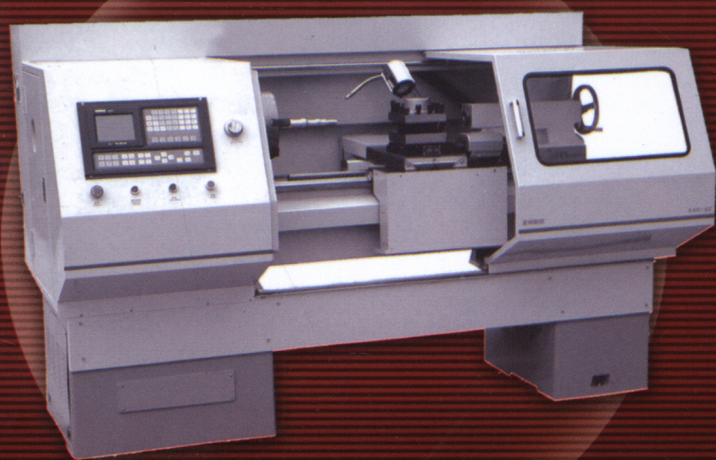


德国西门子 S7-200 系列 PLC 版

新编机床电气

与 PLC 控制技术

高安邦 董泽斯 吴洪兵 主编



高等教育“十二五”规划教材

普通高校精品课程配套教材



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 德国西门子 S7-200 系列 PLC 版 新编机床电气与 PLC 控制技术

主 编 高安邦 董泽斯 吴洪兵  
参 编 智淑亚 樊文国 崔 冰  
田 敏 石 磊 张晓辉 审



机械工业出版社

本书从凸现工学结合、学用一致、理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高的实用角度出发，以德国西门子的 S7-200PLC 为样机，详尽介绍了机床电气与 PLC 控制技术。全书共分 7 章，主要介绍机床传动控制中的电动机、机床控制常用低压电器和图形符号说明、机床电气控制电路的基本环节、机床控制中的 PLC 技术、典型机床的电气与 PLC 控制系统分析、机床电气与 PLC 控制系统设计、机床电气与 PLC 控制实验及课程设计指导。这是一部既有理论高度，更突出工程实践的新编综合性教程。

本书可作为普通高等理工科院校相关专业本、专科教材及参考书；也适宜教学、科研和工矿企事业单位的工程技术人员学习掌握机床电气控制与 PLC 技术以及在设计改造传统机床、机电控制设备的应用中参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

德国西门子 S7-200 系列 PLC 版新编机床电气与 PLC 控制技术/高安邦, 董泽斯, 吴洪兵主编. —北京: 机械工业出版社, 2012. 6

ISBN 978 - 7 - 111 - 39187 - 6

I. ①德… II. ①高…②董…③吴… III. ①机床 - 电气控制 - 高等学校 - 教材②可编程序控制器 - 高等学校 - 教材 IV. ① TG502. 35② TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 164175 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: 黄丽梅 责任编辑: 黄丽梅

版式设计: 霍永明 责任校对: 胡艳萍 陈秀丽

封面设计: 陈 沛 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2012 年 10 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 28.75 印张 · 803 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 39187 - 6

定价: 75.00 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

策划编辑: (010) 88379770

社 服 务 中 心: (010) 88361066

网络服务

销 售 一 部: (010) 68326294

教 材 网: <http://www.cmpedu.com>

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 序

百年风雨沧桑，百年磨砺奋进。我国的电气工程及其自动化专业从传统的“电力工程”逐渐发展成包括“强电”和“弱电”（甚至包括计算机专业）的庞大“电”类专业群，成为工科专业中学生人数最多、也是最受学生欢迎和喜爱的热门紧俏专业。从国家领导人到两院院士，从学术带头人到普通工程师，从两弹一星到嫦娥奔月，从三峡平湖到西电东送……到处活跃着电气技术工作者的身影。百年积淀，再铸辉煌，携手扬帆新百年，目前我国的“电气工程”正在向着“弱电”控制“强电”，机（机械装备）、电（电气控制）、液（液压气动）、仪（仪器仪表）、光（光学）、计（计算机应用）等多学科交叉融合的方向快速发展。

按照国家最新颁布的学科和专业对照表，以机械装备为主体、以电气控制和计算机应用为技术核心的“机电一体化技术（C580201）”已被排在“自动化类学科（C5802）”九大专业的第一位，更受到各高校以及学生们的青睐。

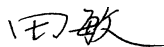
在去年“十二五规划”的开局之年，教育部又提出了“卓越工程师教育培养计划”，要在全国工科院校的本科生、硕士研究生、博士研究生三个层次上，大力培养现场工程师、设计开发工程师和研究型工程师等多种类型的工程师后备人才。

要发展我国的机电一体化技术，启动和实施“卓越计划”，就需要打造出一套学以致用、学以能用、学以好用的高水平专业教材。

“机床电气与 PLC 控制技术”正是综合了机床设备、电气控制和 PLC 应用技术的一门新兴课程，是实现机械加工、工业生产、科学研究以及其他各个领域自动化的重要技术之一，它是“机械电子工程（机电一体化）”、“机械设计制造及其自动化”、“数控机床”、“电气工程”、“电气自动化”以及“计算机应用”等专业的一门最重要的新专业课，应用特别广泛。该新兴技术教学的目的无疑就是使学生掌握典型机床加工设备的机械结构组成、生产工艺过程、对电气控制的要求以及传统机床设备电气控制特点，并了解传统机电技术上的落后，从而采用先进的 PLC 技术加以改造和研发创新。这是一门工学结合、学用一致、理论紧密联系生产实际，能有效培养学生分析和解决生产实际问题的工程实践创新能力和综合素质、铸造“卓越工程师”的实用技术。

本书根据教育部“卓越工程师培养计划”的要求，从凸现行业指导、校企合作、工学结合、学用一致、理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化的现代教学特色，注重对大学生进行素质和技能培养与提高的实用角度出发，以德国西门子的 S7-200PLC 为对象，详尽介绍了机床设备的电气控制与 PLC 应用技术。本书以机床设备为主体，将机床的电气控制技术和 PLC 应用技术的内容融会贯通编写在一起，能够更好地体现出它们之间的内在联系，使本书的结构和理论基础系统化，并更具有科学性和先进性。本书注意精选内容，结合实际，突出应用，注重实例。在编排上循序渐进、由浅入深；在内容阐述上，力求简明扼要、图文并茂、通俗易懂，便于教学和自学。在绘图上使用国家最新标准。由于本课程的实践性强，因此配合理论教学还编写了“机床电气控制与 PLC 技术”的实验与课程设计指导的内容。这是一部既有理论，又更突出实践的综合性教程。

