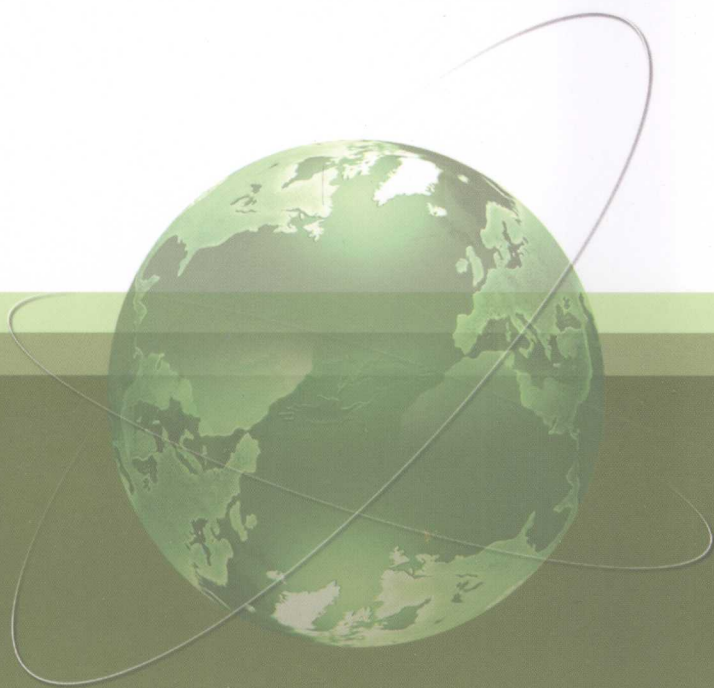




21世纪高职高专规划教材

(机械类)

数控加工 工艺与编程



张兆隆 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪高职高专规划教材

(机械类)

数控加工工艺与编程

主 编 张兆隆

副主编 陈 昱 孙志平

参 编 陈亚娣 耿道森

主 审 王明耀

数控加工工艺与编程 / 张兆隆主编. — 北京: 机械工业出版社, 2008.3

21 世纪高职高专规划教材·机械类
ISBN 958-7-7-111-33973-0

I. ① 数… II. 张… III. ① 数控技术—加工—工艺—高等学校—教材
② 数控技术—设计—高等学校—教材 IV. TG629
交: 技术学校—教材 ③ 数控技术—设计—高等学校—教材

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 030251 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 董永余 封面设计: 尹晓华 版式设计: 董永余 责任印制: 耿道森
编辑: 陈昱 校对: 陈昱 责任校对: 耿道森

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 4 月第 1 版: 第 1 次印刷

184mm×260mm·11 印张·292 千字

0.001—4.000 册

ISBN 958-7-7-111-33973-0

定价: 19.00 元



凡购本书, 即寄赠光盘, 页码无缺, 如有缺页, 可向本社发行部调换

销售热线: 010-68329524

邮购地址: 北京市丰台区万寿路 111 号机械工业出版社

机械工业出版社

封面设计: 耿道森

本书是在调查研究的基础上,总结了近几年来高等职业技术教育课程改革的经验,为适应经济发展、科技进步和生产实际对教学内容提出的新要求而编写的。本书主要介绍了数控加工工艺分析方法,编程方法、技巧及其应用实例。主要内容包括数控加工工艺与编程基础,数控车削加工工艺与编程,数控镗铣削加工工艺与编程,数控电火花线切割加工工艺与编程,交互式图形编程等。

本书可作为高职高专数控技术专业教材,也可供数控工程技术人员参考。

张兆隆 主编
平志伟 副主编
森新辉 副主编

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/张兆隆主编. —北京:机械工业出版社, 2008.3

21 世纪高职高专规划教材. 机械类

ISBN 978 - 7 - 111 - 23672 - 6

I. 数… II. 张… III. ①数控机床 - 加工工艺 - 高等学校: 技术学校 - 教材②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 (2008) 第 030921 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 余茂祚

责任编辑: 余茂祚 版式设计: 冉晓华 责任校对: 程俊巧

封面设计: 马精明 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11 印张 · 265 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 23672 - 6

定价: 19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编委会名单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明 王明耀 王胜利 王寅仓 王锡铭

刘义 刘晶磷 刘锡奇 杜建根 李向东

李兴旺 李居参 李麟书 杨国祥 余党军

张建华 茆有柏 秦建华 唐汝元 谈向群

符宁平 蒋国良 薛世山 储克森

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明 田建敏 成运花 曲昭仲 朱强

刘莹 刘学应 许展 严安云 李连邨

李学锋 李选芒 李超群 杨飒 杨群祥

杨翠明 吴锐 何志祥 何宝文 余元冠

沈国良 张波 张锋 张福臣 陈月波

陈向平 陈江伟 武友德 林钢 周国良

宗序炎 赵建武 恽达明 俞庆生 晏初宏

倪依纯 徐炳亭 徐铮颖 韩学军 崔平

崔景茂 焦斌

总策划 余茂祚

数控机床是为了解决复杂、精密、小批多变零件加工的自动化要求而产生的。数控加工是根据被加工零件的图样和工艺要求,编制成以代码符号等表示的程序,输入到机床的数控系统中,以控制刀具与工件的相对运动,从而加工出合格零件的方法。1948年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机螺旋桨叶片轮廓用检查样板的机床时,首先提出计算机控制机床的设想,在麻省理工学院(MIT)的协助下,于1952年研制成功了世界上第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床。我国于1958年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。

