

普通高等院校机械类“十一五”规划教材

数控编程技术 及应用

SHUKONG BIANCHENG
JISHU JI YINGYONG

主 编 任晓虹
副主编 刘红军 许立福



国防工业出版社
National Defense Industry Press

普通高等院校机械类“十一五”规划教材

数控编程技术及应用

主编 任晓虹

副主编 刘红军 许立福

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书秉承“工程教育”的教学理念,在保证系统性、先进性的基础上,通过大量典型的零件数控加工实例分析,介绍了数控加工工艺和手工编程两方面的知识,侧重数控加工技术的综合应用,以加强应用型人才的培养。

书中主要内容包括:数控加工工艺基础知识、数控加工编程基础知识、各类常用数控机床加工程序的编程方法以及数控加工仿真与实训等。

全书从培养工程技术应用型人才的目的出发,强调基础性、注重实用性,突出工程应用性,同时兼顾高等及中等职业技术教育的教学要求,强调理论联系实际。

本书可以作为一般本科、高等职业技术学院数控技术应用专业、机电类专业、机械制造及自动化等专业的教学用书,也可作为相关专业的师生和工程技术人员参考和培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程技术及应用/任晓虹主编. —北京:国防工业出版社,2010.8

普通高等院校机械类“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06932-7

I. ①数... II. ①任... III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 147445 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19¼ 字数 519 千字

2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 35.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

数控加工技术作为现代机械制造技术的基础,使得机械制造过程发生了显著的变化。现代数控加工技术与传统加工技术相比,无论在加工工艺、加工过程控制,还是加工设备与工艺装备等诸多方面均有显著不同。高等院校将数控加工及编程技术作为机械类和机电类专业学生的必修知识是十分必要的。

本书从培养工程技术应用型人才的目的出发,介绍了数控机床加工程序编制的基础知识,着重讲述了数控铣床、数控车床和加工中心的编程方法;还详细介绍了一种数控加工仿真软件的使用方法及数控机床的操作方法,以此为实践教学提供帮助和指导,使教材更具完整性和实用性。

全书强调基础性,注重实用性,突出工程应用性。例题和加工实例典型、详尽。各章节中的例题,都是结合加工工艺分析进行加工程序编制的;各章所附的综合加工实例,则从零件图分析、数控工艺设计、数控加工程序编制、数控加工仿真几个方面,将基本概念与实际应用、数控加工程序的编制与工艺设计很好地结合在一起,以此增强数控编程技术的应用能力;在数控加工系统仿真中结合当前常用的法那克、华中等系统进行了介绍。

全书共分6章,第1章为数控加工的工艺基础;第2章为数控编程的基础知识;第3、4、5章分别介绍了数控铣床、数控车床、数控加工中心的编程方法、技巧和注意事项,第6章介绍了VNUC数控加工仿真软件的使用方法和西门子810D加工中心操作使用方法。

本书由沈阳理工大学任晓虹、刘红军、许立福共同编写。第2、3章由任晓虹编写,第1、4章由刘红军编写,第5、6章由许立福编写。沈阳理工大学黄树涛教授任主审,并为本书编写提出了许多有益的建议和支持。

由于篇幅和编者水平有限,书中难免有不足和缺点,恳请读者批评指正。

编 者
2010年4月

目 录

第1章 数控加工的工艺设计基础	1
1.1 工艺规程设计概述	1
1.2 数控加工工艺概述	1
1.2.1 数控加工的工艺特点	2
1.2.2 数控加工工艺的主要内容	2
1.3 数控加工工艺性分析	3
1.3.1 零件图分析	3
1.3.2 零件的结构工艺性分析	4
1.4 数控加工内容的选择及数控机床的合理选用	4
1.4.1 数控加工内容的选择	4
1.4.2 数控机床的合理选用	4
1.5 数控加工工艺路线的设计	6
1.5.1 定位基准的选择	6
1.5.2 加工方法的选择	7
1.5.3 工序的划分	9
1.5.4 工序顺序的安排	10
1.6 数控加工工序的设计	10
1.6.1 走刀路线和工步顺序的确定	10
1.6.2 工件的安装与夹具的选择	13
1.6.3 刀具的选择	13
1.6.4 加工余量的确定	14
1.6.5 切削用量的选择	14
1.7 数控夹具	16
1.7.1 数控加工中使用的夹具	16
1.7.2 夹具的组成	16
1.7.3 数控机床夹具的作用与分类	16
1.7.4 数控夹具的要求	18
1.7.5 数控加工夹具的特点	18
1.8 工件在数控夹具中的定位	19

