



数控机床的机械结构

教学提示：

典型数控机床的机械结构主要由基础件、主传动系统、进给传动系统、回转工作台、自动换刀装置及其他机械功能部件等几部分组成。数控机床的基础件通常是指床身、立柱、横梁、工作台、底座等结构件，构成了机床的基本框架；数控机床的主传动系统将切削所需要的运动和动力传递给主轴；数控机床进给传动系统是进给伺服系统的重要组成部分，是实现加工运动所需的运动及动力的执行机构；回转工作台分成数控回转工作台和分度工作台两种类型，数控回转工作台在加工过程中参与切削，相当于进给运动坐标轴，分度工作台只完成分度运动。为了尽可能减少辅助时间，数控机床通常还具有回转刀架、刀库、机械手等自动换刀装置。由于数控机床控制方式和使用特点，数控机床与普通机床在机械传动和结构上有十分显著的不同。

教学要求：

通过本章的学习，读者应了解数控机床对主传动系统、进给传动系统的要求；了解主轴的调速方法；熟悉主轴部件、滚珠丝杠螺母副、直线电动机、数控机床的导轨、自动换刀装置；认识数控回转工作台、分度工作台等主要辅助装置。为学生初步具有设计机床传动系统的能力打下基础。

3.1 概 述

数控机床本体结构是机床的主体部分，虽然也有普通机床所具有的床身、立柱、导轨、工作台、刀架等部件，但为了与数控加工的高加工精度、高速切削性能相匹配，数控机床在机械结构性能方面形成了独特的风格。

数控机床的主体结构具有以下特点：为了简化机械传动结构、缩短传动链，数控机床多数采用高性能的无级变速主轴及伺服传动系统；为了适应连续的自动化加工和提高生产效率，数控机床机械结构具有较高的静、动态刚度和阻尼精度，以及较高的耐磨性，而且热变形小；为减小摩擦、消除传动间隙和获得高加工精度，数控机床更多地采用了高效传动部件，如滚珠丝杠螺母副、静压蜗杆副、塑料导轨、滚动导轨、

静压导轨等；为了改善劳动条件、改善操作性能、提高劳动生产率，数控机床采用了多主轴、多刀架结构以及刀具与工件的自动夹紧装置、自动换刀装置、自动排屑装置及自动润滑冷却装置等；为了保证机床精度的稳定性、获得可靠的加工质量，数控机床多采取减小热变性的措施。

根据数控机床的使用场合和结构特点，机床的机械结构设计应保证以下要求。

1. 提高机床的静、动刚度

机床刚度是机床结构抵抗变形的能力。机床在加工过程中承受多种外力的作用，根据所受载荷的不同，机床的刚度可分为动刚度和静刚度。静刚度是机床在稳定载荷（主轴箱、托板的自重、工件重量等）作用下抵抗变形的能力，它与系统构件的几何参数及材料弹性模量有关；动刚度是机床在交变载荷（如周期变化的切削力、旋转运动的不平衡力、间歇进给不稳定力等）作用下阻止振动的能力，它与系统构件阻尼率有关。

静态刚度提高是动态刚度高的前提，为提高机械结构的刚度首先要提高结构的静态刚度。为了提高机床大件的刚度，采用合理的截面形状、封闭结构的床身，并采用液力平衡减少移动部件因位置变动造成的机床变形。为了提高机床各部件的接触刚度，增加机床的承载能力，采用刮研的方法增加单位面积上的接触点，并在结合面之间施加足够大的预加载荷，以增加接触面积。这些措施都能有效地提高接触刚度。为了提高数控机床主轴的刚度，不但经常采用三支承结构，而且选用刚性很好的双列短圆柱滚子轴承和角接触向心推力轴承，以减小主轴的径向和轴向变形。

在保证静态刚度的前提下，还必须提高动态刚度。常用的措施主要有提高系统的刚度、增加阻尼以及调整构件的自振频率等。试验表明，提高阻尼系数是改善抗振性的有效方法。钢板的焊接结构既可以增加静刚度、减轻结构重量，又可以增加构件本身的阻尼。因此，近年来在数控机床上采用了钢板焊接结构的床身、立柱、横梁和工作台。封砂铸件也有利于振动衰减，对提高抗振性也有较好的效果。

