

自动显示仪表

蒋宗文 主编

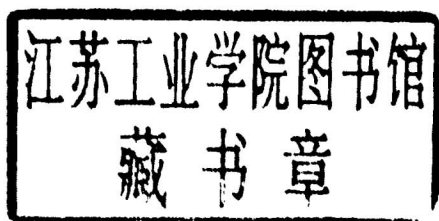
修订版

华中理工大学出版社

自动显示仪表

(修 订 版)

蒋宗文 主编



华中理工大学出版社

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目 (CIP) 数据

自动显示仪表/蒋宗文. —2 版 (修订本). —武汉:

华中理工大学出版社, 1994. 11

ISBN 7-5609-0624-9

I. 自…

II. 蒋…

III. 检测技术—自动化仪表

IV. TP7.73

自动显示仪表

蒋宗文 主编

责任编辑 易秋明

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编: 430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 410 000

1994 年 11 月第 2 版 1994 年 11 月第 2 次印刷

印数: 2 001-4 000

ISBN 7-5609-0624-9/TH·74

定价: 9.60 元

绪 言

测量，是人们对客观事物取得数量观念的一种认识过程。

进行现代化的生产、管理和科学试验，必须从数量上及时地、准确地、可靠地掌握对象所处工况或状态的有关信息参量，以便做到“胸中有数”，进而实现最优控制和管理。这一过程的实现，靠的就是测量和显示技术。首先借助于传感器及检测装置将被测量转变为显示装置可以接受的信息量，接着由显示装置将这些信息量以人们最易于识别的方式，如指针的位移，以及数码、字符、图形的变化等方式定性或定量地显示出来。所以，显示技术就是对检测信息进行转换和处理，将未知的被测信息转换为可知的数值、可见的变化趋势以及图形、图像等，为人们（或机器）提供最佳视觉感受的技术。显然，它属于信息科学的范畴。

随着生产和科学技术的不断发展，显示技术已发展成为一门新的学科，在生产斗争和科学试验领域内发挥着越来越大的作用。

具有显示功能的仪表，称之为显示仪表。由于显示仪表及其有关技术的应用，使那些人们肉眼看不到或根本不可能看见的现象、场景被一一地看到了，或者真切地感受到了。通过显示仪表或显示屏幕，人们可以了如指掌地指挥生产和进行科学管理，因此，可以毫不夸张地说，显示仪表是人们视觉感官的延伸和拓展。

按照显示原理和显示方式的不同，当前世界各国应用于过程工业方面的自动显示仪表有模拟显示、数字显示和图形（像）显示等三类。

模拟显示出现最早。因为各种物理参量之间在其运动规律上有着极大的相似性，因而允许人们将一些不能直接或不能精确地直接感受的物理量（如温度、压力、电场、磁场等），用人们易于精确感受或直接观察到的物理量（如线位移、角位移、光线明暗条纹的闪烁等）来表示。这种方法，工程上称为物理模拟法。因此，凡是用物理模拟方法对被测信息实现显示的仪表，称之为模拟显示仪表。下面要讨论的动圈仪表就是用固定在动圈上的指针角位移来模拟被测信息大小及其变化趋势的模拟显示仪表。而电子自动平衡式仪表则是通过可逆电机的转角变换为相应标尺上的线位移来模拟被测信息的大小及其变化趋势的另一类模拟显示仪表。

模拟显示仪表历史悠久，其原理、结构、元器件及制造工艺等均已相当成熟，在工业过程检测及科学试验研究领域内已经发挥了重要的作用，既可满足一定的精度要求，又功能比较齐全。它附加一些装置，可以实现指示、调节、记录、报警及其它多项功能。与不同的传感器或变送器相配合，能进行温度、压力、流量、物位等多种参数的测量和显示，而且价格低廉，可靠性较高，对许多干扰的反应不敏感，稳定性能较好。特别是通过指针的移动能连续地、直观地反映被测信息的变化趋势，易于判断当时的信息值与满度值之差，因而这类仪表仍具有较强的生命力，应用极为广泛。

还应该提到的是，模拟显示仪表一般均具有记录功能，习惯上简称为记录仪。记录仪能够记录观察人员不能接近、或者观察人员接近会使被测量受到障碍的过程；记录仪能够记录变化速度超出人的观察能力的过程；记录仪还能够记录不能预见但突然出现的参数变化的过程。而且通过记录仪记录的被测量与另一参量（大多是时间）的变化关系是一种客观记录，排

除了主观视读误差，是一种便于长期保存并可随时查阅的技术资料，能节省人力并节约观察人员的时间，因而具有较好的经济性。

由于工业生产的大规模发展和科学试验等方面的高技术要求，模拟式仪表不断暴露出它的弱点，最突出的就是在速度、精度和过载能力等方面远远不能适应高速度、高精度测量和显示的技术需求，这主要是由于模拟显示记录仪表不可避免地存在着机械机构使其性能无法进一步提高的缘故。因而必须从原理上和结构上加以变革，于是出现了数字显示仪表。

