

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

电机与拖动

王广惠 王铁光 李树元 主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专“十五”规划教材

GAOZHI
GAOZHUAN
SHIWU
GUIHUA JIAOCAI

电机与拖动

主 编 王广惠 王铁光 李树元
编 写 刘国昌 郭 健 王金喜
主 审 张爱玲



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专“十五”规划教材。

本书是为适应高职高专电气类专业教学改革实际需要而编写的, 主要包括直流电机、变压器、异步电机、同步电机、控制电机的基本结构、电磁原理、运行特性, 直流电动机、三相异步电动机的电力拖动, 电动机的选择及经济运行。

本书可作为高职高专电气技术、工业电气自动化、供用电技术、发电厂及电力系统、楼宇自动化等专业的技术基础课教材, 还可作为成人教育及函授培训教材, 也可供有关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动/王广惠, 王铁光, 李树元主编. —北京:
中国电力出版社, 2004.9

高职高专“十五”规划教材

ISBN 7-5083-1695-9

I. 电... II. ①王... ②王... ③李... III. ①
电机—高等学校: 技术学校—教材②电力传动—高等学
校: 技术学校—教材 IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 078214 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2004年8月第一版 2004年8月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25印张 576千字

印数 0001—3000册 定价 36.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序

随着新世纪的到来,我国进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。新世纪新阶段的新任务,对我国高等职业教育提出了新要求。我国加入世界贸易组织和经济全球化迅速发展的新形势,也要求高等职业教育必须开创新局面。

高职高专教材建设是高等职业教育的重要组成部分,是一项极具重要意义的基础性工作,对高等职业教育培养目标的实现起着举足轻重的作用。为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神,进一步推动高等职业教育的发展,加强高职高专教材建设,根据教育部关于通过多层次的教材建设,逐步建立起多学科、多类型、多层次、多品种系列配套的教材体系的精神,中国电力教育协会会同中国高等职业技术教育研究会和中国电力出版社,组织有关专家对高职高专“十五”教材规划工作进行研究,在广泛征求各方面意见的基础上,制订了反映电力及相关行业特点、体现高等职业教育特色的高职高专“十五”教材规划。同时,为适应电力体制改革和电力高等职业教育发展的需要,中国电力教育协会筹备组建全国电力高等职业教育教材建设指导委员会,以便更好地推动新世纪电力高职高专教材的研究、规划与开发。

高职高专“十五”规划教材紧紧围绕培养高等技术应用性专门人才开展编写工作。基础课程教材注重体现以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为教学重点;专业课程教材着重加强针对性和实用性。同时,“十五”规划教材不仅注重内容和体系的改革,还注重方法和手段的改革,以满足科技发展和生产实际的需求。此外,高职高专“十五”规划教材还着力推动高等职业教育人才培养模式改革,促进高等职业教育协调发展。相信通过我们的不断努力,一批内容新、体系新、方法新、手段新,在内容质量上和出版质量上有突破的高水平高职高专教材,很快就能陆续推出,力争尽快形成一纲多本、优化配套,适用于不同地区、不同学校、特色鲜明的高职高专教育教材体系。

在高职高专“十五”教材规划的组织实施过程中,得到了教育部、国家电力公司、中国电力企业联合会、中国高等职业技术教育研究会、中国电力出版社、有关院校和广大教师的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

教材建设是一项长期而艰巨的任务,不可能一蹴而就,需要不断完善。因此,在教材的使用过程中,请大家随时提出宝贵的意见和建议,以便今后修订或增补。(联系方式:100761 北京市宣武区白广路二条1号综合楼9层 中国电力教育协会教材建设办公室 010-63416222)

中国电力教育协会

前 言

本书是根据教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》指示精神,按照中国电力教育协会组织高职高专“十五”教材规划立项、选题的具体要求编写的。本书可作为高职高专电气技术、工业电气自动化、供用电技术、楼宇自动化等专业的技术基础课教材,还可作为成人教育及函授培训教材,也可供有关教师和工程技术人员参考。

