

21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控加工工艺 与编程

雷保珍 主 编
黄 卫 副主编
陈万利 主 审
金福吉 主 审

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

21世纪高职高专规划教材·数控专业

数控加工工艺 与编程

雷保珍 主 编
黄 卫 副主编
周维泉 主 审
陈万利
金福吉

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
www.cfph.com.cn



北京希望电子出版社
Beijing Hope Electronic Press
www.bhp.com.cn

内 容 简 介

本书是 21 世纪高职高专规划教材之一。全书以 FANUC-0 系列数控系统、SIEMENS 802D 和 802S 数控系统为代表,以简洁的语言,深入浅出地介绍了数控加工的基本概念、数控机床的加工工艺、数控车削、数控铣削、数控加工中心以及宏程序的编程方法。本书内容丰富,详简得当,理论融于实例,每章结束有相应的思考题和习题,便于学生课后复习。

本书将数控机床必备的数控加工工艺规程的制订与数控编程有机联系在一起,书中所选实例具有一定的实用性和代表性,所有实例均经过模拟验证,并配有模拟结果,读者可以举一反三。

本书可作为高职高专数控技术应用、机电一体化、模具制造等专业的教材,也可以供从事数控技术和相关专业技术工作人员参考、培训与自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程 / 雷保珍主编. —北京: 中国林业出版社: 北京希望电子出版社, 2006.6

(21 世纪高职高专规划教材·数控专业)

ISBN 7-5038-4274-1

I. 数... II. 雷... III. ①数控机床—加工—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 (2005) 第 159562 号

出版: 中国林业出版社 (100009 北京市西城区刘海胡同 7 号 010-66184477)

北京希望电子出版社 (100085 北京市海淀区上地 3 街 9 号金隅嘉华大厦 C 座 611)

网址: www.bhp.com.cn 电话: 010-82702660 (发行) 010-62541992 (门市)

印刷: 北京媛明印刷厂

发行: 全国新华书店经销

版次: 2006 年 6 月第 1 版

印次: 2006 年 6 月第 1 次

开本: 787mm×1092mm 1/16

印张: 13 (彩插 2 页)

