

高  
校  
教  
材

· 高等学校专业教材 ·

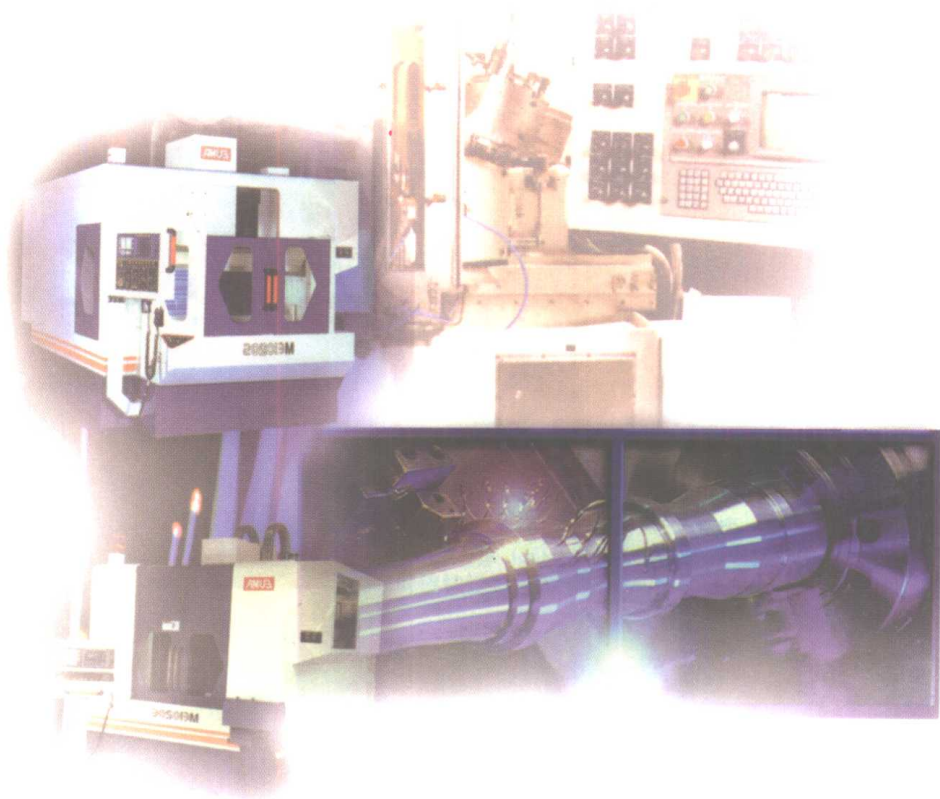
数  
控  
加  
工  
技  
术  
基  
础

周  
文  
玉  
主  
编  
·  
王  
新  
杰  
李  
伟  
副  
主  
编

中  
国  
轻  
工  
业  
出  
版  
社

# 数控加工技术基础

周文玉 主编 · 王新杰 李伟 副主编




 中国轻工业出版社

高等学校专业教材

# 数控加工技术基础

周文玉 主编  
王新杰 李伟 副主编

 中国轻工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

数控加工技术基础/周文玉主编. -北京:中国轻工业出版社, 1999.8 (2000.10 重印)

高等学校专业教材

ISBN 7-5019-2435-X

I. 数… II. 周… III. 数控机床-金属加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 11153 号

责任编辑: 柴淑萍

策划编辑: 柴淑萍 责任终审: 滕炎福 封面设计: 崔云

版式设计: 丁夕 责任校对: 郎静瀛 责任监印: 崔科

\*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印刷: 北京龙华印刷厂

经销: 各地新华书店

版次: 1999年8月第1版 2000年10月第2次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.25

字数: 380千字 印数: 3001-6000

书号: ISBN 7-5019-2435-X/TP·055 定价: 28.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

## 前 言

随着计算机自动控制技术的广泛深入应用，数控加工技术作为现代机械制造技术的基础，使得机械制造过程已经发生和正在发生着显著的变化。现代的数控加工技术与传统的加工技术相比，无论在加工工艺，加工的自动控制，还是在加工设备与工装等诸多方面均有明显不同。高等院校机械类专业，特别是机械制造专业的学生系统掌握数控加工技术的基础理论知识与基本技术方法已十分必要。

为适应机械加工技术的发展与教学需要，我们编写了《数控加工技术基础》一书。该书力求体现机械加工的现代性，系统阐述了反映数控加工技术整体系统的基本知识理论与方法。本书主要作为高等院校机械类专业数控技术教育教材，也可供从事数控加工技术工作的技术人员参考。

全书共分七章，主要内容有：数控加工工艺基础，数控装置与伺服系统，数控机床概论，数控机床的机械结构，数控加工中的工艺装备及数控加工实验指导等。

本书由周文玉主编，副主编：王新杰、李伟。参加编写的有肖龙（第一章）、李东进（第二章、第六章第一节）、郭晓东（第三章第一、二、四节）、覃寿同（第三章第三节、第五章第二节）、李伟（第三章五、六、七节）、王新杰（第四章第一、二、三、五、六、七节）、罗国富（第四章第四节、第五章第一节）、周文玉（第五章第三、四、五节）、姚建松（第六章第二、三节）、任泰安（第六章第四节、第七章）。