2. 减少机床的热变形

机床的主轴、工作台、刀架等运动部件，在运动中常易产生热量，而工艺过程的自动化和精密加工的发展，对机床的加工精度和精度稳定性提出了越来越高的要求。为保证部件的运动精度，要求各运动部件的发热量尽量少，以防产生热变形。为此，机床结构根据热对称的原则设计，并改善主轴轴承、丝杠螺母副、高速运动导轨副的摩擦特性。如 MJ—50CNC 数控车床主轴箱壳体即按热对称原则设计，并在壳体外缘上铸有密集的散热片结构，主轴轴承采用高性能油脂润滑，并严格控制注入量，使主轴温升很低。对于产生大量切屑的数控机床，一般都带有良好的自动排屑装置等。

3. 减少运动间的摩擦和消除传动间隙

数控机床的运动精度和定位精度不仅受机床零部件的加工精度、装配精度、刚度及热变形的影响，而且与运动件的摩擦特性有关。执行件的摩擦阻力主要来自导轨，数控机床通常采用塑料滑动导轨、滚动导轨或静压导轨来减少摩擦副之间的摩擦力，避免低速爬行。在进给系统中用滚珠丝杠代替滑动丝杠也可以明显减少摩擦阻力。

数控机床（尤其是开环系统的数控机床）的加工精度在很大程度上取决于进给传动链的精度。除了减少传动齿轮和滚珠丝杠的加工误差之外，采用无间隙滚珠丝杠传动和无间隙齿轮传动，也可提高数控机床的传动精度。

4. 提高机床的寿命和精度保持性

为了提高机床的寿命和精度保持性,在设计时应充分考虑数控机床零部件的耐磨性,尤其是机床导轨、进给传动丝杠以及主轴部件等影响加工精度的主要零件的耐磨性。在使用过程中,应保证数控机床各运动部件间的润滑良好。

5. 减少辅助时间和改善操作性能

在数控机床的单件加工中,辅助时间(非切屑时间)占有较大的比重。要进一步提高机床的生产率,就必须采取措施最大限度地压缩辅助时间。目前已经有很多数控机床采用了多主轴、多刀架以及带刀库的自动换刀装置等,以减少换刀时间。对于产生切屑量较多的数控机床,床身机构必须有利于排屑。

6. 安全防护和宜人的造型

数控机床切削速度高,一般都有大流量与高压力的冷却液用于冷却和冲屑;机床的运动部件也采用自动润滑装置,为了防止切屑与冷却液飞溅,将机床设计成全封闭结构,只在工作区留有可以自动开闭的安全门窗,用于观察和装卸工件。

数控机床是一种机电一体化的自动化加工设备。其造型要体现机电一体化的特点。内部布局要合理、紧凑、便于维修;外观造型要美观宜人。

3.2 数控机床的主传动系统

数控机床主传动系统是指驱动主轴运动的系统,主轴是数控机床上带动刀具和工件旋转,产生切削运动的运动轴,它往往是数控机床上消耗功率最大的运动轴。与普通机床一样数控机床也必须通过变速,才能使主轴获得不同的转速,以适应不同的加工要求。在变速的同时,还要求传递一定的功率和足够的转矩,满足切削的需要。

3.2.1 数控机床主传动系统要求

作为高度自动化的设备,数控机床主传动系统设计时应满足以下要求。

(1) 为了能达到最佳的切削效果,一般应在最佳的切削条件下工作,因此,主轴一般要求能实现无级变速。

(2) 机床主轴系统必须具有足够高的转速和足够大的功率,以适应高速、高效的加工需求。

(3) 为了降低噪声、减轻发热、减少振动,主传动系统应简化结构,减少传动件。

(4) 在加工中心上,还必须具有安装刀具和刀具交换所需的自动夹紧装置,以及主轴定向准停装置,以保证刀具和主轴、刀库、机械手的正确啮合。

(5) 为了扩大机床功能,实现对C轴位置(主轴回转角度)的控制,主轴还需要安装位置检测装置,以便实现对主轴位置的控制。

3.2.2 数控机床主轴的调速方法

数控机床主传动系统的变速方式主要有有级变速(机械变速)、无级变速、分段无级变速、内置电动机主轴变速(电主轴)等几种形式。

(1) 有级变速(机械变速)。有级变速仅用于经济型数控机床,大多数数控机床均采用无

级变速或分段无级变速。如图 3-1 所示,电动机不具备变速功能,通过拨叉控制滑移齿轮啮合位置实现主轴变速。

(2) 无级变速。主传动采用无级变速,不仅能在一定的速度范围内选择到合理的切削速度,而且还能在运动中自动换速。无级变速有机械、液压、电气等多种形式,数控机床一般采用直流或交流伺服电动机作为动力源的电气无级变速方式。

