

火电厂技工培训教材

电工仪表、繼电保护和 二次結綫

湖北省电业局編

水利电力出版社

300

內 容 提 要

这部分教材是为在比較緊迫的時間中培養运行工人而編寫的。

当前技工培訓工作有着数量多、時間短、質量要求高的特点；培养对象既有新工人也有老工人，文化程度上有初中的也有高小的；要求新工人經過4个月的教育能够掌握輔助设备的运行操作，成長为初級技工，同时具备迅速向高級技工發展的可能，对老工人通过系統理論學習結合实际經驗成为高一級的骨干，培养方法上是全面理論學習和帶有專業速成性質的生產實習平行并进的。

为了配合实际工作的需要，教材編排上注意了下列各点：培养方向是技工不是技術員，因此着重物理概念的建立，避免数学推导和純理論的探討；材料取舍上要包括有發展为高級技工所必需的理論知識，同时为了节省精力和時間力求精練避免重复，力求实用不糾纏于已过时的或还没有实用价值的设备上，尽量做到課堂所学到的，在實習中就能用到，但是为了發展前途又不受現有生产厂设备的限制；为解决高小程度对象的困难編寫了过渡到專業所必要的基础知識；为了配合生产實習先輔助设备后本体的程序，尽可能將輔助设备安排在前面，为了适合工人水平，文字力求通俗，以減少閱讀的困难。

电工仪表、繼電保护和二次結綫

湖北省電業局編

1558D445

水利电力出版社出版(北京西郊科学路二里溝)

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

新华通訊社印刷厂印刷 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 5 $\frac{1}{8}$ 印張 114千字

1958年11月北京第1版

1959年6月北京第2次印刷(8,101—20,130册)

統一書号: T15143·293 定价(第8类) 0.53元

73.16/639
出版社

73.16
31

目 录

第一章 发电厂电工仪表

第一节	发电厂电工仪表的作用及分类	2
第二节	电工仪表的动作原理	8
第三节	电工仪表的構造	21
第四节	电流、电压、电功率、电能、力率、 周率等的测量	25

第二章 繼电保护装置

第一节	短路的一般概念	54
第二节	繼电保护装置的目的及应具备的几个条件	58
第三节	电流保护装置的原理	61
第四节	低电压保护装置的原理	63
第五节	差动电流保护装置的原理	63
第六节	方向保护装置的原理	65
第七节	电流繼电器	67
第八节	电压繼电器	71
第九节	中間繼电器	73
第十节	時間繼电器	74
第十一节	信号繼电器	76
第十二节	电力繼电器	77
第十三节	瓦斯繼电器	79

第三章 自动装置

第一节	自动灭磁装置	83
第二节	自动調整励磁装置	85
第三节	自动重合閘裝置	106

第四章 二次系統結綫

第一节	二次結綫的概念	112
第二节	互感器的結綫	112
第三节	仪表的結綫	127
第四节	直流电路	134
第五节	油开关操作回路	140

第五章 信号裝置 閉鎖裝置

第一节	信号	149
第二节	防止隔离开关不正誤操作的联鎖机构	162

73.16
31

目 录

第一章 发电厂电工仪表

第一节	发电厂电工仪表的作用及分类	2
第二节	电工仪表的动作原理	8
第三节	电工仪表的構造	21
第四节	电流、电压、电功率、电能、力率、 周率等的测量	25

第二章 繼电保护装置

第一节	短路的一般概念	54
第二节	繼电保护装置的目的及应具备的几个条件	58
第三节	电流保护装置的原理	61
第四节	低电压保护装置的原理	63
第五节	差动电流保护装置的原理	63
第六节	方向保护装置的原理	65
第七节	电流繼电器	67
第八节	电压繼电器	71
第九节	中間繼电器	73
第十节	時間繼电器	74
第十一节	信号繼电器	76
第十二节	电力繼电器	77
第十三节	瓦斯繼电器	79