装备制造业是我国国民经济的支柱产业,其产值约占我国国内生产总值的40%以上,而先进的制造技术是振兴制造业系统工程的重要组成部分。数控技术又是其核心技术,它的出现及所带来的巨大效益,已引起了世界各国科技与工业界的普遍重视。目前,国内数控机床用量剧增,这就需要一大批面向生产第一线的熟悉数控加工工艺,能够熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的高素质、高技能人才。在数控技术专业人才的培养中,《数控加工工艺与编程》是一门核心骨干专业课,为了适应应用型技术人才培养的需要,我们编写了这本教材。

本课程内容包括5个模块,各个模块内容按照机床类型相对独立而又相互关联,并按技能、知识、能力各项要求与数控加工就业岗位相对应,从而可以根据学生水平和实训基地的条件,根据职业资格鉴定的需要灵活组织教学。本书主要内容包括数控加工工艺与编程基础,数控车削加工工艺与编程,数控镗铣削加工工艺与编程,数控电火花线切割加工工艺与编程,交互式图形编程等。为帮助学生能更好地理解教学内容,每章后附有综合实训项目和习题。

本书由河北机电职业技术学院张兆隆任主编,浙江纺织服装职业技术学院陈罡和河北机电职业技术学院孙志平任副主编。其中绪论和第1章由张兆隆编写,第2章由太原理工大学长治学院陈亚娣编写,第3章由孙志平编写,第4章由陈罡编写,第5章由安徽水利水电职业技术学院耿道森编写。全书由张兆隆负责统稿和定稿,由河北机电职业技术学院王明耀主审。

由于编者水平有限,编写时间紧迫,书中难免存在不妥之处,恳请广大读者以及各兄弟院校的专家和同行批评指正。

编者

目 录

前言

绪论	1
----	---

第1章 数控加工工艺与编程基础

1.1 数控加工工艺基础	2
1.2 数控编程基础	7
1.3 工艺与编程基础项目实训	15
习题	18

第2章 数控车削加工工艺与编程

2.1 数控车削加工工艺分析	19
2.2 数控车床编程	39
2.3 BEJING—FANUC Oi Mate—TB 系统的 G 代码在数控车削中 的应用	45
2.4 车削加工项目实训	66
习题	72

第3章 数控镗铣削加工工艺与

编程

3.1 数控镗铣削加工工艺分析	74
3.2 数控镗铣削编程常识	91
3.3 FANUC0iMA 系统的代码在数控 铣削中的应用	93

3.4 典型零件的镗铣加工分析及 编程	100
3.5 镗铣加工项目实训	113
习题	114

第4章 数控电火花线切割加工工艺与 编程

4.1 数控电火花线切割加工工艺	115
4.2 数控电火花线切割机床的基本 编程方法	120
4.3 计算机自动编制程序	129
4.4 线切割加工项目实训	132
习题	134

第5章 交互式图形编程

5.1 交互式图形编程概述	136
5.2 交互式图形编程的加工 工艺	138
5.3 交互式图形编程软件简介及 编程实例	145
习题	161

附录

参考文献	166
------	-----

绪 论

1. 什么是数控加工工艺与编程 数控加工工艺是采用数控机床加工零件时所运用各种方法和技术手段的总和。数控加工工艺是数控编程的前提和依据,没有符合实际的、科学合理的数控加工工艺,就不可能有真正可行的数控加工程序。数控编程就是将制订的数控加工工艺内容程序化。

2. 课程任务 使学生具备必要的数控加工工艺分析及一定的编程能力,为学习掌握专业知识和职业技能奠定良好的基础;为毕业后能够胜任工作岗位要求、适应职业变化和继续学习打下一定的基础。

3. 课程基本要求

(1) 知识要求:了解数控机床加工特点,理解数控机床加工工艺内容,了解数控机床加工工艺的制订原则,掌握常用数控编程指令。

(2) 技能要求:正确掌握数控机床的操作方法,具有制订数控加工工艺初步能力,具有编制简单零件数控加工程序的能力,掌握数控加工程序的调试方法及加工参数设置的基本原则。

4. 课程特色

(1) 课程内容不断更新:数控编程是数控加工工艺的最终表现形式,传统的数控编程在数控加工工艺方面提及较少。结合在数控技术应用领域中积累的丰富实践经验,利用典型案例,将数控加工工艺与数控编程内容结合在一起,使课程向综合化方向发展。

(2) 课程表现形式丰富:在教学表现形式上,从单一课堂教学,到多媒体课件,到目前讲练结合,在已有优秀教材的基础上,根据课程大纲要求,以文字教材为基础,用图像、二维和三维动画、音频、视频的形式表达的内容,制作成辅助教学多媒体课件,将数控加工工艺与编程实用知识形象地展示给学习者。

(3) 课程内容实施模块化划分:在教学过程中,将这门课程内容分为七个模块,讲练结合,面对不同就业方向、不同学制学生重组授课内容。课程的模块化增强了课程的灵活性,能满足学生个性发展的需要,进一步激发学生的学习热情,同时有利于新教师讲授该课程时熟悉课程内容,缩短对新课程的适应期。

