



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
数控机床维修高级应用人才培养规划教材

数控机床结构及维修

(第2版)

SHUKONG JICHUANG
JIEGOU JI WEIXIU

主编 邓三鹏

副主编 刘朝华 田南平

主审 王先逵



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
数控机床维修高级应用人才培养规划教材

数控机床结构及维修

(第2版)

主 编	邓三鹏	
副主编	刘朝华	田南平
参 编	赵 巍	石秀敏
	祁宇明	许光华
主 审	王先逵	

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共分10章,按照数控机床基础知识、数控系统、数控机床的主传动系统、数控机床的进给传动系统、自动换刀装置、数控机床的液压与气动装置、数控机床的辅助机构、常用数控机床介绍、数控机床调试与验收和实验十个部分来讲述,体系结构全面、系统、先进,内容全面、综合,深入浅出,既考虑到目前数控机床应用的实际情况,又考虑到数控机床的发展趋势。每章都有典型的维修实例讲解和一定的思考题供读者选用。

本书是数控专业与机电专业用教材,在编写中力求做到“理论先进,内容实用,操作性强,学以致用”。也适合机械类和近机类各专业本科、高职高专教学,技能考核培训用书及操作、编程、设计与维修等工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床结构及维修/邓三鹏主编. — 2版. — 北京:
国防工业出版社, 2011. 5
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-118-07380-5
I. ①数... II. ①邓... III. ①数控机床-结构-高等学校-教材
②数控机床-维修-高等学校-教材 IV. ①TG659
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 053616 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 15½ 字数 351 千字

2011年5月第2版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 32.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

数控机床维修高级应用人才培养规划教材 编审委员会

- 主任委员** 孟庆国 (天津职业技术师范大学校长 教授)
王先逵 (清华大学教授 博导)
徐小力 (全国设备监测与诊断技术委员会主任 博导)
- 副主任委员** 阎兵 王金敏 章青 邓三鹏
- 委员** 方沂 天津职业技术师范大学
蒋丽 天津职业技术师范大学
戴怡 天津职业技术师范大学
刘朝华 天津职业技术师范大学
杨雪翠 天津职业技术师范大学
石秀敏 天津职业技术师范大学
李康 天津职业技术师范大学附属技校
许宝杰 北京信息科技大学
宋春林 天津机电工艺学院
卜学军 天津机电工艺学院
何四平 天津职业大学
韩宝卫 天津现代职业技术学院
王少铁 天津中德职业技术学院

序

2008年,我国连续第七年成为世界机床第一消费国、第一进口国、第三生产国,机床出口跃居世界第六。我国已成为机床消费和制造大国,机床行业产品门类齐全,为国民经济建设和国防建设提供了大量基础工艺装备,为我国企业装备现代化做出了重要贡献。在国民经济平稳快速增长的大背景下,我国机床行业将持续快速发展。

数控机床在制造领域的应用越来越普遍,数量也越来越多,已是机械制造业的主流装备。但是,由于数控系统的多样性、数控机床结构和机械加工工艺的复杂性,以及当前从事数控机床故障诊断与维修的技术人员非常短缺,数控机床一旦发生故障,维修难的问题就变得尤为突出,导致数控机床因得不到及时维修而开机率不足。要改变这种现状,一方面,要在引进国外数控系统的同时注意消化与吸收,在自主开发的基础上注重提高数控系统的稳定性与可靠性;另一方面,要加大力度培养从事数控机床故障诊断与维修的专业技术人员。

参编人员在数控机床故障诊断与维修高级应用人才的培养上进行了有益的探索,天津职业技术师范大学于2003年在国内首先建立“机械维修与检测技术教育”本科专业,并确定其培养方向为数控机床故障诊断与维修,秉承学校“动手动脑,全面发展”的办学理念,坚持机电融合,进行了多项教学改革,建成多功能实验、实训基地,并开展了对外培训和数控机床装调维修工的鉴定工作。该专业是国家级高等学校特色专业建设点,教学成果“创建机械维修与检测技术教育专业,培养高层次数控机床故障诊断与维修人才”获2009年天津市教学成果二等奖。

