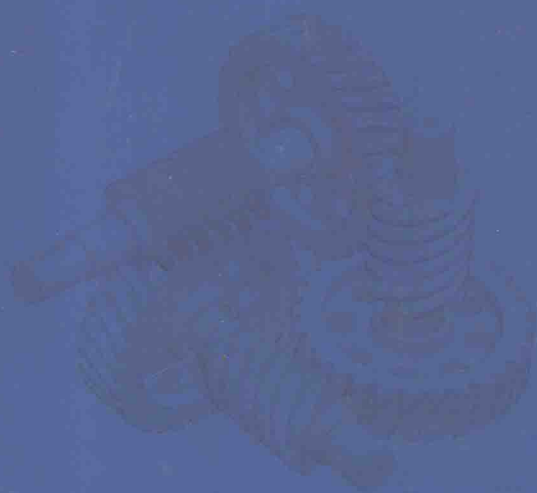


机床结构认识与拆装

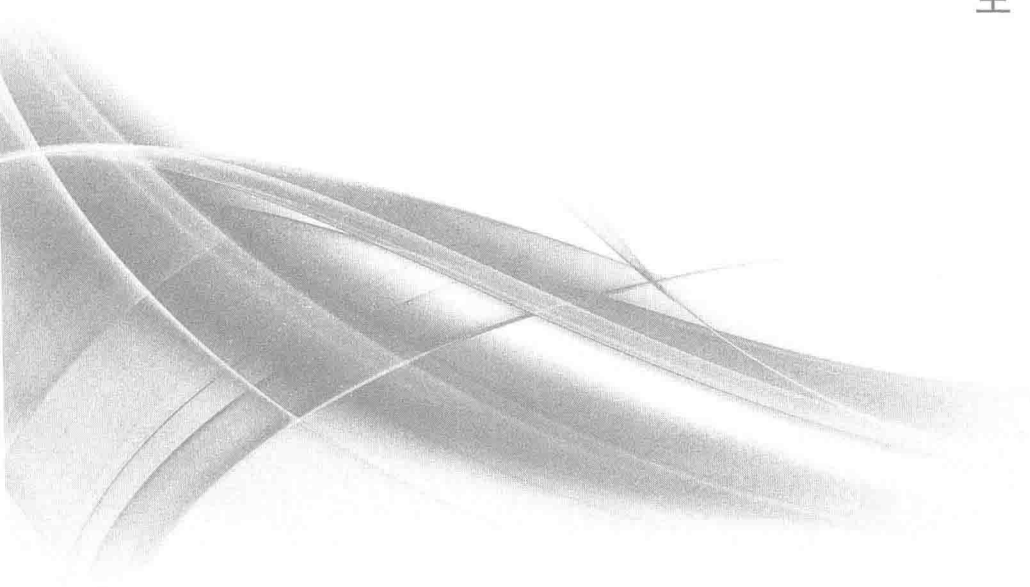
● 主 编 邵 娟



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

机床结构认识与拆装

主 编 邵 娟



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据目前数控技术发展和教学需要撰写而成，主要内容包括数控机床的基本概念及其结构特点、数控车床的分类及其结构特点、数控铣床的分类及其结构特点、数控加工中心的分类及其结构特点、数控电加工机床的分类及其结构特点等。

本书既可作为高等院校机械类相关专业的教材和参考书，也可作为企业数控加工职业技能的培训教程，还可作为广大数控专业技术人员和技工的自学教材和参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

机床结构认识与拆装/邵娟主编. —北京：北京理工大学出版社，2016.10
ISBN 978-7-5682-3046-9

I. ①机… II. ①邵… III. ①数控机床—结构 IV. ①TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 209247 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / （010）68914775（总编室）

（010）82562903（教材售后服务热线）

（010）68948351（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 14

字 数 / 330 千字

版 次 / 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

定 价 / 45.00 元

责任编辑 / 张旭莉

文案编辑 / 张旭莉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换



前言

Qianyan

近年来,机床数控技术的迅速发展带动了机械加工技术的飞速发展,使传统的制造工艺发生了显著的变化,许多企业逐步用数控机床替代了普通机床。这就要求工程技术人员具有自动控制、计算机等方面的知识,要求编程人员熟悉数控机床的机械结构和维护,熟悉数控机床的加工工艺和加工软件等基础知识,同时也要求机械加工技术人员熟悉数控机床的编程知识。这种形势对机械类高校学生在数控机床方面的知识 with 技能也提出了新的要求,即要求学生具备一定的数控技术理论知识及应用方面的知识和技能。

