

数控加工工艺与编程



类目：机械类

书名：数控加工工艺与编程

主编：李胜文 程中华 韦莉娜

出版社：电子科技大学出版社

开本：大 16 开

书号：978-7-5770-2545-2

使用层次：通用

出版时间：2026 年 8 月

定价：48.00 元

印刷方式：双色

是否有资源：有

策划编辑：万晓桐
责任编辑：万晓桐
封面设计：唐语书装

机械类创新融合教材
“互联网+”教育改革新理念教材



机械类创新融合教材
“互联网+”教育改革新理念教材



数控加工 工艺与编程

数控加工工艺与编程

主编 © 李胜文 程中华 韦莉娜

电子科技大学出版社



电子科技大学出版社
微信公众号



定价：48.00元



数控加工 工艺与编程

主编 © 李胜文 程中华 韦莉娜

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press



机械类创新融合教材
“互联网+”教育改革新理念教材



数控加工 工艺与编程

主 审 ◎ 石修武 戴春勇
主 编 ◎ 李胜文 程中华 韦莉娜
副主编 ◎ 杨凯程 周红雨 夏 旺



电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程 / 李胜文, 程中华, 韦莉娜主
编 — 成都: 成都电子科大出版社, 2026. 8. — ISBN
978-7-5770-2545-2

I. TG659

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2026ZN0932 号

数控加工工艺与编程

SHUKONG JIAGONG GONGYI YU BIANCHENG

李胜文 程中华 韦莉娜 主编

策划编辑 万晓桐

责任编辑 万晓桐

责任校对 罗 雅

责任印制 梁 硕

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 三河市祥达印刷包装有限公司

成品尺寸 210 mm×285 mm

印 张 13.5

字 数 403 千字

版 次 2026 年 8 月第 1 版

印 次 2026 年 8 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5770-2545-2

定 价 48.00 元

版权所有，侵权必究

前言

随着智能制造产业的快速发展，数控加工技术作为机械制造领域的核心技术，对从业人员的专业素养和实操能力提出了更高的要求。为适配高校数控技术、机电一体化等专业人才培养目标，贴合企业岗位实际需求，衔接“1+X”职业技能等级证书标准，我们组织行业企业专家与一线教学教师联合编写了本教材。本教材以“项目引领、任务驱动、实训落地”为编写理念，严格遵循数控加工技术的认知规律和岗位技能成长路径，共设置六个核心项目，涵盖数控加工技术基础、数控加工的工艺设计、数控加工的程序编制以及数控车削、数控铣削、数控加工中心三大核心设备的加工工艺与编程实操。每个项目分解为若干具体任务，明确任务目标、核心内容和实操要求，配套相应综合实训，实现“学、练、做”一体化，帮助学生快速地掌握数控加工工艺设计与编程的核心技能。

本教材内容兼顾理论性与实操性，既系统阐述了数控机床的组成、分类、发展趋势，以及数控加工工艺设计、程序编制的基础理论和方法，又结合 GSK980T、FANUC 0i 等主流数控系统，在贴合一线生产实际的情况下，提供了丰富的编程实例和实训任务。同时，本教材融入了行业新技术、新规范，注重培养学生的工艺思维、编程能力和安全操作意识，助力学生实现从理论学习到岗位实践的无缝衔接。

本教材不仅可作为高等学校数控技术、机电一体化技术、机械制造与自动化等专业的核心教材，也可作为企业数控加工从业人员的培训教材以及相关技术人员的参考用书。

在本教材编写过程中，我们参考了大量行业标准和前沿资料，得到了相关企业和院校的大力支持，在此致以诚挚的感谢。由于编者水平有限，教材中难免存在疏漏，恳请广大师生、行业专家批评指正，以便后续修订完善。

编者

2026 年 4 月

目 录

项目一 数控加工技术基础 1

任务一 数控机床的概念及组成	2
任务二 数控机床的种类划分	5
任务三 数控机床加工的特点及应用	9
任务四 数控机床的发展趋势	11
综合实训一 数控机床的安全操作规程	14
项目小结	14
思考练习	15

项目二 数控加工的工艺设计 16

任务一 数控加工的工艺特点与内容	17
任务二 数控加工的工艺分析方法	20
任务三 数控加工的工艺路线设计	24
任务四 数控加工的工序设计	30
任务五 数控加工的工艺文件	35
综合实训二 轴类零件的工艺设计	38
项目小结	39
思考练习	40

项目三 数控加工的程序编制 41

任务一 零件程序编制的内容与方法	42
任务二 数控机床的坐标系统	48
任务三 零件加工程序的指令代码与程序结构	52
任务四 数控加工编程实例	59
综合实训三 轴类零件的程序编制	62
项目小结	62
思考练习	63

项目四 数控车削加工与编程 64

任务一 数控车床的分类与特点	65
任务二 数控车床程序编制的基础	68
任务三 GSK980T 系统数控车床编程指令概述	81
任务四 数控车床编程实例	95
任务五 用户宏程序	115
综合实训四 车削对刀与 MDI 加工	123
项目小结	123
思考练习	124

项目五 数控铣削加工与编程 126

任务一 数控铣床概述	127
任务二 数控铣床编程中的工艺处理	130
任务三 FANUC Oi 系统的数控铣床编程概述	141
任务四 数控铣床编程实例	162
综合实训五 铣削对刀与 MDI 加工	169
项目小结	170
思考练习	170

项目六 数控加工中心加工与编程 172

任务一 数控加工中心概述	173
任务二 数控加工中心编程基础	188
任务三 数控加工中心编程实例	193
综合实训六 内、外轮廓加工	205
项目小结	207
思考练习	207

参考文献 209

01

项目一 数控加工技术基础

- 任务一 数控机床的概念及组成
- 任务二 数控机床的种类划分
- 任务三 数控机床加工的特点及应用
- 任务四 数控机床的发展趋势

任务一

数控机床的概念及组成

任务目标

- (1) 了解数控机床的概念。
- (2) 掌握数控机床的组成。

任务描述

数控机床是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。本任务在简要地介绍数控机床的概念后，重点是让学生了解数控机床的组成及其作用。

一、数控机床的概念

1. 数控

数控(numerical control, NC)是 20 世纪 50 年代发展起来的一种自动控制技术，是用数字信号对机床的运动及加工过程进行控制的一种方法。在数控技术中引进计算机技术，称为 CNC(computer numerical control)。CNC 具有柔性好、功能强、可靠性高、经济，以及易于实现机电一体化等特点，使数控技术在质的方面完成了一次飞跃。

2. 数控机床

数控机床(numerical control tool)是指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，或者说是装备了数控系统的机床，是一种技术密集度及自动化程度很高的机电一体化设备，是数控技术与机床相结合的产物。通过数字化信息可以对机床的运动及其加工过程进行控制。

数控机床可以将加工过程所需的各种操作(如主轴变速、装夹工件、进刀与退刀、开车与停车、自动关停冷却液等)、步骤及工件的尺寸用数字化代码表示，通过控制介质(如穿孔纸带或磁盘等)将数字信息送入控制装置，数控装置对输入的信息进行处理和运算，发出各种控制信号，这样控制机床的伺服系统或其他驱动元件就会使机床自动加工出所需要的工件。

3. 数控加工

数控加工是指在数控机床上加工零部件的一种工艺方法。数控加工技术除了适用于机械加工以外，还适用于电加工、激光加工、火焰加工、绘印加工及编织加工等工艺。

二、数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、计算机数控装置(或称“CNC 装置”)、伺服系统、驱动装置(或称“执行机构”)、PLC 及其控制的辅助装置、机床本体及测量反馈装置组成，如图 1-1 所示。

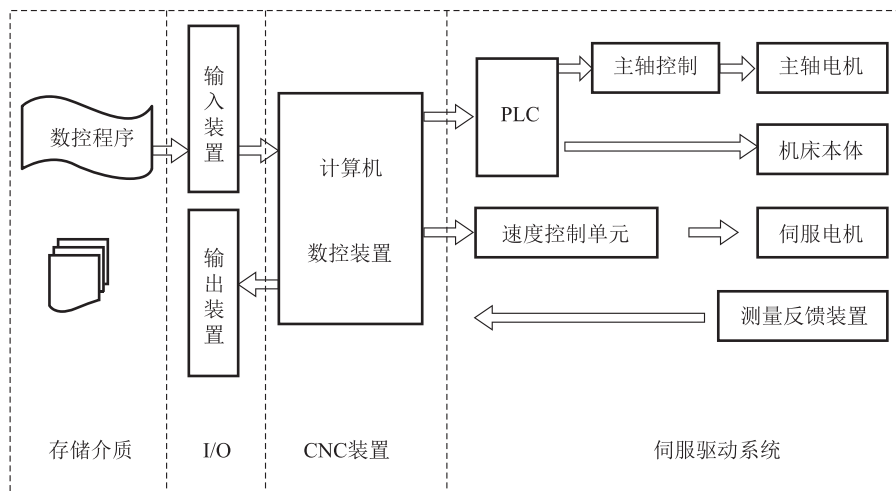


图 1-1 数控机床的组成

1. 输入/输出装置

输入/输出装置是用户与 CNC 装置的接口。存储在信息载体上的加工程序(数控代码)需通过输入装置送给 CNC 装置,数控机床的典型输入设备有纸带读入机、软盘驱动器及键盘(MDI 方式)等。输入装置的作用是将控制介质(指将零件加工信息传送到数控装置去的程序载体,如图 1-2 所示)上的数控代码传递并存入 CNC 装置内,如键盘、磁盘机等。输出装置的作用是将数控程序、代码或数据进行打印或显示。

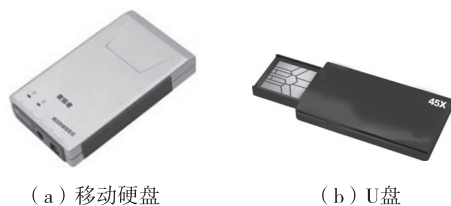


图 1-2 控制介质

除上述方法以外,还可以用 RS 232 串行通信接口的方式输入。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器,显示的信息较丰富,并能显示图形,操作人员可通过显示器获得必要的信息。

2. 计算机数控装置

计算机数控装置是数控机床的核心,主要包括微处理器(CPU)、存储器、局部总线、外围逻辑电路以及与 CNC 系统的其他组成部分联系的接口等。计算机数控装置的主要功能是接收输入装置送来的脉冲信号,经过逻辑电路或系统软件进行译码、运算和逻辑处理后,输出各种信息和指令给伺服系统,以控制机床各部分进行规定的动作。数控机床的 CNC 系统完全由软件处理数字信息,具有柔性化特征,可处理逻辑电路难以处理的复杂信息,能极大地提高数字控制系统的性能。

3. 伺服系统

伺服系统是计算机数控装置和机床本体的联系环节,它的主要功能是把来自数控装置的微弱脉冲指令信息,经过功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床的运动部件,完成指令规定的运动,加工出合格的零件。通常,伺服单元由进给驱动、主轴驱动和位置驱动三部分组成。根据接收指令的不同,伺服单元有脉冲式和模拟式之分,而模拟式伺服单元按电源种类不同又可分为直流伺服单元和交流伺服单元。在脉冲式伺服单元中,有一个重要指标被称为脉冲当量。脉冲当量通常指的是计算机数控装置向机床每发出一个脉冲信号可以使机床移动部件实现的位移量,它是数控系统中的最小设定单位,常用的脉冲当量为 0.001 mm/脉冲。

4. 驱动装置

驱动装置(如图 1-3 所示)是数控系统主要的执行元件之一,其主要功能是把经放大的指令信号变为机械运动,通过简单的机械连接部件驱动机床,使工作台精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运