本书在编写时注意从高职高专的教学实际出发,贯彻少而精的原则。全书分为五篇共十八章。第一篇直流电机,讲述直流电机的原理及直流电动机的电力拖动;第二篇变压器;第三篇异步电机,讲述异步电机的原理及异步电动机的电力拖动;第四篇同步电机及控制电机;第五篇电动机的选择及经济运行。各专业可根据需要,选学其中的有关章节。为了便于学习,各章末尾均附有小节、习题,计算题附有参考答案。

本书的第一篇(第一章至第五章)由北华大学王铁光老师编写;第二篇(第六章至第九章)由太原电力高等专科学校刘国昌老师编写;第三篇(第十章至第十三章)由邢台职业技术学院李树元老师、郭健老师编写;绪论以及第四篇(第十四章至第十五章)、第五篇(第十六章至第十八章)由太原电力高等专科学校王广惠老师、王金喜老师编写;全书由王广惠、王铁光、李树元主编,王广惠老师统稿。

本书由太原理工大学张爱玲教授主审。在编写过程中,原北京电力高等专科学校杨学勤老师对全书提出了宝贵意见,并做了详尽的指导。另外还参考了部分相关教材及技术文献。在此一并表示感谢。

书中不足之处,恳请广大读者给予批评指正。

编 者

主要物理量单位符号

主要物理量单位符号

T——特斯拉
Wb——韦伯
Mx——麦克斯韦
Gs——高斯
℃——摄氏度
Ω——欧姆
H——亨利
Hz——赫兹
A——安培
V——伏特
kV——千伏

W——瓦特
kW——千瓦
kVA——千伏·安
kvar——千乏
rad/s——弧度/秒
r/s——转/秒
r/min——转/分
kg——公斤
N——牛顿
N·m——牛顿·米
m——米

主要符号表

α ——角度
 β ——角度；负荷系数
 γ ——角度；电导率
 δ ——气隙长度
 η ——效率
 θ ——功率角；温度
 λ_m ——磁导
 μ ——磁导率
 ν ——谐波次数
 τ ——极距
 Φ ——磁通

Φ_0 ——同步机、直流机励磁磁通
 Φ_a ——电枢反应磁通
 Φ_m ——变压器磁通最大值
 Φ_s ——漏磁通
 ϕ ——功率因数角
 Ψ ——磁链、内功率因数角
 Ω ——机械角速度
 ω ——角频率
A——面积；电负荷
 a ——交流绕组并联支路数；直流绕组并联支路对数；120°复量算子

B ——磁通密度	J ——转动惯量
B_{av} ——平均磁通密度	K ——转向片数
B_{δ} ——气隙磁通密度	k ——变比
B_r ——剩磁磁通密度	k_A ——自耦变压器变比
b ——电纳	k_{μ} ——磁路饱和系数
C_e ——电动势常数	k_{ql} ——绕组基波分布系数
C_M ——转矩常数	k_{yl} ——绕组基波短距系数
D ——直径	k_1 ——基波绕组系数
E ——电动势有效值	k_m ——过载能力
e ——电动势瞬时值	L ——铁心长度；自感系数
$E_{\omega 1}$ 、 $E_{\omega 2}$ ——变压器一、二次漏磁电动势； 异步机定、转子漏磁电动势	M ——互感系数
F ——磁动势	m ——相数；质量
F_0 ——空载磁动势	N ——电枢总导体数
F_m ——变压器、异步机励磁磁动势	n ——转子转速
F_a ——电枢反应磁动势	n_1 ——同步转速
F_f ——直流机、同步机励磁磁动势	n_N ——额定转速
F_{δ} ——气隙磁动势；	P ——有功功率
f ——磁动势瞬时值；频率；力	P_M ——电磁功率
f_v ——高次谐波频率	P_{Ω} ——机械功率
GD^2 ——飞轮矩	P_N ——额定功率
G ——重力	p_{Fe} ——铁损耗
g ——重力加速度	p_{Cu} ——铜损耗
H_c ——矫顽力	p_{ad} ——附加损耗
H ——磁场强度	p_m ——机械损耗
h ——高度	p_f ——励磁损耗
I ——电流有效值	p_0 ——空载损耗
I_0 ——空载电流	p ——极对数
I_m ——变压器、异步机励磁电流	Q ——无功功率；流量；热量
I_a ——电枢电流	q ——每极每相槽数
I_K ——短路电流	R_f ——励磁回路电阻
I_N ——额定电流	R_L ——负载电阻
I_{st} ——起动电流	R_a ——直流机电枢回路电阻
I_f ——直流机、同步机励磁电流	R_m ——磁阻
i ——电流瞬时值	r_m ——变压器、异步机励磁回路电阻
	r_1 、 r_2 ——变压器一、二次电阻；异步机

