

21世纪高等职业教育机电类规划教材

21 Shiji Gaodeng Zhiye Jiaoyu Jidianlei Guihua Jiaocai

数控机床 及其维护

(第2版)

刘战术 窦凯 吴新佳 主编 张勇革 李明强 任海申 副主编

- 强调控制系统的典型应用
- 突出机械部件的构成特征
- 整合数控机床的安装维护



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



精品系列

21世纪高等职业教育机电类规划教材

21 Shiji Gaodeng Zhiye Jiaoyu Jidianlei Guihua Jiaocai

数控机床 及其维护

(第2版)

刘战术 窦凯 吴新佳 主编 张勇革 李明强 任海申 副主编



人民邮电出版社

北京



精品系列

图书在版编目 (C I P) 数据

数控机床及其维护 / 刘战术, 窦凯, 吴新佳主编
— 2版. — 北京: 人民邮电出版社, 2010. 2

21世纪高等职业教育机电类规划教材
ISBN 978-7-115-21481-2

I. ①数… II. ①刘… ②窦… ③吴… III. ①数控机
床—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第190705号

内 容 提 要

本书主要内容包括数控机床控制系统、数控机床伺服系统与检测装置、数控机床的机械部件、数控机床的辅助驱动系统以及数控机床的使用与维护等。通过教学, 可使学生初步了解数控机床的基本知识, 建立一个关于数控机床的整体概念, 为以后合理使用和维护数控机床打下基础。

本书可作为高职高专、技师学院机械、数控、机电类等专业的教材, 也可作为成人教育、职工培训用书及工程技术人员的参考资料。

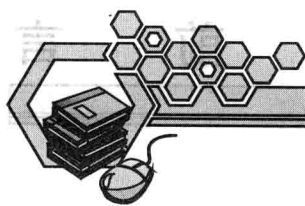
21 世纪高等职业教育机电类规划教材 数控机床及其维护 (第 2 版)

-
- ◆ 主 编 刘战术 窦 凯 吴新佳
副 主 编 张勇革 李明强 任海申
责任编辑 潘新文
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
三河市海波印务有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 8.25
字数: 208 千字 2010 年 2 月第 2 版
印数: 17 101—20 100 册 2010 年 2 月河北第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21481-2

定价: 16.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154



丛书前言

目前, 高职高专教育已经成为我国普通高等教育的重要组成部分。在高职高专教育如火如荼的发展形势下, 高职高专教材也百花齐放。根据教育部发布的《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(简称 16 号文) 的文件精神, 本着为进一步提高高等教育的教学质量和服务的的基本原则, 同时针对高职高专院校机电一体化、数控、模具类专业教学思路和方法的不断改革和创新, 人民邮电出版社精心策划了这套高质量、实用型的教材——“21 世纪高等职业教育机电类规划教材”。

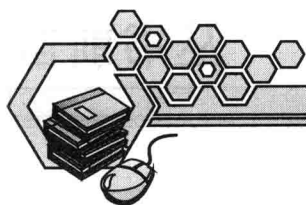
本套教材主要遵循“以就业为导向, 工学结合”的原则, 以实用为基础, 根据企业的实际需求来进行课程体系设置和相应教材内容的选取, 注重和提高案例教学的比重, 突出培养机械类应用型人才解决实际问题的能力, 满足高等职业教育“社会评估”的教学特征。本套教材中的每一部作品都特色鲜明, 集高质量与实用性于一体。

本套教材中绝大多数品种是我社多年来高职高专机电类精品教材的积淀, 经过了广泛的市场检验, 赢得了广大师生的认可。为了适应新的教学要求, 紧跟新的技术发展, 我社再一次进行了广泛深入的调研, 组织了上百名教师、专家对原有教材做了认真的分析和研讨, 在此基础上重新修订出版。本套教材中还有一部分品种是首次出版, 其原稿也在教学过程中多次使用, 是教师们多年来教学经验的总结, 集中反映了高等职业教育近几年来教学改革成果。

本套教材的作者都具有丰富的教学经验和写作经验, 思路清晰, 文笔流畅。教材编写充分体现了高职高专教学的特点, 深入浅出, 言简意赅。理论知识以“够用”为度, 突出工作过程导向, 突出实际技能的培养。

本套教材配套的教学辅助包充分利用现代技术手段, 提供丰富的教学辅助资料, 其中包括由电子教案、实例素材、习题库及答案、试卷及答案等组成的一般教辅资料, 部分教材配有由图片、动画或视频等组成的电子课件。

我们期望, 本系列教材的编写和推广应用, 能够进一步推动我国机电类职业教育的教学模式、课程体系和教学方法的改革, 使我国机电类职业教育日臻成熟和完善。欢迎更多的老师参与到本系列教材的编写中来。对本系列教材有任何的意见和建议, 或有意向参与本系列教材后续的编审工作, 请与人民邮电出版社教育出版分社联系, 联系方式: 010-67170985, maxiaoxia@ptpress.com.cn。



