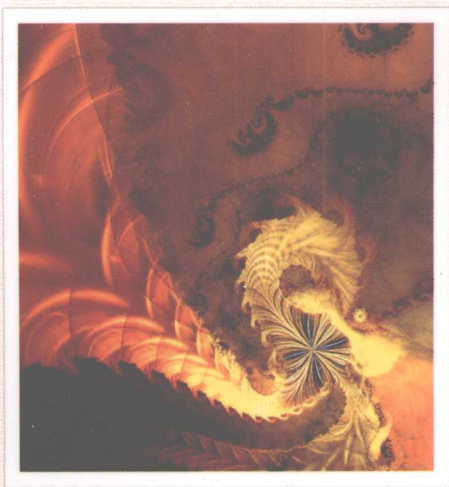


中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

The Excellent Achievements in Scientific Research Project of Chinese Society of Technical and Vocational Education

高等职业教育数控技术专业“双证课程”培养方案规划教材



数控加工工艺设计 与程序编制

高等职业技术教育研究会 审定

周虹 主编

Design of CNC Machining
Technology & Programming

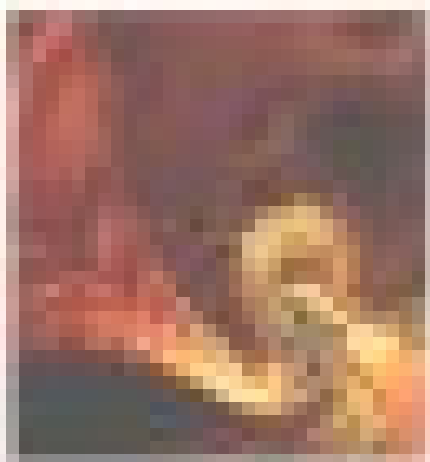
- ◆ 强调数控编程技能
- ◆ 采用项目教学方式
- ◆ 以工作过程为导向



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中国图书出版业数字出版转型升级高峰论坛

2015年12月10-11日 北京 国家会议中心



数控加工工艺设计与 程序编制

李俊 主编
机械工业出版社

Technology and CNC Programming
Technology Design of Mechanical Parts

- 1. 数控加工工艺设计
- 2. 数控编程
- 3. 数控加工案例

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺设计与程序编制 / 周虹主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009. 2
中国职业技术教育学会科研项目优秀成果
ISBN 978-7-115-19431-2

I. 数… II. 周… III. ①数控机床—加工工艺—高等学校: 技术学校—教材②数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第003052号

内 容 提 要

本书以培养学生的数控加工程序编制技能为核心, 以工作过程为导向, 以 FANUC 数控系统为主、SIEMENS 数控系统为辅, 详细介绍了数控加工工艺设计, 数控车、铣床的编程指令, 宇航、宇龙数控仿真软件的操作等内容。

本书采用项目教学的方式组织内容, 每个项目都来源于企业的典型案例。全书共设 8 个项目。主要内容包括 8 个由简单到复杂的零件的数控编程与仿真加工, 每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、拓展知识、自测题 5 部分组成。通过学习和训练, 学生不仅能够掌握数控编程知识, 而且能够掌握零件数控加工程序编制的方法, 达到高级数控车工、数控铣工、加工中心操作工数控手工编程的水平。

本书可作为高等职业技术学院数控技术应用、模具设计与制造、机械制造及自动化等机械类专业的教学用书, 也可供相关技术人员、数控机床编程与操作人员参考、学习、培训之用。

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

高等职业教育数控技术专业“双证课程”培养方案规划教材

数控加工工艺设计与程序编制

- ◆ 审 定 高等职业技术教育研究会
主 编 周 虹
责任编辑 李育民
- ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本: 787×1 092 1/16
印张: 15
字数: 365 千字
印数: 1—3 000 册

