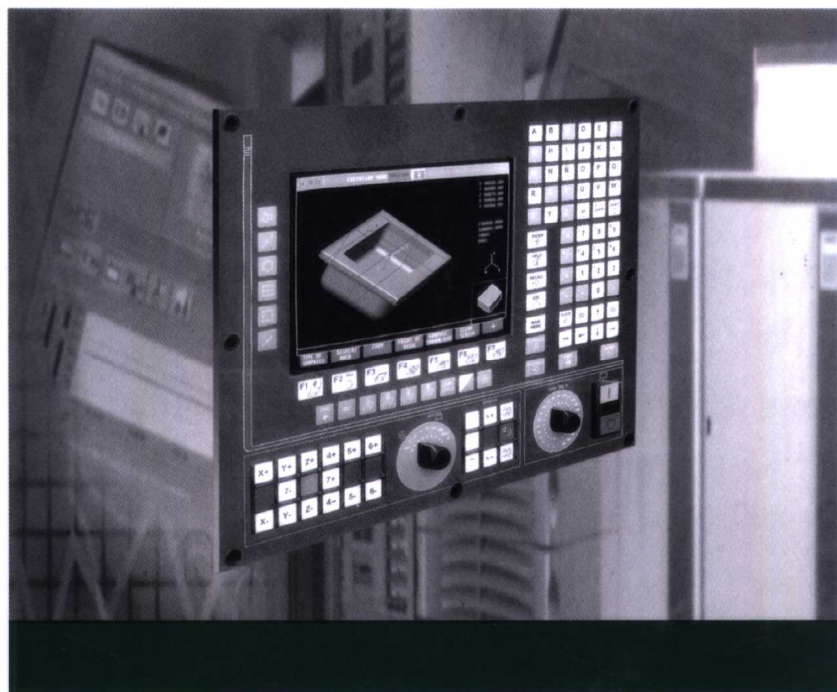


模 具 加 工 技 术 丛 书

模具数控加工技术及应用

范钦武 主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

模具加工技术丛书

模具数控加工技术及应用

范钦武 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

模具数控加工技术及应用/范钦武主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3

(模具加工技术丛书)

ISBN 7-5025-5286-3

I. 模… II. 范… III. 模具-数控机床-加工
IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 020325 号

模具加工技术丛书
模具数控加工技术及应用

范钦武 主编

责任编辑: 王苏平

文字编辑: 张燕文

责任校对: 王素芹

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19 字数 453 千字

2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5286-3/TH·188

定 价: 40.00 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

参加编写人员名单

第一章、第二章、第五章	范钦武
第三章	董志平
第四章	甘登侣
第六章	冯 孟
第七章	孙立军
第八章	王进中、杨洪旗

出 版 者 的 话

模具作为一种高附加值的技术密集产品，它的技术水平已经成为衡量一个国家制造业水平的重要评价指标之一。而要提高模具技术水平不但要有先进的制造设备，更重要的是有掌握先进制造设备的人才。人力资源是企业最重要的战略资源，它决定着企业长远的、持续的发展。

目前，很多从事模具制造的企业已注意到了人才的重要性，特别是随着高档水平模具的需要不断增加，对人才素质的要求也越来越高。所以企业在购置数控加工设备的同时要加强人才的培训。目前，专门针对培养掌握先进模具制造技术的高、中级技术人才的教材又比较少，开展这方面培训工作比较困难。针对这种情况，北京模具协会和化学工业出版社一起策划并由北京市模具协会单加祥秘书长组织一些有丰富实践经验的专家编写了《模具加工技术丛书》，包括《模具数控加工技术及应用》、《冲压模具与制造》、《电火花加工技术在模具制造中的应用》等几本技术书籍。这些书籍对模具设计和模具数控制造技术、电加工技术都进行了详细的论述，内容由浅入深，理论联系实际，既包括了当今最新的模具制造技术又有很强的实用性，是一套培养有实际操作能力，会编程又可以掌握一定的设计水平的蓝领的高级技术培训教材。

本书对其他从事模具设计与制造人员同样是很好的学习、参考书籍。

2004. 4. 18

内 容 提 要

本书对数控系统进行了详细地阐述，较全面地介绍了数控机床的基本知识和机械结构及其在模具制造中的作用，对数控加工工艺、数控铣床与加工中心的操作及编程、模具的高速数控铣削加工、数控加工自动编程（CAD/CAM）技术进行了讲解，同时提供了数控机床的安装调试及故障诊断与维修的方法。

