

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 The Chinese Society Vocational and Technical Education

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材



数控加工编程 与操作

高等职业技术教育研究会 审定

顾晔 楼章华 主编

NC Machining Programming
and Operation

- ◆ 强调数控编程基础
- ◆ 注重数控工艺分析
- ◆ 侧重职业技能传授



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

2011年1月1日出版

本书是“十二五”期间中国职业技术教育学会科研项目“双证课程”培养方案规划教材，可作为高等职业院校模具设计与制造专业及相关专业的教材，也可供从事模具设计与制造工作的工程技术人员参考。

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 The Chinese Society Vocational and Technical Education

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材



数控加工编程 与操作

高等职业技术教育研究会 审定

顾晔 楼章华 主编

NC Machining Programming
and Operation

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

数控加工编程与操作 / 顾晔, 楼章华主编. —北京: 人民邮电出版社, 2009.5

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果. 高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材
ISBN 978-7-115-20459-2

I. 数… II. ①顾…②楼… III. 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041936号

内 容 提 要

本书以加工中心、数控车床的编程与操作为核心, 以 FANUC 数控系统为主、华中数控系统为辅, 按照学习与教学的规律, 深入浅出地详细介绍数控机床的工作过程、数控加工工艺、数控铣削与车削的编程、数控机床的操作以及典型零件的应用实例等内容。所有零件加工程序语句都附有详细、清晰的注释说明。各章后设有思考与练习, 便于学生更好地掌握所学内容; 书的最后附有 FANUC 和华中世纪之星数控铣削指令、车削指令对照表, 加工中心和数控车床安全操作规程, 数控机床的维护和保养, 以及常用量具测量范围、精度及用途等, 以供查阅和学习参考。

本书适合作为高等职业技术学院和技师学院模具设计与制造、数控技术应用、机械制造及自动化等专业的教学用书, 也可供有关工程技术人员、数控机床编程与操作人员学习及培训使用。

中国职业技术教育学会科研项目优秀成果
高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”培养方案规划教材
数控加工编程与操作

◆ 审 定 高等职业技术教育研究会

主 编 顾 晔 楼章华

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: 787×1092 1/16

印张: 18.5

字数: 459 千字

印数: 1—3 000 册

2009 年 5 月第 1 版

2009 年 5 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-20459-2/TN

定价: 29.80 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

组 长：

俞克新

副组长：

李维利 张宝忠 许 远 潘春燕

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

课题鉴定专家：

李怀康 邓泽民 吕景泉 陈 敏 于洪文

高等职业教育模具设计与制造专业“双证课程”
培养方案规划教材编委会

主任：钟 健

副主任：赵 波 邓晓阳

委员：郑 金 黄义俊 夏晓峰 刘彦国 张信群 高显宏 周建安
杨占尧 顾 晔 周旭光 吕永峰 周 玮 贾俊良 陈万利 赵宏立
王雁彬 刘丽岩 王 梅 林宗良 牛荣华 朱 强

审稿委员会

主任：刘绪民

副主任：肖 龙 涂家海 杜文宁

委员：范 军 刘洪贤 王广业 朱爱元 马 伟 牟志华 陈志明
王晓梅 章 飞 陈志雄 张海筹 冯光林 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 魏仕华 曹淑联 孙振强 山 颖 白福民 丁立刚 胡彦辉
王锦红 王德山 张海军 罗正斌 刘晓军 张秀玲 袁小平 李 宏
张凤军 孙建香 陈晓罗 何 谦 周 玮 张瑞林 周 林 潘爱民

本书主审：牟志华 王广业

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、“双证课程”按照工作过程导向及项目教学的思路编写,较好地满足了当前各高职高专院校的需求。

为方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供相关专业的整体教学方案及相关教学资源。

经过近两年的课题研究与探索,本套教材终于正式出版了,我们希望通过本套教材,为各高职高专院校提供一个可实施的基于“双证书”的专业教学方案,同时也热切盼望各位关心高等职业教育的读者能够对本套教材的不当之处给予批评指正,提出修改意见,并积极与我们联系,共同探讨教学改革和教材编写等相关问题。来信请发至 panchunyan@ptpress.com.cn。

