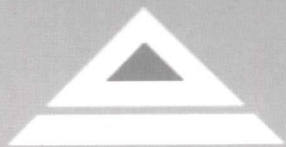




教育部高等职业教育
示范专业规划教材

数控技术专业



数控编程与操作

叶凯 主编

SHUKONG BIANCHENG YU CAOZUO



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等职业教育示范专业规划教材
数控技术专业

数 控 编 程 与 操 作

主 编 叶 凯
副主编 王 宏 唐耀红
参 编 张明建 张忠强 沈炳忠 林红梅
主 审 钟启茂



机 械 工 业 出 版 社

本书贯彻工学结合的原则,以法那科数控系统(FANUC-Oi Mate-TC, FANUC-Oi Mate-MB)为基础,结合实际产品加工的典型实例,较全面地讲解了数控加工的工艺基础,数控加工的编程基础,数控车床、数控镗铣床、加工中心、电火花线切割加工的程序编制,并通过仿真软件讲解了数控系统的操作。本书内容精炼、通俗实用。

本书主要作为高职高专院校和部分成人高等院校的机械制造、数控技术、模具设计与制造专业的教材,亦可作为与机械制造业有关的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作/叶凯主编. —北京:机械工业出版社,
2008.8

教育部高等职业教育示范专业规划教材. 数控技术专业
ISBN 978-7-111-26019-6

I. 数… II. 叶… III. 数控编程-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096787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:郑丹

责任编辑:王德艳 责任校对:姚培新

封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

三河市国英印务有限公司印刷

2009年2月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·19.25印张·477千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26019-6

定价:30.00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)88379171

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是为适应我国高职高专教育发展的需要,配合“国家示范性高等职业院校建设计划”,体现高职高专教育特色,促进示范建设院校专业(群)核心课程建设,打造高职高专精品教材,按照高职高专人才培养目标要求而编写的,它体现了工学结合的职业教育特色。

数控技术是现代制造技术的基础,是国家综合国力和现代化水平的重要标志,实现加工机床及生产过程自动化,是制造业的发展方向。数控机床在航空航天、汽车、模具等机械制造各领域得到了普遍应用。

数控编程是应用数控机床进行加工的必要前提,是数控加工技术的核心内容之一。社会和企业急需大量熟练掌握数控机床编程与操作技术的人员。

本书全面介绍了数控机床编程的基本知识和编程所需的工艺基本知识,重点介绍了数控车床、数控镗铣床、加工中心和数控电火花线切割机的编程方法。为了提高教学效果,在第3章数控车床加工编程、第4章镗铣类数控机床加工程序的编制中还介绍了仿真软件的操作,便于学生能利用虚拟的工作环境学习机床的操作并进行程序验证。本书精选大量典型加工实例,均通过生产现场的实际验证。

本书由漳州职业技术学院叶凯任主编并负责全书的统稿、定稿工作,由王宏、唐耀红任副主编,由集美大学钟启茂任主审。全书共分为6章,第1章由张明建、叶凯编写,第2章由张忠强编写,第3章由林红梅编写,第4章由沈炳忠编写,第5章由唐耀红编写,第6章由王宏编写。

本书在编写过程中得到了兄弟院校、有关企业专家、教师、北京斐克公司的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。

本书主要作为高职高专院校和部分成人高等院校的机械制造、数控技术、模具设计与制造专业的教材,亦可作为与机械制造业有关的工程技术人员的参考书。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请专家和读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 数控编程加工工艺基础 1

1.1 数控加工工艺概述 1

1.2 数控加工的工艺设计 6

1.3 数控加工工艺文件的编写 17

思考与练习题 21

第 2 章 数控加工的编程基础 23

2.1 数控编程概述 23

2.2 数控加工程序的结构与格式 28

2.3 数控机床的坐标系 32

2.4 数控加工编程的数值计算 37

2.5 数控加工常用功能指令及其代码 43

思考与练习题 66

第 3 章 数控车床的加工程序编制 69

3.1 数控车削概述 69

3.2 数控车刀及参数的选用 71

3.3 数控车刀装夹、对刀及换刀 83

3.4 数控车床的编程特点及代码体系 88

3.5 数控车床的特殊编程指令 92

3.6 典型零件数控车削综合编程及仿真

(含仿真软件操作面板) 143

思考与练习题 182

第 4 章 镗铣类数控机床加工程序

的编制 186

4.1 数控镗铣加工概述 186

4.2 数控镗铣刀具及参数的选用 188

4.3 数控镗铣刀具的装夹、对刀 194

4.4 数控镗铣床的编程特点及代码体系 197

4.5 数控镗铣床的特殊编程指令 200

4.6 典型零件数控镗铣削综合编程及仿真

(含仿真软件操作面板) 228

思考与练习题 243

第 5 章 数控加工中心程序的编制 248

5.1 数控加工中心的特点 248

5.2 数控加工中心的特殊编程指令 253

5.3 加工中心综合编程实例 256

思考与练习题 268

第 6 章 电火花线切割加工程序

的编制 271

6.1 电火花线切割的工艺与工装 271

6.2 电火花线切割加工的编程方法 285

6.3 电火花线切割加工综合编程实例 295

思考与练习题 303

参考文献 304

第1章 数控编程加工工艺基础

数控加工工艺分析与处理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。不论是手工编程还是自动编程，在编程前都要对所加工的零件进行工艺分析，并拟定加工方案，选择合适的刀具、工装夹具及切削用量。在编程中，对一些工艺问题(如对刀点、加工方法、加工路线等)也需进行分析和确定，因此，数控编程中的加工工艺分析是一项十分重要的工作。