本书可供从事模具设计与模具加工的技术人员使用，也可作为相关专业人员的培训用书。

目 录

第一章 概论	1
第一节 数控机床的基本知识	1
一、概述	1
二、数控机床的基本概念	2
(一) 数控机床的概念	2
(二) 数控机床的特点	2
(三) 数控机床的组成	3
(四) 数控机床控制的对象	7
(五) 数控机床插补控制	7
三、数控机床的发展	9
四、我国数控机床发展概况	10
五、数控机床技术发展趋势	10
(一) 高速、高效加工	10
(二) 高精密、超精密化加工	10
(三) 高可靠性	11
(四) 工序复合化和复合加工	11
(五) 智能化、网络化、柔性化和集成化	11
(六) 并联机床技术	12
六、数控机床的分类	12
(一) 按工艺用途分类	12
(二) 按加工路线分类	14
(三) 按控制方式分类	14
七、数控编程的一般步骤	15
(一) 制定加工工艺	15
(二) 数学运算及编制加工程序	16
(三) 制作控制介质	16
(四) 程序校验与空运行	16
(五) 实际数控加工	16
八、数控机床的选用原则	17
(一) 典型加工零件的选择	17
(二) 机床精度的选择	17
(三) 数控系统的选择	17
(四) 辅助装置的选择	18

第二节 数控机床及数控功能技术术语	19
一、数控机床技术术语	19
(一) 计算机直接控制技术 DNC (Direct Numerical Control)	19
(二) 柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System)	19
(三) 数控机床技术术语	20
二、数控机床功能术语	20
三、数控系统功能术语	21
第三节 数控加工在模具制造中的作用	22
一、模具加工方法的新动向	22
二、数控加工带来了模具行业技术的提高	23
三、模具工业发展趋势	23

第二章 数控机床的机械结构 26

第一节 机械结构的主要特点与基本要求	26
一、数控机床对机械结构的基本要求	26
二、数控机床机械结构构成	26
三、数控机床的机械结构	27
(一) 铸造床身结构	27
(二) 钢板焊接结构	28
(三) 人造花岗岩床身	28
第二节 数控机床的主轴组件及传动装置	29
一、主轴组件的性能要求	29
(一) 回转精度	29
(二) 运动精度	29
(三) 刚度	29
(四) 抗振性	30
(五) 温升	30
(六) 耐磨性	30
二、主轴	30
三、主轴轴承	30
四、主轴轴承配置的主要形式	33
五、主轴轴承的配合	34
(一) 圆柱滚子轴承的配合量	34
(二) 角接触球轴承的配合量	35
六、滚动轴承的预紧	35
(一) 双列圆柱滚子轴承的预紧	35
(二) 角接触轴承的预紧	35
七、主轴轴承的润滑方式	36
(一) 油脂润滑	36
(二) 油液循环润滑	36

(三) 油雾润滑	36
(四) 油气润滑	36
八、主轴内刀具的自动夹紧装置和切屑清除装置	37
九、主轴准停装置	37
(一) 机械控制的主轴准停装置	37
(二) 电气控制的主轴准停装置	38
十、主轴传动方式	38
(一) 采用齿形皮带的主轴传动	38
(二) 带变速齿轮的主轴传动	40
(三) 由电动机直接驱动的主轴传动	40
第三节 进给系统的机械传动机构	40
一、伺服电动机与进给丝杠的连接	40
二、传动装置	41
(一) 滚珠丝杠螺母副	41
(二) 进给导轨副	45
第四节 自动换刀装置	47
一、自动换刀装置的组成及工作原理	47
二、刀库的主要结构形式	47
(一) 单盘式刀库及无机械手换刀机构	47
(二) 链式刀库及机械手刀具自动交换装置	49
三、刀具的选择方式	49
第五节 回转工作台	54
一、数控旋转工作台	54
二、分度工作台	55
(一) 定位销式分度工作台	55
(二) 鼠齿盘式分度工作台	56
第三章 数控系统	59
第一节 概述	59
一、数控 (NC) 及计算机数控 (CNC)	59
二、CNC 的内部工作过程	59
(一) 位置数据处理	59
(二) 主轴驱动的处理	60
(三) 机床开关功能的控制	60
三、数控的类型	60
(一) 点位控制系统	60
(二) 直线运动控制系统	60
(三) 轮廓控制系统	61
四、CNC 的功能	61
(一) 控制类型	61

