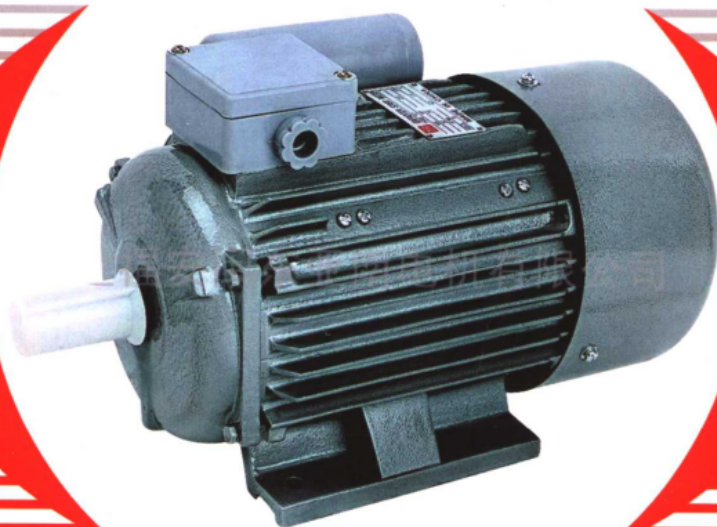


职业技术学校应用型人才培养教材

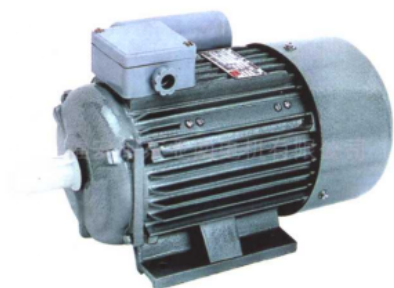
电动机基础与技能 实训教程

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著



职业技术学校应用型人才培养教材

电动机基础与技能 实训教程



依据《高等职业教育电子信息类专业“双证课程”培养方案》的内容编写，是电子技术职业能力培养的系列教程。

以就业为导向，内容贴近国家职业资格认证标准，强化专业实践能力训练，以培养技能型人才为目标。



天启星

<http://www.tqxbook.com>

责任编辑：谭佩香

责任美编：刘晓磊

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。



ISBN 978-7-121-04465-6



9 787121 044656 >

定价：28.00元

电动机基础与技能 实训教程

孙余凯 吴鸣山 项绮明 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要讲述电动机的类型、结构、原理与维修,从电动机的基本知识讲起,介绍电磁基本知识、电动机基本结构与性能、常用计算公式。在此基础上,介绍三相异步电动机,单相异步电动机,直流电动机,微电机与专用电动机的类型、结构、原理。对各种电动机的选择与使用,故障检修方法作了重点介绍,并单列一章重点对电动机的控制电路的组成及工作原理做了详细的分析。学习这些典型控制电路,可以开拓读者的设计思路,从中得到启发,并可作为实际应用时的参考。

每章均有综合技能实训,对读者动手应用与维修、设计电动机及其控制电路的技能进行实训指导。每章后附有习题,书后有习题答案。

本书参照《高等职业教育电子信息类专业“双证课程”培养方案》大纲内容编写而成。可作为高等、中等职业学校电机及相关专业的教材,也可作为电动机技术岗位从业人员的技能培训教材,同时可供电机企业的生产技术人员及广大电子爱好者、电机维修人员学习参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电动机基础与技能实训教程 / 孙余凯等编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.6
ISBN 978-7-121-04465-6

I. 电… II. 孙… III. 电动机—教材 IV. TM32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 071871 号

责任编辑: 谭佩香

印 刷: 河北省邮电印刷厂

装 订: 河北省邮电印刷厂

出版发行: 电子工业出版社出版

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 19 字数: 474 千字

印 次: 2007 年 6 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 28.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