动，加工出图纸所要求的零件。与伺服单元相对应，常用的位移执行机构有功率步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机(如图 1-4 所示)等。其中，步进电动机主要用于开环系统中，直流伺服电动机和交流伺服电动机主要用于闭环或半闭环系统中。



图 1-3 驱动装置



图 1-4 交流伺服电动机

伺服系统和驱动装置统称为伺服驱动系统，它是机床工作的动力装置，数控装置的指令要靠伺服驱动系统付诸实施，所以伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分。从某种意义上说，数控机床功能的优劣主要取决于数控装置，而数控机床的性能主要取决于伺服驱动系统。通常，对伺服驱动系统的要求有以下几方面：

- (1)工作精度高，主要指定位精度和综合精度高；
- (2)调速性能强，主要指在全负载条件下具有很宽的调速范围(0.1~15 m/min)；
- (3)负载功能强，主要指在足够宽的调速范围内，能带动工作负载，并且具有一定的负载刚度；
- (4)响应速度快；
- (5)稳定性高。

5. 测量反馈装置

测量反馈装置也称为“测量反馈元件”，通常安装在机床的工作台或丝杠上，其主要作用是将数控机床各坐标轴的位移指令检测值反馈到机床的数控装置中，供计算机数控装置比较测量值与指令值，产生误差信号。按有无检测装置和测量装置的安装位置，计算机数控系统可分为开环数控系统、闭环数控系统和半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精度，闭环数控系统的控制精度取决于检测装置的精度。因此，测量反馈装置是高性能数控机床的重要组成部分。此外，由测量装置和显示环节构成的数显装置可以在线显示机床移动部件的坐标值，极大地提高了机床的工作效率和工件的加工精度。

常用的检测元件有速度检测元件和位置检测元件。速度检测元件(实现速度闭环)主要包括采用与电动机轴同轴安装的测速发电机(输出电压与转速成正比)或光电编码器(通过检测所发脉冲的周期来完成数字化的速度检测)，位置检测元件(实现位移闭环)包括直接测量和间接测量两种。对机床工作台的位移采用直线型检测元件(如磁栅、直线光栅、光电编码器、激光测量仪等，如图 1-5 所示)，被称为直接测量，主要用于全闭环控制；机床工作台的位移是通过回转型检测元件测量伺服电机或滚珠丝杠的回转角间接得到的，被称为间接测量，主要用于半闭环控制。



(a) 直线光栅



(b) 光电编码器

图 1-5 常用检测元件

6. 机床本体

机床的本体主要包括主轴、进给机构等用于完成切削加工的主运动部件，工作台、刀架等进给运

动部件和床身、立柱等支撑部件，以及冷却、润滑、转位、夹紧、换刀机械手等辅助装置。在加工中，数控机床在遇到切削用量大、连续加工发热量大等因素时，对加工精度有一定影响，并且在加工中采用自动控制，不能像在普通机床上那样由人工进行调整、补偿，其设计要求比普通机床更严格，制造要求更精密，所以采用了许多如加强刚性、减小热变形、提高精度等方面的措施，其特点主要有以下几方面：

- (1) 刚度高、抗震性高和热变形小；
- (2) 简化机械传动结构，缩短传动链；
- (3) 采用高效率、无间隙、低摩擦的传动(滚珠丝杠副)。

7. 辅助装置

辅助装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换，以及其他辅助装置等指令信息，经过必要的编译、逻辑判断和运算，经功率放大后直接驱动相应的部件以完成指令规定的动作。常用的辅助装置有自动换刀装置、自动工作台交换装置、自动对刀装置、自动排屑装置和液压气动装置等。

任务二 数控机床的种类划分

任务目标

- (1) 了解数控机床的分类形式。
- (2) 掌握数控机床按控制运动的轨迹、伺服系统进行分类的形式。

任务描述

数控机床的种类、规格繁多，从不同的技术或经济指标出发，可以对数控机床进行不同的分类，一般可以按下面所述的五种原则进行分类。本任务介绍的数控机床的分类中，我们主要掌握按控制运动的轨迹、伺服系统的类型进行分类的形式。

一、按控制运动的轨迹划分

数控机床按控制运动轨迹划分可分为三种，即点位控制运动数控机床、直线控制运动数控机床和连续控制运动数控机床。

1. 点位控制运动数控机床

点位控制运动是指刀具相对工件的点定位，一般对刀具运动轨迹无特殊要求，即只控制从一点到另一点的精确定位，而不控制移动轨迹。

在移动和定位过程中不进行任何加工(如图 1-6 所示)。为了提高生产效率和保证定位精度，机床设定快速进给，临近终点时自动降速，从而减少运动部件因惯性而引起的定位误差。采用点位控制运动的机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控电焊机等。

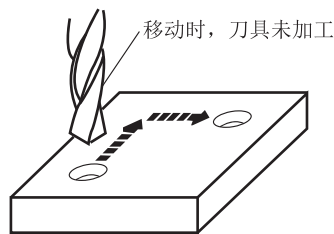


图 1-6 点位控制运动

2. 直线控制运动数控机床

直线控制运动是指刀具或工作台以给定的速度沿直线运动(如图 1-7 所示)。机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确定位,而且要控制工作台以给定的速度,沿平行坐标轴方向进行直线切削加工运动。采用直线控制运动的机床主要有简易数控车床、数控磨床和数控镗铣床等。

3. 连续控制运动数控机床

连续控制运动也称为“轮廓控制运动”,是指刀具或工作台按工件的轮廓轨迹运动。运动轨迹为任意方向的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线,即对两个或两个以上坐标轴同时进行控制(如图 1-8 所示)。连续控制运动不仅要控制机床移动部件的起点和终点,而且要控制加工过程中每一点的速度、方向和位移量,运动轨迹可以是任意的直线、圆弧、螺旋线等。采用连续控制运动的机床主要有数控车床、数控铣床、加工中心等。

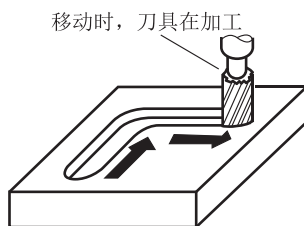


图 1-7 直线控制运动

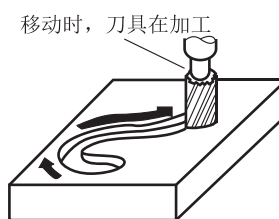


图 1-8 连续控制运动

二、按伺服系统的类型划分

按进给伺服系统控制方式不同,数控机床可分为开环控制系统数控机床、闭环控制系统数控机床。

1. 开环控制系统数控机床

开环控制系统数控机床所采用的开环伺服系统又称为“步进电动机驱动系统”。它的主要特征是该系统内没有位置检测反馈装置(如图 1-9 所示)。这类机床的控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电动机本身,控制精度不高,但结构简单,反应迅速,工作稳定、可靠,调试、维修方便。

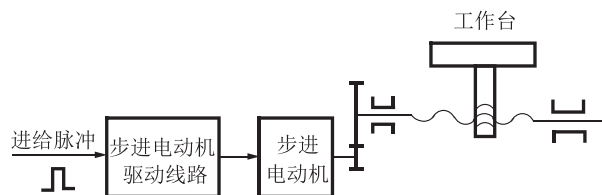


图 1-9 开环控制系统

2. 闭环控制系统数控机床

闭环控制系统数控机床所采用的伺服系统的特征是,该系统内设有以位置检测元件为主的检测反馈装置。闭环控制系统数控机床分为半闭环控制系统数控机床和全闭环控制系统数控机床。

(1)半闭环控制系统数控机床。它在机床的控制过程中形成部分位置自动控制环路,但不包括机械传动装置等部分在内,故称该控制环路为半闭环(如图 1-10 所示)。这种控制系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置,而是测量伺服电机的转角,经过计算间接测量工作台的位移,不能补偿数控机床传动链零件的误差。

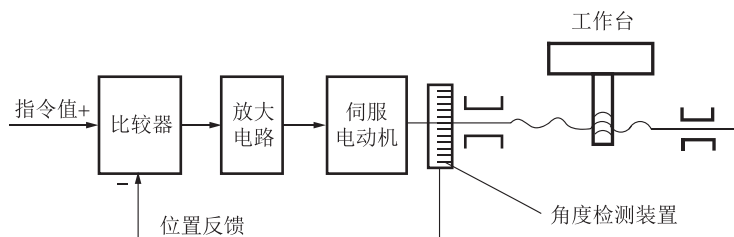


图 1-10 半闭环控制系统

(2)全闭环控制系统数控机床。这类机床的控制精度很高，所采用的全闭环伺服系统在机床的控制过程中，形成全部位置随动控制环路，自动检测并补偿所有的位移误差(如图 1-11 所示)。这种控制系统绝大多数采用伺服电动机，有位置测量元件和位置比较电路，但结构较复杂，价格较高。

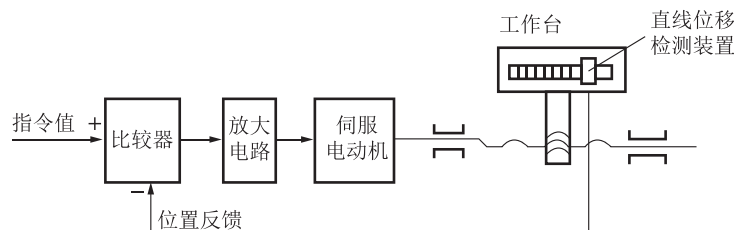


图 1-11 全闭环控制系统

三、按工艺用途划分

按数控机床加工零件的工艺不同，数控机床可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床和特种加工类数控机床等。

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床包括数控车床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控钻床、数控切断机床以及加工中心等。在金属切削机床中，除插床外，国内外都已开发了相应的数控机床，而且品种越来越多。

2. 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床包括数控板料折弯机、数控直角剪板机、数控冲床、数控弯管机和数控压力机等。这类机床虽起步较晚，但目前发展得很快。

3. 特种加工类数控机床

特种加工类数控机床包括数控线(电极)切割机床、数控电火花线成形机床、数控电火花线切割机床、带有自动换电极的电加工中心、数控激光切割机床、数控激光板材成形机床、数控等离子切割机床和数控火焰切割机等。

四、按控制轴数和联动轴数划分

1. 按控制轴数划分

按照控制轴数不同，数控机床可分为两轴数控机床、三轴数控机床以及多轴数控机床等。控制轴数有时也称为“坐标数”，即相应的两坐标数控机床、三坐标数控机床以及多坐标数控机床。数控机床的联动轴数是指机床数控装置的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。

(1)两轴数控机床。两轴数控机床是指能够同时控制两个坐标轴运动来加工曲线轮廓零件的机床。

例如，单刀架数控车床，车床上只有一个回转刀架，可以同时控制 X 和 Z 坐标轴的运动。

(2)三轴数控机床。三轴数控机床是指能够同时控制 3 个坐标轴运动来加工曲线轮廓零件的机床，如两轴半加工中心等。

(3)多轴数控机床。多轴数控机床是指联动坐标轴以及可控坐标轴均为三轴或三轴以上的数控机床，如五轴加工中心等。

控制轴数与工件成形有关的运动数相联系，如某数控铣床有工作台沿 X 轴、 Y 轴方向的直线运动和主轴箱沿 Z 轴方向的运动，机床上的运动数越多，控制轴数就越多，功能就越强，机床的复杂程度和技术含量也就越高。实现了对机床运动的控制并不意味着就可以加工任何零件了，而是要达到对机床的多个运动同时、协调地进行控制，即同时控制多个轴，才能达到加工要求。这就是所谓的联动轴数越多，机床控制和编程难度就越大，控制轴数和联动轴数是表达机床加工能力的重要参数。

