



零起步轻松学系列丛书

零起步

轻松学

电动机及控制线路

(第2版)

蔡杏山 ■ 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



零起步轻松学系列丛书

零起步 轻松学

电动机及控制线路

(第2版)

蔡杏山 ■ 主编

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

零起步轻松学电动机及控制线路 / 蔡杏山主编. --
2版. -- 北京: 人民邮电出版社, 2012. 8
(零起步轻松学系列丛书)
ISBN 978-7-115-28697-0

I. ①零… 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(2012)第130076号

内 容 提 要

本书是一本介绍电动机及控制线路的图书, 共分7章, 主要内容有电磁知识、低压电器、三相异步电动机及控制线路、单相异步电动机及控制线路、直流电动机及控制线路、其他类型电动机和常用机床电气控制线路。

为了让初学者阅读时能轻松快速地掌握电动机及控制线路, 本书在每章首页列出了本章知识结构图, 在内容安排上按照循序渐进的原则, 在语言表达上注重通俗易懂, 在书的重点和关键内容上采用了粗体和阴影处理, 希望读者能掌握并记住这些内容。

本书起点低、由浅入深、语言通俗易懂, 并且内容结构安排符合学习认知规律。本书适合作为电动机及控制线路的自学图书, 也适合作为职业院校电类专业的电动机及控线线路教材。

零起步轻松学系列丛书

零起步轻松学电动机及控制线路 (第2版)

-
- ◆ 主 编 蔡杏山
责任编辑 张 鹏
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.5
字数: 285千字 2012年8月第2版
印数: 5 001-9 000册 2012年8月河北第1次印刷

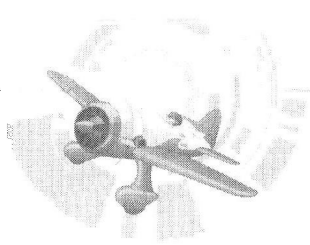
ISBN 978-7-115-28697-0

定价: 28.00元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号



丛书前言

在现代社会中,随着科学技术的飞速发展,电子、电工技术已经渗透到社会的许多领域,社会需要大量掌握电子、电工技术的人才。电子、电工技术都属于电类技术,但两者侧重点不同:电子技术是处理低电压、小电流的弱电信号的技术;而电工技术则是处理高电压、大电流的强电信号的技术。电子技术和电工技术在早期划分还比较明显,但在现代社会,两种技术融合越来越紧密,社会对同时掌握电子、电工技术的复合型人才的需求非常迫切。

任何一门技术,既可以通过在学校系统学习,也可以通过自学来掌握。但不管哪种学习方式,都需要一套系统全面、通俗易懂的入门教材。好的入门教材可以让我们学习时少走弯路,轻松、快速地掌握技术。

一、丛书简介

《零起步轻松学系列丛书》是一套非常适合初学者使用的入门教材,它分两个系列:电子技术系列和电工技术系列。这套丛书涉及电子、电工技术基础知识体系中的方方面面,各分册既紧密相关,又独立成册,具体内容如下。

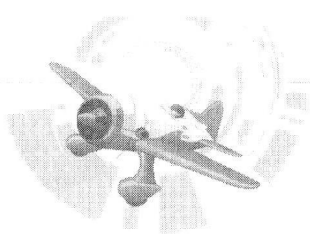
电子技术系列图书:

➤ 《零起步轻松学电子技术(第2版)》 主要介绍了电子技术基础、万用表的使用、常用电子元件、基础电子电路、无线电广播与收音机和收音机的组装与检修等内容。

➤ 《零起步轻松学电子电路(第2版)》 主要介绍了电路分析基础、放大电路、集成放大电路、谐振电路与滤波电路、正弦波振荡器、调制电路与解调电路、变频电路与反馈控制电路、电源电路和晶闸管电路。

➤ 《零起步轻松学数字电路(第2版)》 主要介绍了门电路、数制、编码、逻辑代数、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲电路、D/A 转换器、A/D 转换器和半导体存储器等。

➤ 《零起步轻松学电子元件(第2版)》 主要介绍了电阻器、电容器、电感器、变压器、二极管、三极管、光电器件、电声器件、晶闸管、场效应管、IGBT、继电器、干簧管、显示器件、贴片元件、集成电路和传感器等内容。



