

立体化教材使用指南（扫描过程中禁止移动）



打开扫码

扫描书中二维码

播放视频



“十四五”职业教育国家规划教材



“十四五”职业教育国家规划教材

# 数控机床控制技术

SHUKONG JICHUANG KONGZHI JISHU

彭二宝 主编

数控机床控制技术

彭二宝 主编



策划编辑 徐素军  
责任编辑 卢正阳  
责任校对 司丽艳  
封面设计 张伟  
责任印制 张艳芳

中原出版  
CENTRAL CHINA PUBLISHING

ISBN 978-7-5349-9741-9



9 787534 997419 >

定价：38.00 元

河南科学技术出版社

中原出版传媒集团  
中原传媒股份公司

河南科学技术出版社



“十四五”职业教育河南省规划教材  
“十三五”高等职业教育立体化教材

# 数控机床控制技术

SHUKONG JICHUANG KONGZHI JISHU

彭二宝 主编

河南科学技术出版社  
Henan Science and Technology Press

河南科学技术出版社  
· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书充分利用现代信息技术,建设开发了生动丰富的数字化资源,将传统纸质教材与声音、视频、动漫等线上资源有机结合,教学方式灵活多变,学习内容丰富。

本书共分为5个项目,分别是:项目1 数控车床、项目2 数控铣床、项目3 数控加工中心、项目4 数控特种加工机床、项目5 数控机床的选用及维护。

本书由浅入深、通俗易懂,可作为高职高专院校机电专业的专业课教材,可为后期学生综合实训、毕业设计、顶岗实习等打下基础,也有助于学生职业素质养成与职业能力培养。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控机床控制技术/彭二宝主编. —郑州:河南科学技术出版社,2019.10  
(2023.4重印)

“十三五”高等职业教育立体化教材

ISBN 978-7-5349-9741-9

I. ①数… II. ①彭… III. ①数控机床-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第245850号

---

出版发行:河南科学技术出版社

地址:郑州市郑东新区祥盛街27号 邮编:450016

电话:(0371) 65788865

网址:www.hnstp.cn

策划编辑:徐素军

责任编辑:卢正阳

责任校对:司丽艳

封面设计:张 伟

责任印制:张艳芳

印 刷:河南新华集团印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:15.5 字数:400千字

版 次:2019年10月第1版 2023年4月第3次印刷

定 价:38.00元

---

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

“十三五”高等职业教育立体化教材  
《数控机床控制技术》编写人员名单

主 编 彭二宝

副主编 黄力刚 史亚贝

编 委 (以姓氏笔画为序)

王 景 史亚贝 刘欣宁

邰 鑫 郭 威 黄力刚

彭二宝



为深入贯彻二十大报告，加快建设制造强国，深入实施科教兴国战略、人才强国战略、创新驱动发展战略，推进教育数字化，落实《国务院关于印发〈国家职业教育改革实施方案〉的通知》（国发〔2019〕4号）和《河南省人民政府关于印发〈河南省职业教育改革实施方案〉的通知》（豫政〔2019〕23号）精神，顺应“互联网+”的发展趋势，推进信息技术与教育教学的全面深度融合，加快提升高职教育信息化整体水平，以高等职业院校机电专业人才培养方案为依据编写了此书。

《数控机床控制技术》立体化教材充分利用现代信息技术，开发建设了生动丰富的数字化资源，将传统纸质教材与声音、视频、动漫等其他线上资源有机结合，教学方式灵活，学习内容丰富，达到良好的学习效果。该教材是一门多学科交叉的专业课程，采用项目导向、任务驱动模式，按照“教、学、练、做”合一的原则，设计学习项目和典型任务单元，通过多媒体网络技术，开发出了二维、微课等多种媒介的教学资源，将知识点融入其中，介绍各种数控机床的工作原理和特性，结合工程应用实际，了解数控机床的应用，增强了教学设计的实用性和趣味性。学生可以通过手机APP直接学习，培养学生掌握各类数控机床的结构和原理，了解数控技术的发展动向，提高学生参与学习的动力。本课程为后期综合实训、毕业设计、顶岗实习等打下基础，也是职业素养养成与职业能力培养最基本的理论实践一体化课程。

全书共分为5个项目，分别是：项目1数控车床、项目2数控铣床、项目3数控加工中心、项目4数控特种加工机床、项目5数控机床的选用及维护。

本书由河南工业职业技术学院的彭二宝老师担任主编，黄力刚和史亚贝老师担任副主编，郭威、邵鑫、王景、刘欣宁老师参与教材的编写，其中项目1由邵鑫（任务1-2）和黄力刚（任务3-5）编写，项目2由郭威（任务1-2）和彭二宝（任务3-5）编写，项目3由史亚贝编写，项目4由王景编写，项目5由刘欣宁编写。彭二宝、黄力刚、史亚贝、郭威、邵鑫、王景、刘欣宁、赵晓燕、曲令晋、秦启书老师参与教材资源的建设，其中彭二宝、黄力刚、史亚贝负责立体资源的管理及审核，郭威负责全书图片的制作，邵鑫、王景、刘欣宁、赵晓燕、曲令晋、秦启书参与资源制作；黄力刚负责项目1资源建设，史亚贝、王景负责项目2资源建设，邵鑫负责项目3资源建设，刘欣宁、赵晓燕负责项目4资源建设，曲令晋、秦启书负责项目5的资源建设。

# | 前言 |

## PREFACE

编者在编写过程中，河南工业职业技术学院的领导给予了大力支持与帮助，同时参考了国内同行编写的很多优秀教材，在此表示衷心的感谢。由于编者水平所限，本书可能存在疏漏或错误，敬请读者批评指正。

编者  
2019年5月

河南科学技术出版社  
Henan Science and Technology Press

概述	(1)
项目 1 数控车床	(12)
任务1 数控车床的基础知识	(12)
1.1 技能目标	(12)
1.2 知识要点	(12)
1.3 知识准备	(12)
1.4 任务实施：数控车床的认识	(18)
任务2 数控车床传动系统及典型结构	(18)
2.1 技能目标	(18)
2.2 知识要点	(19)
2.3 知识准备	(19)
2.4 任务实施：数控车床机械传动部件和支撑部件的认识	(35)
任务3 计算机数控装置	(36)
3.1 技能目标	(36)
3.2 知识要点	(36)
3.3 知识准备	(36)
3.4 任务实施：数控系统的原理及组成	(43)
任务4 数控系统的插补原理和数据处理	(45)
4.1 技能目标	(45)
4.2 知识要点	(45)
4.3 知识准备	(45)
4.4 任务实施：数控插补原理	(65)
任务5 数控车床程序编制基础	(66)
5.1 技能目标	(66)
5.2 知识要点	(66)
5.3 知识准备	(66)
5.4 任务实施：轴类零件的编程加工	(72)

项目2 数控铣床 .....	(75)
任务1 数控铣床的基础知识 .....	(76)
1.1 技能目标 .....	(76)
1.2 知识要点 .....	(76)
1.3 知识准备 .....	(76)
1.4 任务实施：数控铣床的认识 .....	(82)
任务2 数控铣床传动系统及典型结构 .....	(83)
2.1 技能目标 .....	(83)
2.2 知识要点 .....	(83)
2.3 知识准备 .....	(83)
2.4 任务实施：数控铣床工作台的拆装 .....	(90)
任务3 数控机床伺服系统 .....	(91)
3.1 技能目标 .....	(91)
3.2 知识要点 .....	(92)
3.3 知识准备 .....	(92)
3.4 任务实施：步进电动机驱动系统的调试及使用 .....	(114)
任务4 数控铣床位置检测装置 .....	(116)
4.1 技能目标 .....	(116)
4.2 知识要点 .....	(116)
4.3 知识准备 .....	(117)
4.4 任务实施：位置测量装置的选型与应用 .....	(142)
任务5 数控铣床编程基础 .....	(146)
5.1 技能目标 .....	(146)
5.2 知识要点 .....	(146)
5.3 知识准备 .....	(146)
5.4 任务实施：平面零件编程加工 .....	(149)
项目3 数控加工中心 .....	(151)
任务1 加工中心的基础知识 .....	(151)
1.1 技能目标 .....	(151)
1.2 知识要点 .....	(151)
1.3 知识准备 .....	(151)
1.4 任务实施：加工中心的认识 .....	(156)

任务2 加工中心传动系统及结构 .....	(156)
2.1 技能目标 .....	(156)
2.2 知识要点 .....	(157)
2.3 知识准备 .....	(157)
2.4 任务实施：认识加工中心的刀库及换刀机构的相关零 部件 .....	(166)
任务3 PLC 在数控机床中的应用 .....	(167)
3.1 技能目标 .....	(167)
3.2 知识要点 .....	(167)
3.3 知识准备 .....	(167)
3.4 任务实施：可编程控制器（PLC）编程与调试 .....	(195)
项目4 数控特种加工机床 .....	(197)
任务1 数控电火花成型机床 .....	(197)
1.1 技能目标 .....	(197)
1.2 知识要点 .....	(197)
1.3 知识准备 .....	(197)
1.4 任务实施：电火花成型机床的认识 .....	(204)
任务2 电火花线切割机床 .....	(204)
2.1 技能目标 .....	(204)
2.2 知识要点 .....	(204)
2.3 知识准备 .....	(204)
2.4 任务实施：认识电火花线切割机床 .....	(210)
任务3 数控热切割机床 .....	(210)
3.1 技能目标 .....	(210)
3.2 知识要点 .....	(210)
3.3 知识准备 .....	(210)
3.4 任务实施：认识数控热切割机床 .....	(214)
任务4 数控压力机与数控折弯机 .....	(215)
4.1 技能目标 .....	(215)
4.2 知识要点 .....	(215)
4.3 知识准备 .....	(215)
4.4 任务实施：数控压力机与数控折弯机 .....	(218)

