



高职高专“十一五”规划教材

数控机床编程与加工

朱立初 主编

陈志明 主审

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG YU JIAGONG



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

数控机床编程与加工

朱立初 主编

陈志明 主审

江苏工业学院图书馆
藏书章



化学工业出版社

· 北京 ·

元 00.43 价 定

本书以突出操作技能为主导,立足于应用,在内容组织和编排上,选用了技术先进、占市场份额最大的 FANUC 系统作为典型数控系统进行剖析。从数控机床加工工艺入手,介绍了数控车床、铣床及加工中心的编程与操作;详细介绍了 FANUC Oi 系统数控编程的常用指令格式和各类典型数控机床加工零件的基本编程方法。

本书可作为高职高专院校和中职类数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造等相关专业的教学用书或技能培训用书,也可供有关专业的师生及从事相关工作的工程技术人员参考、培训与自学使用。

本书有配套电子课件,可免费提供给采用本书作为教材的学校使用,如有需要请登录 www.cipedu.com.cn 免费下载。

编主 朱立初

审主 郎志利

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与加工 / 朱立初主编. —北京: 化学工业出版社, 2010.1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-07333-4

I. 数… II. 朱… III. ①数控机床-程序设计-高等学校: 技术学院-教材②数控机床-加工-高等学校: 技术学院-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 228480 号

责任编辑: 王金生 赵文应

装帧设计: 王晓宇

责任校对: 陈 静

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: 北京白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 301 千字 2010 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

前言

随着我国制造业的迅猛发展,数控机床的数量也迅速增加,导致数控技术应用型人才紧缺。据相关资料统计,近年来,数控编程操作类应用人才每年缺口达几十万。如何在较短的时间内培养出一批懂数控技术的高素质技能型人才,是当前高职教育所面临的重大问题。本书从培养应用技术型人才的目的出发,根据生产实际对数控编程与加工人员的要求,兼顾高等教育及职业教育的教学要求进行编写。

本书构思新颖,结构合理,注重理论联系实际,实用性较强。讲解深入浅出,内容丰富,详简得当;既注重先进性又照顾实用性,将加工工艺与数控编程有机地结合在一起,且编程实例丰富,并加以详细的讲解,是一本实用性强、适应面宽的学习及培训教材。本书将数控机床必备的数控加工工艺规程的制订与数控编程有机联系在一起,结合编者在数控加工工艺和数控编程方面的教学经验编写,并有多处内容是作者的独立见解和经验总结。书中所选实例具有一定的代表性,实例经过数控加工仿真系统模拟验证,具有可行性,读者可以举一反三。

本书以突出操作技能为主导,立足于应用,在内容组织和编排上,选用了技术先进、占市场份额最大的 FANUC 系统作为典型数控系统进行剖析。从数控机床加工工艺入手,介绍了数控车床、铣床及加工中心的编程与操作;详细介绍了 FANUC Oi 系统数控编程的常用指令格式和各类典型数控机床加工零件的基本编程方法。全书共分为 6 章,第 1 章为数控机床加工工艺;第 2 章为数控机床加工编程基础;第 3 章为数控车削零件的程序编制;第 4 章为数控铣削零件的程序编制;第 5 章为加工中心的编程与操作;第 6 章为数控电火花线切割加工编程。每章结束后有适量的思考与练习题,便于学生课后复习。

本书可作为高职高专院校和中职类数控技术应用专业、机电一体化专业、机械制造及自动化专业、模具设计与制造等相关专业的教学用书或技能培训用书,也可供有关专业的师生及从事相关工作的工程技术人员参考、培训与自学使用。

为方便教师讲课和学生自学,本书有配套电子课件免费提供给选用本书作为教材的学校使用,有需要的老师或相关人员可登录 www.cipedu.com.cn 下载。

本书由长沙南方职业学院的朱立初任主编,湖南机电职业学院的刘林枝任副主编。第 1 章、第 6 章由刘林枝编写,第 2 章、第 3 章、第 4 章由朱立初编写,第 5 章由长沙南方职业学院的覃志文编写。全书由朱立初负责统稿定稿。华中科技大学的陈志明副教授担任本书主审,湖南大学的熊高荣为此书的编写提出了许多宝贵意见和建议。

限于编者学识水平和经验,书中难免有不少疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2009 年 10 月