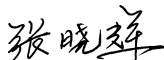
我们祝愿这部新编教材能为我国机电一体化专业的发展和“卓越工程师”的培养做出贡献。



中国西部教育顾问、江苏省电机工程学会理事、江苏省第十一届人大代表  
淮安市电子学会副理事长、中国民主促进会淮安市委副主委  
淮安信息职业技术学院院长/教授/研究员级高级工程师/博士



国家级重点技工学校/国家中等职业技术学校教革发展示范建设学校/  
国家高技能人才培养示范基地/海南省三亚高级技工学校/  
中国技工院校杰出校长/高级讲师/硕士



海南省三亚高级技工学校副校长/电气高级讲师/高级技师/高级考评员

# 前 言

目前, PLC 已被排在现代工业四大支柱 (PLC、数控机床、工业机器人、CAD/CAM) 的首位, 其推广应用的程度已被作为衡量一个国家先进水平的重要标志, 传统的《机床电气与 PLC 控制技术》教材显然已落后于时代的发展。本书编者从事该课程教学多年, 深感此类教材的学 and 用、理论和实践的严重脱节, 即学习过机床电气与 PLC 应用技术课程的学生改造或设计不了真实机床的电气和 PLC 控制系统。

大学生素质和技能教育的教学改革必须从教材改革入手, 机床电气与 PLC 应用技术课程的教学目的和宗旨就是要学生学会机床电气控制技术和 PLC 应用技术, 并能把两种技术有机融合在一起, 用先进的 PLC 技术改造传统落后的机床及机械设备, 设计出现代化的机床 PLC 控制系统来, 达到工学结合、理论教学服务于生产实践的目标。

基于此, 本书编者曾于 2008 年 3 月编写出版了一部能够改造和设计现代机床 PLC 控制系统的教材《新编机床电气与 PLC 控制技术》。该书从实际的工程应用出发, 努力培养学生的综合素质和技能, 力求理论与实际相结合、“教-学-做”一体化, 其内容翔实丰富, 可读性、可用性和实践性强, 学生通过学习和参考此书, 能够进行传统落后机床及机械设备的 PLC 技术改造和创新设计。它将机床设备、电气控制和 PLC 应用技术三者融会贯通在一起, 尤其是能把 PLC 技术真正用在机床设备的技术改造和创新设计上。该书由机械工业出版社出版, 第 1 次印刷了 4000 册, 一上市就被抢购一空; 2008 年 7 月就又第 2 次印刷了 3000 册; 2009 年 7 月就又第 3 次印刷 1500 册; 现又第 4 次印刷 1500 册, 深受读者青睐和欢迎, 2009 年被遴选为江苏省高校评优精品教材。该书是以三菱公司的 FX<sub>2N</sub> 系列 PLC 为样机进行编写的。在众多类型的 PLC 中, 日本的三菱和欧姆龙、德国的西门子、法国的施耐德、美国的 A-B 公司是中国 PLC 市场最大的 5 大供应商, 其产品占据了中国市场份额的 70% 以上。早期开发的三菱 PLC 主要侧重于小型和微型领域的应用; 而后起之秀的德国西门子 S7 系列 PLC 目前已发展成为现代工业应用的强劲主流产品, 其开发应用的深度和广度越来越高, 工程控制系统也越来越庞大复杂。但目前图书市场中有关西门子 S7 系列 PLC 的介绍还多为简单的普及性基本知识的介绍, 其知识的实用性已远远落后于工程应用开发的时代要求。尤其是基于德国西门子 S7 系列 PLC 的机床电气与 PLC 控制技术教材还不多见, 应广大读者的要求和机械工业出版社之约, 我们又组织编写了这本《德国西门子 S7-200 系列 PLC 版新编机床电气与 PLC 控制技术》, 以满足目前全国各大高校相继开展“西门子 S7-200 系列 PLC 技术”教学发展和科研开发的急需, 具有重要的实用价值。

该书的编写是海南省三亚高级技工学校倾力打造国家级重点职教航母, 升格筹建技师学院, 提升学校学术水平及影响力与知名度的重要举措; 是淮安信息职业技术学院创建江苏省首批优秀教学团队 (全省 45 个), 提高该院学术水平和学术地位, 提升该院核心竞争力的重要成果之一; 也是“十二五”发展规划要把该院建成“国内一流、国际知名”高水平的高职院校的重要建设内容之一; 还是该院 2009 年创建的“机床电气与 PLC” A 类精品课程的后续建设计划项目; 同时也是为实现今年开始教育部颁布的“卓越工程师培养计划”而完成的一项工作; 它以校际合作的机制组织编写。该书的编写既是编者多年来从事教学研究和科研开发实践经验的概括和总结, 又博采了目前各教材和著作的精华, 参加该书编写工作的有高安邦教授 (策划、选题、立项、制定编写大纲和前言、第 1 章等)、董泽斯人事处长/高级讲师 (第 2、3 章和附录 A)、吴洪兵副教授/高工/在读博士 (第 4 章和附录 B、C、D)、智淑亚副教授 (第 5 章)、崔冰硕士/讲师

(第6章)、樊文国高级工程师(第7章)。全书由海南省三亚高级技工学校 and 淮安信息职业技术学院特聘教授、哈尔滨理工大学教授、硕士生导师高安邦主持编写和负责统稿;聘请了田敏教授/研究员级高工/博士、石磊高级讲师/硕士、张晓辉电气高级讲师/高级技师/高级考评员负责审稿,他们对本书的编写提供了大力支持并提出了最宝贵的编写意见;硕士/青年讲师杨帅、薛岚、陈银燕、关士岩、陈玉华、毕洁廷、赵冉冉、刘晓艳、王玲、姚薇和学生邱少华、王宇航、马鑫、邱一启、张纺、武婷婷、司雪美、朱颖、陆智华、余彬等也为本书做了大量的辅助性工作,在此表示最衷心的感谢!该书的编写得到了海南省三亚高级技工学校、淮安信息职业技术学院、哈尔滨理工大学和保定电力职业技术学院的大力支持,在此也表示最真诚的感激之意!任何一本新书的出版都是在认真总结和引用前人知识和智慧的基础上创新发展起来的,本书的编写无疑也参考和引用了许多前人优秀教材与研究成果的结晶和精华。在此向本书所参考和引用的资料、文献、教材和专著的编著者表示最诚挚的敬意和感谢!