电动机是一种能量转换机器，它能将电能转换为机械能。电动机在科研、生产乃至日用电气等各个领域得到了广泛的应用。

在工农业生产、医疗和家用电器中，电动机的应用场合是相当多的。为了普及电动机知识，满足技术革新和技术改造以及电动机应用与维护、检修人员岗位培训的需要，特编写了《电动机基础技术与技能实训教程》。

本书是参照《高等职业技术教育电子信息类专业“双证课程”培养方案》的大纲提出的指导内容编写而成的。

全书共分为 5 章。第 1 章介绍电动机的基本知识，包含电磁基本知识、电动机的种类和电路图形符号、电动机的基本结构、电动机的基本性能、电动机的常用计算公式等；第 2 章介绍常用各类三相异步电动机；第 3 章介绍常用各类单相异步电动机；第 4 章介绍常用各类直流电动机；第 5 章介绍电动机各种常用控制电路。

本书的最大特点是从基础出发，对电动机的组成和控制电路进行简明的介绍，由此可引导读者由表及里、由浅入深、循序渐进，获得选择、使用、检修电动机及其控制电路的基本知识和技能，逐步学会自己动手解决电动机使用、运行中所碰到的电动机问题。

本书的另一个特点是每章均设有综合实训内容，对读者应用与维护、检修电动机以及控制电路的设计进行实训指导，其目的是为了培养既有学历又有专业技能的复合型人才，对提高读者岗位技能及就业竞争力都有重要的意义。

本书由孙余凯、吴鸣山、项绮明等编著。参加本书编写工作的人员还有项宏宇、王华君、吕颖生、王五春、项天任、吴永平、薛广英、孙余平、周志平、许风生、徐绍贤等。

本书在编写过程中，参考了一些书刊杂志和有关资料，并引用其中的一些资料，在此一并向有关书刊和资料的作者表示衷心感谢！

电动机及其控制技术发展十分迅速，应用相当广泛，本书作为一本基础性教材，不可能包括电动机技术的各个方面。书中的不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编辑联系方式: tan_peixiang@phei.com.cn

编著者

2006年5月

目 录

第 1 章 电动机的基本知识.....	1
1.1 电磁基本知识	1
1.1.1 电流和磁场	1
1.1.2 电磁感应	5
1.2 电动机的种类和电路图形符号	6
1.2.1 电动机的种类	6
1.2.2 电动机电路图形符号	7
1.3 电动机的基本结构	10
1.3.1 定子	10
1.3.2 转子	11
1.3.3 线圈绕组	12
1.3.4 轴承和端盖	14
1.3.5 换向装置	15
1.4 电动机的基本性能	15
1.4.1 电动机的型号	15
1.4.2 电动机的额定功率 (P)	17
1.4.3 电动机的额定频率、电压与电流	17
1.4.4 电动机的额定转速与起动转矩、起动电流	18
1.4.5 电动机的额定转矩和最大转矩	19
1.4.6 电动机的堵转电流	19
1.4.7 电动机的效率与功率因数	20
1.4.8 电动机的工作方式和温升	21
1.4.9 电动机定子绕组连接方式和绝缘等级	21
1.4.10 其他方面	22
1.5 电动机常用计算公式	22
1.6 综合技能实训	23
1.6.1 看电动机铭牌实训	24
1.6.2 判断三相异步电动机转速实训	25
1.6.3 三相异步电动机起动电流检测实训	26
本章小结	27

