



普通高等学校职业教育教改示范教材

数控加工与编程

张安全 主编 魏杰 主审

 中国轻工业出版社

普通高等学校职业教育教改示范教材

数控加工与编程

张安全 主编

魏 杰 主审

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工与编程/张安全主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2005. 7

普通高等学校职业教育教改示范教材

ISBN 7-5019-4966-2

I. 数… II. 张… III. 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 065690 号

内容简介: 本书介绍数控加工与编程的基本概念和原理, 重点介绍了日本 FANUC 系统、德国西门子系统、华中数控系统的加工与编程特点, 分车床、铣床、加工中心三部分介绍了数控机床的编程与操作要领, 还详细叙述数控机床的宏指令编程方法, 每章的理论教学与实训按二比一设计, 理论教学按实例进行典型零件的编程, 实践教学则以典型零件的程序进行加工, 每个程序均在相应的数控机床上校验通过。

学时: 约 102 学时

责任编辑: 王 淳

策划编辑: 王 淳

责任终审: 孟寿萱

封面设计: 邱亦刚

版式设计: 马金路

责任校对: 李 靖

责任监印: 胡 兵

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 天津市蓟县宏图印务有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.75

字 数: 410 千字

书 号: ISBN 7-5019-4966-2/TP·076 定价: 34.00 元

读者服务部邮购热线电话: 010--65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010--65141375 65128898

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

50353J4X101ZBW

前 言

本教材编写中,从生产实际对数控加工与编程人员的要求出发,依据“以能力为本,培养智能型操作人员”的原则,全面系统地介绍了数控加工与编程的基本知识,突出理论与实际的联系,强化技能培训,围绕理论教学与实训之比为二比一的思想,在组织材料和实例运用上把握理论与实践的切入点,便于自学,由浅入深,使读者能较好地掌握数控加工与编程的基本理论与基本技能。本教材具有如下特点:

1. 教材取材以 2004 年湖北省数控大赛提供的资料为主要参考资料;
2. 教材中的实训课题围绕着能力和技能进行选题;
3. 教材中的程序都选自参赛选手的练习和比赛程序;

4. 本教材自始至终贯穿着理论指导实训、实训验证理论的思想,使理论教学与实践教学有机地结合在一起。

全书分六章,第一章是数控加工基础,从数控加工与编程的特点出发,详细讲述了数控加工的工艺基础;第二章是数控编程基础,详细讲述了数控编程时的基本概念和基础知识;第三章是数控车床的加工与编程,在讲述了数控车床的基本指令后,还介绍了 FANUC Oi 数控车床的基本操作与编程、SIEMENS802D 数控车床的基本操作与编程、华中世纪星数控车床的基本操作与编程、典型零件的车削编程与加工;第四章是数控铣床的加工与编程,在讲述了数控铣床的基本指令后,还介绍了 FANUC Oi 数控铣床的基本操作与编程、SIEMENS802D 数控铣床的基本操作与编程、华中世纪星数控铣床的基本操作与编程、典型零件的铣削编程与加工;第五章是加工中心的加工与编程,讲述了 FANUC 数控加工中心的基本操作与编程、SIEMENS 数控加工中心的基本操作与编程、华中世纪星数控加工中心的基本操作与编程、典型零件在加工中心上的编程与加工;第六章是宏指令编程,讲述了 FANUC 系统宏指令的编程与加工、SIEMENS 系统宏指令的编程与加工、华中世纪星系统宏指令的编程与加工。本教材从培养数控技能型人才的角度出发,在内容安排上,以理论够用、凸现技能、强化动手为原则。每章都安排有实训课题并附有习题与思考题。每个实训课题既是运用理论和消化理论的知识点,又是技能训练点,还是不断提高动手能力的阶梯。

本教材由湖北轻工职业技术学院张安全同志编写第一章、第三章和第四章,由湖北轻工职业技术学院张建平老师编写第二章、第五章和第六章,全书由张安全老师统稿,辽宁信息职业技术学院魏杰老师主审,王瑞、高波、杨文、黄冬梅、黄定明、葛飞、黄益华、吕思科、姚永刚、张江城、吕众、诸葛晓舟、马彪、张平泽、张焕、周曲珠等老师为此书的编写提出建议和提供资料,在此谨向他们表示感谢。

