

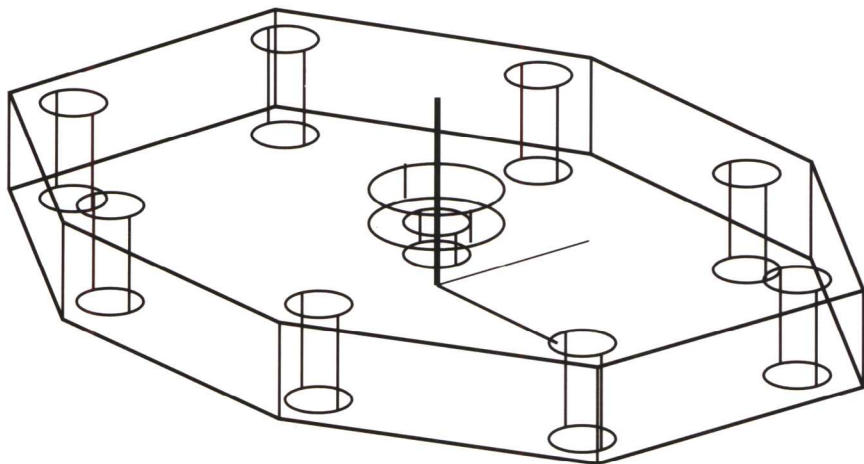
UG 机械设计实例与技巧丛书

# UG

## 数控编程实例与技巧

叶南海 主编

崔向阳 孙亚宁 翟娜 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

UG 机械设计实例与技巧丛书

# UG 数控编程实例与技巧

叶南海 主编  
崔向阳 孙亚宁 翟娜 等编著

国防工业出版社

·北京·

**图书在版编目(CIP)数据**

UG 数控编程实例与技巧 / 叶南海主编; 崔向阳等编著.  
北京: 国防工业出版社, 2005.7  
(UG 机械设计实例与技巧丛书)  
ISBN 7-118-03963-2

I. U... II. ①叶...②崔... III. 计算机辅助设计  
- 应用软件, UG IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 059194 号

**国防工业出版社** 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 22¼ 535 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 38.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

# 前 言

中国加入世贸组织以后,全球制造业逐步向我国转移,中国正逐渐变为“世界制造中心”。为了增强竞争能力,中国制造业开始广泛使用先进的数控技术。数控技术是先进制造技术的核心,是制造业实现自动化、网络化、柔性化、集成化的基础。数控装备的整体水平标志着一个国家工业现代化水平和综合国力的强弱。

随着计算机技术和机床制造业的不断发展,CAD/CAM 图形交互式自动编程的应用成为数控技术发展的新趋势。数控编程在 CAD/CAPP/CAM 系统中是最能明显发挥效益的环节之一,它有助于实现设计加工自动化、提高加工精度和加工质量、缩短产品研制周期等。但我国现在却严重短缺数控技术应用型人才,特别是能够使用面向制造业的高度集成化软件进行数控编程的应用型人才,这已经成为全社会普遍关注的热点问题。教育部、劳动与社会保障部等政府部门正在积极采取措施,加强数控技术应用型人才的培养。本书正是以高度集成化的 UG 软件为基础进行讲解的,旨在培养数控编程的应用型人才。

UG 是全球应用最普遍、最富竞争力的一流计算机辅助设计、辅助制造、辅助工程(CAD/CAM/CAE)的一体化软件系统之一,是目前市场上功能最极致的产品设计工具,广泛应用于机械、飞机、汽车、模具、化工等各个行业的产品设计、制造与分析。UG 软件的 CAM 模块向用户提供了当今世界上最好的 CAM 技术。利用它可针对任何加工任务生成优化而可用的加工路径,加工路径通过后置处理生成数控程序,将程序用于特定机床即可用来加工各种零件。UG 所支持的加工方法有平面铣、点位加工、线切割和薄片加工等。此外,其强大的后处理工具可实现与任何机床的接合,是一个高效的制造解决方案。

