

⑭ 75-80

旋转式泵类填料密封的动态设计研究

TH 311.022

THB6

庞佑霞¹ 李晓红² 秦文学²

(¹湘潭工学院,湘潭,411201; ²重庆大学)

摘要 对离心泵填料的受力进行了理论分析,经过实验找到了影响泄漏量的因素,如压紧力、填料摩擦系数、初始间隙、密封环长度等。通过对填料环的动态设计,用PIEE——聚苯酯(Ekonol)——石墨自润滑复合材料做离心泵的填料。测试表明,泵的性能明显地好于使用石棉填料,解决了泵的泄漏。

关键词 泵; 填料密封; 动态设计; 复合材料

中国图书资料分类法分类号 TH136

旋转式泵 离心泵

填料密封是一种传统的接触式密封,广泛应用于回转式泵类中,虽然近年来密封技术的发展,密封理论的进步,使填料装置的性能日趋完善,然而在许多情况下,密封仍然是非常棘手和难以解决的问题。尤其是在离心泵填料这样的动态密封中,存在着许多相互矛盾和制约因素,诸如泄漏、摩擦、磨损、润滑和温度等方面,涉及到了有关流体力学、固体力学、材料科学和机械设计等许多领域的专门知识。

泵的填料密封材料现在仍然普遍采用传统的油浸石棉类材料,这类材料由于摩擦系数相对较大,所以填料对轴的磨损严重,泄漏量大。为了改善泵填料的密封性能,笔者以离心泵为例分析了填料材料、受力及其结构对密封性能的影响,并对其进行了动态设计。

1 压紧力的分布

填料受到压盖轴向压紧后,由于填料的弹性变形,产生摩擦力致使压紧力从压盖起沿轴向逐渐减少,同时所产生的径向压紧力使填料紧贴于轴表面而阻止介质外漏。填料径向压紧力的分布与介质压力的分布恰恰相反,内端介质压力最大,应给予较大的密封力,而此时填料的径向压紧力恰是最小,故压紧力没有很好的发挥作用。实际应用中,为了获得密封性能,往往增加填料的压紧力,使靠近压盖的填料处径向压紧力最大,当然摩擦力也随之增大,这就导致填料和轴产生异常磨损情况^[1],如图1所示。另外,当压紧力太大时也会引起填料处的高温 and 烧结现象。可见,一般的填料密封其受力状况很不合理,整个密封面较长,摩擦面积大,发热量大,摩擦功耗也大。如散热不良,则易加快填料和轴表面的磨损。

如图2所示,填料受到压盖轴向压紧后,填料即被压缩而向内端移动。填料受力有:轴向压紧力 p_z 和 $p_z + dp_z$, 径向压紧力 p_r 和摩擦力 F_1 、 F_2 。力的平衡方程为:

• 收文日期 1998-09-07
湖南省科学攻关项目
第一作者:女,1959年生,硕士

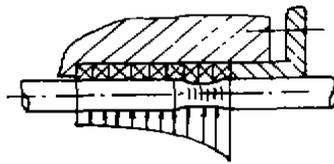


图1 填料密封压力分布及异常磨损

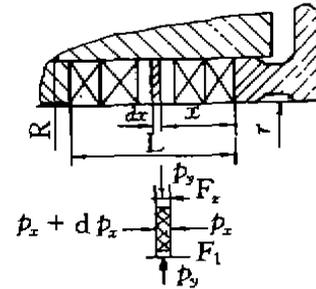


图2 填料受力分析图

$$F_1 + F_2 + \pi(R^2 - r^2)d p_x = 0 \quad (1)$$

根据密封要求,在内端填料处,即 $x = L$, 径向压紧力 $p_r = p_i$, 并积分

$$-\int_{p_x}^{p_i/K} \frac{d p_x}{p_x} = \frac{2K\mu}{R-r} \int_x^L dx$$

$$\ln \frac{K p_x}{p_i} = \frac{2K\mu}{R-r}(L-x) \quad (2)$$

$$p_x = \frac{1}{K} p_i e^{\frac{2K\mu}{R-r}(L-x)}$$

式中 K ——侧压系数;

μ ——填料对轴的摩擦系数;

p_i ——介质压力, Pa;

R, r ——填料函内径与轴径, m;

L ——填料长度, m;

p_x ——在 x 轴向任意长度上的轴向压紧力, Pa.

