

# Orbit球阀在液化天然气工艺中的应用及故障分析

毛宗学<sup>1</sup> 张东明<sup>2</sup> 党怀强<sup>3</sup> 李鱼鱼<sup>4</sup>

陕西液化天然气投资发展有限公司 陕西杨凌 712100

**摘要:** 介绍Orbit轨道球阀的结构、工作原理及在杨凌液化天然气(LNG)储备调峰工厂工艺中的应用。针对Orbit轨道球阀在该工厂实际运行过程中出现的卡顿、密封失效等故障,国外服务商及新设备因疫情无法及时供应,公司采用国产化修复,经过对故障阀门拆解及故障分析,制定严谨可行的修复方案,成功解决阀门故障。

**关键词:** 天然气液化; Orbit; 轨道球阀

## 一、概述

随着我国能源结构的升级转型,天然气在一次能源消耗中的比例逐年上升,液化天然气因其高效、安全的存储和运输特性,被广泛应用。天然气液化需在深冷条件下进行,原料气中的酸气、水、汞、重烃等杂质在深冷环境下容易腐蚀、冻堵管道,需在液化前进行脱除。Orbit轨道球阀因其无摩擦、不易泄露、行程短、能在操作频繁及温差大的条件下运行的特点,被广泛应用于天然气净化工艺中净化吸附再生环节。<sup>[1]</sup>本文就杨凌液化天然气(LNG)应急储备调峰工厂(杨凌LNG工厂)200万方/日液化工艺中轨道球阀的应用及故障解决进行分析。

## 二、Orbit轨道球阀

### 1. 制造工艺与工作原理

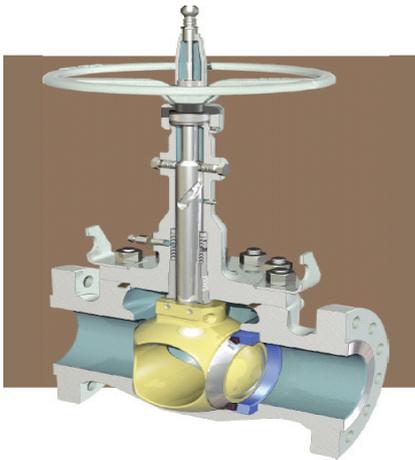


图1 轨道球阀结构图

轨道球阀结构如图1所示,阀门设计有浮动球阀及带有螺旋槽的阀杆,阀门开关时,由阀杆通过导向销钉以及阀杆上的螺旋槽,将直行程转化为阀球旋转的角行程。打开阀门时逆时针转动手轮,阀杆持续向上提升,

阀杆下端的楔形平面先使阀球倾离阀座,之后受导向销钉作用,阀球开始无摩擦旋转,直至转到全通位置。关闭阀门时,阀杆持续下降先带动阀球旋转,之后受到导向销钉的作用,使阀杆和阀球同时旋转90°,最后阀杆底部的楔形平面机械地压迫阀球,使其紧密的压在阀座上,实现严密的关断。

### 2. 功能特点

轨道球阀既有普通球阀球体的回转特性,又有闸阀的强制密封功能,与常用传统闸阀、截止阀、球阀等相比,具有以下优势:<sup>[2]</sup>

#### (1) 开关无摩擦

轨道球阀在开关时,阀杆带动阀球无摩擦转动,阀门密封面在操作过程中不会受到损伤,且轨道球阀扭矩较低,可轻松开启。

#### (2) 无高速流体局部冲刷

轨道球阀在开关时,阀球与阀座瞬间脱离,阀门通道瞬间的全开或者全关,阀门在开关过程中无高速流体局部冲刷阀座密封面,从而进一步提高阀门的密封寿命。

#### (3) 长寿命机械楔形密封

阀杆下端驱动阀球的部分为前后平行的楔形面,并通过阀球上嵌入一组不锈钢或Hastelloy合金材质的阀球销钉驱动阀球转动并脱离或者压紧阀座,在阀门关闭时,通过阀杆底部的楔形面提供一个机械的楔紧力强迫阀球压紧阀座来实现密封,可以保证阀门持续的紧密封,实现长期的零泄漏。

#### (4) 单阀座顶装式设计

Orbit轨道球阀为单阀座、全口径顶装式设计,阀腔始终只与管线的一端相通,没有任何介质被禁锢在阀腔内,所以无需泄放阀腔压力,且不需要阀门从管线上拆下便可更换阀内件,阀门维修更为方便。

