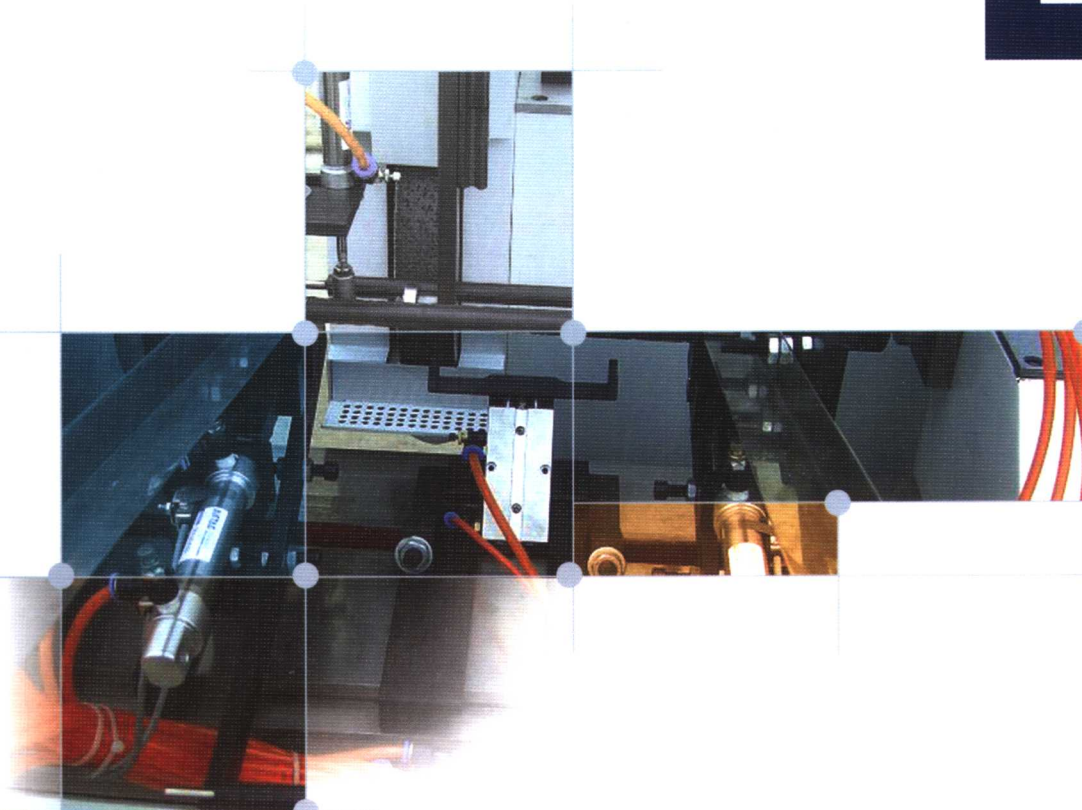


实用数控机床 技术手册

李金伴 马伟民 主 编
陆一心 张建生 副主编



化学工业出版社

实用数控机床 技术手册

李金伴 马伟民 主 编
陆一心 张建生 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书反映了近年来数控新技术及机床系统部件的最新研究技术成果,详细介绍了机床数控技术基础知识、数控机床结构要求及对策、数控机床伺服系统的类型和主要技术参数、CNC 数控系统的类型及主要技术参数、国内外数控机床的技术规格和参数、数控机床的接口及标准化、数控机床的安装、调试、验收和维修。内容翔实,实用性强。

本书可供数控机床设计、应用、维修的工程技术人员,高等院校相关专业师生学习和参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用数控机床技术手册/李金伴,马伟民主编. —北京:化学工业出版社, 2007.9

ISBN 978-7-122-00876-3

I. 实… II. ①李…②马… III. 数控机床-技术手册 IV. TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 113293 号

责任编辑:张兴辉 刘 哲

装帧设计:高 峰

责任校对:陶燕华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 34½ 字数 867 千字 2007 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:76.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着科学技术的迅猛发展,数控技术的发展日新月异。尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化,传统制造技术不断吸收信息、材料、能源及管理等领域现代成果,综合应用于数控技术的产品设计、制造、检测、生产管理和售后服务。在生产技术和生产模式等方面,许多新的思想和概念不断涌现,而且不同学科之间相互渗透、交叉融合,衍生出新的研究领域,正在迅速改变着传统制造业的面貌。

数控技术是20世纪制造技术的重大成就之一,是一个综合了计算机技术、自动控制技术、检测技术和机械加工技术的交叉和综合技术领域。数控技术的核心是由计算机(主要是软件)实现对加工过程中的信息进行处理和控制,实现加工过程自动化。从20世纪70年代以来,计算机数控技术获得了突飞猛进的发展,数控机床和其他数控装备在实际生产中获得了越来越广泛的应用。同时,计算机数控技术的发展又极大地推动了计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造技术(CIMS)的发展,成为先进制造技术的技术基础和重要组成部分。

数控技术已被世界各国列为优先发展的关键工业技术,成为当代国际间科技竞争的重点之一。中国的机械制造业正面临着前所未有的机遇与挑战——参与国际市场的竞争,用以数控技术为基础的先进制造技术武装机械制造业,是在这场竞争中获胜的重要条件之一。因此,在中国推广应用数控技术有着特别重要的意义。

为了适应这种形势,发展我国数控机床技术,提高工程技术人员、管理人员和广大职工的技术素质和业务素质,正确地选用、验收、调试、操作、维修数控机床,更好地发挥数控机床的功能、性能、效能,特组织编写了《数控机床实用技术手册》一书。本手册内容系统、丰富,素材新颖、全面,可供数控机床设计、应用、维修的工程技术人员,高等院校相关专业师生学习和参考。

