

普通高等院校“十一五”规划教材

电机与电力拖动

(第3版)

DIANJI YU

DIANLI TUODONG

主编 赵影



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十一五”规划教材

电机与电力拖动

(第3版)

主编 赵影
编著 吴凤英 李季 李超
信建国 郭长勇
主审 杜明星

国防工业出版社

·北京·

前 言

科学技术的发展,要求人们掌握的知识和具备的能力与素质不断提高。为适应这种发展的需要,多年来,高等教育课程体系进行了整体优化,科学协调,知识结构的重新组合和分配,这样使得原有的内容也要进行调整,在保证功能基本不变的情况下精选和提炼。

电机与电力拖动是一门重要的专业基础课,也是学生专业素质形成的关键性课程,具有对象具体、理论性强又较为抽象,同时与工程实际密切相关的特点。在目前教改带来的课程教学课时大为减少,但又要保证其基本教学内容不变的情况下,我们根据培养 21 世纪工程应用型人才的需要,总结多年来从事本课程教学的工作,结合其课程变化和教学改革的经验,从加强能力培养,注重基础知识,面向实际应用进行了本书的编写工作。在本书的编写工作中,我们力求从应用角度出发,着重分析各种电机的工作原理和运行特性,以及电机稳态运行的基本电磁规律和能量转换规律,着重讲述电力拖动中电动机为满足不同工艺要求在启动、调速、制动等状态下的工作情况,以培养学生的工程观点和处理一些实际问题的工程分析方法。为使学生较好地掌握电机的运行特性,以便今后更好地控制电机,我们对各种电机的结构也作了一定深度的介绍,而对电机设计和制造工艺涉及不多,本书分为 11 章内容,以直流电机、异步电机、同步电机、变压器 4 种通用电机和交流、直流电机的电力拖动为主体,力求体现深入浅出,既便于教学也便于学生理解。本书还介绍了电机与电力拖动的一些基本实验。

参加本书编写的有吴凤英(第 1 章、第 2 章、第 11 章)、赵影(第 3 章、第 4 章、第 8 章并统稿)、李季(第 5 章、第 10 章)、李超(第 6 章、第 7 章)、信建国(第 9 章)、郭长勇(实验部分),赵影为主编。

本书经黄孙伟仔细审阅,并提出了宝贵的修改意见;夏彬进行了部分章节的绘图和计算机处理;李季与信建国最后进行了文字和图形的整理。

由于编者学识有限,书中错误和不妥之处敬请广大读者和同行专家批评指正。

编者
2010 年 6 月

符号表

A ——电动机的散热系数	F ——励磁磁动势、拖动力
B ——磁感应强度	FC ——电动机负荷持续率
B_1 ——气隙磁场的幅值	F_0 ——空载磁动势
B_{av} ——平均磁通密度	F_1 ——磁动势最大值
B_r ——剩磁感应强度	F_a ——电枢磁动势
B_δ ——气隙磁感应强度	F_{ad} ——直轴磁动势
$\cos\varphi_N$ ——额定功率因数	F_{aq} ——交轴磁动势
C ——电动机的热容量	F_f ——励磁磁动势
C_e ——涡流损耗系数	F_m ——磁动势最大值
C_h ——磁滞损耗系数	F_{qm} ——整距分布线圈组磁动势最大值
C_{Fe} ——铁损耗系数	F_{pm} ——相绕组磁动势最大值
D ——皮带轮直径	F_L ——阻力
e ——感应电动势	F_U, F_V, F_W ——三相绕阻磁动式
E ——导体感应电动势的有效值	GD^2 ——飞轮矩
E_+, E_-, E_0 ——正序、负序和零序电动势	G_m ——磁导
E_0 ——空载电势	H ——磁场强度
E_{2s} ——转子旋转时的转子绕组感应电动势	H_c ——矫顽磁力
E_1 ——变压器一次侧电动势	H_δ ——气隙磁场强度
E_2 ——变压器二次侧电动势	i_0 ——空载电流
\dot{E}_a ——电枢反应电动势	I_1 ——变压器的一次电流
E_{ad}, E_{aq} ——直轴、交轴电枢电动势	I_2 ——变压器的二次电流
\dot{E}_σ ——漏磁电动势	I_a ——电枢电流
E_ϕ ——相电动势	I_d ——直轴电枢电流
$\sum E$ ——线圈组电动势	I_f ——励磁电流
f ——电网的频率	I_{fN} ——额定励磁电流
f_1 ——定子感应电动势频率	I_q ——交轴电枢电流
f_2 ——转子感应电动势频率	I_N ——额定电流
f_N ——额定频率	j ——转速比
	J ——转动惯量
	k_p ——分布系数
	k_u ——电压下降系数