本书编写时参阅了有关院校、科研、生产单位的教材和文献资料，得到许多专家同行的支持和帮助，在此一并表示深深的谢意。

由于编者的水平有限，书中定有不少缺点，甚至错误，恳请批评指正。

编者 1998年12月

# 目 录

<b>第一章 数控加工工艺基础</b> .....	( 1 )
第一节 数控加工技术概述.....	( 1 )
第二节 数控加工工艺的内容、特点及适应性.....	( 4 )
第三节 数控加工的工艺设计.....	( 7 )
<b>第二章 数控机床概论</b> .....	( 20 )
第一节 数控机床的工作原理及组成.....	( 20 )
第二节 机床数控技术的发展与数控机床的分类.....	( 21 )
第三节 数控机床选型.....	( 26 )
<b>第三章 数控系统</b> .....	( 32 )
第一节 数控装置的硬件结构与工作原理.....	( 32 )
第二节 CNC 数控装置的软件结构与功能 .....	( 36 )
第三节 插补运算.....	( 42 )
第四节 进给速度与轨迹自动偏移运算.....	( 55 )
第五节 常用检测元件.....	( 64 )
第六节 伺服驱动.....	( 76 )
第七节 数控系统实例介绍.....	( 89 )
<b>第四章 数控加工程序编制</b> .....	( 100 )
第一节 概述.....	( 100 )
第二节 数控加工程序编制的标准与代码.....	( 101 )
第三节 数控加工程序的结构与格式.....	( 108 )
第四节 数控机床的坐标系.....	( 110 )
第五节 常用准备功能 G 指令的编程方法 .....	( 113 )
第六节 数控机床手工编程实例.....	( 118 )
第七节 自动编程.....	( 123 )
<b>第五章 数控机床的机械结构</b> .....	( 141 )
第一节 数控机床机械结构的组成及要求.....	( 141 )
第二节 数控机床的总体布局.....	( 159 )
第三节 数控机床的主传动系统.....	( 165 )
第四节 数控机床的进给系统.....	( 181 )
第五节 数控机床导轨.....	( 192 )
<b>第六章 数控加工系统的工艺装备</b> .....	( 204 )

第一节	数控刀具系统	(204)
第二节	数控加工系统的自动换刀装置	(214)
第三节	数控夹具系统	(226)
第四节	数控加工系统中交换工件的装置	(234)
<b>第七章</b>	<b>数控加工实验指导</b>	<b>(241)</b>
实验一	步进电机的伺服控制	(241)
实验二	数控铣削加工	(243)
实验三	数控车削加工	(247)
<b>参考文献</b>		<b>(252)</b>

# 第一章 数控加工工艺基础

## 第一节 数控加工技术概述

### 一、数控加工技术

数字控制技术简称数控技术，它是用数字化信号对机器的运动进行控制的一种自动控制技术。采用数控技术的控制系统为数控系统，应用装备了数控系统的机械加工设备进行加工的技术即为数控加工技术。

随着科学技术的发展和数控技术的广泛应用，在机械制造业中普通机械逐渐被高效率、高精度、高自动化的数控机械所代替，使得在世界范围内，机械制造业已经发生和正在发生着显著的，甚至是根本性的变化。数控加工技术集传统的机械制造、计算机、现代控制、传感检测、信息处理、光机电技术于一体，是现代机械制造技术的基础，它的广泛应用，给机械制造业的生产方式，产品结构带来了深刻的变化。数控技术的水平和普及程度，已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。目前，这种机械制造中的加工技术，不仅应用于数控切削加工，还愈来愈广泛地应用于数控板材成形、线切割、电火花成形加工、激光加工、等离子弧切割、火焰切割等特种加工技术中。此外，在坐标测量机、工业机器人等加工辅助设备方面，数控技术也得到了日趋广泛的应用（见图 1-1~1-7）。

