

第一章 数控机床概述

第一节 数控机床的产生和发展

随着科学技术的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程的自动化是实现上述要求的最重要的措施之一。它不仅能够提高产品的质量,提高生产效率,降低生产成本,还能够大大改善工人的劳动条件。

汽车、拖拉机、家用电器等属于大批量生产的产品,广泛采用自动机床、组合机床和专用机床以及专用自动生产线,实行多刀、多工位多面同时加工,以达到高效率和高自动化。尽管需要较大的初始投资及较长的生产准备时间,但在大批量生产条件下,由于分摊在每一个工件上的费用较低,经济效益仍然是非常显著的。但是,在机械制造工业中约有机加工总量的75%~80%是属于单件小批量生产,尤其是一些宇航、造船、机床、重型机械及国防工业部门的零件,精度要求高、形状复杂、加工批量小、且改型频繁,采用普通机床加工这些零件效率低、劳动强度大,有时甚至不能加工。采用组合机床或自动化机床加工这类零件也极其不合理,因为需要经常改装与调整设备。近年来,由于市场竞争日趋激烈,各生产厂不仅要提供高质量的产品,而且为满足市场上不断变化的需要进行频繁的改型。因此,即使是大批量生产,也改变了产品长期一成不变的做法。这样就使组合机床、自动化机床及自动化生产线在大批量生产中也日渐暴露其缺点或不足。为了解决上述这些问题,一种新型的数控程序控制机床应运而生,它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

在数控机床上,工件加工的全过程是由数字指令控制的,在加工前要用指定的数字代码按照工件图样编制出程序,制成穿孔带,然后输入到数控系统中去,数控机床即按照穿孔带上的指令自动地进行工作;工件加工程序是由若干程序段组合而成,每个程序段中,均有加工工件某一部分所需要的各种数据信息及机床操作的各种指令。穿孔带输入一个程序段,相应的各种数据和指令就进入数控系统,数控系统也就指挥机床完成工件的一部分加工工作。数控机床与其他自动机床的主要区别在于,当被加工工件改变时,除了重新装夹工件和更换刀具之外,只需更换一条新的穿孔带,不需要对机床作任何调整。

1948年,美国帕森斯公司在研制加工直升飞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。后来受美国空军委托,帕森斯公司与麻省理工学院伺服机构研究所合作进行研制工作。1952试制成功世界上第一台三坐标立式数控铣床。后来,又经过改进并开展自动编程技术的研究,于1955年进入实用阶段,这对于加工复杂曲面和促进美国飞机制造业的发展起了重要作用。

1958年我国开始研制数控机床。近年来,由于引进了国外的数控系统与伺服系统的制造技术,使我国数控机床在品种、数量和质量方面得到了迅速发展。虽然我国与先进的工业国家之间还存在着较大差距,但这种差距正随着工厂、企业技术改造的深入开展不断缩小,发

展数控机床的生产已成为目前机床行业的目标。数控机床必将成为我国机械工业生产中的主要设备, 为我国的四个现代化做出巨大的贡献。

第二节 数控机床在国民经济中的地位和作用

一、数控机床的特点

1) 采用数控机床可以提高零件的加工精度, 稳定产品的质量。因为数控机床是按照预定的加工程序自动进行加工, 加工过程消除了操作者人为的操作误差, 所以零件加工的一致性较好, 而且加工精度还可以利用软件来进行校正及补偿, 因此可以获得比机床本身精度还要高的加工精度及重复精度。

2) 数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂曲面的零件加工。因此数控机床在宇航、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

3) 采用数控机床比普通机床可以提高生产效率 2~3 倍, 尤其对某些复杂零件的加工, 生产效率可提高十几倍甚至几十倍。

4) 可以实现一机多用。一些数控机床将几种普通机床功能(如钻、镗、铣)合一, 加上刀具自动交换系统构成加工中心, 如果能配置数控转台或分度转台, 则可以实现一次安装、多面加工, 这时一台数控机床可代替 5~7 台普通机床, 并节省了厂房面积。

5) 采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展, 为实现生产过程自动化创造了条件。

二、数控机床在国民经济中的地位和作用

今天数控机床有了飞跃的发展, 在机械制造业中的地位愈来愈显得重要。美国在 1983 年的机床总数比 1973 年下降了 23.1%, 而同期数控机床的总数却增加了 2.6 倍, 产值为总产值的 70.9%。美国 1989 年机床总数为 2826781 台, 其中数控机床为 222356 台; 日本 1987 年机床总数为 792975 台, 其中数控机床为 70255 台。我国 1990 年机床总数为 3170000 台, 其中数控机床为 23500 台, 占 0.74%。尽管我国目前数控机床产量不高, 但品种已经不少。由于数控机床集高精度、高效率于一身, 故在许多企业的生产中, 已替代坐标镗床、万能铣床, 完成精密加工任务。随着数控机床的精度和自动化程度不断提高, 数控机床已从满足单件、小批量生产中的精密复杂零件, 逐步扩大到批量生产的柔性加工系统。数控机床是高度机电一体化的典型产品, 是现代机床技术水平的重要标志, 是体现现代机械制造业工艺水平的重要标志。

第三节 数控机床的分类

数控机床一般可以按以下几种分类方法进行分类:

一、按工艺用途分类

(一) 普通数控机床

普通数控机床一般指在加工工艺过程中的一个工序上实现数字控制的自动化机床, 如数控铣床、数控车床、数控钻床、数控磨床与数控齿轮加工机床等。普通数控机床在自动化程度上还不够完善, 刀具的更换与零件的装夹仍需人工来完成。

（二）加工中心

加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起，零件在一次装夹后，可以将其大部分加工面进行铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。加工中心的类型很多，一般分为立式加工中心、卧式加工中心和车削加工中心等。由于加工中心能有效地避免由于多次安装造成的定位误差，所以它适用于产品更换频繁、零件形状复杂、精度要求高、生产批量不大而生产周期短的产品。

二、按运动方式分类

（一）点位控制系统

点位控制系统是指数控系统只控制刀具或机床工作台，从一点准确地移动到另一点，而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间，一般先以快速移动到终点附近位置，然后以低速准确移动到终点定位位置，以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。使用这类控制系统的主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控弯管机等。图 1-1 所示为数控钻床加工示意图。