数字显示仪表是将随时间而连续变化的被测量自动地转换为断续的、以数字编码方式并以人们习惯的十进制数字显示被测信息的一种新型显示仪表。与模拟式仪表相比较，由于数字显示仪表不存在机械运动机构，因而仪表的测量和显示速度、灵敏度（分辨力）、精度等均大为提高；而且数字显示清晰、醒目，便于远距离观测，又无视读误差；测量范围宽而且量程可变；过载能力强；仪表功能多，在进行数字显示的同时，还能输出一定形式的代码，供打印机打印或与计算机联机；也可通过数-模转换器输出所需的模拟量，供执行机构进行生产调整。可以说，数字仪表的一系列优点正好弥补了模拟式仪表的种种缺点，因而在相当广泛的范围内，数字显示仪表已经取代了模拟式显示仪表。

较长时间以来，由于模拟、数字这两类仪表一直是并行发展和互为补充的，人们便提出了能否将这两类仪表的优点同时发挥出来的问题。随着微处理器（ μp ）的应用和大规模集成电路（LSI）系列芯片价格的不断下降，解决这一问题的时期成熟了。出现了带微机的模拟、数字式混合记录仪。这种仪表具有自校准、自诊断、量程自动切换以及键盘操作、设定和数据处理等功能。不仅自动化程度高，测量精度高，能模拟记录和数字打印输出，而且能输出数据与上位计算机接口，应用极为灵活。

可见，数字显示仪表是电子技术、数字技术和 μp 技术等现代先进技术发展的必然结果。随着这些现代科学技术的发展，数字显示仪表从无到有并不断地更新换代。从 50 年代初世界上诞生第一台数字电压表至今，数字仪表经历了由电子管式、晶体管式、集成电路式到智能化的发展。特别是微电子技术和 μp 的应用，打破了传统的原理结构设计模式，更新了设计观念，不仅大大拓展了仪表的功能，而且简化了硬件结构，同时大幅度地提高了仪表的稳定性和可靠性。数字仪表进入了以 μp 为核心的智能时代，并朝着小型、多功能、程控化和智能化相结合的方向发展。

由于工业生产对自动化程度的需求，特别是对控制质量的需求越来越高，需要测量、控制和显示的参数越来越多，仪表的数量与投资也成倍地增长。再加之工业生产的设备日益大型化、巨型化。观察人员面对日益加长的显示屏已无法掌握全面的现场情况，因此出现了迫切需要集中显示和集中管理的问题。这一问题也随着自动控制技术，通信技术，特别是计算机技术的发展以及几乎同步发展起来的图形显示技术的广泛应用较好地解决了。

图形显示技术及其显示装置开辟了自动显示技术的新领域。当前较完善的图形显示器件为阴极射线管显示，简称 CRT 显示。由于图形显示器总是与计算机联机运用，因而能充分利用计算机的资源，充分发挥计算机的效能，使显示功能大大增强而且应用灵活、方便。图形显示器不仅显示的信息量大，能在显示屏幕上同时显示出文字、数字、曲线及各种图形，如生产流程图、设备结构图、透视图等等，让观察人员能及时、全面地了解并掌握被测对象所处的工况或状态，便于集中操作和集中管理。而且能灵活地、方便地实现人-机对话。一方面，计算机将经过处理的信息通过显示屏幕及时告知操作人员；另一方面，操作人员可通过键盘、光笔等输入装置将自己的意图输入给计算机，对显示屏上的参数、图形进行修改、增删或其

它调理，进行实时控制。显然，图形显示器充当了人-机联系的桥梁。而且图形显示快速、清晰、精度高、可靠性好、功能完善、操作方便，拥有模拟式仪表和数字式仪表不可比拟的优点，将自动显示技术及显示装置提高到了一个崭新的水平。现在，凡是应用计算机的场合，都少不了图形显示器。

从模拟显示到数字显示再到图形显示，反映了自动显示技术及显示仪表不断发展和不断提高的进程。同时也已经看到，无论模拟显示、数字显示或者图形显示，都是与当时的生产发展水平和科学水平相适应的，因而能较好地发挥其作用。在当前和一段稍长的时期，三种显示技术及其仪表还会是并行发展并且互为补充的，在应用中究竟采用哪一种或哪两种较为合适，要看需要和可能的条件来决定，因此对这三种显示方式的特点、性能及其应用场合应有透彻的了解。

本书针对模拟显示、数字显示、图形显示技术及仪表进行专门的讨论，并对国内外的有关新技术及其应用中应注意的问题作了扼要的介绍。

内 容 提 要

本书内容由模拟显示、数字显示和图形显示三部分组成，共九章。第一、二两章讨论模拟显示技术及仪表，第三至第五章讨论数字显示技术及仪表，第六至第八章讨论图形显示技术及显示装置，最后对显示仪表中的干扰及其抑制问题进行了讨论。

