

数控机床维修工 必备手册

SHUKONG JICHUANG WEIXIUGONG BIBEI SHOUC

李攀峰 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



九江学院图书馆



1466879

1482236

数控机床维修工必备手册

主 编 李攀峰

参 编 陈富安 高云婷 邵 锐

吴 杰 张 华 王燕平

臧 义 邢 军

不外借

76 659-62/3169



机械工业出版社

88SS821

本书从数控机床维护维修的角度出发,分别对数控机床的组成结构、数控机床维修的基本要求和方法、数控机床故障维修常用工具和检测仪器、数控机床常见机械电气等故障、典型数控系统故障的诊断与维修,以及数控机床的维修实例和日常保养与维修管理等内容做了全面系统的介绍。内容力求突出体现解决实际问题的具体方法,强调实际应用。

本书根据编者多年的实践和教学经验编写,可作为高等职业教育、大中专数控技术专业、数控维修机电一体化等专业的教学参考书,为中、高级数控机床维修工提供工作中需要的知识和技能平台,也可作为从事数控机床工作的技术人员的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床维修工必备手册/李攀峰主编. —北京:机械工业出版社, 2011.3

ISBN 978-7-111-33164-3

I. ①数… II. ①李… III. ①数控机床—维修—技术手册
IV. ①TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 010864 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 王治东 曾 红

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:路恩中 责任印制:杨 曦

北京双青印刷厂印刷

2011 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm • 45 印张 • 2 插页 • 927 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33164-3

定价:88.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379733

编辑热线:(010) 88379733

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前言

随着电子信息技术的发展,世界机床业已进入了以数字化制造技术为核心“数控化”时代,特别是近些年来,我国数控机床行业实现了超高速发展,数控机床的产量不断增加,而数控机床综合应用了计算机、电子、自动控制、自动检测及精密机械等学科的综合知识,其“维修难”的问题已经凸现。

本书从数控机床的实用性故障诊断与维修技术角度出发,分别对数控机床的组成结构、数控机床维修的基本要求和方法、数控机床故障维修的常用工具和检测仪器、数控机床常见机械电气故障、典型数控系统故障的诊断与维修,以及数控机床的维修实例和日常保养与维修管理等内容分章节进行了详细的介绍。

全书内容全面系统,在编写过程中,作者总结了多年的教学和机床维修实践经验,本着重在应用的原则,力求简单易懂,精练实用。

全书由河南工业大学李攀峰统稿、定稿。参编的人员主要由设立于河南工业大学的教育部国家数控技术培训中心和河南省高校制造业自动化工程技术研究中心的教师组成。在编写过程中,得到了多个机床厂和数控机床用户的大力支持,并提供了大量的技术资料,在此表示衷心的感谢。

由于时间紧迫和编者水平有限,书中的错误和缺点在所难免,恳请读者批评指教,以便进一步修改。

目 录

前言

第1章 数控机床及其操作	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 数控及数控机床概述	1
1.1.2 数控机床的构成和特点	6
1.1.3 数控机床的类型和用途	8
1.1.4 各种数控机床及其坐标系	11
1.2 数控机床的安装、调试和验收	15
1.2.1 数控机床的安装	15
1.2.2 数控机床的调试方法	18
1.2.3 数控机床的验收与精度检测	19
1.3 典型数控机床的操作	24
1.3.1 数控机床的基本操作规范	24
1.3.2 数控车床的操作方法	28
1.3.3 数控铣床的操作方法	32
1.3.4 数控加工中心的操作方法	36
1.3.5 其他数控机床的操作方法	39
第2章 数控加工程序编制	45
2.1 概述	45
2.1.1 程序编制的内容和步骤	45
2.1.2 程序编制的方法	48
2.1.3 数控编程中的工艺分析	48
2.2 数控车床编程	58
2.2.1 数控车床结构	58
2.2.2 数控车床编程实例	60
2.3 数控铣床编程	71
2.3.1 数控铣床结构	71
2.3.2 数控铣床编程实例	72
2.4 加工中心编程	94
2.4.1 加工中心结构	94
2.4.2 加工中心编程实例	97
2.5 自动编程	101
2.6 宏指令编程	111

