

数字化 模具制造技术

■ 许鹤峰 闫光荣 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

数字化模具制造技术

许鹤峰 闫光荣 编著

化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

数字化模具制造技术/许鹤峰, 闫光荣编著. —北京:
化学工业出版社, 2001.6
ISBN 7-5025-3204-8

I. 数… II. ①许… ②闫… III. 模具-计算机辅
助制造-工艺 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 20398 号

数字化模具制造技术

许鹤峰 闫光荣 编著

责任编辑: 王苏平

责任校对: 顾淑云

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印刷厂印刷

三河市延风印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 307 千字

2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-3204-8/TH·91

定价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

模具是国民经济的基础装备，利用模具生产具有节能、节材、生产效率高、制造成本低及产品的一致性好等显著的特点，因而被广泛应用于家用电器、汽车、建筑、机械、电子、五金、农业及航空航天等领域的批量性零、部件的生产。我国的模具工业近年来也得到了长足的发展，年均递增速度达 13% 左右，2000 年的模具工业总产值将超过 250 亿元人民币。

随着经济的发展及生产产品的个性化、特征化的需求，我国模具生产的量将越来越多，并且因国际经济一体化的发展及我国人力资源丰富，国外将有大量的模具转移到我国来生产，我国的模具工业发展前景广阔。

模具生产的制造技术从纯手工雕琢到采用普通机械到特种机械，如普通电加工及仿形加工等设备的应用，发展至今已采用数控加工等现代方法来制造模具。采用数控加工等现代制造方法，使模具的制造质量、精度得以提高并大幅度缩短了制造时间，降低了制造成本。我国的模具制造企业为了在市场经济中增强竞争力，近年来也纷纷采用数控加工等设备，导入 CAD/CAM 先进技术。为了推广模具现代制造技术的应用，本书将介绍数控加工、逆向工程、快速原型制造及虚拟制造等模具现代制造技术，由于这些现代制造技术的基础是计算机辅助设计及计算机辅助制造(CAD/CAM)技术，所以本书中将重点介绍 CAD/CAM 技术。

本书所介绍的内容可以供从事模具设计、制造的工程技术人员参考，也可作为模具设计、制造教学的辅助教科书或参考书。李秀，谢小星参与了本书部分章节的编写及图例的制作。由于本书作者的水平所限，书中难免存在错误和不足之处，敬请读者批评、指正。

作者

2001 年 1 月

内 容 提 要

采用数控加工等现代制造方法,可以使模具的制造质量、精度得以提高并大幅度缩短制造时间,降低制造成本。为了推广模具现代制造技术的应用,本书将介绍数控加工、逆向工程、快速原型制造及虚拟制造等模具现代制造技术,由于这些现代制造技术的基础是计算机辅助设计及计算机辅助制造(CAD/CAM)技术,所以本书中将重点介绍 CAD/CAM 技术。同时书中提供了编程与制造实例。本书内容简洁明了,实用性强。

本书所介绍的内容可以供从事模具设计、制造的工程技术人员及管理人员参考,也可作为模具设计、制造相关专业的教学参考书。

目 录

第一章 数控加工技术概述	1
1.1 数控加工的特点	1
1.1.1 数控机床	1
1.1.2 数控加工	2
1.1.3 数控加工的适用范围	3
1.1.4 数控编程系统	3
1.1.5 CAD/CAM 系统	4
1.2 利用 CAM 系统进行自动编程的基本步骤	4
1.2.1 加工工艺确定	5
1.2.2 加工模型建立	5
1.2.3 刀具轨迹生成	5
1.2.4 后置代码生成	5
1.2.5 加工代码输出	5
1.3 数控机床的坐标系	5
1.4 数控加工技术在模具制造中的应用	6
第二章 常用的数控加工方式及工艺概要	7
2.1 数控铣削	7
2.1.1 概述	7
2.1.2 数控铣削的主要加工对象	8
2.1.3 夹具和刀具	9
2.1.4 数控铣削的工艺分析	11
2.1.5 编程实例	11
2.2 数控磨削	13
2.2.1 概述	13
2.2.2 数控坐标磨削的基本方式	13
2.2.3 数控坐标磨削的工艺特点	15
2.2.4 编程实例	15
2.3 数控车削	17
2.3.1 概述	17
2.3.2 数控车削的主要加工对象	17
2.3.3 数控车削的工艺特点	17
2.3.4 编程实例	18
2.4 数控电火花成型	20
2.4.1 概述	20
2.4.2 数控电火花加工的应用领域	21
2.4.3 数控电火花的工艺特点	21

