



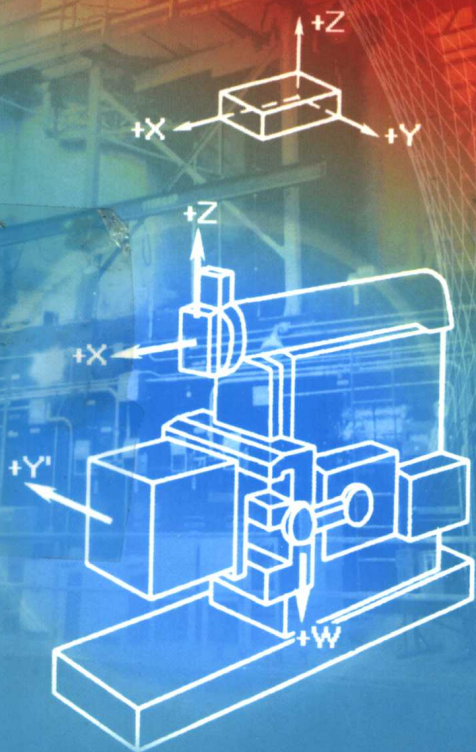
面向21世纪全国高职高专机电类规划教材

数控编程 及加工技术

SHUKONG BIANCHENG JI JIAGONG JISHU

高 磊 主编

数控编程



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

数控编程及加工技术

高 磊 主编

宗 晓 李思桥 参编



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

我国对数控技术的研究进入了一个十分平稳和快速发展的阶段,随着数控技术在制造业中应用得越来越广泛,对此行业专业人才的需求也日益增多,因此培养相关技术人才也成为教育界工作的重中之重。本书结合“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案”中提出的数控技术人员的培养原则,介绍了数控技术的相关知识,其中包括数控工艺、数控编程基础、自动编程软件的使用等内容。同时,本书力求内容的先进性、科学性和正确性,以保证读者的使用和学习。

本书内容丰富,逻辑层次清楚,行文流畅,可作为机电与制造专业高职高专和低层次本科教学使用,也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程及加工技术/高磊主编. —北京:北京大学出版社, 2006.1

(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)

ISBN 7-301-08853-1

I. 数… II. 高… III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 ②数控机床—应用—金属加工—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 031067 号

书 名: 数控编程及加工技术

著作责任者: 高磊 主编

责任编辑: 温丹丹 赵东辉

标准书号: ISBN 7-301-08853-1/TH·0011

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印刷者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 12 印张 259 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 19.00 元

前 言

如今数控技术在全世界范围内得到了广泛的应用，它在实际生产中表现出的优越性，更加引起了世界各国技术和工业产业对它的重视。

我国对数控技术的研究也进入了一个十分平稳和快速发展的阶段，随着数控技术在制造业中应用得越来越广泛，对此行业专业人才的需求也日益增多，因此培养相关技术人才也成为了教育界工作的重中之重。结合“高等职业教育数控技术应用专业领域技能型紧缺人才培养指导方案”中提出的数控技术人才的培养原则，本书介绍了数控技术的相关知识，其中包括数控工艺、数控编程基础、自动编程软件的使用等内容，同时力求内容的先进性、科学性和正确性，以保证读者的使用和学习。

本书第1章主要介绍了数控技术的产生；第2章介绍数控工艺的基础知识；第3章着重介绍了数控加工的手工编程；第4、5章结合当今使用比较广泛的CAXA、Mastercam软件和加工实例，介绍数控加工自动编程的知识。

本书由高磊主编并统稿，参加本书编写的有宗晓、李思桥、范磊等。

本书作为教材，广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果，编写的主要参考书目附后，未及一一注明，在此谨表谢意，并请谅解。由于成书时间仓促，同时限于编者的水平，本书存在着种种不足和缺点，恳切希望得到大家的批评指正。