则填料受径向压紧力 $p_r = K p_x$.

在 $x = 0$ 的压盖端部处, 轴向压紧力为

$$p_x = \frac{1}{K} p_i e^{\frac{2K\mu L}{R-r}} \quad (3)$$

从上式可知, 轴向压紧力 p_x 与介质压力 p_i 大小成正比, 且与填料的摩擦系数 μ 、侧压系数 K 、填料长度 L 和厚度等有关。为了获得良好的密封效果, 减少摩擦力, 延长填料和轴的使用寿命, 就要求压盖压紧力 p_x 小, 即填料的摩擦系数 μ 应小, 填料长度 L 小, 侧压系数 K 和厚度 (径向厚度) 大等^[2]。

2 摩擦力和摩擦功率

在轴向长度上微段填料的摩擦力为*:

* Karaszkievicz A. Hydrodynamics of Rubber Seals for Reciprocating motion, 10th International of Fluid sealing, 1984

$$dF = 2\pi r\mu_0 p_x dx = 2\pi r\mu_0 K p_x dx$$

在总长度为 L 的整个填料的总摩擦力 F 由上式积分得:

$$F = 2\pi r\mu_0 \frac{p_1}{K} K \int_0^L e^{\frac{2K\mu_0}{R-r} (L-x)} dx$$

因此有

$$F = \pi r\mu_0 \frac{(R-r)}{K\mu} p_1 (e^{\frac{2K\mu_0 L}{R-r}} - 1) \quad (4)$$

总摩擦功率 N 为:

$$N = F \cdot V$$

轴面线速度 V 为:

$$V = \frac{\pi r n}{30} \text{ (m/s)}$$

其中 n ——轴的转速, r/min.

则有

$$N = 0.329 n r^2 \mu_0 \frac{(R-r)}{K\mu} p_1 (e^{\frac{2K\mu_0 L}{R-r}} - 1) \quad (5)$$

式中 μ_0 ——填料与转轴的周向动摩擦系数。

由(2)式,总摩擦功率 N 为:

$$N = 0.329 n r^2 \mu_0 \frac{(R-r)}{\mu} \left[\frac{1}{K} p_1 e^{\frac{2K\mu_0 L}{R-r}} - \frac{1}{K} p_1 \right] \quad (6)$$

$$N = 0.329 n r^2 \mu_0 \frac{(R-r)}{\mu} \left(p_x - \frac{p_1}{K} \right)$$

由此可见,在密封结构尺寸和工况条件相同的情况下,其摩擦功率的大小决定于材料的摩擦系数和轴向压紧力。这就要求轴封材料有较低的摩擦系数和轴向压紧力。

3 填料材料的研究分析

一般中低压离心泵出口压力小于 6 MPa, 泵填料函处的压力又低于泵出口压力约 1/2~1/3, 所以其材料应具有一定的抗弯强度和刚度, 有保持一定的形状及阻止变形的能力。由于工业离心泵大都输送含固体颗粒的腐蚀性介质, 这就要求轴封材料具有耐腐蚀性。当泵刚启动时, 由于瞬间电流大, 填料处摩擦功率就大, 在填料与轴接触的表面局部温度可达到 160℃ 左右。为了使填料的机械性能不致显著下降, 就要求其材料既耐高温, 又要有一定的导热能力, 以减少局部温升。另外, 填料与轴有滑动摩擦运动, 若材料不具有良好的耐磨性与适当的韧性, 势必导致填料寿命短促。

根据以上分析, 经过大量的实验研究, 成功地研制一种聚四氟乙烯(PTFE)——聚苯酯(Ekonol)——石墨复合自润滑材料^[3], 其代号为 EN₂, 作为填料材料。

4 EN₂ 材料的性能及填料环的动态设计

4.1 EN₂ 材料的性能

EN₂ 材料是采用工程塑料聚苯酯(商品名为 Ekonol)和石墨去共混改性聚四氟乙烯(PTFE)冷压烧结而成的一种新型自润滑复合材料,具有摩擦系数小,自润滑性能好,抗压、抗拉强度高,耐腐蚀,使用温度可达到 300℃,耐磨损,有弹性,有抗蠕变和抗疲劳的能力。现将 EN₂、PIFE 与石棉的机械物理性能列于表 1 中,进行比较。

