



应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

数控机床 编程技术

胡郑重 罗圆智 主 编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

数控机床编程技术

主 编	胡郑重	罗圆智		
副主编	张向阳	张 荣	蒋小盼	
	李丽君	王仕仙		
参 编	皮 威			

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书以市场上广泛使用的 FANUC 系统为例,结合实例详细地介绍了数控加工编程的基本知识,系统地分析了数控编程指令和编程方法。结合文字叙述,通过大量的实例、图表以及程序的形式来说明相关指令的应用,内容清晰、直观。兼顾课堂教学与自学的特点和需要,本书每章都附有一定量的习题,有助于读者加深对本书内容的理解并检验学习效果。

全书共分 4 章:第 1 章介绍了数控机床编程技术基础,第 2 章介绍了数控车床编程技术,第 3 章介绍了数控铣床编程技术,第 4 章介绍了加工中心编程技术。

本书可作为本科、高职高专院校相关课程的教材,也可作为数控加工职业技能的培训教材和数控加工行业的工程技术人员的工作参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程技术/胡郑重,罗圆智主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.8

应用型本科机电类专业“十三五”规划精品教材

ISBN 978-7-5680-1717-6

I. ①数… II. ①胡… ②罗… 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(2016)第 088202 号

数控机床编程技术

Shukong Jichuang Biancheng Jishu

胡郑重 罗圆智 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:沈 萌

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:朱 玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:武汉鑫昶文化有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11.5

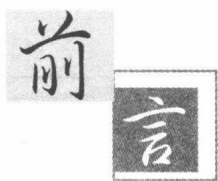
字 数:290 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:28.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



随着现代科学技术的发展,数控技术在机械制造领域日益普及与提高,各种类型的数控机床在生产中得到越来越广泛的应用。因此,培养一大批数控技术高级应用型人才是企业生产的需要,也是我国振兴机械工业的关键。本书是由数控技术应用专业领域资深一线教师和企业高级工程师依据相关课程教学与培训基本要求,结合多年的教学经验和企业实际案例编写而成的。本书坚持课程改革新理念,具有以下特点。

(1)内容丰富,突出重点。本书突出数控编程这一主线,紧紧围绕现代加工技术的中心环节,详细阐述了市场上广泛使用的 FANUC 系统手工编制程序的步骤和方法,同时对自动编程也做了简要说明。本书对编程要求的零件加工工艺、刀具等方面的知识,也做了适当的介绍,有助于读者较好地掌握数控机床编程技术基础知识。

(2)针对性强,适用面广。本书以数控车削加工、数控铣削加工和加工中心为重点,为了便于读者掌握数控机床编程技术,列举了大量的典型零件的数控加工编程实例。

(3)体现课改理念,创新教材编写风格。本书适用于“做中教、做中学”的教学模式,编程案例经典翔实。

本书由胡郑重、罗圆智任主编,张向阳、张荣、蒋小盼、李丽君、王仕仙任副主编。第1章1.1节由湖北工业大学工程技术学院蒋小盼编写。第1章1.2节由湖北商贸学院李丽君编写。第1章1.3节由武汉东湖学院张荣编写。第1章1.4节、第2章、第3章由湖北商贸学院胡郑重编写。第4章由武昌工学院张向阳编写。武汉工程大学罗圆智完成校对工作。武汉工程大学邮电与信息工程学院王仕仙完成习题整理工作。湖北商贸学院皮威完成绘图工作。全书由胡郑重统稿和定稿。本书在编写过程中参考了大量的文献资料,在此向文献资料的作者致以诚挚的谢意。

由于编者时间、水平有限,书中难免存在不当和疏漏之处,敬请读者批评指正。

胡郑重
2016年2月

第1章 数控机床编程技术基础	1
1.1 数控技术简介	1
1.1.1 数控技术的基本概念	1
1.1.2 数控机床的基本组成与工作原理	1
1.1.3 数控机床的特点	3
1.2 数控加工程序基本知识	5
1.2.1 数控编程的步骤与方法	5
1.2.2 数控加工路线的确定	7
1.2.3 数控加工程序组成与格式	10
1.2.4 数控编程指令简介	11
1.2.5 主程序与子程序	13
1.3 数控机床坐标系统	14
1.3.1 基本坐标系	14
1.3.2 机床坐标系与工件坐标系	15
1.3.3 绝对坐标编程与相对坐标编程	18
1.4 数控机床自动编程技术	19
1.4.1 概述	19
1.4.2 自动编程中的造型技术	21
1.4.3 自动编程的工作过程	25
1.4.4 常用自动编程软件简介	31
复习思考题	35
第2章 数控车床编程技术	36
2.1 概述	36
2.1.1 数控车床简介	36
2.1.2 数控车床的编程特点	40
2.2 数控车床对刀方法	41
2.2.1 数控车床手工对刀方法	41



