

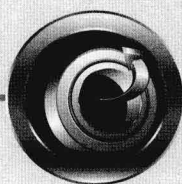
数控 车工

高级

顾佩兰 朱生根 主编



化学工业出版社



数控车工

高级

顾佩兰 朱生根 主 编
冯佳玲 储晓猛 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要内容包括数控机床加工技术、FANUC 0i-T 数控车床编程与操作（复合循环、宏程序）、SIEMENS 802D 数控车床编程与操作、广州数控（GSK980T）数控车床编程与操作、自动编程简介、数控车床的维护使用。

本书可作为职业技能鉴定培训的教材，也可作大专、高职、中专等数控专业师生的教科书，还可供从事相关工作的技术人员和数控机床操作人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数控车工：高级/顾佩兰，朱生根主编. —北京：化学工业出版社，2010.10

ISBN 978-7-122-09376-9

I. 数… II. ①顾…②朱… III. 数控机床：车床-车削
IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 166019 号

责任编辑：李玉晖

文字编辑：陈 喆

责任校对：陶燕华

装帧设计：尹琳琳

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：三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 312 千字 2011 年 1 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：29.90 元

版权所有 违者必究

前 言

随着现代科学技术的发展,数控技术在机械制造领域中日益普及与提高,各种类型的数控机床在生产中得到越来越广泛的应用。

国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批数控应用型高级技术人才。为了适应新技术的发展,各高校本科、专科,高专、高职相继进行了专业设置的改造,增加了机电专业和数控专业,并开设了数控机床课程。为了适应我国高等职业技术教育发展及数控应用型技术人才培养的需要,我们组织了多年从事数控实际生产加工和数控技术培训、有着丰富数控实践和教学经验的双师型的高级工程师、工程师、技师,编写了这套教材。

本系列书主要特点是实践性强。在加强基础理论学习的同时,突出实用性、综合性、先进性。本系列书主要内容有数控技术的介绍、加工工艺的介绍(特别是刀具刃磨、测量技术的应用,零件的加工与生产实践紧密结合)、编程方法和数控加工技术等内容的学习与应用,通过对各种简单、复杂形状零件的编程学习和上机加工综合实训,使学生既懂得了理论知识,又具有较强的实际动手能力,成为解决实际生产问题的实干家。

本系列书在编写的过程中,结合了我们多年的实践经验,使读者能尽快地掌握数控知识,并举一反三。本书文字简练、通俗易懂、图文并茂、操作性强。可作为大专、高职、中专等数控专业学生的教材,亦可作相关教师的参考书、职业培训的教材,还可供从事相关工作的技术人员和数控机床操作人员参考。

本系列书分两册,第一册为中级,第二册为高级,从简单到复杂,难度逐次加深。

本书由顾佩兰、朱生根任主编,冯伟玲、储晓猛任副主编。顾佩兰、曹卫明、武国强、张松生编写第1章,冯伟玲编写第2章,储晓猛编写第3章,江苏上齿集团曾建峰编写第4章,汪光远编写第5、6章。

本系列书由江苏大学李金伴教授主审,李教授在审阅过程中,对初稿提出了很多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

本系列书在编写过程中参考了相关文献,并且得到了其他院校从事数控教学与培训的老师以及企业中从事数控操作及程序调试骨干的帮助,在此一并表示感谢。

由于数控技术不断更新,编者水平也有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2010年6月

目 录

第 1 章 数控机床加工技术	1
1.1 典型数控系统	1
1.1.1 典型数控系统介绍	1
1.1.2 数控机床发展现状	3
1.1.3 数控技术发展方向	4
1.2 数控机床的加工工艺	9
1.2.1 工件的定位方法和定位元件	9
1.2.2 夹具的定位误差分析.....	14
1.2.3 机械加工精度.....	15
1.2.4 数控机床的加工工艺路线的拟订.....	18
1.3 较精密量具介绍.....	24
1.4 零件精度检测方法.....	27
1.4.1 形位误差的检测方法.....	27
1.4.2 表面粗糙度的测量.....	32
1.5 较复杂零件的加工工艺分析.....	32
1.5.1 回转类零件的加工工艺编制.....	32
1.5.2 薄壁零件的加工.....	33
1.5.3 偏心零件的加工工艺分析.....	35
1.5.4 配合件的工艺分析.....	38
1.5.5 细长轴的加工工艺分析.....	40
1.6 数控机床编程.....	43
1.6.1 刀具补偿功能 (FANUC、SIEMENS)	43
1.6.2 手工编程的数学处理.....	47
复习思考题	52
第 2 章 FANUC 0i-T 数控车床编程与操作	53
2.1 FANUC 0i-T 数控车床功能一览表	53
2.1.1 准备功能指令.....	53
2.1.2 辅助功能指令.....	55
2.1.3 其他功能指令.....	55
2.2 复合形状固定循环.....	55
2.2.1 外径粗车循环 G71	56
2.2.2 端面粗车循环 G72	56