项目 5 数控机床的选用及维护 .....	(220)
任务1 数控机床的选择 .....	(220)
1.1 技能目标 .....	(220)
1.2 知识要点 .....	(220)
1.3 知识准备 .....	(220)
任务2 数控机床的日常维护 .....	(224)
2.1 技能目标 .....	(224)
2.2 知识要点 .....	(224)
2.3 知识准备 .....	(224)
2.4 任务实施：数控机床的维护 .....	(230)
任务3 数控机床的安装、调试与验收 .....	(231)
3.1 技能目标 .....	(231)
3.2 知识要点 .....	(232)
3.3 知识准备 .....	(232)
参考文献 .....	(238)

河南科学技术出版社  
Henan Science and Technology Press

# 概 述

制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基，打造具有国际竞争力的制造业产业，是我国提升综合国力、保障国家安全、建设世界强国的必由之路。党的二十大报告指出要“坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、航天强国，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展”。机械制造业中，单件小批量生产的零件占机械加工总量的75%~80%，尤其是宇航、造船、机床、重型机械及国防工业部门的一些零件，其精度要求高、形状复杂、加工批量小，且改型频繁、更新换代快，采用普通机床加工这些零件，不仅效率低、劳动强度大，有时甚至不能加工。因此，就需要一种灵活的、通用的、能够适应产品频繁变化的“柔性”自动化机床或生产线。数控机床就满足了这一需求，数控机床是发展新兴高新技术产业和尖端工业的最基本的装备，是衡量一个国家国际竞争力的重要标志。

## 0.1 数控机床简介

### 0.1.1 数控机床的基本概念

数字控制（numerical control, NC）是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程（如加工、测量、装配等）进行自动控制的方法。

数控技术（numerical control technology, NCT）是指用数字量和字符发出指令并实现自动控制的技术，它是制造业实现自动化、柔性化和集成化生产的基础技术。由于计算机应用技术的发展，数控系统均采用了计算机数控（computer numerical control, CNC），以区别于传统的NC。



数控技术的应用

数控机床（numerical control machine tools）是用计算机通过数字信息来自动控制机械加工的机床。具体地说，数控机床通过编制程序，即通过数字（代码）指令来自动完成机床各个坐标的协调运动，正确地控制机床运动部件的位移量，并且按加工的动作顺序，自动控制机床各个部件的动作。数控机床是集计算机应用、自动控制、精密测量、微电子、机械加工等技术于一体的，一种具有高效率、高精度、高柔性和高自动化的机电一体化数控装备。

### 0.1.2 数控机床的特点

#### 1. 加工精度高、质量稳定

数控机床是以数字形式给出指令进行加工的，目前数控机床的脉冲当量（即每输出一个脉冲后机床移动部件相应的移动量）可达到0.01~0.000 1 mm，而且进给传动链的反向间隙与丝杆螺距误差等均可由数控装置进行补偿。因此，数控机床可以获得比机床本身精度更高的加工精度，且加工质量稳定。

#### 2. 生产效率高

数控机床主轴转速和进给量的变化范围比普通机床大，每一道工序都可选用最佳的切

削用量，这就有利于提高数控机床的切削效率。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用加速、减速控制，并可选用很高的空行程运动速度，从而缩短了定位和非切削时间。

工件装夹时间短，对刀、换刀快，更换被加工工件时几乎不需要重新调整机床，节省了工件安装调整时间。带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心可实现多道工序的连续加工，生产效率的提高更为明显。与普通机床相比，数控机床的生产效率可提高 2~3 倍，有些可提高几十倍。

### 3. 适应性强

数控机床采用数字程序控制，当加工对象改变时，只要重新编制零件加工程序并输入，就能够实现对新零件的自动化加工。因此，在同一台机床上可实现对不同品种及尺寸规格零件的自动加工，无须制造、更换许多工具、夹具和检具，更不需要重新调整机床，这就使复杂结构的单件小批量生产及新产品的试制非常方便。

### 4. 良好的经济效益

在使用数控机床加工零件时，虽然分摊到每个零件上的设备费用较高，但由于数控机床的适应性强，在单件小批量生产情况下，仍可节省工艺装备费用和辅助生产工时、生产管理费用，以及降低废品率，从而使生产成本下降。此外，数控机床可实现一机多用。

### 5. 自动化程度高、劳动强度低

数控机床是按预先编制好的程序自动完成零件加工的，操作者一般只需装卸工件、操作键盘，无须进行繁杂的重复性手工操作，因而大大减轻了操作者的劳动强度和紧张程度，改善了劳动条件，还可减少对熟练技术工人的需求，可以一人管理多台加工机床。

### 6. 有利于实行现代化生产管理

采用数控机床加工，能方便地计算零件加工工时、生产周期和加工费用，并简化了检验程序及工件夹具和半成品的管理工作。利用数控系统的通信功能，可采用数控标准代码，这有利于实现计算机联网，进而实现 CAD/CAM 一体化。

#### 0.1.3 数控机床的应用范围

一般来说，数控机床最适合加工具有以下特点的零件。

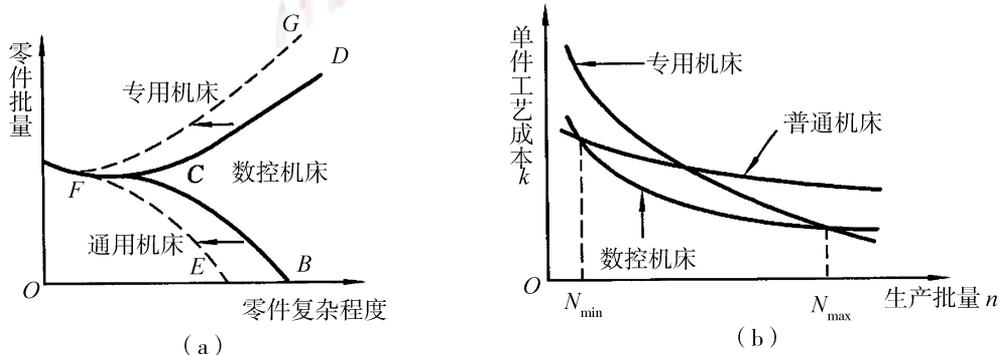


图 0-1 数控机床的应用范围

(1) 多品种，中、小批量生产的零件。由图 0-1 (a) 可看出，零件加工批量的增加对选用数控机床是不利的，原因在于数控机床价格昂贵，与大批量生产采用的专用机床相比，其生产效率还不够高。由图 0-1 (b) 可看出，在多品种，中、小批量生产情况下，

采用数控机床的生产成本更低，其中  $N_{\min} \sim N_{\max}$  是其生产批量适用范围。

(2) 形状结构比较复杂的工件。由图 0-1 (a) 可看出，随着零件复杂程度和生产批量的变化，三种机床的应用范围也发生了变化。零件复杂程度越高，数控机床显得越适用。目前，随着数控机床的普及应用，其使用范围正由 BCD 线向 EFG 线复杂性较低的范围扩大。

(3) 需要频繁改型的工件。

(4) 需要最短生产周期的急需工件。

#### 0.1.4 数控机床的工作原理及组成

##### 1. 数控机床的工作原理

数控机床在加工工艺与表面成型方法上与普通机床基本相同，在实现自动控制的原理上有很大的区别。数控机床是用数字化的信息来实现自动控制的，它先将与加工零件有关的信息，即工件与刀具相对运动轨迹的尺寸参数、切削用量及各种辅助操作等加工信息，用规定的文字、数字和符号组成代码，按一定的格式编写成加工程序，然后将加工程序输入数控装置。经过数控装置的处理、运算，按各坐标轴的移动分量送到各轴的驱动电路，经过转换、放大，用于伺服电动机的驱动，带动各轴运动，并进行反馈控制，使刀具、工件及其他辅助装置严格按程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地动作，从而加工出所需要的零件。



