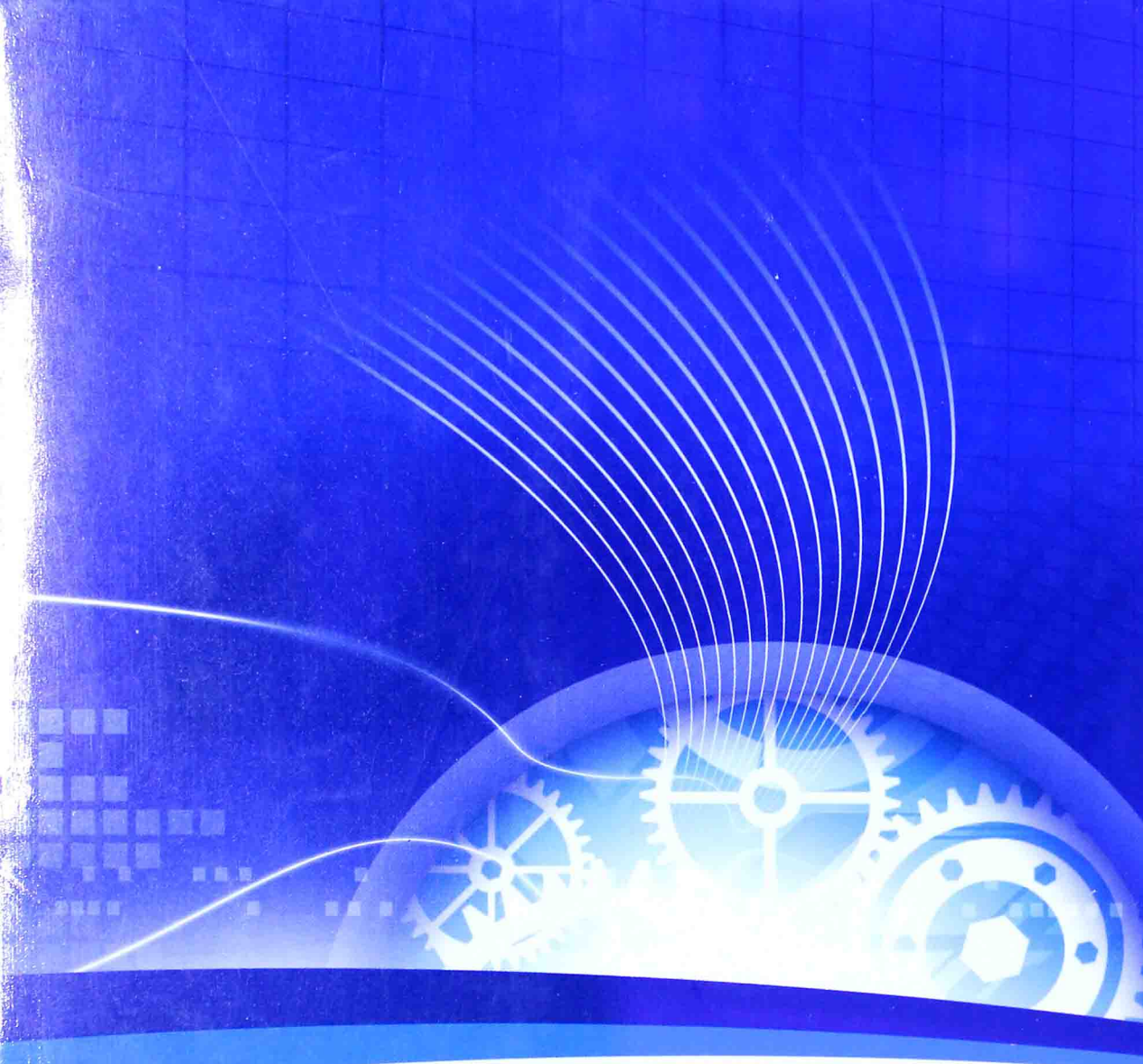




零件数控车削加工

(第2版)

Lingjian Shukong Chexiao Jiagong

◎主 编 梁 庆 温锦华 黄芬娜

零件数控车削加工

(第2版)

主 编	梁 庆	温锦华	黄芬娜
副主编	张 南	陈海坤	王友权
参 编	钟 键	丘立庆	徐颂恩



北京理工大学出版社

BEIJING IN

PRESS

内 容 简 介

全书共分5个部分,包括简单零件加工、轴类零件加工、套筒类零件加工、盘类零件加工、复杂零件加工。

本书可以作为高等院校机类、近机类相关专业的教材,也可以作为工程技术人员的参考用书。

版权专用 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

零件数控车削加工/梁庆,温锦华,黄芬娜主编.—2版.—北京:北京理工大学出版社,2014.6

ISBN 978-7-5640-9370-9

I. ①零… II. ①梁… ②温… ③黄… III. 机械元件—数控机床—车床—车削—高等学校—教材 IV. ①TH13②TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第123488号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/<http://www.bitpress.com.cn>