本书的编写指导思想是通过学习数控机床的基本理论知识,使读者熟悉数控机床的机械结构和控制知识,熟悉数控机床的保养和维修,并能把学到的知识应用到生产实践中。在编写本书的过程中既体现了传统内容,又适当反映了机床行业的新发展,同时力求文字简明、易懂。

本书由邵娟编写,由于编者水平有限,书中不妥和疏漏之处在所难免,恳请广大读者提出批评指正。

编者

第一章 初识数控机床	1
第一节 数控机床的产生和发展	1
一、数字控制技术的产生和发展	1
二、我国数控机床的发展情况	2
三、数控机床的发展趋势	3
四、经济型数控机床	6
五、五轴联动数控机床	6
第二节 数控机床的特点和应用范围	8
一、数控机床的特点	8
二、数控机床的应用范围	9
第三节 数控机床的分类	10
一、按运动方式划分	10
二、按工艺用途划分	11
三、按控制方式划分	13
四、按功能水平划分	14
第二章 数控机床的典型装置	16
第一节 数控机床主传动系统	16
一、主传动系统的结构特点	17
二、主传动系统的变速方式	17
三、主轴的支承	18
四、主轴的驱动与控制	20
五、主轴转速的自动变换	21
六、高速主轴单元	22
第二节 数控机床的伺服进给系统	25
一、伺服进给系统的组成及分类	25
二、伺服进给系统的基本要求	26
三、伺服进给系统的特点	26
四、滚珠丝杠螺母副	27
五、传动齿轮间隙消除机构	31

目 录

Contents

六、直线电动机进给系统	33
七、高速进给系统	35
第三节 数控机床的导轨	37
一、数控机床对导轨的基本要求	37
二、数控机床导轨的类型与特点	37
第四节 数控机床自动排屑装置	42
一、平板链式排屑装置	43
二、刮板式排屑装置	44
三、螺旋式排屑装置	45
四、磁性排屑器	45
第五节 数控机床位置检测装置	46
一、位置检测装置的要求与类型	46
二、常用的位置检测装置	48
第六节 数控系统	58
一、数控系统的组成	58
二、数控装置的构成	59
三、数控系统的主要工作过程	60
第七节 可编程序控制器	62
一、PLC 的结构	63
二、PLC 的工作原理	64
三、M、S、T 功能的实现	66
第三章 数控车床	70
第一节 数控车床的组成	70
一、数控车床的工艺用途	70
二、数控车床的组成	70
第二节 数控车床的布局形式	72
一、影响数控车床布局形式的因素	72
二、数控车床主要部件的布局形式	73
第三节 数控车床的分类	74

一、按主轴的配置形式分类	75
二、按刀架和主轴数量分类	75
三、按数控系统的功能水平分类	76
四、按数控系统的不同控制方式分类	79
第四节 数控车床的自动换刀装置	79
一、自动回转刀架	79
二、带刀库的自动换刀装置	82
第五节 MJ-50 数控车床	83
一、机床的主要技术参数	83
二、机床的传动链	84
三、主轴箱	85
四、纵向送给传动装置	86
五、横向进给传动装置	87
六、卧式回转刀架	89
七、平板共轭分度凸轮机构	91
八、自定心卡盘	92
九、机床尾座	92
十、MJ-50 数控车床液压传动系统及换刀控制	93
第四章 数控铣床	96
第一节 概述	96
一、数控铣床的组成	97
二、数控铣床的工作过程	99
第二节 数控铣床的分类和应用	99
一、数控铣床的分类	100
二、数控铣床的应用	102
第三节 数控铣床的组成与布局形式	103
一、数控铣床的组成	103
二、数控铣床的布局形式	105
第四节 数控铣床的主轴结构	107

