

高等学校教材



数控机床 编程与应用

SHUKONG JICHUANG
BIANCHENG YU YINGYONG

刘德平 刘武发 汪玉平 编



化学工业出版社

TG659/209

2007

高等学校教材

数控机床编程与应用

刘德平 刘武发 汪玉平 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面介绍了数控机床编程方法和加工技术的工艺知识,重点介绍 MasterCAM 系统及其工程应用,主要内容有数控加工技术基础、MasterCAM 的基础知识、基本图形、图形编辑及标注、曲面、实体操作、对象分析、三维实体造型设计、MasterCAM 的铣削实例。通过机械加工综合设计实例,加深对 MasterCAM 自动编程的理解,对加工实例进行了较详细的分析和讨论,以便读者能举一反三,更好地掌握数控机床的编程和加工。

本书内容丰富、简明扼要、图文并茂,在介绍理论方法的同时,兼顾数控机床自动编程发展的先进性,结合设计实例,使读者易于阅读学习、掌握先进的数控编程工具,具有较强的实用性。

本书可作为高等工科院校机械类专业教材,可作为高职数控加工、模具设计、机械设计及自动化等相关专业教材,也可供从事数控编程加工和 CAD/CAM 应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与应用 / 刘德平, 刘武发, 汪玉平编. —北京: 化学工业出版社, 2007.7

高等学校教材

ISBN 978-7-5025-9614-9

I. 数… II. ①刘… ②刘… ③汪… III. 数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 104337 号

责任编辑: 彭喜英 郭燕春

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 王素芹

装帧设计: 韩 飞

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: 北京市白帆印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 355 千字 2007 年 8 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: 24.00 元

版权所有 违者必究

前言

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物,数控技术是先进制造技术的基础技术和共性技术。随着国内数控机床用量的剧增,熟练掌握现代数控机床编程与操作是数控技术发展的需要,数控编程技术的发展已经到了计算机辅助设计和制造的自动化时代,CAD/CAM系统的出现,有力地推动了编程技术的发展,使数控机床的加工领域和范围不断扩大,手工编程和原来意义上的APT自动编程已不能满足现代产品多样化、复杂化和精密化设计加工的要求,功能强大的CAD/CAM系统得到广泛的应用。MasterCAM系统把计算机辅助设计和制造功能有机地结合起来,从图形绘制到编制加工轨迹,再通过后置处理转化为数控机床能识别的加工程序,输入到数控机床上完成零件的加工等,使设计、绘图更容易、更方便,使编制加工程序更快、更准确。

《数控机床编程与应用》一书共10章。第1章讲述数控加工技术基础,数控加工技术的主要内容以及数控加工工艺基础等;第2章为MasterCAM的基础知识,讲述该系统用户界面、工作窗口和基本操作;第3章为基本图形绘制,讲述基本几何图素的构造方法,包括点、线、圆弧、矩形、齿轮图形的绘制等;第4章为图形编辑及标注,介绍构造图形的常用编辑方法,有修整(包括倒角、打断、线型转换等操作)、转换(包括镜像、旋转、比例、平移和拉伸等操作)及文字和尺寸标注等内容;第5章为曲面,讲述各种曲面的构造方法,曲线的生成和曲面的修剪、顺接等;第6章为实体操作,介绍基本实体的生成、挤压实体、旋转实体、布尔运算和实体的编辑管理等;第7章为对象分析,介绍运用对象分析工具,实现所构建实体元素的性能分析等;第8章为三维实体造型,通过实例综合运用MasterCAM的功能实现实例的设计等;第9章为MasterCAM的铣削编程,介绍外形铣削、挖槽加工、钻孔和圆加工,讲述曲面加工的理论和方法,介绍各种粗、精加工方式的刀具轨迹生成;第10章是机械加工综合设计实例,通过实例设计和加工的应用,加深对CAD/CAM自动编程的理解,更好地掌握数控机床的加工应用。

本书内容第1章、第3章、第4章由刘德平、汪玉平编写,第2章、第5章、第6章由刘德平、王莹莹、李小林编写,第7章~第9章由刘德平、刘晓宇和余水晶编写,第10章由刘武发、刘晓宇和李德宏编写,全书由刘德平统稿。

本书可作为高等工科院校本科机械类专业教材,高职数控加工、模具设计、机械设计及自动化和CAD/CAM等相关专业教材,也可供从事数控编程加工和CAD/CAM应用的工程技术人员阅读。

在编写本书时,参考了同行专家的论著和教材,在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,本书难免存在欠妥之处,恳请读者指正。