目 录

第1章 数控机床加工工艺	1
1.1 数控机床加工工艺概述	1
1.1.1 数控机床加工的特点	1
1.1.2 数控机床加工工艺的主要内容	2
1.2 数控机床加工工艺的制订	3
1.2.1 零件图工艺分析	3
1.2.2 工序的划分	4
1.2.3 加工路线的确定	5
1.2.4 工件的定位、安装与夹具的选择	7
1.2.5 刀具的选择	7
1.2.6 切削用量的选择	10
1.3 典型零件的数控车削加工工艺	12
1.3.1 数控车削的主要加工对象	12
1.3.2 数控车削零件的加工工艺	13
1.4 典型零件的数控铣削加工工艺	18
1.4.1 数控铣削的主要加工对象	18
1.4.2 数控铣削零件的加工工艺	19
本章小结	22
思考与练习题	22
第2章 数控机床加工编程基础	24
2.1 数控编程概述	24
2.1.1 数控编程的概念	24
2.1.2 数控编程的方法	24
2.1.3 数控编程的内容及步骤	25
2.2 数控机床的坐标系统	26
2.2.1 机床坐标轴及运动方向	26
2.2.2 机床坐标轴的确定	27
2.2.3 机床坐标系、工件坐标系	28
2.2.4 刀位点、对刀点、换刀点	31
2.2.5 绝对坐标编程与增量坐标编程	31
2.3 数控加工零件程序的结构	32
2.3.1 零件程序的结构	32
2.3.2 零件程序段格式	32
2.4 数控编程的数值计算	36
2.4.1 基点坐标的计算	37

2.4.2 节点坐标的计算	37
2.4.3 数控编程的辅助计算	38
本章小结	39
思考与练习题	40
第3章 数控车削零件的程序编制	42
3.1 数控车床的编程特点	42
3.2 数控车床编程的基本指令	42
3.2.1 单位设定 G 指令	42
3.2.2 辅助功能 M 指令	43
3.2.3 坐标系设定 G 指令	44
3.2.4 刀具定位 G 指令	45
3.2.5 简单车削 G 指令的编程与加工	47
3.2.6 子程序指令 M98、M99	58
3.3 车削循环切削指令的编程与加工	60
3.3.1 单一固定循环切削指令	60
3.3.2 复合循环切削指令	65
3.4 刀具补偿功能	74
3.4.1 刀具的几何补偿和磨损补偿	74
3.4.2 刀尖圆弧半径自动补偿指令	75
3.5 FANUC Oi 系统数控车床的编程与加工综合应用	78
3.5.1 轴类零件的数控车削编程加工实例	78
3.5.2 轴套类零件的数控车削编程加工实例	80
本章小结	84
思考与练习题	84
第4章 数控铣削零件的程序编制	87
4.1 数控铣床的分类与编程特点	87
4.1.1 数控铣床的分类	87
4.1.2 数控铣床的编程特点	89
4.2 数控铣床编程的基本指令	89
4.2.1 单位设定 G 指令	89
4.2.2 进给速度控制指令	90
4.2.3 关于直角坐标与极坐标的指令	92
4.2.4 关于坐标系与坐标平面的指令	94
4.2.5 刀具定位 G 指令	97
4.2.6 铣削 G 指令的编程与加工	100
4.2.7 子程序指令 M98、M99	104
4.3 刀具补偿功能	105
4.3.1 刀具长度补偿	105
4.3.2 刀具半径补偿	107
4.4 简化编程指令的编程与加工	109

4.4.1	比例缩放 G51、G50	109
4.4.2	坐标系旋转 G68、G69	111
4.4.3	可编程镜像 G51.1、G50.1	112
4.5	孔加工固定循环	114
4.5.1	孔加工的动作	114
4.5.2	固定循环编程通用格式	114
4.5.3	固定循环的加工方式说明	115
4.5.4	固定循环编程使用时注意事项	123
4.5.5	固定循环编程综合举例	123
4.6	用户宏程序	124
4.6.1	变量	125
4.6.2	算术运算和逻辑运算	125
4.6.3	转移和循环	126
4.6.4	宏程序调用	129
4.6.5	非模态调用 (G65)	129
4.7	FANUC Oi 系统数控铣床的编程与加工综合应用	132
	本章小结	137
	思考与练习题	137

