



高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材



电机与拖动基础

主编 杨文焕
主审 刘喜梅



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

TM3/104

2008

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

电机与拖动基础

主编 杨文焕

参编 李 正 狄天锡 郝润科

主审 刘喜梅

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书的主要内容包括电机中的电磁学、电力拖动系统动力学、变压器、直流电机原理及电力拖动、交流绕组的电动势和磁动势、三相异步电机的原理及各种运行方式、交流电机拖动系统的速度调节、同步电机的运行原理、电力拖动系统电机的选择、控制电机、特种电机等。

本书可作为自动化、电气工程及其自动化等本科专业的基础课教材,也可作为运动控制领域的基础教材,同时对电力拖动系统领域的工程技术人员也具有重要的参考价值。

★ 本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

图书在版编目(CIP)数据

电机与拖动基础/杨文焕主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.7

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2028 - 2

I. 电… II. 杨… III. ① 电机—高等学校—教材 ② 电力传动—高等学校—教材
IV. TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 052612 号

策 划 毛红兵

责任编辑 邵汉平 毛红兵

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 26.625

字 数 625千字

印 数 1~4000册

定 价 38.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2028 - 2/TM · 0047

XDUP 2320001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

高等学校

自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及其自动化专业

“十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

韦 力 王建中 巨永锋 孙 强 陈在平 李正明

吴 斌 杨马英 张九根 周玉国 党宏社 高 嵩

秦付军 席爱民 穆向阳

电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

闫苏莉 李荣正 余健明

段晨东 郝润科 谭博学

机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

刘战锋 刘晓婷 朱建公 朱若燕 何法江 李鹏飞

麦云飞 汪传生 张功学 张永康 胡小平 赵玉刚

柴国钟 原思聪 黄惟公 赫东锋 谭继文

项目策划：马乐惠

策 划：毛红兵 马武装 马晓娟

前 言

进入 21 世纪以来,电机理论和技术与电力电子技术、微电子技术及控制理论等学科不断地相互渗透,许多新技术、新方法的出现使得传统电机理论重新焕发了青春,大量节能高效、便于调速控制的新型电机不断涌现,从而使传统电机学与电力拖动领域发生了革命性的变革。

编者根据我国高等教育迅猛发展的现状,结合几十年本科教学的经验和体会,在力求保留电机原理传统知识精华的基础上,为反映电机学与电力拖动领域的最新发展状况、满足工程实际的要求而编写了本书。

本书共 14 章。第 1 章复习了电机学中常用的电磁量和电磁定律;第 2 章分析了电力拖动系统的运动方程,常见负载特性及拖动系统的稳定运行条件;第 3 章阐述了直流电机的磁路和绕组结构,电枢电势和电磁转矩的产生和计算;第 4 章介绍了直流电机的运行原理及其特性,直流拖动系统的调速与控制问题;第 5 章阐述了变压器的原理、电压方程和磁势方程、等效电路、矢量图及运行问题;第 6 章阐述了交流绕组的磁动势和电动势的产生与计算;第 7 章阐述了三相异步电机的运行原理、电磁关系、电压方程、等效电路、功率转矩及特性;第 8 章阐述了三相异步电机的机械特性和运行状态;第 9 章介绍了三相异步电机的各种启动方法及其启动设备的计算;第 10 章阐述了异步电机的各种调速方法和控制系统;第 11 章阐述了同步电机的原理,分析了同步电机电枢反应,建立了矢量图,导出了各种特性,介绍了晶闸管无换向器电动机;第 12 章阐述了电力拖动系统中电机的选择及计算问题;第 13 章阐述了常用的几种控制电机的基本原理和应用;第 14 章阐述了几种常用的特种电机的基本原理、结构特点和应用问题。在附录中,介绍了电力拖动系统的 MATLAB 仿真基础。

本书的主要特点是:

- (1) 在内容选取上,既考虑传统电机的电力拖动,又介绍了新型电机的相关内容。
- (2) 在内容编排上,从易到难,循序渐进,并将电机原理和电力拖动有机结合。
- (3) 在文字叙述上,简明扼要,重点突出,层次清楚,深入浅出,通俗易懂,便于自学。
- (4) 每章末尾都对本章的重点和难点内容进行了总结,并精心编写了难度适中、针对性强的思考题和习题,便于读者巩固本章所学内容。
- (5) 内容丰富,适用面宽,教师可根据本校的培养要求选择授课内容。

另外,各章节加“*”号的内容为可选内容,为教师在不同培养计划下选择教学内容提供了方便。

本书由上海理工大学杨文焕任主编,并编写第 5、6、7、8、9、10、11 章和第 14 章,李正编写第 1、2、3、4 章及第 12 章的 12.3、12.4 节和附录,狄天锡编写第 13 章,郝润科编写第 12 章的 12.1、12.2 节。

本书由青岛科技大学刘喜梅教授主审。刘教授对本书进行了认真审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

本书在立项和出版过程中，自始至终得到了西安电子科技大学出版社毛红兵编辑的支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

本书参考了国内外的大量文献，在此对文献作者表示感谢！

由于作者水平所限，书中难免有不当之处，欢迎广大读者批评指正。

编 者

2007 年 10 月 6 日于上海

目 录

第 1 章 电机中的电磁学基本知识	1
1.1 磁路的基本知识	1
1.1.1 电路与磁路	1
1.1.2 电机电器中的磁路	1
1.1.3 电气设备中磁动势的产生	2
1.2 磁场的基本知识	2
1.2.1 磁感应强度 B	2
1.2.2 磁通 Φ	3
1.2.3 磁场强度 H	3
1.3 电磁学的基本定律	3
1.3.1 安培环路定律——描述电流产生磁场的规律	3
1.3.2 电磁感应定律——描述磁场产生电势的规律	4
1.3.3 毕 - 萨电磁力定律——描述电磁作用产生力的规律	5
1.3.4 磁路欧姆定律	6
1.3.5 磁路基尔霍夫第一定律	6
1.3.6 磁路基尔霍夫第二定律	7
1.4 铁磁材料	7
1.4.1 铁磁材料的磁化	7
1.4.2 起始磁化曲线、磁滞回线、基本磁化曲线	8
1.4.3 软磁材料和硬磁材料	9
1.4.4 磁滞损耗和涡流损耗	9
1.5 简单磁路的计算	10
1.5.1 直流磁路	10
1.5.2 交流磁路	12
1.6 永磁材料的应用与特点	13
小结	14
思考题	14
习题	15
第 2 章 电力拖动系统动力学	17
2.1 电力拖动系统运动方程及转矩符号分析	17
2.1.1 电力拖动系统运动方程	17
2.1.2 运动方程式中转矩的符号分析	18
2.2 复杂电力拖动系统的简化	18
2.2.1 工作机构为旋转运动的简化	19
2.2.2 工作机构为直线运动的简化	21
2.3 电力拖动系统的负载特性	22
2.3.1 恒转矩负载特性	23

2.3.2 恒功率负载特性	23
2.3.3 风机、泵类负载的转矩特性	24
* 2.3.4 电力拖动交通车辆的阻力曲线	25
2.4 电力拖动系统稳定运行的条件	26
小结	27
思考题	27
习题	28
第3章 直流电机	31
3.1 直流电机的工作原理及结构	31
3.1.1 直流电机的工作原理及电路符号	31
3.1.2 直流电机的主要结构部件	33
3.1.3 直流电机的铭牌数据	37
3.2 直流电机的电枢绕组	38
3.2.1 电枢绕组的特点	38
3.2.2 单叠绕组	39
* 3.2.3 单波绕组	42
3.3 直流电机电枢磁动势对电机运行的影响	44
3.3.1 直流电机的磁路、磁密与磁通	45
3.3.2 直流电机的空载磁场及磁化曲线	45
3.3.3 直流电机的励磁方式	47
3.3.4 直流电机负载时电枢磁动势对电机运行的影响	47
3.4 直流电机的电枢电动势与电磁转矩	50
3.4.1 电枢电动势	50
3.4.2 电磁转矩	51
3.5 直流电机的运行原理	52
3.5.1 直流电机的可逆原理	52
3.5.2 直流电机的基本方程	53
3.5.3 直流电机的工作特性	56
3.5.4 直流发电机的工作特性	59
* 3.6 直流电机换向	61
小结	64
思考题	64
习题	66
第4章 直流电机的电力拖动	69
4.1 他励直流电机的机械特性	69
4.1.1 机械特性的一般表达式	69
4.1.2 固有机械特性	71
4.1.3 人为机械特性	71
4.2 他励直流电机拖动时的运行状态	75
4.2.1 他励直流电机的启动和反转	75
4.2.2 他励直流电机的调速	78
4.2.3 他励直流电机的制动	80
* 4.2.4 电力拖动系统的过渡过程	89