2. 按联动轴数划分

按照联动轴数不同，数控机床可分为两轴联动、两轴半联动、三轴联动及多轴联动等多种类型。两轴半联动是指三个主要控制轴(X 、 Y 、 Z 坐标轴)中，任意两个轴联动，另一个是点位或直线控制。一般数控机床的联动轴数少于控制轴数。

五、按数控机床的功能水平划分

按照数控机床的功能水平分类，数控机床可以分为低、中、高档三类。该种分类方法虽没有一个确切的定义，但可以给人们一个清晰的概念。

1. 低档数控机床

低档型数控机床又称为“经济型数控机床”或“简易型数控机床”。经济型数控机床一般是指用单片机进行控制，机械部分是在普通机床的基础上进行改进设计的机床。它结构简单，成本较低，自动化程度较低，功能较少，仅能满足一般精度要求和形状较简单的工件加工要求。经济型数控机床是根据实际使用要求，合理地简化系统功能、降低成本的产物。

2. 中档数控机床

区别于经济型数控机床，通常把功能较齐全、价格较适中的数控机床称为中档型数控机床，也称为“普及型数控机床”“全能型数控机床”或“标准型数控机床”。

3. 高档数控机床

高档数控机床是指能加工复杂形状工件的多轴控制或工序集中、自动化程度高、高度柔性化的数控机床。例如，车削加工中心在普通数控车床的基础上，增加了 C 轴和动力刀具系统。



知识拓展

数控机床的其他分类形式

1. 按主轴的配置形式分类

(1)卧式数控机床。卧式数控机床是指主轴轴线处于水平位置的机床。例如，卧式数控车床(如图 1-12 所示)又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床。数控倾斜导轨结构的车床具有较大刚性，且易于排除切屑。

(2)立式数控机床。立式数控机床是指主轴轴线垂直于水平面的机床。例如，立式数控车床(如图 1-13 所示)有一个直径较大的圆形工作台，主要用来加工径向尺寸较大、轴向尺寸较小的大型复杂零件。



图 1-12 卧式数控车床



图 1-13 立式数控车床

2. 按刀架数量、形式分类

(1)单刀架数控机床(如图 1-14 所示)。普通数控机床一般都配置有各种形式的单刀架,如数控车床四工位卧式自动转位刀架或多工位转塔式自动转位刀架等。

(2)双刀架数控机床(如图 1-15 所示)。双刀架数控机床的刀架配置既可以是平行分布的,也可以是相互垂直分布的。加工中心设有专门的刀库。

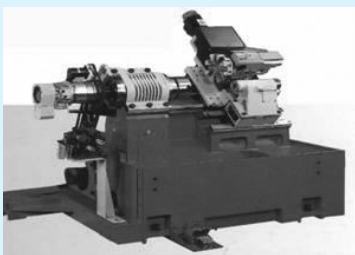


图 1-14 单刀架数控机床



图 1-15 双刀架数控机床

任务三 数控机床加工的特点及应用

任务目标

- (1)掌握数控机床的加工特点。
- (2)了解数控机床的应用。

任务描述

由于运用数控加工的优点很多,使得数控机床的应用更加广泛。本任务通过分析数控机床的加工特点,介绍如何根据工件合理地选择数控机床。

一、数控机床的加工特点

数控机床与通用机床加工相比,数控机床的自动化程度较高、成本较低、功能较强,具备下面六个特点。

1. 自动化程度高，能减轻操作者的劳动强度

在数控机床上加工工件时，除了人工装卸工件外，全部加工过程都由机床自动完成。在柔性制造系统中，上下料、检测、诊断、对刀、传输等也都由机床自动完成，这样减轻了操作者的劳动强度，改善了劳动条件。

2. 柔性加工程度高，适应性强

在数控机床上加工工件的精度主要取决于加工程序。它与普通机床不同，不必制造、更换工具、夹具等，一般不需要很复杂的工艺装备，也不需要经常调整机床，可以通过编程加工形状复杂和精度要求较高的工件。因此，数控机床能极大地缩短产品研制周期，给产品的改型、改进和新产品研制开发提供了便利。当改变加工对象时，除了要解决毛坯的装夹方式和更换刀具之外，数控机床只需更换零件加工的程序，不需要进行其他任何复杂的调整，且可采用具有成组技术的成套夹具，因此缩短了生产准备周期，有利于机械产品的迅速更新换代。

3. 加工精度高、质量稳定

数控机床本身具有很高的定位精度，机床的传动系统与机床的结构具有很高的刚度和热稳定性。在设计传动系统时，由于采取了减少误差的措施，并由数控机床进行补偿，所以数控机床具有较高的加工精度。通常，数控加工的尺寸精度控制在 $0.005 \sim 0.01 \text{ mm}$ ，目前最高的尺寸精度可达 $\pm 0.0015 \text{ mm}$ 。在一般情况下，数控加工不受零件复杂程度的影响，加工中消除了操作者的人为误差，提高了同批零件尺寸的一致性，使产品质量保持稳定。

4. 生产效率高

由于数控机床自动化程度高，在一次装夹中能完成多表面的加工，因此省去了多次划线、装夹、检测等工序。另外，数控机床有较高的运动速度，如数控车床的主轴转速为 $5\,000 \sim 7\,000 \text{ r/min}$ ，数控磨床的砂轮线速度为 $100 \sim 200 \text{ m/s}$ ，加工中心的主轴转速为 $20\,000 \sim 50\,000 \text{ r/min}$ ，提高了生产效率。

5. 有利于生产管理的现代化

利用数控机床加工零件，可预先准确计算加工工时，所使用的工具、夹具、刀具也可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信息，能与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统和通信传输系统相连接，形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。

6. 良好的经济效益

改变数控机床加工对象时，只需重新编写加工程序，不需要制造、更换工具、夹具和模具，更不需要更新机床，既节省了工艺装备费用，又因为加工精度高、质量稳定、废品率低，使生产成本下降、效率提高，所以能够获得良好的经济效益。

当然，数控加工也有不足之处，如数控机床价格昂贵、加工成本高、技术复杂、对工艺和编程要求较高、加工中难以调整、维修困难等。为了提高数控机床的利用率，取得良好的经济效益，需要切实解决好加工工艺、刀具的供应、编程以及操作人员的培训等问题。

二、加工零件

数控机床是一种高度自动化的机床，有一般机床所不具备的优点，所以数控机床加工技术的应用范围在不断扩大。但数控机床是高度机电一体化产品，技术含量高，成本高，因此对使用与维修都有较高的要求。根据数控加工的优、缺点，以及国内外大量应用实践，一般按适应程度将加工零件分为以下三类。

1. 最适合数控加工的零件类型

- (1) 形状复杂，加工精度要求高，用通用机床很难加工或虽然能加工但难以保证加工质量的零件。
- (2) 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

- (3)难测量、难控制进给、难控制尺寸的不敞开内腔的壳体或盒形零件。
- (4)必须在一次装夹中完成铣、镗、铰、铰或攻螺纹等多种工序的零件。

2. 较适合数控加工的零件类型

(1)在通用机床上加工时极易受人因素干扰，零件价值又高，一旦失控就会造成重大经济损失的零件。

- (2)只有制造复杂的专用工装才能在通用机床上加工的零件。
- (3)需要多次更改设计后才能定型的零件。
- (4)在通用机床上加工需要很长时间调整的零件。
- (5)在通用机床上加工时，生产效率很低或劳动强度很大的零件。

3. 不适合数控加工的零件类型

- (1)生产批量大的零件(不排除其中个别工序用数控机床加工)。
- (2)装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。
- (3)加工余量不稳定，且在数控机床上无检测系统用于自动调整零件坐标位置的零件。
- (4)必须用特定的工艺装备协调加工零件。

综上所述，对于多品种、小批量零件，结构较复杂、精度要求较高的零件，需要频繁改型的零件，价格昂贵、不允许报废的关键零件和需要最小生产周期的急需零件一般应采用数控加工。

三、数控技术的应用

随着微电子技术、计算机技术的不断发展，当今机床行业的计算机数控化已成为技术进步的大趋势。数控机床是电子信息技术和传统机械加工技术结合的产物，它集现代精密机械、计算机、通信、液压气动、光电等多学科技术于一体，具有高效率、高精度、高自动化和高柔性的特点，是当代机械制造业发展的主流。数控机床提高了机械加工的性能，可以精确加工传统机床无法处理的复杂零件，有效地提高了加工质量和效率，实现了柔性自动化(相对于传统技术基础上的大批量生产的刚性自动化而言)，并向智能化、集成化方向发展。

数控机床在机械制造业中得到广泛的应用，它有效地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，能满足高质量、高效益和多品种、小批量的柔性生产方式的要求，适应各种机械产品迅速更新换代的需要，经济效益显著。数控技术代表着当今机械加工的趋势与潮流，也是现代机械制造企业在市场竞争激烈的条件下生存与发展的必备条件。随着社会生产和科学技术的进步，数控技术不仅应用于多种类型机床，如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床及数控加工中心等；还用于其他设备，如数控线切割机、数控绘图机、数控测量机、数控冲剪机等。

任务四 数控机床的发展趋势

任务目标

- (1)掌握数控系统的产生与发展。
- (2)了解数控机床的发展趋势。

任务描述

机械工业的发展，推动了数控机床的发展。本任务主要介绍数控机床的产生与发展，以及数控机床未来的发展趋势。

一、数控机床的产生

采用数字控制技术进行机械加工的想法，最早在 20 世纪 40 年代被提出。当时，美国的一家小型飞机工业承包商 PARSONS 公司在制造飞机框架及直升机叶片轮廓用样板时，利用全数字电子计算机对轮廓路径进行数据处理，并考虑了刀具直径对加工的影响，使得加工精度大幅提高。

1952 年，美国 PARSONS 公司与麻省理工学院(MIT)成功研制出世界上第一台试验性的三坐标数控立式铣床，它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测以及新型机械结构等多方面的技术成果，是一种新型的机床，可用于加工复杂曲面零件。该铣床的研制成功是机械制造业中的一次革命，使机械制造业的发展进入了一个新的阶段。当时使用的电子元器件是电子管，这是第一代数控机床。

1959 年，电子行业出现了晶体管元器件，数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板，从而跨入第二代。1959 年 3 月出现了带自动换刀装置的加工中心。从 1960 年开始，其他工业国家也陆续开发、生产及使用数控机床。

1965 年，小规模集成电路得到了应用，由于它的体积小、功耗低，使数控系统的可靠性得到进一步提高，数控系统发展到第三代。

以上三代数控系统主要是由电路的硬件和连线组成的，称为硬件数控系统。它的特点是具有很多硬件和连接点，电路复杂，可靠性不好。

1967 年，英国莫林斯公司首先将几台数控机床连接成柔性的加工系统，这就是最初的柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)，之后美国、日本也相继进行开发和应用 FMS，使数控系统进入了以小型计算机化为特征的第四代。

随着计算机技术的发展，小型计算机的价格急剧下降，小型计算机开始取代专用数控计算机，数控的许多功能由软件程序来实现，这样组成的数控系统称为计算机数控系统(computer number control, CNC)。1970 年，在美国芝加哥国际机床展览会上，首次展出了这套系统，被称为第四代数控系统。1970 年前后，美国的 Intel 公司开发和使用微处理器。1974 年，美国、日本等国家首次研制出以微处理器为核心的数控系统，标志着数控系统进入了第五代。以微处理器为核心的数控系统实现了飞速的发展并在数控机床上得到广泛的应用，这就是第五代数控系统(made number control, MNC)。后来，人们将 MNC 也称为“CNC”。

第四、五代的数控系统主要是由计算机硬件和软件组成，称为计算机监控系统。它最突出的特点是利用存储器里的软件控制系统工作，因此也称为“软件数控系统”。这种系统易于扩展功能，柔性好，可靠性高。

