

现代数控机床结构及设计丛书

数控车床设计

► 陈婵娟 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

现代数控机床结构及设计丛书

数控车床设计

陈婵娟 主编



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北京 ·

内 容 提 要

本书为《现代数控机床结构及设计丛书》之一。全书较为详细地介绍了数控车床各组成部分的结构和工作原理,特别对主传动系统和进给传动系统的设计、数控系统的软硬件结构及典型数控系统应用、数控车床的辅助装置及普通车床的数控化改造做了较为详细的阐述,并融入了相关的设计实例。在编写过程中力求理论性与实践性、实用性与先进性的协调统一。

本书可供从事数控机床设计及应用的工程技术人员参考,也可作为大专院校相关专业课程的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控车床设计/陈婵娟主编. —北京:化学工业出版社, 2006. 2
(现代数控机床结构及设计丛书)
ISBN 7-5025-8238-X

I. 数… II. 陈… III. 数控机床: 车床-程序设计
IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 007652 号

现代数控机床结构及设计丛书

数控车床设计

陈婵娟 主编

责任编辑:张兴辉 李军亮

责任校对:陈 静

封面设计:于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
北京市昌平振南印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15½ 字数 384 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8238-X

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

前 言

数控机床集计算机技术、电子技术、自动控制、传感测量、机械制造、网络通信技术于一体，是典型的机电一体化产品。它的发展和运用，开创了制造业的新时代，改变了制造业的生产方式、产业结构、管理方式，使世界制造业的格局发生了巨大变化。现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等技术都是建立在数控技术之上。数控技术水平的高低已成为衡量一个国家制造业水平的核心标志，实现加工机床及生产过程的数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

我国是世界上机床产量最多的国家，但数控机床的产品竞争力在国际市场中仍处于较低水平，即使在国内市场也面临着严峻的形势：一方面国内市场对各类机床产品特别是数控机床有大量的需求，而另一方面却有大量国产机床滞销积压，国外机床产品充斥市场，严重影响我国数控机床自主发展的势头。这种现象的出现，除了有经营上、产品质量上和促销手段上等的因素外，一个最主要的原因就是新产品（包括基型、变型和专用机床）的开发周期长，不能及时针对用户的需求提供满意的产品。

为了促进我国数控机床设计技术的发展，提升国内机床设计人员的整体水平，化学工业出版社组织国内有关专家组织编写了“现代数控机床结构及设计丛书”，包括《数控机床系统设计》、《数控机床本体》、《数控系统》、《数控检测装置》、《数控车床设计》、《数控铣床设计》、《数控加工中心设计》七个分册。丛书从设计人员的实际需要出发，对先进数控机床的结构、控制系统、装置及其设计方法进行了比较详细的介绍和分析，希望能够对我国机床设计人员消化、吸收国外的先进理念和技术，提高设计质量和设计水平有所帮助。

本书《数控车床设计》分册，较为详细地介绍了数控车床各组成部分的结构和工作原理，特别对主传动系统和进给传动系统的设计、数控系统的软硬件结构及典型数控系统应用、数控车床的辅助装置及普通车床的数控化改造做了较为详细的论述，编写过程中力求做到理论与实践、实用与先进的协调统一。本书可为从事数控机床设计及应用的工程技术人员提供较为全面系统的参考，也可作为大专院校相关专业课程的教材或参考书。

全书共分 7 章。第 1 章由文怀兴编写；第 2 章和第 6 章由张强编写；第 3 章 3.3 节和 3.5 节由陈婵娟编写，其余由张强编写；第 4 章由祁广利编写；第 5 章由陈婵娟编写；第 7 章由夏田编写。全书由陈婵娟统稿和定稿。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料，得到了同行专家的指导帮助，在此谨致谢意。由于编者水平有限，书中的不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2005 年 11 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数控车床的组成和工作原理	1
1.1.1 数控加工过程	1
1.1.2 数控车床的组成	1
1.1.3 数控车床的工作原理	3
1.2 数控车床的类型	3
1.2.1 按控制方式分类	3
1.2.2 按数控系统的功能分类	4
1.2.3 按加工工艺方法分类	5
1.2.4 按主轴的配置形式分类	7
1.3 数控车床的特点	7
1.3.1 数控车床的优点	7
1.3.2 数控车床的适用范围	8
1.4 数控车床的设计方法和步骤	9
1.4.1 数控车床的设计方法和特点	9
1.4.2 数控车床的设计步骤	11
第 2 章 主传动系统	12
2.1 概述	12
2.1.1 主传动系统的设计要求	12
2.1.2 主传动系统的传动方式	12
2.1.3 数控车床主传动系统的发展	13
2.2 变速主传动系统设计	15
2.2.1 主传动系统的参数	15
2.2.2 分级变速传动系统设计	16
2.2.3 分挡无级变速传动设计	23
2.3 主轴组件	25
2.3.1 主轴组件的性能要求	25
2.3.2 主轴	26
2.3.3 主轴轴承	27
2.3.4 主轴组件润滑与密封	32
2.3.5 主轴组件的计算	34
2.4 主轴驱动与控制	38
2.4.1 主轴驱动的基本要求	38
2.4.2 交流主轴驱动	39
2.4.3 主轴转速的自动变换	45

