

PSA 尾气压缩机入口过滤器堵塞原因和对策研究

倪森¹ 王洋²

(1 沈鼓集团股份有限公司沈阳透平机械股份有限公司 辽宁 沈阳 100869;

2 沈鼓集团股份有限公司沈阳通用设备分公司 辽宁 沈阳 100869)

摘要: 为避免过滤器出现堵塞,提高 PSA 尾气压缩机运行性能,本文根据 PSA 尾气压缩机相关概念,分析其过滤器堵塞情况,同时,从吸附剂粉尘后移故障处理、气温过低故障处理、多余过滤器无法快速卸载清理故障处理、尾气指标超标故障处理、水汽凝结故障处理等方面入手,根据故障原因,并提出相应的解决措施,以期通过研究为相关人员提供有效的借鉴和参考。

关键词: PSA 尾气压缩机; 过滤器; 堵塞原因; 故障处理

0 引言

PSA 尾气压缩机经过长时间运行后,其过滤器难免会出现堵塞问题,当过滤器堵塞后,需要对 PSA 尾气压缩机进行停机清理,造成尾气、天然气产生不必要的浪费^[1]。为延长 PSA 尾气压缩机使用寿命,提高其运行性能,本文针对过滤器堵塞原因,提出相应的解决方案,使得过滤器堵塞风险降到最低,以满足天然气制氢装置生产相关标准和要求,从而帮助相关企业获得较高的社会效益和经济效益。

1 PSA 尾气压缩机概述

PSA 尾气压缩机作为一种常见的离心式压缩机,其整个机组主要是由气缸、驱动透平等部分组成。压缩机轴端主要运用干气密封的方式。在该压缩机中,所运用的驱动透平型式属于典型的全凝型式。整个驱动透平中,所使用的透平介质为 3.83MPa。为提高压缩机的运行性能,需要将高压端和低压端的防喘振系统设置在 PSA 尾气压缩机上,需要从四端冷却器出口处自动引出低压端喘振系统,并与下一段进口分离器进行有效地连接,从而实现对低压段气缸的有效保护。在 PSA 工段中,原料气体的单元温度、压力分别为 45℃、0.155MPa,这些气体通过进口流入到分离器中,可以压缩机的压强进行压缩处理。此外,在碳氢分离工段中,分离出口所释放的气体压力通常达到 1.56MPa,这些气体通过 PSA 尾气后

直接进入压缩机中,将气体压强压缩为 3.510MPa,然后,借助冷却器对气体进行冷却处理,将气体温度控制为 50℃左右,此时,压缩机工序完成,成功合成所需要的甲醇物质。

2 PSA 尾气压缩机过滤器堵塞情况分析

由美国凯落格所研制的天然气制氢装置工艺主要包含加氢脱硫、转化、变换、脱碳、PSA 等多个环节。借助尾气压缩机对 PSA 尾气进行加压,使其加压至 0.24MPa 左右,并将加压后的 PSA 尾气直接传输至转化炉内,由转化炉进行燃烧使用^[2]。自 2021 年以来,天然气制氢装置运行时间不断延长,PSA 尾气压缩机入口出现较大的压强反差,即 PSA 尾气压缩机入口所安装和使用的过滤器频繁出现堵塞问题。该过滤器材质为锥形金属,外层覆盖一层薄薄的钢丝网,当过滤器堵塞后,PSA 尾气压缩机入口的压力由原来的 9kPa 不断下降;当过滤器出现严重堵塞现象时,该压缩机入口出的压力迅速减小至 -21kPa 左右。为避免负压出现,从而导致管道和设备出现明显抽瘪现象,防止尾气系统因进入大量的空气而酿成严重的安全事故,该装置不得不停止运行,由相关人员清理堵塞的过滤器,单次停机处理时间通常控制在 5h 左右,PSA 尾气损失量达到 13000Nm³/h,尾气这一燃料的替代品为 11000Nm³/h 的天然气体量,整个清洗工作需要耗费大量的人力成本、物力成本和财力成本。2021 年 11 月~2022 年 1 月停机处理时间如表 1 所示。从表 1 中的数据可以看出,当