2.4.4 利用数控电火花成型机床进行模具加工的要点	21
2.4.5 电极的制作和材料选择	22
2.4.6 编程实例	22
2.5 数控电火花线切割	24
2.5.1 概述	24
2.5.2 数控电火花线切割加工的对象	24
2.5.3 数控电火花线切割的工艺特点	24
2.5.4 编程实例	25
第三章 数控加工的几何造型	29
3.1 引言	29
3.2 线框造型	30
3.2.1 点	31
3.2.2 直线	32
3.2.3 圆和圆弧	32
3.2.4 样条曲线	33
3.2.5 公式曲线	34
3.2.6 等距曲线	35
3.2.7 组合曲线	35
3.2.8 曲面上的相关线	36
3.2.9 投影线	36
3.2.10 曲线几何变换	36
3.2.11 曲线的编辑	36
3.3 曲面造型	37
3.3.1 直纹面	37
3.3.2 旋转面	39
3.3.3 扫描面	40
3.3.4 放样面	40
3.3.5 边界面	41
3.3.6 网格面	42
3.3.7 等距面	43
3.3.8 导动面	43
3.3.9 曲面裁剪	48
3.3.10 曲面过渡	49
3.3.11 曲面拼接	54
3.3.12 曲面延伸	59
3.4 实体造型	59
3.4.1 拉伸增料与减料	60
3.4.2 旋转增料与减料	61
3.4.3 放样增料与减料	61
3.4.4 导动增料与减料	62
3.4.5 倒角	63

3.4.6 过渡	63
3.4.7 拔模	66
3.4.8 抽壳	67
3.4.9 打孔	67
3.4.10 阵列	67
3.5 混合造型	68
3.5.1 曲面裁剪	68
3.5.2 曲面加厚增料与减料	69
3.5.3 拉伸到曲面	69
3.6 实例	69
第四章 数控加工的自动编程	86
4.1 引言	86
4.2 数控加工的编程基础	87
4.2.1 字符与代码	87
4.2.2 字与字的类型	88
4.2.3 程序段落格式	89
4.3 加工轨迹的生成和编辑	89
4.3.1 加工轨迹的生成要求	89
4.3.2 自动编程的基本概念	90
4.3.3 自动编程的刀具轨迹生成方法	98
4.3.4 加工轨迹的编辑方式	122
4.3.5 加工轨迹的几何变换	127
4.4 加工轨迹的干涉检查与仿真	128
4.4.1 加工轨迹的干涉检查	128
4.4.2 加工轨迹的仿真	133
4.5 实例	134
第五章 加工程序的后置处理与传输	143
5.1 引言	143
5.2 加工程序的直接后置处理	143
5.2.1 机床配置	143
5.2.2 机床参数设置	143
5.2.3 程序格式设置	146
5.2.4 后置设置	148
5.2.5 后置生成	150
5.2.6 校核 G 代码	151
5.3 加工程序的传输	152
5.3.1 RS-232C 接口	153
5.3.2 RS-232 通信电缆连接	154
5.3.3 通讯软件	154
第六章 逆向工程技术	157
6.1 引言	157

6.2 逆向工程概述	157
6.3 逆向工程的数据采集与后处理	158
6.3.1 数据采集	158
6.3.2 后处理	160
6.4 逆向工程技术在模具制造中的应用	166
6.4.1 逆向工程系统的构成	166
6.4.2 逆向工程的难点	166
6.4.3 应用系统原理	167
6.4.4 应用系统流程	167
6.4.5 系统可行性	168
6.4.6 系统关键技术及解决方案	169
6.4.7 应用实例	173
6.4.8 系统优越性	175
第七章 快速原型制造技术	176
7.1 快速原型制造技术概述	176
7.1.1 快速原型制造技术的应用	177
7.1.2 国内外快速原型的发展状况	177
7.1.3 几种常见的快速原型制作方法	177
7.1.4 快速原型数据接口	178
7.2 快速原型数据模型的转换与处理	178
7.3 快速原型制造在模具制造中的应用	180
7.3.1 直接法	180
7.3.2 间接法	180
7.4 快速原型的数据格式	181
7.4.1 STL 文件数据格式	181
7.4.2 STL 数据模型的诊断与修复	182
7.4.3 STL 数据模型诊断与修复的前提条件	183
7.4.4 STL 数据模型的正确性条件	183
7.4.5 STL 文件错误及其修复	184
第八章 虚拟制造技术	187
8.1 虚拟制造	187
8.1.1 虚拟制造技术概念	187
8.1.2 虚拟制造的关键技术	187
8.2 虚拟企业	188
8.2.1 虚拟企业的概念和特点	188
8.2.2 虚拟企业对 CAD/CAM 软件的功能需求	189
8.2.3 模具行业的虚拟企业工作流程	189
8.3 应用展望	190
参考文献	191