4.3 其他直流电机的运行机械特性	91
4.3.1 串励直流电机的机械特性	91
4.3.2 复励直流电机的机械特性	92
4.4 直流电机拖动系统的控制方法	93
4.4.1 电力拖动调速系统的性能指标	93
* 4.4.2 调速控制	95
* 4.4.3 转矩控制	97
小结	97
思考题	98
习题	99
第5章 变压器	103
5.1 变压器概述	103
5.1.1 变压器的工作原理	103
5.1.2 变压器的基本结构	104
5.1.3 变压器的型号与额定参数	107
5.1.4 变压器的分类	108
5.2 变压器的空载运行	109
5.2.1 变压器空载运行原理	109
5.2.2 变压器空载运行时的电势、电流及漏电抗	110
5.2.3 变压器空载运行时的电压方程、相量图和等效电路	114
5.3 变压器的负载运行	116
5.3.1 负载时的磁动势平衡方程及一、二次侧电流关系	116
5.3.2 负载时变压器的电压方程	117
5.4 变压器的等效电路和相量图	118
5.4.1 绕组折算	118
5.4.2 变压器负载时的等效电路	120
5.4.3 变压器负载时的相量图	122
5.4.4 理想变压器	124
5.5 变压器的参数测定与应用	125
5.5.1 变比 K 、铁耗 p_{Fe} 、励磁阻抗 Z_m 的测定——空载试验	125
5.5.2 铜耗和短路参数的测定——短路试验	126
5.5.3 阻抗电压	127
5.5.4 变压器的工程应用	128
5.6 三相变压器	129
5.6.1 三相变压器的磁路系统	130
5.6.2 三相变压器的电路系统	131
5.6.3 连接组和磁路结构对电压波形的影响	134
5.7 变压器的稳态运行	136
5.7.1 变压器的运行特性	136
5.7.2 变压器的效率	138
* 5.8 变压器参数的标幺值与变压器的并联运行	142
5.8.1 标幺值	142
5.8.2 变压器的并联运行	143

5.9 自耦变压器与互感器	146
5.9.1 自耦变压器	146
5.9.2 多绕组变压器	149
5.9.3 电压互感器和电流互感器	149
小结	151
思考题	152
习题	153
第6章 交流绕组的电动势及磁动势	157
6.1 交流绕组的基本概念	157
6.1.1 交流绕组的基本知识和基本量	157
6.1.2 交流绕组的排列和连接——单层绕组	159
6.1.3 三相双层叠绕组	162
6.2 单相交流绕组产生的磁动势	163
6.2.1 整距线圈的磁动势	164
6.2.2 线圈组的磁动势	166
6.2.3 短距线圈组的磁动势	168
6.2.4 相绕组的磁动势及其性质	169
6.3 三相交流绕组的合成磁动势	170
6.3.1 三相绕组的基波合成磁动势	171
6.3.2 三相绕组的谐波磁动势	175
6.4 三相交流绕组的电动势	176
6.4.1 线圈的感应电动势	176
6.4.2 线圈组的感应电动势	179
6.4.3 相绕组的感应电动势	180
* 6.4.4 绕组的谐波电动势	181
小结	183
思考题	184
习题	184
第7章 三相异步电机的运行原理	186
7.1 三相异步电机的基本原理及结构	186
7.1.1 三相异步电机的结构	186
7.1.2 三相异步电机的铭牌数据	189
7.1.3 三相异步电机的工作原理	191
7.2 三相异步电机空载时的电磁关系	192
7.2.1 异步电机空载时的电磁关系	192
7.2.2 异步电机空载时的电路参数与等效电路	195
7.3 三相异步电机负载时的电磁关系	196
7.3.1 负载时的转子磁动势	196
7.3.2 转子磁动势对电机磁场的影响——磁势方程	198
7.3.3 负载时的转子电势方程和等效电路	199
7.4 三相异步电机负载时的电压方程、等效电路与相量图	200
7.4.1 异步电机负载时的电磁关系	200
7.4.2 异步电机的转子绕组归算	201