(4) 双证书制度:本课程和双证书制度结合起来,鼓励学生参加职业技能证书考试。

第1章 数控加工工艺与编程基础

数控加工前对工件进行工艺设计是必不可少的准备工作。无论是手工编程还是自动编程,在编程前都要对所加工的工件进行工艺分析、拟订工艺路线、设计加工工序。因此,合理的工艺设计方案是编制加工程序的依据,工艺设计做不好是数控加工出差错的主要原因之一,往往会造成工作反复,工作量成倍增加的后果。编程人员必须首先搞好工件的加工工艺设计,再考虑编程。

1.1 数控加工工艺基础

1.1.1 数控加工工艺的基本特点及内容

对于某个零件而言,并非全部加工工艺过程都适合在数控机床完成,而往往只是在其中的一部分适合于数控加工。这就需要对零件进行仔细的工艺分析,选择那些最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。在选择并作出决定时,应结合本企业设备的实际,立足与解决难题、攻克关键和提高生产效率,充分发挥数控加工的优势。选择数控加工的内容时,一般可按下列顺序考虑:

- 1) 通用机床无法加工的内容,应作为优先选择内容。
- 2) 通用机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择的内容。例如,车锥面、断面时,普通车床的转速不恒定,使表面粗糙度不一致,而数控车床具有恒线速度功能,可选择最佳速度,使加工后的表面的粗糙度小而一致。
- 3) 通用机床效率低、人劳动强度大的内容,应作为优先选择内容。但应充分考虑数控机床尚存在的富余能力。

一般来说,上述这些加工内容采用数控加工后,在产品质量、生产效率和综合效益等方面都会得到明显提高。相比之下,下列一些内容则不宜采用数控加工:

- 1) 占机调整时间长,如以毛坯的粗糙基准定位加工第1个基准、要用专用工装协调的加工内容。
- 2) 加工部位分散,要多次安装、设置原点,这时采用数控加工很麻烦,效果不明显,可安排通用机床加工。
- 3) 按某些特定的制造依据如样板等加工的型面轮廓,因获取数据困难,易与检验依据发生矛盾,增加编程难度,故不宜进行数控加工。

此外,在选择和决定加工内容时,也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等。总之要尽量做到合理使用数控机床,达到多、快、好、省的目的;要防止把数控机床降格为通用机床使用。

1.1.2 数控加工工艺分析与设计

与通用机床加工路线设计相比,数控加工工艺路线设计仅是对几道数控加工工序工艺过程的概括,而不是指从毛坯到成品的整个工艺过程。因此,数控加工工艺路线设计要与零件的整个工艺过程相协调,并注意以下问题:

1. 工序的划分 在数控机床上加工零件与普通机床加工相比, 工序可以比较集中。根据数控加工的特点, 数控加工工序的划分有以下几种方式:

(1) 按定位方式划分工序: 这种方法一般适合于加工内容不多的简单工件, 加工完后就能达到待检状态, 通常以一次安装作为一道工序。如图 1-1 所示凸轮零件, 其两端面 A 和 B、R38 外圆面以及 $\phi 22H7$ 和 $\phi 4H7$ 两孔均在普通机床上进行加工, 而在数控铣床上以加工过的两个孔和一个端面定位作为一道工序, 铣削凸轮外表面曲线。

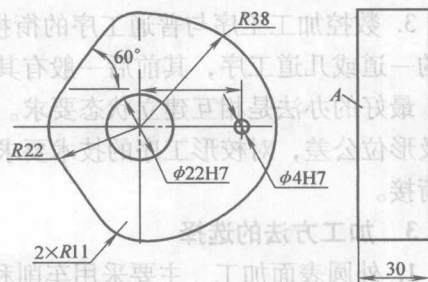


图 1-1 凸轮零件图

(2) 按所用刀具划分工序: 有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工面, 但为了减少换刀次数, 缩短空行程时间, 可按刀具集中的方法划分工序, 在加工中尽可能有同一把刀加工出可加工的所有部位, 然后再换一把刀加工其他部位, 即以同一把刀具加工的内容划分工序。在专用数控机床和加工中心上常用这种方法。

(3) 按粗、精加工划分工序: 根据工件的加工精度要求、刚度和变形等因素划分工序。一般来说, 在一次安装中不允许将工件的某一表面粗、精加工不分地加工至精度要求后再加工工件的其他表面。此时可有不同的机床或不同的刀具分两道工序进行加工, 即将零件的粗、精加工分开, 先粗加工, 后精加工。

对于如图 1-2 所示的工件, 应先切除整个工件的大部分余量, 再将其各表面精车至要求的加工精度和表面粗糙度要求。

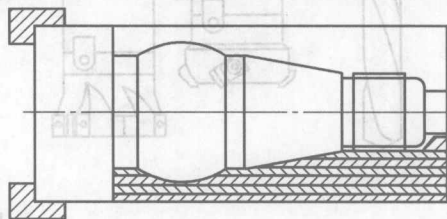


图 1-2 车削加工的工件

(4) 按加工部位划分工序: 有些零件加工内容很多, 零件轮廓结构的差异较大, 这时可按其结构特点将加工部位分成几部分分别在几道工序中进行加工, 如内型面、外型面、平面等。