数控加工时，首先要对工件进行工艺分析，制定出加工工艺。在此基础上，将加工过程所需的刀具与工件的相对运动（速度、位移、轨迹），以及各种辅助操作（主轴变速、选

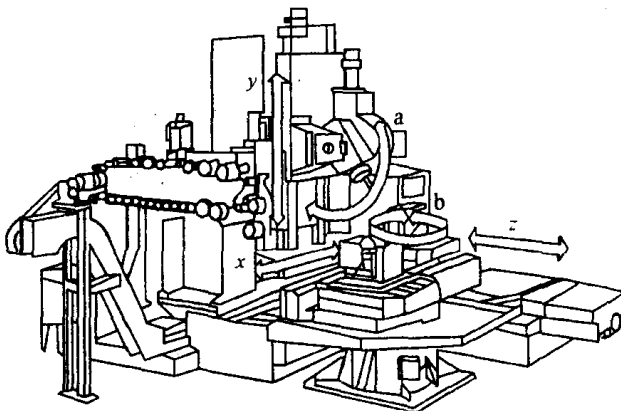


图 1-1 五坐标镗铣加工中心

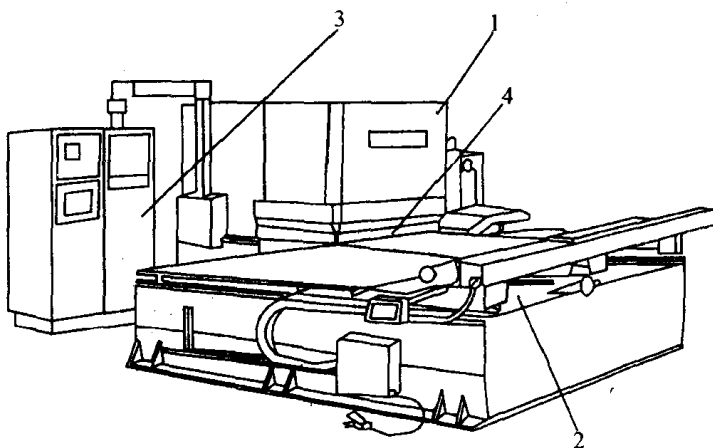


图 1-2 数控剪板机

1—机身 2—工作台 3—数控系统 4—刀片

择更换刀具、装卸工件，供给冷却液等），按规定的格式和数字化代码编制成加工程序，制作成控制介质（穿孔纸带、磁盘，磁带等），输入数控系统，经处理与运算后，发出各种指令，控制加工设备的伺服系统或其它执行件协调动作，以自动加工出所需要的工件。当加工对象改变时，除重新装夹工件和更换刀具外，一般只需重新制定加工工艺，编制加工程序、制作控制介质即可。数控加工过程如图 1-8 所示。