定、转子电阻

r_k ——短路电阻

R_{st} ——起动电阻

r_a ——同步机电枢绕组电阻

S ——视在功率；元件数

S_N ——额定容量

s ——转差率

s_N ——额定转差率

s_m ——临界转差率

T ——时间常数；周期

T_M ——电磁转矩

T_N ——额定转矩

T_L ——负载转矩

T_0 ——空载转矩

T_{max} ——最大转矩

T_{st} ——起动转矩

t ——时间；温度

U ——电压有效值

U_N ——额定电压

ΔU ——电压调整率

u ——电压瞬时值

u_k ——短路电压

u_{ka} 、 u_{kr} ——短路电压有功分量、无功分量

V ——体积

v ——线速度

W ——能量

W_1 、 W_2 ——相绕组串联匝数

W_y ——线圈匝数

x_1 、 x_2 ——变压器、异步机漏电抗

x_m ——励磁电抗

x_a ——电枢反应电抗

x_t ——同步电抗

x_d ——直轴同步电抗

x_q ——交轴同步电抗

y_k ——换向器节距

y ——线圈节距

Z ——阻抗；电机槽数

Z_u ——虚槽数

Z_m ——励磁阻抗

Z_L ——负载阻抗

Z_k ——短路阻抗

目 录

序	
前言	
主要物理量单位符号	
绪论	1
第一节 电机及电力拖动的作用	1
第二节 电机中铁磁材料的特性	2
第三节 研究电机时常用的基本电磁定律	4
第一篇 直 流 电 机	
第一章 直流电机基本工作原理和结构	7
第一节 直流电机的工作原理	7
第二节 直流电机的基本结构	9
第三节 直流电机的铭牌和主要系列	12
第四节 直流电机的电枢绕组	14
小结	20
习题	20
第二章 直流电机的基本理论	22
第一节 直流电机的磁场和电枢反应	22
第二节 直流电机的电枢电动势和电磁转矩	27
第三节 直流电机的换向	30
小结	35
习题	35
第三章 直流电机运行特性	37
第一节 直流电机的基本方程	37
第二节 直流发电机特性	41
第三节 直流电动机工作特性	45

小结	51
习题	52
第四章 直流电机电力拖动基础	55
第一节 拖动系统的运动方程	55
第二节 工作机构转矩和飞轮转矩的折算	57
第三节 生产机械的负载特性	61
第四节 他励直流电动机的机械特性	63
第五节 电力拖动系统稳定运行	69
小结	70
习题	71
第五章 直流电动机的电力拖动	74
第一节 他励直流电动机的起动	74
第二节 他励直流电动机的制动	78
第三节 他励直流电动机的调速	85
第四节 直流电机电力拖动的过渡过程	92
小结	97
习题	98

第二篇 变 压 器

第六章 变压器的基本原理和构造	102
第一节 变压器的工作原理及分类	102
第二节 变压器的基本结构	104
第三节 变压器的额定值	109
小结	110
习题	111
第七章 变压器的运行原理及特性	112
第一节 变压器的空载运行	112
第二节 变压器的负载运行	121
第三节 变压器参数的测定	130
第四节 标么值	134
第五节 变压器的运行特性	135
小结	140

习题	140
第八章 三相变压器	143
第一节 三相变压器的磁路系统	143
第二节 三相变压器绕组的连接及连接组标号	144
第三节 三相变压器的空载电动势波形	150
第四节 三相变压器的不对称运行	154
第五节 变压器的并联运行	162
第六节 变压器的瞬变过程	167
小结	173
习题	173
第九章 其他类型的变压器	175
第一节 自耦变压器	175
第二节 三绕组变压器	178
第三节 整流变压器	184
小结	187
习题	187