第 3 章 数控系统组成及工作原理	116
3.1 数控系统组成及分类	116
3.1.1 数控系统组成	116
3.1.2 数控系统分类	117
3.1.3 典型数控系统介绍	119
3.2 计算机数控装置	125
3.2.1 CNC 装置的硬件结构	125
3.2.2 CNC 装置的软件结构	127
3.2.3 零件加工程序的处理	130
3.2.4 轮廓插补原理	141
3.2.5 进给速度处理及位置控制的原理	157
3.3 伺服系统结构及工作原理	160
3.3.1 概述	160
3.3.2 伺服电动机	164
3.3.3 步进电动机	171
3.3.4 直线电动机	178
3.3.5 伺服驱动系统	179
3.3.6 位置检测装置	186
3.4 进给运动控制	203
3.4.1 开环进给系统性能分析	203
3.4.2 闭环进给位置控制系统的结构分析	204
3.4.3 电气传动部分对位置误差的影响	207
3.4.4 机械传动部分对位置控制特性的影响	211
3.4.5 进给运动控制参数设定	215
第 4 章 数控机床维修的基本要求和方法	221
4.1 概述	221
4.1.1 故障的概念	221
4.1.2 故障的分类	221
4.1.3 数控系统的可靠性	222
4.1.4 数控机床维修的重要性	223
4.2 常用故障诊断及维修方法	224
4.2.1 常用故障诊断方法	224
4.2.2 维修过程	226
4.2.3 机械故障维修特点与方法	227
4.2.4 电、液、气故障维修特点与方法	232
4.2.5 数控系统故障维修特点与方法	244
第 5 章 常用工具和检测仪器	249
5.1 万用表	249

5.1.1 万用表的特点及分类	249
5.1.2 万用表的主要技术指标	250
5.1.3 万用表的组成	251
5.1.4 万用表的使用	252
5.2 示波器	254
5.2.1 示波器概述	254
5.2.2 示波器的工作原理	255
5.2.3 示波器的使用	265
5.3 逻辑分析仪	269
5.3.1 逻辑分析仪概述	270
5.3.2 逻辑分析仪的选择	271
5.3.3 逻辑分析仪的工作原理	272
5.3.4 逻辑分析仪的使用	275
5.4 激光干涉仪	275
5.5 球杆仪	281
5.6 其他常用工具和检测仪器	282
5.6.1 常用机械工具	282
5.6.2 其他故障检测仪器	284
第6章 数控系统故障诊断与维修	287
6.1 数控系统故障维修	287
6.1.1 概述	287
6.1.2 数控装置故障诊断与维修	288
6.1.3 软件故障	292
6.1.4 硬件故障	294
6.2 伺服系统故障诊断与排除	297
6.2.1 概述	297
6.2.2 主轴伺服系统故障形式及诊断方法	297
6.2.3 进给伺服系统故障形式及诊断方法	299
6.2.4 位置检测装置故障形式及诊断方法	305
6.3 FANUC 数控系统维修浅析	309
6.3.1 FANUC 数控系统的组成与主要功能	309
6.3.2 FANUC 系统常见故障分析及排除	331
6.3.3 FANUC 进给伺服系统的常见故障分析	336
6.3.4 FANUC 主轴驱动系统的常见故障分析	347
6.3.5 FANUC Oi/16/18 系统的一些维修经验	367
6.3.6 FANUC 数控系统故障维修实例	371
6.4 SINUMERIK 数控系统维修浅析	399
6.4.1 SINUMERIK 数控系统的组成与主要功能	399

