

实用数控技术丛书

数控加工综合实训

张超英 罗学科 主编



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

实用数控技术丛书

数控加工综合实训

张超英 罗学科 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

数控加工综合实训/张超英, 罗学科主编. —北京:
化学工业出版社, 2003. 6
(实用数控技术丛书)
ISBN 7-5025-4379-1

I. 数… II. ①张…②罗… III. 数控机床-加工
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 021345 号

实用数控技术丛书
数控加工综合实训

张超英 罗学科 主编
责任编辑: 任文斗
文字编辑: 韩庆利
责任校对: 陈 静
封面设计: 蒋艳君

*

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
三河市前程装订厂装订
开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 400 千字
2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-4379-1/TP·323
定 价: 33.00 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

实用数控技术丛书

编写委员会

主 任：罗学科

副主任：张超英 徐宏海

委 员：（按姓氏笔画排序）

马天颖	王风霞	王孝忠	牛小铁	朱运利
刘 瑛	李 凯	李跃中	余圣梅	张超英
陈晓光	罗学科	周国烛	郑 青	郑张龙
赵玉侠	徐宏海	高 屏	高德文	阎红娟
谢富春	魏晓东			

序

机械制造业是国民经济的支柱产业。据统计,美国 68% 的社会财富来源于制造业,日本国民总产值的 49% 是由制造业提供的,我国的制造业在工业总产值中也占有 40% 的比例。可以说,没有发达的制造业,就不可能有国家的真正繁荣和富强。而机械制造业的发展规模和水平,则是反映国民经济实力和科学技术水平的重要标志之一。提高加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更换产品,是机械制造业竞争和发展的基础,也是机械制造业技术水平的标志。

20 世纪 50 年代初第一台数控机床的出现,使制造技术的发展出现了日新月异的局面。特别是近 20 年来,随着计算机技术、信息技术和微电子技术等高新技术的发展,制造业也发生了革命性的变化。数控技术在现代企业的大量应用,使制造技术正朝着数字化的方向迈进,出现了以信息驱动的现代制造技术,其核心就是数控加工设备替代了传统的加工设备。与此同时,数控技术正在朝着高精度、高速度、高柔性、高可靠性以及复合化(工序复合化,功能复合化)的方向发展。这一领域的研究是在当前高新技术不断发展的背景下进行的,涉及许多相关领域、交叉学科。当前,在人才需求方面,除需要具有数控技术基本知识和能力的高素质人才,促进研究与开发工作的新突破外,还急需大批数控技术应用型人才,即数控编程、数控设备操作及其维修人员。而几乎大部分制造企业在这方面的人才严重不足,特别是北京、上海和南方较发达地区,对数控应用型人才更是求贤若渴,许多企业纷纷用高薪聘请。为了培养国内急需的数控应用人才,各高等院校、职业技术学院纷纷举办高职层次的数控类专业。然而,到目前为止还缺乏适应这类学生使用的、针对数控技术教育的系列教材和适应企业培养数控应用人才的系列参考书,《实用数控技术丛书》就是为此目的编写的。

《实用数控技术丛书》一套共 6 册,近 200 万字,内容涉及数控技术从理论到实际加工操作的各个环节。其中,《数控原理与数控机床》讲述数控技术的基本原理和数控机床的结构;《数控编程技术》详细地讲述各类数控机床和加工中心的编程原理和手工编程方法;《数控加工工艺学》则重点讲述在数控机床的应用中涉及的工艺问题,包括数控设备用刀具、夹具等工艺装备的选择和使用;《CAD/CAM 与数控自动编程技术》讲述目前大量使用的 CAD/CAM 技术和数控自动编程技术,并结合市场上常用的 MASTER CAM、CAXA 等专业软件,给出了大量的典型实例;《数控技术英语》是本专业的专业英语教材,在编写上考虑了数控专业的特点,并注意使用者的英语水平;《数控加工综合实训》是配合实践教学使用的教材,重点突出系统性、实用性和实践性的特点。

《实用数控技术丛书》既参考了国内外相关领域的书籍和资料,也融会了作者们长期以来的教学实践和研究心得,特别是北方工业大学机电中心 5 年来在国家级高职数控技术专业教学改革试点专业中的教学经验和教训。它的出版对推动机械制造企业采用新的数控技术、改造和提升传统产业将会产生积极的影响。