编者
2007年04月

目 录

第 1 章 数控加工技术基础	1
1.1 数控加工技术的主要内容	1
1.2 数控编程技术	1
1.3 数控加工工艺基础	2
1.3.1 数控加工工艺的概念	2
1.3.2 数控铣床加工工艺特点	3
1.3.3 数控铣削加工的工艺适应性	3
1.3.4 数控铣削加工零件的工艺性分析	3
1.3.5 数控铣床和加工中心的选用	4
1.3.6 加工方法选择及加工方案确定	5
1.3.7 工艺设计	6
1.3.8 数控加工工艺文件的编制	11
思考与练习题	11
第 2 章 MasterCAM 的基础知识	12
2.1 软件介绍	12
2.1.1 三维设计系统 (CAD 部分)	12
2.1.2 铣床 3D 加工系统 (CAM 部分)	12
2.2 MasterCAM 的工作窗口	13
2.2.1 MasterCAM 的界面	13
2.2.2 主菜单	13
2.2.3 辅助菜单	14
2.2.4 提示区	19
2.2.5 工具栏	19
2.3 系统设置	20
2.4 基本操作	21
2.4.1 点的输入法	21
2.4.2 通用选择方法	23
2.4.3 串联方法	25
2.5 文档管理	28
思考与练习题	31
第 3 章 基本图形绘制	32
3.1 直线	32

3.2 弧	32
3.3 圆	33
3.4 矩形	33
3.5 螺旋线	35
3.6 齿轮	35
3.7 点的绘制	36
思考与练习题	37
第4章 图形编辑及标注	39
4.1 图形编辑	39
4.2 图形标注	44
4.2.1 尺寸标注	44
4.2.2 快捷键方式尺寸标注	48
4.2.3 编辑图形标注	49
4.2.4 图案填充	49
思考与练习题	51
第5章 曲面	52
5.1 Loft (举升曲面)	52
5.2 Coons (昆氏曲面)	52
5.3 Ruled (直纹曲面)	56
5.4 Revolve (旋转曲面)	57
5.5 Sweep (扫描曲面)	57
5.6 Draft (牵引曲面)	59
5.7 曲面编辑	59
思考与练习题	61
第6章 实体操作	62
6.1 圆柱体	62
6.2 圆锥体	62
6.3 方形实体	63
6.4 球体	63
6.5 圆环	63
6.6 拉伸实体	63
6.7 扫描实体	64
6.8 旋转实体	65
6.9 举升实体	66
6.10 布尔运算	67
思考与练习题	68

第7章 对象分析	69
思考与练习题	72
第8章 三维实体造型	73
8.1 旋钮的实体造型	73
8.1.1 CAD 过程	73
8.1.2 旋钮的 CAM 部分	79
8.2 咖啡壶实体造型实例	82
8.2.1 COFFEEPOT (咖啡壶) 的效果图	82
8.2.2 文档的调用	82
8.2.3 壶嘴及壶身实体的创建	82
8.2.4 壶柄的创建	85
8.3 闹钟实例	89
8.3.1 闹钟效果图	89
8.3.2 闹钟实体 CAD 部分	89
思考与练习题	106
第9章 MasterCAM 的铣削编程	107
9.1 二维加工	107
9.1.1 外形铣削	107
9.1.2 挖槽加工	113
9.1.3 钻孔加工	119
9.2 MasterCAM 的曲面铣削编程	124
9.2.1 Parallel 平行式曲面粗加工与精加工	125
9.2.2 Radial 放射状曲面粗加工与精加工	128
9.2.3 Flowline 流线式曲面粗加工与精加工	130
9.2.4 Counter 等高外式曲面粗加工与精加工	133
9.2.5 Pocket 挖槽式曲面粗加工	134
9.2.6 Scallop 环绕等距式曲面精加工	135
思考与练习题	136
第10章 机械加工实例	137
10.1 曲面加工	137
10.1.1 绘制图形的三维线架	137
10.1.2 线架的曲面造型	138
10.1.3 曲面粗加工	138
10.1.4 曲面精加工	142
10.2 蝴蝶设计与制造	144
10.2.1 图形绘制步骤	145
10.2.2 规划加工刀具路径	155

10.2.3	生成 NC 代码	169
10.3	LEXUS 标志的设计与制造	170
10.3.1	图形的绘制	170
10.3.2	LEXUS 标志的制造	174
10.4	台灯罩凸模的设计及制造	187
10.4.1	图形的绘制	187
10.4.2	灯罩凸模的制造	193
	思考与练习题	208
附录 MasterCAM V9.0 命令一览表		209
参考文献		222

