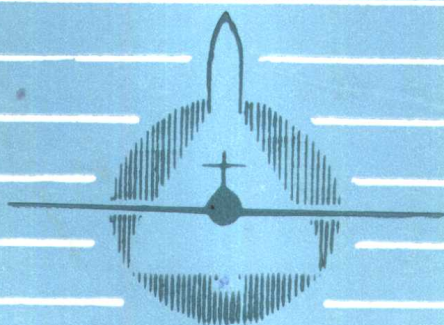


金属切削机床构造 与设计

(下 册)

孙 振 均 主 编



502

2

国防工业出版社

金属切削机床构造与设计

(下 册)

南京航空学院
北京航空学院 合编
西北工业大学
孙振均 主编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书包括金属切削机床概论和金属切削机床设计两大部分。全书共分六章。内容包括：普通车床、自动车床、滚齿机及数控机床等典型机床的传动及结构；机床设计概述；机床变速传动系统设计；机床主轴部件设计；机床支承件及导轨；机床控制系统。本书分上、下两册。下册内容为：机床主轴部件设计、机床支承件及导轨、机床控制系统。共三章。

本书是航空高等院校机械制造工程专业的教材，各章附有复习思考题。本书也可作为其他院校、厂办大学、电视大学及函授大学机械专业的教材或教学参考书。并可供有关工程技术人员参考。

金属切削机床构造与设计

(下 册)

南京航空学院 北京航空学院 西北工业大学 合编

北京航空学院 孙振均 主编

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张10 231千字

1985年6月第一版 1985年6月第一次印刷 印数：0,001—6,000册

统一书号：15034·2900 定价：1.90元

目 录

第四章 机床主轴部件设计

第一节 对主轴部件的基本要求	1
一、旋转精度	1
二、静刚度	1
三、抗振性	2
四、温升和热变形	2
五、精度持久性	2
第二节 典型的主轴部件结构	3
一、普通车床的主轴部件	3
二、铣床的主轴部件	3
三、坐标镗床的主轴部件	4
四、外圆磨床的主轴部件	6
五、内圆磨头的主轴部件	7
第三节 主轴部件设计	8
一、主轴	8
二、主轴轴承	10
三、主轴部件的设计计算	22
第四节 用传递矩阵法计算主轴部件的动态特性	36
一、基本计算模型	37
二、传递矩阵法	38
第五节 提高主轴部件性能的措施	45
一、提高旋转精度	45
二、提高刚度	47
三、提高抗振性	50
四、减少热变形	52
五、提高精度持久性	52
第五章 机床支承件及导轨	55
第一节 支承件的基本要求	55
第二节 支承件的静力分析	55
第三节 机床及其支承件的动态分析	56
一、振动系统的自由度和动力学模型	56
二、单自由度系统	58
三、自激振动与切削稳定性	69
四、支承件的基本振型	80
五、提高抗振性的措施	82
第四节 支承件的结构设计	83

一、材料及热处理	83
二、设计原则	84
三、典型结构	86
四、结构工艺性	89
第五节 用有限元法设计支承件简介	89
第六节 导轨概述	90
一、功用及要求	90
二、设计任务	91
三、类型及特点	92
第七节 滑动导轨	93
一、结构型式	93
二、提高耐磨性的措施	97
三、技术要求	104
四、爬行现象及防爬措施	105
第八节 滚动导轨	109
一、特点、材料及技术要求	109
二、设计计算	110
第六章 机床控制系统	118
第一节 概述	118
一、控制系统的作用	118
二、控制系统的基本要求	118
三、控制系统的组成	118
四、控制系统的分类	119
第二节 机械式凸轮控制系统	119
一、用分配轴的控制系统	120
二、用分配轴和辅助轴的控制系统	121
第三节 程序控制系统	122
一、程序步进器	123
二、程序预选装置及其应用	126
三、顺序控制器	128
第四节 随动系统	133
第五节 数字控制系统	138
一、数字控制系统的组成	138
二、数字控制系统的分类	138
三、开环数字控制系统的驱动装置	140
四、闭环数字控制系统的位置检测装置	143

第四章 机床主轴部件设计

主轴部件是机床的重要部件之一。主轴部件由主轴、主轴支承和安装在主轴上的传动件、密封件等组成。机床工作时，主轴带动工件或刀具直接参加被加工表面的成形运动，并传递动力，它所传递的功率约占整台机床的80%。主轴部件又是工件或刀具的支承件，承受切削力、进给力、驱动力以及工件或刀具的重力等，并要保证与机床其它部件之间有精确的相对位置。主轴转速在很大程度上影响着机床的生产率，其旋转精度在很大程度上影响着工件的加工精度。

第一节 对主轴部件的基本要求

各种机床主轴的工作情况虽然不同，它们所要求的转速范围和承受的载荷也相差很大，但对它有一个共同的要求，这就是主轴在工作载荷下，应能长期保持所需要的稳定的工作精度，以保证工件有合格的加工精度和表面光洁度。

一般而言，对机床主轴部件的基本要求如下：

一、旋转精度

主轴部件的旋转精度是指机床空载低速时，在主轴前端安装工件、夹具或刀具定位面上用千分表测得的径向跳动量和轴向跳动量。它是机床的一项主要的精度指标，并直接影响被加工零件的几何精度和表面光洁度。主轴部件的旋转精度取决于主轴部件的主要零件（如主轴、轴承等）的制造精度和装配精度。机床主轴部件旋转精度的指标，可按《机床设计手册》I-通用标准资料第560~600页选用。

主轴部件的旋转精度是在静态下测量的，它虽然不能完全反映主轴在有载运转时的实际情况，但能在一定程度上起到保证受载时主轴动态旋转精度的作用。对高精度机床来说还需要作动态旋转精度的测定。

二、静刚度

主轴部件的静刚度是指在外力作用下抵抗变形的能力，也就是在外力作用下，主轴应仍能保持一定的工作精度。主轴部件刚度的大小通常是使主轴前端产生单位位移时，在位移方向上所需施加的作用力的大小来表示。它综合地反映了主轴和轴承的变形。如图4-1所示，当主轴的跨距为 L 及悬伸量为 a 时，在主轴端部加作用力 P （牛顿），如主轴端部产生的位移量为 y （微米），则主轴部件的静刚度值为 P/y （牛顿/微米）。