7.4.3 等效电路、电压方程和相矢图	204
7.4.4 简化的T型等效电路	206
7.5 三相异步电机的功率和转矩	208
7.5.1 损耗与功率方程	209
7.5.2 转矩方程	211
7.5.3 电磁转矩的物理表达式	212
7.6 三相异步电机的工作特性及其求取	213
7.6.1 工作特性分析	213
7.6.2 工作特性求取	215
7.7 三相异步电机参数的测定	215
7.7.1 空载试验与励磁参数的测定	216
7.7.2 堵转试验与相关参数的测定	217
7.8 单相异步电机	218
7.8.1 单相异步电机的工作原理——双旋转磁场理论	218
7.8.2 单相异步电机的主要类型	221
小结	223
思考题	225
习题	226
第8章 交流电机电力拖动的运行状态	228
8.1 三相异步电机的机械特性	228
8.1.1 机械特性的表达式	228
8.1.2 机械特性的实用表达式	231
8.2 固有机械特性和人为机械特性	234
8.2.1 固有机械特性	234
8.2.2 人为机械特性	234
8.3 电力拖动中异步电机的运行状态	237
8.3.1 电动运行	237
8.3.2 能耗制动运行	238
8.3.3 反接制动	243
8.3.4 倒拉反转运行	246
8.3.5 回馈制动	247
* 8.4 异步电机的参数计算	252
小结	254
思考题	255
习题	256
第9章 三相异步电机的启动	258
9.1 三相异步电机的启动	258
9.1.1 笼型异步电机的启动方法	258
9.1.2 绕线式异步电机的启动方法	263
9.2 启动设备的选择与计算	265
9.2.1 定子对称启动电抗的计算	266
9.2.2 启动设备的选择与计算	267
9.2.3 绕线式异步电机转子串电阻分级启动的计算	269

* 9.3 改善启动性能的三相异步电机	272
9.3.1 深槽式异步电机	272
9.3.2 双笼型异步电机	273
小结	274
思考题	275
习题	275
第 10 章 三相异步电机电力拖动的调速	277
10.1 能耗转差调速	277
10.1.1 降压调速	278
10.1.2 绕线式异步电机转子回路串电阻调速	279
10.2 变频调速	282
10.2.1 从基频向下调速	282
10.2.2 从基频向上调速	284
10.2.3 恒功率运行	286
10.3 变极调速	288
10.3.1 变极调速的基本原理	288
10.3.2 Y-YY 变极调速	289
10.3.3 Δ -YY 变极调速	291
10.4 绕线式转子异步电机的双馈调速及串级调速	293
10.4.1 双馈调速的基本原理	293
10.4.2 串级调速的基本原理	299
10.5 电磁转差离合器调速	301
10.5.1 电磁转差离合器的结构与工作原理	301
10.5.2 电磁转差离合器调速特性	302
小结	303
思考题	304
习题	304
第 11 章 同步电机	306
11.1 同步电机的基本工作原理	306
11.1.1 同步发电机的工作原理	306
11.1.2 同步电机的工作原理	307
11.1.3 同步电机的结构	308
11.2 同步电机的电磁关系	309
11.2.1 同步电机的磁动势及磁通	309
11.2.2 同步电机的双反应原理	311
11.2.3 同步电机的电压平衡方程及相量图	312
11.3 同步电机的功率关系与矩角特性	315
11.3.1 同步电机的功率方程及转矩方程	315
11.3.2 同步电机的功角特性	317
11.3.3 同步电机的矩角特性	318
11.3.4 同步电机的运行	318
11.4 同步电机的功率因数调节和 V 形曲线	320
11.4.1 同步电机的功率因数调节	320