第 1 章 数控加工技术基础

学习目的与要求

了解数控加工技术的主要内容，数控加工的工艺特点；掌握在数控加工中的刀具选择、工件定位与安装、数控加工工艺文件的编制等数控加工技术。

1.1 数控加工技术的主要内容

数控加工指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。数字控制机床（numerical control machine tools）简称数控机床，是一种按照输入的数字信息进行自动加工的机床。数控加工技术简单地讲就是利用数字化控制系统在加工机床上完成整个零件加工的技术。它涉及数控加工工艺和数控编程技术两大方面。

1.2 数控编程技术

数控编程技术涉及制造工艺、计算机技术、数学、计算几何、微分几何、人工智能等众多学科领域的知识。数控编程是实现数控加工的重要环节，特别是对于复杂零件加工，编程工作尤为重要。在现代生产中，由于产品形状及质量信息往往需要通过坐标测量机或直接在数控机床上测量得到，测量运动指令也有赖于数控编程产生，因此数控编程对于产品质量控制也有着非常重要的作用。

数控编程是从零件图纸到获得合格的数控加工程序的全过程。其主要任务是计算加工走刀中的刀位点（cutter location point），简称 CL 点。刀位点一般取为刀具轴线与刀具表面的交点，多轴加工中还要给出刀轴矢量。一般地说，数控编程的主要内容包括分析零件图样、确定加工工艺过程、数学处理、编写零件加工程序、输入数控系统、程序检验及首件试切。数控编程包括手动编程和计算机自动编程。目前计算机自动编程采用图形交互式自动编程，即计算机辅助编程。这种自动编程系统是 CAD（计算机辅助设计）和 CAM（计算机辅助制造）高度结合的自动编程系统，称为 CAD/CAM 系统，其工作流程如图 1-1 所示。

为适应复杂零件的加工、多轴加工、高速加工、高精度和高效率加工的要求，数控编程技术向集成化、智能化、自动化、易用化等方向发展。开发 CAD/CAM 系统时面临的关键技术如下。

（1）复杂形状零件的几何建模 对基于图纸及型面特

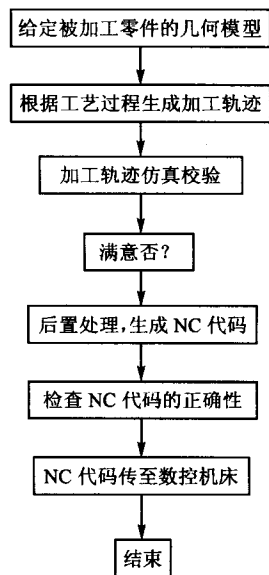


图 1-1 CAD/CAM 系统工作流程

征点测量数据的复杂形状零件, 数控编程的首要环节是建立被加工零件的几何模型。复杂形状零件几何建模的主要技术内容包括: 曲线曲面的生成、编辑、裁剪、拼接、过渡、偏置等。

(2) 加工方案及加工参数的选择 加工方案和加工参数的合理选择决定数控加工的效率与质量。其中刀具、刀轴控制方式, 走刀路线和进给速度的自动优化选择与自适应控制是近年来的重点研究对象。

(3) 刀具轨迹的生成 刀具轨迹的生成是复杂形状零件数控加工中最重要也是研究最为广泛的内容, 能否生成有效的刀具轨迹直接决定了加工的可能性和效率。刀具轨迹生成的目标是使所生成的刀具轨迹能满足无干涉、无碰撞、轨迹光滑、切削负荷光滑、代码质量高。同时, 刀具轨迹生成还应满足通用性好、稳定性好、编程效率高、代码量小等条件。

(4) 数控加工仿真 尽管目前在工艺规划和刀具轨迹生成等技术方面已取得很大进展, 但由于零件形状的复杂多变以及加工环境的复杂性, 要确保所生成的加工程序不存在任何问题仍十分困难, 其中最主要的有加工过程中的过切与欠切、机床各部件之间的不干涉碰撞等。对于高速加工, 这些问题常常是致命的。因此, 实际加工前采取一定的措施对加工程序进行检验并修正是十分必要的。数控加工仿真通过软件模拟加工环境、刀具路径与材料切除过程来检验并优化加工程序, 具有柔性好、成本低、效率高且安全可靠等特点, 是提高编程质量与效率的重要措施。