6.4.2 SINUMERIK 802 系列数控系统故障分析	431
6.4.3 SINUMERIK 810M/T 系统故障分析	436
6.4.4 SINUMERIK 840D/810D 数控系统故障分析	439
6.5 其他数控系统典型维修案例	446
第7章 数控机床中的电气控制故障诊断与维修	450
7.1 机床常用电器元件	450
7.1.1 按钮、低压开关	450
7.1.2 熔断器	454
7.1.3 热继电器	455
7.1.4 接触器	456
7.1.5 继电器	457
7.1.6 控制变压器	459
7.1.7 可编程序逻辑控制器 (PLC)	459
7.2 机床电气控制电路的基本环节	462
7.2.1 电气原理图的画法及阅读方法	462
7.2.2 三相异步电动机的起动控制电路	464
7.2.3 三相异步电动机的正反转控制电路	467
7.2.4 三相异步电动机的制动控制电路	470
7.2.5 PLC 应用	474
7.3 数控机床中的电气控制	483
7.3.1 数控机床的电气控制电路	483
7.3.2 数控系统中的辅助功能	483
7.3.3 数控系统中的 PLC	484
7.4 数控系统中的 PLC 功能简介	487
7.4.1 基本概念	487
7.4.2 数控系统中 PLC 的类型及其信息交换技术	487
7.4.3 M、S、T 功能的实现	508
7.5 数控机床电气系统的电磁兼容设计	510
7.5.1 电磁兼容性概述	510
7.5.2 接地技术	512
7.5.3 屏蔽技术	518
7.5.4 滤波技术	522
7.5.5 数控机床电气设计要求	528
7.6 数控机床电气故障诊断实例	530
第8章 数控机床常见机械结构故障诊断与维修	537
8.1 主轴部件结构及常见故障分析	537
8.1.1 主轴部件的典型结构与装配调整	537
8.1.2 主轴部件的常见故障及其诊断	553

8.1.3 主轴部件故障维修实例	555
8.2 进给传动部件的结构及常见故障分析	559
8.2.1 进给传动部件的典型结构	560
8.2.2 进给传动部件的常见故障及其诊断	568
8.2.3 进给传动部件故障维修实例	569
8.3 导轨副常见故障分析	573
8.3.1 导轨的结构特点与调整	574
8.3.2 导轨的常见故障及其诊断维修方法	583
8.4 回转运动部件的结构及常见故障分析	585
8.4.1 回转运动部件的结构	585
8.4.2 回转运动部件的常见故障及其诊断	588
8.4.3 回转运动部件故障维修实例	589
8.5 自动换刀装置的结构及常见故障分析	591
8.5.1 自动换刀装置的类型和结构	591
8.5.2 自动换刀装置的常见故障及其诊断	600
8.5.3 自动换刀装置常见故障维修	601
第9章 数控机床典型液压、气动系统故障的诊断与维修	606
9.1 数控机床典型液压、气动系统	606
9.1.1 数控机床典型液压系统	606
9.1.2 数控机床典型气动系统	634
9.2 液压、气动系统基本维修方法	637
9.2.1 泵站和气源的维修	637
9.2.2 控制部件的维修	643
9.2.3 执行部件的维修	648
9.2.4 管路和辅助元件的维修	651
9.3 液压、气动系统常见故障与维修	657
9.3.1 液压系统常见故障分析与诊断	657
9.3.2 液压系统典型故障的维修	664
9.3.3 气动系统常见故障分析与系统维护要点	669
9.3.4 气动系统典型故障的维修	671
第10章 数控机床的日常维护与维修管理	673
10.1 数控机床的预防性维护	673
10.1.1 预防性维护概述	673
10.1.2 预防性维护的主要内容和方法	673
10.2 数控机床的日常维护	674
10.2.1 数控系统维护	674
10.2.2 机械部件维护	675
10.2.3 机床精度维护	676

10.2.4 其他方面的维护	677
10.3 数控机床的维修管理	677
10.3.1 数控机床维修管理的主要内容	677
10.3.2 数控机床维修管理的主要方法	679
附录	682
附录 A SINUMERIK 802S/C base line PLC 信息交换	682
附录 B 数控机床电气控制系统设计实例	689
附录 C 数控机床中高级维修工职业标准	699
参考文献	707