k_y ——短距系数	T_{sys} ——比整步转矩
k_w ——绕组系数	T_L ——负载转矩
m ——绕组相数	T_N ——额定转矩
n ——电机转速	U ——端电压
n_1 ——同步转速	U_+, U_-, U_0 ——正序、负序和零序电压
n_N ——额定转速	U_1 ——变压器一次侧电压
N ——线圈匝数	U_2 ——变压器二次侧电压
N_1 ——变压器一次侧绕组的匝数	U_{20} ——变压器二次侧空载电压
N_2 ——变压器二次侧绕组的匝数	U_{fN} ——额定励磁电压
p ——电机的极对数	U_N ——额定电压
p_0 ——变压器空载损耗	x_{a1} ——一次绕组的漏电抗
$P_{M\text{max}}$ ——电磁功率最大值	x_{a2} ——二次绕组的漏电抗
p_h ——磁滞损耗	x_d ——直轴同步电抗
p_m ——机械损耗	x_q ——电枢反应电抗
p_s ——附加损耗	x_q ——交轴同步电抗
p_{Cu} ——变压器铜损	x_s ——同步电抗
p_{Fe} ——变压器铁损	y ——线圈节距
P_1 ——输入功率	z ——齿轮齿数
P_2 ——输出功率	Z ——定子槽数
P_{all} ——平均功率	Z_+, Z_-, Z_0 ——正序、负序和零序阻抗
P_L ——负载功率	Z_0 ——空载阻抗
P_M ——电磁功率	Z_1 ——变压器一次侧漏阻抗
P_N ——额定功率	Z_2 ——变压器二次侧漏阻抗
q ——每极每相槽数	Z_k ——短路阻抗
Q ——单位时间产生的热量	Z_m ——励磁阻抗
r_1 ——一次绕组的电阻	Z_L ——负载电阻
r_2 ——二次绕组的电阻	α ——槽距角
r_k ——变压器短路电阻	η_m ——生产机械效率
r_m ——变压器励磁电阻	η_t ——传动机构效率
R_a ——电枢电阻	η_N ——额定效率
R_m ——磁路磁阻	θ ——功率角
s ——转差率	θ_s ——电动机初始温升
S ——电动机工作制	θ_s ——电动机稳定温升
S_N ——额定容量	θ_M ——电动机最高温升
t_s ——电动机停机时间	λ_m ——电动机过载倍数
t_w ——电动机运行时间	μ ——磁导率
T_s ——起动转矩	μ_0 ——真空磁导率