《实用数控技术丛书》立足于应用，面向大专院校、高职学校师生和工程技术人员。在内容组织和编排上从理论到实践、由浅入深、图文并茂、通俗易懂。丛书特别强调实践，书中的大量实例来自生产实际和教学实践。丛书不但为高职数控类专业提供了完备的系列教材，也为企业培训数控技术应用人才提供了参考书籍，对相关工程技术人员也是一套很有益的参考书。

工学博士、机械工程教授 罗学科

2003年3月于北京

前 言

制造自动化技术是先进制造技术中的重要组成部分,其核心技术是数控技术。数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。它的出现及所带来的巨大效益,已引起了世界各国科技与工业界的普遍重视。目前,随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批能够熟练掌握现代数控机床编程、操作和维护的应用型高级技术人才。同时,为了适应我国高等职业技术教育发展及应用型技术人才培养的需要,我们经过反复的实践与总结,编写了这本教材。

本书针对计算机数控技术(CNC)及相关专业的生产实习、实训等实践环节,以数控加工的实际生产为基础,以掌握数控加工编程与操作技能为目标,突破了传统数控技术教材在内容上的局限性。全书系统性、综合性强,前后各章节联系紧密;书中精选大量典型实例,均经过实践检验,具有很高的可信度。

为了适应市场的需要,在数控系统选型上,注重了市场应用的普遍性。选用了西门子(SIEMENS)、发那科(FANUC)、发格(FAGOR)等公司的数控系统。这些公司的数控系统在市场上占有50%以上的份额。在数控自动编程单元中,重点向学生介绍美国CNC Software公司的Master CAM软件和北航海尔软件有限公司的CAXA V2自动编程软件。通过掌握典型数控系统的编程和操作,以便在今后的工作中能达到触类旁通的效果。

本书的应用对象为高等职业教育机电类专业中从事数控技术应用、CAD/CAM技术应用和模具设计与制造专业的学生。也可作为机械设计制造及自动化专业本科生的金工实习和生产实习中现代制造技术部分的教材,还可供数控加工技术人员参考。

本书是北方工业大学机电中心、北京航空航天大学工程培训中心、沈阳航空工业学院CAD中心实践教学部、北京轻工职业技术学院、北京市劳动干部管理学院等单位集体智慧的结晶。由张超英和罗学科主编,其中第1章、第8章由罗学科和李跃中编写,第2章由徐宏海编写,第3章、第5章由张超英编写,第4章、第6章由谢富春编写,第7章由高德文编写。另外,王风霞参加第8章中数控线切割加工实训部分内容的编写,王孝中为本书提供部分实例。阎红娟、郑青和李凯等为全书图片制作与典型实例的实操检验做了大量工作。全书由张超英和罗学科统稿、定稿。

在本书的编写过程中,得到了北方工业大学校领导和教务处领导的关心和大力支持;北方工业大学高职计算机数控技术专业是教育部确定的首批国家级试点专业;所有这些为本书的编写提供了良好的条件。另外,北京发格自动化设备有限公司总经理陈晓光先生和郑张龙经理为作者编写教材提出了许多宝贵的意见并提供了丰富的资料,在此一并致谢。

由于编者水平有限,数控技术发展迅速,所以本书难免有不足之处,望读者和各位同仁提出宝贵意见。

编者 2003年3月

内 容 提 要

本书以数控加工综合实训为目标,以数控工艺、编程和机床操作三大技术为核心,全面、系统地介绍了数控加工的工艺分析,数控加工的编程基础与自动编程方法,数控车削加工、数控铣削加工、加工中心和数控电火花加工技术。全书综合性、实践性强,通过大量的综合实例,使各章节联系紧密;列举的典型零件加工实例,均经过实践检验,翔实可靠。每一章都配备实训内容与要求,便于读者掌握和巩固各章的核心内容。