由于该书是贯彻落实国家重点职业教育院校建设与省级优秀教学团队建设任务、“十二五发展规划”和精品课程建设计划项目的新编教材,要重点凸现校企合作、工学结合、学用一致、理论密切联系生产实际、“教、学、做”一体化等现代教学特色,注重对大学生素质和技能的培养和提高等,因此要求较高、难度较大;并且 PLC 目前还是处在不断发展和完善过程中的新技术,其应用的领域十分广泛,现场条件千变万化,控制方案多种多样,只有熟练掌握好 PLC 的技术,并经过丰富的现场工程实践才能将 PLC 学好用熟用透,做出高质量的工程应用设计。鉴于编者的水平和经验有限,书中错误、疏漏、不足之处肯定不少,恳请读者和专家们不吝批评、指正、赐教,以便今后更好地发展、完善、充实和提高。

编 者

# 目 录

序		本章小结 .....	51
前言		习题与思考题 .....	51
第 1 章 机床传动控制中的电动机 .....	1	第 3 章 机床电气控制电路的基本	
主要内容 .....	1	环节 .....	53
学习重点及教学要求 .....	1	主要内容 .....	53
1.1 交流异步电动机的结构组成、工作		学习重点及教学要求 .....	53
原理、电磁转矩和机械特性 .....	1	3.1 机床电气制图与识图基础 .....	53
1.1.1 交流异步电动机的结构组成 .....	2	3.1.1 电气原理图 .....	53
1.1.2 交流异步电动机的工作原理 .....	2	3.1.2 电气元件布置图 .....	55
1.1.3 交流异步电动机的铭牌 .....	4	3.1.3 安装接线图 .....	55
1.1.4 交流异步电动机的电磁转矩与		3.1.4 电气识图方法与步骤 .....	56
机械特性 .....	6	3.2 机床电气控制常用电路的基本环节 .....	56
1.2 交流异步电动机的运行控制 .....	10	3.2.1 机床的全电压启动控制电路 .....	57
1.2.1 交流异步电动机的工作特性 .....	10	3.2.2 机床的减压启动控制电路 .....	57
1.2.2 交流异步电动机的运行控制 .....	11	3.2.3 机床的点动、长动和停车控制 .....	58
1.2.3 机床电动机的一般故障维修 .....	16	3.2.4 机床电动机的软启动控制 .....	58
本章小结 .....	18	3.2.5 机床的多地点控制 .....	63
习题与思考题 .....	18	3.2.6 机床的联锁和互锁控制 .....	64
第 2 章 机床控制常用低压电器和图		3.2.7 机床的正反向可逆运行控制 .....	64
形符号说明 .....	19	3.3 机床控制的保护环节 .....	65
主要内容 .....	19	3.3.1 短路保护 .....	66
学习重点及教学要求 .....	19	3.3.2 过电流保护 .....	66
2.1 概述 .....	19	3.3.3 过载(热)保护 .....	66
2.2 信号及控制电器 .....	22	3.3.4 零电压与欠电压保护 .....	67
2.2.1 非自动切换信号及控制电器 .....	22	3.3.5 漏电保护 .....	67
2.2.2 自动切换信号及控制电器 .....	30	3.4 机床电气控制线路常用的一些控制	
2.3 执行电器 .....	35	原则 .....	67
2.3.1 接触器 .....	35	3.4.1 机床的行程控制原则 .....	67
2.3.2 交流固态继电器 .....	36	3.4.2 机床的时间控制原则 .....	68
2.3.3 电磁执行电器 .....	39	3.4.3 机床的速度控制原则 .....	70
2.4 保护电器 .....	42	3.4.4 机床的电流控制原则 .....	72
2.4.1 熔断器 .....	42	3.4.5 机床的频率控制原则 .....	72
2.4.2 热继电器 .....	43	3.5 机床中的电液控制 .....	74
2.4.3 电流和电压继电器 .....	45	3.5.1 液压系统的组成 .....	74
2.4.4 电动机智能保护器 .....	46	3.5.2 电磁换向阀 .....	75
2.4.5 漏电保护器 .....	47	3.5.3 液压系统工作自动循环控制	
2.5 机床控制中常用的其他器件 .....	49	电路 .....	75
2.5.1 常用检测仪表 .....	49	本章小结 .....	77
2.5.2 常用安装附件 .....	50	习题与思考题 .....	78

