

数字化加工技术

● 王春海 樊 锐 赵先仲 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

数字化加工技术

王春海 樊 锐 赵先仲 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

数字化加工技术/王春海, 樊锐, 赵先仲编著. —北
京: 化学工业出版社, 2003. 5
ISBN 7-5025-4389-9

I. 数… II. ①王…②樊…③赵… III. 数控机床
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 027227 号

数字化加工技术

王春海 樊 锐 赵先仲 编著

责任编辑: 邢 涛

责任校对: 李 林

封面设计: 蒋艳君

*

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) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 12¼ 字数 325 千字

2003 年 5 月第 1 版 2003 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4389-9/TP·324

定 价: 28.00 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

数控技术是生产自动化的基础。数控技术集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体，是现代制造技术的基础。它的广泛使用给机械制造业生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化。数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低和拥有量多少是衡量一个国家工业现代化的重要标志。机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。

事实上，在当今时代，任何自动化生产设备都与数控技术密切关联。从数控设备的特征来看，在其开发、生产、销售到使用与维护的过程中，都不可避免地涉及许多相关领域和交叉学科。因此，随着数控技术的发展，数控机床的普及率越来越高，在机械制造业得到了广泛的应用。学习、理解和掌握数控技术，是从事加工行业人士的必由之路。

为了普及和提高数控技术的应用水平，我们编写了本书。全书共分十章，在书中介绍了数控技术基本理论、数控车床加工技术、数控铣床加工技术、加工中心加工技术、电火花成型加工技术、电火花线切割加工技术、Master CAM 的数控车床、数控铣床与加工中心自动编程、数控刀具、数控机床的选择、验收与维护等内容。

本书的第三章、第九章由王春海编写，第一章、第八章由樊锐编写，第六章、第七章由赵先仲编写，第四章、第五章由张增量编写，第二章由姜伟编写，第十章由黄臻编写。张楠也参加了部分

工作。

由于作者水平有限，书中难免出现漏洞和错误，恳请读者批评指正。

编 者

2003 年 2 月

内 容 提 要

数控技术是生产自动化的基础，任何自动化生产设备都与数控技术密切关联。全书共分 10 章，在书中介绍了数控技术基本理论、数控车床加工、数控铣床加工、加工中心及工、电火花成型加工、电火花线切割加工、Master CAM 的数控加工中心自动编程、数控刀具、数控机床的验收与维护。

本书适合从事数控加工行业的工程技术人员参考。

目 录

第一章 数控技术与数控加工	1
第一节 数控技术与加工自动化	1
第二节 数控设备	3
一、数控设备的组成	4
二、数控设备的控制方式	5
第三节 数控加工的技术领域	9
一、数控机床	9
二、数控系统	10
三、伺服驱动系统	11
四、数控加工工艺	12
五、编程技术	14
六、数控技术在我国的发展	16
第二章 数控加工编程基础	18
第一节 概述	18
一、数控机床编程的目的与步骤	18
二、数控机床程序编制方法	20
第二节 代码与字符	22
一、字符与代码	22
二、ISO 代码	23
三、EIA 代码	26
四、EIA 和 ISO 代码的区别	28
第三节 数控机床的坐标系	28
一、坐标系及运动方向的规定	28
二、坐标轴的规定	29
三、典型数控机床的坐标简图	31
四、数控机床的坐标系	33
第四节 功能代码	37

一、字	37
二、顺序号字	38
三、准备功能字	38
四、尺寸字	41
五、进给功能字	41
六、主轴转速功能字	42
七、刀具功能字	42
八、辅助功能字	43
第五节 程序段与程序格式	45
一、程序段	45
二、程序段格式	45
三、常规加工程序的格式	46
四、主程序、子程序与用户宏程序	47
第三章 数控车削加工技术	49
第一节 数控车床的特点及功能	49
一、分类与结构特点	49
二、主要加工对象	51
第二节 数控车床的工艺装备	53
一、刀具	53
二、液压卡盘和液压尾座	54
三、数控车床的刀架	55
四、铣削动力头	55
第三节 零件图纸的数据处理	55
一、原点的选择	55
二、基点坐标的计算	56
三、节点坐标值计算	56
四、非圆曲线的逼近处理	57
五、刀具中心轨迹计算	57
六、辅助计算	57
第四节 数控车削加工工艺处理	58
一、确定工件的加工部位和具体内容	58
二、确定工件的装夹方式与设计夹具	59
三、确定加工方案	59