第一章 数控加工技术概述

1.1 数控加工的特点

数控加工，也称之为 NC(Numerical Control)加工，是以数值与符号构成的信息，控制机床实现自动运转。数控加工经历了半个世纪的发展已成为应用于当代各个制造领域的先进制造技术。数控加工的最大特征有二点：一是可以极大地提高精度，包括加工质量精度及加工时间误差精度；二是加工质量的重复性，可以稳定加工质量，保持加工零件质量的一致。也就是说加工零件的质量及加工时间是由数控程序决定而不是由机床操作人员决定的。数控加工具有如下优点：

- (1) 提高生产效率；
- (2) 不需要熟练的机床操作人员；
- (3) 提高加工精度并且保持加工质量一致；
- (4) 可以减少工装卡具；
- (5) 容易进行加工过程管理；
- (6) 可以减少检查工作量；
- (7) 可以降低废、次品率；
- (8) 便于设计变更，加工设定柔性强；
- (9) 容易实现操作过程的自动化，一人可以操作多台机床；
- (10) 操作容易，极大减轻体力劳动强度。

随着制造设备的数控化率不断提高，数控加工技术在我国得到日益广泛的使用，在模具行业，掌握数控技术与否及加工过程中数控化率的高低已成为企业是否具有竞争力的象征。数控加工技术应用的关键在于计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统的质量。CAD/CAM 已成为促进国民经济发展的关键技术，是实现制造技术现代化的必由之路。

如何进行数控加工程序的编制是影响数控加工效率及质量的关键，传统的手工编程方法复杂、烦琐，易于出错，难于检查，难以充分发挥数控机床的功能。在模具加工中，经常遇到形状复杂的零件，其形状用自由曲面来描述，采用手工编程方法基本上无法编制数控加工程序。近年来，由于计算机技术的迅速发展，计算机的图形处理功能有了很大增强，基于 CAD/CAM 技术进行图形交互的自动编程方法日趋成熟，这种方法速度快、精度高、直观、使用简便和便于检查。CAD/CAM 技术在工业发达国家已得到广泛使用。近年来在国内的应用也越来越普及，成为实现制造业技术进步的一种必然趋势。

1.1.1 数控机床

20 世纪 40 年代末，美国开始研究数控机床，1952 年，美国麻省理工学院(MIT)伺服机构实验室成功研制出第一台数控铣床，并于 1957 年投入使用。这是制造技术发展过程中的一个重大突破，标志着制造领域中数控加工时代的开始。数控加工是现代制造技术的基础，这一发明对于制造行业而言，具有划时代的意义和深远的影响。世界上主要工业发达国家都十分重视数控加工技术的研究和发展。我国于 1958 年开始研制数控机床，成功试制出配有

电子管数控系统的数控机床, 1965 年开始批量生产配有晶体管数控系统的三坐标数控铣床。经过几十年的发展, 目前的数控机床已实现了计算机控制并在工业界得到广泛应用, 在模具制造行业的应用尤为普及。

针对车削、铣削、磨削、钻削和刨削等金属切削加工工艺及电加工、激光加工等特种加工工艺的需求, 开发了各种门类的数控加工机床。数控机床种类繁多, 一般将数控机床分为 16 大类:

- 数控车床(含有铣削功能的车削中心)
- 数控铣床(含铣削中心)
- 数控镗床
- 以铣镗削为主的加工中心
- 数控磨床(含磨削中心)
- 数控钻床(含钻削中心)
- 数控拉床
- 数控刨床
- 数控切断机床
- 数控齿轮加工机床
- 数控激光加工机床
- 数控电火花线切割机床
- 数控电火花成型机床(含电加工中心)
- 数控板材成型加工机床
- 数控管料成型加工机床
- 其他数控机床