<b>第 4 章 机床控制中的 PLC 技术</b> .....	79	路 .....	245
主要内容 .....	79	5.3.3 C650 卧式车床的 PLC 控制系统	
学习重点及教学要求 .....	79	分析 .....	247
4.1 PLC 的快速入门 .....	79	5.4 Z3040 摇臂钻床的电气与 PLC 控制	
4.1.1 PLC 的基本概念 .....	79	系统分析 .....	251
4.1.2 PLC 的基本结构及工作原理 .....	84	5.4.1 Z3040 摇臂钻床的机械结构和	
4.1.3 PLC 的技术性能 .....	96	主要运动 .....	251
4.1.4 PLC 的分类 .....	98	5.4.2 Z3040 摇臂钻床的电气控制电	
4.1.5 PLC 的编程语言 .....	99	路 .....	252
4.1.6 PLC 的特殊功能 .....	101	5.4.3 Z3040 摇臂钻床的 PLC 控制系	
4.2 德国西门子公司 S7-200 系列 PLC 的		统分析 .....	254
开发应用指南 .....	104	5.4.4 Z3040 摇臂钻床的常见电控故	
4.2.1 S7 系列 PLC 型号名称的含义 .....	106	障分析 .....	257
4.2.2 S7-200 系列 PLC 的主要硬、软		5.5 平面磨床的电气与 PLC 电路图分析 .....	258
件性能指标 .....	110	5.5.1 M7475 型立轴圆台平面磨床的	
4.2.3 S7-200 系列 PLC 的 13 大编程软		电气控制和 PLC 控制 .....	258
元(器)件——数据存储器 .....	115	5.5.2 M7475 型立轴圆台平面磨床的	
4.2.4 S7-200 系列 PLC 的基本指令 .....	121	故障 .....	264
4.2.5 S7-200 系列 PLC 编程软件 STEP7-		5.6 组合机床的电气与 PLC 控制电路分	
Micro/WIN 的使用说明 .....	170	析 .....	264
4.2.6 S7-200 PLC 的编程规则与技巧 .....	200	5.6.1 组合机床的组成结构和工作特	
4.2.7 PLC 控制中常用的基本电路编程		点 .....	265
环节 .....	206	5.6.2 深孔钻组合机床的 PLC 控制系	
4.2.8 控制系统设计及编程常用图 .....	232	统设计 .....	266
习题与思考题 .....	236	5.6.3 双头钻床的 PLC 控制系统设计 .....	270
<b>第 5 章 典型机床的电气与 PLC 控制</b>		5.7 PLC 在数控机床中的工程应用分析 .....	272
<b>系统分析</b> .....	237	5.7.1 数控机床中 PLC 的主要功能 .....	272
主要内容 .....	237	5.7.2 PLC 与机床之间的信号处理过	
学习重点及教学要求 .....	237	程 .....	273
5.1 识读和分析机床电气与 PLC 控制电		5.7.3 数控机床中 PLC 控制程序的编	
图的方法和步骤 .....	237	制 .....	274
5.2 CA6140 卧式车床的电气与 PLC 控制		本章小结 .....	277
电路图分析 .....	240	习题与思考题 .....	277
5.2.1 CA6140 卧式车床的机械结构和		<b>第 6 章 机床电气与 PLC 控制系统设</b>	
主要运动 .....	240	<b>计</b> .....	279
5.2.2 CA6140 卧式车床的电气控制电		主要内容 .....	279
路 .....	241	学习重点及教学要求 .....	279
5.2.3 CA6140 卧式车床的 PLC 控制系		6.1 机床电气控制系统设计的基本内容	
统分析 .....	243	和一般原则 .....	280
5.3 C650 卧式车床的电气与 PLC 控制电		6.1.1 机床电气控制系统设计的基本	
路图分析 .....	245	内容 .....	280
5.3.1 C650 卧式车床的机械结构、运动形		6.1.2 机床电气控制线路设计的一般	
式、拖动形式及控制要求 .....	245	原则 .....	280
5.3.2 C650 卧式车床的电气控制电		6.2 拟定任务书, 确定机床电力拖动方案	
		和选择电动机 .....	283

6.2.1 拟定任务书 .....	283	6.7.4 机床 PLC 控制系统经典设计举 例 .....	331
6.2.2 确定电力拖动方式 .....	283	本章小结 .....	345
6.2.3 确定机床调速方案 .....	283	习题与思考题 .....	346
6.2.4 进行机床电动机的选择 .....	283	<b>第 7 章 机床电气与 PLC 控制实验及 课程设计指导</b> .....	347
6.2.5 机床的启动、制动和反向要求 .....	289	主要内容 .....	347
6.3 机床电气控制线路的经验设计法和 逻辑设计法 .....	290	学习重点及教学要求 .....	347
6.3.1 经验设计法 .....	290	7.1 机床电气与 PLC 控制实验及课程设计 基本要求和注意事项 .....	347
6.3.2 逻辑设计法 .....	293	7.1.1 实验及课程设计前的准备 .....	347
6.3.3 原理设计中应注意的几个问题 .....	296	7.1.2 实验及课程设计的实施进行 .....	347
6.4 选择电气元件 .....	297	7.1.3 实验及课程设计报告 .....	348
6.4.1 继电器的选择 .....	297	7.1.4 实验及课程设计中的安全事项 .....	348
6.4.2 接触器的选择 .....	303	7.1.5 实验及课程设计中要熟练掌握一 些关键主要设备的性能 .....	348
6.4.3 熔断器的选择 .....	309	7.2 机床电气控制部分实验指导 .....	349
6.4.4 常用控制电器的选择 .....	311	7.2.1 实验 1 三相异步电动机点动和 长动(连续)控制实验 .....	349
6.4.5 常用低压开关的选择 .....	314	7.2.2 实验 2 三相异步电动机正反转 控制实验 .....	350
6.4.6 电磁铁的选择 .....	319	7.2.3 实验 3 三相异步电动机 Y- $\Delta$ 启动控制实验 .....	356
6.4.7 控制变压器的选择 .....	321	7.2.4 实验 4 三相异步电动机能耗制 动控制实验 .....	359
6.5 机床电气控制系统的工艺设计 .....	321	7.2.5 实验 5 多台三相异步电动机的 顺序控制实验(顺启逆停) .....	361
6.5.1 机床电气设备总体配置设计 .....	322	7.2.6 实验 6 三相异步电动机的多地 点控制实验 .....	365
6.5.2 机床电气元件布置图的设计及电 气部件接线图的绘制 .....	322	7.2.7 实验 7 三相异步电动机的减压 启动控制实验 .....	366
6.5.3 清单汇总和说明书的编写 .....	323	7.2.8 实验 8 三相异步电动机的反接 制动控制实验 .....	368
6.6 典型机床 CW6163 型卧式车床电气控 制系统的设计案例 .....	324	7.2.9 实验 9 双速异步电动机的高/低 速制动控制实验 .....	370
6.6.1 CW6163 型卧式车床的主要结构 及设计要求 .....	324	7.2.10 实验 10 三相异步电动机常用 的保护控制实验 .....	374
6.6.2 CW6163 型卧式车床电气控制线 路图的设计 .....	324	7.3 机床 PLC 控制技术实验指导 .....	375
6.6.3 CW6163 型卧式车床电气元件的 选择 .....	325	7.3.1 实验 1 电动机 PLC 控制系统实 验 .....	375
6.6.4 绘制电气元件布置图和电气安装 接线图 .....	327	7.3.2 实验 2 继电器类指令实验 .....	379
6.6.5 检查和调整电气元件 .....	328	7.3.3 实验 3 定时器类指令实验 .....	381
6.6.6 电气控制柜的安装配线 .....	328	7.3.4 实验 4 计数器指令实验 .....	383
6.6.7 电气控制柜的安装检查 .....	329	7.3.5 实验 5 微分指令、锁存器指令 实验 .....	386
6.6.8 电气控制柜的调试 .....	329		
6.6.9 文档工作 .....	329		
6.7 机床 PLC 控制系统的设计 .....	330		
6.7.1 机床 PLC 控制系统设计的基本 原则 .....	330		
6.7.2 机床 PLC 控制系统设计的基本 内容 .....	330		
6.7.3 机床 PLC 控制系统设计的一般 步骤 .....	330		