本书第1版自出版以来,得到了广大读者的一致认可。为了更好地适应目前高等职业教育教学改革的精神,满足社会对技能型人才的要求,编者结合近几年来数控技术的发展、课程教学改革实践和广大读者的反馈意见,对本书第1版进行了修订,删除了一些与其他课程内容重复的知识点,并根据理论够用为度的原则,对数控机床控制系统部分的理论和原理的阐述进行了简化,舍弃了部分过时的知识点,并将讲述重点放在控制系统的特点及其选用上。

本书的编写以实用、够用为出发点,以让读者全面了解和掌握数控机床的构成与工作流程为目的,对数控系统、伺服系统,数控机床的主轴部件、进给部件,以及工作台和刀库、液压系统等与数控机床的工作性能紧密相关的部件和系统进行了详细的阐述。本书在内容整体上通俗易懂,难度适当,适合职业教育的需要。

本书学时数为40~50,各校在教学时可根据具体情况对其中内容进行取舍。在组织教学过程中,任课教师如能配合现场教学,将数控机床的实物参观和实践操作与课堂教学有机结合起来,效果会更好。本书各部分的建议学时如下。

内 容	建 议 学 时
第1章 数控机床概述	4
第2章 数控机床控制系统及PMC	6
第3章 数控机床伺服系统及检测装置	6
第4章 数控机床的运动传动部件	10
第5章 数控机床的工作台及交换机构	6
第6章 数控机床的刀库	6
第7章 数控机床的液压与气动系统	6
第8章 数控机床的维护与维修	4
合 计	48

本书可作为高职高专院校、技师学院、高级技校的机械制造、数控、机电等专业的教材,也可作为相关工程技术人员参考用书。

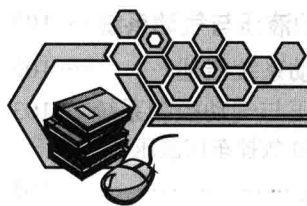
本书由刘战术、窦凯、吴新佳任主编,张勇革、李明强、任海申任副主编。其中刘战术编写第1章和第4章及附录,窦凯编写第2章和第3章,吴新佳编写第3章和第5章,张勇革编写第5章和第6章,李明强编写第7章,任海申编写第8章。全书由刘战术统稿。

在本书的编写过程中,作者参阅了国内外同行撰写的有关技术资料、文献和教材,并得到了许多专家和同行的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者的水平和时间有限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2009年9月



目 录

第 1 章 数控机床概述	1	3.1.2 数控机床对伺服系统的 要求	40
1.1 数控机床的基本构成	1	3.1.3 数控机床伺服系统的分类	42
1.2 数控机床的类型	3	3.2 步进伺服系统	45
1.2.1 按工艺用途分类	3	3.2.1 步进电机的种类结构及其 工作原理	46
1.2.2 按控制运动轨迹的能力 分类	5	3.2.2 步进电机的特性及选用	47
1.2.3 按驱动装置的特点 分类	6	3.3 直流伺服系统	48
1.3 数控机床的发展趋势	7	3.3.1 直流伺服电动机的分类	48
思考题	11	3.3.2 永磁直流伺服电动机	49
第 2 章 数控机床控制系统及 PMC	12	3.3.3 直流伺服电动机的调速 方法	52
2.1 数控系统概述	12	3.4 交流伺服系统	52
2.2 机床常用数控系统	15	3.4.1 交流伺服电动机	52
2.2.1 西门子数控系统	15	3.4.2 交流伺服电动机的调速 方法	54
2.2.2 发那科数控系统	18	3.5 数控机床的位置检测装置	55
2.2.3 华中数控系统	18	3.5.1 位置检测装置的要求及 分类	55
2.3 数控机床的 PMC	20	3.5.2 旋转变压器	56
2.3.1 PMC 概述	20	3.5.3 感应同步器	57
2.3.2 数控机床 PMC 的动作 要求	21	3.5.4 光栅	59
2.3.3 PMC 程序总体结构	24	3.5.5 编码器	61
2.3.4 PMC 典型子模块举例	27	思考题	64
2.4 数控机床的强电控制系统	31	第 4 章 数控机床的运动传动部件	65
2.4.1 加工中心 PMC 的 I/O 点	32	4.1 主运动传动部件	65
2.4.2 加工中心 PMC 的逻辑 电路	35	4.1.1 主轴部件的特点	65
2.5 数控机床故障的判定	37	4.1.2 主轴部件常用的变速 方式	66
思考题	38	4.1.3 典型主轴部件的结构	67
第 3 章 数控机床伺服系统及检测 装置	39	4.2 进给运动传动部件	73
3.1 数控机床伺服系统的组成及 分类	39	4.2.1 进给系统的构成	73
3.1.1 数控机床伺服系统的组成	39	4.2.2 滚珠丝杠	75



