

立式屏蔽泵的轴向力及石墨轴承耐磨性试验研究

李 合, 许洪元, 张文达, 罗 闻

(清华大学热能工程系, 北京 100084)

摘 要: 对影响立式屏蔽泵使用寿命的两个关键问题——泵的轴向力和石墨轴承的耐磨性进行了研究。建立了轴向力测量装置, 研究屏蔽泵的密封环结构形式和运行工况对轴向力的影响关系, 发现双端面密封和平衡孔配合使用可以有效减少轴向力; 在 Falex 摩擦磨损机上对普通石墨材料和浸润树脂石墨材料进行了磨损实验, 并利用 CSM 950 扫描电子显微镜对其磨损表面作了形貌分析, 试验表明, 浸润树脂石墨材料的耐磨性能明显高于普通石墨材料。以上的研究结果对屏蔽泵的设计有指导作用。

关键词: 立式屏蔽泵; 轴向力; 石墨轴承; 摩擦磨损

中图分类号: TH31

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0128-04

0 引 言

立式屏蔽泵(以下简称屏蔽泵)属于无泄漏离心泵, 其轴承为水冷却润滑式石墨滑动轴承, 噪音很低, 这种环保型水泵正在越来越广泛地得到应用。该泵的使用寿命主要取决于石墨滑动轴承的寿命。而滑动轴承能否正常使用, 取决于其承受的轴向力大小及其本身的耐磨性。对于普通卧式离心泵, 已有多人对其轴向力进行了研究^[1-3], 但是有关立式屏蔽泵轴向力的研究成果尚未见报道。立式屏蔽泵由于其石墨轴承承受着包括电机转子、叶轮和主轴等部件的自重在内的全部轴向力, 属于薄弱、易损坏部件。在检修现场, 屏蔽泵停机检修等故障的发生, 大部分是由于轴向力过大或石墨轴承磨损破坏引起的^[3-5]。因此, 减小屏蔽泵的轴向力并提高石墨轴承的耐磨性能, 将有助于提高屏蔽泵的可靠性和延长使用寿命, 具有极其重要的现实意义。

1 轴向力试验研究

1.1 试验装置

图 1 是轴向力试验装置示意图, 由水泵管路系统、立式屏蔽泵和轴向力测量系统组成, 轴向力测量系统包括安装在石墨轴承上的应力应变片及其构成的电桥、CL 11-3 载荷指示仪、DH5935 动态应变处理仪、计算机及动态应变处理软件。CL 11-3 载荷指示仪可以直接进行实时轴向力平均数值的读取, DH5935 动态应变处理仪可对轴向力的脉动数据进行记录和计算机处理。

轴向力测量采用电阻应变片电测法, 在 QPG100-160 屏蔽泵的石墨轴承侧面上粘贴电阻应变片, 感应屏蔽泵的轴向受力。石墨轴承整体作为应力应变传感元件, 不需要对泵体作很大的改动, 当轴向力不同时, 石墨轴承产生不同的挤压变形。综合考虑传感器的强度和灵敏度, 由计算确定石墨轴承径向最薄的部位为 3 mm, 即可同时满足灵敏度和强度的要求, 为此, 在原石墨轴承

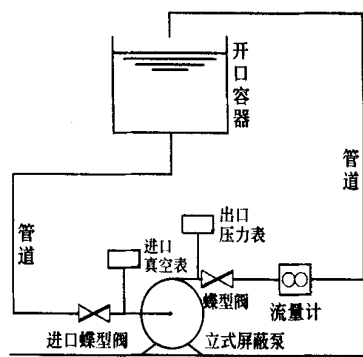


图 1 轴向力试验装置示意图

Fig 1 Sketch map of the measuring apparatus for axial thrust

上车出一个轴向长度 20 mm, 径向深度 15 mm 的圆槽, 应变片采取 8 片式全桥电路粘贴在圆槽内。在轴向和环向各对称布置 4 个应变片, 以消除因偏心产生的弯矩。增加环向应变片的目的主要是为了增加传感器测量的灵敏度, 同时免去了增加补偿电阻, 并可克服温度变化引起的应变变形误差。采用全桥式测量方案, 全桥输出的应变是石墨轴承应变变形的 2 572 倍。使用环氧树脂将应变片粘贴在石墨轴承侧面, 等环氧树脂固化后, 将充当传感器的石墨轴承装入轴承座, 等石墨轴承和轴承座连接为一体后, 在 WDW-3020 型电子万能试验机上施加标准载荷, 进行应变传感器的标定。