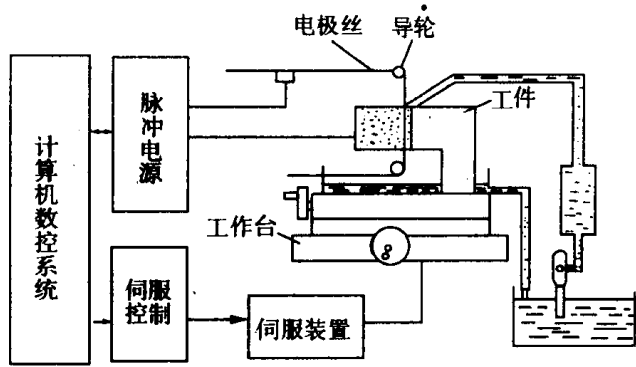


图 1-3 数控线切割机

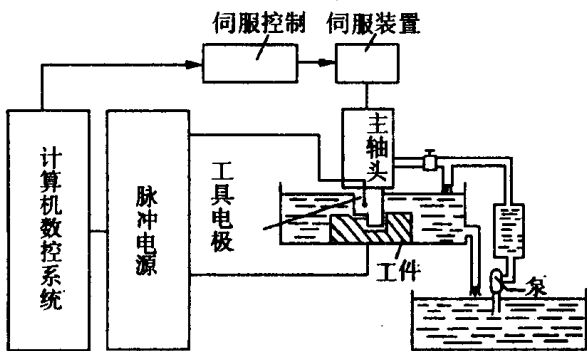


图 1-4 数控电火花成形机

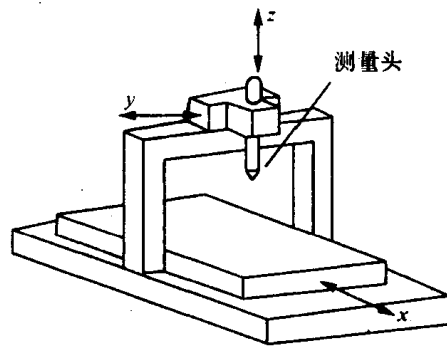


图 1-6 数控测量机

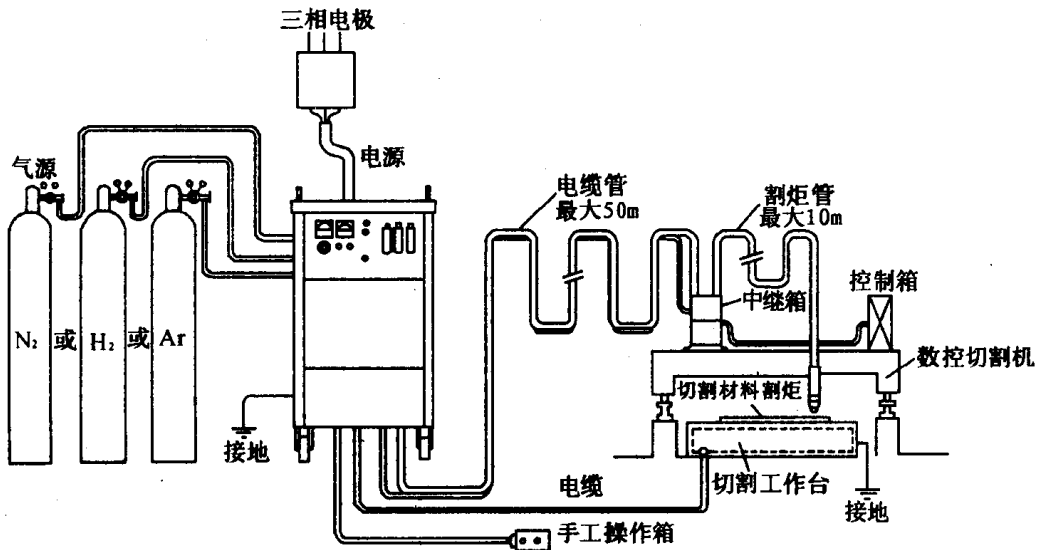


图 1-5 数控等离子切割机组组成



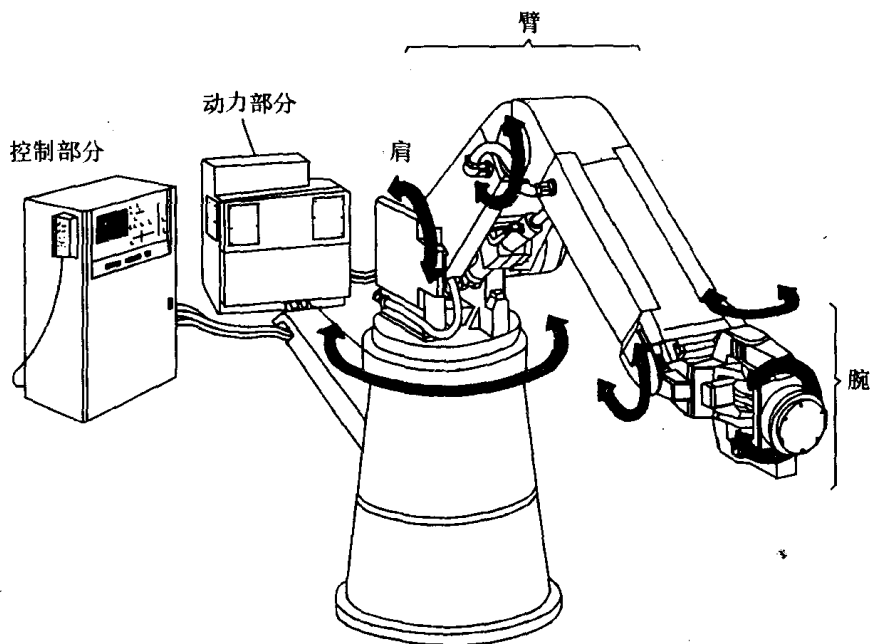


图 1-7 机器人

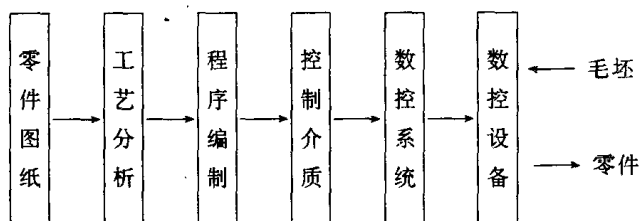


图 1-8 数控加工过程

## 二、数控加工技术的特点

数控加工技术与一般加工技术相比，具有以下特点：

- (1) 加工过程的柔性好，适宜多品种，单件小批量生产，便于产品的开发研制。
- (2) 加工精度高、质量稳定。这是因为，数控加工设备比通用的加工设备制造精度高，刚性好，脉冲当量小（一般为 0.01~0.001mm），工序集中，减少了多次装夹对加工精度的影响等原因。
- (3) 多数数控设备，可以多坐标联动，特别适宜复杂型面（如涡轮叶片等）的加工，这是许多普通加工设备所做不到的。

此外，数控加工不需划线，尺寸一致性好，工序集中，可自动换刀，节省了辅助时间，所以其综合生产效率较高；数控设备的数控系统与现代化管理手段同类，便于实现计算机辅助设计和制造，也便于实现现代化管理。

目前，数控加工技术在我国并未得到普及，主要原因是：

- (1) 数控加工设备成本高，特别是起始阶段投资较大；
- (2) 数控加工技术是机电一体化的技术密集型的高新科学技术，对操作人员在使用维修等方面的技术水平要求较高；

(3) 加工中难以调整。由于数控机床是按程序运行自动加工的，一般很难在加工过程中进行适时的人工调整，即使可以作局部调整，其可调范围也不大。

充分发挥数控加工技术的优势，普及与提高数控加工技术，是机械加工技术发展的重要方向，也是机电类有关专业技术人员的重要任务。

### 三、数控加工技术的发展

数控加工设备中，最有典型代表性、应用最广泛的是数控机床。随着市场竞争的日趋激烈，产品的更新换代愈来愈快，品种愈来愈多，对产品的质量要求也愈来愈高，与之适应，作为“工作母机”的数控机床发展非常迅速，应用也日趋广泛。数控加工技术虽然不单纯依附于数控机床，但它是随着数控机床的发展而发展起来的。

传统的加工工艺中，大批大量生产（如汽车、拖拉机、柴油机等）多采用专用生产设备，其生产率及自动化程度高，产品质量稳定，但生产准备周期长，产品不易改型。在单件小批量生产中多采用通用机床，其工艺范围广，适应性强，但自动化程度低，人工操作，生产率低，加工质量和精度不稳定。机械产品中，单件小批量生产占 70% 左右。随着市场竞争的日趋剧烈，产品更新更快、品种更多，单件小批量产品的比例将更大，对产品的质量及生产率要求将更高。在这种情况下，通用机床已不能很好满足以上要求，特别是一些由曲线，曲面构成的复杂零件，传统的方法只能靠仿形机床或者借助划线和样板手工操作的方法加工，加工精度和生产率都受到很大的限制。柔性好，精度高，生产率也高的数控加工设备就是为解决以上单件小批量生产、复杂型面的高精高效加工而产生和发展的。