参加本教改教材编写的院校有:湖北轻工职业技术学院、湖北宜昌职业技术学院、哈尔滨职业技术学院、辽宁信息职业技术学院、辽宁机电职业技术学院、辽宁石油化工大学职业技术学院、辽阳职业技术学院、陕西职业技术学院、河南机电高等专科学校、郑州牧业工程高等专科学校、绵阳职业技术学院、四川机电职业技术学院、四川交通职

业技术学院、苏州工业园区职业技术学院、苏州经贸职业技术学院。

注意：读者如在本书中发现有错误或不妥，可与中国轻工业出版社王淳编辑联系，以便我们及时进行修订，通信方式电子信箱：wchun12@163.com

编者

2005 年 6 月

目 录

第一章 数控加工基础	1
第一节 数控加工工艺概述	1
第二节 数控加工工艺分析	4
第三节 典型零件的数控加工工艺	18
第四节 数控加工基础实训	32
实训课题一 安全操作规程与数控零件工艺分析	32
思考与练习题	37
第二章 数控编程基础	40
第一节 数控编程概述	40
第二节 数控机床的坐标系	42
第三节 数控加工零件程序的结构	47
第四节 数控程序编制过程中的数值计算	53
第五节 数控编程基础实训	57
实训课题二 典型数控机床操作界面的认识与手动操作	57
思考与练习题	58
第三章 数控车床的编程与加工	61
第一节 控制车床功能的基本指令	61
第二节 控制车削的基本指令	62
第三节 FANUC Oi 系统数控车床编程与加工	94
第四节 SIEMENS 802D 系统数控车床编程与加工	108
第五节 华中世纪星系统数控车床编程与加工	129
第六节 典型车削零件的编程与加工	147
第七节 数控车床的编程与加工实训	151
实训课题三 车削对刀与 MDI 加工	151
实训课题四 简单轴类零件加工	151
实训课题五 多刀轴类零件加工	153
实训课题六 综合车削加工	153
思考与练习题	154
第四章 数控铣床的编程与加工	159
第一节 控制铣床功能的基本指令	159
第二节 控制铣削的基本指令	160
第三节 FANUC Oi 系统数控铣床编程与加工	198
第四节 SIEMENS 802D 系统编程与加工举例	212

第五节 华中世纪星系统编程与加工举例·····	227
第六节 典型铣削零件的编程与加工综合举例·····	243
第七节 数控铣削加工实训·····	248
实训课题七 铣削对刀与 MDI 加工 ·····	248
实训课题八 平面曲线铣削·····	249
实训课题九 带刀补的平面轮廓加工·····	250
实训课题十 简化编程指令应用·····	250
实训课题十一 孔加工·····	251
实训课题十二 综合应用·····	252
思考与练习题·····	253
第五章 加工中心的编程与加工 ·····	259
第一节 数控加工中心概述·····	259
第二节 加工中心的编程·····	265
第三节 加工中心的操作·····	279
第四节 加工中心编程与加工综合应用举例·····	287
第五节 加工中心编程与加工实训·····	310
实训课题十三 加工中心的基本操作·····	310
实训课题十四 加工中心的对刀与换刀操作·····	311
实训课题十五 简单零件的加工·····	313
实训课题十六 综合应用·····	313
思考与练习题·····	314
第六章 宏指令编程 ·····	318
第一节 FANUC 系统宏指令编程·····	318
第二节 SIEMENS 系统宏程序应用·····	330
第三节 华中数控宏指令编程·····	331
第四节 宏指令编程实训·····	339
实训课题十七 宏指令应用·····	339
思考与练习题·····	340
参考文献 ·····	342

第一章 数控加工基础

第一节 数控加工工艺概述

数控加工就是将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式，编成程序代码输入到数控机床的控制系统中，再由其进行运算处理后转换成驱动伺服机构的指令信号，从而控制数控机床各执行部件协调动作，自动地加工出零件来。

一、数控加工的特点

(一) 数控机床加工的特点

1. 适应性强

数控机床的一个运动方向定义为一个坐标轴，数控机床能实现多个坐标轴的联动，所以数控机床能完成复杂型面的加工，特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件，加工非常方便。并且同一台数控机床，在加工不同的零件时，只需变换加工程序、调整刀具参数等，不必用凸轮、靠模、样板或其它模具等专用工艺装备，且可采用成组技术的成套夹具。因此，零件生产的准备周期短，有利于机械产品的迅速更新换代，特别适合多品种、中小批量和复杂型面的零件加工。所以，数控机床的适应性非常强。