第 5 章	加工中心的编程与操作	141
5.1	加工中心简介	141
5.1.1	加工中心的组成及分类	141
5.1.2	加工中心的刀库及换刀	143
5.2	加工中心的特点	144
5.2.1	加工中心的加工特点	144
5.2.2	加工中心的程序编制特点	145
5.2.3	加工中心的加工对象与特点	145
5.3	加工中心的自动换刀程序	146
5.4	FANUC Oi 系统加工中心编程与加工综合应用	146
5.5	FANUC Oi 系统加工中心的操作	149
5.5.1	机床准备	149
5.5.2	手动操作	150
5.5.3	对刀	150
5.5.4	设置参数	154
5.5.5	数控程序处理	155
5.5.6	程序运行	157
	本章小结	157
	思考与练习题	157

第 6 章	数控电火花线切割加工编程	160
6.1	数控电火花线切割加工概述	160
6.1.1	数控电火花线切割加工原理、特点及应用	160

6.1.2	数控电火花线切割加工工艺指标及影响因素	161
6.2	数控电火花线切割工艺简介	163
6.2.1	数控电火花线切割加工工艺步骤	163
6.2.2	数控电火花线切割典型零件加工工艺分析	172
6.3	数控电火花线切割编程加工	175
6.3.1	ISO 代码程序编制	175
6.3.2	3B 代码格式程序编制	179
	本章小结	181
	思考与练习题	181
	参考文献	184

第1章 数控机床加工工艺

1.1 数控机床加工工艺概述

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。

1.1.1 数控机床加工的特点

(1) 数控机床加工的特点

① 适应性强。

数控机床的每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、样板或其他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画线工作。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, 而只做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 0.001mm, 高精度的数控机床可达 0.0001mm, 甚至更高, 其运动分辨率远远高于普通机床。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。

(2) 数控加工零件的特点

在数控机床上加工的可以是普通零件，但更多的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的零件，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。

(3) 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。

1.1.2 数控机床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。

1.2 数控机床加工工艺的制订

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。

1.2.1 零件图工艺分析

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。

(1) 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。图 1-1 中的三个槽，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。

(2) 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。

【例 1-2】 轮廓几何要素分析。在图 1-2 手柄零件轮廓中，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。

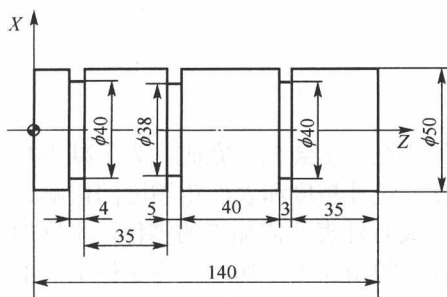


图 1-1 零件的结构工艺性分析

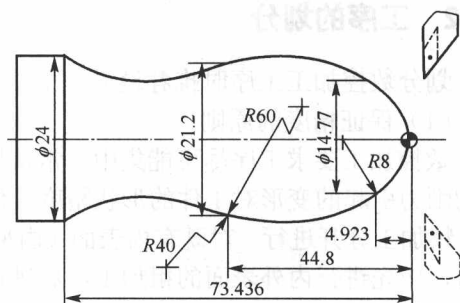


图 1-2 轮廓几何要素分析

(3) 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,需采取其他措施(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)。

(4) 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

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。

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。

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。

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,这也是一个简而易行的方法。

1.2.2 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,再加工其他表面(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,实际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他部位,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,实际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。

1.2.3 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 1-3 所示。

按图 1-3 (a) 的阶梯切削路线,二刀粗车,最后一刀精车。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 1-3 (b) 的相似斜线切削路线,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 1-4 所示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。

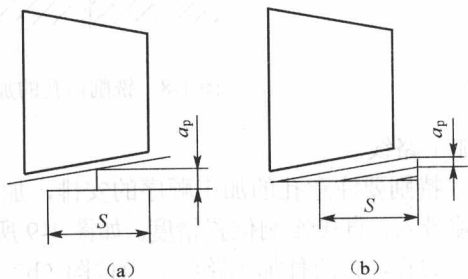


图 1-3 车圆锥的加工路线

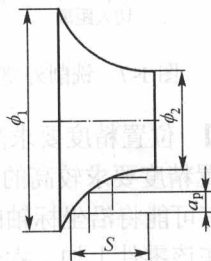


图 1-4 车圆弧的阶梯切削路线

图 1-5 所示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 1-5 (b) 加工时,刀具的空行程时间较长。