前言

数控制造技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术、机电一体化技术于一身的多学科高新制造技术。数控技术水平的高低、数控机床的拥有量已成为衡量一个国家工业现代化程度的重要标志。

本书以高等职业教育人才培养目标为依据,结合教育部为加快数控技能型人才培养所提出的要求,突出了教材的基础性、实用性、科学性,贯彻了工学交替、生产实训与工程实践相结合的原则。

本书内容包括数控机床基本知识、数控编程基本知识、数控加工工艺、加工中心的编程与操作、数控车床的编程与操作、电火花线切割工艺与编程等内容,是编者多年从事数控机床教学和培训经验的总结,并选用了技术先进、占市场份额最大的 FANUC 系统为典型数控系统进行剖析。

本书具有以下特色。

1. 理论与实践紧密结合,编程理论阐述简单明了,机床操作结合经典设备,突出实践教学特色。
2. 大量引用生产实例进行工艺分析与编程,将企业加工技术与教学相结合。
3. 各章节的习题题型和题量充分,体现精讲多练的原则。

本书建议学时为 120 学时,理论与实践教学(机床操作/模拟仿真)可穿插进行,具体安排如下表所示。

章	课 程 内 容	理 论 学 时	实 践 学 时
第 1 章	数控加工概述	4	
第 2 章	数控编程基础及数据处理	4	2
第 3 章	数控加工工艺分析	10	2
第 4 章	加工中心的编程	36	
第 5 章	加工中心操作		28
第 6 章	数控车床的编程	12	
第 7 章	数控车床操作		10
第 8 章	数控电火花线切割加工	6	6
小计		72	48

本书由江西机电职业技术学院(国家级数控实训基地)顾晔、楼章华主编并统稿,参加编写的有:欧阳毅文(第 2 章)、楼章华(第 3 章、第 6 章及各章节的思考与练习)、顾晔(第 1 章、第 4 章、附录)、温珍琥(第 5 章、第 7 章)、王伟雄(第 8 章)。全书由牟志华、王广业主审。

本书在编写过程中参阅了有关院校和科研单位的教材、资料和文献,在此向其编者表示感谢,特别感谢江西机电职业技术学院机械工程系陈根琴主任和胡小波老师的大力支持。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免存在不妥或错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2009 年 3 月