PSA 尾气压缩机负荷不断上升时,其过滤器堵塞频率会出现明显增加趋势,同时,当天气温过低时,过滤器堵塞现象会变得愈加严重。经发现,在过滤器表面附着大量的颗粒物,这些物质的长度为1mm左右,过滤器丝网微孔被这些物质所堵塞,导致过滤器前后出现较大的压强差,进而降低 PSA 尾气压缩机运行性能。

表1 2021年11月~2022年1月停机处理时间

堵塞次数	停机处理时间点	运行时间段/天	平均负荷/%
1	2021年11月6日	—	75.5
2	2021年11月12日	6	73.3
3	2021年11月18日	6	68
4	2021年12月4日	16	58
5	2021年12月21日	17	47
6	2021年12月28日	7	61
7	2022年1月15日	18	60

3 过滤器堵塞故障解决对策

本文采用定性分析法,对过滤器内堵塞物进行分析,同时,还剖析了天然气制氢装置实际运行情况,分析导致过滤器堵塞的原因和相应处理措施如下。

3.1 吸附剂粉尘后移故障处理

3.1.1 故障现象描述

由于过滤器脱碳含有液体,再加上 PSA 吸附剂受到损坏,导致过滤器吸附剂粉尘出现向后明显移动现象,进而造成过滤器出现严重堵塞问题。

3.1.2 故障原因分析

在 PSA 上游工段中,整个脱碳工序无法正常、稳定地运行。PSA 尾气压缩机于 2021 年上半年频繁出现多次带液问题,即 PSA 吸附罐内吸入少量的碳酸钾溶液,导致过滤器表现出较低的吸附剂强度^[3]。PSA 工序在实际运行期间,尾气缓冲罐内吸入少量的碳酸钾溶液,当尾气缓冲罐内的碳酸钾溶液与 PSA 吸附剂粉尘充分混合后,形成大量的颗粒物,导致过滤器出现严重堵塞现象,通过全面地分析和研究该颗粒物,发现该颗粒物溶液含有以下两种成分,分别是碳酸钾溶液和吸附剂^[4]。

3.1.3 故障处理措施

为解决以上故障问题,维修人员针对以上原因,更换新的 PSA 吸附剂,降低催化剂粉尘量。具体处理措施如下:由于脱碳系统于 2021 年上半年运行期

间,出现多次带液问题,在处理带液问题时,PSA 吸附罐内会吸入少量的碱液,并利用长达半年时间,综合评价 PSA 吸附剂性能^[5]。经过评价后,为确保 PSA 吸附剂表现出较高的吸附性能,使得吸附剂的粉尘量不断降低,维修人员更换新的 PSA 吸附剂。当 PSA 吸附剂成功更换后,降低 PSA 冲洗到 PSA 尾气中的粉尘量,当过滤器内没有吸附剂粉尘,就不会形成大量的固体颗粒物,自然就不会导致过滤器出现堵塞问题^[6]。

3.2 气温过低故障处理

3.2.1 故障现象描述

2021 年 11 月~2022 年 1 月,由于气温过低,过滤器内会形成大量冰晶体,进而产生严重堵塞现象。

3.2.2 故障原因分析

2021 年 11 月~2022 年 1 月期间,由于气候温度过低,PSA 尾气在实际流动期间,通常会携带大量的水汽,水汽在低温环境下,会形成大量的冰晶体,这些冰晶体的出现很容易与吸附剂粉末进行充分混合,从而形成大量的固体颗粒物,这些固体颗粒物的出现,导致过滤器出现严重堵塞现象^[7]。

3.2.3 故障处理措施

为降低过滤器堵塞风险,维修人员针对以上原因,采用增加伴热的方式,不断地提高气体温度。与夏季相比,冬季过滤器出现堵塞频率相对较高,这是由于冬季气温普遍较低,导致冲洗到尾气中的 PSA 携带大量水汽,水汽一旦遇到低温环境,会快速形成大量的固体颗粒物。维修人员在对堵塞过滤器进行检修期间,将伴热线搭建在 PSA 尾气段,使得气体温度不断提升,并由专业人员定时清掉 PSA 尾气和逆放罐内的积水。这样一来,不仅可以降低尾气中的水汽含量,还能降低形成堵塞物的风险,使得 PSA 尾气压缩机开车时间不断延长。