第三章 自动装置

第一节	自动灭磁裝置	83
第二节	自动調整励磁裝置	85
第三节	自动重合閘裝置	106

第四章 二次系統結綫

第一节	二次結綫的概念	112
第二节	互感器的結綫	112
第三节	仪表的結綫	127
第四节	直流电路	134
第五节	油开关操作回路	140

第五章 信号裝置 閉鎖裝置

第一节	信号	149
第二节	防止隔离开关不正誤操作的联鎖机	162

第一章 发电厂电工仪表

第一节 发电厂电工仪表的作用及分类

(一) 发电厂电工仪表的作用

为了保证可靠的和经济的运行，发电厂各种电气设备装有电工仪表，值班人员借以进行：

- 1) 发电机及线路与电网并列时的起动及投入；
- 2) 根据系统调度员规定的负荷曲线，监视机组间有功及无功电力的分配；
- 3) 监视电路上的负荷，避免危险的异常运行(过负荷)；
- 4) 监视送出电能的质量(电压、周率)；
- 5) 计算发出和输入的电 能，厂用电消耗的电 能及送往用户的电能；
- 6) 按时抄写或记录一系列电气值的变化，以供经济运行及事故情况的分析；
- 7) 检查小接地电流系统或直流系统对地绝缘情况；
- 8) 检查发电厂最重要机组(发电机、变压器及大型电动机)的温度；
- 9) 将某些仪表的读数报告值班调度员。

为了减低设备的费用也为了减轻值班人员的工作，每个电路内所装设的仪表数应该尽量减少，但必须能充分保证设备的正确运行。仪表应配置得便于监视每一机组和线路的工作。例如发电机的仪表装置于主控制盘上和部分地装置于原动机控制盘上。

(二) 发电机回路裝的仪表

为了監視发电机的运行，在发电机主控制盤上裝有下列仪表：

在靜子回路內裝設 3 个电流表，1 个电压表，1 个有功电力表与 1 个无功电力表或力率表，和周率表。

电流表供監視发电机靜子綫圈負荷电流用，在这些电流表的刻度盤上画有紅綫，以表明靜子电流的最大容許值。为了檢查发电机各相电流是否平衡，防止轉子过热，所以要裝設 3 个电流表。

电压表用于当发电机在正常工作时，以及在它起动过程中，还没有接到母綫上时，对发电机电压的監視，这电压表接在发电机主开关前的仪表变压器上，在电压表的刻度盤上也画有紅綫以表明发电机靜子电压的最大容許值，电压表有的附有切换开关，以測量三相的电压是否平衡。

有功和无功电力表用于監視并列运行的机組間有功和无功电力的分配情况，同时用来完成值班調度員所給予的对有功及无功負荷曲綫的要求。有功电力表并用于監視发电机的原动机的負荷。根据有功和无功电力表的指示还可以明确发电机这时負荷的力率，有些发电机裝設一个有功电力表和 1 个力率表以代替有功和无功电力表，力率表用以确定发电机負荷的力率在力率表的刻度盤上也画有指示这发电机力率最大容許值的紅綫，这时有功电力表一般設有切换开关，用以改变电力表上所受电压的相位，使电力表也能測出无功电力，在孤立运行的发电厂中，一般均裝設力率表以代替无功电力表。

在中等容量和大容量的发电机上，尤其是与大容量电力

系統并列运行的发电厂中还要裝設記錄型的有功電力表，有的还裝設記錄型无功電力表，自动繪出发电机負荷曲綫，在有多台发电机的大型发电厂中有时裝設綜合有功和无功電力表，指示发电厂的总負荷，最好是再裝設一套記錄型綜合有功及无功電力表，自动繪出发电厂綜合負荷曲綫。

周率表用于发电机正常工作及起动过程中周率的監視。

为了計算发电机发出的电能，每台发电机上裝設測量有功和无功电能的电度表，这对于檢查生产計劃的完成情况及明确发电厂及机組主要技术經濟指标（單位电能和热能消耗的燃料、負荷因数，設備容量利用小时数等）是非常必要的。