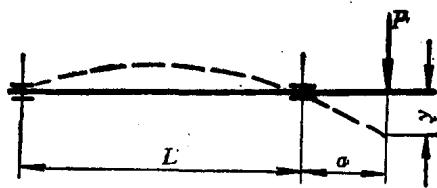


图4-1 主轴刚度值的确定

这个位移量直接与加工精度有关，但与工件或刀具的安装方式及其尺寸无关，因此它比较能反映主轴部件的结构性能。

如果主轴部件的静刚度不足，将使主轴在切削力和传动力的作用下，产生较大的弹

性变形, 并且容易引起振动; 这样不仅会降低加工精度和表面光洁度, 也还会使齿轮等传动件和轴承等因受力不均匀而恶化工作条件。

影响主轴部件静刚度好坏的因素较多, 计有: 主轴的结构尺寸, 轴承的类型和它的安装方式, 轴承间隙的大小, 传动件的布置方式以及主轴部件的制造精度和装配质量等。

三、抗振性

主轴部件的抗振性是指机床进行切削时, 抵抗振动并保持平稳地运转的能力。机床如产生振动会影响工件的表面质量、刀具耐用度和主轴轴承的寿命, 还会产生噪声影响工作环境。主轴部件在运转时应尽量减少振动, 这对高速机床和高精度机床尤为重要。

主轴部件的振动有受迫振动和自激振动两种。受迫振动是由机床外部的振源或由机床的其它部分的振动引起的, 因此它的振动频率和外界干扰力的频率有关; 但也可能由于主轴部件本身所造成, 如主轴上零件(包括主轴本身、传动件及所装的工件或刀具等)的不平衡所产生的离心力, 传动件运动不均匀(如皮带接头不好、质量分布不均及齿轮和轴承的精度差等)都可引起受迫振动。自激振动由切削过程本身所引起并能持续不衰。当振源的频率越接近主轴部件的固有频率时, 振动就越激烈, 这就是所谓共振现象。主轴部件的静刚度和阻尼越大, 抗振性越好。

由此可见, 影响主轴部件抗振性的主要因素是主轴部件的阻尼、静刚度和固有频率, 并与主轴的传动方式、轴承的类型、主轴部件质量的分布情况、齿轮和轴承等零件的制造精度和装配质量等有关。

四、温升和热变形

主轴部件的热变形是指机床工作时, 因其相对运动处的摩擦和搅油等发热造成各部分间的温差, 使主轴部件在形状和位置上产生畸变。主轴部件的热变形应以运转一段时间后因发热而造成的各部分位置变化来度量, 也可以用各部分的温升近似地表示。

主轴部件在运转中温升过高会引起两方面的不良后果: (1) 主轴部件和主轴箱体因热膨胀而变形, 使主轴的旋转中心线和机床其它部分的相对位置(例如车床的主轴中心相对于尾架中心)发生变化, 直接影响加工精度。(2) 轴承等元件因温度过高而改变已调好的间隙并破坏润滑条件, 从而影响轴承的正常工作。严重时甚至会发生“抱轴”。

使主轴部件产生温升和热变形的热源, 主要是主轴支承中的径向轴承和轴向轴承、润滑油以及直接联在主轴上的电动机等。按照 JB2278-78 规定: 主轴在最高转速下运转达到稳定温度(温度上升不超过每小时 5°C) 时, 滑动轴承温度不得超过 60°C , 温升不得超过 30°C ; 滚动轴承温度不得超过 70°C , 温升不得超过 40°C 。高精度机床(如坐标镗床) 主轴轴承的温度不得超过 10°C 。

五、精度持久性

主轴部件的精度持久性是指长期保持其原来制造精度的能力。为此, 主轴部件的各滑动表面, 包括主轴轴颈与滑动轴承配合面、钻镗床等轴向移动的主轴部件的导向表面以及主轴端部和内锥孔等都必须具有一定的耐磨性。

滑动轴承和滚动轴承的磨损不仅使主轴部件丧失原有的运转精度, 而且还将降低刚度和抗振性。因此, 必须保证这些部分的耐磨性以及轴承间隙具有调整的可能性。影响主轴部件精度持久性的主要因素是主轴本身和轴承的材料和热处理, 轴承(或衬套) 类型以及润滑方式等。

主轴部件除应保证上述的工作性能要求外，在结构上对它还有下列要求：

1. 主轴定位可靠 主轴在切削力和传动力的作用下，应有可靠的径向定位和轴向定位，使主轴在工作时所受的切削力和传动力通过轴承的可靠定位而传到主轴箱体等基础件上去。定位方式应简单，结构应紧凑；
2. 主轴端部的结构应保证工件或刀具装夹可靠和定位准确；
3. 主轴部件要保持可靠的润滑和密封 采用适当的材料和热处理方法，合理选择前后轴承及其支承组合，并采用可靠的润滑装置和密封装置；
4. 结构工艺性好 在保证好用的基础上，尽可能地便于加工、装拆和修理。

第二节 典型的主轴部件结构

一、普通车床的主轴部件

普通车床一般属于普通精度级、通用性好、加工范围广的机床。它的主轴部件要有较大的变速范围，并能适应不同载荷的变化。设计时应考虑主轴部件既有较好的刚度，并能传递足够的动力和转速。