字数: 288 千字

印数: 0001~3000 册

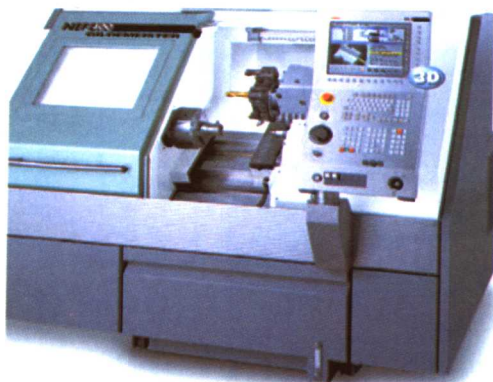
定价: 22.00 元



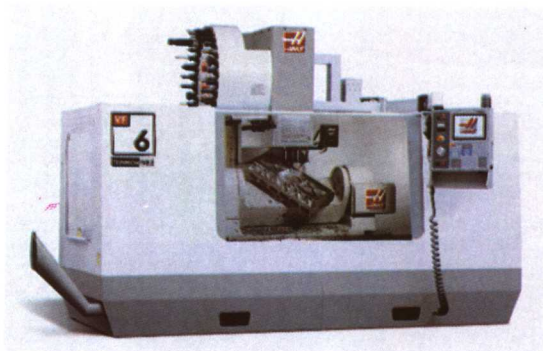
经济型数控车床



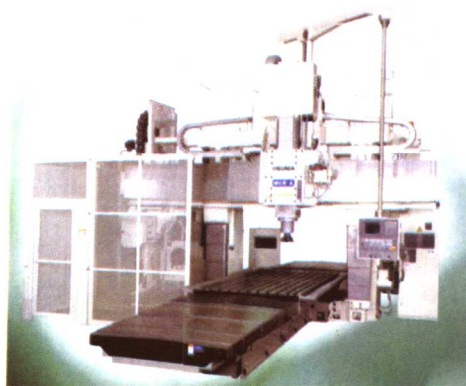
数控铣床



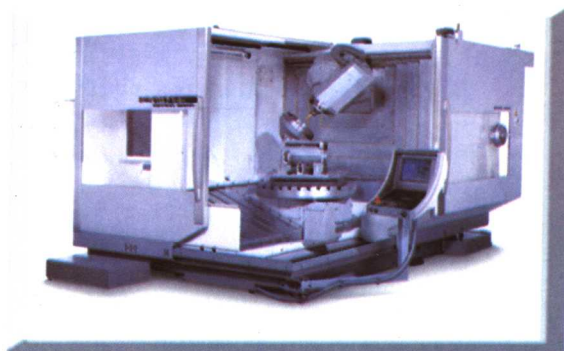
数控车削中心



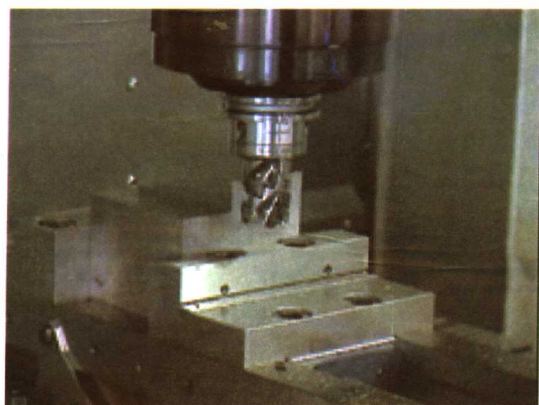
带回转工作台的铣削加工中心



五面体加工中心



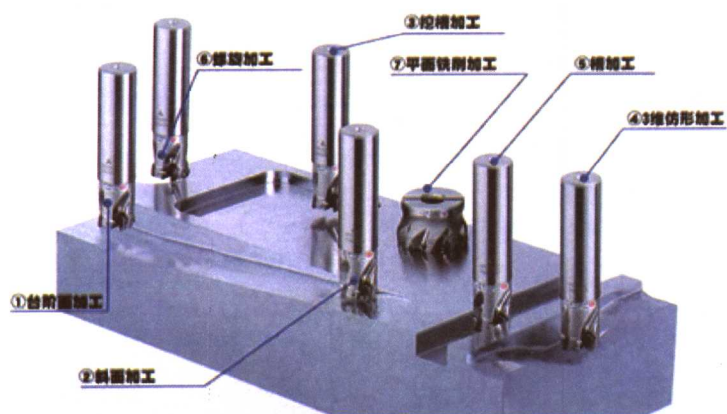
五轴联动数控加工中心



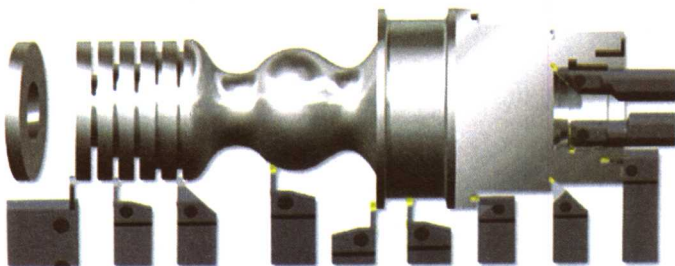
铣削加工过程



车削加工过程



铣削各种加工形态



车削各种加工形态



车铣复合加工实例——国际象棋



五轴联动加工实例——叶轮

21 世纪高职高专规划教材·数控专业教材

编 委 会 名 单

编委会主任：

张恩祥 全国高等学校制造自动化研究会理事会理事

方 新 北京生产工程学会副主任委员兼秘书长

编委会副主任：

康新龙 全国高校制造技术及机床研究会理事

钱 锐 中国机电装备维修与改造技术协会设备工程专业分会理事

陆卫民 中国科学出版集团北京希望电子出版社社长

企业主审：

金福吉 第一届全国数控技能大赛副裁判长

周维泉 第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家

编委：（排名不分先后）

张恩祥 方 新 金吉福 周维泉 康新龙 钱 锐

饶 军 朱自勤 雷保珍 宋 昀 何亚飞 邱 坤

田宏宇 姚国强 姜斌超 秦启书 蒋建强 马美英

序

近几年来,我国的高等职业教育取得了令人瞩目的成就。一方面,伴随着高等教育大众化的步伐,高等职业教育的规模迅速扩大,如今的高职教育已经成为我国高等教育的重要组成部分;另一方面,随着高职教育领域里理论研究与实践探索的不断深入,高等职业教育培养人才的质量不断提高。高等职业教育在国家建设和国民经济发展中的重要地位与作用已经得到了全社会的普遍认同。