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、安装次数以及生产组织状况等实际情况灵活地进行划分。

2. 工步的划分 工步的划分主要从加工精度和效率两方面考虑。合理的工艺不仅要保证加工出符合图样要求的工件, 同时应使机床的功能得到充分发挥。因此, 在一个工序内往往需要采用不同的刀具和刀尖用量, 对工件的不同表面进行加工。对于复杂的工序, 为了便于分析和描述, 常在工序内又细分为工步。下面以加工中心为例来说明工步划分的原则。

1) 同一加工表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成, 还是全部加工表面都先粗加工后精加工分开进行, 主要应根据零件的精度要求考虑。若加工尺寸精度要求较高, 考虑到零件尺寸、精度、刚度等因素, 可采用前者; 若零件的加工表面位置精度要求较高, 则建议采用后者。

2) 对于既要加工平面又要加工孔的零件, 可以采用“先面后孔”的原则划分工步。先加工面可提高孔的加工精度, 因为铣平面时切削力较大, 工件易发生变形, 而先铣平面后镗孔, 则可使变形有一段时间恢复, 减少由于变形引起的对孔的精度影响; 反之, 如先镗孔后铣面, 则铣削平面时极易在孔口产生飞边、毛刺, 进而破坏孔的精度。

3) 按所用刀具划分工步。某些机床工作台回转时间比换刀时间短, 可采用刀具集中的方法划分工步, 以减少换刀次数, 缩短辅助时间, 提高加工效率。

4) 在一次安装中, 尽可能完成所有能加工表面的加工, 有利于保证表面相互位置精度的要求。

3. 数控加工工序与普通工序的衔接 数控加工工序只是穿插于整个机械加工工艺过程中的一道或几道工序, 其前后一般有其他普通加工的工序, 二者若衔接得不好就容易产生矛盾, 最好的办法是相互建立状态要求。如要不要留加工余量、留多少, 定位面的尺寸精度要求及形位公差, 对校形工序的技术要求, 对毛坯的热处理状态要求等, 都需要前后兼顾, 统筹衔接。

1.1.3 加工方法的选择

1. 外圆表面加工 主要采用车削和磨削。当表面粗糙度要求较小时, 需经光整加工。

2. 内孔加工 主要采用钻、扩、铰、镗、拉、磨及光整加工。

3. 平面加工 主要采用铣、车、刨、磨及拉削。

4. 平面轮廓及曲面轮廓加工

(1) 平面轮廓: 主要采用数控铣、线切割及磨削, 如图1-3所示。

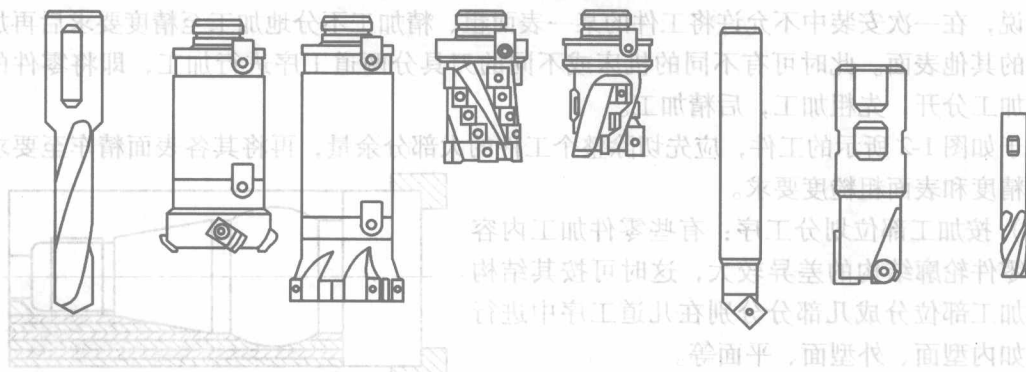


图1-3 平面轮廓

(2) 曲面轮廓: 主要采用数控铣削。多用球头铣刀以行切法加工, 如图1-4所示。



图1-4 曲面轮廓

1.1.4 加工顺序和进给路线的确定

1. 加工顺序安排的一般原则

(1) 先粗后精: 对粗精加工在一道工序内进行的, 先对各表面进行粗加工, 全部粗加工结束后再进行半精加工和精加工, 逐步提高加工精度。

(2) 先近后远: 这里所说的远与近, 是按加工部位相对于对刀点(起刀点)的距离远

近而言的。在一般情况下，离对刀点远的部位后加工，以缩短刀具移动距离，减少空行程时间。

(3) 内外交叉：对既有内表面（内型腔），又有外表面需加工的回转体零件，安排加工顺序时，应先进行外、内表面的粗加工，后进行外、内表面精加工。切不可将零件上一部分表面（外表面或内表面）加工完毕后，再进行其他表面（内表面或外表面）的加工。

(4) 保证工件加工刚度原则：在一道工序中进行的多工步加工，应先安排对工件刚度破坏较小的工步，后安排对工件刚度破坏较大的工步，以保证工件加工时的刚度要求。

(5) 同一把刀能加工的内容连续加工原则：此原则的含义是用同一把刀把能加工的内容连续加工出来，以减少换刀次数，缩短刀具移动距离。特别是精加工同一表面一定要连续切削。该原则与先粗后精原则有时相矛盾，能否选用可以能否满足加工精度要求为准。

2. 进给路线的确定 进给路线是指数控机床加工过程中刀具相对零件的运动轨迹和方向，也称走刀路线。它泛指刀具从对刀点（或机床参考点）开始运动，直至返回该点并结束加工程序所经过的路径。