1. CA6140型普通车床的主轴部件（图4-2）

CA6140型普通车床的主轴部件是由主电动机（7.5千瓦）带动，主轴转速为10~1400转/分。

主轴部件主要由主轴、主轴支承及传动齿轮等三部分组成，其主要结构的说明详见第一章第一节中的主轴部件（图1-4）。

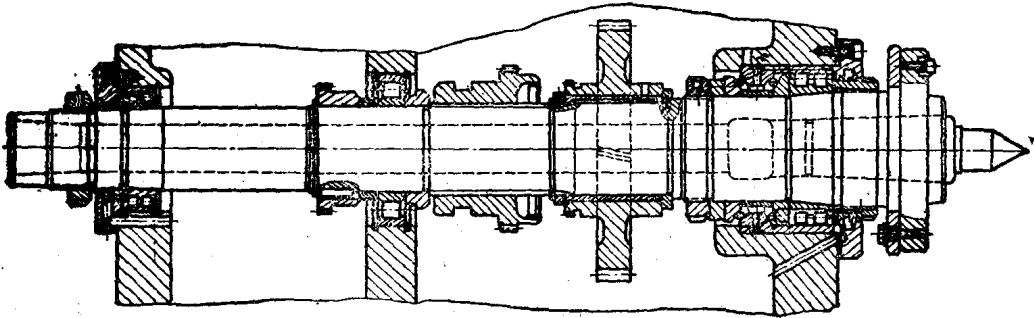


图4-2 CA6140型普通车床的主轴部件图

2. 装 Gamet 轴承的车床主轴部件（图4-3）

这种车床的主轴部件其前支承为 Gamet H系列的双列圆锥滚子轴承，它的外环靠法兰轴向定位，并由端盖2压紧，其间隙靠螺母1调整。后轴承为 Gamet P系列单列圆锥滚子轴承，靠弹簧预紧。当轴颈直径不超过180毫米时，前轴承内环与主轴径向保持5~15微米的过盈；外环与箱体间保持5~20微米的间隙。

二、铣床的主轴部件

铣床系属于转速较高、普通精度级、载荷较大及断续切削的机床。一般在它的主轴（或靠近主轴的传动轴）上装有质量较大的传动齿轮，它能起飞轮的作用。

铣床主轴部件的前轴承也采用双列短圆柱滚子轴承；后轴承由于主轴最高转速已超过推力轴承允许的转速而改用两个向心推力轴承。

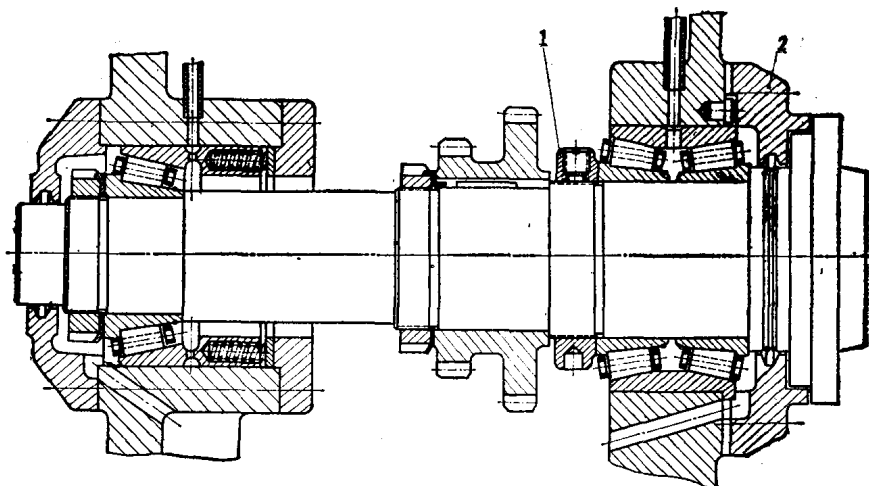


图4-3 装 Gamet 轴承的主轴部件图

1—螺母；2—端盖。

图 4-4 所示为 XK5040 型数控立式铣床的主轴部件图。该部件带动铣刀旋转实现各种各样的铣削加工。其转速范围为 40~2000 转/分。

主轴端部系短圆柱面，供安装铣刀盘定位之用，两个端面键（装在主轴端部的凹槽中）用来传递扭矩。主轴端部内有锥孔，供安装锥柄铣刀之用，但其锥度为 7:24，不能自锁。因此，主轴制有通孔（图中未示出），可由该孔的上端插入一根拉杆，用拉杆末端的螺纹拉紧锥柄铣刀。

主轴前支承采用 D3182118 型圆锥孔双列向心短圆柱滚子轴承 1，承受径向载荷；后支承采用 E46117 型成对向心推力球轴承 6，承受径向载荷和轴向载荷。

调整前轴承 1 间隙时，先拧下螺钉 2，可从两边取出半圆环 3，通过配磨半圆环 3 的厚度来控制轴承间隙的调整量。半圆环 3 磨薄后装上并用螺钉 2 固定，这时半圆环 3 与轴承内圈端面间有一定的轴向间隙，转动螺母 8 则可使轴承内圈轴向移动而使其端面紧靠于半圆环 3 上。这样由于轴承 1 内圈在主轴锥面上轴向移动，产生弹性变形而撑大，即可调整前支承的径向间隙。隔套 4 用来保证轴承外圈的定位和便于取出外环。后支承的两轴承系“正装置”（即外圈窄边相对）。因此在调整轴承间隙时，先要磨外隔套 7，然后拧紧螺钉 13，通过法兰盘 9 使两个轴承的外圈靠紧，这样即可使轴承的间隙得到调整。

主轴的旋转运动是由齿轮 10 经过套筒 11 传给主轴。齿轮 10 与套筒 11 用键相连。套筒 11 与主轴也用两个相隔 180° 的平键相连。该两平键（图中只示出一平键 12）固定在套筒 11 上，故主轴套筒 5 带动主轴作上下调整移动时，该两平键不会滑出。由于套筒 11 安装在两个向心球轴承上，因此齿轮 10 的作用力经过套筒 11 和轴承直接传至主轴头的壳体上，使主轴“卸荷”，即主轴只传递扭矩而不受弯矩的作用。这样，有利于减少主轴的变形，以提高主轴的工作精度。

三、坐标镗床的主轴部件

图 4-5 所示为 T 4163 B 型立式单柱坐标镗床的主轴部件图。该部件属于精密机床的主轴部件，它的前支承是一个特殊结构的双列圆锥滚子轴承 2，具有刚度高、旋转精度

