



浙江省重点教材建设项目

浙江省重点系列教材

高等职业教育电类专业规划教材——电气自动化系列

电机与电器控制

徐 锋 楼 平 主 编

郑向军 吴湘莲 副主编

盛 健 主审

清华大学出版社

高等职业教育电类专业规划教材——电气自动化系列

电机与电器控制

徐 锋 楼 平 主 编
郑向军 吴湘莲 副主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书结合高职院校职业教育课程改革的最新经验,在浙江省高职教育自动化类专业教学委员会指导下编写而成。全书共6章,重点讲述了三相异步电动机的结构、原理和基本控制环节,通用机床电气控制和故障分析,以及逻辑控制器的原理与基本应用。本书在编写过程中,以电动机控制作为主线,将电动机、电力拖动、低压电器和继电控制的基本知识有机地结合起来,力求避免烦琐的理论推导,突出应用性和实用性。

本书适合作为高职高专院校自动化专业、机电一体化专业和电气工程专业的教学用书,也可作为应用型本科院校、成人教育学院、函授学院、中职学校等相关专业的辅助教材,还可供从事电气自动化、维修电工等相关工作的工程技术人员阅读参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电机与电器控制/徐锋,楼平主编.--北京:清华大学出版社,2014

高等职业教育电类专业规划教材.电气自动化系列

ISBN 978-7-302-36337-8

I. ①电… II. ①徐… ②楼… III. ①电机—控制系统—高等职业教育—教材 ②电气控制—高等职业教育—教材 IV. ①TM301.2 ②TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 084712 号

责任编辑:帅志清

封面设计:傅瑞学

责任校对:袁芳

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>,010-62795764

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18 字 数:408千字

版 次:2014年9月第1版 印 次:2014年9月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:36.00元

产品编号:058228-01

编审委员会

主任：盛 健

副主任：张 耀

执行主编：高志宏(湖州职业技术学院)

委 员：徐 锋(台州职业技术学院)

王民权(宁波职业技术学院)

戴一平(浙江机电职业技术学院)

楼晓春(杭州职业技术学院)

楼 平(嘉兴职业技术学院)

吕梅蕾(衢州学院)

陈怀忠(浙江工业职业技术学院)

李方圆(浙江工商职业技术学院)



2009年9月,浙江省教育厅启动了省重点教材建设工作,希望利用全省高校的教学资源,努力形成一批高质量教材,以及时更新教学内容,保证优秀教学成果进课堂,提高人才培养水平和质量。省高职自动化教指委抓住这一有利时机,成立了教材建设小组,来自湖州职业技术学院、浙江机电职业技术学院等8所高职院校的骨干教师,参与了高职自动化系列教材的编写工作。建设小组对我省湖州市、杭州市等6个地区的50多家典型企业开展了深入的人才需求调研,梳理出高职自动化专业的核心技能要求,并以自动化技术应用为主线对教学内容进行了有效整合,形成了《电工基础》、《供配电技术》等核心课程,并根据需要首批建设5门核心课程教材。系列教材充分利用各个院校的课程改革成果,既对课程体系与教学内容进行创新,又合理体现各门课程之间的渗透与衔接;注重工学结合、理论联系实际。除《电工基础》教材外,其他均采用了项目驱动、理实一体的组织方式,书中的大多数实例都来自生产实际,且经过多年的教学实践;教材编著者都是来自教学一线的优秀教师,具有丰富的教学与实践经验,他们严谨认真的工作作风,保证了教材的编写质量。因此,系列教材在“系统性、实用性、可读性”上花了很大工夫,也形成了本套教材的特色。相信,本套教材的出版与发行必将有助于高职自动化专业的课程改革与创新,提高人才培养质量,从而为社会输送更多、更好的自动化高技能人才。

最后,真诚感谢各位教材编著者所付出的大量、卓有成效的劳动,感谢广大师生和社会各界所给予的良好建议与有益帮助。

浙江省高职高专自动化教指委主任委员:

2013年8月



本书结合了高职院校职业教育课程改革的最新经验,在浙江省高职教育自动化类专业教学委员会指导下编写而成。

本书重点讲述三相异步电动机的结构、原理和基本控制环节,通用机床电气控制和故障分析,以及逻辑控制器的原理与基本应用。本书在编写过程中,以电动机控制作为主线,将电动机、电力拖动、低压电器和继电控制的基本知识有机地结合起来。