(3) 分段无级变速。数控机床在实际生产中,并不需要在整个变速范围内均为恒功率。一般要求在中、高速段为恒功率传动,在低速段为恒转矩传动。为了保证数控机床主轴低速时有较大的转矩和主轴的变速范围尽可能大,有的数控系统在交流或直流电动机无级变速的基础上配以齿轮变速,使之成为分段无级变速,如图 3-2 所示。在小型数控机床上,或主传动系统要求振动小、噪声低的数控机床,也可采用平带、V 带、齿形带以及多楔带等带传动形式成分段无级变速系统。

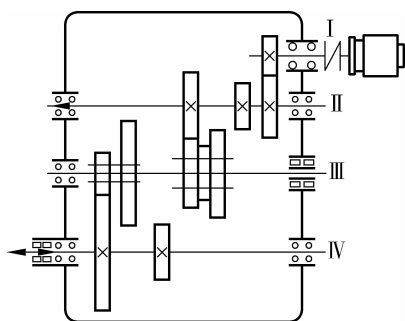


图 3-1 有级变速系统

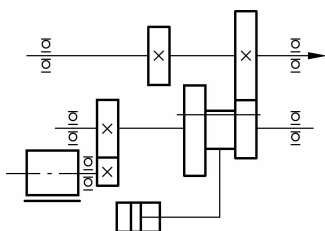


图 3-2 分段无级变速

在带有齿轮变速的分段无级变速系统中,主轴正、反的启动、停止、制动是直接控制电动机来实现的,主轴的变速由电动机转速的无级变速与齿轮的有级变速相配合来实现。齿轮有级变速机构的变速通常采用液压拨叉和电磁离合器两种变速形式。

① 液压拨叉变速机构。液压变速机构的原理和形式可以用图 3-3 所示来说明。滑移齿轮的拨叉与变速液压缸的活塞连杆连接,通过改变不同的通油方式可以使三联齿轮获得 3 个不同的变速位置。当液压缸 1 通压力油,液压缸 5 卸压时(见图 3-3(a)),活塞杆带动拨叉 3 向左移动到极限位置,同时拨叉带动三联齿轮移动到左端啮合位置,行程开关发出信号。当液压缸 5 通压力油而液压缸 1 卸压时(见图 3-3(b)),活塞杆 2 和套筒 4 一起向右移动,套筒 4 碰到液压缸 5 的端部之后,活塞杆 2 继续右移到极限位置,此时三联滑移齿轮被拨叉 3 移到右端啮合位置,行程开关发出信号。当压力油同时进入左右两个液压缸时(见图 3-3(c)),由于活塞杆 2 两端直径不同使活塞杆向左移动。当活塞杆靠上套筒 4 的右端时,此时活塞杆左端受力大于右端,活塞杆不再移动,拨叉和三联齿轮被限制在中间位置,行程开关发出信号。

注意: 在自动变速时,为了使滑移齿轮能顺利移入啮合位置而不发生顶齿现象,可在低速下进行;或者在主传动系统中增设一台微电动机,它在拨叉移动齿轮块的同时(主轴伺服电动机停止运动)启动并带动各传动齿轮作低速回转,防止发生顶齿现象。

② 电磁离合器变速。电磁离合器能简化变速机构,便于实现自动化操作,它是通过安装在传动轴上的离合器的吸合和分离的不同组合来改变齿轮的传动路线,实现主轴变速的。

图 3-4 是啮合式电磁离合器(也称牙嵌式电磁离合器)的结构图。当线圈 1 通电后,带有端面齿的衔铁 2 被吸引和磁轭 8 的端面齿相啮合。衔铁 2 又通过花键与定位环 5 相连接,再

通过螺钉 7 传递给齿轮。隔离环 6 是为了防止磁感线从传动轴构成回路而削弱电磁吸力。为了保证传动精度,衔铁 2 和定位环 5 采用渐开线花键连接,保证了衔铁与传动轴的同轴度,使端面键齿轮更可靠地啮合。采用螺钉 3 和压力弹簧的结构能使离合器的安装方式不受限制,不管衔铁是水平还是垂直,向上还是向下安装,当线圈 1 断电时都能保证合理的齿端间隙。

