



电工电子名家畅销书系

电动机



蔡杏山 主编

及控制线路



咱得这么

学

- 名家荟萃，引领巅峰之作
- 梦回课堂，重温异样经典
- 学而时习，开启新学时代
- 精选专题，实现无缝对接



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

畅销书系

电动机及控制线路 咱得这么学

蔡杏山 主编



机械工业出版社

本书是一本介绍电动机及控制线路的图书，主要内容有电磁知识与低压电器、三相异步电动机结构原理与点动正转控制电路的安装、三相异步电动机的常用控制电路、PLC 的使用与 PLC 控制电动机的常用电路和软件编程、变频器的使用与变频器控制电动机的常用电路、步进电动机与步进驱动器的使用及控制电路、伺服电动机与伺服驱动器的使用及控制电路、直流电动机及控制电路、无刷直流电动机与单相异步电动机的控制电路、常用机床的电气控制电路等。

本书具有起点低、由浅入深、语言通俗易懂等特点，并且内容结构安排符合学习认知规律。本书适合作为初学者学习电动机及控制电路的自学图书，也适合作为职业院校电类专业电动机及控制电路的教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

电动机及控制线路咱得这么学/蔡杏山主编. —北京: 机械工业出版社, 2017. 4

(电工电子名家畅销书系)

ISBN 978-7-111-56310-5

I. ①电… II. ①蔡… III. ①电动机—控制电路—基本知识 IV. ①TM320.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 050445 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 任 鑫 责任编辑: 翟天睿

责任校对: 樊钟英 封面设计: 马精明

责任印制: 李 昂

河北鹏盛贤印刷有限公司印刷

2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 17.25 印张 · 418 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-56310-5

定价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

出版说明

我国经济与科技的飞速发展，国家战略性新兴产业的稳步推进，对我国科技的创新发展和人才素质提出了更高的要求。同时，我国目前正处在工业转型升级的重要战略机遇期，推进我国工业转型升级，促进工业化与信息化的深度融合，是我们应对国际金融危机、确保工业经济平稳较快发展的重要组成部分，而这同样对我们的人才素质与数量提出了更高的要求。

目前，人们日常生产生活的电气化、自动化、信息化程度越来越高，电工电子技术正广泛而深入地渗透到经济社会的各个行业，促进了众多的人口就业。但不可否认的客观现实是，很多初入行业的电工电子技术人员，基础知识相对薄弱，实践经验不够丰富，操作技能有待提高。党的十八大报告中明确提出“加强职业技能培训，提升劳动者就业创业能力，增强就业稳定性”。人力资源和社会保障部近期的统计监测却表明，目前我国很多地方的技术工人都处于严重短缺的状态，其中仅制造业高级技工的人才缺口就高达 400 多万人。

秉承机械工业出版社“服务国家经济社会和科技全面进步”的出版宗旨，60 多年来我们在电工电子技术领域积累了大量的优秀作者资源，出版了大量的优秀畅销图书，受到广大读者的一致认可与欢迎。本着“提技能、促就业、惠民生”的出版理念，经过与领域内知名的优秀作者充分研讨，我们于 2013 年打造了“电工电子名家畅销书系”，涉及内容包括电工电子基础知识、电工技能入门与提高、电子技术入门与提高、自动化技术入门与提高、常用仪器仪表的使用以及家电维修实用技能等。本丛书出版至今，得到广大读者的一致好评，取得了良好社会效益，为读者技能的提高提供了有力的支持。

随着时间的推移和技术的不断进步，加之年轻一代走向工作岗位，读者对于知识的需求、获取方式和阅读习惯等发生了很大的改变，这也给我们提出了更高的要求。为此我们再次整合了强大的策划团队和作者团队资源，对本丛书进行了全新的升级改造。升级后的本丛书具有以下特点：①名师把关品质最优；②以就业为导向，以就业为目标，内容选取基础实用，做到知识够用、技术到位；③真实图解详解操作过程，直观具体，重点突出；④学、思、行有机地融合，可帮助读者更为快速、牢固地掌握所学知识和技能，减轻学习负担；⑤由资深策划团队精心打磨并集中出版，通过多种方式宣传推广，便于读者及时了解图书信息，方便读者选购。