(5) 后置处理 后置处理是数控加工编程技术的一个重要内容, 它将通用前置处理生成的刀位数据转换成适合于具体机床数据的数控加工程序。其技术内容包括机床运动学建模与求解、机床结构误差补偿、机床运动非线性误差校核修正、机床运动的平稳性校核修正、进给速度校核修正及代码转换等。因此, 有效的后置处理对于保证加工质量、效率与机床可靠运行具有重要作用。

1.3 数控加工工艺基础

数控机床按照工艺用途分为数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床等类型, 以下介绍三坐标联动数控铣床与加工中心的工艺特点及零件编程加工要求。

1.3.1 数控加工工艺的概念

数控加工工艺是采用数控机床加工零件时所运用的方法和技术手段的总和。

数控加工的工艺设计必须在程序编制工作开始以前完成, 因为只有工艺方案确定以后, 编程才有依据。工艺方案的好坏不仅会影响机床效率的发挥, 而且将直接影响零件的加工质量。根据大量加工实例分析, 工艺设计考虑不周是造成数控加工差错的主要原因之一。

数控加工工艺主要包括如下内容。

- ① 选择适合在数控机床上加工的零件, 确定工序内容。
- ② 分析被加工零件的图纸, 明确加工内容及技术要求, 确定零件的加工方案, 制定数控加工工艺路线。如划分工序、处理与非数控加工工序的衔接等。
- ③ 加工工序、工步的设计。如选取零件的定位基准, 确定夹具、辅具方案, 确定切削用量等。
- ④ 数控加工工序的调整。选取对刀点和换刀点, 确定刀具补偿, 确定加工路线。
- ⑤ 分配数控加工中的加工余量。
- ⑥ 处理数控机床上的部分工艺指令。

⑦ 首件试加工与现场问题处理。

⑧ 数控加工工艺文件的定型与归档。

1.3.2 数控铣床加工工艺特点

数控铣削加工工艺和普通机床铣削加工工艺相比较,遵循的基本原则和使用的方法大致相同,但数控加工的整个过程是自动进行的,因而形成了以下特点。

① 数控加工的工序内容比普通机床加工的工序内容复杂。数控机床上通常安排较复杂的工序,部分工序在普通机床上难以完成。

② 数控加工工艺内容要求具体详细。在普通机床上加工时由操作者在加工中灵活掌握,并可通过适时调整来处理的工艺问题,如工步的安排,刀具尺寸、加工余量、切削用量、对刀点、换刀点、走刀路线的确定等问题,在数控加工时必须事先具体详细地设计和安排。

1.3.3 数控铣削加工的工艺适应性

根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按工艺适应程度将零件分为下列三类。

(1) 最适应类

① 形状复杂,加工精度要求高,用通用加工设备无法加工或虽然能加工但很难保质量的零件。

② 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。

③ 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件。

④ 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰或攻螺纹等多工序的零件。

对于上述零件,可以不要过多地考虑生产率与经济上是否合理,首先考虑能不能把它们加工出来,要着重考虑可能性的问题。

(2) 较适应类

较适应数控加工的零件大致有下列几种。

① 在通用机床上加工时易受人为因素干扰,零件价值又高,一旦质量失控便造成重大经济损失的零件。

② 在通用机床上加工,必须制造复杂的专用工装的零件。

③ 需要多次变更设计后才能定型的零件。

④ 在通用机床上加工需要做长时间调整的零件。

⑤ 用通用机床加工时,生产效率很低或体力劳动强度很大的零件。

这类零件在首先分析其可加工性以后,还要在提高劳动生产率及经济效益方面做全面衡量,一般可把它们作为数控加工的主要选择对象。

(3) 不适应类

① 生产批量大的零件(当然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 加工余量很不稳定,且数控机床上无在线检测系统可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的零件。

以上零件采用数控加工后,在生产效率与经济性方面一般无明显改善,更有可能弄巧成拙或得不偿失,故一般不应作为数控加工的选择对象。

1.3.4 数控铣削加工零件的工艺性分析

数控加工工艺性分析设计内容很多,从数控加工的可能性和方便性分析,主要考虑如下。

(1) 零件图样上尺寸数据的标注原则

① 零件图样上尺寸标注应符合编程方便的原则。在数控加工图上,宜采用以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种标注方法,既便于编程,也便于协调设计基准、工艺基准、检测基准与编程零点的设置和计算。

② 构成零件轮廓的几何元素应符合条件充分的原则。自动编程时要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义。在分析零件图时,要分析几何元素的给定条件是否充分,如果不充分,则无法对被加工零件进行造型,也就无法编程。