2.2.2 数控车床自动对刀方法	42
2.3 数控车床常用编程指令	42
2.3.1 数控车床基本编程指令	42
2.3.2 刀尖圆弧半径补偿 G40、G41、G42	50
2.3.3 固定循环指令	53
2.3.4 复合循环指令	56
2.3.5 螺纹切削指令	66
2.3.6 数控车床子程序编程	72
2.4 数控车床用户宏程序	75
2.4.1 宏程序格式	76
2.4.2 宏程序的调用	80
2.4.3 宏程序编程实例	82
2.5 数控车床编程综合实例	89
复习思考题	97
第3章 数控铣床编程技术	100
3.1 概述	100
3.1.1 数控铣床简介	100
3.1.2 数控铣床的分类	101
3.1.3 数控铣床的编程特点	103
3.2 数控铣床常用编程指令	105
3.2.1 数控铣床基本编程指令	105
3.2.2 极坐标编程 G15、G16	114
3.2.3 刀具半径补偿 G41、G42、G40	116
3.2.4 比例缩放指令 G50、G51	118
3.2.5 坐标系旋转指令 G68、G69	121
3.2.6 镜像加工指令 G50.1、G51.1	123
3.2.7 数控铣床子程序编程	125
复习思考题	127
第4章 加工中心编程技术	130
4.1 概述	130
4.1.1 加工中心简介	130
4.1.2 加工中心编程特点	134
4.2 加工中心编程基本指令	134
4.2.1 换刀指令	134
4.2.2 刀具补偿指令	135



4.3 孔加工固定循环指令	138
4.3.1 孔加工固定循环指令基础	138
4.3.2 孔加工固定循环指令	143
4.3.3 孔加工固定循环指令综合应用举例	149
4.4 加工中心子程序编程	151
4.4.1 子程序的格式	151
4.4.2 子程序的调用	151
4.4.3 子程序的执行过程	151
4.5 加工中心宏程序	152
4.5.1 宏程序的变量	153
4.5.2 A类宏程序	153
4.5.3 B类宏程序	158
4.6 加工中心编程实例	163
复习思考题	173
参考文献	176

第 1 章 数控机床编程技术基础

1.1 数控技术简介

1.1.1 数控技术的基本概念

在人们的日常生活中以及工农业生产部门、科研单位和国防部门中,使用着大量的各种各样的机器、仪器和工具,这些机器、仪器和工具大部分是由一定形状和尺寸的金属零件所组成的,金属零件从毛坯到合格的产品一般都需要经过机械加工,而在机械加工中要用到各种各样的机床,常用的是金属切削机床。

金属切削机床是用切削的方法将金属毛坯加工成机器零件的一种机器,它是制造机器的机器,称为“工作母机”或“工具机”,人们习惯上称之为机床(machine tools)。常见的机床有车床、铣床、插床、刨床、磨床、钻床、镗床、拉床、切断机床、齿轮加工机床、螺纹加工机床和电加工机床等。随着科学技术的发展,美国于 1952 年发明了数控机床(numerical control machine tools)。

数字控制是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法,也是一种自动控制技术,简称数控(NC)。用计算机控制加工功能,实现数字控制,称为计算机数控(CNC:computer numerical control)。

数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序。它是一种灵活、通用、能够适应产品频繁变化的柔性自动化的机床。

数控机床是信息技术与机械制造技术相结合的产物,它代表了现代基础机械的技术水平与发展趋势。数控机床也是制造业实现生产现代化的重要手段,它的广泛应用对产品质量、生产效率及社会生产力的提高起着巨大的推动作用。

1.1.2 数控机床的基本组成与工作原理

1. 数控机床的基本组成

数控机床是运用数字控制技术控制的机床,它是随着电子元器件、计算机、传感技术、信

息技术和自动控制技术的发展而发展起来的,是涉及电子、机械、电气、液压、气动、光学等多种学科的综合技术产物。数控机床的结构非常复杂,各种类型的数控机床的结构也不相同。一般来说,数控机床由计算机数控系统(CNC 系统)、伺服系统、主传动系统、强电控制装置、辅助装置和机床本体等组成。下面结合国产的 TH6363 卧式加工中心(见图 1-1)简单介绍数控机床的组成部分。