20 世纪 80 年代初，美国、日本等工业化国家又出现了柔性制造单元(flexible manufacturing cell, FMC)。FMC 和 FMS 被认为是实现计算机集成制造系统(computer intergrated manufacturing system, CIMS)的必经阶段和基础。

二、数控机床的发展趋势

数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度、多功能、结构新型化、编程技术自动化。

1. 工序集中

加工中心使工序集中在一台机床上完成,减少了由于工序分散、工件多次装夹引起的定位误差,提高了加工精度,减少了工序间的辅助时间,同时也减少了机床的数量和占地面积,有效地提高了数控机床的生产效率和数控加工的经济效益。

2. 高速

由于数控装置及伺服系统功能的改进,数控机床的主轴转速和进给速度大大提高,减少了切削时间。加工中心的主轴转速为 20 000~50 000 r/min,最高转速在 100 000 r/min 以上,数控磨床的砂轮线速度为 100~200 m/s。正在开发的数控机床采用 64 位 CPU 的新型数控系统,可实现快速进给、高速加工、多轴控制功能,控制轴数最多可达到 24 个,同时联动轴数为 3~6 个,进给速度为 20~24 m/min,最快可达 60 m/min。

3. 高效

数控机床的自动换刀和自动交换工作台的时间大大缩短。数控车床刀架的转位时间为 0.4~0.6 s,加工中心自动换刀时间为 3 s,最快在 1 s 以内;自动交换工作台的时间为 6~10 s,个别为 2.5 s,提高了机床的加工效率。

4. 高精度

用户对产品精度要求的不断提高,促使数控机床的控制精度不断提高。工件的加工精度主要取决于机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。目前,数控机床配置了新型、高速、多功能的数控系统,其分辨率可达到 0.1 μm ,有的可达到 0.01 μm ,实现了高精度加工。伺服系统采用前馈控制技术高分辨率的位置检测元件、计算机数控的补偿功能等,有效地保证了数控机床加工的精度。

5. 多功能

CNC 装置功能的不断扩大,促进了数控机床的高度自动化及多功能化的发展。数控机床的数控系统大多采用 CRT 显示器,可显示二维图形的轨迹,有的还可以显示三维彩色动态图形。有的数控机床具有自适应控制系统,能在加工时改变机床的切削用量,以适应任一瞬间实际发生的加工情况,实现无人化管理。

6. 结构新型化

一种完全不同于原来数控机床结构的新兴数控机床,近几年被成功研发,这种被称为“6 条腿的加工中心”或虚轴机床的数控机床,没有任何导轨和滑台,采用能够伸缩的“6 条腿”支撑并联,与安装主轴头的上平台和安装工件的下平台相连。它可以实现多坐标联动加工,其控制系统复杂,加工精度和效率较普通加工中心提高了 2~10 倍。

7. 编程技术自动化

随着数控加工技术的迅速发展、设备类型的增多、零件品种的增加以及形状的日益复杂,迫切需要速度快、精度高的编程,以便于直观检查。为弥补手工编程和数控语言编程的不足,近几年开发出了多种自动编程系统,如图形交互式编程系统、数字化自动编程系统、语言数控编程系统等。其中,图形交互式编程系统应用得越来越广泛。图形交互式编程系统是一种计算机辅助编程技术,以计算机辅助设计(CAD)软件为基础,其特点是速度快、精度高、直观性好、使用简便,已成为国内外先进的 CAD/CAM 软件所采用的编程方法。目前,常用的图形交互式自动编程软件有 UG、Pro/E、Master CAM 等。

综合实训一

数控机床的安全操作规程

1. 实训目的

学习数控机床的安全操作规程，树立安全意识，做到安全文明生产。

2. 实训要求

熟记安全操作规程。

3. 实训内容

数控机床操作人员应努力掌握数控机床的性能，精心操作，按要求维护数控机床。养成文明生产的良好工作习惯和严谨的工作作风，做到安全第一，严格遵守数控机床的安全操作规程。

(1)数控机床的编程、操作、维修人员必须经过专门的技术培训，熟悉所用数控机床的使用环境、条件和工作参数等，严格按照机床和数控系统的使用说明书要求，正确、合理地操作。

(2)数控机床的开机与关机顺序，一定要按照说明书的规定操作。

(3)主轴启动开始切削之前，一定要关好防护罩门，程序正常运行中严禁开启防护罩门。

(4)主轴启动开始切削之后，一定要密切关注加工过程，严禁擅自离岗。

(5)数控机床在正常运行中不允许打开电气柜门。

(6)在每次接通电源后，必须先完成各轴的返回参考点操作，再开始其他运行，以确保各轴坐标的正确性。

(7)在手动对刀时，应注意选择合适的进给速度，一般将进给速度按钮调整到较低的挡位(建议10%以下)。在手动换刀时，刀架与工件间要有足够的转位距离，严禁刀具与工件或刀具与工作台发生碰撞。

(8)加工程序必须经过严格校验方可进行操作。

(9)在加工过程中，如出现异常情况，可按下急停按钮以确保设备的安全。例如，出现危急情况，应立即切断电源以确保人身安全。

(10)在发生事故后，操作人员要注意保留现场，并如实汇报事故发生前、后的情况，以利于查找事故原因。

(11)数控机床的使用一定要有专人负责，严禁其他人员随意动用数控设备。

(12)不得随意更改数控系统内部由制造厂设定的参数，对原始参数要做好备份。

(13)操作人员要认真填写数控机床的工作日志，做好交接工作，消除事故隐患。

(14)操作人员要经常为机床导轨加润滑剂，防止导轨生锈，并做好机床的清洁保养工作。

(15)操作人员在离开数控设备之前，必须按说明书的要求关机并切断电源。



项目 小结

数控机床是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。只有充分掌握数控机床的种类、组成及加工特点，了解数控机床的发展趋势，才能较好地使用数控机床。本项目主要介绍数控机床的概念、种类及组成、加工特点、应用以及发展趋势等基本知识。

**思考 练习**

- 1-1 简述数控机床的概念及结构。
- 1-2 数控装置的主要功能是什么？
- 1-3 伺服单元主要由哪三部分组成？各自功能有哪些？
- 1-4 数控机床按伺服系统分为哪几类？哪类数控机床控制的产品质量高？为什么？
- 1-5 开环、闭环、半闭环控制系统数控机床各有什么特点？
- 1-6 数控机床按控制运动轨迹分为哪几类？各有什么特点？
- 1-7 数控机床加工的特点有哪些？
- 1-8 数控机床总的发展趋势是什么？

02

项目二 数控加工的工艺设计

- 任务一 数控加工的工艺特点与内容
- 任务二 数控加工的工艺分析方法
- 任务三 数控加工的工艺路线设计
- 任务四 数控加工的工序设计
- 任务五 数控加工的工艺文件

在使用数控机床加工零件前，要解决数控加工工艺设计的问题。首先对所加工的工件进行工艺分析，然后拟订加工方案，再选择合适的刀具和夹具确定切削用量。在编程过程中，还需进行工艺设计方面的工作，如确定对刀点等。因此，数控加工中的工艺设计是一项十分重要的工作。

任务一 数控加工的工艺特点与内容

任务目标

- (1)了解数控加工的工艺特点。
- (2)掌握数控加工工艺的内容。

任务描述

数控加工工艺是以数控机床中的加工工艺问题为研究对象的一门加工技术。它以机械制造中的工艺基本理论为基础，结合数控机床的特点，综合多方面的知识以解决数控加工中的工艺问题。本任务重点介绍数控加工的工艺特点，通过分析概括出数控加工工艺的内容。

一、数控加工的工艺特点

合理确定数控加工工艺对实现优质、高效和经济的数控加工具有极为重要的意义。数控加工工艺与普通加工工艺处理问题的方法基本相同。在设计零件的数控加工工艺时，首先要遵循普通加工工艺的基本原则和方法，然后还要考虑数控加工本身的特点和零件的编程要求。

数控加工具有加工自动化程度高、精度高、质量稳定、生产效率高、设备使用费用高等特点，使其工艺相应形成了以下五个特点。

- (1)数控加工工艺内容要求具体而详细。

在用通用机床加工时，许多具体的工艺问题(如工艺中各工序的划分与安排、刀具的几何形状及尺寸、进给路线、加工余量、切削用量等)在很大程度上都是由操作工人根据自己的实践经验和习惯考虑和决定的，一般无须工艺人员在设计工艺规程时进行规定，零件的尺寸精度也可通过试切保证。而在数控加工时，原本由操作工人灵活掌握并可通过适时地调整来处理的工艺问题，不仅成为数控加工工艺设计时必须认真考虑的内容，而且编程人员必须事先设计和安排好，并做出正确的选择，编入加工程序中。数控加工工艺不仅包括切削加工步骤，而且还包括夹具型号、规格、切削用量和其他特殊要求的内容，以及标有数控加工坐标位置的工序图等，在自动编程中更需要确定各种详细的工艺参数。

- (2)数控加工工艺要求严密而精确。

数控机床虽然自动化程度高，但自适应性差，它不能像普通机床那样，加工时可以根据加工过程中出现的问题比较自由地进行人为调整。例如，在攻螺纹时，数控机床不知道孔中是否已挤满切屑，

是否需要先退刀清理切屑再继续进行, 这些情况必须由加工人员事先考虑到, 否则可能会导致丝锥折断或工件报废。在普通机床上加工零件时, 通常是经过多次试切来满足零件的精度要求, 而数控加工过程是严格按程序规定的尺寸进给的, 因此在对零件图进行数学处理、计算和编程时一定要准确无误。

(3) 制定数控加工工艺要进行零件图的数学处理和编程尺寸设定值的计算。

编程尺寸并不是零件图上设计的基本尺寸的简单再现, 而是要根据零件尺寸公差要求和零件的形状几何关系重新调整计算, 才能确定合理的编程尺寸。

(4) 数控加工程序的编写是数控加工工艺的一项特殊内容。

普通加工工艺中划分工序、选择设备等重要内容, 对数控加工工艺来说是基本确定的, 所以制定数控加工工艺的重点是数控加工过程的分析, 特别是确定进给路线及生成刀具运动轨迹。对于复杂表面的加工, 刀具运动轨迹生成需借助自动编程软件, 这既是编程问题, 也是数控加工工艺问题——而这一点, 正是数控加工工艺与普通加工工艺最大的不同之处。

(5) 与普通加工工艺相比, 数控加工工艺还有如下特殊要求。

① 由于数控机床较普通机床的刚度高, 所配的刀具具有强度高、刚性好、精度高等特点, 因此在同等情况下, 所采用的切削用量通常比普通机床大, 加工效率也较高, 在选择切削用量时要充分考虑这个优点。

② 由于数控机床的功能复合化程度越来越高, 因此工序相对集中, 明显表现为工序少、内容多, 而且数控加工的工序内容要比普通机床加工的复杂。

③ 由于数控机床加工的零件比较复杂, 因此在确定装夹方式和夹具设计时, 要特别注意刀具与夹具、工件的干涉问题。

二、数控加工的工艺内容

1. 数控加工工艺的概念

数控加工工艺是指使用数控机床加工零件的工艺方法。数控加工工艺是以数控机床中的工艺问题为研究对象的一门加工技术。它以机械制造中的工艺基本理论为基础, 结合数控机床的特点, 综合多方面的知识以解决数控加工中的工艺问题。