第1章 数控机床及其操作

1.1 基本概念

1.1.1 数控及数控机床概述

1. 数控及数控机床概念

广义地讲,数控是数字控制(Numerical Control, NC)的简称,是采用数字化的信息对某一对象的工作过程进行自动控制的技术。其控制对象可以是位移、角度、速度等机械量,也可以是其他物理量,本书特指机床数控技术。

机床一般是指将金属毛坯加工成机器零件的机器,它是制造机器的机器,所以又称为“工作母机”或“工具机”,习惯上简称机床。根据国家制定的机床型号编制方法,机床分为11大类:车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、锯床和其他机床。在每一类机床中,又按工艺范围、布局形式和结构性能等分为若干组,每一组又分为若干个系(系列)。在一般的机器制造中,机床所担负的加工工作量占机器总制造工作量的40%~60%,它在国民经济现代化的建设中起着重大作用。

数控机床是指采用数字控制技术控制的金属切削机床,其数字控制装置的核心部分称为数控系统。数控系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码控制机床动作,对零件进行加工。它涉及多个技术领域,主要有机械制造技术、信息处理加工传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术和软件技术等。

2. 数控机床的发展史

1947年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制造直升机的机翼、桨叶和飞机框架,提出了用电子计算机控制机床来加工形状复杂零件的设想。1949年,美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院伺服机构研究所(Servo Mechanism Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology)合作,开始了三坐标铣床的数控化工作,于1952年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标数控铣床。经过三年的试用和改进,于1955年获得了美国空军的批量采购,这标志着数控机床进入了实用阶段。此后,德国、英国、日本和前苏联等国也开始了数控机床的研制开发工作。1959年美国Kearney&Trecker公司开发出了具有刀具库、刀具交换装置和回转工作台的数控机

床,该机床可以实现在一次装夹中对工件的多个面进行钻孔、铰孔、攻螺纹、镗削、铣削等多种加工。这不仅提高了生产率,而且使加工精度也大大提高。这类带有刀具库和自动换刀装置的数控机床称为加工中心(Machining Center)。

自1952年美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量等技术的发展,作为数控机床核心的数控技术也在迅速地发展和不断地更新换代,至今已先后经历了8个发展阶段。

第1代数控机床:1952~1959年采用电子管元件构成的专用NC系统。

第2代数控机床:从1959年开始采用晶体管电路的NC系统。

第3代数控机床:从1965年开始采用小、中规模集成电路的NC系统。

第4代数控机床:从1970年开始采用大规模集成电路的小型通用电子计算机控制的系统(Computer Numerical Control, CNC)。

第5代数控机床:从1974年开始采用微型计算机控制的系统(Microcomputer Numerical Control, MNC)。20世纪70年代初,随着大规模集成电路、半导体存储器、微处理器的问世,通用小型计算机出现并逐渐普及,给数控技术带来了突破性的发展。原来由硬件实现的功能逐步改由软件完成,数控系统进入了“软连接”时代。1974年,首次出现了采用微处理器芯片的软连接CNC系统,象征着数控系统进入了以微机为背景的第5代。这一发展真正实现了机电一体化,进一步缩小了体积,降低了成本,简化了编程和操作,使数控系统达到了普及的程度。

第6代数控机床:20世纪70年代末~80年代初,随着超大规模集成电路、大容量存储器、CRT的普及应用,CNC系统进入了第6代。它虽然仍以微处理器为基础,但控制功能更为完备,具备了多功能的技术特征,尤其在软件技术方面发展更快,具有了交互式对话编程、三维图形动画显示/校验、实时软件精度补偿等功能。在系统体系结构上,开始出现了柔性化、模块化的多处理机结构,数控系统产品也逐步实现了标准化、系列化。

