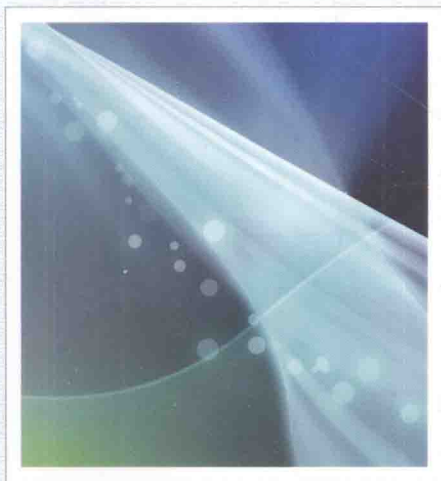


中国职业技术教育学会科研项目优秀成果

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

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



数控编程 与操作

高等职业技术教育研究会 审定
顾晔 张秀玲 金山 主编

NC Machine Programming
and Operating

- ◆ 遵循高职教学规律，内容深浅适宜
- ◆ 结合实例介绍数控机床的编程与操作
- ◆ 加工程序附有详细、清晰的注释说明

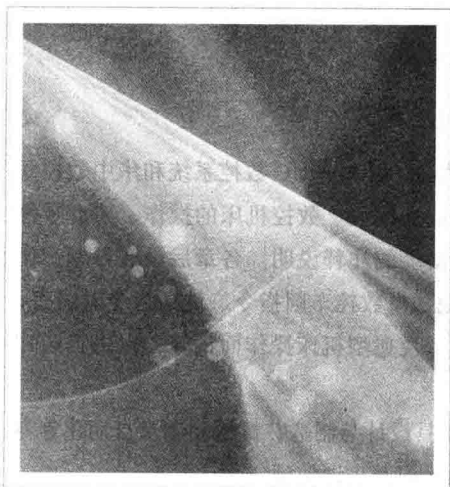


人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

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

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材



数控编程 与操作

高等职业技术教育研究会 审定
顾晔 张秀玲 金山 主编

NC Machine Programming
and Operating

人民邮电出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作 / 顾晔, 张秀玲, 金山主编. — 北京: 人民邮电出版社, 2010.4

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程”培养方案规划教材

ISBN 978-7-115-21476-8

I. ①数… II. ①顾… ②张… ③金… III. ①数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材②数控机床—操作—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第198787号

内 容 提 要

本书以数控车床、数控铣床(加工中心)的编程与操作为核心,以FANUC数控系统和华中数控系统为主,深入浅出地详细介绍了数控加工工艺、数控车削与铣削的编程、数控机床的操作、典型零件的加工应用实例等内容。所有零件加工程序语句都附有详细、清晰的注释说明。各章后设有习题,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车削指令、铣削指令对照表,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,以及典型机床操作面板等,以供查阅和学习参考。

本书可作为高等职业技术学院和技师学院数控技术应用、模具设计与制造、机械制造及自动化等专业的教材,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

高等职业教育机电一体化技术专业

“双证课程”培养方案规划教材

数控编程与操作

-
- ◆ 审 定 高等职业技术教育研究会
主 编 顾 晔 张秀玲 金 山
责任编辑 潘新文
 - ◆ 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: 17.5
字数: 433千字 2010年4月第1版
印数: 1-3000册 2010年4月河北第1次印刷

ISBN 978-7-115-21476-8

定价: 29.00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

组 长：

俞克新

副组长：

李维利 张宝忠 许 远 潘春燕

成 员：

李秀忠 周明虎 林 平 韩志国 顾 晔 吴晓苏 周 虹 钟 健
赵 宇 冯建东 散晓燕 安宗权 黄军辉 赵 波 邓晓阳 牛宝林
吴新佳 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

高等职业教育机电一体化技术专业“双证课程” 培养方案规划教材编委会

主任：李秀忠

副主任：吴晓苏 孙慧平

委员：	徐小增	郭建尊	王诗军	李艳霞	王金花	蔡冬根	林党养
	刘树青	娄琳	朱强	霍苏平	周一玮	周兰	孙小捞
	张伟林	贾俊良	杨占尧	郑金	黄中玉	李辉	赵宏立
	华满香	周建安	孙卫锋	金英姬	黄义俊	董小金	戴晓东
	牛荣华	丁如春	冯锦春	刘岩	张雪梅	申晓龙	文学红
	毛好喜	李本红	任成高	余慰荔	周旭光	苏伟	刘宏
	王雁彬	邵萍	郭宏彦	何全陆	张念淮	姜庆华	张江城
	吴灏	阮予明	李振杰	李英	燕居怀	谢海良	王浩
	陈桂芳	宋雪臣	楚忠	王双林	王广业	刘慧	孟庆平