目 录

第 1 章 数控加工概述·····1

1.1 数控机床的基本知识·····1

1.1.1 数控机床的产生及数控概念···1

1.1.2 数控机床的特点及应用范围···3

1.2 数控机床的组成及分类·····5

1.2.1 数控机床的组成及工作原理···5

1.2.2 数控机床的分类·····7

1.3 数控加工技术的发展·····11

1.3.1 数控加工技术的产生·····11

1.3.2 数控机床的发展历程·····12

1.3.3 数控机床的发展方向·····12

1.3.4 以数控为基础的现代制造 技术·····13

本章小结·····16

思考与练习·····16

第 2 章 数控编程基础及数据处理···17

2.1 数控机床坐标系·····17

2.1.1 坐标系及运动方向·····17

2.1.2 机床坐标系与工件坐标系···19

2.2 数控编程的步骤与方法·····21

2.2.1 数控编程的步骤·····21

2.2.2 数控编程的方法·····22

2.3 数控编程的格式·····23

2.3.1 程序的结构与格式·····23

2.3.2 编程规则·····29

2.4 数控编程的数据处理·····31

2.4.1 基点坐标计算·····31

2.4.2 节点坐标的计算·····32

2.4.3 辅助计算·····32

本章小结·····34

思考与练习·····34

第 3 章 数控加工工艺分析·····37

3.1 数控加工工艺性分析·····37

3.1.1 数控加工工艺内容·····37

3.1.2 零件数控加工工艺性分析···41

3.2 数控加工刀具路径·····43

3.2.1 数控车削刀具路径·····44

3.2.2 数控铣削刀具路径·····46

3.3 工件定位和夹紧·····49

3.3.1 零件的定位·····49

3.3.2 零件的夹紧·····50

3.3.3 夹具的选择·····51

3.4 刀具与工件的相对位置·····54

3.4.1 对刀点与刀位点·····54

3.4.2 换刀点·····55

3.5 刀具与切削用量的确定·····56

3.5.1 数控加工刀具特点·····56

3.5.2 数控加工刀具的选择·····57

3.5.3 切削用量的确定·····61

3.6 典型数控零件的加工工艺分析···65

3.6.1 数控车削加工工艺分析·····65

3.6.2 数控铣削加工工艺分析·····67

本章小结·····69

思考与练习·····70

第 4 章 加工中心的编程·····74

4.1 加工中心简介·····74

4.1.1 加工中心的概念·····74

4.1.2 加工中心的分类·····75

4.1.3 加工中心的加工对象·····77

4.1.4 加工中心的自动换刀装置···78

4.2 加工中心程序的编制·····79

4.2.1 加工中心数控系统的功能···80

4.2.2	加工中心的基本编程指令	83
4.2.3	加工中心的编程简化	111
4.2.4	华中数控系统编程指令	121
4.3	用户宏程序	127
4.3.1	变量	127
4.3.2	转移与循环	131
4.3.3	宏程序调用	133
4.3.4	宏程序加工实例	135
4.4	加工中心编程生产实例	139
4.4.1	外形铣削加工	140
4.4.2	挖槽加工	145
4.4.3	孔系加工	149
4.4.4	简单曲面加工	152
	本章小结	154
	思考与练习	154
第 5 章	加工中心操作	160
5.1	FANUC 加工中心操作	160
5.1.1	FANUC0i-MC 加工中心操作面板介绍	160
5.1.2	FANUC 加工中心手动操作	163
5.1.3	程序的编辑与管理	163
5.1.4	刀具的设置与管理	165
5.1.5	自动运行	166
5.2	华中世纪之星加工中心操作	167
5.2.1	HNC-21/22M 数控铣床操作面板介绍	167
5.2.2	华中世纪之星加工中心基本操作	171
5.2.3	程序的编辑与管理	175
5.2.4	刀具的设置与管理	175
5.2.5	自动运行	176
	本章小结	176
	思考与练习	177
第 6 章	数控车床的编程	179
6.1	数控车床简介	179
6.1.1	数控车床加工特点	179
6.1.2	数控车床的组成及分类	180
6.2	数控车床程序的编制	183

6.2.1	数控车床系统的功能	183
6.2.2	数控车床的基本编程指令	185
6.2.3	华中数控系统编程指令	205
6.3	数控车床编程生产实例	213
6.3.1	轴类零件	213
6.3.2	套类零件	215
6.3.3	圆锥曲面类零件	218
	本章小结	221
	思考与练习	221
第 7 章	数控车床操作	225
7.1	FANUC 数控车床操作	225
7.1.1	FANUC0i-TB 数控车床操作面板介绍	225
7.1.2	FANUC0i-TB 数控车床的操作步骤	226
7.2	华中数控车床操作	229
7.2.1	HNC-21/22T 数控车床操作面板介绍	229
7.2.2	世纪之星数控车床操作步骤	232
7.3	数控车床对刀方法	234
	本章小结	236
	思考与练习	236
第 8 章	数控电火花线切割加工	239
8.1	数控线切割加工	240
8.1.1	数控线切割机床及其组成	240
8.1.2	数控线切割机床的编程	242
8.1.3	数控线切割机床的操作	247
8.1.4	数控线切割加工实例	255
8.2	电火花成形加工机床	256
8.2.1	电火花成形机床的结构组成和功能	256
8.2.2	电火花成形加工机床的编程指令	258
8.2.3	电火花成形加工机床的操作	263
8.2.4	电火花成形加工实例	266
	本章小结	269
	思考与练习	269