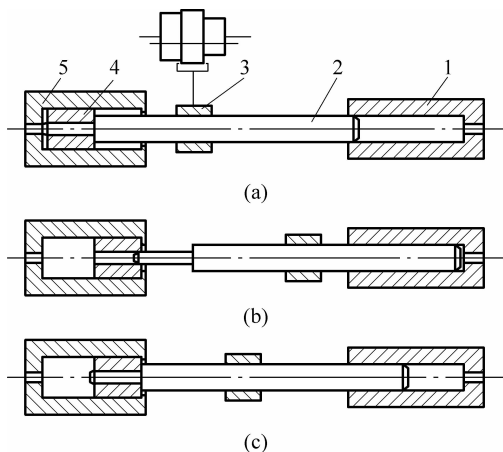


图 3-3 三位液压拨叉作用原理图

1、5—液压缸；2—活塞杆；3—拨叉；4—套筒

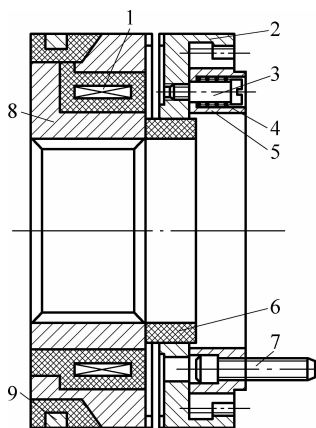


图 3-4 啮合式电磁离合器

1—线圈；2—衔铁；3—螺钉；4—弹簧；5—定位环；
6—隔离环；7—螺钉；8—磁轭；9—旋转环

(4) 内置电动机主轴变速(电主轴)。电主轴是将机床主轴与电动机轴融为一体,这种变速方式大大简化了主轴箱体与主轴的结构,有效地提高了主轴的转速。

3.2.3 数控机床的主轴部件

数控机床的主轴部件是数控机床的重要组成部分之一,包括主轴的支承和安装在主轴上的传动零件等。它的回转精度影响工件的加工精度,它的功率大小与回转速度影响加工效率,它的自动变速、准停和换刀影响机床的自动化程度。因此,要求主轴部件具有良好的回转精度、结构刚度、抗振性、热稳定性及部件的耐磨性和精度的保持性。对于自动换刀的数控机床,为了实现刀具的自动装卸和夹持,还必须有刀具的自动夹紧装置、主轴准停装置和切屑清除装置等结构。

(1) 主轴部件的支承与润滑。机床主轴带动刀具或夹具在支承中作回转运动,应能传递切削转矩承受切削抗力,并保证必要的旋转精度。数控机床主轴的支承配置形式主要有 3 种,如图 3-5 所示。

① 前支承采用双列圆柱滚子轴承和 60° 角接触双列球轴承组合,后支承采用成对安装的角接触球轴承。这种配置形式使主轴的综合刚度大幅度提高,可以满足强力切削的要求,因此普遍应用于各类数控机床主轴中。

② 前轴承采用高精度的双列角接触球轴承,后轴承采用单列(或双列)角接触球轴承。这种配置具有良好的高速性能,主轴最高转速可达 $4000\text{r}/\text{min}$,但它承载能力小,因而适用于高速、轻载和精密的数控机床主轴。在加工中心的主轴中,为了提高承载能力,有时应用 3~4 个角接触球轴承组合的前支承,并用隔套实现预紧。

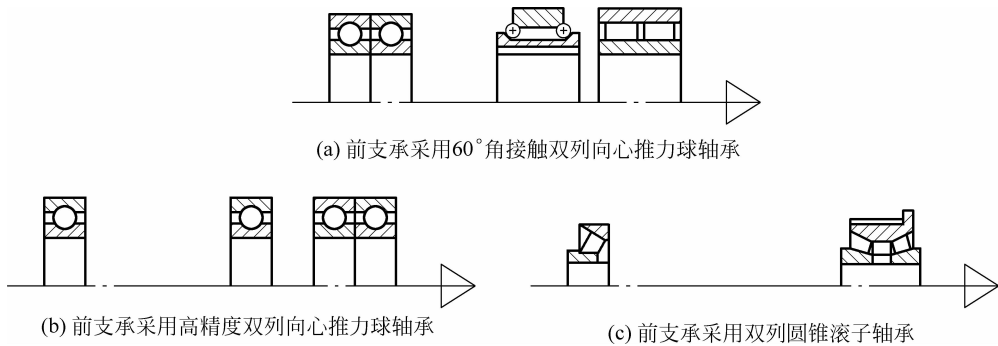


图 3-5 主轴的常见支承配置形式

③ 前后轴承采用双列和单列圆锥轴承。这种轴承径向和轴向刚度高,能承受重载荷,尤其能承受较强的动载荷,安装与调整性能好。但这种配置限制了主轴的最高转速和精度,因此适用于中等精度,低速与重载的数控机床主轴。

