

三轴气浮转台空气轴承大球的研磨

刘文铎

摘要: 本文介绍了三轴气浮转台的支承轴承用的高精度大球的研磨工艺。这种轴承的精度和表面光洁度都很高,加工很困难。

为实现加工高精度的大球,本文从研磨装置的设计,磨具、磨料和润滑液的配制,工艺操作进行了阐述。

研磨装置的设计结构简单、制造方便,可加工球的尺寸范围广,工艺稳定,大球车加工后即可直接进行研磨,按着所规定的工艺程序即可完成高精度大球的加工。研磨加工 $\phi 120\text{mm}$ 大球的结果是:不球度为 $0.2\text{--}0.3\mu\text{m}$,光洁度 ∇_{12} 级。研磨 $\phi 200\text{mm}$ 大球的结果是:不球度为 $0.4\mu\text{m}$,光洁度 ∇_{11} 级。经三轴气浮转台实际使用,效果很好。

一、前言

三轴气浮转台是人造卫星姿控系统的地面模拟试验装备。为了实现宇宙空间的低摩擦力矩及人造卫星在宇宙空间的三自由度运动,三轴气浮转台采用高精度的球面空气轴承。球面空气轴承是三轴气浮转台的核心元件,它的球和球座的精度和表面光洁度要求都很高,加工很困难,我们参考了国内外这方面的经验,将我室过去的研球机进行了改装,对 $\phi 200\text{mm}$ 、 $\phi 120\text{mm}$ 大球进行了研磨加工,于此将大球的研磨加工技术总结如下。

二、球体

材料: 40Cr

热处理: 离子氮化

硬度: Rc50°—52°

氮化层: 0.3mm

表1 球体精度:

球直径	精度指标		光洁度
	不球度	设计指标	
$\phi 120\text{mm}$	不球度: $0.2\text{--}0.3\mu\text{m}$	设计指标: $1\mu\text{m}$	∇_{12}
$\phi 200\text{mm}$	不球度: $0.4\mu\text{m}$	设计指标: $1\mu\text{m}$	∇_{11}

表2 国外气浮轴承球的精度:

国别	球直径	不球度	光洁度
日本	$\phi 120\text{mm}$	$0.3\mu\text{m}$	∇_{12}
	$\phi 120\text{mm}$	$1\mu\text{m}$ 实测 $0.7\mu\text{m}$	∇_{12}
荷兰	$\phi 100\text{mm}$	$1\mu\text{m}$	$0.3\mu\text{m}$ (∇_{11})
美国	22in. (559mm)	小于 $200 \times 10^{-6}\text{in.}$ ($5\mu\text{m}$)	4rms (∇_{10} — ∇_{11})

三、研 磨 装 置

结合我们单体研制的实际情况，我们采取了车削加工后直接进行研磨的工艺，由于加工余量较大，我们采用了机械研磨的加工方法。研磨加工球体时，要实现球和研磨工具在研磨加工过程中做圆周运动，同时又不断地变换研磨位置，不重复在一个研磨面内，使球和研磨工具相互不断地修整，最后使球接近于真球。为使研球机能够实现上述运动，我们利用已有的研磨机改装了一台大球研磨机，该研球机简图如图1所示。