数控机床的组成

##### 2. 数控机床的组成

数控机床一般由数控系统、伺服系统、主传动系统、强电控制装置、辅助装置和机床本体组成。图 0-2 所示为一种较典型的现代数控机床的组成框图。

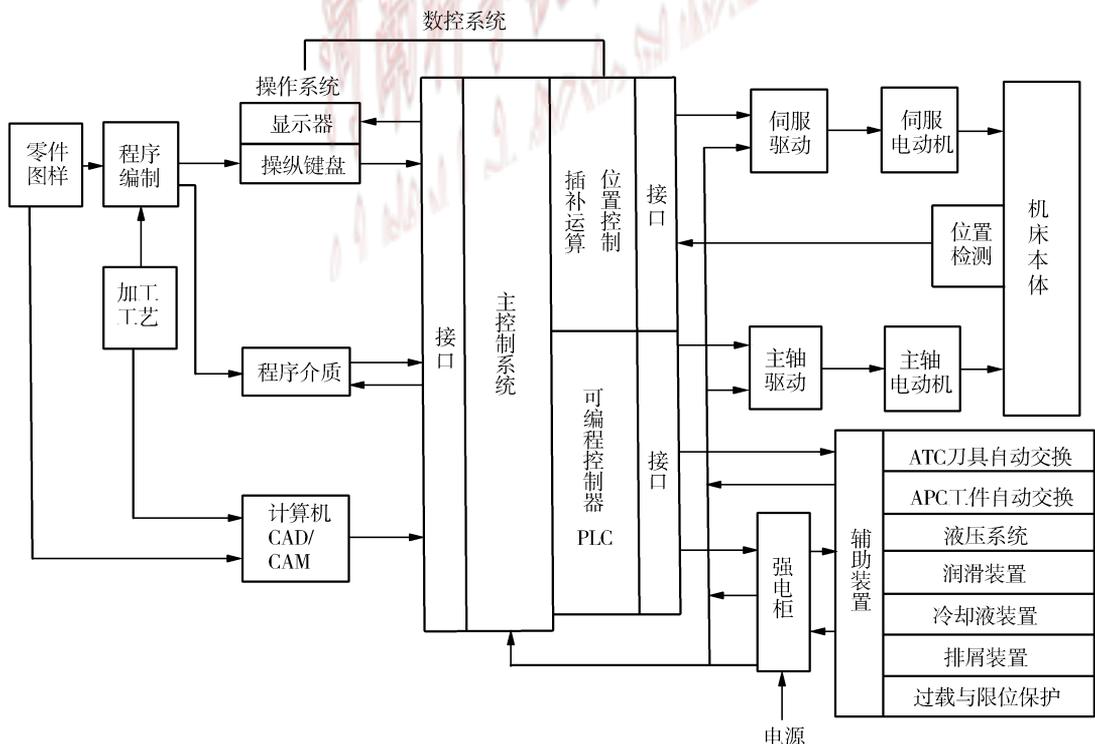


图 0-2 现代数控机床的组成框图

(1) 数控系统。数控系统是机床实现自动加工的核心，主要由操作系统、主控制系统、可编程控制器、各类 I/O 接口等组成。其主要功能有：多坐标控制和多种函数的插补功能、多种程序输入功能，以及编辑和修改功能、信息转换功能、补偿功能、多种加工方法选择功能、显示功能、自诊断功能、通信和联网功能。其控制方式分为数据运算处理控制和时序逻辑控制两大类。其中，主控制器内的插补运算模块是通过译码、编译等信息处理，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统的位置、速度、反馈信号比较，控制机床各个坐标轴的位移。时序逻辑控制通常主要由可编程控制器 PLC 来完成，它根据机床加工过程对各个动作的要求进行协调，并按各检测信号进行逻辑判别，控制机床各个部件有条不紊地工作。

(2) 伺服系统。它是数控系统的执行部分，主要由伺服电动机、驱动控制系统及位置检测反馈装置等组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制运动部件的进给速度、方向和位移。伺服系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服系统中，需要使用位置检测装置去间接或直接测量执行部件的实际进给位移，并与指令位移进行比较，按闭环原理，将其误差转换放大后控制运动部件的进给。

(3) 主传动系统。它是机床切削加工时传递扭矩的主要组分之一，一般分为齿轮有级调速和电气无级调速两种类型。档次较高的数控机床都要求实现无级调速，以满足各种加工工艺的要求。它主要由主轴驱动控制系统、主轴电动机及主轴机械传动机构等组成。

(4) 强电控制装置。强电控制装置通常也称为强电柜，是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的控制系统，主要由各种中间继电器、接触器、变压器、电源开关、接线端子和各类电气保护元器件等构成。其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号，经必要的编译—逻辑判断—功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件，完成指令所规定的动作。此外，行程开关和监控检测等开关信号也要经过强电控制装置送到数控装置进行处理。

(5) 辅助装置。它主要包括刀具自动交换装置 (automatic tool changer, ATC)、工件自动交换装置 (automatic pallet changer, APC)、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、冷却液装置、排屑装置、过载与限位保护装置等。

(6) 机床本体。它是指数控机床机械结构实体。与普通机床相比，同样由主传动机构、进给传动机构、工作台、床身及立柱等部分组成，但数控机床的整体布局、外观造型、传动机构、刀具系统及操作机构等具有如下特点：

- ❖ 采用高性能主传动及主轴部件。
- ❖ 进给传动采用高效传动件，一般采用滚珠丝杠螺母副、直线滚动导轨副等。
- ❖ 具有较完善的刀具自动交换和管理系统。
- ❖ 具有工件自动交换、工件夹紧与放松机构。
- ❖ 床身机架具有很高的动、静刚度。
- ❖ 采用全封闭罩壳。

## 0.2 数控机床的种类及应用范围

### 0.2.1 按工艺用途分类

按照工艺用途可把数控机床分为金属切削类数控机床、金属成型类数控机床和特种加工类数控机床。

#### 1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床可分为两类：一类是普通型数控机床，如数控车床、数控铣床等；另一类是加工中心，其主要特点是具有刀库和自动换刀机构，工件经一次装夹后，可以进行多种工序的加工。下面介绍几种典型数控机床。

(1) 数控车床。数控车床又称为 CNC 车床。与普通车床相比，其结构上仍然是由主轴箱、刀架、进给传动系统、床身、液压系统、冷却系统、润滑系统等部分组成，只是数控车床的进给系统是采用伺服电动机，经滚珠丝杠传到滑板和刀架，实现纵向和横向进给运动。可见，数控车床进给传动系统的结构较普通车床大为简化。数控车床也有加工各种螺纹的功能。

数控车床与普通车床一样，也是用来加工轴类或盘类的回转体零件的。但是，数控车床能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。

(2) 数控铣床。数控铣床是一种加工功能很强的数控机床，目前迅速发展起来的加工中心、柔性加工单元等都是在数控铣床的基础上产生的。数控铣床的机械部分与普通铣床基本相同，工作台或刀具可以进行横向、纵向和垂直三个方向的运动。因此，普通铣床所能加工的工艺内容，数控铣床都能做到。一般情况下，在数控铣床上可加工平面曲线轮廓。如有特殊要求，可加一个回转的 A 坐标轴或 C 坐标轴，即增加一个数控分度头或数控回转工作台，用来加工螺旋槽、叶片等立体曲面零件。

(3) 加工中心。在数控铣床的基础上配备刀库和自动换刀系统，就构成加工中心。加工中心与普通数控机床的区别主要是能在一台机床上完成多道工序内容的加工。

#### 2. 金属成型类数控机床

这类机床是指采用冲、挤、压、拉等成型工艺的数控机床，如数控折弯机、数控弯管机、数控压力机等。

#### 3. 特种加工类数控机床

这类机床主要有数控线切割机、数控电火花加工机、数控激光切割机、数控火焰切割机、数控三坐标测量机等。

### 0.2.2 按运动轨迹分类

#### 1. 点位控制数控机床

这类机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等。点位控制的数控机床用于加工平面内的孔系，在加工平面内的两个坐标轴（一个坐标轴就是一个方向的进给运动）控制刀具与工件做相对运动，从一个坐标位置（坐标点）快速移动到下一个坐标位置，然后控制第三个坐标轴进行钻、镗切削加工。这类机床要求坐标位置有较高的定位精度。为了提高生产效率，先用机床设定的最高进给速度进行定位运动，在接近定位点前分级或连续降速，最后以低速趋近终点，这种运动方式能减少运动部件的惯性过冲和由

此引起的定位误差。在定位移动过程中不进行切削加工，因此，对运动轨迹没有任何要求。

## 2. 点位直线控制数控机床

这类机床的特点是除了要求控制点与点之间的位置准确外，还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹，但其轨迹是与机床坐标轴平行的直线。在移动过程中，刀具能以指定的进给速度进行切削，一般只能加工矩形、台阶形零件。这类机床主要有简易数控车床、数控磨床等，其数控装置的控制功能比点位控制系统复杂，不仅要控制直线运动轨迹，还要控制进给速度及自动循环加工等功能。一般情况下，这类机床有2~3个可控轴，但同一时间只能控制一个坐标轴。

## 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制的特点是能够对两个或两个以上坐标轴的位移和速度同时进行连续控制，以加工出任意斜率、圆弧或任意平面的曲线（如抛物线、阿基米德螺旋线等）或曲面。为了满足刀具沿工件轮廓的相对运动轨迹符合工件加工轮廓的表面要求，必须将各坐标运动的位移控制和速度控制按照规定的比例关系精确地协调起来。因此，在这类控制方式中，就要求数控装置具有插补运算的功能，即根据程序输入的基本数据（如直线的终点坐标、圆弧的终点坐标和圆心坐标或半径等），通过数控装置内插补运算器的数学处理，把直线或曲线的形状描述出来，并一边运算，一边根据计算结果向各坐标轴控制器分配脉冲，从而控制各坐标轴的联动位移量与所要求的轮廓相符合。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机、加工中心等。

### 0.2.3 按数控系统功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高三档。按目前的发展水平，可以根据表0-1列出的一些功能及指标，将各种类型的数控系统分为低、中、高三档。其中：中、高档一般称为全功能数控系统或标准型数控系统，经济型数控系统属于低档数控，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。经济型数控系统主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

