



全国高等职业教育示范专业规划教材

数控设备应用与维护专业

数控机床 编程与操作

夏燕兰 主编

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG YU CAOZUO



全国高等职业教育示范专业规划教材
数控设备应用与维护专业

数控机床编程与操作

主 编 夏燕兰
副主编 庄亚红 苟维杰
参 编 杨红科 金 川 陈 涛
主 审 朱浩连



机械工业出版社

本书选取“车削零件的数控加工工艺分析”、“简单轴类零件加工工艺分析与编程”、“型腔铣削零件的编程”、“数控车床的操作”等具体工作任务作为课程的主体内容,将零件的工艺分析、数控机床的编程、数控机床操作和零件加工等内容以真实工作任务及其工作过程为依据进行整合,分成八个不同的学习情境,每个学习情境分若干个由简单到复杂的基于工作过程的小项目(任务)对学生进行训练。本书力求使读者通过学习,掌握数控加工零件的工艺分析、编程及操作的技能。

本书可作为高等职业技术学院的数控设备应用与维护专业的教材,也可作为高等工科院校相关专业的教材,还可供有关工程技术人员参考。

本书配有电子课件,凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作/夏燕兰主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 7

全国高等职业教育示范专业规划教材. 数控设备应用与维护专业

ISBN 978-7-111-38677-3

I. ①数… II. ①夏… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材 ②数控机床—操作—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第165694号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:郑丹 责任编辑:章承林

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:鞠杨 责任印制:张楠

唐山丰电印务有限公司印刷

2012年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·376千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-38677-3

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

在当前经济全球化和我国先进制造业、现代服务业快速发展的新形势下，企业急需具有一定职业能力、适应现代社会需要的高等技术应用型专门人才。近年来，我国高等职业教育迅速发展，成为培养社会急需的高等技术应用型专门人才的基本力量。2006年教育部颁发《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），强调加大课程建设与改革的力度，增强学生的职业能力。因此，课程、教材建设与改革已经成为深化高等职业教育教学改革的关键。

本书是校企合作研讨、共同开发的教材。结合国家数控操作工岗位要求，将数控车床操作工、数控铣床操作工、加工中心操作工等岗位的典型工作任务作为本教材主要素材，以数控加工大赛的项目为引领，按照任务驱动、项目引导的方式精心设计教材内容，充分体现了典型工作任务中对象、手段、工具、方法、组织、产品和环境等关键要素。

本书选取“车削零件的数控加工工艺分析”、“简单轴类零件加工工艺分析与编程”、“型腔铣削零件的编程”、“数控车床的操作”等具体工作任务作为课程的主体内容，将数控加工零件的工艺分析、编程和操作流程以真实工作任务及其工作过程为依据进行整合，分成八个不同的学习情境，每个学习情境又分若干个由简单到复杂的基于工作过程的小项目（任务）对学生进行训练。本书融入了编者几年来对课程体系改革进行的探索和在教学过程中总结的经验，是一本原创教材，开创了校企合作进行高职教材开发的新局面，本书内容与工程实际接轨，高职特色鲜明。

本书由南京工业职业技术学院夏燕兰担任主编，南京工业职业技术学院庄亚红和北京电子科技职业学院苟维杰担任副主编，南京工业职业技术学院杨红科、金川、陈涛担任参编。朱浩连高级工程师担任本书主审并提出了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

本书可作为高等职业技术学院的数控类、机械制造、机电一体化及其他相关专业的教材，也可作为高等工科院校相关专业的教材，还可供有关工程技术人员参考。

由于编者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请读者提出批评意见。

本书配有电子课件，凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱：cmpgaozhi@sina.com。咨询电话：010-88379375。

编 者

目 录

前言

学习情境一 数控加工基础 1

任务一 车削零件的数控加工工艺分析 1

任务二 铣削零件的数控加工工艺分析 20

学习情境二 数控车床的编程 (HNC—21T 数控系统) 38

任务一 简单轴类零件的编程 38

任务二 多刀加工轴类零件的编程 54

任务三 较复杂轴类零件的编程 63

学习情境三 数控车床的操作与零件加工 (华中 HNC—21T 数控系统) 72

任务一 数控车床的操作 72

任务二 车削对刀 86

任务三 较复杂轴类零件的加工 98

学习情境四 数控铣床的编程 103

任务一 外形轮廓铣削零件的编程 103

任务二 型腔铣削零件的编程 119

任务三 较复杂铣削零件的编程 127

学习情境五 数控铣床的操作与零件加工 152

任务一 数控铣床的面板操作 152

任务二 铣削对刀 168

任务三 较复杂铣削零件的加工 175

学习情境六 加工中心的编程 180

任务一 简单零件的编程 180

任务二 较复杂零件的编程 186

学习情境七 加工中心的操作与零件加工 196

任务一 加工中心的面板操作 196

任务二 装夹、对刀 (加工中心) 203

学习情境八 自动编程 212

参考文献 239

数控加工基础

任务一 车削零件的数控加工工艺分析

一、目标

1. 掌握车削零件数控加工工艺分析的步骤和方法。
2. 根据零件图样, 写出车削零件数控加工工艺卡片。

二、任务

本任务是分析两个典型车削零件的数控加工工艺。

三、知识储备

(一) 数控车床的组成、分类及加工范围

数控机床是近代发展起来的一种以数字化信号实现机床主运动与进给运动的自动控制机床。数控机床主要由输入/输出装置、数控系统、伺服驱动系统、机床本体和其他辅助装置组成。其工作原理是将被加工零件的形状、尺寸、工艺要求等信息按规定编程, 并记录在输入介质上, 输入到数控装置。数控装置对输入信息进行处理和计算, 根据计算的结果向各执行机构(如进给系统、主轴系统等)分配进给指令。执行机构对来自数控装置的各种指令进行处理、转换和放大, 驱动机床的运动部件(如工作台、刀具及主轴等)运动, 按照要求的形状和尺寸完成零件的加工任务。而辅助控制则是为了保证机床能安全、方便、有效地工作的一些操作, 如冷却、润滑、刀具的自动松夹、排屑、限位等。按加工方式的不同数控机床可分为:

- 1) 切削机床类。如数控车床、铣床、镗床、钻床和加工中心等。
- 2) 成形机床类。如数控冲压机、弯管机、折弯机等。
- 3) 特种加工机床类。如数控电火花、线切割、激光加工机床等。
- 4) 其他机床类。如数控等离子切割、火焰切割、点焊机、三坐标测量机等。

数控机床的主要特点是适应性强, 加工精度高, 生产率高, 有利于生产管理的现代化, 因此适合于加工多品种小批量的零件、结构形状复杂的零件以及价格昂贵的零件。

1. 数控车床的组成

数控车床是目前国内广泛使用的一种数控机床, 约占数控机床总数的 25%。数控车床整体的布局形式与普通车床基本一致, 主要差异在于刀架与导轨。数控车床的刀架分为转塔式刀架和排刀式刀架两大类。转塔式刀架是数控车床普遍采用的刀架形式, 它通

过转塔头的旋转、分度和定位来实现机床的自动换刀工作。两坐标连续控制的数控车床，一般都采用 6~12 工位转塔式刀架，如图 1-1 所示。排刀式刀架主要用于小型数控车床，适用于短轴或套类零件加工。数控车床床身和导轨的布局有平床身布局、斜床身布局、平床身斜滑板布局 and 立床身布局等几种形式，如图 1-2 所示。

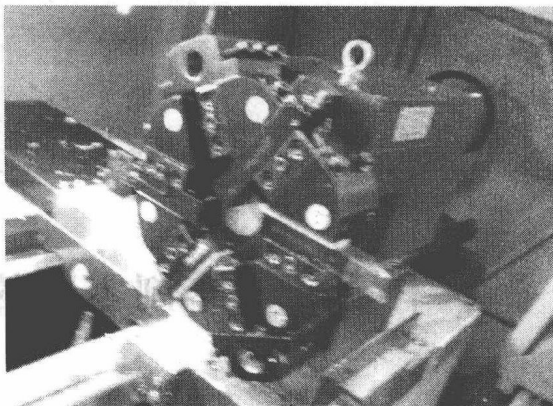


图 1-1 六工位转塔式刀架

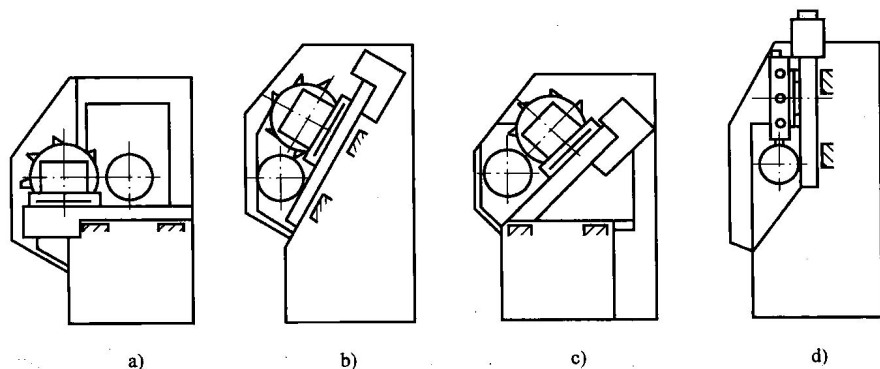


图 1-2 数控车床的布局形式

a) 平床身布局 b) 斜床身布局 c) 平床身斜滑板布局 d) 立床身布局

数控车床与普通车床比较，结构上保留了主轴箱和尾座，取消了交换齿轮箱、进给箱等，配备了数控系统、伺服系统、自动排屑辅助装置等，装有防护门，如图 1-3 所示。

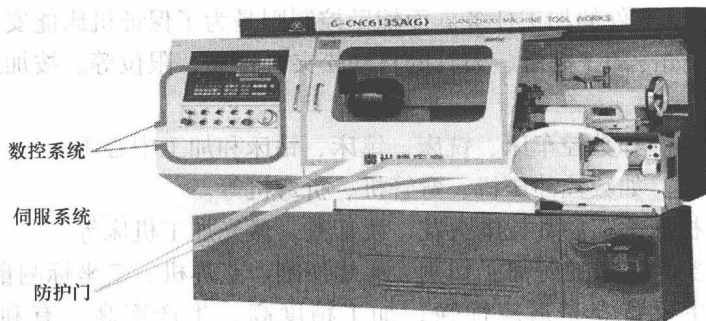


图 1-3 数控车床的结构

2. 数控车床的分类

- 1) 按数控系统功能的不同可分为：经济型数控车床、全功能型数控车床、数控车削中心（见图 1-4）、FMC 车床等。
- 2) 按主轴的配置形式的不同可分为：卧式数控车床、立式数控车床。

3) 按数控系统控制的轴数的不同可分为: 两轴控制数控车床、四轴控制数控车床等。

3. 数控车床的加工范围

数控车床对轴类或盘类等回转体零件能自动地完成内、外圆柱面, 圆锥面, 圆弧面和直、锥螺纹等工序的切削加工, 并能进行切槽、钻、扩和铰等加工。

1) 尺寸精度要求高的回转体零件。由于数控车床的刚性好, 制造和对刀精度高, 能方便和精确地进行人工补偿甚至自动补偿, 所以它能够加工尺寸精度要求高的回转体零件。车削零件位置精度的高低主要取决于零件的装夹次数和机床的制造精度。很多位置精度要求高的零件用传统的车床车削达不到要求, 但在数控车床上可以用修改程序内数据的方法来校正, 提高其位置精度。