第三篇 异步电机

第十章 交流电机理论的共同问题	188
第一节 交流绕组的基本知识	188
第二节 三相单层绕组	192
第三节 三相双层绕组	195
第四节 交流绕组的感应电动势	198
第五节 单相绕组的磁动势	205
第六节 三相绕组的磁动势	213
小结	220
习题	221
第十一章 三相异步电动机基本原理和结构	223
第一节 三相异步电机的工作原理和运行状态	223
第二节 三相异步电动机的基本结构	225
第三节 三相异步电动机的额定值及主要系列	229
小结	231

习题	231
第十二章 异步电动机的运行原理	233
第一节 转子静止时的三相异步电动机	233
第二节 转子旋转时的三相异步电动机	238
第三节 三相异步电动机参数的测定	244
第四节 三相异步电动机的功率和转矩	247
第五节 三相异步电动机的工作特性	251
小结	252
习题	253
第十三章 异步电动机的电力拖动	255
第一节 三相异步电动机的机械特性方程	255
第二节 三相异步电动机的固有特性和人为特性	258
第三节 三相鼠笼式异步电动机的起动	262
第四节 三相绕线式异步电动机的起动	270
第五节 三相异步电动机的调速	274
第六节 三相异步电动机的制动	284
第七节 单相异步电动机	290
小结	296
习题	297

第四篇 同步电机和控制电机

第十四章 同步电机	300
第一节 同步电机的基本工作原理	300
第二节 同步电机的基本结构	303
第三节 同步发电机	304
第四节 同步发电机有功功率的调节	310
第五节 同步电动机	313
第六节 同步电机无功功率的调节及 V 形曲线	317
第七节 同步电动机的起动	320
小结	321
习题	321

第十五章 控制电机	323
第一节 测速发电机	323
第二节 伺服电动机	328
第三节 自整角机	333
第四节 步进电动机	338
第五节 小功率同步电动机	342
小结	345
习题	345

第五篇 电动机的选择及经济运行

第十六章 电机的发热及冷却	347
第一节 电机的温升及温升限度	347
第二节 变压器的发热及冷却	348
第三节 旋转电机的发热及冷却	351
小结	352
习题	352
第十七章 电动机的选择	354
第一节 电机的定额	354
第二节 连续定额电动机额定功率的选择	356
第三节 短时定额、断续周期定额电动机额定功率的选择	360
第四节 用统计法估算机床电动机的功率	364
第五节 电动机类型的选择	365
小结	367
习题	368
第十八章 变压器和电动机的经济运行与维护	369
第一节 变压器的经济运行	369
第二节 变压器经济运行的措施	374
第三节 电动机的经济运行	375
第四节 电动机的维护	380
小结	382
习题	382
参考文献	384

绪 论

第一节 电机及电力拖动的作用

电能是世界上应用最为广泛的二次能源,它具有便于生产、传输、变换、控制以及对环境无污染等优点。利用电机实现电力拖动是工业企业完成加工工艺和生产过程的关键手段。

一、电机的主要用途及分类

电机是根据电磁感应原理实现机电能量转换的电力机械设备。在发电厂,由原动机带动发电机旋转,发电机可以输出交流电功率;在输配电系统中,为了节省材料并减少输电线路损耗,必须采用变压器,使交流发电机出口端的电压等级升高,将电能进行远距离传输后,再降低电压等级,供用户使用;在用户端,电动机将电能转换成机械能,为生产机械提供动力。在电气传动控制系统中,广泛采用各种控制电机实现指示、随动、反馈等控制。根据电机的用途及结构特点,电机可分成以下各类:

- (1) 变压器(静止的电机)。
- (2) 交流电机:包括同步电机、异步电机。
- (3) 直流电机:包括直流发电机、直流电动机。
- (4) 控制电机:包括测速发电机、伺服电动机、自整角机、步进电机等。