2.2.3	多重车削循环 G73	57
2.2.4	精车固定循环 G70	57
2.2.5	复合固定循环应用示例	57
2.2.6	端面切槽/钻孔循环 G74	60
2.2.7	径向切槽/钻孔循环 G75	61
2.2.8	螺纹切削复合循环 G76	62
2.3	用户宏程序	63
2.4	车铣中心编程简介	70
2.4.1	极坐标插补	70
2.4.2	圆柱插补	71
2.4.3	B 功能指令及 M 功能指令	73
2.5	编程示例	74
2.5.1	二次曲线型面加工	74
2.5.2	用 G76 指令加工梯形螺纹	75
2.5.3	配合件的综合加工	77
	复习思考题	84

第 3 章	SIEMENS 802D 数控车床编程与操作	85
3.1	SIEMENS 802D 系统数控车床功能一览表	85
3.2	SIEMENS 802D 系统基本编程指令介绍	87
3.2.1	AC/IC—绝对/增量尺寸编程指令	87
3.2.2	TRANS/ATRANS—可编程零点偏移/附加的可编程零点偏移编程指令	87
3.2.3	SCALE/ASCALE—可编程比例系数/附加的可编程比例系数编程指令	87
3.2.4	G25/G26 WALIMON/WALIMOF—可编程工作区域限制指令	88
3.2.5	CT—切线过渡圆弧插补指令	89
3.2.6	CYCLE93—切槽循环指令	89
3.2.7	CYCLE94—E 型和 F 型退刀槽切削循环指令	91
3.2.8	CYCLE96—螺纹退刀槽切削循环指令	92
3.2.9	CYCLE95—毛坯切削 (轮廓) 循环指令	92
3.2.10	G33—螺纹切削指令	95
3.2.11	CYCLE97—螺纹切削循环指令	96
3.2.12	R—计算参数	98
3.3	典型复杂零件的工艺分析与编程	98
3.3.1	薄壁工件的编程	98
3.3.2	偏心轴工件的编程	99
3.3.3	配合件的编程	100
3.3.4	复杂零件用宏程序编程	102
3.4	SIEMENS 802D 系统数控车床操作	107

3.4.1	操作面板介绍	107
3.4.2	SIEMENS 802D 系统的数控车床的基本操作	109
	复习思考题	115
第 4 章	广州数控 (GSK980T) 数控车床编程与操作	116
4.1	广州数控 (GSK980T) 数控车床功能	116
4.2	常用指令的编程方法	118
4.3	典型复杂零件的工艺分析与编程	128
4.3.1	薄壁工件的编程	128
4.3.2	偏心零件的编程	132
4.3.3	配合件的编程	135
4.4	广州数控 (GSK980T) 数控车床仿真介绍	143
4.4.1	仿真模拟软件的操作面板介绍	143
4.4.2	试切对刀和工件坐标系的建立步骤	143
4.4.3	程序调试和自动加工	143
4.5	广州数控 (GSK980T) 数控车床操作	144
4.5.1	操作面板介绍	144
4.5.2	试切对刀和工件坐标系的建立步骤	145
4.5.3	程序调试和自动加工	145
	复习思考题	145
第 5 章	自动编程简介	147
5.1	MasterCAM 软件系统	147
5.2	MasterCAM 车削自动编程实例	147
5.2.1	生成端面加工刀具路径	148
5.2.2	生成轮廓粗车加工刀具路径	150
5.2.3	生成精车加工刀具路径	153
5.2.4	切槽加工刀具路径	154
5.2.5	生成螺纹加工刀具路径	155
5.2.6	生成钻孔加工刀具路径	157
5.2.7	生成截断加工刀具路径	157
5.3	数控程序的传输	160
	复习思考题	161
第 6 章	数控车床的维护使用	162
6.1	数控车床精度检测	162
6.1.1	床身的水平调整	162
6.1.2	数控机床的几何精度检验	162
6.2	数控车床的维护与保养	164
6.3	数控机床故障的一般诊断方法	168
6.4	数控机床强电控制系统及其维护	170
6.5	机械部分的维护与保养	171

复习思考题.....	173
附录 1 车工常用切削参数	174
附录 2 数控车工高级工考核样题	178
数控车工高级工基础知识试题	178
数控车工高级工应会试题	194
数控车工高级工应知试卷(样卷)	196
数控车工高级工应知试卷(样卷) 答案	198
数控车工高级工应会试卷(样卷)	199
数控车工高级工应会考试评分标准(样卷)	200
参考文献	201

