

全国高等职业教育规划教材

自动化类专业

国家级精品课程配套教材

电机与电气 控制项目教程

徐建俊 主编

王庆海 主审

- 通过电子教案和精品课程网站提供丰富的教学资源
- 融入项目导向、任务驱动的教学理念
- 适合“教学做”一体化的教学模式

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



 免费下载电子教案
<http://www.cmpedu.com>

全国高等职业教育规划教材
自动化类专业
国家级精品课程配套教材

电机与电气控制项目教程

徐建俊 主编
王庆海 主审



机械工业出版社

本教材以“工学结合、项目引导、‘教学做’一体化”为编写原则,涵盖电机与拖动、工厂电气控制设备、PLC 三个方面,共分 8 个单元,内容包括异步电动机及其拖动控制设计与实现、低压电气控制系统设计与应用、变压器、直流电动机与拖动控制、PLC 的基础知识、FX2N 系列 PLC 基本指令的应用和电气 CAD。每个单元内容由课程组从企业生产实践选题,再设计成教学项目,试做后编入教材,实用性极强。

本教材适用于高职高专电气信息类和机电类专业师生。

图书在版编目 (CIP) 数据

电机与电气控制项目教程/徐建俊主编. —北京:机械工业出版社, 2008.9

全国高等职业教育规划教材. 自动化类专业. 国家级精品课程配套教材
ISBN 978-7-111-24515-5

I. 电… II. 徐… III. ①电机学-高等学校:技术学校-教材②电气控制-高等学校:技术学校-教材 IV. TM3 TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 095997 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:祝伟 版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

责任印制:杨曦

三河市国英印务有限公司印刷

2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.25 印张 · 448 千字

0001—5000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-24515-5

定价:29.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379753 88379739

封面防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 机电类专业编委会成员名单

主 任 吴家礼

副 主 任 任建伟 李望云 张 华 梁 栋
盛靖琪

委 员 (排名不分先后)

陈志刚 陈剑鹤 韩满林 李柏青

盛定高 张 伟 李晓宏 刘靖华

陈文杰 程时甘 韩全立 张宪立

胡光耀 苑喜军 李新平 吕 汀

杨华明 刘达有 程 奎 李益民

吴元凯 王国玉 王启洋 杨文龙

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 郝秀凯

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

“电机与电气控制”是高职高专电气类专业和机电类专业的一门专业基础课程。本教材根据高职高专的培养目标，结合高职高专的教学改革和课程改革，本着“工学结合、项目引导、‘教学做’一体化”的原则编写而成。

本教材结合“电机与电气控制”的课程改革与建设，由学校、企业、行业专家组成教材编写组合作开发。本教材彻底打破课程的学科体系，打破理论和实践教学的界线，在内容上为“双证融通”的专业培养目标服务，在方法上适合“教学做”一体的教学模式改革。即在“双证融通”的专业培养目标指导下，将课程内容与技能认证的需要相融合，确定为若干专题进行学习和探索。每个专题内容由课程编写小组从企业生产实践选题，再设计成教学项目，试做后编入教材，做到学生需要什么就教什么，教什么就练什么，练什么就会什么，重视职业技能训练和职业能力培养。同时，本教材加强了新技术、新工艺、新方法、新知识的介绍，特别是书中图例尽量采用了最新的《电气简图用图形符号》国家标准。

本教材内容丰富，不同专业在选用时可根据本专业的教学计划及教学要求合理选用。参考教学时数为 60 学时。

因篇幅有限，建议在教学中合理使用现代化的教学手段，如 CAI 及计算机网络，要求学生能使用电气 CAD 软件做有关习题，并利用网络查阅相关技术的发展动向、了解新产品。

本书由“电机与电气控制”国家级精品课程负责人、淮安信息职业技术学院徐建俊副教授担任主编，并编写第 1、2、3 单元；周奎编写第 4、5 单元；史宜巧编写第 6、7 单元；于建明编写第 8 单元。清江变压器股份有限公司总工程师王庆海高级工程师担任本书的主审。同时，要感谢编写组的徐敏捷高级工程师、彭波工程师在本书编写过程中给予的大力支持和帮助！