习题 1	28
第 2 章 三相异步电动机	31
2.1 三相异步电动机类型、型号与结构	31
2.1.1 三相异步电动机的类型	31
2.1.2 三相异步电动机的型号、结构特征及用途	31
2.1.3 三相异步电动机的结构	33
2.1.4 异步电动机外壳防护形式	36
2.2 三相异步电动机工作原理	38
2.2.1 三相异步电动机的旋转磁场	38
2.2.2 三相异步电动机的旋转原理	41
2.3 电动机的选择	44
2.3.1 正确选择电动机的基本原则	44
2.3.2 正确选择电动机的种类	44
2.3.3 正确选择电动机转速的方法	45
2.3.4 正确选择电动机容量的方法	45
2.3.5 选择电动机控制电器的方法	46
2.3.6 正确合理地选用电动机控制保护电器及导线的方法	48
2.3.7 三相异步电动机的型号及技术数据及参数	50
2.4 电动机的安装	58
2.4.1 选择安装地点	58
2.4.2 安装电动机机座	59
2.4.3 电动机的校正	60
2.5 电动机的正确使用与维护方法	61
2.5.1 电动机正常运行的条件	61
2.5.2 电动机启动前应做的工作	62
2.5.3 运行中电动机维护时应注意的问题	63
2.5.4 运行中电动机温升过高的原因及处理方法	64
2.5.5 三相电动机两相运行的原因及处理方法	66
2.5.6 三相异步电动机的定期维护	68
2.5.7 三相异步电动机快速运行中常见故障及处理方法	69
2.6 三相异步电动机的修理	70
2.6.1 修理电动机前的故障询问、了解	70
2.6.2 电动机的拆卸和装配	71
2.6.3 电动机轴承的检修	78
2.6.4 定子绕组的检修	79
2.6.5 笼型转子绕组的检修	90
2.6.6 绕线型转子绕组的检修	92

2.7	三相异步电动机常见故障和处理方法	93
2.7.1	三相异步电动机常见故障速查表	93
2.7.2	可控硅控制型电动机常见故障原因及速修方法	95
2.7.3	研磨和更换电动机电刷的方法	96
2.8	三相异步电动机定子绕组的重绕	97
2.8.1	三相异步电动机绕组参数及术语	97
2.8.2	三相异步电动机定子绕组的形式	101
2.8.3	三相异步电动机绕组的拆除	105
2.8.4	三相异步电动机定子线圈绕线模的制作	107
2.8.5	三相异步电动机定子线圈的绕制	125
2.8.6	放置槽内绝缘	132
2.8.7	定子绕组嵌线前的准备	135
2.8.8	定子绕组嵌放线圈(下线)	136
2.8.9	绕组的连接	140
2.8.10	绕组质量的检查	143
2.8.11	正确对线圈绕组浸漆和烘干	143
2.9	电动机修理后的试验	144
2.9.1	试验前的检查	145
2.9.2	绕组电阻的检查	145
2.9.3	耐压检查	145
2.9.4	空载试验	146
2.10	综合技能实训	147
2.10.1	综合技能实训指导	147
2.10.2	三相异步电动机接线盒内六根引出线头尾判断实训	148
2.10.3	三相异步电动机引出线连接是否正确判断实训	152
2.10.4	三相电动机改单相使用时接线实训	154
	本章小结	155
	习题 2	155
第 3 章	单相异步电动机	159
3.1	单相异步电动机的类型与结构	159
3.1.1	单相异步电动机的类型	159
3.1.2	单相异步电动机的基本结构	159
3.2	单相异步电动机工作原理	161
3.2.1	交流电动机基本原理	161
3.2.2	单相异步电动机的起动原理	162
3.2.3	单相异步电动机的类型	164
3.2.4	罩极式电动机	164

3.2.5	分相式电动机	168
3.2.6	电容式电动机	174
3.3	单相串励电动机	178
3.3.1	单相串励电动机工作原理	178
3.3.2	单相串励电动机的主要特性	179
3.4	单相异步电动机的绕组	181
3.4.1	单层链式绕组	181
3.4.2	单层同心式绕组	182
3.4.3	单、双混合层(大圈单层、小圈双层)绕组	182
3.4.4	单、双混合型(大圈双层、小圈单层)绕组	183
3.4.5	说明的问题	183
3.4.6	正弦绕组	183
3.4.7	罩极式电动机绕组	186
3.5	单相异步电动机的选用、运行与维护	186
3.5.1	单相异步电动机的选择	186
3.5.2	单相异步电动机的使用	191
3.6	单相异步电动机常见故障检修方法	192
3.7	单相异步电动机的修理	193
3.7.1	单相异步电动机的拆装	193
3.7.2	离心开关的检修	193
3.7.3	电容器的检修	194
3.7.4	单相电动机绕组匝间短路检修方法	196
3.7.5	串励式电动机产生火花的原因和排除方法	197
3.7.6	分相式电动机定子绕组的重绕	199
3.7.7	单相串励电机定子绕组的重绕	204
3.8	综合技能实训	207
3.8.1	用三相倒顺开关控制单相电动机正反转实训指导	207
3.8.2	用三相倒顺开关控制单相电动机正、反转实训要求	210
	本章小结	210
	习题 3	210
第 4 章	直流电动机	213
4.1	直流电动机的种类与特点	213
4.1.1	电磁式直流电动机	213
4.1.2	永励式直流电动机	215
4.2	直流电动机的工作原理与结构	216
4.2.1	直流电动机的工作原理	216
4.2.2	直流串励式电动机的特性	218