μ_r —— 相对磁导率

ρ —— 回转半径

τ —— 极距

Φ_0 —— 主磁通

Φ_m —— 每极磁通量

Φ_δ —— 气隙磁通

Φ_σ —— 漏磁通

Φ_{ad}, Φ_{aq} —— 直轴、交轴电枢磁通

φ —— 外功率因数角

ψ —— 内功率因数角

Ω —— 角速度

目 录

第 1 章 磁路	1
1.1 磁场的基本物理量	1
1.1.1 磁感应强度	1
1.1.2 磁通	1
1.1.3 磁场强度与磁导率	2
1.2 铁磁物质的磁性能	2
1.2.1 铁磁材料的高导磁性	2
1.2.2 铁磁材料的磁饱和性	3
1.2.3 铁磁材料的磁滞性	4
1.2.4 交变磁通下的铁芯损耗	6
1.3 磁路和磁路定律	7
1.3.1 磁路的基本概念	7
1.3.2 磁路的基本定律	7
1.4 磁路计算	10
1.4.1 直流磁路的计算	10
1.4.2 交流磁路的特点	14
思考题与习题	14
第 2 章 电力拖动系统的动力学基础	17
2.1 概述	17
2.2 电力拖动系统的运动方程式	17
2.2.1 单轴拖动系统的运动方程式	17
2.2.2 多轴旋转拖动系统的折算	21
2.2.3 平移运动系统的折算	23
2.2.4 升降运动系统的折算	24
2.3 电力拖动系统的暂态过程	28
2.3.1 转速变化规律 $n=f(t)$	28
2.3.2 电磁转矩的变化规律 $T=f(t)$	29
2.3.3 电枢电流的变化规律 $I_a=f(t)$	30

2.4	生产机械的负载转矩特性	30
2.4.1	恒转矩负载特性	30
2.4.2	通风机负载特性	31
2.4.3	恒功率负载特性	31
	思考题与习题	32
第3章	直流电机基本理论	35
3.1	直流电机的工作原理	35
3.1.1	直流发电机的工作原理	35
3.1.2	直流电动机的工作原理	36
3.2	直流电机的基本结构和额定值	37
3.2.1	直流电机的基本结构	37
3.2.2	直流电机的额定值	40
3.3	直流电机的电枢绕组	41
3.3.1	有关技术名词	41
3.3.2	单叠绕组连接示例	42
3.4	直流电机的磁场	44
3.4.1	直流电机的励磁方式	45
3.4.2	直流电机的空载磁场	45
3.4.3	直流电机负载时的磁场和电枢反应	47
3.5	直流电机的感应电动势和电磁转矩	49
3.5.1	电枢绕组的感应电动势	49
3.5.2	电枢绕组的电磁转矩	50
3.6	直流电动机稳态运行时的基本方程式和工作特性	51
3.6.1	直流电动机稳态运行时的基本方程式	51
3.6.2	直流电动机的工作特性	54
3.7	他励直流电动机的机械特性方程	57
3.8	直流发电机稳态运行时的基本方程式和运行特性	58
3.8.1	直流发电机稳态运行时的基本方程式	58
3.8.2	直流发电机的运行分析	61
3.9	直流电机的换向	64
3.9.1	直流电机的换向过程	64
3.9.2	直流电机的直线换向、延迟换向、超越换向	65
3.9.3	改善换向的方法	66
3.9.4	环火与补偿绕组	67
	思考题与习题	67

第 4 章 直流电动机的电力拖动	71
4.1 他励直流电动机的机械特性	71
4.1.1 固有机械特性	71
4.1.2 人为机械特性	72
4.1.3 电力拖动系统稳定运行的条件	74
4.2 他励直流电动机的起动和反转	76
4.2.1 他励直流电动机的起动	76
4.2.2 他励直流电动机的反转	80
4.3 他励直流电动机的调速	80
4.3.1 电枢串电阻调速	80
4.3.2 弱磁调速	81
4.3.3 改变电枢端电压调速	81
4.3.4 调速的性能指标	82
4.4 他励直流电动机的制动	85
4.4.1 能耗制动	86
4.4.2 反接制动	88
4.4.3 回馈制动	90
4.5 串励直流电动机的电力拖动	92
4.5.1 串励直流电动机的机械特性	92
4.5.2 串励直流电动机的起动与调速	94
4.5.3 串励直流电动机的电气制动	94
思考题与习题	95
第 5 章 变压器	99
5.1 变压器的工作原理和结构	99
5.1.1 变压器的工作原理	99
5.1.2 变压器的分类	100
5.1.3 变压器的基本结构	100
5.1.4 变压器的额定值	103
5.2 变压器的空载运行	104
5.2.1 空载时的电磁物理现象	104
5.2.2 正方向规定	105
5.2.3 空载时的电磁关系	105
5.2.4 励磁电流	107
5.2.5 相量图、等效电路	108
5.3 变压器的负载运行	109