## 三、Orbit轨道球阀在天然气液化工艺中的应用

### 1. 杨凌液化天然气应急储备调峰工厂

**作者简介:** 毛宗学,男,汉族,1969.11,重庆,硕士,研究方向:设备制造与机械;邮箱:sxlng@360lng.com

杨凌LNG工厂一期建有一条200万方/日液化生产线、一套300万方/日气化装置及两座3万方LNG储罐,包括天然气净化、液化、储存、装车、气化等工序。

## 2. 工艺特点及阀门配置

### (1) 脱水工艺

杨凌LNG工厂通过分子筛吸附实现水分脱除,流程采用一塔吸附、一塔再生模式,气体从上向下经过脱水床之一,由于沸石吸附有很高的比表面积,因此在床层被饱和前能够吸收大量的水分,吸附床层在达到饱和点前,原料气切换到另一个床层,饱和的床层用加热的再生气除去水分。切换阀和时间控制逻辑器自动进行工艺操作,并且控制在线吸附和加热/冷却再生程序。

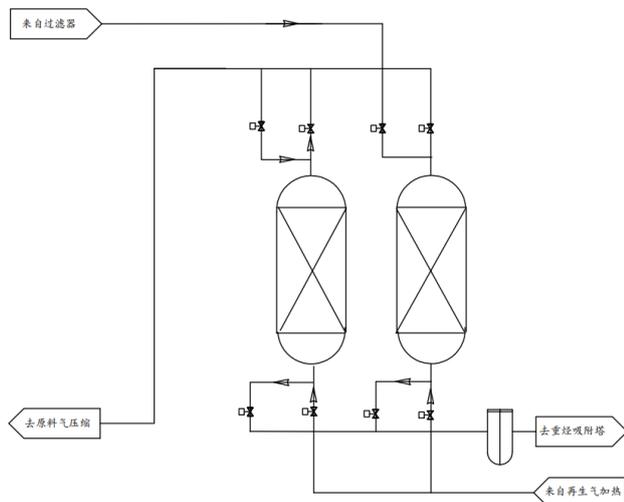


图2 脱水流程图

### (2) 脱重烃工艺

干燥气体进入重烃脱除单元后通过四个吸附床,床层内部混合填充分子筛、硅胶、活性炭,以脱除原料气

中C6以上的重烃。流程采用两塔吸附,两塔再生模式,气体向下流过吸附床层,在苯和碳八的烃类物质不能被吸收后,进料气切换到另外两塔,饱和床层进入再生模式。饱和床层通过加热和冷却两个步骤进行再生,首先从液化单元的上游抽出一股压力较高的净化气,通过控制阀降压后通过加热器加热,热再生气向上通过床层,去除吸附的重烃,脱除重烃的床层冷却后,准备下次吸附周期。吸附、加热再生、再生冷却及备用的切换由DCS经顺序控制器完成,这些控制器通过计时器打开和关闭相应的程控阀门完成操作。(见图3)

### (3) 阀门配置

根据以上工艺流程介绍,经过净化的气体中均含有固体杂质,对阀门的密封性要求较高,且吸附、再生操作频繁。轨道球阀刚好满足该工况,杨凌LNG工厂脱水环节共设置32台轨道球阀,以实现脱除、吸附的自动切换控制。

## 四、故障分析

### 1. 故障现象

杨凌LNG工厂轨道球阀运行严重卡顿、密封失效,经拆解发现轨道杆有裂纹、表面有明显划痕,轨道部分边缘挤压开裂,导向轴与轨道接触部分挤压变形,导向衬套内部有明显挤压划口,阀杆销钉断开。

### 2. 故障原因分析

从凸轮阀杆轨道变形部位痕迹可知,导向销在凸轮阀杆轨道中滑动不顺畅,尤其在弯道部位卡涩,限制轨道旋转,长时间频繁开关后,使轨道发生磨损变形,由此可见,该凸轮阀杆装配存在缺陷是造成轨道变形的主要原因。通过观察划伤的衬套表面痕迹判断,阀门频繁

