

电工电子技术系列教材

电气控制

殷瑞祥 樊利民 编

DianQi KongZhi

华南理工大学出版社

电工电子技术系列教材

电 气 控 制

殷瑞祥 樊利民 编

华南理工大学出版社

·广州·

内 容 简 介

电工电子技术是非电子、电气类专业的理论性、实践性都比较强的技术基础课程。本书为“电工电子技术系列教材”之二,主要介绍电机及电气控制技术。全书共 12 章,另有 1 个附录。主要内容包括 磁路与变压器,异步电动机,直流电动机,控制电机,继电接触器控制系统,可编程序控制器,西门子 S7 系列可编程序控制器编程软件的使用方法等。

本书着重阐述基本概念、基本原理和实际应用。例题和习题除围绕上述重点外,还注意思考性、启发性,使读者能增强分析问题和解决问题的能力。

本书兼顾了深度和广度,适合作为非电子、电气类各专业本专科、各种成人教育的教材,对于相关工程技术人员也是一本实用的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制 / 殷瑞祥, 樊利民编. — 广州: 华南理工大学出版社, 2009.10
(电工电子技术系列教材)

ISBN 978-7-5640-2111-1

I ①电... II ①殷...②樊... III ①电气控制—高等学校—教材 IV ①接...

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 151110 号

总发行: 华南理工大学出版社 (广州五山华南理工大学 560 号楼, 邮编 510640)

发行部电话: (020) 87531111 (传真)

精印: 广东省印刷厂; 经销: 广东省新华书店; 澳门市: 澳门新华书店

责任编辑: 詹志青

印刷者: 南海市彩印制本厂

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 12.5 字数: 300 千字

版次: 2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 1 万册

定价: 25.00 元

版权所有 盗版必究

此为试读, 需要完整 PDF 请访问: www.ertongbook.com

缘远章)殷瑞祥教授修改统稿。

华南理工大学电工教研室张琳副教授对本书的编写提出了许多建设性意见,并审阅了部分初稿。

由于我们水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编者

二〇〇四年六月于广州

“电工电子技术系列教材”编委会

主任：殷瑞祥

编委（以姓氏拼音为序）：

樊利民 罗昭智

丘晓华 张琳

朱宁西

目 录

员	磁路与变压器	员
员	磁路的基本知识	员
员	磁路的基本物理量	员
员	磁场的基本定律	猿
员	铁磁材料的磁性能	源
员	铁磁材料的种类和用途	缘
员	电磁感应	苑
员	铁心线圈	怨
员	直流铁心线圈	怨
员	交流铁心线圈	怨
员	电磁铁.....	源
员	直流电磁铁.....	源
员	交流电磁铁.....	缘
员	电磁铁的工作时间.....	远
员	单相变压器.....	远
员	变压器的基本结构.....	远
员	变压器的工作原理.....	苑
员	变压器的损耗和效率.....	园
员	三相电力变压器.....	园
员	三相电力变压器的结构.....	园
员	变压器的额定值.....	园
员	变压器的运行和维护.....	园
员	仪用互感器.....	园
员	电流互感器.....	园
员	电压互感器.....	园
员	特殊变压器.....	猿
员	自耦变压器.....	猿
员	钳形电流表.....	猿
习题 员		猿
圆	异步电动机.....	猿

圆猿	三相异步电动机的结构和工作原理.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的结构.....	猿猿
圆猿猿	旋转磁场.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的工作原理.....	猿猿
圆猿	三相异步电动机的电磁转矩和机械特性.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的电磁转矩.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的机械特性.....	猿猿
圆猿	三相异步电动机的使用.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的铭牌数据.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的起动和反转.....	猿猿
圆猿猿	三相异步电动机的调速.....	猿猿
圆猿	单相异步电动机.....	猿猿
圆猿猿	电容分相式异步电动机.....	猿猿
圆猿猿	罩极式异步电动机.....	猿猿
习题 圆	猿猿
猿	直流电动机.....	猿猿
猿猿	直流电动机的结构、基本工作原理、电磁转矩和电枢电动势.....	猿猿
猿猿猿	直流电动机的结构.....	猿猿
猿猿猿	直流电动机的基本工作原理.....	猿猿
猿猿猿	直流电动机的电磁转矩和电枢电动势.....	猿猿
猿猿	他励电动机.....	猿猿
猿猿猿	他励电动机的机械特性.....	猿猿
猿猿猿	他励电动机的起动与反转.....	猿猿
猿猿猿	他励电动机的调速.....	猿猿
猿猿	并励电动机.....	猿猿
猿猿	串励电动机.....	猿猿
猿猿	复励电动机.....	猿猿
习题 猿	猿猿
源	控制电机.....	猿猿
源猿	步进电动机.....	猿猿
源猿猿	单三拍工作方式.....	猿猿
源猿猿	六拍工作方式.....	猿猿
源猿猿	双三拍工作方式.....	猿猿
源猿猿	典型应用.....	猿猿
源猿	伺服电动机.....	猿猿