2) 表面结构要求高的回转体零件。数控车床能加工出表面结构要求高的零件, 因为机床不但刚性和制造精度高, 还具有恒线速度切削功能。在材质、刀具和精车加工余量已定的情况下, 表面粗糙度取决于进给量和切削速度。使用数控车床的恒线速度切削功能, 这样加工出的零件表面粗糙度既小又一致。数控车床还适合于车削各部位表面结构要求不同的零件。

3) 表面形状复杂的回转体零件。由于数控车床具有直线和圆弧插补功能, 部分车床数控装置还有某些非圆曲线插补功能, 所以可以车削由任意直线和平面曲线组成的形状复杂的回转体零件和难以控制尺寸的零件, 如图 1-5 所示的具有封闭内腔成形面的壳体零件, 在普通车床上是无法加工的, 而在数控车床上则可以很容易地加工出来。

4) 具有径向加工要求的回转体零件。带有键槽或径向孔, 或端面有分布的孔系以及有曲面的盘套或轴类零件 (见图 1-6), 宜采用车削加工中心加工, 使得一次装夹可完成多个工序的加工, 减少了装夹次数, 保证了加工质量的稳定性, 提高了生产率。

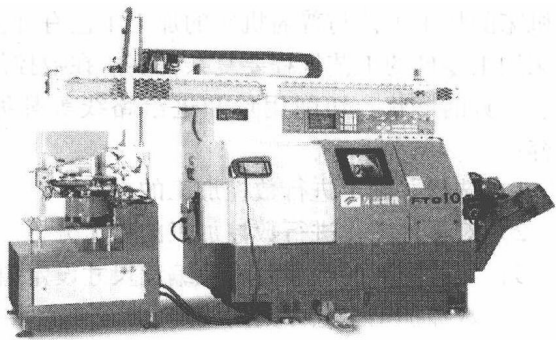


图 1-4 数控车削中心

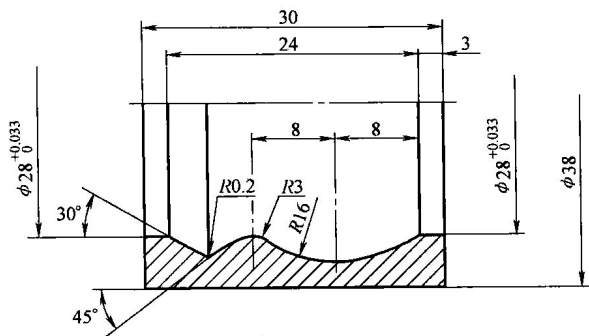


图 1-5 成形内腔壳体零件

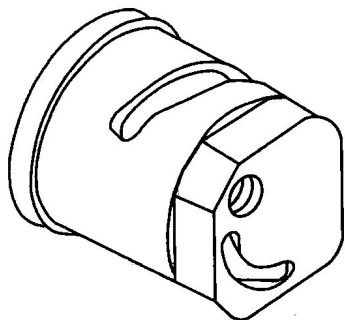


图 1-6 端面、径向带孔槽的轴

(二) 数控加工工艺设计的主要内容

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件, 编制零件数控加工程序, 并输入到数控机床的数控系统, 以控制数控机床中刀具与工件的相对运动, 从而完成零件的加工。数

控机床的加工工艺与普通机床的加工工艺有许多相同之处,但在数控机床上加工零件比普通机床加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前,要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和进给路线等都编入程序。数控加工工艺设计主要包括以下内容:

- 1) 选择并确定进行数控加工的内容。
- 2) 对零件图样进行数控加工的工艺分析。
- 3) 零件图形的数学处理及编程尺寸设定值的确定。
- 4) 数控加工工艺方案的确定。
- 5) 工序、进给路线的确定。
- 6) 工件的装夹与夹具的选择。
- 7) 刀具的选择与切削用量的确定。
- 8) 对刀点和换刀点的确定。
- 9) 编制数控加工专用技术文件。

1. 数控加工工艺内容的选择

对于一个零件来说,并非全部加工工艺过程都适合在数控机床上完成,而只是其中的一部分工艺内容适合采用数控加工。因此需要对零件图样进行仔细地工艺分析,选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。

(1) 适于数控加工的内容

- 1) 普通机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
- 2) 普通机床难加工,质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。
- 3) 普通机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大,在数控机床尚存在富裕加工能力的内容。

4) 采用数控加工后,在产品质量、生产效率与综合效益等方面都会得到明显提高的内容。

(2) 不适于数控加工的内容

- 1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工一个精基准,需用专用工装协调,否则就需占机较长时间,靠操作人员人工调整,这样会大大降低数控机床的利用率。
- 2) 加工部位分散,需要多次安装、设置原点。这时,采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排普通机床补加工。
- 3) 按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓。主要原因是获取数据困难,易于与检验依据发生矛盾,增加了程序编制的难度。

此外,在选择和确定加工内容时,也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等,防止把数控机床降格为普通机床使用。

2. 数控加工零件的工艺性分析

根据后续编程和数控加工的要求,需对零件图样进行必要的分析和审查。

(1) 零件结构工艺性分析 零件结构工艺性分析是分析零件有无结构不合理问题,是否便于数控加工成形。如图 1-7a 所示,三个槽的槽宽分别为 4mm、5mm、3mm,均不相等,这给数控编程和加工增加了难度,若不影响零件的强度和使用,可以把三个槽的槽宽改成一样的尺寸,如图 1-7b 所示。零件的外形和内腔最好采用统一的几何类型及尺寸,这样可以减少换刀次数,还可能应用控制程序或专用程序以缩短程序长度。