第 1 章 数控机床加工技术

1.1 典型数控系统

数控系统是数控机床的核心。数控机床根据功能和性能要求的不同,配置相应的数控系统。下面介绍几种数控系统生产厂家的典型数控系统。

1.1.1 典型数控系统介绍

FANUC (日本)、SIEMENS (德国)、FAGOR (西班牙)、HEIDENHAIN (德国)、MITSUBISHI (日本) 等公司的数控系统及相关产品,在数控机床行业占据主导地位;我国数控产品以华中数控、航天数控为代表,也已将高性能数控系统产业化。

(1) FANUC 公司的主要数控系统

FANUC 公司的主要数控系统有以下几个系列。

① 高可靠性的 Power Mate 0 系列 它用于控制 2 轴的小型车床,取代步进电机的伺服系统;可配画面清晰、操作方便、中文显示的 CRT/MDI,也可配性能/价格比高的 DPL/MDI。

② 普及型 CNC 0-D 系列 0-TD 用于车床;0-MD 用于铣床及小型加工中心;0-GCD 用于圆柱磨床;0-GSD 用于平面磨床;0-PD 用于冲床。

③ 全功能型的 0-C 系列 0-TC 用于通用车床、自动车床;0-MC 用于铣床、钻床、加工中心;0-GCC 用于内、外圆磨床;0-GSC 用于平面磨床;0-TTC 用于双刀架 4 轴车床。

④ 高性能/价格比的 0i 系列 整体软件功能包,高速、高精度加工,并具有网络功能。0i-MB/MA 用于加工中心和铣床,4 轴 4 联动;0i TB/TA 用于车床,4 轴 2 联动;0i-mateMA 用于铣床,3 轴 3 联动;0i-mate TA 用于车床,2 轴 2 联动。

⑤ 具有网络功能的超小型、超薄型 CNC16i/18i/21i 系列 控制单元与 LCD 集成为一体,具有网络功能,超高速串行数据通信。其中 FS16i-MB 的插补、位置检测和伺服控制以纳米为单位。16i 最多可控 8 轴,6 轴联动;18i 最多可控 6 轴,21i 最多可控 4 轴,4 轴联动。

除此之外,还有实现机床个性化的 CNC 16/18/160/180 系列。

(2) SIEMENS 公司的主要数控系统

SIEMENS 公司的主要数控系统有以下几个系列。

① SINUMERIK 802S/C 用于车床、铣床等,可控 3 个进给轴和 1 个主轴,802S 适于步进电机驱动,802C 适于伺服电机驱动,具有数字 I/O 接口。

② SINUMERIK 802D 控制 4 个数字进给轴和 1 个主轴, PLC I/O 模块, 具有图形式循环编程, 车削、铣削/钻削工艺循环, FRAME (包括移动、旋转和缩放) 等功能, 为复杂加工任务提供智能控制。

③ SINUMERIK 810D 用于数字闭环驱动控制, 最多可控 6 轴 (包括 1 个主轴和 1 个辅助主轴), 紧凑型可编程输入/输出。

④ SINUMERIK 840D 全数字模块化数控设计, 用于复杂机床、模块化旋转加工机床和传送机, 最多可控 31 个坐标轴。

(3) FAGOR 公司的主要数控系统

FAGOR 公司的主要数控系统有以下几个系列。

① CNC8070 系列 该系列是与 PC 兼容的数控系统, 采用 Pentium CPU, 可运行 windows 和 MS-DOS。可控制 16 轴+3 电子手轮+2 主轴, 可运行 VISUAL BASIC、VISUAL C++, 程序段处理时间小于 1ms, PLC 可达 1024 输入点/1024 输出点, 具有以太网、CAN、SER-COS 通信接口, 可选用 $\pm 10V$ 模拟量接口。

② 8055 系列 8055 系列数控系统是 FAGOR 高档数控系统, 可实现 7 轴 7 联动+主轴+手轮控制。按其处理速度不同, 分为 8055/A、8055/B、8055/C 三种档次。适用于车床、车削中心、铣床、加工中心及其他数控设备。它具有连续数字化仿形、RTCP 补偿、内部逻辑分析仪、SERCOS 接口、远程诊断等许多高级功能。

③ 8040/8055-i 标准系列 它属于中高档数控系统, 采用中央单元与显示单元合为一体的结构, 8040 可控 4 轴 4 联动+主轴+2 个手轮。8055-i 可实现 7 轴 7 联动+主轴+2 个手轮, 两者用户内存均可达到 1MB 且具有 $\pm 10V$ 模拟量接口及数字化 SERCOS 光缆接口, 可配置带 CN 接口的分布式 PLC。

④ 8040/8055-i/8055TCO/MCO 系列 它是一种开放式的数控系统, 可供 OEM 再开发成为专用数控系统, 适用于任何机床设备。

⑤ 8040/8055-i/8055 TC/MC 系列 它是人机对话式数控系统, 其主要特点是无需采用 ISO 代码编程, 可将零件图中的数据通过人机交互图形界面直接输入系统, 从而实现编程, 俗称傻瓜式数控系统。