本书可作为数控技术应用、CAD/CAM 技术应用、机械制造、机电一体化等专业的高职和大中专学生的数控技术综合实训教材,也可作为数控技术职业技能培训教材,还可供从事数控加工的工程技术人员使用。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控技术是数字化制造和制造自动化的核心技术支持	1
1.2 数控技术发展的几个主要阶段	2
1.3 数控技术的发展历程和面临的机遇	2
1.4 数控技术的发展方向	4
1.5 数控机床的加工特点	6
1.5.1 数控机床加工的优势	6
1.5.2 数控机床的适用范围	7
第 2 章 数控机床加工工艺基础	8
2.1 工件在数控机床上的装夹	8
2.1.1 机床夹具概述	8
2.1.2 工件定位的基本原理	9
2.1.3 定位基准的选择原则	13
2.1.4 常见定位元件及定位方式	16
2.1.5 定位误差	20
2.1.6 工件的夹紧	23
2.2 数控加工工艺分析	27
2.2.1 选择适合数控加工的零件	27
2.2.2 确定数控加工的内容	28
2.2.3 数控加工零件的工艺性分析	28
2.3 数控加工工艺路线设计	30
2.3.1 选择加工方法	30
2.3.2 划分加工阶段	34
2.3.3 划分工序	35
2.3.4 安排加工顺序	36
2.4 数控加工工序的设计	37
2.4.1 确定走刀路线和工步顺序	37
2.4.2 定位与夹紧方案的确定	40
2.4.3 夹具的选择	40
2.4.4 刀具的选择	41
2.4.5 切削用量的确定	46
2.4.6 对刀点与换刀点的确定	49
2.5 数控加工工艺设计实例	50

2.5.1 数控车削加工典型零件工艺设计实例·····	50
2.5.2 数控铣削加工典型零件工艺设计实例·····	53
2.6 数控加工工艺实训内容及要求·····	55
2.6.1 数控车削加工工艺实训内容及要求·····	55
2.6.2 数控铣削加工工艺实训内容及要求·····	56
第3章 数控加工的编程基础 ·····	57
3.1 数控编程概述·····	57
3.1.1 数控编程的内容与方法·····	57
3.1.2 数控编程的种类·····	58
3.1.3 数控编程中的有关规则及代码·····	58
3.1.4 程序结构与格式·····	58
3.2 数控机床的坐标系统及其编程指令·····	63
3.2.1 机床坐标系与运动方向·····	63
3.2.2 与坐标系相关的编程指令·····	64
3.3 尺寸系统的编程方法·····	65
3.4 刀具功能、进给功能与主轴转速功能·····	67
3.4.1 选择刀具与刀具偏置·····	67
3.4.2 进给功能·····	68
3.4.3 主轴转速功能·····	68
3.5 常用的辅助功能·····	69
3.6 运动路径控制指令的编程方法·····	69
3.6.1 快速线性移动指令 G00·····	69
3.6.2 带进给率的线性插补指令 G01·····	69
3.6.3 圆弧插补指令 G02/G03·····	70
3.6.4 螺纹车削加工指令 G33/G32·····	71
3.6.5 暂停指令 G04·····	72
3.6.6 综合实例·····	72
3.7 刀具补偿指令及其编程·····	76
3.7.1 刀具半径补偿 (G41、G42、G40)·····	76
3.7.2 刀具长度补偿指令 (G43、G44、G49)·····	77
3.8 固定循环与子程序·····	78
3.8.1 固定循环·····	78
3.8.2 子程序·····	83
3.8.3 固定循环与子程序综合实例·····	85
3.9 数控加工编程实训内容及要求·····	86
第4章 数控自动编程 ·····	88
4.1 自动编程简介·····	88
4.2 Master CAM 8.0 的主要功能·····	91
4.3 Master CAM 数控车削自动编程·····	92
4.3.1 绘制编程用图形·····	93