精品课程网址：<http://210.29.224.35/ec3.0/C29/zcr-1.htm>。

由于作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，欢迎各位读者批评指正。

目 录

出版说明	
前言	
绪论	1
第1单元 异步电动机	3
1.1 专题1 认识异步电动机	3
1.1.1 异步电动机的结构与原理	3
1.1.2 异步电动机的铭牌数据	6
1.2 专题2 异步电动机的拖动方式	7
1.2.1 三相异步电动机的机械特性	7
1.2.2 三相异步电动机的起动方式	9
1.2.3 三相异步电动机的调速方式	11
1.2.4 三相异步电动机的反转与制动方式	12
1.3 专题3 异步电动机的常见故障维修	13
1.3.1 起动前的准备	13
1.3.2 起动时的注意事项	14
1.3.3 运行中的监视	14
1.3.4 电动机的定期维修	14
1.3.5 常见故障及排除方法	15
1.4 项目1 异步电动机的拆装	17
1.4.1 任务1 异步电动机的拆卸	17
1.4.2 任务2 电动机的装配	17
1.4.3 任务3 装配后的检查	22
1.4.4 任务4 异步电动机拆装项目训练步骤与工艺要求	22
1.5 项目2 三相异步电动机定子绕组首尾端的判别	25
1.5.1 任务1 用36V交流电源和灯泡判别首尾端	25
1.5.2 任务2 用万用表或微安表判别首尾端	25
1.5.3 任务3 定子首尾端的判别项目训练步骤与工艺要求	26
*1.6 专题4 其他类型的异步电动机及其应用	26
1.6.1 单相异步电动机故障分析与排除	26
1.6.2 交流测速发电机	29
1.6.3 交流伺服电动机	31
1.6.4 反应式步进电动机	32
第2单元 异步电动机的拖动控制设计与实现	34
2.1 专题1 电气控制的基本知识	34
2.1.1 电器元件	34
2.1.2 电气图	37
2.1.3 电气控制线路的制作方式	39
2.2 项目1 异步电动机的典型控制任务及实现	41
2.2.1 任务1 单向点动控制	41
2.2.2 任务2 单向起动控制	52
2.2.3 任务3 正反向起动控制	57
2.2.4 任务4 双重联锁的正反向起动控制	60
2.2.5 任务5 电动机行程控制	62
2.2.6 任务6 电动机的自动往复循环控制	65
2.3 项目2 笼型异步电动机的Y-Δ起动控制任务及实现	67
2.3.1 任务1 手动Y-Δ起动控制	67
2.3.2 任务2 按钮转换的Y-Δ起动控制	69
2.3.3 任务3 时间继电器转换的Y-Δ起动控制	72
2.4 项目3 异步电动机的制动控制任务及实现	75
2.4.1 任务1 反接制动控制	75
2.4.2 任务2 能耗制动控制	78
*2.5 专题2 异步电动机的保护	79
2.5.1 短路保护	80
2.5.2 过载保护	81
2.5.3 过电流保护	82
2.5.4 欠电压保护	82
2.5.5 零电压保护(失电压保护)	82
2.5.6 漏电保护	83