审稿委员会

主任：彭跃湘

副主任：胡进德

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	罗澄清	王德发	王德山	栾敏	谢伟东
	李学	张鑫	吕修海	王达斌	熊江	王军红	邓剑锋
	杨国生	周信安	叶立清	雷云进	向东	葛序风	李建平
	刘战术	魏东坡	肖允鑫	李丹	张光跃	陈玉平	林长青
	戴晓光	罗正斌	刘晓军	张秀玲	袁小平	李宏	张凤军
	陈晓罗	肖龙	何谦	周玮	张瑞林	周林	潘爱民
	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	罗伦	田晶	卜燕萍	王少岩
	温钢云	蔡超强	刘建敏	吴京霞	张海筹	张森林	范恒彦
	丁明成	李华楹	孟华峰	范恒彦	高荣林	杨亚辉	鞠加彬
	宋丽华	王世桥	孙岩	彭跃湘	李明	吴春玉	吴民
	牟志华	申凤琴	孙佳海	黎川林	孟平	杨强	麦崇裔
	吴德平	赵红毅	王观海	公相	王朝红	姬红旭	吕品
	李江						李凡

本书主审：吴京霞 楼章华

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。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

本书的编写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,贯彻工学交替、生产实训与工程实践相结合的原则,注重教材的基础性、实用性、科学性。本书融理论教学、实践操作为一体,力求从实际应用的需要出发,全面详细地介绍 FANUC 数控系统、华中世纪星数控系统的常用编程指令及其应用,是编者多年从事数控机床加工操作教学和培训经验的总结。

本书主要包括数控机床的基本知识、数控编程基本知识、数控车削工艺、数控车床的编程与操作、数控铣削工艺、数控铣床(加工中心)的编程与操作、华中数控系统的编程与操作等内容,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,将企业加工技术与课堂教学相结合。
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,具体学时安排参见下表。

章	课 程 内 容	理 论 学 时	实 践 学 时
第 1 章	概 述	4	0
第 2 章	数控车床的编程与操作	24	20
第 3 章	数控铣床的编程与操作	18	16
第 4 章	加工中心的编程操作	10	8
第 5 章	华中数控系统编程与操作	10	10
小计		66	54

本书由顾晔、张秀玲、金山主编,胡小波、袁彬华、柳荣华、欧阳毅文、周云欣、温珍琥参加编写。其中胡小波编写第 1 章并负责多媒体课件制作,袁彬华编写第 2 章 2.1~2.3 节,柳荣华编写第 2 章 2.4~2.5 节及第 3 章 3.4~3.5 节,欧阳毅文编写第 3 章 3.1~3.3 节,顾晔和张秀玲编写第 4 章及附录和各章习题,周云欣编写第 5 章 5.1~5.3 节,温珍琥编写第 5 章 5.4~5.6 节,全书由顾晔和金山统稿。本书由吴京霞和楼章华任主审。

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,在此向其编者表示衷心感谢。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,恳请广大读者批评指正。