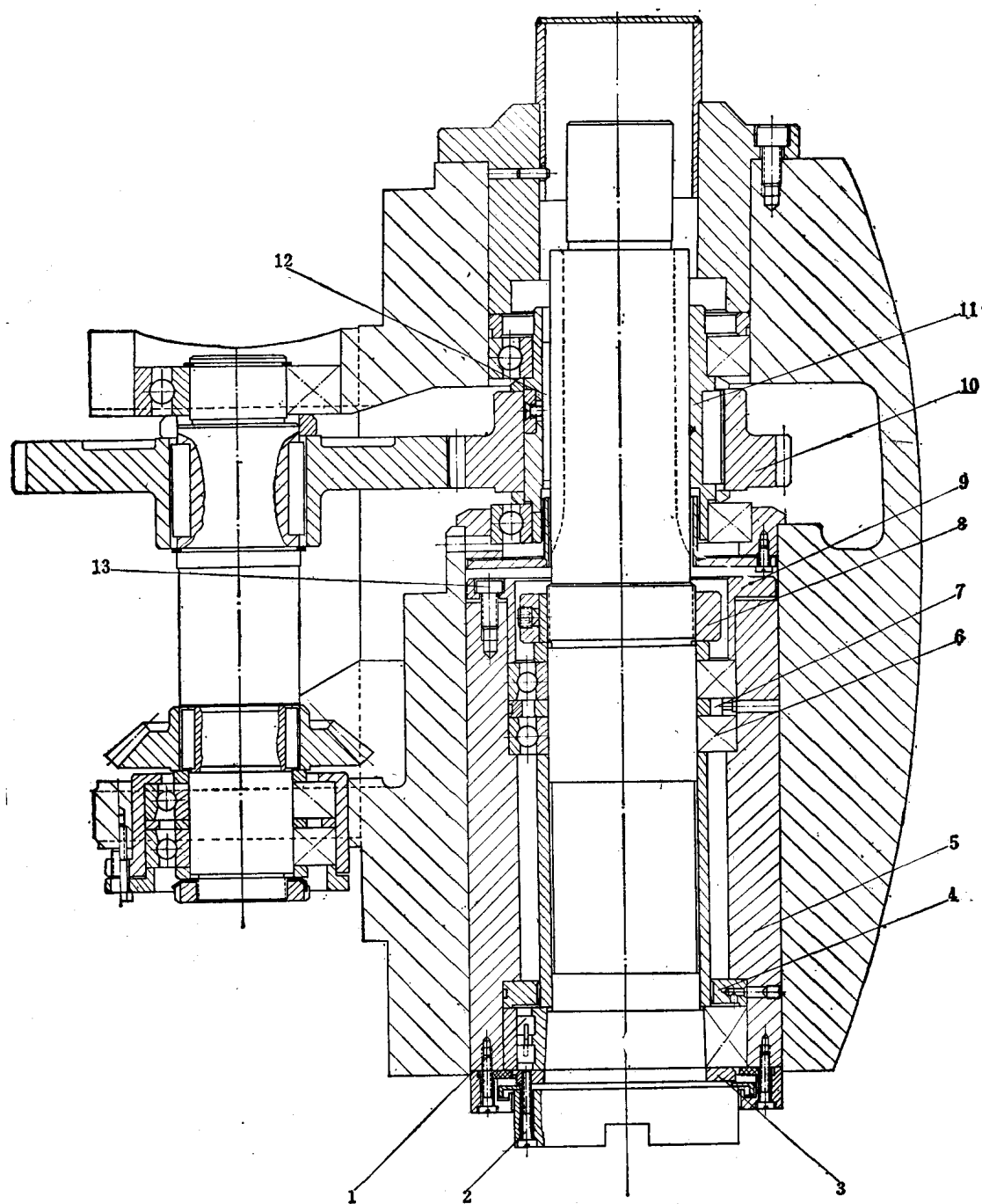


图4-4 XK5040 型数控立式铣床的主轴部件图

1—双列向心短圆柱滚子轴承；2—螺钉；3—半圆环；4—隔套；5—套筒；
6—向心推力球轴承；7—隔套；8—螺母；9—法兰盘；10—齿轮；11—套
筒；12—平键；13—螺钉。

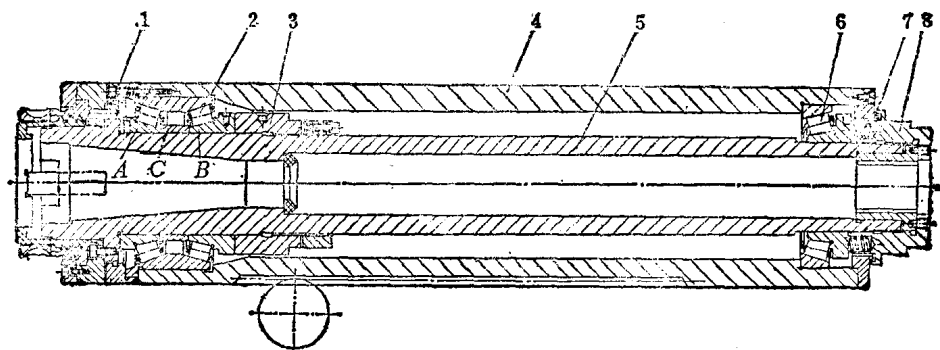


图4-5 T4163B型坐标镗床的主轴部件图

1—压盖；2—双列圆锥滚子轴承；3—螺母；4—套筒；5—主轴；6—后轴承；7—弹簧；8—螺母；
A—内圈；B—外圈；C—隔套。

高及使用寿命长的特点。轴承2的定位和预紧方法如下：轴承2的外圈有台阶，用压盖1将它压紧在套筒4的端面上；它的内圈由A、B两件组成，中间放隔套C，装配前修磨隔套C至一定厚度，装配时拧紧螺母3，使内圈A、B和隔套C三件压紧，这样就可使轴承2预紧。后轴承6由弹簧7来压紧。弹簧7的压紧力大小用螺母8调整。这种结构的优点是：主轴5热胀后不会引起它的弯曲变形，由于后轴承间隙能自动消除，而使预紧力大小基本保持不变。