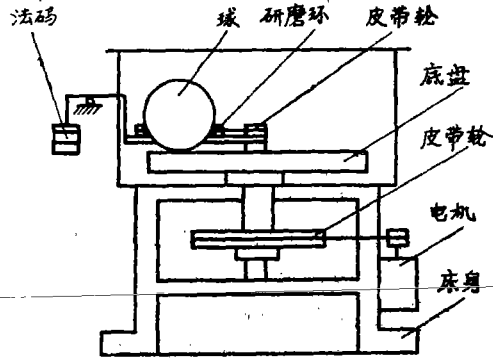


图 1

当研磨机工作时，主轴带动底盘转动，如果研磨环不与球接触，由于底盘的转动就带动球在研磨环内滚动（图2a）如果研磨机的主轴转动时，球不与底盘接触，球就在研磨环内和环一起空转（图2b），在实际工作时，球与底盘和研磨环同时接触，球在底盘和研磨环同时作用下产生沿力方向的复合运动（图2c）。又由于在研磨过程中，球在底盘上的滚动和磨具在球上的转动速度不同，（本研磨装置中底盘速度为40m/min，研磨环的速度为5m/min）这样大球和磨具之间就可按一定方向而又不重复的变换研磨位置，形成均匀的研磨球面，使球体和磨具之间在研磨过程中不断地修整精度，使之达到理想的研磨效果。

在所设计的研磨装置上，我们研磨加工了 $\phi 120\text{mm}$ 的大球，不球度在 $0.2\mu\text{m}-0.3\mu\text{m}$ 之后，我们又用这种研磨装置研磨加工了 $\phi 200\text{mm}$ 的大球，不球度在 $0.4\mu\text{m}$ 。

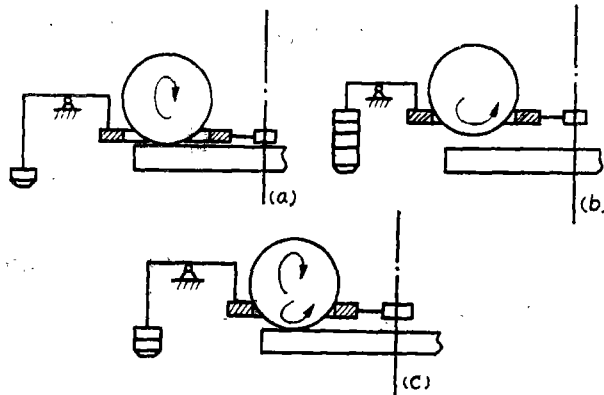


图 2

四、研 磨 加 工

大球是在车削加工之后进行研磨加工。由于研磨量较大，我们采用白钢玉研磨剂，白钢玉粒度为M20、M10、M1.5，按磨料粒度由粗到细依次进行研磨，最后用氧化铬抛光。（配比如表3）在实际工作中恰当地掌握更换粒度的时间就能够提高研磨效率。

表3 研磨剂的配比

工 序	粒 度	成 份 比 例	磨 料	火 油	定子油	液体石蜡	油 酸
粗 研		氧化铝(M20)	30%	50%	10%	10%	
精 研		氧化铝(M10)	20%	60%	10%	10%	
超精研		氧化铝(M1.5)	20%	50%	15%	15%	
抛 光		氧化铬Cr ₂ O ₃	20%	50%	10%	15%	5%

在研磨加工时，我们先用M20氧化铝进行粗研，用千分尺测量加工尺寸研至加工余量为0.04mm时，换M10氧化铝进行精研，加工余量为0.02mm时，再换M1.5氧化铝进行超精研，超精研时用扭簧仪和光学样板检测大球尺寸与几何精度，当光学样板与大球扣合为二个光圈时，换用氧化铬进行抛光。在研磨过程中我们发现直接用铸铁研磨环提高光洁度比较困难，采用沥青提高光洁度可达▽₁₂级以上。

研磨加工中除磨料的选择外，磨具的选择也很重要。研磨具要考虑磨具的材料及其形状。我们使用研磨铸铁材料，车削加工成圆环状，经车削加工后即可使用。研磨环口径的尺寸对研磨加工精度影响较大，研磨环的口径取得过大或过小都不好，如果研磨环的口径取得过大，球与研磨环的接触面就大，球体不能在研磨环内灵活地转动，不易获得高精度的研磨质量。同时也要增加底盘对球的摩擦，底盘对球过大的摩擦也容易破坏球的面形精度。如果研磨环的口径取得过小，球与研磨环的接触面就相应小，这样大球和研磨环不易形成均匀的研磨球面。在研磨φ120mm，φ200mm的大球时，研磨环的口径都取为球半径尺寸的三分之二。这种研磨环在研磨加工过程中，我们觉得底盘带动大球滚动自如，研磨球面均匀。