---

7.3.6	实验6 移位指令实验·····	388	7.4.4	课程设计4 PLC的顺序控制程序 设计·····	429
7.3.7	实验7 交通灯控制电路实验·····	392		本章小结·····	435
7.3.8	实验8 运料车控制电路实验·····	394	<b>附录</b>		436
7.3.9	实验9 混料罐控制实验·····	399	附录A	电气图常用图形符号和文字符号 新/旧标准对照表·····	436
7.4	机床电气与PLC控制课程设计指导·····	402	附录B	S7-200系列PLC的系统配置·····	438
7.4.1	课程设计1 多台电动机启动停止 (顺启逆停)控制系统设计·····	402	附录C	S7-200系列PLC的常用指令·····	439
7.4.2	课程设计2 恒压供水控制系统设计 ·····	409	附录D	常用的部分特殊标志位存储器 SM·····	444
7.4.3	课程设计3 搬运机械手控制系统 设计·····	422	<b>参考文献</b>		446

# 第 1 章 机床传动控制中的电动机

## 主要内容

- 1) 机床传动控制常用交流电动机的基本结构、工作原理。
- 2) 机床传动控制常用交流电动机的电磁转矩和机械特性。
- 3) 机床传动控制常用交流电动机的运行控制。

## 学习重点及教学要求

- 1) 从使用的角度重点掌握三相交流异步电动机的基本结构、工作原理。
- 2) 从使用的角度重点掌握三相交流异步电动机的电磁转矩和机械特性。
- 3) 从使用的角度重点掌握常用交流电动机的启动、调速、反转和制动等运行控制。

普通机床和数控机床的结构组成框图，如图 1-1 和图 1-2 所示。

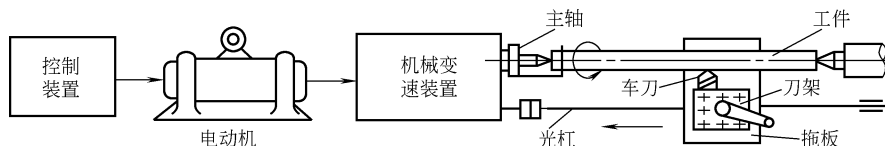


图 1-1 普通机床的结构组成框图

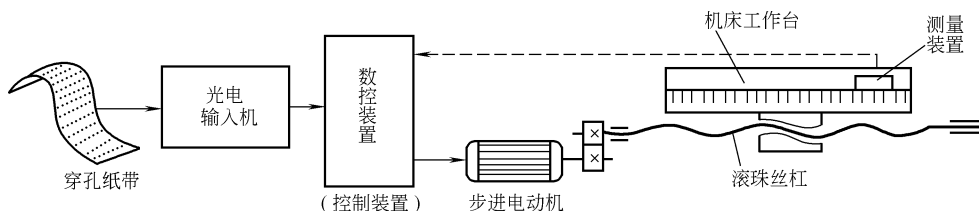


图 1-2 数控机床的结构组成框图

由图 1-1 和图 1-2 可知，机床的传动控制主要就是电动机的控制，电动机包括普通电动机和控制电动机，控制方法有继电器—接触器控制、PLC 控制、步进电动机控制、交直流调速控制、伺服驱动控制、计算机数控等。随着电力电子技术的发展，还会出现各种各样新的控制方法，这些方法将是普通机床和现代数控机床传动控制的基础。因此，要学好机床电气和 PLC 控制就必须首先了解和掌握机床传动常用电动机及其拖动的基本知识。

## 1.1 交流异步电动机的结构组成、工作原理、电磁转矩和机械特性

交流异步电动机按照转子的结构形式分为笼型异步电动机和绕线转子异步电动机。笼型异步电动机因具有结构简单、制造方便、价格低廉、坚固耐用、转子惯量小、运行可靠等优点，在机床中得到了极其广泛的应用。绕线转子异步电动机因其转子采用绕线方式，具有调速简单、成本

低的优点，在起重机、卷扬机等中小设备中得到了广泛的应用。

### 1.1.1 交流异步电动机的结构组成

图 1-3 是一台三相异步电动机的结构图。它主要由定子、转子两大部分构成，定子与转子之间有一定的气隙。定子是静止不动的部分，由定子铁心、定子绕组和机座组成。转子是旋转部分，由转子铁心、转子绕组和转轴组成。

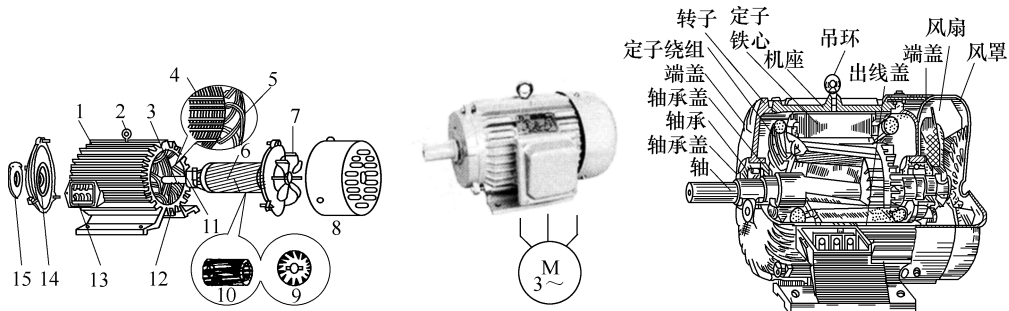


图 1-3 三相异步电动机的结构图

1—散热筋 2—吊环 3—转轴 4—定子铁心 5—定子绕组 6—转子 7—风扇 8—罩壳  
9—转子铁心 10—笼型绕组 11—轴承 12—机座 13—接线盒 14—轴承盖 15—端盖