5.3.1	负载时的电磁物理现象	109
5.3.2	基本方程式	110
5.3.3	折算	111
5.3.4	折算后的基本方程式、等效电路和相量图	113
5.3.5	Γ 形等效电路和简化等效电路	113
5.4	变压器参数的试验测定	115
5.4.1	空载试验	115
5.4.2	短路试验	116
5.5	变压器的运行特性	118
5.5.1	外特性和电压调整率	118
5.5.2	损耗与效率特性	120
5.6	三相变压器	121
5.6.1	三相变压器的磁路系统	122
5.6.2	三相变压器的电路系统	123
5.6.3	三相变压器绕组连接法和磁路系统对电势波形的影响	126
5.6.4	变压器的并联运行	128
5.7	特殊变压器	131
5.7.1	三绕组变压器	131
5.7.2	自耦变压器	133
5.7.3	仪用互感器	134
	思考题与习题	136

第6章 交流电机基础 139

6.1	交流电机	139
6.1.1	交流电机的主要形式	139
6.1.2	三相同步发电机	139
6.1.3	三相异步电动机	140
6.2	交流电机的绕组	140
6.2.1	交流电机绕组的基本要求和概念	140
6.2.2	三相单层绕组	142
6.2.3	三相双层绕组	143
6.3	正弦磁场下交流绕组的电动势	144
6.3.1	一根导体的电动势 E	144
6.3.2	整距线圈的电动势	146
6.3.3	短距线圈的电动势	147
6.3.4	线圈组电动势	147
6.3.5	相电动势和线电动势	148

6.4	交流绕组中的谐波电势	149
6.4.1	谐波电势的影响	149
6.4.2	削弱谐波电势不良影响的方法	150
6.5	单相绕组的磁动势——脉振磁动势	151
6.5.1	整距集中线圈的基波磁动势	151
6.5.2	整距分布线圈组的磁动势	153
6.5.3	一组双层短距分布绕组的基波磁动势	153
6.5.4	相绕组的磁动势	154
6.6	三相绕组的磁动势——旋转磁动势	156
	思考题与习题	158
第7章	异步电动机	160
7.1	三相异步电动机的基本结构及工作原理	160
7.1.1	三相异步电动机的基本结构	160
7.1.2	三相异步电动机的工作原理	162
7.1.3	三相异步电动机的铭牌和主要系列	163
7.2	三相异步电动机的空载运行	165
7.2.1	空载运行时的电磁关系	165
7.2.2	空载运行时定子电压平衡关系	166
7.3	三相异步电动机的负载运行	168
7.3.1	负载运行时的电磁关系	168
7.3.2	转子绕组各电磁量	168
7.3.3	磁动势平衡方程	171
7.3.4	电动势平衡方程	172
7.4	三相异步电动机的等效电路和相量图	172
7.4.1	折算	172
7.4.2	等效电路	174
7.5	三相异步电动机的功率和电磁转矩	176
7.5.1	功率平衡	176
7.5.2	转矩平衡	178
7.6	三相异步电动机的参数测定	179
7.6.1	空载试验	179
7.6.2	短路试验	181
7.7	单相异步电动机	182
7.7.1	单相异步电动机的工作原理	182
7.7.2	单相异步电动机的主要类型	183
	思考题与习题	185

