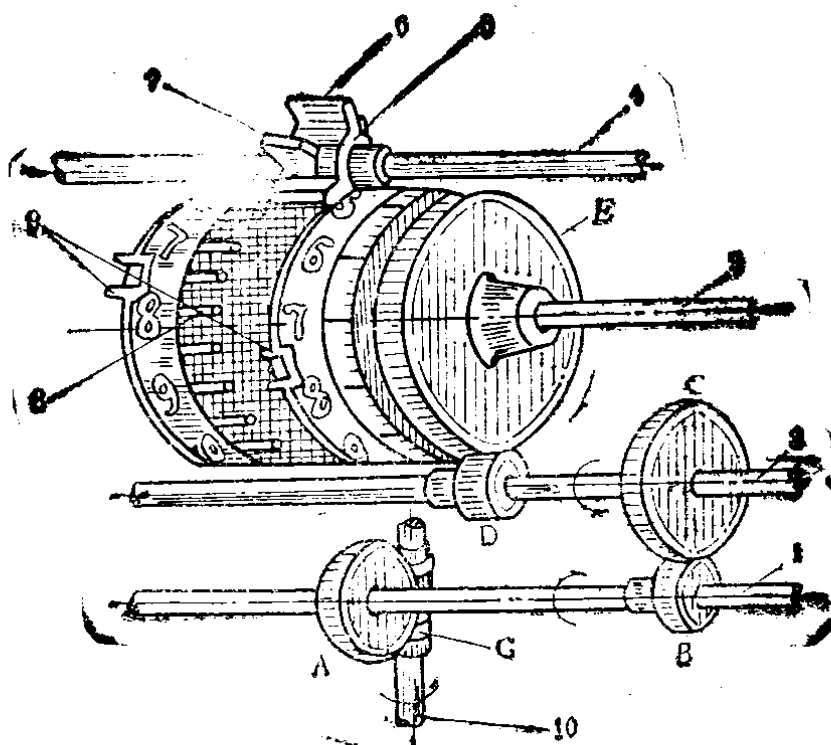


图1-9 字轮式计度器

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

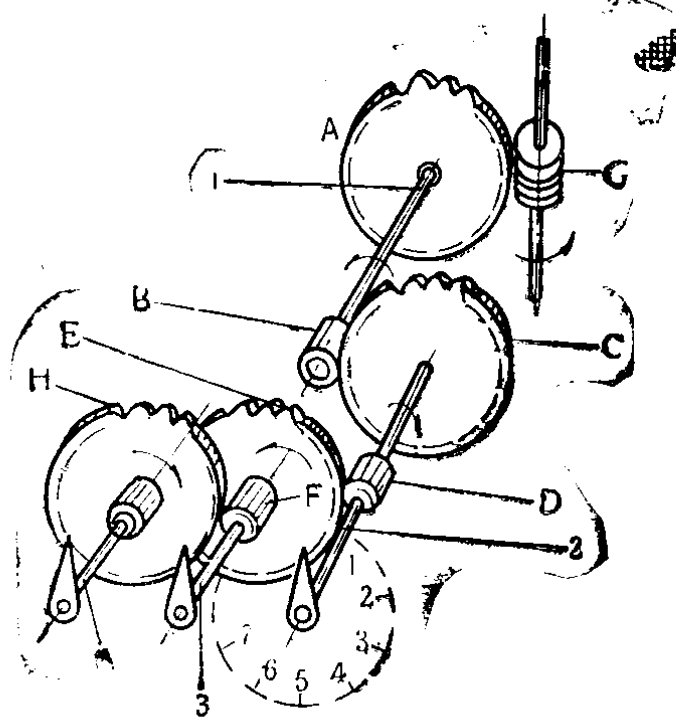


图1-10 指针式计度器

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

码盘固定在转轴上，码盘上有 1~2 排黑色标记。小白炽灯发出的光线经聚焦后，穿过码盘的透明部分，照在光电元件上，把光信号转变为变动的电流信号。该电流经放大和整形后，通过门控电路进入计数器，再经译码电路和显示装置，把转盘每转一转所发出的光电脉冲数累计起来，表示所测得的电能。这类计度器没有机械磨损，提高了电度表误差的稳定性，所以它在 0.2 级以上的携带式精密电度表中得到广泛应用。