11.4.2 同步电机的 V 形曲线	322
11.5 同步电机的启动	323
11.6 无换向器电机	324
11.6.1 无换向器电机的分类	325
11.6.2 无换向器电机的工作原理	326
11.6.3 无换向器同步电机的特性	328
小结	332
思考题	333
习题	333
第 12 章 电力拖动系统电机的选择	335
12.1 电力拖动系统电机选择的一般问题	335
12.1.1 电机种类的选择	335
12.1.2 电机额定电压与额定转速的选择	336
12.2 电机的发热与冷却	337
12.2.1 电机的发热与温升	337
12.2.2 电机的冷却与散热	338
12.2.3 电机的允许温升与绝缘材料	339
12.3 电机额定功率的选择	339
12.3.1 电机的工作方式	339
12.3.2 连续工作制电机的选择	340
12.3.3 短时工作制电机的选择	345
12.3.4 断续周期工作制电机的选择	346
12.3.5 电力拖动调速电机的选择	346
* 12.4 电机额定功率选择的其它问题	347
12.4.1 统计法	347
12.4.2 带冲击负载对电机额定功率选择的影响	347
12.4.3 笼型异步电机小时合闸次数的确定	349
小结	350
思考题	350
习题	351
第 13 章 控制电机	352
13.1 伺服电动机	352
13.1.1 直流伺服电动机	352
13.1.2 交流伺服电动机	353
13.2 力矩电机	358
13.3 测速发电机	359
13.3.1 直流测速发电机	359
13.3.2 交流测速发电机	360
13.4 自整角机	362
13.4.1 自整角机的基本结构	362
13.4.2 自整角机的工作原理	363
13.5 旋转变压器	368
13.5.1 正弦、余弦旋转变压器的空载原理	369

13.5.2 正弦、余弦旋转变压器的负载原理	370
13.5.3 原边补偿的正弦、余弦旋转变压器	371
小结	371
思考题	372
第 14 章 特种电机	373
14.1 永磁电机	373
14.1.1 永磁同步电机	373
14.1.2 永磁无刷直流电动机	375
14.2 开关磁阻电机	380
14.2.1 SRM 电机的结构和基本原理	380
14.2.2 SRM 电机的相电流	384
14.2.3 SRM 电机的功率变换器主电路	386
14.2.4 SRM 电机的控制方式	387
14.3 步进电机	389
14.3.1 步进电机的原理	389
14.3.2 步进电机的结构	390
14.3.3 步进电机的控制方式	391
14.3.4 步进电机的运行特性	393
14.3.5 步进电机的驱动电路	396
14.4 直线感应电机	397
14.4.1 直线感应电机的工作原理	397
14.4.2 直线感应电机的基本结构与运行原理	399
小结	401
习题	402
附录 直流电机运行的 MATLAB 分析	404
参考文献	411

第1章 电机中的电磁学基本知识

1.1 磁路的基本知识

1.1.1 电路与磁路

对于电路系统来说,在电动势 E 的作用下,电流 I 从 E 的正极通过导体流向负极。可见,构成一个完整的电路系统需要电动势、电导体,并应可以形成电流。

在磁路系统中,也有一个磁动势 F (类似于电路中的电动势),在 F 的作用下产生一个磁通 Φ (类似于电路中的电流), Φ 从磁动势的 N 极(北极)通过一个通路(类似于电路中的导体)到 S 极(南极),这个通路就是磁路。由于铁磁材料的磁导率比空气的磁导率大几千倍,即空气磁阻比铁磁材料磁阻大几千倍,因此构成磁路的材料均使用导磁率高的铁磁材料。由于非铁磁物质(如空气)也能通过磁通,这就造成铁磁材料构成的磁路周围空气中也必然会有磁通 Φ_0 ,而空气磁阻比铁磁材料磁阻大几千倍,因此 Φ_0 比 Φ 小得多, Φ_0 常被称为漏磁通, Φ 称为主磁通。可见,磁路问题要比电路问题复杂得多。