第 8 章 三相异步电动机的电力拖动	187
8.1 三相异步电动机的机械特性	187
8.1.1 三相异步电动机机械特性的表达式	187
8.1.2 机械特性	189
8.2 三相异步电动机的起动	193
8.2.1 三相异步电动机对起动的要求	193
8.2.2 笼型异步电动机的降压起动	193
8.2.3 起动性能改善的笼型异步电动机	198
8.2.4 绕线转子异步电动机的起动	199
8.3 三相异步电动机的调速	205
8.3.1 三相异步电动机的变极调速	206
8.3.2 三相异步电动机的变频调速	208
8.3.3 改变转差率调速	210
8.4 三相异步电动机的制动	213
8.4.1 三相异步电动机的反接制动	213
8.4.2 三相异步电动机的回馈制动	214
8.4.3 三相异步电动机的能耗制动原理	216
思考题与习题	219
第 9 章 同步电机	222
9.1 同步电机的基本工作原理和结构	222
9.1.1 同步电机的工作原理	222
9.1.2 同步电机的基本结构	223
9.1.3 同步电机的励磁方式	224
9.1.4 额定值	225
9.2 同步电机的电枢反应	225
9.2.1 同步电机的空载磁场	225
9.2.2 对称三相负载时同步电机的电枢反应	225
9.3 同步电动机的运行分析	229
9.3.1 隐极同步电动机的电动势平衡方程式和相量图	229
9.3.2 凸极同步电动机的电动势平衡方程式和相量图	231
9.4 同步电动机的功率、转矩和功(矩)角特性	234
9.4.1 同步电动机的功率、转矩平衡方程式	234
9.4.2 同步电动机的功(矩)角特性	234
9.5 同步电动机的功率因数调节	237
9.6 同步电动机的起动	239

9.6.1	起动方法	240
9.6.2	异步起动过程	240
9.7	同步发电机的运行分析	242
9.7.1	同步发电机的电动势平衡方程式和相量图	242
9.7.2	功率、转矩平衡方程式和功(矩)角特性	244
9.8	同步发电机的运行特性	245
9.8.1	外特性	245
9.8.2	调整特性	246
9.8.3	空载特性	246
9.8.4	短路特性	246
9.8.5	零功率因数负载特性	247
9.9	同步发电机与电网的并联运行	248
9.9.1	并联运行的条件	248
9.9.2	投入并联的方法	248
9.9.3	有功功率的调节	249
9.9.4	静态稳定	249
9.10	同步发电机的不对称运行	251
9.10.1	对称分量法	251
9.10.2	同步发电机的各相序阻抗和等效电路	253
9.10.3	同步发电机的单相短路	255
9.10.4	同步发电机的线间短路	257
	思考题与习题	259

第 10 章 控制电机

10.1	步进电动机	261
10.1.1	基本结构	261
10.1.2	基本工作原理	261
10.2	伺服电动机	264
10.2.1	直流伺服电动机	264
10.2.2	交流伺服电动机	265
10.3	测速发电机	267
10.3.1	直流测速发电机	267
10.3.2	交流测速发电机	268
10.4	自整角机	270
10.4.1	力矩式自整角机	270
10.4.2	控制式自整角机	270
10.5	旋转变压器	271

10.5.1	基本结构	272
10.5.2	基本工作原理	272
	思考题与习题	275
第 11 章	电力拖动系统中电动机的选择	276
11.1	电动机选择的基本要求与主要内容	276
11.1.1	基本要求	276
11.1.2	主要内容	276
11.2	电动机的发热和冷却过程	279
11.3	电动机的工作制	280
11.4	电动机的额定功率和实际功率	282
11.4.1	电动机的额定功率	282
11.4.2	电动机的实际功率	282
11.5	恒定负载电动机额定功率的选择	283
11.5.1	连续运行工作制电动机的选择	283
11.5.2	短时工作制(S_2)电动机额定功率的选择	284
11.5.3	断续周期工作制(S_3)电动机额定功率的选择	286
11.6	周期性变动负载电动机额定功率的选择	287
11.6.1	电动机额定功率的选择	287
11.6.2	须考虑起动、制动和停机过程时发热公式的修正	289
	思考题与习题	291
实验一	直流并励电动机	293
实验二	直流发电机	296
实验三	单相变压器	300
实验四	三相变压器	305
实验五	绕线式三相异步电动机	307
实验六	鼠笼式三相异步电动机	309
实验七	三相同步电动机	313
实验八	三相同步发电机	316
	参考文献	319

