

固体润滑轴承真空寿命试验及分析

王 玲 黄克威 谷郑贵 梁 勇 王建军

(兰州物理研究所)

内容提要: 着重介绍了自润滑保持架轴承在真空中十个半月的寿命试验。试验后的轴承分析表明,保持架的磨损是影响轴承摩擦力矩的重要因素。得出要严格选定保持架的材料及轴承结构的结论。

主题词: 润滑、轴承、真空、寿命试验。

航天器中各活动部件能否达到预期寿命,在很大程度上取决于各机构的润滑状况如何。航天器所遇到的环境非常特殊,其中真空状态是一基本环境。油脂在真空中除了因蒸发而失去润滑效果,它的蒸发物还会污染附近的仪器、仪表和光学元件,以致仪表失真甚至失灵。所以,在真空环境中很多部件忌用油脂润滑。固体润滑材料在真空中蒸发率极小,它能克服上述缺点,而且其润滑性能比较稳定、良好^[1]。所以,固体润滑的研究受到了重视,发展速度是很快的。

为适应航天事业的发展,先后对不同方式和不同材料的固体润滑轴承进行了评价,其中引起我们关注的是采用自润滑保持架整体是用润滑材料制成。润滑剂来源是充足的。因此,在长寿命空间活动部件中,这种润滑方式比其它润滑方式更为重要。

从1985年开始,在大气条件下,对自润滑保持架轴承进行了比较系统的研究,并在此基础上进行了十个半月的真空寿命试验,试验后进行了解剖分析。

一、试验简介

经对各种固体润滑材料的评价,选定试验轴承的保持架材料是“PTFE+MoS₂+Glass fabric”。这是真空中常用的固体润滑材料。PTFE在真空中蒸发速率为 10^{-9} g/cm²·s, MoS₂在真空中200℃时蒸发率为 10^{-10} g/cm²·s,材料的蒸发率极小,可以满足光学仪器防污染的要求。在本试验中选用的轴承型号为C₁₁₁₃₆₈₀₇。轴承运转方式为外圈旋转,内圈不动;轴承转速为100r/min。这是模拟红外地平仪轴承的结构和工作条件。

试验轴承组件共7对,14个轴承。在轴承结构、润滑各参数已定的条件下,轴载是影响轴承动态性能的主要参数。为选择寿命试验轴承的载荷,我们选择多个单轴承在DZS—1单轴承试验设备上,对不同轴载下轴承力矩的平均值和波动值进行了测试。每个轴承每变一种载荷都要运转一段时间,待达到稳定状态再进行测试。图1是在不同轴载下试验轴承摩擦力矩的平均值。图2是在不同轴载下,试验轴承摩擦力矩的波动值。从图1可看到,轴载小于50N时,力矩值随轴载变化幅度较小;从图2可看到,轴载小于50N时力矩波动值较小。因此,我们初步选定试验轴载为50N以下。根据文献^[2]提供的公式(公式略)对10N~50N不同轴载下,有关参数进行计算,结果如表1。最后确定试验轴载为20N~30N。