2009年2月第1版

2009年2月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-19431-2/TN

定价: 27.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010) 67171154

职业教育与职业资格证书推进策略与 “双证课程”的研究与实践课题组

课题组长：

俞克新

副课题组长：吴林宝

副组长：

李维利 张宝忠 许远 潘春燕

李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权

吴新佳 韩志国 周明虎 顾晔

吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

成员：

林平 周虹 钟健 赵宇 李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权

黄军辉 赵波 邓晓阳 牛宝林 吴新佳 韩志国 周明虎 顾晔

吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

会员委员会

课题鉴定专家：

李怀康 邓泽民 吕景泉 陈敏 于洪文

课题组长：

李维利 张宝忠 许远 潘春燕

李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权

吴新佳 韩志国 周明虎 顾晔

吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

林平 周虹 钟健 赵宇 李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权

黄军辉 赵波 邓晓阳 牛宝林 吴新佳 韩志国 周明虎 顾晔

吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

李维利 张宝忠 许远 潘春燕

李秀忠 冯建东 散晓燕 安宗权

吴新佳 韩志国 周明虎 顾晔

吴晓苏 赵慧君 潘新文 李育民

李维利 张宝忠 许远 潘春燕

高等职业教育数控技术专业“双证课程”
培养方案规划教材编委会

主任：周虹

委员

副主任：牛宝林 吴新佳

委员

委员：朱强 霍苏萍 周玮 周兰 贾俊良 陈万利 杨占尧
郑金 李辉 赵宏立 华满香 周建安 林宗良 金英姬 黄义俊
董小金 戴晓东 牛荣华 冯锦春 刘岩 赵仕元 张雪梅 申晓龙
任成高 余慰荔 周旭光 苏玮 刘宏 吕永峰 王雁彬 邵萍
郭宏彦 何全陆 张念淮 姜庆华

委员

审稿委员会

主任

主任：魏东坡 泉景昌 周春取 魏冲李

副主任：张鑫 王德发 熊江

委员：米久贵 卜燕萍 徐立娟 陈忠平 庄军 谭毅 谢响明
汤长清 高荣林 卜新民 罗澄清 王德山 栾敏 谢伟东 李学
印成清 李加升 李锐敏 姬红旭 徐国洪 张国锋 陈孝先 夏光蔚
李燕林 刘一兵 田培成 刘勇 冯光林 魏仕华 曹淑联 孙振强
山颖 白福民 吕修海 王达斌 周林 王军红 邓剑锋 杨国生
周信安 叶立清 雷云进 谷长峰 向东 葛序风 李建平 刘战术
肖允鑫 李丹 张光跃 陈玉平 林长青 王玉梅 戴晓光 罗正斌
刘晓军 张秀玲 袁小平 李宏 张凤军 孙建香 陈晓罗 肖龙
何谦 周玮 张瑞林 潘爱民

本书主审：李学

丛书出版前言

职业教育是现代国民教育体系的重要组成部分，在实施科教兴国战略和人才强国战略中具有特殊的重要地位。党中央、国务院高度重视发展职业教育，提出要全面贯彻党的教育方针，以服务为宗旨，以就业为导向，走产学结合的发展道路，为社会主义现代化建设培养千百万高素质技能型专门人才。因此，以就业为导向是我国职业教育今后发展的主旋律。推行“双证制度”是落实职业教育“就业导向”的一个重要措施，教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》（教高〔2006〕16号）中也明确提出，要推行“双证书”制度，强化学生职业能力的培养，使有职业资格证书专业的毕业生取得“双证书”。但是，由于基于双证书的专业解决方案、课程资源匮乏，双证书课程不能融入教学计划，或者现有的教学计划还不能按照职业能力形成系统化的课程，因此，“双证书”制度的推行遇到了一定的困难。

为配合各高职院校积极实施双证书制度工作，推进示范校建设，中国高等职业技术教育研究会和人民邮电出版社在广泛调研的基础上，联合向中国职业技术教育学会申报了职业教育与职业资格证书推进策略与“双证课程”的研究与实践课题（中国职业技术教育学会科研规划项目，立项编号 225753）。此课题拟将职业教育的专业人才培养方案与职业资格认证紧密结合起来，使每个专业课程设置嵌入一个对应的证书，拟为一般高职院校提供一个可以参照的“双证课程”专业人才培养方案。该课题研究的对象包括数控加工操作、数控设备维修、模具设计与制造、机电一体化技术、汽车制造与装配技术、汽车检测与维修技术等多个专业。

该课题由教育部的权威专家牵头，邀请了中国职教界、人力资源和社会保障部及有关行业的专家，以及全国 50 多所高职高专机电类专业教学改革领先的学校，一起进行课题研究，目前已召开多次研讨会，将课题涉及的每个专业的人才培养方案按照“专业人才定位—对应职业资格证书—职业标准解读与工作过程分析—专业核心技能—专业人才培养方案—课程开发方案”的过程开发。即首先对各专业的工作岗位进行分析和分类，按照相应岗位职业资格证书的要求提取典型工作任务、典型产品或服务，进而分析得出专业核心技能、岗位核心技能，再将这些核心技能进行分解，进而推出各专业的专业核心课程与双证课程，最后开发出各专业的人才培养方案。