数控机床最早出现于 20 世纪 50 年代。1952 年美国帕森斯公司（Parsons）和麻省理工学院（MIT）联合研制成功世界上第一台三坐标数控铣床，用以加工飞机叶片轮廓检查样板。这是一台采用专用数控装置进行运算与控制的具有直线插补功能的轮廓控制数控铣床。该数控装置采用电子管元件和硬件联接电路。由于数控技术的突出特点及科技发展生产的需求，因此随着电子技术与计算机技术的不断提高，数控加工技术得到迅速发展。数控系统从采用电子管、晶体管、集成电路、专用数控装置到采用通用计算机；数控机床从铣床到镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床等几乎所有机床品种；从单功能数控机床到加工中心，柔性制造单元（FMC），柔性制造系统（FMS）直至当今自动化制造加工技术发展的最高阶段——计算机集成制造系统（CIMS）；数控设备从切削加工设备到特种加工设备、机器人、绘图机、测量机等多种加工及辅助设备；数控加工技术的应用也从航空航天扩展到造船、汽车、家电产品等各个领域。

到了 20 世纪 90 年代初，日本已拥有数控加工中心约 11500 台，美国约 1800 台，德国约 1400 台。我国从 1958 年开始研制数控机床，至今我国生产的数控机床已达 300 余种，引进和自行开发建立多条 FMS 生产线，并开始进行 CIMS 的研究和应用。

## 第二节 数控加工工艺的内容、特点及适应性

### 一、数控加工工艺的概念

所谓数控加工工艺，就是使用数控机床加工零件的一种工艺方法。

数控技术的应用使机械加工的全过程产生了较大的变化。它不仅涉及数控加工设备,还包括数控加工工艺、工装和加工过程的自动控制等。其中,拟定数控加工工艺是进行数控加工的一项基础性工作。

虽然数控机床是一种先进的加工设备,但也必须由人们去熟悉、掌握和合理使用它,否则,再好的设备也难以发挥其所长。大量应用实践表明,数控机床的使用效果在很大程度上取决于用户数控加工中技术水平的高低和数控加工工艺拟定的正确合理与否。

由于数控加工涉及的内容很广,也比较复杂,为使我们从一开始就能较全面地了解数控加工的概况,我们首先应对作为数控加工基础的数控加工工艺的内容、特点、适应性作如下了解。

## 二、数控加工工艺的主要内容

数控加工与通用机床加工在方法与内容上有一些相似之处,也有许多不同。最大的不同表现在控制方式上。以切削加工为例,用通用机床加工零件时,就某道工序而言,其工步的安排,机床运动的先后次序、位移量、走刀路线及有关切削参数的选择等,都是由操作者自行考虑和确定的,且是用手工操作方式来进行控制的。如果采用自动机床或仿型机床加工,虽然也能达到对加工过程实现自动控制的目的,但其控制方式是通过预先配置的凸轮、挡块或靠模来实现的。而在数控机床上加工时,情况就完全不同了。在数控机床加工前,我们要把原先在通用机床上加工时需要操作工人考虑和决定的操作内容及动作,如:工步的划分与顺序、走刀路线、位移量和切削参数等等,按规定的代码格式编制成数控加工程序,记录在控制介质上。加工时,控制介质上的代码信息输入数控机床的控制系统,控制系统对输入信息进行运算与控制,并不断地向直接指挥机床运动的机电功能转换部件——机床的伺服机构发送脉冲信号,伺服机构对脉冲信号进行转换与放大处理,然后由驱动装置和传动机构驱动机床按所编程序进行运动,就可以自动加工出我们所要求的零件形状。不难看出,实现数控加工的重要工作在编程。但光有编程还不行,数控加工还包括编程前必须要做的一系列工艺准备工作及编程后的善后处理工作,即拟定数控加工工艺。一般来说,数控加工工艺主要包括以下几个方面的内容:

- (1) 通过数控加工的适应性分析选择并确定进行数控加工的零件的内容;
- (2) 结合加工表面的特点和数控设备的功能对零件进行数控加工的工艺分析;
- (3) 进行数控加工的工艺设计;
- (4) 根据编程的需要,对零件图形进行数学处理和计算;
- (5) 编写加工程序单(自动编程时为源程序,由计算机自动生成目标程序——加工程序);
- (6) 按程序单制作控制介质,如穿孔纸带、磁带、磁盘等;
- (7) 检验与修改加工程序;
- (8) 首件试加工以进一步修改加工程序,并对现场问题进行处理;
- (9) 编制数控加工工艺技术文件,如数控加工工序卡,程序说明卡,走刀路线图等。

## 三、数控加工的工艺特点

数控加工与通用机床加工相比较,在许多方面遵循的原则基本一致。但由于数控机床

本身自动化程度较高，控制方式不同，设备费用也高，使数控加工工艺相应形成了以下几个特点：

### 1. 工艺的内容十分具体

在用通用机床加工时，许多具体的工艺问题，如：工艺中各工步的划分与安排，刀具的几何形状、走刀路线及切削用量等，在很大程度上都是由操作工人根据自己的实践经验和习惯自行考虑和决定的，一般无须工艺人员在设计工艺规程时进行过多的规定。而在数控加工时，上述这些具体工艺问题，不仅仅成为数控工艺设计时必须认真考虑的内容，而且还必须作出正确的选择并编入加工程序中。也就是说，本来是由操作工人在加工中灵活掌握并可通过适时调整来处理的许多具体工艺问题和细节，在数控加工时就转变为编程人员必须事先设计和安排的内容。