编 者

2005年11月

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1.1 数控加工技术概述.....	1
1.1.1 数控加工的内容.....	1
1.1.2 数控加工的特点.....	1
1.2 数控机床简介.....	2
1.2.1 中国数控机床的发展现状.....	2
1.2.2 数控机床的组成和工作原理.....	3
1.2.3 数控机床的特点.....	3
1.2.4 数控机床的加工范围.....	4
1.2.5 数控机床的分类.....	4
1.3 数控机床控制系统简介.....	5
1.3.1 硬件组成及应用.....	5
1.3.2 软件的组成和功能.....	6
1.4 习题.....	6
第 2 章 数控加工工艺基础.....	7
2.1 数控加工工艺的基本特点和主要内容.....	7
2.1.1 数控加工工艺设计的基本特点.....	7
2.1.2 数控加工工艺的主要内容.....	7
2.2 零件加工工艺性分析.....	8
2.2.1 选择并决定所需进行数控加工的内容.....	8
2.2.2 零件结构工艺性.....	9
2.2.3 零件的定位与装夹.....	10
2.3 数控加工工艺路线设计.....	11
2.3.1 加工方法的选择.....	11
2.3.2 工序的划分原则及方法.....	11
2.3.3 加工顺序的安排原则.....	13
2.3.4 加工路线的确定原则.....	13
2.3.5 加工路线确定举例.....	13
2.4 数控刀具的选择.....	16
2.5 切削用量的确定.....	16

2.6	对刀点和换刀点的确定	17
2.7	数控加工工艺文件	18
2.8	习题	19
第 3 章	数控编程基础	20
3.1	数控编程概述	20
3.1.1	数控编程的内容及步骤	20
3.1.2	数控编程的方式	23
3.1.3	零件加工程序的结构	26
3.2	数控机床的坐标系	33
3.2.1	机床坐标系	33
3.2.2	编程坐标系	37
3.2.3	加工坐标系	37
3.3	常用编程指令	39
3.3.1	准备功能 G 指令	39
3.3.2	辅助功能 M 指令	47
3.3.3	F、S、T 指令	48
3.4	手工编程实例	49
3.5	习题	52
第 4 章	CAXA 使用简介	54
4.1	CAXA 制造工程师	54
4.1.1	基本知识	54
4.1.2	刀具库	56
4.1.3	生成刀具轨迹前的参数设置	58
4.2	CAXA 加工操作	61
4.2.1	平面轮廓加工	61
4.2.2	平面区域加工	66
4.2.3	导动面加工	69
4.2.4	参数线加工	71
4.2.5	限制线加工	75
4.2.6	曲面轮廓加工	78
4.2.7	曲面区域加工	81
4.2.8	投影加工	83
4.2.9	曲线加工	85
4.2.10	等高粗加工	86
4.2.11	等高精加工	88
4.2.12	钻孔	89

4.2.13	轨迹批处理.....	91
4.2.14	生成加工工艺单.....	92
4.2.15	加工轨迹仿真.....	92
4.3	知识加工.....	93
4.3.1	知识库参数设置.....	93
4.3.2	知识加工.....	96
4.4	轨迹编辑.....	98
4.4.1	刀位裁剪.....	98
4.4.2	刀位反向.....	100
4.4.3	插入刀位.....	102
4.4.4	删除刀位.....	103
4.4.5	清除拾刀.....	105
4.4.6	轨迹打断.....	106
4.4.7	轨迹连接.....	107
4.4.8	两点间拾刀.....	108
4.4.9	轨迹仿真.....	109
4.5	后置处理.....	110
4.5.1	后置设置.....	110
4.5.2	生成G代码.....	117
4.5.3	校验G代码.....	120
4.5.4	生成工艺单.....	121
4.6	CAXA 加工实例.....	122
4.6.1	叶轮的造型实例.....	122
4.6.2	连杆的造型与加工实例.....	135
第5章	Mastercam 自动编程技术	148
5.1	Mastercam 概述.....	148
5.1.1	Mastercam 简介.....	148
5.1.2	Mastercam 的特点.....	148
5.1.3	Mastercam 9.0 的操作基础.....	149
5.2	Mastercam 的车削编程.....	152
5.2.1	功能介绍.....	152
5.2.2	加工实例.....	175
5.3	习题.....	181
参考文献	182