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市南阳印刷有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/23.25

字 数/433千字

版 次/2014年6月第2版第1次印刷

定 价/56.00元

责任校对/陈玉梅

责任印制/边心超

前 言

本书是针对数控专业从事数控加工的工艺员、程序员及操作员等职业岗位群的职业能力要求而编写的，是数控专业教学改革的一系列教材之一。

本书以零件数控车削加工过程为主线，通过对典型回转体零件的工艺设计、程序编制、零件加工等具体实践性过程的学习，培养学生的工艺设计、程序编制和生产加工的职业技能和职业素养，掌握数控车削加工的专业知识，培养学生的创新精神、创造能力以及严谨、求实的工作作风，同时提高学生获取信息、团结合作、社会交往等综合职业能力。

本书突出教育特色，强调职业能力与职业素养的培养，以典型零件加工为载体，按照由简单到复杂的排列，分为五个模块和十七个工作任务。

模块一：简单零件加工。本模块主要介绍了数控车削工艺设计、程序编制、数控车床操作等基础知识和技能，以及零件加工所经历的阶段和过程，使学生对本书内容、学习方法和要求有一个整体认识。

模块二：轴类零件加工。主要内容为轴类零件的数控车削工艺设计、程序编制、加工操作等知识和技能，使学生掌握轴类零件加工的工件装夹、定位和检验方法。

模块三：套筒类零件加工。本模块主要介绍套筒类零件的数控工艺设计、程序编制、加工操作等知识和技能，使学生掌握内轮廓的加工特点和加工方法。

模块四：盘类零件加工。本模块以盘类零件加工为主要内容，介绍盘类零件的工艺设计、程序编制、加工操作等知识和技能，使学生掌握盘类零件的工艺方法，提高解决工程问题的能力。

模块五：复杂零件加工。本模块介绍变螺距、函数曲线轮廓等复杂零件的工艺设计、自动编程与加工等知识和技能，使学生能够利用计算机辅助设计软件解决复杂零件的工艺设计、程序编制的实际问题。

本书建立有与之配套的网络教学资源平台，常规教学资料齐全，教学标准、授课计划、授课教案、教学课件等教学相关资料，符合项目教学要求，满足课程教学需要。

编 者

目 录

模块一 简单零件加工	1
任务 1.1 编制卡销零件数控工艺	1
任务 1.2 编制短轴数控加工程序	26
任务 1.3 对刀操作	64
任务 1.4 测量轴套零件	94
模块二 轴类零件加工	108
任务 2.1 编制圆弧轴数控加工刀具卡	108
任务 2.2 编制输出轴数控工艺	134
任务 2.3 编制双头轴数控加工程序	157
任务 2.4 加工圆头轴零件	182
模块三 套筒类零件加工	198
任务 3.1 编制轴承套数控工艺	198
任务 3.2 编制圆弧套数控程序	211
任务 3.3 加工轴套零件	237
模块四 盘类零件加工	250
任务 4.1 编制连接盘数控工艺	250
任务 4.2 编制磨轮数控加工程序	262
任务 4.3 加工法兰盘零件	289
模块五 复杂零件加工	297
任务 5.1 编制仿形轴数控加工程序	297
任务 5.2 编制椭圆把手数控程序	313
任务 5.3 仿真加工双曲线轴	330
附 录	341
附录 1 《未注线性公差 (GB/ 1804—2000—m)》	341

