

三轴气浮转台球形空气轴承座的研磨

刘学贵

一、前言

精密仪器和设备转动部位都要有高精度的轴系。从当前发展趋势来看一些高精度的轴系都倾向于采用球形轴承。如英国的圆度仪、日本的高精度精密车床和我国0.1秒圆刻机等都采用了球形轴承。由于球形轴承的两轴承的球心可以自动对准，很容易调到一条直线上来，所以采用球形轴承可以获得高精度的轴系。而且又可根据球面半径值的变化进行修正半径尺寸来保证配合间隙，达到使用目的。此外由于球形轴承能实现三轴回转，所以在人造卫星姿控系统模拟试验的三轴气浮转台上也采用了气浮球轴承。本文所叙述的就是三轴气浮转台上所使用的气浮空气球轴承的研磨试制工艺。

二、三轴空间模拟实验装置气浮球轴承的设计精度指标

(1) $\phi 120$ mm气浮球轴承球形座的精度。

球形座如图1、图2所示

尺寸： $\phi 120^{+0.005}_0$

球面不球度小于： $0.6\mu\text{m}$

光洁度： $\nabla 12$ 材料：40Cr

硬度：表面离子氮化深度 $0.2\sim 0.3\text{mm}$

$R_c 50^\circ\sim 55^\circ$

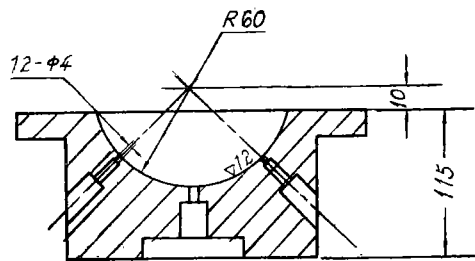


图 1

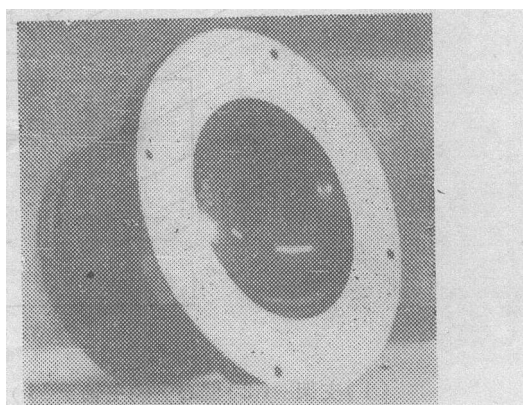


图 2

(2) $\phi 200$ mm气浮球轴承球形座的精度。

球形座如图3所示。

尺寸： $\phi 200^{+0.005}_0$

球面不球度：小于 $1\mu\text{m}$

响的万向摩擦活节(12)迫使工件产生摆动。这样在工件(14)上产生两种运动：一种是旋转运动，另一种是摆动。旋转运动速度的大小是由工件本身的压力、研具接触面积的大小、研磨层润滑的摩擦力大小来决定的。摆动的频率是由研磨机速度来确定，摆角的大小是由偏心盘来控制。

由于工件自转和研具旋转的速比不同，再加上摆角的作用，就产生一种复合运动，这种运动的轨迹是一种不重复的运动轨迹。如图 5 所示轨迹即是切削运动轨迹。在研磨运动中有大量的切削刃按此运动轨迹进行研磨切削，使工件达到高精度指标。

(2) 研磨机设计指标

- 主轴回转精度：0.03mm
- 主轴转速：26.5r/min
- 偏心轴转速：20.2r/min
- 最大摆角： $\pm 7^{\circ}30'$
- 最小摆角： 0°
- 承载能力：50kg