⑥ 8025/8035 系列 8025 系列是 FAGOR 公司的中档数控系统, 适用于铣床、加工中心、车床及其他数控设备。它可控 2~5 轴不等, 该数控系统是操作面板、显示器、中央单元合一的紧凑结构。8035 系列是 8040/8035-i/8055 的简化型, 采用 32 位 CPU, 同时也是 8025 的更新换代产品。

(4) 华中数控系统

华中数控以“世纪星”系列数控单元为典型产品, HNC-21/22T 为车削系统, 最大联动轴数为 4 轴; HNC-21/22M 为铣削系统, 最大联动轴数为 4 轴, 采用开放式体系结构, 内置嵌入式工业 PC。伺服系统的主要产品包括: HSV-11 系列交流伺服驱动装置, HSV-16 系列全数字交流伺服驱动装置, 步进电机驱动装置, 交流伺服主轴驱动装置与电机, 永磁同步交流伺服电机等。

(5) 广州数控系统 GSK

广州数控 GSK 是国内最大的机床数控系统研发、生产基地。主要有 GSK983MV、980MD 铣床数控系统, GSK980TDa、928TEII、980TB1、218TB 车床数控系统。

（6）北京航天数控系统

北京航天数控系统主要产品为 CASNUC 2100 数控系统，是以 PC 为硬件基础的模块化、开放式的数控系统，可用于车床、铣床、加工中心等 8 轴以下机械设备的控制，具有 2 轴、3 轴、4 轴联动功能。

（7）天津大学数控系统

天大精益数控公司推出的 TDNC 系列数控系统包括 L（经济型）和 M（中档型）两个系列，TDNC-LT/M2000 经济型车削/铣削系统，为最新推出的经济型车床控制系统；TDNC-M4 为天大数控最新推出的中档型高性能多功能四轴运动控制系统，具备智能化、网络化和开放结构三大重要特征，是加工和控制过程中的平台级装备产品，可广泛用于如数控机床、工业机器人、自动化生产线等工业自动化领域。

1.1.2 数控机床发展现状

2009 年在意大利米兰举行的欧洲机床展 EMO 上汇集了国际上重要的数控系统制造商，如日本 FANUC、三菱，德国西门子、海德汉、力士乐，西班牙发格，意大利 FIDIA，法国 NUM 等，他们各自展出了各种档次的数控系统，演示了最新的技术发展趋势，对我国数控系统的发展有很大的启发。

以生产力革新为主题，西门子自动化与驱动集团（A&D）展示了 CNC 数控应用全套解决方案“cnc-drives-motors”。其展示的数控装置类的产品包括基于驱动器的 CNC 控制器和基于 PC 的 CNC 控制器；驱动类产品则有西门子新一代集 V/F、矢量和伺服控制于一体的驱动控制系统 SINAMICSS120。西门子公司采用展板和实际加工样件的形式向参展嘉宾介绍其高性能数控系统在电力、航空航天、医疗器械等领域的应用情况。

日本 FANUC 公司在本次展会上展出的产品则分为三大类：机器人、数控装置、驱动和电机，展现该公司产品的主题：机床与机器人的融合。同时，FANUC 公司突出展示了各类伺服驱动系统和各种规格的机器人，展品种类是参展数控企业中最多的，参观的观众很多。

德国海德汉公司参展的代表产品则是 iTNC530 数控系统，该系统是一个多功能、面向车间使用的适用于铣、钻、镗和加工中心的轮廓加工数控系统。同时，海德汉还通过其他装置展示使用其高精度测量装置后，机床数控加工从半闭环到全闭环后的精度变化。用计算机演示其高档数控系统具备的高速加工、五轴联动加工、智能化等功能，对其产品的精密性能有了更直观的感受。

日本三菱公司在本次展览会上推出了先进的、全纳米控制的三菱 CNC 旗舰产品——M700V 系列数控系统，并用标准配置五轴系统演示了涡轮加工过程。同时也展出了用于车床的 M70 系列数控系统，还通过一个平行装置演示了三菱数控系统的同步技术。博世力士乐公司则推出了 IndraMotionMTX 全系列数控系统，其中 IndraMotionMTXMicro 是力士乐 2009 年最新推出的最大四轴联动数控系统，该系统主要针对亚洲市场。

此次展览会上主流机床制造商展出的高档数控机床上普遍使用的数控系统是以上这几家主流公司的高档数控系统。根据初步统计，在这次展览会上配套的系统，西门子公司、海德汉公司和 FANUC 公司的数控系统较多。在高档数控机床上，西门子和海德汉两家公司的产品最多，在欧洲机床市场占有较大份额。在多轴、高速、复合加工、具备测量等辅助功能的高档机床上，西门子 840D 系统仍然是主流配置。