1.8.1 定位方式与定位元件	19
1.8.2 工件以圆柱孔定位	21
1.8.3 工件以圆锥孔定位	22
1.9 工件的夹紧	23
1.10 数控加工工艺文件	26
思考题与习题	28
第2章 数控加工的编程基础	29
2.1 数控编程的基本概念	29
2.1.1 数控编程的步骤和内容	29
2.1.2 手工编程和自动编程	30
2.2 插补的基本知识	31
2.2.1 插补的基本概念	31
2.2.2 常用的插补方法	32
2.3 程序编制中的数学处理	33
2.3.1 数控编程的数值计算	33
2.3.2 数控编程的允许误差	38
2.4 数控加工程序	39
2.4.1 相关标准	39
2.4.2 加工程序中的指令字	40
2.4.3 程序结构和程序段格式	45
2.5 数控机床的坐标系	48
2.5.1 坐标系和运动方向的命名原则	48
2.5.2 坐标轴的确定	49
2.5.3 机床坐标系与工件坐标系	51
2.5.4 对刀点和换刀点的确定	53
2.6 常用编程指令及应用	54
2.6.1 进给运动指令概述	54
2.6.2 与坐标系有关的指令	55
2.6.3 与坐标尺寸字尺寸数值属性有关的指令	57
2.6.4 与刀具运动方式有关的指令	58

2.6.5 刀具补偿指令	64	工艺分析	156
2.6.6 返回参考点指令	69	4.2 数控车床的编程基础	162
2.7 子程序和宏程序	70	4.2.1 数控车床的编程特点	162
2.7.1 子程序的应用	70	4.2.2 数控车床编程的基本指令	162
2.7.2 宏程序的概念及应用	72	4.2.3 与工件坐标相关的指令	164
思考题与习题	85	4.2.4 返回参考点(G28)和返回参考点检查(G27)	165
第3章 数控铣床的程序编制	87	4.2.5 与运动方式相关的G指令	166
3.1 数控铣床概述	87	4.2.6 刀尖圆弧自动补偿功能	171
3.1.1 铣床的分类、主要功能及加工对象	87	4.3 数控车床的循环指令	173
3.1.2 数控铣床的工艺装备及选用	89	4.3.1 单一固定循环指令	173
3.2 数控铣削加工的工艺分析与设计	95	4.3.2 复合固定循环指令	175
3.2.1 数控铣削加工的特点和方式	95	4.3.3 螺纹加工	179
3.2.2 数控铣削的工艺分析与设计	97	4.4 编程与加工举例	182
3.3 数控铣削系统简化编程的方法	106	4.5 数控车削加工综合实例	186
3.3.1 极坐标编程	106	思考题与习题	189
3.3.2 比例缩放编程	108	第5章 加工中心的程序编制	192
3.3.3 可镜像编程	110	5.1 加工中心概述	192
3.3.4 坐标系旋转	111	5.1.1 加工中心的主要特点及功能	192
3.4 典型结构的数控铣削加工方法及编程	113	5.1.2 加工中心的分类	192
3.4.1 平面铣削及其编程	113	5.1.3 加工中心的主要结构	195
3.4.2 轮廓铣削及其编程	117	5.1.4 加工中心的加工特点	197
3.4.3 键槽加工及其编程	119	5.2 加工中心的自动换刀和典型换刀程序	198
3.4.4 型腔加工及其编程	122	5.2.1 自动换刀装置的工作原理和构成	198
3.5 数控铣削加工综合实例	127	5.2.2 加工中心的典型换刀程序	201
3.5.1 端盖零件的加工实例	127	5.3 加工中心的刀具选择	202
3.5.2 动模板零件的加工实例	133	5.3.1 加工中心常用刀具的种类	202
思考题与习题	144	5.3.2 加工中心刀具的选择	203
第4章 数控车床的程序编制	147	5.4 加工中心的加工工艺设计和编程方法	206
4.1 数控车削加工工艺	147	5.4.1 加工中心的加工工艺设计及典型零件的工艺分析	206
4.1.1 数控车床	147	5.4.2 加工中心的工件坐标系偏置	
4.1.2 数控车削加工工艺	149		
4.1.3 典型零件的车削加工			

指令及应用	224	6.5 毛坯的管理	257
5.4.3 加工中心的孔加工固定 循环指令及应用	227	6.5.1 数控铣床和加工中心的 毛坯管理	257
5.5 典型结构的加工工艺及 编程实例	238	6.5.2 数控车床的毛坯管理	260
5.5.1 凸轮零件的加工实例	238	6.6 数控机床的基本操作	262
5.5.2 箱体类零件的加工实例	240	6.6.1 数控机床操作面板	262
思考题与习题	243	6.6.2 机床的手动操作	265
第6章 数控加工仿真与实训	246	6.6.3 程序的自动运行	266
6.1 数控加工仿真系统的启动 与退出	246	6.6.4 程序的建立与编辑	267
6.1.1 软件的启动	246	6.6.5 数据的设置	268
6.1.2 软件的退出	247	6.6.6 数控车床的机械操作 面板	269
6.2 数控加工仿真系统的文件 管理	247	6.6.7 数控铣床的基本操作 步骤	269
6.2.1 项目的管理	247	6.6.8 数控车床的操作步骤	271
6.2.2 数控代码文件的管理	248	6.7 数控铣床加工实例	272
6.2.3 零件的管理	248	6.7.1 端盖零件的仿真加工	272
6.3 仿真机床的使用	249	6.7.2 叶轮零件的仿真加工	279
6.3.1 机床类型和数控系统的 选择	249	6.8 数控车床加工实例	285
6.3.2 仿真系统参数设置	250	6.9 西门子 810D 加工中心操作 使用方法	293
6.3.3 控制面板的隐藏和显示	251	6.9.1 数控系统操作面板及开机 步骤	293
6.3.4 隐藏和显示手轮	251	6.9.2 用户图形界面的使用	296
6.3.5 机床加工显示区的操作	251	6.9.3 数控加工中心基本操作	298
6.3.6 机床的辅助视图	253	6.9.4 数控程序的编辑	301
6.4 刀具库管理	254	6.9.5 程序管理	303
6.4.1 数控铣床的刀具库	254	6.9.6 自动加工方式	305
6.4.2 数控车床的刀具库	255	参考文献	309
6.4.3 加工中心刀具库	256		

