

滑动摩擦副实验分析

黄维利, 谢梅英, 胡亮

四川宏华石油设备有限公司, 四川 成都 618300

摘要 : 柱塞式压缩机在连杆的大头和小头均使用了滑动摩擦副。随着压缩机载荷的增大, 滑动摩擦副在受压面积不变的情况下, 承受的比压也增大。为验证摩擦副承受的最大比压, 特准备了5种材料在PV摩擦试验机上测试。

关键词 : 压缩机; 滑动摩擦副; 载荷; 比压

Experimental Analysis of Sliding Friction Vice

Huang Weili, Xie Meiyang, Hu Liang

Sichuan Honghua Petroleum Equipment Co., Ltd, Sichuan, Chengdu 618300

Abstract : Plunger compressors use sliding friction vice in both the large and small ends of the connecting rod. With the increase of compressor load, the specific pressure of the sliding friction pair increases while the pressurized area remains unchanged. In order to verify the maximum specific pressure of the friction pair, five materials were prepared and tested on a PV friction tester.

Key words : compressor; sliding friction ring; Load; specific pressure

引言

柱塞式压缩机是一种通过柱塞运动使气体产生压缩的压缩机。内部结构主要包括气缸、柱塞、曲轴和连杆等部件。其中曲轴产生旋转运动, 带动连杆使活塞产生往复运动, 实现气体的压缩和排放。而连杆分别与曲轴和柱塞有摩擦运动。随着压缩气体的增高, 连杆力的增大, 按原来滑动摩擦副的设计比压, 尺寸就不可避免的增大。因此需对材料的实际比压进行测试, 找到比压最大的材料, 优化设计。

一、滑动轴承概述

轴承的功用有二: 一为支承轴及轴上零件, 并保持轴的旋转精度; 二为减少转轴与支承之间的摩擦和磨损。轴承分为滚动轴承和滑动轴承两大类。虽然滚动轴承具有一系列优点, 在一般机器中获得了广泛应用, 但是在高速、高精度、重载、结构上要求剖分等场合下, 滑动轴承就显示出它的优异性能。因而在汽轮机、离心式压缩机、内燃机、大型电机中多采用滑动轴承。此外, 在低速而带有冲击的机器中, 如水泥搅拌机、滚筒清砂机、破碎机也常采用滑动轴承。

(一) 滑动轴承的特点

滑动轴承的主要优点: 1) 结构简单, 制造、装拆方便; 2) 面接触, 承载能力大; 3) 抗冲击能力强、噪音小; 4) 零件少, 能实现高回转精度; 5) 大型重型轴承, 单件和小量生产, 成本低; 6) 径向尺寸小, 可做成剖分式; 7) 适用范围广, 尤其在高速和超高速; 8) 能实现液体摩擦状态, 摩擦磨损小, 寿命长; 9) 能在水, 腐蚀介质、无润滑等特殊恶劣条件下工作。

滑动轴承的主要缺点: 1) 维护复杂; 2) 对润滑条件要求高; 3) 边界润滑时轴承的摩擦损耗较大。

(二) 滑动轴承的摩擦状态

滑动轴承的摩擦状态主要有以下几种:

1) 干摩擦状态: 当两相对运动表面之间无任何介质时, 即出现固体表面间直接接触的摩擦。这种状态下, 摩擦因数大, 磨损严重, 会导致大量的摩擦功损耗和温升。在滑动轴承中表现为强烈的升温, 可能使轴与轴瓦产生胶合, 因此在实际应用中需要避免这种状态的出现。

2) 边界摩擦状态: 在两摩擦表面上存在一层极薄的润滑介质薄膜(通常小于1微米), 但部分表面的微凸体仍可能刺破薄膜形成直接接触。此状态下的摩擦因数和磨损相较于干摩擦有所减小, 但仍然较大。金属表层覆盖的这层边界油膜虽不能绝对消除表面的磨损, 却可以起着减轻磨损的作用。

3) 液体摩擦状态: 当两表面之间存在充足的液体介质, 且其厚度足以将两表面完全隔开时, 称为液体摩擦或液体润滑。在这种状态下, 两表面之间的摩擦主要来自于液体介质内部, 摩擦因数很小, 几乎无磨损。这是最为理想的摩擦状态, 通常在长期高速旋转的机器中使用。