编者
2009 年 9 月

目 录

第 1 章 概述1	
1.1 数控加工技术概况.....1	
1.1.1 数控机床的产生.....1	
1.1.2 数控机床的基本概念.....2	
1.2 数控编程基础知识.....3	
1.2.1 数控编程内容.....3	
1.2.2 数控编程的方法.....5	
1.3 数控技术中的坐标系.....7	
1.3.1 数控机床的坐标系.....7	
1.3.2 数控相关点的概念.....9	
习题.....11	
第 2 章 数控车床编程与操作13	
2.1 数控车削加工工艺.....13	
2.1.1 数控车削的加工对象.....13	
2.1.2 工件在数控车床上的装夹.....15	
2.1.3 车削用量的选择.....17	
2.1.4 数控车削加工工艺的制定.....20	
2.2 数控车床刀具的选择及装夹.....25	
2.2.1 数控车刀的特点及类型.....25	
2.2.2 数控车刀的选择及装夹.....27	
2.3 FANUC Oi 系统数控车床编程.....28	
2.3.1 FANUC Oi 系统指令代码.....28	
2.3.2 基本移动指令.....30	
2.3.3 固定循环指令.....34	
2.3.4 螺纹加工.....46	
2.3.5 子程序的应用.....51	
2.3.6 刀具补偿功能.....54	
2.3.7 用户宏程序.....58	
2.4 FANUC Oi 系统数控车床操作.....64	
2.4.1 FANUC Oi-TB 数控车床操作 面板介绍.....64	
2.4.2 数控车床的基本操作.....67	
2.4.3 数控车床对刀方法.....70	
2.5 数控车床编程实例.....71	
2.5.1 轴类零件加工程序编制.....71	
2.5.2 套类零件加工程序编制.....73	
习题.....77	
第 3 章 数控铣床编程与操作80	
3.1 数控铣削加工工艺.....80	
3.1.1 数控铣削的加工对象.....80	
3.1.2 数控铣削加工方案的 确定.....81	
3.1.3 切削用量的选择.....87	
3.1.4 工艺文件编制.....91	
3.2 数控铣削刀具系统.....94	
3.2.1 数控铣削刀具的选择.....94	
3.2.2 数控铣削刀柄系统.....98	
3.3 FANUC Oi 系统数控铣床编程.....101	
3.3.1 FANUC Oi 系统指令代码.....101	
3.3.2 基本编程指令.....103	
3.3.3 刀具补偿功能.....113	
3.3.4 子程序的应用.....118	
3.3.5 坐标变换.....122	
3.4 FANUC Oi 系统数控铣床操作.....131	
3.4.1 FANUC Oi 系统数控铣床 操作面板.....131	
3.4.2 FANUC 数控铣床的基本 操作.....134	
3.4.3 程序编辑与管理.....136	
3.4.4 对刀及偏置数据设定.....138	
3.5 数控铣床编程实例.....140	
习题.....148	

第 4 章 加工中心编程与操作	153	5.3.1 手动数据输入 (MDI) 运行	219
4.1 加工中心简介	153	5.3.2 数据的设置	220
4.1.1 加工中心的分类及特点	153	5.3.3 程序输入与文件管理	222
4.1.2 加工中心的自动换刀装置	156	5.3.4 图形显示与程序校验	224
4.2 编程指令	158	5.3.5 程序运行	228
4.2.1 孔加工固定循环	158	5.4 华中数控铣床典型编程指令	230
4.2.2 用户宏程序	173	5.5 华中数控铣床操作	236
4.2.3 宏程序调用	179	5.5.1 HNC-21M 操作面板	236
4.2.4 宏程序加工实例	182	5.5.2 HNC-21M 数控铣床基本	
4.3 FANUC Oi 系统加工中心的		操作	238
操作	186	5.6 HNC-21M 编程实例	240
4.4 加工中心编程实例	191	习题	251
习题	202	附录 A FANUC 和华中世纪之星	
第 5 章 华中数控系统编程与操作	205	数控车削指令对照表	256
5.1 华中数控车床典型编程指令	205	附录 B FANUC 和华中世纪之星数控	
5.1.1 HNC-21T 数控车床典型		铣削指令对照表	260
编程指令	205	附录 C 数控车床安全操作规程	263
5.1.2 HNC-21T 数控宏程序	211	附录 D 加工中心安全操作规程	264
5.2 华中数控车床操作	214	附录 E 数控机床的维护与保养	265
5.2.1 HNC-21T 操作面板	214	附录 F 典型机床操作面板	267
5.2.2 HNC-21T 操作界面	217	参考文献	270
5.3 基本操作	219		

第1章

概述

【学习目标】

1. 了解数控的概念，认识数控机床的产生过程，掌握数控机床与普通机床之间的区别和联系。
2. 了解数控加工程序的编制方法，熟悉数控机床坐标系的有关规定，掌握数控机床的坐标轴名称及正向判别方法。
3. 掌握数控程序的格式及编程中的常用术语。