(1) 确定进给路线的主要原则

- 1) 首先按已定工步顺序确定各表面加工路线的顺序。
- 2) 所定进给路线应能保证工件轮廓表面加工后的精度和表面粗糙度要求。
- 3) 寻求最短加工路线（包括空行程路线和切削路线），减少行走时间以提高加工效率。
- 4) 要选择工件在加工变形小的路线，对横断面积小的细长零件或薄壁零件应采用分几次走刀加工到最后尺寸，或按对称去余量法安排进给路线。

(2) 粗加工进给路线的确定

- 1) 常用粗加工进给路线。
- 2) “矩形”循环进给路线。
- 3) “三角形”循环进给路线。
- 4) 沿轮廓形状等距循环进给路线。
- 5) 阶梯切削路线。
- 6) 双向切削进给路线。
- 7) 最短的粗加工切削进给路线。切削进给路线为最短，可有效地提高生产效率，降低刀具的损耗。

(3) 精加工进给路线的确定

- 1) 完工轮廓的进给路线。在安排一刀或多刀进行精加工进给路线时，其零件的完工轮廓应由最后一刀连续加工而成，并且加工刀具的进、退刀位置要考虑妥当，尽量不要在连续的轮廓中安排切入和切出或换刀及停顿，以免因切削力突然变化而造成弹性变形，致使光滑连接轮廓上产生表面划伤，形状突变或滞留刀痕等缺陷。
- 2) 切入、切出及接刀点位置的选择。应选在有空刀槽或表面间有拐点、转角的位置，而曲面要求光滑连接部位不能作为切入、切出及接刀点的位置。
- 3) 各部位精度要求不一致的精加工进给路线。若各部位精度精度相差不是很大时，应以最严的精度为准，连续走刀加工所有部位；若各部位精度相差很大，则精度接近的表面安排在同一把刀走刀路线内加工，并先加工精度较低的部位，最后在单独安排精度高的部位的走刀路线。

(4) 最短的空行程进给路线的确定: 在保证加工质量的前提下, 使加工程序有最短的进给路线, 不仅可以节省整个加工过程的执行时间, 还能减少机床进给机构滑动部件的磨损。

1.1.5 切削用量的选择

数控车床的切削用量包括背吃刀量、主轴转速或切削速度(用于恒线速切削)、进给速度或进给量。切削用量的选择原则与通用机床加工相似, 具体数值应根据数控机床使用说明书和金属切削原理中规定的方法和原则, 并结合实际加工经验确定。

1. 背吃刀量的确定 背吃刀量根据加工余量确定。在工艺系统刚性和机床功率允许的条件下, 尽可能选取较大的背吃刀量, 以减少进给次数。一般当毛坯直径余量小于 6mm 时, 根据加工精度考虑是否留出半精车和精车余量, 剩下的余量可一次切除。当零件精度要求较高时, 应留出半精车、精车余量, 半精车余量一般为 0.5mm, 所留精车余量一般比普通车削时所留余量小, 常取 0.1~0.5mm。

2. 主轴转速的确定

(1) 光车主轴时转速: 光车时主轴转速应根据零件上被加工部位的直径, 并根据零件和刀具的材料及加工性质等条件所允许的切削速度来确定。切削速度除了计算和查表选取外, 还可根据实践经验确定。需要注意的是, 交流变频调速数控车床低速输出力矩小, 因而切削速度不能太低。可用下式计算主轴转速:

$$n = \frac{1000v_c}{d\pi} \quad (1-1)$$

式中 v_c ——切削速度 (m/min);

d ——切削刃选定点处所对应的工件或刀具的回转直径 (mm);

n ——工件或刀具的转速 (r/min)。

(2) 车螺纹时主轴转速: 大多数卧式车床数控系统推荐车螺纹时的主轴转速如下:

$$n \leq \frac{1200}{P} - k \quad (1-2)$$

式中 P ——工件螺纹的螺距 (或导程) (mm);

n ——主轴转速 (r/min);

k ——保险系数, 一般取为 80。

3. 进给速度的确定 进给速度是指在单位时间内, 刀具沿进给方向移动距离 (单位为 mm/min)。有些数控车床规定可以选用进给量 (单位为 mm/r) 表示进给速度。

(1) 确定进给速度的原则

1) 当工件的加工质量要求能够得到保证时, 为提高生产率, 可选择较高 (2000mm/min 以下) 的进给速度。

2) 切断、车削深孔或精车时, 宜选用较低的进给速度。

3) 刀具空行程, 特别是远距离“回零”时, 可以设定尽量高的进给速度。

4) 进给速度应与主轴转速和背吃刀量相适应。

(2) 进给速度的计算: 进给速度包括纵向和横向进给速度。其值按下式计算:

$$v_f = nf \quad (1-3)$$

式中 v_f ——进给速度 (mm/min);

f ——进给量 (mm/r);

n ——工件或刀具的转速 (r/min)。

数控加工是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。在数控机床上加工零件时,首先要根据零件图样,按规定的代码及程序格式将零件加工的全部工艺过程、工艺参数、位移数据和方向以及操作步骤等以数字信息的形式记录在控制介质上(如穿孔带、磁带等),然后输入给数控装置,从而指挥数控机床加工。