### 2. 工艺的设计非常严密

数控机床虽然自动化程度较高，但自适性差。它不能像通用机床，加工时可以根据加工过程中出现的问题，比较灵活自由地适时进行人为调整，即使现代数控机床在自适应调整方面作出了不少努力与改进，但自由度也不大。比如说，数控机床在加工螺纹时，它就不知道孔中是否已挤满了切屑，是否需要退一下刀，或先清理一下切屑再干。所以，在数控加工的工艺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，以使数控加工顺利进行。因为数控机床比同类的通用机床价格高得多，在它上面加工的也都是些形状比较复杂，价值也较高的零件，万一损坏机床或零件都会造成较大损失。在实际工作中，由于一个小数点或一个逗号的差错酿成重大机床事故和质量事故的例子也屡见不鲜。

### 3. 注重加工的适应性

也就是要根据数控加工的特点，正确选择加工方法和加工对象。

由于数控加工自动化程度高、质量稳定、可多坐标联动、便于工序集中，但价格昂贵，操作技术要求高等特点均比较突出，加工方法、加工对象选择不当往往会造成较大损失。为了既能充分发挥出数控加工的优点，又能达到较好的经济效益，在选择加工方法和对象时要特别慎重，甚至有时还要在基本不改变工件原有性能的前提下，对其形状、尺寸、结构等作适应数控加工的修改。

根据大量加工实例分析，数控加工中失误的主要原因多为工艺方面考虑不周和计算与编程时粗心大意。因此，技术人员除必须具备较扎实的工艺基本知识和较丰富的实践工作经验外，还必须具有耐心和严谨的工作作风。

## 四、数控加工的工艺适应性

这里所指的适应性是广义的，不讨论某个具体数控设备适应加工什么零件。

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证产品质量的零件；

(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、铰或攻丝等多工序的零件。

对于上述零件，我们可以先不要过多地去考虑生产率与经济上是否合理，而首先应考虑能不能把它们加工出来，要着重考虑可能性问题。只要有可能，都应把采用数控加工作为优选方案。

## 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极易受人为因素（如：情绪波动、体力强弱、技术水平高低等）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) 用通用机床加工时，生产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，还要在提高生产率及经济效益方面作全面衡量，一般可把它们作为数控加工的主要选择对象。

## 3. 不适应类

根据数控加工的特点及应用实践提示，下列各种零件一般不太适合数控加工。

(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；

(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。

参考上述数控加工的适应性，我们就可以根据本单位拥有的数控机床来选择加工对象，或根据零件类型来考虑哪些应该优先安排数控加工，或从技术改造角度考虑，是否投资添置数控机床。

# 第三节 数控加工的工艺设计

工艺设计是对工件进行数控加工的前期工艺准备工作，它必须在程序编制工作以前完成，因为只有工艺方案确定以后，编程才有依据。前面已经提到，工艺方面考虑不周是造成数控加工差错的主要原因之一，工艺设计搞不好，往往要成倍增加工作量，有时甚至要推倒重来。因此，一定要注意先把工艺设计好，不要先急急忙忙考虑编程。

## 一、数控加工工艺设计的主要内容

数控加工工艺设计主要包括下列内容：

(1) 根据数控加工的适应性，选择并决定零件的数控加工内容；

(2) 对零件进行数控工艺性分析；

(3) 拟定数控加工的工艺路线；

- (4) 设计数控加工工序；
- (5) 编写数控加工专用技术文件。

## 二、数控加工工艺的设计

数控加工工艺设计的原则和内容在许多方面与普通工艺相同，下面仅针对不同点分别进行简要分析。

### (一) 选择并决定进行数控加工的内容

当选择并决定某个零件进行数控加工后，并不等于要把它所有的加工内容都包下来，而可能只是其中的一部分进行数控加工，因此必须对零件图纸进行仔细的工艺分析，选择那些适合、需要进行数控加工的内容和工序。在选择并作出决定时，应结合本单位的实际，立足于解决难题、攻克关键和提高生产效率，充分发挥数控加工的优势。选择时，一般可按下列顺序考虑：

- (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，可在数控机床尚存在富余能力的基础上进行选择。

一般来说，上述这些加工内容采用数控加工后，在产品质量、生产率与综合经济效益等方面都会得到明显提高。相比之下，下列一些加工内容则不宜选择采用数控加工：

需要通过较长时间占机调整的加工内容（如：以毛坯的粗基准定位来加工第一个精基准的工序等）；必须按专用工装协调的孔及其它加工内容（主要原因是采集编程用的数据有困难，协调效果也不一定理想）；按某些特定的制造依据（如：样板、样件、模胎等）加工的型面轮廓（主要原因是取数据难，易与检验依据发生矛盾，增加编程难度）；不能在一次安装中加工完成的其它零星部位，采用数控加工很麻烦，效果不明显，可安排普通机床补加工。

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，工序间周转情况等等。总之，要尽量做到合理，达到多、快、好、省的目的。要防止把数控机床降格为普通机床使用。