1.1.2 电机电器中的磁路

磁路系统广泛应用在电器设备之中,如变压器、电机、继电器等。另外,在电机和某些电器的磁路中,一般还需要一段空气隙,或者说空气隙也是磁路的组成部分。

图 1-1 是电机电器的几种常用磁路结构。图(a)是普通变压器的磁路,它全部由铁磁材料组成;图(b)是电磁继电器的磁路,它除了铁磁材料外,还有一段空气隙;图(c)表示电机磁路,也是由铁磁材料和空气隙组成的。另外,图(a)是有分支的并联磁路,图(b)是无分支的串联磁路,由空气隙段和铁磁材料串联组成。图中,实(或虚)线表示磁通的路径。

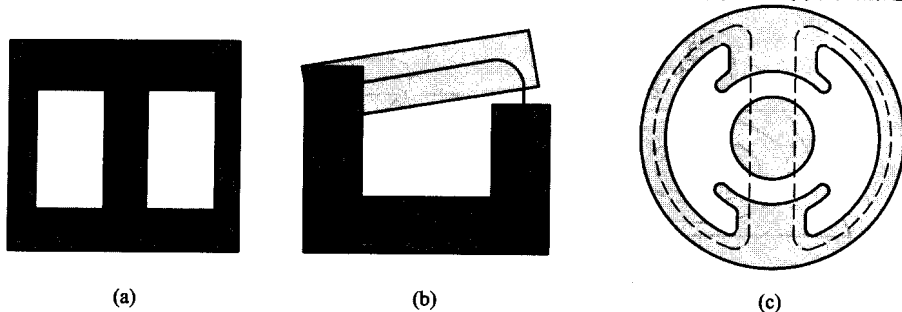


图 1-1 几种常用电机电器的典型磁路

(a) 普通变压器磁路; (b) 电磁继电器常用磁路; (c) 电机磁路

1.1.3 电气设备中磁动势的产生

为了产生较强的磁场,在一般电气设备中都使用电流来产生磁场。电流产生磁场的方法是:把绕制好的 N 匝线圈套装在铁芯上,并在线圈内通入电流 i ,这样在铁芯和线圈周围的空间中就会形成磁场。其中,大多数磁通通过铁芯,称为主磁通 Φ ;小部分磁通围绕线圈,称为漏磁通 Φ_0 ,如图 1-2 所示。套装在铁芯上用于产生磁通的 N 匝线圈称为励磁线圈,励磁线圈中的电流 i 称为励磁电流。若励磁电流为直流,则磁路中的磁通是恒定的,不随时间变化,这种磁路称为直流磁路,如直流电机的励磁磁路;若励磁电流为交流,则磁路中的磁通是交变的,随时间而变化,这种磁路称为交流磁路,如交流电机、变压器的磁路。

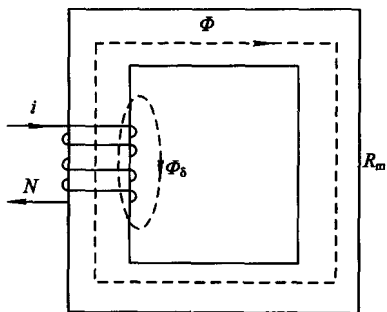


图 1-2 磁动势的产生和磁路欧姆定律

值得注意的是,除了电流产生磁场外,电机电器中还使用了大量的永久磁铁;而且,随着科学技术的发展,永久磁铁的磁性将越来越强。可以预见,永久磁铁将在电机电器中得到广泛的应用。