2.6 专题3 电控线路故障诊断与维修	84	4.4.2 仪用互感器	136
2.6.1 电气设备的维护和保养	84	4.5 项目 变压器常见故障及修理	138
2.6.2 电控线路的故障检修	85	4.5.1 任务1 小型变压器的常见故障分析与处理	138
第3单元 低压电气控制系统设计与应用	89	4.5.2 任务2 小型变压器的重绕修理	139
3.1 专题1 电气控制系统设计	89	4.5.3 任务3 小型变压器线包骨架制作训练步骤与工艺要求	141
3.1.1 电气控制系统设计的主要内容	89	第5单元 直流电动机与拖动控制	142
3.1.2 电气控制系统的设计	89	5.1 专题1 直流电机的基本知识	142
3.1.3 生产机械设备对电气线路的基本要求	92	5.1.1 直流电动机的工作原理	142
3.2 项目1 普通车床的电气控制系统	92	5.1.2 直流电机的结构与分类	143
3.3 项目2 平面磨床的电气控制系统	95	5.1.3 直流电机的铭牌数据	145
3.4 项目3 摇臂钻床的电气控制系统	98	5.1.4 直流电动机的机械特性	146
3.5 项目4 铣床的电气控制系统	102	5.2 项目1 直流电动机的拖动及实现	148
3.6 项目5 组合机床的电气控制系统	109	5.2.1 任务1 直流电动机起动和反转控制及实现	148
3.7 项目6 桥式起重机的电气控制系统	113	5.2.2 任务2 直流电动机的调速控制及实现	150
第4单元 变压器	122	5.2.3 任务3 直流电动机的制动控制及实现	153
4.1 专题1 变压器的构造和基本原理	122	5.3 项目2 直流电动机的故障分析及维修	158
4.1.1 变压器的构造和分类	122	5.3.1 任务1 直流电动机的常见故障与处理方法	158
4.1.2 变压器的基本工作原理	124	5.3.2 任务2 直流电动机修理后的检查和试验	159
4.1.3 变压器的铭牌数据	125	第6单元 PLC 的基础知识	161
4.2 专题2 变压器的运行方式和试验方式	126	6.1 专题1 PLC 概述	161
4.2.1 变压器的运行方式	126	6.1.1 PLC 的定义	161
4.2.2 单相变压器的试验方式	128	6.1.2 PLC 控制系统与继电器接触器控制系统的比较	161
4.3 专题3 三相变压器及其应用	129	6.1.3 常用PLC简介	162
4.3.1 三相变压器的磁路	129	6.1.4 PLC 的应用领域	163
4.3.2 变压器的联结组	130	6.2 专题2 PLC 的组成与工作原理	164
4.3.3 三相变压器的并联运行	133	6.2.1 PLC 的组成	164
4.4 专题4 特种变压器	135	6.2.2 PLC 的工作原理	165
4.4.1 自耦变压器	136		

6.3 专题3 PLC的编程语言与编程方法	166
6.3.1 PLC的编程语言	166
6.3.2 PLC的编程方法	168
6.4 专题4 FX2N系列PLC的型号、安装与接线	169
6.4.1 FX2N系列PLC的型号	169
6.4.2 FX2N系列PLC的安装及接线	170
6.5 专题5 FX-20P-E手持编程器的使用	173
6.5.1 FX-20P-E手持编程器的组成与面板布置	173
6.5.2 FX-20P-E手持编程器工作方式选择	175
6.5.3 指令的读出	176
6.5.4 指令的写入	177
6.5.5 指令的插入	178
6.5.6 指令的删除	179
6.5.7 对PLC编程元件与基本指令通/断状态的监视	179
6.5.8 对编程元件的测试	182
6.5.9 脱机(OFFLINE)编程方式	183
6.6 专题6 SWOPC-FXGP/WIN-C编程软件的使用	185
6.6.1 概述	185
6.6.2 程序编制	188
6.6.3 程序的检查	190
6.6.4 程序的传送	191
6.6.5 软元件的监控和强制执行	191
6.6.6 其他菜单及目录的使用	193
6.7 专题7 GXDeveloper编程软件的使用	194
6.7.1 GXDeveloper编程软件的主要功能	194
6.7.2 系统配置	195
6.7.3 GXDeveloper编程软件的安装	195
6.7.4 GXDeveloper编程软件的界面	195
6.7.5 工程的创建和调试范例	196
第7单元 FX2N系列PLC基本指令的应用	203
7.1 项目1 三相异步电动机的	

点动运行控制	203
7.1.1 编程的基本知识	203
7.1.2 项目控制要求	206
7.1.3 I/O(输入/输出)分配表与编程	207
7.1.4 硬件接线	207
7.1.5 研讨与训练	207
7.2 项目2 三相异步电动机的连续运行控制	208
7.2.1 编程的基本知识	208
7.2.2 项目控制要求	212
7.2.3 I/O(输入/输出)分配表与编程	213
7.2.4 硬件接线	214
7.2.5 研讨与训练	214
7.3 项目3 三相异步电动机的正反转控制	215
7.3.1 编程的基本知识	215
7.3.2 项目控制要求	219
7.3.3 I/O(输入/输出)分配表与编程	219
7.3.4 硬件接线	221
7.3.5 研讨与训练	222
7.4 项目4 两台电动机顺序启动、逆序停止控制	222
7.4.1 编程的基本知识	222
7.4.2 项目控制要求	229
7.4.3 I/O(输入/输出)分配表与编程	230
7.4.4 硬件接线	230
7.4.5 研讨与训练	230
7.5 项目5 Y- Δ 减压起动控制	233
7.5.1 编程的基本知识	233
7.5.2 项目控制要求	236
7.5.3 I/O(输入/输出)分配表与编程	236
7.5.4 硬件接线	239
7.5.5 研讨与训练	239
7.6 项目6 五组抢答器控制	242
7.6.1 编程的基本知识	242
7.6.2 项目控制要求	244
7.6.3 I/O(输入/输出)分配表与	