2. 数控加工工艺的内容

数控加工前对工件进行工艺设计是必不可少的准备工作, 无论是手工编程还是自动编程, 在编程前都要对所加工的工件进行工艺分析、拟定工艺路线、设计加工工序。因此, 合理的工艺设计方案是编程的依据, 工艺设计不合理是数控加工出现差错的主要原因之一, 通常会造成工作反复, 工作量成倍增加。编程人员必须首先做出合理的工艺设计, 再考虑编程。根据实际应用需要, 数控加工工艺主要包括以下几点内容:

- (1) 根据数控加工的适应性, 选择并确定零件的数控加工内容;
- (2) 对零件进行数控加工工艺性分析;
- (3) 设计并拟订数控加工工艺路线;
- (4) 设计数控加工工序;
- (5) 编程并控制误差;
- (6) 编写数控加工专用技术文件。

在加工程序编制中进行工艺分析和设计时, 编程设计人员应根据机床的操作说明和编程指南、切

削用量与标准工具手册及其他有关技术参考资料,结合具体零件进行分析,设计出符合要求的数控加工工艺。



知识拓展

数控加工内容与数控机床的选择

1. 选择数控加工的内容

数控机床虽有一系列的优点,但其价格昂贵,加上消耗大、维护费用高,因此会导致加工成本增加。从技术和经济角度出发,对于某个零件来说,并非其全部加工工艺过程都适合在数控机床上进行,往往只选择其中一部分加工工艺过程进行数控加工。因此,必须对零件图样进行详细的工艺分析,选择那些适合且需要进行数控加工的工序进行数控加工,以充分发挥数控加工的优势。一般可按下列原则进行考虑:

(1)普通机床无法加工的内容应优先选择;

(2)普通机床难加工、质量也难以保证的内容应重点选择;

(3)普通机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚有加工能力的基础上进行选择。

相比之下,下列加工内容则不宜选择数控加工:

(1)需要用较长时间停机调整的加工内容;

(2)加工余量极不稳定,且数控机床上又无法自动调整零件坐标位置的加工内容;

(3)不能在一次安装中加工完成的零星分散部位;

(4)由某些特定的样板、样件、模块等为依据加工的型面轮廓(数据采集困难而增加了编程的难度)。

此外,在选择数控加工内容时,还要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等因素。总之,要尽量合理地使用数控机床,达到产品质量、生产效率及综合经济效益等指标都明显提高的目的。

2. 选择数控机床

(1)不同类型的零件应在不同的数控机床上加工。例如,旋转体类零件通常采用数控车床或数控磨床进行加工,孔系零件、平面或曲面轮廓零件通常采用数控铣床或加工中心进行加工。

(2)对于一些模具型腔类零件,其表面复杂且不规则,表面质量及尺寸精度要求较高,当零件材料硬度不高时(如塑料模和橡胶模),通常采用数控铣床进行加工;当零件材料硬度很高时(如锻模),可在淬火前进行粗铣,留一定余量在淬火后用电火花成形机加工。随着数控机床技术的发展与高速铣削技术的推广,高硬度模具的加工已经逐步由高速铣削加工来实现,即在淬火前进行粗铣,淬火后进行高速精铣,不仅能提高模具加工精度、提高生产效率、降低生产周期,而且对模具工作寿命也有大幅的延长。

(3)板材零件可根据零件形状,考虑采用数控剪板机、数控板料折弯机或数控冲压机进行加工。采用数控冲压技术,能使加工过程按程序自动进行,采用小模具冲压形状复杂的大工件,能一次装夹集中完成多工序加工。利用软件排样,既有利于保证加工精度,又可提高材料的利用率。

(4)对于一些冲模或拉伸拉延模零件,其特点为轮廓贯通,可选择数控电火花线切割机进行加工。

任务二 数控加工的工艺分析方法

任务目标

- (1) 熟悉数控加工的工艺分析方法。
- (2) 掌握数控加工定位基准的选择。

任务描述

数控加工工艺分析主要从零件图样、毛坯选择、基准选择三个方面进行。本任务主要通过这三个方面介绍工艺分析的方法。

一、零件图的工艺性分析

零件图样的工艺性分析主要从零件图样和零件结构两个方面进行考虑。首先应熟悉零件在产品中的作用、位置、装配关系和工作条件，以及各项技术要求对零件装配质量和性能的影响，找出主要的、关键的技术要求；然后对零件图样进行分析。

1. 零件图上的尺寸标注方法及技术要求

(1) 零件图上的尺寸标注方法应适应数控加工的特点。

零件图设计人员在标注尺寸时，一般较多地从零件的作用及装配关系方面考虑，零件图上往往会出现局部分散的尺寸标注形式，如图 2-1(a) 所示，这会给数控编程加工带来许多不便。在数控加工的零件图上，通常将局部分散的标注尺寸换算成同一基准的标注尺寸或直接给出坐标尺寸，如图 2-1(b) 所示。它适应了数控加工的特点，既便于编程，也便于尺寸之间的相互协调，在保持设计、工艺、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来了很大的方便。

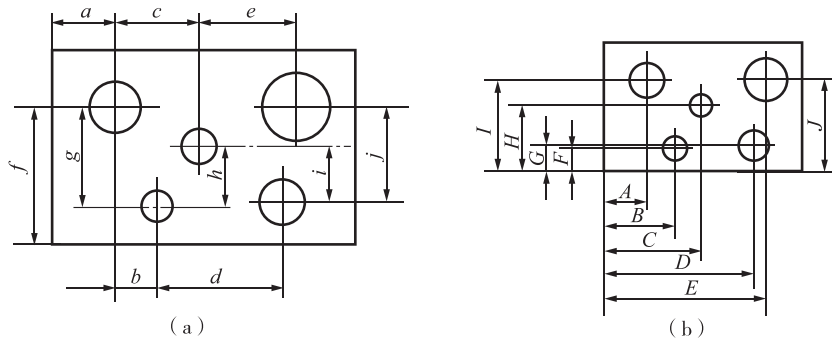


图 2-1 零件图上尺寸标注分析

因此，在设计数控加工工艺时，零件图上的工件尺寸标注必须为集中引注或坐标式标注。事实上，因为数控加工精度及重复定位精度都很高，所以不会过多产生由于尺寸标注而引起的累积误差。

(2)构成零件轮廓几何元素的条件应充分而不矛盾。

在手工编程时,要计算基点坐标;在自动编程时,要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义,因此在分析零件图时应注意以下几点:

- ①零件图上因漏掉某尺寸,使其几何条件不充分,影响到零件轮廓的构成;
- ②零件图上的图线位置因模糊或尺寸标注不清,使编程无法实施;
- ③零件图上给定的几何条件是否不合理,造成数学处理困难。

(3)零件的技术要求分析。

①尺寸精度。分析零件图尺寸精度,以判断能否利用切削工艺达到此要求,并确定控制尺寸精度的工艺方法。

②形状和位置精度。零件图上给定的形状和位置公差是保证零件精度的重要依据。在加工时,要按照其要求确定零件的定位基准和测量基准,还可以根据数控机床的特点进行一些技术性处理,以便保证零件的形状和位置精度。

③表面粗糙度要求。表面粗糙度既是保证零件表面微观精度的指标,也是合理选择数控机床、刀具及确定切削用量的依据。

④材料与热处理要求。零件图上给定的材料与热处理要求,是选择刀具、数控机床型号及确定切削用量的依据。

⑤其他要求,如动平衡、未注圆角或倒角、去毛刺、毛坯要求等。

2. 零件结构的工艺性分析

零件结构的工艺性是指零件的结构在满足使用要求的前提下,是否能以较高的生产效率和最低的成本顺利地制造出来。这个问题比较复杂,它涉及毛坯制造、机械加工、热处理等方面的要求。有关零件的结构工艺性的问题可参考其他有关资料,本书将不做深入介绍。

二、毛坯选择分析

正确地选择毛坯,对零件的加工质量、材料消耗和加工工时都有很大的影响。显然,毛坯的尺寸和形状越接近成品零件,机械加工的劳动量就越少,但是毛坯的制造成本会提高,所以应根据生产纲领,综合考虑毛坯制造和机械加工的费用,以求得最好的经济效益。

1. 常用毛坯的种类

(1)铸件。形状较复杂的毛坯宜采用铸造的方法制造。铸件毛坯的制造方法有砂型铸造、精密铸造、金属型铸造、压力铸造等,较常用的是砂型铸造。当毛坯精度要求低、生产批量较小时,采用木模手工造型法;当毛坯精度要求高、生产批量很大时,采用机器造型法。

(2)锻件。锻件毛坯适用于强度要求高、形状比较简单的零件,其锻造方法有自由锻和模锻两种。自由锻毛坯精度低、加工余量大、生产率低,适用于单件小批量生产以及大型零件生产;模锻毛坯精度高、加工余量小、生产率高,但成本高,适用于中小型零件的大批量生产。

(3)型材。型材有热轧和冷拉两种类型。热轧型材适用于尺寸较大、精度较低的毛坯;冷拉型材适用于尺寸较小、精度较高的毛坯。

(4)焊接件。焊接件毛坯通过将型材或钢板等按需要焊接而成。它制作简单方便、生产周期短,但需经时效处理后才能进行机械加工。

(5)冷冲压件。冷冲压件毛坯可以非常接近成品要求,在小型机械、仪表、轻工电子产品等方面应用广泛,但因冲压模具昂贵而仅用于大批量生产。

2. 毛坯的选择原则

在选择毛坯种类及制造方法时，应考虑下列因素。

(1)零件材料的工艺特性和力学性能。零件材料的工艺特性和力学性能大致决定了毛坯的种类。例如，铸铁零件一般选用铸造毛坯；形状较简单、力学性能要求不高的钢质零件常用棒料；对于重要的钢质零件，为获得良好的力学性能，应选用锻件；当形状复杂、力学性能要求不高时用铸钢件；有色金属零件常用型材或铸件。

(2)零件的结构形状与外形尺寸。大型且结构较简单的零件毛坯多用砂型铸造或自由锻；结构复杂的毛坯多用铸件；小型零件毛坯可用模锻或压力铸造；板状钢质零件毛坯多用锻件；对于轴类零件毛坯，若各台阶直径相差不大，可用棒料，若各台阶尺寸相差较大，则宜选择锻件。

(3)生产纲领。在大批量生产中，应采用精度和生产效率都较高的毛坯制造方法。铸件采用机器造型和精密铸造制造毛坯，锻件采用模锻或精密锻造制造毛坯。在单件小批生产中用木模手工造型或自由锻造来制造毛坯。

(4)现有生产条件。在确定毛坯时，必须结合具体的生产条件，如毛坯制造的实际水平和能力、外协的可能性等。

(5)充分利用新工艺、新材料。为节约材料和能源，提高机械加工生产效率，应充分考虑精密铸造、精锻、冷轧、冷挤压、粉末冶金、异形钢材及工程塑料等在机械生产中的应用，这样可大大减少机械加工量，甚至不需要进行加工，经济效益非常显著。

提醒

在选择毛坯种类及制造方法时，应根据零件的材料、结构形状与外形尺寸、批量、生产条件等，在允许的情况下，充分利用新工艺、新材料。

三、定位基准的选择与分析

定位基准有粗基准与精基准之分。在加工的起始工序中，只能用毛坯上未经加工的表面作为定位基准，该表面称为粗基准；利用已经加工过的表面作为定位基准，该表面称为精基准。选择定位基准时，应考虑保证工件加工精度的要求。

1. 粗基准选择原则

在选择粗基准时，应保证各加工面有足够的余量，使加工面与不加工面间的位置符合零件图要求，并特别注意要尽快获得精基准。具体选择时应遵循以下几个原则。

(1)选择重要表面为粗基准。为保证工件上重要表面的加工余量小而均匀，应选择该表面为粗基准。重要表面一般是指工件上加工精度以及表面质量要求较高的表面。

(2)选择不加工表面为粗基准。为了保证加工面与不加工面间的位置要求，一般应选择选择不加工面为粗基准。如果工件上有多个不加工面，则应选择其中与加工面位置要求较高的不加工面为粗基准，以便保证精度要求。