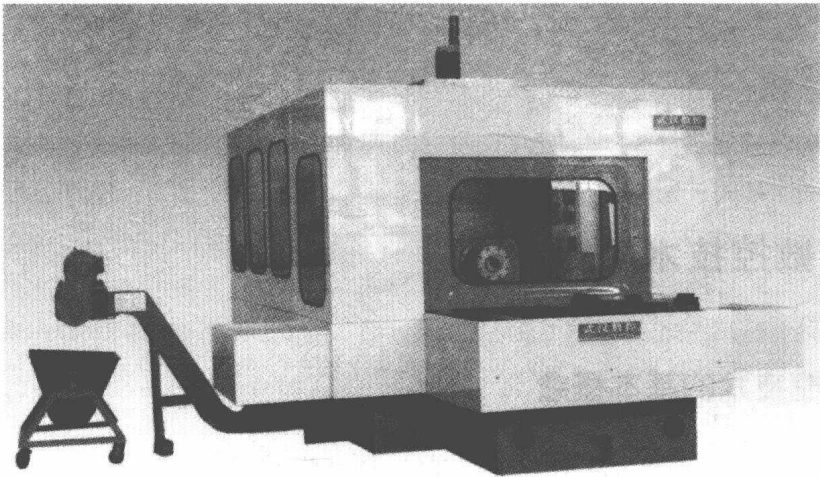


图 1-1 TH6363 卧式加工中心

TH6363 卧式加工中心的组成框图如图 1-2 所示。

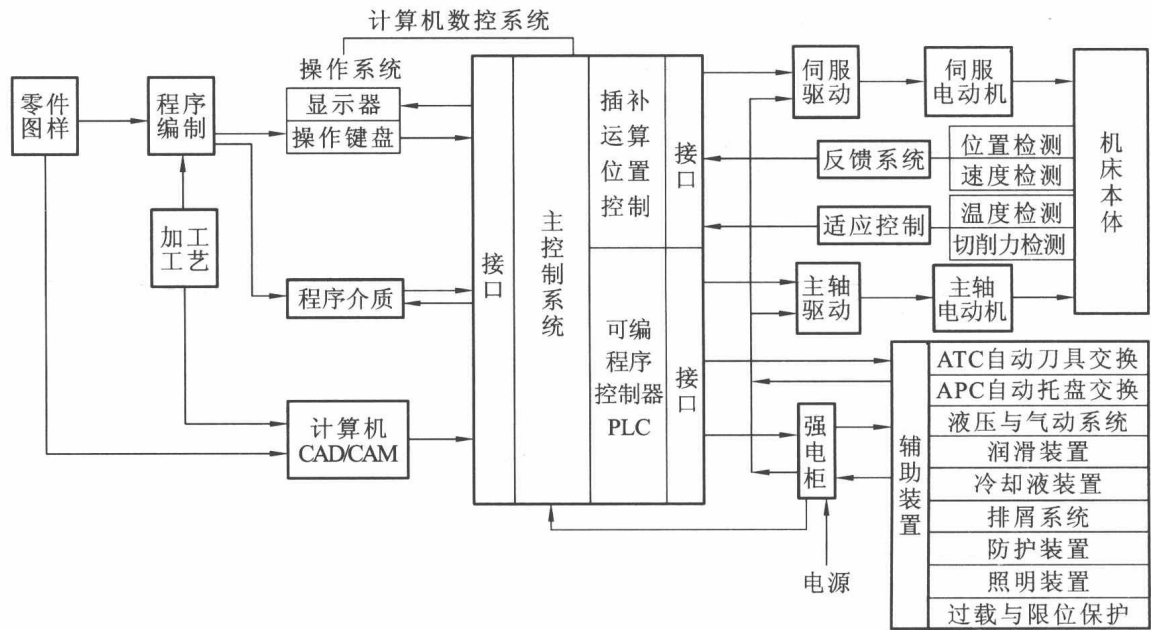


图 1-2 TH6363 卧式加工中心的组成框图

2. 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理(见图 1-3):将零件的几何尺寸、工艺参数和辅助过程编写成程

序,然后输入计算机,经过计算机的处理、运算,将各坐标轴的分量输入驱动电路,经过转换和放大,驱动伺服电动机,带动各轴运动,并对运动过程进行反馈控制,使各坐标轴方向的运动协调进行,从而完成零件的加工。

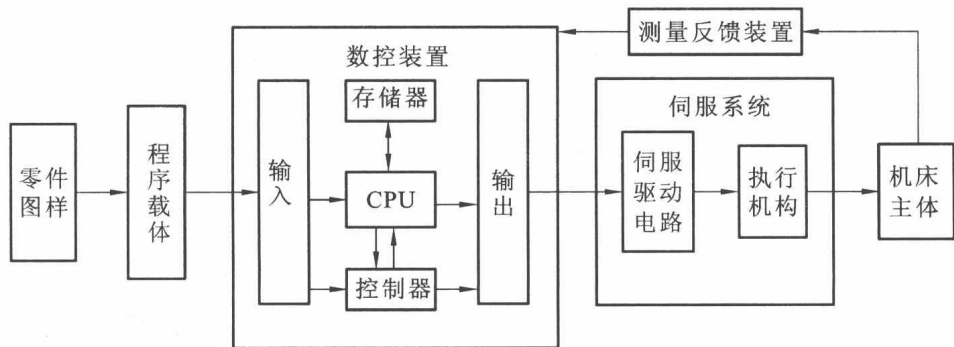


图 1-3 数控机床的工作原理

对数控机床的基本控制包括运动控制和逻辑控制两个方面。其中,运动控制主要包括位移、速度、加速度及其组合控制。例如,对各坐标轴的插补运动控制,对主轴的转速控制等。逻辑控制包括简单逻辑输入、输出控制和组合逻辑控制。例如,对冷却泵电动机的启动、停止控制,对主轴电动机的正转、反转和停止控制,以及对机床参考点限位开关信号的检测等。由于各种机床的功能要求不同,因此运动控制和逻辑控制的复杂程度也会有所不同。