1.2 屏蔽泵密封环结构型式和运行工况对轴向力的影响

密封环对轴向力有重要影响^[6-8]。在试验中通过改变立式屏蔽泵的平衡孔面积和密封环结构型式, 测量轴向力的大小。叶轮平衡孔的数目分别为 0、2、4、6, 每个孔的孔径为 8 mm。故其相应平衡孔总面积为 0、100.6、201.2、301.8 mm²。为了研究不同型式的密封环结构对屏蔽泵轴向力的影响, 设计制造了三种不同方案的密封环和叶轮, 三者的区别在于: 方案 1 除了叶轮密封环径向间隙可以起到密封减压作用外, 还配有轴向端面密封(见图 2)。通过轴向力自动调节叶轮的轴向间隙, 径向端面密封和轴向端面密封配合使用, 达到减小轴向力的目的。而方案 2 和方案 3 只有径向断面密封环。方案 1,

2, 3 的密封环直径分别为 270, 160 和 100。

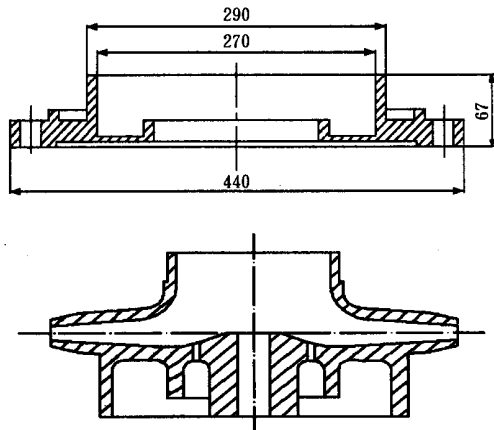


图 2 方案 1 的密封环和叶轮
Fig 2 The seal ring and impeller of project 1

1. 2. 1 平衡孔面积和密封环型式对轴向力的影响

根据文献, 平衡孔能够减少轴向力^[8-10]。我们在不同数目的平衡孔、不同型式的密封环条件下测量了平均轴向力的大小。泵的流量 $Q = 76\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $150\text{ m}^3/\text{h}$ 。轴向力随平衡孔面积和密封环型式的变化规律如图 3 所示。

图 3 表明, 对于同一种型式的密封环结构, 当平衡孔从 6 个变为 4 个时, 平均轴向力变化不大。当平衡孔的数目由 4 个减少为 2 个时, 平均轴向力均明显增大, 叶轮上不开平衡孔时, 3 个密封环形式的轴向力相同且达到最大值。上述结果表明, 平衡孔面积达到某一值后, 再增加平衡孔面积其平衡效果已无明显改善, 反而会使容积效率降低; 小于该值时, 平衡孔面积大小对轴向力的影响较大; 不开平衡孔时, 单纯的密封环不可能起到平衡轴向力的作用。当平衡孔数目相同时, 方案 1 轴向

力最小, 而方案 3 的轴向力最大, 说明径向端面密封和轴向端面密封相结合的双端面密封与平衡孔相结合, 其平衡轴向力的效果最佳; 方案 2 的密封环直径大于方案 3 中相应的直径, 故方案 2 减少轴向力的作用大于方案 3。

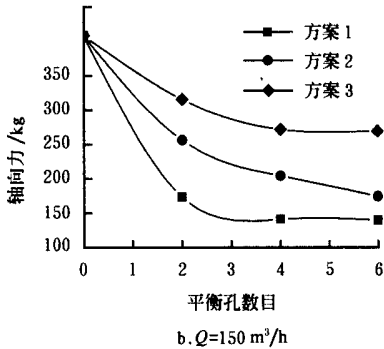
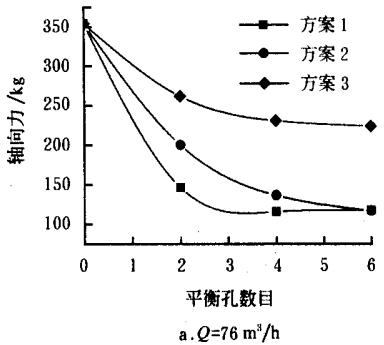


图 3 平衡孔和密封环对轴向力的影响
Fig 3 Influence of number of the balanced holes and seal ring on axial thrust

