

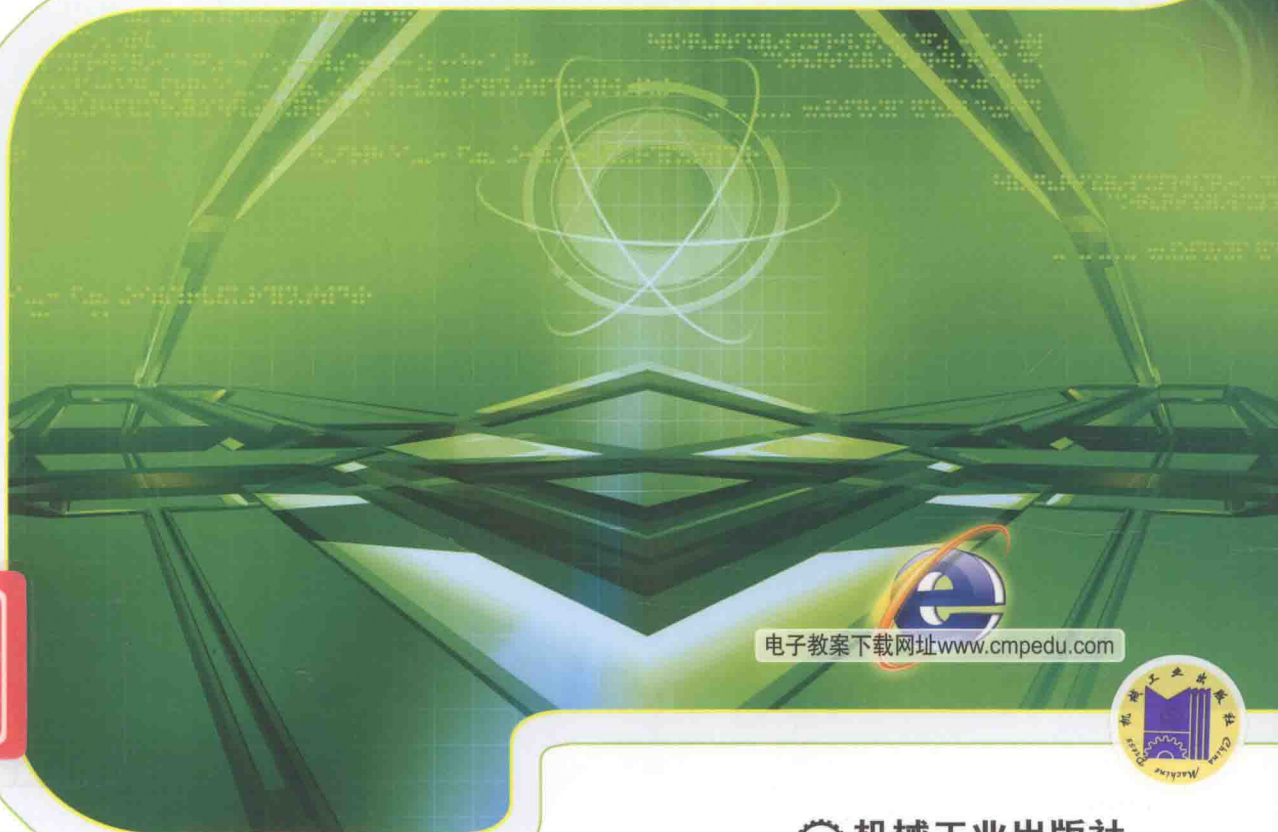


全国高等职业教育规划教材

数控机床编程与 操作项目教程

主 编 马金平

副主编 冯 利 潘红恩



电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

数控机床编程与操作项目教程

主 编	马金平				
副主编	冯 利	潘红恩			
参 编	姬 旭	宋 强	赵寿宽		
	王 丽	湛 鹏	周蔚宇		
主 审	李一民				



机械工业出版社

本书主要包括：数控加工基础知识、数控车削编程与加工、数控铣削编程与加工、加工中心的编程与加工、职业技能考核综合训练等模块。本书融工艺、编程、操作为一体，编写体例打破了传统的学科型课程架构，根据数控技术领域职业岗位群的需要，以典型零件为载体，以“工学结合”为切入点，以工作过程为导向，采用任务驱动模式编写而成，利于理论与实践一体化的课程教学改革。在书后的附录中列出了常用数控系统指令表，方便读者查找常用指令在本书中对应的任务。

本书既可作为高职高专和成人高校的数控技术、数控设备应用与维护、机电一体化等专业的教学用书，也可作为企业数控加工技术人员和操作人员参考书或培训教材。

为配合教学，本书配有电子课件，读者可以登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 免费注册后下载，或联系编辑索取（QQ：1239258369，电话（010）88379739）。

图书在版编目（CIP）数据

数控机床编程与操作项目教程/马金平主编. —北京：机械工业出版社，2012.10

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-39884-4

I. ①数… II. ①马… III. ①数控机床-程序设计-高等职业教育-教材②数控机床-操作-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 228804 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：吴鸣飞 李超 版式设计：霍永明