1.1 数控加工工艺概述

数控加工工艺是以数控机床加工中的工艺问题作为研究对象，以机械制造中的工艺基本理论为基础，结合数控机床高精度、高效率和高柔性等特点，综合应用多方面的知识，解决数控加工中的工艺问题。数控加工工艺是数控编程与操作的基础，合理的工艺是保证数控加工质量、发挥数控机床效能的前提条件。

利用数控机床完成零件数控加工的过程如图 1-1 所示，主要内容有：

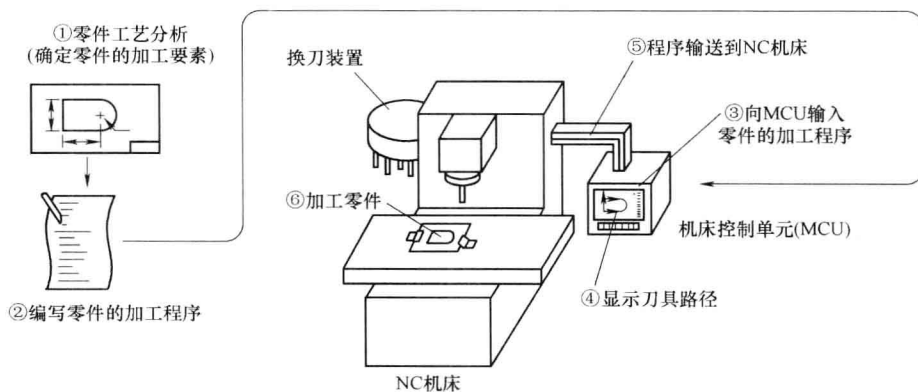


图 1-1 数控加工过程示意

- 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，或用自动编程软件进行 CAD/CAM 工作，直接生成零件的 NC 加工程序文件。
- 3) 程序的输入或传输。手工编程时，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，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)。
- 4) 将输入或传输到数控装置的加工程序，进行试运行、刀具路径模拟等。
- 5) 通过对机床的正确操作来运行程序，完成零件的加工。

由图 1-1 可知，数控加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件构成的数控加工

工艺系统中完成的。数控机床是零件加工的工作机械，刀具直接对零件进行切削，夹具用来固定工件并使之保持正确的位置，加工程序控制刀具与工件之间的相对运动轨迹。

图 1-2 所示为数控加工工艺系统的构成及相互关系。工艺系统性能的好坏直接影响零件的加工精度和表面质量。

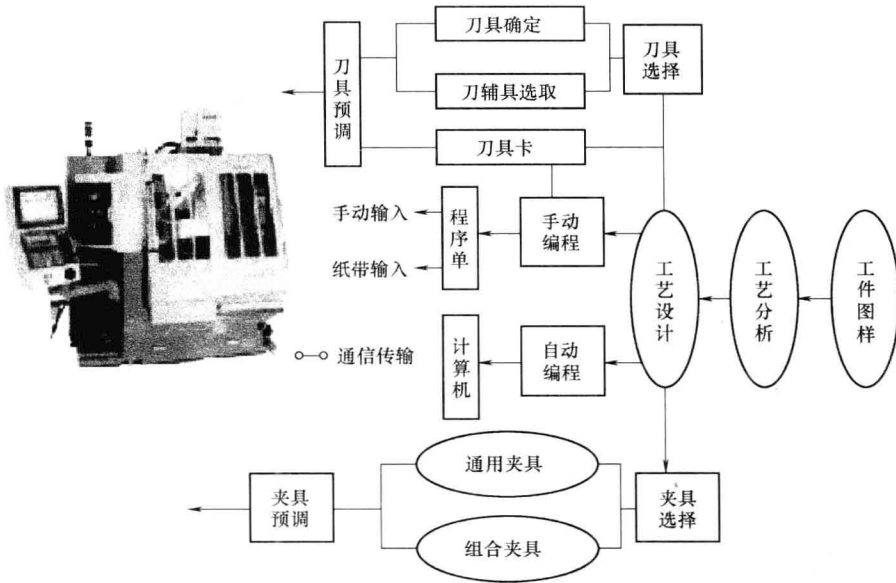


图 1-2 数控加工工艺系统

1.1.1 数控加工工艺的基本概念

数控加工工艺也即数控机床加工工艺，其加工过程是在一个由数控机床、刀具、夹具和工件构成的数控加工工艺系统，利用切削刀具在数控机床上直接改变加工对象的形状、尺寸、表面位置、表面状态等，使其成为成品或半成品的过程。数控加工工艺与普通机床加工工艺大体相同，其基本理论主流仍然是机械加工工艺。

在数控加工工艺过程中，针对零件的结构特点和技术要求，采用不同的加工方法，按照一定的顺序依次进行才能完成由毛坯到零件的转变过程，因此，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，而工序又由安装、工位、工步和进给组成。

1. 工序

一个或一组工人，在一个工作地对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程，称为工序。划分工序的依据是工作地是否发生变化和工作是否连续。

对于图 1-3 所示的阶梯轴零件，单件小批生产和大批大量生产时，按常规加工方法划分的工序分别见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 单件小批生产工艺过程