从此次参展新产品可以看出,当前数控系统的发展趋势主要体现在高速、高精,伺服智能化,CAD、CAM、CNC集成,产品系列化、个性化等方面。

1.1.3 数控技术发展方向

随着世界范围内制造业的巨大发展对数控机床的大量需求以及计算机技术和现代设计技术的飞速进步,数控机床的应用范围正在不断扩大,并且不断适应生产加工的需要。目前国内外的数控机床制造正向高速化、高精度化、复合化、智能化、开放化、网络化、多轴化、环保化等方向发展。

(1) 高速化

高速加工是当前数控加工的趋势,特别是汽车、国防、航空、航天等工业的高速发展以及铝合金等新材料的应用,以及电主轴、直线电机等新兴功能部件的快速发展,推动了数控机床的高速化进程。

① 主轴转速 随着电主轴的出现及其应用,主轴转速正逐步提升。在近几年的机床展览会上,展品中加工中心的主轴转速大多已超过12000r/min,德国罗德斯公司的BXP500型高速加工中心的主轴转速达到42000r/min,日本Sodick公司的MC430L型立式加工中心的主轴转速也达到40000r/min。表1-1是近几年国内外机床生产厂家主轴速度,可供参考。

表 1-1 国内外部分机床厂家主轴转速

生产厂	主轴型号	转速/(r/min)	轴承内径/mm	d_{mn} /(mm·r/min)	工作制式	额定功率/W
意大利 G&F 公司	EG260-0.5	260000	6	2.47×10^6	S6-50%	500
	EG180-0.6	180000	7	2.34×10^6	S6-50%	600
德国 GMN 公司	TSSV80-180000/0.5	180000	6	2.25×10^6	S6-60%	400
	TSSV80-150000/0.6	150000	10	2.175×10^6	S6-60%	500
日本 TOYO 公司	HFB15-0.3	150000	10	2.4×10^6	S1	350
洛阳轴承研究所	2GDZ150	150000	10	2.4×10^6	S1	385

② 进给量 在CIMT 2005上美国、日本、德国、意大利、瑞士等工业发达国家推出的展品大多数直线进给轴快移速度在40~60m/min、加速度在(0.6~1)g。德国爱克赛罗(EX-CELL-O)公司的XHC 241型直线电机驱动高速加工中心的快速移动速度达到120m/min。在2001年欧洲机床展上,有几十家公司展出直线电动机驱动的高速机床,快移速度达100~120m/min,加速度(1.5~2)g,其中尤以德国DMG公司与日本MAZAK公司最具代表性。2000年DMG公司已有28种机型采用直线电动机驱动,年产1500多台,约占总产量的1/3。MAZAK公司最近也将推出基于直线伺服系统的超音速加工中心,切削速度8马赫,主轴最高转速80000r/min,快移速度500m/min,加速度6g。

③ 运算速度 微处理器的迅速发展为数控系统向高速、高精度方向发展提供了保障,开发出CPU已发展到32位以及64位的数控系统,频率提高到几百兆赫、上千兆赫。由于运算速度的极大提高,使得当分辨率为0.1μm、0.01μm时仍能获得高达24~240m/min的进给速度。

④ 换刀速度 目前国外先进加工中心的刀具交换时间已普遍在 1s 左右,高的已达 0.5s。德国 Chiron 公司将刀库设计成篮子样式,以主轴为轴心,刀具在圆周布置,其换刀时间仅 0.9s。

(2) 高精度化

数控机床精度的要求现在已经不局限于静态的几何精度,机床的运动精度、热变形以及对振动的监测和补偿越来越获得重视。

国外加工中心绝大多数都配有直线光栅尺或圆光栅尺作位置闭环检测元件,使用高精度、高分辨率编码器作为伺服电机的反馈元件,保证加工中心有很高的定位精度。有的加工中心制造厂家还在数控系统控制软件方面采取措施,提高加工中心的定位精度。如日本 FANUC 公司提供的纳米级数控系统的主要功能是:以纳米为单位输入控制指令,CNC 以纳米为单位进行精密的位置计算,用“纳米级插补器”和高速、高响应的伺服控制器输出控制各伺服轴以纳米级运动及定位。目前,国外加工中心直线轴定位精度/重复定位精度都普遍达到 0.008/0.004mm,旋转轴定位精度/重复定位精度达到 8"/6",部分加工中心还具有更高的定位精度,直线轴定位精度/重复定位精度达到 0.004/0.002mm。