本书在讨论各类显示仪表及其主要部件的基本构成的基础上，进一步从理论上对显示仪表的各项性能指标、设计思想等方面进行了深入的分析和讨论，为正确设计和使用仪表提供了较充足的理论与实际知识。

本书是为大专院校仪表类专业开设“自动显示仪表”课程而编写的教材，亦可作为相近专业的教学参考书，还可供从事检测技术及自动化仪器仪表工作的工程技术人员参考。

再版前言

本书是高等院校仪表类专业开设“自动显示技术及仪表”课程的教材，自1985年第一版发行以来，已经两次印刷。这次再版，是在第一版的基础上，通过总结多年来的教学实践，参考国内外的有关教材和资料加以修订而成。这次修订中，根据当前自动显示技术及装置的生产和应用状况，新增了图形显示方面的内容，并对模拟显示、数字显示两部分的内容作了适当的删减、充实和改写。这样，由模拟显示、数字显示和图形显示三部分组成的《自动显示仪表》有着完整的结构体系和全新的面貌。本书在内容的安排上仍遵循由浅入深、由特殊到一般、由感性上升到理性的原则。在取材方面，既反映了我国的现实，又充分体现了显示技术的最新进展。书中系统地讨论了过程工业中各类典型显示仪表的基本原理和特性，深入阐述了自动显示技术的概念及其本质，在类别各异、品种繁多的显示仪表中，较深入地研究和总结了它们所具有的共同规律、共同结构特征和设计思想，而不是只停留在向读者推荐或评价某种类型的仪表。

本教材的修订，参照了兄弟院校提出的本课程修订大纲的基本要求，注意了与有关课程内容的分工与衔接，参考了兄弟院校的有关教材或讲义，收集与引用了有关生产厂家的技术资料。此书在修订过程中自始至终得到了校系领导和本教研室同事们的大力支持。在此谨向支持本书修订再版和提供资料的同志们表示衷心的感谢！

参与本书修订工作的有蒋宗文、向廷元和郑莹娜。由蒋宗文任主编，并编写绪言、第三、四、五、九章。向廷元编写第六、七、八章。郑莹娜编写第一、二章。本书的第一版还有樊鑫瑞与徐恕宏两位编者，因另有任务未直接参加修订工作，但他们对修订再版工作给予了极大关注，一起讨论了修订安排，并审阅了部分修订稿。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中错误与不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

1993.12 于武汉

目 录

绪言	(1)
第一章 模拟自动显示仪表的构成与原理	(1)
§ 1-1 动圈显示仪表	(1)
§ 1-2 电子自动平衡显示仪表	(15)
§ 1-3 无触点自动平衡显示仪表	(44)
第二章 模拟自动显示仪表的性能分析与设计基础	(49)
§ 2-1 模拟自动显示仪表的静态特性	(49)
§ 2-2 模拟自动显示仪表的静态精度	(53)
§ 2-3 模拟自动显示仪表的动态特性	(63)
第三章 数字显示技术基础	(76)
§ 3-1 数字显示仪表的特点与主要技术性能指标	(76)
§ 3-2 数字信号的获取 —— 采样与量化	(83)
§ 3-3 数码显示的实现 —— 数字显示器件	(88)
第四章 数字转换技术	(97)
§ 4-1 概述	(97)
§ 4-2 并行 D/A 转换	(98)
§ 4-3 串行 D/A 转换	(106)
§ 4-4 直接比较型 A/D 转换	(109)
§ 4-5 间接比较型 A/D 转换	(116)
§ 4-6 复合型 A/D 转换	(137)
第五章 数字仪表的设计与提高技术性能的途径	(142)
§ 5-1 电信号的标准化与标度变换	(142)
§ 5-2 非线性输入特性的线性化	(145)
§ 5-3 自动转换量程 (AUTO) 电路设计原理	(156)
§ 5-4 提高数字仪表技术性能的途径	(161)
§ 5-5 微机化数显仪表简介	(167)
第六章 图形显示技术基础	(174)
§ 6-1 图形显示的基本概念	(174)
§ 6-2 图形显示设备用显示器件	(176)
§ 6-3 CRT 的成像原理	(179)
第七章 光栅式 CRT 显示原理	(192)
§ 7-1 光栅式图形显示设备的一般结构	(192)
§ 7-2 光栅式字符显示原理	(193)
§ 7-3 光栅式图形显示原理	(197)
§ 7-4 光栅式显示设备中显示信息的存贮	(200)
§ 7-5 光栅式显示信息的扫描转换方法	(203)