1.2 数控编程基础

在数控机床上加工零件时,要把加工零件的全部工艺过程、工艺参数和位移数据,以信息的形式记录在控制介质上,用控制介质上的信息来控制机床,实现零件的全部加工过程。从分析零件图样到获得数控机床所需控制介质的全部过程,即称之为数控编程。

本节重点介绍数控编程内容和方法、数控程序常用功能字、数控程序组成及程序段格式等内容。

1.2.1 数控编程的内容与方法

1. 数控编程的内容 数控编程的内容主要包括分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序、制作控制介质、程序校验和试切削等。每一步都要结合数控加工的特点进行,如图 1-5 所示。

2. 数控编程方法 根据工件复杂程度的不同,数控加工程序可通过手工编程或自动编程来获得,如图 1-6 所示。



图 1-5 数控编程的内容及步骤

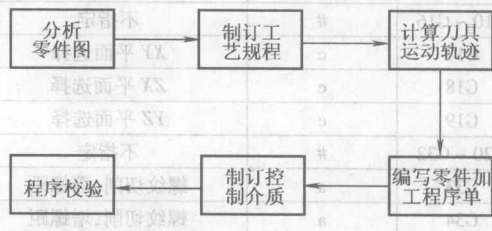


图 1-6 数控编程方法

(1) 手工编程:手工编程是指从零件图样分析、工艺处理、数值计算、书写程序单、程序输入和检验等均由人工完成。它要求编程人员不仅要熟悉数控指令及编程规则,而且还要具备数控加工工艺知识和数值计算能力等。

在机械制造行业中,大多数零件仅由直线、圆弧等几何元素构成的形状并不复杂,而且这些零件的数值计算较为简单,程序段数不多,程序检验也容易实现,因而可采用手工编程方式完成编程工作。由于手工编程不需要特别配置专门的编程软、硬件,易于掌握和运用,因此手工编程仍然是一种运用十分普遍的编程方法。但在航空、船舶、兵器、汽车、模具等制造业中,零件具有复杂形面,数值计算、程序编写、程序校验相对复杂繁琐,工作量也很大,采用手工编程就难以完成了。

(2) 自动编程:自动编程是借助数控自动编程软件系统由计算机来辅助生成加工程序的一种编程方法。此时,编程人员一般只需借助数控编程软件所提供的各种功能对加工零件的几何参数、工艺参数及加工过程进行较简单的描述后,即可由计算机自动完成程序编制的

全过程。自动编程解决了手工编程难以解决的复杂零件的编程问题,既减轻了编程的劳动强度,又提高了效率和准确性,在数控加工中应用日益广泛。

1.2.2 数控程序常用功能字

(1) 准备功能字(G 代码) G 代码用来指定插补功能、工件坐标系、刀具补偿、坐标平面等多种加工操作。G 代码分模态代码和非模态代码(一次性代码)。模态代码指某 G 代码一经被使用直到出现同组的其他任意 G 代码时该 G 代码才失效,否则该指令继续有效,见表 1-1。表中 a、c、d、e、f、h、j、k、i 各字母所对应的为模态代码,同一字母为一组。非模态代码只在本程序段中有效。

表 1-1 准备功能 G 指令

代 码	模态代码组别	功 能	代 码	模态代码组别	功 能
G00	a	点定位	G50	(d)	刀具偏置 0/-
G01	a	直线插补	G51	(d)	刀具偏置 +/0
G02	a	顺时针圆弧插补	G52	(d)	刀具偏置 -/0
G03	a	逆时针圆弧插补	G53	f	直线偏移,注销
G04	*	暂停	G54	f	直线偏移 X
G05	#	不指定	G55	f	直线偏移 Y
G06	a	抛物线插补	G56	f	直线偏移 Z
G07	#	不指定	G57	f	直线偏移 XY
G08	*	加速	G58	f	直线偏移 XZ
G09	*	减速	G59	f	直线偏移 YZ
G10 ~ G16	#	不指定	G60	h	准确定位 1(精)
G17	c	XY 平面选择	G61	h	准确定位 2(中)
G18	c	ZX 平面选择	G62	h	快速定位(粗)
G19	c	YZ 平面选择	G63	*	攻螺纹
G20 ~ G32	#	不指定	G64 ~ G67	#	不指定
G33	a	螺纹切削,等螺距	G68	(d)	刀具偏移,内角
G34	a	螺纹切削,增螺距	G69	(d)	刀具偏移,外角
G35	a	螺纹切削,减螺距	G70 ~ G79	#	不指定
G36 ~ G39	#	永不指定	G80	e	固定循环注销
G40	d	刀具补偿/偏置注销	G81 ~ G89	e	固定循环
G41	d	刀具左补偿	G90	j	绝对尺寸
G42	d	刀具右补偿	G91	j	增量尺寸
G43	(d)	刀具正偏置	G92	*	预置寄存
G44	(d)	刀具负偏置	G93	k	时间倒数,进给率
G45	(d)	刀具偏置 +/+	G94	k	每分钟进给
G46	(d)	刀具偏置 +/-	G95	k	主轴每转进给
G47	(d)	刀具偏置 -/-	G96	i	恒线速度
G48	(d)	刀具偏置 -/+	G97	i	主轴每分钟转数
G49	(d)	刀具偏置 0/+	G98 ~ G99	#	不指定