在教材内容的选择上,本书以理论“必须和够用”为原则,力求避免烦琐的理论推导,突出应用性和实用性。在教学内容的编排上,遵循由浅入深、由简到繁的原则。本书对单相异步电动机、直流电动机和部分特种电动机的原理与应用也作了简单描述。为了便于读者理解,本书采用了大量的实物图片和模型图片;为了增加可读性,在语言描述上力求生动、风趣;为了增强知识的系统性,在前五章每一节的末尾有“知识链接”,作为相关知识的补充和扩展。

本书适合作为高职高专院校自动化专业、机电一体化专业和电气工程专业的教学用书,也可作为应用型本科院校、成人教育学院、函授学院、中职学校等相关专业的辅助教材,还可供从事电气自动化、维修电工等相关工作的工程技术人员阅读参考。

本书由台州职业技术学院徐锋、嘉兴职业技术学院楼平担任主编,徐锋负责统稿。徐锋编写了教材的第1、3、6章,楼平编写了教材的第2章,台州职业技术学院郑向军编写了第4章,嘉兴职业技术学院吴湘莲编写了第5章。浙江省第一届高职高专自动化教学委员会主任委员盛健教授审核全书,并对编写提出了诸多宝贵意见。

本书在编写过程中参考了大量互联网公开的文献资料,未逐一注明其出处,在此对相关作者一并表示感谢。

建议使用本书开展教学的老师将教学环境转移到实验实训室,并采用“教、学、做”一体的教学形式,讲授与实践可灵活编排。

由于编者水平所限,书中难免存在疏漏和不足,恳请广大读者批评指正。

徐 锋

2013年10月16日于台州



第 1 章 三相异步电动机及电力拖动基本知识	1
1.1 三相异步电动机的基本结构	1
1.1.1 三相异步电动机的结构	3
1.1.2 三相异步电动机的材料	4
知识链接 1.1 磁性材料与电磁铁	5
1.2 三相异步电动机的工作原理与铭牌参数	8
1.2.1 三相异步电动机的工作原理	8
1.2.2 三相异步电动机的铭牌参数	16
知识链接 1.2 电与磁的基本知识	19
1.3 三相异步电动机的机械特性	21
1.3.1 三相异步电动机机械特性的一般常识	22
1.3.2 三相异步电动机在不同条件下的机械特性	25
知识链接 1.3 异步电动机的工作特性	27
1.4 异步电动机的运行与负载特性	29
1.4.1 三相异步电动机的运行	29
1.4.2 生产机械的负载特性曲线	30
1.4.3 电动机的运行与特性曲线	32
1.4.4 三相异步电动机的稳定运行区	33
1.4.5 三相异步电动机的等效电路与能量	34
知识链接 1.4 同步电机介绍	36
第 2 章 三相异步电动机的应用与控制	41
2.1 三相笼式异步电动机的全压启动与控制	41
2.1.1 三相异步电动机的全压启动及特点	43
2.1.2 刀开关控制的电动机全压启动电路	44
2.1.3 接触器控制的单向全压启动控制电路	46
2.1.4 接触器控制的正、反转全压启动控制电路	53
2.1.5 三相异步电动机的位置控制	56
知识链接 2.1 电弧的基本知识	60
2.2 三相笼式异步电动机的降压启动与控制	64
2.2.1 三相笼式异步电动机Y- Δ 降压启动特点 与控制	64

