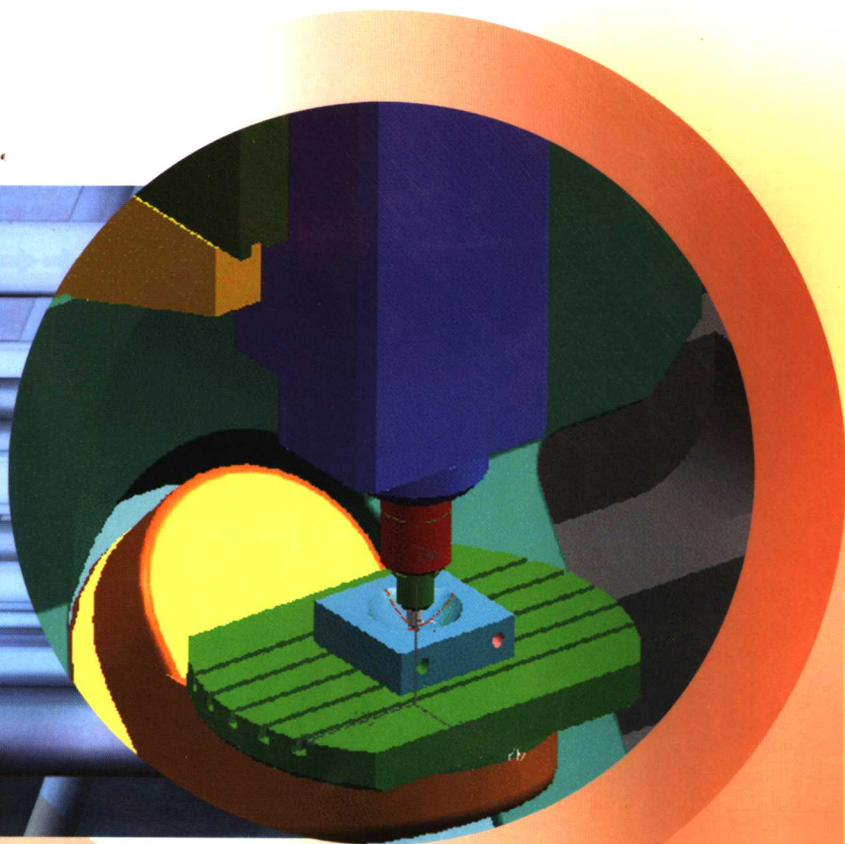




中等职业学校机电类规划教材
模具设计与制造专业系列

模具数控加工技术

陈子银 主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

中等职业学校机电类规划教材

模具设计与制造专业系列

模具数控加工技术

陈子银 主 编

 人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

模具数控加工技术 / 陈子银主编. —北京: 人民邮电出版社, 2006.5
中等职业学校机电类规划教材. 模具设计与制造专业系列

ISBN 7-115-14443-5

I. 模... II. 陈... III. 模具—数控机床—加工—专业学校—教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 036003 号

内 容 提 要

“模具数控加工技术”是模具设计与制造专业重要的专业课程。本书内容丰富、由浅入深,着重讲解了模具数控加工设备、加工工艺与编程以及模具先进制造技术等知识。

本书主要包括第1章模具数控加工概述,第2章模具数控车削加工技术,第3章模具数控铣削加工技术,第4章模具电加工技术,第5章高速切削加工技术,第6章快速成形制造技术。全书内容以职业技能型人才培养为出发点,注重实用性,满足了教学和企事业单位工人自学的要求。

本书可作为中等职业学校模具设计与制造专业以及机电类相关专业教学用书,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

中等职业学校机电类规划教材

模具设计与制造专业系列

模具数控加工技术

-
- ◆ 主 编 陈子银
责任编辑 王 平
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京通州大中印刷厂印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 14.5
字数: 345千字
印数: 1—3 000册
 - 2006年5月第1版
2006年5月北京第1次印刷

ISBN 7-115-14443-5/TN · 2711

定价: 20.00 元

读者服务热线: (010) 67170985 印装质量热线: (010) 67129223

中等职业学校机电类规划教材

模具设计与制造专业系列教材编委会

主 任 柳燕君

副主任 成 虹 段来根 向 伟

委 员	陈子银	丁有声	黄 雁	刘永新	欧阳永红
	伍 江	肖 平	杨 晖	应龙泉	张孟玮
	郑兴华	朱劲松	朱林林		

本 书 编 委

陈子银	黄美英	王昌福	段来根	王庆海
张 纹	朱僚辉	娄海滨		



我国加入 WTO 以后,国内机械加工行业和电子技术行业得到快速发展。国内机电技术的革新和产业结构的调整成为一种发展趋势。因此,近年来企业对机电人才的需求量逐年上升,对技术工人的专业知识和操作技能也提出了更高的要求。相应地,为满足机电行业对人才的需求,中等职业学校机电类专业的招生规模在不断扩大,教学内容和教学方法也在不断调整。