但是,在高等职业教育迅速发展的同时,也存在着一些亟待解决的问题。首先,从规模与结构上来讲,毕业生的人数与专业的构成在相当程度上还无法满足经济发展的要求,众所周知,数控技术、汽车维修等领域,人才的缺口很大。其次,高等职业教育培养人才的质量与社会需求之间还存在着一定的差距,而产生这一差距的主要原因就是现行的课程体系无法满足高等职业教育的需求,因此,课程的改革与建设已经成为我国高等职业教育发展的重点与难点,其中教材的建设,尤其是精品教材的建设更显得尤为迫切和重要。

为解决目前数控技术专业教材不足,尤其是高水平的教材严重短缺的问题,由北京希望电子出版社与北京联合大学机电学院等十几所院校共同策划、组织、编写了这套数控技术专业系列教材。本套教材最大的特点就是突出“实用性”,因此在编写过程中除了形式上吸收借鉴了一些先进的课程、教材开发的理念与方法外,在内容上更加注重与生产实际和岗位需求的联系。同时,本套丛书在策划阶段聘请了北京机床研究所的副总工艺师金福吉(第一届全国数控技能大赛副总统裁判长、2005年北京市职工数控技能大赛副总统裁判长)、北京夏金字模具科技有限公司总工艺师周维泉(第一届全国数控技能大赛技术工作委员会专家、2005年北京市职工数控技能大赛数控车床裁判长)作为编委会的企业顾问,两位专家具有丰富的实践经验,他们对于整套教材的编写工作提出了很多宝贵的意见和建议,最后又由他们担任主审,对每本教材都给予了严格的把关,保证了数控加工工艺、数控加工程序的正确性。希望本套教材为我国的高等职业教育数控技术专业的课程体系建设添砖加瓦。

全国高等学校制造自动化研究会理事会理事 张恩祥

前 言

随着我国数控机床使用的不断增加，目前市场急需大量的数控编程、操作和维护的应用型高级技术人才，为适应我国高等职业教育的发展及应用型技术人才培养的需要，我们特编写了本书。

本书以 FANUC-0 系列数控系统、SIEMENS 802D 和 802S 数控系统为代表，以简洁的语言，深入浅出地介绍了数控加工的基本概念、数控机床的加工工艺、数控车削、数控铣削、数控加工中心以及宏程序的编程方法。本书内容丰富，详简得当，理论融于实例，每章结束有相应的思考题和习题，便于学生课后复习。

本书将数控机床必备的数控加工工艺规程的制订与数控编程有机联系在一起，书中所选实例具有一定的实用性和代表性，所有实例均经过模拟验证，并配有模拟结果，读者可以举一反三。

