

组合密封在离心式转炉煤气加压机中的应用分析

焦高嵩¹ 梁春明²

(1. 石横特钢集团有限公司气体公司 山东 泰安 271612;

2. 石横特钢集团有限公司炼铁厂 山东 泰安 271612)

摘要: 离心式转炉煤气加压机是一种相当重要的加压设备。该设备对于密封有着较高的要求。为了改善离心式转炉煤气加压机的密封效果,从压缩机的密封器结构、介质特性和介质压力等多方面进行分析,结合密封的多种组合形式,在不改变原设计尺寸的前提下,完成密封结构的优化设计,达到替代原密封的目的,同时实现介质的零泄漏要求。通过该设计能够有效满足要求,可以为具有类似密封要求的设备改造提供借鉴。

关键词: 离心式; 转炉煤气; 加压机; 零泄漏; 密封器;

0 引言

离心式转炉煤气加压机是钢化联合项目中甲酸原料气的加压设备,为后续工艺提供 0.662MPa 的转炉煤气(主要成分为 CO)。该设备为西安陕鼓动力股份有限公司负责设计并生产。转炉煤气中含有大量 CO,毒性很大,在储存、运输、使用过程中必须严防泄漏,与空气混合能形成爆炸性混合物,遇明火、高温能引起燃烧、爆炸,属于易燃、易爆气体。另外,该气体具有无色、无味、有毒等化学性质,在短时间内吸入一定量高浓度 CO 会造成急性 CO 中毒,人体会出现中毒症状。因此,无论是从设备安全考虑还是从人身安全考虑,都要求必须实现转炉煤气的零泄漏。

1 机组简介

离心式转炉煤气加压机:型号 EZ56-2+2+2,介质:转炉煤气,进气流量:487.5m³/min,进气压力:105kPa (A),进气温度:40℃,排气压力:762kPa (A),主轴转速:8950r/min,轴功率:2465kW。压缩机转子有 6 个叶轮,3 组冷却器,每 2 级压缩冷却一次,六级压缩三级冷却。

2 问题的提出

该压缩机 EZ56-2+2+2 的两端密封器均采用干气密封。由于介质煤气洁净度较差,且经过等温压缩和冷却后会析出大量的冷凝水,在干气密封的排凝口会有润滑油排出,且转子在干气密封和轴承处的轴径一致,轴承处的润滑油在压力的作用,沿转子进入密封中存在可能性,在干气密封拆解解体后发现内部存有润滑油。干气密封对使用环境的洁净度要求较高,最忌将微小颗粒物、润滑油、水等带入密封内。一旦有液体进入动、静环密封端面后,由于液体表面张力的作用,压缩机运

转时,动静环密封面无法在端面的燕尾槽间形成气膜,密封端面会被牢牢地粘在一起,动、静环发生接触摩擦而磨损,产生大量的热,而颗粒的进入也会使密封端面产生划痕磨损,最终导致干气密封失效,出现煤气泄漏。

由于该密封较为精密,因此每次拆、装均需要联系干气密封厂家,且现场无法解体维修,需要返厂。另外,压缩机两端的密封旋转方向相反,不能互换,每套都必须储备备件,占用费用较大。每台压缩机干气密封每次的维修费用约 15 万元,且维修周期较长,约 2 个月,给生产带来很大不便,因此必须对其进行改造。

3 设计参数

煤气加压机操作条件如表 1 所示。

由于新密封是在原干气密封系统的基础上改造,为了能够利用原干气密封的密封气系统,因此组合密封的密封气设计参数与干气密封一致,具体参数如表 2 所示。

原干气密封(干运转气体密封)是将开槽密封技术用于气体密封的一种新型轴端密封,属于非接触密封。其工作原理为:在静止状态时,动环与静环在弹簧力作用下,两个密封面紧密贴合,保证静止状态下无泄漏。动环的端面外侧开设有流体动压的螺旋槽,在旋转时流体动压槽把端面外径侧的高压隔离气体压入密封端面之间的密封气坝,由于气坝的阻挡作用,使气体压力上升,当压力上升到大于弹簧压力时,动环和静环被推开。当环间气体压力等于弹簧力时,在动静环之间形成 2.5 ~ 5 μm 厚度的气膜,从而使密封工作在非接触状态下。所形成的气膜完全阻塞了相对低压的转炉煤气泄漏通道,从而实现转炉煤气的零泄漏。转炉气压缩机组采用的是双端面密封,是面对面布置的两套单端面密封,允许少量密封气进入工艺介质中。

表 1 煤气加压机的操作条件

入 / 出口压力 /MPa(A)	0.0989/0.762
温度 /℃	40/114
转速 /(r/min)	8950
轴径 /mm	161
介质主要成分	CO、H ₂ 、N ₂ 、O ₂ 、CO ₂ 、H ₂ S、饱和态 H ₂ O、颗粒物