模具制造常用的数控加工机床有: 数控铣床、数控电火花成型机床、数控电火花线切割机床、数控磨床及数控车床。

数控机床通常由控制系统、伺服系统、检测系统、机械传动系统及其他辅助系统组成。控制系统用于数控机床的运算、管理和控制, 通过输入介质得到数据, 对这些数据进行解释和运算并对机床产生作用; 伺服系统根据控制系统的指令驱动机床, 使刀具和零件执行数控代码规定的运动; 检测系统则是用来检测机床执行件(工作台、转台、滑板等)的位移和速度变化量, 并将检测结果反馈到输入端, 与输入指令进行比较, 根据其差别调整机床运动; 机床传动系统是由进给伺服驱动元件至机床执行件之间的机械进给传动装置; 辅助系统种类繁多, 如: 固定循环(能进行各种多次重复加工)、自动换刀(可交换指定刀具)、传动间隙补偿(补偿机械传动系统产生的间隙误差)等等。

在数控加工中, 数控铣削加工最为复杂, 需解决的问题也最多。除数控铣削加工之外的数控线切割、数控电火花成型、数控车削、数控磨削等的数控编程各有其特点, 本书将重点介绍对数控加工程序编制具有指导意义的数控铣削加工的数控编程。

1.1.2 数控加工

数控加工是将待加工零件进行数字化表达, 数控机床按数字量控制刀具和零件的运动, 从而实现零件加工的过程。

被加工零件采用线架、曲面、实体等几何体来表示, CAM 系统在零件几何体的基础上生成刀具轨迹, 经过后置处理生成加工代码, 将加工代码通过传输介质传给数控机床, 数控

机床按数字量控制刀具运动，完成零件加工。其过程如图 1-1 所示。

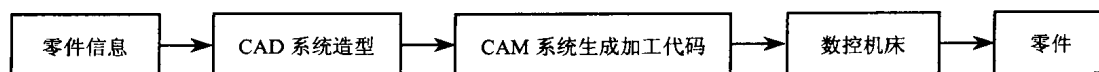


图 1-1 数控加工的过程

(1) 零件数据准备：系统自带设计和造型功能或通过数据接口传入 CAD 数据，如 STEP, IGES, SAT, DXF, X-T 等；在实际的数控加工中，零件数据不仅仅来自图纸，特别在广泛采用 Internet 网的今天，零件数据往往通过测量或通过标准数据接口传输等方式得到。

(2) 确定粗加工、半精加工和精加工方案。

(3) 生成各加工步骤的刀具轨迹。

(4) 刀具轨迹仿真。

(5) 后置输出加工代码。

(6) 用介质传给机床实现加工。

(7) 输出数控加工工艺技术文件。

1.1.3 数控加工的适用范围

数控加工的特点是加工的零件一致性好，质量稳定，加工精度高。但是，数控加工设备昂贵，加工准备周期长。因此，数控加工有其适用范围。

(1) 最适合类零件：形状复杂，加工精度要求高，用通用机床无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的零件；复杂曲线轮廓或复杂曲面的零件；难测量、难控制进给、难控制尺寸的具有内腔的壳体或盒型零件；必须在一次装卡中合并完成铣、镗、铇、铰或攻丝等多道工序的零件。

(2) 较适合类零件：在通用机床上加工时极易受人为因素干扰，材料又昂贵的零件；在通用机床上必须有复杂专用工装的零件；需要多次更改设计后才能定型的零件；在通用机床上加工需要做长时间调整的零件；在通用机床上加工，生产率较低或体力强度很大的零件。

(3) 不适合数控加工的零件：装卡困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件；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的坐标位置的零件。

1.1.4 数控编程系统

数控加工机床与编程技术两者的发展是紧密相关的。数控加工机床的性能提升推动了编程技术的发展，而编程手段的提高也促进了数控加工机床的发展，二者相互依赖。现代数控技术正在向高精度、高效率、高柔性和智能化方向发展，而编程方式也越来越丰富。

数控编程可分为机内编程和机外编程。机内编程指利用数控机床本身提供的交互功能进行编程，机外编程则是脱离数控机床本身在其他设备上编程。机内编程的方式随机床的不同而异，可以“手工”方式逐行输入控制代码(手工编程)、交互方式输入控制代码(会话编程)、图形方式输入控制代码(图形编程)，甚至可以语音方式输入控制代码(语音编程)或通过高级语言方式输入控制代码(高级语言编程)。但机内编程一般来说只适用于简单形体，而且效率较低。机外编程也可以分成手工编程、计算机辅助 APT 编程和 CAD/CAM 编程等方式。机外编程由于其可以脱离数控机床进行数控编程，相对机内编程来说效率较高，是普遍采用的方式。随着编程技术的发展，机外编程处理能力不断增强，已可以进行十分复杂形体的数控加工编程。