2.4.4	主轴旋转与进给轴的同步控制	47
2.5	数控车床主传动系统实例	48
2.5.1	CK7815 型数控车床的主传动系统	48
2.5.2	DS11 型数控车床的主传动系统	50
2.5.3	车削中心的主传动系统	51
第 3 章	进给伺服系统	54
3.1	概述	54
3.1.1	进给伺服系统的组成和要求	54
3.1.2	进给伺服系统的控制方式	55
3.1.3	进给系统的驱动方式	57
3.2	位置检测元件与位置控制	58
3.2.1	位置检测元件	58
3.2.2	进给系统的位置控制	70
3.3	进给系统的伺服驱动	73
3.3.1	进给系统对伺服驱动装置的要求	73
3.3.2	步进电动机伺服驱动系统	74
3.3.3	直流伺服电动机及其驱动系统	84
3.3.4	无刷直流伺服电动机调速系统	94
3.3.5	交流伺服电动机及其驱动系统	96
3.4	机械传动与导向装置	101
3.4.1	传动机构	101
3.4.2	导轨	120
3.5	进给伺服系统设计与性能分析	126
3.5.1	开环进给伺服系统设计	126
3.5.2	闭环进给伺服系统设计	130
第 4 章	数控车床的辅助装置	135
4.1	数控车床辅助装置概述	135
4.1.1	辅助装置的作用和组成	135
4.1.2	液压和气动装置	135
4.1.3	润滑装置	137
4.2	自动换刀装置	138
4.2.1	自动换刀装置的作用	138
4.2.2	自动换刀装置的形式	138
4.2.3	标准刀具系统	147
4.3	自动排屑装置	148
4.3.1	自动排屑装置的作用	148
4.3.2	切削区的排屑方法	148
4.3.3	典型的自动排屑装置	148
4.4	其他辅助装置	149
4.4.1	切削过程的监控装置	149

4.4.2 对刀仪	152
第5章 车床数控系统	154
5.1 概述	154
5.1.1 数控系统(CNC系统)的主要功能	155
5.1.2 数控系统的分类	156
5.2 数控装置(CNC装置)的硬软件结构	159
5.2.1 CNC装置的硬件结构	159
5.2.2 CNC装置的软件结构	166
5.3 数控系统与可编程控制器	178
5.3.1 可编程控制器的结构和工作原理	178
5.3.2 PLC在数控系统中的应用	183
5.4 数控系统的输入/输出接口及通信	188
5.4.1 输入/输出接口电路	188
5.4.2 CNC装置的显示功能及其接口	188
5.4.3 数控系统的通信	189
5.5 典型车床数控系统及其应用	194
5.5.1 FANUC Power Mate 0 数控系统	194
5.5.2 SIEMENS 802S/C 数控系统	207
第6章 总体结构与布局	216
6.1 总体结构的基本要求	216
6.2 总体布局	218
6.2.1 床身和导轨的布局	218
6.2.2 运动和部件布局	219
第7章 普通车床的数控化改造	222
7.1 概述	222
7.1.1 普通车床数控化改造的优点	222
7.1.2 数控化改造的内容	223
7.1.3 改造主要技术方案的确定	223
7.1.4 改造的技术准备	224
7.1.5 改造的实施	225
7.1.6 验收工作	225
7.2 数控系统的确定	226
7.3 数控改造中主要机械部件改造	227
7.3.1 数控改造对机械传动系统的要求	227
7.3.2 机械系统的改造内容	227
7.3.3 机械传动系统的改造	228
7.4 机械部分改造设计计算	233
7.4.1 开环伺服进给系统的设计计算步骤	233
7.4.2 机械部分改造设计计算实例	234
7.5 数控车床改造实例	236