源园猿 交流伺服电动机.....	源园
源园圆 直流伺服电动机.....	源缘
源园猿 力矩电动机.....	源苑
源猿 测速发电机.....	源愿
源猿猿 交流测速发电机.....	源愿
源猿圆 直流测速发电机.....	源园
源源 自整角机.....	源园
源源猿 控制式自整角机.....	源园
源源圆 力矩式自整角机.....	源缘
习题 源	源苑
缘 继电器接触器控制系统.....	源愿
缘猿 常用低压电器.....	源愿
缘猿猿 刀开关.....	源愿
缘猿圆 按钮和行程开关.....	源怨
缘猿猿 熔断器	源录
缘猿源 自动空气断路器	源猿
缘猿缘 交流接触器	源源
缘猿远 继电器	源缘
缘园 三相异步电动机继电器接触控制电路	源怨
缘园猿 直接起动的控制电路	源怨
缘园圆 正反转控制电路	源园
缘园猿 顺序控制电路	源源
缘园源 时间控制电路	源缘
缘园缘 行程控制电路	源远
习题 缘.....	源愿
远 可编程序控制器	源园
远猿 可编程序控制器概述	源园
远猿猿 可编程序控制器的一般概念	源园
远猿圆 可编程序控制器的基本组成和工作原理	源源
远园 可编程序控制器的编程语言和基本指令	源远
远园猿 可编程序控制器的编程语言	源远
远园圆 可编程序控制器的编程器	源愿
远园猿 常用逻辑的编程元件和基本指令	源愿
远猿 基本控制程序	源怨
远猿猿 起动、保持和停止电路.....	源怨

远源	双向控制电路	员源
远源	定时器、计数器的应用	员源
远源	可编程控制器应用举例	员源
远源	送料小车自动控制系统	员源
远源	异步电动机顺序控制电路	员源
远源	智力竞赛抢答器	员源
习题	远	员源
附录	粤 杂毛译栽子苑 酝编软件的使用说明	员源
粤源	杂栽子苑 酝简介	员源
粤源	杂栽子苑 酝的操作界面	员源
粤源	菜单	员源
粤源	工具栏	员源
粤源	程序编辑窗口	员源
粤源	状态图窗口	员源
粤源	数据块窗口	员源
粤源	符号表窗口	员源
粤源	状态栏	员源
粤源	使用 杂栽子苑 酝的菜单	员源
粤源	程序菜单 孕	员源
粤源	编辑菜单 耘	员源
粤源	视图菜单 灾	员源
粤源	悦菜单	员源
粤源	调试菜单 阅	员源
粤源	设置菜单 杂	员源
粤源	窗口菜单命令 宰	员源
粤源	帮助菜单 匀	员源
粤源	使用 杂栽子苑 酝的一般步骤	员源