本书由雷保珍主编，陈万利和黄卫副主编，郝继红为全书典型实例的实操检验做了大量的工作。

北京机床研究所副总工艺师金福吉和北京夏金字模具科技有限公司总工艺师周维泉主审并认真校对了本书，提出了许多宝贵意见，在此表示深深的感谢。

本书在编写中，还得到了西门子自动化设备有限公司王刚、李晓辉，同事饶军、王逸方、张保钦以及崔星磊、周兰、程葳等同志的热情帮助，在此向他们深表感谢。

由于编者水平有限，数控技术发展迅速，所以本书难免有不足之处，望广大读者、专家和同仁提出宝贵意见。

编 者

目 录

第1章 数控加工概述1	2.3.7 对刀点与换刀点的确定.....41
1.1 示例.....2	2.3.8 加工路线的确定.....43
1.2 数控机床的组成、工作原理及运动 轨迹控制.....4	2.3.9 数控铣削加工工艺编制.....47
1.2.1 数控机床的组成.....4	2.4 数值计算.....48
1.2.2 工作原理.....7	2.5 数控加工工艺文件的编制.....50
1.2.3 数控机床运动轨迹的控制.....8	2.5.1 工序卡.....50
1.3 数控加工的特点及应用.....11	2.5.2 刀具卡.....51
1.4 数控加工程序编制的内容和方法.....12	2.6 思考与练习题.....51
1.4.1 数控程序编制的内容及步骤.....12	第3章 数控加工编程基础53
1.4.2 数控程序编制的方法.....13	3.1 数控机床的坐标系.....53
1.5 数控加工程序的结构与格式.....14	3.1.1 坐标和运动方向命名的原则.....53
1.5.1 加工程序的一般格式.....14	3.1.2 标准坐标系的规定.....53
1.5.2 字—地址程序段格式.....15	3.1.3 坐标轴方向的确定.....53
1.5.3 字的含义与功能.....15	3.1.4 相对运动关系.....55
1.6 我国数控机床的现状和展望.....19	3.1.5 附加坐标系.....56
1.7 思考与练习题.....20	3.2 数控机床的坐标系统.....57
第2章 数控加工工艺22	3.2.1 机床坐标系与机床原点.....57
2.1 概述.....22	3.2.2 机床参考点.....58
2.1.1 数控加工工艺的基本特点.....22	3.2.3 工件坐标系与工件原点.....58
2.1.2 数控加工工艺的主要内容.....22	3.3 加工坐标系的设定.....60
2.2 现代数控刀具的应用.....23	3.3.1 对刀.....60
2.2.1 数控机床刀具的特点.....23	3.3.2 工件坐标系的设定.....60
2.2.2 数控刀具的分类.....23	3.4 绝对坐标编程与相对坐标编程.....61
2.2.3 数控可转位刀具.....25	3.4.1 基本概念.....62
2.2.4 数控车削刀具的选择与 切削用量的确定.....27	3.4.2 绝对坐标和相对坐标的设定 方法.....62
2.2.5 数控铣削刀具的选择与 切削用量的确定.....30	3.4.3 练习.....62
2.3 工艺设计.....35	3.5 数控系统的准备功能和辅助功能.....63
2.3.1 数控加工工艺合理性分析.....35	3.5.1 准备功能.....63
2.3.2 零件的工艺性分析.....36	3.5.2 辅助功能.....64
2.3.3 加工方法的选择和加工 方案的确定.....38	3.6 思考与练习题.....65
2.3.4 工序的划分.....39	第4章 数控车床编程66
2.3.5 工步的划分.....41	4.1 概述.....66
2.3.6 工件的装夹.....41	4.1.1 数控车床的加工对象.....66
	4.1.2 数控车床编程特点.....67
	4.1.3 数控车床的坐标系统.....68

4.2	数控车床常用指令的编程方法.....68	5.2.1	FANUC 系统坐标系设定指令.. 116