编程	244	8.2 项目 典型电气控制电路	
7.6.4 硬件接线	245	绘制	255
7.6.5 研讨与训练	246	8.2.1 任务1 标准方案的建立	255
第8单元 电气CAD	249	8.2.2 任务2 点动、连续控制电路 ...	259
8.1 专题1 Pcschematic 软件		8.2.3 任务3 正反转控制电路	264
概述	249	8.2.4 任务4 星—三角减压起动控制	
8.1.1 工作界面	249	电路	266
8.1.2 菜单栏	249	8.3 专题2 提高部分	269
8.1.3 程序工具栏	252	8.3.1 高级绘图功能	269
8.1.4 命令工具栏	252	8.3.2 布置接线端子和电缆符号	271
8.1.5 符号选取栏	254	8.3.3 创建符号	272
8.1.6 编辑栏	254	8.3.4 PLC 功能	279

绪 论

1. 电机与电气控制在国民经济中的作用

电能是现代社会最常用且极为普遍的一种二次能源。电能具有许多优点，它的生产、传输、控制和使用都比较方便，且效率较高，因而广泛应用于工农业生产、交通运输、科技研发、信息传输及日常生活中，极大地推动了科学技术的进步和生产力的发展。

电机是与电能的生产、传输和使用有着密切关系的电磁机构。将自然界的一次能源如水能、热能、风能和原子能等转换为电能需用发电机，它是电厂的主要电气设备。为了经济地使用和分配电能，需用变压器，它是电力系统的主要电气设备之一。其他各行业都大量使用各种电动机作为原动机，用以拖动各种机械设备，这称为电力拖动。在军事、信息和各种自动控制系统中，则应用大量的控制电机，作为检测、执行和计算等元件。在医疗、文教和日常生活中，电机的应用也十分广泛。

随着电机及电力拖动技术的发展，电机控制技术也发展迅速。特别是随着数控、电力电子、计算机及网络等技术的发展，电力拖动正向自动控制系统——无触点控制系统、计算机控制系统迈进。

2. 课程的性质和任务

“电机与电气控制”是电气信息类专业的一门专业基础课，在专业的整个课程体系中，它起着承上启下的作用。与它密切相关的先行课程是电路基础，它所服务的后续课程是电力电子技术、工厂供电、自动控制与系统等课程。

本课程的任务是培养学生掌握相关的基本理论、学会电机控制的基本实现方法与维修技能，能借助计算机及相关软件来帮助该课程的学习，最后形成较高的专业技术应用能力。

3. 学习本课程应掌握的基本电磁理论

(1) 载流导体在磁场中受力

带有电流的直导线放在磁场中将受到磁场力的作用。力的方向由左手定则确定，即让磁力线穿过掌心，若四指的指向为导体中的电流方向，则拇指的指向为导体的受力方向。

(2) 电磁感应定律

导体切割磁力线时，导体中会产生感应电动势。感应电动势的方向由右手定则判断，即让磁力线穿过掌心，若拇指所指方向为导体在磁场中的运动方向，则四指的指向为导体中感应电动势的方向。

4. 课程教学方法建议

(1) 实施“四个嵌入”模式的课程体系改革。

“将中高级电工、电气 CEAC 培训体系嵌入学历教育体系，将职业资格认证体系嵌入课程体系，将行业标准嵌入课程标准，将企业文化嵌入课程培育环境”。建立课程与职业技能认证的对等关系，大力推行并组织中高级电工认证工作。