4.2.3 直流电动机的结构	220
4.3 直流电动机的选用、运行与维护	224
4.3.1 直流电动机的选择与使用	224
4.3.2 直流电动机的运行	240
4.3.3 直流电动机的维护	240
4.3.4 直流电动机常见故障及处理方法	241
4.4 综合技能实训	243
4.4.1 使直流并励式电动机或串励式电动机的转速高于额定值实训	243
4.4.2 使直流并励式电动机的转速低于额定值实训	244
本章小结	245
习题 4	245

第 5 章 电动机控制电路249

5.1 单相异步电动机调速控制电路	249
5.1.1 单相异步电动机的调速控制电路类型与特点	249
5.1.2 串联电抗器调速电路	250
5.1.3 自耦变压器调速电路	251
5.1.4 定子绕组抽头调速电路	252
5.1.5 变压器调压式调速电路	255
5.1.6 其他调速电路	256
5.2 三相异步电动机调速控制电路	257
5.2.1 变极调速	257
5.2.2 变频调速	258
5.2.3 滑差调速	260
5.3 单相电动机的反转控制电路	260
5.3.1 罩极式电动机的反转	260
5.3.2 分相式电动机的反转	261
5.3.3 电容运转式电动机的反转	261
5.4 三相电动机常用控制电路	262
5.4.1 全压起动正转控制电路	262
5.4.2 单方向起动、停止电动机控制电路	262
5.4.3 由单刀双掷开关构成的电动机正、反转控制电路	263
5.4.4 具有连锁功能的电动机正、反转控制电路	264
5.4.5 由行程开关构成的电动机正、反转限位控制电路	265
5.4.6 由连锁开关构成的电动机正、反转控制电路	266
5.4.7 电动机全压点动正转控制电路	267
5.4.8 电动机点动、连动正转控制电路	267
5.4.9 电动机正、反向点动控制电路	268

5.4.10	电动机点动、连动正、反转控制电路	269
5.4.11	电动机点动、自动往返控制电路	269
5.4.12	电动机连锁控制电路	271
5.4.13	电动机自动往返控制电路	271
5.4.14	电动机间歇工作控制电路	272
5.4.15	电动机 Y- Δ 起动控制电路	273
5.4.16	电动机自耦变压器减压起动控制电路	275
5.4.17	电动机电阻减压起动控制电路	275
5.4.18	双速电动机 $\Delta \rightarrow Y$ 起动控制电路	276
5.4.19	三速异步电动机起动和自动加速控制电路	277
5.4.20	电动机抱闸式制动控制电路	279
5.4.21	电动机能耗制动控制电路	280
5.4.22	电动机短接制动控制电路	281
5.4.23	电动机反接制动控制电路	282
5.4.24	电动机缺相保护电路	283
5.5	综合技能实训	284
5.5.1	电动机连动、点动电路设计实训	284
5.5.2	皮带运输机连锁控制电路设计实训	285
5.5.3	电动机断相保护电路设计实训	286
本章小结		287
习题 5		287
附录 A 部分习题答案		291
第 1 章	习题答案	291
第 2 章	习题答案	291
第 3 章	习题答案	292
第 4 章	习题答案	293
第 5 章	习题答案	293
参考文献		294