(3)选择加工余量最小的表面为粗基准。在无须保证重要表面加工余量均匀的情况下，如果零件上每个表面都要加工，则应选择其中加工余量最小的表面为粗基准，以避免该表面在加工时因余量不足而留下部分毛坯面，造成废品出现。

如图 2-2 所示的阶台轴锻件毛坯，其大头单边加工余量有 4 mm，小头单边加工余量只有 2.5 mm，且大、小头偏心 3 mm，此时应选择 $\phi 55$ mm 的外圆表面作为粗基准；否则，小头外圆可能因加工余量过小而产生废品。

(4)选择相对平整光洁、加工面积较大的表面为粗基准。选择这样的表面为粗基准可以使工件定位可靠、夹紧方便。

(5)粗基准应避免重复使用。在同一尺寸方向上,粗基准只允许使用一次;否则,将无法保证加工表面间的位置精度。如图 2-3 所示的小轴加工,开始加工 A 面时,是以不加工的 B 面作为粗基准的,若掉头加工 C 面时仍以 B 面为基准,则 C 面与 A 面的轴线就会产生较大的同轴度误差。

粗基准面都是未经机械加工的毛坯面,其表面粗糙且精度低,若重复使用,则将产生较大的误差。

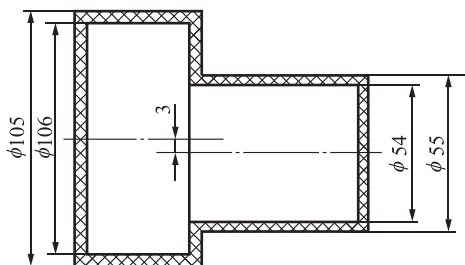


图 2-2 粗基准的选择

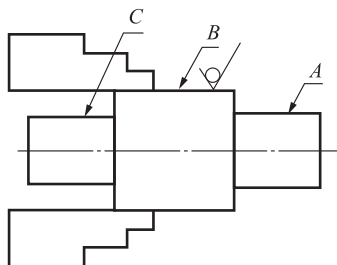


图 2-3 重复使用粗基准实例

提醒

随着数控技术的不断发展,毛坯的制造精度也越来越高,如精铸、精锻等都可以达到很高的精度。所以在生产中,选择基准要结合实际情况。

2. 精基准的选择原则

在选择精基准时,主要应考虑保证工件加工精度和安装方便可靠,其选择有如下几个原则。

(1)基准重合原则。选择设计基准作为定位基准,称为基准重合。基准重合可以避免基准不重合误差,有利于保证加工精度。

(2)基准统一原则。同一零件的多道工序,应尽可能选择同一个定位基准,称为基准统一,这样有利于保证各加工表面的位置精度。

基准重合原则与基准统一原则有时会出现矛盾,处理的方法是遇有尺寸精度较高的表面应以基准重合为主,以免给加工带来困难,除此之外,均应考虑基准统一。

(3)自为基准原则。某些加工余量小而均匀的精加工工序,选择加工表面本身作为定位基准,称为自为基准原则。

(4)互为基准原则。当对工件上两个相互位置精度要求很高的表面进行加工时,需要用两个表面互相作为基准,反复进行加工,以保证位置精度的要求。

(5)便于装夹原则。所选精基准应保证工件安装可靠,夹具结构设计简单、操作方便。



思考与分析

在选择基准时能够保证同时满足选择原则吗?

分析:实际上,无论精基准还是粗基准的选择,上述原则都不可能同时满足,有时还是互相矛盾的。因此,在选择时应根据具体情况进行分析。

任务三 数控加工的工艺路线设计

任务目标

- (1)熟悉并合理选择加工表面的加工方法。
- (2)掌握工序划分的选择原则。
- (3)掌握合理划分、安排零件加工工序的方法。

任务描述

数控加工工艺路线是指零件生产过程中，由毛坯到成品所经过的工序先后顺序。本任务通过选择加工方法，划分和安排加工工序，介绍工艺路线的设计方法。

一、表面加工方法的选择

零件的结构形状虽各不相同，但它们都是由外圆、内孔、平面及成形表面组成的。选择加工方法时，应根据工件的精度、表面粗糙度、材料和热处理条件、结构形状和尺寸大小等因素进行选择。由于获得同一精度和表面粗糙度的加工方法往往有几种，因此要结合车间的设备情况、技术水平，并考虑生产效率要求和经济效益合理进行选择。一般先根据精度和表面粗糙度要求选定最终加工方法，然后再确定精加工前准备工序的加工方法，即确定加工方案。

在选择合适的加工方法时，要考虑以下几个方面的因素。

1. 加工经济精度和经济表面粗糙度

加工经济精度是指在正常条件下(采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级工人的操作，不延长加工时间)所能保证的加工精度；经济表面粗糙度是指在正常条件下，所能保证的表面粗糙度。例如，加工精度为 IT7，表面粗糙度为 $Ra0.4\ \mu\text{m}$ 的外圆柱表面，虽然通过精心车削也可以达到要求，但不如磨削经济；机床主轴的轴颈，要求公差等级为 IT5，表面粗糙度为 $Ra0.025\ \mu\text{m}$ ，其最后加工方法必须是研磨或超精磨削加工，在此之前，应进行粗车、精车、粗磨和精磨。

2. 工件的结构形状和尺寸大小

加工精度要求为 IT7 的孔，采用镗削、铰削、拉削和磨削等方法均可达到要求，但对于箱体上的孔，一般不宜选用拉削或磨削孔的方法，而应选择镗孔(大孔)或铰孔(小孔)。

3. 工件材料的力学性能及热处理的影响

淬火钢的精加工要用磨削；为避免塑性大的切屑堵塞砂轮，有色金属圆柱表面的精加工，要用高速精细车或精细镗。

4. 结合生产类型，考虑生产率与经济性

在大批量生产时，应采用高效率的先进工艺，但应避免盲目地采用高效加工方法和专用设备，否则会造成经济损失。

5. 利用现有生产条件

应充分利用现有的生产设备，选择加工方法时要注意合理地调配设备负荷，同时还要充分挖掘企业潜力，发挥工人的创造性。



在实际生产中，上述因素并不是孤立的，而是相互影响的。因此，在选择具体加工方法时，应根据具体条件全面考虑，灵活运用，不要顾此失彼。只有这样，才能选择出优质、高产、低耗的加工方案。表 2-1、表 2-2、表 2-3 列出了外圆柱面、孔和平面的一般加工方法。

表 2-1 外圆柱面的一般加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
1	粗车	IT11~IT13	12.5~50	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车→半精车	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	粗车→半精车→精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	粗车→半精车→精车→滚压(或抛光)	IT7~IT8	0.025~0.2	
5	粗车→半精车→磨削	IT7~IT8	0.4~0.8	主要适用于淬火钢，也适用于未淬 火钢，但不适用于加工有色金属
6	粗车→半精车→粗磨→精磨	IT6~IT7	0.1~0.4	
7	粗车→半精车→粗磨→精磨→超精磨 (或轮式超精磨)	IT5	0.012~0.1 (或 $Rz0.1$)	
8	粗车→半精车→精车→精细车(金刚车)	IT6~IT7	0.025~0.4	主要适用于要求较高的有色金属 加工
9	粗车→半精车→粗磨→精磨→超精磨 (或镜面磨)	IT5 以上	0.006~0.002 5 (或 $Rz0.05$)	适用于极高精度的外圆加工
10	粗车→半精车→粗磨→精磨→研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 $Rz0.05$)	

表 2-2 孔的一般加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
1	钻	IT11~IT13	12.5	适用于加工未淬火钢及铸铁的实心毛 坯，也适用于加工有色金属
2	钻→铰	IT8~IT10	1.6~6.3	
3	钻→粗铰→精铰	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	钻→扩	IT10~IT11	6.3~12.5	同上，但孔径应为 15~20 mm
5	钻→扩→铰	IT8~IT9	1.6~3.2	
6	钻→扩→粗铰→精铰	IT7	0.8~1.6	
7	钻→扩→机铰→手铰	IT6~IT7	0.2~0.4	

续表

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
8	钻→扩→拉	IT7~IT9	0.1~1.6	适用于大批量生产(精度由拉刀的精度确定)
9	粗镗(或扩孔)	IT11~IT13	6.3~12.5	适用于除淬火钢以外的各种材料,毛坏有铸出孔或锻出孔
10	粗镗(粗扩)→半精镗(精扩)	IT9~IT10	1.6~3.2	
11	粗镗(粗扩)→半精镗(精扩)→精镗(铰)	IT7~IT8	0.8~1.6	
12	粗镗(粗扩)→半精镗(精扩)→精镗→浮动镗刀精镗	IT6~IT7	0.4~0.8	
13	粗镗(扩)→半精镗→磨T孔	IT7~IT8	0.2~0.8	主要适用于淬火钢,也适用于未淬火钢,但不适用于有色金属
14	粗镗(扩)→半精镗→粗磨→精磨	IT6~IT7	0.1~0.2	
15	粗镗→半精镗→精镗→精细镗(金刚镗)	IT6~IT7	0.05~0.4	主要适用于精度要求高的有色金属加工
16	钻→(扩)→粗铰→精铰→珩磨;钻→(扩)→拉→珩磨;粗镗→半精镗→精镗→珩磨	IT6~IT7	0.025~0.2	适用于精度要求很高的孔
17	以研磨代替上述方法中的珩磨	IT5~IT6	0.006~0.1	

表 2-3 平面的一般加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
1	粗车	IT11~IT13	12.5	适用于端面
2	粗车→半精车	IT8~IT10	3.2~6.3	
3	粗车→半精车→精车	IT7~IT8	0.8~1.6	
4	粗车→半精车→磨削	IT6~IT8	0.2~0.8	
5	粗刨(或粗铣)	IT11~IT13	6.3~25	一般适用于不淬硬平面(端铣表面粗糙度较小)
6	粗刨(或粗铣)→精刨(或精铣)	IT8~IT10	1.6~6.3	
7	粗刨(或粗铣)→精刨(或精铣)→刮研	IT6~IT7	0.1~0.8	适用于精度要求较高的不淬硬平面,当批量较大时宜采用宽刃精刨方案
8	以宽刃精刨代替上述刮研	IT7	0.2~0.8	
9	粗刨(或粗铣)→精刨(或粗铣)→磨削	IT7	0.2~0.8	适用于精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
10	粗刨(或粗铣)→精刨(或粗铣)→粗磨→精磨	IT6~IT7	0.025~0.4	

续表

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济表面粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
11	粗铣→拉	IT7~IT9	0.2~0.8	适用于大量生产, 较小的平面(拉削精度由拉刀的精度而定)
12	粗铣→精铣→磨削→研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 $Rz0.05$)	适用于加工高精度平面

二、工序的划分与安排

1. 工序的划分

在数控机床上加工零件, 工序一般相对集中, 要求在一次装夹中尽可能完成大部分或全部工序, 一般工序划分有以下几种方式。

(1)按安装次数划分工序。以一次安装完成的那部分工艺内容为一道工序。该方法一般适用于加工内容不多的工件, 加工完毕就能达到待检状态。

(2)按所用刀具划分工序。以同一把刀具完成的那部分工艺内容为一道工序。这种方法适用于工件的待加工表面较多, 机床连续工作时间较长, 加工程序的编制和检查难度较大等情况。在专用数控机床和加工中心上常用这种方法。