工 序 号	工 序 内 容	设 备	工 序 号	工 序 内 容	设 备
1	车两端面、打中心孔	车床	3	铣键槽、去毛刺	铣床、钳工台
2	车外圆、车槽和倒角	车床	4	磨外圆	磨床

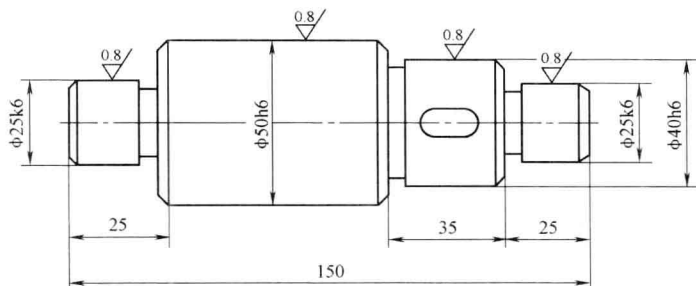


图 1-3 阶梯轴零件

表 1-2 大批大量生产工艺过程

工序号	工序内容	设备	工序号	工序内容	设备
1	两端同时铣端面、钻中心孔	专用车床	4	铣键槽	铣床
2	车一端外圆、车槽和倒角	车床	5	去毛刺	钳工台或专用去毛刺机
3	车另一端外圆、车槽和倒角	车床	6	磨外圆	磨床

注：数控加工的工序划分比较灵活，可不受上述限制。

2. 工步

在加工表面(或装配时连接面)和加工(或装配)工具不变的情况下，所连续完成的那一部分工序内容称为工步。划分工步的依据是加工表面和工具是否发生变化，如：表 1-1 的工序 1 有四个工步，表 1-2 的工序 4 只有一个工步。

为简化工艺文件，对在一次安装中连续进行的若干个相同的工步，常认为是一个工步。如图 1-4 所示的零件，钻削 6 个 $\phi 20\text{mm}$ 的孔，可看成一个工步——钻 $6 \times \phi 20\text{mm}$ 孔。有时，为了提高生产效率，常用几把不同刀具或复合刀具同时加工一个零件上的几个表面(见图 1-5)，此工步称为复合工步。在数控加工中，通常将一次安装下用一把刀连续切削零件上的多个表面划分为一个工步。

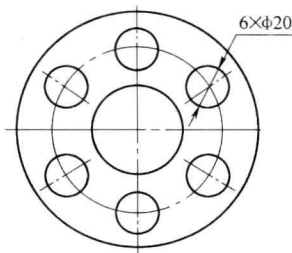


图 1-4 加工六个相同表面的工步

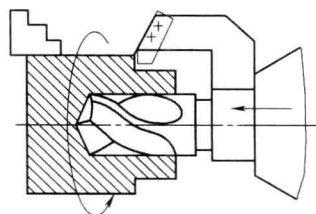


图 1-5 复合工步

3. 进给

在一个工步内，若被加工表面需切除的余量较大，可分几次切削，每次切削称为一次进

给。车削图 1-6 所示的阶梯轴，第一工步为一次进给，第二工步分二次进给。

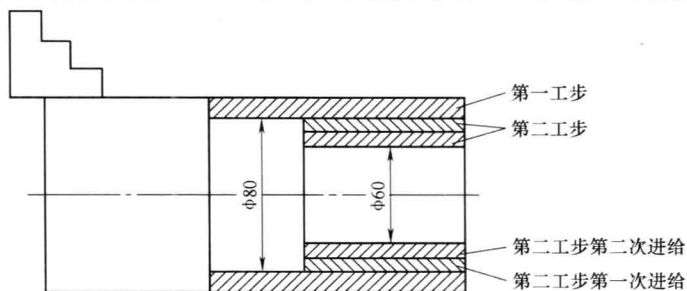


图 1-6 阶梯轴的车削进给

4. 安装

工件经一次装夹后所完成的那一部分工序，称为安装。在一道工序中，工件可能只需安装一次，也可能需要安装几次。例如，表 1-1 中的工序 2 至少需要安装两次，而表 1-2 中的工序 4 只需安装一次。

5. 工位

对于回转工作台(或夹具)、移动工作台(或夹具)，工件在一次安装中先后对几个不同的位置进行加工，每个位置称为一个工位。如图 1-7 所示，用回转工作台在一次安装中顺次完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔加工。采用多工位加工方法，可减少安装次数，提高加工精度和效率。