4.3.2	工件设置	94
4.3.3	刀具设置	95
4.3.4	粗车编程	97
4.3.5	精车编程	102
4.3.6	端面车削编程	102
4.3.7	切槽刀具路径	103
4.3.8	螺纹切削刀具路径	105
4.4	Master CAM 数控铣削自动编程	107
4.4.1	工件设置	107
4.4.2	刀具设置	108
4.4.3	材料设置	109
4.4.4	面铣削加工	111
4.4.5	外形铣削加工	115
4.4.6	挖槽加工	117
4.4.7	曲面加工	118
4.5	典型零件的自动编程	123
4.6	CAXA 数控车编程软件功能简介	125
4.6.1	界面介绍	125
4.6.2	功能驱动方式	126
4.6.3	刀具的管理	127
4.6.4	CAXA 的加工功能	129
4.6.5	CAXA 的其他功能	133
4.7	数控自动编程实训内容及要求	135
第 5 章	数控车削加工实训	137
5.1	数控车削加工概述	137
5.2	数控车削加工的工艺分析	139
5.2.1	数控车削加工刀具及其选择	139
5.2.2	数控车削加工的切削用量选择	142
5.2.3	数控车削加工的装夹与定位	143
5.2.4	数控车削加工中的装刀与对刀	144
5.3	数控车削加工的编程技术	146
5.3.1	数控车床的编程特点	146
5.3.2	数控车床编程中的坐标系	146
5.3.3	车床数控系统功能	147
5.3.4	数控车削加工中的刀尖半径补偿	148
5.3.5	CAXA 数控车 2000 自动编程软件应用	149
5.4	数控车床的操作方法	153
5.4.1	数控车床的主要技术参数	153
5.4.2	数控车床的操作面板、控制面板及软件功能	154
5.4.3	数控车床的操作方法及步骤	159

5.5	典型零件车削加工综合实例	163
5.6	数控铣削加工实训内容及要求	169
第6章	数控铣削加工实训	170
6.1	数控铣削加工的特点	170
6.2	数控铣削加工的工艺分析与编程	172
6.2.1	数控铣削加工工艺分析内容	172
6.2.2	数控铣削加工工艺分析过程	173
6.2.3	数控铣削加工工艺文件的编制	177
6.3	数控铣削加工的编程技术	178
6.3.1	数控铣削编程时应注意的问题	178
6.3.2	铣床数控系统功能	178
6.3.3	Master CAM 自动编程软件应用	179
6.4	数控铣床操作方法	182
6.4.1	(XK5025) 型数控铣床简介	182
6.4.2	机床操作方法与步骤	187
6.5	典型零件的铣削加工实例	192
6.6	数控铣削加工实训内容及要求	196
第7章	加工中心的编程与操作实训	197
7.1	加工中心的特点与分类	197
7.1.1	加工中心的特点	197
7.1.2	加工中心的分类	197
7.1.3	加工中心的自动换刀装置	198
7.2	加工中心的加工工艺与编程	199
7.2.1	加工中心的主要加工对象	199
7.2.2	加工中心的加工工艺	201
7.2.3	加工中心的数控编程代码	202
7.2.4	数控加工中心程序编制	207
7.3	加工中心的操作	210
7.3.1	加工中心的主要参数	210
7.3.2	加工中心的操作面板	212
7.3.3	加工中心的操作	214
7.3.4	日常维护保养及安全操作	215
7.4	加工中心的编程与操作综合实例	216
7.4.1	模具加工	216
7.4.2	泵体加工	223
7.4.3	端盖加工	226
7.5	加工中心实训内容及要求	229
第8章	数控电火花加工技术实训	230
8.1	数控电火花加工实训	230
8.1.1	电火花加工的原理、特点和适用范围	230

8.1.2	电火花加工机床的组成部分	231
8.1.3	典型电火花机床介绍	234
8.1.4	电火花加工实例	235
8.2	数控线切割加工实训	239
8.2.1	电火花线切割的基本原理和特点	239
8.2.2	电火花线切割机床的基本结构	240
8.2.3	电火花切割机床示例	241
8.2.4	线切割机床的编程与操作方法	243
8.2.5	典型零件的线切割加工实例	245
8.2.6	数控线切割加工的 3B 代码编程介绍	249
8.2.7	数控线切割加工实训	252
参考文献		254

第1章 绪 论

1.1 数控技术是数字化制造和制造自动化的核心技术支撑

从国际范围来看,制造业遵循着“劳动密集、设备密集、信息密集、知识密集”的轨迹,并正在经历着从信息集成走向知识集成的新的发展阶段,其对市场的响应时间将成为21世纪企业赢得竞争优势的最主要因素。所以,以制造过程的知识融合为基础、以数字化建模仿真与优化为特征的“数字化制造”正成为制造技术发展的重要领域。“数字化制造”的一个主要内容就是通过揭示制造工艺过程的本质,获得知识及进行制造工艺自主设计和优化控制的能力。