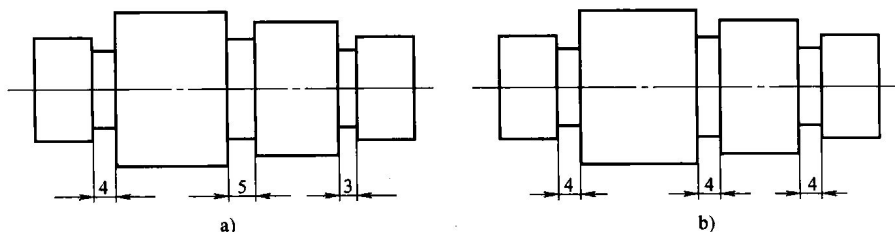


图 1-7 零件结构工艺

a) 槽宽不等 b) 槽宽相等

(2) 零件轮廓几何要素分析 分析零件图时,要分析零件轮廓的几何要素的给定条件是否充分,防止零件加工条件不充分,增加编程工作的难度。

1) 尺寸标注应符合数控加工的特点。在数控编程中,所有点、线、面的尺寸和位置都是以编程原点为基准的。因此零件图样上最好直接给出坐标尺寸,或尽量以同一基准标注尺寸。

2) 几何要素的条件应完整、准确。在程序编制中,编程人员必须充分掌握构成零件轮廓的几何要素参数及各几何要素间的关系。因为在自动编程时要对零件轮廓的所有几何元素进行定义,手工编程时要计算出每个节点的坐标,无论哪一点不确定,编程都无法进行。

(3) 零件精度及技术要求分析 零件的精度及技术要求分析主要包括分析精度及各项技术要求是否齐全、合理;分析每道工序的加工精度能否达到图样要求,若达不到,需采取其他措施(如磨削)弥补的话,则应给后续工作留有余量;找出图样上有位置精度要求的表面,这些表面应在一次安装下完成加工;对表面结构要求较高的表面,应确定相应的工艺措施(如磨削)。

3. 零件图的数学处理

零件图的数学处理主要是计算零件的加工轨迹的尺寸,以便编制加工程序。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、圆弧的圆心坐标值等,就能满足编程要求。当零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时,就需要进行较复杂的数值计算。例如对于非圆曲线,需要用直线段或圆弧段作逼近处理,在满足精度的条件下,计算出相邻逼近线段或圆弧的交点或切点(称为节点)坐标值。对于自由曲线、自由曲面和组合曲面的程序编制,其数学处理更为复杂,一般需通过自动编程软件进行拟合和逼近处理,最终获得直线或圆弧坐标值。

4. 数控加工工艺方案的确定

加工方案的选择原则是保证加工表面的加工精度和表面结构要求。由于获得同一级精度及表面粗糙度的加工方法一般有许多种,因而在实际选择加工方案时,要结合零件的形状、尺寸和热处理要求全面考虑。例如,对于公差等级 IT7 的孔采用镗孔、铰孔、磨孔的方案加工可达到精度要求,但箱体上的孔一般采用镗孔或铰孔,而不采用磨孔。此外,还应考虑生产率和经济性的要求以及工厂的生产设备等实际情况。

一般的零件都是由若干个典型表面组成的。车削常见的典型表面是外圆面和内孔。根据零件的加工精度、表面结构要求、材料、结构形状、尺寸及生产类型确定零件的数控车削加

工方案。通常只经过粗加工的表面,尺寸公差等级可达 IT12 ~ IT14,表面粗糙度 (Ra 值) 可达 $12.5 \sim 50\mu\text{m}$ 。经粗、精加工的表面,尺寸精度可达公差等级 IT7 ~ IT9,表面粗糙度 (Ra 值) 可达 $1.6 \sim 3.2\mu\text{m}$ 。

(1) 外回转表面及端面加工方法的选择

1) 加工精度为公差等级 IT7 ~ IT8、表面粗糙度值为 $0.8 \sim 1.6\mu\text{m}$ 的除淬火钢外的常用金属,可采用普通型数控车床,按粗车、半精车、精车的方案加工。

2) 加工精度为公差等级 IT5 ~ IT6、表面粗糙度值为 $0.2 \sim 0.63\mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属,可采用精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、细车的方案加工。

3) 加工精度高于公差等级 IT5、表面粗糙度值小于 $0.08\mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属,可采用高档精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、精密车的方案加工。

4) 对淬火钢等难车削材料,其淬火前可采用粗车、半精车的方法,淬火后安排磨削加工;对最终工序有必要用数控车削方法加工的难切削材料,可参考有关难加工材料的数控车削方法进行加工。

(2) 内回转表面加工方法的选择

1) 加工精度为公差等级 IT8 ~ IT9、表面粗糙度值为 $1.6 \sim 3.2\mu\text{m}$ 的除淬火钢外的常用金属,可采用普通型数控车床,按粗车、半精车、精车的方案加工。

2) 加工精度为公差等级 IT6 ~ IT7、表面粗糙度值为 $0.2 \sim 0.63\mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属,可采用精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、细车的方案加工。

3) 加工精度高于公差等级 IT5、表面粗糙度值小于 $0.2\mu\text{m}$ 的除淬火钢以外的常用金属,可采用高档精密型数控车床,按粗车、半精车、精车、精密车的方案加工。

4) 对淬火钢等难车削材料,其淬火前可采用粗车、半精车的方法,淬火后安排磨削加工;对最终工序有必要用数控车削方法加工的难切削材料,可参考有关难加工材料的数控车削方法进行加工。