4.2.3 齿轮传动	78	第7章 数控机床的液压与气动系统	102
思考题	80	7.1 液压与气动系统概述	102
第5章 数控机床的工作台及交换机构	81	7.2 典型的液压与气动控制系统	103
5.1 数控机床工作台概述	81	7.2.1 MJ50 数控车床液压系统	103
5.2 分度工作台	84	7.2.2 VP1050 立式加工中心液压系统	104
5.2.1 插销定位的分度工作台	84	7.2.3 H400 卧式柔性制造单元气动控制系统	106
5.2.2 齿盘定位的分度工作台	85	思考题	108
5.3 可交换工作台	87	第8章 数控机床的维护与维修	110
5.4 回转工作台	88	8.1 数控机床的日常维护	110
5.5 工作台的交换机构	89	8.2 数控机床的故障诊断	112
思考题	90	8.2.1 数控机床故障的分类	112
第6章 数控机床的刀库	91	8.2.2 数控机床故障的诊断方法	114
6.1 概述	91	8.3 数控机床的维修举例	116
6.2 车床类机床的刀架结构	92	思考题	118
6.2.1 四方刀架	92	附录1 数控机床常用 G 指令代码	119
6.2.2 回轮式刀架	92	附录2 数控机床常用控制功能的中英文对照	121
6.3 镗铣类数控机床的刀库结构	95	参考文献	126
6.3.1 盘式刀库	95		
6.3.2 链式刀库	95		
思考题	101		

第1章

数控机床概述

数控机床是采用数控技术控制的、具有高效自动化加工功能的精密机床。数控技术的应用使得数控机床具有自动控制加工过程工艺参数和加工动作的能力，在机械制造领域的多工序、复杂型面加工方面得到了广泛的应用，是先进制造技术的典型代表。

1.1 数控机床的基本构成

数控机床通常由机床本体、程序介质、输入/输出装置、CNC 装置、伺服系统和位置检测装置以及辅助控制装置等几部分构成。数控机床虽然种类繁多，但其基本构成大致相同，如图 1-1 所示。

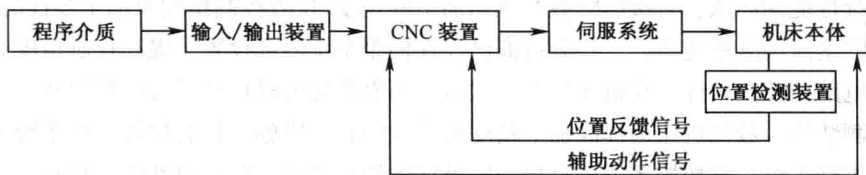


图 1-1 数控机床的组成

1. 程序介质

程序介质是用于记录数控机床加工过程所需程序的记录载体。程序载体是按照计算机的通用格式和代码记录并通过输入装置传送。目前在数控机床上常用的载体介质有软盘、磁带、闪存卡等。闪存卡具有存储容量大、数据交流迅速、记录可靠、载体使用寿命长的优点，已在新型数控机床上开始大范围使用。

2. 输入/输出装置

输入/输出装置是人与机床建立信息联系的主要途径。它的作用是将加工过程所需要



的程序完整、正确地输入到数控机床的 CNC 装置中（或从 CNC 装置中保存到载体上）。根据程序载体的不同，需要不同的输入装置。例如，使用软盘作为程序载体，输入装置是软盘驱动器；使用磁带作为程序载体，输入装置就是磁带读入机；使用闪存卡作为程序载体，就必须有专用程序支持的计算机闪存卡接口。

在先进的数控机床上，加工程序还可以通过网络从程序设计室直接将程序传送到数控机床的内存中。此时，数控机床作为计算机网络的一台服务器存在，程序设计人员可以随时向数控机床上传、下载或删除数控机床内存中的程序，但正在使用的零件加工程序将被锁定，不能执行任何操作。

最常见的输出装置是显示器。数控系统可以通过显示器为操作人员提供必要的信息，如机床状态、加工程序、位置坐标、报警信息等。

3. CNC 装置

CNC 装置是计算机数控装置的简称，它是数控机床的核心。数控装置工作时接受输入装置信息的输入，并将信息分类处理，这些信息包括 NC 加工程序、机床辅助功能等。

目前 CNC 装置的性能有了巨大的提高，已经从早期的 16 位 CPU 提高到 32 位，在新型的数控系统中已有使用 64 位 CPU 来解决大量的数据运算和图形解析问题。在一些特殊要求的数控系统中也可使用多 CPU 协同工作，以进一步加快信息的处理速度。

4. 伺服系统和位置检测装置

伺服系统用于完成坐标轴的运动控制，是数控机床坐标轴运动的执行部件。伺服系统和常规机床的进给系统有本质的区别：常规机床的进给系统只能传送恒定的驱动力和速度，不能接收随机信号对其运动过程进行修正；伺服系统是一个完善的自动控制系统，在接受数控系统传递的控制信号后，对信号进行处理，并可以根据信号的要求以不同的速度驱动坐标轴运动。

伺服系统性能的高低会直接影响数控机床加工的速度、位置控制精度及加工零件的形状精度。在使用较多的交流伺服系统中，一些制造商已经在伺服系统内部设置了提高控制精度和防止产生机械振荡的电路和控制软件。在机床安装调试时，伺服系统可以自动进行过程均衡。