第 1 章 电动机的基本知识

当将电能输入电动机而使其转变为机械能输出时，这种运行状态称为电动状态。电动机是各种生产机械的原动机，工农业生产、交通运输、家用电器等电气设备很多是以电动机为动力来驱动机械运转和工作，从而完成各自的使命。故电动机的性能特性决定了电气设备的优劣。

1.1 电磁基本知识

任何电动机的工作原理都是建立在基本电磁定律基础上的。为了更好地了解电动机的工作原理，有必要简单介绍一下电磁的一些基本知识和定律。

1.1.1 电流和磁场

磁体周围空间存在有磁场，能吸引附近的铁磁物质；而继电器线圈通电流后，能吸引衔铁；起重电磁铁通电流后，能吸引几吨重的钢铁。由此可见，线圈通上电流也会产生磁场。

1. 直导线通电磁场

(1) 磁力线方向

取一根导线，把它穿过一块较大的硬纸板的中心，如图 1-1 所示。在纸板上均匀地撒上铁屑，当导线通以直流电流时，例如电流从导线上端流到下端，用手指轻敲纸板，铁屑就会有规则地以导线为中心，形成许多圆环。再用一个可以自由转动的小磁针放在圆环上，当小磁针静止时，它的指向就停在圆环的切线方向上。这些圆环就是通电导线的磁力线，小磁针 N 极的指向就是磁力线的方向。如果将纸板沿通电导线上下移动，可以看到磁力线的形状和方向均不改变，这说明此导线各截面处的磁场相同。

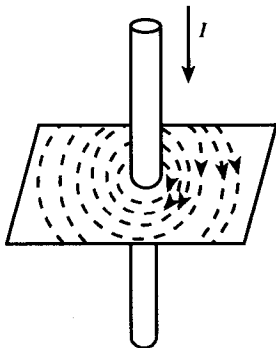


图 1-1 导线通电产生磁场示意图



如果改变电流的方向,从导线的下端流到上端,那么可以看到磁力线形状不变,但小磁针 N 极的指向与前相反,也就是说,磁场方向改变了。这表明磁力线的方向与电流的方向有关。

(2) 右手螺旋定则

由上介绍可见,电和磁之间有着密切的联系,当电流通过导体时,在它的周围就会产生磁场,靠近导体的地方,磁场强度大,远离导体的地方,磁场强度小。可以将磁场假想成由许多磁力线组成的同心圆,电流的方向与磁力线方向之间的关系可以用右手螺旋定则表示。其定义为:

用右手气握住导线,让大拇指的方向与电流方向一致,那么弯曲的四指就是磁力线环绕的方向,如图 1-2 所示。如果用导线的截面积来表示磁场的方向,如图 1-3 (a) 表示电流向着读者而来,用 $\odot$ 表示,图 1-3 (b) 表示电流离读者而去,用 $\otimes$ 表示。