7.5.1	C616 车床数控化改造	236
7.5.2	采用 GSK980T 和步进驱动系统改造 C6140 车床	239
7.5.3	用 GSK980T 和交流伺服驱动系统改造 C6140 车床	239
参考文献	240

第 1 章 概 述

1.1 数控车床的组成和工作原理

1.1.1 数控加工过程

数控车床加工零件的工作过程主要包括以下内容。

① 根据被加工零件的图样与工艺方案，用规定的代码和程序格式，将刀具的移动轨迹、加工工艺过程、工艺参数、切削用量等编写成数控系统能够识别的指令形式，即编写加工程序。

② 将所编写的加工程序输入数控装置。

③ 数控装置对输入的程序（代码）进行译码、运算处理，并向各坐标轴的伺服驱动装置和辅助功能控制装置发出相应的控制信号，以控制车床各部件的运动。

④ 在运动过程中，数控系统需要随时检测车床的坐标轴位置、行程开关的状态等，并与程序的要求相比较，以决定下一步动作，直到加工出合格的零件。

⑤ 操作者随时对车床的加工情况、工作状态进行观察和检查，必要时还需要对车床动作和加工程序进行调整，以保证车床安全、可靠地运行。

1.1.2 数控车床的组成

如图 1-1 所示，数控车床由程序编制及程序载体、输入装置、数控装置（CNC）、伺服驱动及位置检测装置、辅助控制装置、车床本体等几部分组成。

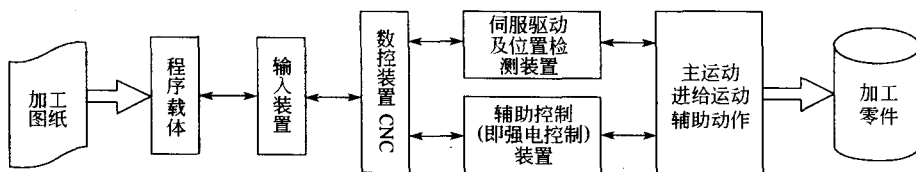


图 1-1 数控车床的基本结构

(1) 程序编制及程序载体 数控程序是数控车床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上，确定零件坐标系在车床坐标系上的相对位置，即零件在车床上的安装位置，刀具与零件相对运动的尺寸参数，零件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息后，用由文字、数字和符号组成的标准数控代码，按规定的方法和格式，编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行；对于形状复杂的零件，则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程（APT）或利用 CAD/CAM 系统产生程序。

编好的数控程序，存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上，它可以是穿孔纸带、磁带、磁盘、闪存卡等。闪存卡由于存储容量大、数据交流迅速和记录可靠，在开放式数控

系统的新型数控机床上开始使用。

(2) 输入装置 输入装置的作用是将程序载体(信息载体)上的数控代码传递并存入数控系统内。根据存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控车床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控系统;数控加工程序还可通过编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工(数控系统内存较小时);另一种是一次将零件加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从内部存储器中逐段调出进行加工。

(3) 数控装置 数控装置是数控车床的核心。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种控制信息和指令,控制车床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成,刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动,即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据,不能满足要求,因此要进行轨迹插补,也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号,控制各坐标轴(即进给运动的各执行元件)的进给速度、进给方向和进给位移量等。

(4) 驱动装置及位置检测装置 驱动装置接受来自数控装置的指令信息,经功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动车床移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的伺服精度和动态响应性能是影响数控车床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器(含功率放大器)和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

位置检测装置将数控车床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到车床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动。

(5) 辅助控制装置 辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号,经过编译、逻辑判别和运算,再经功率放大后驱动相应的电器,带动车床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令,刀具的选择和交换指令,冷却、润滑装置的启动停止,工件和机床部件的松开、夹紧等辅助动作。

由于可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快、性能可靠、使用方便、编程和调试程序容易等特点,并可直接驱动部分机床电器,因此,被广泛用作数控车床的辅助控制装置。目前,大多数数控系统都带有内部 PLC,用于处理数控车床的辅助指令,从而简化了机床的辅助控制装置。

(6) 车床本体 车床本体与传统车床相似,由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。但数控车床特别是车削中心在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了较大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控车床的要求和充分发挥数控车床的特点。归纳起来包括以下几个方面的变化。