§ 7-6	光栅式显示设备的控制器	(211)
第八章	IBM-PC 机的图形显示器及其应用	(216)
§ 8-1	IBM-PC 机图形系统的组成及类型	(216)
§ 8-2	MC6845CRT 控制器	(217)
§ 8-3	CGA 的原理及结构	(221)
§ 8-4	PC 机图形程序设计方法	(225)
第九章	干扰及其抑制	(233)
§ 9-1	抗干扰技术基本概念	(233)
§ 9-2	干扰的产生	(236)
§ 9-3	干扰的抑制	(242)

第一章 模拟自动显示仪表的构成与原理

模拟自动显示仪表的历史悠久，其原理、结构、元部件及制造工艺等均已相当成熟，而且具有多种类型。对仪表的研究、设计者来说，重要的是研究仪表的构成形式、整体和部件的作用原理、结构特征及性能等。本章将简要地讨论动圈显示仪表，并着重讨论电子自动平衡显示记录这一类模拟显示仪表的构成与工作原理。

§ 1-1 动圈显示仪表

动圈仪表是以指针的角位移模拟被测参数变化的一种典型的显示仪表。这种仪表既可用于指示；又能同时指示和调节；可与热电偶、热电阻等温度传感器配合，用来测量、显示和调节温度参数；还可与其它传感器或变送器配合，测量、显示和调节其它工业参数。因而在工业过程的测量和控制系统中，特别是轻工行业等部门中应用较为广泛。

我国统一设计的动圈仪表有两种基型，即配热电偶的毫伏输入型和配热电阻的电阻输入型。两种基型仪表均采用统一的测量机构。

一、动圈仪表的组成与工作原理

动圈仪表是利用固定的永久磁铁对通电动圈所产生的作用力（矩）和支承机构的反作用力（矩）的相互作用而工作的一种磁电系仪表。

图 1-1 为 XCZ 型动圈仪表的工作原理简图。该仪表由永久磁铁、软铁芯、可动线圈、上张丝和下张丝以及连接线路等组成。

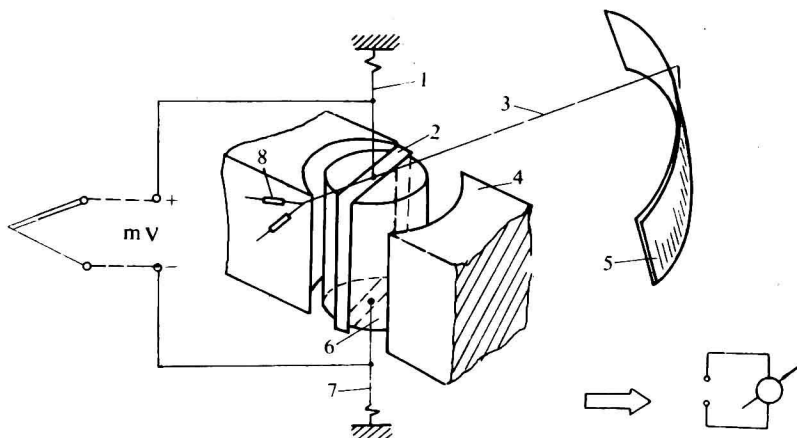


图 1-1 动圈仪表的组成与工作原理

1—上张丝 2—动圈 3—指针 4—永久磁铁 5—刻度面板 6—软铁芯 7—下张丝 8—平衡锤

永久磁铁（又称“磁钢”）为仪表提供磁场能源。软铁芯在其中起磁通路作用，其所以做成圆柱形，是为了配合磁极，使之在环形空气隙中形成均匀的辐射状磁场。气隙中悬有一个可动线圈（即“动圈”），这是一个由直径 0.08mm（44 号）漆包铜线绕制成的无骨架矩形线框。它与上、下张丝和弹片支承相连接，而张丝则和信号线相连，起导流作用。

当被测信号电流通过张丝流经线圈时，动圈受到电磁力矩的作用而偏转，电磁力矩的方向由左手定则决定，其大小由下式确定（图 1-2）：

$$M = 2F \cdot \frac{b}{2} = 2(BLI n) \cdot \frac{b}{2} = BLInb (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-1)$$

式中， F 为通电导体在磁场中受到的电磁力（N）； B 为气隙的磁感应强度（T）； L 为导体有效长度（m）； I 为流经导体的电流（A）； n 为线圈匝数； b 为动圈的平均宽度（m）。

对于结构给定的测量机构， B 、 L 、 b 和 n 均为常数，用 C_1 表示，故（1-1）式又可写成：

$$M = C_1 I \quad (1-2)$$

动圈在受力偏转的同时，扭转了张丝，张丝则产生反作用力矩以反抗动圈的转动。反作用力矩的大小取决于张丝的扭转程度。对于矩形截面张丝受扭转时的反作用力矩的计算公式，根据力学可知：

$$M_a = \left(\frac{1}{3} \frac{bh^3 E \alpha}{L} + \frac{1}{12} \frac{b^2 F \alpha}{L} + \frac{1}{360} \frac{b^5 h E \alpha}{L^3} \right) \times 10^{-3} (\text{N} \cdot \text{m})$$