为了适应机电行业快速发展和中等职业学校机电专业教学改革对教材的需要,我们在全国机电行业和职业教育发展较好的地区进行了广泛调研;以培养技能型人才为出发点,以各地中职教育教研成果为参考,以中职教学需求和教学一线的骨干教师对教材建设的要求为标准,经过充分研讨与论证,精心规划了这套《中等职业学校机电类规划教材》,第一批教材包括三个系列,分别为《专业基础课程与实训课程系列》、《数控技术应用专业系列》、《模具设计与制造专业系列》。

本套教材力求体现国家倡导的“以就业为导向,以能力为本位”的精神,结合职业技能鉴定和中等职业学校双证书的需求,精简整合理论课程,注重实训教学,强化上岗前培训;教材内容统筹规划,合理安排知识点、技能点,避免重复;教学形式生动活泼,以符合中等职业学校学生的认知规律。

本套教材广泛参考了各地中等职业学校的教学计划,面向优秀教师征集编写大纲,并在国内机电行业较发达的地区邀请专家对大纲进行了多次评议及反复论证,尽可能使教材的知识结构和编写方式符合当前中等职业学校机电专业教学的要求。

在作者的选择上,充分考虑了教学和就业的实际需要,邀请活跃在各重点学校教学一线的“双师型”专业骨干教师作为主编。他们具有深厚的教学功底,同时具有实际生产操作的丰富经验,能够准确把握中等职业学校机电专业人才培养的客观需求;他们具有丰富的教材编写经验,能够将中职教学的规律和学生理解知识、掌握技能的特点充分体现在教材中。

为了方便教学,我们免费为选用本套教材的老师提供教学辅助光盘,光盘的内容为教材的习题答案、模拟试卷和电子教案(电子教案为教学提纲与书中重要的图表,以及不便在书中描述的技能要领与实训效果)等教学相关资料,部分教材还配有便于学生理解和操作演练的多媒体课件,以求尽量为教学中的各个环节提供便利。

我们衷心希望本套教材的出版能促进目前中等职业学校的教学工作,并希望能得到职业教育专家和广大师生的批评与指正,以期通过逐步调整、完善和补充,使之更符合中职教学实际。

欢迎广大读者来电来函。

电子函件地址: guojing@ptpress.com.cn, wangping@ptpress.com.cn

读者服务热线: 010-67143761, 67132792, 67184065



本书是根据中等职业学校模具设计与制造专业主干专业课程“模具数控加工技术”的教学要求，并结合目前先进制造技术在模具制造中的应用情况编写的，符合模具制造利用先进加工方法（如数控技术、电切削加工技术等）的要求，书中内容对提高学习者对模具制造市场的适应能力和竞争能力有较大帮助。

本教材共分为 7 章。第 1 章为模具数控加工概述，第 2 章介绍模具数控车削加工技术，第 3 章介绍模具数控铣削加工技术，第 4 章介绍模具电加工技术，第 5 章介绍高速切削加工技术，第 6 章介绍快速成形制造技术。书中从模具数控加工实用、易学的角度出发，介绍了模具数控加工的基础知识、加工原理与加工工艺，重点阐述各类数控加工设备与一定的编程基础知识，为学习者学习操作数控加工设备的技能奠定了基础。同时本书还介绍高速切削与快速成形等先进制造技术在模具制造中的应用。本书的主要任务是为进一步学习数控加工技术打下一定基础。

本书参考学时为 80 课时，建议课时分配如下：

序 号	章 节	内 容	授 课 学 时
1	第 1 章	模具数控加工概述	10
2	第 2 章	模具数控车削加工技术	12
3	第 3 章	模具数控铣削加工技术	24
4	第 4 章	模具电加工技术	22
5	第 5 章	高速切削加工技术	8
6	第 6 章	快速成形制造技术	4