位置检测装置是数控机床为提高加工精度而采取的必要措施。具有位置反馈系统的数控机床称之为闭环控制系统。该数控系统可直接获取坐标轴的位移量，控制更准确，且有利于提高机床的加工精度。为了降低数控机床的制造成本，在中小型的数控机床上常借用坐标轴伺服电动机的角位移反馈信号作为数控系统控制坐标轴的位置反馈信号，而数控机床本身并无专用的位置反馈装置直接检测其位移信号，这样的数控系统称之为半闭环控制系统。半闭环系统由于是间接获得位移信号，因此存在转换误差，对加工精度有一定的影响。

数控系统获取坐标轴的位置信号是为了和程序预定的位移量进行比较，以纠正运动控制过程中可能产生的误差。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置通常是指数控机床上为顺利完成加工过程而设置的功能构件，如自动换刀功能、自动排屑功能、加工过程中的冷却功能、加工工件的自动交换功能、电控箱的温度控制功能、主轴部件的恒温冷却功能等。这些功能的设置使得数控机床在工作的过程中加工效率提高，发生故



障的可能性降低,并更容易保证工件的加工精度。

辅助控制功能是衡量数控机床自动化程度的重要标志。

6. 机床本体

机床本体是数控机床的机械构成,是数控机床的主体,所有运动的支撑和实现均由机床本体完成。数控机床的加工能力和加工精度取决于机床本体的机械强度和刚性,高性能的数控系统必须有高性能的机床本体才能发挥作用。数控系统、液压系统、气压系统等均以机床本体为控制对象。

近年来,在新型精密数控机床上为减少热变形对机床加工精度的影响,一部分数控机床制造商使用热伸长系数较小的非金属混合材料(如人造花岗岩)来制造数控机床的床身。这项技术使机床基础件的制造难度降低,也使机床使用中不均匀热变形的影响减小,同时提高了机床的抗震性。

在数控机床上使用伺服系统控制进给运动,使得机械传动结构更为简单,但机械运动部件的制造精度要求更高。

1.2 数控机床的类型

1.2.1 按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

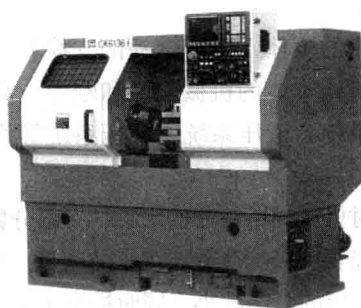
此类数控机床在工艺方式上与传统的金属切削机床相同,相对应的有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控齿轮加工机床以及针对具体行业设计的专用数控机床等,如图1-2所示。此类数控机床在构建时,通常会根据该类型机床的工艺特征重新设计其机械结构,以满足数控机床在高效、自动工作时的结构和功能需求。同时,在机床零部件制造精度方面也会适当提高其要求,即同类型数控机床可能达到的加工精度比常规机床要高。

为提高数控机床的生产效率,通常在数控机床上设置有可以储存几十至几百把刀具的刀库,以供数控机床在加工过程中自动调用。数控机床安装刀库后因工艺范围大大扩展,习惯上称之为加工中心,即工件一次安装可以完成多道工序加工的机床,常见的有钻削加工中心、车削加工中心、镗铣加工中心,以及具有车削和铣削双重功能的车铣复合加工中心。使用加工中心机床可以有效地避免工件多次装夹造成的安装定位误差,减少了完成工艺所需的机床台套数和占地面积,大大提高了生产效率和加工质量,但加工中心的制造成本比普通数控机床高出很多。

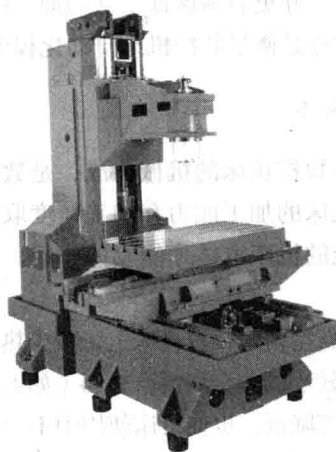
2. 板材成形类数控机床

板材类机床主要是实现板材的剪裁成形和弯曲成形。目前常见的板材类机床有数控冲床、数控折弯机等。

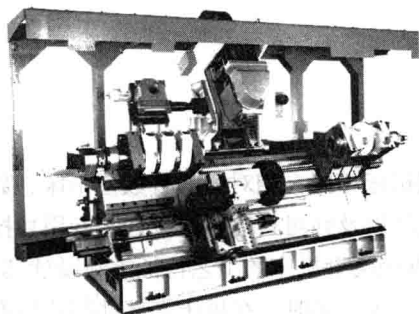
数控冲床是板材加工的有效工具。在专用数控系统的控制之下,数控冲床使用特定曲率半径的冲模,可以在板材上完成出圆形、方形以及函数曲线或不规则曲线的精密加工。通常数控冲床的最大加工厚度为8mm,可满足大部分板材的冲裁加工需要。其加工精度可达到0.1mm或更高,能够满足钣金加工的要求。