责任校对：肖琳 责任印制：张楠

高教社（天津）印务有限公司印刷

2012 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 15.25 印张 · 378 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-39884-4

定价：33.00 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

社服务中心：（010）88361066 教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：（010）68326294 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

全国高等职业教育规划教材机电类专业 委员会成员名单

主 任	吴家礼					
副 主 任	任建伟	张 华	陈剑鹤	韩全立	盛靖琪	谭胜富
委 员	(按姓氏笔画排序)					
	王启洋	王国玉	王晓东	代礼前	史新民	田林红
	龙光涛	任艳君	刘靖华	刘 震	吕 汀	纪静波
	何 伟	吴元凯	张 伟	李长胜	李 宏	李柏青
	李晓宏	李益民	杨士伟	杨华明	杨 欣	杨显宏
	陈文杰	陈志刚	陈黎敏	苑喜军	金卫国	奚小网
	徐 宁	陶亦亦	曹 凤	盛定高	程时甘	韩满林
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,核心基础课程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

序

案头摆放着由正德职业技术学院马金平同志主编的《数控机床编程与操作项目教程》讨论稿,她嘱咐我读后提些意见建议并作序。她告诉我说,教程使用层次是高职院校,教学对象是高职学生,希望我循此谈谈本科院校研究型人才培养与高职院校应用型人才培养的不同特点和区别。

我觉得有些惶恐。因为,我和马金平同志虽然同在高校工作,并在学科或专业领域内称得上是同行,但是,毕竟我们从事的具体教育任务和面对的特定教育对象有着显著区别。她从事的是高等职业教育,以培养应用型人才为着眼点和立足点,而我从事的教学工作,则以培养研究型人才为着眼点和立足点。

但这丝毫不影响我对这部教程的浓厚兴趣。这是因为:其一,我从事的学科教育研究属于工科,凡是从事工科教学或研究的,几乎没有纯理论性的,都十分注重理论在实践中的应用,十分注重学生应用能力的培养。在这方面,我与高等职业教育者容易产生共同语言。其二,浙江是我国高职教育起步较早、发展较快、理念比较领先、敢想敢闯的省份之一。近些年来,与高职院校同行们有所接触、有所交流,“近朱者赤”,对高职教育不但有了感性认识,甚至还有了理性认识。尽管对高职教育教学规律还知之不多,但对于普通本科教育与高职教育这两个层次、两种类型教育的区别和特点,或多或少有所思考。抱着对高职教育再了解、再学习的态度,认真拜读了这部教程。教程编写从内容到体例都很新颖,耐人思考,尤其是如下三个方面的创新,给我留下了比较深刻的印象:

第一,该教程以工作过程为导向,采用任务驱动模式,彻底打破了传统的学科型课程模式和本科教材架构。毋庸讳言,我国高职教育起步比发达国家要晚得多,高职教育理念比较落后,高职教材建设规模和水平也都相对滞后,时至今日,把本科教材作为高职教育替代教材的现象仍然不在少数。凡从事学校教育的人都知道,教材是用于向学生传授知识、技能和思想的核心教学材料,它必须符合教学对象的实际、必须符合教学大纲的要求、必须适合于师生在教学中的应用。高职教育与普通本科教育在高等教育序列中分属两个层次、两种类型,有各自不尽相同的教育教学规律和人才培养规律。本科教育尤其是研究型本科教育,比较注重学科架构及其建设,强调知识结构的系统性和学科建设的体系化。而高职教育则注重职业能力的培养,甚至有学者提出,高职教育的本质特征就是劳动者的岗前职业能力教育。这些观点当然可以继续探讨,但显而易见的是,把本科教材作为高职教育替代教材,本身确实是违背教育教学规律和人才培养规律之举。马金平同志主编的这部教程,打破本科课程模式和教材架构,摒弃不切高职人才培养实际的“系统性”、“体系化”学科建设原则,从职业教育特征出发,强化专业即职业的教学理念,根据数控技术领域职业岗位群的需要,以典型零件为载体,把数控加工基础知识、数控车削编程与加工、数控铣削编程与加工、加工中心的编程与操作、职业技能考核综合训练等分解为相对独立、自成一体的教学模块,并融入工作过程、典型工作任务于各个教学模块之中。这种独特的教材结构,正是对本科教材模式的一种根本突破,它既来自高职教育实践沃土,更来自对高职教育教学规律和人才培养规律的