(二) 几何参数	61
(三) 工艺参数	62
(四) 操作方式	62
(五) 数控程序的编程功能	62
(六) 通信功能	62
(七) 可编程控制器	63
(八) 故障诊断功能	63
第二节 数控系统的组成及工作过程	63
一、数控系统的组成	63
(一) 基本组成	63
(二) 模块功能	63
二、数控系统的硬件结构	64
(一) 单微处理器结构	64
(二) 多微处理器结构	64
三、数控系统的软件结构	66
(一) 软件结构的特点	66
(二) CNC 系统软件的工作过程	68
第三节 数控伺服系统	70
一、概述	70
(一) 伺服系统的组成	70
(二) 对伺服系统的基本要求	71
(三) 伺服系统的分类	72
二、全数字式伺服系统	75
(一) 全数字伺服系统的构成	75
(二) 全数字式伺服系统的特点	75
第四节 检测元件	76
一、概述	76
二、旋转编码器	77
(一) 增量式旋转编码器	77
(二) 绝对式旋转编码器	78
(三) 编码器在数控机床中的应用	79
三、光栅尺	80
四、感应同步器	82
五、磁栅尺	83
第五节 驱动伺服电动机	86
一、步进电动机	87
(一) 步进电动机的种类	87
(二) 步进电动机使用特性	88
二、交流伺服电动机	89
三、直线电动机	90

(一) 直线电动机直接驱动的特点	90
(二) 直线电动机原理及分类	91
(三) 直线电动机所特有的端部效应问题	92
四、交流主轴伺服电动机	92
第六节 数控机床的可编程控制器	93
一、概述	93
(一) 数控机床上的两类控制信息	93
(二) PLC 的基本概念	93
二、PLC 的构成	94
(一) PLC 的硬件结构	94
(二) PLC 的软件系统	96
三、PLC 用户程序的表达方法	96
四、PLC 的工作过程	97
五、数控机床的控制对象	98
(一) PLC 在数控机床中的配置方式	99
(二) CNC 装置和机床输入/输出信号的处理	99
六、数控机床 PLC 形式	99
(一) 内装型 PLC	99
(二) 独立型 PLC	100
七、FANUC PLC 指令系统	101
(一) 基本指令	101
(二) 功能指令	102
(三) FANUC PLC 梯形图编制的一般规定	108
(四) FANUC PLC 的应用实例	108
第四章 数控加工工艺	110
第一节 数控加工工艺特点	110
一、概述	110
(一) 模具加工的基本技术特点	110
(二) 数控机床工艺特点分析	111
(三) 主要工艺措施	111
二、数控铣床的机床坐标系	112
三、数控铣床的加工特点	113
(一) 铣削加工类型	113
(二) 螺纹铣削加工	117
第二节 确定零件的安装方法及夹具方案	117
一、夹具、工件与机床工作台面的连接方式	118
二、零件的定位和夹紧	118
三、夹具的选择和使用	119
第三节 确定加工路线及切削参数	120

一、确定加工路线的基本原则·····	120
二、确定对刀点·····	121
三、确定走刀加工路线·····	122
四、切削用量的选用·····	124
(一) 影响切削用量的因素·····	124
(二) 切削参数选择的方法·····	125
(三) 选择切削用量·····	125
(四) 切削液的选用·····	125
第四节 数控机床刀具系统·····	126
一、加工中心刀柄·····	126
(一) 7:24 刀柄及拉钉规格·····	127
(二) 刀柄的类型·····	129
(三) 刀柄的选择·····	132
二、刀具及材料·····	133
(一) 刀具·····	133
(二) 刀具材料·····	135
三、刀具预调·····	137
第五章 数控铣床与加工中心的操作及编程 ·····	138
第一节 数控铣床与加工中心的基本操作·····	138
一、数控机床操作面板组成·····	138
(一) CNC 操作面板·····	138
(二) 机床外部操作面板·····	139
二、数控机床面板操作·····	139
(一) 方式选择开关 (MODE SELECT)·····	139
(二) 机床操作面板开关 (按钮)·····	141
三、数控系统面板主要功能及操作 (以 FANUC 为例)·····	145
(一) 功能键·····	145
(二) 一般操作键·····	145
(三) 面板操作·····	146
(四) 图形显示操作·····	150
第二节 数控加工程序编制原理·····	155
一、概述·····	155
(一) 数控编程的步骤·····	155
(二) 数控编程的方法·····	157
二、数控机床的有关功能·····	158
(一) 准备功能·····	158
(二) 辅助功能·····	159
(三) 进给功能 (F 指令)·····	161
(四) 主轴转速功能 (S 指令)·····	161