2.2.2	三相笼式异步电动机自耦变压器降压启动与控制	71
2.2.3	三相笼式异步电动机的软启动	76
2.2.4	三相笼式异步电动机启动方法比较	79
	知识链接 2.2 带断相保护的热继电器介绍	79
2.3	三相绕线式异步电动机的启动与控制	82
2.3.1	三相绕线式异步电动机串电阻启动的特点	82
2.3.2	三相绕线式异步电动机串电阻启动控制	83
2.3.3	三相绕线式异步电动机转子串频敏变阻器启动控制	88
2.3.4	无刷无环启动器启动	89
	知识链接 2.3 电压继电器介绍	90
2.4	深槽式和双笼式异步电动机简介	91
2.4.1	深槽式异步电动机介绍	92
2.4.2	双笼式异步电动机介绍	93
	知识链接 2.4 感应式直线电动机介绍	94
2.5	三相异步电动机的制动与控制	97
2.5.1	制动的目的与方法介绍	98
2.5.2	三相异步电动机电源反接制动与控制	99
2.5.3	绕线式异步电动机倒拉反接制动原理与特点	104
2.5.4	三相异步电动机能耗制动与控制	106
2.5.5	三相异步电动机的再生发电制动与控制	108
2.5.6	异步电动机的运行与特性曲线	111
	知识链接 2.5 三相异步电动机的其他电气制动	111
2.6	三相异步电动机的电气调速与控制	113
2.6.1	三相异步电动机电气调速介绍	114
2.6.2	三相异步电动机的变极调速与控制	116
2.6.3	三相异步电动机的电磁调速与控制	123
2.6.4	三相异步电动机的变频调速与控制	125
	知识链接 2.6 电动机选择的内容与方法介绍	132
第3章 常用电力拖动设备的电气控制		137
3.1	CA6140 普通车床电气控制	137
3.1.1	普通车床的结构	137
3.1.2	CA6140 普通车床的电力拖动特点	139
3.1.3	CA6140 普通车床的原理分析	140
3.1.4	CA6140 普通车床的故障分析	142
	知识链接 3.1 电气故障检修的一般方法	145
3.2	M7130 平面磨床电气控制	150
3.2.1	M7130 平面磨床的结构	150

3.2.2	M7130 平面磨床的运动特点	150
3.2.3	M7130 平面磨床的电力拖动特点	151
3.2.4	M7130 平面磨床的原理分析	151
3.2.5	电磁吸盘介绍	153
3.2.6	M7130 平面磨床常见故障分析	154
	知识链接 3.2 兆欧表的使用方法介绍	154
3.3	X62W 万能铣床电气控制	156
3.3.1	X62W 万能铣床的结构	156
3.3.2	X62W 万能铣床的运动特点	157
3.3.3	X62W 万能铣床的电力拖动特点	157
3.3.4	X62W 万能铣床的原理分析	158
	知识链接 3.3 保护接地与保护接零	165
3.4	Z3040 摇臂钻床电气控制	168
3.4.1	Z3040 摇臂钻床的结构	168
3.4.2	Z3040 摇臂钻床的运动特点	170
3.4.3	Z3040 摇臂钻床的电力拖动特点	170
3.4.4	Z3040 摇臂钻床的原理分析	170
3.4.5	Z3040 摇臂钻床的常见故障分析	173
	知识链接 3.4 电动机的安全使用常识	174
3.5	桥式起重机电气控制	177
3.5.1	普通桥式起重机的结构	177
3.5.2	普通桥式起重机的电力拖动与控制特点	178
3.5.3	凸轮控制器及其控制电路	179
3.5.4	主令控制器的控制电路	183
3.5.5	凸轮控制器控制的桥式起重整机控制电路	188
3.5.6	桥式起重整机电路典型故障分析	190
	知识链接 3.5 起重类设备介绍	191
第 4 章	单相异步电动机基本知识及应用	193
4.1	单相异步电动机的结构与工作原理	193
4.1.1	单相异步电动机的基本结构与铭牌参数	194
4.1.2	单相异步电动机的磁场与原理	194
4.1.3	单相异步电动机的基本形式	197
	知识链接 4.1 单相异步电动机启动辅助电器介绍	199
4.2	单相异步电动机的应用与控制	201
4.2.1	单相异步电动机的正反转控制	201
4.2.2	单相异步电动机调速控制	202
	知识链接 4.2 单相异步电动机的选择	203