深刻认知和准确把握。而这对于培养高素质的职业人,具有不可忽视的重要意义。

第二,该教程以工学结合为切入点,突出职业能力培养,体现职业教育课程理论实训一体化的根本改革思路。我认为,高职教育课程建设与改革的重点、难点和发力点,一是要切实解决工学结合问题,二是要建立突出职业能力培养的课程标准。工学结合,既是生产劳动和社会实践相结合的一种学习模式,也是高等职业教育人才培养模式改革的重要切入点,其本质是教育通过企业与社会需求紧密结合。突出职业能力培养,则必然要求课程标准与职业资格标准高度衔接,实现教学过程的实践性、开放性和职业性。在上述两个改革难点、重点上发力,就要尽可能实现职业课程的理论实训一体化,在教材内容组织上融工艺、编程、操作为一体,在教学方法和手段上融“教、学、做”为一体,强化学生能力的培养;就要重视学生校内学习与实际工作的一致性,实行校内成绩考核与企业实践考核(或职业技能考核)相结合。该教程正是着眼于加强理论实训一体化的职业教育课程开发,促进职业教育课程与职业标准融通、教育考核标准与职业技能考核标准衔接,突出职业能力培养,并使职业教育课程改革理念付诸实践、融入课程体系、进入课堂教学的有益尝试。值得称道的还有,该教程基于“双证融通”的职业人才培养理念,把数控中级工的职业资格标准融入教材体系,以提高学生的实践能力和岗位就业竞争能力。我认为,这的确不失为职业教育者的敏锐。

第三,该教程编写严格遵循了高职人才成长的基本规律,内容安排由易到难,较好把握了教学的科学性、渐进性、实用性和针对性原则。教程把培养学生的数控编程与操作技能作为核心,以“必需、够用”为度,大胆删减了无关宏旨的理论知识,突出了与实践技能相关的必备专业知识,有取有舍,确有见地;教程中每个模块均包括学习目标、任务导入、任务分析、知识学习、任务实施、知识拓展、思考与练习等几个基本部分,都以一个实际零件的加工任务为核心引出新的数控工艺知识和数控编程指令,任务由简单到复杂,由单一到综合,理论与实际相结合,具有很强的可操作性。此外,书后的附录列出了常用数控系统指令表,方便查找常用指令在本书中对应的任务,也体现了教程主编用心的良苦。

所谓创新,其实就是人们主观能动性的表现,就是对客观世界的认识能力和实践能力。创新之重要,在于它是民族进步的灵魂,是国家兴旺发达的不竭动力。民族进步、国家兴旺之路如此,我们做学问、培养人才之道也如此。做学问,需要有创新意识;培养人才,需要有创新模式。该教程值得称道的主要之处,即在于其中体现的创新意识。

我由衷祝愿马金平同志和她的团队,在努力创新中为我国数控技术职业教育的发展以及数控加工领域优秀职业人才的培养作出更多更大更新的贡献。

是为序。

杨灿军

(《序》作者为浙江大学机械电子控制工程研究所副所长兼浙江大学海洋中心海洋资源勘查与装备技术研究所副所长,教授,博士生导师。国务院特殊津贴专家、教育部新世纪优秀人才。主持多项国家自然科学基金项目和863计划项目。曾获国家科学技术发明二等奖、教育部高校科学技术奖技术发明一等奖等多个奖项。)

前 言

本书以 FANUC 系统为主组织内容,编写体例打破了传统的学科型课程架构,根据数控技术领域职业岗位群的需要,以典型零件为载体,以“工学结合”为切入点,以工作过程为导向,采用任务驱动模式编写而成。在书后的附录中列出了常用数控系统指令表,方便读者查找常用指令在本书中对应的任务。本书既可作为高职高专和成人高校的数控技术、数控设备应用与维护、机电一体化等专业的教学用书,也可作为企业数控加工技术人员和操作人员参考书或培训教材。

加强理论实训一体化的职业教育课程开发,促进职业教育课程与职业标准融通、教育考核标准与职业技能考核标准衔接,突出职业能力培养,是高职课程建设与改革的中心任务,也是教学改革的重点和难点。推动职业教育课程改革理念付诸实践,并融入课程体系、进入课堂教学,是我们编写本书的初衷和归宿。在本书的编写过程中,我们严格遵循高职教育和高职人才成长的基本规律,立足于高职教育的实际,并积极借鉴国内外高职教育的先进教学模式,紧紧把握科学性、实用性和针对性原则,力求在如下四方面突出本书的特色:

- 1) 把培养学生的数控编程与操作技能作为核心,突出与实践技能相关的必备专业知识,而有关理论知识的内容则以“必需、够用”为度。
- 2) 以任务驱动模式编写,在内容上力求做到理论与实际相结合,按照循序渐进的要求,由易到难。每个任务都以一个实际零件的加工任务为核心引出新的数控工艺知识和数控编程指令,任务由简单到复杂,由单一到综合,具有很强的可操作性。
- 3) 本书内容包括数控加工基础知识、数控车削编程与加工、数控铣削编程与加工、加工中心的编程与操作、职业技能考核综合训练等模块,融工艺、编程、操作为一体,利于理论与实践一体化的教学改革。
- 4) 结合“双证融通”的人才培养模式,把数控中级工的职业资格标准融入教材体系,注重提高学生的实践能力和岗位就业竞争能力。

