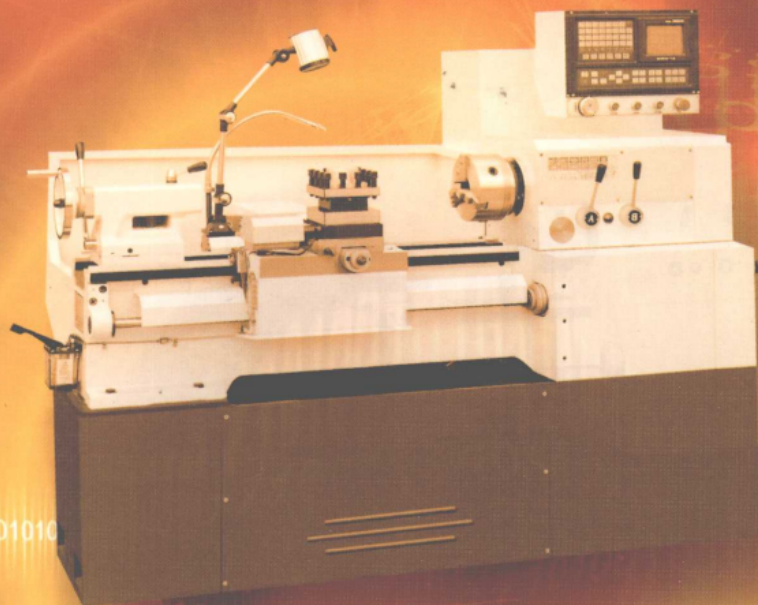




高职高专“十一五”规划教材

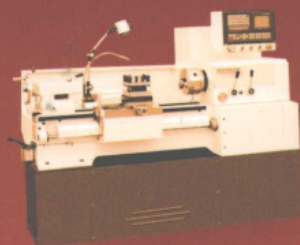
数控车床 编程与应用

耿国卿 刘永海 主编



化学工业出版社

数控车床 编程与应用



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

ISBN 978-7-122-01464-1



9 787122 014641 >

定 价：23.00元

张海鹏 副主编

 化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据教育部数控技术应用专业技能型紧缺人才培养方案和劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关职业技能鉴定规范,并且结合编者多年的教学经验和生产实践经验编写而成。共分上下两篇,上篇为基础篇,讲述了数控机床的基本知识、数控车床加工工艺、数控编程基础、数控车床基本操作、数控车削编程、宏程序等内容;下篇为实训篇,包括九个课题,并且列举了大量典型实例。全书理论与实践充分结合,有利于培养学生的实际操作和应用能力。

本书可作为高职高专院校数控技术应用专业、机电专业、模具专业的教材,也可作为数控车床的编程与操作培训教材,并可供机械制造业有关工程技术人员参考。

主编 刘永海 耿国卿
主审 蔡洪伟 韩庆利

图书在版编目(CIP)数据

数控车床编程与应用/耿国卿,刘永海主编. —北京:
化学工业出版社, 2007. 12
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-01464-1

I. 数… II. ①耿…②刘… III. 数控机床: 车床-
程序设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 180201 号

责任编辑: 蔡洪伟 韩庆利
责任校对: 陈 静

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 357 千字 2008 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

《数控车床编程与应用》编写人员名单

主 编 耿国卿 刘永海

副主编 张海鹏

参 编 孙 涛 谭 毅 程春艳 张少红 米广杰

耿 建 李文峰 杨兆伟 张群英 韩安源

陈镜斌 邹 军 李 涛 李军玲 朱志军

青 岛

2005年10月

前 言

本书是根据教育部数控技术应用专业技能型紧缺人才培养方案和劳动和社会保障部制定的有关国家职业标准及相关职业技能鉴定规范编写的。数控加工技术是现代制造业已广泛使用的一种先进加工技术,随着我国经济的飞速发展,我国现已成为世界上数控机床的消费大国和生产大国,国民经济各行各业需要大量的数控机床的开发人才和应用人才。为了适应我国高等职业技术教育发展以及应用型人才培养的需要,编者结合多年的教学经验和生产实践经验,并吸取了近年来先进教学方法,本着“实际、实用、实践”的原则,编写了本书。

本教材以 FANUC Oi 系统的数控车床为背景,讲述了数控机床的基本知识、数控车床加工工艺、数控车床基本操作、数控车床编程及其应用和九个课题。该书在编程方法的讲解上配合大量例题,力求讲解详细、深入浅出;在编程实践和应用方面,采用课题形式,理论与实践相结合,把数控车床加工工艺知识融入编程中,并配以实践性较强的例题详加说明。因此该教材既具有较强的理论性、实践性,又具有较强的综合性。教材力求把学习理论知识和培养实践能力有机结合起来,培养学生的实际操作和应用能力。