本丛书的出版得益于业内顶尖的优秀作者的大力支持，大家经常为了图书的内容、表达等反复深入地沟通，并系统地查阅了大量的最新资料 and 标准，更新制作了大量的操作现场实景素材，在此也对各位电工电子名家的辛勤的劳动付出和卓有成效的工作表示

感谢。同时，我们衷心希望本丛书的出版，能为广大电工电子技术领域的读者学习知识、开阔视野、提高技能、促进就业，提供切实有益的帮助。

作为电工电子图书出版领域的领跑者，我们深知对社会、对读者的重大责任，所以我们一直在努力。同时，我们衷心欢迎广大读者提出您的宝贵意见和建议，及时与我们联系沟通，以便为大家提供更多高品质的好书，联系信箱为 balance008@126.com。

机械工业出版社

电动机是一种将电能转换成机械能的设备，广泛应用于冶金、电力、石化、煤炭、矿山、建材、造纸、市政、水利、造船、港口装卸等领域。据统计，2015 年我国电动机用电总量约占工业用电总量的 70% 以上，占全社会用电总量的一半以上。

电动机种类很多，三相交流异步电动机具有结构简单、运行可靠、价格便宜、过载能力强及使用、安装、维护方便等优点，从而被应用于各个领域，在工业领域应用尤为广泛。三相交流异步电动机起/停和正/反转等简单控制可采用普通的继电器接触器电路，若需要连续调速控制，则可使用变频器来驱动。伺服电动机和步进电动机可以实现精确控制转速，在伺服驱动器和步进驱动器的控制驱动下，可以做出精细动作。直流电动机除了应用在一些直流供电的小型设备外，由于其具有平滑调速的优越性能，因此在一些工业领域也有较多的应用。无刷直流电动机是一种用电子换向器取代普通直流电动机电刷和换向器的电动机，其功率一般较低，在民用领域应用较为广泛。单相异步电动机采用单相供电，具有结构简单、成本低等优点，是民用领域使用最为广泛的一种电动机。

本书介绍了三相异步电动机及常用控制电路、PLC 的使用与 PLC 控制电动机的常用电路与软件编程、变频器的使用与变频器控制电动机的常用电路、步进电动机与步进驱动器的使用及控制电路、伺服电动机与伺服驱动器的使用及控制电路、直流电动机及控制电路、无刷直流电动机与单相异步电动机的控制电路、常用机床的电气控制电路等。

本书主要有以下特点：

- ◆ **基础起点低。**读者只需具有初中文化程度即可阅读本书。
- ◆ **语言通俗易懂。**书中少用专业化的术语，较难理解的内容用形象比喻说明，尽量避免复杂的理论分析和烦琐的公式推导，使图书阅读起来感觉十分顺畅。
- ◆ **内容解说详细。**考虑到自学时一般无人指导，因此编者在编写过程中对书中的知识技能进行了详细解说，使读者能轻松理解所学内容。
- ◆ **采用大量图片与详细标注文字相结合的表现方式。**书中采用了大量图片，并在图片上标注详细的说明文字，使读者不但能在阅读时一目了然，还能轻松了解图片所表达的内容。
- ◆ **内容安排符合认识规律。**图书按照循序渐进、由浅入深的原则来确定各章节的先后顺序，读者只需从前往后阅读，便会水到渠成。
- ◆ **突出显示知识要点。**为了帮助读者掌握书中的知识要点，书中用阴影和文字加粗

的方法突出显示知识要点，指示学习重点。

◆ **网络免费辅导。**读者在阅读时遇到难理解的问题，可登录易天电学网 (www.eTV100.com)，观看有关辅导材料或向老师提问进行学习，读者也可以在该网站了解本书的新书信息。

本书由蔡杏山担任主编。在编写过程中得到了许多教师的支持，其中蔡玉山、詹春华、黄勇、何慧、黄晓玲、蔡春霞、邓艳姣、刘凌云、刘海峰、蔡理峰、邵永亮、朱球辉、蔡理刚、梁云、何丽、李清荣、王娟、刘元能、唐颖、万四香、何彬、蔡任英和邵永明等参与了部分章节的编写工作，在此一致表示感谢。由于编者水平有限，书中的错误和疏漏在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者