(3)按粗、精加工划分工序。在按工件的加工精度要求、刚度和变形等因素来划分工序时, 可以按粗、精加工分开的原则, 即以粗加工中完成的那部分工艺内容为一道工序, 精加工中完成的那部分工艺内容为另一道工序。一般来说, 在一次安装中不允许将工件的某一表面不区分粗、精加工至精度要求后再进行加工其他表面的情况。

(4)按加工部位划分工序。以完成相同形面的那部分工艺内容为一道工序。有些零件加工表面多而复杂, 构成零件轮廓的表面结构差异较大, 可按其结构特点(如内形、外形、曲面或平面等)划分成多道工序。例如, 车削加工如图 2-4 所示的单球手柄时, 首先应加工圆柱, 然后二次装夹(调头)车削圆球。

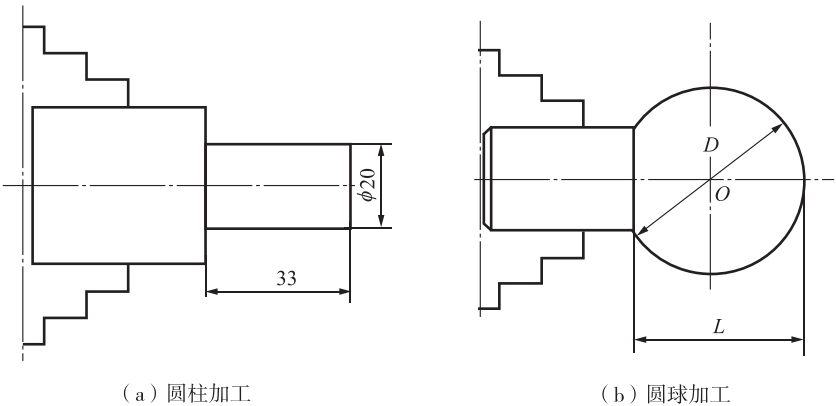


图 2-4 分工序加工示意

对于数控车削加工来说, 以下两种方式使用得较多。

- (1)按所用刀具划分工序。采用这种方式可提高车削加工的生产效率。
- (2)按粗、精加工划分工序。采用这种方式可保证数控车削加工的精度。对于加工中易发生变形和

要进行中间热处理的工件，粗加工后的变形常常需要进行校直，故要进行粗、精加工的零件一般都要将工序分开。例如，加工如图 2-5 所示的零件，其内孔尺寸较多，且 $\phi 52$ 外圆精度较高，应按粗、精加工划分工序。

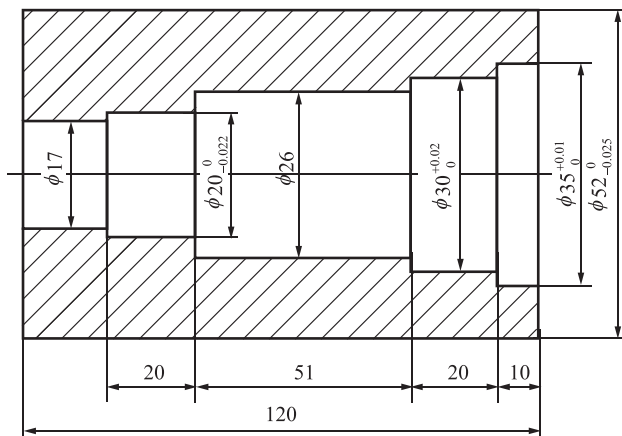


图 2-5 套类零件

2. 加工顺序的安排

加工顺序安排的合理与否，将直接影响零件的加工质量、生产效率和加工成本。

(1) 加工顺序的安排。在数控机床加工过程中，由于加工对象复杂多样，特别是轮廓曲线的形状及位置千变万化，加上材料不同、批量不同等多方面因素的影响，在制定具体零件的加工顺序时，应该进行具体分析和区别对待，灵活处理。只有这样，才能使所制定的加工顺序合理，从而达到质量优、效率高和成本低的目的。

安排加工顺序的一般原则有先粗后精、先近后远、先主后次、基面先行、先内后外、内外交叉等。下面针对数控车削的特点对这些原则进行详细叙述。

① 先粗后精。为了提高生产效率并保证零件的精加工质量，在切削加工时，应先安排粗加工工序，在较短的时间内，将精加工前大量的加工余量(如图 2-6 所示的虚线内部分)去掉，并尽量满足精加工余量均匀性的要求。当粗加工工序安排完成后，接着换刀安排半精加工和精加工。其中，安排半精加工的目的在于当粗加工后所留余量的均匀性满足不了精加工要求时，安排半精加工作为过渡性工序，以使精加工余量小而均匀。在安排多刀进行的精加工工序时，其零件的最终轮廓应由最后一次送给加工而成。

在制订该方案的过程中，因考虑到精车过程是连续进行的，故粗车后应尽量满足精加工余量均匀性的要求。粗车如图 2-6 所示的零件时，余量是不均匀的，可在该方案中增加一个半精车过程以满足精车要求。

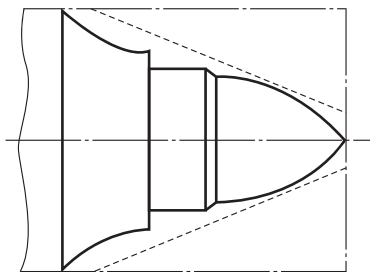


图 2-6 粗车示意图

②先近后远。这里所说的近与远，是按加工部位相对于起刀点的位置而言的。在一般情况下，特别是在粗加工时，通常安排距离起刀点近的部位先加工，距离远的部位后加工，以便缩短刀具移动距离，减少空行程时间。对于车削加工，先近后远还有利于保持坯件或半成品的刚性，改善其切削条件。例如，当加工如图 2-7 所示的零件时，如果按的 $\phi 32 \text{ mm} \rightarrow \phi 28 \text{ mm} \rightarrow \phi 25 \text{ mm}$ 的顺序安排车削，不仅会增加刀具返回对刀点所需的空行程时间，而且还可能使台阶的外直角处产生毛刺(飞边)。对于这类直径相差不大的台阶轴，当第一刀的背吃刀量(图 2-6 中的最大背吃刀量可为 3 mm 左右)未超限时，应按 $\phi 25 \text{ mm} \rightarrow \phi 28 \text{ mm} \rightarrow \phi 32 \text{ mm}$ 先近后远的顺序安排车削。

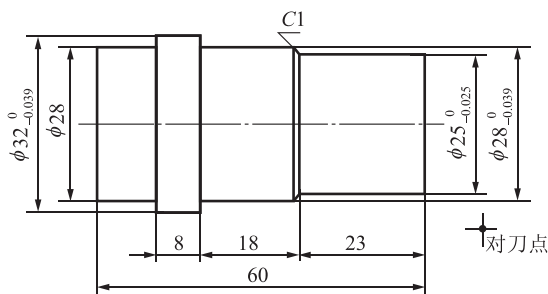


图 2-7 先近后远加工路线

③先主后次。先安排零件的装配基面和工作表面等主要表面的加工，后安排如键槽、紧固用的光孔和螺纹孔等次要表面的加工。虽然次要表面加工工作量小，但是与主要表面间有位置精度要求，所以一般放在主要表面的半精加工之后、精加工之前进行。

④基面先行。通常，用作精基准的表面需要优先加工出来，所以第一道工序一般是对定位面进行粗加工和半精加工(有时包括精加工)，再以精基准定位加工其他表面。例如，当加工轴类零件时，总是先加工中心孔，再以中心孔为精基准加工外圆表面和端面。

⑤先内后外、内外交叉。对既有内表面(内型腔)又有外表面需加工的零件，在安排加工顺序时，应先进行内外表面粗加工，后进行内外表面精加工。切不可将零件的一部分表面(外表面或内表面)加工完毕后，再加工其另一部分表面(内表面或外表面)。

提醒

上述原则并不是一成不变的，对于某些特殊情况，则需要采取灵活可变的方案。总之，加工工序的安排应根据零件的结构和毛坯状况以及定位安装与夹紧的需要综合考虑。

(2)数控加工工序与普通工序的衔接。普通工序是指常规的加工、热处理和检验等辅助工序。数控加工工序前后一般都穿插有其他普通工序，如果衔接不好就容易产生矛盾。较好的解决办法是建立工序间的相互状态要求。例如，是否预留加工余量，定位面与孔的精度要求及形位公差，对前道工序的技术要求，对毛坯的热处理要求等，都需要前后兼顾，统筹衔接。

任务四 数控加工的工序设计

任务目标

- (1)掌握合理选择工艺装备和定位夹紧方式的方法。
- (2)掌握切削用量的选择方法。
- (3)掌握进给路线的合理选择方案。

任务描述

数控加工工序设计的主要任务是进一步将本工序的加工内容、工艺装备、加工路线、定位夹紧方式、切削用量等确定下来，为编制加工程序做好充分准备。本任务主要从这几个方面介绍加工工序的设计。

一、工艺装备的选择

工艺装备主要包括夹具、刀具和量具等。

1. 夹具的选择

与普通机床夹具相比，数控机床夹具的要求更高。

- (1)推行标准化、系列化和通用化。
- (2)发展组合夹具和拼装夹具，以降低生产成本。
- (3)提高精度。
- (4)提高夹具的高效自动化水平。

通常，用于数控机床的通用夹具可分为以下几种。

(1)数控车床夹具。数控车床夹具主要有三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、花盘等。

①三爪自定心卡盘(如图 2-8 所示)。三爪自定心卡盘可自动定心，装夹方便，应用较广，但它的夹紧力较小，适用于夹持外形规则的工件。三爪自定心卡盘的正卡爪用于装夹外圆直径较小和内孔直径较大的工件，反卡爪用于装夹外圆直径较大的工件。

②四爪单动卡盘(如图 2-9 所示)。四爪单动卡盘的 4 个爪都可单独移动(安装工件时需找正)，夹紧力大，适用于装夹毛坯及截面形状不规则、不对称的、较重的、较大的工件。

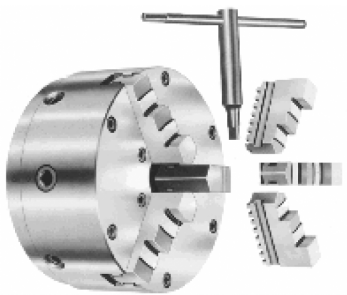


图 2-8 三爪自定心卡盘



图 2-9 四爪单动卡盘

③花盘(如图 2-10 所示)。花盘通常适用于装夹不对称和形状复杂的工件,装夹工件时需反复校正和平衡。

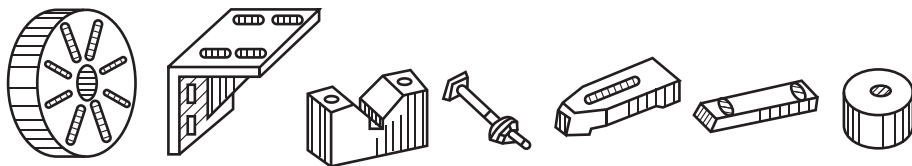


图 2-10 花盘

(2)数控铣床夹具。数控铣床的常用夹具是平口钳(如图 2-11 所示),先把平口钳固定在工作台上,找正钳口,再把工件装夹在平口钳上,这种方式装夹方便,应用广泛,适于装夹形状规则的小型工件。