4.2.1	G50 设定工件坐标系.....68	5.2.2	SIEMENS 坐标系设定指令..... 117
4.2.2	G54~G59 设定工件坐标系.....69	5.2.3	绝对编程与增量编程方式..... 119
4.2.3	换刀点及参考点返回.....69	5.2.4	进给功能 F、主轴转速 功能 S..... 120
4.2.4	绝对编程和增量编程.....71	5.2.5	参考点..... 121
4.2.5	公制尺寸与英制尺寸.....72	5.2.6	加工中心刀具功能..... 123
4.2.6	F、T、S 功能.....72	5.3	运动路径控制指令编程..... 124
4.3	运动路径控制指令.....74	5.3.1	快速定位 G00..... 124
4.3.1	G00 快速点定位.....75	5.3.2	直线插补 G01..... 124
4.3.2	G01 直线插补.....75	5.3.3	FANUC 系统圆弧插补控制 G02/G03 用法..... 125
4.3.3	G02/G03 顺/逆时针圆弧插补.....77	5.3.4	SIEMENS 系统圆弧插补控制 G02/G03 用法..... 127
4.3.4	FANUC 圆弧插补指令 G02/G03.....77	5.3.5	暂停指令 G04..... 131
4.3.5	SIEMENS 圆弧插补指令 G02/G03.....78	5.4	刀具补偿指令及其编程..... 132
4.3.6	G04 暂停指令.....80	5.4.1	刀具半径补偿..... 132
4.4	子程序.....81	5.4.2	刀具长度补偿..... 137
4.5	固定循环编程的方法与应用.....83	5.5	FANUC 系统固定循环..... 139
4.5.1	单一形状的固定循环.....84	5.5.1	固定循环的动作..... 139
4.5.2	复合固定循环切削及应用 实例.....85	5.5.2	钻孔循环 G81..... 141
4.5.3	孔加工.....90	5.5.3	镗孔循环 G82..... 141
4.5.4	螺纹加工.....92	5.5.4	高速深孔排屑钻循环 G73..... 141
4.6	刀具补偿功能的应用.....96	5.5.5	精镗孔循环 G76..... 142
4.6.1	刀具长度补偿功能.....96	5.5.6	镗孔循环 G85..... 142
4.6.2	刀具偏置.....96	5.5.7	反镗孔循环 G87..... 143
4.7	编程实例.....100	5.5.8	取消固定循环 G80..... 144
4.7.1	实例 1.....100	5.5.9	编程举例..... 144
4.7.2	实例 2.....102	5.6	SIEMENS 802S 固定循环功能..... 146
4.7.3	实例 3.....104	5.7	子程序运用..... 161
4.8	思考与练习题.....106	5.7.1	子程序结构..... 161
第 5 章	数控铣床与铣削加工中心编程.....109	5.7.2	子程序调用..... 162
5.1	数控铣床与铣削加工中心概述.....109	5.8	典型零件铣削编程加工实例..... 164
5.1.1	数控铣床结构类型特点.....109	5.8.1	实例 1..... 164
5.1.2	数控铣床的功能及加工对象.....110	5.8.2	实例 2..... 167
5.1.3	铣削加工中心结构类型特点.....111	5.8.3	实例 3..... 172
5.1.4	数控加工中心与数控铣床的 区别.....113	5.9	思考与练习题..... 177
5.1.5	铣削加工中心加工对象.....113	第 6 章	宏程序与参数编程..... 180
5.1.6	数控铣削编程特点.....114	6.1	FANUC 系统宏程序..... 180
5.1.7	数控铣削的坐标系统.....115	6.1.1	宏程序格式与宏程序调用..... 181
5.2	数控铣削常用指令的编程方法.....116	6.1.2	变量..... 182