在 20 世纪 50 年代中期，MIT 伺服机构实验室实现了自动编程，并公布了其研究成果，即 APT 系统。60 年代初，APT 系统得到发展，可以解决三维物体的连续加工编程，以后经

过不断的发展，具有了雕塑曲面的编程功能。APT 系统所用的基本概念和基本思想，对于自动编程技术的发展具有深远的意义，即使目前，大多数自动编程系统也在沿用其中的一些模式。如编程中的三个控制面：零件面(PS)、导动面(DS)、检查面(CS)的概念；刀具与检查面的 ON、TO、PAST 关系等等。

随着微电子技术和 CAD 技术的发展，自动编程系统也逐渐过渡到以图形交互为基础的、与 CAD 集成的 CAD/CAM 系统为主的编程方法。与以前的语言型自动编程系统相比，CAD/CAM 集成系统可以提供单一准确的产品几何模型，几何模型的产生和处理手段灵活、多样、方便，可以实现设计、制造一体化。

虽然数控编程的方式多种多样，毋庸置疑，目前占主导地位的是采用 CAD/CAM 数控编程系统进行编程。因此本书只对 CAD/CAM 数控编程系统进行介绍。

1.1.5 CAD/CAM系统

目前的 CAD/CAM 系统(或软件)基本上都具有自动编程功能。自动编程功能是 CAD/CAM 软件最能明显发挥经济效益的应用环节之一。因此，可以用软件的自动编程功能(NC 功能)来衡量一个 CAD/CAM 软件的成熟和实用化水平。

目前，国内外 CAM 软件市场上估计有数百家供应商。这些产品中既有专门的自动编程系统，也有集成的 CAD/CAM 软件系统；既有工作站型软件，也有 PC 型软件。有观点认为，CAD/CAM 行业正在经历一场根本性的转变，其重点已从单一供应商提供“集成”产品方式转向多供应商提供“专业拔尖”产品的方式，其前提是各供应商应确保能实现集成的数据交换。

现在，CAM 软件主要有工作站型和 PC 机型两种。工作站软件与 PC 软件相比，处理复杂形状的能力较高；可以容易地与其他应用综合，如零件和刀具设计、装配件模拟、文件管理和资源规划等；可以提供实体造型、形状特征设计、参数/变量设计、关联性及模拟功能等。

虽然工作站软件功能强大，但费用较高。用户首先要在工作站平台方面投入较大的资金。其次，还必须培训用户，培训的内容不但包括软件本身，而且还包括操作系统。其结果是培训周期长、费用高。如果用途复杂，投资于工作站软件是值得的。与工作站相比，以 PC 机为基础的软件、硬件、培训及维护等费用较低。随着 PC 机硬件性能的提高，原来只有高性能工作站才具有的功能，现在已基本移到 PC 机上。

20 世纪 90 年代以前，市场上销售的 CAD/CAM 软件基本上为国外的软件系统。90 年代以后国内在 CAD/CAM 技术研究和软件开发方面进行了卓有成效的工作，尤其是以 PC 机为平台的软件系统，其功能已能与国外同类软件相当，并在操作性、本地化服务方面具有优势。目前越来越多的企业采用国内开发 CAD/CAM 软件，不但降低了投入成本，而且取得了明显的经济效益。

1.2 利用CAM系统进行自动编程的基本步骤

CAM 系统的编程基本步骤如下：

- 确定加工工艺
- 建立加工模型
- 生成刀具轨迹
- 产生后置代码
- 输出加工代码

现分别予以说明。

1.2.1 加工工艺确定

加工工艺的确定目前主要依靠人工进行，其主要内容有：

- 核准加工零件的尺寸、公差和精度要求
- 确定装卡位置
- 选择刀具
- 确定加工路线
- 选定工艺参数

1.2.2 加工模型建立

利用 CAM 系统提供的图形生成和编辑功能将零件的被加工部位绘制在计算机屏幕上，作为计算机自动生成刀具轨迹的依据。

加工模型的建立是通过人机交互方式进行的。被加工零件一般用工程图的形式表达在图纸上，用户可根据图纸建立三维加工模型。针对这种需求，CAM 系统应提供强大的几何建模功能，不仅应能生成常用的直线和圆弧，还应提供复杂的样条线、组合曲线、各种规则的和不规则的曲面等的造型方法，并提供各种过渡、裁剪、几何变换等编辑手段。