### (二) 选择数控加工方法

#### 1. 旋转体零件的加工

这类零件用数控车床或数控磨床来加工。由于车削零件毛坯多为棒料或锻坯，加工余量较大且不均匀，因此在编程中，粗车的加工线路往往是要考虑的主要问题。

图 1-9 为手柄加工实例，其轮廓由三个弧组成，由于加工余量较大而且又不均匀，因此，比较合理的方案是先用直线、斜线程

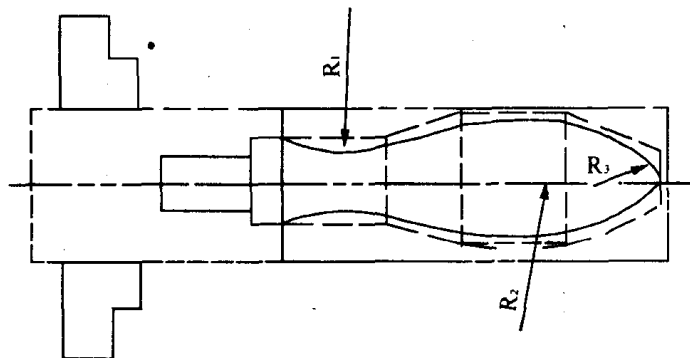


图 1-9 旋转体零件的加工

序车掉图中虚线所示的加工余量，再用圆弧程序精加工成形。

影响旋转体加工的因素，还有刀具的受力与强度，排屑与冷却等诸多因素，必须根据具体情况，酌情合理选择。

## 2. 孔系零件的加工

这类零件孔数较多，孔间位置精度要求较高，宜用点位直线控制的数控钻与镗床加工。这样不仅可以减轻工人的劳动强度，提高生产率，而且还易于保证精度。这类零件加工时，孔系的定位多用快速运动，有两坐标联动功能的数控机床，可以指令两轴同时运动。对没有联动的数控机床，则只能指令两个坐标轴依次运动。此外，在编制加工程序时，还应采用子程序调用的方法来减少程序段的数量，以减小加工程序的长度和提高加工的可靠性。

## 3. 平面与曲面轮廓零件的加工

平面轮廓零件的轮廓多由直线和圆弧组成，一般在两坐标联动的铣床上加工。图 1-10 为铣削平面轮廓实例，工件轮廓由直线和圆弧组成，若选用的铣刀半径为  $R$ ，则虚线为刀具中心的运动轨迹。

具有曲面轮廓的零件，多采用三个或三个以上坐标联动的铣床或加工中心加工，为了保证加工质量和刀具受力状况良好，加工中尽量使刀具回转中心线与加工表面处处垂直或相切。为此加工这类零件，常采用具有旋转坐标的四坐标、五坐标联动功能的铣床加工。

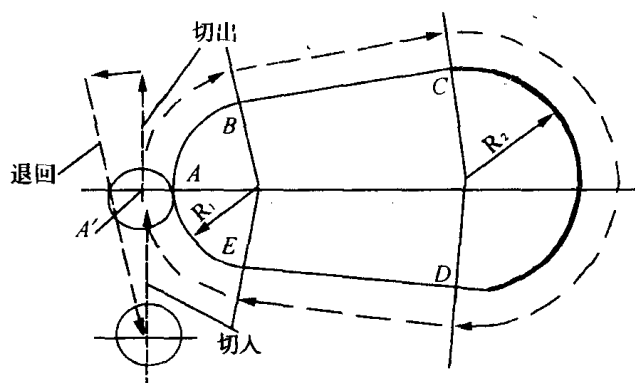


图 1-10 平面轮廓零件的加工

## 4. 模具型腔的加工

一般情况下，该类零件型腔表面复杂、不规则，表面质量及尺寸精度要求高，且常采用硬、韧的难加工材料，此时可考虑选用数控电火花成形加工。用该法加工零件时，由于电极与工件不接触，没有机械加工时的切削力，故特别适宜加工低刚度工件和进行细微加工。

## 5. 板材零件的加工

这类零件可根据零件形状考虑采用数控剪板机，数控板料折弯机及数控冲压机加工。传统的冲压工艺是按模具生产工件的形状，然而模具结构复杂，易磨损，价格昂贵，生产率低。采用数控冲压设备，能使加工过程按程序要求自动控制，可采用小模具冲压加工形状复杂的大工件，一次装夹集中完成多工序加工。采用软件排样，既能保证加工精度，又能获得高的材料利用率。所以采用数控板材冲压技术，节省模具、材料，生产效率高，特别是工件形状复杂，精度要求高，品种更换频繁时，更具有良好的技术经济效益。

## 6. 平板形零件的加工

这类零件可选择数控电火花线切割机床加工。这种加工方法除了工件内侧角部的最小半径由金属丝直径限制外，任何复杂的内、外侧形状都可以加工，而且加工余量少，加工

精度高，无论被加工零件的硬度如何，只要是导体或半导体材料都能加工。

### (三) 对零件图进行数控加工工艺性分析

一般情况下，在选择和决定数控加工内容的过程中，有关工艺人员必定对零件图作过一些工艺性分析，但还不够具体与充分。在进行数控加工的工艺性分析时，编程人员应根据所掌握的数控加工基本特点及所用数控机床的功能和实际工作经验，力求把这一前期准备工作做得更仔细、更扎实一些，以便为下面要进行的工作铺平道路，减少失误和返工，不留遗患。