数字化制造在产品设计、制造活动中,进行两个层次的虚拟过程,一是设计阶段用户能够参与建立数字化产品模型,实现高交互和沉浸式并行开发的虚拟环境,从而达到预先体验产品性能的目的;二是在制造系统层次上强调对生产制造性能进行有效而近乎实时的评价。数字化制造将通过虚拟运作实现事先风险评估、实时运筹调度和全局优化等,是科技发展(各种信息支撑技术)和现代企业需求的必然结果。

过去,制造自动化技术研究主要集中在单元和专门技术,这些技术包括控制技术(如数控技术、过程控制和过程监控等)和计算机辅助技术(如CAD、CAPP、CAM和CAE等)等。近年来,在上述单元技术和专门技术继续发展的同时,制造系统中的集成技术和系统技术的研究发展迅速,已成为制造自动化研究中的热点。

制造系统中的集成技术和系统技术涉及面很广。其中,集成技术包括制造系统中的信息集成和功能集成技术(如CIMS)、过程集成技术(如并行工程CE)、企业间集成技术(如敏捷制造AM)等;系统技术包括制造系统分析技术、制造系统建模技术、制造系统运筹技术、制造系统管理技术和制造系统优化技术等。

在数字化制造和制造自动化中,其技术基础是数控技术。数控技术虽然已有50多年历史,但至今仍在不断完善和发展。一些新的数控系统在不断涌现。

早在1930年,美国就有人申请了机床数控专利,1946年世界上第一台计算机的问世,为数控机床的研制提供了技术基础。促进数控技术发展的动力是二次世界大战后的军备竞赛。1948年,美国Parsons公司承担了设计研究和加工直升机螺旋桨叶片轮廓用检验样板的加工机床的任务,该公司经理John T Parsons根据自己的设想,提出了革新这种样板加工机床的新方案,由此便产生了研制数控机床的最初萌芽。1949年,作为这一方案主要承包者的Parsons公司,正式接受委托,在麻省理工学院伺服机构实验室的协助下开始从事数控机床的研制工作。经过3年时间的研究,于1952年试制成功世界上第一台数控机床试验性样机。它是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制铣床,这台数控铣床的数控装置体积比机床本体还要大,电路采用的是电子管元件。

1953年,美国空军与麻省理工学院协作,开始从事计算机自动编程的研究,这就是研制APT(Automatically Programming Tool)自动编程系统的开始。

1955年,美国空军花费巨额经费订购了大约100台数控机床。此后两年,数控机床在

美国进入了积极发展阶段，市场上出现了商品化数控机床。1958 年美国 Keaney & Trecker 公司在世界上首先研制成功带有自动换刀装置的加工中心。从此，数控技术随着计算机技术和微电子技术的发展迅速发展了起来。

1.2 数控技术发展的几个主要阶段

数控机床产生以后，随着微电子技术和计算机技术的发展，经历了下列几个发展阶段。

1959 年，数控装置由电子管过渡到晶体管和印刷电路板元件。

1965 年，出现商品化集成电路数控装置，不仅缩小了数控装置的体积，减少了功耗，并且使系统的可靠性进一步提高。与此同时，廉价数控装置和适应控制机床在市场上相继出现。

1970 年，在美国芝加哥国际机床展览会上，第一次出现了采用小型计算机的计算机数控装置（CNC）以及由计算机直接进行多机床控制的系统，称为直接控制系统 DNC（Direct Numerical Control）。

1974 年，出现了微处理器和半导体存储器的微计算机数控装置。

从 1966~1976 年的 10 年，是数控机床高速发展的时期，这一时期，数控装置的功能扩大了一倍，而体积缩小为 1/20，价格降为 1/4，可靠性大大提高。

1987 年，美国提出了“开放式”数控系统的概念。到目前为止还没有商品化系统。

1990 年开始，世界上开始出现基于工业 PC 机的通用型数控系统。

数控技术发展的 6 个主要阶段见表 1-1。

表 1-1 数控技术发展的 6 个主要阶段

数控系统发展的历史	出现的年代	数控系统发展的历史	出现的年代
第一代电子管数控系统	1952	第四代小型计算机数控系统	1970
第二代晶体管数控系统	1959	第五代微处理器数控系统	1974
第三代集成电路数控系统	1965	第六代基于工业 PC 的通用 CNC 系统	1990