北京机床研究所成功研制大型纳米级超精密数控车床 NAM-800, NAM-800 纳米级超精密数控车床采用了当今最先进的数控技术、伺服技术、精密制造及测量技术,成功地解决了超精密导轨制造技术、主轴制造技术、气浮技术、测量与控制技术中对超精密加工有直接影响的温度控制技术、隔震技术等方面的技术难题。该车床的反馈系统分辨率为 2.5nm,机械进给系统可实现 5nm 的微小移动,可对被加工表面实现微小的切除,使其达到极高的精度和表面质量。主轴的回转精度为 $0.03\mu\text{m}$,溜板移动直线度为 $0.15\mu\text{m}/200\text{mm}$,最大可加工直径为 $\phi 800\text{mm}$,粗糙度 $Ra < 0.008\mu\text{m}$,形面精度 $< 0.3\mu\text{m}/100\text{mm}$ 。

在提高精度方面采取的相关措施:

① 提高 CNC 系统控制精度:采用高速插补技术,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化,并采用高分辨率位置检测装置,提高位置检测精度(日本已开发装有 10^6 脉冲/r 的内藏位置检测器的交流伺服电机,其位置检测精度可达到 $0.01\mu\text{m}/\text{脉冲}$),位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法。

② 采用误差补偿技术:采用反向间隙补偿、丝杆螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术,对设备的热变形误差和空间误差进行综合补偿。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 60%~80%。

③ 采用网格解码器检查和提高加工中心的运动轨迹精度,并通过仿真预测机床的加工精度,以保证机床的定位精度和重复定位精度,使其性能长期稳定,能够在不同的运行条件下完成多种加工任务,并保证零件的加工质量。

(3) 功能复合化

复合机床的含义是指在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的多种要素加工。根据其结构特点可分为工艺复合型和工序复合型两类。工艺复合型机床,如镗铣钻复合——加工中心、车铣复合——车削中心、铣镗钻车复合——复合加工中心等;工序复合型机床,如多面多轴联动加工的复合机床和双主轴车削中心等。采用复合机床进行加工,减少了工件装卸、更换和调整刀具的辅助时间以及中间过程中产生的误差,提高了零件的加工精度,缩短

了产品的制造周期,提高了生产效率和制造商的市场反应能力,相对于传统的工序分散的生产方法具有明显的优势。

加工过程的复合化也导致了机床向模块化、多轴化方向发展。德国 Index 公司最新推出的车削加工中心是模块化结构,该加工中心能够完成车削、铣削、钻削、滚齿、磨削、激光热处理等多种工序,可完成复杂零件的全部加工。随着现代机械加工要求的不断提高,大量的多轴联动数控机床越来越受到各大企业的欢迎。

在 2005 年中国国际机床展览会(CIMT2005)上,国内外制造商展出了形式多样的多轴加工机床(包括双主轴、双刀架、9 轴控制等)以及可实现 4~5 轴联动的五轴高速门式加工中心、五轴联动高速铣削中心等。

(4) 控制智能化

随着人工智能技术的发展,为了满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求,数控机床的智能化程度在不断提高。具体体现在以下几个方面:

① 加工过程自适应控制技术 通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电机的功率、电流、电压等信息,利用传统的或现代的算法进行识别,以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及机床加工的稳定性状态,并根据这些状态实时调整加工参数(主轴转速、进给速度)和加工指令,使设备处于最佳运行状态,以提高加工精度、降低加工表面粗糙度并提高设备运行的安全性。

② 加工参数的智能优化与选择 将工艺专家或技师的经验、零件加工的一般与特殊规律,用现代智能方法,构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择器”,利用它获得优化的加工参数,从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备时间的目的。

③ 智能故障自诊断与自修复技术 根据已有的故障信息,应用现代智能方法实现故障的快速准确定位。

④ 智能故障回放和故障仿真技术 能够完整记录系统的各种信息,对数控机床发生的各种错误和事故进行回放和仿真,用以确定引起错误的原因,找出解决问题的办法,积累生产经验。

⑤ 智能化交流伺服驱动装置 能自动识别负载,并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识别电机及负载的转动惯量,并自动对控制系统参数进行优化和调整,使驱动系统获得最佳运行。

⑥ 智能 4M 数控系统 在制造过程中,加工、检测一体化是实现快速制造、快速检测和快速响应的有效途径,将测量(Measurement)、建模(Modeling)、加工(Manufacturing)、机器操作(Manipulator)四者(即 4M)融合在一个系统中,实现信息共享,促进测量、建模、加工、装夹、操作的一体化。

(5) 体系开放化

① 向未来技术开放 由于软硬件接口都遵循公认的标准协议,只需少量的重新设计和调整,新一代的通用软硬件资源就可能被现有系统所采纳、吸收和兼容,这就意味着系统的开发费用将大大降低而系统性能与可靠性将不断改善并处于长生命周期。

② 向用户特殊要求开放 更新产品、扩充功能、提供硬软件产品的各种组合以满足特

殊应用要求。

③ 数控标准的建立 国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO14649 (STEP-NC), 以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。标准化的编程语言, 既方便用户使用, 又降低了和操作效率直接有关的劳动消耗。

