

MSJ-0 大载荷、液压式摩擦材料试验机

六四〇所 黄建国

一、前言

粉末冶金摩擦材料作为刹车片应用在飞机机轮上和作为摩擦片应用在航空伺服舵机中已有多年的历史了。波音707、三叉戟等飞机早已普遍将铜基粉末冶金摩擦片使用在传动舵面运动的滚珠螺杆上。目前,我国研制的大型客机也采用了这类材料,对这种材料的研究和试验,便是一个新的课题。

滚珠螺杆摩擦片与对偶片组成的摩擦副(图1),是飞机舵面操纵机构的重要组成部分;承载大(如波音707水平安定面上用的摩擦片的比压为220公斤/毫米²)、转速低(通常为100转/分左右),与机轮刹车片的工作情况恰好相反。

由于粉末冶金摩擦片是多种组元压制、烧结而成,性能随外界条件变化(如载荷、温度、

转速、介质等)的差异很大。为了确保飞机飞行安全,必须对所研制的摩擦片进行足够多的试验。而性能试验的最好方法则是在与摩擦片使用状态完全相同的条件下进行,这样得出的结果比采用缩比的模拟试验室的试验方法更真实、可靠。

我国现有的摩擦测试设备尚不能满足这种试验要求。为此,六四〇设计所在1979年试制了MSJ—0摩擦材料试验机(图2)。

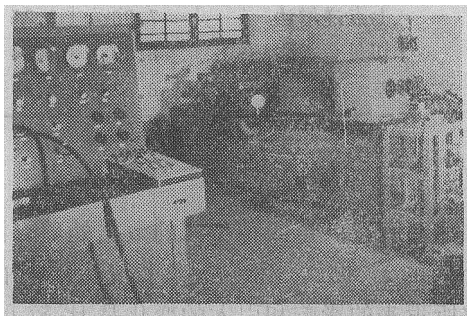


图2 MSJ—0大载荷、液压式摩擦材料试验机

二、试验机的性能、原理和特点

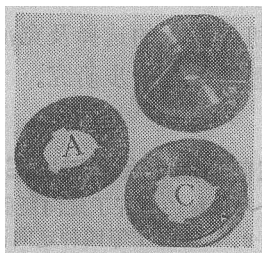
MSJ—0摩擦材料试验机(图3)由试验机台体、液压动力装置、电气测试装置等三部分组成。

1. 性能指标

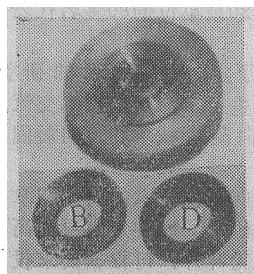
- 1) 轴向承载压力: 5~10000公斤;
- 2) 摩擦力矩值: 0.1~60公斤·米;
- 3) 工作转速: 3~900转/分;
- 4) 试件温度: 20~800℃。

摩擦材料副在上述范围内的试验可测出,

(1) 摩擦片的动、静摩擦系数与压力的变化曲线;



a. 平尾用的



b. 襟翼用的

图1 滚珠螺杆摩擦副
(上: 摩擦片, 下: 对偶片)