1.1.3 数控机床的特点

1. 数控机床的优点

1) 适应性强,适合加工单件或小批量复杂工件

数控机床能够加工很多普通机床难以加工或者根本不可能加工的复杂型面的零件,如螺旋桨。这是由于数控机床具有多坐标轴联动功能,刀具能够按空间曲线轨迹运动。因此,数控机床首先在航空航天等领域获得应用,随后在复杂曲面的模具、螺旋桨及涡轮叶片的加工中也得到了广泛的应用。在数控机床上改变加工零件时,只需要改变相应的加工程序,就可以实现对新零件的加工,而不需要制造或更换许多工具和夹具,也不需要重新调整机床等。所以,数控机床特别适合单件、小批量及试制新产品的零件加工。

2) 加工精度高,产品质量稳定

数控机床的传动件,特别是滚珠丝杆,制造精度很高,装配时消除了传动间隙,并采用了提高刚度的措施,因而传动精度很高。数控机床导轨采用滚动导轨或粘贴有摩擦系数很小且动、静摩擦系数很接近的以聚四氟乙烯为基体的合成材料,因而减小了摩擦阻力,消除了低速爬行。在闭环、半闭环伺服系统中,装有精度很高的位置检测元件,并随时把位置误差反馈给计算机,使之能够及时地进行误差校正,因而使数控机床获得很高的加工精度。另外,数控机床的加工过程完全是自动进行的,这就消除了操作者人为产生的误差,使同一批零件的尺寸一致性好,加工质量十分稳定。



3) 生产率高

零件加工所需时间包括机动时间和辅助时间。数控机床能有效地减少这两部分时间。数控机床主轴转速和刀具进给速度的调速范围都比普通机床的范围大,机床刚性好,快速移动和停止采用了加速、减速措施,因而既能提高空行程速度,又能保证定位精度,有效地降低了机动时间。又由于数控机床定位精度高,停机检测次数减少,加工准备时间也因采用通用工(夹)具而缩短,因而降低了辅助时间。据统计,数控机床的生产率比普通机床的高 2~3 倍,在加工某些复杂零件时,数控机床的生产率可提高十几倍甚至几十倍。

4) 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床主要是自动加工,能自动换刀、开/关切削液、自动变速等,其大部分操作无须人工完成,因而改善了劳动条件。由于操作失误减少,因此也降低了废品率和次品率。

5) 生产管理水平提高

在数控机床上加工,能准确地计算零件加工时间,加强了零件的计时性,便于实现生产计划调度,简化和减少了检验、工(夹)具准备、半成品调度等管理工作。数控机床的通信接口可实现计算机之间的连接,组成工业局部网络(LAN: local area network),采用制造自动化协议(MAP: manufacturing automation protocol)规范,实现生产过程的计算机管理与控制。

2. 数控机床的缺点

任何事物都有二重性,数控机床也有缺点,主要包括以下两个方面。

1) 价格昂贵

由于数控机床装备有高性能的数控系统、伺服系统和非常复杂的辅助控制装置,数控机床的价格一般比普通机床的高 1 倍以上,因而制约了数控机床的大量使用。

2) 对操作人员和维修人员的要求较高

数控机床操作人员不仅应具备一定的工艺知识,还应在数控机床的结构、工作原理以及程序编制方面进行过专门的技术理论培训和操作训练,掌握操作和编程技能,并能对数控加工中出现的各种应急情况做出正确的判断和处理。数控机床维修人员只有具备了较丰富的理论知识和精湛的维修技术,掌握了相应的机、电、液专业知识,才能综合分析数控机床故障,判断故障点,实现高效维修,尽可能地缩短故障停机时间。高级数控机床维修人员还应该掌握数控机床系统参数的输入和调整、机床精度的检测和补偿、可编程序控制器(PLC: programmable logic controller)的编程和调试等知识。

数控机床适用于多品种、中小批量生产、形状比较复杂、精度要求较高的零件的加工,也适用于产品更新频繁、生产周期要求较高的零件的加工。用数控机床可以组成自动化车间和自动化工厂(FA: factory automation),目前应用较多的是组成柔性自动生产线(FML: flexible manufacturing line)、柔性制造单元(FMC: flexible manufacturing cell)、柔性制造系统(FMS: flexible manufacturing system)和计算机集成制造系统(CIMS: computer integrated manufacturing system)。



