

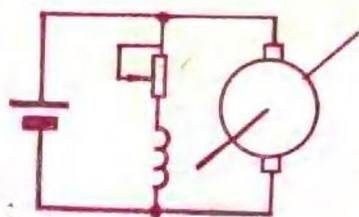


高等教育基础课教材

电 工 电 子 学

第三册 电机基础

谢 铭 编



北 京 工 业 学 院 出 版 社

内 容 简 介

《电工电子学》系北京工业学院出版社出版的高等教育基础课教材之一。全书分三册出版。第一册是电路基础，内容有电路的基本概念和基本定律；直流电路的分析；正弦交流电路；三相交流电路；电路中的过渡过程。第二册是电子技术，内容有半导体二极管及其应用；交流放大电路；正弦波振荡电路；直接耦合放大电路；集成运算放大器；脉冲数字电路；可控硅整流电路。第三册是电机基础，内容有磁路与变压器；直流电机；异步电动机；控制电器及控制电路。

本书叙述详尽，通俗易懂；每章均有小结和辅导，例题和习题也较完整，书后附有习题答案，章后有自我测验题。这是一本便于自学的书籍。

本书可作高等工科院校非电专业《电工学》课程教材和自学函授教材，也可供工程技术人员参考。

电 工 电 子 学 第三册 电机基础 谢 铭 编

北京工业学院出版社出版
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
天津大邱庄印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 10印张 223千字
1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

ISBN 7-81013-035-8/TM·2

印数：1—8,000 册 定价：1.65元

本册书常用符号表^①

B 磁感应强度	I_a 电枢电流
B_m 磁感应强度最大值	I_{st} 起动电流
φ 磁通、功率因数角	P_e 涡流损失
Φ_m 磁通最大值	P_o 铁心损失
H 磁场强度	P_{cu} 铜损
H_m 磁场强度最大值	f 电磁吸力瞬时值
μ 磁导率	交流电流的频率
μ_0 真空磁导率	F 电磁吸力
μ_r 相对磁导率	F_m 电磁吸力最大值
F_m 磁动势	U_f 励磁电压
R_m 磁阻	U_g 给定电压
U_m 磁压降	U_k 控制电压
A 截面积	ΔU 偏差电压
l 长度	P 磁极对数
D 直径	P_f 励磁功率
I_f 励磁电流	λ 过载系数
P_a 电枢功率	M 电磁转矩
P_1 输入功率	M_n 额定转矩
P_2 输出功率	M_m 最大转矩
机械功率	M_{st} 起动转矩
E_o 剩磁电势	M_2 负载转矩
e_s 漏磁电势	M_o 空载损耗转矩
E_s 漏磁电势有效值	n 变比
R_a 电枢电阻	转速

① 意义与第一册书、第二册书相同的符号不再说明。

R : 调速电阻

R_L 负载电阻

Z_L 负载阻抗

X_s 漏抗

L_s 漏感

η 效率

n_1 同步转速

Δn 转速差、速度降

S 转差率

S_m 最大转差率

目 录

第十三章 磁路与变压器

概述.....	(1)
§ 13-1 磁路及其基本物理量.....	(2)
§ 13-2 磁性物质的磁特性.....	(5)
§ 13-3 磁路的基本定律.....	(11)
§ 13-4 磁路计算.....	(21)
§ 13-5 电磁铁.....	(35)
§ 13-6 变压器的工作原理.....	(40)
§ 13-7 常用的变压器.....	(54)
§ 13-8 变压器绕组同名端的判别.....	(59)
本章小结与辅导.....	(63)
习题.....	(72)
自我测验题.....	(77)

第十四章 直流电机

概述.....	(79)
§ 14-1 直流电机的工作原理.....	(81)
§ 14-2 直流电机的构造.....	(90)
§ 14-3 直流发电机概述.....	(93)
§ 14-4 他励发电机.....	(97)
§ 14-5 并励发电机.....	(100)
§ 14-6 直流电动机概述.....	(107)
§ 14-7 并励电动机.....	(111)
§ 14-8 并励电动机的使用.....	(114)

§ 14-9 串励与复励电动机.....	(127)
本章小结与辅导.....	(130)
习题.....	(137)
自我测验题.....	(140)