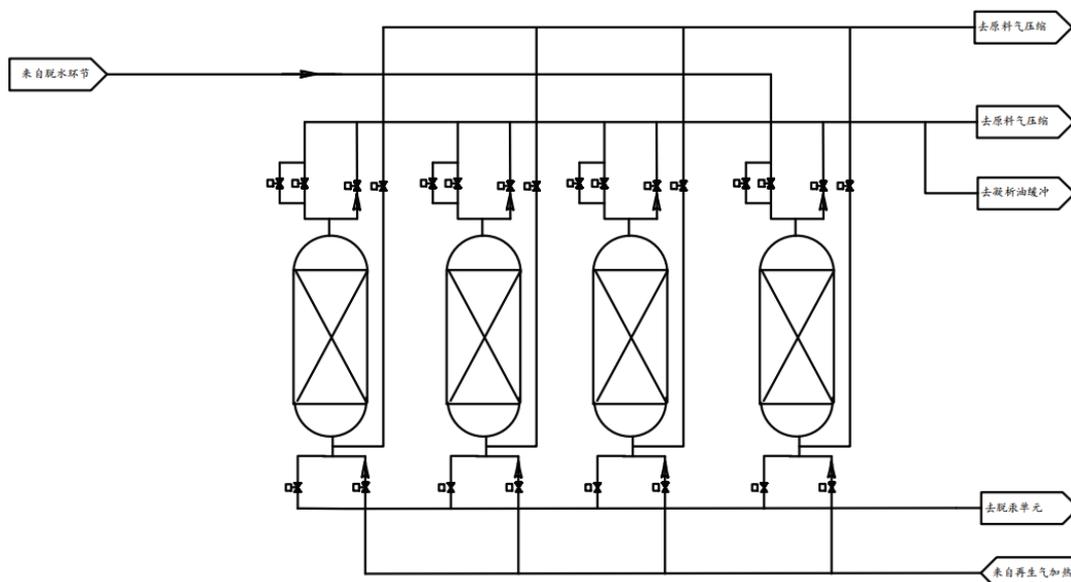


图3 脱重烃流程图

开关后, 断裂的止退销脱落后卡在凸轮阀杆及衬套部位导致阀门开关的扭矩增大, 本来变形的凸轮阀杆在受限于导向销的双重作用, 最终在多重因素作用下, 阀杆在最脆弱的应力集中部位发生断裂。<sup>[3]</sup>

阀杆销钉材质为SUH660, 抗应力腐蚀性好, 为典型的非热处理硬化性铁素体系不锈钢。条件屈服强度 (MPa)  $\geq 590$ ; 抗拉强度 (MPa)  $\geq 900$ ; 手轮半径为 25cm; 阀杆外螺纹端半径 16cm; 剪切处接触面积约为  $A = 6.3 \times 9.5 = 59.85$ 。

作用于阀杆销钉力 N 为:

$$N = 25 / 1.6 \times P = 15.6P \quad (P \text{ 为人施加于手轮的力})$$

$$P \leq 1506N$$

正常手动操作时不会产生如此大的力, 但是氢在材料内部扩散、聚集, 当氢含量达到一定临界浓度时使金属原子间的结合力下降, 或在阀门开关的时候使用额外的大扳手关死卡死时则会使阀杆销钉断装, 从而导致阀门失败。

### 3. 修复方案

对轨道阀杆、阀杆导销采取材质局部升级措施, 材质局部采用激光熔覆司太立钴基高温硬质合金钢, 防止轨道或阀杆导销变形。

对导向销材质局部升级: 采用 SS410+stellite6# 方案, 将与导轨接触部分, 利用激光溶覆技术, 溶覆 stellite6#, L=10mm, 厚度约为 1mm。

对凸轮阀杆螺旋轨道部分升级, 材质局部升级采用激光熔覆技术, 对凸轮阀杆螺旋轨道部位材质局部升级采用 SS410+stellite12# 方案。

410 不锈钢, 经淬火处理硬度最高可达 HRC45, 硬度范围为 HRC22 至 HRC28。

Stellite6# 焊丝是 Co-Cr-W 堆焊合金中 C 及 W 含量最低、韧性最好的一种。能承受冷热条件下的冲击, 具有良好的耐蚀、耐热和耐磨性能。主要用于要求在高温工作时能保持良好的耐磨性及耐蚀性, 堆焊层硬度 HRC: 40-45。

Stellite12# 焊丝在 Co-Cr-W 堆焊合金中具有中等硬度, 耐磨性较好, 具有良好的耐蚀、耐热及耐磨性能, 在 650℃ 高温下仍能保持这些特性, 堆焊层硬度 HRC: 45-50。

阀门修复后经外观检查、金相及硬度检测、无损检测, 并按照 API598 标准对阀门性能进行试验。试验项目包括壳体试验、高压液体密封试验、高压气体密封试验和低压气体密封试验, 壳体试验的试验持续时间为 20min, 高压液体密封试验、高压气体密封试验和低压气体密封试验的试验持续时间为 5min, 阀门性能试验结果均满足要求。

### 五、结束语

通过对 Orbit 轨道球阀的修复, 有效解决了阀杆卡顿和内漏问题, 保证了阀杆在正常生产工况下的有效运行。此次国产化修复缩短了维修周期, 节约了维修费用, 保证装置的正常运行, 经过现场实践使用未发生轨道球阀再次失效故障, 可进行装置其余部分轨道球阀的修复推广。

### 参考文献:

- [1] 单祥. 分子筛装置用 ORBIT 轨道球阀故障分析及处理[J]. 大氮肥, 2017, 3(40): 173-176.
- [2] 马祖达, 吴建武. 轨道球阀的特性与设计[J]. 阀门, 1999, 4: 1-4.
- [3] 姚竞文, 李保良. 轨道球阀失效分析及国产化修复[J]. 广东化工, 2017, 8(44): 193-201.