2. 加工质量稳定

对于同一批零件，由于使用同一类数控机床和刀具及同一个加工程序，刀具的运动轨迹完全相同，且数控机床是根据数控程序自动地进行加工，可以避免人为的误差，这就保证了零件加工的一致性且质量稳定。

3. 生产效率高

数控机床跟普通机床相比较，其刚度大，功率大，主轴转速和进给速度范围大且为无级变速，所以每道工序都可选择较大而合理的切削用量，减少了机动时间。

数控机床加工可免去零件加工过程中的划线工作。数控机床加工的空行程速度大大高于普通机床，缩短了刀具快进、快退的时间。数控机床的定位精度、加工精度较稳定，一般省去加工过程中的中间检验，而只作关键工序间的尺寸抽样检验，减少了停机检验时间。

数控车床和加工中心能一次装夹，自动换刀加工，缩短了辅助加工时间。所以，数控机床比普通机床的生产效率高。数控机床的时间利用率高达 90%，而普通机床仅为 30%~50%。

4. 加工精度高

数控系统每输出一个脉冲，机床移动部件的移动量称为脉冲当量。数控机床的脉冲当量一般为 0.001 mm，高精度的数控机床可达 0.0001 mm，其运动分辨率远高于普通

机床。另外，数控机床具有位置检测装置，可将移动部件的实际位移量或滚珠丝杆、伺服电机的转角反馈到数控系统中，并由数控系统自动进行补偿。因此数控加工可获得比机床本身精度还高的加工精度，所以零件加工尺寸的精度高。

5. 工序集中，一机多用

数控机床特别是带自动换刀的数控加工中心，在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工工序，一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省机加工车间的占地面积，带来较高的经济效益。

6. 减轻劳动强度

在输入数控程序并启动机床后，数控机床就自动地连续加工，直至零件加工完毕。只要对操作人员进行了专门的培训，操作人员只是观察机床的运行，这样就使工人的劳动强度大大降低。

7. 易于建立与计算机间的通信联络，容易实现群控

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，易于建立与计算机间的通信联络，一台计算机可以控制多台数控机床，容易实现群控。

(二) 数控加工零件的特点

在数控机床上加工的零件，可以是普通零件，但更多的零件是普通机床加工起来具有一定的难度或对操作人员的技术水平有相当高的要求，一般在数控机床上加工的零件有如下的特点：

- ① 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件、短期急需的零件。
- ② 轮廓形状复杂，对加工精度要求较高的零件。
- ③ 用普通机床加工较困难或无法加工（需昂贵的工艺装备）的零件。
- ④ 价值昂贵，加工中不允许报废的关键零件。

(三) 数控加工工艺的特点

由于数控加工是利用程序进行加工，因此，数控加工工艺就必须有利于数控程序的编写并体现数控加工的特点，一般数控加工工艺具有如下的特点：

- ① 数控加工工艺要充分考虑编程的要求。
- ② 数控加工工艺中工序相对集中，因此，工件各部位的数控加工顺序可能与普通机床上的加工顺序有很大区别。数控工艺规程中的工序内容要求特别详细。如加工部位、加工顺序、刀具配置与使用顺序，刀具加工时的对刀点、换刀点及走刀路线、夹具及工件的定位与安装、切削参数等，都要清晰明确，数控加工工艺中的工序内容比普通机床加工工艺中的工序内容详细得多。

二、数控加工工艺的主要内容

① 分析加工零件的图纸，明确加工内容及技术要求，并根据数控编程的要求对零件图作数学处理。

② 制定数控加工路线，确定数控加工方法。

③ 确定工件的定位与装夹方法，确定刀具、夹具。

- ④ 调整数控加工工序，如对刀点、换刀点的选择、刀具的补偿等。
- ⑤ 分配数控加工中的加工余量，确定各工序的切削参数。
- ⑥ 填写数控加工工艺卡片。
- ⑦ 填写数控加工刀具卡片。
- ⑧ 绘制各道工序的数控加工路线图。

三、常用的数控加工方法

（一）平面孔系零件

常用点位、直线控制数控机床（如数控钻床）加工，选择加工方法时，主要考虑加工精度和加工效率两个原则，即：用什么加工方法能保证零件的加工精度，用什么加工方法能提高零件的加工效率。

（二）旋转体类零件

常用数控车床或数控磨床加工。选择加工方法时，主要考虑加工效率和刀尖强度两个原则。

1. 考虑加工效率

在车床上加工时，通常加工余量大，必须合理安排粗加工路线，以提高加工效率。实际编程时，一般不宜采用循环指令（否则，以工进速度的空刀行程太大）。比较好的方法是用粗车尽快去除材料，再精车。