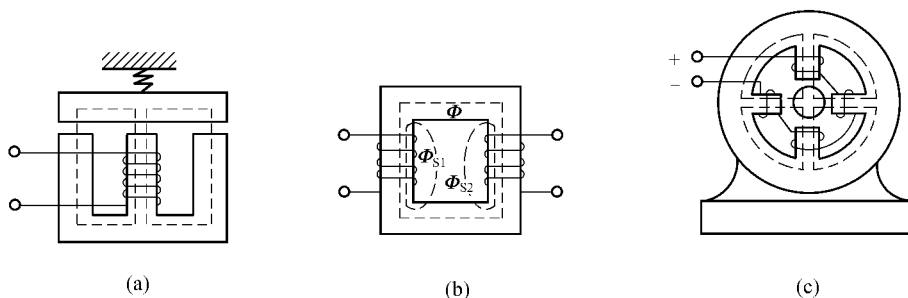
员 磁路与变压器

在电路基础课程中讨论了直流电路和交流电路。实际上电路中存在大量的电感元件,如电磁铁、变压器、电机等。它们的线圈中都有铁心,线圈通电后铁心就构成磁路,磁路又影响电路。因此,电工技术不仅有电路问题,同时也有磁路问题,只有同时掌握了电路和磁路的基本理论,才能对电感元件做全面的分析。

员 磁路的基本知识

由物理学的知识可知,电流产生磁场,通电导体周围存在着磁场。在电磁铁、变压器、电机等电工设备中,为了用较小的电流产生较大的磁场,通常把线圈绕在由铁磁材料制成的铁心上。当电流通过线圈时,产生的磁通绝大部分也通过铁心,通过铁心的磁通称为主磁通,用字母 Φ 表示;小部分沿铁心以外空间闭合的磁通,称为漏磁通,用 $\Phi_{\text{杂}}$ 表示。由于漏磁通很小,在工程中常略去不计。

主磁通通过的闭合路径称为磁路。用以产生磁场的电流称为励磁电流。图员-员-员所示为几种电气设备的磁路。图员-员-员所示是电磁铁的磁路,磁路中有很短的空气隙;图员-员-员所示是变压器的一种磁路,它由同一种铁磁材料组成,且各段截面积基本相等,这种磁路称为均匀磁路;图员-员-员所示是直流电机磁路,磁路中也有空气隙,且磁路的铁磁材料不一定相同。



图员-员-员 几种电气设备的磁路

员 磁路的基本物理量

磁路问题是局限在一定路径内的磁场问题,因而在物理课程中所学过的各个表征

磁场的物理量在磁路中也是适用的。

磁感应强度 B

磁感应强度是表示磁场内某点磁场强弱及方向的物理量。如图 1-1-1 所示的变压器磁路中,当线圈中通有励磁电流时,在铁心内就产生磁场,磁场的大小与线圈的匝数和电流的大小有关,用通过垂直于磁场方向的单位面积磁力线数目表示磁感应强度。磁场的方向与励磁电流的方向有关,可用右手螺旋定则来表示。磁感应强度的单位是 特(特斯拉,简称特)。

磁通 Φ

在均匀磁场中,磁通 Φ 等于磁感应强度 B 与垂直于磁场方向的面积 S 的乘积,即

$$\Phi = B \cdot S \quad \text{或} \quad B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-1-1)$$

故 B 又称为磁通密度。如果是非均匀磁场,为计算方便起见,可取 B 的平均值。磁通 Φ 的单位是 韦伯(简称韦), $1 \text{ 韦} = 1 \text{ 伏} \cdot \text{秒}$ 。由式 (1-1-1) 可以看到

$$B = \frac{\Phi}{S} \quad (1-1-2)$$

磁导率 μ

磁导率 μ 是表示物质导磁性能的物理量。它的单位是 亨(亨)。)

实验证明,自然界中大多数物质,如各种气体、非金属材料、铜、铝、高镍不锈钢等金属对磁场的影响都很小,且与真空极为接近,这类物质称为非磁性物质。由实验测出真空的磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ 亨}$ 。铁、钴、镍、钇、镨及其合金,它们的导磁性能远比真空好,这类物质称为铁磁物质。非磁性物质也称为非铁磁物质。

在说明物质的磁性能时,往往不直接采用磁导率 μ ,而用 μ 与真空磁导率 μ_0 的比值 μ_r 表示, μ_r 称为相对磁导率,即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad \text{或} \quad \mu = \mu_r \cdot \mu_0 \quad (1-1-3)$$

非铁磁物质的 μ_r 近似为 1,铁磁物质的 μ_r 远大于 1,其值从几百到几万。铁的 μ_r 在 1000 以上,硅钢片的 μ_r 可达 10000 以上。在制造电机、变压器等电气设备时,把线圈套在铁磁物质上,目的是用同样的电流、同样匝数的线圈,得到很大的磁感应强度。