附录272

附录 A FANUC 和华中世纪之星数控
铣削指令对照表.....272

附录 B FANUC 和华中世纪之星数控
车削指令对照表.....275

附录 C 加工中心安全操作规程.....279

附录 D 数控车床安全操作规程 280

附录 E 数控机床的维护与保养 280

附录 F 数控机床的常用对
刀仪（器）.....282

附录 G 常用量具 283

参考文献 286

第1章

数控加工概述

【学习目标】

1. 了解数控的概念，熟悉数控机床的加工特点及应用，了解数控机床与普通机床之间的区别和联系
2. 掌握数控机床的组成及各部分的作用，了解数控机床的分类
3. 了解数控机床的产生和发展过程

1.1

数控机床的基本知识

1.1.1 数控机床的产生及数控概念

1. 数控机床的产生

随着科学技术的发展，机械产品日趋复杂、精密，更新换代越来越频繁，社会对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。在航空航天、造船、军工和计算机等工业中，零件精度高、形状复杂、批量小、经常改动、加工困难、生产效率低、劳动强度大，质量难以保证。加之个性化的需求也使生产类型由大批、大量向多品种、小批量生产转化。

为解决上述问题，满足多品种、小批量、复杂、高精度零件的自动化生产，迫切需要一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备，在这种情况下数控机床应运而生。

数控机床就是将加工过程所需的各种操作，如主轴变速、松夹工件、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等，以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示，通过控制介质将数字信息送入数控装置，数控装置对输入的信息进行处理与运算，发出各种控制信号，控制机床的伺服系统或其他驱动元件，使机床自动加工出所需要的工件。

数控机床的诞生与发展，有效地解决了一系列生产上的矛盾，为单件、小批量精密复杂零件的加工提供了自动化加工手段。1948年美国巴森兹（Parsons）公司在研制加工直升机叶片轮廓样板时

提出了数控机床的初始设想, 1949 年与麻省理工学院 (MIT) 合作, 开始了三坐标铣床的数控化工作, 1952 年 3 月公开宣布了世界上第一台数控机床的试制成功, 可作直线插补。经过 3 年的试用、改进与提高, 数控机床于 1955 年进入实用化阶段。此后, 其他一些国家, 如德国、英国、日本等都开始研制数控机床, 其中日本发展最快。当今世界著名的数控系统厂家有日本的法那科 (FANUC) 公司、德国的西门子 (SIEMENS) 公司、美国的 A-BOSZA 公司等。1959 年, 美国 Keaney&Treckre 公司开发成功了具有刀库、刀具交换装置及回转工作台的数控机床, 可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工, 如进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、平面铣削、轮廓铣削等加工。至此, 数控机床的新一代类型——加工中心 (Machining Center) 诞生了, 并成为当今数控机床发展的主流。

2. 数控技术的基本概念

数字控制 (Numerical Control, NC) 是指用输入数控装置的数字化信息来控制机械执行预定的动作。其数字信息包括字母、数字和符号。而用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床, 称作数控机床。早期的数控机床 NC 装置是由各种逻辑元件、记忆元件组成随机逻辑电路, 是固定接线的硬件结构, 由硬件来实现数控功能, 称作硬件数控, 用这种技术实现的数控机床一般称作 NC 机床。

计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC) 是采用微处理器或专用微机的数控系统, 由事先存放在存储器里的系统程序 (软件) 来实现控制逻辑, 实现部分或全部数控功能, 并通过接口与外围设备进行连接, 称为 CNC 系统, 这样的机床一般称为 CNC 机床。

总之, 数控机床是数字控制技术与机床相结合的产物, 从狭义的方面看, 数控一词就是“数控机床”的代名词, 从广义的范围来看, 数控技术本身在其他行业中有更广泛的应用, 称为广义数字控制。数控机床就是将加工过程的各种机床动作, 由数字化的代码表示, 通过某种载体将信息输入数控系统, 控制计算机对输入的数据进行处理, 来控制机床的伺服系统或其他执行元件, 使机床加工出所需要的工件, 其过程如图 1-1 所示。