(2) 加强校内外实践教学基地建设，深化实践教学改革。

按照理论实践一体化的“课堂—实验（训）室”的建设理念，保证校内实验实训室能

满足“教学—实践”一体化的需要。另外，建立校外实训基地，安排学生开展课程认识实习和相关现场教学，熟悉真实的工厂环境与实际操作。

优化实践教学内容，建议实施“4自”实践教学模式。根据高职高专教学目标的要求，我们对该门课程增加实践教学章节，从基础实验、电机拆装、电气综合设计几个方面入手，借助计算机及相关软件，对实践教学内容进行了安排。在实施过程中全面倡导“4自”性实践，即自选实践教学的训练内容，自行设计方案并完成相关准备，自助式发现、分析和解决实践过程中的问题，自检实践结果。

(3) 加强教学方法手段改革，实施“教、学、做”一体化的教学方法。

采用“教学做”一体的教学模式，建设课程教学网站，建立了课程的网络教学资源库，学生可在线学习、交流和测试，丰富了课程教学方法和手段。

(4) 加强社会考核，实施讲、做、练、问、考、测等多种形式的考核方法。

依据多元化考核思想，制定了理论、实验、设计、实习考核标准及细则，注重过程考核，并将理论实践考核、网络在线考核、作业、课堂提问、教学考勤等因素考虑进去，因材施教，最终形成综合成绩。同时，技能考核借用社会考核，以证代考，实行“一书多证”，提高学生在人才市场上的竞争力。

第1单元 异步电动机

1.1 专题1 认识异步电动机

电机是电动机和发电机的统称，它是一种实现机电能量转换的电磁装置。拖动生产机械，将电能转换为机械能的电机称为电动机；作为电源，将机械能转换为电能的电机称为发电机。由于电流有交流、直流之分，所以电机也分为交流电机和直流电机两大类。在交流电机中，根据电机工作原理的不同，又有异步电机与同步电机之分。

1.1.1 异步电动机的结构与原理

异步电动机是通过一旋转的磁场，与转子绕组内所感生的电流相互作用，而产生电磁转矩来实现转动。所谓旋转磁场就是一种极性和大小不变，且以一定转速旋转的磁场。从理论分析和实践证明，在对称三相绕组中流过对称三相交流电时会产生这种旋转磁场。

所谓三相对称绕组就是三个外形、尺寸、匝数都完全相同，首端彼此互隔 120° ，对称地放置到定子槽内的三个独立的绕组。由电网提供的三相电压是对称三相电压，由于对称三相绕组组成的三相负载是对称三相负载，每相负载的复阻抗都相等，所以流过三相绕组的电流也必定是对称三相电流。

对称三相电流的函数式表示为：

$$\begin{aligned}i_u &= I_m \sin \omega t \\i_v &= I_m \sin(\omega t - 120^\circ) \\i_w &= I_m \sin(\omega t + 120^\circ)\end{aligned}\quad (1-1)$$

注意：旋转磁场的旋转方向是由通入三相绕组中的电流的相序决定的。当通入三相对称绕组的对称三相电流的相序发生改变时，即将三相电源中的任意两相绕组接线互换，旋转磁场就会改变方向。旋转磁场的转速为：

$$n_1 = \frac{f_1}{p} (\text{r/s}) = \frac{60f_1}{p} (\text{r/min}) \quad (1-2)$$

式中， f_1 为交流电的频率（Hz）； p 为磁极的对数。

用 n_1 表示的旋转磁场的转速，称为同步转速，简称同步速。

1. 三相异步电动机的工作原理

图 1-1 是三相异步电动机的工作原理图。定子上装有对称三相绕组，当定子接通三相电源后，即在定、转子之间的气隙内建立了一同步转速为 n_1 的旋转磁场。磁场旋转时将切割转子导体，根据电磁感应定律可知，在转子导体中将产生感应电动势，其方向可由右手定则确定。磁场顺时针方向旋转，导体相对磁极为逆时针方向切割磁力线。转子上半边导体感应电动势的方向为向外，用 $\odot$ 表示；下半边导体感应电动势的方向为向内，用 $\otimes$ 表示。因转子绕组是闭合的，转子导体中产生电流，电流方向与感应电动势的方向相同。载流导体在磁场

中要受到电磁力，其方向由左手定则确定，如图 1-1 所示。这样，在转子导条上形成一个顺时针方向的电磁转矩，于是转子就随着旋转磁场顺时针方向转动。从工作原理看，不难理解三相异步电动机为什么又叫感应电动机了。