第 1 章 绪 论

数控 (Numerical Control) 技术是 20 世纪 40 年代发展起来的一种集成了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构等多方面内容的新的加工技术, 是使用数字信号对机床运动加以控制的一种技术。由于数控技术具有加工精度高、生产效率高、灵活性强等优点, 因此在现代制造业中得到了广泛的应用。本章将向读者介绍数控技术所涉及的基本知识。

1.1 数控加工技术概述

数控加工是随着数控机床的出现而发展起来的一项技术。就像机械加工一样, 数控加工技术也是实践得来的经验总结。通俗地讲, 数控加工就是使用数控机床来加工零件。

1.1.1 数控加工的内容

数控加工技术的流程大体如下: 在得到一个零件之后, 首先进行工艺分析, 例如确定工序、工步等, 然后根据工艺编制数控程序并进行仿真模拟, 最后在数控机床上进行实际加工。可以详细归纳成以下几点。

- 确定零件所需进行的数控加工操作。
- 对零件进行数控加工工艺分析。
- 数控加工工艺设计。
- 数控加工程序编制。
- 输入数控程序并进行模拟仿真。
- 程序修改及校正。
- 在数控机床上进行加工。

1.1.2 数控加工的特点

如上所述, 由于数控机床集合了许多高新科学技术, 因此与普通机床相比在零件加工方面具有以下优点。

- ▶ 有利于实现计算机辅助制造，可以有效地利用现今被广泛应用的 CAD/CAM 系统。
- ▶ 特别适合加工复杂的轮廓表面，如回转表面和空间轮廓表面。
- ▶ 加工效率高，由于数控机床可以实现一装夹多表面加工，较普通机床省去了划线校正和检验等许多中间环节。此外根据数控机床的不同，还可以实现双刀、三刀同时加工。据统计，普通机床的净切削时间占总切削时间的 15%~20%，而数控机床可达到 65%~70%，加工中心更可以达到 75%~80%。在加工复杂零件时，效率可以提高 5~10 倍。
- ▶ 加工精度高，鉴于数控机床设计时考虑了整机刚度和零件的制造精度，又采用了高精度的滚珠丝杠传动，以及自动监测和误差补偿功能的引用，因此可以可靠地保证加工精度和尺寸的稳定性。

虽然数控机床与普通机床相比较而言具有很多优点，但由于数控机床的价格一般比普通机床高很多倍，维护费用也相对较高，使得初始的投资很大；其次，工艺及操作人员的培训花费也相对较高，加工首件的准备周期（包括零件的工艺分析、设计，程序的编制，试加工等）较长，这样看来使用数控技术的综合成本就相对较高，这也是数控技术只在少数大公司中得到很好应用的一大原因。

1.2 数控机床简介

数控机床的发明与应用是为了解决复杂型面零件加工的自动化而产生的。

1948 年美国 PARSONS 公司，在研制加工直升飞机叶片轮廓用检查样板的机床时，首先提出了数控机床的设想，在麻省理工学院的协助下，于 1952 年成功地试制出世界上第一台数控机床样机。此后，又经过 3 年时间的改进和对自动程序编制的研究，数控机床进入实用阶段，与此同时市场上出现了商品化的数控机床。1958 年，美国 KEANEY & TRECKER 公司在世界上首先研制成功带有自动换刀装置的加工中心。

1.2.1 中国数控机床的发展现状

1958 年我国开始研制数控机床，到 20 世纪 60 年代末和 20 世纪 70 年代初，简易的数控机床已在生产中广泛使用。20 世纪 80 年代初，由于引进了国外先进的数控技术，使我国的数控机床在质量和性能上都有了很大的提高。20 世纪 90 年代起，我国向高档数控机床方向发展。一些高档数控攻关项目通过国家鉴定并陆续在工程上得到应用。航天 I 型、华中 I 型、华中-2000 型等高性能数控系统，实现了高速、高精度和高效经济的加工效果，能完成高复杂度的五坐标曲面实时插补控制，加工出高复杂度的整体叶轮及复杂刀具。