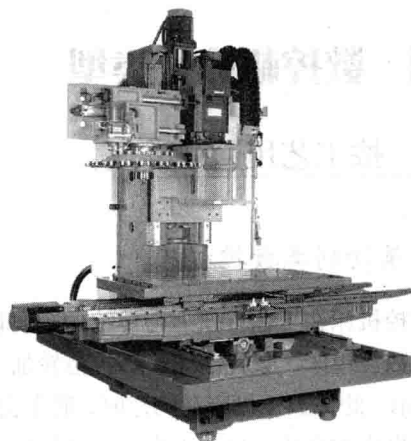
(a) 数控车床



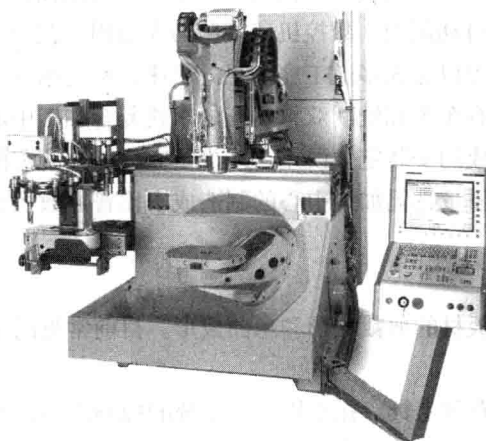
(b) 数控铣床



(c) 车铣复合加工中心



(d) 镗铣加工中心



(e) 五轴加工中心

图 1-2 金属切削类数控机床



数控冲床通常配备十几套或几十套冲裁模具,在使用中根据工具加工内容的要求可以自动更换。数控冲床的控制系统通常具有自动排料功能,可在常用规格的板材上(如 $1\,000\text{mm} \times 2\,000\text{mm}$ 、 $1\,200\text{mm} \times 2\,400\text{mm}$ 等规格)以最高产出数量排料。

3. 特种加工数控机床

特种加工亦称“非传统加工”或“现代加工方法”,泛指用电能、热能、光能、电化学能、声能或其组合施加在工件的被加工部位上,从而实现材料被去除、变形、改变性能或被镀覆等的非传统加工方法。特种加工数控机床主要用于难加工材料(如钛合金、耐热不锈钢等)和难加工零件(如复杂的三维型腔、低强度零件等)等的加工,常见的有数控激光加工机床、数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床等,如图1-3所示。



(a) 电火花成型



(b) 电火花线切割

图 1-3 特种加工机床

数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床是模具制造行业的有效加工设备。

1.2.2 按控制运动轨迹的能力分类

数控系统的本质是准确地实现刀具相对于工件的运动轨迹。因此,按照数控系统能够实现轨迹特征的不同,可分为以下几种不同能力的数控机床。

1. 点位控制数控机床

这类数控机床加工特点是数控系统控制机床的运动部件从一个点到另一个点的准确定位,在移动过程中不进行任何加工。数控系统只控制运动终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间不存在差补运算过程。根据数控系统控制模式的不同,移动时可以几个坐标轴同时向目标点移动,也可以是各个坐标轴依次向目标点移动。

点位控制数控机床的数控系统控制功能简单,制造成本低廉,对运动驱动系统要求不高。这类数控机床常见的有数控钻床、数控冲床等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床可以控制刀具相对于工件以适当的进给速度沿着平行于坐标轴的方向进行



直线运动或切削加工。进给速度根据切削条件在一定的范围内可以变化；即数控系统只具备单个坐标的运动控制能力，而不具备两个或多个坐标的联动控制能力。

直线控制的数控机床具有点位控制数控机床的全部数控控制功能。通常这类机床的控制系统均做成具有点位/直线控制功能的系统，但因系统不能实现二轴或多轴差补运算，使用范围受到诸多限制，并不适合通用机床采用，但此类系统有较高的性价比。例如，某公司生产的高精度专用数控磨床，为降低机床的制造成本，设计时仅在对加工精度影响较大的径向进给坐标轴使用数字进给控制，其他运动仍然使用普通控制方式。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制也称连续控制，是指机床的数控系统具有能够对两个或两个以上坐标的位移和速度进行连续控制的能力，最终由坐标合成的轨迹能够满足零件轮廓的要求。这种系统不仅能够控制加工过程的起点和终点，而且能够控制整个轮廓加工中每一点的位移和速度。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床等均采用轮廓控制系统构建。

轮廓控制数控系统功能繁多，过程实现复杂，且对控制系统硬件的要求较高。目前数控系统多由工业计算机构成，具备高速处理数据的能力，可满足机床控制的要求。

1.2.3 按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

开环控制的数控机床未安装位置检测单元，伺服驱动部件通常为步进电机。工作时，伺服驱动系统根据数控系统发出的控制指令，带动进给丝杠转过相应的角度，实现移动部件的位移。移动部件的位移速度和位移量由数控系统发出的脉冲数量和脉冲速率决定。

在开环控制系统中，控制装置发出控制指令后，伺服驱动装置执行，实际移动时的位置量和移动速度并未反馈给数控系统，即数控系统未对实际的位移量和移动速度进行实时检测，也不能进行误差的校正和补偿。因此，步进电机的失步和螺距误差等将直接影响零件的进给精度。

开环控制的数控机床具有系统结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、成本低等优点，在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合有着广泛的应用。