综上所述，三相异步电动机能够转动的必备条件有两个，一是电动机的定子必须产生一个在空间不断旋转的磁场，二是电动机的转子必须是闭合导体。

转子的旋转方向与旋转磁场的转向相同，但转子的转速 n 不等于旋转磁场的同步转速 n_1 ，否则磁场与转子

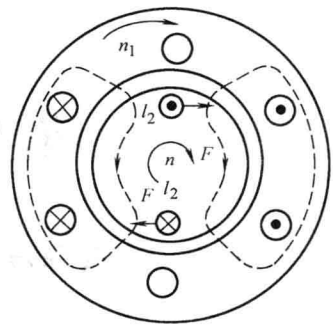


图 1-1 三相异步电动机的工作原理

之间便无相对运动，转子就不会有感应电动势、电流与电磁转矩，转子也就根本不可能转动了。因此，异步电动机的转子转速 n 总是略小于旋转磁场的同步转速 n_1 ，即与旋转磁场“异步”地转动，所以称这种电动机为“异步”电动机。若三相异步电动机带上机械负载，负载转矩越大，则电动机的“异步”程度也越大。在分析中，用“转差率”这个概念来反映“异步”的程度。 n_1 与 n 之差称为“转差”，转差是异步电动机运行的必要条件。转差与同步转速之比称为“转差率”，用 s 表示。

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (1-3)$$

转差率是异步电动机的一个基本参量。一般情况下，异步电动机的转差率变化不大，空载转差率在 0.005 以下，满载转差率在 0.02 ~ 0.06 之间。可见，额定运行时，异步电动机的转子转速非常接近同步转速。

例 1-1 已知一台四极三相异步电动机转子的额定转速为 1430r/min，求它的转差率。

解：同步转速

$$n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 \times 50}{2} \text{r/min} = 1500 \text{r/min}$$

转差率

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0.047$$

例 1-2 已知一台异步电动机的同步转速 $n_1 = 1000 \text{r/min}$ ，额定转差率 $s_N = 0.03$ ，问该电动机额定运行时转速是多少？

解：由式 (1-3) 可得

$$n_N = n_1 (1 - s_N) = 1000 \text{r/min} \times (1 - 0.03) = 970 \text{r/min}$$

2. 三相异步电动机的基本结构

三相异步电动机主要由定子和转子两大部分组成，定子与转子之间是气隙，如图 1-2 所示。

(1) 异步电动机的定子

异步电动机的定子由机座、定子铁心和定子绕组三部分组成。

1) 机座：其作用主要是为了固定与支撑定子铁心，因此必须具备足够的机械强度和刚度。另外，它也是电动机磁路的一部分。中小型异步电动机通常采用铸铁机座，并根据不同

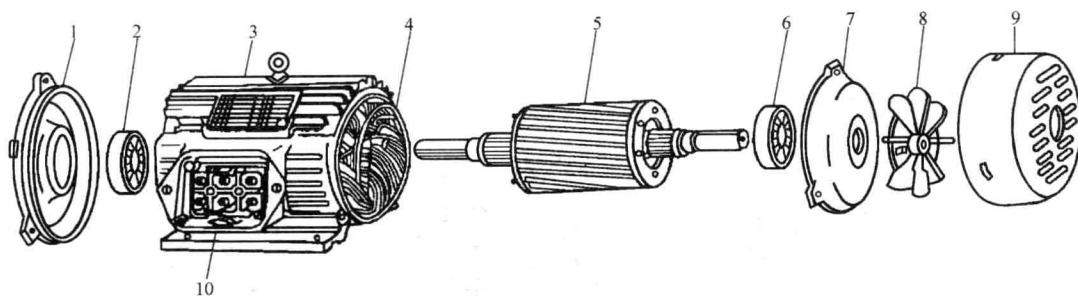


图 1-2 笼型三相异步电动机的结构

1、7—端盖 2、6—轴承 3—外壳 4—定子绕组 5—转子 8—风扇 9—风罩

的冷却方式采用不同的机座形式。对大型电动机，一般采用钢板焊接机座。

2) 定子铁心：它是异步电动机磁路的一部分，铁心内圆上冲有均匀分布的槽，用以嵌放定子绕组，如图 1-3 所示。为降低损耗，定子铁心用 0.5mm 厚的硅钢片叠装而成，硅钢片的两面涂有绝缘漆。