上式中的第三项数值很小，通常略去，于是有

$$M_a \approx \left(\frac{1}{3} \frac{bh^3 E}{L} + \frac{1}{12} \frac{b^2 F}{L} \right) \alpha \times 10^{-3} (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-3)$$

式中， b 为张丝宽度（m）； h 为张丝厚度（m）； E 为材料的剪切弹性模数（N/m²）； F 为张丝的工作张力（N）； α 为动圈偏转角度（rad）； L 为张丝的等效长度。当上张丝长度 l_1 和下张丝的长度 l_2 不等时，等效长度 $L = \frac{l_1 \cdot l_2}{l_1 + l_2}$ ；当 $l_1 = l_2$

时， $L = \frac{l_1}{2} = \frac{l_2}{2}$ 。

式（1-3）表示，反作用力矩 M_a 既和张丝的材料性能、尺寸有关，又和张力的大小有关。当结构一定时， b 、 h 、 L 、 E 、 F 均为常数，用 C_2 表示，则（1-3）式又可写成：

$$M_a = C_2 \alpha (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-4)$$

当两力矩平衡时，测量机构进入稳态，此时，

$$M - M_a = 0$$

即

$$C_1 I - C_2 \alpha = 0$$

得

$$\alpha = \frac{C_1}{C_2} I = S_2 I \quad (1-5)$$

动圈偏转角度的大小和被测信号电流的大小成比例。式（1-5）称为动圈测量机构的刻度方程。又因为式（1-5）表明了动圈测量机构在稳态条件下的输出量 α 和输入量 I 之间的函数关系，所以此函数关系也叫动圈测量机构的静态特

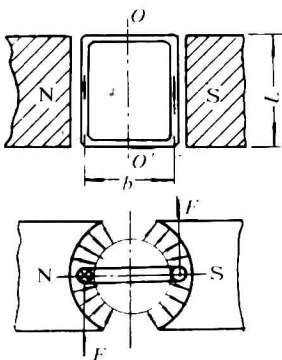


图 1-2 动圈测量机构偏转力矩的生产

性。图 1-1 所示的情况，就是动圈的偏转与被测温度成正比。若被测温度变化，即信号电流的大小发生变化，则动圈转动角度的大小随之变化。于是，在动圈转轴中心固定一根指针，指针下面设置用温度分布的刻度面板，则可显示出此时温度的数值及变化情况。动圈偏转角度的大小就直接成比例地模拟出被测温度的数值。

显然，如将其它种类的变送器替换热电偶，并通过一定形式的转换，动圈测量机构则可以用来测量和显示其它工业参数。

可见，动圈仪表将被测量转换为可动部分的偏转，经过了两个步骤，即先将热电势或其它被测参数（被测量 x ）转换为可动部分可以接受的大小适当的电流（过渡量 y ），此部分叫做测量线路；再将电流转换为可动部分的偏转角，此部分称为测量机构。两次转换均保持一定的函数关系。原理方框图示于图 1-3。

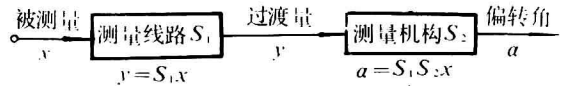


图 1-3 动圈仪表原理方框图

二、动圈显示仪表的测量机构

动圈测量机构直接担负着将被测量转换为输出转角的任务，是整个仪表的“表头”。动圈测量机构由固定部分和可动部分组成。这里作为仪表固定部分的是由磁钢、软铁芯组成的磁路系统；可动部分则是由张丝及其支承的动圈和指针等部件构成，通常称之为张丝弹片支承系统，简称张丝支承系统。

1. 磁路系统

(1) 磁路系统的结构形式和技术要求

动圈仪表是一种磁电系仪表，按其磁路形式的不同可分为三类：磁钢位于可动线圈外部的称为外磁式磁系统；磁钢位于可动线圈内部的称为内磁式磁系统；磁钢一部分位于可动线圈内部，而另一部分位于可动线圈外部的则称为内外磁式磁系统。图 1-4、图 1-5 和图 1-6 分别给出了三种磁系统结构形式，表 1-1 比较了它们的优缺点。

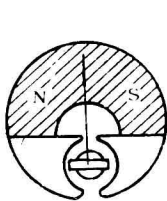


图 1-4 外磁式

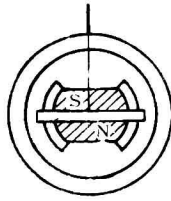


图 1-5 内磁式

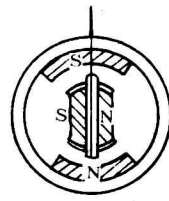


图 1-6 内外磁式

不管采用哪一种磁系统形式，均应满足以下基本技术要求：

- 气隙中要有足够的磁通密度，而且磁通密度应保持恒定、不随时间变化；
- 气隙中的磁通要均匀分布；
- 外界因素的变化对气隙磁通的影响小，在振动、冲击作用下，磁铁的磁性不变化；
- 磁系统结构尽量小，而磁能应尽可能大。