(2) 零件各加工部位的结构工艺应符合数控加工的特点

① 零件所要求的加工精度、尺寸公差应能得到保证。

② 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸,尽可能减少刀具规格和换刀次数。

③ 零件的工艺结构设计应确保能采用较大直径的刀具进行加工。采用大直径铣刀加工,能减少加工次数,提高表面加工质量。

如图 1-2 所示,零件的被加工轮廓面越低、内槽圆弧越大,则可以采用大直径的铣刀进行加工。因此,内槽圆角半径 R 不宜太小,且应尽可能使被加工零件轮廓面的最大高度 $H < 5R$,以获得良好的加工工艺性。刀具半径 r 一般取为内槽圆角半径 R 的 $(0.8 \sim 0.9)R$ 。

④ 零件铣削面的槽底圆角半径或腹板与缘板相交处的圆角半径 r 不宜过大。由于铣刀与铣削平面接触的最大直径 $d = D - 2r$,其中 D 为铣刀直径,因此,当 D 一定时,圆角半径 r 越大,铣刀端刃铣削平面的能力就越差、效率越低、工艺性也越差,如图 1-3 所示。

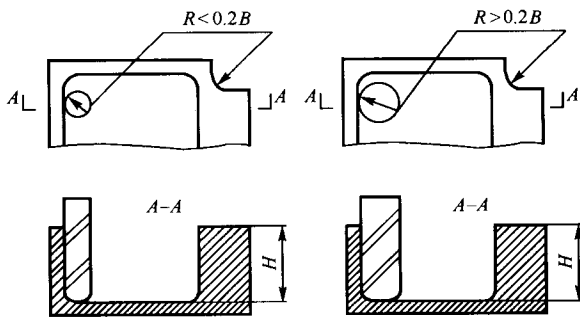


图 1-2 铣刀直径的确定

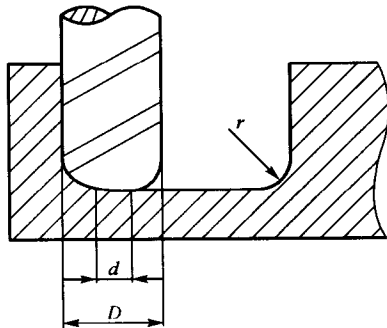


图 1-3 零件槽底圆弧对工艺的影响

⑤ 应采用统一的基准定位。数控加工过程中,若零件需重新定位安装而没有统一的定位基准,会导致加工结束后正反两面上的轮廓位置及尺寸的不协调。因此,要尽量利用零件本身具有的合适的孔,或设置专门的工艺孔,或以零件轮廓的基准边等作为定位基准,保证两次装夹加工后相对位置的准确性。

1.3.5 数控铣床和加工中心的选用

数控铣床主要有三类:数控立式铣床、数控卧式铣床、立卧两用数控铣床。数控立式铣床在数控铣床中数量最多,在模具加工中应用最为广泛,常用于中小型模具的制造,如电视机前盖、洗衣机面板等塑料注射模具成形零件、摩托车汽缸等压铸模具及连杆等锻压模具。卧式数控铣床主要用于铣削平面、沟槽和成形表面等,在模具制造中常用于具有深型腔的模具零件铣削,如洗衣机桶体塑料注射模具型腔零件及冰箱内胆发泡模型腔零件等。数控卧式

铣床通常采用增加数控转盘或万能数控转盘等方式实现第四坐标、第五坐标的加工。这样不仅可以加工出工件侧面上的连续回转轮廓,而且可以在一次装夹中,通过转盘改变工位实现“四面加工”。立卧两用数控铣床通过主轴方向的变换,在一台机床上既可以进行卧式加工,也可以进行立式加工,从而具备立式和卧式两类机床的功能,应用范围更广,但精度和刚度稍差。

本书所涉及的加工中心是指镗铣类加工中心,它将铣削、钻削、铰削、镗削、攻螺纹和切削螺纹等功能集中在一台设备上,使其具有多种工艺手段。工件经一次装夹后,能对两个以上的表面自动完成加工,并且具有多种换刀选刀功能或自动工作台交换装置。

加工中心主要有立式和卧式两种。卧式加工中心适用于需多工位加工和位置精度要求较高的零件,如箱体、泵体、阀体和壳体等;立式加工中心适用于需单工位加工的零件,如箱盖、端盖和平面凸轮等。规格相近的加工中心,一般卧式加工中心的价格要比立式加工中心贵 50%~100%。因此,从经济性角度考虑,完成同样工艺内容,宜选用立式加工中心。但卧式加工中心的工艺范围较宽。