本书由李金伴、马伟民任主编,陆一心、张建生任副主编。其中,第1篇由李金伴、李捷辉编写,第2篇由陆一心、陆维倩编写,第3、4篇由宋昌才编写,第5篇由马伟民编写,第6篇第1~3章由张建生编写,第6篇第4章由李捷明编写,第7篇由汪光远编写,第8篇第1、2章由李捷辉、刘青山编写,第8篇第2~5章由张建生编写,附录由罗信玉编写。在本书的编写中,得到了许多同志的热情帮助,他们提出了不少宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

限于编者水平有限,书中不足之处在所难免,诚恳希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 篇 机床数控技术基础

第 1 章 数控技术发展概况	1	3.3 机床数字控制的程序段格式和功能	33
1.1 概述	1	3.4 数控系统通用技术条件	49
1.2 数控技术发展概况	2	3.5 加工中心技术条件 (JB/T 8801—1998) (摘要)	63
1.3 数控机床的组成	6	3.6 数控机床操作指示形象化符号	69
1.4 数控机床的适用范围和特点	8	3.7 步进电机驱动机床数控系统技术条件	74
第 2 章 数控技术的常用术语	14	第 4 章 数控机床的坐标系和坐标轴的运动方向	79
2.1 通用术语	14	4.1 数控机床的坐标系与工作坐标系	79
2.2 程序编制和软件术语	15	4.2 数控机床的坐标轴和运动方向	85
2.3 数控系统术语	18	4.3 数控铣床加工坐标系的设定	91
2.4 机床及加工工艺术语	19	4.4 数控机床的自由度	92
2.5 数控机床的规范和标准	21		
2.6 数控系统的技术性能指标	23		
第 3 章 数控机床的技术标准	25		
3.1 数控标准和规约	25		
3.2 机床数字控制代码	30		

第 2 篇 数控机床结构要求及对策

第 1 章 导轨的结构形式和主要技术参数	94	3.7 滚珠丝杠副的维护	154
1.1 滑动导轨	95	第 4 章 数控机床的换刀装置	156
1.2 滚动导轨	95	4.1 换刀装置的基本形式	156
1.3 静压导轨	104	4.2 自动换刀装置	156
第 2 章 数控机床的工作台	107	4.3 刀库	159
2.1 工作台的型式及其应用	107	4.4 任意选择刀具编码方式	159
2.2 回转工作台	107	4.5 刀具识别装置	160
2.3 工作台的规格及尺寸参数	110	第 5 章 主轴部件	161
第 3 章 滚珠丝杠螺母的类型和主要技术参数	129	5.1 数控机床的主传动系统	161
3.1 滚珠丝杠螺母机构	129	5.2 主轴组件	162
3.2 滚珠的循环方式	129	5.3 MJ-50 型数控车床主轴部件	166
3.3 滚珠丝杠副的代号, 精度等级及系列尺寸	130	第 6 章 刀具的类型和主要技术参数	169
3.4 滚珠丝杠副的安装支承方式	151	6.1 数控刀具的种类	169
3.5 滚珠丝杠副轴向间隙的消除	151	6.2 数控刀具材料	170
3.6 滚珠丝杠副选用的主要技术参数	152	6.3 机夹可转位刀片及代码	171
		6.4 数控刀具刀柄	173
		6.5 数控刀具的选择	181

第3篇 数控机床伺服系统的类型和主要技术参数

第1章 主轴驱动和进给驱动概述	182	3.3 直流伺服电机的选择	253
1.1 主轴驱动伺服系统	182	3.4 直流伺服电机的控制与驱动	256
1.2 进给驱动伺服系统	189	3.5 直流伺服电机控制系统常见的故障类型 和维修方法	259
1.3 主轴驱动和进给驱动选配的主要技术 参数	192	第4章 交流伺服电机类型、特性参数、 选择和控制方法	260
1.4 主轴驱动和进给驱动常见的故障类型和 维修方法	197	4.1 交流伺服电机的类型和主要技术 参数	260
第2章 步进电机类型、特性参数、 选择和控制方法	204	4.2 交流伺服电机的工作原理	261
2.1 步进电机的类型和主要技术参数	204	4.3 交流伺服电机的选择	262
2.2 步进电机的工作原理	206	4.4 交流伺服电机的控制与驱动	276
2.3 步进电机的选择	209	4.5 交流伺服电机控制系统常见的故障类型 和维修方法	281
2.4 步进电机的控制与驱动	236	第5章 无刷电机类型、特性参数、选择 和控制方法	285
2.5 步进电机的故障类型	246	5.1 无刷电机的类型和主要技术参数	285
第3章 直流伺服电机类型、特性参数、 选择和控制方法	248	5.2 无刷电机的工作原理	287
3.1 直流伺服电机的类型和主要技术 参数	248	5.3 无刷电机的选择	289
3.2 直流伺服电机的工作原理	250	5.4 无刷电机的控制与驱动	294