马金平担任本书主编,负责拟定本书的框架结构,确定编写的指导思想和编写思路,并统稿和定稿;冯利和潘红恩担任副主编,协助主编承担部分统稿工作;李一民担任主审,参与了书稿审定。冯利执笔编写任务 3.4~3.6,并编辑附录;潘红恩执笔编写任务 1.1~1.2、2.5~2.7、5.1;姬旭、周蔚宇执笔编写任务 3.1、3.7~3.8、5.2~5.3;宋强执笔编写任务 2.1~2.4;王丽执笔编写任务 3.2~3.3;赵寿宽执笔编写任务 4.1~4.2;湛鹏执笔编写任务 2.8。本书编写过程中,正德职业技术学院、南京信息职业技术学院、江西应用工程职业学院的领导给予了悉心指导,南京航空航天大学工程训练中心和南京压缩机股份有限公司数控车间有关技术人员给予了大力支持与帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,本书难免疏漏或错误,敬请读者批评指正。

编 者



精品教材推荐

机械设计基础

书号: ISBN 978-7-111-30909-3

作者: 闵小琪 定价: 28.00 元

推荐简言:

本书是编者结合多年从事教学、生产的经验编写而成,突出了高等职业教育的特点。本书配有多媒体教学光盘,内容包括教学用 PPT 及动画演示,把教学内容与动画演示完全融合为一体。

本书配有《机械设计基础课程设计》(ISBN 978-7-111-32065-4)。

机械制造基础(第2版)

书号: ISBN 978-7-111-08293-1

作者: 苏建修 定价: 34.00 元

获奖情况:

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

推荐简言: 本书内容全面,在第2版中介绍了很多新工艺、新技术,编写质量高,非常受读者欢迎。电子教案配有习题答案、测试题等,方便教师选用。

机械制图

书号: ISBN 978-7-111-29611-9

作者: 于景福 定价: 21.00 元

推荐简言:

本书采用我国最新颁布的有关制图标准,主要培养学生的读图和绘图能力。学完本课程后,学生能够绘制和阅读机械零件图和装配图。

本书配有《机械制图习题集》(ISBN 978-7-111-30549-1)。

工程制图(非机械类)

书号: ISBN 978-7-111-33003-5

作者: 于梅 定价: 29.00 元

推荐简言:

本书采用我国最新颁布的有关制图标准,主要培养学生的读图和绘图能力。本书主要供非机械类专业学生使用。

本书配有《工程制图习题集(非机械类)》(ISBN 978-7-111-32548-2)。

冷冲压工艺与模具设计(第2版)

书号: ISBN 978-7-111-25604-

作者: 陈剑鹤 定价: 32.00 元

获奖情况:

2009 年度普通高等教育精品教材

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

推荐简言: 内容上兼顾理论基础和设计实践两个方面,用较大篇幅介绍了各种模具的设计案例,体现了项目导向、任务驱动的教学理念。

模具设计基础(第2版)

书号: ISBN 978-7-111-11507-

作者: 陈剑鹤 定价: 32.00 元

推荐简言:

作者陈剑鹤教授是一位具有丰富教学经验和模具设计经验的优秀教师,善于将先进的教学理念和生产实践中的经验总结融入教材当中。

本书通过典型案例讲解了冷冲模和塑料模的工艺与设计,年调拨量近万册。



精品教材推荐

数控机床故障诊断与维修技术 (FANUC 系统)(第2版)

书号: ISBN 978-7-111-27264-9

作者: 刘永久 定价: 36.00 元

推荐简言:

本书作者是长春一汽高等专科学校的骨干教师,经常参与工厂数控机床的维修与改造,积累了大量的实际经验。读者普遍反映通过本书的学习,可以获得实际操作技能。

数控加工编程与操作

书号: ISBN 978-7-111-32784-4

作者: 杨显宏 定价: 22.00 元

推荐简言:

本书以数控加工的编程与操作为主线贯穿全书内容,书中配有大量实例、实训项目和习题,应用实例结合生产实际,突出了内容的先进性、技术的综合性,全面提高高职学生的综合能力。

AutoCAD2010 基础与实例教程

书号: ISBN 978-7-111-32849-0

作者: 陈平 定价: 30.00 元

推荐简言:

本书以典型零件或产品为载体来讲解 AutoCAD 2010,循序渐进地介绍各种常用的绘制命令,以及绘制典型二维图形和三维图形的方法与技巧。

Mastercam 应用教程(第3版)

书号: ISBN 978-7-111-32295-5

作者: 张延 定价: 28.00 元

推荐简言:

本书前两版都经过市场的检验,销量一直非常好。本书是在第2版的基础上,以 MastercamX 为蓝本,通过大量实例,以数控编程方法和思路为导向,讲解 Mastercam 的基础知识和应用技能。

Pro/ENGINEER 5.0 应用教程

书号: ISBN 978-7-111-35772-8

作者: 张延 定价: 32.00 元

推荐简言:

本书详细介绍了 Pro/ENGINEER 5.0 的主要功能和使用方法,突出实用性,采用大量实例,操作步骤详细,系统性强,使读者在实践中迅速掌握该软件的使用方法和技巧。在每章最后均配有习题,便于读者上机操作练习。

UG NX5 中文版数控加工实用教程

书号: ISBN 978-7-111-25479-9

作者: 张小红 定价: 33.00 元

推荐简言:

本书从工程实用角度出发,采用基础加实例精讲的形式,详细介绍了 UG NX5 中文版数控加工的基本功能、基本过程、方法和技巧。本书配套实例和练习有关内容的光盘。



精品教材推荐

S7-200 PLC 基础教程 (第2版)