对于中等容量和大容量的渦輪发电机，在原动机室原动机控制盤上裝設一个联接于靜子一相回路的电流表，有功電力表和周率表，对于小容量的渦輪发电机在原动机室只裝設一个有功電力表，这样值班司机可以对所負責的机組作补充的監視。

在轉子回路內裝設电流表，电压表及帶有切换裝置的励磁回路絕緣監視电压表，电流表用于对轉子电流的監視，在电流表的刻度盤上繪有指示轉子最大容許电流值的紅綫，电压表用于励磁电压的監視，电压表的刻度盤上也繪有一紅綫，指示在額定运行情况下轉子电流在最大容許电流值时的励磁电压。

对于有多台发电机的发电厂，大多数情况是共同使用一个帶有切换裝置的电压表以監視这数台发电机励磁回路的絕緣狀況。此外为了監視发电机的温度裝設有測量靜子鉄心与綫圈温度，冷却空气入口和出口温度的埋入电阻测温裝置；为了使发电机同期并列应裝設同期指示表等并列裝置。

(三) 电力变压器回路裝設的仪表

監視电力变压器負荷的主要仪表是設于一相上的电流表，在电流表的刻度盤上画有指示变压器額定电流的紅綫。

发电厂的升压器是用于发电厂和系統的联系而且經由它向系統送电或自系統受电，除裝設一个电流表外还应裝設一只有功无功兩用电力表（帶切换开关，双方向刻度）以監視向系統送电或自系統发电的有功和无功电力，裝設兩只电度表，每只电度表仅測量流向某一个方向的电能，而对相反方向的电能則处于制动状态。如变压器仅用于送电，則可安裝單方向刻度的电力表和一只电度表，考虑到高压側套管型变流器精确度不够，仪表多联接于低压側，对于三綫圈变压器，三个电压側均設电流表，在低压和中压綫圈回路內和对于二綫圈变压器一样設一个有功无功兩用电力表和一个有功电度表。

在发电厂的6~10/3千伏的厂用变压器回路內在高压側裝設一个电流表一个有功电力表和一个有功电度表，有时还裝設一个无功电度表。在电压为3~6/0.38~0.5千伏的变压器回路中，裝設一个电流表，有时还裝設一个有功电度表，在供給发电厂的照明負荷用的变压器回路內，在低压側裝設3个电流表，每相一个，以監視各相負荷的不平衡程度。

发电厂变压器的測量仪表除电度表外均裝設在控制盤上，电度表裝設在配电裝置的專設表盤上，有的也裝設在控制盤上。

选择变压器的測量仪表的刻度时，应考虑到变压器的容許过負荷。

此外为了測量变压器油的温度，直接在变压器上裝設水銀温度表及流体压力表型温度表，对于容量为3,200千伏安

及更大的变压器，必須考虑由控制盤远处測量温度，因此，在变压器油的頂层浸以测温电阻，并接至控制盤上的測量裝置并帶有切换开关可以用来远处測量几个变压器的温度。

(四)送电綫和饋电綫裝設的仪表

在綫路上必須裝設的仪表根据綫路的重要性而定，有时也根据它的負荷而定，在35千伏及35千伏以上的架空送电綫路，裝設3个电流表(每相一个)，这样可以檢查出不引起短路或接地的一相导綫的中断(例如在加强塔上断綫时)，也便于迅速檢查出中性点直接接地系統中接地的一相。

在环狀送电綫路上以及由兩側供电的綫路上，还裝設有功和无功电力表，以監視系統中有功和无功电力分配情况，送电綫路的仪表均裝設在控制盤上。

对于电压为3~10千伏的饋电綫路只裝設一个电流表，按电流情况監視負荷。对于大容量饋电綫除裝設一个电流表外有时裝設一个有功电力表以測量所傳送的电力及各个用戶的力率(利用电流表、电压表及有功电力表的讀数来計算)除电度表外，其他仪表均裝設在控制盤上。