第4篇 CNC 数控系统的类型及主要技术参数

第1章 CNC 系统的类型和主要 CNC 系统技术参数	300	S7-300 系列	325
第2章 多个微处理器 CNC 系统的类型 和主要技术参数	310	3.5 PLC SIMATIC S7-400 系列	329
2.1 CNC 装置的结构形式	310	第4章 CNC 系统的性能及操作 方法	331
2.2 CNC 装置的硬件	310	第5章 CNC 系统的常用软件	336
第3章 PLC 控制器的类型及主要技术 参数	317	5.1 日本 FANUC 数控系统	336
3.1 LOGO! 系列 PLC	317	5.2 德国 SIEMENS 数控系统	341
3.2 S7-200 系列 PLC	320	5.3 美国 A-B 数控系统	346
3.3 紧凑型可编程序控制器 SIMATIC S7-300C 系列	324	5.4 广州数控系统	347
3.4 通用型可编程序控制器——SIMATIC		第6章 CNC 系统常见的故障类型和 维修方法	349
		6.1 系统类故障	349
		6.2 系统显示类故障	349

第5篇 国内外数控机床的技术规格和参数

第1章 国内数控机床的技术规格和 参数	351	1.2 国内数控铣床的类型和主要技术 参数	366
1.1 国内数控车床的类型和主要技术 参数	351	1.3 国内数控钻床的类型和主要技术 参数	372

1.4 国内线切割机床的类型和主要技术		2.2 国外数控铣床的类型和主要技术	
参数	375	参数	395
1.5 国内加工中心的类型和主要技术		2.3 国外数控钻床的类型和主要技术	
参数	376	参数	398
1.6 国内特种加工机床的类型和主要技术		2.4 国外线切割机床的类型和主要技术	
参数	388	参数	398
第2章 国外数控机床的技术规格和		2.5 国外加工中心的类型和主要技术	
参数	393	参数	399
2.1 国外数控车床的类型和主要技术		2.6 国外特种加工机床的类型和主要	
参数	393	技术参数	401

第6篇 数控机床的接口及标准化

第1章 数控机床的接口的作用与		第3章 常用数控机床接口的监测	420
功能	403	3.1 数控机床接口在线检测系统的组成	420
1.1 数控机床的 MT 侧与数控系统 NC 侧的		3.2 数控机床接口在线检测的工作原理	421
概念	403	3.3 数控机床接口在线检测编程	421
1.2 数控机床的接口的定义	403	3.4 数控机床接口在线检测系统仿真	422
1.3 数控机床的接口的功能	404	3.5 国内外数控机床接口的监测方法	422
1.4 数控机床的接口的标准化定义	406	3.6 数控机床开关量信号监测	425
第2章 数控机床接口标准与开放式		3.7 网络结构与联网功能	426
数控系统的关系	407	第4章 数控机床的接口信息	427
2.1 概述	407	4.1 接口的类型和任务	427
2.2 数控机床接口标准与规范总线种类	409	4.2 CNC 装置的数据信息转换过程	428
2.3 计算机自动测量与控制标准接口总线的		4.3 CNC 装置的硬件接口结构	429
结构	415	4.4 CNC 装置的软件接口界面结构	433
2.4 美国 IEEE-488 标准接口总线的		4.5 CNC 装置输入输出和通信接口	437
结构	418		

第7篇 数控机床国内外的最新技术

第1章 国内外适应控制系统的研究		第3章 数控机床的先进技术应用	461
动向	444	第4章 数控机床的网络技术	466
1.1 适应控制系统的种类	444	4.1 数控机床联网的基本应用	466
1.2 适应控制系统的主要技术参数	448	4.2 数控联网系统的主要结构	466
第2章 成组技术	455	4.3 机床联网系统的主要功能	466
2.1 成组技术的分类方法 (CAPP)	455	4.4 提高机床生产率的网络化	468
2.2 零件编码的先进方法	458		

第8篇 数控机床的选择、安装、调试、验收和维修

第1章 数控机床的选择、安装、		1.4 数控机床精度的检测	489
使用	472	第2章 数控系统的可靠性、维护和	
1.1 数控机床的选择方法	472	维修	494
1.2 数控机床的使用	482	2.1 可靠性和可维护性	494
1.3 数控机床的安装与调试	486	2.2 数控机床的维护与保养	495

2.3 CNC 系统诊断技术	499	5.4 数控机床开机调试	517
第 3 章 伺服系统的诊断方法	501	5.5 维修调试后的技术处理	519
3.1 基本概念	501	5.6 数控机床中 PLC 的故障诊断及排除	520
3.2 故障点的检查与排除	504		
第 4 章 典型数控机床维修方法	508	附录 I 机床数字控制术语 (摘自 GB 8129—87)	522
4.1 西门子 3 系统的维修实例	508	附录 II APT 数控语言常用的专用字	533
4.2 FANUC 系统的维修实例	509	附录 III 常用典型转接交点矢量计算 公式	536
4.3 MNC863T 数控系统故障诊断	510	参考文献	541
第 5 章 数控机床的故障类型和维修方法	512		
5.1 数控系统的诊断与维修的一般方法	512		
5.2 故障排除方法	516		
5.3 维修中应注意的事项	517		

第 1 篇 机床数控技术基础

第 1 章 数控技术发展概况

1.1 概述

随着计算机技术的高速发展,传统的制造业开始了根本性变革,各工业发达国家投入巨资,对现代制造技术进行研究开发,提出了全新的制造模式。在现代制造系统中,数控技术是关键技术,它集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体,具有高精度、高效率、柔性自动化等特点,对制造业实现柔性自动化、集成化、智能化起着举足轻重的作用。目前,数控技术正在由专用型封闭式开环控制模式向通用型开放式实时动态全闭环控制模式发展。在集成化基础上,数控系统实现了超薄型、超小型化;在智能化基础上,综合了计算机、多媒体、模糊控制、神经网络等多学科技术,数控系统实现了高速、高精、高效控制,加工过程中可以自动修正、调节与补偿各项参数,实现了在线诊断和智能化故障处理;在网络化基础上,CAD/CAM 与数控系统集成成为一体,数控机床联网,实现了中央集中控制的群控加工。