1.1

数控加工技术概况

数控技术是集机、电、液及计算机等各项技术为一体的综合技术。数控机床以其精度高、效率高、能适应小批量多品种复杂零件加工的特点，在机械加工中得到日益广泛的应用。

1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展，社会对产品多样化的要求日益提高，产品更新换代越来越快，多品种小批量生产比重加大，零件形状越来越复杂，精度越来越高。此外，激烈的市场竞争要求产品研制周期越来越短，传统的加工设备和制造手段已难于满足和适应这种变化。为解决这些问题，一种灵活、通用、高精度、高效率的“柔性”自动化生产设备——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）和步骤以及工件的形状尺寸用数字化的代码表示，通过手工输入或传输等方式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飞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月公开发布世界上第一台数控机床试制成功,此数据机床可作直线插补。之后经过三年的试用、改进与提高,数控机床于1955年进入实用化阶段。从此,其他一些国家,如德国、英国、日本和前苏联等国家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Hass公司、意大利的FIDIA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、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。

表 1-1 所示为数控机床与普通设备的比较。

表 1-1

数控机床与普通机床的比较

数 控 机 床	普 通 设 备
操作者可在较短的时间内掌握操作和加工技能 加工精度高,质量稳定,较少依赖于操作者的技能水平 编制程序花费较多时间 加工零件复杂程度高,适合多工序加工 易于加工工艺标准化和刀具管理规范化 适于长时间无人操作和加工自动化 适于计算机辅助生产控制 生产率高	要求操作者有长期的实践经验 高质量,高精度的加工要求操作者具有高的技能水平 适合加工形状简单,单一工序的产品 加工过程要求具有直觉和技巧 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 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 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

1.1.2 数控机床的基本概念

1. 数字控制

数字控制简称数控或 NC (Numerical Control),是指用数字指令来控制机械执行预定的动作,通常由硬件电路发出数字化信号。

计算机数控简称 CNC (Computerized Numerical Control),是用计算机控制加工过程,实现数值控制的系统,主要采用存储程序的专用计算机来实现部分或全部基本数控功能。

2. 数控机床

数控技术是为了满足复杂型面零件加工的自动化需要而产生的。采用数控技术的控制系统称为数控系统,装备了数控系统的机床称为数控机床。

数控机床是一种高效的自动化加工设备,它可以严格按照加工程序,自动地对被加工工件

进行加工，其过程如图 1-1 所示。从数控系统外部输入的直接用于加工的程序称为数控加工程序，简称为数控程序（NC Program），它是机床数控系统的应用软件。与数控系统应用软件相对应的是数控系统内部的系统软件，系统软件是用于数控系统工作控制的。