国产 XC 系列动圈仪表磁系统如图 1-7 所示，它为立式圆柱形外磁钢结构。

表 1-1 三种磁系统及其优缺点比较

外磁式	内磁式	内外磁式
优点： 1. 结构简单，生产方便。 2. 气隙磁感应强度与稳定性能满足要求。 3. 能安装热磁补偿片。	优点： 1. 体积小，可节约材料，一般内磁式与外磁式体积或重量的比值约在 1：4~1：8 之间。 2. 漏磁小，磁能利用率高。	优点： 1. 磁能利用率较外磁式高。 2. 外磁影响小。 3. 气隙中磁感应强度较高，一般内外磁式要比内磁式提高 B 值约 (30~40) %，适用于精密和高灵敏度的仪表。
缺点： 1. 磁能利用率较低。 2. 体积较大。 3. 外磁影响较大。	缺点： 1. 气隙磁感应强度不能太高。 2. 气隙磁通分布的均匀性稍差。	缺点： 1. 结构较复杂，加工较困难。 2. 整个磁系统较复杂，成本较高。

这种磁系统由两块接近半圆环形的磁钢与极靴、软铁芯、接铁组成串接的形式。磁路经

极靴、空气隙和软铁芯而闭合。两块极靴铁用压铸铝或铜连结在一起。接铁、极靴、铁芯和磁分路调节片均采用软铁制成。对它们的要求是磁阻小。磁分路调节片的作用是调整空气隙中的磁感应强度。当磁分路调节片顺时针方向转动时，经过磁分路片的磁通量增加，气隙中的磁感应强度 B 值降低，使动圈受到的电磁力矩减小，仪表示值亦减小。磁分路片除了在仪表出厂校验时用来微调示值外，在使用过程中也可用来调整示值。

立式圆柱形外磁钢结构与图 1-4 所示的外磁钢结构相比有很多优点：底部的接铁有屏蔽作用；接铁、极靴、磁钢和软铁芯均可分别加工，故加工方便；两圆环形的磁钢夹在极靴与接铁之间，磁能利用率较高；漏磁小；刻度线性好；气隙磁感应强度较高；表头灵敏度高。

(2) 磁路系统设计计算的基本知识

a. 磁性材料与去磁曲线

有些物质（如铁、钢、钴、镍及其合金）在外磁场影响下，呈现出很强的磁性，或者说被

强烈磁化，这类物质就称为铁磁物质或磁性材料。

磁性材料的一个重要属性是磁滞现象，这种现象可以用磁滞回线，即 $B-H$ 曲线来形象地表征，曲线的形状和材料的成分、加工方法、电源频率、切割方向等因素有关，很难用一个解析式表达，往往通过实验测得。

在图 1-8 (b) 所示的磁滞回线上， B_r 称为剩余磁感应强度，它是磁性材料的一个重要特性参数。由于存在剩磁，磁铁本身就成了磁场的能源，在没有外磁作用下，保持了磁通 Φ_r ，且