➤ 《零起步轻松学 Protel 99 SE 电路设计》 主要介绍了 Protel 99 SE 软件设计电路原理图、绘制新元件、设计印制电路板和绘制新元件封装等内容。

➤ 《零起步轻松学单片机技术(第2版)》 主要介绍了单片机入门知识、单片机硬件原理、单片机的开发过程、单片机编程、中断技术、定时器/计数器、串行通信技术和接口技术等。

➤ 《零起步轻松学电子仪器仪表使用(第2版)》 主要介绍了指针万用表、数字万用表、信号发生器、毫伏表、示波器、频率计和扫频仪等。

电工技术系列图书:

➤ 《零起步轻松学电工技术(第2版)》 主要介绍了电工基础、电工仪表、低压电器、电子元器件、变压器、电动机、电动机控制线路、室内配电线路的安装和安全用电。

➤ 《零起步轻松学电工常用电子电路(第2版)》 主要介绍了电路入门知识、模拟电路、数字电路、晶闸管电路和一些实用电工电子电路。

➤ 《零起步轻松学电动机及控制线路(第2版)》 主要介绍了电磁知识、低压电器、三相异步电动机及控制线路、单相异步电动机及控制线路、直流电动机及控制线路、其他类型电动机和常用机床电气控制线路。

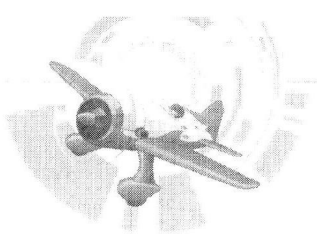
➤ 《零起步轻松学变频技术(第2版)》 主要介绍了电力电子器件、电力电子电路、变频器的工作原理、变频器的使用、变频器的典型功能及应用、PLC 与变频器的综合应用和变频器的选用、安装与维护等。

➤ 《零起步轻松学 PLC 技术(第2版)》 主要介绍了三菱 FX2N 系列 PLC 技术,包括 PLC 组成与原理、PLC 编程及应用系统的开发过程、基本指令及应用、步进指令与顺序控制编程、功能指令的使用、模拟量模块及使用、PLC 通信、触摸屏的使用及编程。

➤ 《零起步轻松学西门子 S7-200 PLC 技术》 主要介绍了西门子 S7-200 PLC 技术,包括 PLC 的组成与原理、编程基础知识、PLC 编程软件及仿真软件的使用、PLC 应用系统的开发过程及应用等内容。

➤ 《零起步轻松学欧姆龙 PLC 技术》 主要介绍了欧姆龙 CP1H 系列的 PLC 技术,内容包括 PLC 组成与原理、CP1H 系列 PLC 的硬件系统、PLC 编程软件的使用和应用系统的开发、指令的应用等。

➤ 《零起步轻松学变频器使用与电路检修》 主要介绍了电力电子器件、变频器主电路原理与检修、开关电源原理与检修、驱动电路原理与检修、检测电路原理与检修、控



制电路原理与检修和变频器的使用、选用及维护等内容。

➤ **《零起步轻松学步进与伺服应用技术》** 主要介绍了交流伺服系统的组成与原理、三菱通用伺服驱动器的硬件系统、伺服驱动器的显示操作与参数设置、伺服驱动器的应用举例及标准接线、步进电机、步进驱动技术和定位模块及应用等内容。

二、丛书的特点

➤ **结构安排符合人的认知规律。**在图书内容编排上，按照循序渐进、由浅入深的原则进行，读者只需从前往后阅读图书，便会水到渠成。

➤ **起点低，语言通俗易懂。**书中少用专业化的术语，多用通俗易懂的语言，遇到较难理解的内容用比喻来说明，尽量避免复杂的理论分析和烦琐的公式推导，具有初中文化程度的读者即可阅读。