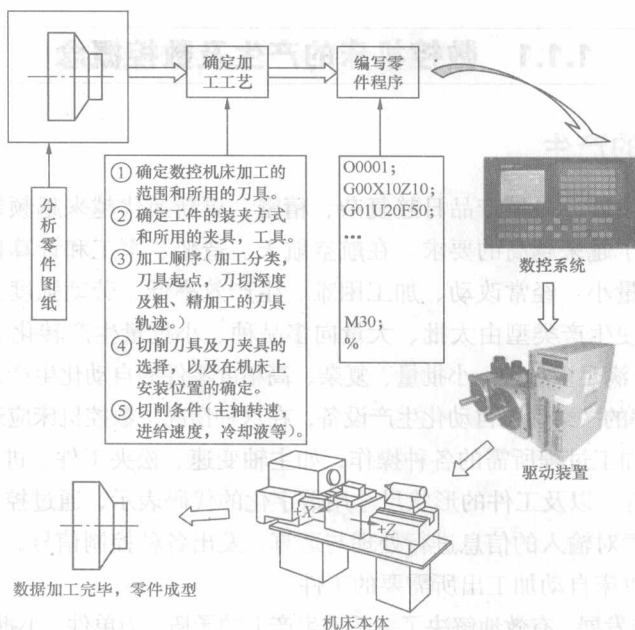


图 1-1 零件程序产生流程

1.1.2 数控机床的特点及应用范围

从总体上看,同工艺类型的数控机床加工与普通机床加工并没有本质的区别,但数控机床本身具有高精度、高刚性、高速度、自动化、柔性化、智能化等一系列特点。

1. 数控机床的优点

(1) 加工精度高,加工质量稳定

数控机床按数字形式给出的指令进行加工,由于目前数控装置给出的脉冲当量(每输出一个脉冲数控机床移动部件对应的移动量)普遍达到了 0.001 mm ,而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能够达到比较高的精度,如定位精度达到 $0.002\sim 0.005\text{ mm}$ 。此外,数控机床的传动系统与机床结构一般具有很高的刚度与热稳定性,精造精度高;数控机床的自动加工方式可避免操作者的人为因素带来的误差,因此,加工同一批零件的尺寸一致性好,精度高,加工质量十分稳定。

在孔加工工艺中,数控机床一般不采用导向,使得导向装置的误差对加工精度的影响也不复存在。同时,加工中排屑条件得以改善,并可以进行有效的冷却,被加工孔的精度及表面质量有所提高。对于复杂零件的轮廓加工,通过进刀路线及进给速度的控制,可避免被加工表面出现局部缺陷,获得更高的精度和表面质量。

(2) 加工生产效率高

零件加工所需要的时间包括机动时间和辅助时间两部分,数控机床可以有效地减少这两部分时间,从而提高加工效率。

数控机床的主轴转速与进给速度范围比普通机床要大得多,可以不停机随时变速并具有恒线速度等功能,因而每道工序、工步、走刀都能采用最有利的切削用量,充分发挥工艺系统的潜能。数控机床具有良好的结构刚性,允许进行大用量的强力切削,从而有效地节省机动时间。数控机床移动部件空行程运动速度快,消耗在进刀、退刀、定位等辅助运动上的时间也要比普通机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,使安装时间减少。数控机床按坐标运行,可以省去画线等辅助工序,减少辅助工时。数控机床加工精度非常稳定,一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验,可以减少停机检验时间,因此,数控机床的利用率比一般机床要高得多。

在带有刀库和自动换刀装置及自动上料装置等加工中心上,可以实现多工序连续加工,减少半成品周转时间,使生产效率明显提高。

(3) 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床加工零件是按事先编制的程序自动进行的,操作者通常除了操作面板、装卸工件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行外,不需要进行繁重的重复性手工操作,劳动强度与紧张程度大为减轻。数控机床一般都具有较好的安全防护以及自动排屑、自动冷却、自动润滑等装置,操作者劳动条件也得到相应改善。

(4) 对零件加工的适应性强,灵活性好

数控机床加工对象改变时,只需要重新编制输入新程序就能实现加工对象的加工工艺要求,无须更换许多的工具、夹具,更不用重新调整机床,可以迅速实现加工转型。这就为复杂结构的单件小批零件的生产及新产品的试制提供了极大的便利。它缩短了生产准备周期,而且节省了大量工艺