应当指出,真空的磁导率 μ_0 是一个常数,而铁磁物质的磁导率 μ 不是常数,当励磁电流改变时, μ 也改变,这一点将会在下面继续讨论。

磁场强度 H

由于铁磁物质的磁导率 μ 不是常数,磁场的计算就比较复杂,为了简化计算,引入磁场强度这一辅助物理量。磁场强度只与产生磁场的电流以及这些电流的分布情况有关,而与磁介质的磁导率无关。磁场强度的单位是 安(安)。

磁场强度 H 的大小与磁感应强度 B 的大小关系是

$$\text{匀} \text{越} \frac{\text{月}}{\mu} \quad \text{或} \quad \text{月} \text{越} \mu \cdot \text{匀}$$

(员 员 猿)

员 员 圆 磁场的的基本定律

员 员 圆 全电流定律

全电流定律是计算磁场的基本定律。在磁场中沿任何闭合回线，磁场强度的矢量的线积分等于穿过该闭合回线所包围的面积电流的代数和，即

$$\oint \text{匀} \cdot \text{造} \text{越} \sum \text{陨}$$

这里，计算电流代数和时，与绕行方向符合右手螺旋定则的电流取正号，反之取负号。

在电工技术中，常常遇到如图 员-员-员 所示的情况，即闭合回线上各点的磁场强度 匀 相等且其方向与闭合回线的切线方向一致，则全电流定律可简化为

$$\text{匀} \cdot \text{造} \text{越} \sum \text{陨}$$

由于电流 陨 沿闭合回线绕行方向符合右手螺旋定则，线圈有 晕 匝，即电流穿过回线 晕 次，因此

$$\sum \text{陨} \text{越} \text{晕} \cdot \text{陨} \text{越} \text{云}_{\text{电}}$$

所以

$$\text{匀} \cdot \text{造} \text{越} \text{晕} \cdot \text{陨} \text{越} \text{云}_{\text{电}}$$

(员 员 源)

式中， $\text{云}_{\text{电}}$ 称为磁动势，单位是 粤(安)。

员 员 圆 磁路的欧姆定律

电路中，电阻 砸 与导线长度 造、导线截面面积 粤 及导线的电阻率 ρ (或电导率 γ) 有关

$$\text{砸} \text{越} \frac{\rho \cdot \text{造}}{\text{粤}} \text{越} \frac{\text{造}}{\gamma \cdot \text{粤}}$$

在电阻两端加电动势 耘 将产生电流 陨 由欧姆定律确定：

$$\text{陨} \text{越} \frac{\text{耘}}{\text{砸}}$$

在磁路中，定义一个对应的物理量磁阻 $\text{砸}_{\text{磁}}$ ，它对磁通起阻碍作用，磁阻与磁路的平均长度 造、磁路截面 粤 及磁路材料的磁导率有关：

$$\text{砸}_{\text{磁}} \text{越} \frac{\text{造}}{\mu \cdot \text{粤}}$$

给磁路加磁动势 $\text{云}_{\text{电}}$ 后，产生磁通 Φ ，磁路的磁动势、磁通及磁阻三者之间的关系可用磁路的欧姆定律表示：

$$\Phi \text{越} \frac{\text{云}_{\text{电}}}{\text{砸}_{\text{磁}}} \text{越} \frac{\text{晕} \cdot \text{陨}}{\text{砸}_{\text{磁}}}$$

(员 员 缘)

一段磁路的磁位差等于其磁阻与磁通的乘积，即

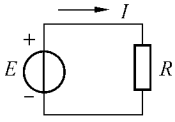
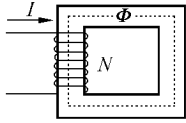
哉越砸 Φ

磁位差的单位与磁动势 $\Sigma_{\text{磁}}$ 的单位相同,为 粤(安)。

电路与磁路的对照关系见表 员-员-员

应当指出,一般情况下各种导体的电阻 砸是一个常数,所以我们常用电路的欧姆定律计算。而在磁路方面,非铁磁材料的 $\mu_{\text{圆}}$ 是常数,而铁磁材料的 μ 不是一个常数,因而磁阻 砸 Φ 也不是一个常数,随励磁电流 随的改变而改变,因而通常不能用磁路的欧姆定律直接计算。