➤ **采用图文并茂的方式表现内容。**书中大多采用读者喜欢的直观形象的图表方式表现内容，使阅读变得轻松。

➤ **突出显示书中知识要点。**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。

➤ **网络辅导。**读者在阅读时遇到难理解的问题，可登录易天教学网：www.eTV100.com，向老师提问，在网络辅导下更快、更轻松地学习书中的知识。

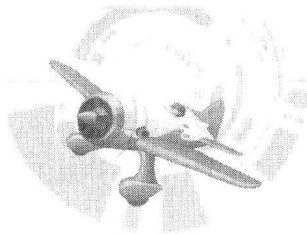
三、丛书的读者对象

本套丛书起点低，只要具有初中文化程度且对电子、电工技术感兴趣的读者就可阅读，主要的读者对象有以下几类：

➤ **电子、电工技术爱好者。**对于这类读者来说，本丛书内容丰富、通俗易懂的特点可使读者，尤其是初学者快速掌握电子、电工技术知识，轻松迈入电子、电工技术大门。

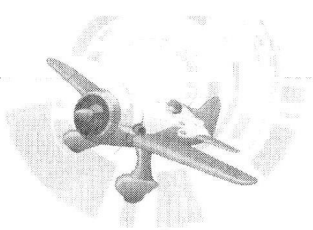
➤ **电子、电工技术从业人员。**这包括准备或者正在从事电子、电工技术相关领域工作的人员。对于这类读者来说，本丛书是一套完整的电子、电工技术入门自学教材，学习本丛书可为以后的实践工作打下坚实的基础。

➤ **职业院校相关专业的学生。**这包括以电子、电工技术为主专业的学生，也包括不以电子、电工技术为主专业，但需要学习电子、电工技术知识的学生。对于这类读者来说，本丛书是一套非常好的课外辅导书。



本套丛书在编写过程中得到了易天教学网很多老师的支持，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、刘元能、邵永亮、何宗昌、朱球辉、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。由于我们水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，望广大读者和同仁予以批评指正。

编 者



前言

本书主要介绍了多种类型的电动机及其控制线路。通过本书的学习，读者能较全面地了解这些电动机的结构与原理，并能分析电动机的控制线路，为以后学习更高层次的电动机控制技术打下扎实的基础。

一、本书内容

第1章 电磁知识与低压电器 主要介绍了与电动机有关的电磁理论知识和组成电动机控制线路的各种低压电器，掌握这些知识有利于学习后面章节的电动机原理和控制线路。

第2章 三相异步电动机 主要介绍了三相交流电的产生过程、供电方式和三相异步电动机的工作原理、结构、接线方式与铭牌，为学习第3章的内容奠定基础。

第3章 三相异步电动机的控制线路 介绍了大量的三相异步电动机的控制线路，掌握了这些控制线路后，可以很容易地分析各种复杂机电设备的电动机控制线路。

第4章 单相异步电动机及控制线路 主要介绍了分相式单相异步电动机和罩极式单相异步电动机的结构与工作原理，并对单相异步电动机的转向控制和调速控制线路也进行了说明。

第5章 直流电动机及控制线路 主要介绍了各种直流电动机的原理、结构和特点，另外还介绍了并励直流电动机和串励直流电动机的控制线路。

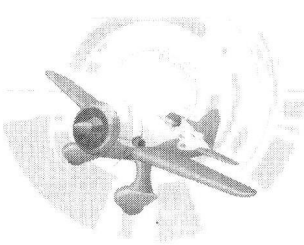
第6章 其他类型电动机 主要介绍了同步电动机、步进电动机、伺服电动机、无刷直流电动机、开关磁阻电动机和直线电动机的原理、结构和特点。

第7章 常用机床电气控制线路 主要分析了常用车床、磨床、钻床、铣床、镗床和刨床的控制线路。掌握机床控制线路的工作原理及分析方法，对机床线路的安装、维修和改造有很大的帮助。

二、本书学习建议

① 从前往后逐章节阅读，遇到难以理解的知识可以先跳过去，待学习完后续内容，理解能力提高了，再重新学习这些内容。

② 每次不要阅读太多的内容，对书中黑体字显示的内容要重点理解和记忆。为了强化



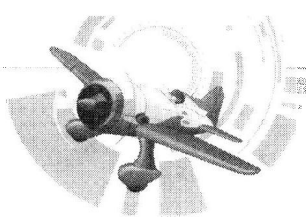
记忆，在每学完一章后，对本章的内容进行总结。

③ 在学习过程中尽可能实际接触书中介绍的各类电动机，有条件的读者可对电动机进行拆装，同时对一些实际的机电设备电动机控制线路进行分析，以提高解决问题的能力。

④ 如果阅读时遇到难理解的内容，可以参考其他相关书籍，也可以登录**易天教学网** **www.eTV100.com**，通过在线提问和观看网站有关辅导材料进行学习。

