

# 高压加氢装置循环氢压缩机进口密封国产化

程 续

中海石油宁波大榭石化有限公司 浙江 宁波 315812

**摘 要:** 循环氢压缩机为反应系统提供推动力, 为加氢装置的“心脏”, 无备用机组, 其中干气密封为压缩机的核心配件, 在比较恶劣工况条件下, 对干气密封性能要求极为苛刻, 需保证连续运行34400小时或一个检修周期。此关键配件成功国产化为装置的长周期运行、降低检维修费用等方面迈出重要一步。

**关键词:** 蜡油加氢; 循环氢压缩机; 干气密封; 国产化

## 1 设计工况

中海石油宁波大榭石化有限公司210万吨/年原料油加氢处理装置0203-C-101循环氢压缩机, 主机和干气密封分别为沈阳透平机械股份有限公司和John Crane公司设计制造(见表1)。

表1 操作条件

工况		额定工况	氮气工况	硫化工况
介质		循环氢	氮气	氢气
流量	m <sup>3</sup> /h	300000	15000	214200
质量流量	kg/h	55188		
进气压力	MPa(abs)	16.102	0.8	16.102
排气压力	MPa(abs)	18.603	1.468	17.502
进气温度	℃	50	28.013	50
进口容积流量	m <sup>3</sup> /h	2525	2092	1856
分子量		4.123	28	2.016
多变压缩功率	kW	2392	464	982
轴功率	kW	2442	504	1022
排气温度	℃	69	113.5	61.6
入口绝热指数K		1.388	1.403	1.43
入口压缩性系数Z		1.1	1	1.12
出口绝热指数K		1.386	1.416	1.43
出口压缩性系数Z		1.11	1.0	1.13
多变能量头	J/kg	107053	62128	127657
多变效率	%	71	69.8	72.1
转速	r/min	10650	8000	10598

干气密封本体采用集装式带中间迷宫的两级串联干气密封。在密封的动环上加工有呈楔型的浅槽, 运转时在动环和静环之间形成压力梯度, 达到密封工艺气体的目的。正常情况下, 一级密封承担全部密封压力, 二级密封承担较小压力, 当一级密封损坏后, 二级密封可承担全部压力。在两级间注入的氮气, 其中一少部分经二级密封端面泄露后放空, 大部分与一级密封泄露的工艺气一起进入火炬管线。开停车时, 新氢或氮气作为一级密封

气备用气源, 可通过增压泵运行作为一级密封气增压<sup>[1]</sup>。

在流程布置上, 干气密封系统主要包括以下内容:

1.1 一级密封气为压缩机高压缸出口端工艺气, 大部分气体经机组迷宫返回到机内, 阻止机内气体外漏污染密封, 少量气体经过密封端面泄漏至一级密封排气腔。

1.2 二级密封气为低压氮气, 大部分气体经中间迷宫进入一级放空腔, 阻止一级泄漏气体进入二级密封, 少量气体经过二级密封端面泄漏至二级密封排气腔。

1.3 隔离气为低压氮气, 进入低、高压端隔离室, 一部分隔离气经后置迷宫的前端与二级密封端面泄漏的气体混合, 引至安全地点放空; 另一部分经后置迷宫的后端, 通过轴承回油放空孔就地排放, 此部分气体能够阻止润滑油污染密封端面。

1.4 一级密封泄漏气与大部分二级密封气混合, 经过流量计后接至火炬管网, 二级密封泄漏气高点排放。

## 2 密封使用情况

蜡油加氢装置自2016年5月份投产至2019年9月份, 在此期间, 于2016年12月28日损坏更换, 2018年12月大修更换, 2019年7月20日国产化更换, 共计三次检修。通过干气密封解体情况分析, 造成干气密封泄漏的主要原因是一级密封气带液造成干气密封一级密封气膜破坏, 动、静环发生湿摩擦, 导致干气密封失效。<sup>[2]</sup>

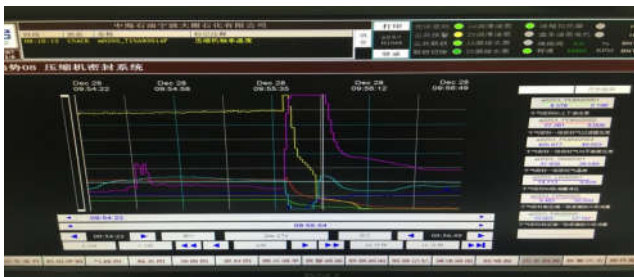
### 2.1 2016年12月28日干气密封更换

210单元加氢装置0203-C-101循环氢压缩机9:55分停机, 现场启动紧急泄压。原因为高压端一级泄放火炬孔板前压力高高, 连锁停机。根据高压端一级泄放火炬量56m<sup>3</sup>/h及孔板前压力0.7MPa对比, 认定为真实值。11:45分, 根据公司安排, 再次启动0203-C-101压缩机, 到达3000rpm后, 高压端一级泄放火炬孔板前压力高高, 连锁停机。(见附图一)认定干气密封损坏, 装置停工退油, 检修压缩机。