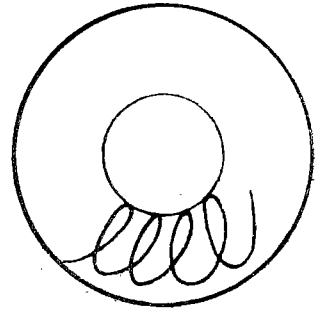


图 5

研磨机的减速机构由两个蜗轮减速箱和皮带轮来完成。减速箱的速比为50:1。球面研磨机的外形如图 6 所示。

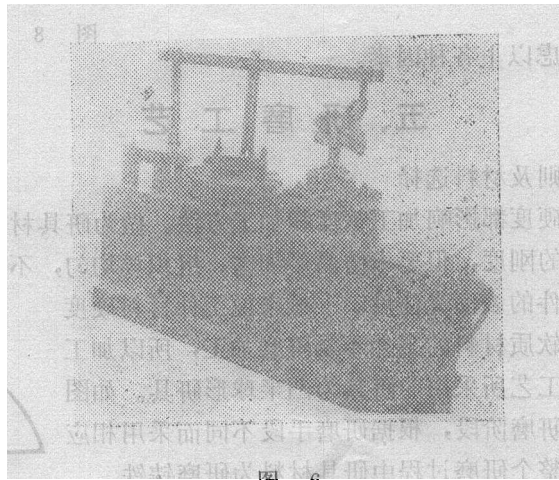


图 6

四、在研磨过程中影响研磨效果的因素

(1) 偏摆角度的影响

在假定主轴的旋转速度一定、研具与工件的尺寸一致、且不考虑其它因素影响的条件下来讨论偏摆角度的大小对研磨的影响。

摆角：从图 7 可以看出，研具顶点中心线处的线速度为零。从研具顶点到研具的周边，线速度在逐渐增大。工件在以大的偏摆做往复运动时，工件的中心部位经常处于研具的周边位置，所以，工件的中心部位的去除量较大。而工件的边缘位置经常处于研具的中心位置附近，所以工件边缘位置的研磨量较小。这将使工件在研磨过程中R半径往小的方向变化。如图 7 虚线所示

(2) 研磨剂粒度与润滑层的厚度

研磨剂的粒度和润滑层的厚度须根据工件要达到的几何精度考虑, 合理选择。对粗、精、超精研的选砂各有不同, 加工者要根据自己的经验综合工件的材料、硬度、要求的精度等来合理用砂。

油膜的厚度是在研磨过程中, 研具与工件之间均匀分布着一层磨料与稀释磨料混合剂组合而成的薄膜, 这种膜层的厚度与使用的金钢砂、工件要求的精度有关。在研球形座时研磨层的厚度, 也可以认为是研具的附加尺寸, 形成一种尺寸关系即 $R_{\text{研具}} + \text{膜厚} = R_{\text{厚}}$ 如图 8。所以油膜厚度与磨料粒度有关。综上所述在研磨过程中为

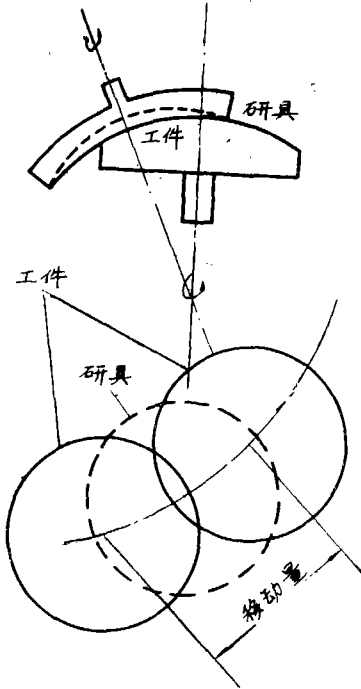


图 7

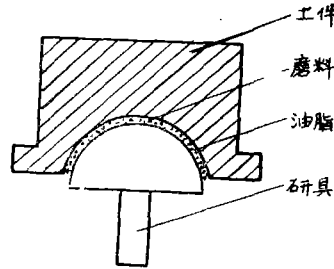


图 8

达到精度指标, 必须考虑以上各种因素。

五、研磨工艺

(1) 研具设计原则及材料选择

工件和研具材料的硬度都影响加工精度和加工方法。做为研具材料应具有良好的耐磨性能、嵌砂性能和有足够的刚度, 但要求结晶要细密、组织要均匀, 不允许有铸造缺陷。工件的硬度在研磨中影响工件的表面光洁度。一般来说工件材料硬度高容易提高光洁度。对软质材料的工件不易研磨加工, 所以加工时得考虑特殊工艺。本工艺所采用的研具为凸半球形研具。如图 9。它的尺寸在不同的研磨阶段, 根据研磨手段不同而采用相应的几何形状和尺寸。在整个研磨过程中研具材料为研磨铸铁。