1. 2. 2 流量大小对于轴向力的影响

对上述三种密封环结构型式, 分别测量了轴向力随流量的变化关系, 结果如图 4 所示。

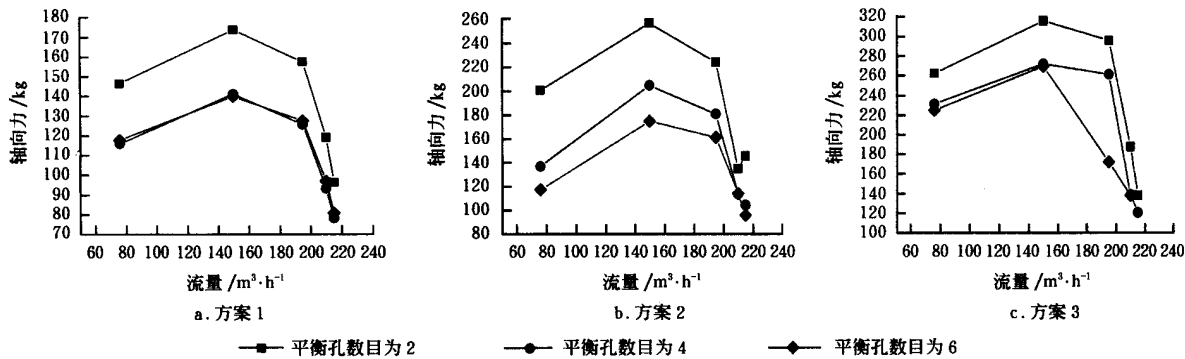


图 4 方案 1、2、3 的轴向力随流量的变化规律
Fig 4 Change of the axial thrust of project 1, 2, 3 with flow rate

从图 4 可知, 在任一种密封环型式下, 每个相同的平衡孔数目下的流量对轴向力的影响规律大体相同。即该泵在 $Q = 150\text{ m}^3/\text{h}$ (泵的设计流量附近) 运行时轴向力最大, 偏离该工况时轴向力减小。在小流量工况, 尽管泵的扬程较高, 但平衡孔的“泄流能力”能在小流量时起到较好的压力平衡作用, 故小流量工况时的轴向力较

小。在大流量工况下, 由于泵的扬程随流量增加而明显减小, 故大流量工况下的轴向力亦不大。而在大流量和小流量工况之间, 有一个轴向力最大的工况。

2 石墨轴承材料磨损性能研究

立式屏蔽泵石墨轴承的摩擦副为不锈钢和石墨。在

Falex 摩擦磨损实验机上对立式屏蔽泵石墨轴承采用的两种材料——普通石墨材料和浸润树脂石墨材料的耐磨性能进行了实验。并在 CSM 850 扫描电子显微镜上作了形貌分析。Falex 摩擦磨损机的上摩擦件为不锈钢试验片,下摩擦件分别为普通石墨试验片和浸润环氧树脂石墨试验片。在某一载荷下,由 Falex 摩擦磨损机的转矩读数仪上读出转矩值,由转矩和载荷得到石墨材料的摩擦系数。计算公式如下

$$\mu = 1.1 \frac{T}{W}$$

(1)

式中 μ ——摩擦系数; T ——转矩值; W ——摩擦载荷。

2 1 转速对于石墨材料磨损的影响

在 Falex 摩擦磨损机上,保证摩擦的载荷为 60 kg,冷却水环境温度介质温度保持在 40~ 50 ,分别在转

速 300、600 和 900 r/m in 条件下,旋转摩擦 120 m in。由 1712M P8 型分析天平称重得到试件的磨损失重,从而得到普通石墨材料和浸润树脂石墨材料的磨损量和摩擦系数随转速的变化规律,实验结果见表 1。

从表 1 可知,普通石墨材料和浸润树脂石墨材料的摩擦系数随着转速的升高均有所下降,磨损量随转速的升高而增大,但磨损的增加和转速的增加并不成正比关系。在同一转速下浸润树脂石墨的磨损量小于普通石墨的磨损量。

2 2 载荷对于石墨材料磨损的影响

保持 Falex 摩擦磨损机的转速为 900 r/m in,冷却水温度保持在 40~ 50 ,在摩擦载荷分别为 20、40 kg 和 60 kg 条件下各旋转摩擦 120 m in,得到普通石墨和浸润树脂石墨材料的磨损量和摩擦系数随载荷的变化规律,试验结果如表 2 所示。