（二）点位直线控制系统

点位直线控制系统是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到另一个点，而且保证在两点之间的运动轨迹是一条直线的控制系统。移动部件在移动过程中进行切削。应用这类控制系统的有数控车床、数控钻床和数控铣床等。图 1-2 所示为数控铣床加工示意图。

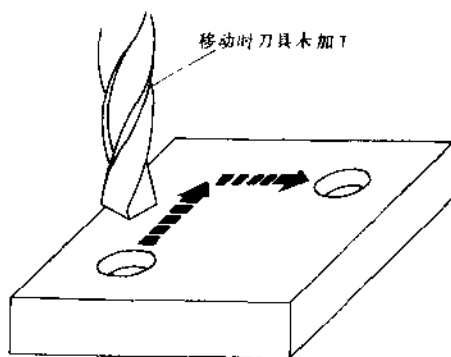


图 1-1 数控钻床加工示意图

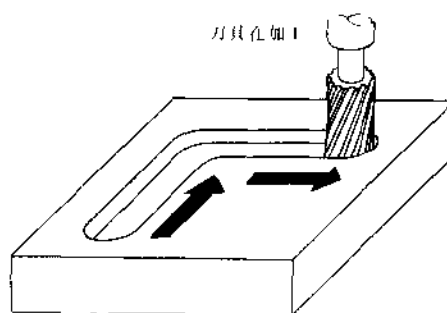


图 1-2 数控铣床加工示意图

（三）轮廓控制系统

轮廓控制系统也称连续控制系统，是指数控系统能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制的系统。它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量，将零件加工成一定的轮廓形状。应用这类控制系统的有数控铣床、数控车床、数控齿轮加工机床和加工中心等。图 1-3 所示为轮廓控制系统加工示意图。

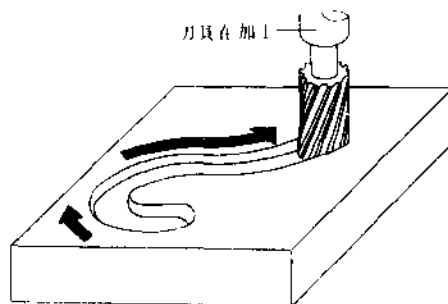


图 1-3 轮廓控制系统加工示意图

三、按控制方式分类

(一) 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。它是根据穿孔带上的数据指令，经过控制运算发出脉冲信号，输送到伺服驱动装置（如步进电动机）使伺服驱动装置转过相应的角度，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 1-4 所示为开环控制系统框图。

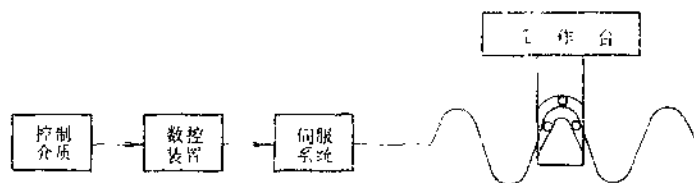


图 1-4 开环控制系统框图

由于开环控制系统不具有反馈装置，所以对移动部件实际位移量的测量及反馈与原指令值进行比较不进行检测，也不能进行误差校正，因此系统精度较低（ $\pm 0.02\text{mm}$ ）。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机床日益提高的精度要求。

(二) 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 1-5 所示为半闭环控制系统框图。

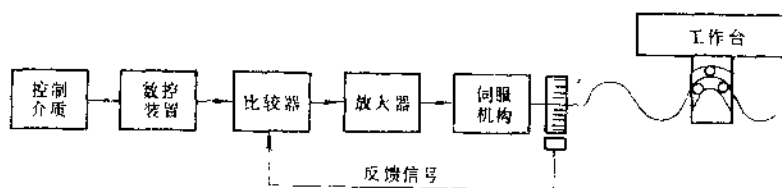


图 1-5 半闭环控制系统框图

半闭环控制系统调试方便，稳定性好，目前应用比较广泛。

(三) 闭环控制系统

图 1-6 所示为闭环控制系统框图，闭环控制系统是在机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作补充位移，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机床上。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。

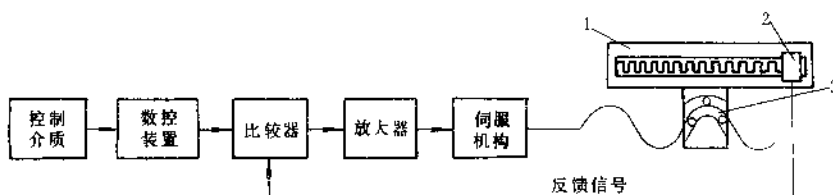


图 1-6 闭环控制系统框图

第四节 数控机床的基本工作原理和坐标系的确定

在数控机床上加工零件一般按以下步骤进行：

- 1) 根据被加工零件工作图与工艺过程卡，用规定的数字代码和程序格式编写程序单。
- 2) 根据程序单，制作穿孔带。
- 3) 穿孔带通过光电读带机，将加工程序输入数控装置。

4) 数控装置根据输入信号，进行运算和控制处理，然后将处理结果以脉冲信号形式送往机床各个坐标的伺服系统，以驱动机床的各运动部件，按规定的加工顺序、速度和位移量进行加工，最后制造出合格的零件。

因此，数控机床由四个基本部分组成，即穿孔带或磁带等控制介质、数控装置、伺服系统和机床。以下分别就各组成部分的基本工作原理作一简要说明。

一、数控机床的基本工作原理

(一) 控制介质

对数控机床进行控制，必须在人与机床之间建立某种联系，这种联系物质称为控制介质。常见的控制介质有穿孔带、穿孔卡和磁带等。在控制介质上存储着零件加工过程中所需要的全部数据和指令。图 1-7 所示为目前数控机床上使用较多的八单位标准穿孔带。