本书在编写过程中得到了许多老师的支持，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、刘元能、邵永亮、何宗昌、朱球辉、何彬、蔡任英和邵永明等参与了资料的收集和部分章节的编写工作，在此一致表示感谢。由于我们水平有限，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



目 录

第 1 章 电磁知识与 低压电器

1.1 电磁知识	2
1.1.1 磁铁与磁性材料	2
1.1.2 通电导体产生的磁场	3
1.1.3 通电导体在磁场中受到的力	4
1.1.4 电磁感应	4
1.1.5 磁路	7
1.2 低压电器	7
1.2.1 开关	8
1.2.2 熔断器	15
1.2.3 断路器	17
1.2.4 接触器	20
1.2.5 继电器	22

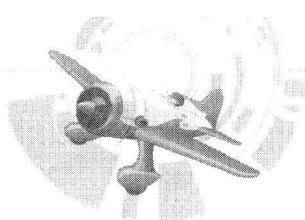
第 2 章 三相异步电动机

2.1 三相交流电基础知识	32
2.1.1 三相交流电的产生	32
2.1.2 三相交流电的供电方式	33
2.2 三相异步电动机	34
2.2.1 工作原理	34
2.2.2 外形与结构	36
2.2.3 接线方式	39
2.2.4 电动机的铭牌	40

第 3 章 三相异步电动机 的控制线路

3.1 正转控制线路	43
------------	----

3.1.1 简单的正转控制线路	43
3.1.2 点动正转控制线路	43
3.1.3 自锁正转控制线路	45
3.1.4 带过载保护的自锁正转控制线路	46
3.1.5 连续与点动混合控制线路	47
3.2 正反转控制线路	48
3.2.1 倒顺开关正反转控制线路	48
3.2.2 接触器连锁正反转控制线路	49
3.2.3 按钮连锁正反转控制线路	51
3.2.4 按钮、接触器双重 连锁正反转控制线路	52
3.3 限位控制线路	54
3.3.1 行程开关	54
3.3.2 限位控制线路工作原理	55
3.4 自动往返控制线路	56
3.5 顺序控制线路	58
3.5.1 顺序控制线路一	58
3.5.2 顺序控制线路二	59
3.6 多地控制线路	60
3.7 降压启动控制线路	61
3.7.1 定子绕组串接电阻降压 启动控制线路	61
3.7.2 自耦变压器降压启动控制线路	63
3.7.3 星形-三角形降压启动控制线路	68
3.7.4 延边三角形降压启动控制线路	72
3.8 绕线式电动机启动控制线路	75
3.8.1 绕线式电动机的调速与启动方式	75
3.8.2 转子绕组串接电阻启动控制线路	76



3.8.3 转子绕组串接频敏变阻器 启动控制线路	80
3.8.4 凸轮控制器启动、调速 和正反转控制线路	82
3.9 制动控制线路	85
3.9.1 机械制动线路	85
3.9.2 电力制动线路	88
3.10 多速异步电动机调速控制线路	95
3.10.1 双速异步电动机调速控制线路	95
3.10.2 三速异步电动机调速控制线路	98

第4章 单相异步电动机 及控制线路 101

4.1 分相式单相异步电动机	102
4.1.1 结构	102
4.1.2 工作原理	103
4.1.3 启动元器件	103
4.1.4 分相式单相异步电动机的种类	105
4.2 罩极式单相异步电动机	107
4.3 单相异步电动机的控制线路	109
4.3.1 转向控制线路	109
4.3.2 调速控制线路	109

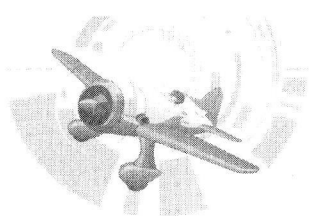
第5章 直流电动机 及控制线路 115

5.1 直流电动机的原理与结构	116
5.1.1 工作原理	116
5.1.2 外形与结构	117
5.2 直流电动机的种类与特点	118
5.2.1 永磁直流电动机	118

5.2.2 他励直流电动机	119
5.2.3 并励直流电动机	119
5.2.4 串励直流电动机	120
5.2.5 复励直流电动机	120
5.3 直流电动机的控制线路	121
5.3.1 并励直流电动机的控制线路	121
5.3.2 串励直流电动机的控制线路	130