本书由徐州机电工程高等职业学校陈子银老师主编和统稿。其中第 2、3、5、7 章由陈子银老师编写，第 1 章由徐州机电工程高等职业学校黄美英老师编写，第 4 章由徐州机电工程高等职业学校王昌福老师编写。常州机电职业技术学院段来根高级工程师担任主审，同时审稿的有河南机电学校王庆海老师、江苏镇江机电高等职业技术学校张纹老师、浙江德清职业中专娄海滨老师，并对本书的编写提供了支持与帮助，给予很多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

因本书涉及内容广泛，且作者水平有限，经验不足，本书难免有错误和不足之处，请读者批评指正。

编 者

2006 年 1 月

目 录

第 1 章 模具数控加工概述	1
1.1 数控机床概述	1
1.1.1 数控机床基本概念	4
1.1.2 数控机床的组成与工作原理	5
1.1.3 数控机床的分类与特点	6
1.1.4 数控机床的应用与发展趋势	10
1.2 CNC 数控系统	13
1.2.1 CNC 系统的组成和功能	13
1.2.2 CNC 系统的硬件结构	14
1.2.3 CNC 系统的软件结构	16
1.3 程序编制概述	16
1.3.1 数控编程概念与种类	16
1.3.2 数控程序有关代码与标准	17
1.3.3 程序的结构与格式	20
1.3.4 数控编程内容与步骤	22
本章小结	27
思考与练习	27
第 2 章 模具数控车削加工技术	30
2.1 数控车床	30
2.1.1 数控车床组成与分类	31
2.1.2 数控车床主要技术参数	32
2.2 数控车削刀具	34
2.2.1 数控车削刀具概述	34
2.2.2 数控车削刀具的基本术语	36
2.2.3 数控车削刀具及选用原则	37
2.3 数控车削编程基础	43
2.3.1 数控车床坐标系与运动方向确定	43
2.3.2 数控车削加工工艺分析	44
2.4 数控车床编程指令	45
2.4.1 编程指令体系	45
2.4.2 编程实例	47
本章小结	52
思考与练习	53



第3章 模具数控铣削加工技术	57
3.1 数控铣床与加工中心	58
3.1.1 数控铣床与加工中心组成	58
3.1.2 刀库与自动换刀装置	59
3.1.3 数控铣床与加工中心分类及主要技术参数	64
3.2 常用铣削刀具与刀柄	69
3.2.1 刀具类型与选择	70
3.2.2 刀柄	78
3.3 刀具补偿	84
3.4 数控仿真技术	86
3.5 数控模具铣雕机床	89
3.6 数控铣床（加工中心）编程基础	92
3.6.1 数控铣床（加工中心）坐标系与运动方向确定	92
3.6.2 数控铣削加工工艺分析	94
3.7 数控铣床（加工中心）编程指令	101
3.7.1 编程指令体系	101
3.7.2 编程实例	104
本章小结	116
思考与练习	116
第4章 模具电加工技术	124
4.1 电火花加工的基本原理与特点	124
4.1.1 电火花加工的基本原理	125
4.1.2 电火花加工的特点	128
4.2 电火花加工机床简介	129
4.2.1 电火花机床名称、型号与分类	129
4.2.2 电火花加工机床结构	131
4.3 电火花加工工艺规律	135
4.3.1 影响材料放电腐蚀量的主要因素	135
4.3.2 影响加工速度的主要因素	137
4.3.3 影响电火花加工精度的主要因素	138
4.3.4 影响电火花加工表面质量的主要因素	140
4.3.5 电火花加工工艺参数的选择	141
4.4 电火花加工工艺与实例	142
4.4.1 电火花穿孔加工	142
4.4.2 电火花成型加工	148
4.4.3 电火花小孔加工	153
4.5 数控电火花线切割加工	153