表 0-1 数控系统不同档次的功能及指标

功能	低档	中档	高档
系统分辨率/ $\mu\text{m}$	10	1	0.1
G00 速度/ (m/min)	3~8	10~24	24~100
伺服类型	开环及步进电动机	半闭环及直、交流伺服电动机	闭环及直、交流伺服电动机
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	5 轴或 5 轴以上
通信功能	无	RS-232 C 或 DNC	RS-232 C、DNC、MAP
显示功能	数码管显示	图形、人机对话	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	单位处理机或多微处理机	分布式多微处理机

注：①可编程逻辑控制器（programmable logic controller, PLC）；

②分布式数控（distributed numerical control, DNC）。

## 0.3 数控技术发展趋势

### 0.3.1 数控技术的诞生与发展

#### 1. 数控机床的诞生

自 20 世纪 40 年代, 航空技术的不断发展对各种飞行器的制造提出了越来越高的要求。组成飞行器的零件多为难加工材料, 且形状复杂, 加工精度要求很高, 传统的机床和工艺通常很难胜任。

1948 年, 美国帕森斯公司在研制加工直升机叶片轮廓检验用样板的机床时, 首先提出了应用电子计算机控制机床来加工样板曲线的设想。

1952 年帕森斯公司与麻省理工学院伺服机构实验室联合研制成功世界上第一台三坐标立式数控铣床, 该铣床解决了制造普通机床难以加工的零件问题, 它的诞生开创了数控技术应用的新纪元, 标志着机械制造数字控制时代的开始。

#### 2. 数控机床的发展

(1) 数控系统的发展。数控系统的发展是数控技术和数控机床发展的关键, 电子器件和计算机技术的发展推动了数控系统的发展。数控系统的发展历程由当初的电子管式起步, 经历了分立晶体管式→小规模集成电路式→大规模集成电路式→小型计算机式→超大规模集成电路式→微型计算机式的数控系统等几个阶段。数控系统的 CPU 已由最初的 8 位字长增加至 16 位和 32 位, 时钟频率也由 2 MHz 提高到 16 MHz、20 MHz 和 32 MHz, 现在开始采用精简指令集计算机 (reduced instruction set computer, RISC) 作为 CPU, 使运算速度得到进一步提高。此外, 大规模和超大规模集成电路和多个微处理器的应用, 使数控系统的硬件结构标准化、模块化和通用化, 使数控功能可根据需要进行组合和扩展。高性能的计算机数控系统可以同时控制十几个轴, 甚至几十个轴 (包括坐标轴、主轴与辅助轴), 且能实现在线编程, 使编程和控制一体化。操作者可以在机床旁直接通过键盘进行编程, 并利用显示器实现人机对话, 便于检查、修改程序, 给调试和加工带来极大的方便。

计算机数控系统还可带有可编逻辑控制器 (PLC), 它代替了传统的继电器逻辑控制, 大大减小了庞大的强电柜的体积。PLC 可以通过编制程序来改变其控制逻辑, 具有同样高度的柔性。数控系统和 PLC 的结合, 可以有效地完成刀具管理和刀具寿命监控。

(2) 伺服驱动系统的发展。伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分, 它的电动机、电路及检测装置等的技术水平都有极大提高。电动机早期采用步进电动机和液压扭矩放大器, 继而采用液压伺服系统、小惯量直流伺服电动机、大惯量直流伺服电动机、交流伺服电动机。近来出现了数字伺服系统, 与通常的模拟伺服系统相比, 数字伺服系统的脉冲当量从  $1\ \mu\text{m}$  减小到  $0.1\ \mu\text{m}$ , 进给速度仍能达到  $10\ \text{m}/\text{min}$ 。

数控系统由于采用软件控制, 系统可以引用多种控制策略, 容易改变系统的结构和参数, 以适应不同机械负载的要求, 有的甚至可以自动辨识负载惯量, 并自动调整和优化系统的参数, 从而获得最佳的静态和动态控制性能和效果。采用高速和高分辨率的位置检测装置组成半闭环和闭环位置控制系统, 增量式位置检测编码达到  $10\ 000\ \text{p}/\text{r}$  (脉冲/转), 绝对式编码器可以达到  $1\ 000\ 000\ \text{p}/\text{r}$  和  $0.01\ \mu\text{m}$  的分辨率, 分辨率为  $0.1\ \mu\text{m}$  时, 位移速度可达  $240\ \text{m}/\text{min}$ , 这样, 便极大地提高了位置控制的精度, 即机床的定位精度。

(3) 数控机床结构的发展。数控机床的主运动部件不断向高速化方向发展, 除采用直

流调速电动机和交流变频调速电动机驱动主轴部件，以提高主运动的速度和调速范围，并缩短传动链外，近来更有采用电主轴，将主轴部件坐在电动机转子上，从而大大提高了主轴转速，减少了机械转动惯量，主轴转速最高可达 30 000~100 000 r/min，而且仅用 1.8 s 即可从零转速升到最高转速。

采用带有刀库和自动换刀装置的加工中心，使工序集中在一台机床上完成。使用加工中心与使用一般数控机床相比，这种方式减少了机床的台数与占地面积，压缩了半成品的库存量，减少了工序间的辅助时间，有效地提高了生产率，同时，也减少了由于多次安装引起的定位误差。目前刀库的容量可多达 120 把，自动换刀时间仅为 1~2 s。现已先后出现了带有工业机器人和工件交换系统的车削加工中心机床及可以自动更换电极的电火花加工中心机床。

### 0.3.2 柔性制造系统

#### 1. 概念与类型

柔性制造系统 (flexible manufacture system, FMS) 是一组数控机床和其他自动化的工艺设备，由计算机信息控制系统和物料自动储运系统有机结合的整体。柔性制造系统由加工、物流、信息流三个子系统组成，在加工自动化的基础上实现物料流和信息流的自动化。

FMS 的工艺基础是成组技术，它按照成组的加工对象确定工艺过程，选择相适应的数控加工设备和工件、工具等物料的储运系统，并由计算机进行控制，故能自动调整并实现一定范围内多种工件的成批高效生产（即具有“柔性”），并能及时地改变产品以满足市场需求。

FMS 兼有加工制造和部分生产管理两种功能，因此能综合地提高生产效益。FMS 的工艺范围正在不断扩大，可以包括毛坯制造、机械加工、装配和质量检验等。投入使用的 FMS，大都用于切削加工，也有用于冲压和焊接的。

柔性制造是指在计算机支持下，能适应加工对象变化的制造系统。柔性制造系统有以下三种类型：

(1) 柔性制造单元。柔性制造单元是由一台或数台数控机床或加工中心构成的加工单元，该单元根据需要可以自动更换刀具和夹具，加工不同的工件。柔性制造单元适合加工形状复杂、工序简单、工时较长、批量小的零件。该单元有较大的设备柔性，但人员和加工柔性低。

(2) 柔性制造系统。柔性制造系统是以数控机床或加工中心为基础，配以物料传送装置组成的生产系统。该系统由电子计算机实现自动控制，能在不停机的情况下，满足多品种的加工。柔性制造系统适合加工形状复杂、工序多、批量大的零件。其加工和物料传送柔性大，但人员柔性仍然较低。

(3) 柔性自动生产线。柔性自动生产线是把多台可以调整的机床（多为专用机床）连接起来，配以自动运送装置组成的生产线。该生产线可以加工批量较大的不同规格零件。柔性程度低的柔性自动生产线，在性能上接近大批量生产用的自动生产线；柔性程度高的柔性自动生产线，则接近于小批量、多品种生产用的柔性制造系统。

#### 2. 系统组成

(1) 加工设备。加工设备主要采用加工中心和数控车床，前者用于加工箱体类和板类

零件，后者则用于加工轴类和盘类零件。中、大批量少品种生产中所用的 FMS，常采用可更换主轴箱的加工中心，以获得更高的生产效率。

(2) 储存和搬运。储存和搬运系统搬运的物料有毛坯、工件、刀具、夹具、检具和切屑等；储存物料的方法有平面布置的托盘库，也有储存量较大的桁道式立体仓库。

毛坯一般先由工人装入托盘上的夹具中，并储存在自动仓库中的特定区域内，然后由自动搬运系统根据物料管理计算机的指令送到指定的工位。固定轨道式台车和传送滚道适用于按工艺顺序排列设备的 FMS，自动引导台车搬送物料的顺序则与设备排列位置无关，具有较大灵活性。

工业机器人可在有限的范围内为 1~4 台机床输送和装卸工件，对于较大的工件常利用托盘自动交换装置（automated pallet changer, APC）来传送，也可采用在轨道上行走的机器人，同时完成工件的传送和装卸。

磨损了的刀具可以逐个从刀库中取出更换，也可由备用的子刀库取代装满待换刀具的刀库。车床卡盘的卡爪、特种夹具和专用加工中心的主轴箱也可以自动更换。切屑运送和处理系统是保证 FMS 连续正常工作的必要条件，一般根据切屑的形状、排除量和处理要求来选择经济的结构方案。

(3) 信息控制。FMS 信息控制系统的结构组成形式很多，但一般多采用群控方式的递阶系统。第一级为各个工艺设备的计算机数控装置，实现各加工过程的控制；第二级为群控计算机，负责把来自第三级计算机的生产计划和数控指令等信息，分配给第一级中有关设备的数控装置，同时把它们的运转状况信息上报给上级计算机；第三级是 FMS 的主计算机（控制计算机），其功能是制订生产作业计划，实施 FMS 运行状态的管理及各种数据的管理；第四级是全厂的管理计算机。