书号: ISBN 978-7-111-17947-4

作者: 廖常初

定价: 25.00 元

推荐简言: 本书有别于其他 PLC 教材之处在于, 介绍了编程软件和仿真软件的使用方法、模拟量、子程序和中断程序、高速输入/高速输出、PID 控制的编程方法等。介绍了只需要输入一些参数, 就能自动生成用户程序的编程向导的使用方法。实验指导书中有 16 个紧密结合教学内容的实验。可以为教师提供电子教案。

PLC 基础及应用 (第2版)

书号: ISBN 978-7-111-12295-1

作者: 廖常初

定价: 23.00 元

获奖情况: 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

推荐简言: 本书以三菱 FX 系列 PLC 为讲授对象, 介绍了 PLC 控制系统的设计和调试方法, 提高系统可靠性和降低硬件费用的方法等内容, 提供了编程器与编程软件的使用指南和内容丰富的实验指导书。为教师提供了制作电子教案用图。本书自 2003 年出版以来已 9 次印刷。

PLC 控制系统设计与运行维护

书号: ISBN 978-7-111-30806-5

作者: 史宜巧

定价: 27.00 元

获奖情况: 省级精品课程配套教材

推荐简言:

本书以 FX 系列 PLC 为对象, 基于工作过程用 4 个情境编排开关量逻辑控制、模拟量控制和通信联网控制 3 大教学内容。选用生产一线的典型案例, 以“功能分析→硬件配置→编程→调试与维护”为主线来讲述控制系统设计。

西门子 S7-300 PLC 基础与应用

书号: ISBN 978-7-111-33160-5

作者: 吴丽

定价: 25.00 元

推荐简言:

本书融入了“工学结合”的教学理念, 通过丰富的实例讲解西门子 S7-300 PLC 的基础知识与应用技巧。每章都配有技能训练项目。本书配有多媒体电子课件和大量的相关技术资料。

传感器与检测技术

书号: ISBN 978-7-111-23503-3

作者: 董春利

定价: 24.00 元

获奖情况: 省级精品课程配套教材

推荐简言:

本书作者董春利教授具有丰富的生产实践和教学经验。本书的特点在于结合工程实践来讲解传感器技术及其应用, 内容简练、实例丰富、图文并茂, 每章都配有习题与思考题。

自动化生产线安装与调试

书号: ISBN 978-7-111-34438-4

作者: 何用辉

定价: 39.00 元

推荐简言:

本书为校企合作、工学结合的特色改革教材, 基于工作过程组织内容, 内容充实, 书中重点内容均配有实物图片, 提高学习效率。配套超值光盘, 包含: 教学课件、实况视频、动画仿真等多种课程教学配套资源。

目 录

出版说明

序

前言

模块 1 数控加工基础知识 1

任务 1.1 认识数控加工技术 1

任务 1.2 数控加工编程基础 8

模块 2 数控车削编程与加工 20

任务 2.1 数控车床的基本操作 20

任务 2.2 阶梯轴零件的编程与
加工 32

任务 2.3 成型曲面的编程与加工 ... 42

任务 2.4 切槽、切断的编程与
加工 56

任务 2.5 螺纹车削的编程与加工 ... 63

任务 2.6 套类零件的编程与加工 ... 72

任务 2.7 复杂轴类零件的编程与
加工 77

任务 2.8 宏指令的使用 83

模块 3 数控铣削编程与加工 90

任务 3.1 数控铣床的基本操作 90

任务 3.2 平面直槽的编程与
加工 103

任务 3.3 平面弧形槽的编程与
加工 111

任务 3.4 平面外轮廓件的编程与
加工 117

任务 3.5 平面型腔轮廓件的编程与
加工 127

任务 3.6 多个相似轮廓件的综合
铣削加工 135

任务 3.7 孔的编程与加工 146

任务 3.8 宏指令的使用 159

模块 4 加工中心的编程与加工 167

任务 4.1 立式加工中心板类件的
编程与加工 167

任务 4.2 卧式加工中心箱体类零件
的编程与加工 180

模块 5 职业技能考核综合训练 193

任务 5.1 中级职业技能数控车
综合训练 193

任务 5.2 中级职业技能数控铣
综合训练 201

任务 5.3 中级职业技能数控加工
中心综合训练 210

附录 221

附录 A 常用数控系统指令表 221

附录 B 常用切削用量表 227

附录 C 螺纹底孔直径和套螺纹前
圆杆直径 229

附录 D 数控中级工国家职业标准
要求 230

参考文献 233

模块 1 数控加工基础知识

任务 1.1 认识数控加工技术

【学习目标】

- 了解数控机床的概念。
- 了解数控机床的分类。
- 了解数控技术的发展历程。
- 了解数控机床加工的特点及适用范围。
- 了解数控加工技术的发展趋势。
- 理解数控加工原理。

【知识学习】

1. 数控机床概述

(1) 基本概念 数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术，该技术覆盖很多领域：机械制造技术，信息处理、加工、传输技术，自动控制技术，伺服驱动技术，传感器技术，软件技术等。