这套规划教材的特色是结合数控机床故障诊断与维修专业特点,坚持“理论先进,注重实践,操作性强,学以致用”的原则精选内容,依据在数控机床管理、维修、改造和培训方面的丰富经验编写而成。丛书中有些书已经出版,具有较高的质量,如《数控机床结构与维修》是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,《数控机床编程与操作》已经发行6万余册,未出版的讲义在教学和培训中经过多轮的使用和修改,亦收到了很好的效果。

我们深信,这套丛书的出版发行和广泛使用,不仅有利于加强各兄弟院校在教学改革方面的交流与合作,而且对数控机床故障诊断与维修专业人才培养质量的提高也会起到积极的促进作用。

当然,由于数控机床现代技术发展非常迅速,编者编纂时间和掌握材料所限,丛书还需要在今后的改革实践中进一步检验、修改、锤炼和完善,殷切期望同行专家及读者们不吝赐教,多加指正和建议。

中国机械工程学会设备与维修工程分会副主任
全国设备监测与诊断技术学术委员会主任
中国设备管理协会安全生产技术委员会副主任
现代测控技术教育部重点实验室主任
北京理工大学博导
北京信息科技大学教授
2009年5月25日

徐小力

前 言(第 2 版)

2009 年,我国连续第八年成为世界机床第一消费国和进口国,机床出口居世界第六,机床产值跃居世界第一。我国已成为机床消费和制造大国,机床行业产品门类齐全,为国民经济建设和国防建设提供了大量基础工艺装备,为我国企业装备现代化做出了重要贡献。在国民经济平稳快速增长的大背景下,我国机床行业将持续快速发展,如何才能充分发挥数控机床的加工优势,达到数控机床的技术性能,确保数控机床能够正常工作是摆在众多用户面前的现实问题。

以数控机床结构与维修为主线,坚持“少而精”,通俗易懂、循序渐进的原则修订了本书。主要修订内容如下:

- (1) 修改了文字、插图方面的错误,增加了维修实例和实物照片。
- (2) 结合数控机床装调维修工职业资格标准增加了第 9 章(数控机床调试与验收)。
- (3) 全面修订了实验,使实验更有针对性、可操作性和综合性。

本书由邓三鹏担任主编。参与本书修订工作的有天津职业技术师范大学的邓三鹏(第 1、3、6、7 章)、刘朝华(第 2、5 章)、田南平(第 4、9、10 章)、赵巍(第 3、4 章)、祁宇明(第 7 章)、石秀敏(第 8 章)、许光华(第 1、4 章),北京信息科技大学的吴国新(第 6 章)。

本书得到了国家高等学校特色专业建设点(TS11878)、天津市品牌专业和校级优势特色专业教改课题的资助。在编写过程中参阅了其他学者的教材、著作,得到了天津职业技术师范大学机械工程学院的数控机床故障诊断与维修教研室、工程实训中心(国家级实验教学示范中心)和天津市高速切削与精密加工重点实验室的大力支持和帮助,在此深表谢意。本书承蒙清华大学的王先逵教授细心审阅,提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者学术水平所限,改革探索经验不足,书中难免存在不妥之处,恳请同行专家和读者们不吝赐教,多加批评和指正(可通过 sanpeng@yeah.net 与编者取得联系)。

编者
2010 年 8 月

前 言(第 1 版)

随着我国工业的快速发展,数控机床种类和数量急剧增长,随之而来的是数控维修人才的短缺,为改变这种局面,许多高职高专院校开始数控维修人才专科层次的教育,许多高等院校亦开始数控维修方向人才的培养。天津工程师范学院在原数控专业的基础上又投入大量资金进行数控维修专业建设,开展数控维修专业本科层次的教育。

数控机床是集机、电、液、气、光于一身的现代机电设备,具有技术密集和知识密集的特点,及时准确地进行诊断与维修是一件很复杂的工作。数控维修人才的培养是一个系统工程。数控机床的机械故障占总故障的 30% 以上,了解数控机床的结构亦是进行其他故障诊断与维修的基础,因此在进行数控维修人才培养时,数控机床结构及维修知识的系统学习是必不可少的一个环节。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。建议学时 48 学时,其中实验学时 10 学时。我们在编写过程中力求做到“理论先进,内容实用、可操作,理论实践紧密结合”,把教学改革实践的最新成果在教材中体现出来。本书具有如下特点:

(1) 体系结构全面系统先进。在编写的过程查阅了大量的资料,内容上覆盖了数控机床的机电结构,论述翔实细微。将近年来数控机床结构方面的最新发展并且成熟的结构,在书中有所体现。比如高速电主轴、直线电动机拖动进给等。

(2) 内容实用、可操作。按照内容实用、可操作的原则精选内容,先剖析典型的部件结构,后讲整个数控机床的结构,使学生达到触类旁通,举一反三的效果。

(3) 理论与实践紧密结合。结合教学中的经验,教材始终保持理论与实践结合紧密的特点,每章都分析具体实例,并开发出 6 个实验,通过理论讲解—实例分析—实验的过程,学生可以较好地掌握数控机床结构及维修技术。

(4) 注意与其他课程的衔接。注意与先修课程机械设计基础,液压与气动等课程和后续课程数控机床故障诊断及维修技术的衔接,尽量减少内容的简单重复,把教学改革实践的最新成果在教材中体现出来。

本书由邓三鹏统稿。参与本书编写工作的有邓三鹏(第1、3、6章)、赵巍(第3、4章)、田南平(第4、9章)、刘朝华(第2、5章)、陈欢(第7章)、石秀敏(第8章)。本书在编写过程中得到了天津工程师范学院的数控维修教研室和现代制造实训中心、天津大学的章青教授、北京信息科技大学的徐小力教授的大力支持和帮助,在此深表谢意,对宋培培老师及参与本书编写工作的学生表示感谢。本书承蒙清华大学的王先逵教授细心审阅,提出许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。(欢迎读者通过 sanpeng@yeah.net 与编者联系。)

编者
2007年8月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 数控机床的基本概念	1
1.2 数控机床机械结构的主要组成	3
1.3 数控机床机械结构的主要特点	5
1.4 数控机床故障分类	8
1.5 数控机床的最新发展	9
思考题	11
第 2 章 机床数控系统结构及维修	12
2.1 数控系统组成与原理	12
2.2 数控系统硬件	15
2.3 数控系统软件	18
2.4 可编程控制器	20
2.5 数控机床检测装置	24
2.6 伺服驱动系统	32
2.7 数控系统诊断技术及维修	37
思考题	43
第 3 章 数控机床的主传动系统结构及维修	44
3.1 概述	44
3.2 主轴部件	49
3.3 主轴准停	61
3.4 高速电主轴	66
3.5 主传动部件的结构与调整	71
3.6 主传动系统常见故障及排除方法	77
思考题	81
第 4 章 数控机床的进给传动系统结构及维修	82
4.1 概述	82
4.2 滚珠丝杠螺母副	83
4.3 导轨滑块副	91

4.4	静压蜗杆—蜗轮齿条传动	101
4.5	预加载荷双齿轮齿条	102
4.6	直线电动机传动	102
4.7	进给传动系统常见故障诊断及维修	105
	思考题	108
第5章	自动换刀装置结构及维修	110
5.1	概述	110
5.2	刀架换刀	113
5.3	刀库与机械手换刀	116
5.4	更换主轴换刀与更换主轴箱换刀	128
5.5	自动换刀装置的常见故障与维修	130
	思考题	133
第6章	数控机床的液压与气动装置结构及维修	134
6.1	数控机床上典型的液压回路分析	134
6.2	数控机床液压回路常见故障及维修	144
6.3	数控机床上典型的气压回路分析	148
6.4	数控机床气压回路常见故障及维修	153
	思考题	156
第7章	数控机床的辅助装置结构及维修	157
7.1	数控机床用回转工作台	157
7.2	高速动力卡盘、尾座与分度头	165
7.3	万能铣头	169
7.4	自动排屑装置	170
7.5	数控机床的安全防护装置	172
	思考题	174
第8章	常用数控机床介绍	175
8.1	数控车床	175
8.2	数控铣床	179
8.3	加工中心	183
8.4	特种数控加工机床	188
	思考题	198
第9章	数控机床的调试验收与维护	199
9.1	数控机床的调试与验收	199
9.2	数控机床的管理与维护	208