第 5 章 直流电动机的基本知识与控制	205
5.1 直流电动机的结构与工作原理	205
5.1.1 直流电动机的基本结构	206
5.1.2 直流电动机的工作原理及可逆运行	208
5.1.3 直流电动机的额定参数	209
5.1.4 直流电动机的种类	210
5.1.5 直流他励电动机工作特性与机械特性介绍	210
知识链接 5.1 永磁直流电动机介绍	213
5.2 直流并励电动机的电气控制	215
5.2.1 直流电动机的启动与控制	215
5.2.2 直流他励电动机的制动与控制	217
5.2.3 直流他励电动机的调速介绍	220
知识链接 5.2 无刷直流电动机介绍	223
第 6 章 可编程继电器的基本常识	226
6.1 可编程继电器控制系统的基本结构介绍	227
6.1.1 可编程继电器控制系统的基本组成	227
6.1.2 可编程继电器控制系统的简单连接	228
6.1.3 可编程继电器的应用程序和仿真	230
6.2 可编程继电器的结构与工作原理	232
6.2.1 可编程继电器输入电路及作用	233
6.2.2 可编程继电器的输出电路及作用	234
6.2.3 可编程继电器的程序及程序执行过程	236
6.2.4 可编程继电器的整体结构及工作特点	237
6.2.5 可编程继电器控制系统的等效电路	239
6.2.6 可编程继电器的简单应用实例	241
6.2.7 可编程继电器的基本单元	242
6.3 可编程继电器的内部资源及应用	244
6.3.1 输入/输出继电器(I、Q)	245
6.3.2 辅助继电器(M、H)	249
6.3.3 定时器(T、#)	251
6.3.4 计数器(C)	254
6.3.5 周定时器(@)	256
6.3.6 计数器/定时器比较器(P)	259
6.3.7 日历定时器(*)	259
6.3.8 按键输入位(B)	259
6.3.9 显示位(D)	261

6.4 可编程继电器控制系统的设计	262
6.4.1 可编程继电器控制系统的设计步骤	262
6.4.2 可编程继电器控制系统的程序设计	262
6.4.3 可编程继电器控制程序设计举例	266
参考文献	273



三相异步电动机及电力 拖动基本知识

1838年,在俄罗斯涅瓦河的一个码头上,人们惊奇地发现,一艘不烧煤、不燃油的机动船正缓缓驶过。至此,德国物理学家莫里兹·海尔曼·雅各比宣告世界上第一台能提供动力的电动机诞生。今天,电动机已广泛应用于工业、国防等经济建设各个领域。

【知识目标】

了解三相异步电动机的结构;了解三相异步电动机相关电、磁基本知识;掌握三相异步电动机的工作原理和机构特性;了解典型负载的特性;了解三相异步电动机的电力拖动特点。

【能力目标】

能正确理解三相异步电动机的工作原理和电动机机械特性和生产机构典型负载特性的意义;能读懂电动机的铭牌参数,会判断电动机的稳定工作点。

1.1 三相异步电动机的基本结构

丹麦科学家奥斯特在1820年发现了电流的磁效应,英国科学家法拉第经过实验证实存在电磁感应现象。电磁感应理论为电动机的发明奠定了基础。电力的产生和电动机的应用为人类现代文明奠定了物质基础。

电动机是一种把电能转变成机械能的电气设备,它能够代替人类完成各种复杂和繁重的工作。电动机无处不在,例如,家庭中使用的洗衣机、电冰箱、空调外机、排风扇,交通运输中使用的电瓶车、电力机车,企业中使用的机床、起重设备等,它们都是靠电动机来驱动的。人类若是离开了电动机,干起活来可就累了。图1-1所示是电动机应用的例子。



图 1-1 电动机应用举例

电动机形状不一,大小不同。小的电动机可以放在手掌上,大的电动机则要用汽车才拉得动。例如,笔记本电脑里面用于冷却的风扇电动机只有手指那么大;而用来拖动机车的牵引电动机的外壳直径就超过 1m。图 1-2 所示是几款电动机的外形。

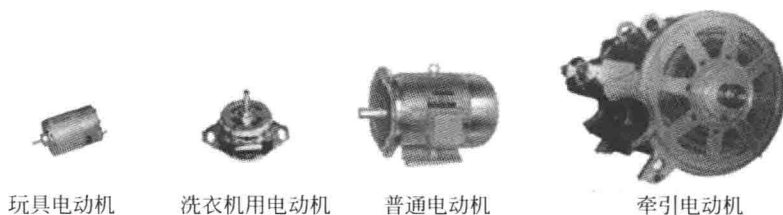


图 1-2 几款不同形状、大小的电动机



电动机的定义:电动机(Motors)是根据通电导线在磁场中受力而运动的原理制成的,是一种能量转换的电磁设备。电动机运行时,向电网系统吸收电能,然后将电能转换为机械能,通过电动机的轴输出,实现电能向机械能的转换。

电动机一般做旋转运动,例如动车上使用的电动机;也有做直线运动的电动机,例如磁悬浮列车上使用的驱动电动机。前者称为旋转电动机,后者称为直线电动机。在生产实践中,旋转电动机占绝大多数。