第十五章 异步电动机

概述.....	(142)
§ 15-1 三相异步电动机的工作原理.....	(143)
§ 15-2 三相异步电动机的构造.....	(154)
§ 15-3 三相异步电动机的定子和转子电路.....	(157)
§ 15-4 三相异步电动机的转矩和机械特性.....	(164)
§ 15-5 三相异步电动机的起动.....	(174)
§ 15-6 三相异步电动机的调速.....	(184)
§ 15-7 三相异步电动机的制动.....	(189)
§ 15-8 单相异步电动机.....	(192)
§ 15-9 交流伺服电动机.....	(200)
附录 异步电动机的铭牌、数据简介.....	(207)
本章小结与辅导.....	(210)
习题.....	(214)
自我测验题.....	(218)

第十六章 控制电器及控制线路

概述.....	(219)
§ 16-1 控制电器.....	(220)
§ 16-2 三相异步电动机基本控制线路.....	(234)
§ 16-3 三相异步电动机的正、反转控制线路.....	(241)
§ 16-4 三相异步电动机顺序控制线路.....	(248)
§ 16-5 三相异步电动机的时间控制.....	(250)
§ 16-6 三相异步电动机的速度控制线路.....	(254)
§ 16-7 继电接触控制线路的阅图方法.....	(253)
§ 16-8 无触点控制.....	(269)
§ 16-9 反馈控制系统.....	(278)

附录.....	(285)
本章小结与辅导.....	(294)
习题.....	(298)
自我测验题.....	(303)
学时安排 (参考)	(306)
部分复习思考题、习题和自我测验题答案.....	(307)
参考书目.....	(311)

第十三章 磁路与变压器

概 述

内容提要

磁路是研究局限于一定范围内的磁场问题。磁路与电路一样，也是电工学课程所研究的基本对象。

我们研究磁路，主要是研究它的基本概念，基本定律和基本分析方法；并利用这些概念、定律和方法来研究通过磁场实现的能量变换装置——变压器和电磁铁。通过对它们的分析来加深对磁路的理解。

目前，生产中使用的电工设备如电机、变压器、继电器、电磁铁等，都是通过磁场实现电能与机械能的相互转换的。在这个能量转换过程中，磁场起着主要的耦合和媒介作用，所以在研究许多电工设备时，不仅要掌握电路的基本理论，同时也要掌握磁路的基本理论，只有这样，才能对各种电工设备作出全面的分析。

本章要求

对于磁路，要求了解基本概念和基本定律，并能对简单的磁路问题进行分析和计算。

对于变压器，要弄懂工作原理，电压平衡关系和磁势平衡关系，以及变压器能变压、变流、变阻抗的基本原理，会

正确使用常见的小型变压器。

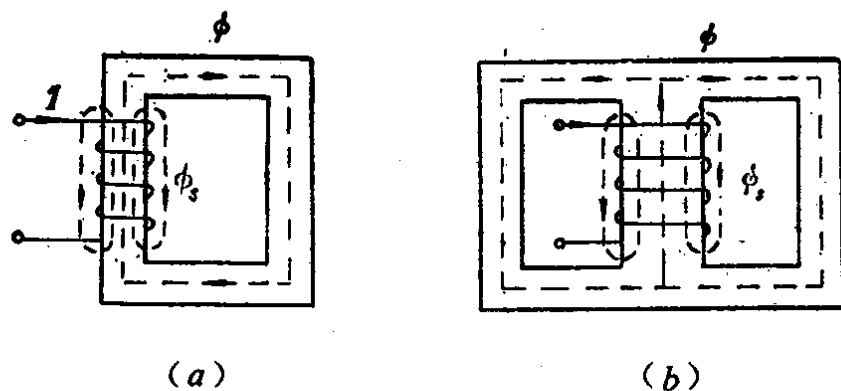
对于电磁铁，要掌握其动作原理，吸力计算公式，并了解交、直流电磁铁的区别。

§13-1^① 磁路及其基本物理量

一、磁路

磁路是磁力线相对集中通过的路径。

对于各种电工设备，为了产生较强的磁场，都把线圈绕制在由铁磁物质制成的一定形状的铁心上。这样，一方面能以较小的电流产生较强的磁场，另一方面可以使磁力线的绝大部分集中在铁磁物质所限定的空间（电工设备工作时所需要的）之内。我们称这部分磁力线为工作主磁通。简称主磁通。对于少部分磁力线由于种种原因，而不经过程所限定空间的磁通称为漏磁通。图13-1-1所示的是几种典型的磁路。其主磁通用 ϕ 表示（图中虚线所画），其漏磁通用 ϕ_s 表示。磁路中可能包括一小段空气隙，它也是磁路的组成部分。