9.3 数控机床故障诊断及维修常用仪器	216
思考题	222
第 10 章 实验	223
实验一 数控机床主要部件认知	223
实验二 数控车床几何精度检测	224
实验三 数控铣床几何精度检测	229
实验四 电动力架的拆装	233
参考文献	236

第 1 章 绪 论

1.1 数控机床的基本概念

一、数控机床的组成

(1) 主机。主机是数控机床的本体,主要由各种机械部件组成,包括底座、床身、主轴箱、进给机构等。

(2) 数控装置。数控装置是数控机床的控制核心,一般由一台专用计算机构成。

(3) 驱动装置。驱动装置是数控机床执行机构的驱动部件,包括主轴电动机、进给伺服电动机等。

(4) 辅助装置。辅助装置是数控机床的一些配套部件,如自动排屑部件、自动对刀部件、工作台、安全防护装置、自动检测装置等。

二、数控机床的基本工作原理

数控机床就是用计算机与数字化指令控制机床各运动部件的动作,从而实现机床加工的自动化。数控机床基本工作原理框图如图 1-1 所示。

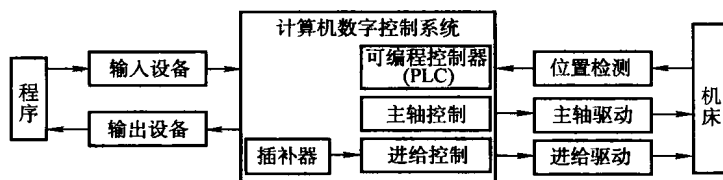


图 1-1 数控机床基本工作原理框图

加工程序可通过输入设备存储于数控装置(CNC 计算机数字控制系统)内的存储器上,在需要的时候也可将存储器内的加工程序通过输出设备把加工程序存储在外部存储介质上,以长期保存。

数控装置是数控机床的控制系统,它采集和控制着机床所有的运动状态和运动量。数控装置是由中央处理单元(CPU)、只读存储器(ROM)、随机存储器(RAM)、相应的总线和各种接口电路所构成的专用计算机。

驱动装置接受数控装置输出的进给指令,严格按照指令驱动电动机转动,经滚珠丝杠驱动机床的工作台运动,加工出符合图纸要求的工件,所以驱动装置的精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量与生产效率的重要因素之一。目前,驱动装置的电动机有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机等。

三、数控机床的特点

数控机床与普通机床加工零件的区别在于数控机床是按照程序自动加工零件,而普通机床主要由工人手工操作来加工零件。在数控机床上加工零件只要改变控制机床动作

的程序,就可以达到加工不同零件的目的。因此,数控机床特别适用于加工小批量且形状复杂、要求精度高的零件。

由于数控加工是一种程序控制过程,使其相应形成了以下几个特点:

(1)自动化程度高,可以减轻工人的劳动强度。数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的,操作者除了操作键盘、装卸零件、安装刀具、完成关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外,不需要进行繁重的重复性手工操作(有的数控机床可自动装卸零件、安装刀具等);劳动强度与紧张程度均可大为减轻,劳动条件也得到相应的改善。

(2)加工精度高、加工质量稳定可靠、重复性好。加工误差一般能控制在 0.01mm 左右。数控机床进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿,因此,数控机床能达到比较高的加工精度。此外数控机床的传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性,从而提高了它的制造精度和重复性,特别是数控机床的自动加工方式避免了生产者的人为操作误差,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

(3)加工生产率高。零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分时间,因而加工生产率比普通机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最合理的切削用量;良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,有效地节省了机动时间。数控机床移动部件的快速移动和定位的时间要比一般机床少得多。数控机床在更换被加工零件时,几乎不需要重新调整机床,而零件又都装夹在简单的定位夹紧装置中,用于停机进行零件装夹、调整的时间可以节省很多。