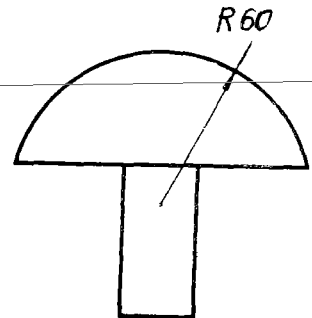


图 9

(2) 磨料和润滑剂

在研磨中磨料和润滑剂的选择, 应根据工件的表面硬度、材料的研磨性能、几何形状误差和研磨留量等来综合考虑磨料的粒度和润滑剂的浓度。由于本工件是由精车后进入研磨, 工件的表面精度、几何精度都不高, 留量也大 (0.10 mm), 所以在研磨中采用了三个研磨阶段, 即, 粗研、精研与超精研。在每个阶段中, 采用的磨料与润滑剂的情况如表 1 所示

表 1

研 磨 阶 段	研 磨 剂	磨 料	润 滑 剂			比 例
粗 研		M ₂₀ —M ₇	火 油	石 蜡		3 : 6 : 1
精 研		M ₇ —M ₂	火 油	硬 脂 酸	汽 油	3 : 5 : 1 : 1
超 精 研		M ₁ 金 刚 石 研 磨 膏	火 油	酒 精	汽 油	2 : 5 : 2 : 1

(3) 粗研

由于精车后就进入研磨，没有磨削这一道工序，加工基础不好，所以在粗研阶段主要是修正工件的几何形状，为精研做准备。

车加工后的球形座的几何形状用R铁环样板进行观察，接触面积大、光缝均匀即可。此时光洁度为 ∇_4 — ∇_6 ，尺寸留量 0.1 mm。把车削后的研具与球形座进行对研，并根据工件与研具相互尺寸的大小来调整机床摆角的大小。在粗研过程中逐渐降研，采用 M_{20} → M_7 的氧化铝白刚玉，配方为 M_{20} +火油+石蜡，比例为 3:6:1。研磨机的转数为 26.5r/min，摆角的大小根据工件尺寸随时调整。粗研后工件的面形精度为 $10\mu\text{m}$ 以内、光洁度达 ∇_{10} 。

(4) 精研

在进入精研以后，很主要是把环境清洁搞好。机床周围的环境，机床本身、研具、工件都要擦洗干净，尤其是在工件有小孔的地方更要擦洗干净，小孔擦净后用硬脂或腊封好。一是防止脏物从小孔中掉出来产生划伤，影响表面光洁度，二是防止金刚砂在孔内存存产生“走砂”使其在研磨过程中孔径处有塌边现象，在精研过程中，要综合地考虑工件的面形精度、表面质量、尺寸要求等，以防止在靠近设计尺寸时某一项指标达不到设计要求。控制的方法是测量弦高。根据测得尺寸变化，观察研具与工件的接触位置来考虑机床摆角的大小，以及采用研磨剂层的厚度。研磨剂层的厚度是研具的附加曲率，在上面已谈过，是存在于研具—研磨头R的尺寸关系。假如用一个研具，通过更换磨料，降低研磨剂层的厚度，相当于减小了研具R的半径，这样就改变了研具与工件间的研磨接触位置，工件和研具均为顶部磨损。

在精研过程中考虑到研磨剂层与研具R的尺寸关系，采用了比工件尺寸偏小的研具。这样通过调整机床摆角的大小，控制研磨剂层的厚度，使金刚砂从 M_7 降至 M_2 时工件几何形状已达到比较高的精度。在精研过程中光靠控制研磨剂层的厚度和机床摆角的大小来满足研具与工件尺寸配合关系是不够的。在精研中发现如图10所示的面形。它可以说明精研后工件球面形状的微细变化。工件最外边半径大(塌边)中间半径小，顶部半径小，这三个不同的曲率在球面中呈现三个不同的曲面，出现这种现象的原因就是由于研具磨损导致研具本身面形精度下降造成的。所以必须提高和修正研具本身的面形精度。