笼型电动机的转子绕组与定子绕组大不相同，它是在转子铁心槽里插入铜条，再将全部铜条焊接在两个端铜环上，如果将转子铁心拿掉，则可看出，剩下的绕组形状像个笼子，如图 1-4 所示，因此叫笼型转子。对于中小功率电动机的绕组，多采用铝离心浇铸而成。

绕线转子异步电动机的转子绕组与定子绕组一样，是由线圈组成绕组放入转子铁心槽里，转子可以通过电刷和集电环外串电阻以调节转子电流的大小和相位的方式进行调速，如图 1-5 所示。

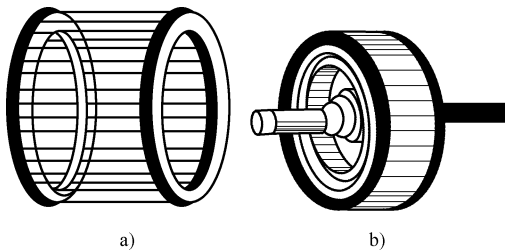


图 1-4 笼型电动机的转子结构图

a) 笼型绕组 b) 转子外形

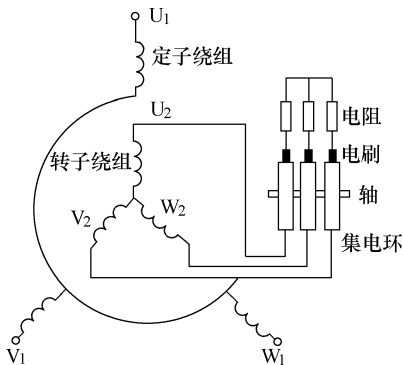


图 1-5 绕线转子异步电动机定子绕组及外加电阻的接线方式

笼型异步电动机不能使转子电阻改变而调速，但同绕线转子电动机相比要坚固而价廉，在机床等实际工业现场使用的电动机当中，绝大多数是笼型异步电动机。

### 1.1.2 交流异步电动机的工作原理

异步电动机的工作原理如图 1-6 所示。当定子接三相对称电源后，电动机内便形成圆形旋转

磁场，如图 1-7 所示。设其方向为顺时针旋转，假设速度为  $n_0$ 。若转子不转，转子笼型导条与旋转磁场有相对运动，转子导条中便感应有电动势  $e$ ，方向由右手定则确定。由于转子导条彼此在端部短路，于是导条中便有感应电流，不考虑电动势与电流的相位差时，电流方向同电动势方向。这样，载流导条就在磁场中感生电磁力  $f$ ，形成电磁转矩  $T$ ，用左手定则确定其方向，如图 1-7 所示。转子在方向与旋转磁场同方向的力  $f$ （电磁转矩  $T$ ）的作用下，便沿着该方向跟随着旋转磁场旋转起来。

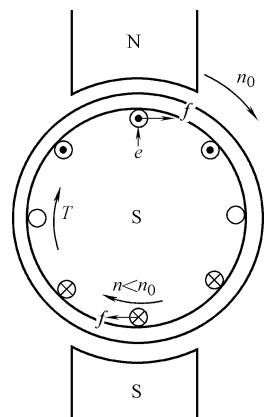


图 1-6 异步电动机的工作原理

转子旋转后，假设其转速为  $n$ ，只要  $n < n_0$ ，转子导条与磁场之间仍有相对运动，就产生与转子不转时相同方向的电动势、电流及受力  $f$ ，电磁转矩  $T$  仍旧为顺时针方向，转子继续旋转，最终稳定运行在电磁转矩  $T$  与负载转矩  $T_L$  相平衡的状况下。

异步电动机内部磁场的旋转速度  $n_0$  被称作同步转速。在电动机运行时，电动机轴输出机械功率，异步电动机的实际转速  $n$  总是低于旋转磁场转速  $n_0$ ，也就是说转子的旋转速度  $n$  总是与同步转速  $n_0$  不等，故异步电动机的名称由此而来。另外，由于转子电流的产生和电能的传递是基于电磁感应现象，故异步电动机又称为感应电动机。

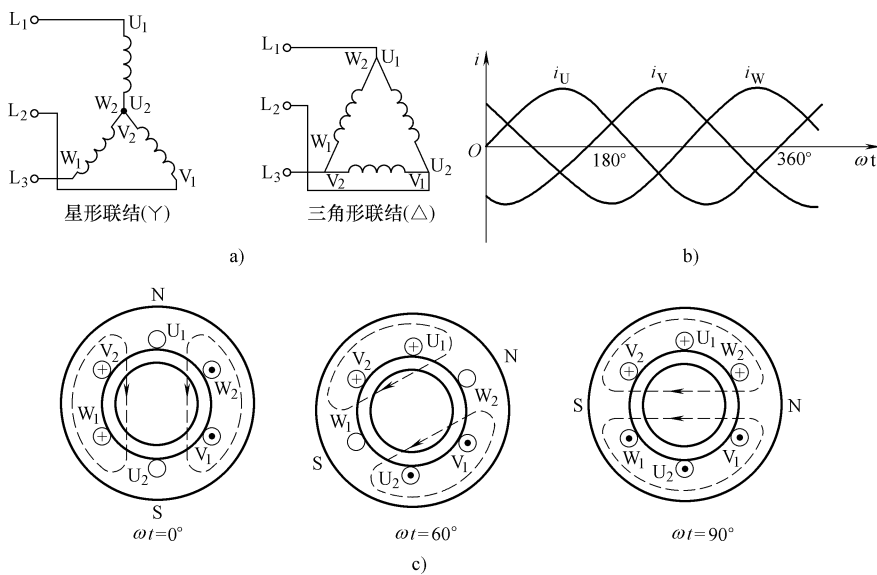


图 1-7 三相交流异步电动机圆形旋转磁场的产生

a) 定子接法 b) 三相对称电源波形 c) 圆形旋转磁场的产生

异步电动机的同步转速  $n_0$  与定子绕组磁极对数  $P$ （等于磁极数的一半）成反比，与定子电源频率  $f_1$  成正比（对于交流电动机其定子侧的物理量习惯用下标 1 或者下标 s 表示，对其转子侧的物理量习惯用下标 2 或者下标 r 表示），故有： $n_0 = 60f_1/P$ 。