长期以来,我国的数控系统为传统的封闭式体系结构,CNC 只能作为非智能的机床运动控制器。加工过程变量根据经验以固定参数形式事先设定,加工程序在实际加工前用手工方式或通过 CAD/CAM 及自动编程系统进行编制。CAD/CAM 和 CNC 之间没有反馈控制环节,整个制造过程中 CNC 只是一个封闭式的开环执行机构。在复杂环境以及多变条件下,加工过程中的刀具组合、工件材料、主轴转速、进给速率、刀具轨迹、切削深度、步长、加工余量等加工参数,无法在现场环境下根据外部干扰和随机因素实时动态调整,更无法通过反馈控制环节随机修正 CAD/CAM 中的设定量,因而影响 CNC 的工作效率和产品加工质量。由此可见,传统 CNC 系统的这种固定程序控制模式和封闭式体系结构,限制了 CNC 向多变量智能化控制发展,已不适应日益复杂的制造过程,因此,对数控技术实行变革势在必行。

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,它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。

从我国基本国情的角度出发,以国家的战略需求和国民经济的市场需求为导向,以提高制造装备业综合竞争能力和产业化水平为目标,用系统的方法,选择能够主导 21 世纪初期我国制造装备业发展升级的关键技术以及支持产业化发展的支撑技术、配套技术作为研究开发的内容,实现制造装备业的跨越式发展。

强调以市场需求为导向,即以数控终端产品为主,以整机(如量大面广的数控车床、铣

床、高速高精高性能数控机床、典型数字化机械、重点行业关键设备等)带动数控产业的发展。重点解决数控系统和相关功能部件(数字化伺服系统与电机、高速电主轴系统和新型装备的附件等)的可靠性和生产规模问题。没有规模就不会有高可靠性的产品;没有规模就不会有价格低廉而富有竞争力的产品;当然,没有规模中国的数控装备最终难以有出头之日。

在高精尖装备研发方面,要强调研究开发以及最终用户的紧密结合,以“做得出、用得上、卖得掉”为目标,按国家意志实施攻关,以解决国家之急需。

对数控技术方面,强调创新,强调研究开发具有自主知识产权的技术和产品,为我国数控产业、装备制造业乃至整个制造业的可持续发展奠定基础。

1.2 数控技术发展概况

20 世纪人类社会最伟大的科技成果是计算机的发明与应用,计算机及控制在机械制造设备中的应用是世纪内制造业发展的最重大的技术进步。自从 1952 年美国第 1 台数控铣床问世至今已经历了 50 余年。数控设备包括:车、铣、加工中心、镗、磨、冲压、电加工以及各类专机,形成庞大的数控制造设备家族,每年全世界的产量有 10 万~20 万台,产值上百亿美元。它经过 50 余年的 2 个阶段和 6 代的发展历程。

第 1 阶段是硬件数控(NC)。

第 1 代:1952 年的电子管。

第 2 代:1959 年晶体管分离元件。

第 3 代:1965 年的小规模集成电路。

第 2 阶段是软件数控(CNC)。

第 4 代:1970 年的小型计算机。

第 5 代:1974 年的微处理器。

第 6 代:1990 年基于个人 PC(PC-BASEO)。

第 6 代的系统优点如下。

① 元器件集成度高,可靠性好,性能高,可靠性已可达到 5 万小时以上。

② 基于 PC 平台,技术进步快,升级换代容易。

③ 提供了开放式基础,可供利用的软、硬件资源丰富,使数控功能扩展到很宽的领域(如 CAD、CAM、CAPP,连接网卡、声卡、打印机、摄影机等)。

④ 对数控系统生产厂来说,提供了优良的开发环境,简化了硬件。

我国数控机床制造业在 20 世纪 80 年代曾有过高速发展的阶段,许多机床厂从传统产品实现向数控化产品的转型,并有许多厂家生产经济型数控机床。但总的来说,技术水平不高,质量不佳,所以在 20 世纪 90 年代初期面临国家经济由计划性经济向市场经济转移调整,经历了几年最困难的萧条时期,那时生产能力降到 50%。从“九五”以后国家从扩大内需启动机床市场,加强限制进口数控设备的审批,重点投资和支持关键数控系统、设备、技术攻关,对数控设备生产起到了很大的促进作用,尤其是在 1999 年以后,国家向国防工业及关键民用工业部门投入大量技改资金,使数控设备制造市场一派繁荣。从 2000 年 8 月份的上海数控机床展览会和 2001 年 4 月北京国际机床展览会上,也可以看到多品种产品的繁荣景象。但也反映了下列一些问题。

- ① 低技术水平的产品竞争激烈，靠互相压价促销。
- ② 高技术水平、全功能产品主要靠进口。
- ③ 配套的高质量功能部件、数控系统附件主要靠进口。
- ④ 应用技术水平较低，联网技术没有完全推广使用。
- ⑤ 自行开发能力较差，相对有较高技术水平的产品主要靠引进图纸、合资生产或进口件组装。

当今世界工业国家数控机床的拥有量反映了这个国家的经济能力和国防实力。目前我国是全世界机床拥有量最多的国家（近 300 万台），但机床数控化率仅达到 1.9% 左右，这与西方工业国家一般能达到 20% 的差距太大。日本不到 80 万台的机床却有近 10 倍于我国的制造能力。数控化率低，已有数控机床利用率、开动率低，这是发展我国 21 世纪制造业必须首先解决的最主要问题。