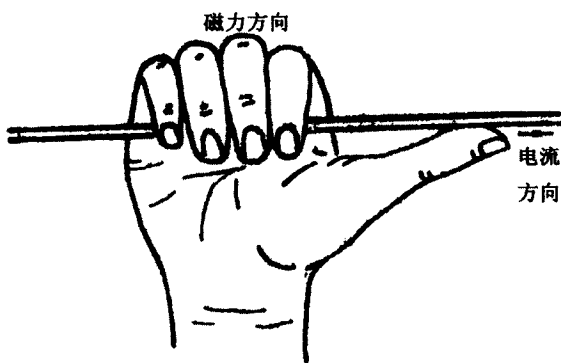


图 1-2 右手螺旋定则判断示意图

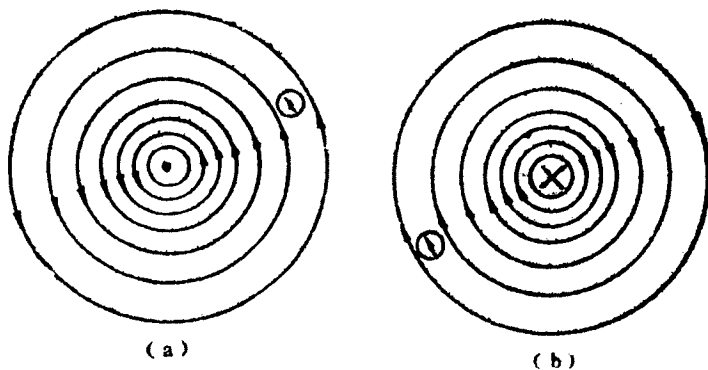


图 1-3 导线电流方向和磁力线方向示意图

2. 螺旋线圈通电磁场

(1) 磁力线方向

在实际应用中,常把导线弯绕成圈数很多的螺旋管线圈,当电流在线圈中流过时,磁

力线分布的情况就和一根条形磁铁很相似，即螺线管的两端也有磁极性质，如图 1-4 所示，磁力线从 N 极一端出发，回到另一端 S 极。

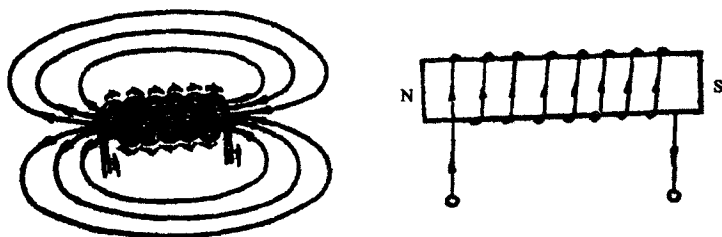


图 1-4 螺线管通电后的磁场方向

(2) 判断方法

为了判断螺旋线管线圈电流与磁场方向间的关系，仍可用右手定则来确定，如图 1-5 所示。具体方法是：

用右手握住螺旋线管线圈，使四指指向电流的方向，那么拇指的方向就是线圈中磁力线的方向。通常将磁力线出来的一端称为 N 极，磁力线进去的一端称为 S 极。所以拇指的一端是 N 极。

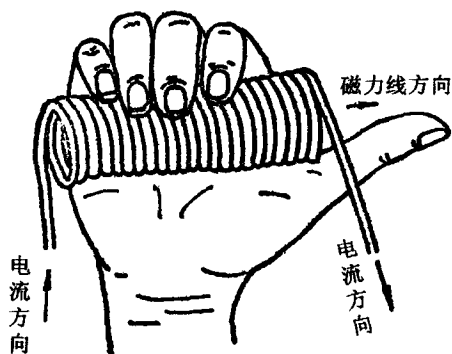


图 1-5 线圈的右手定则判断方法示意图

3. 电磁力

(1) 电磁力的定义

通电导线的周围会产生磁场，那么通有电流的导线也会受到其他磁场的作用而产生运动。把导线放在马蹄形磁铁的磁场里，当导线中通有电流时，导线便会产生运动。如果改变导线电流或者磁场的方向，则导线便会向相反方向运动。这表明通电导体在磁场里（导体与磁场垂直）受到力的作用，这个力就称为电磁力，它是由电流和磁场共同作用而产生的。

磁场中电磁力的大小，决定于磁场的磁通密度、导线中通过的电流和导线在磁场中的有效长度。它们之间的关系为：



$$F=B \cdot L \cdot I$$

式中 F ——载流导体所受的力 (N)。电磁力的方向就是导体运动的方向;

B ——磁通密度 (T);

L ——导线有效长度 (m);

I ——通过导体的电流 (A)。

(2) 左手定则

磁力线方向,电流方向和导体运动方向之间的关系可以用左手定则来判定,具体方法:

伸开左手,使大拇指和其余四指垂直,且与手掌在同一平面内,将手掌伸入磁场中,让磁力线穿过手心,四指指向电流方向,则大拇指所指的方向即为导线运动方向,即导体受力方向,如图 1-6 所示。