出版说明

前言

第1章 电磁知识与低压电器 1

1.1 电磁知识	1
1.1.1 磁铁与磁性材料	1
1.1.2 通电导体产生的磁场	2
1.1.3 通电导体在磁场中受到的力	2
1.1.4 电磁感应	3
1.1.5 磁路	5
1.2 低压电器	6
1.2.1 开关	6
1.2.2 熔断器	14
1.2.3 断路器	17
1.2.4 漏电保护器	20
1.2.5 交流接触器	25
1.2.6 热继电器	30
1.2.7 电磁继电器	35
1.2.8 时间继电器	40
1.2.9 速度继电器与压力继电器	43

第2章 三相异步电动机结构原理与点动正转控制 电路的安装 46

2.1 三相交流电	46
2.1.1 三相交流电的产生	46
2.1.2 三相交流电的3种供电方式	47
2.2 三相异步电动机的结构原理与检测	48
2.2.1 三相异步电动机基本工作原理	48
2.2.2 三相异步电动机的外形与结构	50
2.2.3 三相异步电动机的两种接线方式及 铭牌说明	52

2.2.4	判别三相绕组的首尾端	54
2.2.5	判断电动机的磁极对数和转速	57
2.2.6	测量绕组的绝缘电阻	57
2.2.7	常见故障及处理	58
2.3	三相异步电动机点动正转控制电路原理及控制板的安装	59
2.3.1	画出待安装电路的原理图	59
2.3.2	列出器材清单并选配器材	60
2.3.3	在配电板上安装元件和导线	60
2.3.4	检查电路	62
2.3.5	通电试车	63
2.3.6	注意事项	63

第3章 三相异步电动机的常用控制电路 64

3.1	正转控制电路	64
3.1.1	简单正转控制电路	64
3.1.2	自锁正转控制电路	65
3.1.3	带过载保护的自锁正转控制电路	65
3.1.4	连续与点动混合控制电路	66
3.2	正、反转控制电路	67
3.2.1	倒顺开关正、反转控制电路	67
3.2.2	接触器联锁正、反转控制电路	68
3.2.3	按钮联锁正、反转控制电路	69
3.2.4	按钮、接触器双重联锁正反转控制电路	70
3.3	限位控制电路	72
3.3.1	行程开关	72
3.3.2	限位控制电路	73
3.4	自动往返控制电路	74
3.5	顺序控制电路	75
3.5.1	顺序控制电路一	75
3.5.2	顺序控制电路二	76
3.6	多地控制电路	77
3.7	减压起动控制电路	78
3.7.1	定子绕组串接电阻减压起动控制电路	78
3.7.2	自耦变压器减压起动控制电路	80
3.7.3	星形—三角形(Y- Δ)减压起动控制电路	84
3.7.4	延边三角形减压起动控制电路	88
3.8	绕线转子电动机起动控制电路	90
3.8.1	绕线转子电动机转速调速与起动方式	90
3.8.2	转子绕组串接电阻起动控制电路	91

3.8.3 转子绕组串接频敏变阻器启动控制电路	95
3.8.4 凸轮控制器起动、调速和正反转控制电路	96
3.9 制动控制电路	98
3.9.1 机械制动电路	98
3.9.2 电力制动电路	101
3.10 多速异步电动机调速控制电路	106
3.10.1 双速异步电动机调速控制电路	106
3.10.2 三速异步电动机调速控制电路	109
第4章 PLC的使用与PLC控制电动机的常用电路和软件编程	112
4.1 了解 PLC	112
4.1.1 什么是 PLC	112
4.1.2 PLC控制与继电器控制的比较	113
4.2 PLC的组成与工作原理	114
4.2.1 PLC的组成	114
4.2.2 PLC的工作方式	118
4.2.3 PLC用户程序的执行过程	118
4.3 PLC编程软件的使用	119
4.3.1 软件的安装和启动	119
4.3.2 程序的编写	119
4.3.3 程序的转换与传送	121
4.4 PLC控制三相异步电动机正反转电路与程序的开发	122
4.4.1 PLC应用系统的一般开发流程	122
4.4.2 PLC控制三相异步电动机正反转电路与程序的开发	122
4.5 PLC控制三相异步电动机的常用硬件电路与梯形图	125
4.5.1 起动、自锁和停止控制的 PLC 电路与梯形图	125
4.5.2 正、反转联锁控制的 PLC 电路与梯形图	127
4.5.3 多地控制的 PLC 电路与梯形图	127
4.5.4 定时控制的 PLC 电路与梯形图	129
4.5.5 定时器与计数器组合延长定时控制的 PLC 电路与梯形图	132
4.5.6 多重输出控制的 PLC 电路与梯形图	133
4.5.7 过载报警控制的 PLC 电路与梯形图	134
第5章 变频器的使用与变频器控制电动机的常用电路	137
5.1 变频器的原理、结构和使用	137
5.1.1 变频器的调速原理与基本组成	137
5.1.2 变频器的结构与接线说明	139
5.1.3 变频器操作面板的使用	144
5.1.4 变频器的使用举例	147