为了减少主轴部件的振动及热变形，机床主运动传动结构采用分离驱动。从主电动机来的运动经变速箱、三角皮带传动主轴。

四、外圆磨床的主轴部件

磨床砂轮主轴部件应有较高的旋转精度、较小的变形、运转要平稳，以保证被加工零件获得较高的加工精度和表面光洁度。

图4-6为M1432A型外圆磨床砂轮架的主轴部件图，主轴转速为1670~1990转/分。

主轴端部有锥度为1:5的锥颈，用以安装经过静平衡的砂轮，砂轮卡盘与主轴端部锥面配合的定心精度高，安装完毕用左旋的螺母拧紧。

主轴由电动机经主轴尾部的三角皮带轮传动获得旋转运动。三角皮带轮传动较齿轮传动平稳，这有利于提高工件的加工质量。

主轴支承在两个短三瓦型的滑动轴承上，承受径向载荷并使主轴径向定位。后支承皮带轮处的D8210型推力球轴承和轴肩承受主轴的轴向载荷及轴向定位。法兰与主轴后端轴肩组成的滑动轴承用以承受向右的轴向力，向左的轴向力则由推力球轴承承受。推力球轴承磨损后的间隙，则由皮带轮内的弹簧($\phi 1 \times \phi 6 \times 40$)自动补偿。

短三瓦型的滑动轴承，又称短三瓦调位轴承，由三块扇形轴瓦组成。轴瓦的背面与箱体孔不接触，而是支承在球头螺钉上。球头螺钉的球部和轴瓦背面的凹球面经过研配，接触面积不小于80%，因而具有较高的支承刚度。通过三个球头螺钉可以精确调整轴承间隙，主轴轴颈与轴承间的径向间隙为0.01毫米，它具有周向和轴向的双向自位作用。在砂轮架内装有润滑油，三个压力油楔可以平衡外加载荷，并力图把主轴保持在轴承的中心位置，使主轴的轴心位置比较稳定，故旋转精度较高。由于轴瓦背面的凹球面的位置是不对称的，因此主轴只限于朝一个方向旋转，不可反转，反转则不能形成压力油

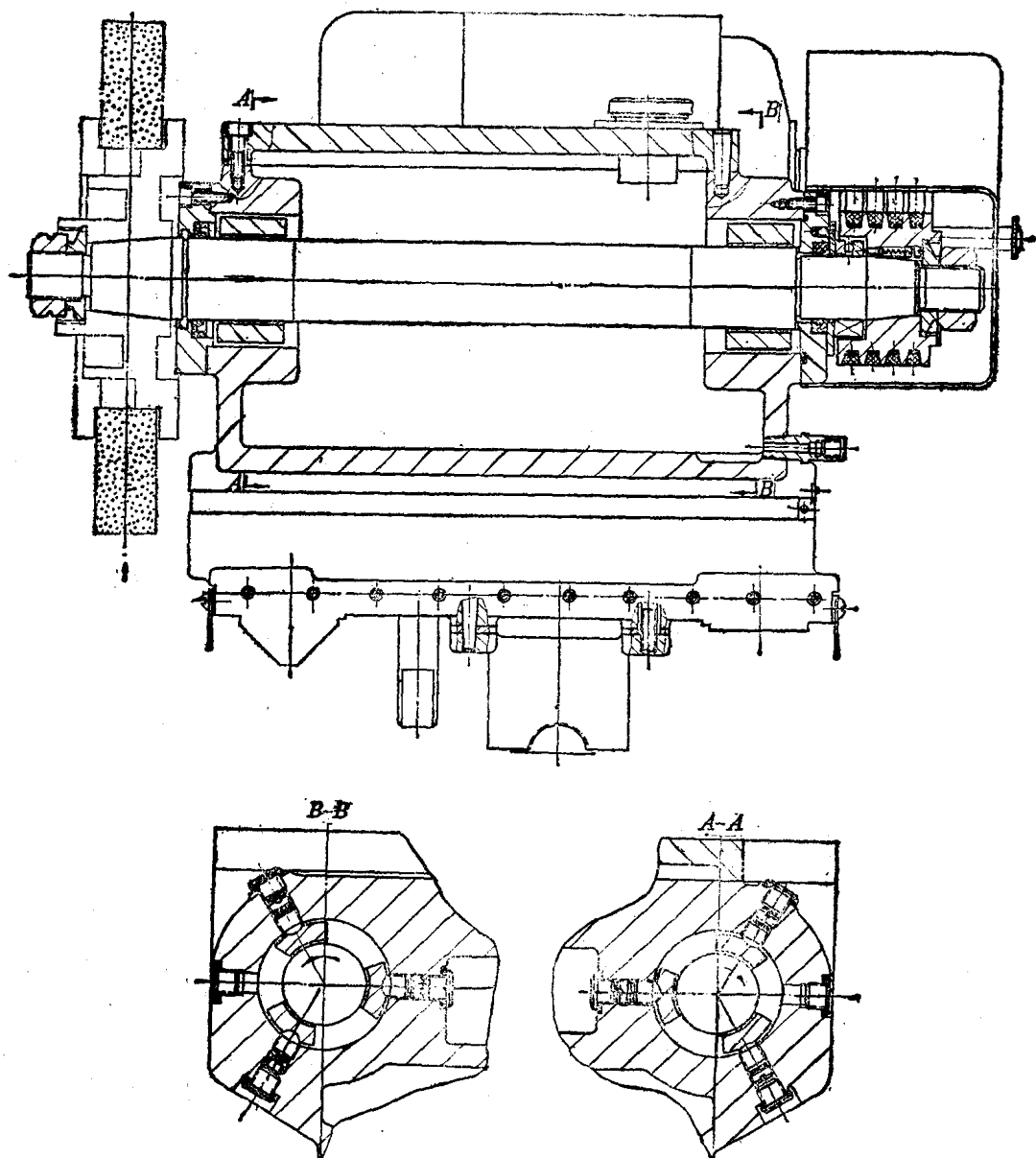


图4-6 M1432 A 型外圆磨床砂轮架的主轴部件图

楔。这种轴承的油膜压力，是靠一定的轴颈圆周速度（ $v > 4$ 米/秒）而形成的，故属于动压滑动轴承。在高速低压时，它比滚动轴承抗振性好和运转平稳，因此得到广泛的应用。