① §13-1与§13-2在物理课程中已学过，这里只是进行简单复述，供学习时参考。

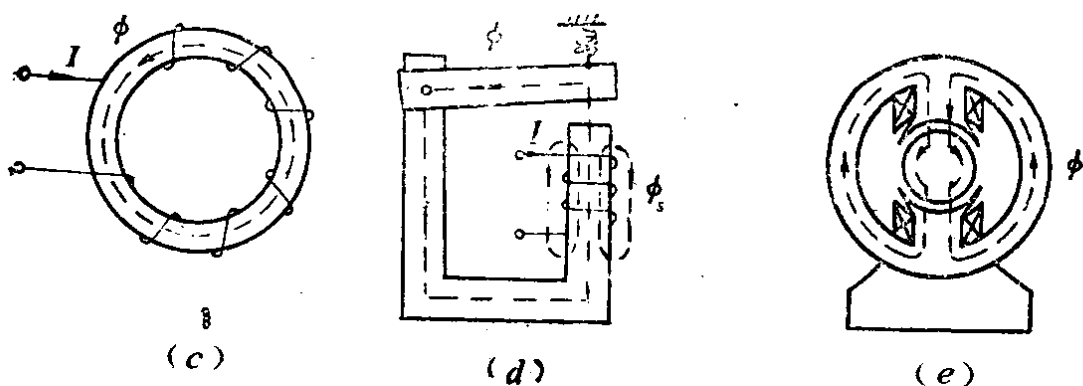


图13-1-1 磁路

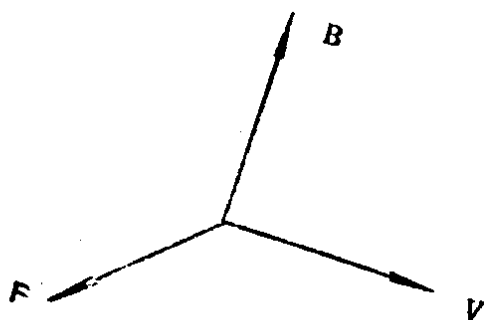


图13-1-2

二、磁路的基本物理量

磁感应强度 B 磁感应强度 B 是表示空间某点磁场强弱和方向的物理量，它是一个矢量，它的定义为：单位正电荷以单位速度向与磁场相垂直的方向运动时，所受到的力。如图13-1-2所示，磁感应强度 B 与电流之间方向可用右手螺旋定则来确定，其大小为 $B = F/(eu)$ ，磁感应强度的单位是特斯拉 (T) 或高斯 (G)。它们的换算关系是 $1\text{T} = 10^4\text{G}$ 。