本书可作为高等职业技术学院数控技术应用专业、机电专业、模具专业的教材,也可作为数控车床的编程与操作培训教材,并可供机械制造业有关工程技术人员参考。

本书不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2007 年 10 月

目 录

上篇 基础篇

第一章 数控机床的基本知识	2
第一节 数控机床的产生与发展过程	2
一、数控机床的产生和发展	2
二、数控机床特点	3
第二节 数控机床的构成和工作原理	4
一、程序及载体	4
二、输入/输出装置	4
三、数控装置 (CNC 单元)	5
四、伺服驱动系统	5
五、位置检测装置	8
六、机床主体	8
七、辅助控制装置	8
第三节 数控机床的分类及应用范围	8
一、按运动轨迹分类	9
二、按伺服系统的类型分类	9
三、按工艺用途分类	10
四、数控机床的应用范围	10
第四节 我国数控技术的发展概况	11
第五节 数控机床的发展趋势	12
复习思考题	14
第二章 数控车床加工工艺	15
第一节 数控车床加工工艺概述	15
一、数控车床加工特点	15
二、数控车削的主要加工对象	15
三、数控加工工艺设计主要内容	17
第二节 数控车削加工路线的设计及优化	18
一、加工工序的划分	18
二、加工顺序的安排	18
三、数控加工工艺与普通工序的衔接	18
四、数控加工工艺设计原则	18
第三节 刀具的选择及工件夹装	19

一、刀具的基本知识	19
二、刀具的材料	21
三、车刀的种类和用途	23
四、刀具的选择	25
五、工件安装及所用附件	27
第四节 材料的切削加工性	31
一、切削加工性的概念和衡量指标	31
二、影响材料加工性的因素	32
第五节 加工余量及切削用量的确定	33
一、加工余量的选择	33
二、切削用量的确定	35
第六节 切削液的合理选用	37
一、切削液的种类及选用	37
二、使用切削液的注意事项	38
第七节 数控车削加工的质量与精度控制	38
一、机械加工的表面质量	38
二、机械加工精度	40
复习思考题	45
第三章 数控编程基础	46
第一节 数控编程的方法与内容	46
第二节 数控机床的坐标系	47
一、标准坐标系	47
二、机床坐标系	48
三、工件坐标系	49
第三节 数控程序的结构	50
第四节 数控系统的功能指令	51
一、准备功能 (G 功能)	51
二、辅助功能 (M 功能)	52
三、刀具功能 (T 功能)	52
四、主轴功能 (S 功能)	56
五、进给功能 (F 功能)	56
第五节 数控编程的特点	56
一、直径编程	56
二、绝对坐标与增量坐标	57
三、机床的初始状态	57
复习思考题	58
第四章 数控车床基本操作	59
第一节 数控车床安全操作规程	59
一、安全预防措施	59
二、机床电源接通前后注意事项	59
三、机床启动时注意事项	59

四、机床停止时注意事项	60
第二节 数控车床的功能特点	60
第三节 数控车床操作面板与功能	61
一、数控系统操作面板各键的功用	61
二、机床控制面板各键的功用	62
第四节 数控车床的操作	65
一、开机	65
二、关机	65
三、回参考点	65
四、手动方式	66
五、手摇方式	66
六、MDI 方式	66
七、对刀操作	67
八、编辑方式	68
九、自动方式	69
十、选择程序	69
十一、删除一个程序	69
十二、删除全部程序	69
复习思考题	70
第五章 数控车削编程	71
第一节 插补功能	71
一、快速移动指令 G00	71
二、直线插补指令 G01	71
三、圆弧插补指令 G02、G03	76
四、暂停指令 G04	78
五、螺纹切削指令 G32	79
第二节 固定循环功能	83
一、外圆固定循环 G90	83
二、端面固定循环 G94	85
三、螺纹固定循环 G92	88
第三节 多重循环功能	91
一、外圆粗车循环 G71	91
二、精加工循环 G70	93
三、端面粗车循环 G72	94
四、仿形切削循环 G73	96
五、螺纹切削循环 G76	97
六、多重循环功能注意事项 (G70~G76)	99
第四节 恒线速度功能 G96	100
第五节 倒角 C 和倒圆角 R	101
第六节 刀尖圆弧半径补偿	103
第七节 子程序	106