根据以上研究成果，课题组对专业课程对应的教材也做了全面系统的研究，拟开发的教材具有以下鲜明特色。

1. 注重专业整体策划。本套教材是根据课题的研究成果——专业人才培养方案开发的，每个专业各门课程的教材内容既相互独立、又有机衔接，整套教材具有一定的系统性与完整性。

2. 融通学历证书与职业资格证书。本套教材将各专业对应的职业资格证书的知识和能力要求都嵌入到各双证教材中，使学生在获得学历文凭的同时获得相关的国家职业资格证书。

3. 紧密结合当前教学改革趋势。本套教材紧扣教学改革的最新趋势，专业核心课程、双证

前言

零件的数控加工程序编制是数控加工设备操作工、数控工艺(编程)员的典型工作任务,是数控技术高技能人才必须掌握的技能,也是高职机械类专业的一门重要的专业核心课程。

本书以训练学生的数控加工程序编制技能为目标,详细介绍数控加工工艺设计,数控车、铣床的编程指令(FANUC 数控系统为主、SIEMENS 数控系统为辅),数控仿真软件(宇航为主、宇龙为辅)的操作等内容。

本书以工作过程为导向,以典型零件为载体,采用项目教学的方式组织内容,每个项目都来源于企业的典型案例。主要内容包括 8 个由简单到复杂的零件的数控编程与仿真加工,每个项目由项目导入、相关知识、项目实施、拓展知识、自测题 5 部分组成。在项目导入部分,给出编程任务,即需要进行数控加工程序的零件图及技术条件;在相关知识部分,介绍完成项目时,学生需要学习的数控加工工艺、FANUC 数控系统编程指令、宇航数控仿真软件等知识;在项目实施部分,介绍完整的数控编程工作过程,即零件工艺性分析、制订数控工艺方案、编制数控技术文档、试加工与优化;在拓展知识部分,介绍 SIEMENS 数控系统编程指令和宇龙数控仿真软件的操作;在自测题部分,精心筛选了一定数量的习题,供学生检测学习效果。

通过 8 个项目的学习和训练,学生不仅能够掌握数控编程知识,而且能够掌握零件数控加工程序编制的方法,达到高级数控车工、数控铣工、加工中心操作工数控手工编程的水平。

本书的参考学时为 84 学时,建议采用理论实践一体化教学模式,各章的参考学时见下面的学时分配表。

学时分配表

项 目	课 程 内 容	学 时
	绪 论	4
项目一	定位销轴的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目二	螺纹球形轴的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目三	定位套的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目四	椭圆手柄的数控加工工艺设计与程序编制	8
项目五	U 形槽的数控加工工艺设计与程序编制	12
项目六	凸模板的数控加工工艺设计与程序编制	8
项目七	调整板的数控加工工艺设计与程序编制	8
项目八	基座的数控加工工艺设计与程序编制	8
	课时总计	84

本书由湖南铁道职业技术学院周虹编写和统稿,张克昌编写了项目四、项目八中的数控加工程序卡。此外,在编写过程中,得到了钟振龙、董小金、胡绍军、罗友兰、喻丕珠、王爽、周文军的大力支持和帮助,在此深表感谢。

由于时间仓促,编者水平和经验有限,书中难免有欠妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者
2009年2月