被加工零件数据也可能由其他 CAD/CAM 系统传入，因此 CAM 系统针对此类需求应提供标准的数据接口，如 DXF、IGES、STEP 等。由于分工越来越细，企业之间的协作越来越频繁，这种形式目前越来越普遍。

被加工零件的外形还可能由测量机测量得到，针对此类需求，CAM 系统应提供读入测量数据的功能，按一定格式给出的数据，系统自动生成零件的外形曲面。

1.2.3 刀具轨迹生成

建立了加工模型后，即可利用 CAM 系统提供的多种形式的刀具轨迹生成功能进行数控编程。用户可以根据不同的工艺要求和精度要求，通过交互指定加工方式和加工参数等，方便快速地生成所需要的刀具轨迹即刀具的切削路径。

为满足特殊的工艺需要，CAM 系统应能对已生成的刀具轨迹进行编辑。通常 CAM 系统还可通过模拟仿真检验生成的刀具轨迹的精度及进行加工过程干涉检查，并可通过代码校核，用图形方式检验加工代码的正确性。

1.2.4 后置代码生成

在屏幕上用图形形式显示的刀具轨迹要变成可以控制机床的代码，需进行所谓后置处理。后置处理的目的是形成数控指令文件，利用 CAM 系统提供的后置处理器，用户按机床规定的格式进行定制，即可方便地生成和特定机床相匹配的加工代码。

1.2.5 加工代码输出

生成数控指令之后，可通过计算机的标准接口与机床直接连通。CAM 系统一般可通过计算机的串口或并口与机床连接，将数控加工代码传输到数控机床，控制机床各坐标的伺服系统，驱动机床。

1.3 数控机床的坐标系

标准数控机床的坐标系采用右手直角笛卡尔坐标系，直角坐标轴分别为 X 轴、 Y 轴、 Z 轴，旋转坐标轴分别为 A 轴、 B 轴、 C 轴。各个坐标轴的定义如下： Z 轴为平行于机床主轴的坐标轴。如果机床有多个主轴，则选垂直于工件装卡面的主轴为 Z 轴，主轴远离工件的

方向为正方向。 X 轴是水平且平行于工件装卡面的坐标轴, 沿主要的切削方向, 且以该方向为正方向。 Y 轴根据右手法则确定。 A 、 B 、 C 相应地表示其轴线平行于 X 、 Y 、 Z 坐标的旋转运动, 正方向按右手螺旋法则确定。如图 1-2 所示。

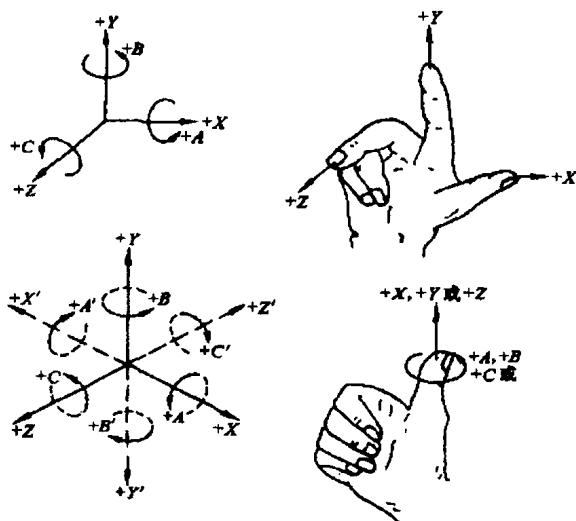


图 1-2 右手直角笛卡尔坐标系

对于直线运动, 如果机床有多个主轴, 可分别用 U 、 V 、 W 或 P 、 R 、 Q 来表示, 相应的旋转坐标轴用 D 、 E 等来表示。

数控机床的坐标原点, 有机床原点、机床参考点、装卡原点和程序原点之分。对于编程工程师而言, 只需知道程序原点即可。程序原点是编程工程师在数控编程过程中定义在工件上的几何基准点。在数控机床上是一个相对的概念, 编程原点的设置只要有利于加工便可。

1.4 数控加工技术在模具制造中的应用

数控加工的方式很多, 包括数控铣加工、数控电火花加工、数控电火花线切割、数控车削加工、数控磨削加工以及其他一些数控加工方式, 这些加工方式, 为模具提供了丰富的生产手段。根据其特点, 可以将模具分为许多类, 每一类模具, 都有其最合适的加工方式。因此, 在实际生产中, 必须合理分类, 找到最适合的加工方式, 以降低成本, 提高生产率。