(五)电动机回路裝設的仪表

当厂用电动机容量为10瓩及10瓩以上时，裝設一个电流表以監視电动机的起动与負荷情况。在电流表刻度盤上繪有指示最大容許电流值的紅綫，电流裝設于电动机处的控制盤上。为了監視电压，每一組控制盤上应裝設电压表。

(六)发电厂母綫裝設的仪表

在发电厂，发电厂电压母綫上裝設普通級和記錄型的电

压表和周率表。普通級电压表用于母綫电压的監視，周率表用于对工作中的发电厂周率的監視，用記錄型电压表的記錄可以檢查系統調度員給予的电压曲綫任务完成情况。記錄型仪表的記錄便于发电厂及系統事故經過的分析，在分段母綫上，考虑到各段母綫非同期工作的可能性，在每段母綫上均裝有上述仪表。

在热电站变压器高压側母綫上只裝設普通級和記錄型电压表，在区域发电厂中，上述仪表安裝于高压側母綫上，当区域发电厂有兩種升高电压时，則仅在其中一个母綫上裝設周率表。

在发电厂厂用母綫的每一段上裝設一个普通級电压表。

在小接地电流系統发电厂的3、6、10和35千伏电压母綫上还裝設監視系統对地絕緣的一組电压表(由三个电压表組成)如同級电压母綫有分段时則增設切换开关以檢查任一段母綫对地絕緣状态。

(七)发电厂电工仪表的分类

电工仪表的种类很多，发电厂电工仪表按所測量的量可分：測量电流的电流表(安培表)，測量电压的电压表(伏特表)，測量电力(电功率)的电力表(瓦特表)，測量电能的电度表(千瓦时表)，測量力率(功率因数)的力率表(相位表)，測量周率(頻率)的周率表，和測量电阻的欧姆表，此外还有檢驗同期的同期指示表等。

按所測电流的性質可分：測量直流电的直流仪表，測量交流电的交流仪表及直流电交流电均可測量的交直流兩用仪表。

按准确度可分0.2、0.5、1、1.5和2.5五種等級，数字

表示容許誤差的百分数，0.2級和0.5級的仪表用于試驗室和校驗其他仪表用，其余作为控制盤上經常指示用。

按功用可分指示型仪表，記錄型仪表及累积型仪表。指示型仪表指針在刻度上直接指示出該时所測得的电气数量，如电流表、电压表及电力表等便是，記錄型仪表將所測得的电气数量在适当的图表上繪成曲線，如記錄型电压表，記錄型电力表記錄型周率表等便是，累积型仪表是量度一定時間內电路所通过的电气累积数量的仪表，如电度表。

按动作原理可分：磁电式(也叫永磁式)、电磁式、电动式、感应式、振动式及电桥式等几种。

第二节 电工仪表的动作原理

(一)磁电式仪表

这种型式仪表是利用帶有电流的导体与該导体所在磁場間相互作用而使仪表的可动部分偏轉的原理做成，置在永久磁鉄磁場中的綫圈，通入直流电(图1-1)，則綫圈轉到与磁力綫相垂直的位置。如果在綫圈上裝一彈簧，控制綫圈的轉动，則綫圈偏轉的角度將按照

通过电流的大小来决定。

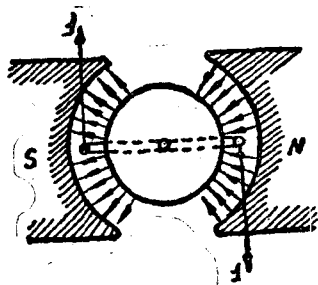


图 1-1 在磁場中通有电流
綫圈的轉动

这种型式仪表的磁場系由馬蹄形永久磁鉄产生(图1-2)。这磁鉄是用錫、鉻、或鎳-鋁的特殊合金鋼制成，磁鉄兩端裝有軟鋼旋成的圓柱凹面的极掌2，为了减少磁通的空气間隙(也就是减少磁阻)，在极掌