数控加工主要用于单件小批生产和成批生产，一般不适用于大批大量生产，这三种生产类型的工艺特征见表 1-3。

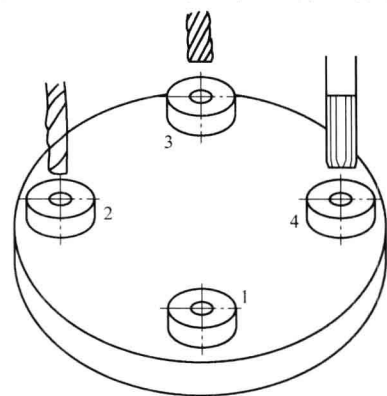


图 1-7 多工位加工示例

工位 1—装卸工件 工位 2—钻孔
工位 3—扩孔 工位 4—铰孔

表 1-3 单件小批生产、成批生产、大批大量生产的工艺特征

工艺特征	单件小批生产	成批生产	大批大量生产
毛坯的制造方法及加工余量	木模手工铸造或自由锻，毛坯精度低，加工余量大	金属模铸造或模锻部分毛坯，毛坯精度与加工余量适中	广泛采用金属模铸造和模锻，毛坯精度高，加工余量小
机床设备及其布置	通用机床、数控机床、按机床类别采用机群式布置	部分通用机床、数控机床及高效机床，按工件类别分分段排列	广泛采用高效专用机床和自动机床，按流水线和自动线排列
工艺装备	多采用通用夹具、刀具和量具，靠划线和试切法达到精度要求	多采用可调夹具，部分靠找正装夹达到精度要求，较多采用专用刀具和量具	广泛采用高效率的夹具、刀具和量具，用调整法达到精度要求
工人技术水平	熟练	比较熟练	对操作工人技术要求低，对调整工人技术要求高

(续)

工艺特征	单件小批生产	成批生产	大批大量生产
工艺文件	工艺过程卡、关键工序卡、数控加工工序卡和程序单	工艺过程卡、关键零件的工序卡、数控加工工序卡和程序单	工艺过程卡、工序卡、关键工序调整卡和检验卡
生产率	低	中	高
成本	高	中	低

1.1.2 数控加工工艺的特点

数控机床的加工工艺与通用机床的加工工艺有许多相同之处，但在数控机床上加工零件比在通用机床上加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前，要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和进给路线等都编入程序，这就要求程序设计人员具有多方面的知识基础。合格的程序员首先是一个合格的工艺人员，对每种数控机床的加工精度都非常了解，否则就无法全面考虑零件加工的全过程，以及正确、合理地编制零件的加工程序。

一般数控机床按零件的加工精度可分为如下三种：

- 1) 简易型(经济型)：机床加工精度一般大于0.03mm。
- 2) 全功能型：机床加工精度一般为0.005~0.03mm。
- 3) 精密型：机床加工精度一般小于0.005mm。

根据数控机床加工精度和工件图样的加工精度要求，首先选择用何种数控机床加工。通常，典型工件按外形可基本分为回转体类和箱体类两种，工件类别及精度分析清楚了，待加工的数控机床也就基本确定了。下面是回转体类和箱体类两种典型类别工件进行数控加工的一般工艺规程：

回转体轴类工件：铣端面、钻中心孔→普通车床粗加工→数控车床半精加工→数控磨床精加工。

回转体类工件(法兰和盘类零件)：普通车床粗加工→数控车床半精加工→数控车削中心精加工。

箱体类工件：普通机床加工外形及基面→立式加工中心加工上面→卧式加工中心加工四周各面。

上述工艺规程是根据工件的加工精度由粗加工到精加工的常规工艺流程，此工艺规程并非一成不变。实际生产时，应由工件的加工精度要求，确定用于精加工的数控机床，以免造成机床性能的浪费。根据上述工艺规程，加工回转体类工件可供选择的数控机床有数控车床、数控车削中心、数控磨床等；加工箱体类工件则应以立式或卧式加工中心为主。

实际选择数控机床加工时还应考虑下列因素：

- 1) 零件加工精度是普通级还是精密级。
- 2) 数控机床虽有柔性加工特点，但也不是万能的。应先尽量发挥各类普通机床的特有的工艺特点，注意各机床工件转序时工艺基准的合理使用，才能最大限度地发挥数控机床加工精度较稳定、可多工序集中加工的综合加工能力。
- 3) 妥善处理好工序集中与工艺加工渐精原则的矛盾。数控机床虽可多工序集中加工，

但希望工件在一次装夹中完成全部加工量是不现实的。实际上,一些复杂的、精度要求较高的工件,由于在加工过程中的热变形、内应力引起的工件变形、工夹具夹紧变形、热处理要求时效等工艺因素和编程者、操作者水平及熟练程度等因素,很难一次装夹完成全部加工,逐步精化的加工工艺准则制约着数控机床加工工序集中的数量。

由于数控加工采用的是计算机控制系统,使得数控加工与普通加工相比,具有加工自动化程度高、加工精度高、加工质量稳定、生产效率高、生产周期短、设备使用费用高等特点,故数控机床加工工艺与普通机床加工工艺相比,具有如下特点:

1) 数控加工工艺内容要求十分具体、详细,所有工艺问题必须事先设计和安排好,并编入加工程序中。数控加工工艺不仅包括详细的切削加工步骤和所用工装夹具的装夹方案,还包括刀具的型号、规格、切削用量和其他特殊要求的内容以及标有数控加工坐标位置的工序图等。在自动编程中更需要确定详细的各种加工工艺参数。

2) 数控加工工艺要求更严密、更精确。数控加工过程中可能遇到的所有问题必须事先精心考虑到,否则将导致严重的后果。如攻螺纹时,数控机床不知道孔中是否已挤满铁屑,是否需要退刀清理一下铁屑再继续加工;又如普通机床加工时,可以多次“试切”来满足零件的精度要求,而数控加工过程,严格按照规定尺寸进给,要求准确无误,因此,数控加工工艺设计要求更加严密、精确。

3) 制订数控加工工艺要进行零件图形的数学处理和编程尺寸设定值的计算。编程尺寸并不是零件图上设计尺寸的简单再现,在对零件图进行数学处理和计算时,编程尺寸设定值要根据零件尺寸公差要求和零件的形状几何关系重新调整计算,才能确定合理的编程尺寸。