① 采用高性能主传动及主轴部件。具有传递功率大、刚度、抗振性好及热变形小等

优点。

② 进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等。

③ 具有完善的刀具自动交换和管理系统。

④ 车床本身具有很高的动、静刚度。

⑤ 采用全封闭罩壳。由于数控车床是自动完成加工，为了操作安全等，一般采用移动门结构的全封闭罩壳，对车床的加工部件进行全封闭。

1.1.3 数控车床的工作原理

在传统的金属切削机床上，加工零件时操作者根据图样的要求，通过不断改变刀具的运动轨迹、运动速度等参数，使刀具对工件进行切削加工，最终加工出合格零件。

数控车床的加工，其实质是应用了“微分”原理。其工作原理与过程可简述如下（如图 1-2）。

① 数控装置根据加工程序要求的刀具轨迹，将轨迹按车床对应的坐标轴，以最小移动量（脉冲当量）进行微分（图 1-2 中的 ΔX 、 ΔY ），并计算出各轴需要移动的脉冲数。

② 通过数控装置的插补软件或插补运算器，把要求的轨迹用最小移动单位的等效折线进行拟合，并找出最接近理论轨迹的拟合折线。

③ 数控装置根据拟合折线的轨迹，给相应的坐标轴连续不断地分配进给脉冲，并通过伺服驱动使车床坐标轴按分配的脉冲运动。

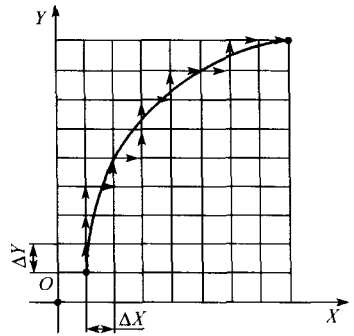


图 1-2 数控加工原理

由上可见：①只要数控车床的最小移动量（脉冲当量）足够小，所用的拟合折线就完全可以等效代替理论曲线；②只要改变坐标轴的脉冲分配方式，即可以改变拟合折线的形状，从而达到改变加工轨迹的目的；③只要改变分配脉冲的频率，即可改变坐标轴（刀具）的运动速度。这样就实现了数控车床控制刀具移动轨迹的根本目的。

以上根据给定的数学函数，在理想轨迹（轮廓）的已知点之间，通过数据点的密化，确定一些中间点的方法，称为插补。能同时参与插补的坐标轴数，称为联动轴数。显然，当数控机床的联动轴越多，机床加工轮廓的性能就越强。因此，联动轴的数量是衡量数控机床性能的重要技术指标之一。

1.2 数控车床的类型

目前数控车床品种齐全、规格繁多，可以从不同的角度进行分类。

1.2.1 按控制方式分类

(1) 开环控制系统 开环控制系统是指不带反馈装置的控制系统。它是根据控制介质上的数据指令，经过数控运算发出脉冲信号，输入到伺服驱动装置（如步进电动机）使其转过相应的角度，然后经过减速齿轮和丝杠螺母机构，转换为移动部件的直线位移。图 1-3 所示为开环控制系统框图。

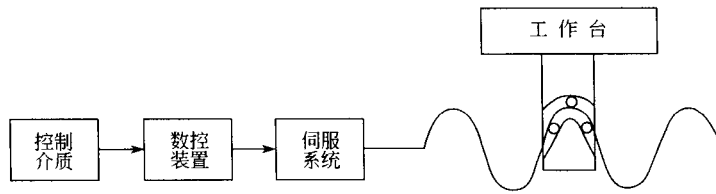


图 1-3 开环控制系统框图

由于开环控制系统不具有反馈装置，不能进行误差校正，因此这类数控车床的精度较低 ($\pm 0.02\text{mm}$)。虽然开环控制系统具有结构简单、工作稳定、使用维修方便及成本低的优点，但它已不能满足数控车床日益提高的精度要求。

(2) 半闭环控制系统 半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置，通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角，间接检测移动部件的位移，然后反馈到数控装置的比较器中，与输入原指令位移值进行比较，用比较后的差值进行控制，使移动部件补充位移，直到差值消除为止的控制系统。由于半闭环控制系统将移动部件的传动丝杠螺母机构不包括在闭环之内，所以传动丝杠螺母机构的误差仍然会影响移动部件的位移精度。图 1-4 所示为半闭环控制系统框图。