本书以 UG 的最新版本 UG NX 3.0 为例,介绍了使用 UG 进行数控编程的方法和技巧,但是由于 UG NX 系列软件(UG NX 1.0、UG NX 2.0 和 UG NX 3.0)的差别很小,使用方法基本类似,因此读者也完全可以使用 UG NX 1.0 和 UG NX 2.0 进行学习。

本书共分八章向读者介绍了 UG 数控编程技术的方法、实例与技巧。各章具体内容安排如下。

- 数控编程技术概述
- 数控编程的基本操作
- 数控加工应用基础
- 平面铣和腔型铣
- 固定轴曲面轮廓铣
- 点位加工
- 后置处理文件的制作
- 数控加工综合实例

#### IV

本书通过实例详细介绍了创建各种操作的具体方法。通过对这些实例的学习,读者可以了解创建各种操作方法与步骤,并掌握相关技巧。

本书的例子均可在 <http://interzym.nease.net/books/ugsk/index.htm> 免费下载。

本书由叶南海主编,参加本书编写工作的有崔向阳、孙亚宁、翟娜、李红运、王鹏、邓波、高宏伟、刘东、张雄明、潘海龙、张晖、徐震、于占军、何鑫、史明宇、严虎、魏永森、蔡益朝、张涛、汪文元等。由于时间仓促和编者水平有限,书中难免出现疏漏,还恳请读者不吝指教。

编者  
2005年4月

# 目 录

<b>第 1 章 数控加工技术概述</b> .....	1
1.1 数控加工技术的定义 .....	1
1.2 数控加工技术的历史 .....	1
1.3 数控加工技术的现状 .....	2
1.4 数控加工技术的发展趋势 .....	3
1.4.1 高速、高精加工技术 .....	4
1.4.2 5 轴联动加工和复合加工机床快速发展.....	4
1.4.3 智能化、开放式、网络化 .....	5
1.4.4 重视新技术标准、规范的建立 .....	5
<b>第 2 章 数控编程的基本操作</b> .....	7
2.1 数控编程简介 .....	7
2.2 数控编程的一般步骤 .....	7
2.3 UG 加工环境.....	8
2.3.1 进入 UG 加工环境 .....	8
2.3.2 “加工环境”对话框 .....	10
2.4 操作导航器 .....	12
2.5 创建程序.....	13
2.5.1 程序次序视图 .....	13
2.5.2 创建程序的方法 .....	14
2.5.3 观察操作导航器中的程序次序视图 .....	14
2.5.4 继承关系和状态标记 .....	15
2.6 创建加工刀具组 .....	16
2.6.1 加工刀具视图 .....	16
2.6.2 创建加工刀具组的方法 .....	16
2.6.3 观察操作导航器中的加工刀具视图 .....	17
2.7 创建几何体 .....	18
2.7.1 几何体视图 .....	18
2.7.2 创建几何体的方法 .....	18
2.7.3 观察操作导航器中的几何体视图 .....	19
2.8 创建加工方法 .....	19
2.8.1 加工方法视图 .....	19
2.8.2 加工方法的创建 .....	20

2.8.3	观察操作导航器中的加工方法视图 .....	21
2.9	创建操作 .....	21
2.9.1	“创建操作”对话框 .....	21
2.9.2	创建操作的方法 .....	23
2.10	创建操作实例 .....	24
2.10.1	零件模型的创建操作过程 .....	24
2.10.2	观察操作导航器中的四个视图 .....	27
2.11	CLSIF文件和后置处理 .....	28
<b>第3章</b>	<b>数控加工应用基础 .....</b>	<b>30</b>
3.1	数控机床 .....	30
3.1.1	数控机床的组成 .....	30
3.1.2	数控机床的特点 .....	30
3.1.3	数控铣床和加工中心 .....	31
3.2	数控机床的坐标系统 .....	32
3.2.1	坐标系 .....	33
3.2.2	坐标轴及其运动方向 .....	33
3.2.3	各种坐标系 .....	34
3.2.4	各种坐标原点 .....	34
3.2.5	原点偏移 .....	35
3.3	刀具补偿 .....	35
3.3.1	长度补偿 .....	35
3.3.2	半径补偿 .....	36
3.4	加工刀具 .....	37
3.4.1	刀具材料 .....	37
3.4.2	刀具种类 .....	40
3.4.3	刀具库 .....	41
3.4.4	刀柄 .....	41
3.4.5	刀具选择 .....	42
3.5	切削用量的确定 .....	44
3.5.1	主轴转速的确定 .....	44
3.5.2	进给速度的确定 .....	45
3.5.3	背吃刀量的确定 .....	45
3.6	结构工艺性 .....	45
3.6.1	零件结构的工艺性 .....	45
3.6.2	毛坯结构的工艺性 .....	46
3.7	UG主要铣加工类型 .....	47
3.8	指定刀具的两种方法 .....	48
3.8.1	刀具参数的几个概念 .....	48
3.8.2	刀具参数的设置 .....	49