第7代数控机床:高精度CNC开发与应用阶段。

为了实现高速、高精度的曲面轮廓精加工,必须提高微轮廓线的解释处理能力和伺服驱动特性。为保证零件程序的传送、插补、加工线速度控制等连续处理,CNC系统应具有足够的数据处理速度和能力。32位CPU以其很强的数据处理能力在CNC中得到了应用,使CNC系统进入了面向高速、高精度的时代。1986年,三菱电机公司率先推出了CPU为68020的32位CNC,掀起了32位CNC的热潮,并逐渐成为当今数控系统的主流。

第8代数控机床:基于PC的开放式CNC的开发与应用。

进入20世纪90年代,个人计算机(Personal Computer, PC)的性能提高很快,可以满足作为数控系统核心部件的要求,而且PC生产批量很大,价格便宜,可靠性高。1994年,基于PC的CNC控制器在美国首先亮相市场,并在此后获得了高速发展。PC的引入,不仅为CNC提供十分坚实的硬件资源和极其丰富的软

件资源,更为 CNC 的开放化提供了基础。

3. 数控机床的发展趋势

数控技术已经广泛应用于世界各国信息产业、生物产业、国防工业中,使得各国的制造能力和水平得到了提高,市场的适应能力和竞争能力也不断地加强。如美国等工业发达国家还将数控技术及高端数控机床列为国家的战略物资,大力发展数控技术及其产业。

进入 20 世纪 90 年代以来,现代微电子技术、计算机技术、检测与控制技术的飞速发展,使 CNC 系统的结构发生重大变革,控制性能和系统功能得到大幅度提高和增强,并且随着各项新技术的涌现,数控机床的其他功能部件在质量和性能上也得到大幅度提升。

另外,人工智能技术的发展与计算机技术相结合,极大地推进了数控系统的智能化程度。如加工过程的自适应控制、工艺参数的自动生成、智能化的伺服驱动、智能化的自动编程、智能诊断和监控等技术,进一步改善了机床的性能、功效和操作性。

从整体技术水平上看,数控机床主要呈现出以下几个方面的发展趋势。

(1) 高速化发展

由于加工零件的辅助时间大幅度降低,在机械加工中的总工时中,切削所占的时间比例就變得越来越大。因此,要想进一步提高机床的生产率,只有大幅度地降低切削工时,才有可能出现新的飞跃。采用比常规切削速度高出一个数量级的高速切削技术,其具有切削力低、工件热变形小、材料切除率高、加工精度好等特点,正在成为金属切削领域的发展研究方向之一。而高性能数控系统的产生为实现高速切削提供了控制技术的保证,特别是高速切削机理、高速加工技术、高速加工刀具技术、高速加工工艺技术以及高速加工测试技术等在近些年的突破性发展,为实现高速加工提供了基础条件。

现在,工业发达的国家都把生产高速机床作为其重要的发展目标,高速机床的生产能力和技术水平已经成为衡量一个国家制造技术水平的重要标志。高速机床技术主要包括高速单元技术和机床整机技术。高速加工机床能否达到理想加工状态,主要取决于高速加工机床的关键单元。高速加工机床单元技术的研究内容主要包括:高速主轴单元、高速进给系统和高速 CNC 控制系统等。高速机床整机技术研究内容主要包括:机床床身、冷却系统、安全措施和加工环境等。

目前,高速加工中心的进给速度最高可达 80m/min,空运行速度可达 100m/min。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。如美国 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。用该机床加工薄壁飞机零件,只需 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。