附录2 《标准公差等级（GB/T 1800.3—1998）》 341

附录3 普通螺纹基本牙型及基本尺寸（GB/T 192—1981、GB/T 193—1981、
GB/T 196—1981） 342

附录4 《车工国家职业标准》 357

附录5 《数控车工国家职业标准》 360

模块一 简单零件加工

模块目标

1. 掌握数控车削工艺的基本编制方法
2. 掌握数控程序的编制方法
3. 掌握数控车床的基本操作和对刀方法
4. 掌握常用量具的使用方法

任务 1.1 编制卡销零件数控工艺

教学能力目标

- 掌握数控车床结构、原理和特点
- 掌握切削用量和加工余量的选择方法
- 掌握数控车削工艺的基本编制方法

任务引入

根据下图 1.1.1 中卡销零件图纸要求，选择切削用量和加工余量，设计其数控车削加工工艺，编制数控加工工序卡。

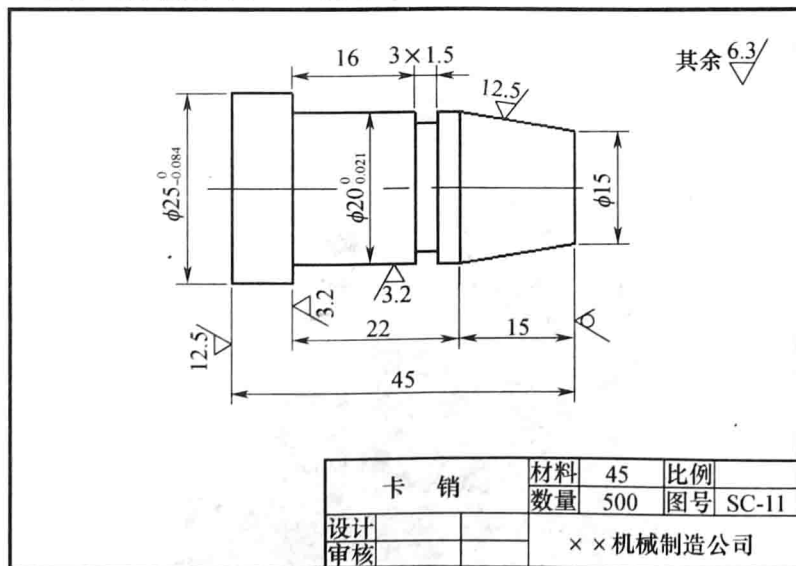


图 1.1.1 卡销零件图

任务分析

数控工艺设计是零件数控加工过程中的首要工作,工艺设计的合理性直接影响到数控程序编制的难易程度以及零件的加工质量和生产效率,对生产任务的完成起到关键性的作用。

任务要求在保证加工质量的条件下,尽量提高生产效率和降低生产成本;根据卡销零件的结构特点、尺寸精度和表面粗糙度要求,合理选择切削用量、加工余量,制订工艺方案,编制数控加工工序卡。

相关知识

一、数控车床介绍

数控机床是一种综合应用计算机、自动控制、精密测量和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品,通常把用数字化信息技术控制车削运动和其他辅助动作的车床称为数控车床。

数控车床是在普通机床基础上发展起来的,它是通过数控加工程序来控制运动轴和刀具的速度、方向和位置,从而实现零件的数控车削加工。

数控车床除了能够进行内外圆柱面、圆锥面、阶台、螺纹、切槽、切断、钻孔、镗孔、铰孔、攻丝、套丝等普通车削加工以外,还能够加工轮廓形状复杂的回转表面、变螺距螺纹等,配置有铣削动力头的车削中心还能够进行平面、键槽、凹槽等的铣削加工。