3.8.3	创建孔加工刀具 .....	57
3.8.4	从刀库中取刀 .....	57
3.9	创建几何体 .....	61
3.9.1	创建坐标系 .....	61
3.9.2	创建铣削几何 .....	64
3.9.3	创建铣削边界 .....	69
3.9.4	编辑铣削边界 .....	74
3.10	加工方法的创建 .....	75
3.10.1	设置加工余量、公差和切削方式 .....	76
3.10.2	设置进给速度 .....	76
3.10.3	设置刀具轨迹显示颜色 .....	78
3.10.4	设置刀具轨迹显示形式 .....	79
3.11	刀具轨迹功能 .....	82
3.11.1	生成刀具轨迹 .....	83
3.11.2	回放刀具轨迹 .....	85
3.11.3	验证刀具轨迹 .....	85
3.11.4	列表刀具轨迹 .....	94
3.12	创建 CLSF .....	94
3.12.1	CLSF 概述 .....	94
3.12.2	创建 CLSF 的方法 .....	96
3.12.3	创建 CLSF 实例 .....	97
3.13	输出车间工艺文件 .....	98
3.13.1	CLSF 概述 .....	98
3.13.2	输出车间工艺文件的方法 .....	99
<b>第 4 章</b>	<b>平面铣和型腔铣 .....</b>	<b>101</b>
4.1	平面铣和型腔铣概述 .....	101
4.1.1	平面铣概述 .....	101
4.1.2	型腔铣概述 .....	101
4.2	平面铣和型腔铣的基础知识 .....	102
4.2.1	孤岛 .....	102
4.2.2	切削层 .....	102
4.2.3	边界 .....	103
4.2.4	切削区域 .....	103
4.2.5	底平面 .....	105
4.2.6	顺铣和逆铣 .....	106
4.3	平面铣操作的创建方法 .....	106
4.3.1	在操作导航器中创建节点 .....	106
4.3.2	在“创建操作”对话框中设置参数 .....	107
4.4	切削方式 .....	113



4.4.1	往复式切削(Zig-Zag)	114
4.4.2	单向切削(Zig)	115
4.4.3	沿轮廓的单向切削(Zig With Contour)	116
4.4.4	沿外轮廓切削(Follow Periphery)	116
4.4.5	沿零件切削(Follow Part)	118
4.4.6	摆线式零件切削	120
4.4.7	轮廓切削(Profile)	121
4.4.8	标准驱动铣(Standard Drive)	122
4.5	几何体	122
4.5.1	平面铣的几何体	122
4.5.2	创建永久边界	124
4.6	设置用户参数	133
4.6.1	设置步进	134
4.6.2	附加刀路	138
4.7	控制点	138
4.7.1	预钻孔进刀点	139
4.7.2	切削区域起点	141
4.8	进刀/退刀	143
4.8.1	方法	143
4.8.2	自动	151
4.9	平面铣的切削参数与切削深度	153
4.9.1	切削参数	153
4.9.2	切削深度	156
4.10	拐角与避让	157
4.10.1	拐角	157
4.10.2	避让	159
4.11	进给率和机床控制	162
4.11.1	进给率	162
4.11.2	机床控制	163
4.12	平面铣操作实例	167
4.12.1	零件模型及其加工工艺的分析	167
4.12.2	零件的粗加工	168
4.12.3	零件的精加工	172
4.13	型腔铣操作的创建方法	175
4.13.1	在操作对话框中设置参数法	175
4.13.2	型腔铣与平面铣的异同点	177
4.13.3	型腔铣的切削层设置	178
4.14	型腔铣操作实例	180
4.14.1	零件模型和加工工艺	180