6.1.3 运算指令	185	6.2.5 程序跳转	189
6.1.4 控制指令	185	6.2.6 R 参数编程实例	191
6.1.5 宏程序应用实例	187	6.3 思考与练习题	192
6.2 SIEMENS 系统 R 参数编程	188	附录 A FANUC 0i-TB 系统常用 G 指令表	194
6.2.1 参数编程基本步骤	188	附录 B FANUC 0i-MB 系统常用 G 指令	196
6.2.2 参数类型	188	附录 C SIEMENS 802D 常用 G 指令表	198
6.2.3 计算功能	189	附录 D SIEMENS 802S/C 常用 G 指令表	200
6.2.4 参数赋值	189	参考文献	202

第1章 数控加工概述

计算机数字控制（Computer Numerical Control，简称 CNC）是一种自动控制技术，指利用数字化信息对某一过程进行控制的一种方法，采用这种方法实现实现数字控制的一整套装置称为数控系统。数控机床和普通机床的最大区别在于数控机床装备有数控系统，通过数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制，从而实现自动加工。

图 1-1 和图 1-2 所示分别为数控车床和铣削加工中心。它们和普通机床有什么区别呢？都配有一个类似于计算机的控制系统（即数控系统），这样的机床就是数控机床。

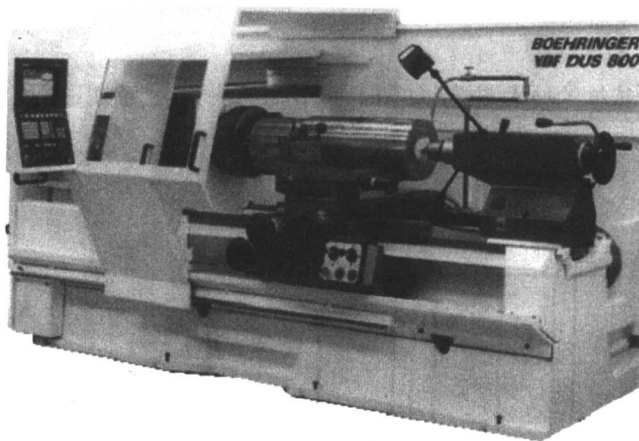


图 1-1 数控车床

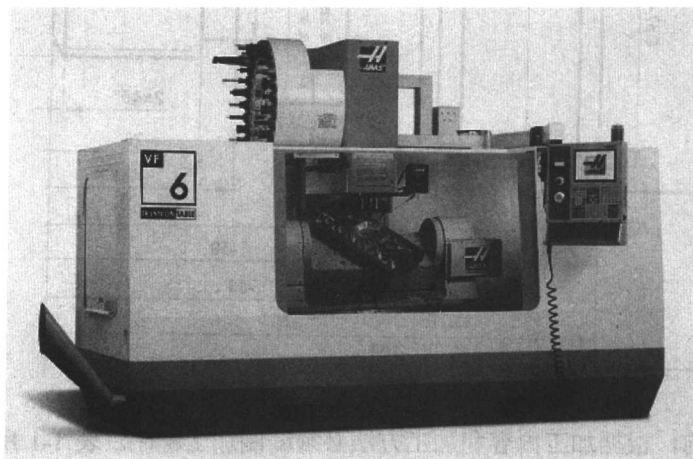


图 1-2 铣削加工中心（带刀库）

我们周围的机械产品 80% 左右都属于单件或小批量产品。随着科学技术的不断发展，所要求加工的机械产品的形状越来越复杂、加工精度要求越来越高，而且经常面临着改型

或更新换代，为了解决上述问题，数控机床应运而生。它有效地解决了上述矛盾，为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控机床加工出来的工件可以光洁如镜，比人类毛发还要细致数倍，而且数控机床擅长复杂零件的加工，譬如水轮机叶片的加工。对于一些多轴联动的数控机床，仅在一台机床上，就可以完成一个复杂零件的所有工序，相当于把“车间”集成为一台机床，极大地节省了空间，提高了生产效率。有的机床，非常智能化，它能在线检测加工状况，独立自主得管理自己，而且能够与企业 and 客户的生产管理系统通信，实现生产管理的现代化。