目 录

Contents

一、刀具自动装卸及切屑清除装置	107
二、主轴准停装置	109
第五节 数控铣床的辅助装置	110
一、数控回转工作台	110
二、分度工作台	112
第六节 数控铣床的冷却系统	114
一、机床的冷却和温度控制	114
二、工件切削冷却	116
第七节 数控铣床的润滑系统	116
一、润滑的作用	116
二、润滑系统的类型和应用	117
第八节 典型数控铣床	118
一、机床的基本构成及基本运动	118
二、机床的主要技术参数	119
三、机床的传动系统	119
四、典型部件结构	120
第九节 数控铣床虚拟拆装	124
一、软件运行	124
二、软件操作	125
三、软件操作的注意事项	127
第五章 加工中心	133
第一节 概述	133
第二节 加工中心的基本构成	135
第三节 加工中心的分类	136
一、按加工范围分类	136
二、按布局方式分类	136
三、按换刀形式分类	141
四、按加工精度分类	142
五、按数控系统功能分类	142

六、按工作台的数量和功能分类	143
第四节 自动换刀机构	143
一、自动换刀装置的分类	143
二、刀库	149
三、机械手	151
四、刀具的选择方式	155
五、刀具识别装置	157
第五节 JCS-018A 型立式加工中心	159
一、JCS-018A 型立式加工中心简介	159
二、主要性能指标	160
三、JCS-018A 型加工中心的传动系统	161
四、JCS-018A 型加工中心的典型部件结构	163
第六章 数控电加工机床	168
第一节 电火花加工概述	168
一、电火花加工的物理本质	168
二、工作液介质的作用	170
三、数控电切削加工设备的组成	170
四、数控电切削加工设备的类型	171
第二节 数控电火花成形机床	172
一、机床的结构形式	172
二、数控电火花成形机床的组成部分及作用	174
三、数控电火花成形机床的型号、规格、分类	185
四、数控电火花成形机床的维护与保养	186
第三节 数控电火花线切割机床概述	187
一、数控电火花线切割机床的组成和工作原理	187
二、数控电火花线切割机床的分类、型号和主要技术参数	189
第四节 高速走丝数控电火花线切割机床	190
第五节 低速走丝数控电火花线切割机床	202
参考文献	208

第一章 初识数控机床



学习任务书见表 1-1。

表 1-1 学习任务书

项目	说明
学习目标	1. 熟悉数控机床的分类，描述数控机床特点与应用范围； 2. 能够描述数控机床的工作过程及组成部件
学习内容	1. 数控机床的产生与发展； 2. 数控机床的分类、特点与应用范围
重点、难点	数控机床的分类、特点与应用范围
教学场所	多媒体教室、实训车间
教学资源	教科书、课程标准、电子课件、数控机床

随着科学技术的日新月异，要求加工设备具有更高的精度和生产率，特别是在航空航天、尖端军事、精密器械等方面，传统的加工技术已经很难满足其要求。为了有效地提高产品质量、生产效率，降低生产成本，改善工人的劳动条件，一种新型的数字程序控制机床（简称数控机床）应运而生。数控机床综合应用了自动控制、计算机、微电子精密测量和机床结构等方面的最新成果解决了单件、中小批量精密复杂零件的加工问题。

第一节 数控机床的产生和发展

一、数字控制技术的产生和发展

采用数字控制技术进行机械加工的思想是在 20 世纪 40 年代提出的。1948 年，美国北密歇根的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司（Parsons Corporation）在制造飞机框架及直升机叶片轮廓用样板时，利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理，并考虑了刀具半径对加工路径的影响，使加工精度达到 $\pm 0.0381\text{mm}$ 。



第一代数控机床产生于 1952 年,美国麻省理工学院研制出一套试验性数字控制系统,并把它装在一台立式铣床上,成功地实现了同时控制三轴的运动。这台数控机床被称为世界上第一台数控机床。但是这台机床仅是一台试验性的机床,到了 1954 年 11 月,在帕尔森斯专利的基础上,第一台工业用的数控机床由美国本迪克斯公司(Bendix Cooperation)生产出来。