第 1 章 磁 路

1.1 磁场的基本物理量

1.1.1 磁感应强度

电磁场是由电流产生的。描述磁场中某点的磁场强弱和方向的物理量称为磁感应强度 B ，它是一个向量。

在给定的磁场中某一点的磁感应强度的大小和方向都是确定的。若设想用假想的曲线来表示磁场的分布，则规定曲线上每一点的切线方向就是该点的磁感应强度的方向。这样的曲线叫做磁感应线或磁力线。

磁感应线总是闭合的，且围绕着产生它的电流，其方向则与产生它的电流的方向满足右手螺旋定则。

磁场中各点的磁感应强度的大小可以通过磁感应线的疏密来表示。磁场强的地方，磁感应强度大，磁感应线密；磁场弱的地方，磁感应强度小，磁感应线疏。

某点磁感应强度的大小可用该点磁场作用与长 1m ，通过 1A 电流的导体上的力来衡量，该导体与磁场方向垂直，即

$$B = \frac{F}{LI} \quad (1-1)$$

若磁场内各点的磁感应强度大小相等，方向也相同，称该磁场为均匀磁场。

在国际单位制中，磁感应强度的单位为 T ，即 Wb/m^2 。

1.1.2 磁通

穿过某一截面 S 的磁感应向量 \mathbf{B} 的通量称为磁通，用 Φ 表示，它定义为

$$\Phi = \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (1-2)$$

即磁感应向量 \mathbf{B} 在某截面 S 上的面积分就是通过该截面的磁通。

均匀磁场中，若截面 S 与磁感应向量 \mathbf{B} 垂直，如图 1-1(a) 所示，则式(1-2)变成

$$\Phi = BS$$

或

$$\mathbf{B} = \frac{\Phi}{S} \quad (1-3)$$

由式(1-3)可知，磁感应强度的大小等于与磁场方向垂直的单位面积上的磁通，所以磁感应强度又称磁通密度。

如果截面 S 与磁感应向量 \mathbf{B} 不垂直，它的法线与 \mathbf{B} 的方向之间夹角为 α ，如图 1-1(b) 所示，则

$$\Phi = BS \cos \alpha \quad (1-4)$$

在国际单位中, Φ 的单位为 Wb。

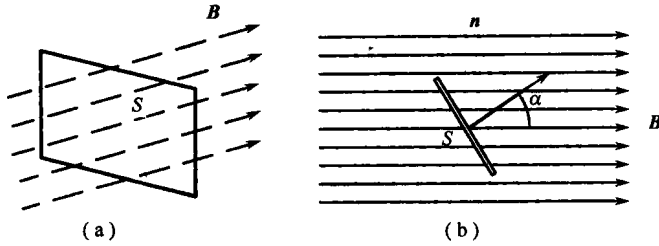


图 1-1 均匀磁场中通过某截面的磁通示意图

(a) 截面 S 与磁感应向量 B 垂直; (b) 截面 S 与磁感应向量 B 不垂直。

1.1.3 磁场强度与磁导率

在磁场计算中, 还引入了一个物理量——磁场强度(H), 它也是一个向量。它与磁感应强度 B 满足如下的关系式, 即

$$B = \mu H \quad (1-5)$$

式中: μ 是磁场中导磁物质的磁导率, 它是表征物质导磁能力的物理量。

真空磁导率为 μ_0 , $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

导磁物质的磁导率 $\mu \gg \mu_0$ 。

某物质的磁导率 μ 与真空磁导率 μ_0 的比值, 称为该物质的相对磁导率 μ_r , 即

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

国际单位制中, μ 的单位为 H/m, H 的单位为 A/m。

1.2 铁磁物质的磁性能

物质按其磁导率的大小可分为磁性材料和非磁性材料两大类。磁性材料即铁磁材料, 它们具有高导磁性能, 可以强烈被磁化。而非磁性材料, 基本上不具有磁化特性, 它们的磁导率 $\mu \approx \mu_0$, 相对磁导率 $\mu_r \approx 1$ 。