二、电力拖动的主要作用

随着工业现代化的发展和自动化水平的提高,工业生产过程中,主要采用电动机拖动生产机械。与其他形式的原动机相比较,电动机有许多优点。例如:①不同类型的电动机可提供各种不同的机械特性,满足各类生产机械的需要;②电动机操作简单,便于进行起动、调速、反转、制动等控制;③异步电动机结构简单、规格齐全、价格低、效率高、便于维护。此外,由电动机拖动的生产机械可以采用集中传动、单独传动、多电动机传动等方式。

利用电动机把从电网吸取的电功率转换为轴上输出的机械功率,从而带动生产机械工作的这一过程,称为电力拖动或电气传动。采用电气传动,是合理利用能源,促进生产过程向机械化、自动化迈进的有效手段;采用电气传动,改善了劳动条件,有助于批量化生产,提高产品质量、降低成本;此外,电气传动还广泛渗入社会生活的各个方面,包括社会的信息化和家庭的电气化,有助于改善人们的生活质量。

完成电气传动功能的一整套设备总称电力拖动装置,大体由以下三部分组成:

- (1) 电动机 包括异步电动机、直流电动机、同步电动机。
- (2) 生产机械 包括传动机构和工作机构。
- (3) 控制系统 包括电气控制设备、控制电机。

电力拖动装置中的生产机械作为电动机的负载,靠传动机构将电动机轴上输出的机械功率传递给工作机构。常见的传动机构有齿轮传动、皮带传动、联轴器传动、卷筒—钢绳传动

等,不同的传动方式,其使用场合不同、传动效率不同、工作原理不同。工作机构是实现电气传动的主体,例如泵与风机的叶轮、机床的主轴、轧钢机的轧辊、卷扬机、电力机车等。控制系统的主要作用是,应用电力电子技术和计算机控制技术,从对电动机的控制入手,实现对生产机械运行特性的控制。控制系统的设计直接关系到电力拖动装置运行的可靠性和生产过程的自动化水平。

第二节 电机中铁磁材料的特性

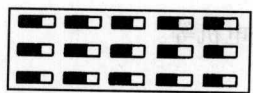
电机是依据电磁感应原理实现能量转换的,其内部要构成完整的磁路,独立的电路,带电导体之间要相互绝缘,还要有构成电机整体的结构部分。因此,制造电机要用到以下四种材料:①电阻率低的导电材料;②导磁性能高的铁磁材料;③介电强度高、耐热性好的绝缘材料;④机械强度高的结构材料。本节仅讨论铁磁材料的特性。

一、磁导率及磁场强度

将一个通电线圈置于不同的介质中,可以发现其磁感应强度不同,说明不同介质的导磁性能不同。表征物质导磁性能的物理量用符号 μ 表示,称为磁导率。磁导率的单位是 H/m 。



(a)



(b)

物质按导磁性能强弱可分为三类:顺磁性物质,如空气、铝、铬等,其磁导率略大于真空磁导率 μ_0 , $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$;逆磁性物质,如铜、氢、铅等,其磁导率略小于真空磁导率 μ_0 ;铁磁性物质,如铁、钴、镍、钢等,其磁导率 μ_{Fe} 比真空磁导率 μ_0 大得多,并且不为常数。

磁场强度用符号 H 表示,其定义为 $H = \frac{B}{\mu}$ (0-1)

图 0-1 铁磁物质的磁畴
(a) 未被磁化; (b) 完全磁化

其中,磁通密度 B 的单位是 T , $1\text{T} = 10^4 \text{Gs}$; 磁场强度 H 表示单位长度磁路上作用的磁动势,磁动势的单位是 A , 磁场强度的单位是 A/m 。当磁通密度一定时,磁导率越大,所需的磁动势越小。为此,电机中采用了导磁性能好的铁磁材料构成主磁路,如硅钢片、钢板、铸钢,其磁导率 $\mu_{\text{Fe}} \approx (2000 \sim 6000) \mu_0$