第1章 数控加工的工艺设计基础

数控编程工作中的工艺设计是实现数控加工非常重要的环节,它关系到零件加工的正确性与合理性。数控加工过程是在数控加工程序控制下自动进行的,因此对加工程序的正确性与合理性要求极高,不能有丝毫差错。正因为如此,在编写程序前,编程人员必须对加工过程、工艺路线、刀具、切削用量等进行正确、合理地确定和选择。

数控加工工艺与普通机床加工工艺基本理论是一致的,数控加工工艺过程也是由一个或若干个顺序排列的工序组成的,工序是组成工艺过程的基本单元,也是制定生产计划、进行经济核算的基本单元。

1.1 工艺规程设计概述

工艺规程设计需要的原始资料有:

- (1) 产品装配图、零件图。
- (2) 产品验收质量标准。
- (3) 产品的年生产纲领。
- (4) 毛坯材料与毛坯生产条件。
- (5) 制造厂的生产条件(包括机床设备和工艺装备的规格、性能和现有的技术状态,工人的技术水平,工厂自制工艺装备的能力以及工厂供电、供气的能力等有关资料)。
- (6) 工艺规程设计、工艺装备设计所需用到的设计手册和有关标准。

机械加工工艺规程设计的内容和步骤:

- (1) 分析零件图和产品装配图。
- (2) 对零件图和装配图进行工艺审查。
- (3) 确定毛坯种类。
- (4) 拟定零件加工工艺路线。
- (5) 确定各工序所用机床设备和工艺装备(含刀具、夹具、量具、辅具等)。
- (6) 确定各工序的加工余量,计算工序尺寸及公差。
- (7) 确定各工序的技术要求及检验方法。
- (8) 确定各工序的切削用量和工时定额。
- (9) 编制工艺文件。

1.2 数控加工工艺概述

数控机床是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床,它是一种技术密集度及自动化程度很高的机电一体化加工设备。数控加工则是根据被加工零件的图样和工艺要求编制成以数控代码表示的数控程序,输入到机床的数控装置或控制计算机中,以控制工件和工具

的相对运动,使之加工出合格零件。在数控加工过程中,如果数控机床是硬件的话,数控工艺和数控程序则相当于软件,两者缺一不可。实现数控加工,编程是关键,但必须在编程前做必要的准备工作和在编程后做必要的善后处理工作。严格来讲,数控编程也属于数控工艺的范畴。

数控加工具有如下特点:

- (1) 自动化程度高。
- (2) 加工精度高。
- (3) 对加工对象的适应性强。
- (4) 生产效率高。
- (5) 易于建立计算机通信网络。

1.2.1 数控加工的工艺特点

1. 数控加工的工艺内容十分明确而具体

进行数控加工时,数控机床是接受数控系统的指令,完成各种运动,实现加工的主体。因此,在编制加工程序之前,需要对影响加工过程的各种工艺因素,如切削用量、进给路线、刀具的几何形状,甚至工步的划分与安排等都要一一做出定量描述,对每一个问题都要给出确切的答案和选择,而不能像用通用机床加工时一样,在大多数情况下对许多具体的工艺问题由操作工人依据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定。也就是说,通用机床加工时本来由操作人员在加工中灵活掌握并可通过适时调整来处理的许多工艺问题,在数控加工时就转变为编程人员必须事先具体设计和明确安排的内容。

2. 数控加工的工艺内容准确而严密

数控加工不能像通用机床加工时一样,可以根据加工过程中出现的问题由操作者自由地进行调整。例如,加工内螺纹时操作者对于一个字符、一个小数点或一个逗号的调整都有可能酿成重大机床事故和质量事故。因为数控机床比同类的普通机床价格高得多,在数控机床上加工的也往往是一些形状比较复杂,价值也较高的工件,生产中机床出现损坏或工件出现报废事故都会造成较大损失。

根据对大量加工实例分析得知,数控工艺考虑不周和计算与编程时的粗心大意是造成数控加工失误的主要原因。因此,要求编程人员除必须具备较扎实的工艺基础知识和较丰富的实际工作经验外,还必须具有耐心和严谨的工作作风。

3. 数控加工的工序相对集中

一般来说,在普通机床上加工是根据机床的种类进行单工序加工,而在数控机床上加工往往是采用“工序集中”的方式,即尽量在工件的一次装夹中完成工件的钻、扩、铰、铣、镗、攻螺纹等多工序的加工。在特殊情况下,甚至在一台加工中心上可以完成某工件的全部加工内容。