穿孔带上的代码一般用光电读带机输入数控装置。图 1-8 所示为光电读带机示意图。在数控机床加工以前，先将穿孔带放入光电读带机，然后启动数控装置，使启动电磁铁 13 吸合，经摇臂 12 带动压轮 14 把穿孔带 6 压向旋转的主动轮 2。主动轮 2 由电动机 1 驱动，这样就使穿孔带以较高的阅读速度（200 行/s）向左移动。当穿孔带从光源 4、透镜 5 和九只光敏元件 8 中间通过时，把穿孔带上的代码转换为电脉冲，经过放大与整形，再进入数控装置的输入装置进行译码与寄存。当穿孔带上出现结束代码时，启动电磁铁 13 断电，压轮 14 在片式弹簧 11 作用下松开，同时制动电磁铁 10 通电并吸合衔铁 9，使穿孔带快速制动。光电读带机上读数头部分 3 可以象铰链一样扳起，将穿孔带装好后，再将 3 放下，即可工作。导轮 7 在纸带快速移动时，起支承和导向作用。

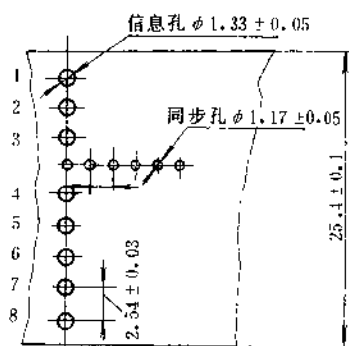


图 1-7 八单位标准穿孔带

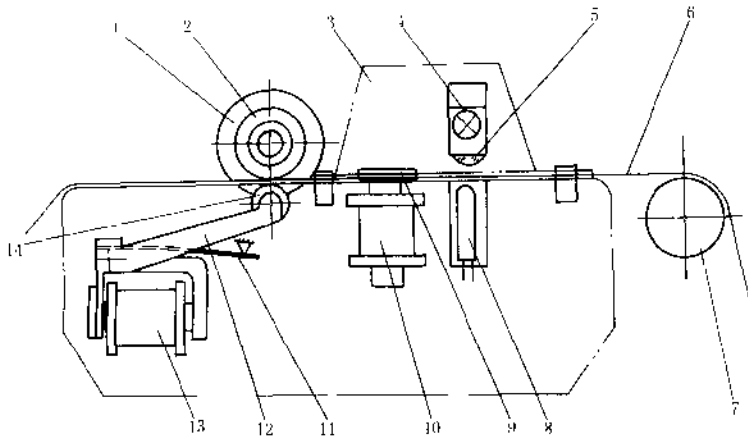


图 1-8 光电读带机示意图

(二) 数控装置

数控装置是数控机床的核心，它根据光电读带机输送来的指令码和数据码进行译码、运算、寄存及控制，并将其结果输送到机床各个坐标的伺服系统，用以驱动机床运动。数控装置一般由译码器、运算器、存储器、控制器、显示器、输入装置及输出装置等组成。图 1-9 所示为数控装置逻辑框图。

当按下数控装置启动按钮后，控制电路发出信号，使光电读带机开始工作，读带机将穿孔带上的指令码和数据码输送到译码器。译码器将指令码输送到存储器和控制器，将数据码输送到运算器，作为控制和运算的依据。控制器是整个数控装置的指挥部，它根据输入的代码控制运算器的运算过程，并按照运算结果控制脉冲信号的输出、光电读带机的启动与停止、机床主轴转速的变换、刀具的变换、液压泵电动机的启动与停止等。显示器主要用来显示通过测量机构测得的机床各坐标的运动数值。数控装置

的输出部分主要是将控制器和运算器的信号输送出去，用来驱动伺服系统。

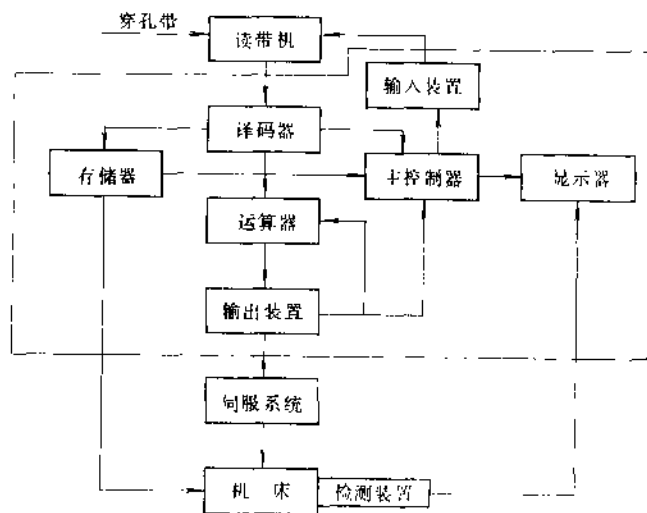


图 1-9 数控装置逻辑框图

(三) 伺服系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分。它用来接受数控装置输出的指令信息并经功率放大后，带动机床移动部件作精确定位或按照规定的轨迹和速度运动，使机床加工出符合图样要求的零件。由于伺服系统是数控机床的关键部件，它的伺服精度和动态响应将直接影响数

控机床的加工精度、表面粗糙度及生产效率。伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。一般数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为执行机构，这些电动机均带有光电编码器位置测量元件和测速电动机等速度测量元件。不同的执行机构配置相应的驱动装置来驱动。

（四）机床

数控机床为满足数控技术的特点和充分发挥数控机床的特点，在机床整体布局、传动系统、刀具系统、操作系统以及结构等方面，与普通机床有很大变化。因此，需要进行对比和分析，以便使数控机床发挥它最佳的经济效益。

二、数控机床坐标系的确定

数控机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床运动部件的特殊位置（如换刀点、参考点等）以及运动范围（如行程范围）等而建立的几何坐标系。目前我国执行的 JB3051—82《数控机床坐标和运动方向的命名》数控标准，与国际上统一的 ISO841 等效。

标准的坐标系采用右手直角笛卡尔坐标系（如图 1-10 所示）。它规定直角坐标 X 、 Y 、 Z 三者的关系及其正方向用右手定则判定，围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的回转运动及其正方向 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 分别用右螺旋法则判定。与 $+X$ 、 $+Y$ 、 $\dots +C$ 相反的方向相应用带“ $'$ ”的 $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $\dots +C'$ 表示。