1. 数控车床的分类

按照不同的分类标准,数控车床的种类是不同的;按照主轴的布置形式分为立式数控车床(图 1.1.2)和卧式数控车床(图 1.1.3、1.1.4)两种;按照数控

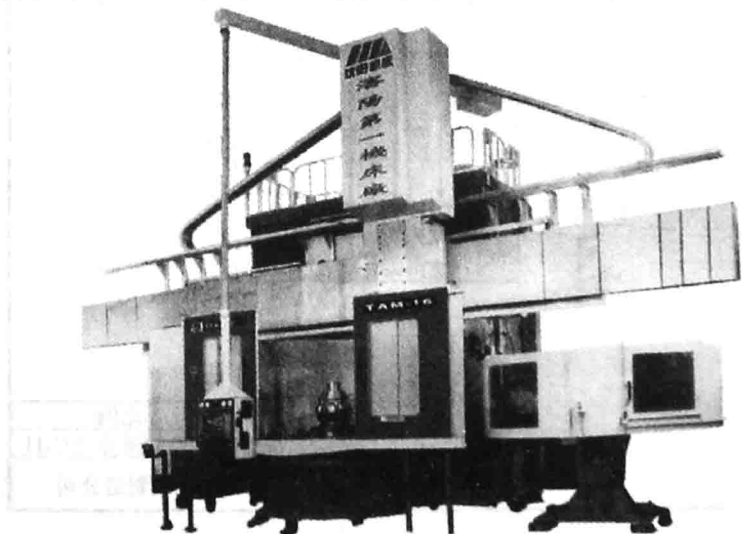


图 1.1.2 立式数控车床

系统的技术水平分为经济型数控车床、数控车床、车削中心三种。

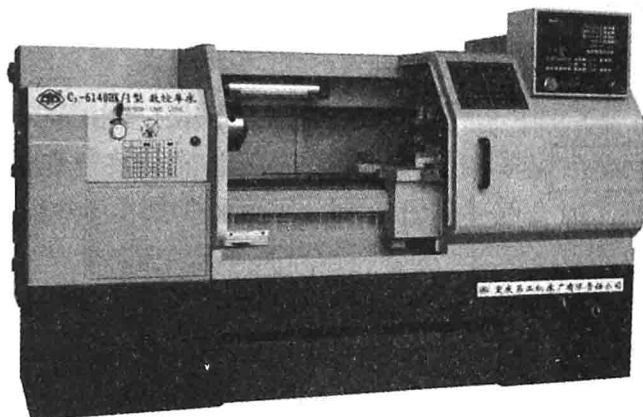


图 1.1.3 数控车床



图 1.1.4 车削中心

1) 经济型数控车床

经济型数控车床是以普通车床的机械结构为基础进行改进设计而成的，是数控机床发展初期的产品。一般采用步进电机驱动的开环伺服系统，控制部分采用单板机或单片机来进行控制。这类数控车床的特点是结构简单、价格低廉、加工精度低，无刀尖半径补偿和恒线速切削功能。

2) 数控车床

普遍意义上的数控车床，其控制系统带有高分辨率的 CRT（显示器），具有各种显示、图形仿真、刀具和位置补偿功能，能够进行通信或网络接口，采用闭环或半闭环控制的伺服系统，可以进行多坐标轴控制。

3) 车削中心

具有刀库和自动换刀功能的全功能数控车床称为车削中心。车削中心配备有液压卡盘、可编程尾座、刀库和铣削动力头等，可以完成回转体零件的车削、铣

削、铰削等多种工序的加工，具有高精度、高刚性和高效率的特点，适应范围广，是数控车床的发展方向。

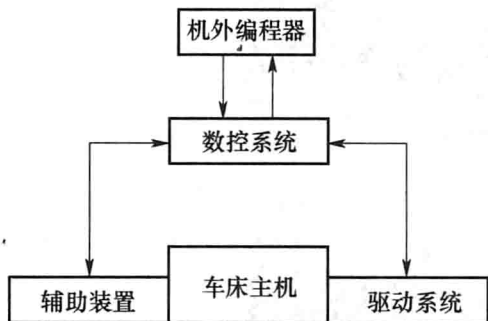


图 1.1.5 数控车床组成

2. 数控车床组成

数控车床主要由车床主机、数控系统、驱动系统、辅助装置和机外编程器等几个部分组成（如图 1.1.5）。

1) 车床主机

车床主机是数控车床的支承基础，主要包括床身、主轴箱、刀架、尾座、进给机构等机械部件。

2) 数控系统

数控系统是数控机床的控制核心，对数控机床的切削加工、电、气、液等各系统和机床辅助动作进行全面控制。专用计算机是数控系统的主体，主要由 CPU（中央处理器）、存储器、CRT（显示器）等部分组成。

3) 驱动系统

驱动系统是数控机床切削工作的动力部分，其作用是驱动机床的切削运动和其他辅助动作。数控机床的驱动系统称为伺服系统，由伺服驱动电路和驱动装置两大部分组成。

伺服驱动电路的作用是接受指令，经过软件处理后，推动驱动装置运动。驱动装置主要由主轴电机、进给系统的步进电机或交流、直流伺服电机等组成。

4) 辅助装置

辅助装置是指一些专为生产加工配置的辅助部件，如液压、气动装置、冷却、照明、润滑、防护和排屑装置等，辅助装置一般是由 PLC 和强电控制电路来控制的。

5) 机外编程器

机外编程器是与数控系统进行通信连接、配置了专业编程软件的计算机。在这台计算机上，可以进行手工和自动编程，通过数控车床控制系统上的通讯接口或其他存储介质中，把生成的加工程序传输到车床的数控系统中。通过机外编程器实现了程序的自动编制，提高了编程效率和准确性，避免了手工编程的人为误差，特别适合复杂零件的程序编制。

二、数控车床工作原理和加工对象

1. 数控车床工作原理

零件的加工表面是由刀尖相对于工件的运动轨迹形成的。数控机床是通过数控系统控制刀具与工件的相对运动，按照数控程序的速度、方向、位置要求，对

零件进行切削加工，从而实现了零件的数控加工。

数控车床的工作原理，是由数控系统按照程序要求控制刀具相对于工件在 X 轴、 Z 轴和 C 轴的相应运动，来获得不同形状和尺寸的加工表面。

2. 数控车削的主要加工对象

数控车床的主要加工对象是回转体零件，与普通车床相比，数控车床具有加工精度高、适应范围大、生产效率高的特点，因此更适合加工以下零件：

1) 精度要求高的零件

由于数控机床刚性好、制造精度高，而且能够精确进行人工补偿和自动补偿，因此使用数控车床加工出的零件，其尺寸精度和形状精度都比较高。

2) 表面轮廓复杂的零件

数控车床具有直线插补和圆弧插补功能，采用用户宏和软件自动编程，可以编制椭圆、双曲线、抛物线等轮廓精度要求较高的加工程序，因此在数控车床上可以加工轮廓形状复杂的零件，如图 1.1.6 所示。