磁通 ϕ 磁通 ϕ 为穿过某一截面 A 的磁感应强度矢量的通量，或者说是穿过该截面的磁力线的总数。在均匀磁场中

$$\phi = B \cdot A$$

或

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (13-1-1)$$

磁感应强度 B 在数值上, 可以看成与磁场方向相垂直的单位面积所通过的磁通, 所以磁感应强度也称为磁通密度。

磁通的单位是韦伯 (Wb) 或麦克斯威 (Mx)。它们的换算关系是 $1\text{Wb} = 10^8\text{Mx}$ 。

磁场强度 H 磁场强度 H 是进行磁场计算时所引用的一个物理量, 也是一个矢量, 它的定义为: 介质中某点的磁感应强度 B 与介质磁导率 μ 之比, 其大小为

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (13-1-2)$$

磁场强度的单位是安/米 (A/m) 或奥斯特 (Oe)。它们的换算关系是 $1\text{Oe} = 80\text{A/m}$ 。

磁动势 F_m 磁动势是指围绕磁路的某一线圈的电流 i 与其匝数 N 的乘积 Ni , 用 F_m 表示, 也可直接用 Ni 表示。即

$$F_m = Ni \quad (13-1-3)$$

磁动势的方向由产生它的线圈电流按右手螺旋定则确定。磁动势的单位是安 (A)。

磁压降 U_m 某一磁路段中的磁场强度 H 与磁路段长度 l 的乘积称为该磁路段的磁压降, 也称磁位差, 用 U_m 表示, 即

$$U_m = Hl \quad (13-1-4)$$

磁压降的方向与磁场强度 H 一致。磁压降的单位是安 (A)。

磁导率 μ 它是表示物质的导磁性能的物理量。其单位

是亨/米 (H/m)。真空中的磁导率 μ_0 的数值为

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}.$$

任何一种物质的磁导率 μ 和真空中磁导率 μ_0 的比值称为该物质的相对磁导率, 用 μ_r 表示, 即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (13-1-5)$$

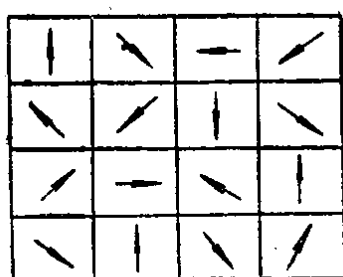
自然界的所有物质按磁导率的大小, 可分为磁性材料和非磁性材料。当材料的 $\mu_r \gg 1$ 时, 称为磁性材料, 当材料的 $\mu \approx \mu_0$ 即 $\mu_r \approx 1$ 时, 称为非磁性材料。可以认为非磁性材料的磁导率是一个常数, 所以对于非磁性材料 $B \approx \mu_0 H$ 。 B 与 H 成正比, 是线性关系。

§13-2 磁性物质的磁特性

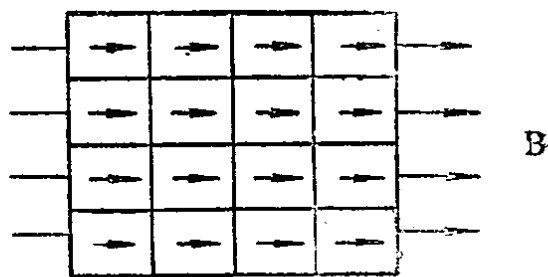
磁性物质系指铁、硅钢、铁镍合金, 还有铁氧体等。这些磁性物质在外磁场的作用下, 会引起强烈磁化。

为什么磁性材料具有被磁化的特性呢? 这个问题可以用磁畴理论来解释。在各种磁性物质的分子中, 由于电子环绕原子核运动和本身的自旋运动而产生电子磁矩。在没有外磁场的作用时, 电子磁矩已在磁性材料内部按某种方向在一个个小的区域内平行地排列起来, 即在小区域内原子是取向的, 使磁性物质已经达到一定程度的磁化, 称为自发磁化。具有自发磁化的区域称为磁畴。其示意图如图13-2-1(a)所示。一块磁性物质具有许多个磁畴, 由于每个磁畴的取向不相同, 排列杂乱无章, 对外界的作用相互抵消, 即不呈现宏观的磁性。当把磁性材料置于外磁场中, 如图13-2-1(b)所示。受外磁场的作用, 使磁畴的磁矩, 从不同方向改变到