图 1-6 所示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。

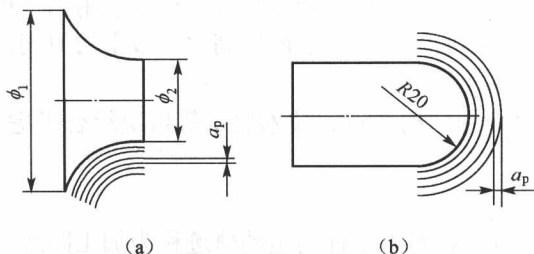


图 1-5 车圆弧的同心圆弧切削路线

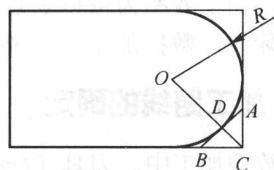


图 1-6 车圆弧的车锥法切削路线

【例 1-5】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，要尽量避免交接处重复加工，否则会出现明显的界限痕迹。如图 1-7 所示，用圆弧插补方式铣削外整圆时，要安排刀具从切向进入圆周铣削加工，当整圆加工完毕后，不要在切点处直接退刀，而让刀具多运动一段直线距离，最好沿切线方向退刀，以免取消刀具补偿时，刀具与工件表面相碰撞，造成工件报废。铣削内圆弧时，也要遵守从切向切入、切出的原则，安排切入、切出过渡圆弧，如图 1-8 所示，设刀具从工件坐标原点出发，其加工路线为 1—2—3—4—5，在 5 点加工完后，刀具回到原点。这样安排可以提高内孔表面的加工精度和质量。

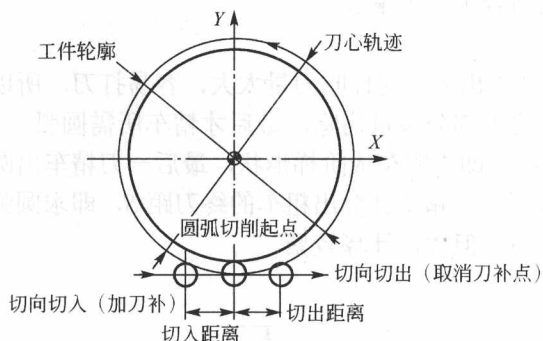


图 1-7 铣削外整圆的加工路线

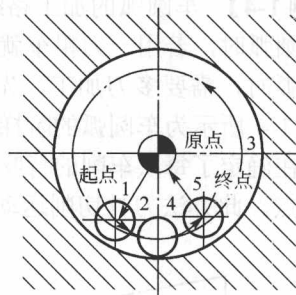


图 1-8 铣削内孔的加工路线

【例 1-6】位置精度要求高的孔系加工路线。

对于位置精度要求较高的孔系加工，特别要注意孔的加工顺序的安排，加工顺序安排不当时，就有可能将沿坐标轴的反向间隙带入，直接影响位置精度。如图 1-9 所示，图 (a) 为零件图，在该零件上加工六个尺寸相同的孔，有两种加工路线。当按图 (b) 所示路线加工时，即加工完 1、2、3、4 孔后再加工 5、6 孔，由于加工 5、6 孔时与加工 1、2、3、4 孔时定位方向相反，在 Y 方向运动时，反向间隙会使定位误差增加，而影响 5、6 孔与其他孔的位置精度。按图 (c) 所示路线，加工完 4 孔后，往上移动一段距离到 P 点，然后再折回来加工 5、6 孔，这样与加工 1、2、3 孔时 Y 方向运动方向一致，可避免反向间隙的引入，提高 5、6 孔与其他孔的位置精度。

