

微接触式液膜密封在高速泵上的应用

程 续

中海石油宁波大榭石化有限公司 宁波 315812

摘 要: 分析了蜡油加氢装置高压注水泵原密封存在问题, 提出采用新型微接触式液膜密封结构, 并得到成功应用。结果表明: 新型微接触式液膜密封解决了原密封使用寿命短、泄漏严重、无法长周期运行的问题, 确保装置长周期、可靠运转。

关键词: 蜡油加氢; 高压注水泵; 液膜密封; 微接触式

引言

高速泵广泛应用于石油化工生产过程中, 其转速非常高, 一般在6000~70000r/min之间, 工作叶轮以数倍于普通离心泵叶轮的工作转速从而获得很高的排出压力。高速泵机械密封一般配置普通接触式机械密封, 典型的机械密封采用弹簧静止式平衡型结构, 所处环境工况条件一般比较恶劣, 对密封性能要求苛刻。

在运转过程中, 动环和静环之间存在的润滑液膜对于维持密封的稳定, 减小密封环的摩擦磨损起着关键性的作用。密封环在高速旋转过程中会产生较大的端面粘性剪切热, 而过高的端面温度会给机械密封带来诸如端面变形过大, 端面液膜汽化、热裂等缺陷, 引发密封的早期失效^[1-5]。

中海石油宁波大榭石化有限公司2.1Mt/a蜡油加氢装置0203-P-103B注水泵为天德泵业公司生产的OH6型离心式高速泵, 输送介质为除盐水, 其操作参数见表1。

表1 操作条件

序号	项目	单位	数值	备注
1	输送介质	—	除盐水	
2	介质密度	kg/m ³	988.2	
3	入口压力	MPaG	0.2	
4	出口压力	MPaG	16.5	
5	腔体压力	MPaG	10	二级泵头内侧
6	温度	℃	50	
7	转速	r/min	14200	
8	轴径	mm	28	

该高速泵密封为天德泵业公司随机配套的约翰克兰公司(John Crane)串联式接触式机械密封, 冲洗方案采用API 682 Plan11的系统, 冲洗介质为出口除盐水, 使用过程中发现, 液力透平投用后, 初期运行较好无泄漏, 运行一段时间后发生泄漏, 随之泄漏量越来越大, 直至

泄漏量过大, 停机更换备件。

1 原密封存在问题

高速泵原轴端密封为约翰克兰机械密封, 一级泵头和二级泵头内外侧密封结构相同, 冲洗系统为Plan11或Plan54。

约翰克兰机械密封为无压双端面机械密封(2CW-FB), 内外侧密封均为弹簧式机械密封(API682中A型); 二级泵头内侧Plan11系统来自泵出口, 外侧Plan54系统为泵出口减压后通入; 内侧密封材质: 动环为镍基WC, 静环为石墨, 辅助密封为氟橡胶, 弹簧为哈C-276, 金属件为304SS或316SS; 外侧密封材质: 动环为SiC, 静环为石墨, 辅助密封为氟橡胶, 弹簧为哈C-276, 金属件为304SS或316SS。

经过对原密封及系统进行详细分析, 其存在的主要问题有:

(1)存在的主要问题为高速、高压下动静环磨损过度, 造成的早期失效;

(2)运行过程中密封端面存在气化、干磨等问题。

由于该高速泵为装置重要设备, 其轴端密封经常泄漏导致该高速泵经常维修, 因此需要延长其轴端密封使用寿命, 必须对其进行优化设计和改造。

2 高速泵机械密封改造

根据该高速泵工况、结构特点、现用密封分析, 以及相关工程应用经验, 设计了新的微接触式液膜密封改造方案。改造后的液膜密封外形整体结构不变, 系统不变, 其结构(见图1)的特点为:

(1)密封为无压双端面机械密封(2CW-FB);

(2)内、外侧密封为弹簧式机械密封(A型);