(4)对零件加工的适应性强、灵活性好、能加工形状复杂的零件。

(5)有利于生产管理的现代化。用数控机床加工零件,能准确地计算零件的加工工时,并有效地简化检验和管理工装夹具、半成品的工作。这些特点有利于使生产管理现代化,便于实现计算机辅助制造。数控机床及其加工技术是计算机辅助制造系统的基础。

随着市场经济的发展,产品更新周期变短,中小批量的生产所占比例越来越大,对机械产品的精度和质量要求也在不断地提高,普通机床越来越难以满足加工的要求。同时,由于技术水平的提高,数控机床的价格在不断下降,因此,数控机床在机械行业中的使用将越来越普遍。

四、数控机床的分类

数控机床的种类很多,功能各异,人们可从不同的角度对其进行分类。一般按机械运动的轨迹可分为点位控制系统、直线控制系统和连续控制系统。按伺服系统的类型可分为开环伺服系统、半闭环伺服系统和闭环伺服系统。按控制坐标数可分为两坐标数控机床、两坐标半数控机床、三坐标数控机床和多坐标数控机床。

但从用户角度考虑,按机床加工方式或按能完成的主要加工工序来分类可能更为合适。目前在常用的金属切削机床中,如车床、铣床、磨床、钻床、镗床以及齿轮加工机床,均开发了相应的数控机床,而且品种分类越来越细。按照数控机床的加工方式,可以把它分为以下几类:

(1)金属切削类:数控车床、铣床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床和加工中心等。

(2)金属成形类:数控折弯机、弯管机、冲床、旋压机、切管机等。

(3) 特种加工类:数控线切割机(见图 1-2)、电火花加工机床(见图 1-3)、激光切割机和快速成型机等。

(4) 其他类:数控火焰切割机床、数控激光热处理机床、三坐标测量机等。

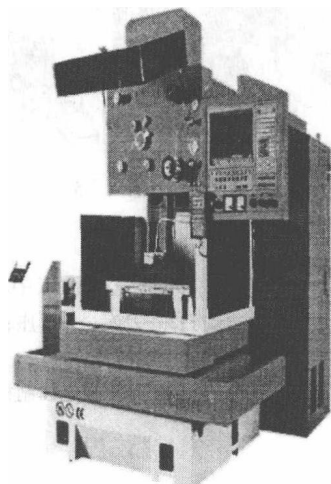


图 1-2 数控线切割机床

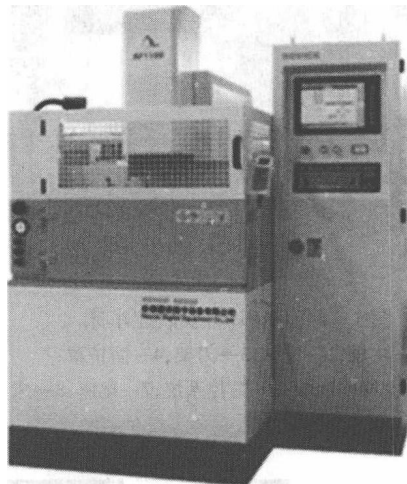


图 1-3 电火花加工机床

1.2 数控机床机械结构的主要组成

由于进给伺服驱动、主轴驱动和 CNC 技术的发展,以及为适应高生产率的需要,数控机床的机械结构已从初期对普通机床局部结构的改进,逐步发展为数控机床的独特机械结构。图 1-4 为 CK6136 型数控车床,图 1-5 为 DMC 75 V linear 立式加工中心,图 1-6 为三坐标数控铣床结构示意图。

数控机床的机械结构,除机床基础部件外,还有下列几部分:

- (1) 主传动系统。
- (2) 进给传动系统。
- (3) 实现工件回转、定位的装置和附件。
- (4) 实现某些部件动作和辅助功能的系统和装置,如液压、气动、润滑、冷却等系统和排屑、防护等装置。
- (5) 刀架或自动换刀(ATC)装置。
- (6) 自动拖盘交换装置(APC)。
- (7) 特殊功能装置,如刀具破损监控、精度检测和监控装置。
- (8) 为完全自动化控制功能的各种反馈信号及元件。