4.14.2	零件的粗铣加工过程 .....	181
<b>第5章</b>	<b>固定轴曲面轮廓铣 .....</b>	<b>187</b>
5.1	固定轴曲面轮廓铣概述 .....	187
5.1.1	固定轴曲面轮廓铣特点 .....	187
5.1.2	固定轴曲面轮廓铣的基础知识 .....	187
5.2	固定轴曲面轮廓铣操作的创建方法 .....	188
5.2.1	初始化加工环境 .....	188
5.2.2	打开创建操作对话框 .....	189
5.2.3	打开“FIXDE_CONTOUR”对话框 .....	190
5.3	驱动方式 .....	192
5.3.1	曲线/点驱动方式 .....	193
5.3.2	螺旋驱动方式 .....	198
5.3.3	边界驱动方式 .....	199
5.3.4	区域铣削驱动方式 .....	209
5.3.5	曲面区域驱动方式 .....	211
5.3.6	刀轨驱动方式 .....	219
5.3.7	径向切削驱动方式 .....	220
5.3.8	清根驱动方式(Flow Cut) .....	224
5.4	投影矢量 .....	228
5.4.1	“投影矢量”选项 .....	228
5.4.2	指定矢量 .....	229
5.4.3	刀轴 .....	229
5.4.4	离开点 .....	229
5.4.5	接近点 .....	229
5.4.6	离开直线 .....	229
5.4.7	接近直线 .....	230
5.4.8	垂直于驱动 .....	230
5.4.9	Swarf Ruling .....	231
5.5	相关参数 .....	231
5.5.1	切削参数 .....	231
5.5.2	非切削运动 .....	233
5.6	固定轴曲面轮廓铣操作实例 .....	242
5.6.1	准备工作 .....	242
5.6.2	零件的半精加工 .....	243
5.6.3	零件的精加工 .....	247
<b>第6章</b>	<b>点位加工 .....</b>	<b>251</b>
6.1	点位加工概述 .....	251
6.1.1	点位加工的作用 .....	251
6.1.2	点位加工的特点 .....	251

6.1.3	点位加工的过程 .....	252
6.2	点位加工操作的创建方法 .....	252
6.2.1	初始化加工环境 .....	252
6.2.2	打开创建操作对话框 .....	253
6.2.3	打开“DRILLING”对话框 .....	254
6.3	点位加工几何体 .....	256
6.3.1	定义加工位置 .....	257
6.3.2	定义工件表面 .....	267
6.3.3	定义加工底面 .....	269
6.4	循环方式 .....	269
6.4.1	无循环 .....	269
6.4.2	啄钻和断屑钻 .....	270
6.4.3	标准文本 .....	270
6.4.4	标准钻 .....	271
6.4.5	标准攻丝 .....	272
6.4.6	标准镗 .....	273
6.5	循环参数组 .....	274
6.5.1	循环参数组概述 .....	274
6.5.2	循环参数对话框 .....	274
6.5.3	设置循环参数 .....	275
6.6	其他参数 .....	280
6.6.1	最小距离和深度偏置 .....	280
6.6.2	避让、进给率和机床 .....	280
6.7	点位加工操作实例 .....	280
6.7.1	分析零件模型的加工工艺 .....	280
6.7.2	准备工作 .....	281
6.7.3	钻削 10mm 孔 .....	282
6.7.4	钻削 20mm 孔 .....	286
<b>第 7 章</b>	<b>后置处理文件的制作 .....</b>	<b>290</b>
7.1	后置处理概述 .....	290
7.1.1	后置处理的定义 .....	290
7.1.2	后置处理的优点 .....	290
7.1.3	后置处理器 .....	291
7.2	图形后置处理器及其后置处理过程 .....	291
7.2.1	图形后置处理器 .....	291
7.2.2	图形后置处理器的处理过程 .....	291
7.3	用图形后置处理器进行后置处理的方法 .....	291
7.3.1	在加工环境中进行后置处理 .....	292
7.3.2	在加工环境外进行后置处理 .....	297