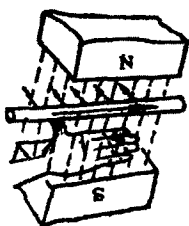


图 1-6 用左手定则确定电磁力的方向示意图

(3) 导线在磁场中的运动原理

导线在磁场中的运动原理可以这样理解:图 1-7 (a) 为两磁极间的原磁场,图 1-7 (b) 为通电导线周围产生的磁场(假定导线中电流穿过纸面向我们而来),图 1-7 (c) 表示在两极间导线的合成磁场。可以把磁力看成是有弹性的弦线,导线与磁力线之间的相对运动,会使磁力线弯曲。在图 1-7 (c) 中,在导线左边,两个磁场的磁力线方向相同,结果磁场密度增加;在导线右边,两个磁场的磁力线方向相反,结果磁通密度减少。磁力线增加的一边,由于磁力线相互排推而发生扭弯,同时又要尽力恢复和缩短自己长度,于是就产生把导线向右推的作用力,使导线在磁场中运动。

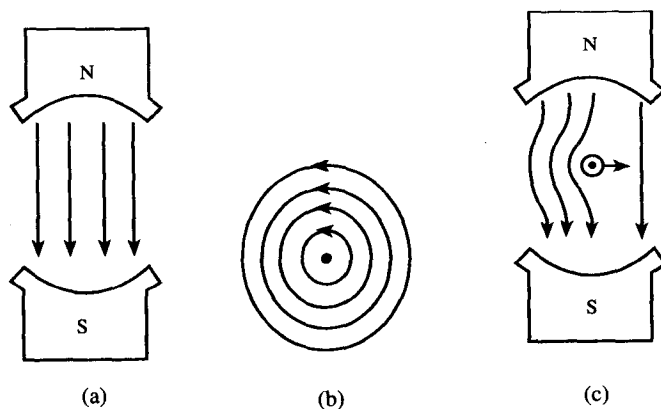


图 1-7 导线在磁场中工作原理示意图

(4) 电动机运转原理

搞清了导线在磁场中的运动原理，就不难理解电动机的运转原理了。

图 1-8 为电动机的运转原理示意图。N、S 表示定子磁极，D 为转子。转子外面放一个线圈，线圈中电流的方向由 a 端进入，由 b 端流出。根据左手定则，在 a 端与 b 端产生一电磁力，形成一对力偶，由于力偶的作用，产生一电磁转矩，驱使转子旋转，这就是电动机运动原理。

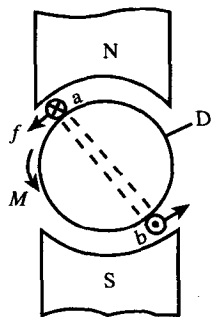


图 1-8 电动机运转原理示意图

1.1.2 电磁感应

通电导体在磁场里会发生运动，反过来如果将导体放在磁场里运动，由此就会产生电流或电动势。

1. 电磁感应的定义

如果导体是闭合回路，在磁场中作切割磁力线的运动，则导体内会产生电流；若导线不是闭合回路，则导体内只产生感应电动势。这种现象就称为电磁感应。感应电动势的大小可由以下公式计算：

$$E = \beta \cdot L \cdot v \cdot \sin \alpha$$

式中 E ——感应电动势，单位为 V；

β ——均匀磁场的磁感应强度，单位为 T；

L ——导体切割磁力线的有效长度，单位为 m；

v ——导体与磁场的相对运动速度，单位为 m/s；

α ——导体运动方向与磁感应强度方向间的夹角，单位为弧度 (rad)。

2. 感应电动势的方向

导体运动方向、磁力线方向和电流（或感应电动势）的方向三者之间的关系可用右手定则来判断，具体方法是：

伸开右手，四指与拇指垂直并在同一平面内，把右手伸入磁场里，让磁力线穿过手心，大拇指指向导体运动方向，则其余四个指头的指向就是导体内电流的运动方向，如图 1-9 所示。