表 1 EN₂、PIFE、石棉的机械物理性能

性能	EN ₂	PIFE	石棉
摩擦系数	0.17~0.19	0.13~0.16	0.25~0.4
抗弯强度/MPa	15.5	12.0	
抗压强度/MPa	37.9	30.8	21.0
抗拉强度/MPa	11.8	15.0	2.4~4.0
使用温度/℃	-250~410	-180~250	-30~450
耐腐蚀性	在各种介质中稳定	几乎在各种介质中稳定	耐碱不耐酸

将 EN₂ 材料冷压烧结成工业离心泵的填料环,安装在 IS100-80-160 型离心泵上做密封性能试验,试验方法遵循 GB3216-89 标准,流量测定方法遵循 GB3214-90 标准。

4.2 设计参数对泄漏量的影响

为了考察 EN₂ 填料环尺寸和结构对密封性能的影响,将不同设计参数的填料环分别作了以下实验和分析。

4.2.1 轴向压紧力 p_x 对泄漏的影响

轴向压紧力 p_x 对泄漏量 Q 的影响如图 3 所示,它表明 EN₂ 填料在低压下泄漏量较大,但是当密封压力升高到 2 MPa 时,就很小了。

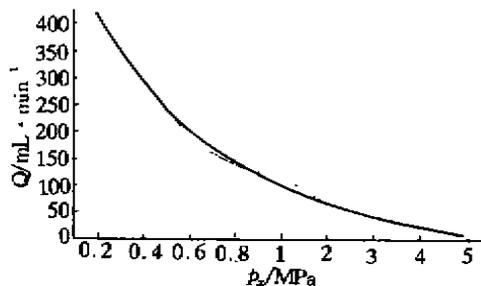


图 3 轴向压紧力 p_x 对泄漏量 Q 的影响

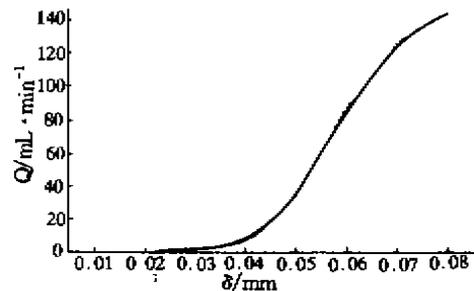


图 4 初始间隙 δ 对于泄漏量 Q 的影响

4.2.2 轴与填料环初始间隙的影响

图 4 中所示为轴与 EN₂ 填料环初始间隙的不同对泄漏量的影响。实验表明,初始间隙小于 0.05 mm 时,密封性能良好,如初始间隙大于 0.05 mm,泄漏量急剧增加。

4.3 EN₂ 填料环的动态设计

虽然 EN₂ 材料具有优良的机械物理性质,但要达到良好的密封效果,必须对填料环进行动态设计,要考虑到在离心泵工作过程中填料处的介质、磨损、泄漏、温度和润滑等因素。

在不改变泵填料函结构和尺寸的条件下,对填料环的结构和尺寸进行了设计,见图 6。

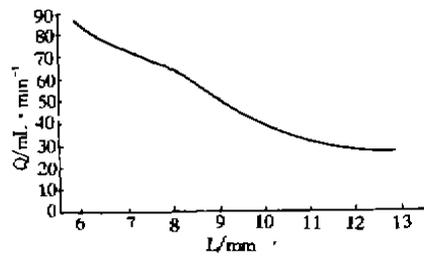


图 5 密封环长度 L 对泄漏量 Q 的影响

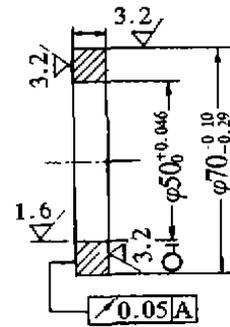


图 6 EN_2 填料环

EN_2 填料的密封机理与油浸石棉填料相同,但 EN_2 环经过预压成型,其径向压紧力 p' 的分布比较均匀。 EN_2 填料的摩擦系数低,自润滑性能好,所以轴与填料环的初始间隙设计成小于 0.05 mm, EN_2 填料尺寸公差是:外径 d11,内径 H7,泵轴公差 h8,函内孔公差为 H8。为了增加填料长度,将水封环改为 EN_2 环,因为水封环的作用是引入介质水作冷却剂,而 EN_2 环具有耐高温性,不需引入冷却剂,这样既可以增加密封性能,又能减少泵的“内泄漏”,提高了泵的容积效率。