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的移动部件上安装有直接位移检测元件（旋转部件上安装有角位移检测元件），直接对工作台的实际位移进行检测，并将检测数据实时反馈给 CNC 装置。数控机床工作时向伺服系统发出位置控制指令，伺服系统驱动移动部件运动，CNC 装置同时接收移动部件的当前位置信号，并将当前位置和指令位置比较，根据比较结果确定伺服系统的工作状态是匀速运动、减速运动或停止。

闭环控制系统是反馈控制，因而检测元件的分辨率决定了数控机床可能达到的精度。机械传动链内各元件的传动误差以及运动中造成的误差都可以消除，从而大大提高了跟随精度和定位精度。闭环控制系统的稳定性比较差，对设计、安装、调试要求严格，对组成传动链的各个机械零部件的精度、刚性和动态特性要求较高。这类系统通常用于精度要求很高的数控镗铣床、高精度数控车床和高精度数控磨床等高端设备。



3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床也属于闭环控制的一种，在这类数控机床同样安装有位置检测装置，但其位置检测装置的检测方式与闭环控制的数控机床略有不同。闭环控制采用的是直线位移检测装置检测工作台的直线位移原理，半闭环采用的是以丝杠的旋转角度间接测量移动部件的直线位移。半闭环控制的数控机床位移测量装置未完全包括机械运动传递的所有环节，因此，移动部件的实际位移与检测装置测量的位移存在偏差。该偏差是因为检测装置忽略了检测范围外与位移相关的机械零部件可能存在的弹性变形和制造误差。

半闭环控制数控机床坐标轴的位置反馈信号通常采用两种方式获得：一为使用伺服电动机的速度反馈信号，即伺服控制系统和 CNC 系统共用伺服电动机的速度反馈信号，如图 1-4 (a) 所示。此种方式常应用于中小型数控机床及伺服电动机直连于驱动丝杠的情况。二为在驱动丝杠的尾部另安装一位移编码器专门检测丝杠的旋转位移，如图 1-4 (b) 所示。此种方式可消除伺服电动机和丝杠螺母之间的传动元件因承受载荷而产生的变形和运动传动误差，常用于电机和丝杠之间有传动件相连（齿轮、皮带等）的数控机床，以及传动链有较大载荷的大型、重型数控机床。

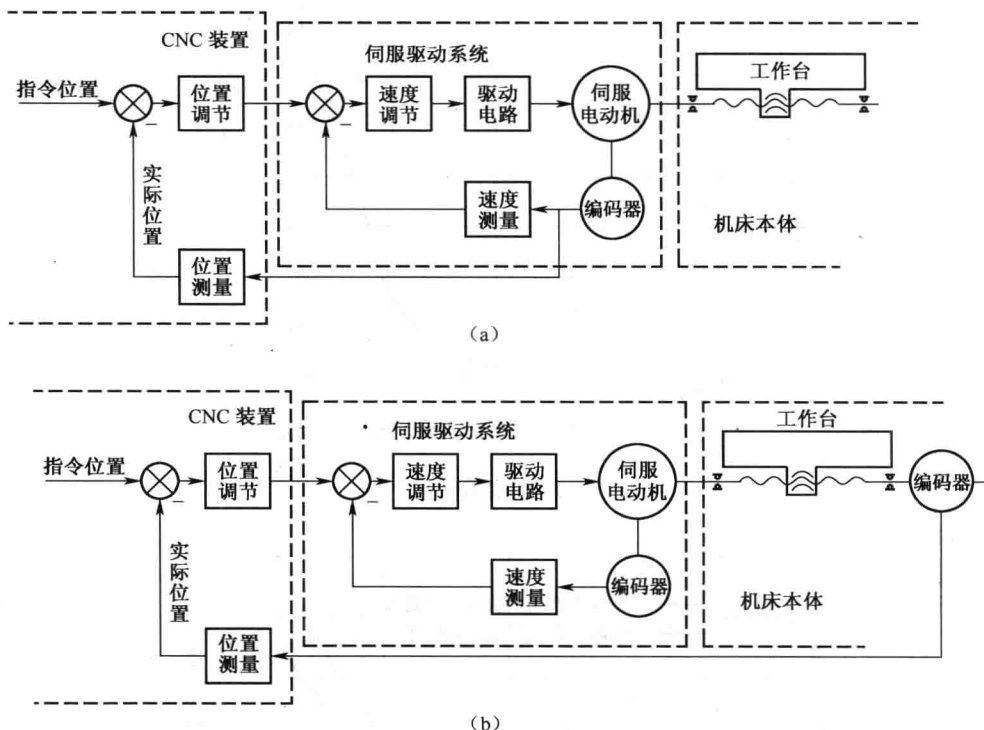


图 1-4 半闭环数控机床的构成

1.3 数控机床的发展趋势

数控机床综合应用计算机技术、信息技术和自动控制技术，通过硬件和软件的有机结合，使数控机床成为机械制造业中提高加工效率和加工精度的关键设备。从 20 世纪 50 年代世界上第一台数控机床的诞生到今天，数控机床经历了电子管时代、晶体管时代、集成电路时代以及目前普