4) 混合摩擦状态: 实际使用中, 很多情况下是处于上述几种状态的混合, 即同时存在干摩擦、边界摩擦和流体摩擦的区域。

* 作者简介: 黄维利, 1975.11.01, 性别: 女, 民族: 汉, 籍贯: 四川, 学历: 本科, 职称: 机械工程师中级, 职务: 机械研发工程师, 研究方向: 压缩机, 压裂工程装备

在此状态下，随着润滑油膜的厚度变化，直接接触的表面数量和比例也会相应改变，从而影响整体的摩擦性能和磨损情况。

二、试验装置、样件

(一) MPV-20B 型屏显式 PV 摩擦试验机



PV 摩擦试验机

该设备由试验力加载系统、摩擦力测量系统、实验装夹系统、温度测量系统、主轴系统、润滑系统以及电气控制系统等组成。其中试验力加载系统的液压站采用伺服控制，加在精准、稳定性好，可靠性高。摩擦力测量系统的主轴旋转的变频电机通过变频器控制，实现无极调速，横扭矩输出，转速精准性好。摩擦力采集采用高精度动态扭矩传感器，于主轴轴向方向上采集摩擦力矩，有效提高了摩擦力测量的准确性与可靠性。控制系统采用计算机及模块控制，具有采集频率高、控制精度高、稳定可靠、使用方便、数据便于输出处理等优点。

(二) 试样及试验装置

根据滑动摩擦副的工作情况，要求轴瓦材料具备下述性能：

1) 摩擦系数小；2) 导热性好，热膨胀系数小；3) 耐磨、耐蚀、抗胶合能力强；4) 要有足够的机械强度和可塑性。轴需承受载荷，需要强度高。需与轴瓦配合要求表面硬度高。

根据上述要求和实际使用情况，选用了下表五种材料作为试样。



外试样

内试样

名称	试样1	试样2	试样3	试样4	试样5
外试样材料	ZCuZn35Al2Mn2Fe1	ZCuSn10Pb1	ZCuAl10Fe3	ZZn4Al5CuMg-5	ZChSnSb8-8
内试样材料	35CrMo	35CrMo	35CrMo	35CrMo	35CrMo

每种试样的特点描述如下：

合金牌号	抗拉强度 Rm/MPa	屈服强度 Rp0.2/MPa	伸长率 A%	布氏硬度 HBW
ZCuZn35Al2Mn2Fe1	≥ 475	≥ 200	18	≥ 110
ZCuSn10Pb1	≥ 330	≥ 170	4	≥ 90
ZCuAl10Fe3	≥ 540	≥ 200	15	≥ 110
ZZn4Al5CuMg-5	≥ 450	-	14	≥ 120
ZSnSb8Cu4	-	-	-	≥ 24

ZCuZn35Al2Mn2Fe 为铝青铜轴承合金，具有高的力学性能和良好的铸造性能，切削性能良好。具有较高的强度，耐磨性，在大气、淡水、海水中有较好的耐腐蚀性。其中 Mn 的加入提高了青铜的耐腐蚀性，Fe 的加入提高了材料的润滑性，提高了基体的强度改善了合金的耐磨性能。可作为低速重载的轴承。

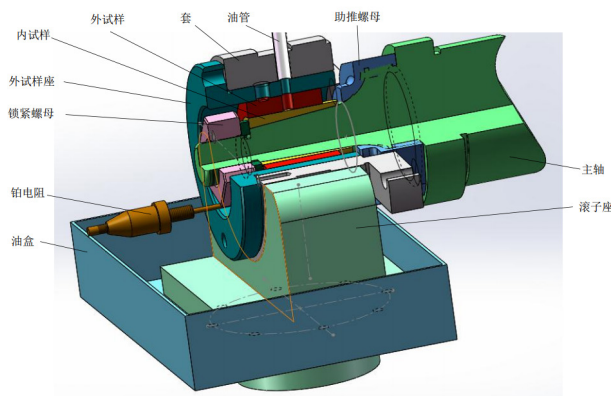
ZCuSn10Pb1 为铅基轴承合金，铸造性能和加工性能非常优秀。它易于铸造成型，并且具有良好的切削性能，适合各种加工工艺，如铣削、车削等。它广泛用于制造各种耐磨零件，如轴瓦、衬套、连杆、齿轮等。其优异的化学成分和力学性能保证了其在高负荷、高摩擦环境下的稳定性和可靠性，使其成为工业制造中不可或缺的重要材料之一。

ZCuAl10Fe3 为铜基轴承合金，在高温下抗氧化性能良好，在大气、淡水河海水中有较高的耐腐蚀性。强度、承载能力强，良好的导热性、良好的耐磨性，可作为低速重载的轴承。