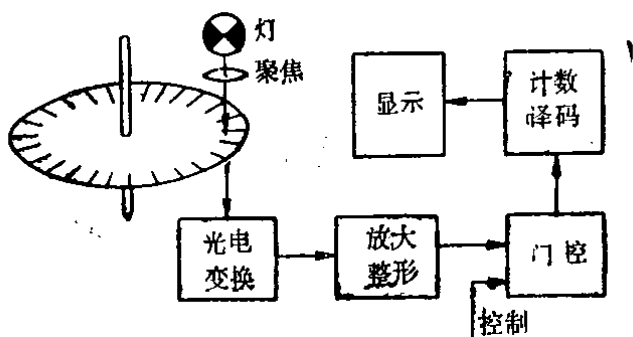


图1-11 光电脉冲式计度器方框图

2. 辅助部件

2.1 基 架

电度表的辅助部件包括基架、端钮盒和表壳。基架用来支撑驱动元件、转动元件和计度器等测量机构部件，它对电度表计量特性的稳定性有较大影响。所以基架要有足够的机械强度和稳定性，常用铝合金制成。

2.2 端 钮 盒

它由铜接头和绝缘体构成，用来将电度表内部的电流、电压线圈与要测定电能的线路连接起来。多数采用活接头的端钮盒；对电流较大的电度表，有的是将电流线圈端头压扁，插入端钮盒作接头。对插座式接线的电度表，需用外附的专用接线盒。

2.3 表 壳

表壳由表盖和表底（底座）组成，电度表的基架固定在表底上，表盖上有供观查转盘转动情况和读取计度器示数的

窗口。表壳保护测量机构不受脏物和昆虫侵害及机械损伤，因此表壳应有良好的密封性能和足够的机械强度。

二、电度表的工作原理

1. 转盘为什么能转动

驱动元件建立的交变电压、电流磁通与其在转盘内的感应电流相互作用形成驱动力矩，它能使转盘转动。那么怎样才能形成驱动力矩呢？下面先说明电磁力是怎样产生的。

在图 1-12 中，负载电流 i 通过电流线圈产生两部分电流磁通：沿电流铁芯 3 和电压铁芯 4、空气隙并穿过转盘 2 的磁通 $\dot{\Phi}_i$ ，称为电流工作磁通；凡不穿过转盘的电流磁通（包括电流线圈的漏磁通） $\dot{\Phi}_s$ ，称为电流非工作磁通。

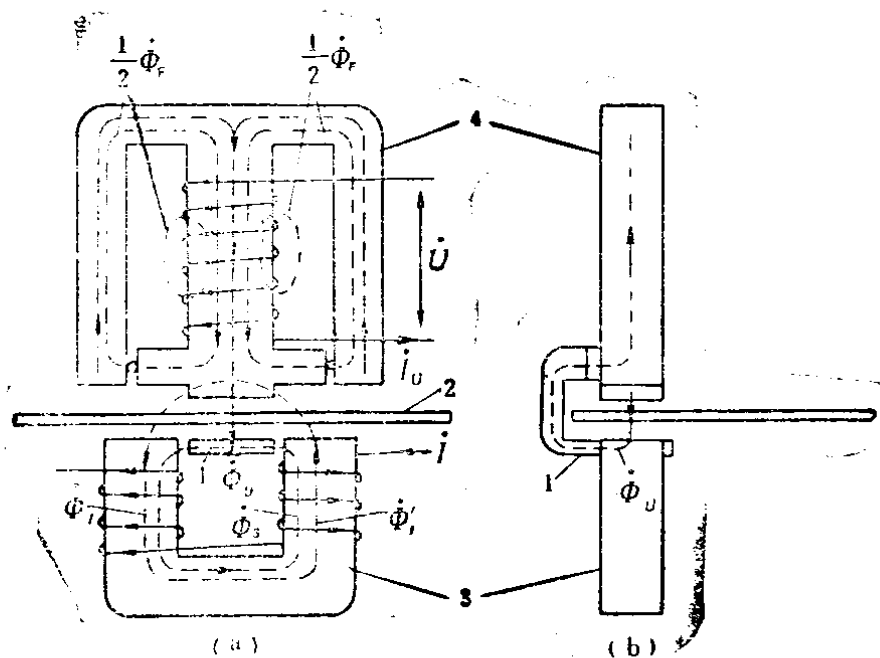


图1-12 电度表内各磁通分布情况

1——回磁极；2——转盘；3——电流铁芯；
4——电压铁芯