与外磁场相接近或相一致的方向上去，于是磁性物质对外呈现很强的磁性了。



(a) 无外磁场



(b) 在外磁场 B 作用下

图13-2-1 磁性物质的磁化

一、磁性物质的磁特性

磁滞性 当铁心线圈中通过交变电流时，铁心受到交变磁化。电流变化一周时，磁感应强度 B 随着磁场强度 H 的变化而变化的关系可用图13-2-2的曲线来表示。

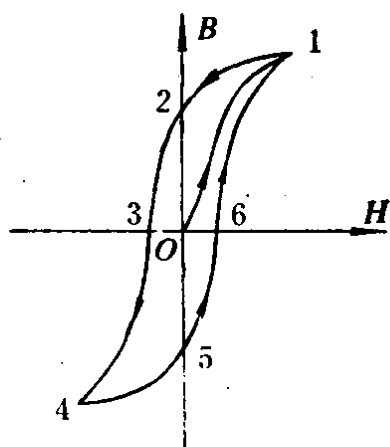


图13-2-2 磁滞回线

由图中可知，磁感应强度 B 的变化落后于磁场强度 H 的

变化，即当 H 减小到零值时， B 还未回到零。我们称这种现象为磁性物质的磁滞现象，或者说磁性物质的 B 、 H 关系具有磁滞性。

当线圈电流减为零（即 $H=0$ ）时，铁心的磁感应强度 B 仍保留一定的数值，称此值为剩余磁感应强度，简称剩磁。要想使 B 回到零，则线圈中要加反方向电流（即 H 为负值），对应这个值的磁场强度 H 称之为矫顽力，它表示磁性物质反抗退磁的能力。

反复磁化所得回线称磁滞回线。对于不同的磁性材料，其磁滞回线的形状也不相同，如图13-2-3所示。

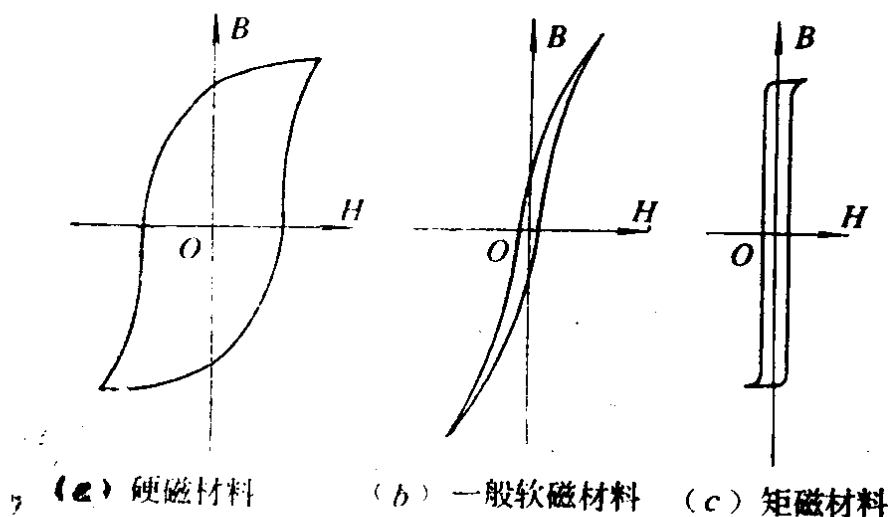


图13-2-3 不同材料的磁滞回线

高导磁性和饱和性 用磁滞回线分析和计算磁路问题是很复杂的，为了简化磁路计算，通常都用一个基本磁化曲线来代表。它的作法是用不同的 H 值反复进行磁化，可以得到一族不同的磁滞回线，如图13-2-4所示。连接各磁化曲线的正向顶点所形成的曲线即为基本磁化曲线。