带有负载的电动机转子实际转速  $n$  要比电动机的同步转速  $n_0$  低一些，常用转差率来描述异步电动机的各种不同运行状态。转差率  $s$  定义为： $s = (n_0 - n)/n_0$ ，故近似有  $n = n_0(1-s)$ 。

当电动机为空载（输出的机械转矩近似为零，忽略摩擦转矩，转速近似为  $n_0$  时，转差率  $s$  近似为零。而当电动机为满载（产生额定转矩）时，则转差率  $s$  一般在 1.5% ~ 6% 范围内。转子不转时（ $n_0 = 0$ ）， $s = 1$ 。

### 1.1.3 交流异步电动机的铭牌

铭牌是电动机的身份证,认识 and 了解电动机铭牌中有关技术参数的作用和意义,可以帮助正确地选择、使用和维护它。图 1-8 是我国使用最多的 Y 系列三相感应异步电动机铭牌的一个实例。图 1-9 为皖南电动机厂某三相感应异步电动机的实际铭牌。铭牌中主要包含以下内容:

商标:××××	三相异步电动机	
型号:Y-112M-4	出厂编号:××××	接线方式:△
功率:4.0kW	电压:380V	电流:8.7A
频率:50Hz	转速:1440r/min	噪声值:74dB(A)
工作制:S1	绝缘等级:B	防护等级:IP44
质量:49kg	标准编号:ZBK22007-88	出厂日期: 年 月 日
中华人民共和国××××电机厂制造		

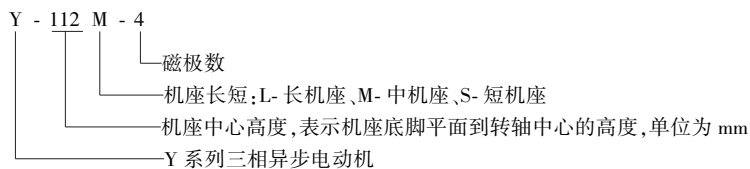


图 1-8 Y 系列三相感应电动机铭牌

#### 1. 型号

如 Y-112M-4、Y802-4。

#### 2. 额定值

- (1) 额定功率  $P_N$  指电动机在额定运行时,电动机轴上输出的机械功率,单位为 kW。
- (2) 额定电压  $U_N$  指额定运行状态下加在电动机定子绕组上的线电压,单位为 V。
- (3) 额定电流  $I_N$  指电动机在定子绕组上施加额定电压、电动机轴上输出额定功率时的线电流,单位为 A。

可以根据电动机的额定电压、电流及功率,利用三相交流电路功率计算公式计算出电动机在额定负载时定子边的功率因数  $\cos\phi$ 。例如图 1-8 所示铭牌的电动机在额定负载时的功率因数  $\cos\phi = 4000 / (3^{1/2} \times 380 \times 8.7) = 0.699$ 。

(4) 额定频率  $f_N$  我国规定工业用电的频率是 50Hz,国外有些国家采用 60Hz。

(5) 额定转速  $n_N$  指电动机定子加额定频率的额定电压、轴端输出额定功率时电动机的转速,单位为 r/min。可以根据额定转速与额定频率计算出电动机的极数  $P$  和额定转差率  $s_N$ 。

#### 3. 噪声值 (LW)

指电动机在运行时的最大噪声。一般电动机功率越大,磁极数越少,额定转速越高,噪声越大。

#### 4. 工作制

指电动机允许工作的方式,共有 S1 ~ S10 十种工作制。其中, S1 为连续工作制; S2 为短时工作制;其他为不同周期或者非周期工作制。

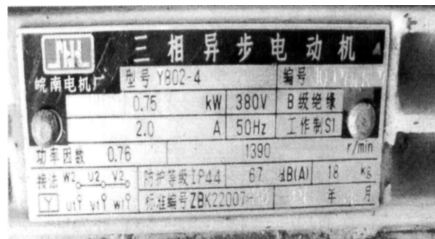


图 1-9 皖南电动机厂某三相感应异步电动机的铭牌

### 5. 绝缘等级

绝缘等级与电动机内部的绝缘材料有关。它与电动机允许工作的最高温度有关，共分 A、E、D、F、H 五种等级。其中 A 级最低，H 级最高。在环境温度额定为 40℃ 时，A 级允许的最高温升为 105℃，H 级允许的最高温升为 140℃。

### 6. 连接方法

三相交流电动机接线端如图 1-10 所示，有 Y/Δ 两种方式。请注意有些电动机只能固定一种接法，有些电动机可以两种切换工作，但是要注意工作电压，防止错误接线烧坏电动机。高压大、中型容量的异步电动机定子绕组常采用 Y 接线，只有三根引出线。对中、小容量低压异步电动机，通常把定子三相绕组的六根出线头都引出来。根据需要可接成 Y 形或 Δ 形，如图 1-11 和图 1-12 所示。

另外，有一点需要说明的是，在电动机启动过程中，为了减小启动冲击电流  $[I_Q = (5 \sim 7)I_N]$  对于电网的影响，一种简单、实用、低成本的方法是采用如图 1-13 所示的 Y/Δ 减压启动，启动过程中用 Y 联结 (KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>3</sub> 闭合，KM<sub>2</sub> 断开)，启动过程结束后切换为 Δ 联结 (KM<sub>1</sub> 和 KM<sub>2</sub> 闭合，KM<sub>3</sub> 断开) 运行。