但是和发达国家相比，我国数控机床仍然存在很多不足，列举如下。

(1) 信息化技术基础薄弱，对国外技术依赖度高。我国数控机床行业总体的技术开发能力和技术基础薄弱，信息化技术应用程度不高。行业现有的信息化技术来源主要依靠引进国外技术，对国外技术的依赖度较高，具有高精、高速、高效、复合功能、多轴联动等特点的高性能数控机床基本上还得依赖进口。

(2) 产品成熟度较低，可行性不高。国外数控系统平均无故障时间在 10000 小时以上，国内自主开发的数控系统仅 3000~5000 小时；整机平均无故障工作时间国外达 800 小时以上，国内最好只有 300 小时。同时在机床的运转平稳性上也存在较大差异。

(3) 创新能力低，市场竞争力不强。我国生产数控机床的企业虽达百余家，但大多数未能形成规模生产，信息化技术利用不足，创新能力低，制造成本高，产品市场竞争能力不强。

目前国内使用的机床，国内的以北京机床厂生产的数控机床占多数，国外的主要是日本的 FUNAC，德国的西门子等数控机床。

1.2.2 数控机床的组成和工作原理

数控机床可以简单划分为控制系统、伺服系统和机床主体 3 个部分。

(1) 控制系统又可称为**数控装置**。控制系统是数控机床的核心。它根据输入的程序和数据，完成数值计算、逻辑运算、输入输出控制等功能。控制系统一般是专用计算机，如计算机数值控制 (Computerized Numerical Control, CNC) 或者将 PC 配以专用软件构成的。控制系统主要用于对数控机床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

(2) 伺服系统，伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机等执行装置，它接收控制系统发出的各种信号来驱动数控机床进给传动系统的运动。伺服系统由驱动装置和执行元件组成，实际应用中执行元件有步进电机、直流伺服电机和交流伺服电机。伺服系统的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、零件表面质量和生产率的重要因素之一。

(3) 数控机床的机床主体包括：主传动系统、进给系统，以及辅助装置。对于加工中心类数控机床，还有存放刀具的刀库、自动换刀装置和自动托盘交换装置等部件。与传统的机床相比，数控机床的结构强度、刚度和抗振性，传动系统与刀具系统的部件结构，操作机构等方面都已发生了很大的变化，采用滚珠丝杠、滚动导轨，减少了齿轮传动的数量，其目的是为了**满足数控技术的要求，使传动系统变得简单以便于更充分地发挥数控机床效能。**

1.2.3 数控机床的特点

采用了数控技术的数控机床具有以下优点。

➤ 适应加工对象的弹性强，为单件、小批零件加工及试制新产品提供了极大的便利。

- 加工精度高，数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差，同一批加工零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。
- 生产率高，数控机床通常不需要专用的工夹具，因而可省去工夹具的设计和制造时间，与普通机床相比，生产率可提高2~3倍。
- 减轻了操作工人的劳动强度，操作者不需要进行繁重的重复性手工操作。
- 能加工复杂型面，结合其他技术，数控机床可以加工普通机床难以加工的复杂型面零件。
- 有利于生产管理的现代化，用数控机床加工零件，能精确地估算零件的加工工时，有助于精确编制生产进度表，有利于生产管理的现代化。可向更高级的制造系统发展。数控机床是计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）的初级阶段，也是CAM发展的基础。

另一方面，数控机床也有其不足之处

- 提高了初始投资。
- 增加了设备的维护费用。
- 对操作人员的技术水平要求较高。

1.2.4 数控机床的加工范围

结合数控机床的特点，其适合加工以下零件。

- 多品种小批量零件。
- 几何形状复杂的零件。
- 需要频繁改型的零件。
- 贵重的、不允许报废的关键零件。
- 必须严格控制公差的零件。

1.2.5 数控机床的分类

数控机床的分类方法有很多，常见的分类方法有以下四种：按工艺用途，运动方式，伺服系统的控制方式，以及功能水平分类。

在生产中最常用的分类方法为按工艺用途分类，介绍如下。

(1) 普通数控机床，如数控车、铣、钻、镗、磨床等，而且每一类里又有很多不同型号的品种。这类数控机床所能加工的零件工艺性和普通非数控机床相似，所不同的是它能自动加工具有复杂形状的零件。