在研磨过程中，除合理选择磨具，磨料外，还要注意选择合适的研磨压力。从图2可以看出，球体和研磨环不相互接触时，球在底盘转动的带动下可自由滚动。如果砝码加的过大，就把研磨环连同球体托起来与底盘不再接触，此时球就连同研磨环一起空转。只有选择了合适的研磨压力，才能使球和研磨环之间产生研磨效果。在研磨加工过程中，随着研磨环与球的接触面逐渐变大，相对的研磨比压就逐渐变小，为保持合适的比压须调整砝码。在粗研时这种现象较为明显，由于磨料的粒度较大，磨具磨损较快，研磨环与球的接触面很快变大，就要及时地调整砝码。研磨环在车削后使用，开始时研磨环的研磨面很小呈尖角形与球接触成一条圆线，假定这时的接触面为零，在研磨加工过程中，随着研磨接触面的变大，研磨力也应随着加大，这就要及时增加砝码。(图3)

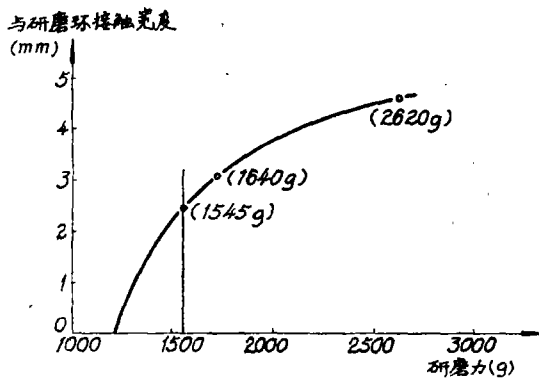


图3 研磨接触面的变化与研磨力的变化

如果球和研磨环的接触面过大砝码过重时，底盘带动球滚动时就会产生震动，这时就需要更换新的研磨环。在更换新的研磨环后，砝码也要重新由小到大进行调整。

在研磨加工过程中，研磨环与球的接触面从小到大和研磨力从小到大的变化中，能够选择一个相对稳定不变的研磨接触面和研磨力，这是获得研磨加工高精度大球的关键。从实际加工中我们认为，研磨环与球接触2—3mm宽的环带时，磨具与球的接触面变化缓慢，研磨压力也相对稳定。同时在研磨加工过程中也观察到，研磨环与球接触小

于2mm宽的环带时，磨具与球的接触面变化较快，研磨球的面形不够稳定。当大于3mm宽的环带时，磨具和球的研磨接触面较大。这样不但研磨环和球的研磨力增大，同时底盘带动球滚动时也增大摩擦力，这样底盘的磨料同样对球产生磨削作用，就破坏了球的面形精度。在最后研磨加工时，取研磨环和球接触2—3mm宽的环带为最好。这时研磨环和球的面形是相互修整最好的时候，这时球体应该是最接近真球。这样在研磨时注意选择磨具，研至与球接触2—3mm宽的环带时以备超精研时用。

在机械研磨加工大球时，只要有合理的研磨运动，配合好磨具，磨料和研磨压力，就能研磨加工出高精度的大球。

五、结 束 语

经过一年多的努力，于1979年9月成功地研磨出不球度在 $0.3\mu\text{m}$ 以内，光洁度在 ∇_{12} 级以上的 $\phi 120\text{mm}$ 大球。之后，我们又研磨加工了 $\phi 200\text{mm}$ 大球，不球度为 $0.4\mu\text{m}$ ，经三轴气浮转台实际使用，效果很好。

大球研磨加工的成功，是在我室刘承烈主任的指导下和郭德申同志，邓玉新同志，刘学贵同志的帮助下进行的。缪祥松工程师向我们介绍了很多经验，还得到了所工厂工艺室，光学车间的及时协助，在此表示衷心的感谢。