4.5.1 电火花线切割机床的组成与工作原理	153
4.5.2 电火花线切割加工机床	155
4.5.3 电火花线切割机床的脉冲电源	158
4.6 电火花线切割加工工艺	160
4.6.1 线切割加工中电参数的合理选择	160
4.6.2 电火花线切割加工工艺的步骤与要求	161
4.6.3 工作液对工艺指标的影响	163
4.7 电火花线切割机床编程技术	165
4.7.1 线切割加工基本编程方法与步骤	165
4.7.2 3B 格式编程与实例	166
4.7.3 ISO 代码编程与实例	171
4.7.4 线切割自动编程	174
本章小结	175
思考与练习	175
第 5 章 高速切削加工技术	179
5.1 高速切削概述	179
5.1.1 高速切削概念与特征	181
5.1.2 高速切削的关键技术	182
5.1.3 高速切削的发展趋势与应用	186
5.2 高速切削机床	188
5.2.1 高速数控车床	189
5.2.2 高速钻床	189
5.2.3 高速车铣床	190
5.2.4 高速加工中心	191
5.2.5 高速磨削	195
5.2.6 选择高速切削机床的注意事项	197
5.3 高速切削刀具与刀柄	198
5.3.1 高速切削对刀具的要求	199
5.3.2 高速切削刀具	200
5.3.3 高速切削刀柄	203
5.4 高速切削加工在模具制造中的应用实例	205
本章小结	208
思考与练习	208
第 6 章 快速成形制造技术	210
6.1 RPM 概述	210
6.1.1 RPM 的产生与发展	210
6.1.2 RPM 的基本原理与特点	212





6.1.3 RPM 的分类与工艺方法	213
6.2 快速模具制造技术	215
6.2.1 直接制模技术	216
6.2.2 间接制模技术	216
6.3 基于 RPM 的快速模具制造方法	217
6.4 RPM 快速模具制造的应用	217
本章小结	219
思考与练习	220
参考文献	221



第1章

模具数控加工概述

模具技术已成为衡量一个国家产品制造水平的重要标志之一。目前,模具零件的加工方法主要有机械加工(如数控加工)、特种加工(如电切削加工)和表面加工等,高质量较复杂模具零件的加工更离不开这些加工方法。因此,学会上述加工方法、正确操作数控加工设备,也越来越重要。

知识目标

- 理解数控机床的基本概念、工作原理、分类、特点以及应用和发展趋势,掌握数控机床的加工机理。
- 理解数控机床的核心——CNC系统的组成、功能与软硬件结构特点。
- 掌握数控编程的概念、相关代码和程序结构格式,掌握模具零件的数控编程内容与步骤。

技能目标

- 学会根据模具零件的特点正确选用加工设备,掌握各种数控机床的特点和应用场合。
- 学会各种数控设备的编程指令格式与编程步骤,掌握其加工机理。

1.1 数控机床概述

模具是一种技术密集、资金密集和劳动密集的产品,利用模具进行生产具有成本低、能耗少、质量优和效率高的特点,它在汽车、航空和电器等行业得到广泛应用。但我国的模具无论精度、寿命还是生产周期都与工业发达国家存在一定差距,制约其发展的主要瓶颈是加工设备与技术的落后。而随着经济的发展与产品需求的个性化,模具的需求量将会越来越大;随着数控技术的发展,模具的制造也跨入了大量采用数控设备 and 应用数控技术的时代。图 1.1 所示为数控机床加工汽车用部件的模具。

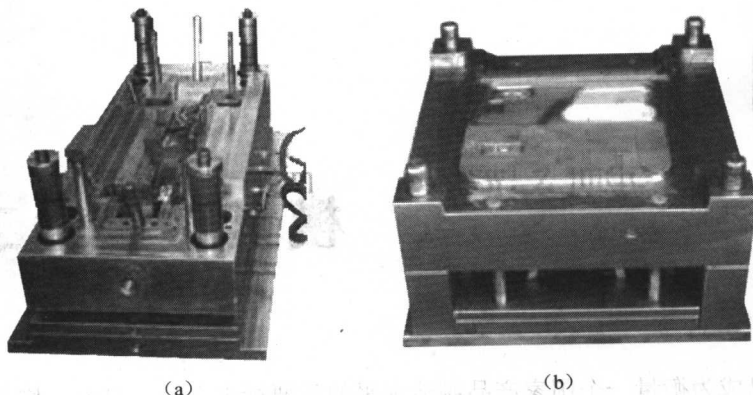


图 1.1 数控机床加工汽车用模具

(a) 汽车前支架模具

(b) 汽车内饰板模具

利用数控机床和数控技术加工方法制造模具，要求在工艺上充分考虑模具零件的材料、结构形状、尺寸、精度和使用寿命等方面的不同要求，采用合理的加工方法和工艺路线，尽可能通过数控机床来保证模具的加工质量，提高生产率和降低成本。模具作为工艺装备的一部分，其种类很多，图 1.2 所示为导柱式冲孔模结构，图 1.3 所示为注射模结构，图 1.4 所示为瞭望器壳体压铸模结构。