在世界先进制造技术不断兴起，超高速切削、超精密加工等技术的应用，柔性制造系统的迅速发展和计算机集成系统的不断成熟，对数控加工技术提出了更高的要求。当今数控机床正在朝着以下几个方向发展。

（1）性能发展方向

① 高速、高精、高效化 速度、精度和效率是机械制造技术的关键性能指标。由于采用了高速 CPU 芯片、RISC 芯片、多 CPU 控制系统和带高分辨率绝对式。

② 高柔性化 柔性是指机床适应加工对象变化的能力。在提高单机柔性的同时，正努力向单元柔性和系统柔性发展。

柔性化包含两方面：数控系统本身的柔性，数控系统采用模块化设计，功能覆盖面大，可裁剪性强，便于满足不同用户的需求；群控系统的柔性，同一群控系统能依据不同生产流程的要求，使物料流和信息流自动进行动态调整，从而最大限度地发挥群控系统的效能。

③ 工艺复合性和多轴化 多轴化是以减少工序和辅助时间为主要目的复合加工，数控机床正朝着多轴、多系列控制功能方向发展。数控机床的工艺复合化是指工件在一台机床上一次装夹后，通过自动换刀、旋转主轴头或转台等各种措施，完成多工序、多表面的复合加工。例如，西门子 880 系统控制的轴数可达 24 轴。

④ 向高度自动化发展 数控机床已从自动编程、自动换刀、自动上下料、自动加工向自动检测、自动诊断、自动监控、自动对刀、自动传输、自动调度等方面发展。

⑤ 实时智能化 早期的实时系统通常是针对相对简单的理想环境，其作用是如何调度任务，以确保任务在规定期限内完成。而人工智能则试图用计算模型实现人类的各种智能行为。目前，实时系统和人工智能相互结合，人工智能正向着具有实时响应的、更现实的领域发展，而实时系统也朝着具有智能行为的、更加复杂的应用发展，由此产生了实时智能控制这一新的领域。在数控技术领域，实时智能控制的研究和应用正沿着几个主要分支发展：自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等。例如在数控系统中配备编程专家系统、故障诊断专家系统、参数自动设定和刀具自动管理及补偿等自适应调节系统，在高速加工时的综合运动控制中引入提前预测和预算功能、动态前馈功能，在压力、温度、位置、速度控制等方面采用模糊控制，使数控系统的控制性能大大提高，从而达到最佳控制的目的。

（2）功能发展方向

① 用户界面图形化 用户界面是 CNC 系统与使用者之间的对话接口。由于不同用户对界面的要求不同,因而开发用户界面的工作量极大,用户界面成为计算机软件研制中最困难的部分之一。当前 INTERNET、虚拟现实、科学计算可视化及多媒体等技术也对用户界面提出了更高要求。图形用户界面极大地方便了非专业用户的使用,人们可以通过窗口和菜单进行操作,便于蓝图编程和快速编程、三维彩色立体动态图形显示、图形模拟、图形动态跟踪和仿真、不同方向的视图和局部显示比例缩放功能的实现。

② 科学计算可视化 科学计算可视化可用于高效处理数据和解释数据,使信息交流不再局限于用文字和语言表达,而可以直接使用图形、图像、动画等可视信息。可视化技术与虚拟环境技术相结合,进一步拓宽了应用领域,如无图纸设计、虚拟样机技术等,这对缩短产品设计周期、提高产品质量、降低产品成本具有重要意义。在数控技术领域,可视化技术可用于 CAD/CAM,如自动编程设计、参数自动设定、刀具补偿和刀具管理数据的动态处理和显示以及加工过程的可视化仿真演示等。

③ 插补和补偿方式多样化 插补方式有多种多样,如直线插补、圆弧插补、圆柱插补、空间椭圆曲面插补、螺纹插补、极坐标插补、螺旋插补、NANO 插补、NURBS 插补(非均匀有理 B 样条插补)、样条插补(A、B、C 样条)、多项式插补等。多种补偿功能,如间隙补偿、垂直度补偿、象限误差补偿、螺距和测量系统误差补偿、与速度相关的前馈补偿、温度补偿、带平滑接近和退出以及相反点计算的刀具半径补偿等。

④ 内装高性能 PLC 在 CNC 系统内装高性能 PLC 控制模块,可直接用梯形图或高级语言编程,具有直观的在线调试和在线帮助功能。编程工具中包含用于车床铣床的标准 PLC 用户程序实例,用户可在标准 PLC 用户程序基础上进行编辑修改,从而方便地建立自己的应用程序。

⑤ 多媒体技术应用 多媒体技术是集计算机、声像和通信技术于一体,使计算机具有综合处理声音、文字、图像和视频信息的能力。在数控技术领域,应用多媒体技术可以做到信息处理综合化、智能化,在实时监控系统和生产现场设备的故障诊断、生产过程参数监测等方面有着重大的应用价值。

(3) 体系结构的发展方向

① 集成化 采用高度集成化的 CPU、RISC 芯片和大规模可编程集成电路 FPGA、EPLD、CPLD 以及专用集成电路 ASIC 芯片,可提高数控系统的集成度和软硬件运行速度。应用 FPD 平板显示技术,可提高显示器性能。平板显示器具有科技含量高、重量轻、体积小、功耗低、便于携带等优点,可实现超大尺寸显示,成为和 CRT 抗衡的新兴显示技术,是 21 世纪显示技术的主流。应用先进封装和互联技术,将半导体和表面安装技术融为一体。通过提高集成电路密度、减少互联长度和数量来降低产品价格,改进性能,减小组件尺寸,提高系统的可靠性。