关于数控加工的工艺性问题，其涉及面很广，这里仅从数控加工的可能性与方便性几个角度提出一些必须分析和审查的主要内容。

#### 1. 审查与分析零件图纸中的尺寸标注方法是否适应数控加工的特点

对数控加工来说，最倾向于以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种标注法，既便于编程，也便于尺寸之间的相互协调，在保持设计、工艺、检测基准与编程原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员往往在尺寸标注中较多地考虑装配、使用等，而不得不采取局部分散的标注方法，这样会给工序安排与数控加工带来诸多不便。事实上，由于数控加工精度及重复定位精度都很高，不会因产生较大的积累误差而破坏使用特性，因而改动局部的分散标注法为集中引注或坐标式尺寸是完全可行的。

#### 2. 审查与分析零件图纸中构成轮廓的几何元素的条件是否充分准确

由于零件设计人员在设计过程中考虑不周或被忽略，常常遇到构成零件轮廓的几何元素的条件不充分或模糊不清。如：圆弧与直线、圆弧与圆弧到底是相切还是相交，含糊不清；有些是明明画得相切，但根据图纸给出的尺寸计算相切条件不充分而变为相交或相离状态，使编程无从下手；有时，所给条件过多，以至自相矛盾或相互干涉，增加了数学处理与节点计算的难度。因为在自动编程时要对构成轮廓的所有几何元素进行定义，手工编程时要计算出每一个节点坐标，无论哪一点不明确或不准确，编程都无法进行。所以，在审查与分析图纸时，一定要仔细认真，发现问题及时找设计人员更改。对于某些不适应数控加工的零件结构，必要时，还可在基本不改变使用性能的前提下，对零件的结构形状与尺寸进行修改，当然这要与有关方面协商，以求共识。

#### 3. 审查与分析定位基准的可靠性

数控加工工艺特别注重定位加工，尤其是正反两面都采用数控加工的零件，以同一基准定位十分必要，否则很难保证两次定位安装加工后两个面上的轮廓位置及尺寸协调。所以，如零件本身有合适的孔，最好就用它来作定位基准孔，即使零件上没有合适的孔，也要想办法专门设置工艺孔作为定位基准。如零件上实在无法找工艺孔，可以考虑以零件轮廓的基坯上增加工艺凸耳，在完成定位加工后再除去的方法。此外，在数控铣削工艺中也常常需要对零件轮廓的凹圆弧半径及毛坯的有关问题有一些特殊要求。对图纸的工艺性分析与审查，一般是在零件图纸设计和毛坯设计以后进行的，特别是在把原来采用通用机床加工的零件改为数控加工的情况下，零件设计都已经定型，我们再要求根据数控加工工艺的特点，对图纸或毛坯进行较大更改，一般是比较困难的，所以一定要把重点放在零件图纸或毛坯图纸初步设计与设计定型之间的工艺性审查与分析上。编程人员不但要积极参与审查和作过细的工作，还要与设计人员密切合作，并尽力说服他们在不损害零件使用特性的许可范围内，更多地满足数控加工工艺的各种要求。



#### (四) 数控加工的工艺路线设计

在数控工艺路线设计中主要应注意以下几个问题。

##### 1. 工序的划分

根据数控加工的特点，数控加工工序的划分一般可按下列方法进行：

(1) 以一次安装、加工作为一道工序。这种方法适合于加工内容不多的工件，加工完后就能达到待检状态；

(2) 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加工出很多待加工面，但考虑到程序太长，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（如一道工序在一个工作班内不能结束）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，一道工序的内容不能太多；

(3) 以加工部位划分工序。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，如内形、外形、曲面或平面等；

(4) 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，故一般来说凡要进行粗、精加工的都要将工序分开。

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。什么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来确定，要力求合理。

##### 2. 加工顺序的安排

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，重点是保证定位夹紧时工件的刚性和利于保证加工精度。加工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) 先进行内型内腔加工工序，后进行外形加工工序；

(3) 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序，最好接连进行，以减少重复定位次数，换刀次数与挪动压紧元件次数；

(4) 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较小的工序。

##### 3. 数控加工工序与普通工序的衔接

数控加工的工艺路线设计常常仅是几道数控加工工艺过程，而不是指毛坯到成品的整个工艺过程。由于数控加工工序常常穿插于零件加工的整个工艺过程中间，因此在工艺路线设计中一定要全面，瞻前顾后，使之与整个工艺过程协调吻合。如果协调衔接得不好就容易产生矛盾，最好的办法是建立相互状态要求，如：要不要留加工余量，留多少；定位面与定位孔的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。目的是达到相互能满足加工需要，且质量目标及技术要求明确，交接验收有依据。关于手续问题，如果是在同一个车间，可由编程人员与主管零件的工艺员共同协商确定，在制订工序工艺文件中互审会签，共同负责；如不是同一车间，则应用交接状态表进行规定，共同会签，然后反映在工艺规程中。

数控工艺路线设计是下一步工序设计的基础，其设计的质量会直接影响零件的加工质量与生产效率。设计工艺路线时应对零件图、毛坯图认真消化，结合数控加工的特点灵活