1.3 数控技术的发展历程和面临的机遇

我国数控技术的发展过程可以划分为 4 个阶段。

第一阶段是 1958~1965 年，开始研制数控铣床，处于试制和试用阶段。

第二阶段是 1965~1972 年左右，研制晶体管数控系统阶段。在这一阶段，虽然数控机床的数量和品种不多，但是在少数复杂零件的加工中，已开始从实验阶段进入生产使用阶段。与此同时，还开展了数控铣床加工平面零件自动编程方法的研究。

第三阶段是 1972~1979 年，是数控技术的生产和使用阶段，研制成功了集成电路数控系统，数控技术在铣、钻、镗、磨、插齿加工、电加工等领域开始研究和应用。数控加工中心研制成功，尤其是数控线切割机床，由于其结构简单、使用方便、价格低廉以及模具加工的迫切需要，而取得了较大的发展。

第四阶段是 1980 年以后，数控技术进入了稳步发展的阶段。特别是 20 世纪 90 年代以来，国内在数控技术应用方面取得了长足的发展。

数控系统是数控产品的核心技术之一，我国从 1958 年开始研究数控技术，开发数控产品，其间三起三落。经过多年来不断的调整、优化、重组、开拓，通过自行研究、引进合

作、独立开发、推进产业化进程，国产数控系统已经取得重大突破。现在，我国的数控产业已经度过了最艰难的时期，开始在产业化的道路上开拓前进，但也面临着更严峻的挑战。

(1) 数控系统产业化的现状

目前我国数控机床生产厂共有 100 多家，其中能批量生产的企业有 42 家（国有企业 30 家，民营企业 5 家，合资、独资企业 7 家），每家企业平均年产量 40~50 台，几家重点企业年产量可达 400~700 台；数控系统（包括主轴和进给驱动单元）生产企业约 50 家，其中生产具有一定批量的企业有 8 家（国有企业 3 家，民营企业 2 家，合资、独资企业 3 家）；生产数控机床配套产品的企业共计 300 余家，产品品种包括 8 大类 2000 种以上。我国数控系统分为 3 种类型，即经济型、普及型和高级型。这是根据当前市场需求的实际情况，按技术应用不同领域和复杂程度进行的阶段性标准来划分的。在经济型数控系统中，具有很大优势，当前每年数千台经济型数控车床和电加工机床的市场上，国产数控系统是“一花独秀”（其中有 10% 左右的是合资企业产品）。在普及型数控系统的市场中，正在取得进展。进入 20 世纪 90 年代以来，我国数控系统的各方面研究力量在集中优势、突破关键、以我为主、发展产业的原则基础上，逐步形成了以航天数控集团、机电集团、华中数控、蓝天数控等以生产普及型数控系统为主的国有企业，以及北京·法那科、西门子数控（南京）有限公司等合资企业的基本力量。当然，拥有我国自主知识产权的数控系统在市场开拓上仍要尽更大的力量。

(2) 数控技术的发展状况

20 世纪 80 年代以来，国家对数控机床的发展十分重视，经历了“六五”、“七五”期间的消化吸收引进技术和“八五”期间科技攻关开发自主知识产权数控系统两个阶段，为数控机床的产业化奠定了良好基础，并取得了长足的进步。“九五”期间数控机床发展已进入实现产业化阶段。数控机床新开发品种 300 个，有一定的覆盖面。新开发的国产数控机床产品大部分达到国际上 20 世纪 80 年代中期水平，部分达到 90 年代水平，为国家重点建设提供了一批高水平数控机床。在技术上也取得了突破，如高速主轴制造技术（12000 ~ 18000 r/min）、快速进给（60 m/min）、快速换刀（1.5s）、柔性制造、快速成形制造技术等为下一步国产数控机床的发展奠定了基础。当前，我国数控系统正处在由研究开发阶段向推广应用阶段过渡的关键时期，也是由封闭型系统向开放型系统过渡的时期。从生产规模上看，已有像航天数控集团、华中数控系统有限公司、北京机床研究所等可实现批量生产的产业化基地。

(3) 数控产业发展面临的问题

① 缺乏产业规模。在一段时间里，我国数控机床产品品种相对较少，开发和交货周期较长，由于没有按市场需求进行开发，批量不大，不能满足市场需求，市场占有率较低。

② 缺乏发展数控产业的政策和技术配套体系。40 多年来，我国政府对数控机床的发展给予了大量的财力和物力支持，在政策上也陆续出台了一些支持措施，对数控机床的发展起了很好的促进作用；但在政策的配套及相互制约方面力度不够，在引进外资和扩大开放的同时，对国产数控机床的必要保护显得过于单薄。