第6章 其他类型电动机 137

6.1 同步电动机	138
6.1.1 外形	138
6.1.2 结构与原理	138
6.1.3 同步电动机的启动	139
6.2 步进电动机	141
6.2.1 外形	141
6.2.2 结构与原理	141
6.2.3 驱动电路	144
6.3 伺服电动机	145
6.3.1 交流伺服电动机	145
6.3.2 直流伺服电动机	146
6.4 无刷直流电动机	147
6.4.1 外形	147
6.4.2 结构与原理	148
6.4.3 驱动电路	150
6.5 开关磁阻电动机	153
6.5.1 外形	153
6.5.2 结构、原理与特点	153
6.5.3 开关磁阻电动机与步进电动机 的区别	155
6.5.4 驱动电路	156
6.6 直线电动机	156



6.6.1 外形	156
----------------	-----

6.6.2 结构与原理	157
-------------------	-----

第 7 章 常用机床电气 控制线路	159
------------------------------------	-----

7.1 车床控制线路	160
------------------	-----

7.1.1 CA6140 型车床简介	160
--------------------------	-----

7.1.2 CA6140 型车床的控制线路	161
-----------------------------	-----

7.2 磨床控制线路	163
------------------	-----

7.2.1 M7130 型磨床简介	163
-------------------------	-----

7.2.2 M7130 型磨床的控制线路	164
----------------------------	-----

7.3 钻床控制线路	166
------------------	-----

7.3.1 Z3050 型钻床简介	167
-------------------------	-----

7.3.2 Z3050 型钻床的控制线路	167
----------------------------	-----

7.4 铣床控制线路	170
------------------	-----

7.4.1 X62W 型铣床简介	171
------------------------	-----

7.4.2 X62W 型铣床的控制线路	171
---------------------------	-----

7.5 镗床控制线路	176
------------------	-----

7.5.1 T68 型镗床简介	176
-----------------------	-----

7.5.2 T68 型镗床的控制线路	177
--------------------------	-----

7.6 刨床控制线路	182
------------------	-----

7.6.1 常见刨床的特点	182
---------------------	-----

7.6.2 B690 型刨床的控制线路	183
---------------------------	-----

附录 常用电气设备的图形 符号与文字符号	151
---------------------------------------	-----

第

1

章

电磁知识与低压电器

本章知识结构

1.1 电磁知识

1.1.1 磁铁与磁性材料

1.1.2 通电导体产生的磁场

1.1.3 通电导体在磁场中受到的力

1.1.4 电磁感应

1.1.5 磁路

1.2 低压电器

1.2.1 开关

1.2.2 熔断器

1.2.3 断路器

1.2.4 接触器

1.2.5 继电器



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。



图 1-1 磁铁吸引铁钉

任何一块磁铁都有 N 极、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，为了表示磁场强弱和方向，常在磁铁周围画一些带箭头的闭合线条，这些线条称为磁感线（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。磁感线箭头在磁铁外部是由磁铁的 N 极出来，从 S 极进入（在磁铁内部则相反）。磁场具有同极性排斥、异极性吸引的性质。

2. 磁性材料

如果将一根不带磁性的钢棒接触磁铁，会发现先前不带磁性的钢棒立刻也可以吸引铁钉，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。

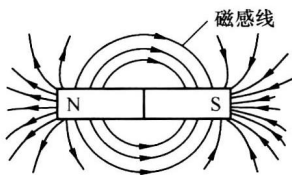


图 1-2 磁铁周围的磁感线

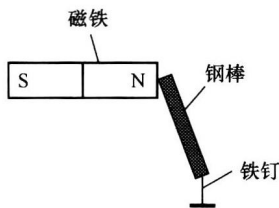


图 1-3 磁化的钢棒吸引铁钉

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、发电机、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, 在铁棒下方放一个小铁钉。在闭合开关时, 铁钉马上被铁棒吸引; 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, 带上磁性的铁棒吸引铁钉。

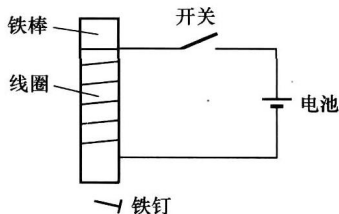


图 1-4 通电线圈产生磁场

通电导体能产生磁场, 该磁场与磁铁产生的磁场一样, 都具有大小和方向, 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. 通电螺旋管导体的电流与磁场关系