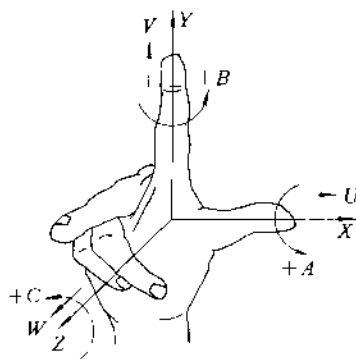


图 1-10 右手直角笛卡尔坐标系

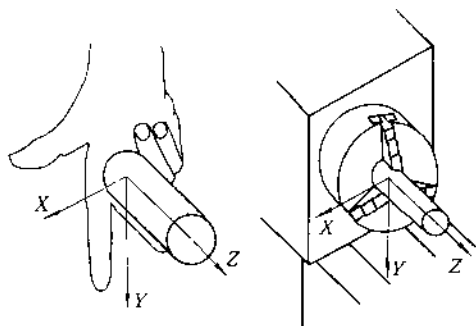


图 1-11 卧式车床坐标系

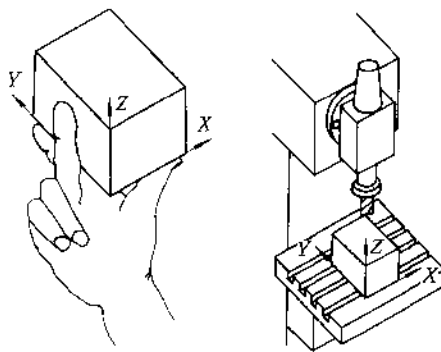


图 1-12 立式铣床坐标系

图 1-11 和图 1-12 所示为卧式车床和立式铣床的标准坐标系。

直角坐标 X 、 Y 、 Z 又称为主坐标系或第一坐标系。如有第二组坐标和第三组坐标平行于 X 、 Y 、 Z ，则分别指定为 U 、 V 、 W 和 P 、 Q 、 R 。

第五节 数控机床的主要性能指标

一、数控机床的精度指标

（一）定位精度和重复定位精度

定位精度是指数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的精度，因此移动部件实际位置与理想位置之间的误差称为定位误差。定位误差包括伺服系统、检测系统、进给系统等误差，还包括移动部件导轨的几何误差等。定位误差将直接影响零件加工的位置精度。

重复定位精度是指在同一台数控机床上，应用相同程序相同代码加工一批零件，所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙与刚性以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下，重复定位精度是成正态分布的偶然性误差，它影响一批零件加工的一致性，是一项非常重要的性能指标。

（二）分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时，理论要求回转的角度值和实际回转的角度值的差值。分度精度既影响零件加工部位在空间的角度位置，也影响孔系加工的同轴度等。表 1-1 所示为几种数控机床的精度指标。

表 1-1 几种数控机床的精度指标

机 床 型 号	定位精度/ $(\text{mm} \cdot \text{mm}^{-1})$	重复定位精度/mm	分度精度/ $(^\circ)$
CINCINNATI	$\pm 0.025/1000$	± 0.006	± 3
JC-018	$\pm 0.012/300$	± 0.006	
XH754	$\pm 0.02/300$	± 0.01	± 10
TH6350	$\pm 0.005/\text{全行程}$	± 0.002	

（三）分辨率与脉冲当量

分辨率是指两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔。对测量系统而言，分辨率是可以测量的最小增量；对控制系统而言，分辨率是可以控制的最小位移增量，即数控装置每发出一个脉冲信号，反映到机床移动部件上的移动量，一般称为脉冲当量。脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前普通数控机床的脉冲当量一般采用 0.001mm ；简易数控机床的脉冲当量一般采用 0.01mm ；精密或超精密数控机床的脉冲当量采用 0.0001mm 。脉冲当量越小，数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

二、数控机床的可控轴数与联动轴数

数控机床的可控轴数是指机床数控装置能够控制的坐标数目。数控机床可控轴数和数控装置的运算处理能力、运算速度及内存容量等有关。世界上最高级数控装置的可控轴数已达到 24 轴，我国目前最高数控装置的可控轴线为 6 轴。图 1-13 所示为六轴加工中心。

数控机床的联动轴数是指机床数控装置控制的坐标轴同时达到空间某一点的坐标数目。目前有两轴联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动等。三轴联动数控机床可以加工空间复杂曲面；四轴联动、五轴联动数控机床可以加工宇航叶轮、螺旋桨等零件。

三、数控机床的运动性能指标

数控机床的运动性能指标主要包括主轴转速、进给速度、坐标行程、摆角范围和刀库容量及换刀时间等。

（一）主轴转速

数控机床的主轴一般均采用直流或交流调速主轴电动机驱动,选用高速精密轴承支承,保证主轴具有较宽的调速范围和足够高的回转精度、刚度及抗振性。目前,数控机床主轴转速已普遍达到 $5000\sim 10000\text{r/min}$,甚至更高,这样对各种小孔加工以及提高零件加工质量和表面质量都极为有利。

（二）进给速度

数控机床的进给速度是影响零件加工质量、生产效率以及刀具寿命的主要因素。它受数控装置的运算速度、机床动特性及工艺系统刚度等因素的限制。目前国内数控机床的进给速度可达 $10\sim 15\text{m/min}$,国外一般可达 $15\sim 30\text{m/min}$ 。

（三）行程

数控机床坐标轴 X 、 Y 、 Z 的行程大小,构成数控机床的空间加工范围,即加工零件的大小。行程是直接体现机床加工能力的指标参数。

（四）摆角范围

具有摆角坐标的数控机床,其转角大小也直接影响到加工零件空间部位的能力。但转角太大又造成机床的刚度下降,因此给机床设计带来许多困难。

（五）刀库容量和换刀时间

刀库容量和换刀时间对数控机床的生产率有直接影响。刀库容量是指刀库能存放加工所需要的刀具数量。目前常见的中小型加工中心多为 $16\sim 60$ 把,大型加工中心达 100 把以上。换刀时间指带有自动交换刀具系统的数控机床,将主轴上使用的刀具与装在刀库上的下一工序需用的刀具进行交换所需要的时间。目前国内均在 $10\sim 20\text{s}$ 内完成换刀;国外不少数控机床换刀时间仅为 $4\sim 5\text{s}$ 。