第二代数控机床产生于 1959 年,电子行业研制出了晶体管元器件,因而数控系统中广泛采用晶体管和印制电路板,使数控机床跨入了第二代。1959 年 3 月,由美国克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker Corporation)发明了带有自动换刀装置的数控机床,称为加工中心。现在加工中心已成为数控机床中一种非常重要的品种,在工业发达的国家中约占数控机床总量的 1/4。

第三代数控机床产生于 1960 年,此时研制出了小规模集成电路。由于它的体积小,功率损耗低,使数控系统的可靠性得以进一步提高,数控系统发展到第三代。

以上三代数控机床,都采用专用控制-硬件逻辑数控系统(NC)。

1967 年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。之后,美国、欧洲各国、日本等也相继进行了 FMS 的开发和应用。

第四代数控机床产生于 1970 年前后,随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降,并且开始取代专用控制的硬件逻辑数控系统,数控的许多功能由软件程序实现。以计算机作为控制单元的数控系统,即计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)系统,称为第四代数控系统。1970 年,在美国芝加哥国际展览会上,首次展出了这种系统。

第五代数控机床产生于 1974 年,美国、日本等国研制出以微处理器为数控系统核心的数控机床。30 多年来,以微处理器为数控系统核心的数控机床得到飞速发展和广泛应用,这就是第五代数控,即微型计算机数控(Microcomputer Numerical Control, MNC)。后来,人们将 MNC 统称为 CNC。

20 世纪 80 年代初,国际上出现了柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)。这种单元投资少、见效快,既可单独长时间少人看管运行,也可集成到 FMS 或更高级的集成制造系统中使用,所以近几十年来,得到了快速发展和广泛应用。

FMC 和 FMS 被认为是实现计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)的必经阶段和基础。

二、我国数控机床的发展情况

我国从 1958 年开始研究数控技术到 20 世纪 60 年代中期处于研制、开发时期。1965 年,国内开始研制晶体管数控系统。20 世纪 60 年代末至 70 年代初,我国研制成功了 X53K-1G 立式数控铣床、CJK-18 数控系统和数控非圆齿轮插齿机。从 20 世纪 70 年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心在上海、北京研制成功;但是由于数控系统的可靠性、稳定性问题未得到解决,因此未能广泛推广。在这一时期,数控线切割机床由于结构简单、使用方便、价格低廉,在模具加工中得到了应用和推广。20 世纪 80 年代,我国从日本 FANUC 公司引进了部分系列的数控系统和直流伺服电



动机、直流主轴电动机技术,从美国、欧洲等引进了一些新技术,并进行了国产商品化生产。这些系统可靠性高、功能齐全,推动了我国数控机床的发展,使我国的数控机床在性能和质量上产生了一个质的飞跃。

1995年以后,我国数控机床的品种有了新的发展。数控机床品种不断增多,规格齐全。许多技术复杂的大型数控机床、重型数控机床都相继研制出来。为了跟上国外数控技术的发展步伐,北京机床研究所研制出了 JCS-FMS-1·2 型的柔性制造系统。这个时期,我国在引进、消化国外技术的基础上,进行了大量开发工作,一些较高档次的数控系统,如五轴联动机床、分辨率为 $0.002\mu\text{m}$ 的高精度数控系统、数字仿形数控系统、为柔性单元配套的数控系统都开发成功,并制造出了样机,开始专业化生产和使用。

目前,我国已经建立了以中、低档数控机床为主的产业体系。我国高档数控机床的研发和生产开始于 20 世纪 90 年代,一些高档数控攻关项目通过国家鉴定并陆续在工程上得到应用。航天 I 型、华中 I 型、华中-2000 型等高性能数控系统,实现了高速、高精度和高效经济的加工效果,能完成高复杂度的五坐标曲面实时插补控制,加工出高复杂度的整体叶轮及复杂刀具。21 世纪为我国各种数控机床的开发、生产和应用,开辟了更加广阔的前景。

三、数控机床的发展趋势

1. 数控机床的发展趋势

数控机床综合了当今世界上许多领域的最新技术成果,主要包括精密机械、自动控制和伺服驱动、计算机及信息处理、网络通信、精密检测及传感技术。随着科学技术的发展,特别是微电子技术、计算机控制技术、通信技术的不断发展,世界先进制造技术的兴起和不断成熟,数控设备性能日趋完善,应用领域不断扩大,成为新一代设备发展的主流。