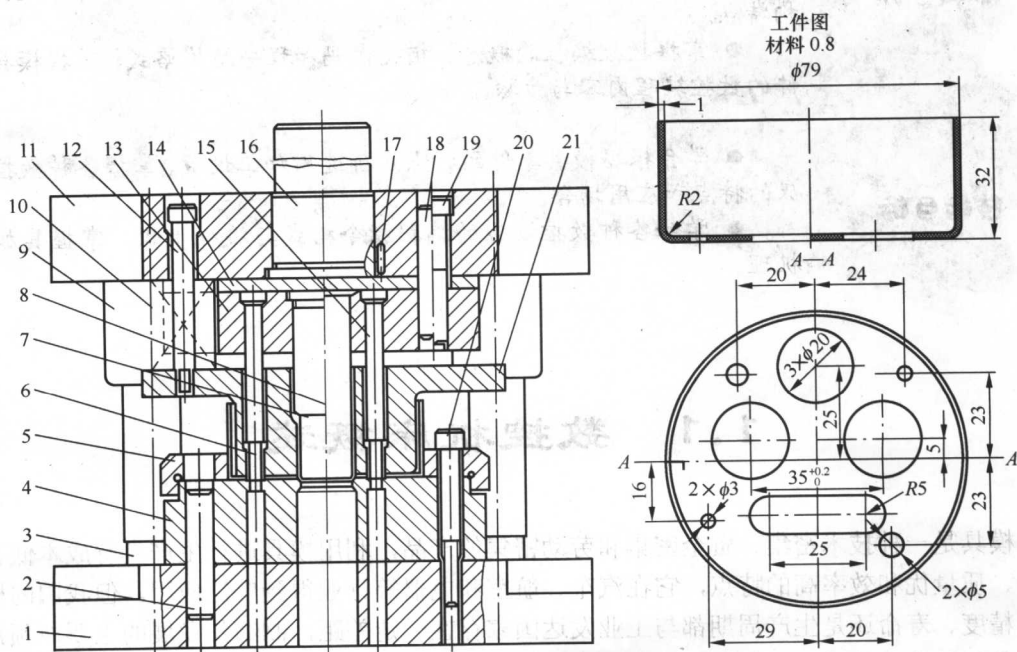


图 1.2 导柱式冲孔模结构

1—下模座 2、18—圆柱销 3—导柱 4—凹模 5—定位圈 6、7、8、15—凸模
10—弹簧 11—上模座 12—卸料螺钉 13—凸模固定板 14—垫板 16—模柄
17—止动销 19、20—内六角螺钉 21—卸料板

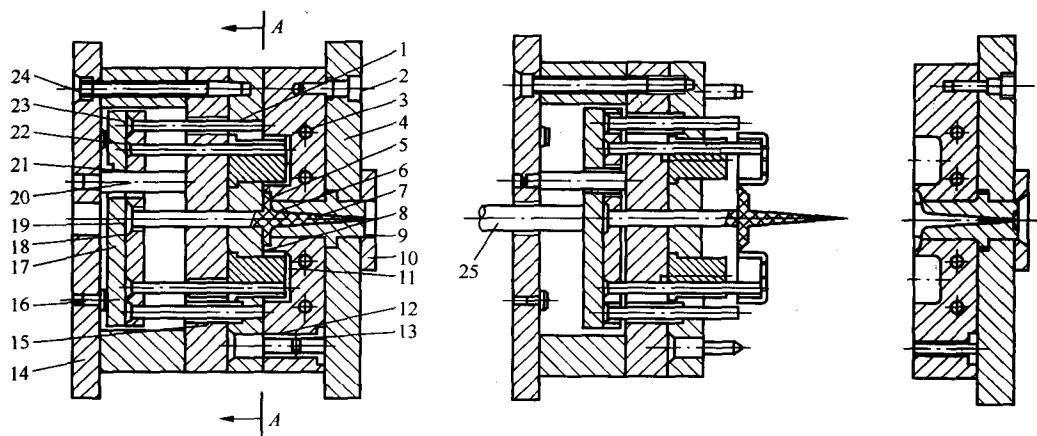
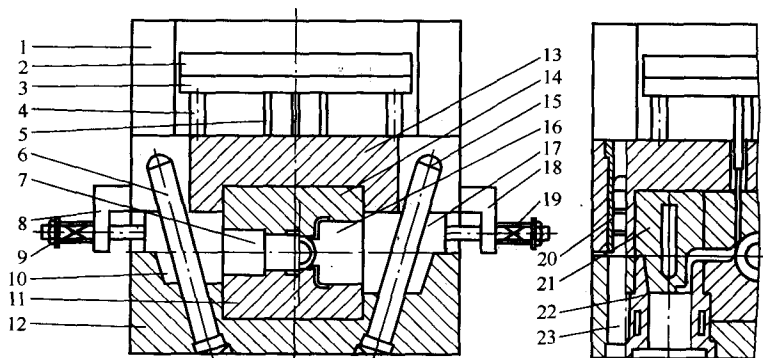
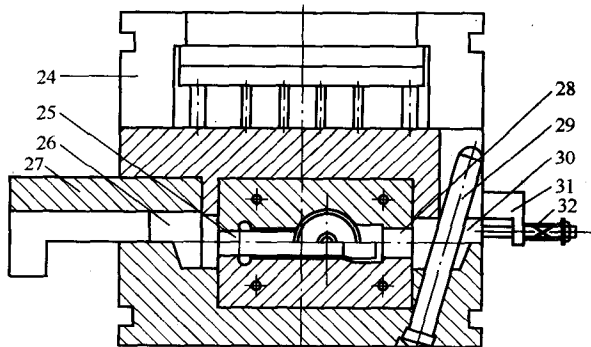