四、确定切削用量与进给量	64
第五节 数控车削加工程序编制	65
一、编程特点	65
二、编程坐标系的设定	66
三、常用编程指令的使用	66
四、车削加工循环	72
五、螺纹加工	87
六、孔加工固定循环	92
七、刀具补偿	95
八、车削加工编程实例	98
第四章 数控铣削加工技术	101
第一节 数控铣床的特点及功能	101
一、分类与结构特点	101
二、主要加工对象	103
第二节 数控铣床的工艺装备	105
一、刀具	105
二、夹具	107
第三节 零件图纸的数据处理	108
一、非圆曲线的数学处理	108
二、列表曲线的数学处理	113
三、曲面的数学处理	115
第四节 数控铣削加工工艺处理	117
一、选择并确定数控铣削加工部位及工序内容	117
二、零件图的工艺性分析	118
三、零件毛坯的工艺性分析	121
四、加工顺序的安排	122
五、加工路线的确定	123
六、加工参数的确定	125
第五节 数控铣削加工程序编制	127
一、基本编程功能指令	127
二、应用实例	139
第五章 加工中心加工技术	143
第一节 加工中心的特点及功能	143

一、加工中心的分类与结构特点	143
二、加工中心的功能	145
三、主要加工对象	149
第二节 加工中心的工艺处理	152
一、零件加工工艺可行性分析	152
二、零件的工艺设计	157
三、加工余量的确定	160
四、切削用量的确定	161
第三节 工件的定位及刀具的选择	162
一、定位基准的选择	162
二、零件的装夹与定位	164
三、加工刀具的选择	169
第四节 加工中心编程	172
一、孔加工固定循环指令	172
二、加工中心编程要点	180
三、加工中心编程实例	182
第六章 数控电火花成型加工技术	191
第一节 数控电火花成型加工机床的特点及功能	191
一、电火花加工的基本原理	191
二、电火花成型加工机床的组成	193
三、数控电火花成型加工的加工对象	200
第二节 数控电火花成型加工的工艺处理	201
一、过程参数与主要工艺指标	201
二、常用电极材料与电极设计	203
三、影响数控电火花成型加工表面质量的因素	213
四、影响数控电火花成型加工加工速度的因素	217
五、影响数控电火花成型加工加工精度的因素	220
第三节 数控电火花成型加工的数控编程	222
一、准备功能	222
二、M 代码、C 代码和 T 代码	226
三、R 转角功能	227
四、应用实例	227
第七章 数控电火花线切割技术	230

第一节 数控电火花线切割加工机床的特点及功能	230
一、数控电火花线切割加工原理	230
二、数控电火花线切割加工机床的分类	234
三、数控电火花线切割的加工对象	235
第二节 数控电火花线切割加工的工艺处理	235
一、影响数控电火花线切割加工切割速度的主要因素	235
二、影响数控电火花线切割加工切割精度的主要因素	238
三、影响数控电火花线切割加工表面质量的主要因素	239
第三节 数控电火花线切割加工的数控编程	240
一、准备功能	240
二、辅助功能	244
三、应用实例	245
四、上下异型曲面零件的线切割加工编程	247
第八章 数控加工刀具	248
第一节 数控加工对刀具的要求	248
第二节 数控刀具材料	250
第三节 数控刀具	252
一、数控刀具的形式	252
二、数控刀具的使用	253
三、数控刀具的编码	257
第四节 数控机床的工具系统	261
第五节 刀具的磨损及刃磨	265
一、刀具的磨损	265
二、刀具的刃磨	266
第九章 Master CAM 自动编程技术	275
第一节 Master CAM 的特点及功能	275
一、Master CAM 的特点	275
二、Master CAM 的运行环境	275
三、Master CAM9.0 的模块	276
四、Master CAM9.0 的启动与退出	277
五、Master CAM 的窗口界面	278
第二节 Master CAM 的车削编程	279
一、CAD 图形数据文件的读入	279

二、生成端面加工刀具路径	283
三、生成轮廓粗车加工刀具路径	286
四、生成精车加工刀具路径	290
五、切槽加工刀具路径	292
六、生成螺纹加工刀具路径	294
七、生成孔加工刀具路径	297
八、生成截断加工刀具路径	298
第三节 Master CAM 的平面铣削编程	302
一、外形铣削	303
二、挖槽加工	312
三、钻孔加工	321
第四节 Master CAM 的曲面铣削编程	328
一、Parallel 平行式曲面粗加工与精加工	330
二、Radial 放射状曲面粗加工与精加工	334
三、Flowline 流线式曲面粗加工与精加工	338
四、Counter 等高外式曲面粗加工与精加工	341
五、Pocket 挖槽式曲面粗加工	344
六、Scallop 环绕等距式曲面精加工	345
第十章 数控机床的选择、验收及维护	348
第一节 数控机床的选择	348
第二节 数控机床的安装及调试	353
第三节 数控机床的验收	357
一、开箱检验和外观检查	358
二、机床性能及数控功能的检验	359
三、机床几何精度检验	362
四、机床定位精度检验	363
五、机床切削精度检验	364
第四节 数控机床的日常保养	367
一、数控机床维修的基本概念	367
二、日常保养	368
三、数控机床的使用	370
参考文献	375