(2) 精密化发展

随着现代微电子技术的发展,当今先进的 CNC 系统都已完成了由 16 位处理器向 32 位微处理器的过渡,大大提高了 CNC 的数据处理能力和程序执行速度。某些系统,如 FANUC FS15 系列等,还开发出采用 64 位精简指令集微处理器 (RISC) 的系统。不少系统通过配置多微处理器实现分散处理,采用实时多任务操作系统进行并行处理等措施,进一步提高系统的数据处理速度,为高精度加工控制指标的实现创造了必要的条件,使得高速进给运动控制中的自适应平滑升降速控制、自由曲线加工的内部矢量量插补等复杂算法得以实现,系统的控制指标大幅度提高,如 FANUC 15 系统在最小设定单位可达 $0.1\mu\text{m}$ 。此外,一些高性能数控系统如三菱、FANUC 等还推出了新的插补功能,如样条曲线、NURBS 曲线的插补功能,简化了编程,提高了曲线、曲面的加工精度。同时,一些新的实时误差补偿技术的应用,进一步提高了数控系统的加工控制精度。

随着机床各组件加工的精密化,微米的误差已不是问题。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 $3\sim 5\mu\text{m}$ 提高到 $1\sim 1.5\mu\text{m}$,并且超精密加工精度已开始进入纳米级 ($0.01\mu\text{m}$)。

(3) 高效化发展

对机床高速及精密化要求的提高,导致了对加工工件制造速度的要求提高。同时,由于产品竞争激烈,产品生命周期快速缩短,模具的快速加工已成为缩短产品开发时间必须具备的条件。对制造速度的要求致使模具加工机床朝着高效能、专业化机种发展。

(4) 开放化发展

目前制造业中使用的 CNC 系统,大多是基于专用计算机设计而成的,这给系统的使用维护、更新换代、系统集成带来很多不便。随着 PC 技术的引入以及 PC 文化的启迪,越来越多的系统开发商认识到,基于模块化、标准化、开放化的柔性化结构体系对 CNC 技术的发展具有重大意义。这有利于共享通用的软硬件资源和集中一致的测试服务,节省开发与维护的费用。当使用环境变更或技术变更时,能通过扩展、升级和增强的方法迅速满足新的需求。

(5) 复合化发展

产品外观曲线的复杂化致使模具加工技术必须不断升级,机床五轴联动加工、六轴联动加工已日益普及,机床加工的复合化已是不可避免的发展趋势。目前,复合化呈现了车—铣复合、车—磨复合、成形复合加工等,复合加工的精度和效率大大提高。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 DMU Voution 系列加工中心,可一次装夹实现 5 面加工和 5 轴联动加工,可由 CNC 系统控制或由 CAD/CAM 直接或间接控制。

4. 世界数控机床生产概况

根据 2006 年中国机床工具工业协会和中国台湾省机器工业同业公会 (TAMI) 统计的数据显示: 2006 年世界机床产值为 592.5 亿美元。世界机床生产前五名依次是: 日本 135.2 亿美元、德国 107.8 亿美元、中国 70.6 亿美元、意大利 54.5 亿美元和韩国 41.4 亿美元。另外, 2008 年的统计数据显示, 全球机床产值达 816 亿美元, 达到了顶峰。由于受到经济危机等因素的影响, 2009 年世界机床产值 554.9 亿美元, 产销量有所下降。

从 2003 年开始, 我国就成了全球最大的机床消费国, 也是世界上最大的数控机床进口国。2005 年我国机床消费 107.8 亿美元, 占世界金属加工机床生产总额的 20%; 而 2006 年我国机床消费 131.1 亿美元, 占世界机床生产总额的 22%。

由于国内需求旺盛, 在全球经济危机的情况下, 我国是唯一的机床产值 2009 年超过 2008 年的国家。2009 年我国机床产值为 153 亿美元, 消费机床 197.86 亿美元, 消费机床总量占当年世界机床产值的 35.7%。