图 1.1.6 复杂轮廓零件

3) 表面粗糙度数值小的零件

数控车床具有恒线速切削功能，能加工出粗糙度均匀、数值很小的表面。在材料、刀具、加工余量确定的情况下，表面粗糙度数值取决于进给量和切削速度，通过恒线速切削功能切削，保证了加工表面粗糙度数值均匀一致。

4) 特殊螺纹零件

数控车床通过脉冲编码器检测主轴转速，使刀具与主轴保持严格的比例关系，因此在数控车床上除了能够加工传统的等螺距螺纹外，还能够进行端面螺纹和变螺距螺纹等特殊螺纹零件的加工，如图 1.1.7。



图 1.1.7 特殊螺纹零件

5) 超精密零件

在高性能的数控车床上进行超精密加工时，轮廓精度可以达到 $0.1\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度达到 $Ra0.02\ \mu\text{m}$ ，系统最小分辨率达到 $0.01\ \mu\text{m}$ ，因此特别适合加工精度、形状精度要求高的零件。

三、数控加工过程

在数控机床上加工零件时，首先根据零件图样要求，设计零件加工的工艺过程、选择工艺参数、刀具参数，按照规定的编程格式编写数控加工程序，再将数控程序录入数控系统中，通过数控系统控制零件加工时所需的主轴旋转、刀具移动和其他辅助动作的方向和速度，从而实现零件的数控加工，因此零件的数控加工过程一般都经过工艺设计、程序编制、生产加工、零件检验等四个阶段（如图 1.1.8）。

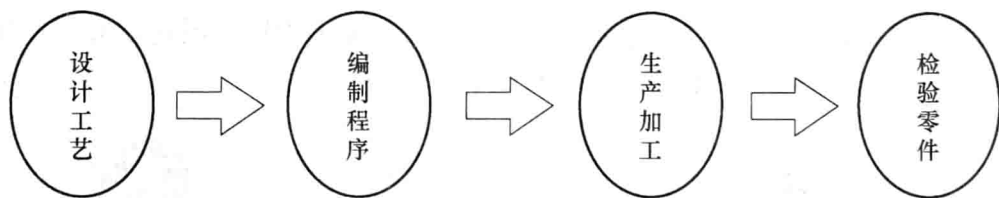


图 1.1.8 零件数控加工过程

1) 工艺设计

零件的数控加工应首先根据零件图纸，分析零件的材料、结构、尺寸、精度、毛坯形状和热处理等要求，确定总体工艺方案。

然后再根据工艺方案，选择适合的刀具、量具、夹具和适合的数控机床，设计零件的数控加工工艺，选取切削用量和加工余量，编制出《数控加工工序卡》，为程序编制提供依据。

2) 程序编制

根据《数控加工工序卡》的工步安排，选择适当的对刀点、换刀点、起刀点、退刀点，确定加工路线、编制《数控加工程序卡》。

3) 生产加工

零件加工前，首先选择（或刃磨）刀具、量具，准备好工装夹具，检测设备情况，做好生产加工前的准备。然后安装刀具和工件，录入程序并检验程序，进行对刀操作，进行零件试车，试车合格后开始生产加工零件。

4) 零件检验

零件生产加工完成后，按照图纸要求，检测零件的尺寸、形位精度和表面粗糙度，评定零件加工质量。

零件加工过程中的各个环节都是相互衔接的，任何一个环节考虑不周，都会造成零件质量问题，因此在加工过程中，必须做好每一个阶段工作，保证零件的加工质量和生产效率。

四、数控车削工艺设计

数控车削工艺设计是指编制零件数控车削工艺的全过程，要求根据零件图纸，合理选择各加工表面的加工路线、安排各工序顺序，合理选用刀具、机床、切削用量、加工余量以及定位方式，编制出用于指导零件生产、加工的《机械加工工艺过程卡》、《机械加工工序卡》和《数控加工工序卡》等工艺文件。数控车削工艺设计是零件数控车削加工中首先进行的工作内容，也是零件数控车削加工的最重要阶段。