1) 数控 NC——数字控制 (Numerical Control)。它是指用数字化信号对机床运动及其加工过程中进行控制的一种方法。

2) 数控系统 (NC System)。数控设备的数据处理和控制电路以及伺服机构等构成的系统称为数控系统。它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序，并将其译码，从而使机床运动并加工零件，它由程序输入与输出设备、计算机数字控制装置、可编程序控制器、主轴进给及驱动装置等组成。

3) 计算机数控 (CNC, Computer Numerical Control) 系统。由装有数控系统程序的专用计算机、输入与输出设备、计算机数字控制装置 (CNC 装置)、可编程序控制器 (PLC)、主轴驱动装置和进给驱动装置等部分组成，如图 1-1 所示。

4) 数控程序 (NC Program)。数控程序是指输入数控系统中的、使数控机床执行一个确定的加工任务的、具有特定代码和其他符号编码的一系列指令。

5) 数控编程。数控编程即将零件的加工信息编制成数控机床能识别的代码。

在数控机床上加工零件时，要把加工零件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据，以信息的形式记录在控制介质上，用控制介质上的信息来控制机床，实现零件的全部加工过程。从分析零件图样到获得数控机床所需控制介质的全部过程即称为数控编程。

6) 数控机床 (NC Machine)。数控机床是一种装有程序控制系统 (数控系统) 的高效自动化机床。该系统能逻辑地处理具有特定代码和其他符号编码指令规定的程序。它综合了计算机、自动控制、精密测量、机床机构设计与制造等方面的最新成果。具体地说，凡是

刀具相对于工件的移动轨迹和相关的工艺信息用代码进行编程，然后送入数控系统经过数字运算、处理，并通过高性能的驱动单元控制机床的刀具与工件的相对运动，加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

世界上第一台数控机床是 1952 年美国帕森斯（Parsons）公司和麻省理工学院（MIT）合作研制成功的三坐标数控铣床，它用来加工直升机叶片轮廓检查用样板。数控机床的产生使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。

与普通机床相比，数控机床取代了手工操作，可由数控系统在程序控制下自动完成，国家数控机床的拥有量反映了这个国家的经济能力和国防实力。

（2）数控机床的分类 通常，数控

机床可根据工艺方式、控制系统运动方式、机床运动轨迹、数控系统的功能水平进行分类。

1) 按工艺方式分类。按工艺方式分，最常用的数控机床可分为以下三类：

① 金属切削类数控机床。这类数控机床有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控钻床、数控齿轮加工机床、加工中心等。

② 金属成形类数控机床。这类数控机床有数控折弯机、数控弯管机、数控冲床等。

③ 数控特种加工及其他类型机床。这类数控机床有数控线切割机床、数控火焰切割机、数控三坐标测量机、数控电火花加工机床等。

2) 按伺服控制方式分类。按伺服控制方式分，最常用的数控机床可分为以下三类：

① 开环数控机床。这类数控机床采用开环进给伺服系统。其数控装置发出的指令信号是单向的，没有检测反馈装置对运动部件的实际位移量进行检测，不能进行运动误差的校正，因此步进电动机的步距角误差、齿轮和丝杠组成的传动链误差都将直接影响加工零件的精度。

这类机床通常为经济型、中小型机床，具有结构简单、价格低廉、调试方便等优点，但通常输出的转矩值大小受到限制，而且当输入的频率较高时，容易产生失步，难以实现运动部件的控制，因此已不能充分满足数控机床日益提高功率、运动速度和加工精度的控制要求，如图 1-2 所示。

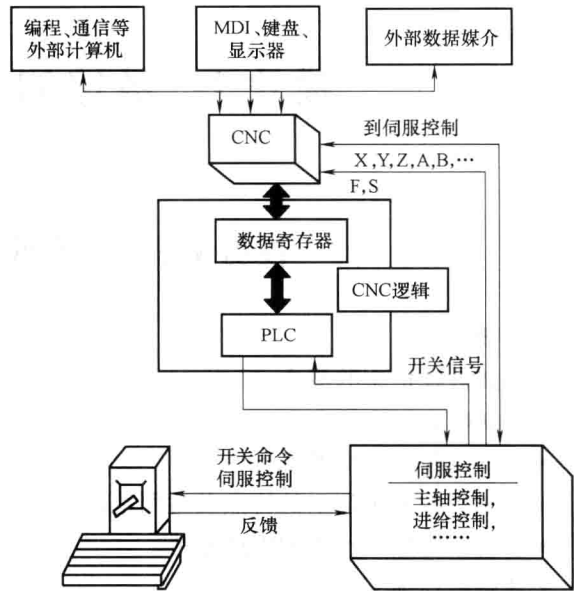


图 1-1 CNC 系统原理

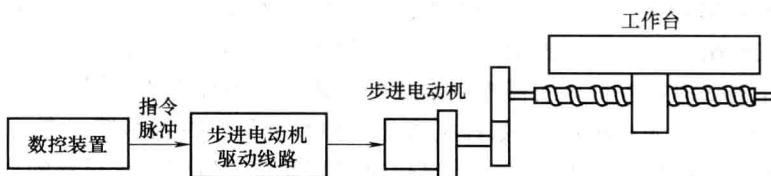


图 1-2 开环伺服系统

② 闭环数控机床。这类机床的位置检测装置安装在进给系统末端的执行部件上，当数控系统发出位移指令后，经过伺服电动机、机械传动装置驱动移动部件，直线位置检测装置把检测到的位移量反馈到位置比较环节，与输入信号进行比较，将误差补偿到控制指令中再去控制伺服电动机。