机床基础件又称机床大件,通常指床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台等。它是整台机床的基础和框架。机床的其他零、部件,或者固定在基础件上,或者工作时在它的导轨上运动。其他机械结构的组成则按机床的功能需要选用,如一般的数控机床除基础件外,还有主传动系统、进给系统以及液压、润滑、冷却等其他辅助装置,这是数控机床机械结构的基本构成。加工中心则至少配有 ATC,有的还有双工位 APC 等。柔性制造单元(FMC)

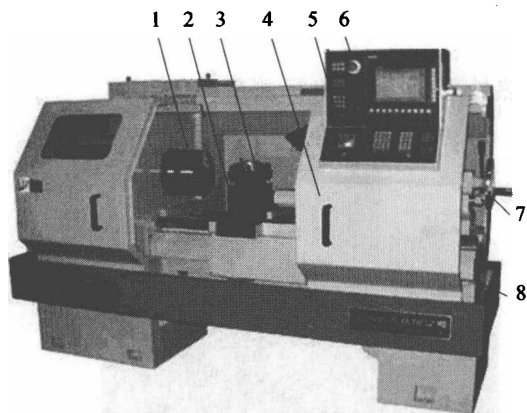


图 1-4 CK6136 型数控车床

1—主轴;2—床鞍;3—刀架;4—防护罩;
5—机床控制操作面板;6—数控系统;7—尾座;8—床身。

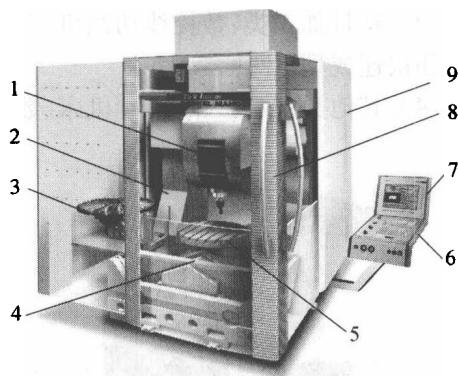


图 1-5 DMC 75 V linear 立式加工中心

1—摆动主轴;2—床身;3—刀库;4—滑座;
5—数控回转工作台;6—机床操作面板;
7—数控系统界面;8—防护门;9—强电控制柜。

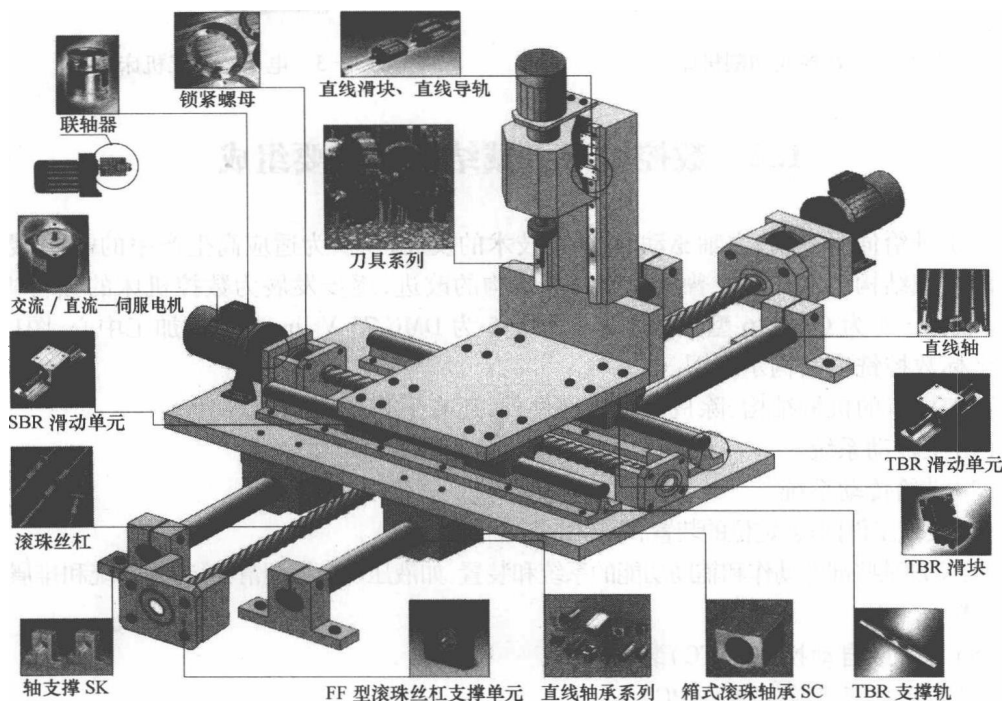


图 1-6 三坐标数控铣床结构示意图

除 ATC 外,还带有工位较多的 APC,有的配有用于上下料的工业机器人。

数控机床可根据自动化程度、可靠性要求和特殊功能需要,选用各类破损监控、机床与工件精度检测、补偿装置和附件等。有些特殊加工数控机床,如电火花加工数控机床和激光切割机,其主轴部件不同于一般数控金属切削机床,但进给伺服系统的要求则是一样的。

数控机床用的刀具,虽不是机床本体的组成部分,但它是机床实现切削功能不可分割的部分,对提高数控机床的生产效率有重大影响。

1.3 数控机床机械结构的主要特点

一、高刚度和高抗振性

在一台机床上尽可能加工完一个零件的所有工序,同时又保持机床的通用性,能够迅速适应加工对象的改变,因此要求机床具有高刚度和高抗振性。

1. 机床刚度的基本概念