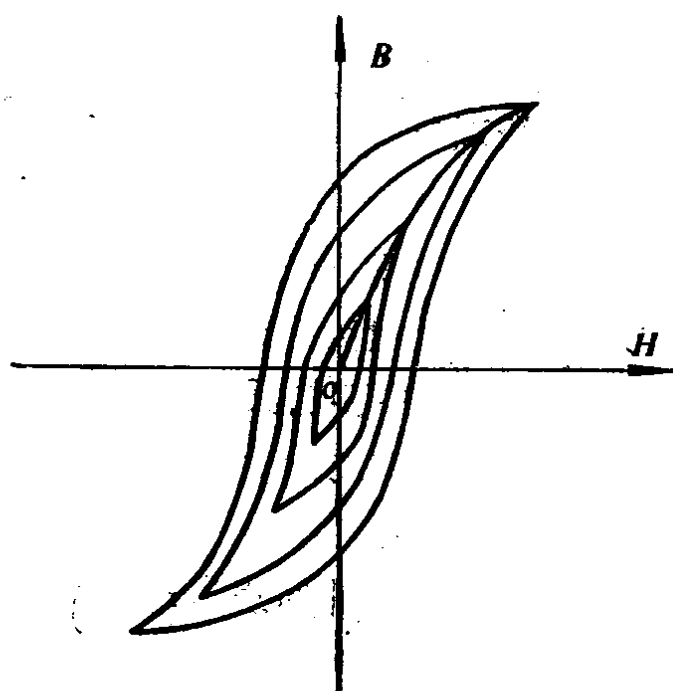


图13-2-4 基本磁化曲线

由基本磁化曲线中可以看出：磁性物质的磁化，不是随外磁场无限制地增强的，当外磁场达到一定值，磁性材料的磁畴已全部转向与外磁方向一致时，这时的磁感应强度 B 已达到饱和值，如图13-2-5中所示的 $B-H$ 曲线中的 CD 段，此时 H 增加时， B 的变化很小，出现了饱和现象。这也是磁性材料的 B 、 H 关系的一个特点。

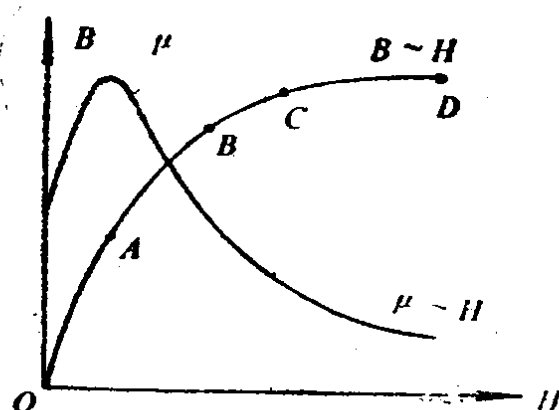
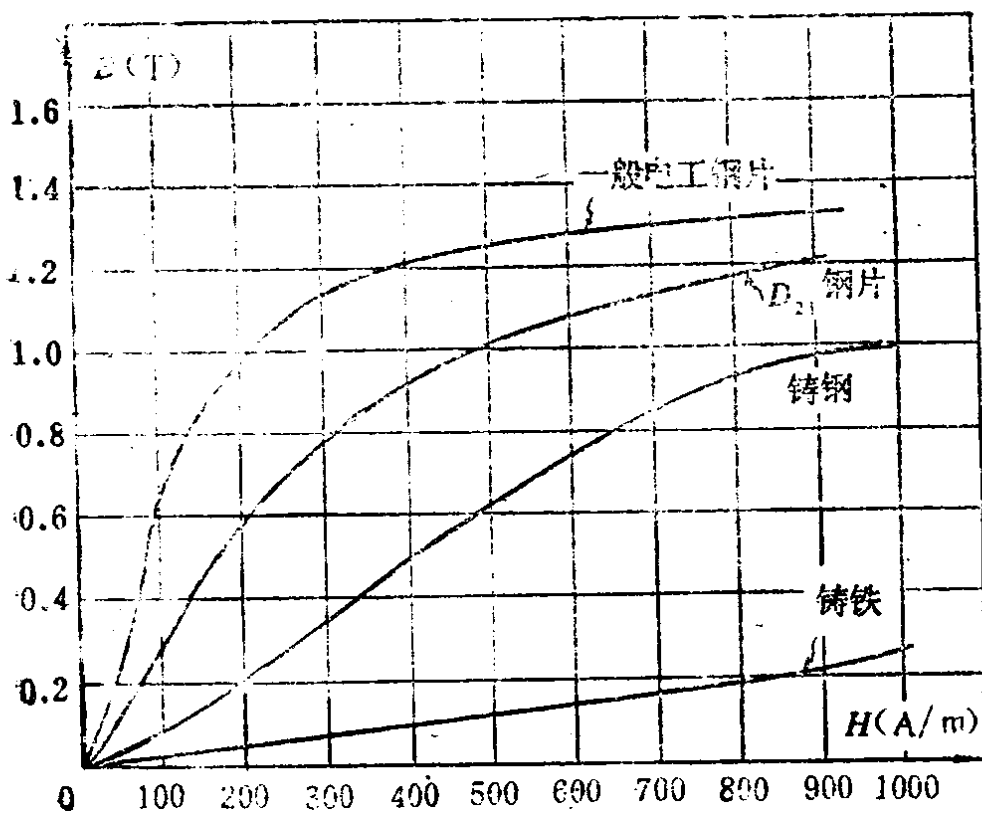