电动机工作效率高,功率范围大,工作时不污染环境,噪声小,能满足各种运行要求,且控制非常方便。所以,它在工农业生产、交通运输、国防、家电、医疗设备等方面得到广泛应用。

电动机种类繁多,其中,应用最为广泛的是三相异步电动机。三相异步电动机几乎占到电动机总量的 80% 以上,它是电动机家族中的主力军。三相异步电动机又分为鼠笼式异步电动机(简称笼式电动机)和绕线式异步电动机,笼式电动机又是主力中的主力。

电动机的发明具有划时代意义,它凝聚着丹麦物理学家奥斯特、英国科学家法拉第、德国科学家雅可比、美国发明家特斯拉等世界上一大批科学家的集体智慧。电动机的出现为欧洲第二次工业革命(Second Industrial Revolution)奠定了基础。

电动机是19世纪世界上最重大的发明哦!



1.1.1 三相异步电动机的结构

三相异步电动机分为笼式电动机和绕线式异步电动机两类,它们都是由定子和转子两大部件构成的。其中,笼式电动机使用最广泛。

图 1-3 所示为普通笼式电动机结构示意图。

1. 三相异步电动机的定子

电动机中固定不动的部分叫做定子,它由定子铁芯、定子绕组、机座等组成。定子和转子之间为气隙。

1) 定子铁芯

定子铁芯用来导磁和安放绕组,一般由 0.35~0.5mm 厚、表面涂有绝缘层的硅钢片叠压而成。在铁芯的内圆冲有均匀分布的槽,用以嵌放定子绕组。

2) 定子绕组

定子绕组用导电性能良好的铜线制成。将绕制成型的定子线圈放入定子槽,再将定子放入机座(壳),就构成完整的电动机定子。

图 1-4 所示为定子冲片、定子铁芯、散嵌线圈和定子示意图。

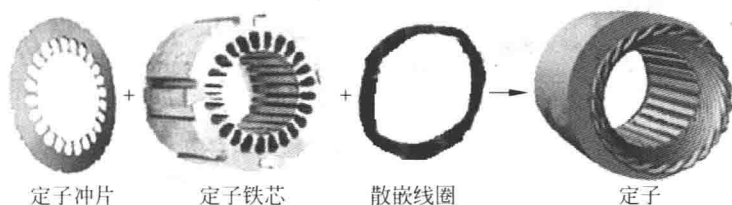


图 1-4 定子构成示意图

3) 机座

机座用于固定和支撑定子铁芯及端盖,因此要求它有一定的机械强度。中、小型电动机的机座一般用铸铁或铸铝浇注而成,大型电动机采用钢板焊接而成。

图 1-5 反映了铸铁机座的形状以及机座与定子的安装位置。

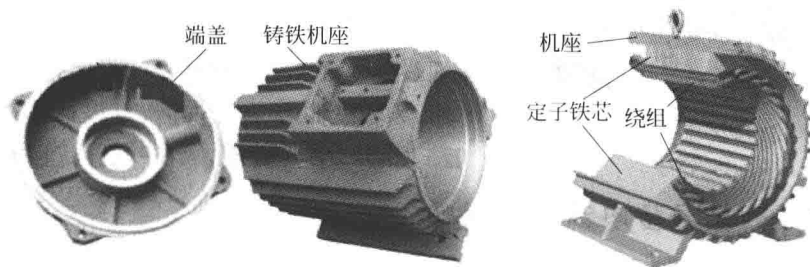


图 1-5 电动机机座与定子

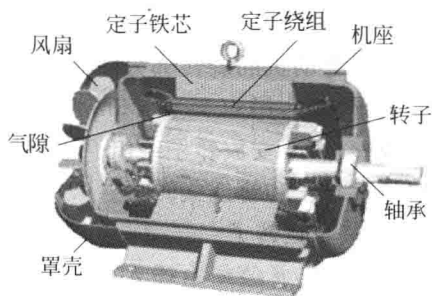


图 1-3 普通笼式电动机结构示意图

4) 气隙

定子与转子之间的空隙称为气隙。中、小型异步电动机的气隙一般为 $0.2 \sim 1.5 \text{mm}$ 。气隙的大小对电动机性能影响较大。气隙大,磁阻也大,产生同样大小的磁通所需的励磁电流就越大,电动机的功率因数也就越低。但气隙过小,会给电动机的装配造成困难,运行时定子和转子容易发生摩擦,使电动机运行不可靠。