目 录

绪论	1	(一) 零件工艺性分析	56
一、数控加工概述	1	(二) 制订机械加工工艺方案	57
(一) 数控机床的产生与发展	1	(三) 编制数控技术文档	59
(二) 数控机床的概念及组成	3	(四) 试加工与优化	61
(三) 数控机床的种类与应用	5	四、拓展知识	64
(四) 数控机床加工的特点及应用	10	(一) SINUMERIK 802S 系统的基本 编程指令	64
二、数控编程基础	11	(二) 宇龙数控车仿真软件的操作	65
(一) 数控机床坐标系的确定	11	小结	70
(二) 数控机床的两种坐标系	14	自测题	70
(三) 数控编程的种类及步骤	15	项目二 螺纹球形轴的数控加工工艺 设计与程序编制	72
(四) 常用编程指令	17	一、项目导入	72
(五) 数控加工程序的结构	23	二、相关知识	73
三、学习内容及学习方法	24	(一) 螺纹车刀的选用	73
小结	25	(二) 车螺纹切削用量的选择	74
自测题	25	(三) 车圆弧面的走刀路线设计	75
项目一 定位销轴的数控加工工艺 设计与程序编制	28	(四) 车螺纹的走刀路线设计及各 主要尺寸的计算	77
一、项目导入	28	(五) 数控车编程指令	78
二、相关知识	29	三、项目实施	85
(一) 数控加工工艺设计的方法	29	(一) 零件工艺性分析	85
(二) 外圆车刀、切断切槽刀的 选用	30	(二) 制订机械加工工艺方案	86
(三) 车圆柱面、台阶、锥面、切槽、 切断的走刀路线设计	41	(三) 编制数控技术文档	87
(四) 切削用量的选择	42	(四) 试加工与优化	91
(五) 数控车床坐标系及编程 坐标系	44	四、拓展知识	91
(六) 数控车床编程的特点	45	(一) SINUMERIK 802S 系统的圆弧 插补及刀具半径补偿指令	91
(七) 数控车编程指令	45	(二) SINUMERIK 802S 系统的暂停 指令	92
(八) 宇航数控车仿真软件的操作	51	(三) SINUMERIK 802S 系统的	
三、项目实施	56		

车螺纹指令.....	92
小结.....	94
自测题.....	94
项目三 定位套的数控加工工艺	
设计与程序编制.....	97
一、项目导入.....	97
二、相关知识.....	98
(一) 内孔车刀的选用.....	98
(二) 车内表面的走刀路线设计.....	100
(三) 数控车编程指令.....	100
三、项目实施.....	106
(一) 零件工艺性分析.....	106
(二) 制订机械加工工艺方案.....	106
(三) 编制数控技术文档.....	108
(四) 试加工与优化.....	111
四、拓展知识.....	112
(一) 切槽循环指令(LCYC93).....	112
(二) 毛坯切削循环指令(LCYC95).....	113
(三) 凹凸切削循环指令(LCYC94).....	115
小结.....	116
自测题.....	116
项目四 椭圆手柄的数控加工工艺	
设计与程序编制.....	119
一、项目导入.....	119
二、相关知识.....	120
(一) 车非圆曲线的走刀路线设计.....	120
(二) 用户宏程序基础.....	120
(三) 用户宏程序功能 A.....	121
(四) 用户宏程序功能 B.....	126
三、项目实施.....	129
(一) 零件工艺性分析.....	129
(二) 制订机械加工工艺方案.....	130
(三) 编制数控技术文档.....	131
(四) 试加工与优化.....	134
四、拓展知识.....	135
(一) 计算参数.....	135

(二) 赋值方式.....	135
(三) 控制指令.....	135
小结.....	135
自测题.....	136
项目五 U形槽的数控加工工艺	
设计与程序编制.....	138
一、项目导入.....	138
二、相关知识.....	139
(一) 槽、键槽的加工方法.....	139
(二) 键槽铣刀.....	140
(三) 立式数控铣床坐标系及编程坐标系.....	140
(四) 数控铣 F、S、T 指令.....	140
(五) 数控铣常用编程指令.....	141
(六) 宇航数控铣仿真软件的操作.....	147
三、项目实施.....	153
(一) 零件工艺性分析.....	153
(二) 制订机械加工工艺方案.....	153
(三) 编制数控技术文档.....	154
(四) 试加工与优化.....	156
四、拓展知识.....	158
(一) SINUMERIK 802D 系统的基本编程指令.....	158
(二) 宇龙数控铣仿真软件的操作.....	159
小结.....	164
自测题.....	164
项目六 凸模板的数控加工工艺	
设计与程序编制.....	167
一、项目导入.....	167
二、相关知识.....	168
(一) 平面铣削方法及面铣刀.....	168
(二) 内外轮廓的铣削方法.....	168
(三) 立铣刀.....	170
(四) 铣削用量的选择.....	171
(五) 数控铣编程指令.....	172
三、项目实施.....	179
(一) 零件工艺性分析.....	179
(二) 制订机械加工工艺方案.....	180
(三) 编制数控技术文档.....	181