机床刚度是机床的技术性能之一,它反映了机床结构抵抗变形的能力。根据机床所受载荷性质的不同,机床在静态力作用下所表现的刚度称为机床的静刚度;机床在动态力作用下所表现的刚度称为机床的动刚度。

2. 提高数控机床结构刚度的措施

(1) 提高机床构件的静刚度和固有频率改善薄弱环节的结构或布局,以减少所承受的弯曲负载和转矩负载。例如,数控车床上加大主轴支承轴径;尽量缩短主轴端部受力悬伸长度以减少所受弯矩;采用合理布置的肋板结构,以便在较小质量下具有较高的静刚度和适当的固有频率;数控机床的主轴箱或滑枕等部件,可采用卸荷装置来平衡载荷,以补偿部件引起的静力变形,常用的卸荷装置有重锤和平衡液压缸;改善构件间的接触刚度和机床与地基连接处的刚度等。

(2) 改善数控机床结构的阻尼特性。在大件内腔填充泥芯和混凝土等阻尼材料,在振动时因相对摩擦力较大而耗散振动能量。也可采用阻尼层法,即在大件表面喷涂一层具有高阻尼和较高弹性的黏滞弹性材料(如沥青基制成的胶泥减振剂,高分子聚化物和油漆腻子等),涂层厚度越大,阻尼越大。阻尼涂层常用于钢板焊接的大件结构。采用间断焊缝,也可以改变接合面间的摩擦阻尼,间断焊缝虽使静刚度略有下降,但阻尼比大为增加。

(3) 用新材料和钢板焊接结构。长期以来,机床大件材料主要采用铸铁,现在部分机床大件已用新材料代替。主要的新材料是聚化物混凝土,它具有刚度高、抗振好、耐腐蚀和耐热的特点,用丙烯酸树脂混凝土制成的床身,其动刚度比铸铁高6倍。用钢板焊接构件代替铸铁构件的趋势也不断扩大,开始在单件和小批量生产的重型机床和超重型机床上应用,逐步发展到有一定批量的中型机床。采用钢板焊接构件的主要原因是焊接技术的发展,使抗振措施十分有效;轧钢技术的发展,又提供了多种形式的型钢;制造周期缩短,节省了制作木模和铸造成本,不易出废品等。

二、减少机床热变形的影响

机床的热变形是影响机床加工精度的重要因素之一。由于数控机床主轴转速、进给速度远高于普通机床,而大切削量产生的炽热切屑对工件和机床部件的热传导影响远比普通机床严重,而热变形对加工精度的影响操作者往往难以修正。因此,应特别重视减少数控机床热变形的影响,常用措施有以下几种。

1. 改进机床布局 and 结构

(1) 采用热对称结构。这种结构相对热源是对称的,在产生热变形时,其工件或者刀