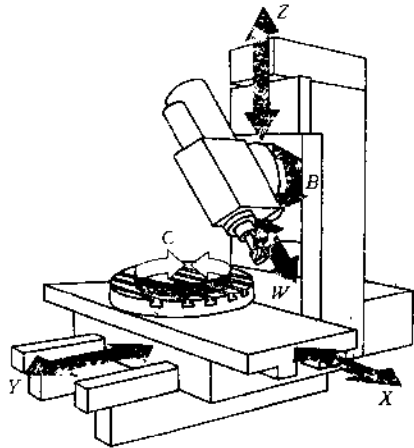


图 1-13 可控六轴加工中心示意图

第二章 数 控 车 床

第一节 概 述

数控车床又称为 CNC (Computer Numerical Control) 车床,即用计算机数字控制的车床。卧式车床是靠手工操作机床来完成各种切削加工,而数控车床是将编制好的加工程序输入到数控系统中,由数控系统通过车床 X、Z 坐标轴的伺服电动机去控制车床进给运动部件的动作顺序、移动量和进给速度,再配以主轴的转速和转向,便能加工出各种形状不同的轴类或盘类回转体零件。因此,数控车床是目前使用较为广泛的数控机床。

一、数控车床的布局、用途及分类

(一) 数控车床的组成及布局

1. 数控车床的组成及特点

数控车床与卧式车床相比较,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与卧式车床的进给系统在结构上存在着本质上的差别。卧式车床主轴的运动经过挂轮架、进给箱、溜板箱传到刀架实现纵向和横向进给运动。而数控车床是采用伺服电动机经滚珠丝杠,传到滑板和刀架,实现 Z 向(纵向)和 X 向(横向)进给运动。可见数控车床进给传动系统的结构较卧式车床大为简化。数控车床也有加工各种螺纹的功能,那么主轴的旋转与刀架的移动是如何保持同步关系的呢?一般是采取伺服电动机驱动主轴旋转,并且在主轴箱内安装有脉冲编码器,主轴的运动通过同步齿形带 1:1 的传到脉冲编码器。当主轴旋转时,脉冲编码器便发出检测脉冲信号给数控系统,使主轴电动机的旋转与刀架的切削进给保持同步关系,即实现加工螺纹时主轴转一转,刀架 Z 向移动工件一个导程的运动关系。

2. 数控车床的布局

数控车床的主轴、尾座等部件相对床身的布局形式与卧式车床基本一致,而刀架和导轨的布局形式发生了根本的变化,这是因为刀架和导轨的布局形式直接影响数控车床的使用性能及机床的结构和外观所致。另外,数控车床上都设有封闭的防护装置。

(1) 床身和导轨的布局

数控车床床身导轨与水平面的相对位置如图 2-1 所示,它有 4 种布局形式:图 2-1a 为平床身,图 2-1b 为斜床身,图 2-1c 为平床身斜滑板,图 2-1d 为立床身。

水平床身的工艺性好,便于导轨面的加工。水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局。但是水平床身由于下部空间小,故排屑困难。从结构尺寸上看,刀架水平放置使得滑板横向尺寸较长,从而加大了机床宽度方向的结构尺寸。

水平床身配上倾斜放置的滑板,并配置倾斜式导轨防护罩,这种布局形式一方面有水平床身工艺性好的特点,另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的要小,且排屑方便。

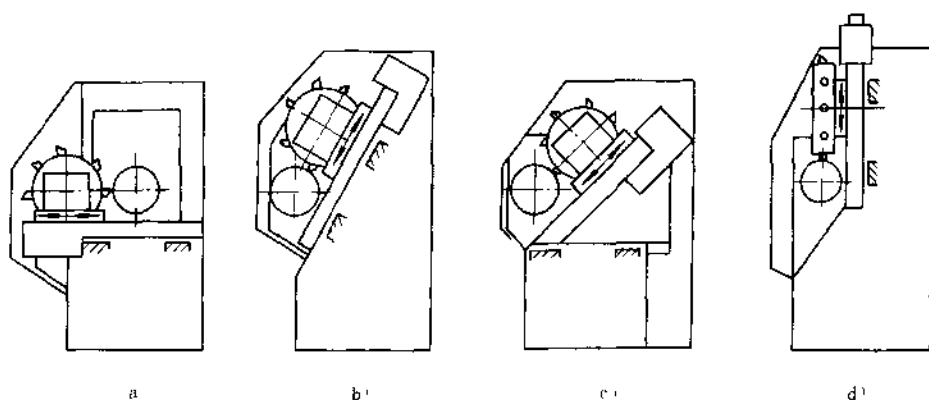


图 2-1 数控车床的布局形式

水平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板布局形式被中、小型数控车床所普遍采用。这是由于此两种布局形式排屑容易，热铁屑不会堆积在导轨上，也便于安装自动排屑器；操作方便，易于安装机械手，以实现单机自动化；机床占地面积小，外形简洁、美观，容易实现封闭式防护。

斜床身其导轨倾斜的角度分别为 30° 、 45° 、 60° 、 75° 和 90° （称为立式床身）。倾斜角度小，排屑不便；倾斜角度大，导轨的导向性差，受力情况也差。导轨倾斜角度的大小还会直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑上面的诸因素，中小规格的数控车床，其床身的倾斜度以 60° 为宜。

（2）刀架的布局

刀架作为数控车床的重要部件，其布局形式对机床整体布局及工作性能影响很大。目前两坐标联动数控车床多采用 12 工位的回转刀架，也有采用 6 工位、8 工位、10 工位回转刀架的。回转刀架在机床上的布局有两种形式。一种是用于加工盘类零件的回转刀架，其回转轴垂直于主轴；另一种是用于加工轴类和盘类零件的回转刀架，其回转轴平行于主轴。

四坐标控制的数控车床，床身上安装有两个独立的滑板和回转刀架，故称为双刀架四坐标数控车床。其上每个刀架的切削进给量是分别控制的，因此两刀架可以同时切削同一工件的不同部位，既扩大了加工范围，又提高了加工效率。四坐标数控车床的结构复杂，且需要配置专门的数控系统实现对两个独立刀架的控制。这种机床适合加工曲轴、飞机零件等形状复杂、批量较大的零件。