在砂轮架内装有润滑油，故砂轮架壳体两端的法兰中均装有皮碗式的密封装置。

五、内圆磨头的主轴部件

图 4-7 所示为内圆磨头的主轴部件图，它属于高转速、轻载荷的主轴部件。主轴支承常采用向心推力球轴承。砂轮的接长轴装在主轴 3 内，用锥孔底部的螺纹连接并拉紧。因为砂轮受力点离前轴承的距离较长，所以轴承的刚度要高。这种磨头前后各采用了两个 D36207 型向心推力球轴承，以提高刚度。两个轴承的内、外环间各有一隔套 7 和 8，

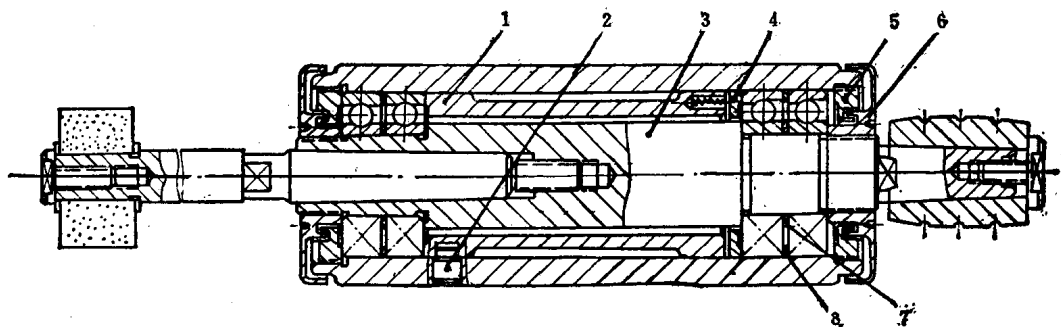


图4-7 内圆磨头的主轴部件图

1—套筒；2—止动销；3—主轴；4—垫圈；5—外螺母；6—内螺母；7—内隔套；8—外隔套。

修磨它们的厚度就可使两个轴承受力均匀。套筒1右端有弹簧顶住的垫圈4，使两个后轴承的外环始终受弹簧推力，保持一定的预紧。如主轴运转发热而略有伸长，也能自动消除间隙而使预加载荷的大小基本保持不变。套筒1靠止动销来定位。

第三节 主轴部件设计

主轴部件设计包括结构设计和它的主要尺寸设计计算两部分。

主轴部件设计的步骤大体是

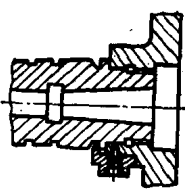
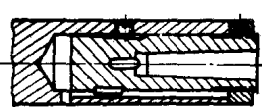
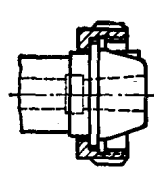
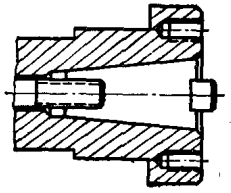
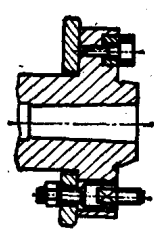
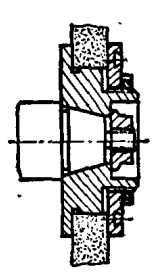
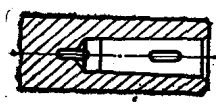
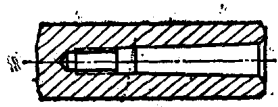
1. 收集和分析资料——包括国内外同类型机床主轴部件的图纸、技术条件的确定、试验研究报告以及轴承厂的产品目录和说明书等；
2. 初步选择参数——即主轴直径 D 、悬伸量 a 及支承间跨距 L 等；
3. 初步确定支承的型式及数量——包括选用何种轴承及其尺寸和数量；
4. 绘制结构草图——包括考虑传动件和支承件的布置、刀具或工件的装夹和定位，轴上的调整环节以及润滑密封等问题；
5. 进行必要的验算——包括强度、刚度及抗振性的验算，有时还需在类似的机床上做必要的试验以获得需要的数据；
6. 根据验算结果修改草图并绘制正式的主轴部件图和主要零件图，图中应包括采用的材料及热处理、主轴的加工和装配的精度及表面光洁度以及其它的技术要求等。

一、主轴

1. 主轴前端部的结构形状

主轴前端部的结构应保证夹具、顶尖或刀具的正确安装，装卸方便，并尽量缩短主轴前端的悬伸量。为了便于在主轴上安装各种标准刀具或夹具，主轴的前端形状已标准化。表4-1为几种通用机床主轴的前端部形状，表中第一种曾用于普通车床的旧结构（淘汰产品）。主轴凸肩前面的圆柱面作定位，螺纹部分用来紧固卡盘，主轴上还有防松压爪，以防主轴停转或倒转时卡盘脱落。这种轴端形状便于装卸卡盘或夹具，但主轴前端悬伸量较大，圆柱面定位不能完全消除间隙，定位精度较低。主轴前端的锥孔用来安装顶尖或心轴。第2种主轴前端带有长锥，用作卡盘（夹具）定位，扭矩靠键传递，并用套在主轴上的圆环将卡盘拉紧，这种结构的定位精度和刚度比前一种高，适用于普通车床。第3种主轴的轴端用短锥定位（见图4-2，CA6140型普通车床的主轴），并靠端面键传递扭矩。固定卡盘的螺栓预先旋紧在卡盘（图中未画出）上，然后将螺栓从主轴凸缘

表4-1 通用机床主轴的前端部形状

编号	主轴前端部形状	应 用	编号	主轴前端部形状	应 用
1		车 床	5		多轴钻床 组合机床
2		车 床	6		铣 床
3		车 床 六角车床 多刀车床 磨床头架 及其它机床	7		外圆磨床 砂轮主轴
4		钻 床 镗 床	8		内圆磨床 砂轮主轴