1.3.6 加工方法选择及加工方案确定

(1) 加工方法选择 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,都应该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。

平面轮廓零件其轮廓多由直线、圆弧和曲线组成,一般在两坐标联动的数控铣床上加工;具有三维曲面轮廓的零件,多采用三坐标或三坐标以上联动的数控铣床或加工中心加工。经粗铣的平面,尺寸精度可达 IT12~IT14 级(指两平面之间的尺寸),表面粗糙度 R_a 值可达 12.5~50 μm 。经粗、精铣的平面,尺寸精度可达 IT7~IT9 级,表面粗糙度 R_a 可达 1.6~3.2 μm 。

孔加工的方法比较多,有钻削、扩削、铰削和镗削等。大直径孔还可采用圆弧插补方式进行铣削加工。

对于直径大于 30mm 已铸出或锻出毛坯孔的零件,其孔的加工一般采用“粗镗—半精镗—孔口倒角—精镗”加工方案。

孔径较大的可采用立铣刀“粗铣—精铣”加工方案。有空刀槽时可用锯片铣刀在半精镗之后、精镗之前铣削完成,也可用镗刀进行单刃镗削,但是单刃镗削效率低。

对于直径小于 30mm 的无毛坯孔的零件进行孔加工,通常采用“镗平端面—打中心孔—钻—扩—孔口倒角—铰”加工方案。

有同轴度要求的小孔,必须采用“镗平端面—打中心孔—钻—半精镗—孔口倒角—精镗(或铰)”加工方案。为提高孔的位置精度,在钻孔前需进行镗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。

螺纹的加工根据孔径大小而定,在一般情况下,直径在 5~20mm 之间的螺纹,通常采用攻螺纹的方法加工。直径在 M5 以下的螺纹,在加工中心上完成底孔加工后,通常采用其他手段攻螺纹。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 M25 以上的螺纹,可采用镗刀片镗削加工。

加工方法的选择原则是保证加工表面的精度和表面粗糙度的要求。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,因而在实际选择时,要结合零件的形状、尺寸和热处理要求全面考虑。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) 加工方案确定 确定加工方案时,首先应根据主要表面的精度和表面粗糙度的要求,

初步确定为达到这些要求所需要的加工方法,即精加工的方法,再确定从毛坯到最终成形的加工方案。

在加工过程中,工件按表面轮廓可分为平面类和曲面类零件,其中平面类零件中的斜面轮廓又分为固定斜角和变斜角的外形轮廓面。外形轮廓面的加工,若单纯从技术上考虑,最好的加工方案是采用多坐标联动的数控机床,这样不但生产效率高,而且加工质量好。但由于一般中小企业无力购买这种价格昂贵、生产费用高的机床,因此应考虑采用 2.5 轴控制和 3 轴控制机床。

2.5 轴控制和 3 轴控制机床加工外形廓面,通常采用球头铣刀,轮廓面的加工精度主要通过控制走刀步长和加工带宽度来保证。加工精度越高,走刀步长和加工带宽度越小,编程效率和价格效率越低。

如图 1-4 所示,球头刀半径为 r_d ,零件曲面上曲率半径为 ρ ,行距为 S ,加工后曲面表面残留高度为 H ,则有

$$S = 2\sqrt{H(2r_d - H)} \frac{\rho}{r_d \pm \rho}$$

式中,当被加工零件的曲面在 ab 段内是凸的时候取“+”号,是凹的时候取“-”号。

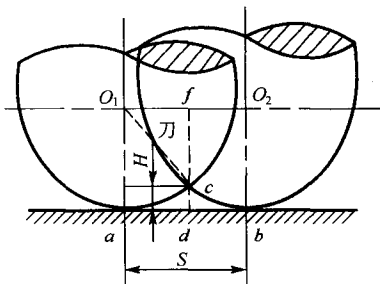


图 1-4 行距的计算

现在的 CAD/CAM 系统编程时选择行距与步长的方式主要有两种。一种是经过估算,选择等行距等步长。在规定的区域内不论曲面如何变化,刀具总是以相等的行距与步长进行切削。由于曲面的曲率和凹凸是变化的,所以采用这种方法切削后,曲面表面残留高度是不同的。另一种方法是等残留高度法,即在编程时,先确定整张曲面表面上的残留沟纹高度, CAD/CAM 系统根据此高度自动计算出行距与步长,所以采用这种方法切削出的表面,不论曲面如何变化,残留高度总是相等的,但行距与步长却不相等。