性能完善的软件是实现 FMS 功能的基础，除支持计算机工作的系统软件外，数量更多的是根据使用要求和用户经验所发展的专门应用软件，大体上包括控制软件（控制机床、物料储运系统、检验装置和监视系统）、计划管理软件（调度管理、质量管理、库存管理、工装管理等）和数据管理软件（仿真、检索和各种数据库）等。

为保证 FMS 的连续自动运转，须对刀具和切削过程进行监视，可能采用的方法有：测量机床主轴电机输出的电流功率，或主轴的扭矩；利用传感器拾取刀具破裂的信号；利用接触测头直接测量刀具的刀刃尺寸或工件加工面尺寸的变化；累积计算刀具的切削时间以进行刀具寿命管理。此外，还可利用接触测头来测量机床热变形和工件安装误差，并据此对其进行补偿。

### 3. 发展趋势

柔性制造系统的发展趋势大致有两个方面。一方面是与计算机辅助设计和辅助制造系统相结合，利用原有产品系列的典型工艺资料，组合设计不同模块，构成各种不同形式的具有物料流和信息流的模块化柔性系统。另一方面是实现从产品决策、产品设计、生产到销售的整个生产过程自动化，特别是管理层次自动化的计算机集成制造系统。在这个大系统中，柔性制造系统只是它的一个组成部分。

#### (1) 模块化的柔性制造系统

为了保证系统工作的可靠性和经济性，可将其主要组成部分标准化和模块化。加工件的输送模块，有感应线导轨小车输送和有轨小车输送；刀具的输送和调换模块，有刀具交

换机器人和与工件共用输送小车的刀盒输送方式等。利用不同的模块组合，构成不同形式的具有物料流和信息流的柔性制造系统，自动地完成不同要求的全部加工过程。

### (2) 计算机集成制造系统

1870 到 1970 年，加工过程的效率提高了 2 000%，而生产管理的效率只提高了 80%，产品设计的效率仅提高了 20% 左右。显然，后两种的效率已成为进一步发展生产的制约因素。因此，制造技术的发展就不能局限在车间制造过程的自动化，而要全面实现从生产决策、产品设计到销售的整个生产过程的自动化，特别是管理层次工作的自动化。这样集成的一个完整的生产系统就是计算机集成制造系统（computer integrated manufacturing system, CIMS）。

CIMS 的主要特征是集成化与智能化。集成化即自动化的广度，它把系统的空间扩展到市场、产品设计、加工制造、检验、销售和为用户服务等全部过程；智能化即自动化的深度，不仅包含物料流的自动化，还包括信息流的自动化。

### (3) 决策

决策层是企业的领导机构，通过管理信息系统掌握并连接各部门的信息。生产活动的信息来自生产对象——产品的订货。根据用户对产品功能的要求，CAD（计算机辅助设计）系统提供有关产品的全部信息和数据。产品原始数据是企业生产活动初始的信息源，所以，智能化的 CAD 系统是 CIMS 的基础。CAPP（computer aided process planing, 计算机辅助工艺过程设计）系统不仅要编制工艺规程，设计工夹具，确定工时和工序费用，还要与 CAM（计算机辅助制造）系统连接，为数控机床提供工艺数据，为生产计划、作业调度、质量管理和成本核算提供数据，并将诸如制造可能性和成本等信息反馈至 CAD 系统，生产计划与控制系统是全厂的生产指挥枢纽。为使生产有条不紊地进行，必须相应建立生产数据采集系统，以此构成一个能反映生产过程真实情况的信息反馈系统。

## 0.3.3 CIMS 概述

### 1. 概念

计算机集成制造系统（CIMS）是随着计算机辅助设计与制造的发展而产生的。它是在信息技术自动化技术与制造的基础上，通过计算机技术把分散在产品制造过程中各种孤立的自动化子系统有机地集成起来，形成适用于多品种、小批量生产，实现整体效益的集成化和智能化制造系统。

CIMS 是自动化程度不同的多个子系统的集成，如管理信息系统（management information system, MIS）、制造资源计划系统、计算机辅助设计系统（CAD）、计算机辅助工艺设计系统（CAPP）、计算机辅助制造系统（CAM）、柔性制造系统（FMS），以及数控机床（NC, CNC）、机器人等。CIMS 正是在这些自动化系统的基础之上发展起来的，它根据企业的需求和经济实力，把各种自动化系统通过计算机实现信息集成和功能集成。当然，这些子系统也使用了不同类型的计算机，有的子系统本身也是集成的，如 MIS 实现了多种管理功能的集成，FMS 实现了加工设备和物料输送设备的集成，等等，但这些集成是在较小的局部，CIMS 是针对整个工厂企业的集成。CIMS 是面向整个企业，覆盖企业的多种经营活动，包括生产经营管理、工程设计和生产制造各个环节，即从产品报价、接受订单开始，经计划安排、设计、制造直到产品出厂及售后服务等的全过程。

在当前全球经济环境下，CIMS 被赋予了新的含义，即现代集成制造系统（contempo-

rary integrated manufacturing system)。将信息技术、现代管理技术和制造技术相结合，并应用于企业全生命周期各个阶段，通过信息集成、过程优化及资源优化，实现物流、信息流、价值流的集成和优化运行，达到人（组织及管理）、经营和技术三要素的集成，以加强企业新产品开发的 T、Q、C、S、E，从而提高企业的市场应变能力和竞争力。

## 2. 发展趋势

(1) 集成化。从当前的企业内部的信息集成发展到过程集成（以并行工程为代表），并正在步入实现企业间集成的阶段（以敏捷制造为代表）。

(2) 数字化/虚拟化。从产品的数字化设计开始，发展到产品全生命周期中各类活动、设备及实体的数字化。

(3) 网络化。从基于局域网发展到基于 Internet/Intranet/Extranet 的分布网络制造，以支持全球制造策略的实现。

(4) 柔性化。正积极研究发展企业间的动态联盟技术、敏捷设计生产技术、柔性可重组机器技术等，以实现敏捷制造。

(5) 智能化。智能化是制造系统在柔性化和集成化的基础上进一步发展与延伸，引入各类人工智能技术和智能控制技术，实现具有自律、分布、智能、仿生、敏捷、分形等特点的新一代制造系统。

(6) 绿色化。包括绿色制造、环境意识的设计与制造、生态工厂、清洁化生产等。它是全球可持续发展战略在制造业中的体现，是摆在现代制造业面前的一个崭新的课题。

## 思考与练习

1. 简述数字控制、数控技术、数控机床的概念。
2. 数控机床的加工特点有哪些？试述数控机床的应用范围。
3. 简述数控机床的工作原理。
4. 数控机床由哪几部分组成？各部分的基本功能是什么？
5. 试述数控机床按其功能的分类情况以及各类机床的特点。
6. 简述数控机床产生的背景。
7. 什么是柔性制造系统？柔性制造系统由哪几部分组成？
8. 柔性制造系统的发展趋势有哪些方面？
9. 简述 CIMS 的定义，它由哪几部分组成？
10. CIMS 的发展趋势有哪些方面？

# 项目 1 数控车床

数控车床又称计算机数字控制车床（CNC 机床），是目前国内使用量最大，覆盖面最广的一种数控机床，约占数控机床总数的 25%。数控机床是集机械、电气、液压、气动、微电子和信息等多项技术为一体的机电一体化产品，是机械制造设备中具有高精度、高效率、高自动化和高柔性化等优点的工作母机。数控机床的技术水平高低及其在金属切削加工机床产量和总拥有量的百分比是衡量一个国家国民经济发展和工业制造整体水平的重要标志之一。数控车床是数控机床的主要品种之一，它在数控机床中占有非常重要的位置，几十年来一直受到世界各国的普遍重视并迅猛发展。

数控车床、车削中心，是一种高精度、高效率的自动化机床。它具有广泛的加工工艺性能，可加工直线圆柱、斜线圆柱、圆弧和各种螺纹，同时具有直线插补、圆弧插补各种补偿功能，并在复杂零件的批量生产中发挥了良好的经济效果。

## 任务 1 数控车床的基础知识

### 1.1 技能目标

- (1) 掌握数控车床的组成、布局及特点。
- (2) 了解数控车床的分类。

### 1.2 知识要点

- (1) 掌握数控车床主轴箱、机械式转塔刀架、刀架滑板、尾座、床身、防护罩的安装位置。
- (2) 数控车床的加工零件的特点及适用范围。
- (3) 数控车床布局的要求。
- (4) 了解数控车床的不同分类。

### 1.3 知识准备

#### 1.3.1 数控车床的组成及特点

数控车床作为当今使用最广泛的数控机床之一，主要用于加工轴类、盘套类等回转体零件，它能够通过程序控制自动完成内外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工，以及切槽、钻、扩、铰孔等工作。而近年来研制出的数控车削中心和数控车铣中心，使得在一次装夹中可以完成更多的工序，既提高了加工质量和生产效率，又特别适合形状复杂的回转体零件的加工。