图 1.3 注射模结构

- 1—动模板 2—定模板 3—冷却水道 4—定模座板 5—分流道 6—冷料穴 7—主流道 8—浇口 9—浇口套
10—定位圈 11—凸模 12—导柱 13—导套 14—动模座板 15—支承板 16—支承柱 17—推板 18—推杆固定板
19—拉料杆 20—推板导柱 21—推板导套 22—推杆 23—复位杆 24—垫块 25—注射机顶杆



(a)



(b)

图 1.4 瞭望器壳体压铸模结构

(a) 纵向

(b) 横向

- 1—辅助垫块 2—推板 3—推杆固定板 4—复位杆 5—推杆 6、15、29—斜销 7、16、25、28—活动型芯
8、18、31—限位块 9、19、32—限位螺杆 10、17、26、30—滑块 11—定模镶块 12—定模套板 13—动模套板
14—动模镶块 20—导套 21—浇道镶块 22—浇口套 23—导销 24—垫块 27—滑块外接导滑块及油缸座



以上各种常见类型的模具，使用目的不同，结构上也存在较大的差异。模具按零件的种类不同可分为以下类型。

- (1) 具有特种型面的模具工作零件。如凸、凹模、型芯及球面模柄等。
- (2) 套、孔类零件。如导套、定和动模板套、浇口套与压边圈。
- (3) 销轴类的定位、卸料零件。如定位销、挡料销、顶销、推杆以及导柱、滚轮、模柄等。
- (4) 板块类的支承零件。如上下模板、导向板、导料板、各类支承板、固定板与导块、镶块、滑块等。
- (5) 抽芯机构中的斜楔。
- (6) 螺纹成形零件。如压塑模中的螺纹成形杆与成形环、螺纹嵌件，注射模中的螺纹型芯环。

根据以上模具零件的结构特点，其大部分可以采用数控加工的方法来完成。

1.1.1 数控机床基本概念

数字控制 (Numerical Control) 简称数控，是利用数字指令对机械动作进行控制的方法。数控系统 (Numerical Control System) 是采用数字控制的系统。

计算机数控系统 (Computer Numerical Control System) 是用计算机控制实现数控功能的系统。

数控机床 (Numerical Control Machine Tools) 是用数字指令进行控制的机床，机床的所有运动，包括主运动、进给运动与各种辅助运动都是用输入数控装置的数字信号来控制的，其加工过程可用如图 1.5 所示的框图来描述。