1.3.7 工艺设计

1.3.7.1 工序和工步的划分

在数控机床上加工作件,工序应尽量集中,一次装夹应尽可能完成大部分工序。数控加工工序的划分有以下方法。

(1) 按加工内容划分工序 对于加工内容较多的零件,按零件结构特点将加工内容分成若干部分,每一部分可用典型刀具加工,如加工内腔、外型、平面或曲面等。加工内腔时,以外形夹紧;加工外腔时,以内腔的孔夹紧。

(2) 按所用刀具划分工序 这样可以减少换刀次数,压缩空行程和减少换刀时间,减少换刀误差。

(3) 按粗、精加工划分工序 对于容易发生加工变形的零件,通常粗加工后需进行矫形,这时粗加工、精加工作为两道工序,即先粗加工,再精加工,可用不同的机床或不同的刀具进行加工。

为了便于分析和描述较复杂的工序,在工序内又分为工步,工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。但数控加工按工步划分后,三检制度(自检、互检、专检)不好执行,为了避免零件发生批次性质量问题,应采用分工步交检,而不是加工完整个工序之后再交检。

1.3.7.2 加工余量的选择

加工余量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。零件总的加工余量等于中间工序加工余量之和。

(1) 工序间加工余量的选择原则

① 采用最新加工余量原则,以求缩短加工时间,降低零件的加工费用。

② 应有充分的加工余量,特别是最后的工序。

(2) 在选择加工余量时还应考虑的情况

① 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、变形增加,加工余量相应地也应大一些。

② 零件热处理时引起变形,应适当增大加工余量。

③ 加工方法、装夹方式和工艺装备的刚性可能引起零件变形,过大的加工余量会由于切削力增大引起零件变形。

(3) 确定加工余量的方法

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,先制成各种表格,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修改后确定。目前,我国各工厂普遍采用查表法。

② 经验估算法 这种方法是根据工艺编制人员的实际经验确定加工余量。一般情况下,为了防止因余量过小而产生废品,经验估算的数值总是偏大。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实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,并计算确定加工余量。这种方法比较合理,但必须有比较全面和可靠的实验资料数据。目前,只在材料十分贵重以及少数大量生产的工厂采用。

1.3.7.3 加工路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件运动的轨迹称为加工路线。它是编程的依据,直接影响加工质量和效率。在确定加工路线时要考虑下面几点。

① 保证零件的加工精度和表面质量,且效率要高。

② 减少编程时间和程序容量。

③ 减少空刀时间和在轮廓面上的停刀,以免划伤零件。

④ 减少零件的变形。

⑤ 位置精度要求高的孔系零件的加工应避免机床反向间隙的带入而影响孔的位置精度。

⑥ 复杂曲面零件的加工应根据零件的实际形状、精度要求、加工效率等多种因素来确定是行切还是环切、是等距切削还是等高切削的加工路线等。

下面以孔加工为例介绍加工路线的确定。

如图 1-5 所示, 精镗 $4-\phi 30H7$ 的孔, 由于孔的位置精度要求较高, 采用图 1-6 (a) 中方案时, 由于 IV 孔与 I、II、III 孔的定位方向相反, X 向的间隙会使定位误差增加, 而影响 IV 孔与 III 孔的位置精度。采用图 1-6 (b) 中方案在工件外增加一刀具折返点, 这样几个孔的定位方向一致, 可避免反向间隙的引入, 提高孔距精度。

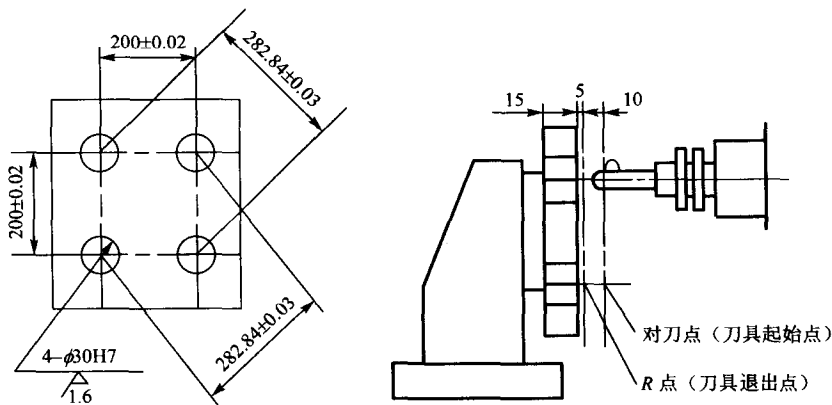


图 1-5 镗孔加工示意图 (一)