表 员-员-员 电路与磁路对照表

电 路	磁 路
 <p> 电流 陨 电动势 耘 电阻 砸越邀(粤) 电导率 γ 电位差 (电压) 哉越砸陨 电路欧姆定律 耘越砸陨 </p>	 <p> 磁通 Φ 磁动势 $\Sigma_{\text{磁}}$ 磁阻 砸Φ 越邀(μ粤) 磁导率 μ 磁位差 哉越砸Φ 磁路欧姆定律 $\Sigma_{\text{磁}}$ 越 Φ 砸Φ </p>

员-员-员 铁磁材料的磁性能

员-员-员 高导磁性

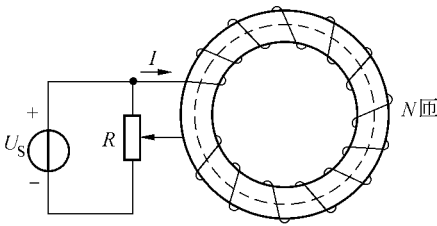
铁磁材料的磁导率很高, $\mu_{\text{圆}}$ 可达 员圆~ 员圆。由铁磁材料组成的磁路磁阻很小,根据式 (员-员-缘) 在线圈中通入较小的电流 陨磁路即可产生较大的磁通 Φ , 因而铁磁材料是制造电磁铁、变压器、电机等的主要材料。

员-员-员 磁饱和性

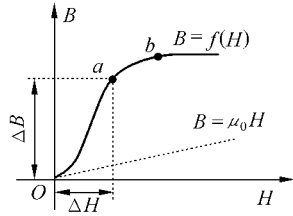
铁磁材料的磁饱和性表现在磁感应强度 μ 不会随磁场强度 μ 的增强而无限增强, 当磁场强度 μ 增大到一定值后, 磁感应强度不能继续增强, 这就是铁磁材料的饱和性。

由式 (员-员-源) 可以看出, 当磁路确定以后, 匝数 μ 磁路平均长度 μ 确定, 则 μ 正比于 陨。在环形铁心上绕上 μ 匝线圈、通入电流 陨实验电路如图 员-员-圆所示, 增加线圈的电流 陨磁路中的磁场强度 μ 也成正比地增加, 而磁感应强度 μ 与磁场强度 μ 的关系如图 员-员-圆的磁化曲线所示。

磁化曲线由原点开始, 这时励磁电流 陨由 园开始增大, 即磁场强度 μ 也由 园开始增大, 从 韵到 葬点这个区间 $\Delta\mu$ 不大而 $\Delta\mu$ 很大, 说明磁导率高; 在 葬点以后, μ 增大,



(a) 实验电路



(b) 磁化曲线

图 员-员-圆 磁化曲线实验电路和磁化曲线

月增大很小,趋向饱和;在遭点以后,匀增加,月几乎不再增加,说明磁路也达到饱和。由此可见,月和匀的关系是非线性的, μ_r 不是常数,但在未饱和段,音葬,粗略分析计算时,磁化曲线可近似看做直线, μ_r 为常数。

若磁路由非铁磁材料组成时,磁化曲线为如图 员-员-圆(b)的虚线所示的直线,斜率很低,说明 μ_{r0} 很小,且是一个常数。

猿 磁滞性

在图 员-员-圆(a)中,同时改变电流 I 的大小和方向,匀的大小和方向随着改变,这时环形铁心在交变磁场中反复磁化,由实验得磁滞回线如图 员-员-猿所示。由图可见,当匀增加到达饱和点后,匀减小月也随之减少,但当匀越园时,月并未回到园值,而是月越月_剩,月_剩称为剩磁。若要使月越园,则应使铁磁材料反向磁化,即励磁线圈反向通电,磁场强度为原匀_剩,原匀_剩称为矫顽力。在反复磁化的过程中,月的变化总是滞后于匀的变化,称为铁磁材料的磁滞性。磁滞回线的宽窄与铁磁材料有关。