3) 定子绕组：它是三相对称绕组，当通入三相交流电时，能产生旋转磁场，并与转子绕组相互作用，实现能量的转换与传递。

(2) 异步电动机的转子

异步电动机的转子是电动机的转动部分，由转子铁心、转子绕组及转轴等部件组成。它的作用是带动其他机械设备旋转。

1) 转子铁心：转子铁心的作用与定子铁心的作用相同，也是电动机磁路的一部分，在转子铁心外圆均匀的冲有许多槽，用来嵌放转子绕组。转子铁心也是用 0.5mm 的硅钢片叠压而成，整个转子铁心固定在转轴上。图 1-4 是转子铁心冲片槽形图。

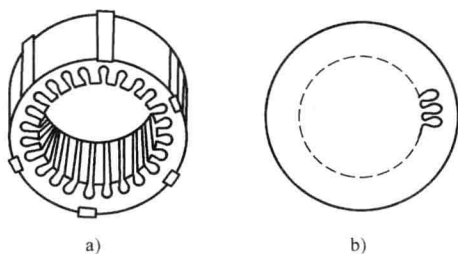


图 1-3 异步电动机定子铁心及冲片

a) 定子铁心 b) 定子铁心冲片

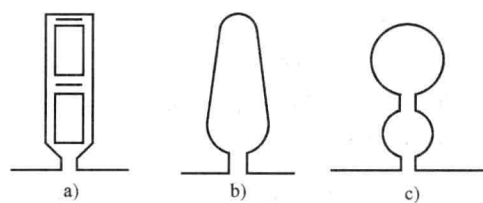


图 1-4 异步电动机转子铁心冲片槽形图

a) 绕线转子异步电动机转子槽形 b) 单笼型转子槽形 c) 双笼型转子槽形

2) 转子绕组：三相异步电动机按转子绕组的结构可分为绕线转子和笼型转子两种。根据转子的不同，异步电动机分为绕线转子异步电动机和笼型异步电动机。绕线转子绕组与定子绕组相似，也是嵌放在转子铁心槽内的对称三相绕组，通常采用 Y 形接法。转子绕组的三条引线分别接到三个滑环上，用一套电刷装置以便与外电阻接通。一般把外接电阻串入转子绕组回路中，用以改善电动机的运行性能，如图 1-5 所示。笼型转子绕组与定子绕组大不相同，它是一个短路绕组。在转子的每个槽内放置一根导条，每根导条都比铁心长，在铁心的

两端用两个铜环将所有的导条都短路起来。如果把转子铁心去掉，剩下的绕组形状像个鼠笼，因此叫笼型转子。槽内导条材料有铜的，也有铝的。如图 1-6 所示。

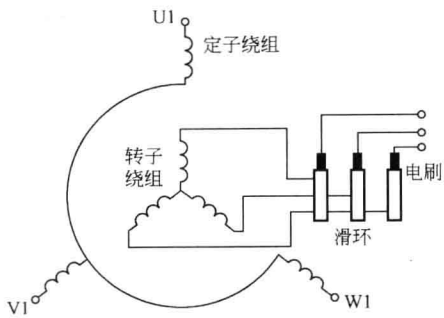


图 1-5 绕线转子异步电动机定、转子绕组接线方式

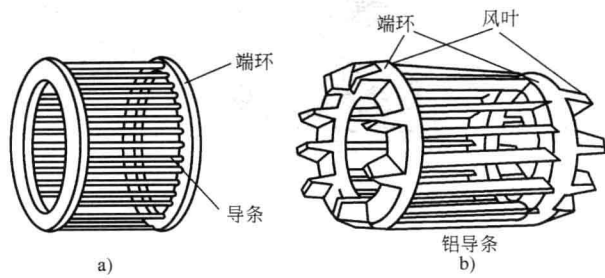


图 1-6 三相异步电动机的笼型转子
a) 铜条转子 b) 铸铝转子

(3) 气隙

异步电动机的气隙比同容量的直流电动机的气隙要小得多。中型异步电动机的气隙一般为 0.12 ~ 2mm。

异步电动机的气隙过大或过小都会对异步电动机的运行产生不良影响。因为异步电动机的励磁电流是由定子电流提供的，气隙大则磁阻大，要求的励磁电流也大，从而降低了异步电动机的功率因数。为了提高功率因数，应尽量让气隙小些。但也不能过小，否则装配困难，转子还有可能与定子发生机械摩擦。另外，从减少附加损耗及高次谐波磁势产生的磁通来看，气隙大一点也有好处。