1.2 数控加工程序基本知识

1.2.1 数控编程的步骤与方法

1. 数控编程的步骤

在程序编制之前,编程人员应该了解所用机床的种类、规格、性能和机床所用的数控系统的功能和编程代码及程序格式等,同时还应该清楚零件加工的类型。编制程序时,应该先对零件图所规定的技术要求、几何尺寸精度和工艺要求进行分析,确定合理的加工方法和加工路线,进行相应的数值计算,获得刀尖或刀具中心运动轨迹的位置数据;然后按照数控机床规定的功能代码和程序格式,将工件的尺寸、刀尖或刀具中心运动轨迹、进给量、主轴转速、切削深度、背吃刀量等,按照先后顺序编制成数控加工程序;最后将加工程序记录在程序载体上制成控制介质,再通过控制介质将程序信息输入到数控系统中,由数控系统控制数控机床实现工件的自动加工,完成首件试切,验证程序的正确性。

数控机床的程序编制主要包括零件图样分析、加工工艺分析、数值计算、编写程序单、制作控制介质和程序校验等。因此,数控编程的过程也就是指从零件图样分析到程序校验的全过程,如图 1-4 所示。

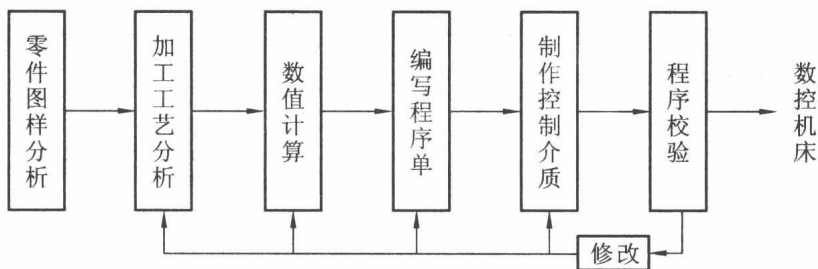


图 1-4 数控编程的步骤

1) 零件图样分析

零件图样分析旨在通过对工件的材料、形状、尺寸、精度及技术要求进行分析,确定毛坯材料、形状、尺寸和热处理方法,根据数控机床加工精度、适应性等特点,分析工件在数控机床上进行加工的可行性,确定加工机床的种类和相关参数。批量小、形状复杂、精度要求高的工件,尤其适合在数控机床上加工。

2) 加工工艺分析

加工工艺分析的目的是制定工艺方案,包括:确定工件的定位基准,选用夹具及装夹方法,确定加工所用的刀具,选择正确的对刀点,确定合理的走刀路线,选用合理的切削用量、进给速度和主轴转速等切削参数,以及确定加工过程中是否需要提供冷却液,是否需要换刀,何时换刀等。在安排工序时,要根据数控加工的特点按照工序集中的原则,尽可能在一次装夹中完成所有的加工内容。



3) 数值计算

数值计算又称数据处理,在确定了工艺方案后,就需要根据零件的几何尺寸、加工路线等计算零件轮廓数据及刀具中心运动轨迹,以获得刀具中心(或刀尖)运动轨迹的数据。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补的功能,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和终点、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数控系统的插补功能不一致时,就需要进行较复杂的数值计算,一般需要使用计算机辅助计算,否则难以完成。数值计算的最终目的是获得编程需要的所有相关位置的坐标数据。

4) 编写程序单

在完成上述几个步骤后,编程人员可根据已确定的工艺方案及数值计算获得的数据,按照数控系统要求的程序格式和代码格式编写相应的加工程序单。这就要求编程人员除应了解所用数控机床及系统的功能、熟悉程序指令外,还应具备与机械加工有关的工艺知识。

5) 制作控制介质

程序单是制作控制介质的依据,控制介质是程序单的载体。程序单完成后,编程人员或操作者可以通过键盘或 CNC 机床的操作面板,在编辑方式下直接将程序信息键入 CNC 系统程序存储器中,也可以根据 CNC 系统输入/输出装置的不同,先将程序单的程序制作成控制介质或转移至某种控制介质上。控制介质大多采用穿孔带,也可以是磁带、磁盘等信息载体,利用穿孔带阅读机或磁带机、磁盘驱动器等输入/输出装置,可将控制介质上的程序信息输入到 CNC 系统程序存储器中。