2. 三相异步电动机的转子

异步电动机的旋转部分叫做转子。转子由转子铁芯和转子绕组构成。转子铁芯的材料与定子相同,用 $0.35 \sim 0.5 \text{mm}$ 厚的硅钢片冲制、叠压而成。硅钢片外圆冲有均匀分布的孔或槽,用来安放转子绕组。根据转子中安装的绕组结构,三相异步电动机的转子可分为鼠笼式转子和绕线式转子。

1) 鼠笼式转子

鼠笼式转子绕组由插入转子槽的多根导条和两个环形的端环组成。若去掉转子铁芯,整个转子绕组就像一个笼子(称为鼠笼),这也是鼠笼式异步电动机名称的由来。

中、小型鼠笼式异步电动机采用铸铝转子绕组,对于 100kW 以上的电动机,采用铜条和铜端环焊接而成。

图 1-6 所示为鼠笼式转子构成示意图。

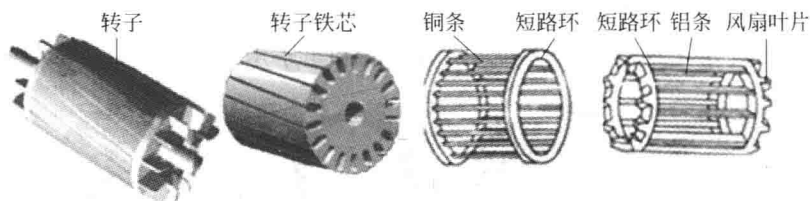


图 1-6 鼠笼式转子导体构成示意图

2) 绕线式转子

绕线式异步电动机转子绕组与定子绕组相似,是一个对称的三相绕组,一般接成星形。其 3 个出线头接到转轴的 3 个集电环上,再通过电刷与外电路连接。

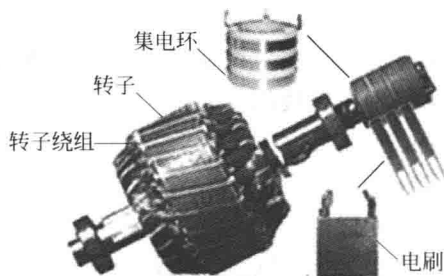


图 1-7 绕线式异步电动机转子

图 1-7 所示为绕线式异步电动机转子结构示意图。

绕线式异步电动机结构较复杂,应用不如鼠笼式异步电动机广泛。但绕线式异步电动机通过集电环和电刷在转子绕组回路中串入附加电阻、频敏变阻器等元件后,可以改善电动机的启动、制动及调速性能,故在一定范围内还有应用。

1.1.2 三相异步电动机的材料

三相异步电动机中使用的材料有 4 大类,即导电材料、导磁材料、机械支撑材料和绝缘材料。不光是三相异步电动机,其他电动机使用的材料也是一样的。

1. 导电材料

导电材料主要用于构成电动机的各种绕组,是电路的一部分。它通常用导电性能良好的铜、铝制成,例如,鼠笼式异步电动机的定子线圈和转子导条等。

2. 导磁材料

导磁材料主要用以构成电动机的磁路,通常用厚度为 0.35~0.5mm、两面涂有绝缘漆的导磁性能良好的硅钢片叠成。例如,鼠笼式异步电动机的铁芯等。

3. 机械支撑材料

机械支撑材料用铸铁、钢板或铝合金制成,用以安装电动机的各个组成部件。例如,鼠笼式异步电动机的外壳或机座等。

4. 绝缘材料

绝缘材料用来隔离带电部分与非带电部分,常用云母、陶瓷等材料制成。按国际电工协会规定,绝缘材料的绝缘等级共分 Y、A、E、B、F、H、C 七级。

绝缘材料的等级决定了电动机能承受的最高温度。当电动机温度过高时,首先遭到破坏的是绝缘材料。例如,高温下,绝缘材料加速老化,绝缘性能变差,甚至烧毁。电动机烧毁主要是指绝缘材料在高温下被烧毁、损坏。

绝缘材料是电动机内部最脆弱的材料哦!