一般而言, 对于旋转类模具, 一般采用数控车削加工, 如车外圆、车孔、车平面、车锥面等。酒瓶、酒杯、保龄球、方向盘等模具, 都可以采用数控车削加工。

对于复杂的外形轮廓或带曲面模具, 电火花成型加工用电极, 一般采用数控铣加工, 如注塑模、压铸模等, 都可以采用数控铣加工。

对于微细复杂形状、特殊材料模具、塑料镶拼型腔及嵌件、带异形槽的模具, 都可以采用数控电火花线切割加工。

模具的型腔、型孔, 可以采用数控电火花成型加工, 包括各种塑料模, 橡胶模、锻模、压铸模、压延拉伸模等。

对精度要求较高的解析几何曲面, 可以采用数控磨削加工。

总之, 各种数控加工方法, 为模具加工提供了各种可供选择的手段。随着数控加工技术的发展, 越来越多的数控加工方法应用到模具制造中, 各种先进制造技术的采用, 使模具制造的前景更加广阔。

第二章 常用的数控加工方式及工艺概要

2.1 数控铣削

2.1.1 概述

由于铣削加工具有较高的生产效率、加工精度高、可以实现多轴联动能加工复杂形状及加工的适应性强，只要输入加工程序就可以加工不同形状的零件等特点，因而特别适合于单件或小批量生产的模具制造。数控铣削加工在模具制造行业主要用于如：塑料注射模、塑料压制模、轻金属压铸模和锻模等具有复杂曲面及轮廓的型腔模加工，其代表性零件为型芯、型腔、电火花成型加工型腔所需的电极和模具分模面。在数控铣削出现之前，这类零件的加工只能靠操作普通金属切削机床的工人对零件进行留有余量的半精加工或精加工，剩余的加工余量靠熟练的钳工予以修整清除。这种手工操作的方式难以保证零件的几何外形及加工精度。即使有很熟练的操作工人可以达到所需的外形及精度，但所用的加工时间代价是昂贵的，且难以保证再加工的质量重现。图 2-1、图 2-2 及图 2-3 为具有复杂曲面的模具零件。