5.2 变频器控制三相异步电动机的常用电路及参数设置	151
5.2.1 正转控制电路	151
5.2.2 正、反转控制电路	153
5.2.3 工频与变频切换控制电路	156
5.2.4 多档转速控制电路	159
5.3 PLC 控制变频器驱动三相异步电动机的硬件电路与梯形图程序	161
5.3.1 PLC 控制变频器驱动三相异步电动机正、反转的电路与程序	161
5.3.2 PLC 控制变频器驱动三相异步电动机多档速运行的电路与程序	164

第6章 步进电动机与步进驱动器的使用及控制电路 170

6.1 步进电动机	170
6.1.1 外形	170
6.1.2 结构与工作原理	170
6.2 步进驱动器	173
6.2.1 外形	173
6.2.2 内部组成与原理	174
6.2.3 步进驱动器的接线及说明	174
6.2.4 步进电动机的接线及说明	176
6.2.5 细分设置	178
6.2.6 工作电流的设置	179
6.2.7 静态电流的设置	179
6.2.8 脉冲输入模式的设置	180
6.3 PLC 控制步进驱动器驱动步进电动机正、反向定角循环运行的电路及编程	181
6.3.1 明确控制要求	181
6.3.2 控制电路及说明	181
6.3.3 细分、工作电流和脉冲输入模式的设置	182
6.3.4 编写 PLC 控制程序	182
6.3.5 PLC 控制程序详解	183
6.4 PLC 控制步进驱动器驱动步进电动机定长运行的控制电路及编程	185
6.4.1 控制要求	185
6.4.2 控制电路及说明	185
6.4.3 细分、工作电流和脉冲输入模式的设置	187
6.4.4 编写 PLC 控制程序	187
6.4.5 PLC 控制程序详解	187

第7章 伺服电动机与伺服驱动器的使用及控制电路 190

7.1 交流伺服系统的三种控制模式	190
7.1.1 交流伺服系统的位置控制模式	190
7.1.2 交流伺服系统的速度控制模式	191

7.1.3 交流伺服系统的转矩控制模式	191
7.2 伺服电动机和编码器	192
7.2.1 伺服电动机	192
7.2.2 编码器	193
7.3 伺服驱动器	196
7.3.1 伺服驱动器的内部结构及说明	196
7.3.2 伺服驱动器与外围设备的接线	198
7.3.3 伺服驱动器的接头引脚功能及内部接口电路	199
7.4 伺服驱动器与伺服电动机的控制电路	200
7.4.1 工作台往返限位运行的伺服电动机控制电路	200
7.4.2 卷纸机恒张力收卷的伺服电动机控制电路	202
7.4.3 工作台往返定位运行的伺服电动机控制电路	204
第8章 直流电动机及控制电路	206
8.1 直流电动机的工作原理、结构和种类	206
8.1.1 工作原理	206
8.1.2 外形与结构	207
8.1.3 种类与特点	207
8.2 并励直流电动机的控制电路	210
8.2.1 起动控制电路	210
8.2.2 转向控制电路	212
8.2.3 制动控制电路	213
8.2.4 调速控制电路	216
8.3 串励直流电动机的控制电路	218
8.3.1 起动控制电路	218
8.3.2 转向控制电路	220
8.3.3 制动控制电路	221
8.3.4 调速控制方法	224
第9章 无刷直流电动机与单相异步电动机的控制电路	225
9.1 无刷直流电动机	225
9.1.1 外形	225
9.1.2 结构与工作原理	225
9.2 无刷直流电动机的控制电路	228
9.2.1 星形联结三相半桥控制电路	228
9.2.2 星形联结三相桥式控制电路	228
9.2.3 三角形联结三相桥式控制电路	229
9.3 单相异步电动机	230
9.3.1 分相式单相异步电动机	230