5. 我国数控机床发展概况

我国从 1958 年开始由北京机床研究所和清华大学等单位首先研制数控机床, 并试制成功第一台电子管数控机床。从 1965 年开始研制晶体管数控系统, 直到 20 世纪 60 年代末~70 年代初, 研制出劈锥数控铣床、非圆插齿机等并获得成功。与此同时, 还开展了数控铣床加工平面零件自动编程的研究。1972~1979 年是数控机床的生产和使用阶段, 例如清华大学成功研制了集成电路数控系统; 在车、铣、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域开始研究和应用数控技术; 数控加工中心机床研制成功; 数控升降台铣床和数控齿轮加工机床开始小批生产供应市场。从 20 世纪 80 年代开始, 随着改革开放政策的实施, 我国先后从日本、美国、德国等国家引进先进的数控技术。如北京机床研究所从日本 FANUC 公司引进 FANUC3、FANUC5、FANUC6、FANUC7 系列产品的制造技术; 上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统等。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上, 北京机床研究所又开发出 BSO3 经济型数控系统和 BSO4 全功能数控系统, 航天二院 706 所研制出 MNC864 数控系统等。到“八五”末期, 我国数控机床的品种已有 200 多个, 产量已经达到年产 10000 台的水平, 是 1980 年的 500 倍。

2007 年, 数控机床产量逾越百台的企业已经达到 138 家。此外, 一批高精、高速、高效, 一批多坐标、复合、智能型, 一批大规格、大吨位、大尺寸的数控机床新产品已经开始进入国家重点用户应用领域。如沈阳机床集团开发带 AB 轴的龙门加工中心和立式车铣中心已应用于航空工业; 齐齐哈尔重型数控装备公司开发数控重型曲轴加工机床已能够加工出 43t 的船用重型曲轴等。

我国机床行业正处于高速发展时期, 行业总产值和销售收入连续 6 年保持 20% 以上的增长, 数控机床消费连续 5 年位居世界第一。“十一五”期间, 国家高度重视和支持发展国产数控机床, 制定了数控机床发展规划, 出台了相应的扶持政

策, 计划到 2010 年, 国产数控机床占国内市场比重达 50%。

2008 年 12 月,《高档数控机床与基础制造装备科技重大专项》得到国家批准。专项对高档数控机床等重大装备、数控系统、功能部件与关键部件、共性技术、创新平台建设及应用示范工程做出了安排。机床工具行业自主创新能力得到进一步提高, 为国产高档数控机床的继续发展奠定了坚实的技术基础。

但是, 由于我国工业基础相对单薄、以企业为主体的创新体系尚未建立、数控机床产业化时间短等原因, 技术上和产业上与西方发达国家相比还存在一定差异。首先是新产品开发能力缺乏。从行业总体看, 基础技术和关键技术研究还很薄弱, 基础开发理论研究、基础工艺研究和应用软件开发还不能适应数控技术快速发展的要求, 全行业科技人才缺乏, 缺乏高级技术人员, 科技投入和科研设施尚不适应等。其次是功能部件发展滞后。数控机床的发展需要高水平、专业化、规模化生产的功能部件作基础, 而目前我国在这方面还很落后。据了解, 大多数中高档数控机床主要配套的还是 FANUC 和 SIEMENS 等国外数控系统。用户选购国产机床时, 普遍提出选用境外功能部件的要求, 刀库、机械手、数控刀架、滚珠丝杠和导轨、电主轴等主要还是选择日本、德国或中国台湾省的产品。功能部件发展的滞后性, 将制约国产中高档数控机床的发展。

1.1.2 数控机床的构成和特点

1. 数控机床的构成

数控机床是典型的机电一体化产品, 主要由机床本体、数控系统及其他辅助部件组成, 如图 1-1 所示。

(1) 机床本体

如图 1-2 所示, 机床本体是数控机床的主体, 主要由床身、主运动机构、进给运动机构、辅助运动机构以及其他系统如冷却、润滑等机构组成。机床本体包含了导轨、滚珠丝杠等各种功能部件, 它们不仅要实现由数控系统控制的各种运动, 而且还要承受包括切削力在内的各种力。因此, 机床本体必须保持良好的几何精度、足够的刚性、小的热变形、低的摩擦阻力, 才能有效地保证数控机床的加工精度。