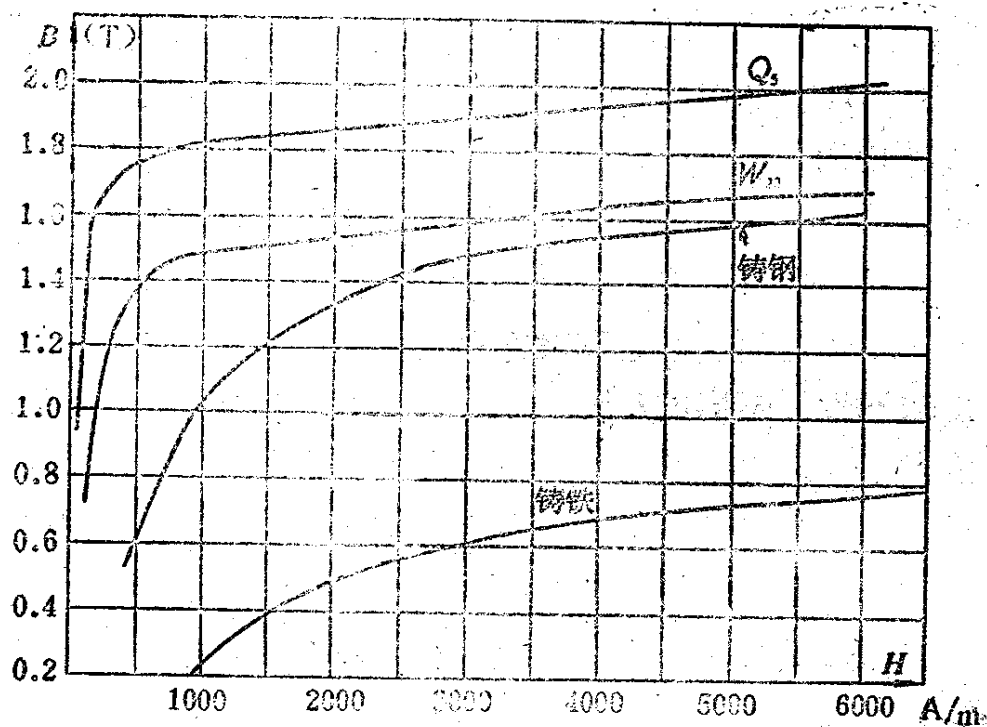
图13-2-5

在基本磁化曲线上的任何一点 B 与 H 之比称为该点的磁导率 μ ，即 $\mu = B/H$ 。因此由 $B-H$ 曲线可以逐点绘出 $\mu-H$ 曲线，如图13-2-5所示。起初，随着 H 的增加， μ 急剧地增加，当 H 增加到基本磁化曲线的弯曲部分（ BC 段）附近， μ 也达到最大值。从这以后，随 H 的增加， μ 又急剧下降。从图中可以看出，磁导率 μ 在整个磁化过程中，不是常数。在磁化曲线不饱和段，呈现出高导磁性，在饱和段呈现出饱和性。不同的 H 值， μ 是不同的，即使是同一种材料， μ 值大小也取决于所加的 H 值的大小。为了充分利用磁性材料，工作点应尽量选在磁化曲线的 BC 段，即接近饱和的区域。

图13-2-6给出几种磁性材料的磁化曲线，可供分析计算时查阅。



(a)



(b)

W₂₂ 为 0.5mm 冷轧硅钢片, Q₂ 为 0.35mm 冷轧硅钢片

各种材料的磁化曲线

图 13-2-6 几种磁性材料的磁化曲线

二、磁性材料的分类

磁性材料通常分为硬磁材料（又称永磁材料）和软磁材料。

硬磁材料 硬磁材料特点是，经过深度饱和磁化之后，具有较大的剩磁、较高矫顽力和较大的磁滞回线面积。它使磁性能能够长久的保持恒定，不易消失。象炭钢、钴钢、铁镍铝钴合金、硬磁铁氧体，稀土钴等都属于硬磁材料。

软磁材料 软磁材料的特点是易于磁化和退磁。其磁滞回线窄而长，磁滞回线面积小，剩磁与矫顽力也小，具有很高的磁导率，象纯铁、铸钢、硅钢片，铁镍合金（又称坡莫