复习思考题	108
第六章 宏程序	112
第一节 宏程序的概念及特点	112
一、宏程序的概念	112
二、宏程序的特点	112
第二节 宏程序的变量	113
一、变量	113
二、运算指令	115
三、转移与循环指令	115
第三节 宏程序调用	117
一、宏程序调用指令 G65	117
二、自变量赋值	117
第四节 典型曲线的宏程序	119
一、圆	119
二、椭圆	121
三、双曲线	122
四、抛物线	123
复习思考题	126

下篇 实训篇

课题一 工件的测量	130
第一节 测量理论知识	130
一、测量的基本概念	130
二、计量器具的主要度量指标	131
三、测量方法及其分类	132
四、测量误差	133
第二节 常用测量器具	134
一、游标卡尺	134
二、外径千分尺	136
三、百分表	137
第三节 实训项目	138
一、实训目的	138
二、实训内容	138
三、实训思考题	138
四、实训报告要求	139
课题二 数控车床的对刀	140
第一节 理论指导	140
一、对刀的概念与对刀原理	140
二、数控车削加工中的几个特殊点	140
第二节 实训指导	141

一、采用工件坐标系设定方式 G50 对刀	141
二、采用刀具补偿参数 T 功能对刀	142
第三节 实训项目	143
一、实训目的	143
二、实训设备	143
三、实训内容	143
四、实训思考题	143
五、实训报告要求	143
课题三 车刀的安装与刃磨	144
第一节 理论指导	144
一、车刀的安装	144
二、车刀的失效形式	144
三、砂轮的选择	146
四、车刀的刃磨方法	147
第二节 实训指导	147
一、实训项目 90°外圆车刀的刃磨	147
二、实训内容	147
三、实训步骤	148
四、注意事项	149
第三节 实训项目	149
一、实训项目 1 车刀的基本几何参数	149
二、实训项目 2 车刀的刃磨	149
三、实训报告要求	150
课题四 轴的外圆、端面及锥面的车削加工	152
第一节 理论指导	152
一、切削用量的选择	152
二、数值的计算	152
三、车削外圆、端面的注意事项	152
四、车削锥面时的双曲线误差	152
第二节 实训指导	153
一、实训项目 1 轴的车削	153
二、实训项目 2 轴的车削	155
第三节 实训项目	158
一、实训项目 1 轴的车削	158
二、实训项目 2 轴的车削	159
三、实训思考题	161
四、实训报告要求	161
课题五 外圆弧成形面的车削加工	162
第一节 理论指导	162
一、车削圆弧的加工路线	162
二、车削圆弧中的刀具干涉	162

第二节 实训指导	163
一、实训项目1 圆弧的车削	163
二、实训项目2 圆弧的车削	164
第三节 实训项目	167
一、实训项目1 圆弧的车削	167
二、实训项目2 圆弧的车削	168
三、实训思考题	170
四、实训报告要求	170
课题六 切槽与切断的加工操作	171
第一节 理论指导	171
一、切断刀与切槽刀的几何参数和尺寸	171
二、切削用量的确定	172
三、切槽的方法	172
四、注意事项	172
第二节 实训指导	172
一、实训项目 槽的车削	172
二、实训设备	172
三、实训内容	173
四、实训步骤	173
五、注意事项	174
第三节 实训项目	174
一、实训项目 槽的车削	174
二、实训思考题	175
三、实训报告要求	175
课题七 螺纹的车削加工	176
第一节 理论指导	176
一、螺纹的加工方法	176
二、螺纹参数的计算	177
三、螺纹车刀的几何角度和装夹方法	179
第二节 实训指导	180
一、实训项目 螺纹的车削	180
二、实训设备	180
三、实训内容	180
四、实训步骤	181
五、注意事项	184
第三节 实训项目	185
一、实训项目1 螺纹的车削	185
二、实训项目2 螺纹的车削	186
三、实训思考题	187
四、实训报告要求	187
课题八 内套、内腔类零件的车削加工	188

第一节 理论指导	188
一、钻孔	188
二、车孔	189
三、车内沟槽	191
四、车内螺纹	191
第二节 实训指导	193
一、实训项目 1 内套的车削	193
二、实训项目 2 内台阶孔的车削	194
三、实训项目 3 内螺纹的车削	196
第三节 实训项目	197
一、实训项目 1 内孔及内沟槽的车削	197
二、实训项目 2 内孔及内螺纹的车削	199
三、实训项目 3 内腔体的车削	200
四、实训思考题	201
五、实训报告要求	201
课题九 数控车削的综合实训	202
一、综合零件实训题	202
二、数控车削知识考核题	204
参考文献	220

第一章 数控技术的基本知识

第一节 数控技术的发展概况

数控技术是20世纪50年代末60年代初发展起来的一种新的制造技术。它是将数字信息输入到机床中，由机床自动地控制刀具的运动，从而加工出各种形状的零件。数控技术是制造技术的重要组成部分，也是实现工业自动化的重要手段。