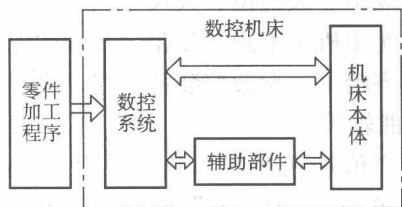


图 1-1 数控机床的构成

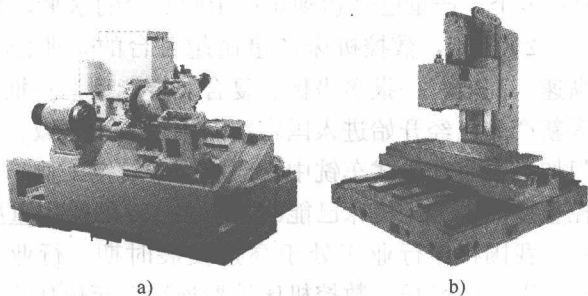


图 1-2 数控机床本体

a) 数控车床本体结构 b) 数控铣床本体结构

（2）数控系统

数控系统主要由数控装置、伺服系统等组成，是数控机床的控制核心，用来输入、存储零件加工程序，并根据零件加工程序进行计算、插补等处理，发出各种控制信号，控制机床各部件的动作，完成零件的加工。图 1-3 所示为 FANUC 0i-M 数控系统的基本构成部件。

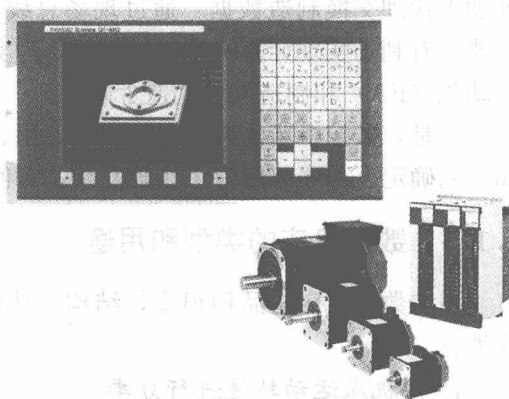


图 1-3 FANUC 0i-M 数控系统

（3）辅助部件

辅助部件主要是联络于机床本体和数控系统之间，辅助数控系统对数控机床的控制和检测，如各种控制开关、继电器等。

2. 数控机床的特点

（1）自动化程度高，具有广泛的适应性和较高的灵活性

数控机床能够在程序的控制下自动实现零件的加工功能，加工过程一般不需要人工干预，可大大降低工人的劳动强度。更换了加工对象后，只需要重新编制和输入加工程序即可实现加工；在某些情况下，甚至只要修改程序中部分程序段或利用某些特殊指令就可实现加工。这为单件、小批量、多品种生产，产品改型和新产品试制提供了极大的方便，大大缩短生产准备及试制周期。

（2）加工精度高

数控机床多采用闭环（半闭环）位置控制，并且能够根据软件进行间隙补偿和螺距误差补偿，因此加工精度较高。一般情况下，数控机床床身的结构刚性和热稳定性较好，制造精度较高。机床加工过程减小了操作者的人为操作误差，产品加工质量稳定、合格率高，同批次加工的零件几何尺寸一致性好。另外，高档数控机床还能实现多轴联动，可以加工普通机床很难加工甚至不可能加工的复杂曲面。

（3）生产率高

数控机床一般采用功率大、转速高的动力系统，且能实现平滑无级调速，容易选择较大合理的切削用量，减小了走刀过程。加工过程还可以选择最有利的加工参数，实现多道工序连续加工；可实现一人看管多机，大大提高生产率。另外，由于采用了加速、减速措施，使机床移动部件能快速移动和定位，可节省加工过程中的刀具空行程的时间。

（4）有利于管理现代化

现代数控机床多数具有网络化、集成化的功能，不仅是生产车间的基础设备，也是制造网络的一个功能节点。数控机床具有与上位主机之间通过以太网交换管理