1.2 磁场的基本知识

为了准确描述磁场的大小、方向及性质,以便于分析、计算和设计磁路,常用如下物理量描述磁场。

1.2.1 磁感应强度 B

描述磁场强弱及方向的物理量称为磁感应强度(磁通密度) B 。为了形象地描绘磁场,往往采用磁感应线,通常称为磁力线,它是无头无尾的闭合曲线。图 1-3 中画出了直线电流及螺线管电流产生的磁力线。

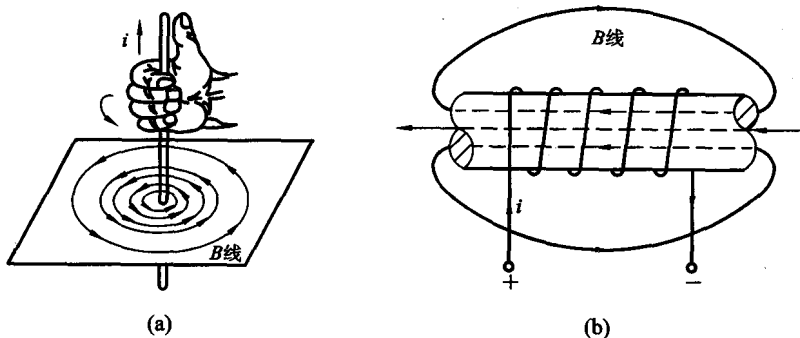


图 1-3 电流磁场中的磁力线

(a) 直线电流; (b) 螺线管电流

磁力线的方向与产生它的电流方向满足右手螺旋关系,如图1-3(a)所示。

在国际单位制中,磁感应强度 B 的单位为特(特斯拉),单位符号为 T, $1\text{ T}=1\text{ Wb/m}^2$ (韦伯/米²)。

1.2.2 磁通 Φ

穿过某一截面 S 的磁感应强度 B 的通量,即穿过截面 S 的磁力线根数称为磁感应通量,简称磁通,用 Φ 表示,即

$$\Phi = \int_S B \cdot dS \quad (1-1)$$

在均匀磁场中,如果截面 S 与 B 垂直,如图1-4所示,则式(1-1)变为

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

式中: B 为磁通密度,简称磁密; S 为面积。

在国际单位制中, Φ 的单位名称为韦(韦伯),单位符号为 Wb。

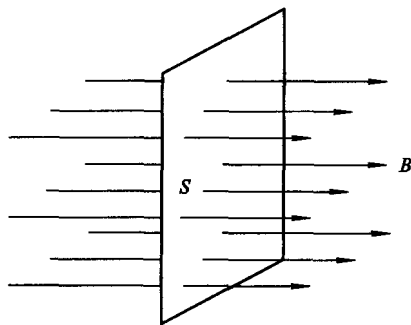


图1-4 均匀磁场中的磁通

1.2.3 磁场强度 H

计算导磁物质中的磁场时,引入辅助物理量磁场强度 H ,它与磁密 B 的关系为

$$B = \mu H \quad (1-3)$$

式中, μ 为导磁物质的磁导率。真空的磁导率为 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。铁磁材料的磁导率远大于真空的磁导率($\mu \gg \mu_0$),例如,铸钢的 μ 约为 μ_0 的1000倍,各种硅钢片的 μ 约为 μ_0 的6000~7000倍。

在国际单位制中,磁场强度 H 的单位名称为安(安培)/米,单位符号为 A/m。

1.3 电磁学的基本定律

1.3.1 安培环路定律——描述电流产生磁场的规律

导体中有电流流过时,就会产生与该载流导体相交链的磁通。安培环路定律的定义:在磁场中,沿任意一个闭合磁回路的磁场强度线积分等于该回路所交链的所有电流的代数和,即

$$\oint_l H \, dl = \sum i \quad (1-4)$$

式中, $\sum i$ 就是该磁路所包围的全电流。因此,式(1-4)也称为全电流定律。

如图1-5所示,电流 i_1 、 i_2 、 i_3 产生的磁场,沿封闭曲线磁场强度满足 $\oint_l H \, dl = i_1 + i_2 - i_3$ 。在图中,与磁力线(闭合回线)符合右手螺旋关系的电流取正号,反之取负号。