上篇 基础篇

数控技术是制造技术的重要组成部分，也是实现工业自动化的重要手段。它的发展经历了从模拟到数字、从简单到复杂、从低精度到高精度的过程。目前，数控技术已经广泛应用于各种类型的机床，如车床、铣床、刨床、磨床等，极大地提高了生产效率和产品质量。

数控技术的发展可以分为三个阶段：第一阶段是模拟数控，第二阶段是数字数控，第三阶段是计算机数控。模拟数控是利用模拟电路实现控制，精度低、可靠性差；数字数控是利用数字电路实现控制，精度较高、可靠性较好；计算机数控是利用计算机实现控制，精度高、可靠性好、功能强大。

目前，数控技术已经广泛应用于各种类型的机床，如车床、铣床、刨床、磨床等，极大地提高了生产效率和产品质量。随着计算机技术的不断发展，数控技术也在不断进步，出现了高速数控、精密数控、复合数控等新的技术。未来，数控技术将继续向高精度、高效率、智能化方向发展，为制造业的转型升级提供强有力的支撑。

数控技术的发展经历了从模拟到数字、从简单到复杂、从低精度到高精度的过程。目前，数控技术已经广泛应用于各种类型的机床，如车床、铣床、刨床、磨床等，极大地提高了生产效率和产品质量。随着计算机技术的不断发展，数控技术也在不断进步，出现了高速数控、精密数控、复合数控等新的技术。未来，数控技术将继续向高精度、高效率、智能化方向发展，为制造业的转型升级提供强有力的支撑。

数控技术的发展可以分为三个阶段：第一阶段是模拟数控，第二阶段是数字数控，第三阶段是计算机数控。模拟数控是利用模拟电路实现控制，精度低、可靠性差；数字数控是利用数字电路实现控制，精度较高、可靠性较好；计算机数控是利用计算机实现控制，精度高、可靠性好、功能强大。目前，数控技术已经广泛应用于各种类型的机床，如车床、铣床、刨床、磨床等，极大地提高了生产效率和产品质量。

随着计算机技术的不断发展，数控技术也在不断进步，出现了高速数控、精密数控、复合数控等新的技术。未来，数控技术将继续向高精度、高效率、智能化方向发展，为制造业的转型升级提供强有力的支撑。目前，数控技术已经广泛应用于各种类型的机床，如车床、铣床、刨床、磨床等，极大地提高了生产效率和产品质量。

第一章 数控机床的基本知识

第一节 数控机床的产生与发展过程

一、数控机床的产生和发展

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,是20世纪后半叶最重要、发展最快的工业技术之一,它以制造过程为对象,以信息技术为手段,以数字坐标方式对运动部件进行位置控制为主要特征,为单件小批量生产的自动化开辟了可行的技术途径,也为现代柔性制造技术奠定了技术基础。

数字控制(Numerical Control,简称NC)是用数字化的信息实现机床控制的一种方法,因此它的控制信息是数字量,而非模拟量。

数控机床(Numerical Control Machine Tool)是指采用了数字控制技术的机床,它通过数字化的信息对机床的运动及其加工过程进行控制,实现要求的机械动作,自动完成加工任务。数控机床是典型的技术密集且自动化程度很高的机电一体化加工设备。

随着科学技术的不断发展,机械产品日趋精密、复杂,改型也日益频繁,对机床的性能、精度、自动化程度等提出了越来越高的要求。尤其是在航空航天、造船、军工和计算机等工业中,零件精度高、形状复杂、批量小、品种多、加工困难、劳动强度大,传统的机械加工方法已难以保证质量和零件的同一性。为解决这一问题,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,用它来加工直升机叶片轮廓检查用样板。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。数控机床发展至今已经历了两个阶段和六个时代。

1. 数控(NC)阶段(1952~1970年)

早期的计算机运算速度低,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,这个阶段经历了三代,即1952年的第一代——电子管数控机床,1959年的第二代——晶体管数控机床,1965年的第三代——小规模集成电路数控机床。

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。这个阶段也经历了三代,即1970年的第四代——小型计算机数控机床(CNC),1974年的第五代——微型计算机数控系统(MNC),1990年的第六代——基于PC的数控机床(PC-BASED)。

前三代数控装置属于采用专用控制计算机的硬件数控装置,一般称为NC数控装置,早已淘汰;1970年以后的小型计算机取代硬件控制计算机,许多控制可以用专门编制程序实现,于是被称为软件控制系统。目前数控系统均采用第五代以上数控系统,现在大部分教科书中将现代数控系统称为CNC。