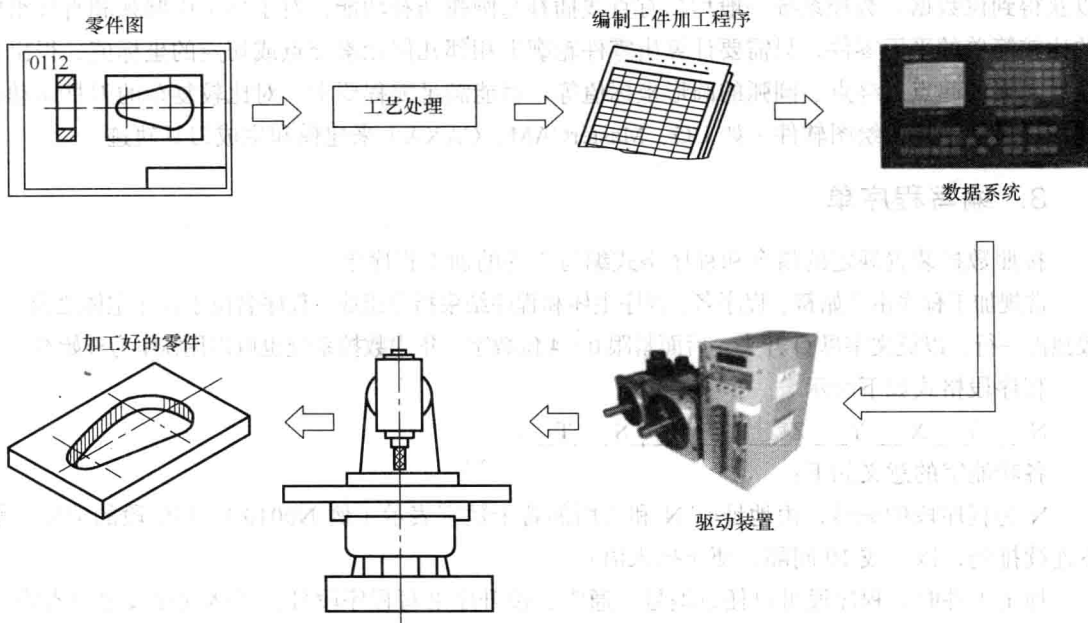


图 1-1 零件程序产生流程

1.2

数控编程基础知识

数控机床严格按照具有特殊指令的数控加工程序，自动完成各种形状、尺寸和精度的零件的加工，所以数控加工程序的编制是数控机床使用中最重要的一环。

1.2.1 数控编程内容

数控编程包括以下主要内容。

1. 分析零件图样，确定工艺方案

编程人员首先要根据零件图，分析零件的材料、形状、尺寸、精度、毛坯形状和热处理等技术要求，明确加工的内容和要求，选择合适的数控机床、刀具及夹具，拟定零件加工方案，确定加工顺序、合理的走刀路线及切削用量等。同时，编程人员应结合所用数控机床的规格、性能、数控系统的功能等，充分发挥机床的效能。加工路线应尽可能短，要正确选择对刀点、换刀点，减少换刀次数，提高加工效率。

2. 数值处理

在确定了工艺方案后,就需要根据零件几何尺寸、加工路线等,计算刀具中心运动轨迹,以获得到位数据。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补功能,对于加工由圆弧和直线组成的比较简单的平面零件,只需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值,得出各几何元素的起点、终点、圆弧的圆形坐标值等,就能满足编程要求。对比较复杂的刀具运动轨迹,可借助计算机绘图软件(如UG、MasterCAM、CAXA)来建模和生成刀具轨迹。

3. 编写程序单

按照数控装置规定的指令和程序格式编写工件的加工程序单。

常规加工程序由开始符、程序名、程序主体和程序结束指令组成。程序名位于程序主体之前,一般独占一行,以英文字母O开头,后面紧跟0~4位数字。华中数控系统也可以用%作为开始符。

程序段格式如下所示。

```
N G X Y Z F M S T ;
```

各功能字的意义如下:

N为程序段的编号,由地址码N和后面的若干数字表示(例N0010)。程序段的编号一般不连续排列,以5或10间隔,便于插入语句。

加工工件时,程序段可以任意编号。通常,按升序书写程序段号。当然程序段也可省略。

G功能是控制数控机床进行操作的指令,用地址G和两位数字来表示。

X、Y、Z为地址码。尺寸字由地址码、“+”、“-”符号及绝对值或增量值构成,地址码有X、Y、Z、U、W、R、I、K等。

F表示刀具中心运动时的进给量,由地址码F和后面若干位数字构成,其单位是mm/min或mm/r。

S表示刀具转速,由地址码S和若干位数字组成,单位为r/min。

T表示刀具所处的位置,由地址码T和若干位数字组成。

M为辅助功能,表示机床的辅助动作指令,由地址码M和后面两位数字组成。

程序段结束符号一般写在每段程序之后,表示程序段结束。使用EIA标准代码时,结束符为“CR”;使用ISO标准代码时,结束符为“LF”或“NL”;FANUC系统结束符为“;”(FAUNC 0i及更高的版本已经不再强调程序段结束符)。华中数控系统程序段没有结束符,输入完一段程序直接按Enter键即可;有时,根据需要在程序段的后面会出现以“;”或“()”表示的注释符,括号()内的内容或分号;后面的内容为注释文字。

为了便于理解,下面给出一个简单的程序格式,如图1-2所示。

4. 程序输入

加工程序可以保存在存储介质(如磁盘、U盘)上,作为控制数控装置的输入信息。通常,若加工程序简单,可直接通过机床操作面板上的键盘输入;对于大型复杂的程序(如CAD/CAM系统生成的程序),经过串行接口RS-232将加工程序传送给数控装置或计算机直接数控DNC通信接口,边传送边加工。

数控装置在事先存入的控制程序支持下,将代码进行处理和计算后,向机床的伺服系统输出相应的脉冲信号,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,以进行零件的加工。