7.3.3	GPM 后置处理练习 .....	300
7.4	UG 后置处理器及其后置处理过程 .....	304
7.4.1	UG 后置处理器 .....	304
7.4.2	UG 后置处理器的处理过程 .....	305
7.5	用 UG 后置处理器进行后置处理的方法 .....	305
7.5.1	生成事件管理器文件和定义文件 .....	305
7.5.2	添加后置处理文件 .....	311
7.5.3	在加工环境中进行后置处理 .....	312
7.5.4	在加工环境外进行后置处理 .....	313
7.5.5	UG/Post 后置处理练习 .....	314
7.5.6	GPM 和 UG/Post 制作后置处理文件的比较 .....	317
<b>第 8 章</b>	<b>数控加工综合实例 .....</b>	<b>318</b>
8.1	零件的加工工艺 .....	318
8.1.1	零件模型 .....	318
8.1.2	加工工艺的分析 .....	319
8.2	准备工作 .....	320
8.2.1	初始化加工环境 .....	320
8.2.2	创建加工刀具 .....	320
8.3	零件的铣削加工 .....	324
8.3.1	零件上平面的铣削加工 .....	324
8.3.2	零件最大外轮廓的铣削加工 .....	331
8.4	零件的孔加工 .....	334
8.4.1	点位 .....	334
8.4.2	钻 8 个直径为 5.5mm 的孔 .....	336
8.4.3	钻 4 个直径为 6.5mm 的孔 .....	338
8.5	零件的挖槽 .....	340

# 第 1 章 数控加工技术概述

本章将对数控加工技术的定义、历史、现状和发展趋势进行简要的介绍。

## 1.1 数控加工技术的定义

一般来说,计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)包括计算机辅助生产计划、计算机辅助工艺过程设计、计算机数控编程、计算机控制加工过程等内容,而其中的数控加工编程则是计算机辅助制造(CAM)的关键内容。所谓数控加工技术,主要是指用记录在媒体上的数字信息对专用机床实施控制,使其自动完成规定加工任务的一门编程技术。运用数控加工可以保证产品达到极高的加工精度和稳定的加工质量;操作过程可以实现自动化;生产准备周期短;可以大量节省专用工艺设备,适应产品快速更新换代的需要。它与 CAD 紧密衔接,可以直接从产品的数字定义产生加工指令,从而保证零件具有精确的协调和互换性;产品最后用坐标测量机检验,可以严格控制外形和尺寸精度。零件形状越复杂,加工精度越高,设计更改越频繁,生产批量越小,数控加工的优越性就越容易得到发挥。例如:在卷烟机械行业新产品研发过程中,需要经过无数次的设计、优化与试制,最后才能获得成功,这些都离不开数控加工编程技术。数控加工编程技术在现代机械产品生产中占有举足轻重的地位,得到了广泛的应用。

数控加工是依靠程序来控制数控专用机床的加工过程的,因此数控加工程序是十分重要的环节,必须认真对待。一个理想的数控加工程序不仅能保证加工出符合设计要求的合格零件,同时也可使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥以及安全可靠地工作。