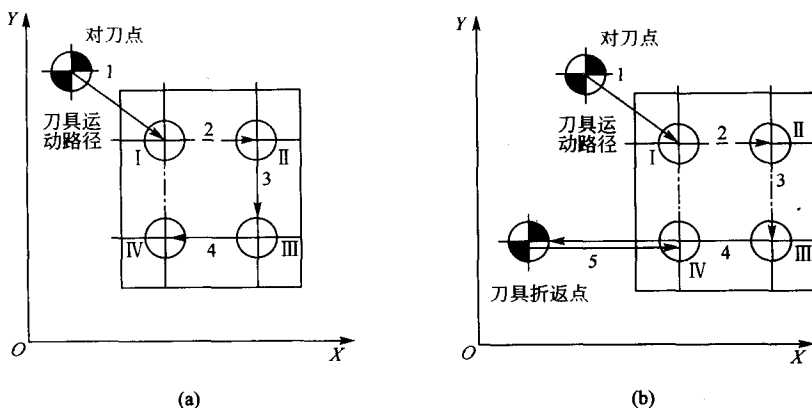


图 1-6 镗孔加工示意图 (二)

1.3.7.4 工件定位与安装的确

在铣削加工时, 把工件放在机床上 (或夹具中), 使它在夹具上的位置按照一定的要求确定下来, 并将必须限制的自由度一一予以限制, 这称作工件在夹具上的“定位”。工件定位以后, 为了承受切削力、惯性力和工件重力, 还应夹牢, 称为“夹紧”。从定位到夹紧的整个过程为“安装”。工件安装情况的好坏, 将直接影响工件的加工精度。

(1) 工件的定位 工件相对夹具一般应完全定位, 且工件的基准相对于机床坐标原点应有严格的确定位置, 以满足能在数控机床坐标系中实现工件和刀具相对运动的要求。同时, 夹具在机床上也应完全定位, 夹具上的每个定位面相对数控机床的坐标原点均应有精确的坐

标尺寸,以满足数控加工中简化定位和安装的要求。

选择定位时应注意:

- ① 所选择的定位方式有较高的定位精度;
- ② 无超定位的干涉现象;
- ③ 零件的安装基准最好与设计基准重合;
- ④ 便于安装、找正和测量;
- ⑤ 有利于刀具的运动和简化程序的编制。

(2) 选择合适的夹具装置 零件的数控加工大都采用工序集中原则,加工的部位较多,同时批量较小,零件更换周期短,夹具的标准化、通用化和自动化对加工效率的提高及加工费用的降低有很大影响。

夹具按照结构类型可分为通用类、组合类与专用类三种。

(3) 确定合适的夹紧方式 考虑夹紧方案时,夹紧力应力求通过和靠近中心点上,或在支持点所组成的三角区之内,应力求靠近切削部位,并在刚性较高的地方,尽量不要在被加工孔上方进行夹压。

(4) 选择有足够的刚性和强度的夹具方案 夹具的主要任务是保证零件的加工精度,因此要求夹具必须具备足够的刚性和强度。

1.3.7.5 刀具的选择

数控加工刀具从结构上可分为:

- ① 整体式;
- ② 镶嵌式,可以分为焊接式和机夹式,机夹式根据刀体结构不同,又分为可转位和不转位两种;
- ③ 减振式,当刀具的工作臂长与直径之比较大时,为了减少刀具的振动,提高加工精度,多采用此类刀具;
- ④ 内冷式,切削液通过刀体内部由喷孔喷射到刀具的切削刃部;
- ⑤ 特殊型式,如复合刀具、可逆攻螺纹刀具等。

数控加工刀具从刀具材料上可分为:

- ① 高速钢刀具;
- ② 硬质合金刀具;
- ③ 陶瓷刀具;
- ④ 立方氮化硼刀具;
- ⑤ 金刚石刀具;
- ⑥ 涂层刀具。

数控铣床和加工中心常用的刀具有:

- ① 钻削刀具,分小孔、短孔、深孔、攻螺纹、铰孔等;
- ② 镗削刀具,分粗镗、精镗等刀具;
- ③ 铣削刀具,分面铣、立铣、三面刃铣等刀具。

1.3.7.6 切削用量的确定

切削用量包括切削速度、进给速度、背吃刀量和侧吃刀量。背吃刀量和侧吃刀量在数控加工中通常称为切削深度和切削宽度。

选择切削用量的原则是:粗加工时,一般以提高生产率为主,但也应考虑经济性和加工