以 EN_2 作填料的密封,密封面的润滑有边界润滑和固体润滑。因为填料与轴部分接触,部分被密封介质分离,形成无数个迷宫,液膜厚度极薄,刚性较大,不易流动,泄漏量很小。由于 EN_2 材料有很好的自润滑性和耐磨性,它几乎不损伤对磨材料,也很少引起粘—滑现象,所以对轴的磨损很小。

因为 EN_2 复合自润滑材料中含有石墨分子,轴表面的微观粗糙度能使石墨分子吸附于金属表面,这种石墨分子的转移,使轴表面上形成一层石墨膜(晶体膜),此膜表面光滑,组织致密,该膜与 EN_2 填料间的摩擦系数很小,故填料与轴间的磨损大大降低^[4]。由于聚苯酯(Ekonol)的熔点在 410℃ 以上,不会产生粘着磨损,密封效果良好,几乎没有泄漏。

5 测试试验

为了考查 EN_2 填料的密封效果,在长沙工业泵总厂测试中心进行了测试试验。将 EN_2 环装在 IS100-80-160 型离心泵上,连续运行 30 h 后,测定了泵性能参数,然后与常用的石棉填料运行三个小时后测定出的泵性能参数进行比较,见表 2。

表 2 EN_2 和石棉填料测试结果

填料名称	流量 (l/s)	扬程 (m)	效率 (%)	轴功率 (kW)	压盖处泄露量 (ml/min)
石棉	27.8	33.04	73.85	12.21	41.5
EN_2	27.8	33.08	76.01	11.86	4.1

从表 2 可以看出:使用 EN_2 填料与使用石棉填料相比,水泵的摩擦功率和启动电流有所

下降,一般可节电5%左右。而泵的轴功率降低了2.9%,效率提高了2.16%。

从泄漏情况分析,使用EN₂填料时,压盖处几乎无泄漏。而使用石棉填料泄漏量很大。这是因为EN₂填料低的摩擦系数和良好的自润滑性能,在边界润滑的条件下,摩擦功率并不增大。而石棉的摩擦系数较大,如果以加大压紧力来减少泄漏,就会引起填料处严重发热和轴的磨损加剧,甚至烧轴,为了减少摩擦功率,就得让填料处有一定泄漏,所以,使用石棉填料会使泵的性能下降和不可避免的内外泄漏。

6 结 论

通过对填料环的动态设计研究,分析了压紧力、填料摩擦系数、初始间隙、密封环长度等因素对泄漏量的影响,确定了EN₂填料环的结构尺寸。

要改善和提高目前泵填料的密封性能,必需使用新型的密封材料。如用EN₂自润滑复合材料做泵的填料,泵性能明显地比用石棉填料好,解决了泵的泄漏,减少了摩擦损失功率。

离心泵作为通用机械,其填料密封的密封机理、结构形式、性能及影响因素具有典型意义。可以为解决其它动态密封的设计问题提供一点借鉴,以构筑一种可靠的,性能良好的密封系统。

参 考 文 献

- 1 胡国栋编. 化工密封技术. 北京: 化工出版社, 1990. 224~226
- 2 刘令勋, 刘英贵编著. 动态密封设计技术. 北京: 中国标准出版社, 1993. 132~136
- 3 庞佑霞. 工业泵的固体润滑研究. 湘潭矿业学院学报, 1994, 9(1): 25~31
- 4 [苏]B.A. 彼雷著. 密封系统材料学导论. 沈锡华译. 北京: 机械工业出版社, 1990. 52~55

Dynamic Design Research of Filler-sealing in the Centrifugal Pump

Pang Youxia Li Xiaohong Qin Wenxue

(XiangTan Polytechnic College, XiangTan, 411201)

ABSTRACT The paper analyzed the force on the filler-sealing in the centrifugal pumps. Through the experiments, the factors affecting the leakage rate were found such as the pressing force, the friction coefficient filler, the original gap, the length of the sealing ring and so on. In the experiments, when the PTFE-Ekonol-Graphite, self-lubricating composite materials were used as the sealing filler of the centrifugal pumps and the dynamic design was made, it showed that the performance of the pumps was obviously better than where the asbestos was. As a result, it may solve the leakage of the pumps and decrease the power loss because of friction.

KEYWORDS centrifugal pump; filler-sealing; dynamic design; composite material

(责任编辑 刘尚坤)