随着产品的多样化需求及其相关技术的进步,数控机床总的发展趋势是工序集中、高速、高效、高精度、高柔性化、小型化、高智能、高可靠性。

1) 工序集中

数控机床使零件加工过程中的所有工序集中在一台机床上完成,实现全部加工之后,将零件直接送到装配工段,而不需要再转到其他机床上加工,减少了由于工序分散、工件多次装夹引起的定位误差,提高了加工精度,同时也减少了机床的台数与占地面积,压缩了工序间的辅助时间,有效地提高了数控机床的生产率和数控加工的经济效益。因此,实现工序高度集中是数控机床当今的发展趋势,也是数控机床工业飞速发展,深入普及的根由。

2) 高速、高效、高精度

高速、高效、高精度三个方面是机械加工的目标,数控机床因其价格昂贵,因此在这三个方面的发展也更为突出。

(1) 高速。提高切削速度可以减少机动时间。目前,数控机床的主轴转速已普遍达到 6000r/min 以上,有的高达 40000r/min ; 切削速度达到 2000m/min 。传统的砂轮线速度为 $30\sim 60\text{m/s}$, 目前数控磨床的砂轮线速度已达到 $140\sim 150\text{m/s}$, 有的甚至高达 500m/s , 磨削送给线速度可达 $5\sim 10\text{m/min}$ 。



(2) 高效。为了减少机床辅助时间,提高机床效率,采取了一系列措施,如缩短换刀时间。现在数控机床换刀时间最短仅为 0.25s;采用新的刀库和换刀机械手,使选刀动作与机动时间重合,且快速可靠;采用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间与机动时间重合,同时缩短工作台交换时间;广泛采用脱机编程、图形模拟等技术,实现后台输入、修改编辑程序,前台加工,缩短新的加工程序在机调试时间;采用快换夹具、刀具装置以及实现对工件原点快速确定等措施,缩短机床及刀具的调整时间。

(3) 高精度。工件的加工精度主要取决于机床精度、编程精度、插补精度和伺服精度。目前新型数控机床具有很高的分辨率,达 $0.1\mu\text{m}$,有的甚至达到 $0.001\mu\text{m}$ 。为了提高机床精度,采用了各种措施和技术来提高机床的动态、静态刚度;减少热变形,提高其热稳定性;克服爬行,提高传动精度。例如,采用新材料丙烯酸树脂“混凝土”代替铸铁来制造机床床身、用陶瓷材料和人造花岗岩制造机床的支承副等。

3) 高柔性化

柔性是指机床适用加工对象变化的能力,即当加工对象变化时,只需要通过修改而无须更换或只做极少量快速调整即可满足加工要求的能力。数控机床对于满足加工对象的变换有很强的适应能力。

4) 小型化

急速发展的机电液一体化技术对数控机床提出了小型化的要求,以便使机电液装置更好的结合。

5) 高智能、高可靠性

高智能性、高可靠性也是目前数控机床的一个发展趋势。

(1) 高智能。数控机床的智能化包括加工效率和加工质量方面的智能化,简化编程、简化操作方面的智能化,智能化的自动编程、智能化的人机界面,以及智能诊断、智能监控等方面的内容,方便系统的诊断与维护。

(2) 高可靠性。

为了得到可靠性高的数控机床,生产厂家应注意把可靠性贯穿于整个设计、生产、调试、包装出厂等全过程。目前,数控系统平均无故障时间已达 70000~100000h。

2. 数控系统的发展趋势

就数控系统的微型计算机来说,有采用专用微型计算机和通用微型计算机两种发展趋势。

1) 采用专用微型计算机

采用专用微型计算机是指生产厂家采用自行开发的专用微型计算机、专用芯片,其基础技术为厂家所专有,这些技术经多年的积累和发展,别的厂家很难掌握和超越。这是生产厂家为保持其数控技术的优势所采取的策略。在国际上有影响的系统有德国的西门子系统(SIEMENS)、日本的法纳克系统(FANUC)、美国的(A-B)系统。