（二）数控车床的用途

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，例如汽车制造厂、发动机制造厂等等。

（三）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。对数控车床的分类可以采用不同的方法。

1. 按数控系统的功能分

1) 全功能型数控车床。如配有 FANUC-6T 系统、FANUC-OTE 系统的数控车床都是全功能型的。

2) 经济型数控车床。经济型数控车床是在卧式车床基础上进行改进设计的,一般采用步进电动机驱动的开环伺服系统,其控制部分通常采用单板机或单片机实现。

2. 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。

2) 立式数控车床。主轴轴线处于垂直位置的数控车床。

还有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。

3. 按数控系统控制的轴数分类

1) 两轴控制的数控车床。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。机床上有两个独立的回转刀架,可实现四轴控制。

对于车削中心或柔性制造单元,还要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。

二、MJ-50 数控车床的用途、布局及技术参数

MJ-50 型数控车床是济南第一机床厂的产品。该机床配有日本 FANUC-OTE、德国 SIEMENS 或台湾 HUST-11T 三种数控系统。

(一) MJ-50 数控车床的用途

MJ-50 数控车床主要用来加工轴类零件的内外圆柱面、圆锥面、螺纹表面、成形回转体表面。对于盘类零件可进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔等加工。机床还可以完成车端面、切槽、倒角等加工。

(二) MJ-50 数控车床的布局

图 2-2 为 MJ-50 数控车床的外观图。

MJ-50 数控车床为两坐标连续控制的卧式车床。如图所示,床身 14 为平床身,床身导轨面上支承着 30°倾斜布置的滑板 13,排屑方便。导轨的横截面为矩形,支承刚性好,且导轨上配置有防护罩 8。床身的左上方安装有主轴箱 4,主轴由 AC 交流伺服电动机驱动,免去变速传动装置,因此使主轴箱的结构变得十分简单。为了快速而省力地装夹工件,主轴卡盘 3 的夹紧与松开是由主轴尾端的液压缸来控制的。

床身右上方安装有尾座 12。该机床有两种可配置的尾座,一种是标准尾座,另一种是选择配置的尾座。

滑板的倾斜导轨上安装有回转刀架 11,其刀盘上有 10 个工位,最多安装 10 把刀具。滑板上分别安装有 X 轴和 Z 轴的进给传动装置。

根据用户的要求,主轴箱前端面上可以安装对刀仪 2,用于机床的机内对刀。检测刀具时,对刀仪的转臂 9 摆出,其上端的接触式传感器测头对所用刀具进行检测。检测完成后,对刀仪的转臂摆回图中所示的原位,且测头被锁在对刀仪防护罩 7 中。

10 是操作面板,5 是机床防护门,可以配置手动防护门,也可以配置气动防护门。液压系统的压力由压力表 6 显示。1 是主轴卡盘夹紧与松开的脚踏开关。

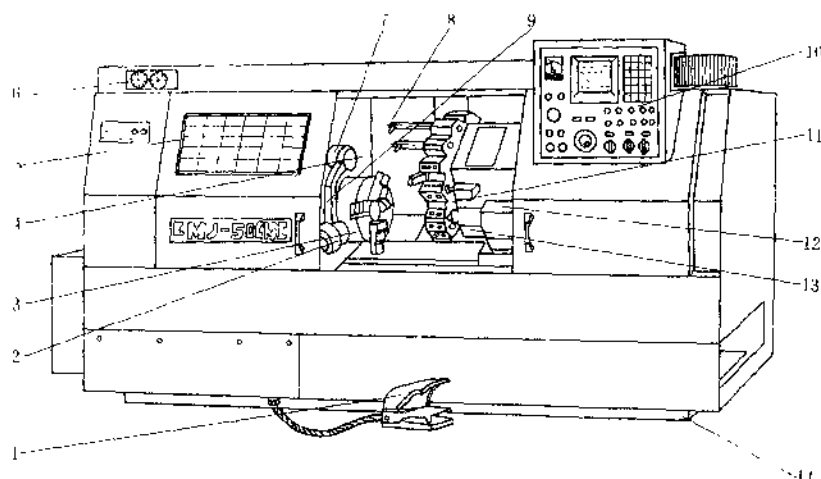


图 2-2 MJ-50 数控车床的外观图

这里介绍的 MJ-50 数控车床的数控系统为 FANUC-OTE Model A-2 系统。

(三) MJ-50 数控车床的主要技术参数

1. 机床的主要参数

允许最大工件回转直径	500mm
最大切削直径	310mm
最大切削长度	650mm
主轴转速范围	35~3500r/min (连续无级)
其中恒扭矩范围	35~437r/min
其中恒功率范围	437~3500r/min
主轴通孔直径	80mm
拉管通孔直径	65mm
刀架有效行程	X 轴 182mm; Z 轴 675mm
快速移动速度	X 轴 10m/min; Z 轴 15m/min
安装刀具数	10 把
刀具规格	车刀 25mm×25mm; 镗刀 $\phi 12\text{mm} \sim \phi 45\text{mm}$
选刀方式	刀盘就近转位
分度时间	单步 0.8s; 180° 2.2s
尾座套筒直径	90mm
尾座套筒行程	130mm
主轴 AC 伺服电动机连续/30min 超载	11/15kW
进给伺服电动机	X 轴 AC 0.9kW; Z 轴 AC 1.8kW
机床外形尺寸 (长×宽×高)	2995mm×1667mm×1796mm