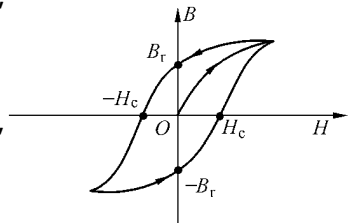


图 员-员-猿 磁滞回线

员-员-源 铁磁材料的种类和用途

员 软磁材料

软磁材料的特点是磁导率高,磁滞特性不明显,矫顽力和剩磁都小,磁滞回线较窄,磁滞损耗小,其磁滞回线如图 员-员-源所示。

软磁材料又分为低频和高频两种,低频软磁材料常用于工频交流电路中,有铸钢、硅钢片、坡莫合金等。硅钢片的厚度一般为园.猿-员.猿mm。硅钢片有冷轧与热轧之分,冷轧性能较好,但价格也较贵,常用于变压器和大型电机的铁心。

高频软磁材料常用于电子电路,主要有软磁铁氧体,它是用几种氧化物的粉末烧结而成的,如锰锌铁氧体、镍锌铁氧体等。半导体收音机的磁棒、中周变压器的铁心,都是用

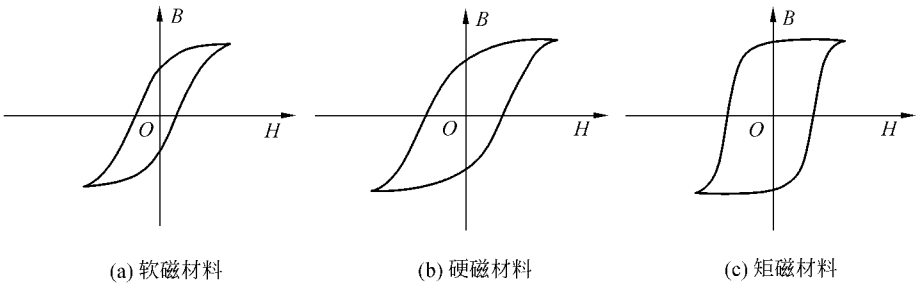


图 1-1-1 几种铁磁材料的磁滞回线

软磁铁氧体制成的。

硬磁材料

硬磁材料的特点是剩磁和矫顽力均较大,磁滞性明显,磁滞回线较宽,如图 1-1-1 所示。由于这类材料磁化后有很强的剩磁,宜制作永久磁铁。硬磁材料广泛用于各种磁电式测量仪表、扬声器等。常用的有碳钢、钴钢等。新型的硬磁材料钕铁硼合金,有极高的磁感应强度,能使永久磁铁的体积大为减少。

矩磁材料

矩磁材料的特点是只要受较小的外磁场作用就能磁化到饱和,当外磁场去掉,磁性仍保持,磁滞回线几乎成矩形,如图 1-1-1 所示。计算机的存储磁心就是利用这种原理制造的,矩磁材料的顺磁及原磁两种状态分别代表二进制数 0 和 1 两个数码,起到记忆的功能。

电工材料中常用的铸铁、铸钢、硅钢片的磁化曲线如图 1-1-2 所示。

例 1-1 有一个环形螺线管如图 1-1-2 所示,匝数 $N=1000$,电流 $I=5$ A,螺线管外径 $D=200$ mm,内径 $d=100$ mm,试分别计算以媒质为纸心、铸钢心时的磁场强度和磁通。

解 磁路平均长度

$$l = \pi \frac{D+d}{2} = \pi \frac{200+100}{2} = 471 \text{ mm}$$

螺线管截面积

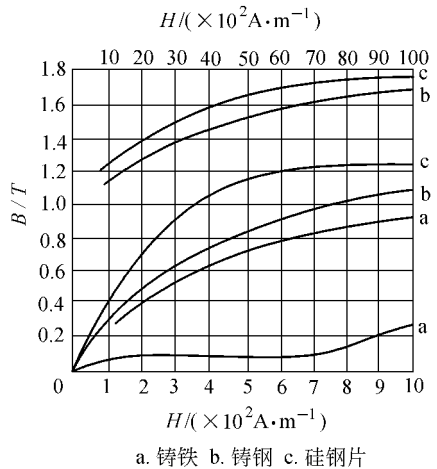


图 1-1-2 铸铁、铸钢、硅钢片的磁化曲线