間固定裝置着由軟鋼制成的圓柱3。

在空氣間隙中安放著繞上極細絕緣導線的綫圈框架4，這綫圈圓柱自由轉動，而不與圓柱相碰觸。

綫圈框架裝置在安放於硬寶石(瑪瑙、鋼玉、紅寶石、藍寶石)軸承的軸5上，軸上裝有指針7和二個用磷青銅制成的螺紋彈簧8。螺紋彈簧的作用是產生反作用轉矩的，當綫圈沒有電流通過時使指針回到原來的位置，它並傳導電流到綫圈中，儀表中電流的路徑如圖1-3。

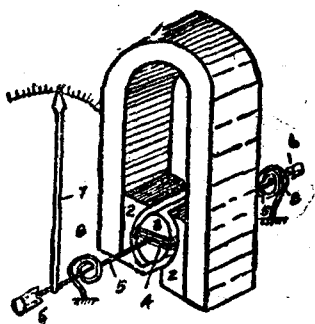


圖 1-2 磁電式儀表的構造

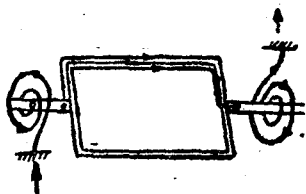


圖 1-3 儀表中電流的路徑

當綫圈中通過電流時，綫圈轉動，通過綫圈的電流越大時，綫圈轉動的角度也越大，綫圈轉動的角度與通過綫圈的電流有關，因此指針能指出電流的大小。

磁電式儀表可以直接接入電路來測量電路的小電流(幾毫安或幾十毫安，視儀表的額定電流而定)，測量較大電流須與分流器併聯使用，當用來測量電壓時，則須與附加電阻串聯使用。

磁電式儀表的優點是靈敏度高，準確度大，對外界磁場感受不靈敏，消耗的能量小，刻度均勻，缺點是對於過負荷感受靈敏，價格昂貴，只適用於直流。因為當綫圈中通入交流電時，綫圈因慣性關係來不及隨着電流的交變次數而轉動，而

指針將停留在原处不动，此外因綫圈轉动的方向和通过电流的方向有关，如果仪表是預备接在电流有时会改变方向的直流电路中，那末它的刻度应分向兩边刻画。磁电式仪表适用于試驗室及校驗其他仪表用。

(二)电磁式仪表

这种型式的仪表是利用固定綫圈通入电流时产生磁場，使裝在轉軸上的小鉄片感应磁性，再由这小鉄片与磁場作用而轉动指針的原理制成。

当綫圈中的电流增大至 2 倍时，产生的磁場强度也增大至 2 倍，小鉄片感应的磁場强度也增至 2 倍，小鉄片轉矩与綫卷磁場强度及小鉄片感应的磁場强度二者的乘积有关，所以轉矩增大至 2×2 即 4 倍，因此指針的偏轉角度与通过电流的平方成比例刻度是不够均匀的。

电磁式仪表可分吸入型、反撥型及斜圈型等几种。

1. 吸入型电磁式仪表：

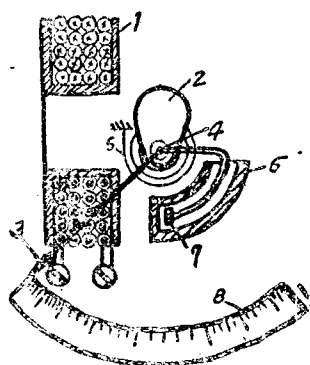


图 1-4 吸入型电磁式仪表的構造

具有繞有絕緣导綫的固定綫圈 1 (图 1-4)，当綫圈中通过电流时，就将鉄片 2 吸进，这鉄片与仪表的指針 3 均裝在安放在宝石軸承中的轉軸 4 上，产生反作用轉矩的螺旋彈簧 5 是用磷青銅制的，它的一端裝在轉軸上，另一端則裝在仪表的固定部份，空气阻尼器 6 用来迅速抑制指針的摆动，当指針摆动时阻尼器活塞 7 在气筒