注: 1. #号: 如选用特殊用途, 必须在程序格式中说明。

2. *号: 仅在所出现的程序段内有效。

3. 如在切削控制中没有刀具补偿, 则 G43 ~ G52 可指定其他用途。

4. (d): 可以被没有括号的 d 所对应的指令注销或代替, 也可被带括号的 (d) 指令注销或代替。

5. G45 ~ G52 的功能可用于机床上任意两个预定的坐标。

6. 数控装置中没有 G53 ~ G59、G63 功能时, 可以指定其他用途。

我国 JB/T 3208—1999 标准详细规定了 G 代码和 M 代码的功能, 由于标准中有一些为指定功能的 G 代码和 M 代码, 因此, 不同厂家的数控系统其代码功能有所不同。编程或操作数控机床前, 一定要仔细阅读机床编程说明书, 以免出错。

2. 坐标功能字 用来设定各坐标的位移量。

3. 进给功能字 用于指定刀具相对于工件的运动速度, 其地址符为 F, 单位为 mm/min 或 mm/r。

4. 主轴功能字 用于指定主轴转速, 地址符用 S, 单位为 r/min 或 m/min。

5. 刀具功能字 用于指定加工所用刀具号或刀补号, 其格式为地址符 T 后加两位或 4 位数字, 由 4 位数组成的刀具功能字, 前两位表示刀具号, 后两位表示刀补号, 如 T03、T0202 等。

6. 刀具补偿功能字 用于指定刀具半径或刀具长度的补偿代号, 一般半径补偿用地址符 D, 长度补偿用地址符 H, 如 D01、D09、H05、H01 等。

7. 辅助功能字 辅助功能字用于数控机床开关量的控制, 其地址符为 M, 如主轴的正、反转, 切削液的开、关等。地址符从 M00 到 M99 共 100 个 M 代码, JB/T 3208—1999 对它们的规定见表 1-2。

表 1-2 辅助功能 M 指令

代 码	功 能	代 码	功 能	代 码	功 能
M00	程序停止	M16	负运动	M51	4 号切削液开
M01	计划停止	M17 ~ M18	不指定	M52 ~ M54	不指定
M02	程序结束	M19	主轴定向停止	M55	刀具直线位移位置 1
M03	主轴顺时针方向	M20 ~ M29	永不指定	M56	刀具直线位移位置 2
M04	主轴逆时针方向	M30	程序停止、纸带结束	M57 ~ M59	不指定
M05	主轴停止	M31	互锁旁路	M60	更换工件
M06	换刀	M32 ~ M35	不指定	M61	工件直线位移位置 1
M07	2 号切削液开	M36	进给范围 1	M62	工件直线位移位置 2
M08	1 号切削液开	M37	进给范围 2	M63 ~ M70	不指定
M09	切削液关	M38	主轴速度范围 1	M71	工件角度移位位置 1
M10	夹紧	M39	主轴速度范围 2	M72	工件角度移位位置 2
M11	松开	M40 ~ M45	不指定或齿轮换挡	M73 ~ M89	不指定
M12	不指定	M46 ~ M47	不指定	M90 ~ M99	永不指定
M13	主轴顺时针转、切削液开	M48	注销 M49		
M14	主轴逆时针转、切削液开	M49	进给率修正旁路		
M15	正运动	M50	3 号切削液开		

1.2.3 程序组成及程序段格式

1. 程序组成 数控加工程序, 是由若干程序段组成, 每个程序段都由若干代码字和一个段结束符组成, 代码字由字地址符和数值组成, 即 O100 (EXAMPLE); 程序名位数为 1; M T01 和 M06; 第 1 程序段 G54 G90 G21 S1200 M03 M08; 第 2 程序段

式 G00 X0 Y0; 由 第 3 程序段 程序结束 M30;

2. 程序段格式 程序段的格式是指一个程序段中字的排列书写方式和顺序, 以及每个字和整个程序段的长度限制和规定。不同数控系统其程序段格式有所不同, 操作机床前应认真阅读其编程说明书, 以免出错。

常见程序段格式有两种: 带分隔符固定顺序格式、可变顺序字地址符程序格式。
带分隔符固定顺序格式, 如我国线切割机床采用的“3B”或“4B”格式指令。
如“3B”格式为 BXBYBJGZ, 具体含义见表 1-3。

表 1-3 带分隔符固定顺序格式

B	X	B	Y	B	J	G	Z
分隔符	X 轴坐标值	分隔符	Y 轴坐标值	分隔符	计数长度	计数方向	加工指令

可变顺序字地址符程序格式是目前数控系统常用程序格式, 其构成见表 1-4。

表 1-4 可变顺序字地址符程序格式

N	G	X	Y	Z	I、J、K	F	S	T	M	LF(或;)
程序 段序号	准备 功能字	坐标功能字(或称尺寸字)				进给 功能字	主轴转速 功能字	刀具 功能字	辅助 功能字	段结 束符

注意: FANUC 系统与 SIEMENS 公司 SINUMERIK 系列数控系统在程序格式的区别见表 1-5。

表 1-5 FANUC 系统与 SINUMERIK 数控系统程序格式的区别

项 目	FANUC	SINUMERIK
代码标准	ISO 或 EIA	ISO 或 EIA
程序段格式	字地址符程序段格式	字地址符程序段格式
程序名	O × × × ×	英文字母、数字及下划线构成, 开头必须是两个字母最多 8 个字符
主程序名	O × × × ×	: × × ×
子程序名	O × × × ×	英文字母、数字及下划线构成, 开头必须是两个字母最多 8 个字符
程序段结束符	;	LF
注释符	()	;
程序结束符	M02 或 M30	M02