本书将从下一章开始,结合具体实例详细介绍数控加工技术的思想、方法和技巧,使读者能够在最短的时间内掌握数控加工编程的技能,编制程序加工出合格的零件。

在此之前,本书将首先介绍数控技术的发展历程,以及国内外数控技术的发展现状和今后数控技术的发展趋势。对这些知识的了解,将有助于加深对数控加工编程技术的理解和认识。

## 1.2 数控加工技术的历史

数控加工编程的结果是通过数控机床来执行,从而完成产品的加工制造过程。数控加工编程技术的发展历程与其专用的数控机床是紧密联系在一起,同步发展的。

从 1952 年美国麻省理工学院研制出第一台试验性数控系统,到现在已经有 50 多年的历史了。数控系统由当初的电子管式起步,经历了如下几个发展阶段。

分立式晶体管式→小规模集成电路式→大规模集成电路式→小型计算机式→超大规模集成电路→微机式的数控系统。

从 20 世纪 80 年代开始,数控系统的发展开始加速,其总体发展趋势是:数控装置由 NC 向

CNC 发展;广泛采用 32 位 CPU 组成多微处理器系统;提高系统的集成度,缩小体积,采用模块化结构,便于裁剪、扩展和功能升级,满足不同类型数控机床的需要;驱动装置向交流、数字化方向发展;CNC 装置向人工智能化方向发展;采用新型的自动编程系统;增强通信功能;数控系统可靠性不断提高。总之,数控机床技术不断发展,功能越来越完善,使用越来越方便,可靠性越来越高,性能价格比也越来越高。到 1990 年,全世界数控系统专业生产厂家年产数控系统约 13 万台套。

进入 20 世纪 90 年代以来,计算机技术的飞速发展,推动数控机床技术更快的更新换代。世界上许多数控系统生产厂家利用 PC 机丰富的软硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统。开放式体系结构使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性,并向智能化、网络化方向大大发展。近几年许多国家纷纷研究开发这种系统,如美国科学制造中心(NCMS)与空军共同领导的“下一代工作站/机床控制器体系结构”NGC,欧共体的“自动化系统中开放式体系结构”OSACA,日本的 OSEC 计划等。

数控技术的开发研究成果已经开始得到应用,例如 Cincinnati - Milacron 公司从 1995 年开始在其生产的加工中心、数控铣床、数控车床等产品中采用了开放式体系结构的 A2100 系统。开放式体系结构可以大量采用通用微机的先进技术,如多媒体技术,实现声控自动编程、图形扫描自动编程等。数控系统继续向高集成度方向发展,每个芯片上可以集成更多个晶体管,使系统体积更小,更加小型化、微型化,可靠性大大提高。利用多 CPU 的优势,实现故障自动排除,增强通信功能,提高进线、联网能力。开放式体系结构的新一代数控系统,其硬件、软件和总线规范都是对外开放的,由于有充足的软、硬件资源可供利用,不仅使数控系统制造商和用户进行的系统集成得到有力的支持,而且也为用户的二次开发带来极大方便,促进了数控系统多档次、多品种的开发和广泛应用,既可通过升档或剪裁构成各种档次的数控系统,又可通过扩展构成不同类型数控机床的数控系统,开发生产周期大大缩短。这种数控系统可随 CPU 升级而升级,结构上不需变动。

数控系统在控制性能上向智能化发展。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化调整参数。直线电机驱动系统已实用化。

总之,新一代数控系统技术水平大大提高,促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展,使柔性自动化加工技术水平不断提高。

### 1.3 数控加工技术的现状

随着制造业的发展,中小批量生产的趋势日益增强,对数控机床的柔性和通用性提出了更高的要求,希望市场能提供不同加工需求、迅速高效、低成本地构筑面向用户的控制系统,并大幅度地降低维护和培训成本,同时还要求新一代数控系统具有方便的网络功能,以适应未来车间面向任务和定单的生产组织和管理模式。为此,近 10 年来,随着计算机技术的飞速发展,各种不同层次的开放式数控系统应运而生,发展很快。目前正朝标准化开放体系结构的方向

前进。就结构形式而言,当今世界上的数控系统大致可分为如下4种类型。

(1) 传统数控系统。例如 FANUC 0 系统、MITSUBISHI M50 系统、Siemens 810 系统等。这是一种专用的封闭体系结构的数控系统。尽管也可以使用人机界面,但是必须使用专门的开发工具(如 Siemens 的 WS800A),耗费较多的人力,而对它的功能扩展、改变和维修,都必须求助于系统供应商。目前,这类系统还是占领了制造业的大部分市场。但由于开放体系结构数控系统的发展,传统数控系统的市场正在受到挑战,已逐渐减小。

(2) “PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统。如 FANUC18i、16i 系统、Siemens 840D 系统、Num1060 系统、AB 9/360 等数控系统。这是由于一些数控系统制造商不愿放弃多年来积累的数控软件技术,又想利用计算机丰富的软件资源而开发的产品。然而,尽管它也具有一定的开放性,但由于它的 NC 部分仍然是传统的数控系统,其体系结构还是不开放的。因此,用户无法介入数控系统的核心。这类系统结构复杂、功能强大,但价格昂贵。