1.2.2 数控加工工艺的主要内容

工艺设计是对工件进行数控加工的前期准备工作,它必须在编制程序之前完成。因为只有在工艺设计方案确定以后,编程才有依据。否则,由于工艺方面的考虑不周,将可能造成数控加工的错误,造成废品、次品。同时,如果工艺设计不好,往往要成倍增加工作量,有时甚至要推倒重来。可以说,数控加工工艺分析的质量决定了数控程序的质量。因此,编程人员一定要先把工艺设计做好,然后再进行编程工作。

一般来说,零件的数控加工生产过程如下:

- (1) 根据零件加工图样进行工艺分析,确定加工方案、工艺参数和位移数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单,或用自动编程软件直接生成零件的加工程序文件。

(3) 输入程序。由手工编写的程序,可以通过数控机床的操作面板输入程序;由编程软件生成的程序,可通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元(MCU),完成程序的输入。

(4) 将输入到数控单元的加工程序,进行刀具路径模拟、试运行等。

(5) 通过对机床的正确操作,运行程序,完成零件的加工。

根据以上数控加工零件的生产过程和实际应用中的经验,数控加工工艺设计主要包括以下内容:

(1) 选择并决定零件的数控加工内容。

(2) 零件图样的数控加工分析。

(3) 数控加工的工艺路线设计。

(4) 数控加工工序设计。

(5) 数控加工专用技术文件的编写。

1.3 数控加工工艺性分析

在制定零件的机械加工工艺规程之前,对零件进行工艺性分析,以及对产品零件图提出修改意见,是制定工艺规程的一项重要工作。为了保证数控加工的顺利进行有必要对零件图进行分析,分析的内容主要包含对零件图的正确性、完整性、工艺性进行分析,涉及结构表达、尺寸标注、技术要求等分析内容。

1.3.1 零件图分析

零件图的分析应从以下几个方面进行:

(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,为了方便计算及检验,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,无论哪一点不明确或不确定,编程都无法进行。另外,由于设计人员在设计过程中考虑不周或疏忽,常常会出现参数不全或表达不清楚的情况,例如圆弧与直线、圆弧与圆弧之间是相切还是相交或相离表达不清。所以在审查与分析图纸时一定要仔细核算,发现问题时应及时与设计人员联系。

(3) 定位基准应可靠 在数控加工中,加工工序往往较集中,为了取得较好的加工效果,避免基准不重合误差,故以同一基准定位十分重要。因此,往往需要设置一些辅助基准或在毛坯上增加一些工艺凸台。以图 1-1(a)所示的零件为例,为增加定位的稳定性,可在底面增加一工艺凸台,如图 1-1(b)所示。这些辅助基准在完成定位加工后可除去。

(4) 应统一几何类型及尺寸 零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型及尺寸,这样不但可以减少换刀次数,还可能应用流程控制程序或专门的子程序以缩短程序长度。另外,零件的形状尽可能对称,便于利用数控机床的镜向加工功能来编程,以节省编程时间。

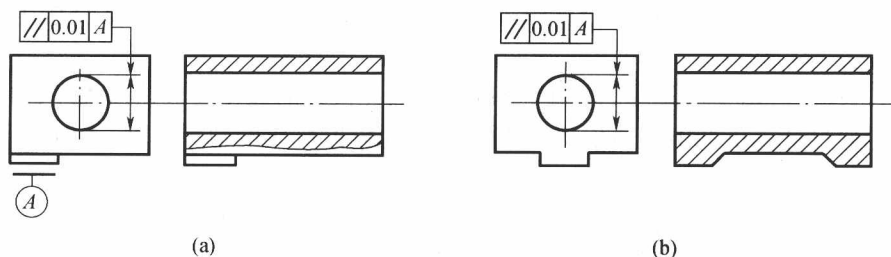


图 1-1 工艺凸台的应用
(a) 改进前的结构; (b) 改进后的结构。

1.3.2 零件的结构工艺性分析

零件的结构工艺性对其工艺过程影响很大,使用性能相同而结构不同的两个零件,它们的制造成本可能会有很大差别。结构工艺性好就是指这种结构在同样的生产条件(加工设备、工艺装备、加工方法、操作技术水平等)下,能够采用较经济的方法,保质、保量地制造出来。结构工艺性涉及毛坯制造、零件加工以及装配、包装等几个方面。对于加工来说,零件的结构工艺性分析应从以下几个方面进行:

(1) 零件的内腔与外形应尽量采用统一的几何类型和尺寸 尤其是加工面交接处的凹圆弧半径,一根轴上直径相差不大的各轴肩处的退刀槽宽度等最好统一尺寸。

(2) 内槽圆角半径不应过小 这是因为此处圆角半径大小决定了刀的直径,而刀具直径的大小对工件加工质量及效率有直接影响。

(3) 铣削零件底平面时,槽底圆角半径 r 不应过大,圆角半径 r 越大,铣刀端刃铣削平面的能力就越差,效率也越低。当 r 大到一定程度时,甚至无法用球头铣刀加工,这是应该尽量避免的。

1.4 数控加工内容的选择及数控机床的合理选用

1.4.1 数控加工内容的选择

一般情况下,并非零件的全部加工内容都采用数控加工,而经常只是其中的一部分进行数控加工。选择哪些内容和工序进行数控加工,一般可按以下顺序考虑:

- (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的内容,可在数控机床尚有加工能力的基础上进行选择。

相比之下,下列一些加工内容则不宜选择为数控加工的内容:

- (1) 需要用较长时间占机调整的加工内容。
- (2) 加工余量极不稳定,且数控机床上又无法自动调整零件坐标位置的加工内容。
- (3) 不能在一次安装中加工完成的零星分散部位,采用数控加工很不方便,效果不明显时,可以安排普通机床补充加工。

1.4.2 数控机床的合理选用

数控机床的合理选用是指通过技术上和经济上的分析、评价与比较,从可以满足相同需要的

多种型号、规格的设备中选择最佳者的决策。此时需要分析的因素很多,涉及加工工件的尺寸、材料、类型、加工精度、零件数量以及热处理等,应综合这些分析,选择合适的数控机床进行加工。

选择时应遵循的基本原则有以下3点:

1. 生产上适用

生产上适用即应保证加工零件的技术要求能够生产出合格的产品。对于平面轮廓和二维轮廓的工件,采用2轴或3轴数控机床加工,对于复杂曲面的工件,可以选用3轴或5轴联动数控机床。

1) 要保证对工艺的适用性要求

典型零件的加工工艺中要求的设备选用如下:

轴类零件:铣端面打中心孔→数控车床(粗加工)→数控磨床(精加工)。

法兰和盘类件:数控车床(粗加工)→车削中心(精加工)。

型腔模具零件:普通机床加工外形及基面→数控铣床加工型面→高速数控铣床(精加工)→抛光或电腐蚀型面。

板类零件:双轴铣床或龙门铣床加工大平面→立式加工中心上加工各类孔。

箱体零件:立式加工中心上加工底面→卧式加工中心上加工四周各工艺面。

2) 要保证加工工件的尺寸的适用性要求

数控机床的最主要规格是几个数控轴的行程范围和主轴电动机功率。机床的3个基本直线坐标(X, Y, Z)行程反映该机床允许的加工空间。在车床中,两个坐标(X, Z)反映允许回转体的大小,一般情况下,加工工件的轮廓尺寸应在机床的加工空间范围之内。例如,典型工件是 $450\text{mm} \times 450\text{mm} \times 450\text{mm}$ 的箱体,那么应选取工作台面尺寸为 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 的加工中心。选用工作台面比典型工件稍大一些是基于安装夹具的考虑。机床工作台面尺寸和3个直线坐标行程都有一定的比例关系。如上述工作台($500\text{mm} \times 500\text{mm}$)的机床, X 轴行程一般为 $(700 \sim 800)\text{mm}$, Y 轴为 $(500 \sim 700)\text{mm}$, Z 轴为 $(500 \sim 600)\text{mm}$ 左右。因此,工作台面大小基本上确定了加工空间的大小。个别情况下也允许工件尺寸大于坐标行程,这时必须要求零件上的加工区域处在行程范围之内,而且要考虑机床工作台的允许承载能力,以及工件是否与机床交换刀具的空间发生干涉、与机床防护罩等附件发生干涉等系列问题。

3) 要保证工件的加工精度要求

典型零件的关键部位加工精度要求决定了选择数控机床的精度等级。数控机床根据用途又分为简易型、全功能型、超精密型等,其能达到的精度也是各不一样的。简易型目前还用于一部分车床和铣床,其最小运动分辨力为 0.01mm ,运动精度和加工精度都在 $(0.03 \sim 0.05)\text{mm}$ 以上,超精密型用于特殊加工,其精度可达 0.001mm 以下。

2. 技术上先进

在保证加工质量和加工精度要求的前提下,机床的精度要与工件要求的精度一致,尽量选用技术先进的机床加工,以提高效率。

3. 经济上合理

对于简单零件,加工过程不复杂的可以选择普通机床进行加工,没有必要把数控机床降为普通机床使用,以降低成本。

目前,数控机床品种繁多,可供选择的余地很大,在机型选择中应在满足加工工艺要求的前提下越简单越好。例如,车削中心和数控车床都可以加工轴类零件,但一台满足同样加工规格的车削中心价格要比数控车床贵几倍,如果没有相应工艺要求,选择数控车床应是合理的。在加工型腔模具零件中,同规格的数控铣床和加工中心都能满足基本加工要求,但两种机床价格相差 $20\% \sim 50\%$,所以对于在加工中要采用常更换刀具的工艺时可安排选用加工中心,而固定用一把刀具长时间铣削时可选用数控铣床。

1.5 数控加工工艺路线的设计

零件机械加工的工艺路线是指零件生产过程中,由毛坯到成品所经过的工序先后顺序。在拟定工艺路线时,除了首先考虑定位基准的选择外,还应当考虑各表面加工方法的选择,工序集中与分散的程度,加工阶段的划分和工序先后顺序的安排等问题。

1.5.1 定位基准的选择

在制定工艺规程时,定位基准选择的正确与否,对能否保证零件的尺寸精度和相互位置精度要求,以及对零件各表面间的加工顺序安排都有很大影响,当用夹具安装工件时,定位基准的选择还会影响到夹具结构的复杂程度。因此,定位基准的选择是一个很重要的问题。