数控车削工艺设计按照进行的先后顺序分为：工艺分析、制订数控加工方案、选择切削参数、编制《数控加工工序卡》等几个步骤。

1. 工艺分析

工艺分析的目的是分析影响零件加工工艺的零件结构、几何要素、技术要求等，为工艺方案制定提供依据。

1) 零件结构分析

零件结构工艺性是指在满足使用要求的前提下，零件加工的可行性和经济性，换言之，就是使设计的零件结构便于生产加工、降低成本、提高效率。

零件结构工艺性分析的内容有：审查与分析零件图纸中的尺寸标注方法是否符合数控加工的特点；审查与分析在数控车床上进行加工时零件结构的合理性。

2) 几何要素分析

几何要素分析，主要是对构成零件轮廓的所有几何元素的给定条件进行分析、判断。

由于手工编程需要计算每个节点的坐标，自动编程需要对零件轮廓几何要素进行定义，因此对于零件图样上出现构成加工轮廓的给定条件不充分、尺寸模糊以及尺寸封闭等缺陷，都会增加了编程工作的难度，甚至无法完成编程工作。

3) 技术要求分析

对加工零件进行精度和技术要求分析，是零件工艺性分析的重要内容，只有在充分分析零件的尺寸精度、位置精度和表面粗糙度要求的基础上，才能对加工方法、装夹方式、刀具种类及切削用量进行正确合理的选择。技术要求分析的主要内容包括：

(1) 分析零件精度与各项技术要求是否齐全、合理。

(2) 分析工序中的数控加工精度能否达到图纸要求，注意给后续工序留有足够的加工余量。

(3) 找出零件加工精度要求高的表面，分析表面精度要求，选择合理的工艺方案、加工路线和切削用量。

(4) 找出零件图纸中有较高位置精度要求的表面，确定工件定位方式，尽

量安排这些表面在一次安装下完成；不能安排在一次装夹中完成的有位置精度要求的表面，应当采取合理的二次装夹、定位措施。

(5) 对于直径变化大、表面粗糙度要求较高的表面或对称表面，尽量使用恒线速功能进行切削加工，保证加工表面粗糙度均匀、一致。

2. 制订数控加工方案

制订数控加工方案，应尽量使设计基准、工艺基准和编程原点统一；遵循工序集中的原则划分工序，尽量在一次装夹中完成大部分甚至全部表面的加工。

制订数控加工方案，一般分为确定定位方案、选择表面加工路线和刀具类型、制订数控加工方案等几个步骤。

1) 确定定位方案

工件的定位方式，取决于零件的位置精度要求、结构形状与刚性。对于有位置精度要求的加工表面，尽量在一次装夹中完成加工；对于无法在一次装夹中完成时，必须采取二次装夹时的重复定位精度的工艺保证措施；零件长度较长、工件刚性差时，可以采用顶尖辅助装夹；零件结构复杂时，可以采用辅助夹具、甚至专用夹具进行装夹、定位。

车削加工通常选择外圆、端面或内孔、端面作为工件的装夹、定位表面。

2) 选择表面加工路线和刀具类型

零件表面车削加工方法，应根据表面的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸和生产类型等因素综合确定。

(1) 外圆与端面车削工艺

大多数回转体零件其外圆之间为垂直于工件轴心线的台阶面连接，因此外圆

和台阶面大多数采用 90° 外圆车刀（如图 1.1.9 所示）来进行加工的。

数控车削加工外圆与端面（台阶面）时，其加工路线一般按以下方法来选择：

① 加工精度为 IT11 级以下、表面粗糙度大于 $Ra12.5 \mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属材料，粗车加工即可满足加工要求。

② 加工精度为 IT9 ~ IT10 级、表面粗糙度 $Ra6.3 \sim 12.5 \mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属材料，可以采用粗车、半精车的方案进行加工。

③ 加工精度为 IT7 ~ IT8 级、表面粗糙度 $Ra1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的

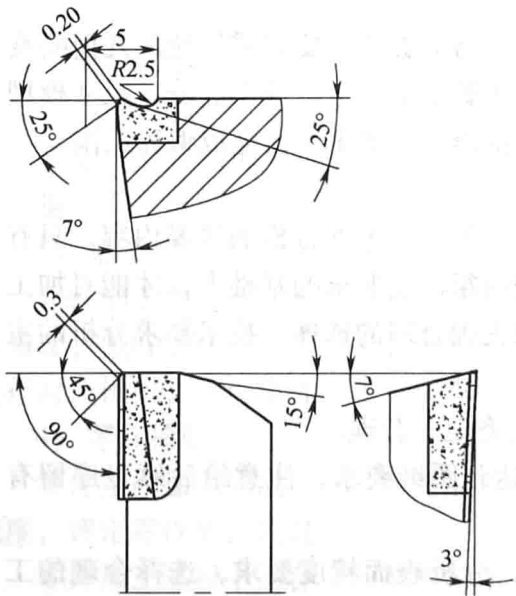


图 1.1.9 90° 外圆车刀

常用金属材料，可以采用粗车、半精车、精车的方案进行加工。

④加工精度为 IT5 ~ IT6 级、表面粗糙度 $Ra0.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属材料，可以采用粗车、半精车、精车、细车的方案进行加工。