## 1. 数控车床的组成

从机械结构上看，数控车床还没有脱离普通车床的结构形式，即由床身、主轴箱、刀架、进给系统、液压、冷却、润滑系统等部分组成。与普通车床所不同的是，数控车床的进给系统与普通车床有质的区别，它没有传统的走刀箱、溜板箱和挂轮架，而是直接用伺服电机通过滚珠丝杠驱动刀塔，实现进给运动，因而大大简化了进给系统的结构。由于要实现 CNC（计算机数字控制），因此，数控车床要有 CNC 装置电器控制和 CRT 操作面板，为了适应右手操作习惯，主轴箱布置在左上部，图 1-1 所示为 TND360（国内编号为 CK6136）数控车床的外形与组成部件。

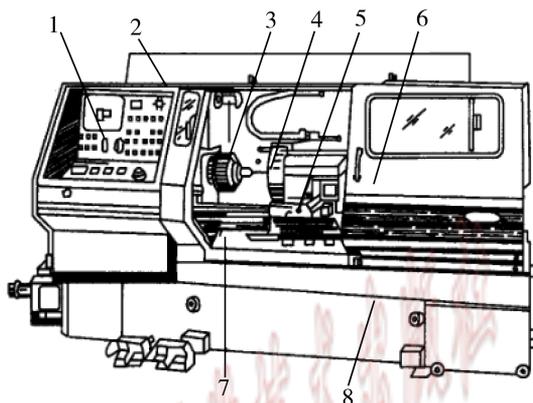


图 1-1 TND360 数控车床的外形与组成部件

1-操作面板；2-主轴箱；3-卡盘；4-转塔刀架；5-刀架滑板；6-防护罩；7-导轨；8-床身

(1) 主轴箱（床头箱）。主轴箱固定在床身的最左边，在数控操作面板之后。主轴箱中的主轴上通过卡盘等夹具装夹工件。主轴箱的功能是支撑主轴并传动主轴，使主轴带动工件按照规定的转速旋转，以实现机床的主运动。

(2) 机械式转塔刀架。机械式转塔刀架安装在机床的刀架滑板上，在它上面可安装 8 把刀具，加工时可实现自动换刀。刀架的作用是装夹车刀、孔加工刀具及螺纹刀具，并在加工时能准确、迅速选择刀具。

(3) 刀架滑板。刀架滑板由纵向（ $Z$  向）滑板和横向（ $X$  向）滑板组成。纵向滑板安装在床身导轨上，沿床身实现纵向（ $Z$  向）运动；横向滑板安装在纵向滑板上，沿纵向滑板上的导轨实现横向（ $X$  向）运动。刀架滑板的作用是实现安装在其上的刀具在加工中实现纵向进给和横向进给运动。

(4) 尾座。尾座安装在床身导轨上，并沿导轨可进行纵向移动调整位置。尾座的作用是安装顶尖支撑工件，在加工中起辅助支撑作用。

(5) 床身。床身固定在机床底座上，是机床的基本支承件，在床身上安装着车床的各主要部件。床身的作用是支撑各主要部件，并使它们在工作时保持准确的相对位置。

(6) 底座。底座是车床的基础，用于支承机床的各部件，连接电气柜，支撑防护罩和安装排屑装置。

(7) 防护罩。防护罩安装在机床底座上，用于加工时保护操作者的安全和保护环境的清洁。

(8) 机床的液压传动系统。机床液压传动系统实现机床上的一些辅助运动，主要是实

现机床主轴的变速、尾座套筒的移动及工件自动夹紧机构的动作。

(9) 机床润滑系统。机床润滑系统为机床运动部件间提供润滑和冷却。

(10) 机床切削液系统。机床切削液系统为机床在加工中提供充足的切削液，满足切削加工的要求。

(11) 机床的电气控制系统。机床的电气控制系统主要由数控系统（包括数控装置、伺服系统及可编程控制器）、机床的强电气控制系统组成。机床电气控制系统完成对机床的自动控制。

## 2. 数控车床的特点

数控车床一般用来加工出各种形状不同的轴类或盘类回转体零件。它能自动完成内外圆柱面、圆锥面、成型回转表面及螺纹面等的切削加工，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等特点。数控车床加工零件的尺寸精度可达 IT5 ~ IT6，表面粗糙度可达  $1.6 \mu\text{m}$  以下，是目前使用较为广泛的数控机床。

### 1.3.2 数控车床的分类

随着数控车床制造技术的不断发展，形成了产品繁多、规格不一的局面。主要分类方法如下。

#### 1. 按主轴的配置形式分类

数控车床按主轴的配置形式可分为以下 2 种。

(1) 卧式数控车床，即主轴轴线处于水平位置的数控车床。

(2) 立式数控车床，即主轴轴线处于垂直位置的数控车床。

具有两根主轴的车床，称为双轴卧式数控车床或双轴立式数控车床。



卧式平床身数控车床



立式数控车床

#### 2. 按数控系统控制的轴数分类

数控车床按数控系统控制的轴数可分为以下 2 种。

(1) 两轴控制的数控车床，即机床上只有一个回转刀架，可实现两坐标轴控制。

(2) 四轴控制的数控车床，即机床上有两个独立的回转刀架，可实现四坐标轴控制。

#### 3. 按数控系统的功能分类

数控车床按数控系统的功能可分为以下 4 种。

(1) 经济型数控车床。如图 1-2 所示，经济型数控车床一般是在普通车床基础上进行改进设计的，采用步进电机驱动的开环伺服系统。此类车床结构简单，价格低廉，但无刀尖圆弧半径自

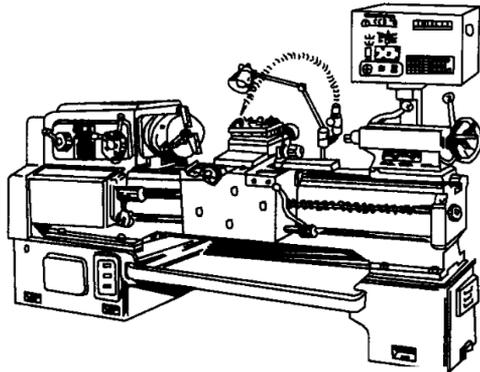


图 1-2 经济型数控车床

动补偿和恒线速切削等功能。

(2) 全功能型数控车床。全功能型数控车床如图 1-1 所示。一般采用闭环或半闭环控制系统, 具有高刚度、高精度和高效率等特点。

(3) 车削中心。车削中心是以全功能型数控车床为主体, 并配置刀库、换刀装置、分度装置、铣削动力头和机械手等, 实现多工序的复合加工的机床。在工件一次装夹后, 它可完成 FMC 回转类零件的车、铣、钻、铰、攻螺纹等多种加工工序, 其功能全面, 但价格较高。

(4) FMC 车床。FMC 车床实际上是一个由数控车床、机器人等构成的柔性加工单元。它能实现工件搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化, 如图 1-3 所示。

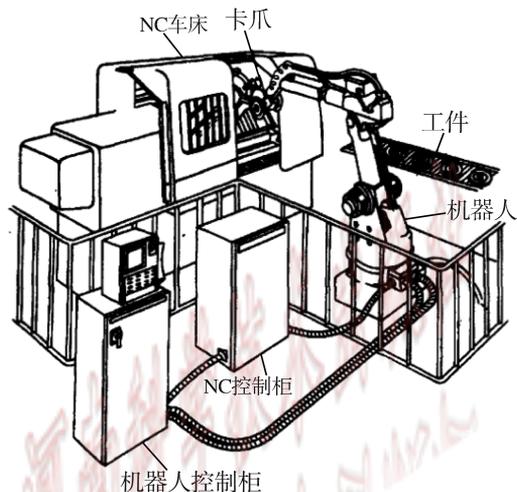


图 1-3 FMC 车床

对于车削中心或柔性制造单元, 还需增加其他的附加坐标轴来满足机床的功能。目前我国使用较多的是中、小规格的两坐标连续控制的数控车床。

### 1.3.3 数控车床的加工对象

由于数控车床的刚性好, 制造和对刀精度高, 以及能方便和精确地进行人工补偿甚至自动补偿, 所以它能够加工尺寸精度要求高的零件。在有些场合可以以车代磨。此外, 由于数控车削时刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的, 再加上机床的刚性好和制造精度高, 所以它能加工对母线直线度、圆度、圆柱度要求高的零件。



数控车床的加工对象

#### 1. 表面粗糙度好的回转体零件

数控车床能加工出表面粗糙度较好的回转体零件, 如图 1-4 所示。这是因为数控机床不仅刚性好、制造精度高, 还具有恒线速度切削功能。在材质、精车留量和刀具已定的情况下, 表面粗糙度取决于进给速度和切削速度。使用数控车床的恒线速度切削功能, 就可选用最佳线速度来切削端面, 这样切出的端面粗糙度既小又一致。数控车床还适合于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件。粗糙度小的部位可以用减小进给速度的方法来达到, 而这在传统车床上是做不到的。



机床主轴

电机主轴

图 1-4 表面粗糙度较好的回转体零件

### 2. 轮廓形状复杂的零件

数控车床具有圆弧插补功能，所以可直接使用圆弧指令来加工圆弧轮廓，如图 1-5 所示。数控车床也可加工由任意平面曲线所组成的轮廓回转零件，既能加工可用方程描述的曲线，也能加工列表曲线。如果说车削圆柱零件和圆锥零件既可选用传统车床也可选用数控车床，那么车削复杂转体零件就只能使用数控车床。