(3) 内螺纹的加工 内螺纹的加工根据孔径大小而定。

1) 一般直径在 M5 ~ M20 之间的螺纹,通常采用攻螺纹的方法加工。

2) 直径在 M5 以下的螺纹,通常在加工中心上完成底孔加工后,再用其他方法攻螺纹。

3) 直径在 M20 以上的螺纹,可采用镗刀片镗削加工。

5. 数控加工工艺路线的确定

(1) 工序的划分

1) 工序划分的原则。

① 工序集中与工序分散原则。工序集中就是将工件的加工集中在少数几道工序内完成,每道工序的加工内容较多。工序集中有利于采用数控机床、高效专用设备及工装进行加工。用数控机床加工,一次装夹可加工较多表面,易于保证各表面间的相互位置精度;工件装夹次数少,还可减少工序间的运输量、机床数量、操作工人数和生产面积。但数控机床、专用设备及工装投资大,调整和维修复杂,因此对于精度要求不高的工件,还是应在普通机床上进行加工。工序分散就是将工件的加工分散在较多的工序内进行,每道工序的加工内容很少。工序分散使用的设备及工艺装备比较简单,调整和维修方便,操作简单,转产容易;可采用合理的切削用量,减少基本时间。工序分散的缺点是设备及操作工人多、占地面积大。

② 保证精度的原则。数控加工要求工序尽可能集中,常常粗精加工在一次装夹下完成,

而为了减少热变形和切削力引起的变形对工件的形状精度、位置精度、尺寸精度和表面结构要求的影响,应将粗、精加工分开进行。对既要加工内表面(型腔),又要加工外表面的零件,安排加工工序时,应先进行内外表面的粗加工,后进行内外表面的精加工。切不可将零件上一部分表面(外表面或内表面)加工完毕后,再加工其他表面(内表面或外表面)。对于一些箱体零件,为保证孔的加工精度,应先加工表面,再加工孔。遵循保证精度的原则,实际上就是以零件的精度为依据来划分数控加工的工序。

③ 提高生产效率的原则。数控加工中,为减少换刀次数,节省换刀时间,应将需用一把刀具加工的部位全部加工完成后,再换另一把刀具加工其他部位,同时应尽量减少刀具的空行程。用同一把刀具加工工件的多个部位时,应以最短的路线到达各加工部位。遵循提高生产效率的原则,实际上就是以加工效率为依据来划分数控加工的工序。

2) 工序划分的方法。根据数控加工的特点,数控加工工序的划分一般可按下列方法进行。

① 以一次安装所进行的加工作为一道工序。这种方法适合于加工内容较少的零件,加工完后就能达到待检状态。

② 以一个完整数控程序连续加工的内容作为一道工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工表面,但考虑到程序太长,会受到某些限制,如控制系统的限制(主要是内存容量),机床连续工作时间的限制(如一道工序在一个工作班内不能结束)等,此外,程序太长会增加检索的困难,且容易出错,因此程序一般不能太长。这时可以以一个独立、完整的数控程序连续加工的内容作为一道工序。

③ 以同一把刀具加工的内容划分工序。有些零件结构较复杂,既有回转表面,又有非回转表面,既有外圆、平面,又有内腔、曲面。对于加工内容较多的零件,按零件结构特点将加工内容组合成若干部分,每一部分作为一道工序,用一把典型刀具加工,这样可以减少换刀次数,减少空程时间。

④ 以粗、精加工划分工序。对于加工后易发生变形的工件,通常粗加工后需要进行矫正,这时粗加工和精加工作为两道工序,可以采用不同的刀具或不同的数控车床加工。

3) 顺序的安排。顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况,以及定位、安装与夹紧的需要来考虑。顺序安排一般应按以下原则进行。

① 先加工定位面,即上道工序的加工能为后面的工序提供精基准和合适的夹紧表面。制订零件的整个工艺路线就是从最后一道工序开始往前推,按照前工序为后工序提供基准的原则先大致安排的。

② 先加工平面后加工孔,先加工简单的几何形状再加工复杂的几何形状。

③ 对精度要求高、粗精加工需分开进行的,先粗加工后精加工。

④ 以相同定位、夹紧方式加工或用同一把刀具加工的工序,最好连续加工,以减少重复定位次数、换刀次数与夹紧次数。

⑤ 中间穿插有普通机床加工工序时也应综合考虑合理安排其加工顺序。

(2) 工艺路线的确定 在数控加工中,刀具相对于工件运动的轨迹称为加工路线,即刀具从对刀点开始运动,直至加工程序结束所经过的路径,包括切削加工的路径及刀具切入、切出等非切削空行程。进给路线不但包括了工步的内容,也反映了工步顺序。进给路线是编写程序的依据之一。因此,在数控机床加工过程中,每道工序加工路线的确定都是非常重要的。

加工路线的确定首先必须保证被加工零件的尺寸精度和表面质量,其次考虑数值计算简单,进给路线尽量短,效率较高等。确定进给路线时应注意以下几点。

① 寻求最短加工路线。加工图 1-8a 所示零件上的孔系。图 1-8b 所示的进给路线为先加工完外圈孔后,再加工内圈孔。若改用图 1-8c 所示的进给路线,减少空刀时间,则可节省近一半的定位时间,提高了加工效率。