表 1 石墨材料随转速变化的摩擦磨损规律
Table 1 Abrasion of graphite with pump speed

摩擦材料		试验条件			摩擦转矩(平均值)	摩擦系数	磨损量
上试件	下试件	转速/r · m in ⁻¹	载荷/kg	时间/m in	Λ b inch	(平均值)	/mg
不锈钢	普通石墨材料	300	60	120	26 0	0 216	125 0
		600			22 8	0 190	133 4
		900			16 2	0 135	219 2
	浸润树脂石墨材料	300	60	120	24 0	0 200	112 1
		600			18 8	0 156	128 8
		900			16 6	0 138	187 9

表 2 石墨材料随载荷变化的摩擦磨损规律
Table 2 Abrasion values of common graphites with load

摩擦材料		试验条件			摩擦转矩(平均值)	摩擦系数	磨损量
上试件	下试件	转速/r · m in ⁻¹	载荷/kg	时间/m in	Λ b inch	(平均值)	/mg
不锈钢	普通石墨材料	20	900	120	6 4	0 160	100 7
		40			8 8	0 110	206 5
		60			16 2	0 135	219 2
	浸润树脂石墨材料	20	900	120	8 6	0 215	57 5
		40			12 6	0 157	88 6
		60			16 6	0 138	187 9

从表 2 可知,随着摩擦载荷的增加,普通石墨材料和浸润树脂石墨材料的摩擦转矩均显著增加,但其增加速率小于载荷的增加速率,因此摩擦系数随着载荷的增加而下降。这两种材料的磨损量随着摩擦载荷的增大而明显增加,说明载荷对于材料的磨损量是一个重要因素。同时,浸润树脂石墨材料耐磨性能要明显高于非浸润树脂的石墨材料。

2 3 形貌分析

利用 CSM 950 扫描电子显微镜对石墨材料 and 不锈钢材料磨损前后的表面进行了形貌分析。如图 5、6 和 7 所示。

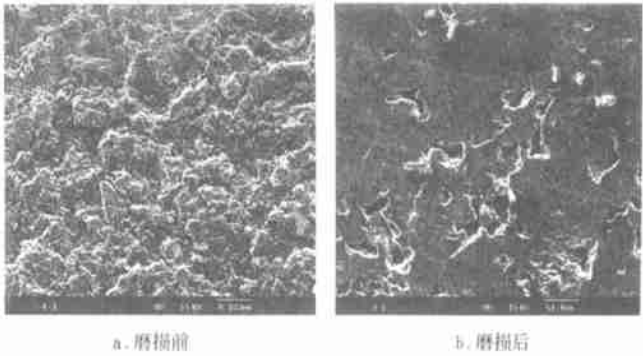


图 5 普通石墨材料表面的 SEM 形貌
Fig 5 Image by SEM of common graphite surface

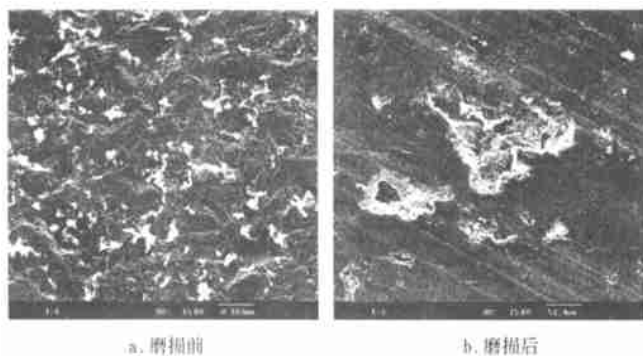


图 6 浸润树脂石墨材料表面的 SEM 形貌

Fig 6 Image by SEM of infiltration epoxide resin graphite surface

图 5 和图 6 分别为普通石墨材料和浸润树脂石墨材料磨损前后的表面形貌 SEM 照片。可以看出磨损前的普通石墨表面为鱼鳞状结构。而在浸润树脂石墨材料中, 树脂材料和石墨材料良好地结合在一起, 树脂高分子链均匀、密集地分布在石墨材料表面, 对于石墨材料的强度和耐磨性能都起到了强化的作用。磨损后的普通石墨材料和浸润树脂石墨材料的表面都比较平滑。但普通石墨材料的表面光洁程度要比浸润树脂石墨材料的高, 在较高载荷和转速下, 其摩擦系数要低于浸润树脂石墨材料。