图 1-5 轮廓形状复杂的零件

### 3. 带一些特殊类型螺纹的零件

传统车床所能切削的螺纹相当有限，它只能加工等节距的直、锥面，公、英制螺纹，而且一台车床只限定加工若干种节距。数控车床不但能加工任何等节距直、锥面，公、英制和端面螺纹，而且能加工增节距、减节距，以及要求等节距、变节距之间平滑过渡的螺纹。数控车床加工螺纹时主轴转向不必像传统车床那样交替变换，它可以一刀又一刀不停顿地循环，直至完成，所以数控车床车削螺纹的效率很高。数控车床还配有精密螺纹切削功能，再加上一一般采用硬质合金成型刀片，以及可以使用较高的转速，所以车削出来的螺纹精度高，表面粗糙度小。可以说，包括丝杠在内的螺纹零件很适合于在数控车床上加工，如图 1-6 所示。

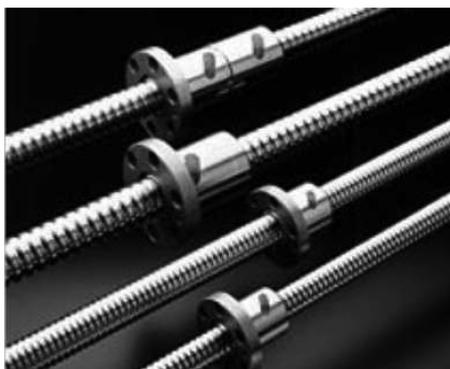


图 1-6 非标丝杠

#### 4. 超精密、超低表面粗糙度的零件

磁盘、录像机磁头、激光打印机的多面反射体、复印机的回转鼓、照相机等光学设备的透镜及其模具，以及隐形眼镜等要求超高的轮廓精度和超低的表面粗糙度值，它们适合于在高精度、高功能的数控车床上加工，例如，以往很难加工的散光用的塑料透镜，现在也可以用数控车床来加工。超精密加工的轮廓精度可达到  $0.1\ \mu\text{m}$ ，表面粗糙度可达  $0.02\ \mu\text{m}$ 。超精度车削零件的材质以前主要是金属，现已扩大到塑料和陶瓷。

#### 1.3.4 数控车床的布局

数控车床布局形式受到工件尺寸、工件质量及其形状、机床生产率、机床精度、操纵方便的运行要求和安全与环境保护的要求的影响。

随着工件尺寸、质量和形状的变化，数控车床的布局可有卧式车床、端面车床、单柱立式车床、双柱立式车床和龙门移动式立式车床的变化，如图 1-7 所示。

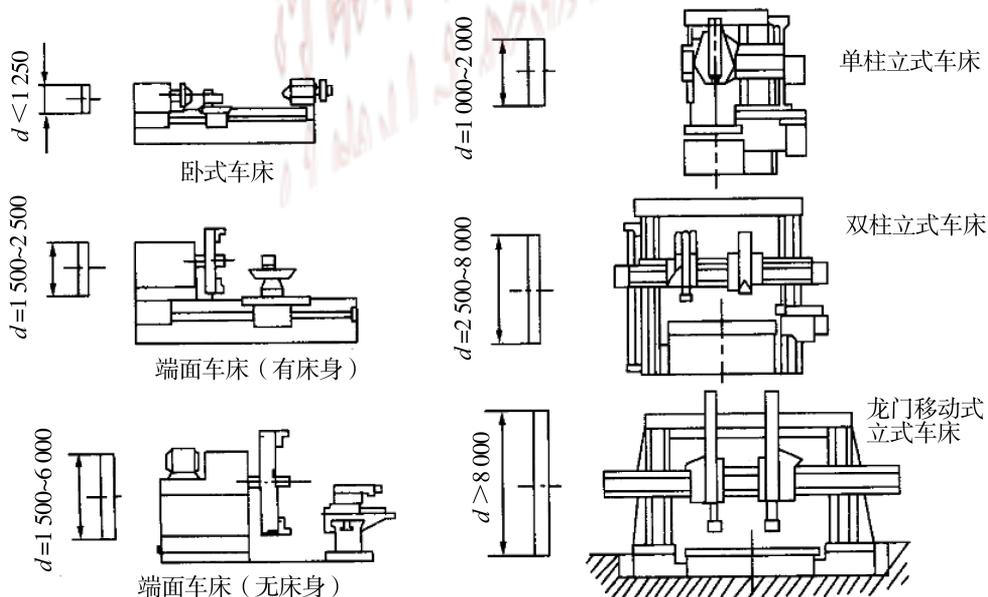


图 1-7 工件尺寸、质量等变化对数控车床布局变化的影响

数控卧式车床的布局形式如图 1-8 所示。

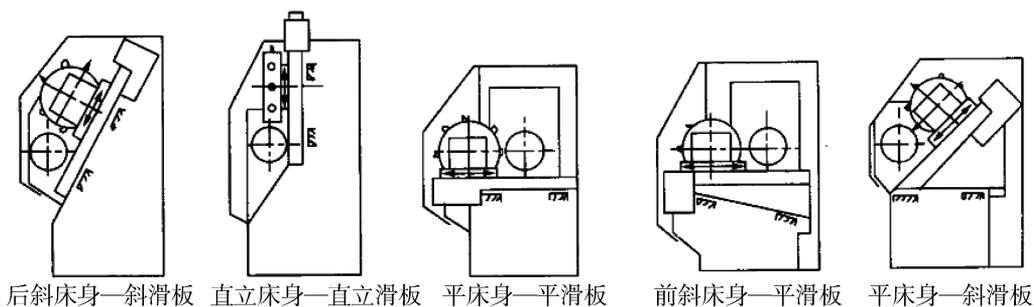


图 1-8 数控卧式车床的布局形式

在卧式数控机床的布局中，数控车床的主轴、尾座等部件相对床身的布局形式与普通车床基本一致，但刀架和导轨的布局形式有很大变化，直接影响着数控车床的使用性能及机床的结构和外观。考虑到机床和刀具的调整、工件的装卸、机床操作的方便性及机床的加工精度，并且还考虑到排屑性和抗震性，导轨宜采用倾斜式。其中，以斜床身（斜导轨）—平滑板式为最佳卧式车床布局形式。此外，出于对安全的要求和环境的保护，数控车床上都设有封闭的防护装置，要将机床加工区全部封闭起来。



卧式斜床身数控车床

## 1.4 任务实施：数控车床的认识

### 1.4.1 任务目标

- (1) 认识数控车床的分类。
- (2) 了解数控车床的布局。
- (3) 掌握数控车床加工对象。

### 1.4.2 工具、仪器和设备

- (1) 数控车床（卧式、立式）、数控车削中心。
- (2) 数控车床加工的产品。

### 1.4.3 实验内容

- (1) 能够判别数控车床的类型。
- (2) 数控车床的组成部分安装的位置。
- (3) 数控车床加工对象。

## 任务 2 数控车床传动系统及典型结构

### 2.1 技能目标

- (1) 理解数控车床的主运动的传递。
- (2) 能够掌握数控车床的进给传动系统及装置的组成及工作原理。
- (3) 了解尾座的结构及工作原理。

(4) 掌握刀盘运动及传动装置的组成及工作原理。

## 2.2 知识要点

- (1) 主传动系统工作原理。
- (2) 进给传动系统工作原理。
- (3) 刀盘运动工作原理。

## 2.3 知识准备

在数控车床上有 3 种运动传动系统，分别是数控车床的主运动传动系统、进给运动传动系统和辅助运动传动系统，每种传动系统的组成和特点各不相同，它们一起组成了数控车床的传动系统。

### 2.3.1 主传动系统及装置

#### 1. 主传动系统

数控车床主运动要求速度在一定范围内可调，有足够的驱动功率，主轴回转轴心线的位置准确稳定，并有足够的刚性与抗振性。

数控车床的主轴变速是按照加工程序指令自动进行的。为了确保机床主传动的精度，降低噪声，减小振动，主传动链要尽可能缩短；为了保证满足不同的加工工艺要求并能获得最佳切削速度，主传动系统应能无级地大范围变速；为了保证端面加工的生产率和加工质量，还应能实现恒切削速度控制。主轴应能配合其他构件实现工件自动装夹。下面以 TND360 为例，介绍数控车床上常见的主传动系统。