(五) 刀具功能 (T 指令)	161
三、数控机床的坐标系	162
(一) 数控机床坐标系的确定原则	162
(二) 机床坐标系	162
(三) 工件坐标系	163
(四) 局部坐标系	163
四、刀具补偿及测量	164
(一) 刀具长度补偿	164
(二) 刀具半径补偿	166
(三) 刀具半径补偿的目的	166
(四) 刀具半径补偿方法	166
第三节 手工编程	171
一、零件加工程序的组成	171
(一) 程序的开始部分	172
(二) 程序内容部分	172
(三) 程序的结束部分	172
二、程序的分类	172
(一) 主程序	172
(二) 子程序	172
三、手工编程及 G 指令格式	174
(一) 绝对/相对坐标编程 G90/G91	174
(二) 快速定位 G00	174
(三) 直线插补 G01	175
(四) 圆弧插补 G02, G03	175
(五) 暂停 G04	178
(六) 参考点指令 G27, G28 (G30), G29	178
(七) 进给功能控制 G 代码	179
(八) 主轴速度 G 代码	180
(九) 极坐标指令 G15, G16	180
(十) 比例缩放 G50, G51	182
(十一) 编程镜像指令 G50.1, G51.1	184
(十二) 坐标系旋转 G68, G69	184
(十三) 孔的固定循环加工功能指令	185
四、手工编程典型实例	191
第六章 模具的高速数控铣削加工	195
第一节 高速数控铣削加工技术	195
一、高速数控铣削加工的概念	195
(一) 高速数控铣削加工的产生和发展	195
(二) 高速铣削的定义	195

二、高速铣削及控制技术特点	195
(一) CNC 控制系统	195
(二) 高速主轴系统	196
(三) 刀柄系统	198
(四) 高速进给系统	199
三、高速机床机械结构特点	202
四、热变形控制系统	202
(一) 几何精度平衡补偿装置	202
(二) 自动恒温控制系统	202
第二节 高速铣削加工的刀具选用	202
一、高速铣削加工的技术特点	202
(一) 以铣代磨实现高精度铣削加工、缩短工艺流程	202
(二) 适合加工薄壁零件	203
(三) 适合硬铣削加工	203
(四) 适合复杂形状零件加工	203
二、高速加工切削技术要求	203
(一) 切削刀具的选择	203
(二) 刀柄的选择	205
三、冷却、润滑方式的选择	205
(一) 传统的润滑油和水基的冷却剂	205
(二) 油雾润滑	205
(三) 空气风冷	205
(四) 通过主轴和刀具中心的高压内冷	206
第三节 高速铣削加工在模具加工中的应用	206
一、高速冷硬铣削加工	206
二、减少或取代电火花机床 EDM	206
第四节 典型高速铣床介绍	207
一、机床外观	207
二、机床结构	207
三、主轴	208
四、工作台	208
五、自动换刀装置	209
六、进给系统	210
七、数控系统	210
八、机床规格	211

第七章 数控加工自动编程 (CAD/CAM) 技术 213

第一节 数控加工自动编程 (CAD/CAM) 基础	213
一、数控加工自动编程 (CAD/CAM) 的发展历史	213
二、CAD/CAM 类型简介	214

三、模具 CAD/CAM 的基本流程	215
第二节 模具 CAD 简介	218
第三节 模具数控加工自动编程系统的常用类型	220
第四节 数控加工刀路轨迹实践 CAM 系统——PowerMILL	221
一、CAM 系统——PowerMILL 界面与基本流程	221
二、自动编程的几个重要概念	222
三、加工刀路轨迹的生成	227
(一) 粗加工	227
(二) 残余量粗加工	230
(三) 精加工	230
四、数控加工刀路编辑	240
五、数控刀路的管理与后处理	246
六、DNC 通信	247
第五节 数控编程实例	251
第八章 数控机床的安装、调试及故障诊断与维修	255
第一节 数控机床的安装与调试	255
一、概述	255
(一) 安装调试的准备工作	255
(二) 安装调试的配合工作	255
(三) 数控机床的检测、验收	255
二、数控机床使用环境的要求	257
(一) 工作环境温度、相对湿度	257
(二) 远离粉尘和有腐蚀性气体的环境	257
(三) 交流电网电压和供电功率	258
(四) 可靠的接地线	258
(五) 占地面积和厂房高度	258
(六) 地基	258
(七) 压缩空气供给系统	258
三、机床的拆箱及就位	259
(一) 机床的搬运	259
(二) 数控机床开箱	259
四、机床安装	260
(一) 机床各部件组装	260
(二) 通电前需确认的事项	261
五、通电试车	262
六、机床功能的测试	262
(一) 机床空运行	262
(二) 功能检查	262
七、数控机床的验收	264