(四) 试加工与优化·····	184	指令·····	208
四、拓展知识·····	185	(三) 编程注意事项·····	208
(一) SINUMERIK 802D 系统的		小结·····	208
子程序编程指令·····	185	自测题·····	208
(二) SINUMERIK 802D 系统的刀具		项目八 基座的数控加工工艺	
半径补偿编程指令·····	185	设计与程序编制·····	211
小结·····	186	一、项目导入·····	211
自测题·····	186	二、相关知识·····	212
项目七 调整板的数控加工工艺		(一) 曲面的铣削方法·····	212
设计与程序编制·····	190	(二) 曲面加工时铣刀的选择·····	213
一、项目导入·····	190	(三) 数控铣宏程序·····	213
二、相关知识·····	191	三、项目实施·····	217
(一) 孔的加工方法·····	191	(一) 零件工艺性分析·····	217
(二) 加工孔走刀路线设计·····	193	(二) 制订机械加工工艺方案·····	217
(三) 固定循环指令·····	195	(三) 编制数控技术文档·····	218
三、项目实施·····	200	(四) 试加工与优化·····	223
(一) 零件工艺性分析·····	200	四、拓展知识·····	223
(二) 制订机械加工工艺方案·····	200	(一) SINUMERIK 802D 系统的	
(三) 编制数控技术文档·····	201	钻孔样式循环·····	223
(四) 试加工与优化·····	204	(二) 程序跳转·····	224
四、拓展知识·····	205	小结·····	225
(一) SINUMERIK 802D 系统的		自测题·····	225
孔加工循环编程指令·····	205	参考文献·····	227
(二) 模态调用孔加工循环编程			

绪论

【能力目标】

了解本课程学习内容和学习方法，熟悉数控机床的组成及分类，掌握数控机床坐标系的确定和数控加工程序的结构。

【知识目标】

1. 掌握数控机床的概念、组成、分类、加工的特点及应用
2. 掌握数控机床坐标系的确定
3. 了解数控编程的种类及步骤
4. 了解常用编程指令
5. 熟悉数控加工程序的结构
6. 了解本课程学习内容和学习方法

一、数控加工概述

(一) 数控机床的产生与发展

1. 数控机床的产生

20世纪40年代以来，由于航空航天技术的飞速发展，对于各种飞行器的加工提出了更高的要求。这些用于飞行器的零件大多形状非常复杂，材料多为难加工的合金，用传统的机床和工艺方法进行加工，不能保证精度，也很难提高生产效率。为了解决零件复杂形状表面的加工问题，1952年，美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床。半个世纪以来，数控技术得到了迅猛的发展，加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了2个阶段和6个时代。

(1) 数控(NC)阶段(1952年—1970年)。早期的计算机运算速度慢，不能适应机床实时

控制的要求,人们只好用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作为数控系统,这就是硬件连接数控,简称数控(NC)。随着电子元器件的发展,这个阶段经历了3代,即1952年的第1代——电子管数控机床,1959年的第2代——晶体管数控机床,1965年的第3代——集成电路数控机床。

(2) 计算机数控(CNC)阶段(1970年—现在)。1970年,通用小型计算机已出现并投入成批生产,人们将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入计算机数控阶段。这个阶段也经历了3代,即1970年的第4代——小型计算机数控机床,1974年的第5代——微型计算机数控系统,1990年的第6代——基于PC的数控机床。

随着微电子技术和计算机技术的不断发展,数控技术也随之不断更新,发展非常迅速,几乎每5年更新换代一次,其在制造领域的加工优势逐渐体现出来。

2. 数控机床的发展趋势

数控机床的出现不但给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的发展和应用领域的扩大,它对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用,因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前世界上数控机床的发展呈现如下趋势。

(1) 高速度高精度化。速度和精度是数控机床的两个重要技术指标,它直接关系到加工效率和产品质量。当前,数控机床的主轴转速最高可达40 000 r/min,最大进给速度达120 m/min,最大加速度达 3m/s^2 ,定位精度正在向亚微米进军,纳米级5轴联动加工中心已经商品化。

(2) 多功能化。数控机床正向一机多能的方向发展,这样可以最大限度地提高设备的利用率。如数控加工中心(Machining Center, MC)配有机械手和刀具库,工件一经装夹,数控系统就能控制机床自动地更换刀具,连续对工件的各个加工面自动地完成铣削、镗削、铰孔、扩孔及攻螺纹等多工序加工,从而避免多次装夹所造成的定位误差。这样减少了设备台数、工夹具和操作人员,节省了占地面积和辅助时间。为了提高效率,新型数控机床在控制系统和机床结构上也有所改革。例如,采取多系统混合控制方式,用不同的切削方式(车、钻、铣、攻螺纹等)同时加工零件的不同部位等。现代数控系统控制轴数多达15轴,同时联动的轴数已达到6轴。