6) 程序校验

将编写好的加工程序输入数控系统,就可控制数控机床的加工工作。在正式加工之前,必须对程序进行校验,在某些情况下,需要对工件做首件试切。在一般情况下,可采用机床空运行的方式来检查机床动作和运动轨迹的正确性。在具有图形模拟显示功能的数控机床上,可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程,对程序进行检验。现在也可以用计算机数控加工仿真软件来模拟数控机床的加工过程,以检验程序。以上校验方法只能检验刀具运动轨迹的正确与否,无法查出被加工工件的精度。对于形状复杂和精度要求高的零件,通过首件试切,检查试件,不仅可确认程序是否正确,还可确认加工精度是否符合要求。若能采用与被加工零件材料相同的材料进行试切,则更能反映实际加工的效果。当发现加工的零件不符合加工技术要求,产生了误差时,应分析误差产生的原因,可采用修改程序或尺寸补偿等措施加以修正,然后再检验、分析、修正,经过多次反复校验,直到获得完全满足加工要求的程序为止。

2. 数控编程的方法

数控编程的方法有手工编程和自动编程两种。

1) 手工编程

用人工完成程序编制的全部工作(包括用通用计算机辅助进行数值计算)称为手工编程。



对于几何形状比较简单的零件,数值计算比较简单,程序段不多,采用手工编程较容易完成,而且经济、及时。因此,在点位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程仍广泛使用。但对于形状复杂的零件,特别是具有非圆曲线、列表曲线或曲面的零件,采用手工编程就有一定的困难,出错的概率大,效率低,有时甚至无法编出程序,因此必须采用自动编程的方法编制程序。

2) 自动编程

自动编程也称计算机辅助编程(computer aided programming),即程序编制工作的大部分或全部由计算机来完成。如完成坐标值计算,编写零件加工程序单,自动地输出打印加工程序单和制作控制介质等。自动编程减轻了编程人员的劳动强度,缩短了编程时间,提高了编程质量,同时解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。工件表面形状越复杂,工艺过程越烦琐,自动编程的优势就越明显。

自动编程的方法种类很多,发展也很迅速。根据编程信息的输入和计算机对信息的处理方式的不同,可以将自动编程方法分为以自动编程语言为基础的自动编程方法(简称语言式自动编程,如 APT 系统)和以计算机绘图为基础的自动编程方法(简称图形交互式自动编程,如 CAD/CAM)。

CAD/CAM 即计算机辅助设计(CAD: computer aided design)和计算机辅助制造(CAM: computer aided manufacturing)的简称,指的是以计算机为主要辅助手段,进行产品的设计和制造。CAD 解决的是设计问题,CAM 则是利用 CAD 中建立的零件模型信息,再给予工艺信息与参数,自动生成 NC 代码,通过数控机床加工工件,完成高难度、高精度的加工。CAD 中建立的模型是 CAM 的基础。在 PC 机上应用较多的 CAD/CAM 软件主要有 MasterCAM、Pro/Engineer、Unigraphics、SolidWorks 等。

1.2.2 数控加工路线的确定

在数控加工中,刀具刀位点相对于工件运动的轨迹和方向称为进给路线,也称为走刀路线,它既包括切削加工的路线,又包括刀具切入、切出的空行程路线。走刀路线不但包括了工步的内容,而且反映了工步的顺序,是编写数控加工程序的依据之一。确定走刀路线时应注意以下几点。

1. 粗加工的走刀路线

粗加工的走刀路线应以提高加工效率为主,尽可能地缩短粗加工时间。

对于敞开平面铣削,在切削功率许可的情况下,尽可能选用较大直径的面铣刀铣削,以减少走刀次数。对于封闭凹槽铣削,在满足铣刀半径小于或等于内槽轮廓最小曲率半径的前提下,尽量选择较大直径的铣刀。

此外,粗加工走刀路线还应使各处精加工余量均匀,以提高精加工质量。当铣削无岛屿封闭凹槽时,一般有三种走刀方案,图 1-5(a)所示为行切法,图 1-5(b)所示为环切法,图 1-5(c)所示为先用行切法切除大量余量,后沿周向环切一刀。在这三种方案中,图 1-5(a)所示的方案最差;图 1-5(b)所示的方案虽有利于保证加工质量,但计算较复杂,程序段较多;图 1-5(c)所示的方案计算简单,又能使槽内侧面精加工余量均匀,有利于获得满意的表面粗糙度。