为了尽可能减少主轴部件温升热变形对机床工作精度的影响,通常利用润滑油的循环系统把主轴部件的热量带走,使主轴部件与箱体保持恒定的温度。在某些数控镗、铣床上采用专用的制冷装置,比较理想地实现了温度控制。近年来,某些数控机床的主轴轴承采用高级油脂,用封入方式进行润滑,每加一次油脂可以使用7~10年,简化了结构,降低了成本且维护保养简单。为了防止润滑油和油脂混合,通常采用迷宫密封方式。

(2) 常用卡盘结构。数控车床工件夹紧装置可采用三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘或弹簧夹头等。为了减少数控车床装夹工件的辅助时间,广泛采用液压或气压动力自定心卡盘。

(3) 主轴准停装置。在数控镗床、数控铣床和以镗铣为主的加工中心上,为了实现自动换刀,使机械手准确地将刀具装入主轴孔中,刀具的键槽必须与主轴的键位在周向对准;在镗削加工退刀时,要求刀具向刀尖反方向径向移动一段距离后才能退出,以免划伤工件,这都需要主轴具有周向定位功能;另外,一些特殊工艺要求,如在通过前壁小孔镗内壁的同轴大孔,或进行反倒角等加工时,也要求主轴实现准停,使刀尖停在一个固定的方位上,以便主轴偏移一定尺寸后,使大刀刃能通过前壁小孔进入箱体内对大孔进行镗削,所以在主轴上必须设有准停装置。

目前,主轴准停装置很多,主要分为机械式和电气式两种。

传统的做法是采用机械挡块等来定向。图3-6为V形槽轮定位盘准停装置原理图,在主轴上固定一个V形槽定位盘,使V形槽与主轴上的端面键保持所需要的相对位置关系。当主轴需要停车换刀时,发出降速信号,主轴转换到最低速运转,时间继电器开始动作,并延时4~6s后,无触点开关1接通电源,当主轴转到图示位置即V形槽轮定位盘3上的感应块2与无触点开关1相接触后发出信号,使主轴电动机停转。另一延时继电器延时0.2~0.4s后,压力油进入定位液压缸下腔,使定向活塞向左移动,当定向活塞上的定向滚轮5顶入定位盘的V形槽内时,行程开关LS2发出信号,主轴准停完成。若延时继电器延时1s后行程开关LS2仍不发信号,说明准停没完成,需使定向活塞6后退,重新准停。当活塞杆向右移到位时,行程开关LS1发出定向滚轮5退出凸轮定位盘凹槽的信号,此时主轴可启动工作。

机械准停装置准确可靠,但结构较复杂。现代数控机床一般采用电气式主轴准停装置,只

要数控系统发出指令信号,主轴就可以准确地定向。图 3-7 为 JCS-018 加工中心主轴电气准停装置原理图。在带动主轴旋转的多楔带轮 1 的端面上装有一个厚垫片 4,垫片上装有一个体积很小的永久磁铁 3,在主轴箱箱体对应主轴准停的位置上,装有磁传感器 2。当机床需要停车换刀时,数控装置发出主轴停转指令,主轴电动机立即降速,在主轴以最低转速慢转几圈、永久磁铁 3 对准磁传感器 2 时,磁传感器发出准停信号,该信号经放大后,由定向电路控制主轴电动机停在规定的周向位置上,同时限位开关发出信号,表示已完成。