(3) “NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统。它由开放体系结构运动控制卡 + PC 机构成。这种运动控制卡通常选用高速 DSP 作为 CPU,具有很强的运动控制和 PLC 控制能力。它本身就是一个数控系统,可以单独使用。它开放的函数库供用户在 WINDOWS 平台下自行开发构造所需的控制系统。因而这种开放结构运动控制卡被广泛应用于制造业自动化控制各个领域。如美国 Delta Tau 公司用 PMAC 多轴运动控制卡构造的 PMAC - NC 数控系统、日本 MAZAK 公司用三菱电机的 MELDASMAGIC 64 构造的 MAZATROL 640 CNC 等。

(4) SOFT 型开放式数控系统。这是一种最新开放体系结构的数控系统。它提供给用户最大的选择和灵活性,它的 CNC 软件全部装在计算机中,而硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口。就像计算机中可以安装各种品牌的声卡、CD - ROM 和相应的驱动程序一样。用户可以在 WINDOWS NT 平台上,利用开放的 CNC 内核,开发所需的各种功能,构成各种类型的高性能数控系统。与前几种数控系统相比,SOFT 型开放式数控系统具有最高的性能价格比,因而最有生命力。其典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC、德国 Power Automation 公司的 PA8000 NT 等。

我国的数控技术经过近 20 年的发展,基本上掌握了这一领域的关键技术,建立了数控开发生产基地,培养了一批数控人才,初步形成了自己的数控产业。“八五”期间开发的成果华中 I 号、中华 I 号、航天 I 号和蓝天 I 号 4 种基本系统建立了具有中国自主知识产权的数控技术平台。具有中国特色的经济型数控系统经过这些年来的发展,有了较大的改观。产品的性能和可靠性有了较大的提高,它们逐渐被用户认可,在市场上站住了脚。如上海开通数控有限公司的 KT 系列数控系统和步进驱动系统、北京凯恩帝数控技术有限公司的 KND 系列数控系统、广州数控设备厂的 GSK 系列数控系统等。这些产品的共同特点是数控功能较齐全,价格低,可靠性较好。

## 1.4 数控加工技术的发展趋势

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,对国计民生的一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用,因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。从目前世界上数控技术及其装备发展的趋势来看,其主要研究热点有以下几个方面。

### 1.4.1 高速、高精加工技术

效率、质量是先进制造技术的主体。高速、高精加工技术可极大地提高效率,提高产品的质量和档次,缩短生产周期和提高市场竞争能力。为此日本先端技术研究会将其列为5大现代制造技术之一,国际生产工程学会(CIRP)将其确定为21世纪的中心研究方向之一。

在轿车工业领域,年产30万辆的生产节拍是40秒/辆,而且多品种加工是轿车装备必须解决的重点问题之一;在航空和航天工业领域,其加工的零部件多为薄壁和薄筋,刚度很差,材料为铝或铝合金,只有在高切削速度和切削力很小的情况下,才能对这些筋、壁进行加工。近来采用大型整体铝合金坯料“掏空”的方法来制造机翼、机身等大型零件来替代多个零件通过众多的铆钉、螺钉和其他联结方式拼装,使构件的强度、刚度和可靠性得到提高。这些都对加工装备提出了高速、高精和高柔性的要求。

从EMO2001展会情况来看,高速加工中心进给速度可达80m/min,甚至更高,空运行速度可达100m/min左右。目前世界上许多汽车厂,包括我国的上海通用汽车公司,已经采用以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。美国CINCINNATI公司的HyperMach机床进给速度最大达60m/min,快速为100m/min,加速度达2g,主轴转速已达60000r/min。加工一薄壁飞机零件,只用30min,而同样的零件在一般高速铣床加工需3h,在普通铣床加工需8h;德国DMG公司的双主轴车床的主轴速度及加速度分别达12000r/min和1g。

在加工精度方面,近10年来,普通级数控机床的加工精度已由 $10\mu\text{m}$ 提高到 $5\mu\text{m}$ ,精密级加工中心则从 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ ,提高到 $1\mu\text{m} \sim 1.5\mu\text{m}$ ,并且超精密加工精度已开始进入纳米级( $0.01\mu\text{m}$ )。