② 模块化 硬件模块化易于实现数控系统的集成化和标准化。根据不同的功能需求,将基本模块,如 CPU、存储器、位置伺服、PLC、输入输出接口、通信等模块,制作成为标准的系列化产品,通过积木方式进行功能裁剪和模块数量的增减,构成不同档次的数控系统。

③ 网络化 数控机床联网可进行远程控制和无人化操作。通过机床联网,可在任何一台机床上对其他机床进行编程、设定、操作、运行,不同机床的画面可同时显示在每一台机床的屏幕上。

④ 通用型开放式闭环控制模式 采用通用计算机组成总线式、模块化、开放式、嵌入式体系结构,便于裁剪、扩展和升级,可组成不同档次、不同类型、不同集成程度的数控系统。闭环控制模式是针对传统的数控系统仅有的专用型单机封闭式开环控制模式提出的。由于制造过程是一个具有多变量控制和加工工艺综合作用的复杂过程,包含诸如加工尺寸、形状、振动、噪声、温度和热变形等各种变化因素,因此,要实现加工过程的多目标优化,必须采用多变量的闭环控制,在实时加工过程中动态调整加工过程变量。加工过程中采用开放式通用型实时动态全闭环控制模式,易于将计算机实时智能技术、网络技术、多媒体技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体,构成严密的制造过程闭环控制体系,从而实现集成化、智能化、网络化。

(4) 智能化新一代 PCNC 数控系统

当前开发研究适应于复杂制造过程的、具有闭环控制体系结构的、智能化新一代 PCNC 数控系统已成为可能。

智能化新一代 PCNC 数控系统将计算机智能技术、网络技术、CAD/CAM、伺服控制、自适应控制、动态数据管理及动态刀具补偿、动态仿真等高新技术融于一体,形成严密的制造过程闭环控制体系。

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),中国的 ONCS (Open Numerical Control System) 等。数控系统开放化已经成为数控系统的未来之路。所谓开放式数控系统,就是数控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年推出了相关的新概念和样机,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, CPC);日本大阪(Okuma)机床公司展出“IT plaza”(信息技术广场, IT 广场);德国西门子(SIEMENS)公司展出的 Open Manufacturing Environment(开放制造环境, OME)等,反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

1.3 数控机床的组成

数控机床是由机床、数控系统、外围技术三部分组成，如图 1-1-1 所示。

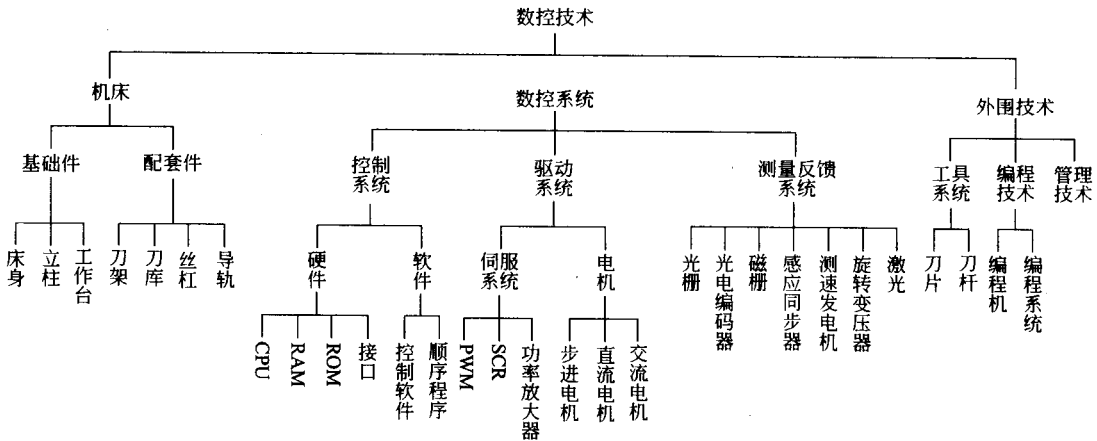


图 1-1-1 数控机床的组成

数控机床是由普通机床演变而来的，它的控制采用计算机数字控制方式，各个坐标方向的运动均采用单独的伺服电动机驱动，取代了普通机床上联系各坐标方向运动的复杂齿轮传动链。数控机床的结构方框图如图 1-1-2 所示，它是由 X、Y、Z 三个坐标来实现刀具和工件间的相对运动的立式数控铣床。数控机床由信息输入、信息运算及控制、伺服驱动系统和位置检测反馈、机床本体、机电接口五大部分组成。