(2) 摩擦片的动、静摩擦系数与温度的变化曲线；
(3) 摩擦片的动摩擦系数与转速的变化曲线；

(4) 摩擦片的磨损量；
(5) 摩擦副表面质量（磨纹、磨损转移等）。

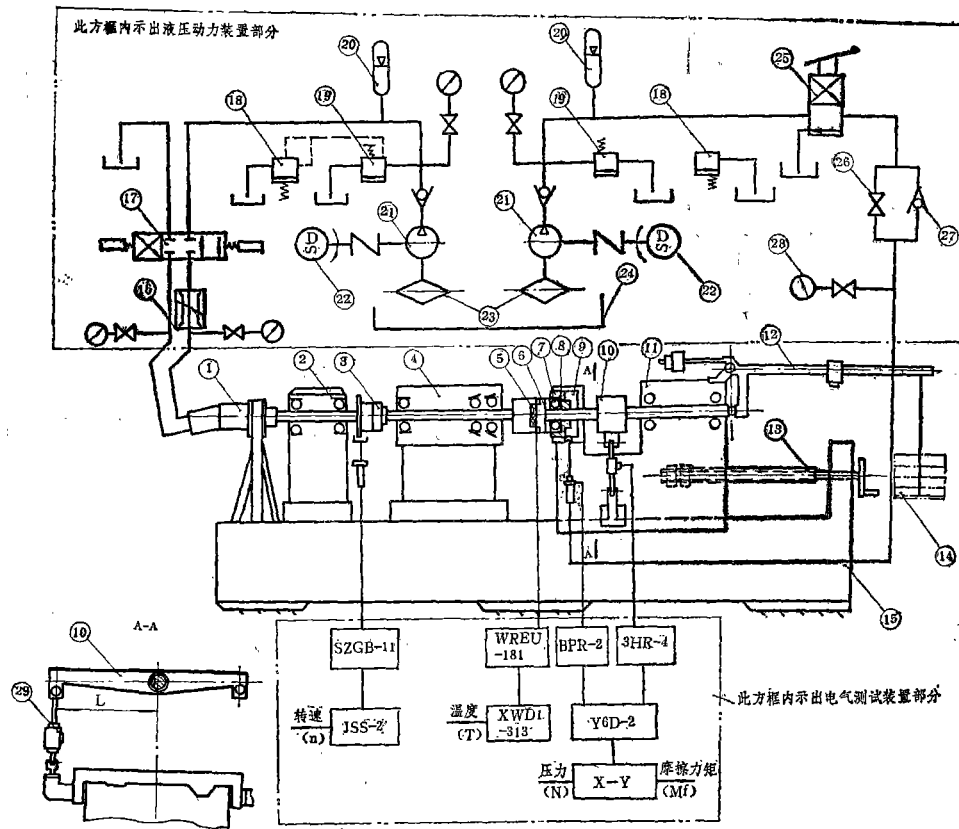


图 3 MSJ-0 摩擦材料试验机原理示意图

2. 工作原理

MSJ-0 试验机是根据力矩平衡原理设计的；即摩擦材料副产生的摩擦转矩（ M_f ）与测试力矩（ M_T ）平衡。考虑摩擦时：

$$M_T = M + M_f$$

式中 M 可通过测力元件（力传感器，见图 3 20）上的力 F 与测力摇臂 10 上的臂长 L 相乘得出。 M_f 为摩擦片 5 到测力摇臂之间的机械摩擦转矩。由于测力摇臂上的轴通过液压油缸 9 中的环形活塞 8 与对偶片 6 相连，当活塞 8 给摩擦副（5 和 6）加载时，摩擦副的转动就使测力摇臂产生一个 M_f 。为了使 M_f 减至最小，在液压油缸活塞上装有一个精度高的端面推力

球轴承 7。这样之后使 $M_f/M_T = 2 \sim 3\%$ ，同时，也便于测出摩擦片所受压力与 M_f 的变化关系。测出 M_f 后，只要加上 M_T ，就得出 M_f 。

3. 工作特点

1) 加载和驱动

为了解决摩擦片承受载荷大和产生大的驱动扭矩来克服摩擦转矩 M_f ，采用液压油缸加载，油缸活塞面积为 80 厘米²，当液压油工作压力为 150 公斤/厘米² 时，活塞作用在摩擦片上的总压力为 12000 公斤。

为驱动摩擦片转动而产生大扭矩的是液压泵 20、液压马达（YM-15）1 及两级齿轮箱装置 2。液压泵提供 YM-15 产生的输出扭

矩为3.5~4.8公斤·米。由于两级齿轮箱的传动比为1:4和1:14,这样,YM—15通过齿轮箱变比放大,可以克服摩擦副的最大摩擦力矩达60公斤·米。同时还考虑到摩擦副的摩擦力矩很小的情况,可以通过调节液压泵输出压力及齿轮箱的传动比(1:4),保证测出的数值精确。