选择定位基准时,是从保证工件加工精度要求出发的,因此,定位基准的选择应先选择精基准,再选择粗基准。

1. 精基准的选择原则

选择精基准时,主要应考虑保证加工精度和工件安装方便可靠,其选择原则如下:

(1) 基准重合原则 选用设计基准作为定位基准,以避免定位基准与设计基准不重合而引起的基准不重合误差。

(2) 基准统一原则 应采用同一组基准定位加工零件上尽可能多的表面。这样做可以简化工艺规程的制订工作,减少夹具设计、制造的工作量和成本,缩短生产准备周期。由于减少了基准转换,便于保证各加工表面的相互位置精度。例如加工轴类零件时,采用中心孔定位加工各外圆表面就符合基准统一原则;箱体零件采用一面两孔定位;齿轮的齿坯和齿形加工多采用齿轮的内孔及一端面为定位基准,均属于基准统一原则。

(3) 自为基准原则 某些要求加工余量小而均匀的精加工工序,选择加工表面本身为定位基准。例如浮动镗刀镗孔、珩磨孔、拉孔、无心磨外圆等均为自为基准的实例。

(4) 互为基准原则 当对工件上两个相互位置精度要求很高的表面进行加工时,用两个表面互相作为基准,反复进行加工,以保证位置精度要求。例如要保证精密齿轮的齿圈跳动精度,在齿面淬硬后,先以齿面定位磨内孔,再以内孔定位磨齿面,从而保证位置精度;车床主轴的前锥孔与主轴支承轴颈间有严格的同轴度要求,加工时就是先以轴颈外圆为定位基准加工锥孔,再以锥孔为定位基准加工外圆,如此反复多次,最终达到加工要求。这都是互为基准的典型实例。

(5) 便于装夹原则 所选精基准应保证工件安装可靠,夹具设计简单、操作方便。

2. 粗基准的选择原则

选择粗基准时,主要要求保证各加工面有足够的余量,使加工面与不加工面间的位置符合图样要求,并应特别注意要尽快获得精基准面,具体选择时应考虑下列原则:

(1) 选择重要表面为粗基准 为保证工件上重要表面的加工余量小而均匀,应选择该重要表面为粗基准。重要表面一般是指工件上加工精度以及表面质量要求较高的表面,如床身的导轨面、车床主轴箱的主轴孔,都是各自的重要表面。因此,加工床身和主轴箱时,应以导轨面或主轴孔为粗基准。

(2) 选择不加工表面为粗基准 为了保证加工面与不加工面间的位置要求,一般应选择不加工面为粗基准。如果工件上有多个不加工面,则应选其中与加工面位置要求较高的不加工面为粗基准,以便保证精度要求,使外形对称等。

(3) 选择加工余量最小的表面为粗基准 在没有要求保证重要表面加工余量均匀的情况

下,如果零件上每个表面都要加工,则应选择其中加工余量最小的表面为粗基准,以避免该表面在加工时因余量不足而留下部分毛坯面,造成工件废品。

(4) 选择较为平整光洁、加工面积较大的表面为粗基准,以便工件定位可靠、夹紧方便。

(5) 粗基准在同一尺寸方向上只能使用一次,因为粗基准本身都是未经机械加工的毛坯面,其表面粗糙且精度低,若重复使用将产生较大的误差。

实际上,无论精基准还是粗基准的选择,上述原则都不可能同时满足,有时还会互相矛盾。因此,在选择时应根据具体情况进行分析,权衡利弊,保证其主要的要求。

1.5.2 加工方法的选择

加工方法的选择,就是为零件上每个有质量要求的表面选择一套合理的加工方法,以保证加工表面精度和表面粗糙度的要求。在选择时,一般先根据表面的精度和粗糙度要求选定最终加工方法,然后再确定精加工前准备工序的加工方法,即确定加工方案。由于获得同一精度和粗糙度的加工方法往往有几种,因此在选择时除了要考虑生产效率要求和经济效益外,还应考虑下列因素:

(1) 工件材料的性质 例如,材料为淬硬钢的零件的精加工通常要用磨削的方法实现,而有色金属零件的精加工应采用精车或精镗等加工方法,而不应采用磨削。

(2) 工件的结构和尺寸 例如,对于 IT7 级精度的孔采用拉削、铰削、镗削和磨削等加工方法都可,但是对于箱体上的孔一般不采用拉削或磨削,而常常采用铰孔和镗孔,直径大于 60mm 的孔不宜采用钻、扩、铰。

(3) 生产类型 选择加工方法要与生产类型相适应。大批大量生产应选用生产效率高和质量稳定的加工方法。例如,平面和孔可采用拉削加工。单件小批生产则采用刨削、铣削平面和钻、扩、铰孔。又如为保证质量可靠和稳定,保证较高的成品率,在大批大量生产中采用珩磨和超精加工工艺加工较精密零件。