二、磁化曲线

铁磁物质的磁导率之所以很大,是由于铁磁物质内部存在着许多天然磁畴,未被磁化时,各磁畴杂乱无章地排列着,对外不显磁性,如图 0-1 (a) 所示。当铁磁物质放入磁场后,在外界磁场的作用下,各磁畴逐渐转向,形成附加磁场,与外磁场方向一致,使外磁场增强,如图 0-1 (b) 所示。这种现象称为磁化。

在磁化过程中,磁通密度 B 随磁场强度 H 变化的关系曲线称为磁化曲线。铁磁材料的磁化曲线 $B = f(H)$ 为非线性关系,如图 0-2 所示。曲线大致分为两段:第一段 oa 为线

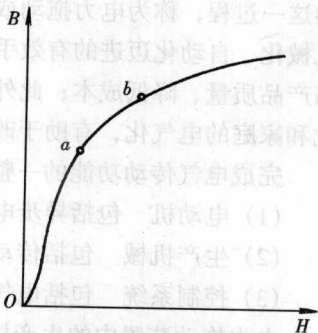


图 0-2 铁磁材料的磁化曲线

性段, 磁通密度较低, 当外磁场由零开始增加时, 能引起相应数量的磁畴开始转向与外磁场方向一致, 使磁场增强, 因此磁通密度随磁场强度几乎成正比上升, 即: $B = \mu H$, $\mu =$ 常数; 第二段 ab 为饱和段, 磁通密度较高, 由于大部分磁畴已与外磁场方向渐趋一致, 当外磁场继续增加时, 可转向的磁畴越来越少, 因此磁通密度已不再随磁场强度成正比增加, 这种现象称为磁饱和。此时, 磁化曲线的斜率逐渐变得平缓, 磁导率 μ 逐渐减小。b 点称为饱和点。b 点以后, 所有的磁畴几乎都已与外磁场方向一致, B 随 H 的增加变得非常缓慢, 铁磁材料的磁导率 μ 进一步减小。

在设计电机时, 为了充分利用铁磁材料, 磁通密度不能选得太低, 而为了减小励磁安匝数, 应使磁导率较高, 磁通密度又不能选得太高, 综合考虑, 通常把磁通密度 B 值选择在 a 点 (称为膝点) 附近。

三、磁滞回线

由试验可以证明, 对铁磁材料进行交变磁化时, 其内部的磁畴在随外磁场转向、排列的过程中, 相互之间要产生摩擦, 因此, 磁通密度 B 的变化总是滞后于磁场强度 H 的变化, 称之为磁滞现象。如图 0-3 所示。由图可见:

(1) 当增加励磁电流, 使磁场强度 H 由零上升到最大值 $+H_m$ 时, 磁通密度 B 沿 oa 曲线变化, a 点为 (H_m, B_m) 。

(2) 当励磁电流逐渐减小到零并反方向增加时, 磁场强度由 $+H_m$ 向 $-H_m$ 变化, 磁化曲线的轨迹为 $abcd$ 。b 点为 $(0, B_r)$, 磁场强度已减小到零, 但磁通密度 $B_r > 0$, B_r 称为剩磁。虽然外磁场消失, 但磁畴未能全部恢复原状, 顺外磁场排列的部分磁畴被保留下来, 使 $B_r = \overline{ob}$ 。c 点为 $(-H_c, 0)$, 磁场强变化到 $-H_c$ 时, 磁通密度才减小到零, 显然 H_c 是消除剩磁所需的反向磁场强度, 称为矫顽力。 $H_c = \overline{oc}$ 。

(3) 当磁场强度由 $-H_m$ 向 H_m 变化时, 磁化曲线的轨迹为 $defa$ 。分析方法同 (2), 且 $\overline{oe} = \overline{ob}$; $\overline{oc} = \overline{of}$ 。

由于磁滞现象, 磁化曲线的上升支和下降支不重合, 二者围成对称于原点的闭合曲线 $abcdefa$, 称为磁滞回线。对同一种材料取不同的 H_m 值可测得若干磁滞回线, 过原点将所有磁滞回线的顶点连接起来, 就可得到一条工程上采用的基本磁化曲线。不同的铁磁材料, 其磁滞回线形状各不相同, 可大致分为两类。软磁材料, 如铸铁、铸钢、硅钢片等, 其磁滞回线的面积较窄, B_r 及 H_c 均较小, μ_{Fe} 较大, 用来制造普通电机和变压器的铁心; 硬磁材料, 如铝、镍、钴、铁的合金和稀土和金等, 其磁滞回线的面积较宽, B_r 及 H_c 均较大, 可用来制造永久磁铁、磁滞电机等。