2) 采用通用微型计算机技术开发数控系统

这是生产厂家中后起之秀所采用的策略,用通用微型计算机开发数控系统可以得到强有力的硬件和软件支持,这些硬件、软件技术是通用的、公开的。这样可以避开专有技术的制约,在短时间内达到较高水平,这是一条发展数控技术的捷径。目前,国内很多中小数控机



床生产厂商借助这一捷径, 大力开发数控技术, 生产适销对路的数控机床。

数控系统的微型计算机字长在不断提高, 由最早的 8 位机, 经 16 位机, 到目前被广泛采用的 32 位机, 现在, 又有向 64 位机发展的趋势。微型计算机的中央处理器 (Central Processing Unit, CPU) 也由单个向多个发展。目前, 高性能的 CNC 数控系统可以同时控制几个轴, 甚至几十个轴 (坐标轴、主轴与辅助轴), 并且前台的加工控制和后台的程序辅助可同时进行。另外, 数控系统的各厂家纷纷采用 RS-232 和 RS-422 串行通信接口、DNC 和 MAP 接口及 MAP 工业控制网络, 为数控系统进入 FMS 及 CIMS 创造了先行条件。

3. 伺服系统的发展趋势

最早的数控机床伺服系统执行机构采用液压转矩放大器。功率步进电动机问世后, 开始直接用它来驱动机床的送给运动。20 世纪 60 年代中期, 不少新设计制造的数控机床普遍采用了小惯量直流伺服电动机。20 世纪 70 年代, 美国首先研制了大惯量直流伺服电动机。20 世纪 80 年代初期, 美国通用电气公司成功研制了交流伺服系统。近年来, 微处理器已开始应用于伺服系统的驱动装置中。当前伺服系统的发展趋势是直流伺服系统将被交流数字伺服系统所取代。伺服系统的速度环、位置环及电流环都已实现了数字化, 并采用了新的控制理论, 实现了不受机械负荷变动影响的高速响应系统。其技术发展如下:

1) 前馈控制技术

过去的伺服系统将指令位置 and 实际位置的偏差乘以位置环增益作为速度指令, 去控制电动机的转速。这种方式总是存在位置跟踪滞后误差, 使得在加工拐角及圆弧时加工情况恶化。所谓前馈控制, 就是在原来的控制系统上加上速度指令的控制, 使跟踪滞后误差大大减小。

2) 机械静、动摩擦的非线性控制技术

机床的动、静摩擦的非线性会导致爬行现象。除了采取措施降低静摩擦外, 新型的数控伺服系统还具有自动补偿机械系统静、动摩擦非线性的控制功能。

3) 伺服系统的速度环和位置环均采用软件控制

采用软件控制, 更具有柔性, 能适应不同类型的机床, 并能实现复杂的算法, 以适应高性能的要求。

4) 采用高分辨率的位置测量装置

采用高分辨率的脉冲编码器, 内装微处理组成的细分电路, 使分辨率大大提高。

5) 补偿技术得到发展和广泛应用

现代数控机床利用 CNC 数控系统的补偿功能, 对伺服系统进行了多种补偿, 如轴向运动误差补偿、丝杠螺距误差补偿、齿轮间隙补偿、热补偿和空间误差补偿等。

4. 自适应控制的应用

数控机床增加更完善的自适应控制功能也是数控技术发展的一个重要方向。自 20 世纪 60 年代以来, 简单的自适应控制机床已进入了实用阶段, 而复杂的自适应控制机床如以最低加工成本和最好的加工质量作为评价指标的机床, 由于状态参数连接检测传感器尚未达到实用化的程度, 因此至今仍停留在实验阶段。



四、经济型数控机床

经济型数控机床是相对于中、高档全功能数控机床而言的。在不同的国家和不同的时期其含义也不尽相同。目前,我国把单板机或单片机与步进电动机组成的功能较简单、价格较低的系统配置的机床称为经济型数控机床。

中、高档全功能数控机床的功能齐全、功率较大、动作较多、运动较复杂、定位精度较高,但配置这样系统的数控机床价格昂贵,难以在发展中国家普及。近年来,我国成功应用经济型数控系统配置普通车床、铣床、线切割机床、冲床及其改造等,并在投入使用后成倍地提高了生产率,降低了废品率,取得了显著的技术经济效益。经济型数控机床在我国得到了日益广泛的应用,其潜在的市场前景十分的广阔。