9.3.2 罩极式单相异步电动机	235
9.4 单相异步电动机的控制电路	236
9.4.1 转向控制电路	236
9.4.2 串联电抗器调速电路	236
9.4.3 串联电容器调速电路	237
9.4.4 自耦变压器调速电路	238
9.4.5 抽头调速电路	238
9.4.6 晶闸管调速电路	239

第10章 常用机床的电气控制电路 241

10.1 车床的控制电路	241
10.1.1 CA6140 车床简介	241
10.1.2 CA6140 车床的控制电路	242
10.2 磨床的控制电路	244
10.2.1 M7130 型磨床介绍	244
10.2.2 M7130 型磨床的控制电路	244
10.3 钻床的控制电路	247
10.3.1 Z3050 型钻床介绍	247
10.3.2 Z3050 型钻床的控制电路	247
10.4 铣床的控制电路	251
10.4.1 X62W 型钻床介绍	251
10.4.2 X62W 型万能铣床的控制电路	251
10.5 镗床的控制电路	256
10.5.1 T68 型镗床介绍	256
10.5.2 T68 型镗床的控制电路	256
10.6 刨床的控制电路	261
10.6.1 常见刨床的特点	261
10.6.2 B690 型刨床的控制电路	262

电磁知识与低压电器



1.1 电磁知识

1.1.1 磁铁与磁性材料

1. 磁铁

将一块磁铁靠近铁钉，会发现磁铁即使没有接触到铁钉，也会把铁钉吸引过来，如图 1-1 所示。磁铁没有接触铁钉就可以将它吸引过来，这是因为磁铁能产生磁场，是磁场产生的作用力将铁钉“拉”过来的。

任何一块磁铁都有 N、S 极两个磁极。由于磁铁产生的磁场人眼看不见，但实际上又存在，因此为了表示磁场强弱和方向，就在磁铁周围画一些带箭头的闭合线条，这些线条称作磁感线（或称磁力线），如图 1-2 所示，磁感线的疏密表示磁场的强弱，磁感线上的箭头表示磁场的方向。从图 1-2 中可以看出，磁铁 N、S 极两端出来和进入的磁感线最多，所以磁铁两端的磁场最强，磁感线箭头的方向在磁铁外部是从磁铁的 N 极出来，进入 S 极（在磁铁内部则相反）。磁场具有同极性相吸引，异极性相排斥的性质。



图 1-1 磁铁吸引铁钉

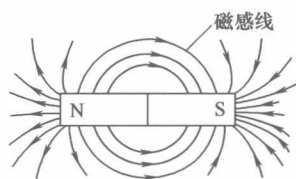


图 1-2 磁铁周围的磁感线

2. 磁性材料

如果将一根不带磁性的钢棒接触磁铁，则会发现先前不带磁性的钢棒现在也可以吸引铁钉，如图 1-3 所示。此时再移开磁铁，钢棒还能吸引铁钉，也就是说，磁铁接触钢棒，使钢棒也具有了磁性。

没有磁性的物质在磁场的作用下带上磁性的现象称为磁化现象，这种在磁场作用下能带上磁性的物质称为磁性材料。磁性材料可分为软磁性材料和硬磁性材料。

(1) 软磁性材料

软磁性材料在外部磁场作用下，容易被磁化而带有磁性，外部磁场消失后，其所带的磁性会随之消失，剩磁很少。常见的软磁性材料有纯铁、硅钢、坡莫合金、锰锌铁氧体和镍锌铁氧体等。软磁性材料常用在变压器、电动机、发动机、接触器、继电器和录音机、摄录像机的磁头中。

(2) 硬磁性材料

硬磁性材料在外部磁场的作用下，容易被磁化而带有磁性，外部磁场消失后，其磁性不容易消失，还会保留较强的剩磁。常见的硬磁性材料有二氧化铬、三氧化二铁、铁钴合金和钕铁硼合金等。硬磁性材料常用在电工仪表、高效能电动机和一些磁记录设备中。