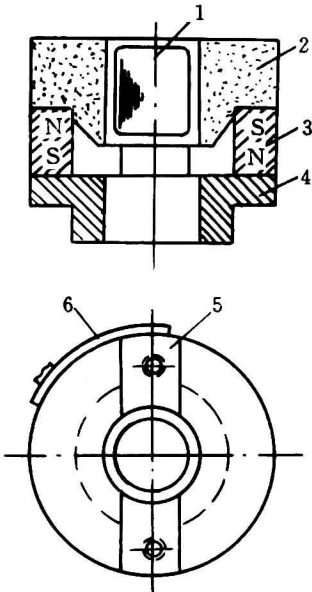


图 1-7 立式圆柱形外磁钢结构
1—软铁芯 2—极靴 3—磁钢 4—接铁
5—压铸铝或铜 6—磁分路调节片

$$\Phi_r = B_r \cdot S \quad (1-6)$$

式中, S 为磁铁的截面积。这种在磁铁中建立剩磁的过程, 就叫做“充磁”。显然 B_r 愈大愈好, 因为它决定气隙的磁场强弱, 直接影响仪表的灵敏度。

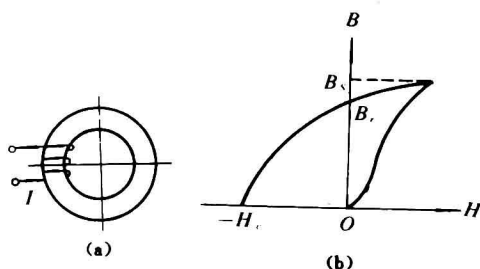


图 1-8 闭合磁路与去磁曲线

由于剩磁的存在, 要使 $B_r = 0$, 必须反向磁化, 这过程就称为“去磁”(或“退磁”)。使磁铁物质完全失去磁性所要加的反向磁场强度 $-H_c$ 就称作矫顽磁力。不同的磁性材料有不同的矫顽磁力及剩磁, 矫顽磁力大的材料称为“硬”磁材料, 如钨钢、锰钢、钴钢等, 这类硬磁材料一经磁化之后, 其剩磁及矫顽磁力相当强, 剩磁不易失去, 人们叫它永久磁铁或磁钢。矫顽磁力小的材料, 称为“软”磁材料, 如软铁、硅钢等。

矫顽磁力是磁铁材料的另一重要特性参数, 它表明磁铁性能的稳定程度。矫顽磁力大, 磁铁的剩余磁感应强度 B_r 越稳定, 这种磁铁即使在外界各种因素影响下, 放置很长的时间, 其磁性也几乎不减弱。

图 1-8 (b) 所示的 $B-H$ 曲线是在磁路完全闭合的情况下 (见图 1-8 (a)) 测得的。像这种闭合磁路, 就无法利用其磁能。为了有效地利用磁能, 必须使永久磁铁具有一定的气隙, 如图 1-9 (a) 所示的情况。在这种情况下, 由于空气隙的存在, 且气隙对磁钢有退磁作用, 工作点由原来的 B_r 下降到 B_m , 磁场强度由零变到 $-H_m$ (见图 1-9 (b))。连接 OP , OP 与纵轴的夹角定为 α , 于是有

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H_m}{B_m} = N \quad (1-7)$$

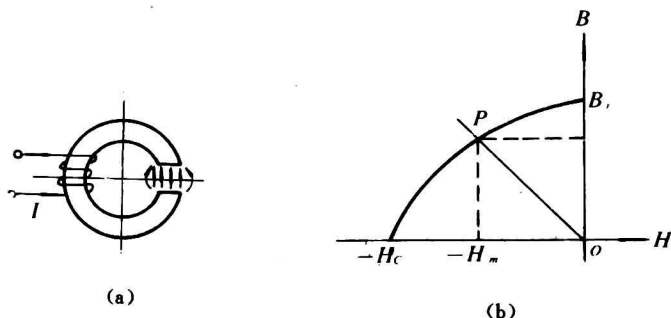


图 1-9 间隙磁路与去磁曲线

这里的 N 或 $\operatorname{tg} \alpha$ 一般称为去（退）磁系数， α 称为去（退）磁角。

此外，还经常用最大磁能积 $(BH)_{\max}$ 来表征永磁材料的性能。所谓最大磁能积是指去磁曲线上的磁感应强度与相应的磁场强度的乘积的最大值，如图 1-10 所示。不同材料的 $(BH)_{\max}$ 不一样。与最大磁能积相对应的去磁曲线上的工作点 P （图 1-10 上三种退磁曲线上的 P_1 、 P_2 、 P_3 ）称为最佳工作点，在设计磁路时，应力求将工作点选在最佳工作点上。

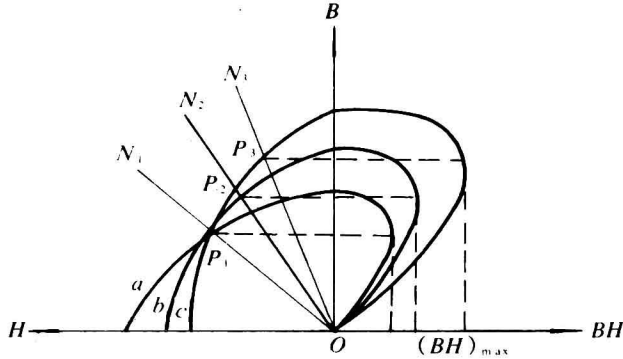


图 1-10 最大磁能积与工作点的选择关系

b. 永久磁路计算方法

磁路有直流磁路、交流磁路与永久磁路之分。三种磁路随应用场合的不同，计算时需要解决的问题不同，因而计算方法亦不同。三种形式的磁路在仪表中均有应用，永久磁路由于能长期保持磁性可作为磁场能源，因而在磁电系仪表中是不可缺少的部分。

关于永久磁路的计算目前尚无精确的专门方法，通常是化为直流磁路来进行计算，多采用以下两种方法：一种是已知气隙磁通密度和磁铁材料的性能，计算磁铁的几何尺寸；另一种是已知磁性材料的性能，然后假定几何尺寸计算气隙中的磁通密度。一般设计新磁路系统时，往往用第一种方法，求出磁铁的几何尺寸；而核算已有的结构时，常采用第二种方法。