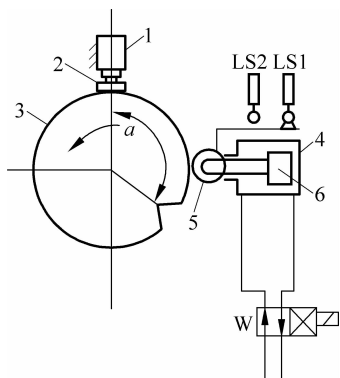


图 3-6 V形槽轮定位盘准停装置原理图
1—无触点开关; 2—感应块; 3—V形槽轮定位盘;
4—定位液压缸; 5—定向滚轮; 6—定向活塞

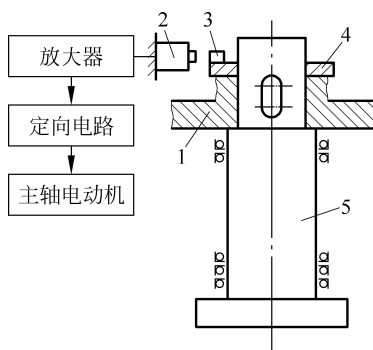


图 3-7 JCS-018 加工中心主轴电气准停装置原理图
1—多楔带轮; 2—磁传感器; 3—永久磁铁; 4—垫片; 5—主轴

电气式主轴定向停止的特点是:不需要机械部件,定向时间短,可靠性高;只需要简单的强电顺序控制,精度和刚度高。

(4) 主轴内刀具自动装卸及吹屑装置。在加工中心上,为了实现刀具在主轴上的自动装卸,除了要保证刀具在主轴上正确定位之外,还必须设计自动夹紧装置。

图 3-8 为 JCS-018 加工中心主轴部件结构图。刀杆采用 7:24 的大锥度锥柄,既有利于定心,也为松夹带来了方便。在锥柄的尾端轴颈被拉紧的同时,通过锥柄的定心和摩擦作用将刀杆夹紧于主轴的端部。在蝶形弹簧 5 的作用下,拉杆 4 始终保持约 10000N 的拉力,并通过拉杆右端的钢球 12 将刀杆的尾部轴颈拉紧。换刀时首先将压力油通入主轴尾部的液压缸左腔,油缸活塞 6 推动拉杆 4 向右移动,将刀柄松开,同时使蝶形弹簧 5 压紧。拉杆 4 的右移使右端的钢球 12 位于套筒的喇叭口处,消除了刀杆上的拉力。

当拉杆继续右移时,喷气嘴的端部把刀具顶松,使机械手方便地取出刀杆。机械手将应换刀具装入后,电磁换向阀动作使压力油通入油缸右腔,油缸活塞 6 向左退回原位,蝶形弹簧复原又将刀杆拉紧。螺旋弹簧 11 使油缸活塞 6 在液压缸右腔无压力时也始终退在最左端,当活塞处于左右两个极限位置时,相应限位行程开关 8、10 发出松开和夹紧的信号。

自动清除主轴孔内的灰尘和切屑也是换刀过程中的一个重要问题。如果主轴锥孔中落入切屑、灰尘或其他污物,在拉紧刀杆时,主轴锥孔表面和刀杆的锥柄就会被划伤,甚至会使刀杆发生偏斜,破坏刀杆的正确定位,影响零件的加工精度。为了保持主轴锥孔的清洁,常采用的方法是使用压缩空气吹屑。在图 3-8 中,当主轴部件处于松刀状态时,主轴顶端的油缸与拉杆是紧密接触的,此时,压缩空气通过油缸活塞 6 和拉杆 4 中间的通孔,由压缩空气管接头 9 喷出,以吹掉主轴锥孔上的灰尘、切屑等污物,保证主轴孔的清洁。