中摆动，因为遭到空气阻力便使指针很快地稳定下来。

当线圈中电流方向改变时，线圈对铁片吸力方向不变，因此指针偏转方向还是和以前一样，所以这种型式的仪表可以测量交流。

2. 反拨型电磁式仪表：

在固定线圈 1 (图 1-5) 的内部装一固定铁片 2 及一可动铁片 3，可动铁片 3 可随轴 4 转动，平时可动铁片 3 因受弹簧控制与固定铁片 2 靠近，但当线圈 1 通

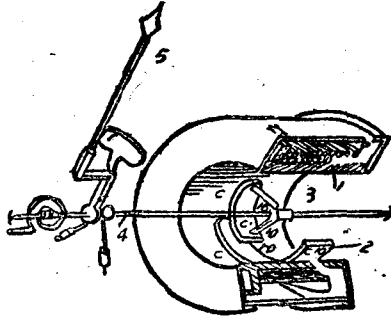


图 1-5 反拨型电磁式仪表的构造

过电流时，使铁片 2、3 同时磁化，由于磁极同性相斥异性相引的特性，铁片 2、3 之间产生了推斥力，使铁片 3 偏转，指针 5 于是也随着偏转，这偏转力矩的大小当然也是与通过线圈的电流的平方成比例。

3. 斜圈型电磁式仪表：

图 1-6 是一个斜圈型仪表，1 为线圈的截面，轴与线圈中心线成 45° 倾斜，轴上装有一可动铁片 2，也与轴成 45° 倾斜，线圈无电流通过时，铁片 2 受弹簧控制与线圈成斜交，当线圈 1 中有电流通过时，使铁片 2 磁化，于是铁片 2 之平面要与线圈磁力线取得平行而

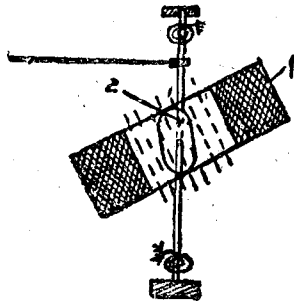


图 1-6 斜圈型电磁式仪表的构造

发生偏轉，鉄片轉动时指针也同时偏轉，这偏轉力矩的大小与电流平方成比例。

电磁式仪表的优点是：構造簡單，沒有帶电流的可动部分，可以用来直接测量大电流而不須使用分流器或变流器，經得起过負荷，适用于直流和交流，价格低廉。缺点是：准确度較低，讀数受外界磁場影响，刻度不均匀，这类型仪表用于控制盤，准确度0.5級的用作便攜仪器和實驗室仪器都用于工程周率的交流电路內。

(三) 电动式仪表

这种型式的仪表是利用載流导綫間的相互作用的原理制成，我們知道，載有同方向电流的平行导綫互相吸引，載有反方向电流的平行导綫互相排斥，导綫間的这种作用，称为电动作用。

电动式仪表中固定綫圈 1 和可动綫圈 2（图 1-7）組成，当兩綫圈中通过电流时，可动綫圈將按图中箭头方向轉动，

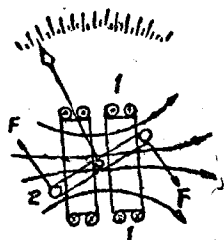


图 1-7 电动式仪表
的动作原理

一直轉到兩綫圈的平面（亦即它們的磁場）互相重合为止，当兩綫圈中电流的方向同时改变时，可动綫圈轉动的方向將保持不变。

电动式仪表的結構如图 1-8，可动綫圈 1 裝在固定綫圈里面，綫圈可在軸 3、4 上轉动，軸上裝着指针 5，反轉矩系由兩個彈簧 6 产生，这两个彈簧同时

也用来傳导电流給可动綫圈。

为了加大轉矩并清除外界磁場对仪表指示的影响可改进

將兩綫圈裝在鋼壳內，便形成鉄磁電動式仪表。

電動式仪表的优点是：准确度高，对于直流和交流都适用。缺点是：讀数受外界磁場影响，对于过負荷感受灵敏；仪表消耗的能量大，刻度不均匀，价格昂贵，这种型式仪表主要用于試驗室和校驗其他仪表用。鉄磁電動式适用于工业周率控制盤指示型和記錄型仪表。