由于铁磁材料具有高导磁性能, 工程上往往利用它来使磁通尽量地约束在有限范围内, 提高电磁设备的效率, 所以变压器和电机的铁芯常用导磁率较高的铁磁材料制成。下面对常用铁磁材料及其特性作简要说明。

1.2.1 铁磁材料的高导磁性

铁磁材料具有很高的导磁性, 主要因为它们具有被强烈磁化的特性。铁磁材料之所以被强烈磁化是由于在它的内部存在着许多很小的被称为磁畴的天然磁化区。磁畴相当于小的磁铁。在没有外磁场作用下, 各个小磁畴排列混乱, 磁效应相互抵消, 对外不显磁性, 如图 1-2(a) 所示。在外磁场作用下, 磁畴就顺着外磁场的方向转向, 开始显示出磁性来。当外磁场逐渐增强时, 磁畴就逐渐转到与外磁场相同的方向, 产生一个与外磁场同方向的

磁化磁场,如图 1-2(b) 所示。磁化磁场与外加磁场相互叠加,使合成磁场大大加强。这就是铁磁材料具有很强的导磁性及磁导率 μ 值很高的原因。 μ 值很高是铁磁材料的最主要特性之一。

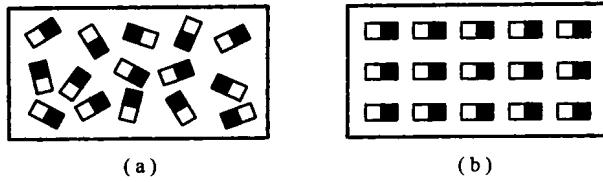


图 1-2 铁磁物质的磁化示意图

(a) 无外磁场作用下的铁磁物质; (b) 外磁场作用下的铁磁物质。

非铁磁材料由于其内部不存在磁畴结构,因此在外磁场的的作用下基本上不会发生磁化,其导磁能力很低。非铁磁材料的磁导率接近于真空的磁导率。

电机中常用的铁磁材料的磁导率 $\mu = (2000 \sim 6000)\mu_0$ 。

1.2.2 铁磁材料的磁饱和性

铁磁材料在外磁场的的作用下,产生的磁化磁场不会随着外磁场的增加而无限地增加,当外磁场增加到一定值时,磁化磁场的磁感应强度几乎不增加,达到饱和值。这就是铁磁材料的磁饱和性。磁饱和性也是铁磁材料的重要特性之一。

下面利用铁磁材料的磁化曲线,简称 $B-H$ 曲线,来简单介绍一下铁磁材料的磁化过程和磁饱和性产生的原因。

利用实验方法所测绘出的铁磁材料的 $B-H$ 曲线(也称起始磁化曲线)如图 1-3 所示。

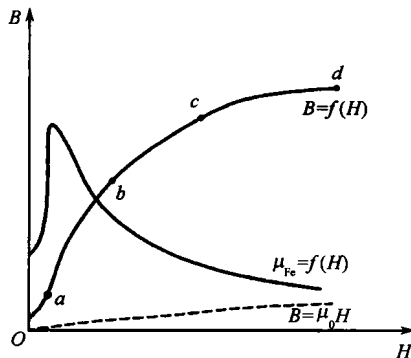


图 1-3 铁磁材料的起始磁化曲线

从这条曲线可以看出,当外磁场由零逐渐增加时,磁感应强度 B 随磁场强度 H 增加较慢,如图 1-3 中的 Oa 段。

随着外磁场的增强,铁磁材料内部大量磁畴开始转向,趋向于外磁场的方向,此时磁感应强度 B 值随磁场强度 H 值的增加而迅速增加,如图 1-3 中的 ab 段。

当外磁场继续增强,即 H 值增大到一定程度后,由于大部分磁畴已趋向外磁场方向,可转向的磁畴越来越少, B 值增长得越来越缓慢,这时,铁磁材料磁化所产生的磁化磁场不会随着外磁场增强而无限地增强,当外磁场 H 增强到一定数值时,铁磁材料内部的磁