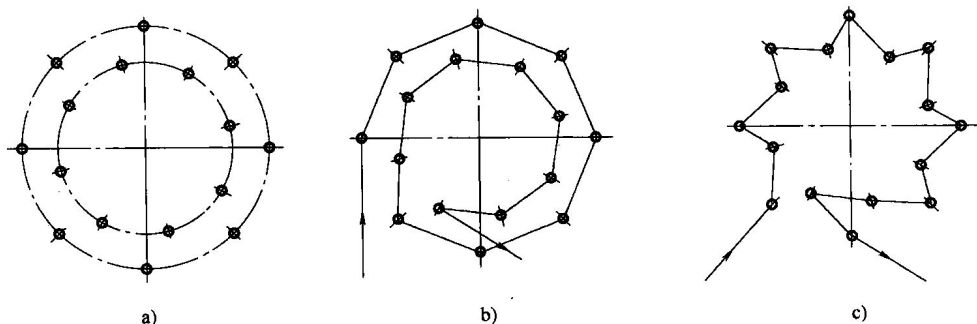


图 1-8 最短进给路线的设计

a) 零件孔系 b) 路线1 c) 路线2

两种粗车矩形循环进给路线如图 1-9 所示。图 1-9a 中工步起点与对刀点重合,空行程长;图 1-9b 中工步起点与对刀点分离,空行程短。

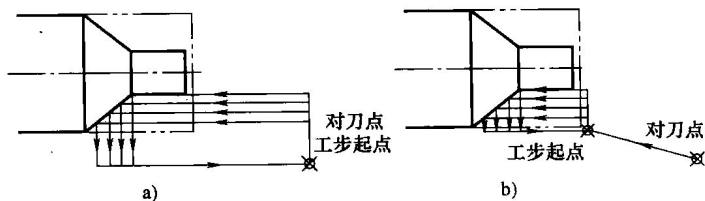


图 1-9 粗车矩形循环进给路线的选择

a) 路线1 b) 路线2

图 1-10 所示三种粗车进给路线中,图 1-10a 所示为矩形循环进给路线,图 1-10b 所示为三角形循环进给路线,图 1-10c 所示为沿轮廓形状循环进给路线。以上三种切削进给路线中矩形循环进给路线较短。

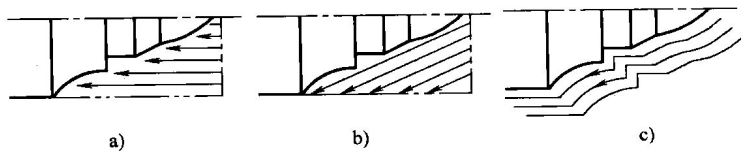


图 1-10 粗车进给路线

a) 矩形循环进给路线 b) 三角形循环进给路线 c) 沿轮廓形状循环进给路线

② 最终轮廓一次进给完成。为保证工件轮廓表面加工后的表面结构要求,如图 1-11 所示的轴类零件,最终轮廓安排在最后一次进给中连续加工出来。

③ 选择使工件在加工后变形小的路线。对横截面积小的细长零件或薄壁零件应采用分几次进给加工到最后尺寸或对称去除余量法安排进给路线。

6. 工件的装夹与夹具选择

正确、合理地选择工件的定位与装夹方式,是保证加工精度的必要条件。

(1) 工件定位要求 由于数控车削编程和对刀的特点,工件径向定位后要保证工件坐标系 Z 轴与机床主轴轴线同轴,同时要保证加工表面径向的工序基准(或设计基准)与机床主轴回转中心线的位置满足工序(或设计)要求。

工件轴向定位后要保证加工表面轴向的工序基准(或设计基准)与工件坐标系 X 轴的位置要求。

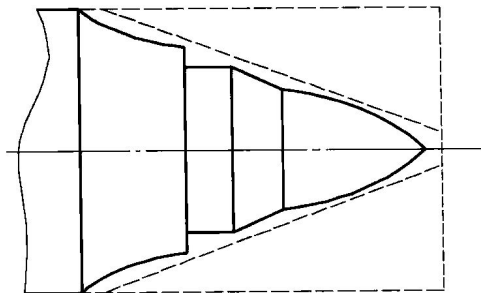


图 1-11 最后一次进给精加工

(2) 定位基准选择的原则

1) 基准重合原则。为避免基准不重合误差,方便编程,应选用工序基准(设计基准)作为定位基准,并使工序基准、定位基准、编程原点三者统一,这是最优先考虑的方案。因为在加工面的工序基准与定位基准不重合,且加工面与工序基准不在一次安装中同时加工出来的情况下,会产生基准不重合误差。

2) 基准统一原则。在多工序或多次安装中,选用相同的定位基准,这对数控加工保证零件的位置精度非常重要。

3) 便于装夹原则。所选择的定位基准应能保证定位准确、可靠,定位、夹紧机构简单,敞开性好,操作方便,能加工尽可能多的内容。

4) 便于对刀原则。批量加工时,在工件坐标系已确定的情况下,采用不同的定位基准为对刀基准建立工件标系,会使对刀的方便性差异较大,有时甚至无法对刀,这时就要分析此种定位方案是否能满足对刀操作的要求,否则原设工件坐标系须重新设定。

(3) 夹具的选择

1) 夹具选择的原则。选择夹具主要考虑以下几点。

① 当零件加工批量不大时,应尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他通用夹具,以缩短生产准备时间,节省生产费用。尽可能选用标准夹具(组合夹具),在成批生产时才考虑专用夹具,并力求夹具结构简单。

② 零件的装卸要快速、方便和可靠,以缩短辅助时间和保证安全。

③ 夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工、刀具更换及重要部位的测量,尤其要避免刀具与工件、刀具与夹具产生碰撞的现象,即定位夹紧机构元件不能影响加工中的进给。

④ 夹紧力应力求通过靠近主要支承点或在支承点所组成的三角形内。应力求靠近切削部位,并在刚性较好的地方。尽量不在被加工孔的上方,以减少工件变形。

⑤ 夹具应易于排出切屑。

2) 常用数控车床夹具。数控车床夹具除了使用通用自定心卡盘、单动卡盘,大批量生产中使用便于自动控制的液压、电动及气动夹具外,数控车床加工中还有多种夹具,它们主要分为两大类,即用于轴类工件的夹具和用于盘类工件的夹具。