约翰克兰厂家于1月5日对高、低压端干气密封进行

解体检查, 高压端干气密封一级动环碎裂, 静环磨损, 二级密封轻微磨损; 低压端干气密封一、二级密封均没有问题。作出以下分析:

按照厂家及设计院设计, 干气密封一级密封系统配有一个工艺脱液罐(0203-V-112)、进干气密封控制盘前配有KO除液罐、控制盘内有一个过滤精度为1 $\mu$ m的过滤器, 根据以上配置确保进入干气密封的气体不携带液体及杂质。过滤器压差在运行过程中不允许超高40KPa, 我部门规定为0203-V-112、KO除液罐液位控制在20%以下, 定期排液, 班组人员严格按此规定执行, 从未出现过满罐及过滤器压差过大情况。通过以上数据分析, 我部门严格按照厂家、设计要求执行, 确保干气密封一级密封气不携带液体及杂质。



根据厂家初步分析结果, 高压端一级密封环断裂而低压端干气密封没有任何问题。现场高、低压端一级密封气在压缩机入口才分开两路, 之前为一路主线, 如按厂家分析由于带液原因导致高压端密封损坏, 那低压端也应带液才符合逻辑。所以根据高低压端密封拆解情况, 我部门认定不是由于带液导致干气密封损坏。

厂家在干气密封控制盘上设有温度计, 此温度计取点距离压缩机干气密封入口管线距离接近20m, 温度计取点位置存在设计问题, 并且在此段管线投用伴热及保温, 所以现场温度计所反馈的温度比实际进入机体温度低很多, 没有参考价值。

#### 现场整改措施

2.1.1 1月10日, 为满足干气密封一级密封气温度要求, 按照原厂家的建议, 将气源从循环氢压缩机出口气改至新氢压缩机出口气。新氢压缩机出口气参数为: 压力17.86MPa, 温度110 $^{\circ}$ C左右。投用后, 一级密封气温度大于70 $^{\circ}$ C, 干气密封运行正常。由于新氢压缩机采用少油润滑, 新氢压缩机出口气会携带少量150#往复式压缩机润滑油, 容易造成干气密封带液。

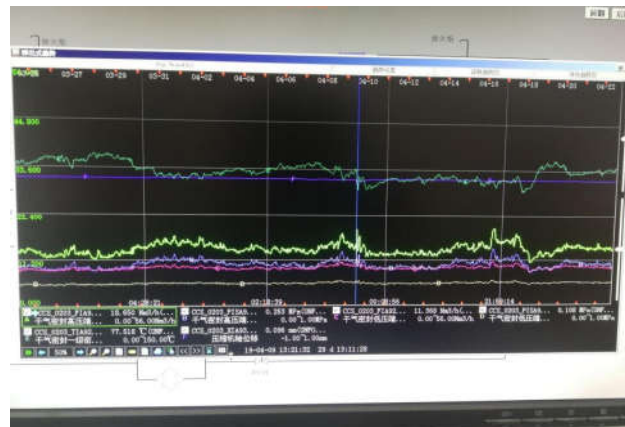
2.1.2 现场将干气密封控制盘到压缩机机体管线由原设计保温改为蒸汽伴热, 降低其能量消耗。

2.1.3 现场将干气密封KO除液罐底部排凝改为常排, 保持针型阀门开度, 最大限度的将所携带的液体排

除干净。

#### 2.2 2018年12月干气密封更换

自2016年12日运行至2018年12月份大修, 整体干气密封运行平稳, 未出现异常波动情况。2018年12月装置停工大修, 此干气密封正常更换, 安装的干气密封为2016年损坏后完成修复的干气密封。2019年1月2日, 一次开车成功, 开机运行后, 发现高压端泄放火炬量绝对数值较大, 并且波动较大, 多次泄放火炬量到达报警值。



运行期间问题: 高压端与低压端泄放火炬流量偏差较大, 高压端泄放火炬量可以达到19Nm<sup>3</sup>/h, 低压端泄放火炬量在11.1Nm<sup>3</sup>/h左右, 自开工后, 此差值逐步增大。

高压端泄放火炬流量与介质温度关系紧密, 在2019年2月后, 高压端泄放火炬流量增加, 运行部通过摸索发现, 介质密封气温度升高后泄放量趋近平稳, 但持续一段时间后, 泄放量再次升高。为稳定泄放量, 保证装置平稳运行, 运行部多次通过调整新氢压缩机出口温度, 从而升高一级密封气温度, 最终压缩机三级冷却水已基本全部关闭, 压缩机出口温度到达130 $^{\circ}$ C以上报警。

#### 2.3 2019年7月20干气密封更换

根据采办了解原干气密封的维修时间, 3-5个月, 不满足现场更换时间, 经机动部、运行部与厂家进行技术交流, 最终确定, 对此干气密封进行国产化, 由四川日机公司承担此干气密封的制造工作。并于2019年7月1日前完成制造, 并进行现场安装。开工后, 各项参数平稳, 运行正常。