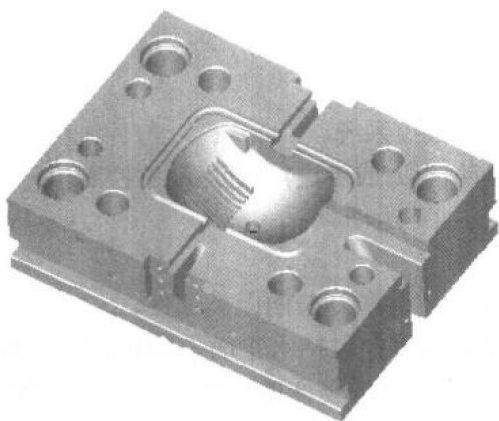


图 2-1 模具型腔

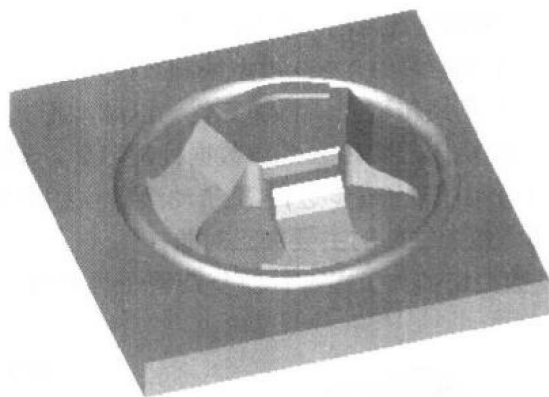


图 2-2 模具型芯

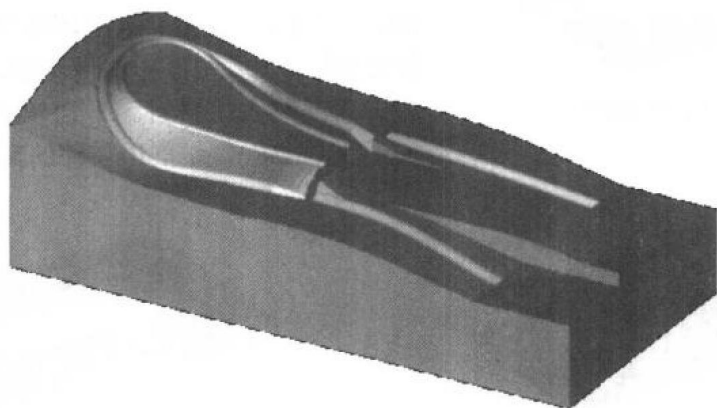


图 2-3 分模面为复杂型面的模具

数控铣床一般分为两轴、2.5 轴、三轴、四轴、四轴三联动、五轴等机床。两轴机床一般用于加工平面类零件，两轴半机床一般用于粗加工和二维轮廓的精加工，三至五轴数控铣床一般用于加工三维复杂零件。在高速加工中，也可以采用两轴半机床做等高线运动以加工三维复杂零件。

数控铣床和普通铣床一样，可以分为三类：立式铣床、卧式铣床和立卧两用铣床。

(1) 数控立式铣床。机床主轴轴线垂直于水平面，铣削头通常能沿轴运动。这类铣床通常有：立式升降台铣床、立式万能工具铣床和立式转塔铣床。数控立式铣床在模具加工中应用最为广泛，常用于中、小型模具的制造如：电视机前盖、洗衣机面板等塑料注射模具成型零件、摩托车汽缸等压铸模具及连杆等锻压模具。

(2) 卧式数控铣床。机床主轴平行于水平面，且铣削头固定在床身上。这类铣床通常有卧式升降台铣床、卧式镗铣床、卧式万能铣床。卧式铣床的工作台纵、横、垂直三向运动，主要用于铣削平面、沟槽和成型表面等。卧式数控铣床在模具制造中常用于具有深型腔的模具零件铣削，如洗衣机桶体塑料注射模具的型腔零件及冰箱内胆中空成型模具的型腔零件等。

(3) 龙门式数控铣床。这种机床，其床身固定，工作台可以在床身上作纵向移动，床身两侧的立柱用顶梁连接。龙门式铣床在模具制造中一般用于大型模具零件的加工，如汽车覆盖件模具成型等。

除上述的数控铣床外，常用于模具铣削加工的还有兼具仿形功能及可以采集数据的数字化功能的数控机床，即数控仿形铣床。

利用数控铣床的工作步骤为：

- (1) 根据零件 CAD 模型编制数控加工代码。
- (2) 利用传输介质将加工代码以脉冲形式传给机床数控系统。
- (3) 机床的数控系统将数据处理以后，转换成驱动伺服(或步进)电机运动的控制信号。
- (4) 由伺服(或步进)电机带动滚珠丝杠控制机床的加工运动。

2.1.2 数控铣削的主要加工对象

数控铣削加工主要针对复杂平面类零件、变斜角类零件和复杂曲面类零件。

(1) 平面类零件包括水平面、竖直面、任意角度的斜面或可展开成平面的零件，如圆柱、圆台、圆锥等，如图 2-4 所示。

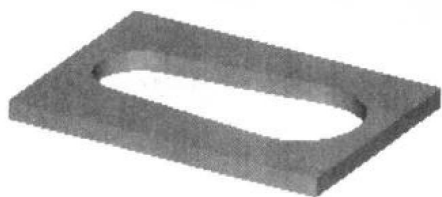


图 2-4 典型带轮廓腔的零件

平面加工一般分为平面区域加工和平面轮廓加工，平面区域加工常用作粗加工，用于去除大量的材料，如图 2-5 中的内轮廓，可以用平面区域加工内部的大量材料。平面轮廓加工可以作为精加工(见图 2-6)，铣削出零件的真实外形。

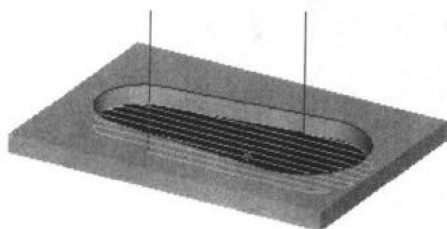


图 2-5 平面区域加工实现轮廓腔零件的粗加工

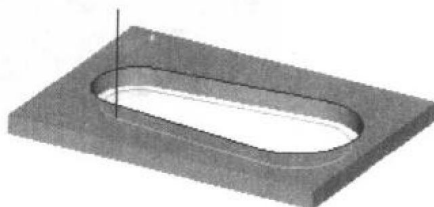


图 2-6 平面轮廓加工实现轮廓腔零件的精加工