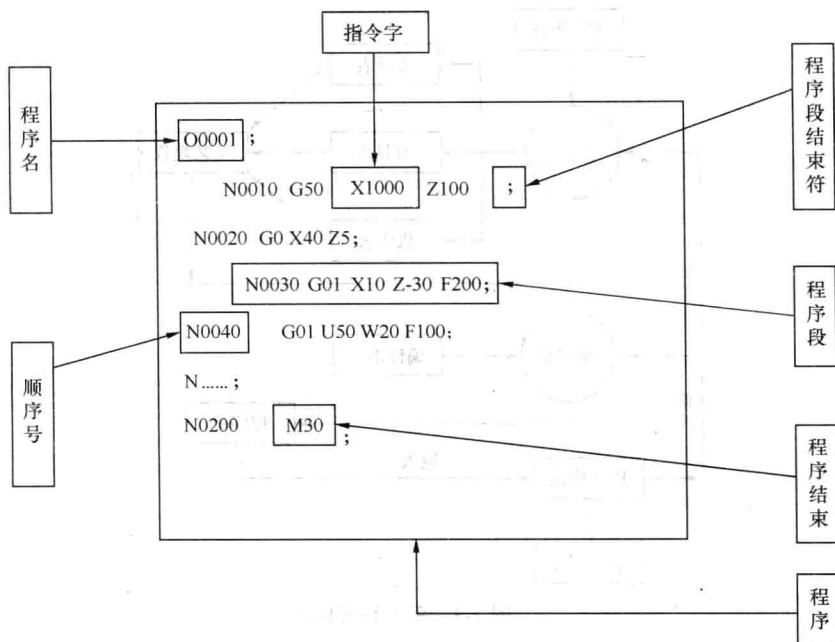


图 1-2 程序的结构

5. 程序校验和首件试切

在正式加工之前，必须对程序进行校验和首件试切。通常可以采用机床空运行的功能，来检查机床动作和运动轨迹的正确性，以检验程序。在具有 CRT 图形模拟显示功能的数控机床上，可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程，对程序进行检查。但这些方法只能检验出运动是否正确，不能检验被加工零件的加工精度。因此，要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时，分析误差产生的原因，采取尺寸补偿措施，加以修正。

1.2.2 数控编程的方法

根据零件复杂程度的不同，数控编程有手工编程和自动编程两种。

1. 手工编程

手工编程主要由人工来完成数控机床程序编制各个阶段的工作。一般被加工零件形状不复杂和程序较短时，可以采用手工编程的方法。它要求编程人员不仅要熟悉数控指令及编程规则，还要具备数控加工工艺知识和数值计算能力。手工编程的框图如图 1-3 所示。

2. 自动编程

自动编程即计算机辅助编程，是利用计算机及专用自动编程软件，以人机对话方式确定加工对象和加工条件，自动进行运算并生成指令的编程过程。它主要用于曲线轮廓、三维曲面等复杂型面的编程，可缩短生产周期，提高机床的利用率，有效地解决各种模具及复杂零件的加工。

自动编程可分为以语言数控自动编程（APT）或绘图数控自动编程（CAD/CAM）为基础的自动编程方法。

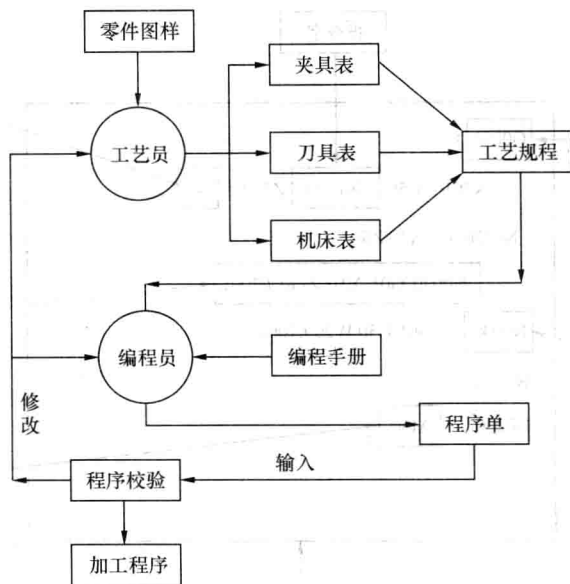


图 1-3 手工编程框图

(1) 语言数控自动编程 (APT) 它是指加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成零件源程序后, 输入到计算机中, 再由计算机进一步处理得到零件加工程序单。自动编程框图如图 1-4 所示。