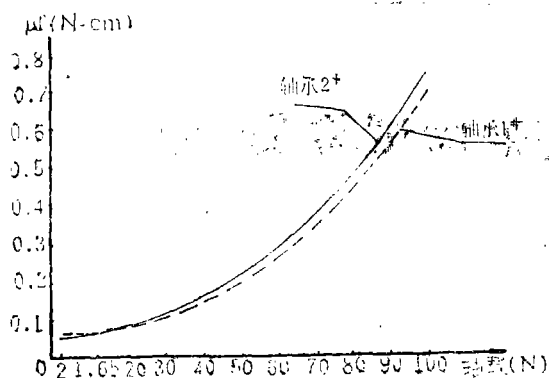


图 1

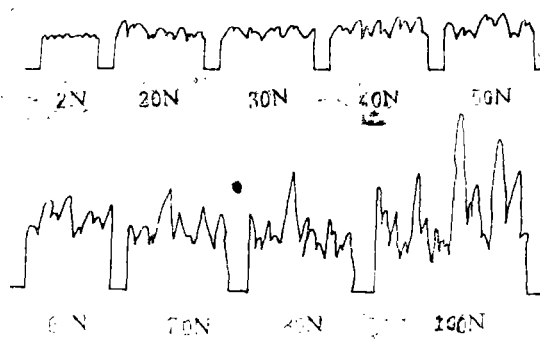


图 2

表 1

轴载(N)	接触角 (度)	寿 命 (h)	弹性变形 (μm)	压 力 (10^8Pa)	轴 刚 度 (N/mm)
10	12.8	6.8×10^9	0.5	0.54	4237.9
15	13.1	10.4×10^8	0.65	0.62	5011.3
20	13.3	2.5×10^8	0.78	0.67	5615.0
25	13.4	1.4×10^8	0.90	0.72	6143.7
30	13.6	8.5×10^7	1.0	0.77	6620.9
35	13.7	5.7×10^7	1.1	0.80	7059.9
40	13.9	4.0×10^7	1.2	0.84	7469.2
45	14.0	2.9×10^7	1.3	0.87	7854.4
50	14.1	2.2×10^7	1.4	0.97	8219.9

二、真空试验容器和机构

真空寿命试验是在我所ZZS-2真空容器中进行的, 容器大小为 $\phi 500 \times L700$, 空载真空度为 $2.6 \times 10^{-7}\text{Pa}$ 。为保证试验轴承的清洁, 真空系统采用一台500L/s溅射离子泵, 前级为涡轮分子泵和旋片机械泵, 电机的运转通过稀土钴磁力偶合器传入到真空系统中。整个系统采用密封内吸式真空泵和密封传动。因此, 可以长期运转。试验机构是专为此次试验研制的, 结构简图如图3。

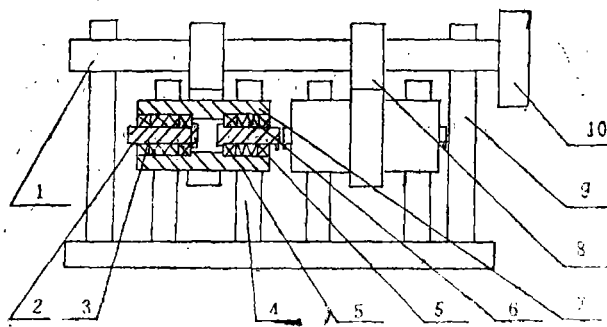


图 3

- 1—主轴; 2—测量头; 3—轴;
4—支架; 5—轴承; 6—加载弹
簧; 7—外壳; 8—齿轮; 9—
支架; 10—驱动源

从图3可看到, 主轴旋转后通过齿轮带动轴承外圈运转。测量时, 内圈上的测量点与测力传感器接触, 轴承摩擦力就通过传感器输入到相应仪表进行显示和记录。此试验机构的特点是: (1) 试验组件数量多, 可同时带动8对轴承组件进行试验。(2) 被测轴承的运转方式是外圈带动内圈转动。(3) 轴承组件采用小弹簧加载, 轴向力均匀且与轴承端面垂直, 这样就减少了由于滚珠受力不均匀出现的周期干扰力, 提高了运转精度和测量精度。

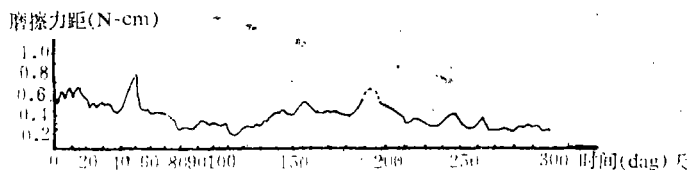


图4

三、真空寿命试验

选用7个轴承组件进行了真空寿命试验。试验轴承轴载为25N, 转速为100r/min, 试验真空度为 2.6×10^{-4} Pa。每个轴承在试验前进行了饱和运转和清洗。其间没有明显脱落物。

真空寿命试验从1990年3月开始, 到1991年5月份停止, 期间共历时15个月, 由于实验中出现了一些故障, 实际运转为十个半月。

轴承组件在真空中运转近二个月时, 摩擦力矩明显上升, 打开真空容器, 对轴承组件检查, 发现轴承组件里有明显的磨屑, 磨屑在轴承滚道上散落一些, 妨碍了轴承的正常运转。我们把磨屑处理干净, 试验组件经过清洗, 重新放入真空容器中, 继续运转, 摩擦力矩在较长时间内都是比较稳定的。把磨屑收集后, 放在40倍显微镜下观察, 脱落物是白色晶体和黑色粉屑, 初步确定为玻璃纤维和 MoS_2 , 由于磨屑量少, 现有条件有限, 无法做更确定的分析。

为了解试验轴承在不同条件下的情况, 在大气和粗真空条件下也进行了测试。

图5为一对试验组件(5*)在整个试验中的平均摩擦力矩曲线, 曲线中虚线表明这一段轴承运转真空度为 $13 \sim 1.3 \times 10^{-1}$ Pa, 0~20天的曲线的轴承运转环境为大气。