1. 经济型数控机床存在的缺陷

(1) 经济型数控机床的系统大部分采用 8 位单微处理系统,处理器运算速度低,步进电动机的运行频率不高,进给速度一般比较低。

(2) 经济型数控机床多采用 LED 显示。这种显示方式能显示的数据量较少,而且不够直观,工件程序、机床参数等数据的输入操作不够方便,不能实时、完整地显示机床的当前状态。

(3) 经济型数控机床一般没有通信接口,不能与编程机或计算机相连,以实现自动编程,更不能联网。

经济型数控机床要保持其生命力,在机械行业中发挥更大的作用,必须在保证经济性的前提下,不断改善性能,把中、高档数控机床中的一些先进技术用到经济型数控系统中,以实现经济型数控机床系统的升级换代。

2. 提高经济型数控系统性能的途径

1) 采用较高档次的微型计算机进行配置,是一种使经济型数控机床性能提高很大而价格却上升较少的较为经济的方法。较高档次的微型计算机运行速度快、存储能力强、功能强大,可以实现阴极射线显像管(Cathode Ray Tube, CRT)显示,使数据输入操作方便、直观,做到实时、完整地显示机床当前状态,便于操作者对加工过程进行监视。采用较高档次的微型计算机,有可能实现中、高档数控系统中的软件、硬件相结合的插补方法以及各种补偿功能和联机、联网等。

(2) 采用反馈补偿。为了提高经济型数控机床的加工精度,防止步进电动机丢步,可在经济型数控机床的滚珠丝杠端都装上回转编码器进行反馈补偿。由于经济型数控机床具有结构简单、运行稳定、调试方便、价格低廉的优点,必将随着其性能不断改善而得到更快的发展和更广泛的应用。

五、五轴联动数控机床

数控机床加工某些零件时,除需要有沿 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴的直线进给运动之外,还需要有绕 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴的圆周进给运动,分别称为 A 、 B 、 C 轴。五轴加工是指在一



台机床上至少有五个坐标轴(三个直线坐标和两个旋转坐标),而且可在 CNC 系统的控制下同时协调运动进行加工,如图 1-1 所示。五轴联动数控机床是一种科技含量高、精密度高,专门用于加工复杂曲面的机床,这种机床系统对于一个国家的航空航天、军事、科研、精密器械制造、高精医疗设备制造等行业有着举足轻重的影响力。目前,五轴联动数控机床系统是解决叶轮、叶片、船用螺旋桨、重型发电机转子、汽轮机转子、大型柴油机曲轴等加工的唯一手段。

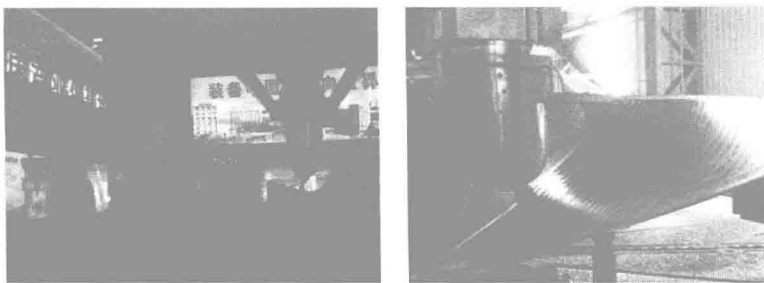


图 1-1 五轴联动机床加工

五轴联动数控机床具有以下加工特点:

(1) 五轴联动数控机床可有效避免刀具干涉,加工普通三坐标机床难以加工的复杂零件,加工适应性广,如图 1-2 (a) 所示。

(2) 对于直纹面类零件,五轴联动数控机床可采用侧铣方式一刀成形,加工质量好、效率高,如图 1-2 (b) 所示。

(3) 对于一般立体型面特别是较为平坦的大型表面,五轴联动数控机床可用大直径端铣刀端面贴近表面进行加工,走刀次数少,残余高度小,可大大提高加工效率与表面质量,如图 1-2 (c) 所示。