由图 1-3 可以看出，系统的精度在很大程度上取决于位置检测装置的精度，因此闭环进给伺服系统精度高。但是，由于机械传动装置的刚度、摩擦阻尼特性、反向间隙等非线性因素对稳定性有很大影响，造成闭环进给伺服系统的安装调试比较复杂。再者，直线位置检测装置的价格比较高，因此闭环伺服系统多用于高精度数控机床和大型数控机床上。

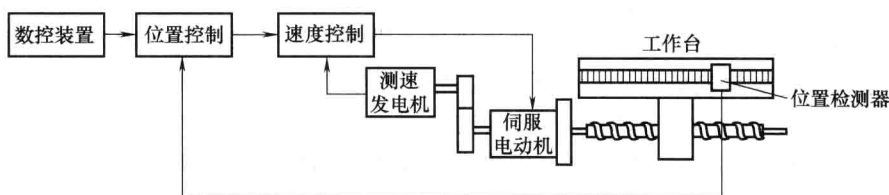


图 1-3 闭环伺服系统

③ 半闭环数控机床。这类机床的检测元件装在驱动电动机或传动丝杠的端部，可间接测量执行部件的实际位置或位移。这种系统的闭环环路内不包括机械传动环节，控制系统的调试十分方便，因此可以获得稳定的控制特性。由于采用高分辨率的测量元件，如脉冲编码器，因此可以获得比较满意的精度与速度。半闭环数控机床可以获得比开环系统更高的精度，但由于机械传动链的误差无法得到消除或校正，因此它的位移精度比闭环系统的要低。大多数数控机床采用半闭环控制系统，如图 1-4 所示。

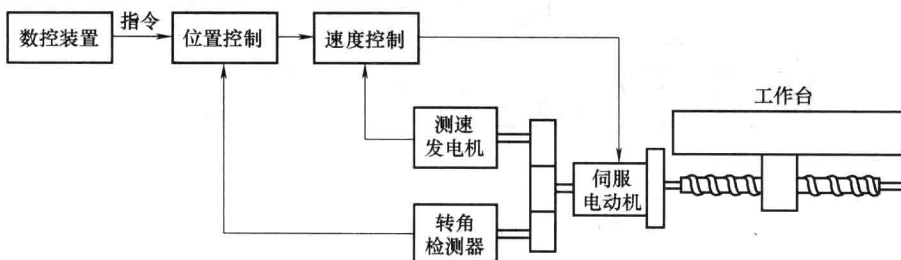


图 1-4 半闭环伺服系统

3) 按机床运动轨迹进行分类。

① 点位控制数控机床。刀具从某一位置向另一位置移动时，不管中间的轨迹如何，只要刀具最后能正确到达目标位置的控制方式，称为点位控制，又称为点到点控制。在从点到点的移动过程中，只作快速空程的定位运动，因此不能用于加工过程的控制。这类机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

图 1-5 所示的钻孔工作为点位运动，刀具可按①、②、③、④、⑤中的任意一条轨迹运动。点位控制数控机床的运动轨迹如图 1-6a 所示。

② 直线控制数控机床。也称为直线切削控制或平行切削控制机床。如图 1-6b 所示，除点到点的准确位置之外，还要保证两点之间移动的轨迹是直线，而且对移动的速度也要进行

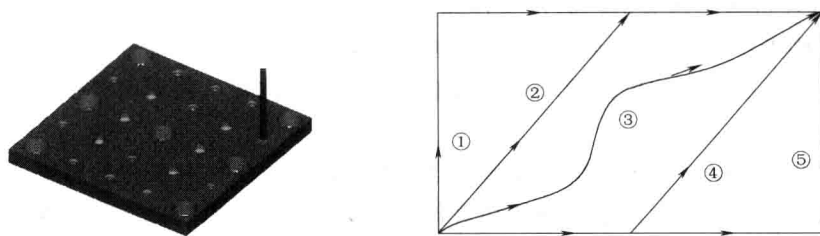


图 1-5 点位控制数控机床加工示意图

控制，以便适应随工艺因素变化的不同需要。

可控制刀具相对于工作台以适当的进给速度，沿着平行于某一坐标轴方向或与坐标轴成 45° 的斜线方向作直线轨迹的加工。这种方式是一次同时只有某一轴在运动，或让两轴以相同的速度同时运动以形成 45° 的斜线，所以其控制难度不大，系统结构比较简单。一般地，都是将点位与直线控制方式结合起来，组成点位直线控制系统用于机床上。简易数控车床与数控镗铣床一般有 2~3 个可控坐标轴，但同时控制的坐标轴只有一个。