四、磁滞损耗与涡流损耗

铁磁材料在交变磁化过程中, 其内部磁畴在不停地转动、相互摩擦的同时, 消耗一定的

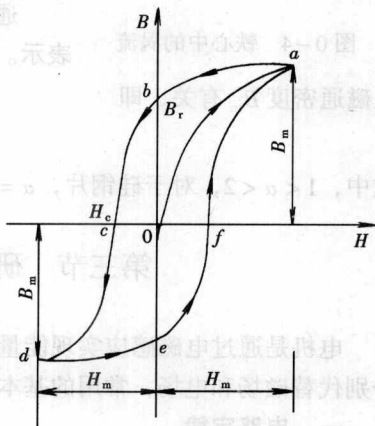


图 0-3 铁磁材料的磁滞回线

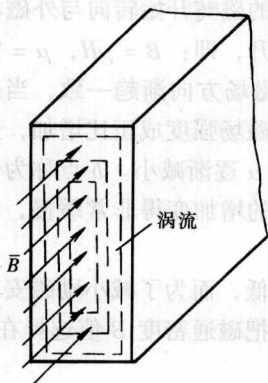


图 0-4 铁心中的涡流

及磁通密度 B_m 有关, 即

$$p_{Fe} \propto f^\alpha B_m^2 \quad (0-2)$$

式中, $1 < \alpha < 2$, 对于硅钢片, $\alpha = 1.2 \sim 1.6$ 。

能量, 这种能量损失称为磁滞损耗。可以证明, 单位体积内的磁滞损耗正比于磁场交变的频率 f 和磁滞回线的面积。不同的铁磁材料, 磁滞损耗不同。例如, 软磁材料的磁滞回线面积较窄, 磁滞损耗小。

当通过铁心的磁通交变时, 根据电磁感应定律, 铁心中将产生感应电动势并呈现涡流, 如图 0-4 所示。

涡流在铁心中引起的损耗称为涡流损耗。为了减小涡流损耗, 在钢中加入 4% 左右的硅以增大铁心的电阻率, 将整块铁心分割成相互绝缘的钢片以加长涡流的路径, 因此, 电机和变压器的铁心都用 0.35mm 或 0.5mm 厚的硅钢片叠制。

通常把磁滞损耗和涡流损耗合在一起, 统称为铁耗, 用 p_{Fe} 表示。对于某一种材料, 铁耗的大小与铁心中磁通交变频率 f

第三节 研究电机时常用的基本电磁定律

电机是通过电磁感应实现能量转换的机械设备。研究电机时, 为简便计, 用磁路和电路分别代替磁场和电场, 常用的基本电磁定律如下。

一、电路定律

1. 基尔霍夫第一定律

在电路的节点上, 电流瞬时值的代数和等于零, 即

$$\sum i = 0 \quad (0-3)$$

列电流方程时, 先确定电流的正方向, 对于正弦交流电路, 电流用复数 $\dot{I}$ 表示。

2. 基尔霍夫第二定律

在闭合电路中, 沿着回路的巡行方向, 电压降的代数和等于电动势的代数和, 即

$$\sum u = \sum e \quad (0-4)$$

如果把电压看成负的电动势, 则回路中的电动势的总和等于零。列回路方程时, 先规定电流、电压降、电动势的正方向, 再选定回路的巡行方向。凡电动势和电压降与巡行方向一致时取正号; 反之取负号。对于正弦交流电路, 其电流、电压降、电动势分别用复数 $\dot{I}$ 、 $\dot{U}$ 、 $\dot{E}$ 表示。

二、磁路定律

1. 磁路欧姆定律

磁路的磁通 Φ 等于磁动势 F 与磁导 λ_m 的乘积, 磁导 λ_m 与磁阻 R_m 互为倒数, 即