的孔中轴向穿入，再拧紧螺母固定住卡盘。这种连接方式的精度和刚度较高，卡盘装卸方便，主轴悬伸量小，广泛地用于普通车床、六角车床、多刀车床的主轴和磨床头架的工件主轴上。它的缺点是制造稍复杂。第4种主轴轴端带有莫氏锥度的锥孔，适用于钻镗类孔加工机床。锥孔用于定位，锥面和后端的扁槽用于传递扭矩。加工孔时有轴向力，而莫氏锥是自锁的，因此不需拉杆来拉紧刀具或镗杆。第5种主轴的轴端形状常用于多轴钻床或组合机床，主轴内孔做成圆柱形，带锥孔的接套可在主轴内孔中利用右端的螺母作轴向移动，以调整刀具的轴向位置。第6种主轴的轴端形状常用于铣床，锥孔用作安装铣刀或铣刀心轴的尾锥，并用拉杆自主轴孔中从后面拉紧。在安装端铣刀时可用螺钉固定。主轴前端装有端面键用来传递扭矩。由于不靠锥面的摩擦力传递扭矩，为了便于拆下锥柄，常用较大的锥度（7:24）。第7种主轴的轴端形状常用于外圆磨床砂轮主轴上，轴端用锥面定位以提高精度，锥度取1:5。第8种主轴的轴端形状常用于内圆磨床的砂轮主轴上，用莫氏锥定位，并用锥孔底部的螺纹拉紧砂轮的接长轴。

2. 主轴的材料和热处理

主轴材料的选择应根据所需的刚度、强度、耐磨性和热处理后的变形大小等确定。一般可采用45号钢作为机床的主轴。若它的支承为滚动轴承,可调质到HB220~250;若为滑动轴承在轴颈处高频淬硬到HRC50~55,以保证其耐磨性。如果主轴的载荷较大需要提高它的疲劳强度时,可采用40Cr或50Mn2钢。对于受冲击载荷较大的主轴或轴颈处需要更高的硬度时,可选用20Cr钢进行渗碳淬火处理。此外,主轴锥孔、卡盘定心轴颈以及钻镗床主轴的卸刀孔处也应淬硬到HRC45~55。

精密机床的主轴应选用热处理后残余应力较小的材料,如40Cr或45MnB钢。高精度磨床支承如为滑动轴承的砂轮主轴、镗床和坐标镗床的主轴都要有很高的耐磨性,其表面硬度应为HV1100~1200,相当于HRC69~72,可选用38CrMoAlA钢,并进行氮化处理。

3. 主轴的技术要求

通常主轴工作时,以其轴颈为安装基准作旋转运动。在加工主轴时,为了保证锥孔和轴颈的同轴度,一般都以轴颈作为工艺基准来最后精磨锥孔;在检查主轴时,以轴颈作为测量基准来检查各部分的同轴度和垂直度。轴颈及其定位轴肩的技术要求,应满足主轴的旋转精度要求。如果主轴支承采用滚动轴承时,根据滚动轴承的精度等级确定,可从滚动轴承公差表(参见GB276-64)中查得;如果采用滑动轴承时,由滑动轴承的技术要求确定。一般支承轴颈的尺寸精度为5级,几何形状公差(不圆度、不柱度)常取直径公差的 $1/4 \sim 1/2$ 。主轴端部和安装齿轮等零件的部位应与前后支承轴颈有不同轴度公差,通常可略小于直径公差的 $1/2$ 。止推端面对轴线的端面跳动不应大于该处直径公差的 $1/2$ 。普通精度级机床滑动轴承轴颈的光洁度为 $\nabla 9$,安装滚动轴承处为 $\nabla 8$,安装齿轮处为 $\nabla 7$,安装刀具或夹具的定位表面为 $\nabla 8$ 。磨床砂轮主轴的光洁度应高些,滑动轴承轴颈处为 $\nabla 10$,滚动轴承轴颈处为 $\nabla 9$ 。当主轴转速超过600转/分时,不配合的自由表面的光洁度也不应低于 $\nabla 6$ 。线速度超过3米/秒时,主轴部件应进行动平衡。

键槽与花键的制造精度会影响传动件的定心和移动是否轻便,因此除了保证键槽与花键公差中所规定的要求外,还要规定键槽与主轴中心的平行度和对称性。

螺纹部分常用来压紧滚动轴承或传动件,如果它的中心线与轴颈中心线不同心,会使轴承和传动件偏斜。一般规定螺纹的精度为6级,有的还规定装上螺母后,检验螺母端面对轴承轴颈的垂直度是否合乎要求。

二、主轴轴承

主轴部件所用的轴承有滚动轴承和滑动轴承两大类。一般机床的主轴部件采用滚动轴承较多,但滑动轴承具有工作平稳和抗振性好等特点也有一定的适用范围。特别是出现了各种多油楔的动压轴承和静压轴承后,使滑动轴承的应用范围又有所扩大,尤其是在一些精加工机床上,如外圆磨床及精密车床上常采用滑动轴承。

选用主轴部件的轴承时,应根据工作性能要求、制造条件及经济效果等作综合考虑。表4-2为滚动轴承和滑动轴承的性能比较,供选用时参考。

(一) 滚动轴承

1. 常用的几种主轴滚动轴承(图4-8)

a. 双列向心短圆柱滚子轴承 这种轴承有两类,分别见图(a)和(b),其中图(a)所示的轴承应用较广。这种轴承滚子多,两列滚子交叉排列,旋转时刚度的变化较小。其内

表4-2 滚动轴承和滑动轴承的性能比较

类别 基本要求	滚 动 轴 承	滑 动 轴 承	
		动 压 轴 承	静 压 轴 承
旋转精度	精度一般 在无隙或预加载荷下工作, 精度也可很高,但制造困难	单油楔轴承一般,多油楔 轴承较高	可以提高
刚 度	仅与轴承型号有关,与转 速及载荷无关。预紧后可提 高一些	随转速和载荷升高而增大	与节流形式有关,与载荷、 转速有关
承载能力	一般为恒定值,高速时受 材料的疲劳强度限制	随转速增加而增加,高速 时受温升限制	与油腔相对压力有关,不 计动压效应时与速度无关
抗振性能	较差 阻尼比 $\zeta = 0.03 \sim 0.04$	较好 阻尼比 $\zeta = 0.04 \sim 0.06$	很好 阻尼比 $\zeta = 0.04 \sim 0.06$
速度性能	高速时受疲劳强度和离心 力限制,低中速时性能较好	中高速时性能较好,低速 时不形成油膜,无承载能力	适应各种转速
摩擦功耗和摩擦系数	一般较小,润滑调整不当 时则较大 $f = 0.002 \sim 0.008$	较小 $f = 0.001 \sim 0.008$	本身功耗小,但泵功耗大 $f = 0.0005 \sim 0.001$
噪 声	较 大	无噪声	本身无噪声,但泵有噪声
寿 命	受疲劳强度限制	在不频繁启动时,寿命较 长	本身寿命无限,但供油系 统寿命有限