ZZn4Al5CuMg-5 为锌基轴承合金，硬度接近于低碳钢，耐压耐磨性好，因含 AL 量较高，具有较高的强度和铸造性能。主要用于制造轴承、滑轮等。

ZSnSb8Cu4 为锡锑轴承合金，摩擦系数在有油时为 0.005，无油时为 0.28，机体呈白色。适用于低硬度轴转动的材料。它的特点是在软相基体上均匀分布着硬相质点，软相基体使合金具有非常好的嵌藏性、顺应性和抗咬合性，并在磨合后，软基体内凹，硬质点外凸，使滑动面之间形成微小间隙，成为贮油空间和润滑油通道，利于减摩；上凸的硬质点起支承作用，有利于承载。常用于高速、重载的轴承。由于它的价格较贵且机械强度较差，因此只能作为轴承衬材料而浇铸在钢、铸铁或青铜轴瓦上。

(三) 试验示意图



如图所示，内试样安装在主轴上，随着主轴一起转动。外试样，也就是滑动轴承安装在滚子座上，在滚子座下端施加液压力作为滑动轴承承受的载荷。轴承部分的润滑通过油管连续注入润滑油。

(四) 试验目的

测试不同材质的摩擦副在一定润滑条件下的许用 P 值、许用 V 值和许用 PV 值。

(五) 润滑条件

320# 润滑油，连续润滑，流量 0.22L/min。为避免杂质影响，要求过滤精度 5-10 μm。

(六) 试样材料

其中外试样为5种不同材料的样件，每种试样分别在定载荷，变转速和定转速，变载荷下做3组。

三、试验内容

(一) 定载荷，变转速

工况	环境温度25℃						
	1	2	3	4	5	6	7
载荷 F(kN)	2	2	2	2	2	2	2
转速 N(RPM)	200	400	600	800	1000	1200	1400
时间 min	30	30	30	30	30	30	30
计算比压 P(MPa)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
计算速度 V(m/s)	0.37	0.73	1.1	1.47	1.83	2.2	2.56
计算PV(MPa.m/s)	2.1	4.2	6.3	8.4	10.5	12.6	14.7

(二) 定转速，变载荷

工况	1	2	3	4	5	6	7
载荷 F(kN)	2	5	8	11	14	17	20
转速 N(RPM)	200	200	200	1000	1000	1000	1000
时间 min	30	30	30	30	30	30	30
计算比压 P(MPa)	5.7	14.3	22.9	31.4	40	48.6	57.1
计算速度 V(m/s)	0.37	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83	1.83
计算 PV(MPa.m/s)	2.1	26.1	41.8	57.5	73.2	88.9	104.6

四、结果如下

		定载荷，变转速	定转速，变载荷	
试样1	1组	完成	4组	载荷8KN 报警停机
	2组	完成	5组	载荷8KN 报警停机
	3组	完成	6组	完成

试样2	1组	完成	4组	载荷14KN 报警停机
	2组	完成	5组	载荷11KN 报警停机
	3组	完成	6组	载荷11KN 报警停机
试样3	1组	完成	4组	载荷14KN 报警停机
	2组	完成	5组	完成
	3组	完成	6组	载荷17KN 报警停机
试样4	1组	完成	4组	完成
	2组	完成	5组	完成
	3组	完成	6组	完成
试样5	1组	完成	4组	载荷8KN 报警停机
	2组	转速1200RPM 报警停机	5组	载荷8KN 报警停机
	3组	完成	6组	载荷11KN 报警停机

通过上述试验结果，可看出在要求转速下，样件均能满足要求。但在变载荷下，试验结果有所不同。

名称	最低比压 Mpa
试样1	14.3
试样2	22.9
试样3	31.4
试样4	57.1 (温度在高载荷下偏高(80℃))
试样5	14.3
试样4能承受的比压最高	

五、结论

通过几种不同材料的试验结果可看出，现有压缩机上的滑动轴承部分可以通过更换第三种或第四种材料来提高比压，其中第四种材料在高比压下温升较高，在使用时对润滑系统的要求更高。第三种和第四种材料后续会在压缩机上进行验证。

参考文献

- [1]GBT 1176-2013 铸造铜及铜合金 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、国家标准化委员会发布
 [2]GBT 1174-2022 铸造轴承合金 国家市场监督管理总局、国家标准化委员会发布
 [2]GBT 1175-2018 铸造锌合金 国家市场监督管理总局、国家标准化委员会发布