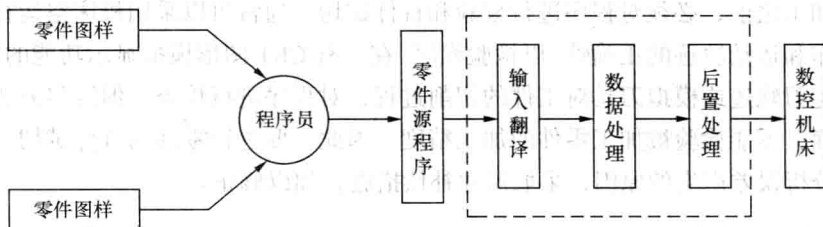


图 1-4 自动编程框图

(2) 绘图数控自动编程 它是指用 CAD/CAM 软件将零件图形信息直接输入计算机, 以人机对话方式确定加工条件, 并进行虚拟加工, 最终得到加工程序。典型的 CAD/CAM 软件有 UGNX、Pro/E、MasterCAM、Cimatron、CAXA 等。

手工编程与自动编程的比较见表 1-2。

表 1-2 手工编程与自动编程的比较

	手工编程	自动编程
数值计算	复杂、繁琐、人工计算工作量大	简便、快捷、计算机自动完成
出错率	容易出错, 人工误差大	不易出错, 计算机可靠性高
程序所占字节	小	大
制作控制介质	人工完成	计算机自动完成
所需设备	通用计算机辅助	专用 CAD/CAM 软件
对编程人员要求	必须具备较强的数学运算能力和编程能力	除具有较强的工艺、刀具等知识外, 还应有较强的软件应用能力

1.3

数控技术中的坐标系

1.3.1 数控机床的坐标系

在数控机床上加工工件，刀具与工件的相对运动是以数字的形式来体现的，因此必须建立相应的坐标系，才能明确刀具与工件的相对位置。为了便于编程时描述机床的运动，简化编程方法及保证记录数据的互换性，数控机床的坐标系和运动方向均已标准化。

1. 坐标系的命名

在标准中规定了以右手直角笛卡儿坐标系作为标准坐标系，如图 1-5 所示。

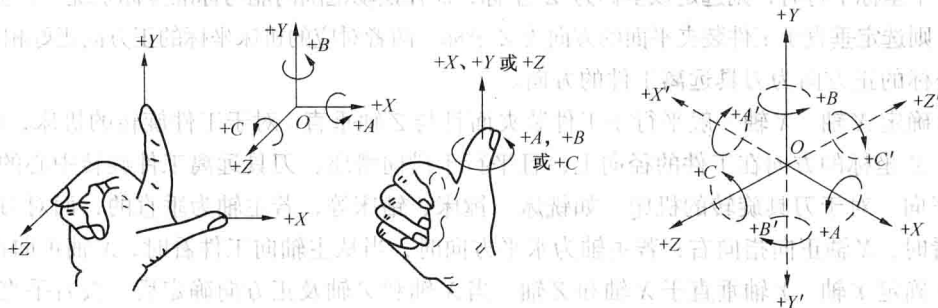


图 1-5 右手直角笛卡儿坐标系

在笛卡儿坐标系中，用 X 、 Y 、 Z 表示三个直线坐标轴，三者之间的相互关系及正方向用右手定则判定，其正方向用 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 表示；围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的回转坐标轴分别为 A 、 B 、 C 坐标轴，其正方向分别为 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ ，用右手螺旋定则判断。

通常在命名或编程时，不论机床在加工中是刀具移动，还是被加工工件移动，都一律假定被加工工件相对静止不动，而刀具在移动，并同时规定刀具远离工件的方向作为坐标的正方向。这一假设也使得编程人员能在不知是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下，就可根据零件图编制加工程序。

在坐标轴命名时，如果把刀具看作相对静止不动，工件移动，那么在坐标轴的符号上应加注标记“'”，如 X' 、 Y' 、...、 C' 等。

在图 1-5 中，字母不带“'”的坐标表示刀具运动，工件不动时的机床坐标；字母带“'”的表示工件运动，刀具不动时的坐标。

2. 机床坐标轴的确定方法

确定机床坐标轴时，一般是先确定 Z 轴，再确定 X 轴和 Y 轴。

(1) 确定 Z 轴 一般是选取产生切削力的轴线作为 Z 轴。对于工件旋转的机床，如车床、磨床等，工件转动的轴为 Z 轴；对于刀具旋转的机床，如镗床、铣床、钻床等，刀具转动的轴