(2) 加工中心，这是一种在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置而构成的数控机床（生产实际中一般指具有铣功能的数控铣加工中心）。它和普通数控机床的区别是：

工件经一次装夹后, 控制系统就能控制机床自动地更换刀具, 连续地对工件各加工面进行铣(车)、镗、钻、铰及攻丝等多工序加工。

(3) 多坐标数控机床。有些复杂形状的零件, 用三坐标的数控机床还是无法加工, 如螺旋桨、飞机机翼曲面以及其他复杂零件的加工等, 都需要3个以上坐标的合成运动才能加工出所需的形状。于是出现了多坐标的数控机床, 其特点是数控装置控制的轴数较多, 机床结构也比较复杂, 坐标轴数的多少通常取决于加工零件的复杂程度和工艺要求。现在常用的有4个、5个、6个坐标的数控机床。

(4) 数控特种加工机床。如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

1.3 数控机床控制系统简介

数控机床的控制系统一般采用计算机数值控制(Computer Numerical Control, CNC), 它由硬件及软件两部分组成。

1.3.1 硬件组成及应用

1. 微机基本系统

微机基本系统结构类似于一般的计算机, 主要功能为将加工程序编译成计算机可识别的信息, 以进行存储及处理。

2. 人机交互界面

人机交互界面包括操作面板、键盘、显示器和手动脉冲发生器, 下面分别介绍。

- 操作面板功能为, 手动对机床进行操作以及对自动运行状态下的机床进行控制和干预。
- 键盘, 由字母及数字键组成, 用于程序的手动编制和修改等,
- 手动脉冲发生器, 实现手动控制机床的坐标运动。

3. 通信接口

数控机床的控制系统一般都使用 R232 串行接口与外部计算机或其他设备进行通信联系。

4. 主轴控制接口

主轴控制接口用以控制主轴的转速。

5. 进给轴控制接口

进给轴控制接口用于控制机床在各个坐标方向上的运动，包括位置和运动速度。

6. 辅助功能控制接口

辅助功能控制接口用于控制主轴的停、转、切削液的开关以及刀具的更换等功能。

1.3.2 软件的组成和功能

控制系统的软件由许多模块组成，如程序输入与存储模块、手动自动模块、系统监视模块和故障诊断模块等，它们主要适用于编译修改程序、将程序的信息和操作转化成可以控制伺服系统的特定信号。

1.4 习 题

1. 什么是数控加工？
2. 数控加工的特点有哪些？
3. 数控机床由哪几部分组成？各部分的功能是什么？
4. 比较数控机床与普通机床的不同之处，总结数控机床的特点及适用范围。
5. 数控机床有几种分类方法？不同的分类方法的分类原则是什么？

第2章 数控加工工艺基础

无论是使用数控机床还是普通机床加工零件，都要对所需加工的零件进行工艺分析，制定工艺方案。同时由于数控机床在加工零件时，要事先编制好加工程序以使机床自动地对零件进行加工。在编制程序过程中，除了要考虑刀具的选用、零件的尺寸、形状精度及表面粗糙度外，还要考虑对刀点、换刀点及走刀路线的确定等问题，因此数控加工工艺分析及工艺方案制定比普通机床要复杂得多。为了能加工出合格的零件，数控加工的工艺处理更是一项十分重要的工作。

2.1 数控加工工艺的基本特点和主要内容

2.1.1 数控加工工艺设计的基本特点

由于数控机床加工的整个过程是自动完成的，因此我们要将必要的工艺信息编制成程序输入到数控机床中，用它来控制驱动机床的加工行为，因此与使用工艺卡片形式的普通机床加工的加工工艺相比，数控加工工艺具有以下特点。