(3) 智能化。数控机床应用高技术的重要目标是智能化。智能化技术主要体现在以下几个方面。

① 引进自适应控制技术。

自适应控制技术(Adaptive Control, AC)的目的是要求在随机的加工过程中,通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性,按照给定的评价指标自动校正自身的工作参数,以达到或接近最佳工作状态。通常数控机床是按照预先编好的程序进行控制,但随机因素,如毛坯余量和硬度的不均匀、刀具的磨损等难以预测,为了确保质量,势必在编程时采用较保守的切削用量,从而降低了加工效率。AC系统可对机床主轴转矩、切削力、切削温度、刀具磨损等参数值进行自动测量,并由CPU进行比较运算后发出修改主轴转速和进给量大小的信号,确保AC处于最佳的切削用量状态,从而在保证质量条件下使加工成本最低或生产率最高。AC系统主要在宇航等工业部门用于特种材料的加工。

② 附加人机会话自动编程功能。

建立切削用量专家系统和示教系统,从而达到提高编程效率和降低对编程人员技术水平的

要求。

③ 具有设备故障自诊断功能。

数控系统出了故障，控制系统能够进行自诊断，并自动采取排除故障的措施，以适应长时间无人操作环境的要求。

(4) 小型化。蓬勃发展的机电一体化设备，对数控系统提出了小型化的要求，体积小便于将机、电装置揉合为一体。日本新开发的 FS16 和 FS18 都采用了三维安装方法，使电子元器件得以高密度地安装，大大地缩小了系统的占用空间。此外，它们还采用了新型 TFT 彩色液晶薄型显示器，使数控系统进一步小型化，这样可更方便地将它们装到机械设备上。

(5) 高可靠性。数控系统比较贵重，用户期望发挥投资效益，因此要求设备具有高可靠性。提高可靠性，通常可采取如下一些措施。

① 提高线路集成度。

采用大规模或超大规模的集成电路、专用芯片及混合式集成电路，以减少元器件的数量，精简外部连线和降低功耗。

② 建立由设计、试制到生产的一整套质量保证体系。

例如，采取防电源干扰，输入/输出光电隔离；使数控系统模块化、通用化及标准化，以便于组织批量生产及维修；在安装制造时注意严格筛选元器件；对系统可靠性进行全面的检查考核等。通过这些手段，保证产品质量。

③ 增强故障自诊断功能和保护功能。

由于元器件失效、编程及人为操作错误等原因，数控机床完全可能出现故障。数控机床一般具有故障自诊断功能，能够对硬件和软件进行故障诊断，自动显示出故障的部位及类型，以便快速排除故障。新型数控机床还具有故障预报、自恢复功能、监控与保护功能。例如，有的系统设有刀具破损检测、行程范围保护和断电保护等功能，以避免损坏机床及报废工件。由于采取了各种有效的可靠性措施，现代数控机床的平均无故障时间 (MTBF) 可达到 10 000~36 000 h。

(二) 数控机床的概念及组成

1. 数控机床的基本概念

(1) 数控 (Numerical Control, NC)。数控是采用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法。

(2) 数控机床 (Numerically Controlled Machine tool)。数控机床是指装备了计算机数控系统的机床，称为 CNC 机床。

2. 数控机床加工工件的过程

利用数控机床完成工件加工的过程，如图 0-1 所示，主要包括以下内容。

① 根据零件加工图样进行工艺分析，确定加工方案、工艺参数和位移数据。

② 用规定的程序代码和格式编写数控加工程序单，或用自动编程软件直接生成数控加工程序文件。

③ 程序的输入或传输。由手工编写的程序，可以通过数控机床的操作面板输入程序；由编程软件生成的程序，通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元 (MCU)。