⑤加工精度高于 IT5、表面粗糙度 $Ra < 0.08 \mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属材料，可以采用高档精密型数控车床，按粗车、半精车、精车、精密车的方案进行加工。

⑥对淬火钢等难加工材料，在淬火前可以采用粗车、半精车的方法，淬火后安排磨削加工。

例 1 选择图 1.1.10 所示轴类零件的三个外圆的加工路线，材料为 45 钢。

解：采用 90° 外圆车刀加工外圆。根据国标《GB/T 1800.3—1998 标准公差》，查得 $\phi 25_{-0.052}^0$ 、 $\phi 20_{-0.021}^0$ 外圆的尺寸精度等级分别为 IT9、IT7；根据国标《GB/T 1804—2000 未注公差》，按中等公差等级，查得 $\phi 30$ 外圆的尺寸精度等级为 IT13。

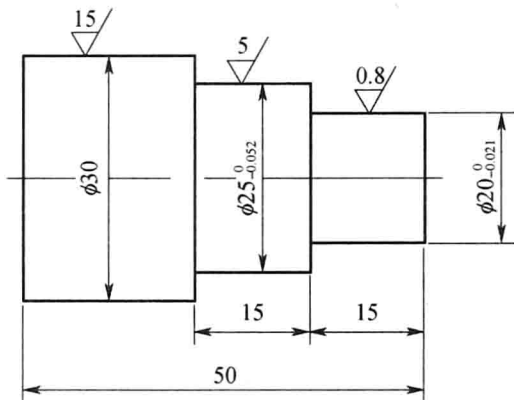


图 1.1.10 阶梯轴零件

因此各表面尺寸精度、表面粗糙度要求如下：

$\phi 30$ 外圆：

尺寸精度等级 IT13、表面粗糙度 $Ra15 \mu\text{m}$

$\phi 25_{-0.052}^0$ 外圆：

尺寸精度等级 IT9、表面粗糙度 $Ra5 \mu\text{m}$

$\phi 20_{-0.021}^0$ 外圆：

尺寸精度等级 IT7、表面粗糙度 $Ra0.8 \mu\text{m}$

根据三个外圆的尺寸精度和表面粗糙度要求，确定各外圆的加工路线如下：

$\phi 30$ 外圆

粗车

$\phi 25_{-0.052}^0$ 外圆：

粗车——半精车

$\phi 20_{-0.021}^0$ 外圆：

粗车——半精车——精车

(2) 成形法切槽工艺

零件上的螺纹退刀槽、砂轮越程槽，其尺寸精度要求都不是很高，一般采用切断刀（如图 1.1.12）来加工，被加工槽的宽度取决于切断刀的

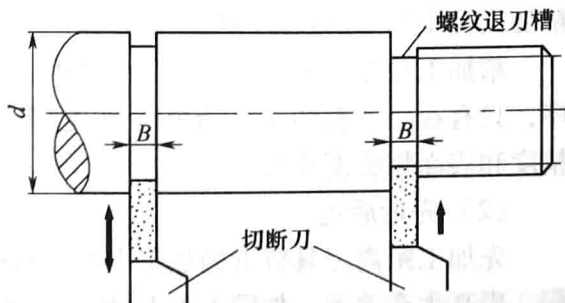


图 1.1.11 成形法切槽与直进法切断

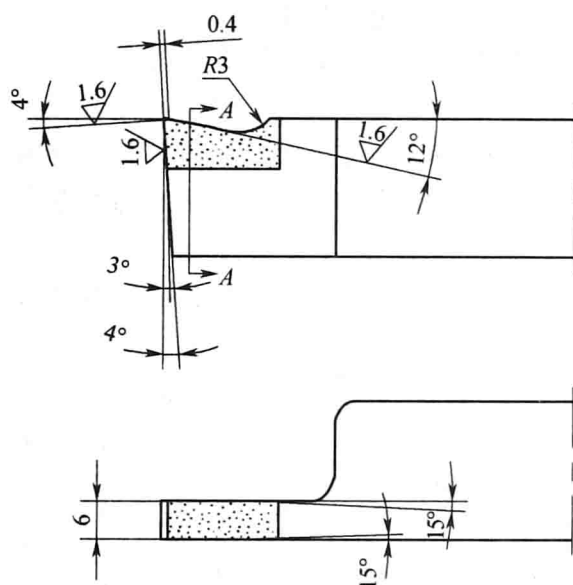


图 1.1.12 切断刀

宽度，这种加工槽的方法称为成形法切槽。用成形法切槽时，刀具只作径向进给，无轴向移动，如下图 1.1.11 所示。

(3) 直进法切断工艺

切断工件时，刀具只作径向进给、退刀，无轴向移动的切断加工方式称为直进法切断。如上图 1.1.11 所示。

采用直进法切断工件时，一般是径向切入一定深度后退刀 1~2 mm，以便于断屑和冷却刀具。

由于切断刀形状细长，轴向刚性差，在切断加工时容易引起振动，严

重时甚至折断，因此切断刀的刀宽不能过宽，一般按以下经验公式选取：

切断刀宽估算公式

$$B = (0.5 - 0.6) \sqrt{d}$$