(4) 具体生产条件 应充分利用现有设备和工艺手段,不断引进新技术,对老设备进行技术改造,挖掘企业潜力,提高工艺水平。

表 1-1 ~ 表 1-4 分别列出了外圆、内孔和平面的加工方案及经济精度,供选择加工方法时参考。

表 1-1 外圆表面加工方案

序号	加工方案	经济精度等级	表面粗糙度 R_a 值/ μm	适用范围
1	粗车	IT11 以下	50 ~ 12.5	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车—半精车	IT8 ~ IT10	6.3 ~ 3.2	
3	粗车—半精车—精车	IT7、IT8	1.6 ~ 0.8	
4	粗车—半精车—精车—滚压(或抛光)	IT7、IT8	0.2 ~ 0.025	
5	粗车—半精车—磨削	IT7、IT8	0.8 ~ 0.4	主要用于淬火钢、未淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车—半精车—粗磨—精磨	IT6、IT7	0.4 ~ 0.1	
7	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精加工(或轮式超精磨)	IT5	0.1 ~ R_z 0.1	
8	粗车—半精车—精车—金刚石车	IT6、IT7	0.4 ~ 0.025	主要用于要求较高的有色金属加工
9	粗车—半精车—粗磨—精磨—超精磨或镜面磨	IT5 以上	0.025 ~ R_z 0.05	极高精度的外圆加工
10	粗车—半精车—粗磨—精磨—研磨	IT5 以上	0.1 ~ R_z 0.05	

表 1-2 孔加工方案

序号	加工方案	经济精度等级	表面粗糙度 R_a 值/ μm	适用范围
1	钻	IT11、IT12	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属(但表面粗糙度稍大,孔径小于15mm)
2	钻—铰	IT9	3.2~1.6	
3	钻—铰—精铰	IT7、IT8	1.6~0.8	
4	钻—扩	IT10、IT11	12.5~6.3	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属(但表面粗糙度稍大,孔径大于15mm)
5	钻—扩—铰	IT8、IT9	3.2~1.6	
6	钻—扩—粗铰—精铰	IT7	1.6~0.8	
7	钻—扩—机铰—手铰	IT6、IT7	0.4~0.1	大批量生产(精度由拉刀的精度确定)
8	钻—扩—拉	IT7~IT9	1.6~0.1	
9	粗镗(或扩孔)	IT11、IT12	12.5~6.3	
10	粗镗(粗扩)—半精镗(精扩)	IT8、IT9	3.2~1.6	除淬火钢外各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
11	粗镗(扩)—半精镗(精扩)—精镗(铰)	IT7、IT8	1.6~0.8	
12	粗镗(扩)—半精镗(精扩)—精镗—浮动镗刀精镗	IT6、IT7	0.8~0.4	
13	粗镗(扩)—半精镗—磨孔	IT6、IT7	0.8~0.2	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
14	粗镗(扩)—半精镗—粗磨—精磨	IT6、IT7	0.2~0.1	
15	粗镗—半精镗—精镗—金刚镗	IT6、IT7	0.4~0.05	主要用于精度要求高的有色金属加工
16	钻—(扩)—粗铰—精铰—珩磨; 钻—(扩)—拉—珩磨; 粗镗—半精镗—精镗—珩磨	IT6、IT7	0.2~0.025	精度要求很高的孔
17	以研磨代替上述方案中的珩磨	IT6 以上		

表 1-3 平面加工方案

序号	加工方案	经济精度等级	表面粗糙度 R_a 值/ μm	适用范围
1	粗车—半精车	IT9	6.3~3.2	端面
2	粗车—半精车—精车	IT7、IT8	1.6~0.8	
3	粗车—半精车—磨削	IT8、IT9	0.8~0.2	
4	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)	IT8、IT9	6.3~1.6	一般不淬硬平面(端铣表面粗糙度较细)
5	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—刮研	IT6、IT7	0.8~0.4	精度要求较高的不淬硬平面;批量较大时宜采用宽刃精刨方案
6	以宽刃刨削代替上述方案刮研	IT7	0.8~0.2	
7	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—磨削	IT7	0.8~0.2	精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
8	粗刨(或粗铣)—精刨(或精铣)—粗磨—精磨	IT6、IT7	0.4~0.02	
9	粗铣—拉	IT7~IT9	0.8~0.2	大量生产,较小的平面(精度视拉刀精度而定)
10	粗铣—精铣—磨削—研磨	IT6 以上	0.1~0.008	超精密平面

表 1-4 各种加工方法的经济精度等级和表面粗糙度(中批生产)