① 用于轴类工件的夹具。数控车床加工轴类工件时,坯件装卡在主轴顶尖和尾座顶尖

之间,工件由主轴上的拨盘或拨齿顶尖带动旋转。这类夹具在粗车时可以传递足够大的转矩,以适应主轴高速旋转车削。用于轴类工件的夹具还有自动夹紧卡盘、自定心卡盘和快速可调万能卡盘等。车削空心轴时常用圆柱心轴、圆锥心轴、各种锥套轴或堵头作为定位装置。

② 用于盘类工件的夹具。这类夹具适用在无尾座的卡盘式数控车床上。用于盘类工件的夹具主要有可调卡爪式卡盘和快速可调卡盘等。

(4) 常用装夹方式

1) 在自定心卡盘上装夹。自定心卡盘的三个卡爪是同步运动的,能自动定心,一般不需找正。自定心卡盘装夹工件方便、省时,自动定心好,但夹紧力较小,所以适用于装夹外形规则的中、小型工件。自定心卡盘可装成正爪或反爪两种形式。反爪用来装夹直径较大的工件。用自定心卡盘装夹精加工过的表面时,被夹住的工件表面应包一层铜皮,以免夹伤工件表面。

数控车床多采用自定心卡盘夹持工件,轴类工件还可使用尾座顶尖支持工件。数控车床主轴转速较高,为便于工件夹紧,多采用液压高速动力卡盘。这种卡盘在生产厂已通过了严格平衡检验,具有高转速、高夹紧力、高精度、调爪方便、通孔、使用寿命长等优点。通过调整液压缸的压力,可改变卡盘的夹紧力,以满足夹持各种薄壁和易变形工件的特殊需要。还可使用软爪夹持工件,软爪弧面由操作者随机配制,可获得理想的夹持精度。为减少细长轴在加工时的受力变形,提高加工精度,以及在加工带孔轴类工件内孔时,可采用液压自动定心中心架。

2) 在两顶尖之间装夹。对于长度尺寸较大或加工工序较多的轴类工件,为保证每次装夹时的装夹精度,可用两顶尖装夹。两顶尖装夹工件方便,不需找正,装夹精度高,但必须先在工作件的两端面钻出中心孔。该装夹方式适用于多工序加工或精加工。

用两顶尖装夹工件时须注意以下事项:

- ① 前后顶尖的连线应与车床主轴轴线同轴,否则车出的工件会产生锥度误差。
- ② 尾座套筒在不影响车刀切削的前提下,应尽量伸出得短些,以增加刚性,减少振动。
- ③ 中心孔应形状正确,表面粗糙度值小。轴向精确定位时,中心孔倒角可加工成准确的圆弧形倒角,并以该圆弧形倒角与顶尖锥面的切线为轴向定位基准定位。
- ④ 两顶尖与中心孔的配合应松紧合适。

3) 用卡盘和顶尖装夹。用两顶尖装夹工件虽然精度高,但刚性较差。因此,车削质量较大工件时要一端用卡盘夹住,另一端用后顶尖支承。为了防止工件由于切削力的作用而产生轴向位移,必须在卡盘内装一限位支承,或利用工件的台阶面限位。这种方法比较安全,能承受较大的轴向切削力,安装刚性好,轴向定位准确,所以应用比较广泛。

4) 用双自定心卡盘装夹。对于精度要求高、变形要求小的细长轴类零件可采用双主轴驱动式数控车床加工,机床两主轴轴线同轴、转动同步,零件两端同时分别由自定心卡盘装夹并带动旋转,这样可以减小切削加工时切削力矩引起的工件扭转变形。

7. 刀具的选择与切削用量的确定

(1) 刀具的选用 标准化数控加工刀具按所采用的材料可分为高速钢刀具、硬质合金刀具、陶瓷刀具、立方氮化硼刀具、金刚石刀具、涂层刀具等。

1) 车刀的类型。数控车削用的车刀一般分为尖形车刀、圆弧形车刀和成形车刀三类。

车削刀形与被加工表面的关系如图 1-12 所示。

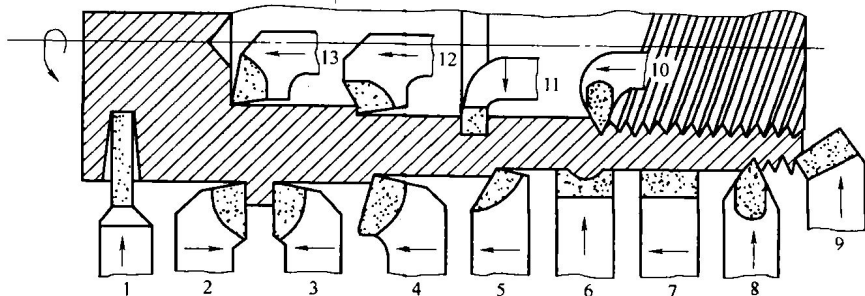


图 1-12 车削刀形与被加工表面的关系

1—切断刀 2—左偏刀 3—右偏刀 4—弯头车刀 5—直头车刀 6—成形车刀 7—宽刃精车刀
8—外螺纹车刀 9—端面车刀 10—内螺纹车刀 11—内槽车刀 12—通孔车刀 13—不通孔车刀