2. 数控系统的主要技术规格

机床配置的 FANUC-OTE 系统的主要技术规格如表 2-1 所示。

表 2-1 FANUC-OTE 系统基本规格

序号	名 称	规 格	
1	控制轴数	X 轴、Z 轴，手动方式同时仅一轴	
2	最小设定单位	X、Z 轴 0.001mm	0.0001in
3	最小移动单位	X 轴 0.0005mm	0.00005in
		Z 轴 0.001mm	0.0001in
4	最大编程尺寸	$\pm 9999.999\text{mm}$	
		$\pm 999.9999\text{in}$	
5	定位	执行 G00 指令时，机床快速运动并减速停止在终点	
6	直线插补	G01	
7	全象限圆弧插补	G02 (顺圆) G03 (逆圆)	
8	快速倍率	LOW, 25%, 50%, 100%	
9	手摇轮连续进给	每次仅一轴	
10	切削进给率	G98 (mm/min) 指令每分钟进给量；G99 (mm/r) 指令每转进给量	
11	进给倍率	从 0~150% 范围内以 10% 递增	
12	自动加/减速	快速移动时依比例加减速，切削时依指数加减速	
13	停顿	G04 (0~9999.999s)	
14	空运行	空运行时为连续进给	
15	进给保持	在自动运行状态下暂停 X、Z 轴进给，按程序启动按钮可以恢复自动运行	
16	主轴速度命令	主轴转速由地址 S 和 4 位数字指令指定	
17	刀具功能	由地址 T 和 2 位刀具编号+2 位刀具补偿号组成	
18	辅助功能	由地址 M 和两位数字组成，每个程序段中只能指令一个 M 码	
19	坐标系设定	G50	
20	绝对值/增量值混合编程	绝对值编程和增量值编程可在同一程序段中使用	
21	程序号	O+4 位数字 (EIA 标准)，: +4 位数字 (ISO 标准)	
22	序列号查找	使用 MDI 和 CRT 查找程序中的顺序号	
23	程序号查找	使用 MDI 和 CRT 查找 O 或 (:) 后面 4 位数字的程序号	
24	读出器/穿孔机接口	PPR 便携式纸带读出器	
25	纸带读出器	250 字符/s (50Hz) 300 字符/s (60Hz)	
26	纸带代码	EIA (RS 244A) ISO (R-40)	

(续)

序号	名 称	规 格
27	程序段跳	将机床上该功能开关置于“ON”位置上时, 跳过程序中带“/”符号的程序段
28	单步程序执行	使程序一段一段地执行
29	程序保护	存储器内的程序不能修改
30	工件程序的存储和编辑	80m/264ft
31	可寄存程序	63 个
32	紧急停止	按下紧急停止按钮所有指令停止, 机床也立即停止运动
33	机床锁定	仅滑板不能移动
34	可编程控制器	PMC-L 型
35	显示语言	英文
36	环境条件	环境温度: 运行时 0~45℃; 运输和保管时 -20~60℃ 相对湿度低于 75%

第二节 数控车床的传动与结构

一、主传动系统及主轴箱结构

(一) 主运动传动系统

MJ-50 数控车床的传动系统图如图 2-3 所示。其中主运动传动系统由功率为 11/15kW 的 AC 伺服电动机驱动, 经一级 1:1 的带传动带动主轴旋转, 使主轴在 35~3500r/min 的转速范围内实现无级调速, 主轴箱内部省去了齿轮传动变速机构, 因此减少了原齿轮传动对主轴精度的影响, 并且维修方便。

主轴传递的功率或扭矩与转速之间的关系如图 2-4 所示。当机床处在连续运转状态下, 主轴的转速在 437~3500r/min 范围内, 主轴应能传递电动机的全部功率 11kW, 为主轴的恒功率区域 II (实线)。在这个区域内, 主轴的最大输出扭矩 (245N·m) 应随着主轴转速的增高而变小。主轴转速在 35~437r/min 范围内的各级转速并不需要传递全部功率, 但是主轴的输出扭矩不变, 称为主轴的恒扭矩区域 I (实线)。在这个区域内, 主轴所能传递的功率随着主轴转速的降低而降低。图中虚线所示为电动机超载 (允许超载 30min) 时。恒功率区域和恒扭矩区域。电动机的超载功率为 15kW, 超载的最大输出扭矩为 334N·m。

(一) 主轴箱结构

1. 主轴箱结构

MJ-50 数控车床主轴箱结构如图 2-5 所示。交流主轴电动机通过带轮 15 把运动传给主轴 7。主轴有前后两个支承。前支承由一个圆锥孔双列圆柱滚子轴承 11 和一对角接触球轴承 10 组成, 轴承 11 用来承受径向载荷, 两个角接触球轴承一个大口向外 (朝向主轴前端), 另一