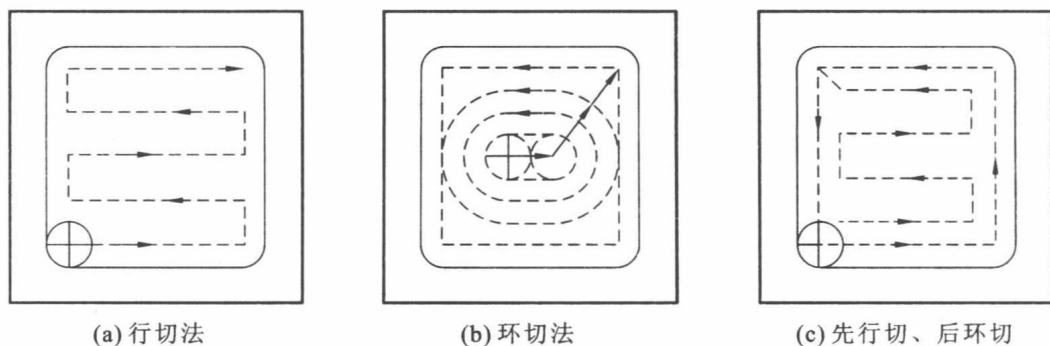


图 1-5 凹槽铣削走刀路线安排

2. 精加工的走刀路线

精加工的走刀路线应能保证零件的加工精度和表面粗糙度的要求,并兼顾效率。

在数控铣削加工中,有顺铣和逆铣两种铣法。通常精加工采用顺铣,有利于切削刃切入,减少刀具磨损和振动,提高零件加工表面质量。对于点位控制的数控机床,若加工的孔系位置精度要求较高,则应特别注意孔的加工顺序的安排,安排不当时,就有可能将坐标轴的反向间隙带入,直接影响位置精度。如图 1-6(a)所示为零件图,在该零件上镗六个尺寸相同的孔,有两种加工路线。当按如图 1-6(b)所示的路线加工时,由于 5、6 孔与 1、2、3、4 孔定位方向相反,Y 轴方向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。当按如图 1-6(c)所示的路线加工时,由于 6、5 孔与 1、2、3、4 孔定位方向相同,Y 轴方向反向间隙不起作用,因此选择这种孔加工顺序有利于提高孔系的位置精度。

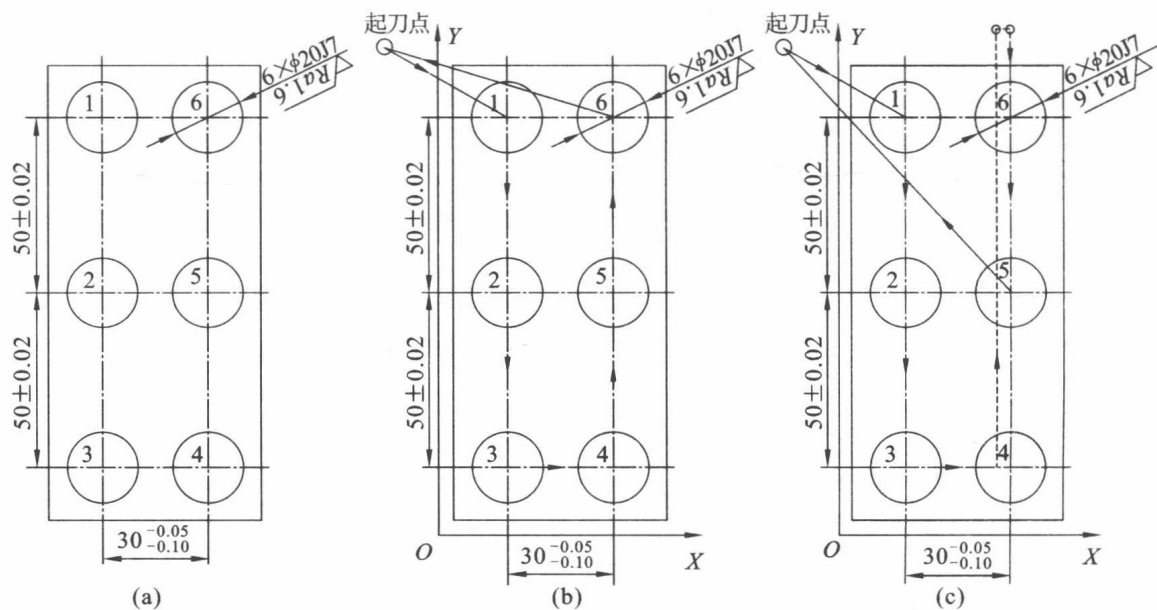


图 1-6 孔加工定位顺序



3. 缩短加工路线,减少刀具空程移动时间

对于点位控制数控机床,如果只要求定位精度较高,定位过程尽可能快,而刀具相对于工件的运动路线是无关紧要的,则应按空程最短来安排走刀路线。如图 1-7(a)所示为零件上的孔系。如图 1-7(b)所示的走刀路线为先加工完外圈孔后,再加工内圈孔。若改用如图 1-7(c)所示的走刀路线,减少空刀时间,则可节省定位时间,提高加工效率。