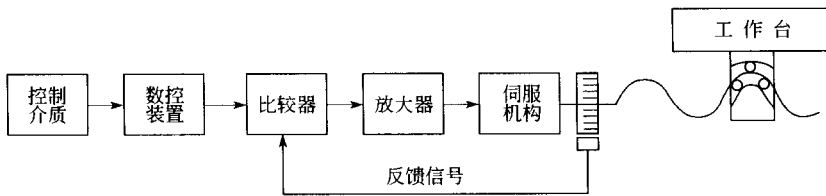


图 1-4 半闭环控制系统框图

半闭环控制系统调试方便，稳定性好，目前应用比较广泛。

(3) 闭环控制系统 图 1-5 所示为闭环控制系统框图，闭环控制系统是在车床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置，将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中，与输入的原指令位移值进行比较，用比较后的差值控制移动部件做补充位移，直到差值消除时才停止移动，达到精确定位的控制系统。

闭环控制系统定位精度高（一般可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，最高可达 0.001mm ），一般应用在高精度数控车床上。由于系统增加了检测、比较和反馈装置，所以结构比较复杂，调试维修比较困难。

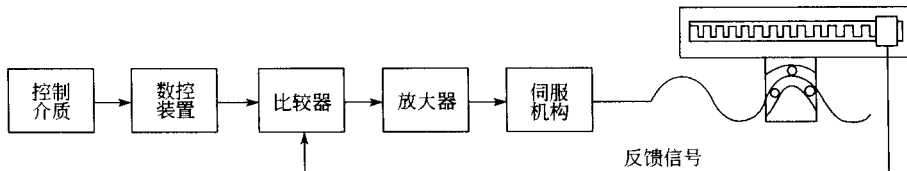


图 1-5 闭环控制系统框图

1.2.2 按数控系统的功能分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三类。低、中、高三档的界限

是相对的，不同时期，划分标准也会不同。就目前的发展水平来看，可以根据表 1-1 的一些功能及指标，将各种类型的数控系统分为低档、中档、高档三类。其中，中档一般称为全功能数控或标准型数控。经济型数控属于低档数控，是指由单片机和步进电动机组成的数控系统，或其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

表 1-1 数控系统不同档次的功能和指标

功 能	低 档	中 档	高 档
系统分辨率	10 μ m	1 μ m	0.1 μ m
G00 速度	3~8m/min	10~24m/min	24~100m/min
伺服类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服	闭环及直、交流伺服
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS232C 或 DNC	RS232C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	CRT:图形、人机对话	CRT:三维图形、自诊断
内装 PLC	无	有	强功能内装 PLC
主 CPU	8 位、16 位 CPU	16 位、32 位 CPU	32 位、64 位 CPU
结构	单片机或单板机	单微处理机或多微处理机	分布式多微处理机

1.2.3 按加工工艺方法分类

(1) 普通数控车床 数控车床是在普通车床的基础上，增加了数控系统和伺服驱动系统，从而形成能够按照预定程序，自动完成预定加工过程的车床。普通数控车床是指加工用途、加工工艺相对单一的数控车床，在机械制造行业数量较多，通常称之为经济型数控车床，如图 1-6 所示。

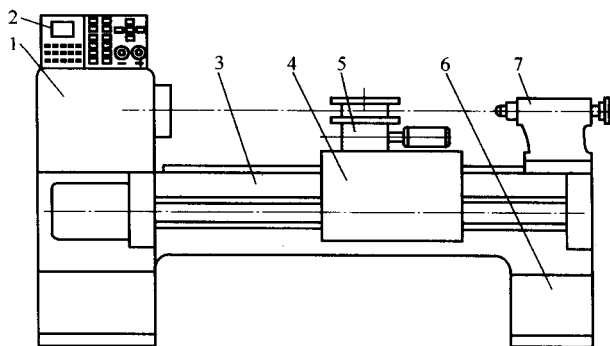


图 1-6 普通数控车床组成示意图

1—主轴箱；2—控制面板；3—床身；4—刀架滑板；5—转塔刀架；6—底座；7—尾座

普通数控车床采用较低的配置形式使其具有较大的价格优势，与传统的同类车床相比，具有精度一致性好、生产率和自动化程度高的特点。但在机械结构上没有改变普通车床 Z 向驱动力偏心引起的执行机构变形和导轨承载面不均匀磨损问题，普遍使用的滑动导轨也不能适应高负载系数的自动化生产过程，四方形刀架较少的装刀数量也限制了车床工艺能力的范围。