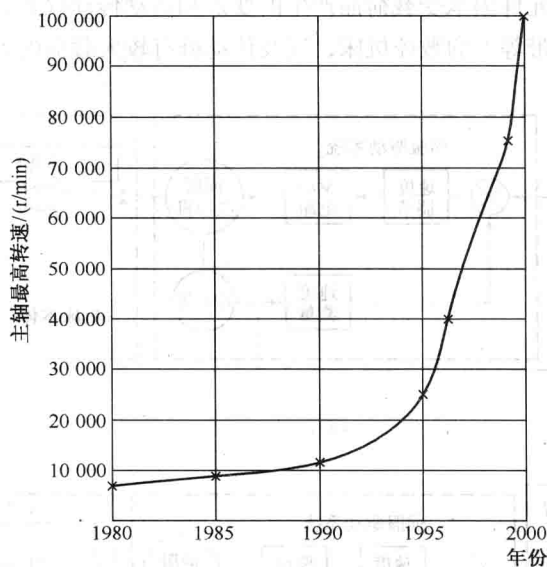


遍采用的基于工业控制计算机所构建的高性能、高可靠性控制系统时代；数控系统的控制方式也由早期的硬件控制为主转变为目前以高性能工业控制计算机为基础的软件控制为主。

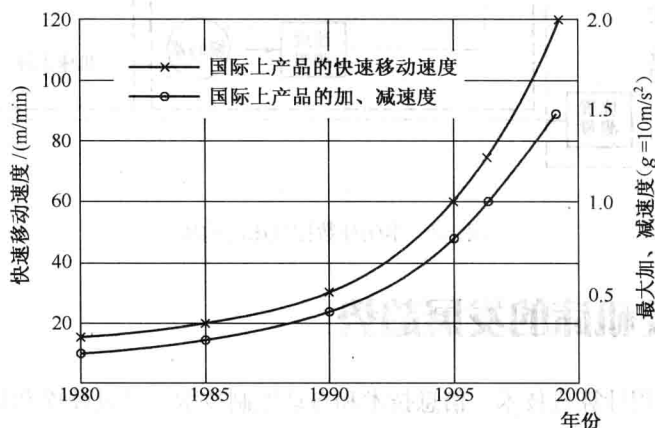
数控机床使传统的制造业产生了革命性的变化，并在单件小批、形状复杂零件的高精度自动化加工方面表现出无与伦比的优势。随着技术的进步，机械制造业对数控机床的要求越来越高，数控机床也因制造业需求的变化发展也越来越快，并呈现出如下趋势。

1. 高速度、高精度化

高速度指的是高的主轴旋转速度、快的进给轴移动速度和高的换刀速度（即短的换刀时间或刀架转位时间）。高的主轴转速将能提高切削效率和改善加工表面的加工质量；高的换刀速度能有效地缩短辅助时间；而高的快速移动速度不仅能减少非切削工时比例，且能相应地提高切削进给速度，从而有利于提高数控机床的切削效能，全面高速化能大大强化机床的工作效能。随着近年来市场竞争的加剧，使数控机床全面高速化的发展趋势更为明显，图 1-5 所示为有关数据。



(a) 主轴最高转速



(b) 快速移动速度及加速度

图 1-5 中、小型加工中心发展历程

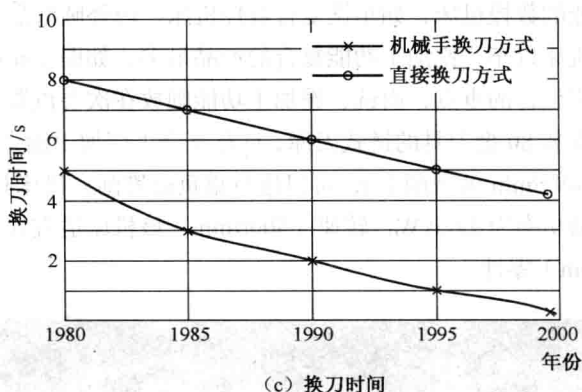


图 1-5 中、小型加工中心发展历程 (续)

高精度化是指提高数控机床的加工精度，即在数控系统方面采取高性能的计算机提高位置控制时插补计算的速度，改善伺服控制滞后对加工过程的影响；使用新的曲线差补算法减少插补的理论误差的产生；提高数控系统的最小控制单位（目前最小控制单位已经达到 $0.01 \sim 0.1\mu\text{m}$ ）。

在伺服系统方面使用全数字化的位置和速度控制，利用先进的控制理论提高伺服系统的跟随精度，最大限度地消除数控系统和伺服系统执行件之间的位置滞后误差，并且位置环测量采用分辨率更高的位置编码器。采取以上措施并配合机械构件动、静态刚度的提高及其加工精度的提高，在中、小型数控机床上其定位精度已经可以达到 $3 \sim 4\mu\text{m}$ ，重复定位精度可以达到 $1 \sim 3\mu\text{m}$ 。

2. 高可靠性

数控机床的价格较高，自动化程度也高，企业为缩短投资的回收周期，通常采用每天两班的 16h 工作制。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率，并获得良好的经济效益，关键取决于其可靠性。