装备费用。此外，数控机床通常还能完成一些普通机床很难加工或根本无法加工的精密复杂零件。

(5) 良好的经济效益

数控机床虽然昂贵，加工分摊到每个零件的设备费用较高。但在单件小批生产情况下，使用数控加工可以节省划线工时，减少调整、加工和检验时间，直接节省生产费用。数控加工工装费用也相对较低，数控加工质量稳定，可以减少甚至避免废品的产生，使生产成本进一步下降。数控机床通用性强，投资风险小。数控机床工艺范围广，便于实现工序集中，简化物流，减少管理成本。另外，数控机床可以加工高附加值的复杂高精度零件，因此，使用数控机床可以获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理现代化

数控机床加工能准确计算零件加工工时，并有效地简化刀、夹、量具和半产品的管理工作。数控机床使用数字信息，适于计算机联网，成为计算机辅助设计、制造、管理等一体化集成的基础，构成由计算机来控制和管理的生产系统。

2. 数控机床的不足

- ① 设备初期投资大。
- ② 对设备使用维护人员的技术水平要求较高。
- ③ 就目前而言，对占机械加工总量 20%~30% 的大批大量生产，数控机床无论是在投资还是加工效率方面均逊色于各类组合专用机床及其自动生产线。

数控机床与普通设备的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床与普通机床的比较

序 号	数 控 机 床	普 通 设 备
1	操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能	要求操作者有长期的实践经验
2	加工精度高、质量稳定，较少依赖于操作者的技能水平	高质量、高精度的加工要求操作者具有高的技能水平
3	编制程序花费较多时间	加工过程凭直觉和技巧，准备工作简单
4	加工零件复杂程度高，适合多工序加工	适合加工形状简单、单一工序的产品
5	易于加工工艺标准化和刀具管理规范化	操作者以自己的方式完成加工，加工方式多样，很难实现标准化
6	适于长时间无人操作和加工自动化	是实现自动化加工的准备环节必不可少的，如材料的预去除及夹具的制作等
7	适于计算机辅助生产控制，生产率高	很难提高加工的专门技术，不利于知识系统化和普及，生产率低，质量不稳定

3. 数控机床的应用范围

数控机床具备普通机床所没有的许多优点，但这些优点都是在一定的具体条件下才能得以体现。数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完成取代其他类型的机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。根据数控机床的自身特点，通常最适合加工以下类型的零件。

- ① 结构复杂、精度高或必须用数学方法确定的复杂曲线、曲面类零件。图 1-2 (a) 所示为 3 类机床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控机床适合于加工结构较为复杂，在普通机床上加工时需要准备复杂贵重工艺装备的零件。

② 多品种小批量生产的零件。图 1-2 (b) 所示为应用 3 类机床的零件加工批量与综合费用的关系。可见, 零件加工批量大时, 选择数控机床加工是不利的, 原因之一是数控机床设备费用昂贵。此外, 与大批量生产通常采用的专用机床相比, 其效率还是不够高。数控机床一般适合于单件小批生产加工, 并有向中批量发展的趋势, 即图 1-2 (a) 中的 ABC 曲线向 EFG 方向扩展。

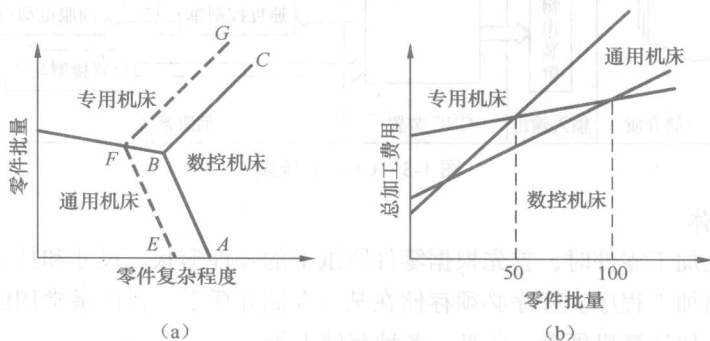


图 1-2 数控机床加工范围的定性分析

③ 需要频繁改型的零件。在军工企业和科研部门, 零件频繁改型是司空见惯的事, 这就为数控机床提供了用武之地。

④ 价值昂贵, 不允许报废的关键零件。

⑤ 希望最短生产周期的急需零件。

目前, 在中批量生产甚至大批量生产中已有采用数控机床加工的情况, 这种方案从产品直接经济效益而言并非最佳, 但其投资风险小, 能经受市场的波动与冲击, 可以动态地适应市场, 实现柔性制造。