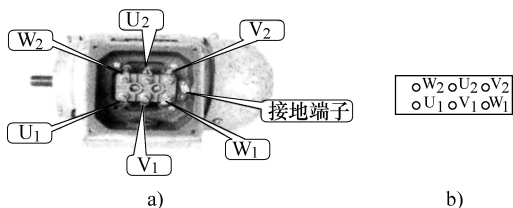


图 1-10 三相交流电动机接线端  
a) 接线端子 b) 接线端子示意图

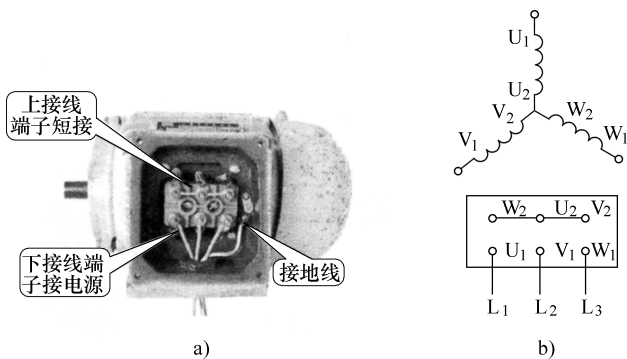


图 1-11 三相异步电动机的 Y 引出线  
a) 线端的排列 b) Y 联结

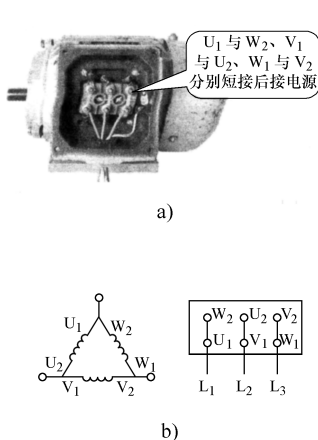


图 1-12 三相异步电动机的 Δ 引出线  
a) 线端的排列 b) Δ 联结

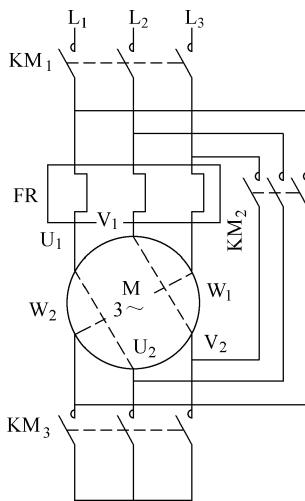


图 1-13 Y/Δ 减压启动的接线图

## 7. 防护等级

IP 为防护代号，第一位数字（0~6）规定了电动机防护体的等级标准；第二位数字（0~8）规定了电动机防水的等级标准，如 IP00 为无防护，数字越大，防护等级越高。

## 8. 其他

对于绕线转子电动机还必须标明转子绕组接法、转子额定电动势及转子额定电流；有些还标明了电动机的转子电阻；有些特殊电动机还标明了冷却方式等。

### 1.1.4 交流异步电动机的电磁转矩与机械特性

#### 1. 交流异步电动机的电磁转矩

电磁转矩  $T$ （以下简称转矩）是三相异步电动机最重要的参数之一，它表征一台电动机拖动生产机械能力的大小。机械特性是它的主要特性。

从三相异步电动机的工作原理可知，三相异步电动机的电磁转矩是由于具有转子电流  $I_2$  的转子导体在磁场中受到电磁力  $F$  作用而产生的，因此电磁转矩的大小与转子电流  $I_2$  以及旋转磁场的每极磁通  $\Phi$  成正比。从转子电路分析可知，转子电路是一个交流电路，它不但有电阻，而且还有漏磁感抗存在，所以转子电流  $I_2$  与转子感应电动势  $E_2$  之间有一相位差，用  $\phi_2$  表示。于是转子电流  $I_2$  可分解为有功分量  $I_2 \cos\phi_2$  和无功分量  $I_2 \sin\phi_2$  两部分，只有转子电流  $I_2$  的有功分量  $I_2 \cos\phi_2$  才能与旋转磁场相互作用而产生电磁转矩。也就是说，电动机的电磁转矩实际是与转子电流  $I_2$  的有功分量  $I_2 \cos\phi_2$  成正比。综上所述，三相异步电动机的电磁转矩表达式为

$$T = K_T \Phi I_2 \cos\phi_2 \quad (1-1)$$

式中， $K_T$  为仅与电动机结构有关的常数； $\Phi$  为旋转磁场的每极磁通； $I_2$  为转子电流； $\cos\phi_2$  为转子回路的功率因数。从电工技术中可知  $I_2$  和  $\cos\phi_2$  为

$$I_2 = \frac{4.44s f_1 N_2 \Phi}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \quad (1-2)$$

$$\cos\phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}} \quad (1-3)$$

将式（1-2）和式（1-3）代入式（1-1），并考虑到  $E_1 = 4.44f_1 N_1 \Phi$  和忽略定子电阻  $R_1$  及漏感抗  $X_1$  上的压降，则  $U_1 = E_1$ ，可得出转矩的另一个表达式为

$$T = K \frac{sR_2 U_1^2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} = K \frac{sR_2 U^2}{R_2^2 + (sX_{20})^2} \quad (1-4)$$

式中， $K$  为与电动机结构参数、电源频率有关的一个常数； $U_1$ 、 $U$  分别为定子绕组相电压、电源电压； $R_2$  为转子每相绕组的电阻； $X_{20}$  为电动机不动（ $n=0$ ）时，转子每相绕组漏感抗。

式（1-4）所表示的电磁转矩  $T$  与转差率  $s$  的关系是  $T=f(s)$  曲线，通常叫做  $T-s$  曲线。电磁转矩  $T$  与每相电压有效值  $U_1$  的平方成正比。由此可见，当电源电压变化时，对电磁转矩影响很大；当电压  $U_1$  一定，转子参数  $R_2$  和  $X_{20}$  一定时，电磁转矩与转差率  $s$  有关。

#### 2. 交流异步电动机的机械特性

在异步电动机中，在定子电压  $U_1$ 、频率  $f_1$  和参数一定的条件下，电动机电磁转矩  $T$  与转差率  $s$  的关系  $T=f(s)$  通常叫做  $T-s$  曲线。为了符合习惯画法，可将  $T-s$  曲线转换成转速  $n$  与转矩  $T$  之间的关系曲线  $n=f(T)$ ，称为异步电动机的机械特性。它有固有机械特性和人为机械特性之分。

（1）固有机械特性 异步电动机在额定电压和额定频率下，用规定的接线方式，定子和转子电路中不串联任何电阻或电抗时的机械特性称为固有（自然）机械特性，如图 1-14 所示。曲