二、数控机床特点

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。

1. 适应性强,具有高柔性

适应性即所谓的柔性,是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上改变加工零件时,只需重新编制程序,输入新的程序后就能实现对新零件的加工;而不需改变机械部分和控制部分的硬件,且生产过程是自动完成的。这就为复杂结构零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的方便。适应性强是数控机床最突出的优点,也是数控机床得以生产和迅速发展的主要原因。

2. 能实现复杂运动

数控机床几乎可以实现任意轨迹的运动和任何形状的空间曲面的加工。如用普通机床难以加工的螺旋桨、气轮机叶片等空间曲面,都可以用数控机床完成加工。

3. 加工精度高,产品质量稳定

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,一般情况下工作过程不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的误差。在设计制造数控机床时,采取了许多措施,使数控机床的机械部分达到了较高的精度和刚度。数控机床工作台的移动当量普遍达到了 $0.01 \sim 0.0001\text{mm}$,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,高档数控机床采用光栅尺进行工作台移动的闭环控制。数控机床的加工精度由过去的 $\pm 0.01\text{mm}$ 提高到 $\pm 0.005\text{mm}$,甚至更高。定位精度在20世纪90年代初中期已达到 $\pm (0.002 \sim 0.005)\text{mm}$ 。此外,数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性。通过补偿技术,数控机床可获得比本身精度更高的加工精度。尤其提高了同一批零件生产的一致性,产品合格率高,加工质量稳定。

4. 自动化程度高,劳动强度低(改善劳动条件)

数控机床加工前经调整后,输入程序并启动,机床就能自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者主要做程序的输入、编辑、装卸零件、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作,劳动强度极大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外,机床一般是封闭式加工,既清洁,又安全。

5. 生产效率高,减少辅助时间和机动时间

零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床大,因此数控机床每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床结构刚性好,因此允许进行大切削用量的强力切削,这就提高了数控机床的切削效率,节省了机动时间。数控机床的移动部件空行程运动速度快,工件装夹时间短,刀具可自动更换,辅助时间比一般机床大为减少。

数控机床更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床,节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定,一般只作首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验,因此节省了停机检验时间。在加工中心机床上加工时,一台机床实现了多道工序的连续加工,生产效率的提高更为显著。

6. 良好的经济效率

数控机床虽然设备昂贵,加工时分摊到每个零件上的设备折旧费较高。但在单件、小批量生产的情况下,使用数控机床加工可节省划线工时,减少调整、加工和检验时间,节省直接生产费用。数控机床加工零件一般不需制作专用夹具,节省了工艺装备费用。数控机床加

工精度稳定,减少了废品率,使生产成本进一步下降。此外,数控机床可实现一机多用,节省厂房面积和建厂投资。因此使用数控机床可获得良好的经济效益。

7. 有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,特别是在数控机床上使用计算机控制,为计算机辅助设计、制造以及管理一体化奠定了基础。

第二节 数控机床的构成和工作原理

数控机床由程序编制及程序载体、输入/输出装置、数控装置(CNC单元)、伺服驱动系统、位置检测装置、机床主体、辅助控制装置等几部分组成。如图 1-1 所示。

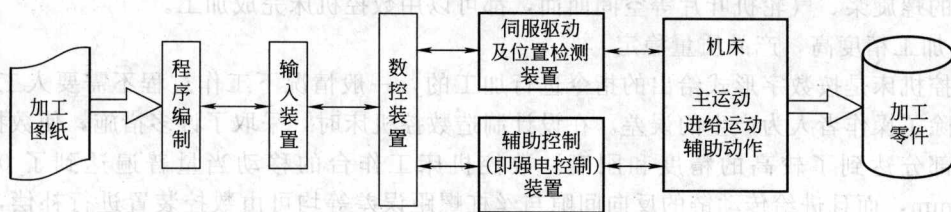


图 1-1 数控机床的基本结构

一、程序及载体

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即:零件在机床上的安装位置;刀具与零件相对运动的尺寸参数;零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后,用由文字、数字和符号组成的标准数控代码,按规定的方法和格式,编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行;对于形状复杂的零件,则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程(APT)或CAD/CAM设计。

编好的数控程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

程序的存储介质,又称程序载体。程序载体一般包括:

- ① 穿孔纸带(过时、淘汰);
- ② 盒式磁带(过时、淘汰);
- ③ 软盘、磁盘、U盘;
- ④ 通信方式。

二、输入/输出装置

输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据控制存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统;数控加工程序还可由编程计算机用RS232C或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工(数控系统内存较小时),另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储