(2) 多功能数控车床 多功能数控车床采用倾斜床身或平床身-斜滑板，具有回轮式刀塔，使用滚动导轨支承刀塔溜板。在回轮刀塔上可以安装 10 组以上车削刀具或孔加工刀具，回轮刀架上刀具的转位可由液压马达或伺服电机驱动，尾架可以根据需要由液压装置控制其

运动，如图 1-7 所示。

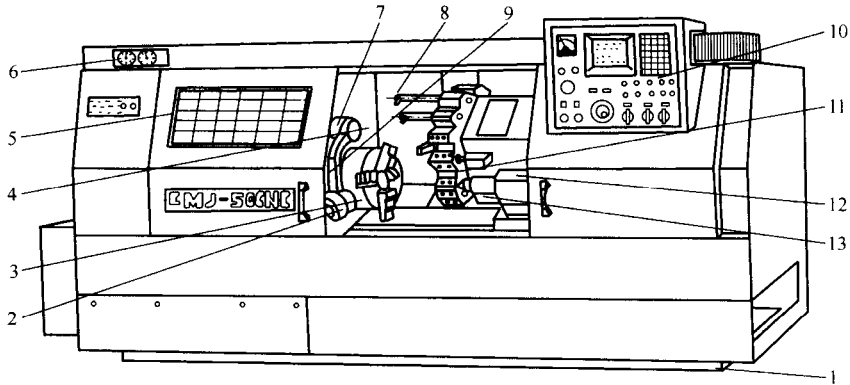


图 1-7 数控车床的外观图

- 1—床身；2—对刀仪；3—主轴卡盘；4—主轴箱；5—防护门；6—压力表；7—对刀仪防护罩；
8—防护罩；9—对刀仪转臂；10—操作面板；11—回转刀架；12—尾座；13—滑板

采用倾斜床身的多功能数控车床刚性好、排屑方便，高温切屑对运动导轨的不均匀变形影响减小；倾斜床身的截面可以形成封闭的腔形结构，其型腔内部可以充填泥芯或混凝土等阻尼材料，在加工中利用阻尼材料的相对摩擦来耗散振动能量，减少振动对表面加工质量的影响。在多功能数控车床上通常配置有自动排屑器，主轴电机和进给电机功率更大，其性能配置更适合精密、大批量生产模式。

(3) 车削加工中心 数控车床可以加工各种回转表面，但是如果圆周表面或端面上需要加工键槽或端面孔，就要移到其他机床上去加工。在很多情况下，出于加工精度的考虑，零件是不允许拆卸、重新定位装夹和更换机床的。对于这种以回转面为主要加工内容，兼有圆周表面或端面上加工的零件，车削中心就比较得心应手。

车削加工中心床身均为倾斜结构，主轴使用交流伺服电机驱动或电主轴结构，主轴的最高转速可达 6000r/min 以上，以满足精加工的需要，如图 1-8 所示。为了扩展其工艺范围，在回轮式刀架上配备有多功能的动力刀头，不但可以装夹内外圆车刀，还可装夹自驱动的铣刀、钻头、丝锥等刀具，以完成圆周表面或端面上的各种加工；回轮刀塔的转位使用交流伺服电机驱动，换刀时间短；机床的尾架使用 PLC 可编程控制器控制其工作位置，使用方便；

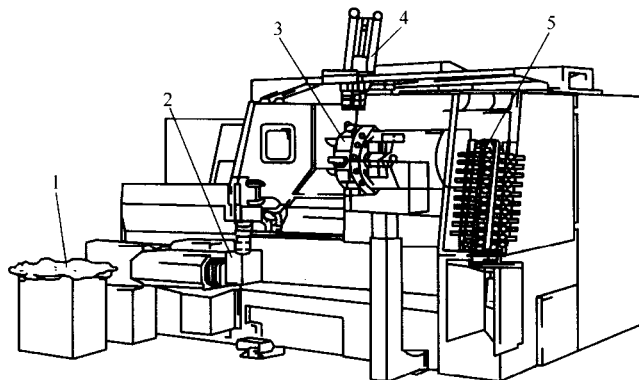


图 1-8 车削中心

- 1—零件库；2—上下料机械手；3—转塔刀架；4—换刀机械手；5—刀库

对直径尺寸影响较大的 X 轴多采用光栅闭环控制，以提高加工精度；在机床上通常设置自动对刀仪，由控制指令操作使其完成对加工刀具的测量，并将测量结果自动补偿到加工过程中。