第一章 数控技术与数控加工

第一节 数控技术与加工自动化

生产的质量与效率是加工行业研究的永恒课题。

例如，航空航天等对产品质量要求极高的行业，限于现有的条件，往往以牺牲一定的加工效率来保证质量；而对于大批量生产的民用产品，又主要从如何提高效率的角度出发安排整个产品的设计和生产以降低成本。

纵观加工行业的发展历史和现状我们可以看到，人们总是在不断追求二者的统一。目前我们使用和看到的各种自动化生产设备（包括自动机床、生产线、数控机床、加工中心等），就是这个历程的具体物质体现。

图 1-1 是计算机集成制造发展过程图。

20 世纪 80 年代兴起的柔性制造系统（FMS: Flexible Manufacturing System），可以说是人们对于如何更加有效地利用这些物质基础的一种实践。它是一种着重解决多品种、中小批量零（部）件生产，实现短周期、高质量、低成本和高柔性的自动化制造系统。

随着计算机应用技术的发展和成熟，逐步形成设计、制造和管理的信息流计算机化、生产过程及其物流控制柔性自动化的整个制造工厂全部生产、经营活动的计算机集成制造系统（CIMS: Computer Integrated Manufacturing System）。为加工生产系统勾画了一个较为完美的构想。

FMS 是信息、计算机、自动化、管理等多门学科在机械加工领域内的综合运用，是 CIMS 的组成单元，也是实现制造工厂自动化（FA: Factory Automatization）的基础。它的出现，促进了生

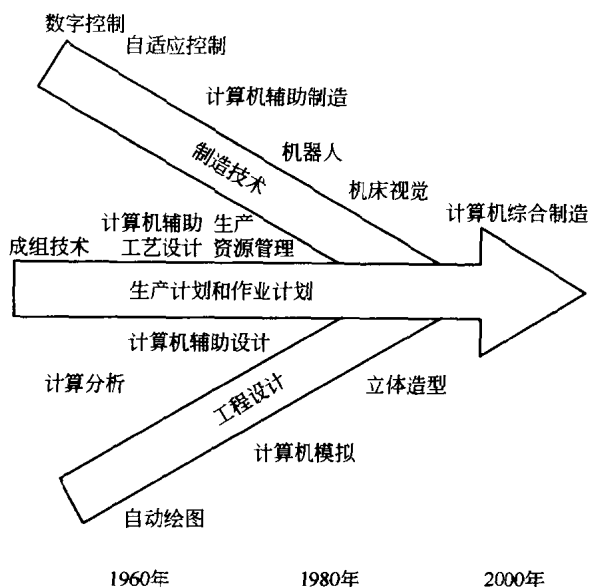


图 1-1 计算机集成制造发展过程图

产体系中技术方法和组织结构的深刻变革。

FMS 利用成组技术 (GT: Group Technology) 的概念, 不仅仅只限于对产品零件进行成组分类编码, 而且也扩展到了产品设计、成组工艺、成组装备、成组生产组织和计划管理、车间作业调度、车间工艺布局、原材料供应、工时定额、成组单元制造以及 FMS 制造领域中的一切方面。

FMS 一般由以下部分组成。

加工系统 包括数控加工中心、数控机床或其他数控设备。

物料系统 包括被加工零件、加工所需刀具、夹具等物料的存储、输送的自动化系统。

控制系统 由计算机、控制器、通信网络及其各相关软件组成。其主要任务是生成、传递、储存和控制生产作业计划、系统运行、故障监控和质量保证等信息。

FMS 是以数控机床、工业机器人和计算机为主体的硬设备,

按系统工程的原理把它们组织并运行起来，使一个生产线实现自动化。

与单机自动化相比，可以使得在制品（毛坯）存储、运输和周转等待的时间减少到最小程度，使单台加工设备利用率和生产效率大大提高，缩短生产周期，发挥到最大限度。与机械式自动生产系统相比，由于在 FMS 中零件传送、加工和测量工作都靠计算机软件控制，计算机软件可针对产品对象不同而改变，因此应变能力较强，特别适用于多品种、小批量的零件的生产。

从上面可以看到，数控技术是生产自动化的基础。数控技术集传统的机械制造技术、计算机技术、成组技术与现代控制技术、传感检测技术、信息处理技术、网络通讯技术、液压气动技术、光机电技术于一体，是现代制造技术的基础。它的广泛使用给机械制造业生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化。数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低和拥有量多少是衡量一个国家工业现代化的重要标志。机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。