4) 要考虑进给速度对零件形状精度的影响。制订数控加工工艺时,选择切削用量要考虑进给速度对加工零件形状精度的影响。在数控加工中,刀具的移动轨迹是由插补运算完成的。根据插补原理分析,在数控系统已定的条件下,进给速度越快,则插补精度越低,导致工件的轮廓形状精度越差,尤其在高精度加工时,这种影响非常明显。

5) 强调刀具选择的重要性。复杂形面的加工编程通常采用自动编程方式。自动编程中,必须先选定刀具再生成刀具中心运动轨迹,因此,对于不具有刀具补偿功能的数控机床来说,若刀具预先选择不当,所编程序只能推倒重来。

6) 数控加工工艺的加工工序相对集中。由于数控机床特别是功能复合化的数控机床,一般都带有自动换刀装置,在加工过程中能够自动换刀,一次装夹即可完成多道工序或全部工序的加工,因此,数控加工工艺的明显特点是工序相对集中,表现为工序数目少,工序内容多,并且由于在数控机床上尽可能安排较复杂的加工工序,所以数控加工工艺的工序内容比普通机床加工的工序内容复杂。

1.2 数控加工的艺术设计

数控加工工艺设计的主要内容包括:数控加工工艺分析、数控加工方法的选择、工序和工步的划分、工件的定位与夹紧、刀具轨迹的确定、刀具的选择及切削用量的确定、对刀点与换刀点的确定。

1.2.1 数控加工工艺分析

数控加工工艺分析包括:选择适合数控加工的零件、确定数控加工的内容以及对数控加

工零件进行工艺性分析。

1. 选择适合数控加工的零件

数控机床是一种高度自动化的机床，有一般机床所不具备的许多优点，所以数控加工技术的应用范围不断扩大，但数控机床是机、电高度一体化产品，技术含量高，成本高，不是所有零件都适合在数控机床上加工。根据数控加工的特点及国内外大量应用实践，一般可按适应程度将加工零件分为下列三类。

(1) 最适合数控加工零件

1) 形状复杂，加工精度要求高，用通用机床很难加工或虽然能加工但很难保证加工质量的零件。

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形零件。

4) 必须在一次装夹中完成铣、镗、铰、铰或攻螺纹等多工序的零件。

对于此类零件，首要考虑的是能否加工出来，只要有可能，应把采用数控加工作为首选方案，而不要过多地考虑生产率与成本问题。

(2) 较适合数控加工零件

1) 价值较高的零件，在通用机床上加工时容易受人为因素(如工人技术水平高低、情绪波动等)干扰而影响加工质量，从而造成较大经济损失的零件。

2) 在通用机床上加工时必须制造复杂的专用工装的零件。

3) 需要多次更改设计后才能定型的零件。

4) 在通用机床上加工需要作长时间调整的零件。

5) 在通用机床上加工时，生产率很低或劳动强度很大的零件。

此类零件在分析其可加工性的基础上，还要综合考虑生产效率和经济效益，一般情况下，可把它们作为数控加工的主要选择对象。

(3) 一般不推荐采用数控加工的零件

1) 品种单一、生产批量大的零件(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，且在数控机床上无在线检测系统用于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。

这类零件采用数控加工后，在生产率和经济性方面一般无明显改善，甚至还有可能得不偿失，一般不应该把此类零件作为数控加工的选择对象。

综上所述，建议多品种小批量零件，结构较复杂、精度要求较高的零件，需要频繁改型的零件，价格昂贵、不允许报废的关键零件和需要最小生产周期的急需零件采用数控加工。

2. 确定数控加工的内容

在选择并决定某个零件进行数控加工后，并不是零件所有的加工内容都采用数控加工，数控加工可能只是零件加工工序中的一部分，因此，有必要对零件图样进行仔细分析，确定最适合、最需要进行数控加工的内容和工序。同时，还应结合本单位的实际情况，立足于解决难题、攻克关键、提高生产效率和充分发挥数控加工的优势，一般可按下列原则选择数控加工内容：

- 1) 通用机床无法加工的内容应作为优先选择的内容。
- 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。
- 3) 通用机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容, 可在数控机床尚存富余能力的基础上进行选择。

通常情况下, 上述加工内容采用数控加工后, 产品的质量、生产率与综合经济效益等指标都会得到明显的提高。相比之下, 下列内容不宜选择采用数控加工:

- 1) 需要在机床上进行较长时间调整的加工内容, 例如, 以毛坯的粗基准定位来加工第一个精基准的工序。
- 2) 数控编程取数困难、易于与检验依据发生矛盾的型面、轮廓。
- 3) 不能在一次安装中完成加工的其他零星加工表面, 采用数控加工又很麻烦, 可采用通用机床补加工。
- 4) 加工余量大且不均匀的粗加工。

此外, 选择数控加工的内容时, 还应该考虑生产批量、生产周期、生产成本和工序间周转情况等因素, 杜绝把数控机床当作普通机床来使用。

3. 数控加工零件的工艺性分析

在选择并确定数控加工零件及其加工内容后, 应对零件的数控加工工艺性进行全面、认真、仔细的分析, 主要包括: 产品零件图样分析、结构工艺性分析和零件安装方式的选择等内容。

(1) 零件图样分析 首先应熟悉零件在产品中的作用、位置、装配关系和工作条件, 搞清楚各项技术要求对零件装配质量和性能的影响, 找出主要和关键的技术要求, 然后对零件图样进行分析。