#### 运行效果:

自2019年7月21日一次开车成功后, 连续运行至今, 各项参数均处于平稳状态, 未出现大面积波动情况。

此次干气密封一级密封气由新氢压缩机出口气改至循环氢压缩机出口气, 防止由于新氢中携带润滑油导致干气密封带液情况。一级密封气温度在40-50 $^{\circ}$ C左右, 随天气温度降低, 一级密封气温度也会随之下降, 运行部

保持干气密封伴热常开状态,避免出现凝液。

为防止除液罐内存在液位带入干气密封中,运行部保持除液罐底部排凝阀门常开,尽可能将凝结的液体排出。

密封正常运行后,驱动端泄漏气流量为13.3NM<sup>3</sup>/h,压力为0.176MPa,非驱端泄漏气流量为15.45 NM<sup>3</sup>/h,压力为0.126MPa。这可能由两端泄漏气孔板孔径误差引起,也可能是驱动端泄漏气单向阀堵塞或轻微卡滞引起,待停机检修后进行验证。

### 3 干气密封国产化改造

#### 3.1 干气密封国产化难点

##### 3.1.1 压力高

干气密封工作时端面间隙一般仅有3~5微米,高压下密封端面间隙将会更小。干气密封零部件属于回转薄壁零件,高压下密封零件的变形量远大于端面气膜厚度。如何控制高压下零部件的变形、实现密封非接触运行将是高压密封研发的一大难题。

##### 3.1.2 要求极高的可靠性

离心压缩机作为装置的心脏设备,具有极其重要的地位。由于设备昂贵,一般不会配置备机。一旦密封出现故障造成压缩机停车,整个装置及上下游装置都面临停车的风险,将给企业带来极大的经济损失。特别是蜡油加氢装置中的循环氢压缩机,每次开停车的时间至少7天以上,停机费用更是高达千万,因此对干气密封运行的稳定性、可靠性要求极高。

##### 3.1.3 工况复杂

蜡油加氢循环氢压缩机开车需要经历盘车、升压、升速、降压、硫化等一系列运行工况,整个过程将维持3~7天左右。机组紧急停车时需要快速泄压,在此过程中,气体组分和压力变化较大,一般中低压干气密封很少遇到的此类问题。因此,高压干气密封不仅需要适应各种极端运行工况,同时需要具备极强的抗干扰性能。

#### 3.2 国产化改造技术方案

螺旋槽干气密封是一种新型的非接触式机械密封,它具有介质泄漏量少,端面磨损小,能耗低,运行寿命长和可靠性高等优点<sup>[1]</sup>。高压工况下密封端面气膜厚度相对较小,蜡油加氢装置循环氢压缩机开车工艺复杂,密封运行压力范围较宽且工况波动较大,基本不存在反转

的可能性。基于以上情况,本项目密封将采用抗干扰能力更强、气膜刚度更大的螺旋槽。

相较于其他低参数密封而言,本密封工作压力高达18MPa,密封结构设计应重点考虑高压下零部件应力变形带来的不利影响。因此,采用了以下特殊设计:

采用“硬对硬”的摩擦副组对方式,即密封动环、静环均采用碳化硅材料,提升动、静环强度,减小密封端面的变形。

动环采用特殊的外圆凹槽传动型式,放弃了动环中部打孔传动的传统设计,有效的减小动环开孔带来的应力集中,提高了环体的强度和传动的可靠性。

动环外圆的金属包覆结构设计,减小动环碎裂带来的二次损伤。

弹簧座采用加工中心一次成型铣制的实体凸耳,分度更均匀,受力更合理。

辅助密封圈采用弹簧加载的聚合物C形密封圈,满足了密封的浮动性、耐温、耐压、耐磨以及耐腐蚀性等需求,提高了密封可靠性和寿命。

### 4 结论

18MPa压力等级的干气密封大多数被国外垄断,国内很少有此类密封的制造技术和应用业绩。国内用户对国产高压干气密封的信心不足,特别是面对复杂运行工况,国产密封应对极端工况的能力备受用户质疑。

实践证明,国产化后的密封完全满足现场使用要求,能够保证装置长周期、安全、稳定运行,解决了进口产品维修周期长、费用昂贵、售后服务不及时等问题,提高了公司经济效益。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] 杨富来.干气密封技术及实际应用[J].石油化工设备技术, 2004,25 (3) : 63-66.(YANG Fu-lai. The Dry Gas Seal Technology and Application[J]. Petroleum and Chemical Equipment Technology, 2004,25 (3) :63-66.)
- [2] 孔森平.Flouserve干气密封失效原因及应对措施[J]. 通用机械, 2003,21(6):62-66.
- [3] 蒋小文, 顾伯勤.螺旋槽干气密封端面间气膜特性[J]. 化工学报, 2005, 56(8):7.