事实上，在当今时代，任何自动化生产设备都与数控技术密切相关。从数控设备的特征来看，在其开发、生产、销售到使用与维护的过程中，都不可避免地涉及到许多相关领域和交叉学科。因此，学习、理解和掌握数控技术，是从事加工行业人士的必由之路。

第二节 数 控 设 备

数控技术是一种自动控制技术，在生产过程中应用数字程序实现对生产设备的自动控制和操纵运行。数字程序控制的生产设备简称数控设备。

目前，在生产过程中广为使用的数控设备有以下几种。

(1) 切削加工类 车床、铣床、钻床、镗床、加工中心、蒙皮铣床、下料铣床、磨床以及线切割机等。

(2) 钣金成形类 冲床、剪板机、弯管机、旋压机、滚弯机、压弯机、拉伸机、喷丸成形机等。

(3) 装配类 钻铆机等。

(4) 焊接类 点焊机、电弧焊机、电子束焊机等。

(5) 复合材料制造类 布料剪裁机、铺布机、布线机、绕线机等。

(6) 特种工艺类 电加工设备、激光加工设备、高压水射流切割机、强化、电镀、表面保护、热处理、喷漆、胶接等。

(7) 其他 精密绘图机、三坐标测量机、机械手、工业机器人、物料搬运和仓库管理等。

这些数控设备的各种操作和运动参数都是由专用的计算机（通称控制机）以数字量的形式进行控制的。在产品制造过程中，根据加工对象的要求，按控制机规定能够识别的指令和格式编制数控程序。这个过程称为“程编”。程编工作往往需要进行大量的计算工作，可借助计算机完成，对简单零件可以直接由人工计算进行。

完成数控程编后所产生的数控程序信息，可记录在介质（如穿孔带、磁盘或磁带等）上，也可直接送入数控设备的控制机以控制数控设备的运行，完成对产品的加工、搬运、传递、测量和检验等工作。

一、数控设备的组成

数控设备一般由输入装置、信息处理、伺服系统和设备本体等四个部分组成，如图 1-2 所示。

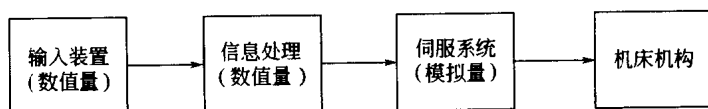


图 1-2 数控设备的组成

输入装置的作用是将数控程序信息通过传递介质送入专用的读数装置（光电输入机、磁带机、磁盘驱动器以及各种接口等）。

信息处理部分是数控设备的控制装置。它的作用是将输入装置

送来的数据和指令信息加以变换、运算和控制，然后输出控制机床运动的信息送给伺服驱动装置，以控制数控设备的动作（例如各坐标的运动位置及运动速度、主轴的启停及变速、冷却液通断、刀具更换、工件夹紧、排屑等）。数控装置的构成如图 1-3 所示。

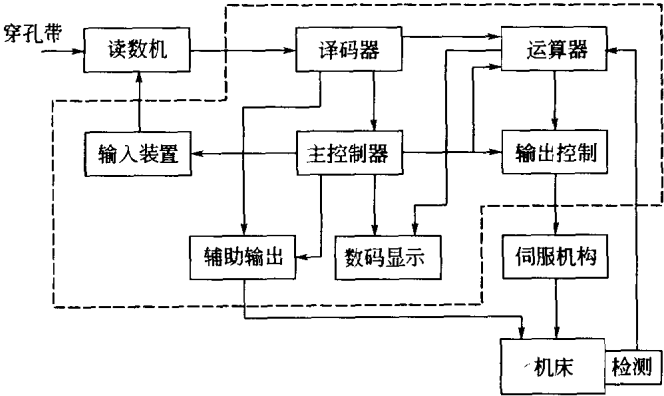


图 1-3 数控装置的构成

伺服驱动系统的作用是根据输出控制器分配的脉冲或模拟信息，通过专用的马达（电气的或液压的）及减速齿轮、滚珠丝杠等传动机构去拖动机床运动，运动的距离和速度分别正比于输出控制器发出的脉冲信息的数量和频率。这样，机床运动的距离和速度完全取决于控制信息给定的数字信息。

二、数控设备的控制方式

（一）伺服系统的驱动方式

按设备伺服系统的驱动方式可分为开环和闭环两种。

（1）开环方式 开环控制方式（见图 1-4）一般采用功率步进电机作驱

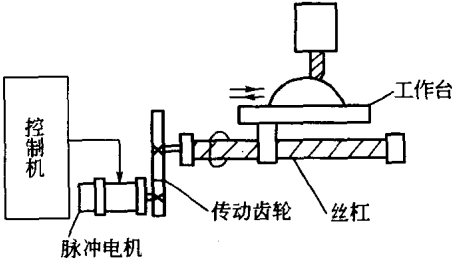


图 1-4 开环系统示意