(6) 驱动并联化

并联运动机床克服了传统机床串联机构移动部件质量大、系统刚度低、刀具只能沿固定导轨进给、作业自由度偏低、设备加工灵活性和机动性不够等固有缺陷, 在机床主轴 (一般为动平台) 与机座 (一般为静平台) 之间采用多杆并联连接机构驱动, 通过控制杆系中杆的长度使杆系支撑的平台获得相应自由度的运动, 可实现多坐标联动数控加工、装配和测量多种功能, 更能满足复杂特种零件的加工, 具有现代机器人的模块化程度高、重量轻和速度快等优点。

并联机床作为一种新型的加工设备, 已成为当前机床技术的一个重要研究方向, 受到了国际机床行业的高度重视, 被认为是“自发明数控技术以来在机床行业中最有意义的进步”和“21 世纪新一代数控加工设备”。

(7) 极端化 (大型化和微型化)

国防、航空、航天事业的发展和能源等基础产业装备的大型化需要大型且性能良好的数控机床的支撑。而超精密加工技术和微纳米技术是 21 世纪的战略技术, 需发展能适应微小型尺寸和微纳米加工精度的新型制造工艺和装备, 所以微型机床包括微切削加工 (车、铣、磨) 机床、微电加工机床、微激光加工机床和微型压力机等的需求量正在逐渐增大。

(8) 信息交互网络化

对于面临激烈竞争的企业来说, 使数控机床具有双向、高速的联网通信功能, 以保证信息流在车间各个部门间畅通无阻是非常重要的。既可以实现网络资源共享, 又能实现数控机床的远程监视、控制、培训、教学、管理, 还可实现数控装备的数字化服务 (数控机床故障的远程诊断、维护等)。例如, 日本 Mazak 公司推出新一代的加工中心配备了一个称为信息塔 (e-Tower) 的外部设备, 包括计算机、手机、机外和机内摄像头等, 能够实现语音、图形、视像和文本的通信故障报警显示、在线帮助排除故障等功能, 是独立的、自主管理的制造单元。

(9) 新型功能部件

为了提高数控机床各方面的性能, 具有高精度和高可靠性的新型功能部件的应用成为必然。具有代表性的新型功能部件包括:

① 高频电主轴 高频电主轴是高频电动机与主轴部件的集成, 具有体积小、转速高、可无级调速等一系列优点, 在各种新型数控机床中已经获得广泛的应用。

② 直线电动机 近年来, 直线电动机的应用日益广泛, 虽然其价格高于传统的伺服系统, 但由于负载变化扰动、热变形补偿、隔磁和防护等关键技术的应用, 机械传动结构得到简化, 机床的动态性能有了提高。如: 西门子公司生产的 1FN1 系列三相交流永磁式同步直线电动机已开始广泛应用于高速铣床、加工中心、磨床、并联机床以及动态性能和运动精度要求高的机床等; 德国 EX-CELL-O 公司的 XHC 卧式加工中心三向驱动均采用两个直线电

动机; MAZAK 公司推出基于直线伺服系统的超音速加工中心, 切削速度 8 马赫, 主轴最高转速 80000r/min, 快移速度 500m/min, 加速度 6g。这标志着以直线电动机驱动为代表的第二代高速机床, 将取代以高速滚珠丝杠驱动为代表的第一代高速机床, 并在使用中逐步占据主导地位。

③ 电滚珠丝杆 电滚珠丝杆是伺服电动机与滚珠丝杆的集成, 可以大大简化数控机床的结构, 具有传动环节少、结构紧凑等一系列优点。

(10) 高可靠性

数控机床与传统机床相比, 增加了数控系统和相应的监控装置等, 应用了大量的电气、液压和机电装置, 易于导致出现失效的概率增大; 工业电网电压的波动和干扰对数控机床的可靠性极为不利, 而数控机床加工的零件面型较为复杂, 加工周期长, 要求平均无故障时间在 2 万小时以上。为了保证数控机床有高的可靠性, 就要精心设计系统、严格制造和明确可靠性目标以及通过维修分析故障模式并找出薄弱环节。国外数控系统平均无故障时间在 7 万~10 万小时以上, 国产数控系统平均无故障时间仅为 10000 小时左右, 国外整机平均无故障工作时间达 800 小时以上, 而国内最高只有 300 小时。