- 数控加工的工序内容比普通机加工的工序内容复杂，这是由数控机床主要用于加工一些复杂零件的特点决定的。一般来讲，复杂的零件对应着复杂的工序。
- 数控机床加工程序的编制比普通机床工艺规程的编制复杂。如上所述，数控机床的加工工艺要考虑一些在普通机床的加工工艺中不必考虑的问题，如工序内工步的安排、对刀点、换刀点及走刀路线的确定等问题，为了使加工能够顺利地进行，并加工出符合要求零件，在编制数控加工工艺时这些都要认真予以考虑。

2.1.2 数控加工工艺的主要内容

在实际生产加工中，数控加工工艺主要包括以下几个方面。

- 选择适合在数控机床上进行加工的零件并确定加工工序的内容。
- 分析加工零件的图纸，明确加工内容及技术要求，确定加工方案，如工序的划分、刀具的选择、夹具的定位与安装、切削用量的确定、走刀路线的确定等。
- 调整数控加工工序的程序。如对刀点、换刀点的选择、刀具的补偿等。

- ▶ 分配数控加工中的容差。
- ▶ 处理数控机床上部分工艺指令，编制工艺文件。

2.2 零件加工工艺性分析

数控加工工艺分析设计的内容和层次很多，我们将采用逻辑思维的形式来对这方面的内容加以说明。

2.2.1 选择并决定所需进行数控加工的内容

并不是所有的零件或零件的所有加工都适合使用数控加工，所以数控加工工艺分析的第一步应该考虑所给的零件是否可以使用数控机床来进行加工，或者零件的哪一部分加工可以使用数控来进行加工。做出这部分决定时，我们考虑的不仅是零件自身的特点，还应当考虑工厂的实际。立足于充分发挥数控加工的优势，提高生产效率，解决难题。一般可以按照以下标准来进行考虑。

- ▶ 普通机床无法完成的加工，这一点也是优先考虑的原则。例如，在加工机翼的蜂窝状加强板时，由于普通机床的加工转速一般无法满足要求，这时我们就可以考虑使用加工转速相对较高的数控机床来进行加工。
- ▶ 普通机床难以加工、加工质量难以保证的内容，这一点作为重点选择内容。
- ▶ 使用普通机床加工效率低、加工强度大，危险性系数高的零件，可以在数控机床加工能力存在富裕时考虑是否使用数控机床进行加工。

从反面来考虑，不适用于使用数控加工的标准可参考如下。

- ▶ 需要较长时间来进行占机调整的加工内容，不利于提高生产效率。
- ▶ 必须使用专用工装协调的孔及其他加工内容。
- ▶ 按照某些特定的加工依据加工的型面轮廓，主要原因是加工数据难以采集，编程难度较大。
- ▶ 不能在一次安装中完成加工的零部件。

综上所述，选择即决定加工内容时考虑的原则主要是为了达到多、快、好、省的目的，以提高加工效率和加工质量，充分发挥数控机床的优点。根据以上原则，下面将列举出数控铣床和加工中心的适宜加工内容。

1. 数控铣床的加工内容

使用数控铣床进行加工时通常选择以下加工部位和内容。

- ▶ 零件上的曲面轮廓，特别是由数学表达式描绘的非圆曲线和列表曲线等曲线轮廓（这

一部分手工编程可能较为困难,但可使用CAM辅助编程)以给出数学模型的空间曲面(同样可使用电脑辅助编程)。

- 形状复杂、尺寸繁多、划线与检测困难的部位。
- 使用普通铣床难以观察、测量和控制进给量的内外凹槽。
- 以尺寸协调的高精度孔和面。
- 能在一次性铣加工中顺带铣出来的表面。
- 能够提高劳动生产效率,大大减轻体力劳动强度的一般加工内容。