如图 1-9 所示的 TND360 数控卧式车床的传动系统图中，主运动传动由主轴直流伺服

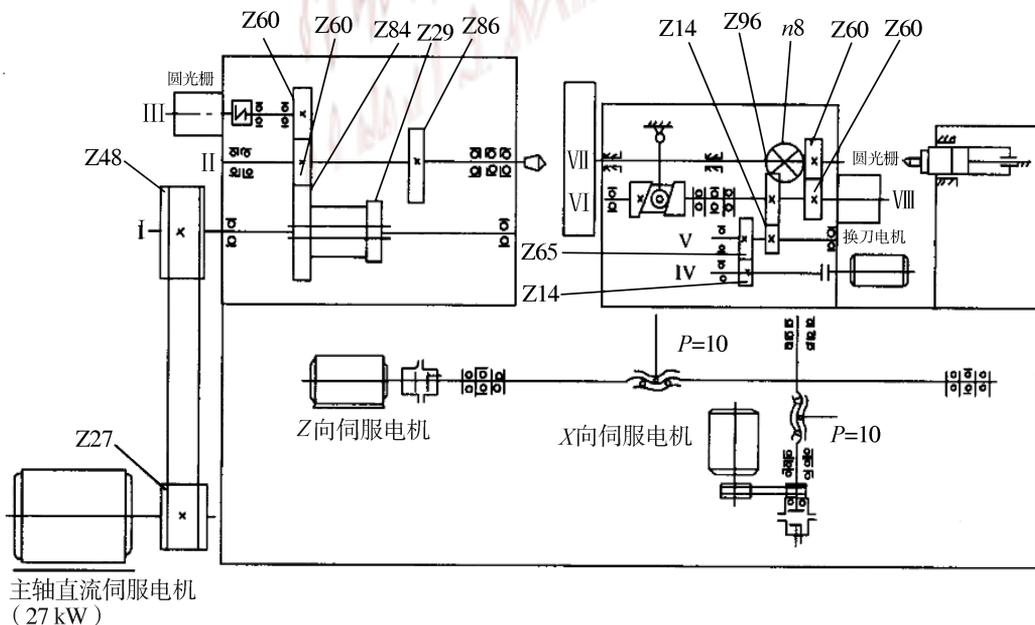


图 1-9 TND360 数控卧式车床的传动系统图

电机（27 kW）驱动，经齿数为 27/48 同步齿形带传动到主轴箱中的轴 I 上。再经轴 I 上双联滑移齿轮，经齿轮副 84/60 或 29/86 传递到轴 II（即主轴），使主轴获得高（800~3 150 r/min）、低（7~800 r/min）两挡转速范围。在各转速范围内，由主轴伺服电机驱动实现无级变速调速。主轴箱内部省去了大部分齿轮传动变速机构，因此减小了齿轮传动对主轴精度的影响，并且维修方便，振动小。

同时，主轴的运动经过齿轮副 60/60 传递到轴 III 上，由轴 III 经联轴器驱动圆光栅。圆光栅将主轴的转速信号转变为电信号送回数控装置，一方面实现主轴调速用的数字反馈，另一方面可用于进给运动的控制，如实现车削螺纹：主轴每转 1 转，进给轴 Z 轴或 X 轴移动一个导程。



同步带传动

## 2. 主轴箱结构介绍

数控车床主轴箱是一个比较复杂的传动部件。图 1-10 所示为 TND360 数控车床的主轴箱展开图，该图是沿轴 I → II → III 的轴线剖开后展开的。

(1) 主轴电机。主轴电机是采用直流主轴伺服电机，无级调速，由安装在主电机尾部的测速发电机实现速度反馈。额定转速为 2 000 r/min，最高转速为 4 000 r/min，最低转速为 35 r/min。主电机转速通过电机轴上的齿数为 27 的同步齿形带轮，经同步齿形带将运动传到主轴箱的轴 I 上。

(2) 变速轴。变速轴（轴 I）是花键轴，左端装有齿数为 48 的同步齿形带轮，接受

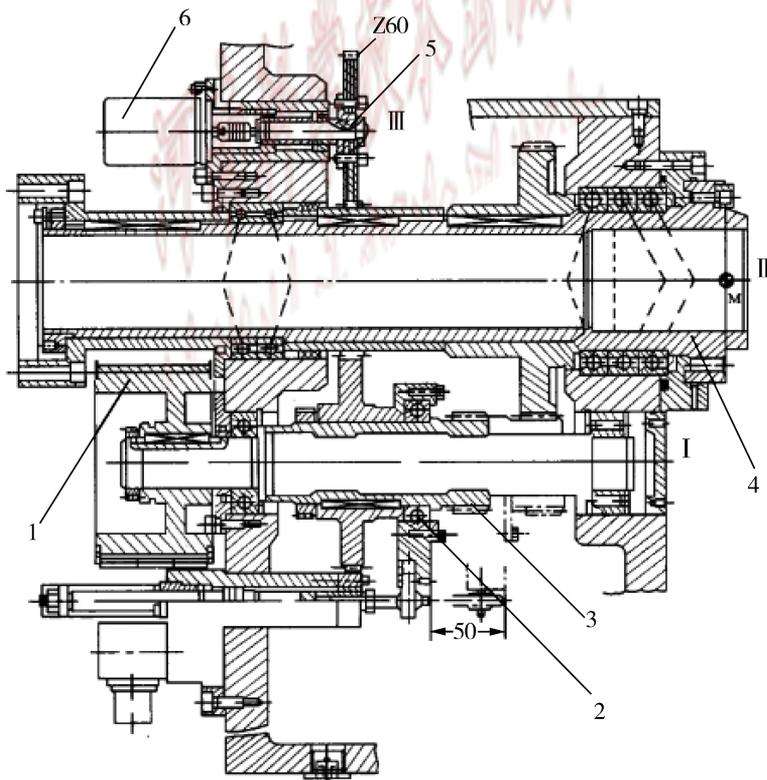


图 1-10 TND360 数控车床的主轴箱展开图

1-带轮；2-拨叉轴承；3-双联滑移齿轮；4-主轴；5-检测轴；6-圆光栅

来自电机的运动。轴上花键部分安装有一双联滑移齿轮，齿轮齿数分别为 29（模数  $m = 2 \text{ mm}$ ）和 84（模数  $m = 2.5 \text{ mm}$ ）。29 齿轮工作时，主轴运转在低速区；84 齿轮工作时，主轴运转在高速区。双联滑移齿轮为分体组合形式，上面装有拨叉轴承，拨叉轴承隔离齿轮与拨叉的运动。双联滑移齿轮由液压缸带动拨叉驱动，在轴 I 上轴向移动，分别实现齿轮副 29/86、84/60 的啮合，完成主轴的变速。变速轴靠近带轮的一端是球轴承支承，外圈固定；另一端由长圆柱滚子轴承支承，外圈在箱体上不固定，以提高轴的刚度和减小热变形的影响。

(3) 主轴组件。数控机床的主轴是一个空心的阶梯轴，主轴的内孔是用于通过长的棒料及卸下顶尖时穿过钢棒，也可用于通过气动、电动及液压夹紧装置的机构。主轴前端采用短圆锥法兰盘式结构，用于定位安装卡盘和拨盘。



主轴安装在两个支承上，这种主轴转速较高，要求的刚性也较高。所以前、后支承都用角接触球轴承（可以承受径向力和轴向力）。前支承有三个一组的轴承，前面两个大口朝外朝主轴前端，接触角为  $25^\circ$ ；后面一个大口朝里，接触角为  $14^\circ$ 。在前轴承和轴承的内圈之间留有间隙，装配时加压消除，使轴承预紧，纵向切削力由前面两个轴承承受，故其接触角较大，同时也减少了主轴的悬伸量，并且前支承在箱体上轴向固定。后支承为两个角接触球轴承，小口相对，接触角皆为  $14^\circ$ 。这两个轴承用于共同担负支承的径向载荷。纵向载荷由前支承轴承承担，故后轴承的外圈轴向不固定，这使得主轴在热变形时，后支承可沿轴向微量移动，减小热变形的影响。

主轴轴承都属超轻型，前、后轴承都由轴承厂配好，成套供应，装配时无须修理、调整。轴承精度等级相当于我国的 C 级。主轴轴承对主轴的运动精度及刚度影响很大，主轴轴承应在无间隙（或少量过盈）条件下进行运转，轴承中的间隙和过盈量直接影响到机床的加工精度。因此，主轴轴承间隙必须在适当的状态下，这就要进行间隙和过盈量调整。该轴的调整方法是：旋紧主轴尾部螺母，使其压紧托架，由托架压紧后支承的轴承，并压紧主轴上的齿轮（齿数为 60），推动齿轮（齿数为 86），压紧前支承轴承到轴肩上，从而达到调整前、后轴承间隙和过盈量的目的。最后旋紧调整螺母的锁紧螺钉。

主轴轴承采用油脂润滑，迷宫式密封，主轴材料为 16MnCr5，前端的短圆锥面、法兰盘端面，以及装前、后轴承和齿轮的轴颈和前孔皆淬硬至 55HRC，渗碳深 1 mm。与主轴前、后轴承相配合的轴颈公差都为 h4。

主轴上装有两个圆柱齿轮，齿数为 86（模数  $m = 2.5 \text{ mm}$ ）和 60（模数  $m = 2 \text{ mm}$ ）。当 86 齿轮工作时，使主轴工作在低速区；当 60 齿轮工作时，使得主轴工作在高速区。齿轮的最高线速度为  $9.9 \text{ m/s}$ ，精度为 6 级，材料是 16MnCr5，渗碳深 0.3 mm，淬硬至 60HRC。

(4) 检测轴。检测轴是阶梯轴，通过两个球轴承支承在轴承套中。它的一端装有齿数为 60 的齿轮，齿轮的材料为夹布胶木。另一端通过联轴器转动圆光栅齿轮与主轴上的齿数为 60 的齿轮相啮合，将主轴运动传到圆光栅上。圆光栅每转一圈发出 1 024 个脉冲，该信号送到数控装置，使数控装置完成对螺纹切削的控制。

(5) 主轴箱。主轴箱的作用是支撑主轴和支承主轴运动的传动系统，主轴箱材料为灰铸铁。主轴箱使用底部定位面在床身左端定位，并用螺钉紧固。