2) 低速

为了确保MSJ—0试验机低速性能稳定,采用了液压泵②、调速阀⑩、液压马达(YM—15)及齿轮箱装置②。YM—15最高转速为4000转/分,同时低速性能亦好。可以通过控制调速阀的流量将马达转速降到几十转/分,再经过齿轮箱变比,使摩擦片的最小工作转速达到3转/分。这样,就可以很方便地测出摩擦副的静摩擦系数及低速时材料的性能数据。

3) 测温

为了直接测出摩擦片与对偶片接触表面的温度,MSJ—0试验机采用在对偶片⑥上钻一个 $\phi 5$ 的孔,将镍铬—镍硅热电偶端头插入其中,并与摩擦片表面接触,使之既能方便地测出摩擦片表面温度,又避免热电偶端头划伤摩擦片表面。

4) 测试

施加在摩擦片上的载荷大小是通过压力传感器BPR-2感受(同时,用装在液压油缸入口处的压力表监测),摩擦力矩值的大小是通过拉压力传感器BHR-4感受,两个传感器感受的讯号同时输送到Y6D-2动态应变仪和X-Y记录仪(或SC-16示波器,这样测试的数据比较精确,也比较直接、简便。

热电偶的另一端与XWD型电位差记录仪连接,能直接读出或记录出摩擦片表面的温度。

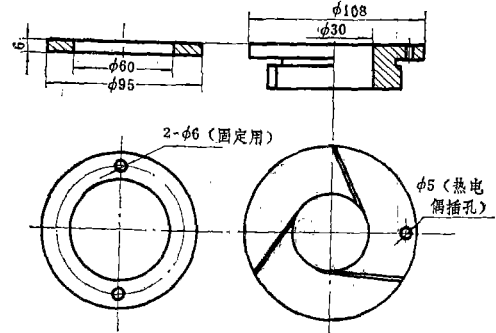
采用SZGB-11光电传感器及JSS-2转速数字显示仪,能迅速、准确、直接显示出摩擦副的相对转速。

三、摩擦材料的测试

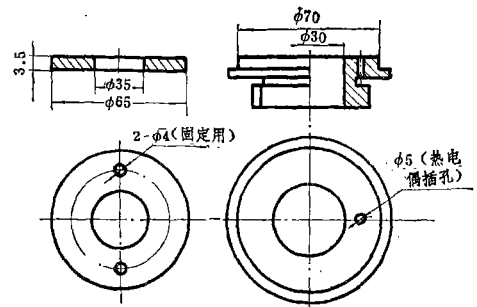
图4为4种已使用在飞机上的滚珠螺杆摩擦

片及对偶片,其中A、B两种是我国的,C、D两种是美国的。

静摩擦系数(干及湿)与压力的变化关系,摩擦材料副的动摩擦系数与温度的变化关系见图5、6、7、。



a. 平尾摩擦副(左:摩擦片,右:对偶片:材料30CrMnSiA表面镀硬铬)



b. 襟翼摩擦副(左:摩擦片,右:对偶片:材料30CrMnSiA淬火)