(3)内、外侧密封材质: 动环为硬质合金, 静环为SiC加C, 辅助密封为氟橡胶, 弹簧为哈C-276, 金属件为304SS或316SS。

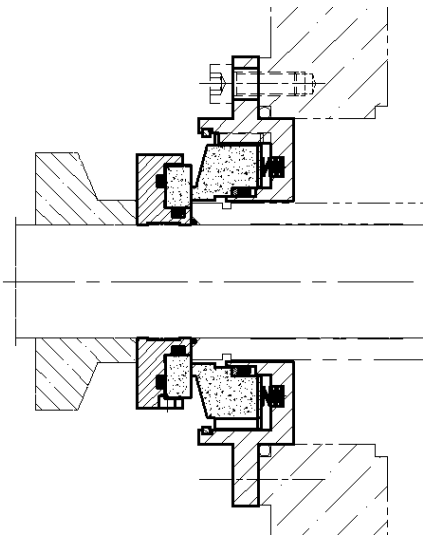


图1 微接触式液膜密封结构示意图

密封端面开设流体动压槽，运行过程中在流体动压和热效应下，摩擦副端面液膜面积大大增加，润滑性得以很大提升，大大降低了摩擦热和磨损量。

微接触式机械密封的原理（见图2）：

在机械密封设计过程中，端面接触比压 p_c 是指作用于密封端面单位面积上的力（当量固相接触压强），其计算公式见式1：

$$p_c = p_{sp} + (B - K_m)p_s = p_{sp} + Bp_s - p_m \quad (1)$$

式中：

B —— 面积比；

p_{sp} —— 弹簧比压，MPa；

p_s —— 密封两侧压差，MPa；

p_m —— 端面平均膜压（端面液体产生的总力 $\int p$ 除以端面面积 A ），MPa；

K_m —— 膜压系数， $K_m = p_m/p_s$ 。

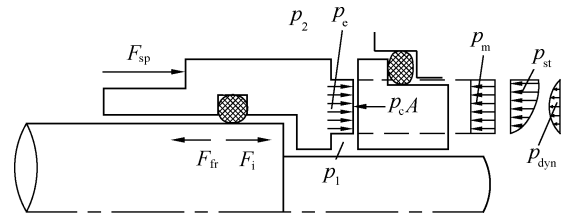


图2 机械密封受力示意图

微接触式机械密封通过表面改形，有针对性地增强流体的静压和动压效应，摩擦副固相接触区域大大减少或消失，使用寿命大大延长。同时，端面摩擦热与摩擦系数、端面比载荷、速度、端面面积有关，微接触式机械密封的摩擦系数小于普通接触式机械密封摩擦系数，端面温升得以缓解，因此端面介质气化、热变形、热磨损、热裂等由于温度过高引起的问题可有效减少。常用的微接触式槽型有圆弧槽、圆点槽和矩形月牙槽三种（如图3），为了得到三种槽型的性能情况，进行了计算和试验验证。



图3 几种常见的微接触式端面槽型图

利用Fluent软件和MATLAB软件对三种槽型的压力分布进行了计算，结果见图4。从压力分布图中可以看出，矩形月牙槽压力分布更加均匀，流体动压效应较好，因此，端面液膜分布更加均匀，可最大限度地降低端面摩擦系数。