但不管采用哪种方法，永久磁路系统的计算结果都是近似的。虽然计算方法以及引用的公式与电路的计算相仿，但磁路比电路复杂，又是非线性的，再加上磁系统漏磁现象的存在，所以在计算中需引用系数进行修正。而这些系数或取自实验结果，或凭借于经验来决定，因而计算结果显然是不够精确的，但可以给设计提供方向，然后再通过实践来进行检验。

下面介绍永久磁路计算的基本公式。

由于永久磁路的计算是转化为直流磁路来进行的，故可直接引用直流磁路的基本定律。

根据磁路的基尔霍夫第一定律，即磁通连续性原理，有 $\sum \Phi = 0$ ，而 $\Phi = B \cdot S$ ，故有：

$$B_g \cdot S_g = B_m \cdot S_m \quad (1-8)$$

即通过气隙的磁通等于通过永久磁铁的磁通。当然这是理想的情况，实际上由于磁铁的磁阻与空气的磁阻相差很大，加之气隙存在漏磁，故需对 (1-8) 式引进漏磁系数 F 进行修正，于是可得：

$$B_g \cdot S_g \cdot F = B_m \cdot S_m \quad (1-9)$$

式中， B_g 、 B_m 分别为气隙与磁钢的磁感应强度； S_g 、 S_m 分别为气隙与磁钢的面积。

根据磁路的基尔霍夫第二定律，沿任何闭合路径的磁势降落（磁压）为零，即

$$H_g \cdot L_g = H_m \cdot L_m \quad (1-10)$$

这也是理想的情况，实际磁系统中，由于磁钢与用作接铁、极靴的软磁部分接触不良，以及软磁材料的导磁系数不大等原因，磁钢的磁动势不完全降落在空气隙中，故需考虑用磁阻系数 r 来修正。于是 (1-10) 式成为：

$$H_g \cdot L_g \cdot r = H_m \cdot L_m \quad (1-11)$$

式中， H_g ， H_m 分别为气隙、磁钢的磁场强度； L_g ， L_m 分别为气隙、磁钢的长度。

式 (1-9) 和式 (1-11) 即为磁路计算的基本公式。

永久磁路的计算步骤（以第二种方法为例）如下。

第一步确定 F 与 r 。

确定漏磁系数 F 的方法较多，有解析法、磁场分割法、图解法及计算磁导法等等。由于各种磁路系统的磁铁形状和气隙磁阻的不同，漏磁系数也不同，因此要根据磁系统的结构特点及具体条件作出选择。对于复杂磁系统的计算有时要同时采用上面提到的几种方法，这时可查阅有关的资料。一般在设计中按下述范围选取：对于外磁式仪表， $F=2\sim5$ ，个别场合可达 10；对于内磁式仪表， $F=1.2\sim2.5$ 。

对于通常的磁路磁阻系数 r 为 1.1~1.5，可根据具体情况取用。

第二步确定去磁系数 N 。

由公式 (1-7)、(1-9)、(1-11) 可得：

$$N = \operatorname{tg} \alpha = \frac{L_g S_m r}{L_m S_g F} \quad (1-12)$$

由式 (1-12) 可看出，去磁系数和去磁角的大小取决于永久磁铁和空气隙的几何尺寸。

第三步确定工作点，求气隙工作点的磁感应强度 B_g 。

有了去磁系数，如果已给出了磁铁的去磁曲线，则可根据 $\operatorname{tg} \alpha = N$ 之值，在去磁曲线上作图得出工作点，然后根据工作点在去磁曲线上的位置，查得对应的磁感应强度 B_m 值，再代入公式 (1-9)，求出气隙中的磁感应强度 B_g ，即

$$B_g = \frac{B_m \cdot S_m}{F \cdot S_g} \quad (1-13)$$

在实际应用中，还要进行老化处理，以提高磁钢的稳定性。经老化后， B_g 值略有降低，故应根据式 (1-13) 的计算结果乘以一个小于 1 的系数（一般 0.9），才得出气隙中真正能够利用的 B_g 值。

第四步计算磁能利用率，衡量磁路结构的合理性。

磁能利用率是气隙中磁能和磁铁中最大可能利用磁能的百分比，用 η 表示，

$$\eta = \frac{B_g^2 V_g}{(BH)_{\max} \cdot V_m} \quad (1-14)$$

一般外磁式仪表的磁能利用率在 0.2~0.4 之间，而内磁式仪表在 0.75~0.8 之间。

2. 张丝弹片支承系统

XC 系列动圈仪表的张丝弹片支承系统示于图 1-11，主要由弹片、张丝、限制器、花篮架等组成。张丝通过弹片实现弹性固定，以提高仪表的机械性能，弹片能吸收可动部分振动的能量，故对张丝有保护作用，同时还利用弹片的弹性给张丝加上一定的张力，以减小可动部分的下垂量和位移。