① 尖形车刀。以直线形切削刃为特征的车刀一般称为尖形车刀。如 90° 内外圆车刀、端面车刀、切槽（断）车刀等。

② 圆弧形车刀。圆弧形车刀的特征是构成主切削刃的刀刃形状为一圆度误差或线轮廓度误差很小的圆弧。该圆弧刃上每一点都是圆弧形车刀的刀尖，因此刀位点不在圆弧上，而在该圆弧的圆心上，编程时要进行刀具半径补偿。

③ 成形车刀。成形车刀俗称样板车刀，其加工零件的轮廓形状完全由车刀切削刃的形状和尺寸决定。数控车削加工中，常见的成形车刀有小半径圆弧车刀、非矩形车槽刀和螺纹车刀等。在数控加工中，应尽量少用或不用成形车刀，当确有必要选用时，则应在工艺准备的文件或加工程序单上进行详细说明。

2) 机夹可转位车刀的选用。为了减少换刀时间和方便对刀，便于实现机械加工的标准化，数控车削加工时，应尽量采用机夹刀和机夹刀片，机夹刀片常采用可转位车刀刀片，如图 1-13 所示。刀片材质应用最多的是硬质合金和涂层硬质合金刀片。选择刀片材质的主要依据是被加工工件的材料、被加工表面的精度、表面质量要求、切削载荷的大小以及切削过程有无冲击和振动等。

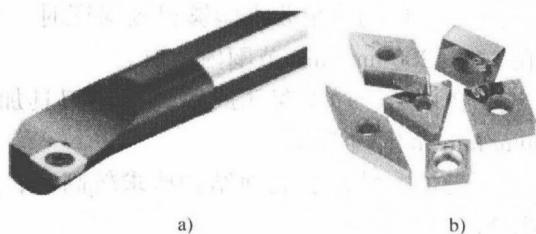


图 1-13 可转位机夹刀和机夹刀片

a) 可转位机夹刀 b) 机夹刀片

数控车床可作粗、精车削。粗车时，要选强度高、寿命长的刀具，以便满足粗车时大背吃刀量、大进给量的要求；精车时，要选精度高、寿命长的刀具，以保证加工精度的要求。

(2) 切削用量的确定 数控编程时，编程人员必须确定每道工序的切削用量，并以指令的形式写入程序中。对于不同的加工方法，需要选用不同的切削用量。切削用量的确定原则为：粗加工时，一般以提高生产效率为主，但也应考虑经济性和加工成本；半精加工和精加工时，应在保证加工质量的前提下，兼顾切削效率、经济性和加工成本。具体数值应根据机床说明书、切削用量手册，并结合经验而定。

1) 背吃刀量的确定。背吃刀量由机床、工件和刀具的刚度来决定，在刚度允许的条件

下,应尽可能使背吃刀量等于工件的加工余量,这样可以减少进给次数,提高生产效率。为了保证加工表面质量,可留少许精加工余量,一般为 $0.2 \sim 0.5\text{mm}$ 。

确定背吃刀量的原则如下:

① 在工件要求表面粗糙度值为 $12.5 \sim 25\mu\text{m}$ 时,如果数控加工的加工余量小于 $5 \sim 6\text{mm}$,粗加工一次进给就可以达到要求。但在余量较大、工艺系统刚性较差或机床动力不足时,可分为多次进给完成。

② 在工件要求表面粗糙度值为 $3.2 \sim 12.5\mu\text{m}$ 时,可分粗加工和半精加工两步进行。粗加工时的背吃刀量选取同前。粗加工后留 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 余量,在半精加工时切除。

③ 在工件要求表面粗糙度值为 $0.8 \sim 3.2\mu\text{m}$ 时,可分为粗加工、半精加工和精加工三步进行。半精加工时的背吃刀量取 $1.5 \sim 2\text{mm}$,精加工时背吃刀量取 $0.3 \sim 0.5\text{mm}$ 。

2) 切削速度的确定。主轴转速应根据允许的切削速度 v_c 和工件(或刀具)直径 D 来选择。其计算公式为

$$n = 1000 v_c / \pi D$$

式中 v_c ——切削速度,单位为 m/min ;

D ——刀具直径或被加工部分的直径,单位为 mm ;

n ——主轴的转速,单位为 r/min 。

主轴转速 n 要根据机床说明书选取机床本身具有的转速或较接近的转速。

3) 进给速度的确定。进给速度是数控机床切削用量中的重要参数,主要根据零件的加工精度和表面结构要求以及刀具、工件的材料性质选取。最大进给速度受机床刚度和进给系统的性能限制。

确定进给速度的原则如下:

① 当工件的质量要求能够得到保证时,为提高生产效率,可选择较高的进给速度。一般在 $100 \sim 200\text{mm/min}$ 范围内选取。

② 在切断、加工深孔或用高速钢刀具加工时,宜选择较低的进给速度,一般在 $20 \sim 50\text{mm/min}$ 范围内选取。

③ 当加工精度、表面结构要求较高时,进给速度应选小些,一般在 $20 \sim 50\text{mm/min}$ 范围内选取。

④ 刀具空行程时,特别是远距离“回零”时,可以设定为该机床数控系统设定的最高进给速度。

进给速度包括纵向进给速度和横向进给速度,其计算公式为

$$v_f = n f$$

式中 v_f ——进给速度,单位为 mm/min ;

f ——进给量,单位为 mm/r ;

n ——主轴的转速,单位为 r/min 。

式中的进给量,粗车时一般取为 $0.3 \sim 0.8\text{mm/r}$,精车时常取 $0.1 \sim 0.3\text{mm/r}$,切断时常取 $0.05 \sim 0.2\text{mm/r}$ 。

8. 对刀点和换刀点的确定

数控加工中的对刀与普通机床或专用机床中的对刀有所不同,普通机床或专用机床中的对刀只是找正刀具与加工面间的位置关系,而数控加工中的对刀本质是建立工件坐标系,确