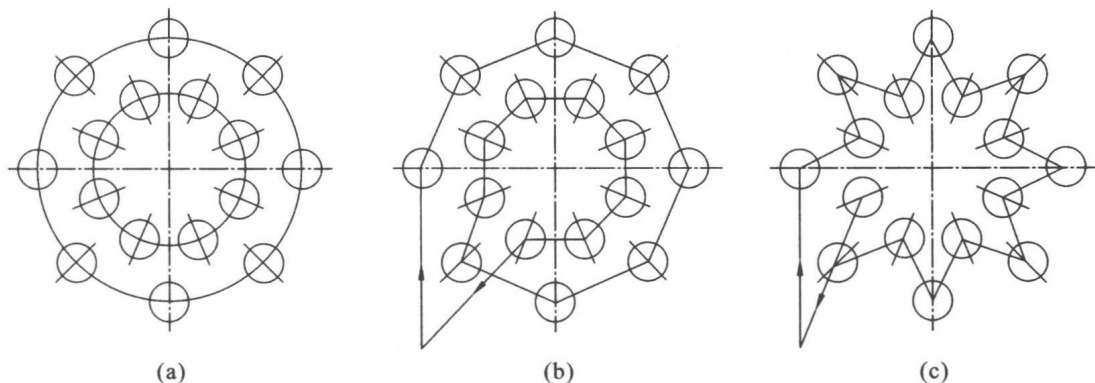


图 1-7 钻孔走刀路线安排

4. 选择进退刀的位置

进退刀位置应选在不太重要的位置上,并且使刀具尽量沿切向方向切入和切出,避免采用法向切入、切出和进给中途停顿而产生刀痕。

如图 1-8 所示,铣削零件轮廓时,一般采用立铣刀侧刃进行切削。为减少接刀痕迹,保证零件表面质量,刀具的切入或切出点应沿零件轮廓切向切入或切向切出,并将其切入、切出点选在零件轮廓两几何元素的交点处。

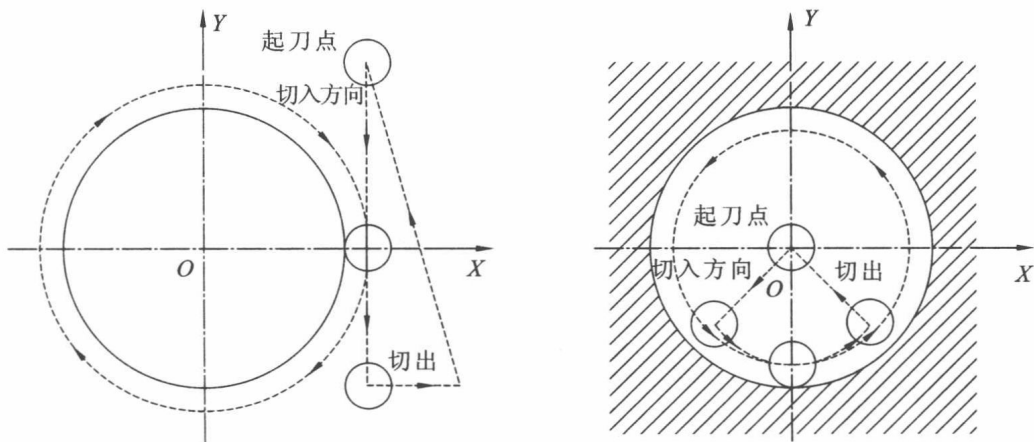


图 1-8 切入和切出方式

此外,尽量减少在轮廓加工切削过程中的暂停(切削力突然变化会造成弹性变形),以免留下刀痕。



5. 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板零件应采用分几次走刀的方法进行加工,同时采用对称去除余量法来安排走刀路线。安排工步时,应先安排对工件刚性破坏较小的工步。

1.2.3 数控加工程序组成与格式

一个完整的数控加工程序由程序号、程序段和程序结束指令组成。例如:

```
O2001;
N10 G99 M42;
N20 M03 S500;
N30 T0202;
N40 G00 X40 Z2;
N50 G01 Z-23 F0.1;
N60 G01 X50 Z-30;
N70 G01 Z-40;
N80 G00 X100 Z100;
N90 M05;
N100 M30;
```

以上程序由 10 个程序段组成,程序号为 O2001,最后一个程序段为结束指令,N10~N100 为程序段号。

1. 程序号

为了识别存储在存储器中的程序,给每一个程序分配一个程序号,它由地址符 O 紧接 4 位数字组成,放在程序的开头。

2. 程序段和顺序号

数控程序是由一系列指令组成的,一个程序语句称为一个程序段。程序段之间用“;”隔开。顺序号又称为程序段号,放在每个程序段的开头,由地址符 N 和后面的数字(1~99999)组成。通常按加工步骤的顺序指定顺序号,根据需要,可以对全部程序段指定顺序号,也可以仅对部分程序段指定顺序号。例如:

```
N100 G01 X23 Z-20 F0.06;
```

3. 程序段的组成

程序段是由功能字组成的,功能字由地址符和数字组成。

<u>N</u>	<u>G</u>	<u>X</u> <u>Z</u>	<u>F</u>	<u>S</u>	<u>T</u>	<u>M</u> ;
顺序号	准备功能	尺寸字	进给功能	主轴转速功能	刀具功能	辅助功能

FANUC0i 系统的主要功能和地址符如表 1-1 所示。