2. 考虑刀尖强度

数控车床上经常用到低强度刀具加工细小凹槽，在确定加工方法时必须考虑选用刀具的刀尖强度。

（三）平面轮廓零件

常用数控铣床加工。选择加工方法时，主要考虑加工精度和加工效率两个原则，在确定加工方法时应注意：

1. 刀具的切入与切出方向的控制

如在图 1-1 中，铣削菱形，刀具沿切削边 A_1B 的延长线方向切入、沿切削边 DD_1 的延长线方向切出，工件表面轮廓光滑。如果刀具不是沿切削边的延长线方向切入、切出，则在工件表面轮廓上会留下刀具切削的痕迹。

2. 一次逼近方法的选择

用微小直线段或圆弧段逼近非圆曲线轮廓的方法称为一次逼近。在只具有直线和圆弧插补功能的数控铣床上加工非圆曲线轮廓时，微小直线段或圆弧段与被加工轮廓之间的误差称为一次逼近误差，选择一次逼近方法时，应该使工件的轮廓误差在合格范围内，同时程序段的数量少为佳。

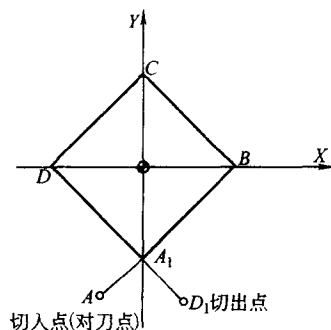


图 1-1 刀具切入与切出方向

（四）立体轮廓零件

常用多坐标轴联动数控机床（加工中心）加工。选择加工方法时，主要考虑加工精

度和加工效率两个原则，在确定加工方法时应考虑：

① 工件强度及表面质量：立体轮廓零件上的强度薄弱部位，常常难以承受粗加工时的切削量，同时对表面质量要求高的部位要采取相应的工艺措施。

② 机床的插补功能。

四、数控机床的合理使用

数控机床是高精度、高效率的加工母机。合理使用数控机床，有利于最大限度地发挥数控机床的功效。

数控机床的正常使用条件为：数控机床所处位置的电源电压波动小，环境温度低于 30°C ，相对湿度小于 80% 。

1. 机床位置环境要求

机床的位置应远离振源、应避免阳光直接照射和热辐射的影响，避免潮湿和气流的影响。如机床附近有振源，则机床四周应设置防振沟，否则将直接影响机床的加工精度及稳定性，并且将使数控系统中的电子元件因受振动而接触不良，发生故障，降低机床的可靠性。

2. 电源要求

一般数控机床安装在机加工车间，不仅环境温度变化大，使用条件差，而且各种机电设备多，致使电网电压波动大。因此，安装数控机床的位置，需要对电源电压有严格控制。电源电压波动必须在数控机床允许的范围内，并且保持相对稳定，否则会影响数控系统的正常工作。

3. 温度条件

一般来说，数控电控箱内部设有排风扇或冷风机，以保持电子元件，特别是中央处理器工作温度恒定或温差变化很小。过高的温度和湿度将导致控制系统的元件寿命降低，并导致故障增多。温度和湿度的增高，灰尘增多会在集成电路板上产生粘结，并导致短路，降低数控系统的寿命。

4. 按说明书的规定使用数控机床

用户在使用数控机床时，不允许随意改变控制系统内制造厂设定的参数。这些参数的设定直接关系到数控机床各部件的动态特征。数控系统中的参数只有间隙补偿参数值可根据实际情况予以调整。

用户不能随意更换机床附件，如使用超出说明书规定的液压卡盘等。数控机床制造厂在设置附件时，充分考虑了各项环节参数的匹配。盲目更换数控机床附件会造成各环节参数的不匹配，甚至造成估计不到的事故。

使用液压卡盘、液压刀架、液压尾座、液压缸的压力，都应在许用压力范围内，不允许任意提高。

第二节 数控加工工艺分析

制订数控加工工艺是数控加工的前期工艺准备工作。数控加工工艺贯穿于数控程序

中,数控加工工艺制订的合理与否,对程序的编制、机床的加工效率和零件的加工精度都有重要影响。因此,应遵循一般的工艺原则并结合数控加工的特点认真而详细地分析零件的数控加工工艺。