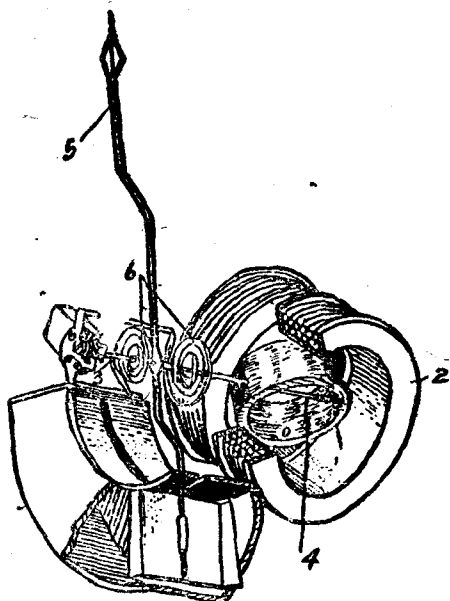


图 1-8 電動式仪表的構造

(四) 感应式仪表

在沒講它以前讓我們先認識一下，鋁盤隨轉動着的磁鉄而轉动的道理，我們先看图 1-9(a)，將处于磁場的导体向左移动，导体感应电流，再看图 1-9(b)，如果导体不动，而將磁极向右移动，导体也会产生同样方向的电流，这电流將产生磁力綫，这磁力綫与原来磁鉄的磁力綫綜合的結果，使左边磁力綫密，右边磁力綫稀如图 1-9(b) 所示，从电工原理課里我們知道磁力綫的性質象橡皮筋一样老想縮短自己，于是这导体左边受到的压力比右边大，結果导体便会向

右边移动, 如果磁极是S极情况也是一样, 因此如果导体上有磁铁移动时, 这导体也会跟着磁铁移动。

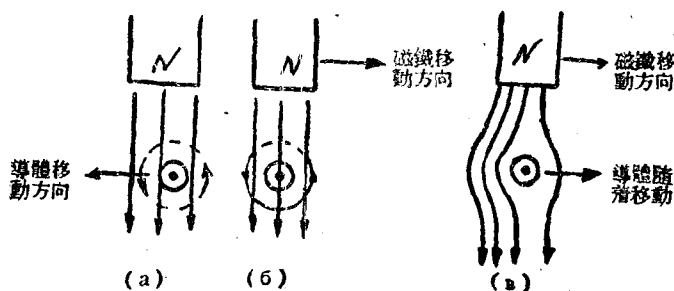


图 1-9 导体随磁铁移动而移动的情形

如图1-10将铝盘中心穿上一根轴, 使铝盘能自由转动, 再在铝盘上装置一块能自由旋转的永久磁铁, 两磁极朝下但

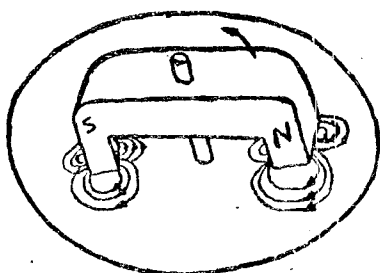


图 1-10 铝盘随磁铁转动的原理

并不与铝盘接触, 于是磁力从N极发出通过铝盘后, 返回S极, 次将永久磁铁向反时针方向旋转, 根据上面所说的道理, 铝盘上将感应产生涡流, 使铝盘也随着按反时针方向旋转起来, 感应式仪表便是利用这个道理用电气方法产生移动的磁场来动作的。

具有双电磁铁式移动磁场的感应式仪表我们看图1-11, 1为主磁极, 上面绕着电压线圈, 圈数多且导线细, 2、3为副磁极, 上面绕着电流线圈, 圈数少且导线粗, 4是介于主副磁极间的铝盘, T_1 、 T_2 是电压线圈接线端子, T_3 、 T_4 是电流线圈端子, 当电压线圈通以电压 U 后主磁极上即产生磁