让数控机床听懂你的命令（你要会编程）、让它开动起来（会操作），并且加工出合格的产品（懂数控加工工艺），这就是你的学习目标。

首先，让我们从总体上来了解数控机床的加工过程以及指挥数控机床运动的指令。

1.1 示例

当你拿到生产依据的技术图样，如图 1-3 所示，要根据给定的工件尺寸和表面光洁度，采用相应的加工方法与加工步骤来实现零件的加工。

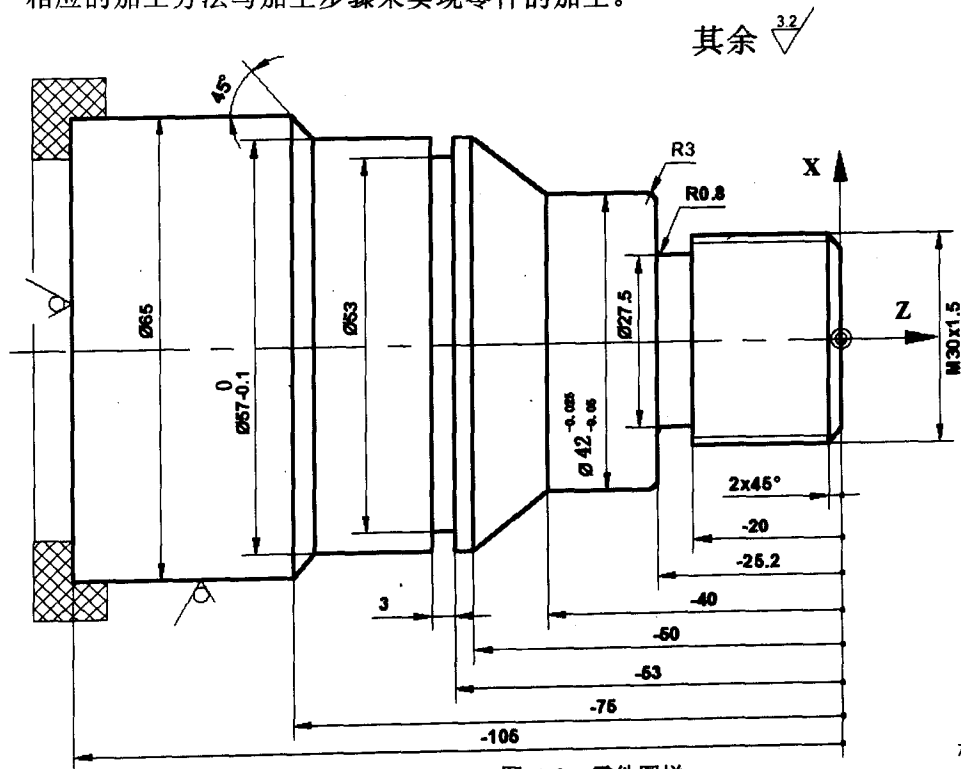


图 1-3 零件图样

材料 45钢

加工开始前，根据加工内容和加工方法必须编制加工程序。表 1-1 所示加工程序就是控制数控机床运动的指令，即人与数控机床进行交流的语言。

表 1-1 数控加工程序

O001		程序名
N01	G54 G00 X150.0 Z50.0 ;	设定坐标系
N02	T0101 F0.4;	粗车刀
N03	G00 X66.0 Z1.0 M03 S1500;	车端面
N04	G96 G01 X-1.6 S160;	
N05	G00Z2.0;	
N06	X66.0;	
N07	G01 Z0.0;	
N08	X-1.6;	
N09	G00 Z1.0;	
N10	X67. 0;	
N11	G71 U1.5 R0.5;	粗车外圆循环
N12	G71 P13 Q21 U0.5 W0.1 F0.4;	
N13	G00 X23.8;	
N14	G01X29.8 Z-2.0;	
N15	Z-25.2;	
N16	X36. 0;	
N17	G03 X41.965 Z-28.2 R3.0;	
N18	G01 Z-40.0;	
N19	X56.95 Z-50.0;	
N20	Z-71.0;	
N21	X67. 0Z-76.0;	
N22	G00 X150.0Z50. 0 S1500 ;	
N23	T0303 F0.15 M03 ;	精车刀
N24	G42 X21.8Z2.0;	精车外圆
N25	G01 X29.8 Z-2.0 F0.15;	
N26	Z-20.0;	
N27	G01 X27.5;	
N28	Z-24.4;	
N29	G02 X29.1 Z-25.2 I0.8 K0;	
N30	G01 X35.963;	
N31	G03 X41.963 Z-28.2 I0 K-3;	
N32	G01 Z-40.0;	
N33	X56.95 Z-50.0;	
N34	Z-71.0;	
N35	X67.0Z-76.0;	
N36	G40 G00 X150.0 Z50.0 ;	

(续表)

N37	T0505;	螺纹刀 加工螺纹 M30x1.5
N38	G97 S800 M03;	
N39	G00 X32.0 Z3.0;	
N40	G76 P020160 Q80 R100;	
N41	G76 X28.052 Z-23.0 P974 Q400 F1.5;	
N42	G00 X100.0 Z50.0;	
N43	T0404 F0.1 M03;	车槽刀 切槽 槽底暂停 0.5 秒
N44	G00 X59.0 Z-56.0;	
N45	G96 G01 X53.0 S140.;	
N46	G04 X0.5;	以工作进给速度退刀
N47	G97 G01 X59.0 F0.3 S800;	
N48	G00 X150.0 Z50.0 ;	
N49	M30;	

数控机床根据以上程序自动切削，将毛坯上多余的部分切除，从而加工出合格的工件。加工过程模拟如图 1-4 所示。

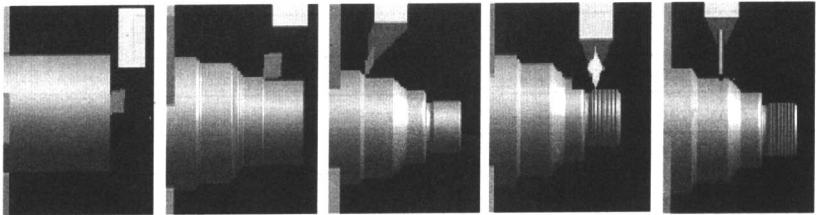


图 1-4 加工过程模拟

在上面的加工过程中，经验和技能起着非常重要的作用。

从上面的示例可以看出，控制数控机床运动的指令主要是由大写的英文字母和 0~9 的阿拉伯数字组成。它们之间又存在什么样的规律呢？数控机床能够根据加工程序自动进行切削，它的结构秘密是什么？首先让我们从数控机床的组成入手。

1.2 数控机床的组成、工作原理及运动轨迹控制

1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由机床本体、数控系统、伺服驱动系统 3 大部分组成，如图 1-5 所示。