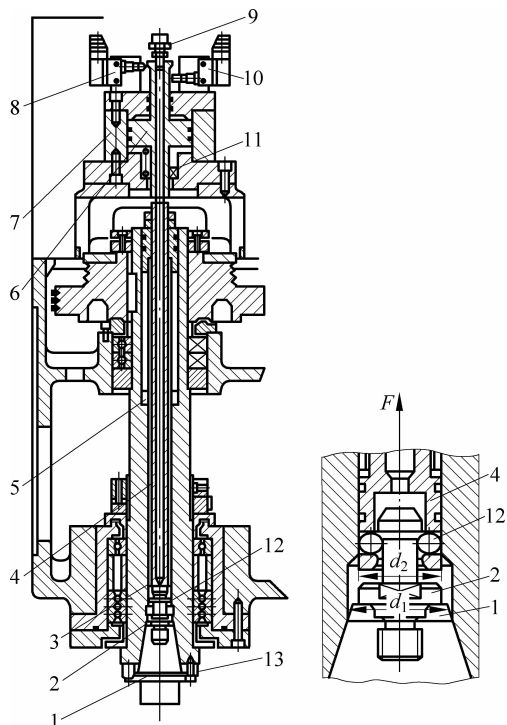


图 3-8 JCS-018 加工中心的主轴部件结构图

1—刀架；2—拉钉；3—主轴；4—拉杆；5—蝶形弹簧；6—油缸活塞；7—液压缸；
8、10—行程开关；9—压缩气管接头；11—螺旋弹簧；12—钢球；13—端面键

3.3 数控机床的进给传动系统

进给系统机械传动结构是进给伺服系统的主要组成部分,主要由传动机构、运动变换机构、导向机构、执行件组成,它是实现成形加工运动所需的运动及动力的执行机构。由于数控机床的进给运动是数字控制的直接对象,被加工工件的最终位置精度和轮廓精度都与进给运动的传动精度、灵敏度和稳定性有关。

3.3.1 数控机床进给传动系统要求

为了确保数控机床进给系统的传动精度和工作平稳性,在设计机械传动装置时,应注意以下要求。

1. 提高传动精度和刚度

数控机床本身的精度,尤其是进给传动装置的传动精度和定位精度对零件的加工精度起着关键性的作用,是数控机床的特征指标。为此,首先要保证各个传动件的加工精度,尤其是提高滚珠丝杠螺母副(直线进给系统)、蜗杆副(圆周进给系统)的传动精度。另外,在进给传动链中加入减速齿轮以减小脉冲当量(即伺服系统接收一个指令脉冲驱动工作台移动的距离),从系统设计的角度分析,也可以提高传动精度;通过预紧传动滚珠丝杠,消除齿轮、蜗轮等传动件的间隙等办法,来提高传动精度和刚度。

2. 减少各运动零件的惯量

传动件的惯量对进给系统的启动和制动特性都有影响,尤其是高速运转的零件,其惯量的影响更大。在满足传动强度和刚度的前提下,尽可能减小执行部件的质量,减小旋转零件的直径和质量,以减少运动零件的惯量。

3. 减少运动件的摩擦阻力

机械传动结构的摩擦阻力,主要来自丝杠螺母副和导轨。在数控机床进给系统中,为了减小摩擦阻力,消除低速进给爬行现象,提高整个伺服进给系统的稳定性,广泛采用滚珠丝杠和滚动导轨以及塑料导轨和静压导轨等。

4. 响应速度快

所谓快速响应特性是进给系统对输入指令信号的响应速度及瞬态过程结束的迅速程度。快速响应是伺服系统的动态性能,反映了系统的跟踪精度。工件加工过程中,工作台应能在规定的速度范围内灵敏而精确地跟踪指令,在运行时不出现丢步和多步现象。进给系统响应速度的大小不仅影响到机床的加工效率,而且影响加工精度。设计中应使机床工作台及传动机构的刚度、间隙、摩擦及转动惯量尽可能达到最佳值,以提高伺服进给系统的快速响应性。

5. 较强的过载能力

由于电动机频繁换向,且加减速速度很快,电动机可能在过载条件下工作,要求电动机有较强的过载能力,一般要求在数分钟内过载4~6倍而不损坏。

6. 稳定性好,寿命长

稳定性是伺服进给系统能够正常工作的最基本条件,特别是在低速进给情况下不产生爬行,并能适应外加负载的变化而不发生共振。稳定性与系统的惯性、刚度、阻尼及增益等都有关系,适当选择各项参数,并能达到最佳的工作性能,是伺服系统设计的目标。

所谓进给系统的寿命,主要指其保持数控机床传动精度和定位精度的时间长短,即各传动部件保持其原来制造精度的能力。为此,应合理选择各传动部件的材料、热处理方法及加工工艺,并采用适当的润滑方式和防护措施,以延长其寿命。

7. 使用维护方便

数控机床属于高精度自动控制机床,主要用于单件、中小批量、高精度及复杂的生产加工,机床的开机率相应就高,因而进给系统的结构设计应便于维护和保养,最大限度地减小维修工作量,以提高机床的利用率。