1.1.2 通电导体产生的磁场

先来按图 1-4 所示的方法做一个实验，在一根不带磁性的铁棒上缠绕多匝线圈（匝数越多越好），再在线圈的引出线上接好开关和电池，在铁棒下方放一颗小铁钉。在闭合开关时，铁钉马上被铁棒吸引过来，断开开关，铁钉又会掉下来。这个实验说明，通电线圈也会产生磁场，线圈产生的磁场将铁棒磁化使之带磁，带上磁性的铁棒能吸引铁钉。

通电导体能产生磁场，该磁场与磁铁产生的磁场一样，具有大小和方向，通过导体的电流方向变化，导体产生的磁场方向也会变化。下面来分析两种形式通电导体的电流与其产生磁场的关系。

1. 通电螺线管导体电流与磁场的关系

在图 1-4 中，绕在铁棒上的线圈呈螺旋状，通常将这种形状的导体称为螺线管导体。对于通电螺线管导体，它产生磁场的方向与通过电流的方向可用右手螺旋定则来判断。右手螺旋定则的使用方法如图 1-5 所示。用右手四指握住螺线管，四指的弯曲方向与环形电流方向一致，大拇指伸直，则大拇指所指的方向就是螺线管产生磁场的磁感线方向。读者可试着用该方法来分析图 1-4 中线圈产生磁场的磁感线方向。

2. 通电直导体电流与磁场的关系

对于通电直导体，它产生磁场的方向与通过电流的关系也可以用右手螺旋定则来判断。如图 1-6 所示，用右手四指握住直导体，让伸直的大拇指所指方向与电流方向一致，弯曲的四指所指方向就是直导体产生磁场的磁感线方向。

1.1.3 通电导体在磁场中受到的力

通电导体会产生磁场，若将通电导体放在其他磁场中（如磁铁产生的磁场），则通电导体产生的磁场与其他的磁场就会产生吸引或排斥，从而使通电导体受到作用力。通电导体在磁场中受到的力称为安培力。

安培力的方向可用左手定则来判断。左手定则的使用方法如图 1-7 所示，伸开左手手

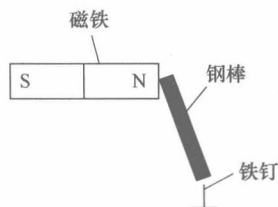


图 1-3 磁化的钢棒吸引铁钉

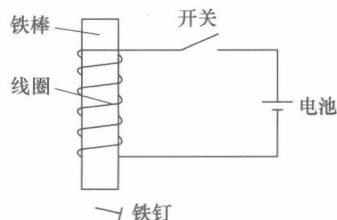


图 1-4 通电线圈产生磁场

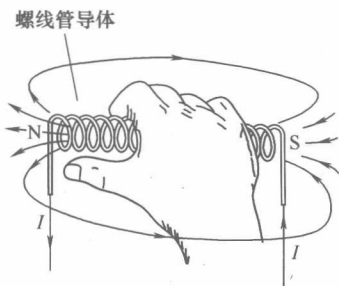


图 1-5 用右手螺旋定则判断
通电螺线管导体的磁场方向



图 1-6 用右手螺旋定则判断通电
直导体的磁场方向

掌，让大拇指和其余四指垂直，并且和手掌都在同一平面内，把手掌伸入磁场中，让磁感线垂直穿过手掌，同时让四指指向导体的电流方向，那么大拇指所指的方向就是通电导体在磁场中所受安培力的方向。

导体在磁场中所受安培力的大小与磁感应强度 B 、导体流过的电流 I 及导体的长度 L 有关。导体在磁场中受到的安培力可用下面的式子来计算：

$$F = BIL\sin\alpha$$

式中， F 为安培力，单位为 N； B 为磁感应强度，单位为 T，它表示磁场中各点磁场的强弱和方向，其大小用该点磁感线的疏密来表示，若某点磁感线越密，则该点的磁感应强度越大，若磁场中各点的磁场强弱相同，那么称该磁场为匀强磁场，匀强磁场中各点的磁感应强度是相同的，磁感应强度的方向与磁场方向相同； L 为导体的长度，单位为 m； I 为导体通过的电流，单位为 A； α 为导体与磁场的夹角，如图 1-8 所示，如果通电导体与磁场垂直，即 $\alpha = 90^\circ$ ，那么通电导体在磁场受到的安培力 $F = BIL$ 。