③ 轮廓控制的数控机床。能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关地控制，因而可进行曲线或曲面的加工，如图 1-6c 所示。可控制刀具相对于工件作连续轨迹的运动，能加工任意斜率的直线与任意大小的圆弧，配以自动编程计算，可加工任意形状的曲线和曲面。典型的轮廓控制型机床有数控铣床、功能完善的数控车床、数控磨床、数控电加工机床等。

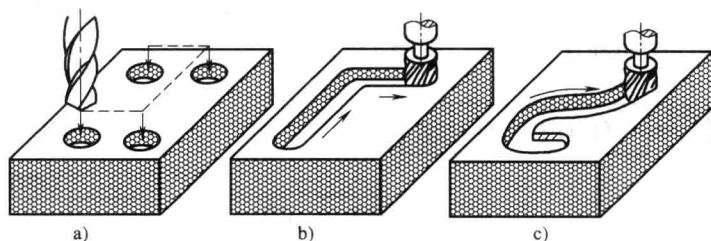


图 1-6 按机床运动轨迹分类

a) 点位控制 b) 直线控制 c) 轮廓控制

数控机床加工时的横向、纵向等进给量都是以坐标数据来进行控制的。像数控车床、数控线切割机床等是属于两坐标轴控制，数控铣床则是三坐标轴控制，还有四坐标轴、五坐标轴甚至更多的坐标轴控制的加工中心等。坐标联动加工是指数控机床的几个坐标轴能够同时进行移动，从而获得平面直线、平面圆弧、空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹的能力。当然也有一些早期的数控机床尽管具有三个坐标轴，但能够同时进行联动控制的可能只是其中两个坐标轴，那就属于两坐标轴联动的三坐标轴机床。像这类机床就不能获得空间直线、空间螺旋线等复杂的加工轨迹。要想加工复杂的曲面，只能采用在某平面内进行联动控制，第三轴作单独周期性进给的“两维半”加工方式。

对于一台数控机床，所谓的几坐标机床是指有几个运动采用了数字控制的机床。例如，两坐标数控车床是两个方向的运动采用了数字控制的数控车床，而三坐标数控铣床是指三个方向的运动采用了数字控制的数控铣床。

数控机床的加工方式根据联动坐标轴的数量不同可分为两轴联动加工、两轴半联动加工、三轴联动加工、四轴联动加工与五轴联动加工等。

两轴联动加工：只能控制任意两坐标轴联动，实现两坐标轴联动加工。

两轴半联动加工：某两坐标轴联动，另一坐标轴周期进给，将立体型面转化为平面轮廓加工，即两坐标联动的三坐标机床加工，如图 1-7 所示。

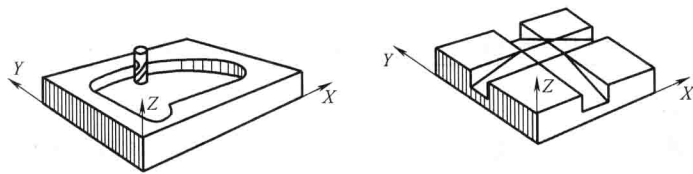


图 1-7 两轴半联动加工

三轴联动加工：指同时控制 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴，实现三坐标轴联动加工，刀具在空间的任意方向都可移动，如图 1-8 所示。

四轴联动加工：指同时控制四个坐标轴，即在三个移动坐标轴之外，再加一个旋转坐标轴，如图 1-9 所示。

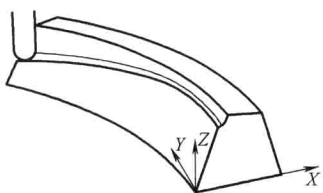


图 1-8 三轴联动加工

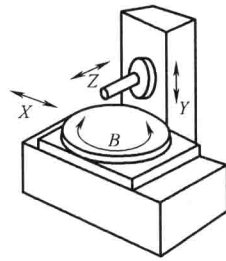


图 1-9 四轴联动加工

五轴联动加工：指同时控制五个坐标轴的连续进给运动，即在三个移动坐标轴之外，再加两个旋转坐标轴。

4) 按数控系统的功能水平分类。按数控系统的功能水平不同，数控机床可分为低、中、高三档。低、中、高档的界线是相对的，不同时期的划分标准有所不同。就目前的发展水平来看，数控系统可以根据表 1-1 所列的一些功能和指标进行区分。其中，中、高档一般称为全功能数控系统或标准型数控系统。在我国还有经济型数控系统的说法。经济型数控系统属于低档数控系统，是由单片机和步进电动机组成的数控系统，或是其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控系统主要用于车床、线切割机床以及旧机床数控化改造等。

表 1-1 不同档次数控系统的功能及指标

功能及指标	低档	中档	高档
系统分辨率/ μm	10	1	0.1
G00 进给速度/(m/min)	3 ~ 8	10 ~ 24	24 ~ 100
伺服类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服电动机	闭环及直、交流伺服电动机
联动轴数	2 ~ 3	2 ~ 4	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232 接口、DNC 接口	RS232 接口、MAP 通信接口、具有联网功能