3.3.2 滚珠丝杠螺母副

丝杠螺母副是机床上常用的运动变换机构,其功用是将旋转运动变换成直线运动。按丝杠与螺母的摩擦性质不同可将数控机床常用的丝杠螺母运动副分为以下几类:滑动丝杠螺母副,主要用于旧机床的数控化改造、经济型数控机床等;滚珠丝杠螺母副,广泛用于中、高档数控机床;静压丝杠螺母副,主要用于高精度数控机床、重型机床。这里主要介绍一下滚珠丝杠螺母副的结构、特点、设计要求和应用。

1. 滚珠丝杠的结构

滚珠丝杠由丝杠、螺母、滚珠和滚珠返回装置4个部分组成。在丝杠和螺母上加工有弧形螺旋槽,当它们套装在一起时便形成了螺旋滚道,滚道内装满滚珠。丝杠回转时,为保持丝杠

螺母的连续工作,滚珠通过螺母上的返回装置完成循环。按照滚珠的循环方式,滚珠丝杠螺母副分成内循环方式和外循环方式两大类(见图 3-9)。

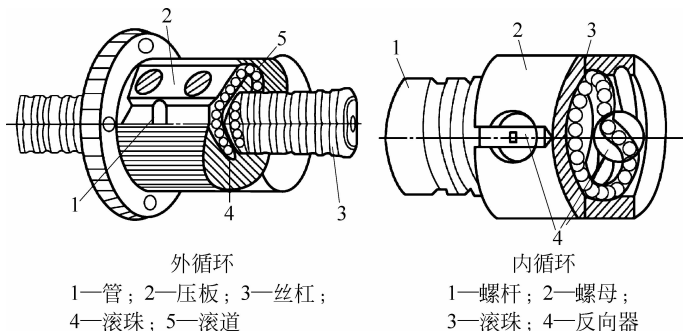


图 3-9 滚珠丝杠循环方式

内循环方式指在循环过程中滚珠始终保持和丝杠接触,这种方式螺母结构紧凑,定位可靠,刚性好,不易磨损,返回滚道短,不易产生滚珠堵塞,摩擦损失小。缺点是结构复杂、制造较困难。

外循环方式在循环过程中滚珠与丝杠脱离接触。由于外循环方式制造工艺简单、应用广泛;螺母径向尺寸较大;因用弯管端部作挡珠器,故刚性差、易磨损,噪声较大。

2. 滚珠丝杠螺母副的特点

(1) 传动效率高、摩擦损失小。滚珠丝杠副传动的效率 η 高达 85%~98%,是普通滑动丝杠的 2~4 倍。因此,功率消耗只相当于常规丝杠的 1/4~1/2。

(2) 运动灵敏,低速时无爬行。由于滚珠与丝杠和螺母之间的摩擦是滚动摩擦,静摩擦阻力及动静摩擦阻力差值小,采用它是提高进给系统灵敏度、定位精度和防止爬行的有效措施之一。

(3) 传动精度高,刚性好。通过适当的预进,可消除传动间隙,实现无间隙传动。

(4) 滚珠丝杠螺母副的磨损很小,使用寿命长。

(5) 无自锁能力,具有传动的可逆性。故对于垂直使用的丝杠,由于重力的作用,当传动切断时不能立即停止运动,应增加自锁装置。

(6) 滚珠丝杠螺母副制造工艺复杂,滚珠丝杠和螺母的材料热处理和加工要求相当于滚动轴承。螺旋滚道必须磨削,制造成本高。

3. 滚珠丝杠螺母副的选用要点

滚珠丝杠的选择包括其精度、尺寸规格(包括导程与公称直径)、支承方式等几个方面的内容。应该根据机床的精度要求来选用丝杠副的精度,根据机床的载荷来选定丝杠的直径,在加工中心的设计中一般按额定动载荷来确定滚珠丝杠副的尺寸规格,对细长而又承受压缩载荷的滚珠丝杠作压杆稳定性核算;对转速高,支承距离大的滚珠丝杠副作临界转速校核;对精度要求高的滚珠丝杠作刚度校核;对数控机床,需核算其转动惯量;对全闭环系统,需核算其谐振频率。

(1) 精度等级的选择。滚珠丝杠副的精度将直接影响数控机床各坐标轴的定位精度。滚珠丝杠螺母副按精度分为 4 种类型(见表 3-1)。普通精度的数控机床,一般可选用 P 级,精密级数控机床选用 C 级精度的滚珠丝杠副。丝杠精度中的导程误差对机床定位精度影响最明显。而丝杠在运转中由于温升引起的丝杠伸长,将直接影响机床的定位精度。通常需要计算