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

2. 通电直导体的电流与磁场关系

对于通电直导体, 它产生的磁场的方向与通过电流的方向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的方向与电流的方向一致, 弯曲的四指所指的方向就是直导体产生的磁场方向。

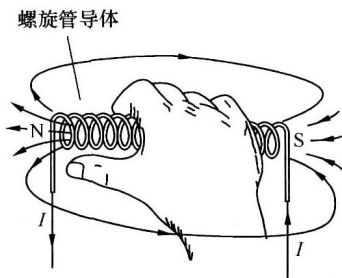


图 1-5 用右手螺旋定则判断通电螺旋管导体的磁场方向



图 1-6 用右手螺旋定则判断通电直导体的磁场方向



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），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。左手定则使用方法如图 1-7 所示，伸开左手，让大拇指和四指垂直并且都在同一平面内，把左手伸入磁场中，让磁感线垂直穿过掌心，同时让四指指向通过导体的电流方向，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 、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公式来计算：

$$F = BIL\sin\alpha$$

式中， F 为安培力（单位：N）； B 为磁感应强度（单位：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，某点磁感线越密，则该点的磁感应强度越大，如果磁场中各点的磁感应强度相同，那么该磁场为匀强磁场，磁感应强度的方向与磁场方向相同； L 为导体的长度（单位：m）； I 为通过导体的电流（单位：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 $F=BIL$ 。

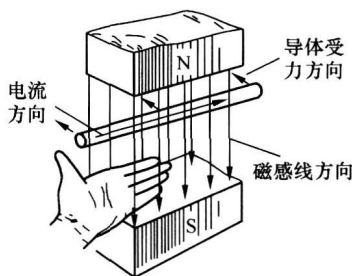


图 1-7 用左手定则判断通电导体在磁场中的受力方向

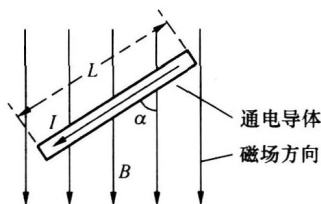


图 1-8 导体与磁场的夹角

1.1.4 电磁感应

电流可以产生磁场，反过来磁场也可以产生电流。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，在导体中产生电动势，电路中产生电流。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，导体中马上产生电动势，电路中产生电流，电流表表针摆动。此时的导体就相当于一个电源。

导体产生的电动势方向（也即导体产生的电流方向）与导体的运动方向、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。右手定则的使用方法如图 1-9 所示，伸开右手，让大拇指和四指垂直并且在同一平面内，将右手伸入磁场中，让磁感线垂直穿过掌心，同时让大拇指指向导体运动的方向，那么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，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产生电动势的方向时，应将磁场运动的相反方向看作导体的运动方向，如磁场往左运动可以看成是磁场不动而导体往右运动，再用右手定则来分析导体产生的电动势方向。

导体在磁场中切割磁感线时会产生电动势，计算电动势大小的公式为

$$E = BLv \sin \alpha$$

式中， E 为电动势（单位：V）； B 为磁感应强度（单位：T）； L 为导体的长度（单位：m）； v 为导体在磁场中的运动速度（单位：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

为了说明闭合电路在磁通量变化时能产生电流，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，然后拿一根磁铁靠近线圈。当磁铁插入线圈时，电流表表针会摆动，说明在线圈中有电流产生；当磁铁插在线圈中不动时，表针不动，说明在线圈中无电流产生；当突然拔出磁铁时，表针又发生摆动，说明在线圈中又有电流产生，但表针此刻摆动方向与插入磁铁时表针摆动方向相反。

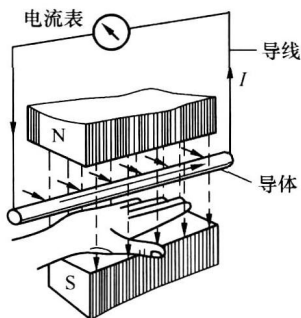


图 1-9 导体切割磁感线产生电流与右手定则的使用

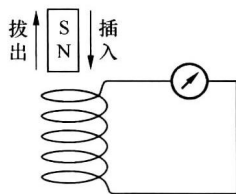


图 1-10 闭合电路在磁通量发生变化时会产生电流的实验