一、零件图的工艺分析

分析零件图是工艺制订中的首要工作,它主要包括以下内容:

(一) 零件结构工艺性分析

零件结构工艺性是指零件对加工方法的适应性,即所分析的零件结构应便于加工成型。在进行零件结构分析时,若发现零件的结构不合理等问题应向设计人员或有关部门提出修改意见。

例 1-1: 零件结构工艺性分析。在图 1-2 中,一个槽的槽宽为 4mm,一个槽的槽宽为 5mm;一个槽的槽宽为 3mm,均不相等,三个槽的槽深也不相等,这给数控编程和加工增加了难度,如果不影响零件的强度和使用,建议把三个槽宽和三个槽深修改成一样的尺寸。

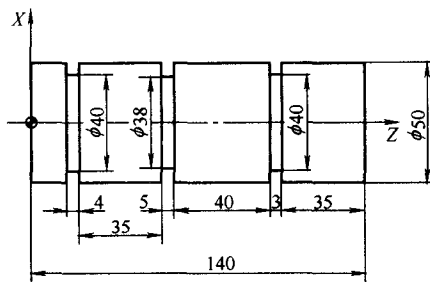


图 1-2 零件的结构工艺性分析

(二) 轮廓几何要素分析

零件轮廓是数控加工的最终轨迹,也是数控编程的依据。在手工编程时,要计算零件轮廓上每个基点的坐标,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,要分析零件轮廓的几何元素的给定条件是否充分。由于设计等多方面的原因,可能在图样上出现构成零件加工轮廓的条件不充分,尺寸模糊不清及缺陷,增加了编程工作的难度,有的甚至无法编程。

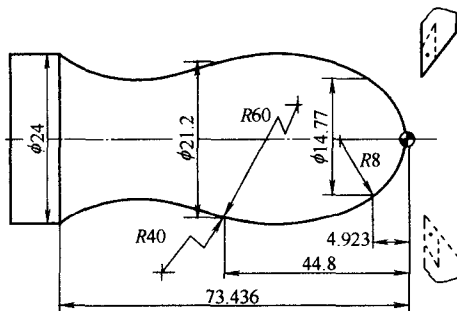


图 1-3 轮廓几何要素分析

例 1-2: 轮廓几何要素分析。在手柄零件轮廓图 1-3 中, R8 的球面和 R60 的弧面相切,要确定切点,必须通过计算求出切点的位置,如图中的 $\phi 14.77$ 和 4.923,否则,不能编程。同理, R60 的弧面和 R40 的弧面的相切点,也必须通过计算求出切点的位置,如图中的 $\phi 21.2$ 和 44.8,

R40 的弧面和 $\phi 24$ 的外圆柱相交,也要通过计算求出交点的位置,如图中的 $\phi 24$ 和 73.436,只有这样,手工编程才能顺利进行。

分析轮廓要素时,以能在 AutoCAD 上准确绘制的轮廓为充分条件。

(三) 精度及技术要求分析

对被加工零件的精度及技术要求进行分析,是零件工艺性分析的重要内容,只有在分析零件尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度的基础上,才能对加工方法、装

夹方式、刀具及切削用量进行正确而合理的选择。

精度及技术要求分析主要包括以下内容：

- (1) 分析精度及各项技术要求是否齐全、是否合理；
- (2) 分析每道工序的加工精度能否达到图样要求，若达不到，需采取其它措施（如磨削）弥补的话，则应给后续工序留有余量；
- (3) 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；
- (4) 对表面粗糙度要求较高的表面，应确定相应的工艺措施（如磨削）。

(四) 零件图的数学处理

零件图的数学处理主要是计算零件加工轨迹的尺寸，即计算零件加工轮廓的基点和节点的坐标，或刀具中心轮廓的基点和节点的坐标，以便编制加工程序。

1. 基点坐标的计算

(1) 基点的含义 构成零件轮廓的不同几何素线的交点或切点称为基点。基点可以直接作为刀具切削的起点或终点。

(2) 基点坐标计算的内容 刀具切削过程中每条运动轨迹的起点和终点在选定的工件坐标系中的坐标值，刀具切削圆弧时的圆心坐标值。

基点坐标计算的方法比较简单，一般可根据零件图样所给的已知条件用人工完成。即依据零件图样上给定的尺寸运用代数、三角、几何或解析几何的有关知识，直接计算出数值。在计算时，要注意小数点后的位数要留够，以保证在数控加工后有足够的精度。