衡量数控机床可靠性的指标是数控机床的平均无故障工作时间（小时数）。数控机床是由数控系统、强电控制系统、液压传动系统等组合而成的，其可靠性指标要低于组成数控机床的任何一个单个系统的可靠性指标。统计结果显示数控机床的平均无故障工作时间通常比数控系统要低一个数量级。因此，提高数控机床的可靠性，关键在于提高组成数控机床各个系统的可靠性，特别是数控系统的可靠性。

数控系统的可靠性近年来有了长足的发展，其平均无故障工作时在 20 世纪 70 年代大于 3 000h，80 年代大于 10 000h，90 年代已经提高到 30 000h 以上，并且有继续提高的趋势。有资料介绍某数控系统的可靠性指标已经达到 60 000h。

3. 机床功能的复合化

数控机床功能的复合化是为了提高零件加工效率，减少辅助时间的有效途径，即在一台数控机床上设计有多种工艺方法的实现能力。在复合化数控机床上可以完成车、铣、镗、钻等多种工序加工，它消除了单一功能数控机床在使用上工艺范围的局限性，可代替多台机床实现机械零件的多工序一次装夹加工。这种方式既能减少装卸时间，提高机床生产效率，减少半成品库存量，又能保证加工零件的位置精度，降低产品加工的成本。目前，世界各国的数控机床制造厂商均竞



相研制开发具有复合功能的数控机床，如车铣复合数控机床、内外圆磨削数控机床等。

功能复合化的数控机床以车、铣加工功能复合的产品最多，如图 1-6 所示。这类机床通常以车削功能的实现作为机床设计的重点，而铣、镗加工功能则放在次要位置。例如，某公司的车铣复合数控机床配置有可安装 80 把刀具的链式刀库，具有复合工序加工能力；转塔刀架上设置有铣削动力刀具（15kW、6 000r/min 的铣削头），可以进行重负荷铣削；机床具有 C 轴和 Y 轴（行程 210mm）功能。机床主轴功率为 22.5kW，转速 3 500r/min。该机床适宜加工大型轴类（如火力发电机主轴 $\phi 10 \times 10\ 600\text{mm}$ ）零件。

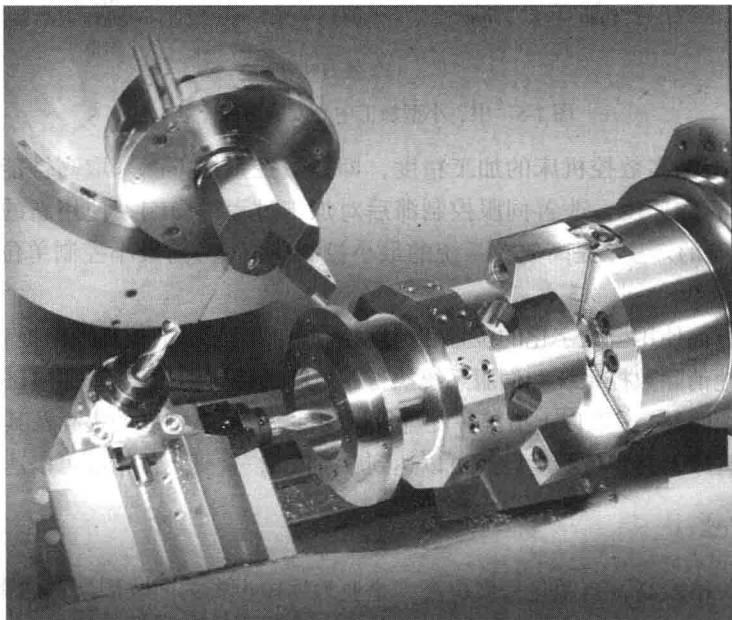


图 1-6 车铣复合数控机床

有的车铣复合加工中心设置有复合溜板箱。在溜板箱上安装多个纵向和横向动力刀头，并增加 B 轴功能，用以完成更多的加工需要。这类复合数控机床加工功能增加后，由于结构的复杂程度增加，制造难度和制造成本也大大增加，其加工精度和加工效率常难兼顾。

4. 智能化、网络化、柔性化

智能化是指数控机床控制加工精度和加工效率的智能化，例如，在加工过程中使用自适应控制模式、工艺参数的自动生成等技术，可在应用层面上改善数控机床的使用；在数控系统方面使用智能化的负载自动识别、电动机工作参数自适应运算调整、自动选定工作状态等技术，使数控机床的安装调试更有效；在数控机床的编程方面，数控系统设置有图形绘制指令，可在数控系统上生成二维或三维的加工图形，数控系统可以直接实现对图形的加工，此功能使数控机床操作的便利性大大增加。

网络化是 21 世纪数控机床的必备功能之一。这种功能将极大地满足制造系统、生产线、制造企业对信息集成的需求，使得企业和企业之间也可以进行跨地域的协同设计、协同制造、信息共享、远程监控及远程服务，并且极大地便利了企业的供销和售后服务。具有网络功能的数控机床在发生故障时可以启动在线诊断功能，从而在制造厂商和机床用户之间实现远程诊断。