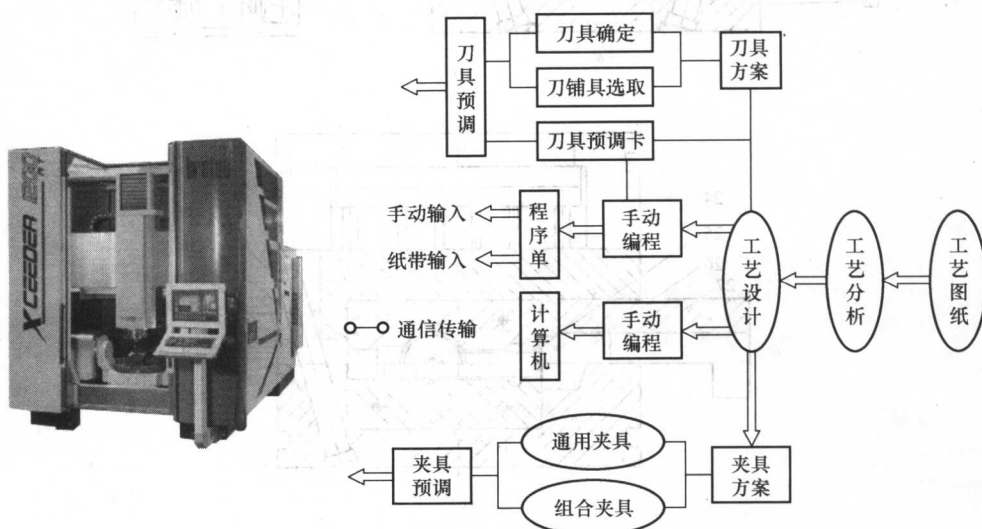


图 1.5 数控机床加工过程

数控技术 (Numerical Control technology) 是用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术。目前，计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM)、柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系



统 (CIMS)、敏捷制造 (AM) 和智能制造 (IM) 等先进制造技术都建立在数控技术基础上。

数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件特别是复杂零件加工的技术,它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础与关键技术。

计算机辅助设计和制造简称 CAD/CAM,是以计算机作为主要技术手段,处理各种数字信息与图形信息,辅助完成从产品设计到加工制造整个过程的各项活动。模具 CAD/CAM 技术的主要特点是设计与制造过程的紧密联系——设计制造一体化,其实质是设计和制造的综合计算机化,主要设计与制造加工的是各类模具零件。目前这类软件较多,典型的 CAD/CAM 软件主要有 Mastercam、CAXA、I-DIAS、UG、CATIA、CADDS 和 DOCT 等,其中我国应用较多的有 Mastercam、CAXA、Pro/E 和 UG 等软件。

1.1.2 数控机床的组成与工作原理

1. 数控机床的组成

数控机床是一种利用数控技术,准确地按照事先编制好的程序,自动加工出所需工件的机电一体化设备。在现代机械制造中,特别是在航空、造船、国防、汽车模具及计算机工业中得到广泛应用。由于计算机软硬件技术飞速发展,Pro/E、UG、CIMATRON、Mastercam、CATIA、CAXA 和 DELCAM 等三维造型与自动编程软件极大地推动了数控机床在现代机械加工和模具制造中的应用。数控机床通常是由程序载体、CNC 装置、伺服系统、检测与反馈装置、辅助装置和机床本体组成,如图 1.6 所示。

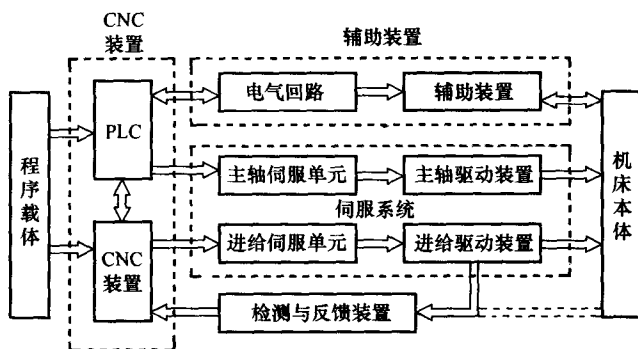


图 1.6 数控机床的组成框图

(1) 程序载体

程序载体是用于存取零件加工程序的装置。加工程序以特殊的格式和代码存储在载体上,常用的载体有磁盘、磁带、硬盘和闪存卡等。由于复杂模具和大型零件的加工程序占用内存空间大与网络 DNC 技术的发展,目前将加工程序的执行方式按数控机床控制系统的内存空间大小分为两种方式:一种是采用 CNC 方式,即先将加工程序输入机床,然后调出来执行;另一种是采用 DNC 方式,即将机床与计算机连接,机床的内存作为存储缓冲区,计算机一边传送加工程序,机床一边执行。

(2) CNC 装置

CNC 装置(又称计算机数控装置)是 CNC 系统的核心,主要包括微处理器(CPU)、存



储器、局部总线、外围逻辑电路和输入/输出控制等。

CNC 装置接收的是程序载体送来的脉冲信号；信号经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令，控制机床的各部分，使其进行规定的、有序的动作。

(3) 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的运动指令进行放大处理，驱动机床移动部件运动，使工作台和主轴按规定的轨迹运动，加工出符合要求的产品。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