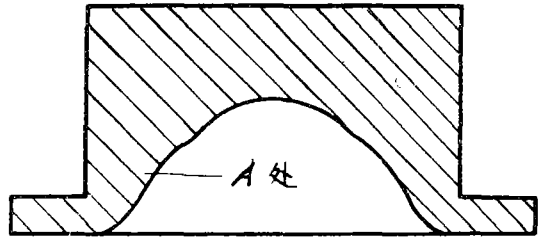


图 10

(5) 超精研

超精研是在精研的基础上进行的微细加工，采用误差补偿传递方法。

由于在实际加工中，研具本身磨损、精度下降造成了工件本身的几何面形缺陷。工件本身面形缺陷也反映了研具本身的面形精度。解决方法是根据工件本身的面形来修正研具。以图11为例来说明，从图10中看出工件本身面形有三个曲面中间半径较小。所以在修正研具时，研具顶部与周边要多修，使其在研磨中不起研磨作用，如图11所示。在这种情况下只有中间部位接触起研磨作用，而中间部位正是半径偏小的部位，这时把少量的金刚砂涂均后，可调整机床摆角使研磨点处于A处环带位置。研磨后发现工件A处位置发出黑色光

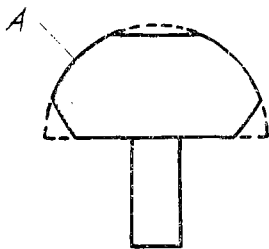


图 11

泽，A处环带位置变宽，这说明工件的几何形状往好的方向进展，研具修正合适。这样在反复的研磨过程中要对研具进行多次修正。方法是用M₁₀的金相砂纸修正，然后用油石打光擦洗干净。在基本尺寸和精度都接近设计要求时，在研具上不要加砂，只是用干棉花把研具擦净，然后用少许火油、硬脂、汽油涂抹均匀，利用压嵌在研具里的粉砂进行研磨。这相当干板研磨，所以时间不能过长，过长容易产生划伤或工件与研具抱住（卡死）。这样通过超精研磨后工件精度可达到0.2μm或更高精度。

六、检 测

1. 粗检

粗检采用比较法进行工序间的检测。即采用已加工好的光学样板为标准。样板尺寸分别为凸、凹 R60^{±0}，凸、凹 R100^{±0.001} mm，光洁度∇₁₄。用简易球径计测弦高的方法比较验证被加工工件球面半径R的尺寸与几何精度。如图12所示。做一个圆环，圆环中心处有一块0.5μm扭簧表。检验时首先把此工具放在光学样板的球面上，调表对零点，然后把它再放到被测件的球面上，若两者弦高相等，表针无变化，则说明工件R曲率与样板曲率相接近，若被测球面R曲率与样板曲率不等或局部不规则，则弦高尺寸不一致，此时表针将产生位移。所以根据表针的位移情况来判断被测件的精度误差。

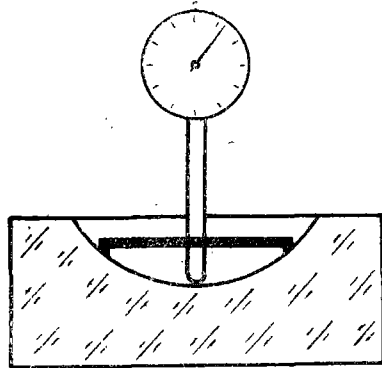


图 12

2. 精检

精检是当被加工件的球面各项指标均接近设计要求时（球面半径尺寸接近设计值、球面几何形状很好，光洁度达∇₁₁时），就可以用光学样板进行检测。当把光学样板放在被测球面任意位置时，观察干涉条纹，根据条纹形状判断0.5μm的面形精度是容易的。把被测件与玻璃样板放在恒温室中恒温24小时后进行复测精度。为了进一步验证加工工艺的合理性，我们到哈尔滨轴承厂、七机部一院计量站、吉林省标准计量测试所，对加工后的工件进行复测，测量结果满足设计指标。

在工作中曾得到室领导刘承烈主任指导，郭德申、邓玉新同志的帮助，并得到光机实验工厂缪祥松、王文章，王占文同志大力帮助在此表示衷心的感谢。