(11) 加工过程绿色化

随着日趋严格的环境与资源约束, 制造加工的绿色化越来越重要, 而中国的资源、环境问题尤为突出。因此, 近年来不用或少用冷却液, 实现干切削、半干切削节能环保的机床不断出现, 并在不断发展当中。在 21 世纪, 绿色制造的大趋势将使各种节能环保机床加速发展, 占领更多的世界市场。绿色制造也对机床工业提出了新要求。欧洲的机床制造商和用户很重视环保和劳保, 同时也重视节能、降耗。干切削、准干切削、硬切削等绿色制造工艺在欧洲发展很快, 各机床制造商也均采取一切措施防止或避免冷却液、润滑液对周围环境造成生态危害, 设计开发环保产品。如瑞士米克朗公司在设计环保机床 VCP/UCP1000/1350 时, 从环境保护的角度出发, 考虑了机床各部分诸多方面的改进, 例如: 直线导轨采用了中央润滑系统, 在 8h 工作制下, 每年最多仅需要 3~4L 机油; 对电主轴和电气柜的制冷以及对其冷却剂进行冷却的附件装置均采用无氟制冷装置; 不带滤网的切屑处理, 因而不存在处理有害废液的费用; 采用静电过滤器有效地吸收机床内部空间污浊的空气, 以保护机床操作者的健康水平, 保持车间空气的清新; 噪声低, UCP1350 机床以主轴最高速运转时, 操作者听到的噪声比经济型轿车开到 100km/h 时司机听到的噪声要小; 电磁辐射低, 电磁兼容性经过测试; 节能, 在主轴驱动系统中, 电主轴制动时利用能量恢复模块和有节电的待机电路; 机床为紧凑型设计, 在车船运输时可降低运费等。

(12) 多媒体技术的应用

多媒体技术集计算机、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, 因此也对用户界面提出了图形化的要求。合理的人性化的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。除此以外, 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, 应用于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, 因此有着重大的应用价值。

1.2 数控机床的加工工艺

1.2.1 工件的定位方法和定位元件

(1) 定位元件的基本要求

为了保证同一批工件在夹具中占据一个正确的位置,必须选择合理的定位方法和设计相应的定位装置。

在实际应用时,一般不允许将工件的定位基面直接与夹具体接触,而是通过定位元件的工作表面与定位基面的接触来实现定位。定位基面与定位元件的工作表面合称为定位副。

① 足够的精度 工件的定位是通过定位副的接触(或配合)实现的。定位工作表面的精度直接影响工件的定位精度,因此定位元件工作表面应有足够的精度,以保证加工精度要求。

② 足够的强度和刚度 定位元件不仅限制工件的自由度,还有支承工件、承受夹紧力和切削力的作用,防止使用中变形和损坏,应有足够的强度和刚度。

③ 有较高的耐磨性 工件的装卸会磨损定位元件工作表面,导致定位元件精度下降、引起定位精度的下降,影响定位精度,降至不能保证加工精度时则更换定位元件。为延长定位元件更换周期,提高夹具使用寿命,定位元件工作表面应有较高的耐磨性。

④ 良好的工艺性 定位元件的结构力求简单、合理,便于加工、装配和更换;对于工件上不同的定位形式,定位元件的结构、形状、尺寸和布置方式也不同。

(2) 常用定位元件

① 工件以平面定位时的定位元件 固定支承有支承钉和支承板两种形式,在使用过程中,它们都是固定不动的。图1-1(a)为支承钉,有球头支承钉、齿纹头支承钉,用于工件侧面以增大摩擦系数,防止工件滑动;当工件以加工过的平面定位时,采用平头支承。

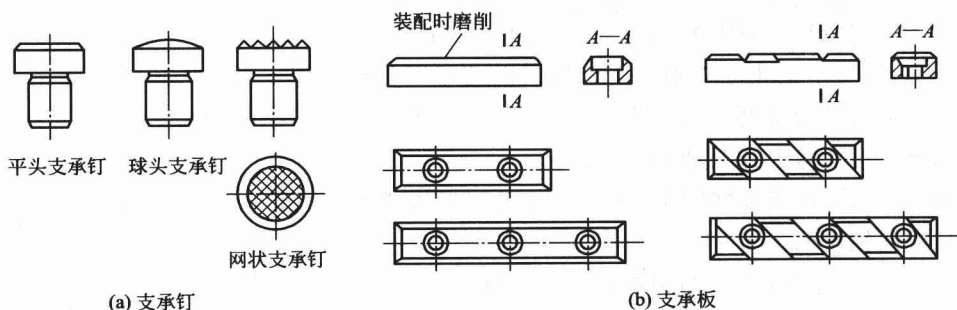


图 1-1 平面定位的固定支承

支承板如图1-1(b)所示。左边支承板结构简单,制造方便,孔边切屑不易清除干净,故适用于侧面和顶面定位;右边支承板便于清除切屑,适用于底面定位。

② 工件以圆孔定位时的定位元件 工件以内孔面作为定位基面时常用的定位元件有:

a. 圆柱心轴 图1-2所示为常用心轴的结构形式。

图1-2(a)所示为间隙配合心轴。装夹方便,但定心精度不高。为减少因配合间隙而造