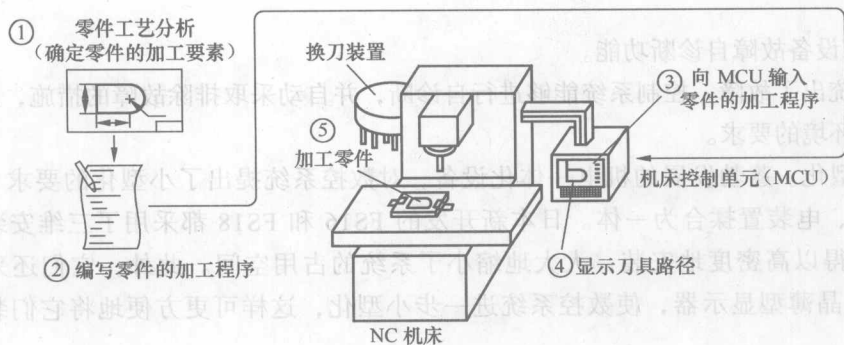


图 0-1 数控机床加工工件的过程

- ④ 将输入或传输到数控单元的加工程序进行刀具路径模拟、试运行等。
- ⑤ 通过对机床的正确操作，运行程序，完成工件的加工。

3. 数控机床的组成

数控机床由输入输出设备、计算机数控装置 (CNC 装置)、伺服系统和机床本体等部分组成，其组成框图如图 0-2 所示，其中输入输出设备、CNC 装置、伺服系统合起来就是计算机数控系统。

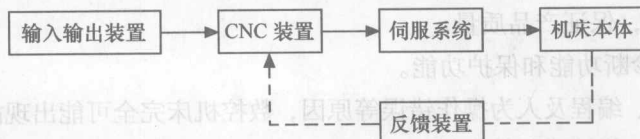


图 0-2 数控机床的组成

(1) 输入输出装置。在数控机床上加工工件时，首先根据零件图纸上的零件形状、尺寸和技术条件，确定加工工艺，然后编制出加工程序，程序通过输入装置，输送给机床数控系统，机床内存中的数控加工程序可以通过输出装置传出。输入输出装置是机床与外部设备的接口，常用输入装置有软盘驱动器、RS232C 串行通信口、MDI 方式等。

(2) CNC 装置。CNC 装置是数控机床的核心，它接受输入装置送来的数字信息，经过控制软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后，将各种指令信息输出给伺服系统，使设备按规定的动作执行。现在的 CNC 装置通常由一台通用或专用微机构成。

(3) 伺服系统。伺服系统是数控机床的执行部分，其作用是把来自 CNC 装置的脉冲信号转换成机床的运动，使机床工作台精确定位或按规定的轨迹作严格的相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。每一个脉冲信号使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量（也叫做最小设定单位），常用的脉冲当量为 0.001 mm。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服系统，伺服系统的精度及动态响应决定了数控机床的加工精度、表面质量和生产率。伺服系统一般包括驱动装置和执行机构两大部分，常用执行机构有步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等。

(4) 机床本体。机床本体是数控机床的机械结构实体，主要包括主运动部件、进给运动部件（如工作台、刀架）、支承部件（如床身、立柱等），还有冷却、润滑、转位部件，如夹紧、换刀机械手等辅助装置。与普通机床相比，数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大的变化。为了满足数控技术的要求和充分发挥数控机床的

特点,归纳起来,包括以下几个方面的变化。

- ① 采用高性能主动及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗震性好及热变形小等优点。
- ② 进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点,一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。
- ③ 具有完善的刀具自动交换和管理系统。
- ④ 在加工中心上一般具有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。
- ⑤ 机床本身具有很高的动、静刚度。
- ⑥ 采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工,为了操作安全等,一般采用移动门结构的全封闭罩壳,对机床的加工部件进行全封闭。

对于半闭环、闭环数控机床,还带有检测反馈装置,其作用是对机床的实际运动速度、方向、位移量以及加工状态加以检测,把检测结果转化为电信号反馈给 CNC 装置。检测反馈装置主要有感应同步器、光栅、编码器、磁栅、激光测距仪等。

(三) 数控机床的种类与应用

数控机床的分类方法很多,主要有以下几种。

1. 按工艺用途分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的,各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床,按工艺用途分类,大致如下。