2. 节点坐标的计算

对于一些平面轮廓是非圆曲线方程 $Y=F(X)$ 组成，如渐开线、阿基米德螺线等，只能用能够加工的微小直线段和圆弧段去逼近它们。这时数值计算的任务就是计算节点的坐标。

(1) 节点的定义 当采用不具备非圆曲线插补功能的数控机床来加工非圆曲线轮廓的零件时，在加工程序的编制工件中，常用多个微小直线段和圆弧段去近似代替非圆曲线，这称为拟合处理。这些微小直线段和圆弧段称为拟合线段，拟合线段的交点或切点称为节点。

(2) 节点坐标的计算 节点坐标的计算难度和工作量都较大，通常由计算机完成，必要时也可由人工计算，常用的有直线逼近法（等间距法、等步长法和等误差法）和圆弧逼近法，求出所有节点的坐标值。

有人用 AutoCAD 绘图，然后捕获节点的坐标值，在精度允许的范围内，这也是一个简易而有效的方法。

二、数控加工工艺的制订

在进行零件图的工艺分析之后，制订数控加工工艺时，要确定工序的划分、各工序间的加工余量、加工路线、工件的定位、安装与夹具的选择、刀具的选择、对刀点与换刀点的确定、切削用量的选择、加工方案的确定等等。

(一) 数控加工工序的划分

划分数控加工工序时推荐遵循以下原则：

1. 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，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、尺寸精度和表面粗糙度的影响，应将粗、精加工分开进行。对既有内表面（内型、腔），又有外表面需加工的零件，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，再加工其它表面（内表面或外表面），以保证工件的表面质量要求。同时，对一些箱体零件，为保证孔的加工精度，应先加工表面而后加工孔。遵循保证精度的原则，实现上就是以零件的精度为依据来划分数控加工的工序。

2. 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，应将需用同一把刀加工的部位全部加工完成后，再换另一把刀来加工其它部位，同时应尽量减少刀具的空行程。用同一把刀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，实现上就是以加工效率为依据来划分数控加工的工序。

实际中，数控加工工序要根据具体零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

（二）加工余量的确定

加工余量是指毛坯实体尺寸与零件（图纸）尺寸之差。加工余量的大小对零件的加工质量和制造的经济性有较大的影响。余量过大会浪费原材料及机械加工工时，增加机床、刀具及能源的消耗；余量过小则不能消除上道工序留下的各种误差、表面缺陷和本工序的装夹误差，容易造成废品。因此，应根据影响余量的因素合理地确定加工余量。一般零件的加工通常要经过粗加工、半精加工、精加工才能达到最终的精度要求。因此，零件总的加工余量应等于各中间工序加工余量之和。

1. 加工余量的确定原则

（1）采用最小加工余量原则，以求缩短加工时间，降低零件的加工费用。

（2）用最小加工余量应能防止造成废品。

2. 确定加工余量时还应考虑的情况

用最小加工余量时，由于零件的大小不同，切削力、内应力引起的变形也会有差异，工件大，加工过程中的变形增加，加工余量相应地应大一些。零件热处理时也会引起变形，应适当增大加工余量。

3. 确定零件加工余量的方法

（1）查表法 这种方法是根据各工厂的生产实践和实验研究积累的数据，先制成各种切削条件下的加工余量表，再汇集成手册。确定加工余量时查阅这些手册，再结合工厂的实际情况进行适当修改。目前我国各工厂普遍采用查表法来确定零件的加工余量。

（2）经验估算法 这种方法是根据工艺编制人员的实际经验来确定加工余量。一般情况下，为了防止因余量过小而产生废品，经验估算法的加工余量数值总是偏大。经验估算法常用于单件小批量生产。

（3）分析计算法 这种方法是根据一定的试验资料数据和加工余量计算公式，分析

影响加工余量的各项因素,通过计算确定零件的加工余量。这种方法比较合理,但必须有比较全面和可靠的试验资料数据,计算工作量较大。

(三) 加工路线的确定

1. 加工方法的选择

在数控机床上加工零件,一般有以下两种情况:

一是有零件图样和毛坯,要选择适合加工该零件的数控机床;