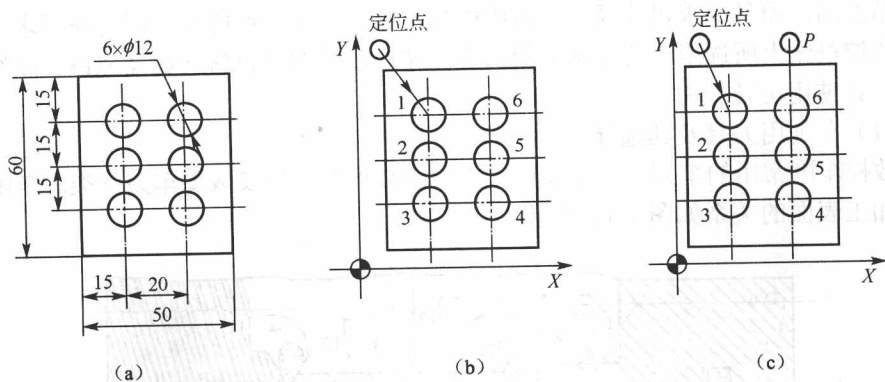


图 1-9 孔加工路线

1.2.4 工件的定位、安装与夹具的选择

为了充分发挥数控机床的高速度、高精度和自动化的效能, 还应有相应的数控夹具进行配合。

(1) 工件定位、安装的基本原则

① 力求设计基准、工艺基准与编程计算的基准统一。

② 尽量减少工件的装夹次数, 尽可能在一次定位装夹后, 加工出全部待加工表面。

③ 避免采用占机人工调整式加工方案, 以充分发挥数控机床的效能。

(2) 选择夹具的基本原则

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。

② 零件在夹具上的装卸要快速、方便、可靠, 以缩短机床的停机时间。

③ 夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各加工表面的加工, 即夹具要开敞, 其定位夹紧元件不能影响加工中的走刀(如产生碰撞等)。

(3) 常用数控夹具

① 数控车床夹具。数控车床夹具除了使用通用三爪自定心卡盘、四爪卡盘、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相应的夹具, 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。

a. 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、三爪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、圆锥心轴或各种锥套轴或堵头作为定位装置。

b. 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。

② 数控铣床上的夹具一般安装在工作台上, 其形式根据被加工工件的特点可多种多样。如: 通用台虎钳、数控分度转台等。

1.2.5 刀具的选择

与普通机床加工方法相比, 数控加工对刀具提出了更高的要求, 不仅要求刀具的刚性

好、精度高,而且要求尺寸稳定,耐用度高,断屑和排屑性能好;同时还要求安装调整方便。数控机床上所选用的刀具常采用适应高速切削的刀具材料(如高速钢、超细粒度硬质合金)并使用可转位刀片。

(1) 车削用刀具及其选择

数控车削常用的车刀一般分尖形车刀、圆弧形车刀以及成型车刀三类。车削刀具形状与被加工表面的关系如图 1-10 所示。

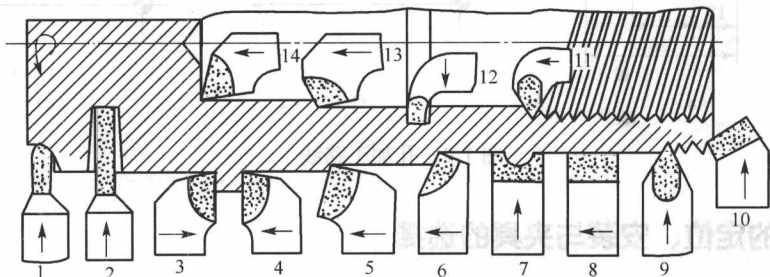


图 1-10 车削刀具形状与被加工表面的关系

1—圆弧形车刀; 2—切断刀; 3—90° 左偏刀; 4—90° 右偏刀; 5—弯头车刀; 6—直头车刀; 7—成型车刀;
8—宽刃精车刀; 9—外螺纹车刀; 10—端面车刀; 11—内螺纹车刀; 12—内槽车刀; 13—通孔车刀; 14—盲孔车刀

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。这类车刀的刀尖由直线形的主副切削刃构成,如 90° 内、外圆车刀,左、右端面车刀,切槽(断)车刀及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。

尖形车刀几何参数(主要是几何角度)的选择方法与普通车削时基本相同,但应结合数控加工的特点(如加工路线、加工干涉等)进行全面的考虑,并应兼顾刀尖本身的强度。

用这类车刀加工零件时,其零件的轮廓形状主要由一个独立的刀尖或一条直线形主切削刃位移后得到,它与另两类车刀加工时所得零件轮廓形状的原理是截然不同的。

② 圆弧形车刀。圆弧形车刀是较为特殊的数控加工用车刀。其特征是构成主切削刃的刀刃形状为一圆度误差或轮廓误差很小的圆弧,该圆弧上的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。车刀圆弧半径理论上与被加工零件的形状无关,并可按需要灵活确定或经测定后确认。

圆弧形车刀可以用于车削内外表面,特别适合于车削各种光滑连接(凹形)的成型面。

选择车刀圆弧半径时应考虑两点:一是车刀切削刃的圆弧半径应小于或等于零件凹形轮廓上的最小曲率半径,以免发生加工干涉;二是车刀圆弧半径不宜选择太小,否则不但制造困难,还会因刀尖强度太弱或刀体散热能力差而导致车刀损坏。