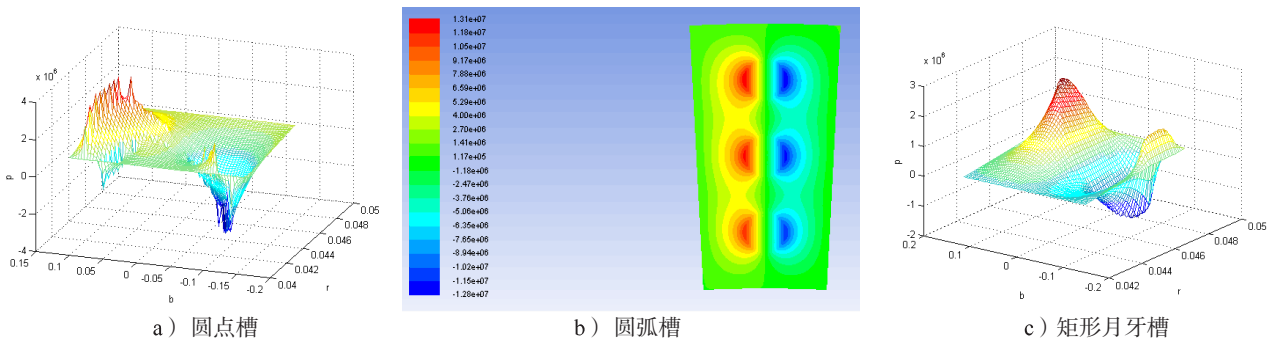


图4 几种常见的微接触式端面槽型图

对三中槽型进行了性能对比试验，试验数据见表1，扭矩代表端面摩擦力矩的相对比较数值。扭矩随压力的增大，一般呈增大的趋势，符合压力越大，端面比压越

大，摩擦力越大的趋势；圆弧槽呈现相反的趋势，圆弧槽贯通外径侧介质，压力增大时，开槽区端面开启力也得以提高，从而降低了端面的接触比压，导致摩擦力减

小,同一转速下,压力较低时,由于产生一定区域的负压区,一定程度上增大接触比压,圆弧槽摩擦力要高于接触式的,随着压力的升高,圆弧槽摩擦力逐渐低于接触式的;圆点槽实验为转速逐渐升高(500-1000-1500-2000-2500-3000-3500-4000-4500-5000),连续运转,实

验起始阶段,扭矩明显低于接触式数值,随着运转时间的增加,端面微孔被软材料石墨填充,其扭矩数值越接近接触式数值;矩形月牙槽的摩擦力一直低于接触式的,且与接触式的存在相同趋势,压力越高其效果越佳,其端面流体动压效果良好。

表1 试验数据

压力MPa	转速r/min	扭矩 Nm			
		接触式	圆弧槽	圆点槽	矩形月牙槽
1	1000	0.9015	1.0019	0.5508	0.7512
3	1000	1.1021	0.8016	0.5508	0.7512
5	1000	1.1021	0.8016	0.5508	0.7512
7	1000	1.3026	0.8016	0.7512	0.9515
1	2000	0.7013	1.1021	0.7512	0.7013
3	2000	0.9017	1.1021	0.9515	0.9017
5	2000	0.9017	1.1021	1.1519	0.9017
7	2000	1.3026	1.1021	1.3522	1.1021
1	3000	0.9017	1.7033	1.1021	1.0019
3	3000	1.1021	1.7033	1.3026	1.0019
5	3000	1.3026	0.9017	1.3026	1.0019
7	3000	1.5029	1.1021	1.3522	1.0019
1	4000	1.2023	1.7033	1.252	1.2023
3	4000	1.4027	1.1021	1.4524	1.2023
5	4000	1.4027	1.1021	1.4524	1.0019
7	4000	1.6032	1.1021	1.7033	1.0019

矩形月牙槽整体减摩擦降损效果良好,在各工况下均可降低端面摩擦力,延长使用寿命。因此,在本方案改造中采用此类型槽型,具体槽型见图5。

3 工业应用

改造后微接触式液膜密封检修安装后首先对密封进行了静压检测,检测结果表明,静态时密封端面及各静密封点密封性良好,开车成功后,一级泵头、二级泵头内外侧密封泄漏量稳定、正常,至今设备运行平稳。

4 结论

实践证明,改造后的密封解决了原密封使用寿命短、泄漏严重、经常检修的问题,确保了整个装置长周期、安全、稳定运行。此次改造经验为国内同类设备密

封改造提供了参考依据。

参考文献:

- [1]顾永泉著.机械密封实用技术[M].北京:机械工业出版社,2007.6
- [2]郝木明,李振涛,任宝杰等.机械密封技术及应用[M].北京:中国石化出版社,2014.10.
- [3]刘东光,唐加刚.加氢装置高速泵机械密封泄漏分析[J].内蒙古石油化工,2014,40(17):48-51.
- [4]葛亮,王涛,孙治国.某型高速泵机械密封失效原因分析[J].内蒙古石油化工,2015,41(17):76-78.
- [5]陈健,李志山.高速泵机械密封故障原因分析及对策[J].机械,2008(08):78-80.