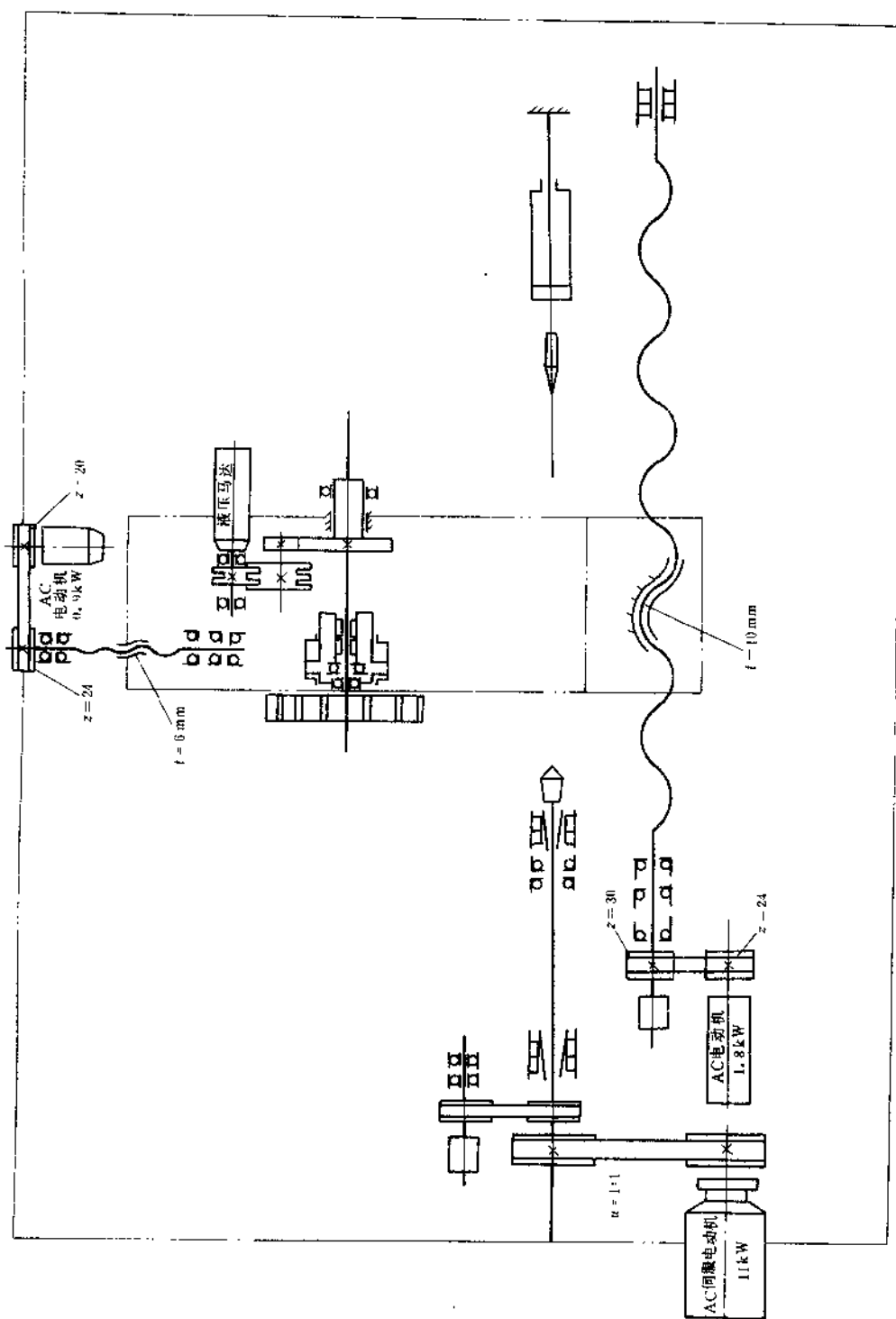


图 2-3 MJ-50 汽控车床传动系统图

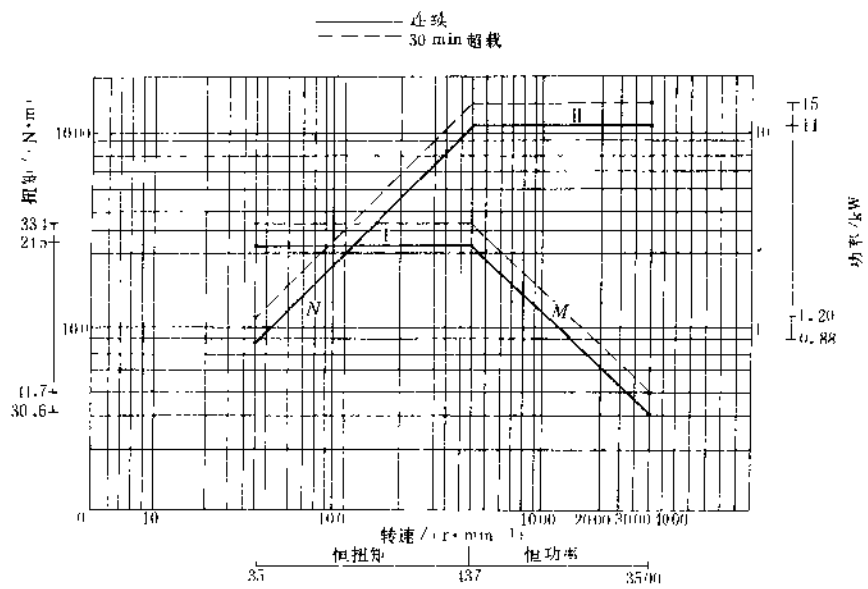


图 2-4 主轴功率扭矩特性

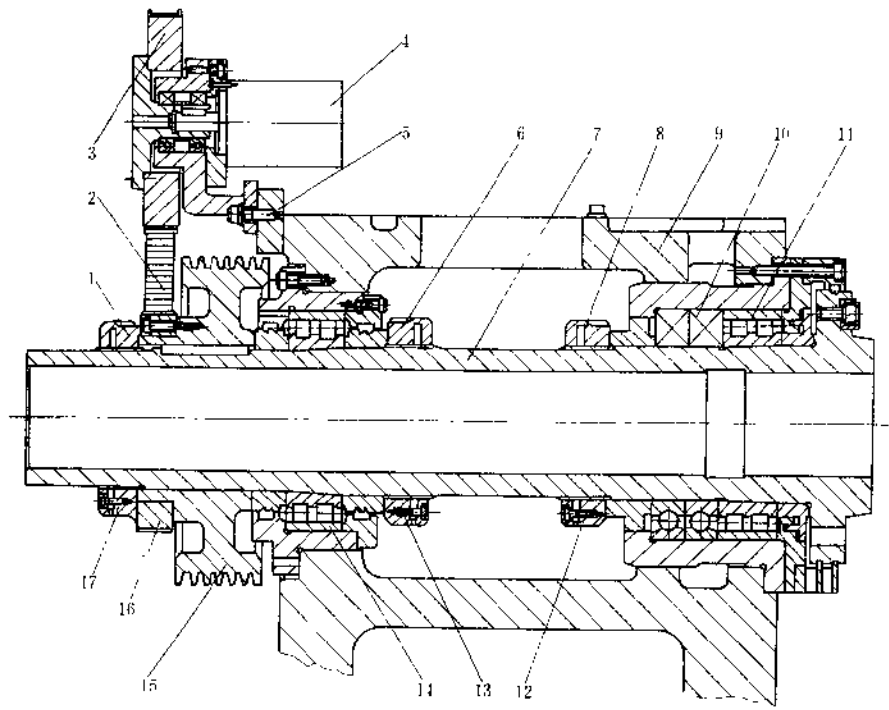


图 2-5 MJ-50 数控车床主轴箱结构简图

个大口向里（朝向主轴后端），用来承受双向的轴向载荷和径向载荷。前支承轴承的间隙用螺母 8 来调整。螺钉 12 用来防止螺母 8 回松。主轴的后支承为圆锥孔双列圆柱滚子轴承 14，轴