其中， B ——切断刀宽，

d ——工件切断处直径。

如切断一个工件其切断处的直径为 $\phi 36$ mm，其切断刀宽大约为：

$$B = (0.5 - 0.6) \sqrt{d} = (0.5 - 0.6) \sqrt{36} = 3 - 3.6 \text{ (mm)}$$

3) 制订数控加工方案

数控车削加工方案的制订，一般按照“先粗后精，先近后远，内外交叉，连续加工和走刀路线最短”的原则来进行。

(1) 先粗后精

为了提高生产效率和保证零件加工质量，在安排工艺方案时，应首先进行粗加工，以尽量短的时间，把大部分多余的金属层去除，提高生产效率，为后面的精加工提供良好的尺寸精度、形位精度和表面粗糙度。

精加工是零件加工表面的尺寸精度、形位精度、表面粗糙度的决定性加工工序，只有在经过粗加工（有些表面还需安排半精加工）后，才能保证零件的高精度和表面粗糙度要求。

(2) 先近后远

先加工距离刀具较近的加工表面，然后加工距离较远的表面，减少刀具空行程，提高生产效率。如图 1.1.13 所示，在零件的粗、精加工时，加工顺序是从左往右的，按先近后远的原则进行。

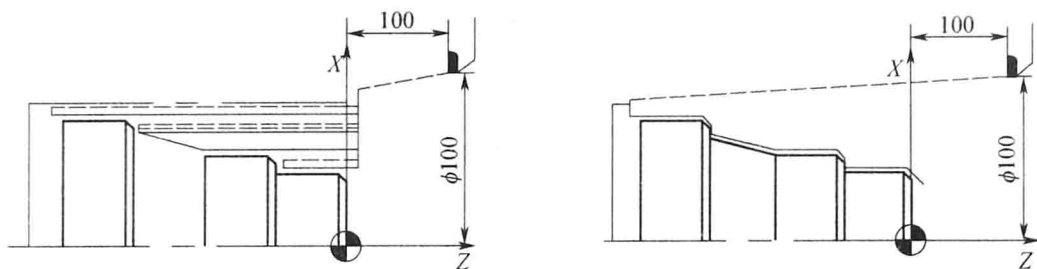


图 1.1.13

(3) 内外交叉

当加工零件有内孔加工要求时,应先进行孔加工,然后进行外表面位置的加工;如果零件的内孔与外圆有较高的尺寸精度和形位精度要求时,应按照内外交叉的原则进行加工,保证满足内孔与外圆的精度要求。

如图 1.1.14 的套类零件,尽管零件图上没有明确标有位置精度要求,但是其内外圆的尺寸精度要求较高,而且 $\phi 24$ 内孔与 $\phi 30$ 外圆之间的壁厚 3 mm,孔壁厚薄、刚性差,在制订数控工艺方案时,应遵循内外交叉的原则安排工艺。因此其工艺方案为:

钻孔——粗镗孔——粗车外圆——精镗孔——精车外圆——切断

(4) 连续加工

尽量满足一把刀具在一次换刀中,加工完成这把刀具的加工内容,以减少换刀次数和空程时间,提高效率。

(5) 走刀路线最短

走刀路线包括切削加工路线和空行程路线两部分,空行程路线应尽量选取最短的线路。数控加工时,粗加工路线一般由数控系统根据给定的精加工路线自动计算,精加工时的加工路线一般按零件轮廓进行。

3. 选择切削用量

1) 车削用量参数

车削加工的切削用量参数主要有切削速度 v_c (主轴转速 S)、背吃刀量、进给量 f (进给速度 F) 和半精加工、精加工的工序余量等。

(1) 切削加工产生的表面

在切削加工中,工件上存在着三个不断变化的表面,如图 1.1.15 所示:

①待加工表面

工件上待切除的表面称为待加工表面

②已加工表面

工件上经刀具切除后产生的表面称为已加工表面

③加工表面

工件上由切削刃形成的表面,称为加工表面。加工表面在切削过程中其位置的不断变化的,是待加工表面和已加工表面的过渡部分。