1) 尺寸标注方法分析。零件图上尺寸标注方法应适应数控加工的特点。在数控加工零件图上, 应以同一基准标注尺寸或直接给出坐标尺寸, 如图 1-8a 所示。这种标注方法既便于编程, 又有利于设计基准、工艺基准、测量基准和编程原点的统一。由于设计人员一般在尺寸标注中较多地考虑装配等使用方面特性, 而不得不采用图 1-8b 所示的局部分散的标注方法, 这样就给工序安排和数控加工带来诸多不便。由于数控加工精度和重复定位精度都很高, 不会因产生较大的累积误差而破坏零件的使用特性, 因此, 可将局部分散的标注法改为同一基准标注或直接给出坐标尺寸的标注法。

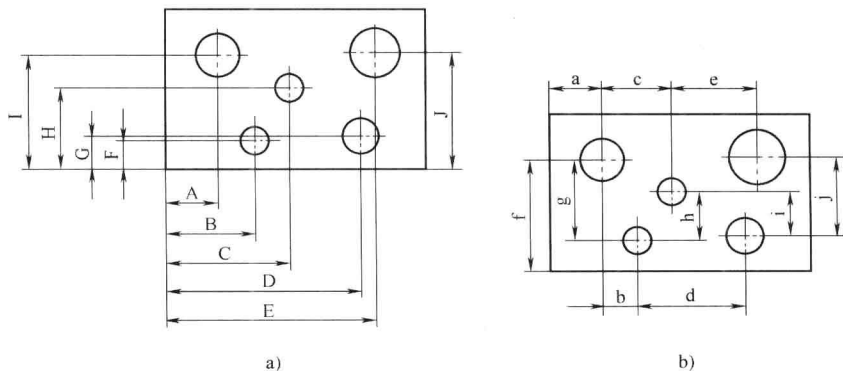


图 1-8 零件尺寸标注分析

2) 零件图的完整性与正确性分析。构成零件轮廓的几何元素(点、线、面)的条件(如相切、相交、垂直和平行等),是数控编程的重要依据。手工编程时,要依据这些条件计算每一个节点的坐标;自动编程时,则要根据这些条件对构成零件的所有几何元素进行定义,哪一个条件不明确,编程都无法进行,因此,在分析零件图样时,务必要分析几何元素的给定条件是否充分,发现问题及时与设计人员协商解决。

3) 零件技术要求分析。零件的技术要求主要是指尺寸精度、形状精度、位置精度、表面粗糙度及热处理要求等。这些要求在保证零件使用性能的前提下,应经济合理。过高的精度和表面粗糙度要求会使工艺过程复杂、加工困难、成本提高。

4) 零件材料分析。在满足零件功能的前提下,应选用价廉、切削性能好的材料,而且,材料选择应立足国内,不要轻易选用贵重或紧缺的材料。

(2) 零件的结构工艺性分析 零件的结构工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的可行性和经济性。良好的结构工艺性,可以使零件加工容易,节省工时和材料;而较差的零件结构工艺性,会使加工困难,浪费工时和材料,有时甚至无法加工,因此,零件各加工部位的结构工艺性应符合数控加工的特点。

1) 零件的内腔和外形最好采用统一的几何类型和尺寸,这样可以减少刀具规格和换刀次数,使编程方便,有利于提高生产效率。

2) 内槽圆角的大小决定着刀具直径的大小,所以内槽圆角半径不应太小。如图 1-9 所示的零件,其结构工艺性的好坏与被加工轮廓的高低、转角圆弧半径的大小等因素有关。图 1-9b 与图 1-9a 相比,转角圆弧半径大,可以采用较大直径的立铣刀来加工;加工平面时,进给次数也相应减少,表面加工质量也会好一些,因而工艺性较好。通常 $R < 0.2H$ 时,零件该部位的工艺性不好。

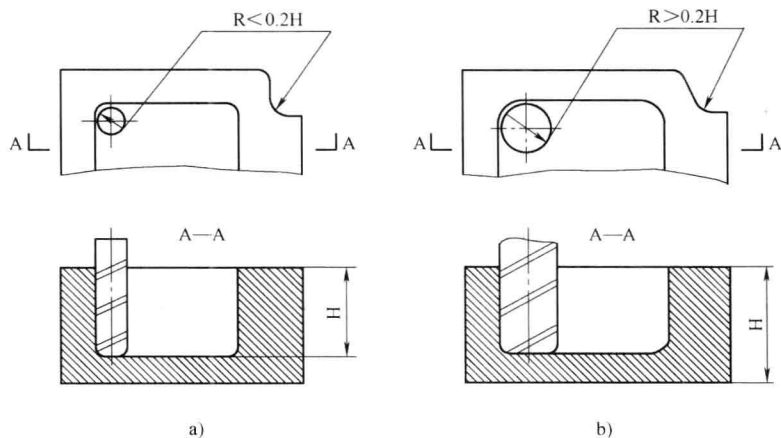


图 1-9 内槽结构工艺性对比

3) 铣槽底平面时,槽底圆角半径 r 不要过大。如图 1-10 所示,铣刀端面刃与铣削平面的最大接触直径 $d = D - 2r$ (D 为铣刀直径),当 D 一定时, r 越大,铣刀端面刃铣削平面的面积越小,加工平面的能力就越差,效率越低,工艺性也越差。当 r 大到一定程度时,甚至必须用球头铣刀加工,这是应该尽量避免的。