伺服系统包括驱动装置和执行装置两大部分，由伺服驱动电路、功率放大电路、伺服电动机和传动机构等组成。常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。

(4) 检测与反馈装置

检测与反馈装置有利于提高数控机床加工精度。它的作用是将机床导轨和主轴移动的位移量、移动速度等参数检测出来，通过模数转换变成数字信号，并反馈到数控装置中，数控装置根据反馈回来的信息进行判断并发出相应的指令，纠正所产生的误差。

(5) 辅助装置

辅助装置把计算机送来的辅助控制指令经机床接口转换成强电信号，用来控制主轴电动机起停、冷却液的开关及工作台的转位和换刀等动作。

(6) 机床本体

机床本体即数控机床的机械部件，包括主运动部件、进给运动执行部件（例如工作台、拖板及其传动部件等）和支承部件，还包括具有冷却、润滑、转位和夹紧等功能的辅助装置。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但是，由于数控机床的高速度、高精度、大切削用量和连续加工要求，其机械部件在精度、刚度和抗震性等方面要求更高。因此，近年来在设计数控机床时采用了许多新的加强刚性、减小热变形和提高精度等方面的措施。

2. 数控机床的工作原理

分析如图 1.5 所示的数控机床加工过程和如图 1.6 所示的数控机床组成可以知道，其工作原理是将零件加工信息用代码化的数字信息记录在程序载体上，然后送入数控系统，经过译码、运算控制机床的刀具与工件的相对运动，从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

1.1.3 数控机床的分类与特点

模具零件的形状多种多样，而且精度要求高，根据模具零件的功能和结构需要各种类型的数控机床来适应其加工的需要。

1. 数控机床的分类

(1) 按工艺用途分类

① 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床和加工中心等。

② 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床主要有数控折弯机、数控弯管机和数控转头压力机等。

③ 数控特种加工机床

数控特种加工机床主要有数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控冲床和数控激光切割机床等。

④ 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床主要有数控三坐标测量机等。

(2) 按运动轨迹分类

① 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是在刀具相对于工件移动的过程中, 不进行切削加工; 它对运动的轨迹没有严格要求, 只实现一点到另一点坐标位置的准确移动, 几个坐标轴之间的运动没有任何联系。属于这类机床的有数控钻床、数控镗床、数控冲床和数控测量机等。图 1.7 (a) 所示为点位控制数控机床加工示意图。

② 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅要求具有准确的定位功能, 还要求从一点到另一点按直线运动进行切削加工, 刀具相对于工件移动的轨迹是平行机床各坐标轴的直线或两轴同时移动构成 45° 的斜线。属于这类机床的有数控车床、数控磨床、数控铣床和加工中心等。图 1.7 (b) 所示为直线控制数控机床加工示意图。

③ 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上的坐标轴进行连续的切削加工控制, 它不仅控制机床移动部件的起点和终点坐标, 而且能按需要严格控制刀具移动的轨迹, 以加工出任意斜线、圆弧、抛物线及其他函数关系的曲线或曲面。属于这类机床的有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控电火花线切割机床和加工中心等。图 1.7 (c) 所示为轮廓控制数控机床加工示意图。

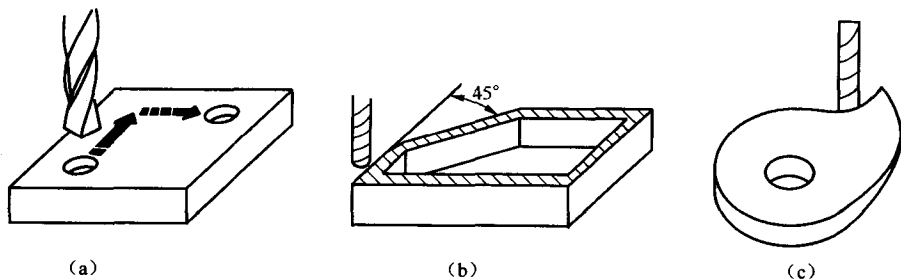


图 1.7 按运动轨迹分类的数控机床加工示意图

(a) 点位控制数控机床 (b) 直线控制数控机床 (c) 轮廓控制数控机床

(3) 按伺服控制方式分类

① 开环控制数控机床

开环控制数控机床结构简单, 没有测量反馈装置, 数控装置发出的指令信号流是单向的, 所以不存在系统稳定性问题。因为无位置反馈, 所以精度不高, 其精度主要取决于伺服驱动