广泛推广使用数控机床的主要障碍是设备的初期投资大。由于系统本身的复杂性, 维护费用必然相应增加, 加上目前社会数控编程、操作、维护人才的严重不足, 一定程度上降低了数控机床的利用率, 从而进一步增加了综合生产费用。

综合以上各种因素, 在数控机床选用决策中, 必须进行反复综合的对比和全面的技术经济分析, 从而使数控机床获得其最好的综合经济效益。

1.2

数控机床的组成及分类

1.2.1 数控机床的组成及工作原理

1. 数控机床的组成

现代计算机数控机床由程序载体、输入/输出装置、计算机数控装置、可编程序控制器 (PLC)、主轴控制单元、速度控制单元等部分组成, 如图 1-3 所示。

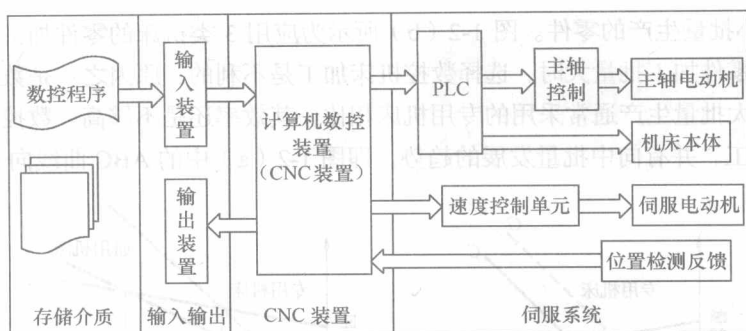


图 1-3 CNC 系统图

(1) 程序载体

在数控机床上加工零件时，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。程序必须存储在某种存储介质上，目前最常用的是数控系统内存及外围存储设备，如计算机硬盘、U 盘、各种存储卡等。

(2) 输入/输出装置

输入/输出装置的作用是数控装置与外部设备进行信息交换的装置。根据程序载体的不同，输入装置可以是光电阅读机、软盘驱动器等。数控加工程序也可以通过键盘，用手工方式直接输入数控系统。现代数控系统一般还可以由计算机通过 RS-232C 串行通信口甚至采用网络通信等方式将数控加工程序传递到数控系统中。

(3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心，它接收输入装置送到的数字化信息，经过数控装置的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。

(4) 伺服系统

伺服系统包括伺服驱动电动机、各种伺服驱动元件、执行机构等，它是数控系统的执行部分。它的作用是把来自数控装置的脉冲信号转换成机床移动部件的运动。每一个脉冲信号使机床移动部件的位移量叫做脉冲当量（也叫最小设定单位）。常用的脉冲当量为 0.001 mm/脉冲。每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统，整个机床的性能主要取决于伺服系统。常用伺服驱动元件有直流伺服电动机、交流伺服电动机、电液伺服电动机等。

(5) 位置反馈系统

位置反馈装置的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数控装置，通过比较，计算出实际位置与指令位置之间的偏差，并发出纠正误差指令。位置反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统。半闭环系统中，位置检测主要使用感应同步器、磁栅、光栅、激光测距仪等。

(6) 机床本体

机床本体包括机床主机与辅助装置两部分，是用于直接完成各种切削加工运动的机械部件，主要包括：主运动部件，进给运动部件（如工作台、刀架）和支承部件（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。

数控机床与普通机床相比，传动结构上发生了很大的变化，普遍采用滚珠丝杠、滚动导轨等高效传动部件提高传动效率。由于采用高性能的主轴及伺服传动系统，使得机械传动结构明显简化，传动链大为缩短。