4) 应采用统一的基准定位。在数控加工中若没有统一的定位基准,则会因工件的二次

装夹而造成加工后两个面上的轮廓位置及尺寸不协调现象。另外，零件上最好有合适的孔作为定位基准孔，若没有，则应设置工艺孔作为定位基准孔。若无法加工出工艺孔，也要用精加工表面作为统一基准，以减少二次装夹产生的误差。

(3) 选择合适的零件安装方式 数控机床加工时，应尽量使零件能够一次安装完成零件所有待加工面的加工。要合理选择定位基准和夹紧方式，以减少误差环节。应尽量采用通用夹具或组合夹具，必要时才设计专用夹具。夹具设计的原理和方法与普通机床所用夹具相同，但应使其结构简单，便于装卸，操作灵活。

此外，还应分析零件所要求的加工精度、尺寸公差等是否可以得到保证，有没有引起矛盾的多余尺寸或影响加工安排的封闭尺寸等。

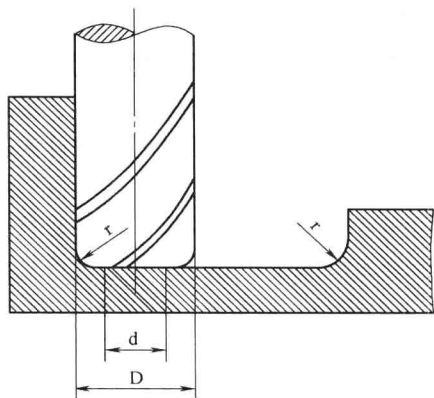


图 1-10 槽底圆弧对加工工艺的影响

1.2.2 数控加工方法的选择

选择数控加工方法主要是确定数控加工工艺路线，工艺路线的拟定是制订工艺规程的重要内容之一，其主要内容包括：选择各加工表面的加工方法、划分加工阶段以及安排加工的先后顺序等。数控加工编程人员应根据从生产实践中总结出来的一些综合性工艺原则，结合本厂的实际生产条件，提出几种方案，通过对比分析，从中选择最佳方案。

1. 加工方法的选择

机械零件的结构形状是多种多样的，但它们都是由平面、外圆柱面、内圆柱面或曲面、成形面等基本表面组成的。每一种表面都有多种加工方法，具体选择时应根据零件的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸及生产类型等因素，选用相应的加工方法和加工方案。

- 1) 外圆表面的主要加工方法是车削和磨削等。
- 2) 内孔表面加工方法有钻、扩、铰、镗、拉、磨和光整加工等。
- 3) 平面的主要加工方法有铣削、刨削、车削、磨削和拉削等，精度要求高的平面还需要进行研磨或刮削加工。
- 4) 平面轮廓常用的加工方法有数控铣、线切割及磨削等。
- 5) 立体曲面轮廓加工方法主要用数控铣，多用球头铣刀，以“行切法”加工，如图 1-11 所示。根据曲面形状、刀具形状以及精度要求等通常采用三轴联动加工，对精度和表面粗糙度要求高的曲面，当采用三轴联动的“立体曲面”加工不能满足要求时，可用模具铣刀，选择四坐标或五坐标联动加工。

2. 加工阶段的划分

当零件的加工质量要求较高时，往往不可能用一道工序来满足其要求，而要用几道工序逐步达到所要求的加工质量。为保证加工质量和合理地使用设备、人力，零件的加工过程通常按工序性质的不同，可分为：粗加工、半精加工、精加工和光整加工四个阶段。

划分加工阶段的目的在于：①保证加工质量。②合理使用设备。③便于及时发现毛坯缺陷。④便于安排热处理工序。

将工艺过程划分成几个加工阶段是对整个零件加工过程而言的，各个加工部位的不同加工阶段可以互相穿插安排，不能单纯从某一表面的加工或某一工序的性质来判断，划分不应

绝对化,应根据零件的质量要求、结构特点灵活掌握。

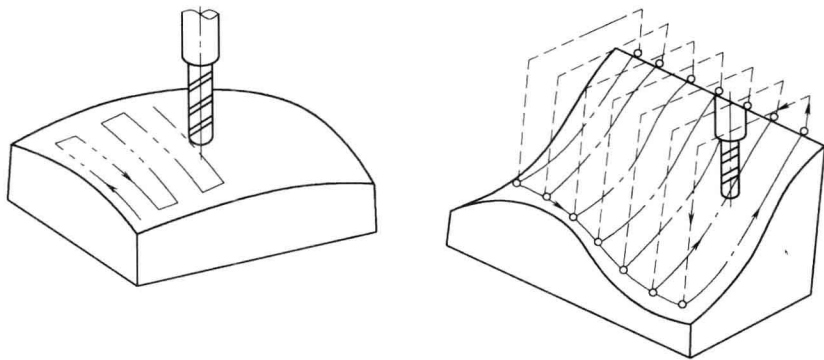


图 1-11 立体曲面的加工示意

3. 加工顺序的安排

加工顺序通常按下列原则安排:

1) 基面先行原则。用作精基准的表面应优先加工出来,因为定位基准的表面越精确,装夹误差就越小。

2) 先粗后精原则。各个表面的加工顺序按照粗加工→半精加工→精加工→光整加工的顺序依次进行,逐步提高表面的加工精度和减小表面粗糙度。

3) 先主后次原则。零件的主要工作表面、装配基面应先加工,从而能及早发现毛坯中主要表面可能出现的缺陷。次要表面可穿插进行,放在主要表面加工到一定程度后、最终精加工之前进行。

4) 先平面后孔原则。对箱体、支架类零件,由于平面轮廓尺寸较大,一般先加工平面,再加工孔和其他尺寸,这样安排加工顺序,一方面用加工过的平面定位,稳定可靠;另一方面在加工过的平面上加工孔,比较容易,并能提高孔的加工精度,特别是钻孔时,孔的轴线不易偏斜。

1.2.3 工序和工步的划分

1. 工序的划分

工序的划分可以采用两种原则,即工序集中原则和工序分散原则。

在数控机床上加工的零件,一般按工序集中原则划分工序,划分方法如下:

1) 按所用刀具划分,以同一把刀具完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适用于工件的待加工表面较多、机床连续工作时间过长、加工程序的编制和检查难度较大等情况。加工中心常用这种方法划分。

2) 按零件的定位安装方式划分,以一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适用于加工内容不多的零件,加工完成后就能达到待检状态。

3) 按粗、精加工划分,即粗加工中完成的那一部分工艺过程为一道工序,精加工中完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种划分方法适用于加工后变形较大,需粗、精加工分开的零件,如毛坯为铸件、焊接件或锻件。

4) 按加工部位划分,即以完成相同型面的那一部分工艺过程为一道工序。对于加工表面多而复杂的零件,可按其结构特点(如内形、外形、曲面和平面等)划分成多道工序。

工序集中和工序分散各有特点,在拟定工艺路线时,工序是集中还是分散,即工序数量是多还是少,主要取决于生产规模和零件的结构特点及技术要求。在一般情况下,单件小批量生产时,多采用工序集中;大批量生产时,既可采用多刀、多轴等高效率机床将工序集中,也可将工序分散后组织流水线生产。目前的发展趋势是倾向于工序集中。

2. 工步的划分

划分工步的依据是加工表面和加工刀具是否发生变化。由于数控加工是控制刀具相对于工件的运动轨迹,因此,数控加工工步的划分可根据每把刀具的进给路线来确定。

1.2.4 工件的定位与夹紧

工件的定位和夹紧是工件装夹的两个过程。为了保证工件被加工表面的技术要求,必须使工件相对刀具和机床处于一个正确的加工位置。在使用夹具的情况下,就要使同一工序中的所有工件都能在夹具中占据同一正确位置,这就是工件的定位问题。在工件定位以后,为了保证工件在切削力作用下保持既定位置不变,这就需要将工件在既定位置上夹紧。

定位与夹紧的任务是不同的,两者不能互相取代。若认为工件被夹紧后,其位置不能动了,所有自由度就都已限制了,这种理解是错误的。图 1-12 所示为定位与夹紧的关系示意,工件在平面支承 1 和两个长圆柱销 2 上定位,工件放在实线和虚线位置都可以夹紧,但是工件在 X 方向的位置不能确定,钻出的孔其位置也不确定(出现尺寸 A_1 和 A_2)。只有在 X 方向设置一个挡销时,才能保证钻出的孔在 X 方向获得确定的位置。另一方面,若认为工件在挡销的反方向仍然有移动的可能性,因此位置不确定,这种理解也是错误的。定位时,必须使工件的定位基准面紧贴在夹具的定位元件工作表面上,否则不称其为定位,而夹紧则使工件不离开定位元件。

实际数控加工中,工件的定位与夹紧还应该注意下列四点:

- 1) 力求设计基准、工艺基准与编程原点统一,以减少基准不重合误差和数控编程中的计算工作量。
- 2) 设法减少装夹次数,尽可能做到一次定位装夹后能加工出工件上全部或大部分待加工表面,以减少装夹误差,提高加工表面之间的相互位置精度,充分发挥数控机床的效率。
- 3) 避免采用占机人工调整式方案,以免占机时间太多,影响加工效率。
- 4) 夹紧力的方向和作用点应落在工件刚性较好的方向和部位。

数控车床常用夹具有:三爪自定心卡盘、液压三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘和花盘等。数控铣床和加工中心常用夹具有:通用夹具(如台虎钳、分度盘和三爪自定心卡盘等)、组合夹具、专用夹具、可调夹具、多工位夹具和成组夹具等。

1.2.5 刀具的选择及切削用量的确定

1. 数控加工刀具的选择

数控加工刀具按其制造所采用的材料可以分为高速钢刀具、硬质合金刀具、陶瓷刀具、

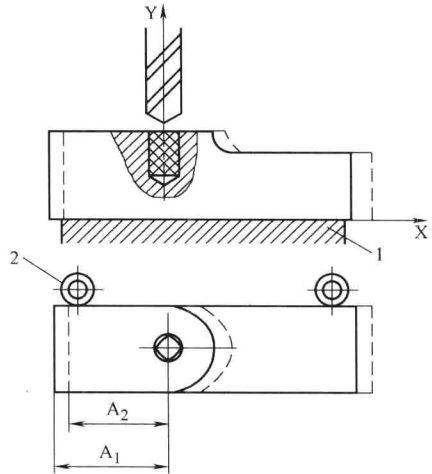


图 1-12 定位与夹紧的关系示意