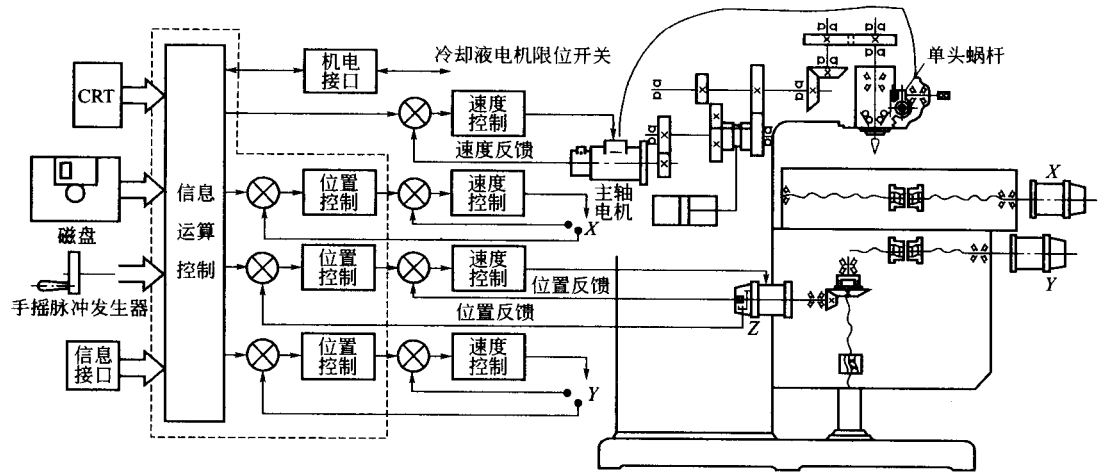


图 1-1-2 数控机床的结构方框图

(1) 信息输入

这一部分是数控机床的信息输入通道，加工零件的程序和各种参数、数据通过输入设备送进计算机系统（数控装置）。早期的输入方式为穿孔纸带，磁带。目前较多采用磁盘；在生产现场，特别是一些简单的零件程序都采用按键、配合显示器（CRT）的手动数据输入

(MDI) 方式;手摇脉冲发生器输入都是在调整机床和对刀时使用;通过通信接口,可由上位机输入。

(2) 信息运算及控制

数控装置是由中央处理单元(CPU)、存储器、总线和相应的软件构成的专用计算机,它接收到输入信息后,经过译码、轨迹计算(速度计算)、插补运算和补偿计算,再给各个坐标的伺服驱动系统分配速度、位移指令。这一部分是数控机床的核心。整个数控机床的功能强弱主要由这一部分决定。它具备的主要功能如下。

① 具有多轴联动、多坐标控制。

② 具有实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线、螺旋线、极坐标、样条等)。

③ 具有多种程序输入功能(人机对话、手动数据输入、由上级计算机及其他输入设备的程序输入),以及编辑和修改功能。

④ 具有信息转换功能:包括 EIA/ISO 代码转换,公制/英制转换、坐标转换、绝对值/增量值转换等。

⑤ 具有补偿功能:刀具半径补偿、刀具长度补偿、传动间隙补偿、螺距误差补偿等。

⑥ 具有多种加工方式选择。可以实现各种加工循环,重复加工,凹凸模加工和镜像加工等。

⑦ 具有故障自诊断功能。

⑧ 具有显示功能。用 CRT 可以显示字符、轨迹、平面图形和动态三维图形。

⑨ 具有通信和联网功能。

(3) 伺服驱动系统

伺服驱动系统又称为伺服驱动装置,它接受计算机运算处理后分配来的信号。该信号经过调解、转换、放大以后去驱动伺服电机,带动数控机床的执行部件运动。数控机床的伺服驱动装置分为主轴驱动单元(主要是速度控制)、进给驱动单元(包括速度控制和位置控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服电机等。伺服系统分为直流伺服系统和交流伺服系统,而交流伺服系统正在取代直流伺服系统;以步进电机驱动的伺服系统在某些具体场合仍可采用;直线电机系统是适应高速、高精度的一种伺服机构。在伺服系统中还包括安装在伺服电机上(或机床的执行部件上)的速度,位移检测元件及相应电路,该部分能及时将信息反馈回来,构成闭环控制(交流数字闭环控制中还包括电流检测反馈)。常用检测装置有测速发电机、旋转变压器、脉冲编码器、感应同步器、光栅、磁性检测元件、霍尔检测元件等组成的系统。一般来说,数控机床的伺服驱动系统,要求具有很好的快速响应性能,以及能够灵敏而准确地跟踪指令的功能。所以,伺服驱动及检测反馈是数控机床的关键环节。

(4) 主机(机床本体)

数控机床的主机包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和基础部件,如床身、底座、立柱、滑鞍、工作台(刀架)、导轨等。数控机床与普通机床不同,它的主运动,各个坐标轴的进给运动都由单独的伺服电机(无级变速)驱动,所以它的传动链短、结构比较简单。普通机床上各个传动链之间有复杂的齿轮联系,在数控机床上改由计算机来协调控制各个坐标轴之间的运动关系。为了保证数控机床的快速响应特性,在数控机床上普遍采用精密滚珠丝杠和直线滚动导轨副。为了保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工,机床的机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能。在

加工中心上还具备有刀库和自动交换刀具的机械手。同时还有一些良好的配套设施，如冷却、自动排屑、防护、可靠的润滑、编程机和对刀仪等，以利于充分发挥数控机床的功能。

(5) 机电接口

数控机床上除了点位、轨迹控制采用数字控制外，还有许多其他的控制，如主轴的启停，刀具的更换，工件的夹紧松开，各种辅助交流电动机的启停，电磁铁的吸合、释放，离合器的开、合，电磁阀的打开与关闭等。它们的动力来源是由电源变压器，控制变压器，各种断路器，保护开关，接触器，功率断路器及熔断器等组成的强电路提供的，而这种强电路是不能与低压下工作的控制电路或弱电线路直接连接，只能通过断路器，热动开关，中间继电器等转换成直流低压下工作的触点的开、合（关）工作，成为继电器逻辑电路或 PLC 可接收的信号。其他还有为了保证人身和设备安全、或者为了操作、为了兼容性所必需的：如急停、进给保持、循环启动、NC 准备好、行程限位、JOG 命令（手动连续进给）、NC 报警、程序停止、复位、M 信号、S 信号、T 信号等信号也需由 PLC 来传送。这些动作都按机床工作的逻辑顺序由 PLC 来完成。PLC 控制的虽是动作先后逻辑顺序，但它处理的是数字信息 0 和 1，不管是由 PLC 本身带的 CPU 还是由数控装置内的 CPU 来处理这些信息，数控机床的计算机都能将数字控制信息和开关量控制信息很好地协调起来，实现正常的运转和工作。