图4 四种摩擦材料副的几何尺寸

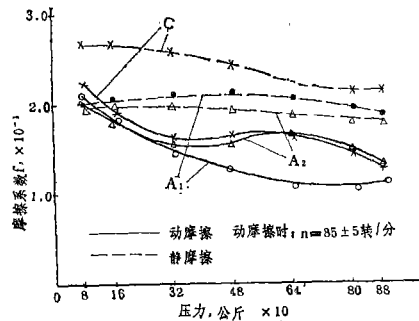


图5 摩擦系数(干)与压力的变化关系

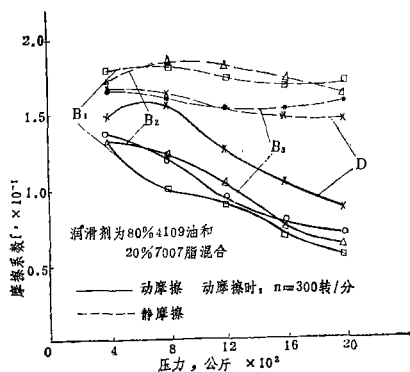


图 6 摩擦系数(湿)与压力的变化关系*

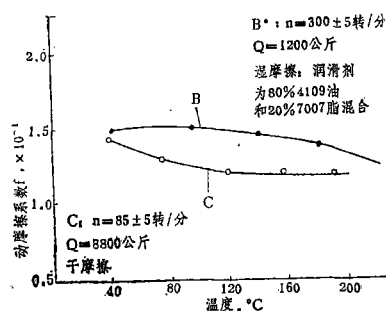


图 7 摩擦材料副的动摩擦系数与温度的变化关系*

* 曲线值偏高与润滑剂中油膜变薄形成边界摩擦影响有关。

1. 材料成分

材料成分见表 1。

表 1

| 材料名称 | 元 素 % | | | | | |
|-------|-------|------|------|------------------|------|------|
| | Cu | Sn | Pb | SiO ₂ | C | Fe |
| A(中国) | 79.80 | 8.67 | 4.53 | — | 5.91 | 0.12 |
| C(美国) | 79.09 | 7.88 | 5.09 | — | 5.95 | 0.09 |
| B(中国) | 83.45 | 8.88 | 1.75 | 2.93 | 1.93 | 0.28 |
| D(美国) | 88.41 | 9.53 | — | — | 1.00 | 0.18 |

2. 几点看法

1) 从图 5 和 6 可以看出, 不论是静摩擦还是动摩擦, 不论是干摩擦还是湿摩擦, 摩擦片的摩擦系数均随压力的增加而明显下降。

2) 从图 7 可以看出, 摩擦片的摩擦系数随

温度上升而下降。但当温度变化到某一值时, 摩擦系数值下降得非常缓慢。

3) 从上述曲线可以看出, 在同样的外界条件下(压力、温度、转速、介质等)摩擦片的材料成分不同, 摩擦系数的变化曲线是有明显差异的。

总之, 摩擦材料副的摩擦系数的变化不仅取决于材料成分, 而且随压力、温度、转速、介质等因素的变化而变化, 对于后者引起的变化规律, 目前还缺乏系统的、完整的理论予以揭示和解释。大量的试验说明: 目前最理想的途径就是在与摩擦片使用状态完全相同的条件下, 测出各因素综合影响摩擦副的性能曲线, 这样的测试结果比较准确可靠。

四、应用范围

1. MSJ—0 是一种 适于大载荷、低转速下测试摩擦材料副摩擦、磨损性能的试验机, 除液压加载外, 还设计了一套杠杆式加载系统(见图 3②), 用于小于 300 公斤的加压, 可测出小载荷下的摩擦性能曲线。还可以通过液压、机械系统的多级调速, 在中速(900 转/分)条件下, 测试类似电机中的摩擦片、齿轮箱中的离合器摩擦片和某些机械装置中的刹车片的摩擦、磨损性能曲线。

2. MSJ—0 试验机除能测试粉末冶金摩擦材料性能曲线外, 还可以测试石棉、碳纤维复合材料、塑料等多种摩擦材料的摩擦、磨损性能曲线。

3. MSJ—0 试验机既适于摩擦材料副的干摩擦测试, 又可以通过一套夹具非常方便地进行湿摩擦的性能测试。

4. MSJ—0 试验机所用的试件(摩擦片、对偶片)规格为 $\phi 40 \sim 110$ 毫米, 亦可以通过一组夹具实现超规格的不同形状的试件的试验。