表 2 组合密封设计基础参数

管路名称	工作压力 /MPa	工作温度 /℃	工作流量 / (Nm ³ /h)	压力等级
密封气进气管	0.7	常温	1.6	CLASS150
隔离器进气管	0.005 ~ 0.01	常温	40	CLASS150
低压氮气供气管	0.7	常温	72	CLASS150

4 问题的解决

为了能够降低干气密封的维修费用，缩短密封的维修周期，使生产不再受干气密封的维修限制，对于干气密封结构形式进行改造。通过工艺需求及机械结构的研究分析，认为使用便于维修的碳环 + 迷宫密封组合方式可代替原来的干气密封。

碳环密封属于浮动密封的一种，因其密封环材质为碳石墨而得名。它的密封原理是通过密封气在密封环和轴套之间形成气膜，达到节流降压、阻止泄漏的效果。碳环密封分为整体式和剖分式，由密封腔、密封环、轴套和弹簧等零件组成。密封腔体内有环形槽，环形槽内装有截面为矩形的环形石墨密封环，石墨密封环的内径与环形轴套之间有 0.01 ~ 0.04mm 的间隙。碳环密封具有结构简单、维修方便、适用范围广，在有隔离气体阻挡的前提下可以达到有毒气体介质的零泄漏。

新密封的设计要求如下：

(1) 测量拆下的干气密封各外形尺寸，保证连接尺寸与原干气密封一致：内径、外径、宽度、轴头螺纹、固定销钉，以及密封气孔的孔径、孔距和定位板孔径等。

(2) 为避免密封部位腐蚀，密封基体材质采用不锈钢材质，确保开机状态下密封基体与主机的膨胀系数一致。通过验证，新密封基体采用 316L 的材质比原密封 2Cr13 的材质更好。

(3) 密封动环固定利用原密封销钉 + 螺纹螺母压紧的组合固定方式。

(4) 静环的固定形式需要在壳体内侧增加密封与壳体的固定点，采用花键的形式既能起到固定支撑作用，又不影响通气。

(5) 将原干气密封的前置气拆除，从压缩机的平衡管引一路介质气，作为新密封的平衡气。

(6) 密封气气源进气可使用原干气密封气源。

(7) 碳环密封旋转部件须做动平衡试验，平衡精度 G1.0。

(8) 考虑到压缩机两端的旋转方向，将碳环密封的旋转方式设计为双向旋转，增加密封的通用性。

经过反复设计和修改，最终确认了组合密封结构型式——集装式多级碳环密封，型号确定为 YT801-161 型。其结构特点是：该密封采用迷宫密封 + 介质侧碳环密封 + 密封气碳环密封 + 大气侧碳环密封串联组合而成的结构形式，介质和密封气侧碳环密封组件分别由两级和三级碳环串联组成。另外，在末端还设计了一组碳环，目的是防止润滑油和空气中的杂质进入到碳环密封中。主要零件材料如表 3 所示。

表 3 主要零件材料

名称	材料
碳环	特种石墨
金属件	410
密封圈	氟橡胶

运行过程中，需冲入氮气作为密封氮气，用量约 25m³/h，向介质侧泄漏量 ≤ 15m³/h，向大气侧泄漏量 ≤ 10m³/h。密封气压力约 0.35MPa，要始终高于机内介质气压力，以保证机内介质不会泄漏到周围环境中。

组合密封制作要求如下：

(1) 安装密封部位的轴（或轴套）的表面粗糙度 Ra ≤ 0.8 μm，外径尺寸公差 h6；机组腔体与 O 形橡胶圈或其他密封圈接触部位表面粗糙度 Ra ≤ 1.6 μm，内径尺寸公差 H7。

(2) 安装密封部位的轴（或轴套）的径向跳动公差应符合 GB/T 1184 的 6 级精度要求。

(3) 安装密封的轴肩定位面端面跳动应符合 GB/T 1184 的 5 级精度要求。

(4) 机组壳体上与密封端盖结合的定位端面对轴（或轴套）表面的垂直度应符合 GB/T 1184 的 6 级精度要求。

(5) 整个密封允许轴向位移 ±2.5mm，径向位移 ±0.25mm。

组合密封的安装要求如下：

(1) 安装密封前，应再次复核密封的安装尺寸。

(2) 检查各密封气孔应畅通，定位基准面、密封腔体和 O 型圈槽等清洁无杂物。

(3) 制作两根长约 60mm 的全丝导杆，利用螺母和导杆将密封圈缓慢均匀地推入压缩机的密封腔。在密封圈作用的最终定位处前约 10mm，腔体内的 O 型圈起到预定型的作用。