以上这些都是属于数控装置和机床之间的接口问题，统称为机电接口。解决这些问题，首先要知道数控机床上有哪些动作，其次是这些动作的先后顺序，以及它们之间的逻辑（联锁、互锁等）关系等。

数控机床除了实现加工零件轮廓轨迹控制外，还有其他许多动作。例如：数控车床上刀架的自动回转，加工中心上刀库的自动换刀，冷却液开、停，各坐标的行程限位，各个运动的互锁、联锁，机床的急停，循环启动，进给保持，程序停止，以及各种离合器的开、合，电磁铁的通、断，电磁阀的开、闭等。这些属于开关量控制，一般采用可编程控制器（PC），也称顺序控制器来实现。

从图 1-1-2 中可以看出，数控机床比普通机床的传动简单，传动件少，但要求零部件的制造精度高、刚度大，进给传动系统应轻快、灵敏，并采用无间隙传动。从计算机的硬件体系结构看，与一般计算机没有什么区别，主要区别在于软件。这里的软件应能支持计算机完成零件形状轨迹的插补运算，而对其科学计算和文字处理功能不作具体要求。普通计算机的外设多为打印机、绘图机等，而在数控机床上的计算机输出微弱信号后，要放大近百万倍才能驱动工作台移动，而且这种过程的响应时间是毫秒级，最小位移量约为 0.001mm。

一般将信息输入、运算及控制、伺服驱动中的位置控制、PC 控制统称为数控系统，将它们安装在一个类似柜式的装置中，称为数控装置。伺服驱动（常指速度控制环）单元、伺服电机、机械传动环节统称为伺服系统。伺服电动机（带检测反馈元件）及伺服驱动单元等在市场上都有配套产品。

1.4 数控机床的适用范围和特点

1.4.1 数控机床的适用范围

现代大工业生产中已广泛采用刚性自动化装置，如汽车工业中大量采用的组合机床自动

线。这类专用化的自动机床自动生产线及自动车间等所谓“刚性制造系统”适用于大批量零件的生产，其生产效率高，经济效益好。但是，这种刚性制造系统很难改变已定的加工对象，适应产品变化的范围小。

数控机床是一种可编程的通用加工设备，但是因设备投资费用较高，还不能用数控机床完全替代其他类型的设备，因此，数控机床的选用有其一定的适用范围。数控机床最适宜加工结构比较复杂、精度要求高的零件，以及产品更新频繁、生产周期要求短的多品种小批量零件的生产。

图 1-1-3 可粗略地表示数控机床的适用范围。从图 1-1-3(a) 可看出，通用机床多适用于零件结构不太复杂、生产批量较小的场合；专用机床适用于生产批量很大的零件；数控机床对于形状复杂的零件，尽管批量小也同样适用。随着数控机床的普及，数控机床的适用范围也愈来愈广，对一些形状不太复杂而重复工作量很大的零件，如印制电路板的钻孔加工等，由于数控机床生产率高，也已大量使用。因而，数控机床的适用范围已扩展到图 1-1-3(a) 中阴影所示的范围。

图 1-1-3(b) 表示当采用通用机床、专用机床及数控机床加工时，零件生产批量和零件总加工费用之间的关系。据有关资料统计，当生产批量在 100 件以下，用数控机床加具有有一定复杂程度零件时，加工费用最低，能获得较高的经济效益。

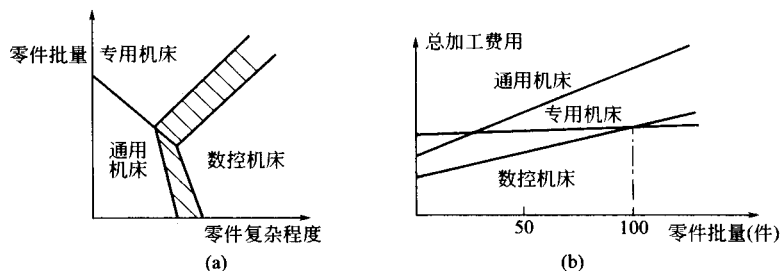


图 1-1-3 数控机床适用范围

由此可见，数控机床最适宜加工以下类型的零件。

- ① 生产批量小的零件（100 件以下）。
- ② 需要进行多次改型设计的零件。
- ③ 加工精度要求高、结构形状复杂的零件，如箱体类，曲线、曲面类零件。
- ④ 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件。
- ⑤ 价值昂贵的零件，这种零件虽然生产量不大，但是如果加工中因出现差错而报废，将产生巨大的经济损失。

1.4.2 数控机床的特点

(1) 数控机床的性能特点

数控机床与通用机床和专用机床相比，具有以下主要特点。

- ① 提高加工零件的精度，稳定产品的质量。

能完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件加工。例如，采用二轴联动或二轴以上联动的数控机床，可加工母线为曲线的旋转体曲面零件、凸轮零件和各种复杂空间曲面类零件。