车削加工中心除具有常规的 X 轴、Z 轴控制外，均具有 C 轴功能（主轴在加工过程中同时作为旋转坐标轴使用），与铣削动力头的配合可以在工件上完成特殊型面的加工，如圆柱面凸轮槽、端面凸轮槽。在部分车削加工中心上，还具有 Y 轴功能和 B 轴功能，使得机床的工艺范围进一步的扩大。

1.2.4 按主轴的配置形式分类

(1) 卧式数控车床 主轴轴线处于水平位置的数控车床。它能自动加工各种轴类、套类、盘类等复杂的内外回转表面的零件，是其他类型车床所不能代替的。但该车床车削工件直径的大小受到床身导轨的限制，工件越大，主轴及其轴承承受的弯矩越大，难以保持精度。

(2) 立式数控车床 主轴轴线处于垂直位置的数控车床。该车床工作台装在底座上，工件装卡在工作台上，并由工作台带动旋转。进给运动由垂直刀架和侧刀架实现。该车床将主轴立起来，工件装卸、观察方便，主轴轴承不承受工件、花盘等重力产生的弯矩，工件及工作台的重量由导轨或推力轴承承受。

立式数控车床与卧式数控车床相比，在加工大型盘类、套类、壳体类工件时具有较高的精度和生产率，工件越大这种特点越突出。

1.3 数控车床的特点

1.3.1 数控车床的优点

(1) 加工对象改型的适应性强 由于在数控车床上改变加工零件时，只需要重新编制程序就能实现对零件的加工，它不同于传统的车床，不需要制造、更换许多工具、夹具和检具，更不需要重新调整车床。因此，数控车床可以快速地由加工一种零件转变为加工另一种零件，这就为单件、小批以及试制新产品提供了极大的便利。它不仅缩短了生产准备周期，而且节省了大量工艺装备费用。

(2) 加工精度高 数控车床是以数字形式给出的指令进行加工的，由于目前数控装置的脉冲当量（即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量）一般达到了 0.001mm，而且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，数控车床能达到比较高的加工精度和质量稳定性。这是由数控车床结构设计采用了必要的措施，以及机电结合的特点决定的。首先是在结构上引入了滚珠丝杠螺母机构、各种消除间隙结构等，使机械传动的误差尽可能小；其次是采用了软件精度补偿技术，使机械误差进一步减小；第三是用程序控制加工，减少了人为因素对加工精度的影响。这些措施不仅保证了较高的加工精度，同时还保证了较高的质量稳定性。

(3) 生产效率高 零件加工所需要的时间包括机动时间与辅助时间两部分。数控车床能够有效地减少这两部分时间，因而加工生产率比一般车床高得多。数控车床主轴转速和进给量的范围比普通车床的范围大，每一道工序都能选用最有利的切削用量，良好的结构刚性允

许数控车床进行大切削用量的强力切削，有效地节省了机动时间。数控车床移动部件的快速移动和定位采用了加速与减速措施，因而选用了很高的空行程运动速度，消耗在快进、快退和定位的时间要比一般车床少得多。

数控车床的加工精度比较稳定，一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验，因而可以减少停机检验的时间。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控车削中心机床时，在一台机床上实现了多道工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产效率的提高就更为明显。

(4) 自动化程度高 数控车床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作面板、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均大为减小，劳动条件也得到相应的改善。

(5) 良好的经济效益 使用数控车床加工零件时，分摊在每个零件上的设备费用是比较昂贵的。但在单件、小批量生产情况下，可以节省工艺装备费用、辅助生产工时、生产管理费用及降低废品率等，因此能够获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化 用数控车床加工零件，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

数控车床在应用中也有不利的一面，如提高了起始阶段的投资，对设备维护的要求较高，对操作人员的技术水平要求较高等。

1.3.2 数控车床的适用范围

数控车床与卧式车床一样，也是用来加工轴类或盘类的回转体零件。但是由于数控车床是自动完成内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、端面、螺纹等工序的切削加工，所以数控车床特别适合加工形状复杂的轴类或盘类零件。

数控车床具有加工灵活、通用性强、能适应产品的品种和规格频繁变化的特点，能够满足新产品的开发和多品种、小批量、生产自动化的要求，因此被广泛应用于机械制造业。

数控车床确实存在一般车床所不具备的许多优点，但是这些优点都是以一定条件为前提的。数控车床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替其他类型的机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。数控车床通常最适合加工具有以下特点的零件。