在可靠性方面,国外数控装置的MTBF值已达6000h以上,伺服系统的MTBF值达到30000h以上,表现出非常高的可靠性。

为了实现高速、高精加工,与之配套的功能部件如电主轴、直线电机得到了快速的发展,应用领域进一步扩大。

### 1.4.2 5轴联动加工和复合加工机床快速发展

采用5轴联动对三维曲面零件的加工,可用刀具最佳几何形状进行切削,不仅粗糙度低,而且效率也大幅度提高。一般认为,1台5轴联动机床的效率可以等于2台3轴联动机床,特别是使用立方氮化硼等超硬材料铣刀进行高速铣削淬硬钢零件时,5轴联动加工可比3轴联动加工发挥更高的效益。但过去因5轴联动数控系统、主机结构复杂等原因,其价格要比3轴联动数控机床高出数倍,加之编程技术难度较大,制约了5轴联动机床的发展。

当前由于电主轴的出现,使得实现5轴联动加工的复合主轴头结构大为简化,其制造难度和成本大幅度降低,数控系统的价格差距缩小。因此促进了复合主轴头类型5轴联动机床和复合加工机床(含5面加工机床)的发展。

在EMO2001展会上,新日本工机的5面加工机床采用复合主轴头,可实现4个垂直平面的加工和任意角度的加工,使得5面加工和5轴加工可在同一台机床上实现,还可实现倾斜面和倒锥孔的加工。德国DMG公司展出DMUVoution系列加工中心,可在一次装夹下5面加工和5轴联动加工,可由CNC系统控制或CAD/CAM直接或间接控制。



### 1.4.3 智能化、开放式、网络化

21 世纪的数控装备将是具有一定智能化的系统,智能化的内容包括在数控技术系统中的各个方面:为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程的自适应控制,工艺参数自动生成;为提高驱动性能及使用连接方便的智能化,如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等;简化编程、简化操作方面的智能化,如智能化的自动编程、智能化的人机界面等;还有智能诊断、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

为解决传统的数控技术系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题,目前许多国家对开放式数控技术系统进行研究,如美国的 NGC(The Next Generation Work-Station/Machine Control)、欧共体的 OSACA(Open System Architecture for Control within Automation Systems)、日本的 OSEC(Open System Environment for Controller)以及中国的 ONC(Open Numerical Control System)等。数控技术系统开放化已经成为数控技术系统发展的未来之路。所谓开放式数控技术系统就是数控技术系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),形成系列化,并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

网络化数控装备是近两年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求,也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近两年推出了相关的新概念和样机,例如在 EMO2001 展中日本山崎马扎克(Mazak)公司展出的“Cyber Production Center”(智能生产控制中心,简称 CPC)、日本大隈(Okuma)机床公司展出的“IT plaza”(信息技术广场,简称 IT 广场)、德国西门子(Siemens)公司展出的 Open Manufacturing Environment(开放制造环境,简称 OME)等,都反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

### 1.4.4 重视新技术标准、规范的建立

#### 1. 关于数控系统设计开发规范

如前所述,开放式数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性,美国、欧共体和日本等国纷纷实施战略发展计划,并进行开放式体系结构数控系统规范(OMAC、OSACA、OSEC)的研究和制定,世界 3 个最大的经济体在短期内进行了几乎相同的科学计划和规范的制定,预示了数控技术的一个新的变革时期的来临。我国在 2000 年也开始进行本国的 ONC 数控系统的规范框架的研究和制定。

#### 2. 关于数控标准

数控标准是制造业信息化发展的一种趋势。数控技术诞生后的 50 年间的信息交换都是基于 ISO6983 标准,即采用 G、M 代码描述如何加工,其本质特征是面向加工过程,显然已经越来越不能满足现代数控技术高速发展的需要。为此,国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO14649(STEP-NC),其目的是提供一种不依赖于具体系统的中性机制,能够描述产品整个生命周期内的统一数据模型,从而实现整个制造过程,乃至各个工业领域产品信息的标准化。