二是已经有了数控机床,要选择适合该机床加工的零件。

无论哪种情况,都应根据零件的种类和加工内容选择合适的数控机床和加工方法。

(1) 机床的选择 数控车床适合于加工形状比较复杂的轴类零件和由复杂曲线回转形成的模具内型腔;立式数控铣床适合于加工平面凸轮、样板、形状复杂的平面或立体零件,以及模具的内、外型腔等;卧式数控铣床适合于加工箱体、泵体、壳体类零件;多坐标轴联动的加工中心则可以用于加工各种复杂的曲线、曲面、叶轮、模具等。

(2) 粗、精加工的选择 只经过粗加工的表面,尺寸精度可达 IT12~IT14 级,表面粗糙度 (R_a 值) 可达 12.5~50 μm 。

经粗、精加工的表面,尺寸精度可达 IT7~IT9 级,表面粗糙度 R_a 值可达 1.6~3.2 μm 。

(3) 孔加工方法的选择 孔加工的方法比较多,有钻孔、扩孔、铰孔和镗孔等。大直径的孔还可采用圆弧插补方式进行铣削加工。

对于直径大于 $\phi 30\text{mm}$ 且已铸出或锻出毛坯孔的孔加工,一般采用粗镗→半精镗→孔口倒角→精镗的加工方案。

大直径孔可采用立铣刀粗铣→精铣的加工方案。

对于直径小于 $\phi 30\text{mm}$ 的无毛坯孔的孔加工,通常采用铹平端面→打中心孔→钻孔→扩孔→孔口倒角→铰孔的加工方案。

有同轴度要求的小孔,通常采用铹平端面→打中心孔→钻孔→半精镗→孔口倒角→精镗(或铰)的加工方案。为提高孔的位置精度,在钻孔工步前推荐安排铹平端面和打中心孔工步。孔口倒角安排在半精加工之后、精加工之前,以防孔内产生毛刺。

(4) 内螺纹的加工 螺纹的加工根据孔径大小而定,一般情况下,直径在 M5~M20 mm 之间的螺纹,通常采用攻螺纹的方法加工。直径在 M6 mm 以下的螺纹,通常在加工中心上完成底孔加工后,再用其它方法攻螺纹。因为在加工中心上攻螺纹不能随机控制加工状态,小直径丝锥容易折断。直径在 M25mm 以上的螺纹,可采用镗刀片镗削加工。

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,因而在实际选择加工方法时,要结合零件的形状、尺寸和热处理要求全面考虑。例如,对于 IT7 级精度的孔采用镗孔、铰孔、磨孔等方法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。一般小尺寸的箱体孔选择铰削,当孔径较大时则应选择镗削。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。

2. 加工路线的确定

在数控加工中，刀具（严格说是刀位点）相对于工件的运动轨迹称为加工路线。即刀具从对刀点开始运动起，直至加工程序结束所经过的路径，包括切削加工的路径和刀具快退及刀具引入、返回等非切削空行程。

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，走刀路线尽量短，效率较高等。

下面举例分析数控机床加工零件时常用的加工路线。

例 1-3：车圆锥的加工路线

在数控车床上车外圆锥，假设圆锥大径为 D ，小径为 d ，锥长为 L ，车圆锥的加工路线如图 1-4 所示。

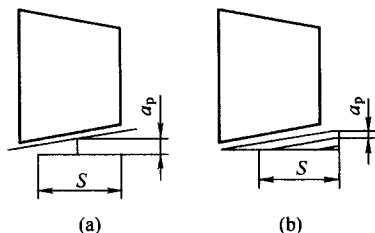


图 1-4 车圆锥的加工路线

按图 1-4 (a) 的阶梯切削路线，二刀粗车，最后一刀精车；二刀粗车的终刀距 S 要作精确的计算，可由相似三角形得：

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L} = \frac{\left(\frac{D-d}{2}\right) - a_p}{S}$$