① 多品种小批量生产的零件 图 1-9 表示了三类车床的零件加工批量数与综合费用的关系。从图中看出零件加工批量的增大对于选用数控车床是不利的。原因在于数控车床设备费用昂贵，以及与大批量生产采用的专用机床相比其效率还不够高。通常，采用数控车床加工的合理生产批量在 10~200 件之间。目前有向中批量发展的趋势。

② 结构比较复杂的零件 图 1-10 表示了三类车床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控车床适宜于加工结构比较复杂，在非数控车床上加工时需要昂贵的工艺装备的零件。

③ 需要频繁改型的零件 它节省了大量的工艺装备费用，使综合费用下降。

④ 价格昂贵、不允许报废的关键零件。

⑤ 需要最短生产周期的急需零件。

数控车床的初始投资相对较大，由于系统的复杂性，又增加了维修费用。如果缺少完善的售后服务，往往不能及时排除设备故障，将会在一定程度上影响机床的利用率，这些因素

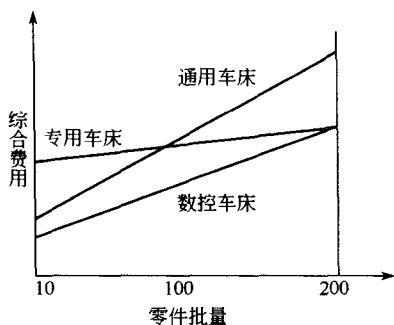


图 1-9 零件加工批量数与综合费用的关系

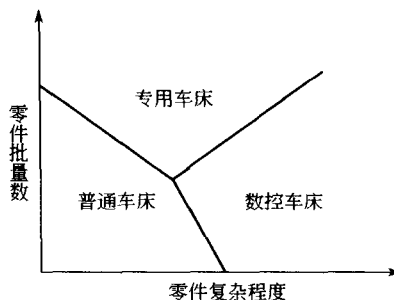


图 1-10 零件复杂程度与批量数的关系

都会增加综合生产费用。

考虑到以上所述的种种原因，在决定选用数控车床加工时，需要进行反复对比和仔细的经济分析，使数控车床发挥它的最佳经济效益。

1.4 数控车床的设计方法和步骤

1.4.1 数控车床的设计方法和特点

(1) 数控车床的设计方法 在过去的机床设计中多采用类比法，以古典力学和数学为基础的简单公式或经验数据进行手工计算和手工设计，设计效率低、质量差、周期长。随着科学技术的进步和社会需求的变化，数控车床的设计理论和技术也在不断地发展。特别是近年来计算方法、控制理论、系统工程、创造工程、价值工程等学科的发展，尤其是计算机技术的广泛应用，为机床设计方法的发展提供了有力的技术支撑。出现了许多跨学科的现代设计方法，如计算机辅助设计、优化设计、模块化设计、创新设计、造型与色彩设计、有限元分析、价值工程分析、人机工程学、反求工程、三次设计、动态设计、并行工程设计、虚拟设计、稳健设计、智能设计、全生命周期设计、绿色工程设计等，使数控车床设计进入了一个创新、高质量和高效的新阶段。计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助工程（CAE）已在机床设计的各个阶段进行了应用，使得数控车床的设计理论和方法由人工绘图向计算机绘图，由定性设计向定量设计、由静态和线性分析向动态和非线性分析，由可行性设计向最佳设计过渡。

数控技术的发展与应用，使得数控车床的传动与结构发生了重大变化。伺服驱动系统可以方便地实现机床的单轴运动及多轴联动，从而可以省去复杂的机械传动系统设计，使其结构及布局也有很大变化。

随着生产的发展，社会需求也在发生变化。在机械制造业中，多品种、小批量生产的需求日益增加，因此出现了与之相适应的 FMS 等先进制造系统。数控车床特别是车削中心是 FMS 的核心装备之一。前期的 FMS，可以说是“以机床为主的系统”设计，即根据现有机床的特点来构成 FMS，但是传统的机床（包括数控机床）设计时并未考虑到它在 FMS 中的应用，因此在功能上制约了 FMS 的发展。FMS 的发展对数控机床提出了新的要求，要求数控机床设计向“以系统为主的机床设计”方向发展，即在机床设计时就要考虑它如何更好地适应 FMS 等先进制造系统的要求，例如要求具有时、空柔性，与物流的开放性等，这就对