2. 加工中心的加工内容

根据加工中心自身的特点,适合加工中心进行加工的零件主要如下。

- 既有平面又有孔系的零件。
- 结构形状复杂、普通机床难以加工、数控铣床加工效率过低(需要频频换刀)的零件。
- 外形不规则的异型零件。
- 加工精度较高的中小批量零件。

2.2.2 零件结构工艺性

在决定了零件或零件的某一部分需要进行数控加工之后,我们就可以根据加工工艺特点对零件的结构工艺性的设计提出要求。

1. 零件图样尺寸的正确标注

对于数控加工来讲,加工程序是以准确的坐标点来进行编制的,所以倾向于以同一基准来标注尺寸或直接给出坐标尺寸,同时零件轮廓的几何要素的条件要充分。所谓零件的几何要素是指组成零件轮廓的各曲线之间的关系,例如直线与圆弧、圆弧与圆弧的相交或相切。当零件图纸对这些几何关系表达不明确或不清晰时,就会给手工编程节点坐标的计算带来不便或者根本无法进行。

2. 零件加工的定位基准应当可靠

当一个零件正反两面都需要进行数控加工时,为了保证两次定位安装加工后零件的轮廓位置及尺寸协调,定位基准的可靠性就显得十分重要。在主数控加工中主要采用同一定位基准,因此零件上应用合适的孔作为定位基准,如果零件上不存在这样的孔,我们也应当尽量设计工艺孔来作为定位基准,例如可在零件或毛坯上增加工艺凸台,打出工艺孔。

3. 尽量统一零件轮廓内圆弧的有关尺寸

尽量统一零件轮廓内圆弧的有关尺寸,这样就可以减少刀具的数量和换刀次数,使程序的编制变得简单,同时还可以减少零件加工表面上的对刀痕,提高加工的质量。为了更加形

象地说明这个问题，我们来举个例子，如图 2-1 所示。

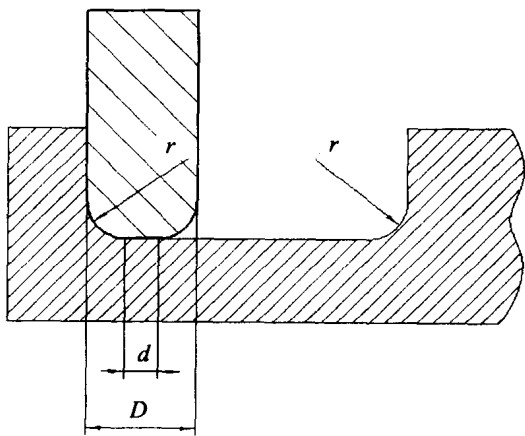


图 2-1 尺寸示意图

例如在铣一个底面的时候，槽底的圆角半径 r 不应过大，因为 r 越大时铣刀的端刃铣平面的能力就越差，因为铣刀与铣削平面的最大接触半径 $d=D-2r$ (d 为铣刀直径)。当 D 一定时， r 越大 d 越小。 r 大到一定程度时，就相当于使用球头铣刀在进行加工，这显然是不允许发生的。

在实际生产中，零件结构工艺性的分析一般是在零件的图纸已经设计好的情况下进行的，这时零件已经定型，我们再根据以上的要求来对零件图纸做出修改，尤其是较大的修改，一般是比较困难的。所以数控机床的编程人员要积极地参与到设计人员的工作当中，并积极地提出有利于数控加工的建议，以更多地满足数控工艺的要求，提高数控加工的质量和效率。

2.2.3 零件的定位与装夹

1. 数控加工的定位基准

数控加工的定位基准分为粗基准和精基准两种，使用未经加工的毛坯表面作为定位基准称为**粗基准**，用已加工过的表面作为基准称为**精基准**。

在数控加工中选择定位基准要符合基准重合原则，这样可以减少数控编程中的数值计算并减少装夹次数。

零件的定位基准一方面要保证零件经多次装夹后其加工表面之间相互位置的正确性，另一方面还要满足加工中心工序集中的特点。

2. 装夹

根据要加工的表面和选择的定位基准来确定工件的夹紧方式，应当注意的是以下几点。