被加工表面	加工方法	经济精度等级	表面粗糙度 R_a 值/ μm
外圆和端面	粗车	IT11 ~ IT13	50 ~ 12.5
	半精车	IT8 ~ IT11	6.3 ~ 3.2
	精车	IT7 ~ IT9	3.2 ~ 1.6
	粗磨	IT8 ~ IT11	3.2 ~ 0.8
	精磨	IT6 ~ IT8	0.8 ~ 0.2
	研磨	IT5	0.2 ~ 0.012
	超精加工	IT5	0.2 ~ 0.012
	精细车(金刚车)	IT5、IT6	0.8 ~ 0.05
孔	钻	IT11 ~ IT13	50 ~ 6.3
	铸锻孔的粗扩(镗)	IT11 ~ IT13	50 ~ 12.5
	精扩	IT9 ~ IT11	6.3 ~ 3.2
	粗铰	IT8、IT9	6.3 ~ 1.6
	精铰	IT6、IT7	3.2 ~ 0.8
	半精镗	IT9 ~ IT11	6.3 ~ 3.2
	精镗(浮动镗)	IT7 ~ IT9	3.2 ~ 0.8
	精细镗(金刚镗)	IT6、IT7	0.8 ~ 0.1
	粗磨	IT9 ~ IT11	6.3 ~ 3.2
	精磨	IT7 ~ IT9	1.6 ~ 0.4
	研磨	IT6	0.2 ~ 0.012
	珩磨	IT6、IT7	0.4 ~ 0.1
	拉孔	IT7 ~ IT9	1.6 ~ 0.8
平面	粗刨、粗铣	IT11 ~ IT13	50 ~ 12.5
	半精刨、半精铣	IT8 ~ IT11	6.3 ~ 3.2
	精刨、精铣	IT6 ~ IT8	3.2 ~ 0.8
	拉削	IT7、IT8	1.6 ~ 0.8
	粗磨	IT8 ~ IT11	6.3 ~ 1.6
	精磨	IT6 ~ IT8	0.8 ~ 0.2
	研磨	IT5、IT6	0.2 ~ 0.012

1.5.3 工序的划分

根据数控加工的特点,加工工序的划分一般可按下列方法进行:

(1) 以同一把刀具加工的内容划分工序 有些零件虽然能在一次安装后加工出很多待加工面,但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(如一道工序在一个班内不能结束)等。此外,程序太长会增加出错率,查错与检索困难。因此,程序不能太长,一道工序的内容也不能太多。

(2) 以加工部分划分工序 对于加工内容很多的零件,可按其结构特点将加工部位分成几个部分,如内轮廓、外轮廓、曲面或平面等。

(3) 以粗、精加工划分工序 对于易发生加工变形的零件,由于粗加工后可能发生较大的变形而需要进行校形,因此一般来说凡要进行粗、精加工的工件都要将工序分开。

综上所述,在划分工序时,一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数及本单位生产组织状况灵活掌握。某零件宜采用工序集中的原则还是采用工序

分散的原则,也要根据实际需要和生产条件确定,要力求合理。

1.5.4 工序顺序的安排

加工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,保证工件的刚性不被破坏。顺序安排一般应按下列原则进行:

(1) 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧,中间穿插有通用机床加工工序的也要综合考虑。

(2) 先进行内型腔加工工序,后进行外型腔加工工序。

(3) 在同一次安装中进行的多道工序,应先安排对工件刚性破坏小的工序。

(4) 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序,最好连续进行,以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压板次数。

1.6 数控加工工序的设计

当数控加工工艺路线设计完成后,各道数控加工工序的内容已基本确定,要达到的目标已比较明确,对其他一些问题(如刀具、夹具、量具、装夹方式等),也已基本明确,接下来便可以着手数控工序设计了。

在确定工序内容时,要充分注意到数控加工的工艺是十分严密的。因为数控机床虽然自动化程度较高,但自适应性差,它不能像通用机床一样,在加工时可以根据加工过程中出现的问题比较自由地进行人为调整,即使现代数控机床在自适应调整方面(例如自适应控制技术、人工智能技术)做出了不少努力与改进,但自由度仍不大。例如,数控机床在攻制螺纹时,机床不知道孔中是否已挤满了切屑,是否需要退一下刀,或清理一下切屑再继续加工。所以,在数控加工的工序设计中,必须注意加工过程中的每一个细节。同时,在对图形进行数学处理、计算和编程时,都要力求准确无误。因为,数控机床比同类通用机床价格要高得多,在数控机床上加工的也都是些形状比较复杂,价值也较高的零件,一旦出现机床或零件的损坏都会造成较大的损失。在实际工作中,由于一个小数点或一个逗号的差错而酿造重大机床事故和质量事故的例子也是屡见不鲜的。

数控工序设计的主要任务是进一步把本工序的加工内容、切削用量、工艺装备、定位夹紧方式及刀具运动轨迹都确定下来,为编制加工程序做好充分准备,

1.6.1 走刀路线和工步顺序的确定

走刀路线是刀具在整个加工工序中相对于工件的运动轨迹,它不但包括了工序的内容,而且也反映了工序的顺序。走刀路线是编写程序的依据之一,因此,在确定走刀路线时最好画一张工序简图,将已经拟定出的走刀路线画上去(包括进刀、退刀路线),这样可为编程带来不少方便。

工序顺序是指同一道工序中,各个表面加工的先后次序。它对零件的加工质量、加工效率和数控加工中的走刀路线有直接影响,应根据零件的结构特点和工序的加工要求等合理安排。工序的划分与安排一般可随走刀路线来进行。在确定走刀路线时,主要遵循以下两条原则:

1. 应能保证零件的加工精度和表面粗糙度要求

当铣削平面零件外轮廓时,一般采用立铣刀侧刃切削。刀具切入工件时,应避免沿零件外廓的法向切入,而应沿外廓曲线延长线的切向切入,以避免在切入处产生刀具的刻痕而影响表面质量,保证零件外廓曲线平滑过渡。同理,在切离工件时,也应避免在工件的轮廓处直接退刀,而应