当某些尖形车刀或成型车刀(如螺纹车刀)的刀尖具有一定的圆弧形状时,也可作为这类车刀使用。

③ 成型车刀。成型车刀俗称样板车刀,其加工零件的轮廓形状完全由车刀刀刃的形状和尺寸决定。数控车削加工中,常见的成型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型车刀,当确有必要选用时,则应在工艺文件或加工程序单上进行详细说明。

(2) 铣削用刀具及其选择

① 平底立铣刀(见图 1-11)。数控加工中,铣削平面零件及其内外轮廓时常用平底立铣刀,该刀具有关参数的经验数据如下。

铣刀半径 R_D 应小于零件内轮廓面的最小曲率半径 $R_{\min}$ ，一般取 $R_D = (0.8 \sim 0.9) R_{\min}$ 。零件的加工高度 $H \leq (4 \sim 6) R_D$ ，以保证刀具有足够的刚度。

粗加工内轮廓时，铣刀最大直径 D 可按下式计算（参见图 1-12）：

$$D = 2R_D = \frac{2\left(\Delta \sin \frac{\varphi}{2} - \Delta_1\right)}{1 - \sin \frac{\varphi}{2}} + 2R_{\min} \quad (1-1)$$

式中： $R_{\min}$ 为轮廓的最小凹圆角半径； Δ 为圆角邻边夹角等分线上的精加工余量； Δ_1 为精加工余量； φ 为圆角两邻边的最小夹角。



图 1-11 平底立铣刀

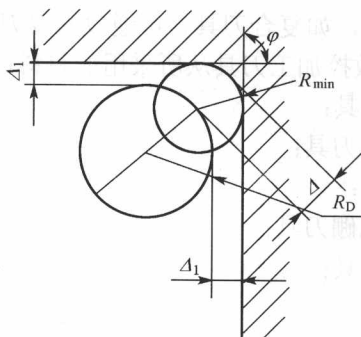


图 1-12 粗加工铣刀直径估算

用平底立铣刀铣削内槽底部时，由于槽底两次走刀需要搭接，而刀具底刃起作用的半径为 $R_c = R - r$ ，如图 1-11 所示，即每次切槽的直径为 $d = 2R_c = 2(R - r)$ ，故编程时应取刀具半径为 $R_c = 0.95(R - r)$ ，以避免两次走刀之间出现过高的刀痕。

② 常用的其他铣刀。对于一些立体型面和变斜角轮廓外形的加工，常用球形铣刀、环形铣刀、鼓形铣刀、锥形铣刀和盘形铣刀。如图 1-13 所示。

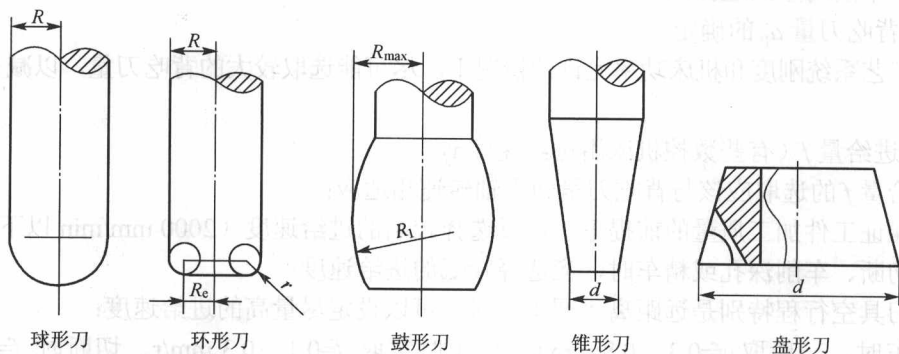


图 1-13 常用的其他铣刀

(3) 标准化刀具

目前，数控机床上大多使用系列化、标准化刀具，对可转位机夹外圆车刀、端面车刀等的刀柄和刀头都有国家标准及系列化型号；对于加工中心及有自动换刀装置的机床，刀具的刀柄都已有系列化和标准化的规定，如锥柄刀具系统的标准代号为 TSG—JT，直柄刀具系统的标准代号为 DSG—JZ。

此外，对所选择的刀具，在使用前都需对刀具尺寸进行严格的测量以获得精确数据，