表 1-1 所示为常用 5 种绝缘材料的极限允许温度。

表 1-1 绝缘材料的极限允许温度表

等级	绝缘材料	最高允许温度/℃	最高允许温升/℃
A	经过浸渍处理的棉、丝、纸板、木材和普通绝缘漆等	105	65
E	环氧树脂、聚酯薄膜、表壳纸、三醋酸纤维薄膜和高强度绝缘漆等	120	80
B	提高了耐热性能的有机漆作黏合剂的云母、石棉和玻璃纤维组合物	130	90
F	耐热优良的环氧树脂黏合或浸渍的云母、石棉和玻璃纤维组合物	155	115
H	硅有机树脂黏合或浸渍的云母、石棉和玻璃纤维组合物和硅有机橡胶	180	140



知识链接 1.1 磁性材料与电磁铁

电动机的工作原理是建立在电磁感应理论基础上的。磁性材料的出现为电动机的制造奠定了物质基础。那么,什么是磁现象?什么是磁性材料?磁性材料有什么特点?它在现代工农业生产中又有什么作用呢?

古代秦国宰相吕不韦编著的《吕氏春秋》中有“慈招铁，或引之也”的记载。当时的秦国人称“磁”为“慈”，把磁石吸引铁看做是母亲对子女的吸引。但石有“慈”和“不慈”两种，“慈爱”的石头能吸引他的子女，“不慈爱”的石头就不能吸引了。

西汉时候人们已经认识到磁只能吸引铁质材料，而不能吸引金、银、铜等金属和砖瓦之类的非金属材料。在战国时代，人们已经能够将玉石琢磨成各种形状的器具。采玉的工人用采来的玉制成一把勺子，他把勺子放在盘子里面转动、玩耍，发现勺子的柄总是指向南方，如图 1-8(a)所示。事实上，这块玉石是天然磁体。人们外出采玉石常常要到很远的地方，经常会迷路。这个发现让工人高兴不已，这把勺子不是正好可以指明方向吗？

北宋的沈括在《梦溪笔谈》中提到：“方家以磁石摩针锋，则针能指南。”按沈括的说法，当时的人用磁石去摩擦缝衣针，就能使针变成指南针，也就是说，针带上了磁性。从现在的观点来看，沈括在故事中提到的现象就是物体的磁化现象。现代科学已经证明，有些原本对外不显示磁性的材料，经磁化处理后能变成具有很强磁性的磁体。磁化理论为后人制造永磁体奠定了基础。

1820 年，丹麦物理学家奥斯特发现了电流的磁效应，为人类制造电磁铁提供了理论依据。天然磁石(主要是指磁铁矿，如四氧化三铁等)的磁性很弱，因此使用范围十分有限。但电磁铁(人造磁铁)的磁性可以做到很强，并且易于控制，因而得到广泛应用。

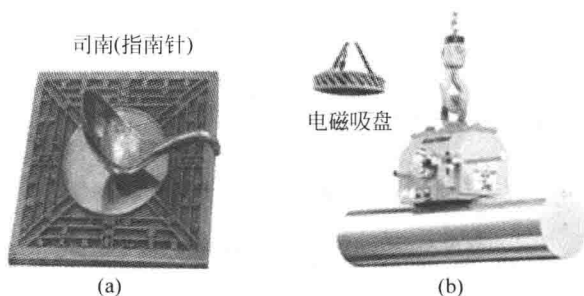


图 1-8 天然磁体与人造磁铁的应用

图 1-8(b)所示是起重机上的电磁吸盘。它具有很强的磁性，可以吸起比自身重量大几十倍的磁性物体。很多低压电器的动作机构都采用电磁铁来驱动。

图 1-9(a)和图 1-9(b)所示分别为直流接触器的结构和工作原理示意图。

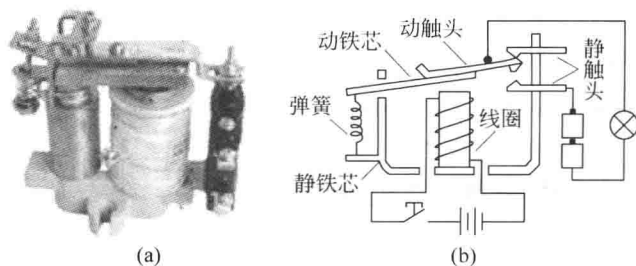


图 1-9 电磁铁在继电器中的应用