(1) 金属切削类数控机床。指采用车、铣、镗、铰、钻、磨、刨等各种切削工艺的数控机床。包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。切削类数控机床发展最早,目前种类繁多,功能差异也较大。这里需要特别强调的是加工中心,也称为可自动换刀的数控机床。这类数控机床带有一个刀库和自动换刀系统,刀库可容纳 16~100 多把刀具。如图 0-3、图 0-4 分别是立式加工中心、卧式加工中心的外观图。立式加工中心最适宜加工高度方向尺寸相对较小的工件,一般情况下,除底部不能加工外,其余 5 个面都可以用不同的刀具进行轮廓和表面加工。卧式加工中心适宜加工有多个加工面的大型零件或高度尺寸较大的零件。



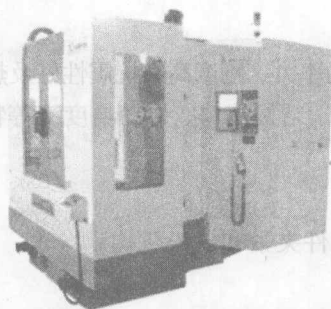
VMC1000 立式加工中心

相关参数

工作台尺寸(长×宽): 1 050mm×500mm
 刀库容量: 20 把
 坐标定位精度(X, Y, Z/A, C): ±0.01mm
 重复定位精度: 0.004mm
 行程(X/Y/Z): 1 020mm×560mm×510mm
 主轴转速: 80~8 000(可选 10 000)r/min
 主电机功率: 7.5/11kW
 快速移动(X/Y/Z): 15m/min
 换刀时间: 7s

图 0-3 立式加工中心

(2) 金属成型类数控机床。指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床。包括数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机、数控压力机等。这类机床起步晚,但目前发展很快。



相关参数
 工作台尺寸(长×宽): 400mm×400mm
 刀库容量: 30把
 刀柄: BT40
 坐标行程参数: X: 630mm, Y: 500mm,
 Z: 520mm
 主轴转速: 60~6000r/min
 功率: 7.5/11kW
 粗糙度: $R_a=1.6\mu\text{m}$
 加工精度: IT6级
 控制系统: FANUC Oi-MC

JHMC40 卧式加工中心

图 0-4 卧式加工中心

(3) 数控特种加工机床。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控火焰切割机床、数控激光切割机床等。

(4) 其他类型的数控设备。如数控三坐标测量仪、数控对刀仪、数控绘图仪等。

2. 按机床运动的控制轨迹分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制数控机床只要求控制机床的移动部件从某一位置移动到另一位置的准确定位, 对于两位置之间的运动轨迹不作严格要求, 在移动过程中刀具不进行切削加工, 如图 0-5 所示。为了实现既快又准的定位, 常采用先快速移动, 然后慢慢趋近定位点的方法来保证定位精度。

具有点位控制功能的数控机床有数控钻床、数控冲床、数控镗床、数控点焊机等。

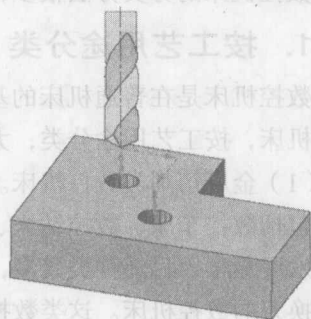


图 0-5 点位控制数控机床加工示意图

(2) 直线控制数控机床。直线控制数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外, 还要保证两点之间移动的轨迹是一条与机床坐标轴平行的直线, 因为这类数控机床在两点之间移动时要进行切削加工, 所以对移动的速度也要进行控制, 如图 0-6 所示。

具有直线控制功能的数控机床有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。单纯用于直线控制的数控机床目前不多见。

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制又称连续轨迹控制, 这类数控机床能够对两个或两个以上的运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制, 因而可以进行曲线或曲面的加工, 如图 0-7 所示。

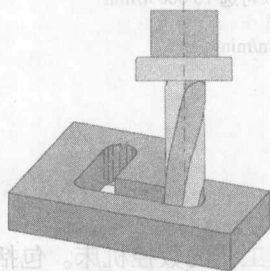


图 0-6 直线控制数控机床加工示意图

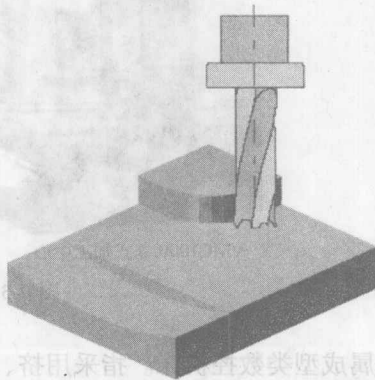


图 0-7 轮廓控制数控机床加工示意图