③ 缺乏技术创新、产品更新和产业调整的内在动力。

④ 面临国外强手竞争的巨大压力。进入 20 世纪 90 年代以来，我国国内市场对数控机床和数控系统的需求量迅速增长，成为工业发达国家竞相争夺的目标。面对强手如林的国际竞争对手，国内数控机床和数控系统无论是性能、质量，还是价格，都难以与发达国家产品

相抗衡,面临着进口冲击的强大压力。

(4) 数控产业发展的条件

我国数控机床从 20 世纪 80 年代以来有了迅速发展,平均年产量增长 20% 以上;数控机床市场消费量从 1990 年的 2588 台增长至 1999 年的 21000 台;目前已是世界数控机床第三进口大国。进入 20 世纪 90 年代以来,我国数控机床生产企业都经历了结构调整、转变机制的艰苦磨砺过程。由于市场结构的变化,使得 1997 年数控机床市场消费量下降到 14329 台。同时由于进口减少,国产数控机床市场占有率上升到 45.9%;1998 年数控机床市场消费量下降到 11528 台,国产数控机床市场占有率达到 53%。1994~1998 年,我国机床工具行业的产值持续滑坡,由于市场变化和结构调整,市场容量减少到原来的 75%,总产值为 149.6 亿元,其中金属加工机床约为 90 多亿元,市场占有率达到 47%,机床(金切和锻压)总产量只有 10 万台,而在 10 万台机床的销售额中,数控机床自动化生产线及各种先进量刃具达到 27.7%。正是由于结构的变化,才有可能形成产量下降、市场占有率提高的局面。近期,国家为扩大内需,通过加大技改投资和基础设施建设投资的措施来拉动国内市场消费。正在执行中的“国家财政技改专项”和“高新技术产业化项目”,都将形成对数控机床新的市场需求。这将为我国数控产业发展带来新的市场机遇。

另外,随着制造的全球化,制造业大量向我国转移和集中,加之我国加入世界贸易组织(WTO),我国制造业和制造科学研究与开发人员正面临着前所未有的机遇和挑战。在这种情况下,数控技术作为对传统制造技术进行技术提升的手段,本身得到了前所未有的发展机遇。

1.4 数控技术的发展方向

随着科学技术的发展,世界先进制造技术的兴起和不断成熟,对数控加工技术提出了更高的要求,超高速切削、超精密加工等技术的应用,对数控机床的各个组成部分提出了更高的性能指标。当今的数控机床正在不断采用最新技术成果,朝着高速化、高精度化、多功能化、智能化、系统化与高可靠性等方向发展。具体表现在以下几个方面。

(1) 高速度、高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要指标,直接关系到加工效率和产品的质量,特别是在超高速切削、超精密加工技术的实施中,对机床各坐标轴位移速度和定位精度提出了更高的要求;另外,这两项技术指标又是相互制约的,也就是说要求位移速度越高,定位精度就越难提高。现代数控机床配备了高性能的数控系统及伺服系统,其位移分辨率和进给速度已可达到 $1\mu\text{m}$ ($100\sim 240\text{m/min}$)、 $0.1\mu\text{m}$ (24m/min)、 $0.01\mu\text{m}$ ($400\sim 800\text{mm/min}$)。为实现更高速度、更高精度的指标,目前主要在以下几方面采取措施进行研究。

① 数控系统 采用位数、频率更高的微处理器,以提高系统的基本运算速度。目前已由原来的 8 位 CPU 过渡到 16 位和 32 位 CPU 及 64 位 CPU,主频已由原来的 5MHz 提高到 16MHz、20MHz、32MHz。有些系统已开始采用双 CPU 结构。

② 伺服驱动系统 在采用全数字伺服系统的基础上,开始采用直线伺服电动机直接驱动机床工作台的“零传动”直线伺服进给方式。

所谓数字伺服系统,是指伺服系统中的控制信息用数字量来处理。随着数字信号微处理器速度的大幅度提高,伺服系统的信息处理可完全用软件来完成,这就是当前所说的“数字伺服”。数字伺服系统利用计算机技术,在电机上有专用 CPU 用来实现数字控制,一般具