(4) 检查经过的转子及壳体表面有无缺陷，去除边角毛刺，并倒圆角。

(5) 密封安装到位后，轴端锁紧螺母固定密封旋转

部件的轴向位置。

(6) 用 $M5 \times 12$ 的 8 个连接螺栓将固定环与压缩机腔体连接紧固。

(7) 定位板拆掉后方可转动。将密封安装到轴上并与压缩机联接后, 手动盘车轻松自如即可。

(8) 在压缩机平衡气管道开 DN25 的孔, 并将该孔用不锈钢管道连接至 A 平衡孔。

组合密封的具体结构如图所示。

图 组合密封结构

A 口: 作为平衡口, 压缩机一段排气压力为 0.238MPa 左右, 利用压缩机一段的排气压力来平衡经过迷宫密封①泄漏过来的介质气, 同时还起到泄漏气体回收的作用。

B 口: 用氮气作为密封气, 压力调整到 $> 0.45\text{MPa}$, 保证通入的密封氮气经过左侧两级碳环密封后的压力略高于 A 口的气体经过迷宫密封②压力, 确保转炉煤气无外泄漏。

C 口: 用作泄放口, 通过不锈钢管道接至室外高处放空 (放空口朝侧面空旷处)。B 口的密封氮气同时会向两侧渗漏, 因此在右侧设计了三道碳环密封③, 用以防止密封氮气向外渗漏, 一旦有氮气经过三道密封仍有泄漏, 则通过 C 口排放至室外。

仪控系统的参数调整:

(1) 由于使用原密封气系统, 低压氮气过滤器前后压差 $\leq 80\text{kPa}$;

(2) 密封气与平衡气压差 $\geq 0.1\text{MPa}$, 当压差进一步缩小到 $\leq 0.02\text{MPa}$ 时, 则发出 LL 报警信号, 连锁停机;

(3) 组合密封较干气密封的泄漏量大, 因此, 将低压氮气压力报警压力调整为 $\geq 0.35\text{MPa}$ 。

该组合密封在风机正常运行时, 碳环无故障连续运行时间不小于 3 年。目前已经使用约 20 个月时间, 压缩机运行良好, 轴承振动、温度正常, 氮气消耗约 $18\text{m}^3/\text{h}$, 目前看该密封结构形式的使用是十分成功的。

5 结语

对于易燃、易爆、有毒等气体, 均要有相应的安全措施, 要求实现零泄漏, 采用单一的密封方式已不能满足可靠性的需求。对转炉煤气离心式加压机来说, 实现零泄漏方式有很多, 但原理基本一致, 均采用氮气作为隔离气, 密封另外一种气体。氮气的轻微泄漏对环境无任何危害。更换组合密封后, 有以下几点好处:

(1) 使用碳环作为密封面, 摩擦系数小, 且具有自润滑功能;

(2) 密封环采用三瓣结构, 使用弹簧箍紧, 在静止状态下, 弹簧能够将密封环箍紧在轴表面, 能有效避免静止状态下煤气的泄漏;

(3) 充分利用原密封的密封气系统, 气源洁净, 能够有效降低碳环的磨损, 增加碳环密封的使用寿命;

(4) 新的密封组合更换方便, 无需厂家现场指导拆装、返厂维修, 只需更换碳环即可且正常维护量较低, 降低了维修的难度。

(5) 可在不拆卸机组的情况下进行密封环的更换。

参考文献:

- [1] 侯东波, 杨明阳, 尹石庄, 邓波. 石油化工用离心压缩机干气密封故障及处理措施 [J]. 石油和化工设备. 2021, 24(02): 100-102.
- [2] 蒋静. 离心式压缩机干气密封系统常见故障分析 [J]. 设备管理与维修. 2021, (02): 77-78.
- [3] 张帝. 某多轴系压缩机碳环密封摩擦故障诊断与调试 [J]. 压缩机技术. 2020, (01): 61-64.

作者简介: 焦高嵩 (1983-), 男, 汉族, 河北辛集人, 专科, 工程师, 研究方向: 离心式压缩机的安装、维护和管理; 梁春明 (1983-), 男, 汉族, 河北鹿泉人, 专科, 工程师, 研究方向: 除尘设备安装、维护和管理。

(上接第 89 页)

业内新研型号管理提供参考。当然, 现阶段对于新研型号的管理手段只能在一段时间内适合当前形势, 并不一定能够长期适用, 因此我们需要在科学管理方面, 针对面临的变化和挑战, 不断深入研究, 真正长久实现效率和效益的共升。

参考文献:

- [1] 陈思思, 马吉阳, 王君. 航天领域多项目并行研制

- 进度管理研究 [J]. 经营管理者, 2021(07): 66-67.
- [2] 雷冰. 论水利工程项目规划重要性 [J]. 低碳世界, 2021, 11(01): 132-133.
- [3] 赵秀芬. 新形势下装备预研项目管理思路改进 [J]. 管理观察, 2017(17): 9-10+14.
- [4] 胡淞淞. 工程项目收尾管理中存在的问题及其对策研究 [J]. 低碳世界, 2021, 11(12): 188-189.