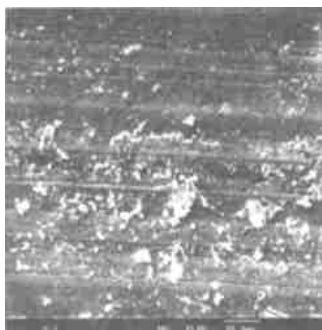


图 7 喷焊镍基合金的 Cr18Ni9Ti 不锈钢表面磨损形貌

Fig 7 Image by SEM of stainless steel Cr18Ni9Ti

Cr18Ni9Ti 不锈钢表面喷焊镍基合金, 其磨损后的

形貌分析照片如图 7 所示。经过一定时间的摩擦磨损后, 不锈钢基体已经沿摩擦旋转方向显示出规则的磨损痕迹, 而其表面喷焊的镍基合金仍牢固地结合在不锈钢表面上。故采取喷焊镍基合金的措施, 可大大提高石墨轴承的摩擦副推力盘的使用寿命。

3 结 论

1) 双端面密封的密封环配合适当尺寸的平衡孔, 可有效的减小屏蔽泵的轴向力, 进而达到延长屏蔽泵使用寿命的目的;

2) 在设计流量附近, 屏蔽泵的轴向力较大, 为确保其运行可靠性, 石墨轴承等部件的设计应以设计流量时的轴向力为准;

3) 石墨材料经浸润树脂处理后, 在摩擦条件不太恶劣的条件下, 其耐磨损性能有很大提高。

[参 考 文 献]

- [1] Kale R D, Baskar S, Chande S K. Analysis of failure of axial thrust balancing and thrust bearing of small capacity boiler feed pump for a nuclear power plant[C]. The 4th international conference on fluid machinery, China, Suzhou, 1993: 616- 621.
- [2] 陆 雄, 范宗霖, 薛建欣. 单级单吸离心泵轴向力实验研究[J]. 水泵技术, 1998, 3: 3- 9.
- [3] 崔 巍. 多级离心泵输送渣浆时的轴向力分析及技术改进[J]. 煤炭学报, 2000, 1: 100- 104.
- [4] 冯学峰. H 型离心泵技术改造[J]. 水泵技术, 2000, 2: 41- 46.
- [5] 吴雅娟. 屏蔽泵石墨轴承的损坏与对策[J]. 石油化工设备技术, 1995, 1: 52- 53.
- [6] 刘在伦. 潜水泵加大叶轮后密封环平衡轴向力的探讨[J]. 机械研究与应用, 1995, 4: 28- 29.
- [7] 孙卫平, 马群南, 等. 平衡管平衡水泵轴向力设计的改进[J]. 机电设备, 2002, 2: 24- 27.
- [8] 陆 雄. 单级单吸离心泵后密封环加大量和平衡孔直径最佳值实验研究[J]. 水泵技术, 1998, 5: 3- 9.
- [9] 陆 雄. 用改变平衡孔位置改善单级单吸离心泵轴向力[J]. 水泵技术, 1998, 6: 7- 13.
- [10] 张翼飞, 等. 多级离心泵平衡管径的确定方法[J]. 水泵技术, 1996, 5: 24- 27.

Experimental research on axial thrust and the wearability of graphite bearing of a vertical canned motor pump

Li He, Xu Hongyuan, Zhang Wenda, Luo Wen

(Department of Thermal Energy and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract This research dealt with the axial thrust and the wearability of graphite bearing of a vertical canned motor pump, which are the two critical problems about the pump's working life. A measuring apparatus was established to find out the influence of the structure of seal ring and the operating point of the pump on the axial thrust, and these tests indicate that if double mechanical end face seal and balance holes are used, axial thrust will be greatly reduced. A series of abrasive experiments on the common graphite material and the infiltration epoxide resin graphite material were made by using Falex tribology test equipment, and CSM 950, a scanning electron microscope (SEM) equipment, was used to analyze the fracture morphology on their surface. It is found out that the wearability of the infiltration epoxide resin graphite material is better than that of the common graphite material. These experimental results provide some references for the design of canned motor pumps.

Key words: vertical canned pump; axial thrust; graphite bearing; abrasion