(4) 工序集中加工可通过一次装夹对工件上的多个空间表面进行多面、多工序加工,加工效率高并有利于提高各表面相互的位置精度,如图 1-2 (d) 所示。

(5) 五轴加工时,刀具相对于工件表面可处于最有效的切削状态。例如,使用球头刀时可避免球头底部切削,如图 1-2 (e) 所示,有利于提高加工效率。同时,由于切削状态可保持不变,刀具受力情况、变形一致,可使整个零件表面上的误差分布比较均匀,这对于保证某些高速回转零件的平衡性能具有重要作用。

(6) 在某些加工场合,五轴联动数控可采用较大尺寸的刀具避开干涉进行加工,刀具刚性好,有利于提高加工效率与精度,如图 1-2 (f) 所示。

国外五轴联动数控机床是为适应多面体和曲面零件加工而出现的。随着机床复合化技术的新发展,在数控车床的基础上,又很快生产出了能进行铣削加工的车铣中心。五轴联动数控机床的加工效率相当于两台三轴机床,有时甚至可以完全省去某些大型自动化生产线的投资,大大节约了占地空间和工作在不同制造单元之间的周转运输时间及费用。市场的需求推动了我国五轴联动数控机床的发展,第六届中国国际机床展览会(CIMT'99)上国产五轴联动数控机床第一次登上机床市场的舞台。自江苏多棱数控机床股份有限公司展出第一台五轴联动龙门加工中心以来,北京机电研究院、北京第一机床厂、桂林机床股份有限公司、济南



二机床集团有限公司等企业也相继研发出五轴联动数控机床。

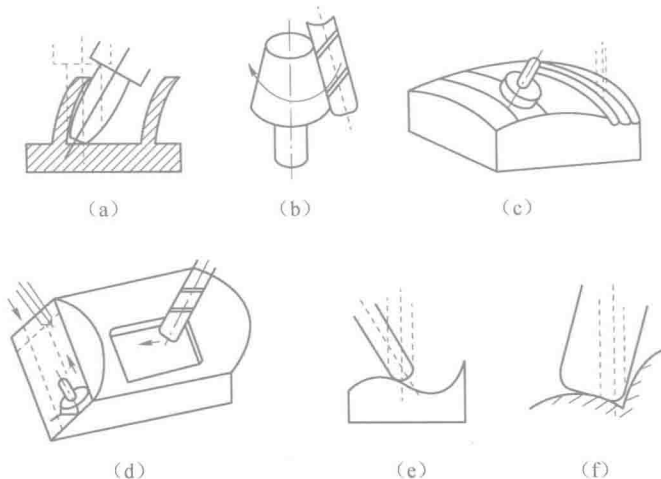


图 1-2 五轴联动数控机床的加工特点

- (a) 避免刀具、工件干涉；(b) 一刀成型；(c) 大直径铣刀铣削；
(d) 工序集中；(e) 球头铣刀铣削；(f) 大尺寸刀具避干涉加工

当前，国产五轴联动数控机床在品种上已经拥有立式、卧式、龙门式和落地式的加工中心，适应不同大小尺寸的杂零件加工，加上五轴联动铣床和大型镗铣床以及车铣中心等产品的研发，基本涵盖了国内市场的需求。在精度上，北京机床研究所的高精度加工中心、宁江机床集团股份有限公司的 NJ25HMC40 卧式加工中心和交大昆机科技股份有限公司的 TH61160 卧式镗铣加工中心都具有较高的精度，可与发达国家的產品相媲美。在产品市场销售上，江苏多棱数控机床股份有限公司、济南二机床集团有限公司、北京机电研究院、宁江机床集团股份有限公司、桂林机床股份有限公司、北京一机床厂等企业的产品已获得国内市场的认同。

2013 年 7 月 31 日，由大连科德制造的高精度五轴立式机床，启运出口德国。中华人民共和国工业和信息化部装备司副司长王卫明表示：“这一高档数控机床销往西方发达国家，是中国机床制造行业的重要里程碑。”

第二节 数控机床的特点和应用范围

一、数控机床的特点

具有 CNC 装置的数控机床，在机械行业中得到了日益广泛的应用，因为它具有如下的特点。

1) 适应性强

适应性即所谓的柔性，是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上进行产品加工，当产品（生产对象）改变时，仅仅需要改变数控设备的输入程序（即工作程