1.2.4 坐标系统

1. 数控加工中的坐标系统 有些数控机床加工时显示屏坐标系页面上一般都有下列坐标系显示: 相对坐标系、剩余坐标系、绝对坐标系(工件坐标系)、机床坐标系。在应用中, 比较关键的是机床坐标系和工件坐标系。

(1) 机床坐标系: 前面建立的数控机床标准坐标系为确立数控机床坐标系打下了基础, 其关键是确定数控机床坐标系的零点(原点)。数控机床设计有机床零点 M, 机床零点 M 是确定数控机床坐标系的零点以及其他坐标系和机床参考点(或基准点)的出发点。也就

是说,数控机床坐标系是由生产厂家事先确定的,可由机床用户说明书(手册)中查到。

通常车床的机床零点多在主轴法兰盘接触面的中心即主轴前端面的中心上。主轴即为 Z 轴,主轴法兰盘接触面的水平面则为 X 轴。 $+X$ 轴和 $+Z$ 轴的方向指向加工空间。

数控铣床的机床零点因生产厂家而异。例如,有的数控铣床的机床零点在左前方, X 、 Y 的正方向对着加工区,刀具在 Z 轴负方向移动接近工件。

(2) 机床参考点 R :参考点 R 的位置是在每个轴上用挡块和限位开关精确地预先确定好,参考点 R 多位于加工区域的边缘。

(3) 工件坐标系:数控机床坐标系是进行设计和加工的基准,但有时利用机床坐标系编制零件的加工程序并不方便。

(4) 绝对坐标系与增量(相对)坐标系:在数控系统中,移动到一个坐标系的特定点运动可用绝对坐标系或增量(相对)坐标系描述。

2. 机床坐标系 JB/T 3051—1999 标准(等效 ISO841)规定,数控机床直线运动坐标轴 X 、 Y 、 Z 符合右手笛卡儿坐标系。即右手中指指向 Z 轴的正方向,拇指指向 X 轴正方向时,食指所指为 Y 轴正方向如图1-7所示。刀具远离工件的方向规定为各坐标轴的正方向,且通常 Z 轴平行于机床的主轴, X 轴水平并平行于工件装夹面, Y 轴遵照右手笛卡儿坐标系确定。绕 X 、 Y 、 Z 的旋转轴,分别用 A 、 B 、 C 表示,其正方向为右手四指所指方向。

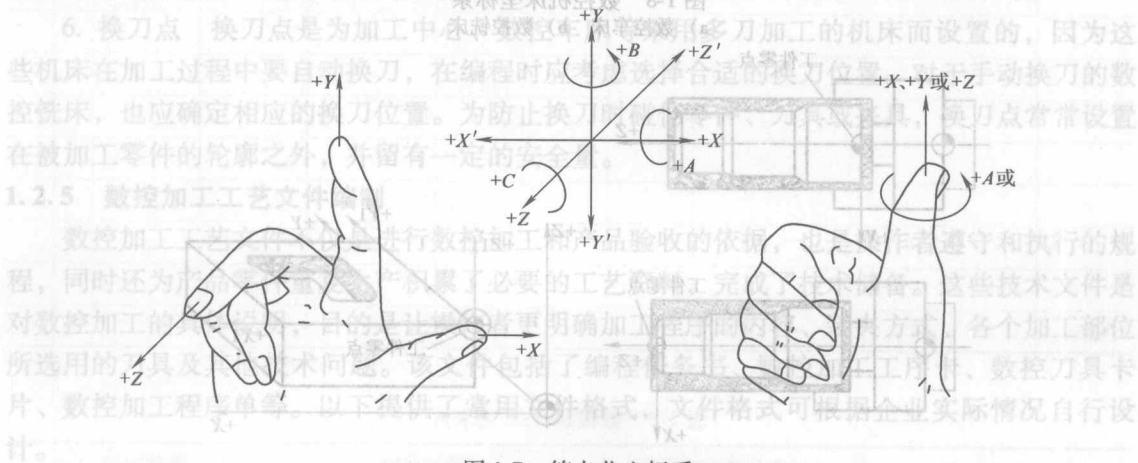


图1-7 笛卡儿坐标系

除 X 、 Y 、 Z 坐标轴外,某些数控机床还有平行于 X 、 Y 、 Z 坐标轴的次线性坐标轴,相应用 U 、 V 、 W 表示,第3线性坐标轴用 P 、 Q 、 R 标示。旋转轴还可以有 D 、 E 两个特殊轴。

常见数控机床坐标系示意图如1-8图所示。

3. 工件坐标系 工件坐标系是指编程或机床操作人员,依照零件设计基准,兼顾编程计算及对刀、测量方便而建立的用于描述零件图样上节点位置的坐标系,如图1-9所示。

4. 绝对坐标与相对坐标 对机床来讲,绝对坐标(ABS)是指工作台的移动量从固定的某一基准点算起;相对坐标(增量坐标)(INC)是指工作台运动到下一目标点的位移量,总是从工作台的当前位置算起。

对工件来讲,绝对坐标是指工件轮廓上各几何元素端点的坐标,均从工件坐标系原点算起;相对坐标是指各几何元素终点(端点)的坐标值,均是相对于其起点(上一点)分别