1.1.2 异步电动机的铭牌数据

异步电动机的机座上都有一个铭牌，铭牌上标有型号和各种额定数据。

1. 型号

为满足工农业生产的不同需要，电机生产厂家生产了多种型号的电动机，每一种型号代表一系列电机产品。同一系列电机的结构、形状相似，零部件通用性很强，容量是按一定比例递增的。

型号是选用产品名称中最有代表意义的大写字母及阿拉伯数字表示的。例如，Y 表示异步电动机，R 代表绕线式，D 表示多速等，如图 1-7 所示。

国产异步电动机的主要系列有：

Y 系列：全封闭、自扇风冷、笼型

异步电动机。该系列具有高效率、起动转矩大、噪声低、振动小、性能优良和外形美观等优点。

DO₂ 系列：微型单相电容运转式异步电动机。广泛用作录音机、家用电器、风扇、记录仪表的驱动设备。

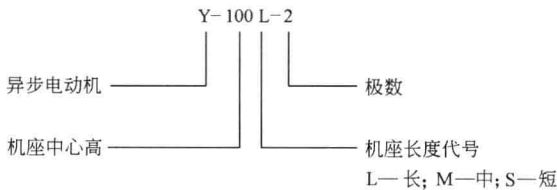


图 1-7 异步电动机型号的表示

2. 额定值

额定值是设计、制造、管理和使用电动机的依据。

1) 额定功率 P_N ：是指电动机在额定负载运行时，轴上所输出的机械功率，单位为 W 或 kW。

2) 额定电压 U_N ：是指电动机正常工作时，定子绕组所加的线电压，单位为 V。

3) 额定电流 I_N ：是指电动机输出功率时，定子绕组允许长期通过的线电流，单位为 A。

4) 额定频率 f_N ：我国的电网频率为 50Hz。

5) 额定转速 n_N ：是指电动机在额定状态下，转子的转速；单位为 r/min。

6) 绝缘等级：是指电动机所用绝缘材料的等级。它规定了电动机长期使用时的极限温度与温升。温升是绝缘允许的温度减去环境温度（标准规定为 40℃）和测温时方法上的误差值（一般为 5℃）。

7) 工作方式：电动机的工作方式分为连续工作制、短时工作制、断续周期工作制三类。选用电动机时，不同工作方式的负载应选用对应的工作方式的电动机。此外，铭牌上还标明绕组的相数与接法（接成 Y 形或 Δ 形）等。对绕线转子异步电动机，还标明转子的额定电势及额定电流。

3. 铭牌举例

以 Y 系列三相异步电动机的铭牌为例，见表 1-1。

表 1-1 三相异步电动机的铭牌

三 相 异 步 电 动 机					
型号	Y90L-4	电压	380V	接法	Y
功率	1.5kW	电流	3.7A	工作方式	连续
转速	1400r/min	功率因数	0.79	温升	75℃
频率	50Hz	绝缘等级	B	出厂年月	×年×月
×××电机厂		产品编号	重量	公斤	

【问题研讨】

- (1) 三相交流电产生的磁场与单相交流电、直流电产生的磁场有什么区别？
- (2) 交流电动机的转向由什么决定？实际操作中如何改变它的转向？
- (3) 交流电动机的主要参数之一转差率 s 有何意义？
- (4) 为什么交流电动机会采用不同的转子形式？
- (5) 现代交流电动机在结构上有何发展趋势？
- (6) 交流电动机在生产生活中有哪些典型的应用？

1.2 专题 2 异步电动机的拖动方式

1.2.1 三相异步电动机的机械特性

机械特性是指在一定条件下，电动机的转速与转矩之间的关系，即 $n = f(T)$ 。因为异步电动机的转速 n 与转差率 s 之间存在一定的关系，异步电动机的机械特性常用 $T = f(s)$ 的形