(一) 常规检查.....	264
(二) 几何精度检测.....	265
(三) 机床定位精度检测.....	267
(四) 数控机床切削精度检查.....	268
第二节 数控机床的维护保养、故障诊断与维修.....	270
一、数控机床维护保养、故障诊断与维修的特点.....	270
二、数控机床维护保养、故障诊断与维修的内容.....	271
(一) 每日应当进行的维护保养工作.....	271
(二) 定期应当进行的维护保养工作.....	273
(三) 油料物品的使用方法.....	273
三、数控机床常见故障的判断方法及维修.....	277
(一) 机械部分故障.....	277
(二) 硬件故障的检查与分析.....	278
(三) CNC 装置故障	279
四、使用 PLC 梯形图寻找故障点	281
(一) PLC 梯形图的特点介绍	281
(二) 应用 PLC 梯形图对常见故障判断和维修中的应用实例	281
主要参考文献.....	284

第一章 概 论

第一节 数控机床的基本知识

一、概述

现代数控机床在我国使用始于 20 世纪 60 年代,至今也只有近 50 年的历史。近 20 年来,数控机床得到了快速的发展,随着新世纪的到来,机械制造技术有了更深刻的变化和进步,社会对数控机床的需求日益增加,加工零件产品也呈现更加多样化和高精密的趋势;多品种、中小批量生产的比重明显增加,采用传统的普通加工设备已难以适应高效率、高质量、多样化的加工要求。一方面促使加工的大量前期准备工作与机械加工过程连为一体;另一方面,促使机械加工的全过程与柔性自动化水平不断提高,即提高了制造系统适应生产条件变化的能力。数控技术同时又是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)的技术基础之一,是机电一体化的重要组成部分。

数控加工是模具制造行业新的发展方向。对于现代模具制造业,市场要求必须在最短时间内完成新产品的开发和投产,为用户提供高精度模具。为了适应用户的这一要求,新的加工理念正在逐渐改变传统模具制造的工艺方式;高速、高效的铣削加工提高了模具制造的精度和效率。利用数控加工及模具计算机辅助制造等新技术,从而使模具加工技术进入以数控加工和模具计算机辅助制造为主的新阶段。

模具零件制造属于单件小批量生产方式,型腔、型芯往往比较复杂,难以在短时间内自动完成,制造质量也不易保证。在数控技术出现以前,各种零件的制造基本上由手动操作完成。此时零件一般由直线、圆弧等简单的几何元素构成。数控技术的产生和发展,为复杂曲线、曲面模具零件的单件小批量自动加工提供了极为有效的手段。

电子技术的飞速发展,促进了数控技术由硬件数控到计算机数控的发展,而计算机为更有效地使用数控技术也发挥了巨大的作用。由于采用了数控机床,模具零件的形状加工过程发生了很大的变化。例如模板的加工,过去采用手工划线、钻床钻孔、带锯去矩形孔废料、立铣加工型孔、手工攻螺纹等五道工序。改用数控机床后,则由数控机床定位钻孔,减少了手工划线工序,而且孔位精度有了提高。如果使用加工中心,则一次装夹可完成所有加工内容。由于减少了装夹和工序转移的等待时间,大幅度缩短了加工周期,同时也减少了多次装夹带来的孔位误差,提高了加工精度。

由于模具加工中引入了 CAD/CAM 等计算机系统,实施自动化加工,在加工过程中减少了人的干预。但是这些自动化设备的运转还是由人来设定加工条件和加工过程。因此在设定这些条件和过程时,不仅仅要求能完成零件加工,还应从加工质量、生产效率及生产成本等多方因素来考虑。设定加工条件和加工过程的人员,必须不断获得加工过程中的各种反馈信息,对加工条件和加工过程加以优化,才能得到质量、效率和成本均满意的结果。