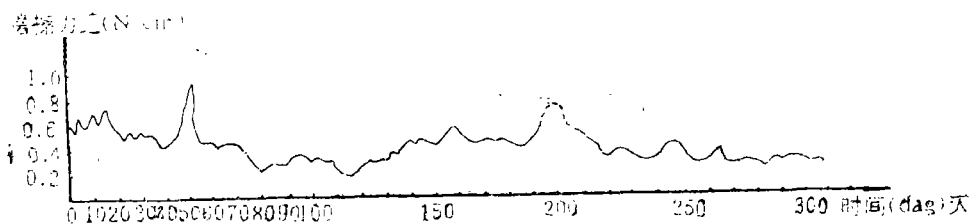


图5

从图5中可以看到, 在大气和粗真空条件下摩擦力矩有所增大, 这可能是由于 MoS_2 在不同环境下性能差别而造成的, 除了运转一个半月左右出现高峰外, 其余力矩虽有变化, 但基本不超过0.6N-cm。

为了验证摩擦力矩实验值, 根据固体润滑方程式进行计算得到 $C_{1136807}$ 自润滑保持架轴承在25N轴载、100r/min条件下, 一对组件的摩擦力矩为0.74N-cm, 这基本和实验结果是一致的。

四、真空寿命试验后的分析

当真空寿命试验运转十个半月后,为了解试验轴承组件情况,我们停止了真空试验,在大气中,对试验轴承组件进行了检查分析工作,拆开组件可以看到每个组件轴承上有不同程度的磨屑,颜色为黑,灰色或深棕色,这些磨屑有的呈泥土状,有的呈干沙状,分布在套圈引导面和保持架端面。为了更清楚进行分析对比,对经过寿命试验的轴承和没有经过寿命试验轴承在相同条件下,进行了拍照。拍照在扫描电镜下进行的,拍照的具体对象和倍数如下:

(1)保持架,放大倍数300;(2)经过试验的轴承滚珠,放大倍数300;(3)没有经过试验的轴承滚珠,放大倍数300;(4)经过试验的滚珠边缘,放大倍数3000;(5)没有经过试验的滚珠边缘,放大倍数3000;(6)经过试验的轴承滚珠在有机溶液中清洗后的状态,放大倍数3000;(7)没有经过试验的轴承滚珠,放大倍数3000。

从照片中,可以清楚地看到,保持架有明显的磨痕。还可以看到,经过试验的轴承滚珠上布满了大小不一的斑状物。而没有经过试验的轴承滚珠上没有斑状物。表面是清洁的,这表明了经过试验的滚珠表面有一层复盖物。同时从照片可以看到,经过试验的轴承滚珠边缘处有许多堆积物,这些堆积物是高低不平,象山脉一样围绕在滚珠的边缘。没有经过试验的轴承滚珠边缘没有任何堆积物,滚珠边缘轮廓清楚,这就更进一步证明了,经过试验的轴承滚珠表面有一层复盖物。经过试验的轴承滚珠在有机溶液中清洗后,表面仍呈斑状,这表明试验轴承滚珠上的复盖膜不会被有机溶液清洗和破坏。

从试验分析中,可以看到,通过一段较长时间的运转,转移膜可以很好地形成,同时又可以看见,在真空寿命试验中,保持架的磨损是较严重的,因此,对保持架的材料、轴承的结构都要经过严格的选定。

参 考 文 献

- 1 西村充,固体润滑概论。固体润滑,1987; 1: 47
- 2 黄克威等,长寿命球轴承EHD辅助设计。环模技术,1990; 1: 27

(上接第13页)

三、结 束 语

本文分析了多碱光电阴极的进化过程,并对制作工艺进行了大量的实验研究,获得了满意的结果。笔者认为高灵敏度的光电阴极与初始的阴极基底处理是有关的。该方法已用于不同的实用成象器件中,提高了光电阴极工艺的重复性和器件的成品率,并获得了产品的一致性。

参 考 文 献

- 1 Garfield B R C. Multialkali Photocathodes. AEEP, 1972; 33A: 339
- 2 Dowman A A. Scanning electron diffraction Studies on alkali antimonide photocathodes. J Phys, D: Appl Phys, 1975; 8: 69
- 3 高鲁山 李朝木,四碱光电阴极的研究。电子学报,1986; 14(5): 27
- 4 Dolizy P. Growth of alkali-antimonide films for photocathodes. Philips Technical Review, 1982; 40(1): 19