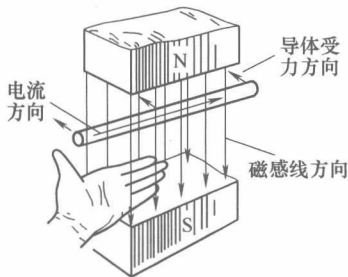


图 1-7 用左手定则判断通电
导体在磁场中的受力方向

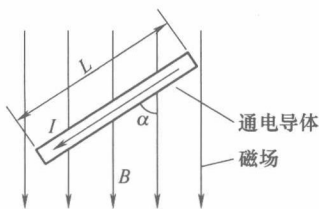


图 1-8 导体与磁场的夹角

1.1.4 电磁感应

电流可以产生磁场，反过来也可以利用磁场产生电流。当闭合电路的部分导体在磁场中切割磁感线，或者穿过闭合电路的磁感线数量（又称磁通量）发生变化时，闭合回路中就有电流产生，这种现象称为电磁感应现象。

1. 导体在切割磁感线时会产生电流

当闭合电路的部分导体切割磁感线时，在导体中就有电动势产生，电路中就有电流形



成。如图 1-9 所示，将与电流表连接在一起的导体放在磁场中，当导体在磁场中作切割磁感线运动时，导体中马上有电动势产生，此时的导体就相当于一个电源，它会输出电流流过电流表，使电流表指针摆动。

导体产生电动势的方向（即导体产生电流的方向）与导体的运动方向和磁场的方向有关。导体产生电动势的方向可用右手定则判断。右手定则使用如图 1-9 所示，伸开右手，让拇指和四指垂直并且在同一平面内，将右手掌放入磁场中，让磁感线垂直穿过掌心，拇指指向导体运动的方向，四指所指的方向就是导体产生电动势的方向，也是导体产生电流的方向。

在图 1-9 中，如果导体不动，而让磁场运动，则导体也会切割磁感线，导体中也有电动势产生。在这种情况下判断导体电动势方向时，应将磁场运动的相反方向看作导体的运动方向，如磁场向左运动可以看成是磁场不动而导体向右运动，再用右手定则来分析导体产生电动势的方向。

导体在磁场中切割磁感线时会产生电动势，电动势大小为

$$E = BLv \sin \alpha$$

式中， E 为电动势，单位为 V； B 为磁感应强度，单位为 T； L 为导体的长度，单位为 m； v 为导体在磁场中的运动速度，单位为 m/s； α 为导体与磁场的夹角。

2. 闭合电路在磁通量变化时会产生电流

为了说明闭合电路磁通量变化能产生电流，先按图 1-10 所示方法做一个实验，将线圈与一个电流表连接起来，然后拿一块磁铁靠近线圈，当磁铁插入线圈时，电流表指针会摆动，说明线圈中有电流产生，当磁铁插在线圈中不动时，指针不动，说明线圈中没有电流产生，当突然拔出磁铁时，指针又发生摆动，说明线圈中又有电流产生，但指针此刻摆动方向与插入磁铁时指针摆动方向相反。

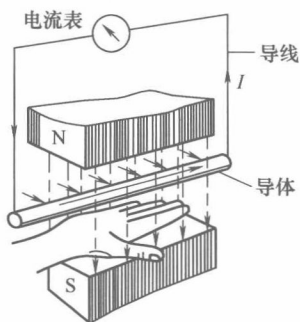


图 1-9 导体切割磁感线产生电流与右手定则的使用

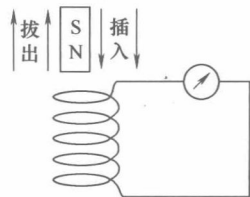


图 1-10 闭合导体磁场量发生变化时会产生电流的实验

在这个实验中，当插入磁铁时，穿过线圈的磁感线数量增大（即磁通量增大），当拔出磁铁时，穿过线圈的磁感线数量减小（即磁通量减小），线圈中都有电流产生，而磁铁在线圈中不动时，穿过线圈的磁感线数量不变（即磁通量不变），线圈中无电流产生。因此可以得出这样的结论：当穿过线圈的磁通量发生变化时，线圈中会产生电动势，当线圈与其他元件组成闭合电路时，线圈中就会产生电流。

线圈产生的电动势方向与穿过线圈的磁通量有关，它们之间的关系可用楞次定律来判