环有锥度为 1:12 的锥孔,与主轴的锥形轴颈相配合。当轴向移动内环时,可以把内环涨大,以消除间隙或加预紧力。所以它的承载能力和刚度都较高。但这种轴承只能承受径向载荷。图 (b) 所示的轴承滚道环槽是开在外环上,可将内环装在主轴的轴颈上后再精磨内环滚道,这样可避免主轴轴颈的不圆度影响滚道的精度,并保证滚道与主轴中心同心。

b. 双列圆锥滚子轴承 这种轴承见图 (c), 它由圆锥滚子、外环 2、两个内环 1 和 4 及隔套 3 组成。外环 2 有凸缘,因此箱体只需镗通孔。凸缘一端抵住箱体或主轴套筒的端面,另一端可用法兰压紧。修磨隔套 3 的厚度就可消除间隙并加预紧力。这种轴承既可承受径向载荷,又可承受双向的轴向载荷。结构简单,承载能力和刚度较高。广泛地用在坐标镗床等的主轴上。

c. Gamet 轴承 这类轴承是由法国 Gamet 公司首创的。图 4-8(d) 为 H 系列,用于前支承。图 (e) 为 P 系列,用于后支承。它们配套使用。这种轴承与一般的圆锥滚子轴承不同,采用油液润滑并降低温升。一般的滚动轴承如让大量的油液通过内外环之间,则由于滚动体的搅拌作用会大量发热,不能降低温升。为了解决这个问题, Gamet 轴承的滚子是中空的,保持架是整体加工的,可以把滚子之间的间隙占满。因此大部分油液被迫通过滚子的中孔,冷却最不易散热的滚子,小部分油液通过滚子与滚道之间起润滑作用。油液从外环中部的横向孔进入,流向两端。此外,中空的滚子还可吸收一部分振动。H 系列的滚子两列数目差一个,这样两列的刚度变化频率不同,以抑制振动。Gamet 轴承的外环较长,与箱体孔的配合可以松一些,箱体孔的不圆度对外环影响较

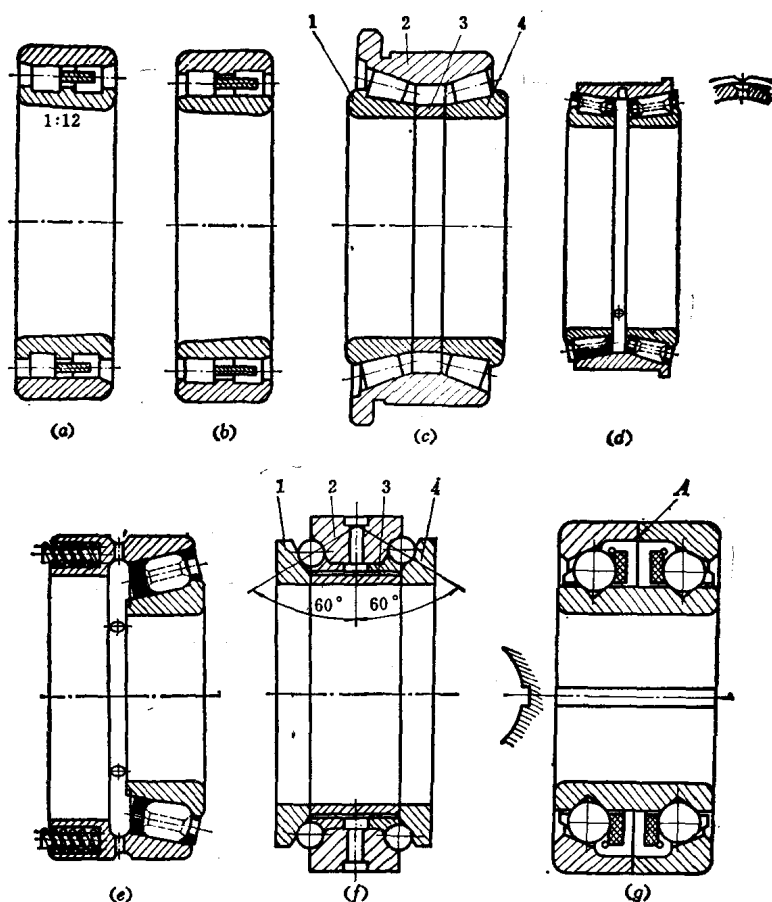


图4-8 常用的主轴滚动轴承

小。P系列的外环上有弹簧，可用作预紧。弹簧的数量为16~20个，根据直径大小而定。

精密的圆锥滚子轴承，无论是单列的或双列的，还是 Gamet 轴承，为了便于保证制造精度，内环滚道锥面的小直径端部没有挡边。

d. 双列向心推力球轴承 这种轴承如图(f)。它的轴向承载能力、刚度及极限转速都较高，可以与双列向心短圆柱滚子轴承配套使用，以承受双向轴向力。它由滚珠、外环2、内环1和4、隔套3等组成。接触角为 60° 。修磨隔套3就可消除间隙和预紧。它的内孔和外圆的名义直径与相应的双列向心短圆柱滚子轴承相同，但外径为负公差，与箱体孔间有间隙，因而不承受径向载荷。外环开有圆槽和油孔，以利润滑油进入轴承。这种轴承的极限转速与同尺寸的双列短圆柱滚子轴承也相同。

图(g)为一种特殊的双列球轴承，外环分为两半，修磨外环内侧面A就可调整预紧量。外环滚道为锥面，内环滚道为两个相交的圆弧。因此，球和内、外滚道的接触理论上仅为三点。运转时球作两个方向的自转，使磨损均匀。这种轴承适用于高速、轻载、精密机床的主轴部件。

2. 主轴轴承的配置形式及其选择

主轴轴承的配置型式是多种多样的，表4-3为常见的主轴轴承的配置形式，表4-4