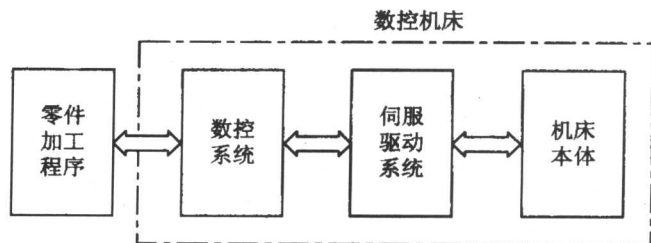


图 1-5 数控机床的组成

1. 数控装置

数控装置是数控机床的大脑。

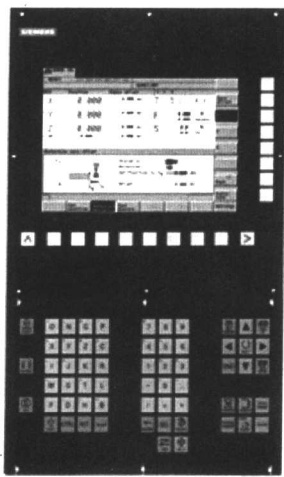
数控装置首先接受输入的加工信息，经过“思考”处理后，向伺服系统发出相应的指令脉冲，并通过伺服系统控制机床运动部件按加工程序指令运动。

数控装置通常由一台专用微型计算机或通用计算机构成。基于 PC 的开放式数控系统，主要由一台通用微型计算机加装运动控制卡、I/O 接口卡并运行 CNC 系统软件构成。

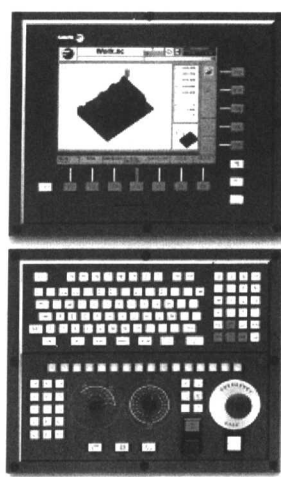
目前国内应用较多的数控装置有日本的 FANUC、德国的 SIEMENS 和西班牙的 FARGOR 等，如图 1-6 所示。



a) FANUC 16i



b) SIEMENS 802D



c) FARGOR 8055

图 1-6 典型数控系统

2. 伺服系统

伺服系统是数控机床的四肢，执行来自 CNC 装置的运动指令。伺服系统由伺服驱动装置、伺服电机和位置检测装置组成。

伺服驱动装置的主要功能是功率放大和速度调节，将弱电信号转化为强电信号，并保证系统的动态性能，如图 1-7 所示。

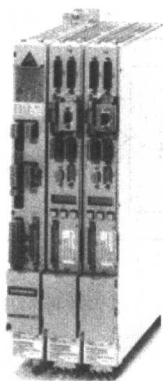
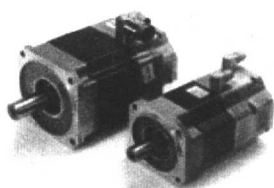
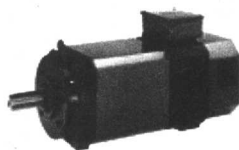


图 1-7 伺服驱动装置

伺服电机将电能转化为机械能，拖动机械部件移动或转动。伺服电机包括主轴电机和各方向的进给电机，分别如图 1-8a) 和图 1-8b) 所示。当今直线电机、直线驱动技术得到进一步的发展与应用，被认为是未来驱动的方向。直线电机通过取消机械传动部件，可达到较高加速度等级和速度，速度可达 120m/min 以上。



a) SIEMENS 进给电机



b) SIEMENS 主轴电机

图 1-8 伺服电机

检测装置是把位移和速度测量信号作为反馈信号，并将反馈信号转换成数字信号送回计算机与脉冲指令信号进行比较，以控制驱动元件的正确运转。数控机床常用的检测元件如图 1-9 所示。

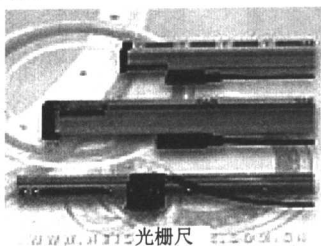


图 1-9 海德汉位置检测元件

检测装置的精度直接影响数控机床的定位精度和加工精度。通过位置检测装置，可构成闭环或半闭环控制的伺服系统，如图 1-10 所示。