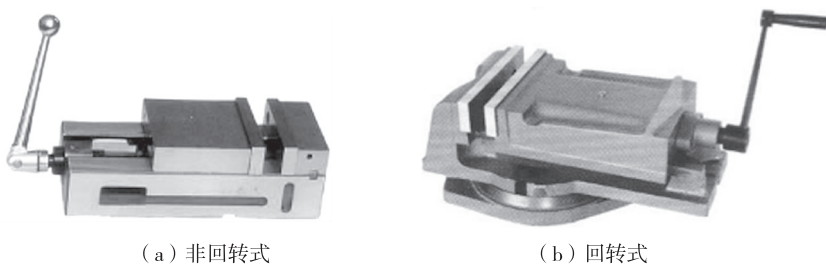


图 2-11 平口钳

(3)加工中心夹具。数控回转工作台是各类数控铣床和加工中心的理想配套附件,有立式工作台、卧式工作台和立卧两用回转工作台等不同类型的产品。立卧两用回转工作台在使用过程中可分别以立式和卧式两种方式安装于主机工作台上。当工作台工作时,利用主机的控制系统或专门配套的控制系統,完成与主机相协调的各种必需的分度回转运动。

除以上通用夹具外,数控机床夹具还常采用拼装夹具、组合夹具和可调夹具等。

在数控机床上,零件的安装方法与普通机床一样,要尽量选用已有的通用夹具装夹,注意减少装夹次数,尽量在一次装夹中把零件上所有待加工表面都加工出来。零件的定位基准应尽量与设计基准重合,以减少定位误差对尺寸精度的影响,夹具的精度应与加工精度相适应。

2. 刀具的选择

数控机床所使用的刀具与普通机床所用的刀具相比,在刀具的类型、材料、切削刃结构与参数及切削方式等方面均无太大差别。但是,为适应数控机床加工中的高速强力切削的要求,对刀具的刚性和寿命要求比普通刀具高。

目前,数控车床用刀具主要是可转位刀片的机夹刀具。下面对数控车床可转位刀具作简要的介绍。

(1)可转位车刀的种类。可转位车刀按其用途可分为外圆车刀、仿形车刀、端面车刀、内圆车刀、切槽车刀、切断车刀和螺纹车刀等。

(2)数控车床刀具的选择应综合考虑机床、工件等情况。

①为保证加工方案的可行性、经济性,以获得最佳加工方案,在刀具选择前必须考虑与机床有关的因素。例如,机床类型、刀具附件、主轴功率和工件夹持方式等。

②考虑与工件有关的因素。例如,工件形状、工件材质、毛坯类型、工艺系统刚性、加工精度、背吃刀量和进给量、刀具寿命等。

(3)断屑槽的要求。数控车床对刀片的断屑槽有较高的要求,是因为数控车床自动化程度高,切削

常常在封闭的环境中进行，所以在车削过程中很难对大量切屑进行人工处理，如果切屑不断裂，它就会缠绕在刀头上，既可能挤坏刀片，又可能拉伤切削表面。

3. 量具的选择

单件小批量生产应选择通用量具，如游标卡尺、千分尺、百分表等，大批量生产应选择各种量规和设计高生产率的专用检具。量具的精度必须与加工精度相适应。

二、加工路线的确定

加工路线是指数控加工过程中刀具(严格说是刀位点)相对于被加工零件的运动轨迹，即刀具从刀点开始运动，直至返回该点并结束加工程序所经过的路径，包括切削加工的路径及刀具引入、返回等非切削空行程。它不但包括了工步的内容，还反映出工步的顺序。

由于精加工的进给路线基本上都是沿零件轮廓顺序进行的，所以在确定进给路线时的工作重点是确定粗加工及空行程的进给路线。在确定加工路线时，主要应遵循以下原则：

- (1)加工路线应保证被加工工件的精度和表面质量。
- (2)在保证加工精度的前提下，应尽量缩短加工路线，减少刀具的空行程，提高生产率。

如图 2-12(a)所示的孔系零件，按照一般习惯应先加工均匀分布于一圆周上的 8 个孔，再加工另一圆周上的 8 个孔。但对于点位控制的数控机床而言，这并不是最短的加工路线，应按如图 2-12(b)所示的路线进行加工，使各孔间的距离总和最小，以节省加工时间。

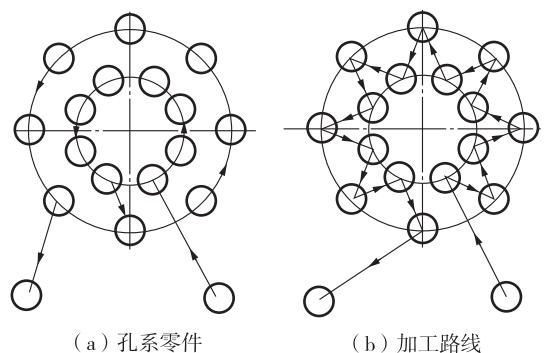


图 2-12 最短加工路线选择

(3)最终轮廓由一次进给完成。为保证工件轮廓表面加工后的表面粗糙度要求，最终轮廓应安排在最后一次走刀中连续加工出来。图 2-13 为铣削内腔的三种进给路线。

①行切法。行切法能切除内腔中的全部余量，且进给路线短，但表面粗糙度达不到要求，如图 2-13(a)所示。

②环切法。环切法能达到表面粗糙度的要求，进给路线长，如图 2-13(b)所示。

③先行切后环切。此种进给路线能获得较好的效果，如图 2-13(c)所示。

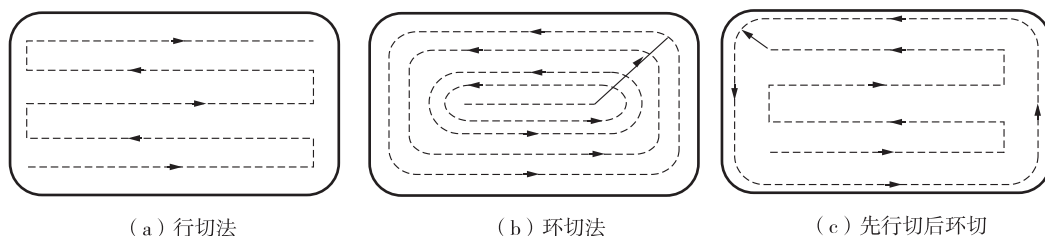


图 2-13 铣削内腔的三种进给路线

(4)在数控铣床上铣削外轮廓时,为防止刀具在切入、切出时产生刀痕,铣刀的切入点和切出点应沿工件轮廓曲线的延长线切入和切出工件表面,以保证工件轮廓的光滑过渡,如图 2-14 所示。

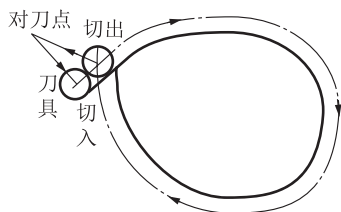


图 2-14 铣削外轮廓时的切入和切出方式

(5)镗孔在加工时,若位置精度要求较高,加工路线的定位方向应保持一致。

如图 2-15(a)所示的加工路线,在加工孔Ⅳ时,X 轴方向的反向将影响Ⅲ-Ⅳ孔的孔距精度;如图 2-15(b)所示的加工路线,可使各孔的定位方向一致,传动系统的间隙不会影响孔的位置精度。

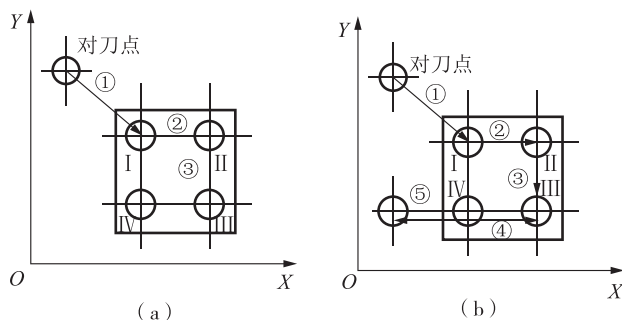


图 2-15 镗孔加工路线

(6)加工路线应尽量简化数学处理时的计算工作量,以简化编程工作。

此外,在确定进给路线时,还要考虑工件的形状与刚度、加工余量的大小、机床与刀具的刚度等情况。

三、切削用量的选择

1. 切削用量的选择

以车削为例,其切削用量的选择有如下几个步骤。

(1)背吃刀量的选择。

①粗加工时(表面粗糙度 $Ra 50 \sim Ra 12.5 \mu m$),在允许的条件下,尽量一次切除该工序的全部余量,以减少进给次数。但对于加工余量大的一次进给,机床功率小或刀具强度不够、加工余量不均匀的会引起振动或刀具受冲击严重出现打刀的情况,需要采用多次进给。如分两次进给,则第一次背吃刀量尽量取大一些,一般为加工余量的 $\frac{2}{3} \sim \frac{3}{4}$,第二次背吃刀量尽量取小些,可取加工余量的 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 。

②半精加工时(表面粗糙度为 $Ra 6.3 \sim Ra 3.2 \mu m$),背吃刀量一般为 $0.5 \sim 2 mm$ 。

③精加工时(表面粗糙度为 $Ra 1.6 \sim Ra 0.8 \mu m$),背吃刀量为 $0.1 \sim 0.4 mm$ 。数控车削时所留的精车余量一般比普通车削时所留余量小。

(2)进给量的选取。进给量的选取应该与背吃刀量和主轴转速相适应。在保证工件加工质量的前提下,可以选择较高的进给速度($\leq 2000 mm/min$),在切断、车削深孔或精车时,应选择较低的进给速度。当刀具空行程特别是远距离回零时,可以设定较高的进给速度。粗车时一般取 $f=0.3 \sim 0.8 mm/r$,精车时一般取 $f=0.1 \sim 0.3 mm/r$,切断时一般取 $f=0.05 \sim 0.2 mm/r$ 。

(3)主轴转速的确定。

①车外圆时的主轴转速。车外圆时主轴转速应根据零件上被加工部位的直径、刀具材料以及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。切削速度确定后，主轴转速可按式(2-1)计算，即

$$n=\frac{1\,000v}{\pi d}$$
 (2-1)

式中， n 为工件或刀具每分钟转速，单位为 r/min； D 为工件待加工表面直径或刀具的最大直径，单位为 mm； v 为切削速度，单位为 m/min。

②车削螺纹时，车床的主轴转速受到螺纹螺距(或导程)的大小、驱动电机的降频特性及螺纹插补运算速度等多种因素的影响，故对于不同的数控系统，推荐的主轴转速范围会有所不同。大多数经济型数控车床的数控系统在车螺纹时的主轴转速为

$$n\leqslant\frac{1\,200}{P}-k$$
 (2-2)

式中， P 为螺纹的螺距或导程，单位为 mm； k 为保险系数，一般取 80。

在没有经验数据的情况下，可以通过查阅《切削用量手册》来确定切削参数。表 2-4 列出了车削用量的参考值，供实际应用时参考。

表 2-4 切削速度参考表

零件材料	刀具材料	背吃刀量 a_p /mm			
		0.12~0.38	0.38~2.40	2.40~4.70	4.70~9.50
		进给量 f /(mm/r)			
		0.05~0.13	0.13~0.38	0.38~0.76	0.76~1.30
		切削速度 v /(m/min)			
低碳钢	高速钢	—	70~90	45~60	20~40
	硬质合金	215~365	165~215	120~165	90~120
中碳钢	高速钢	—	45~60	30~40	15~20
	硬质合金	130~165	100~130	75~100	55~75
灰铸铁	高速钢	—	35~45	25~35	20~25
	硬质合金	135~185	105~135	75~105	60~75
黄铜青铜	高速钢	—	85~105	70~85	45~70
	硬质合金	215~245	185~215	150~185	120~150
铝合金	高速钢	105~150	70~105	45~70	30~45
	硬质合金	215~300	135~215	90~135	60~90

2. 选择切削用量时需注意的问题

切削用量的选择是否合理，对于能否充分发挥机床潜力与刀具切削性能，实现优质、高产、低成本和安全操作具有很重要的作用。在数控加工中，切削用量的选择原则与通用机床加工的原则基本相同，在数控加工中，应特别注意以下几点。