$$S = \frac{L \left[\frac{D-d}{2} - a_p \right]}{\frac{D-d}{2}}$$

此种加工路线，粗车时，刀具背吃刀量相同，但精车时，背吃刀量不同；同时刀具切削运动的路线最短。

按图 1-4 (b) 的相似斜线切削路线，也需计算粗车时的终刀距 S ，同样由相似三角形可计算得：

$$\frac{\frac{D-d}{2}}{L} = \frac{a_p}{S}$$

$$S = \frac{L \times a_p}{\frac{D-d}{2}}$$

按此种加工路线，粗、精车时，刀具背吃刀量相同，刀具切削运动的距离较短。

车圆锥的两种加工路线均适合于手工编程。

例 1-4：车圆弧的加工路线

车圆弧时，若用一刀粗车就把圆弧加工出来，这样吃刀量太大，容易打刀。所以，实际车圆弧时，需要多刀加工，先用粗车将大部分余量切除，最后才精车所需圆弧。

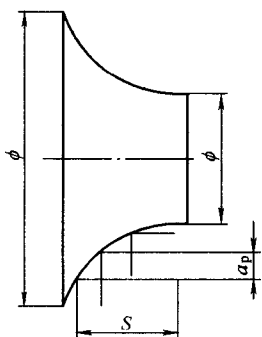


图 1-5 车圆弧的阶梯切削路线

图 1-5 为车圆弧的阶梯切削路线。即先粗车成阶梯形状，最后一刀精车出圆弧。此方法在确定了每次车削

的背吃刀量 a_p 后, 须精确计算出粗车的终刀距 S , 即求圆弧与直线的交点。此方法刀具切削运动距离较短, 但数值计算较繁。

图 1-6 为车圆弧的同心圆弧切削路线。即用不同的半径圆来车削, 最后将所需圆弧加工出来。此方法在确定了每次车削的背吃刀量 a_p 后, 对 90° 圆弧的起点、终点坐标较易确定, 数值计算简单, 编程方便, 经常采用。但按图 1-6 (b) 加工时, 刀具的空行程时间较长。

图 1-7 为车圆弧的车锥法切削路线。即先车一个圆锥, 再车圆弧。此时要注意车圆锥时的起点和终点的确定, 若确定不好, 则可能损坏圆弧表面, 也可能将余量留得过大。

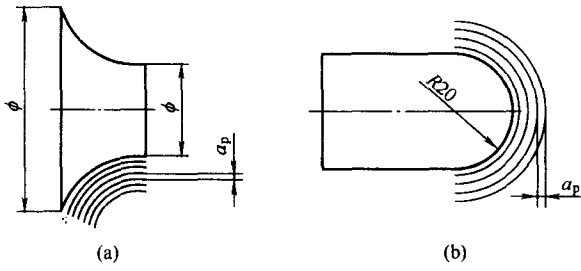


图 1-6 车圆弧的同心圆弧切削路线

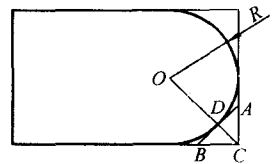


图 1-7 车圆弧的车锥法切削路线

确定车圆锥时的起点和终点的方法如图 1-7 所示, 连接 OC 交圆弧于 D , 过 D 点作圆弧的切线 AB 。由几何关系 $CD=OC-OD=\sqrt{2}R-R=0.414R$ 知, CD 为车圆锥时的最大切削余量, 即车圆锥时, 加工路线不能超过 AB 线。由图示关系, 可得 $AC=BC=0.586R$, 这样可确定出车圆锥时的起点和终点。当 R 不太大时, 可取 $AC=BC=0.5R$ 。此方法数值计算较繁, 刀具切削路线短。

在手工编程中常用同心圆弧加工路线来车圆弧。

例 1-5: 车螺纹时的加工路线和轴向进给距离

车螺纹时, 刀具沿螺纹方向的进给应与工件主轴旋转保持严格的速比关系。考虑到

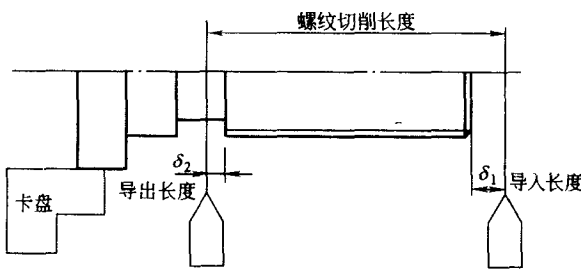


图 1-8 车螺纹时的轴向进给距离

刀具从停止状态加速到指定的进给速度或从指定的进给速度降至零时, 驱动系统有一个过渡过程。因此, 刀具沿轴向进给的加工路线长度, 除保证螺纹加工的长度外, 还应增加 δ_1 ($2\sim5\text{mm}$) 的刀具引入距离和 δ_2 ($1\sim2\text{mm}$) 的刀具切出距离, 如图 1-8 所示, 以保证螺纹切削时, 在升速完成

后才使刀具接触工件, 在刀具离开工件后再开始降速。

例 1-6: 轮廓铣削的加工路线

对于连续铣削轮廓, 特别是加工圆弧轮廓时, 要注意安排好刀具的切入、切出, 要