3.3 多余过滤器无法快速卸载清理故障处理

3.3.1 故障现象描述

在 PSA 尾气压缩机中,设计了两个过滤器,两个过滤器不易卸载清理,为后期杂质的沉积提供了便利条件,一旦过滤器内沉积大量的杂质,过滤器很容易出现堵塞现象。

3.3.2 故障原因分析

天然气制氢装置开车初期,由于尾气压缩机属于典型的螺杆机,为避免 PSA 尾气内出现大量的颗粒

杂质而对阴阳转子造成破坏,需要再次增加和设置一个与压缩机入口过滤器相同的过滤器。但该过滤器与压缩机入口间距过近,同时,与压缩机平台之间紧密相连,整个位置比较窄小,这就增加了维修人员卸载清洗难度。当该过滤器经过长时间运行后,内部会沉积大量的杂质,此时,虽然对前部过滤器进行了清理,但是,PSA 尾气压缩机入口仍然存在较大偏差的压强差。

3.3.3 故障处理措施

为解决过滤器堵塞问题,维修人员针对以上原因,在 PSA 尾气压缩机低负荷运行初期,新增过滤器,降低停机清理概率。在过滤器出现堵塞初期,由于天然气制氢装置长时间在低负荷情况下进行生产,此时,PSA 吸附剂性能较差,其脱碳效果难以满足相关生产标准和要求。为防止过滤器出现停车清理,需要将同样的过滤器设置到 PSA 尾气压缩机入口过滤器的前端,同时,所增加的过滤器内部应设置相应副线,借助该副线,可以对主线上的过滤器进行切除,并利用副线进行后期正常操作,这样就无需暂停 PSA 尾气压缩机。总之,新增的过滤器,不仅可以确保后面过滤器表现出良好的清洁效果,将过滤器停机清理概率降到最低,还可以避免资源出现严重浪费现象。另外,当时机成熟时,要及时拆掉压缩机入口处的过滤器,这样一来,可以将 PSA 尾气压缩机出口阻力降到最低。例如:在 2022 年,天然气制氢装置去掉开车初期所安装的过滤器后,该装置全年运行期间,PSA 尾气压缩机过滤器堵塞前后两次,停止处理仅仅一次,实现了长期稳定运行的目的,完全满足该装置实际生产标准和要求。

3.4 压力取压点设置不当故障处理

3.4.1 故障现象描述

压力取压点设置不当,PSA 尾气中 CO₂ 出现严重超标。当过滤器通过的 CO₂ 不断降低,导致 PSA 尾气压缩机入口表现出较大的压力反差,进而导致过滤器出现堵塞现象。

3.4.2 故障原因分析

由于压力取压点设置在靠近 PSA 尾气压缩机入口位置处,当压缩机正常运行时,PSA 尾气压缩机入口处会表现出较大的吸引力,从而形成负压现象。当天然气制氢装置长时间处于低负荷状态下运行时,增加了脱碳总碱度维护难度。如果该装置突然进入

到高负荷运行状态,由于总碱度相对较低,整个工艺中会出现 CO₂ 严重超标现象。同时,由于 CO₂ 分子量相对较大,一旦 PSA 尾气组份中的 CO₂ 指标远远超出所设计的标准时,单位面积内流过滤器的 CO₂ 会出现大幅度下降趋势,此时,尾气压缩机入口处所对应的压力值不断下降,这就增加了压力偏差程度。PSA 尾气压缩机设计与实际气体组成分别如表 2、表 3 所示。

表 2 PSA 尾气压缩机设计气体组成

气体组分	含量 /%
CH ₄	47.21
H ₂	34.11
CO	0.84
N ₂	1.35
H ₂ O	1.25
CO ₂	15.24

表 3 PSA 尾气压缩机实际超标气体组成

气体组分	含量 /%
CH ₄	57.10
H ₂	38.45
CO	1.59
N ₂	1.11
H ₂ O	1.25
CO ₂	0.5

从表 2 和表 3 中的数据可以看出,与设计值相比,PSA 尾气压缩机实际超标气体相对较多,多大 10 倍左右,因此,当发现 CO₂ 含量超出标准值时,会导致 PSA 尾气压缩机出现较大的压力偏差。

3.4.3 故障处理措施

为解决过滤器堵塞问题,维修人员针对以上原因,改进 PSA 尾气压缩机入口处压力引压点,提高实际测量的精确度。当所设置的压力取压点位置与 PSA 尾气压缩机入口位置较近时,一旦压缩机开始运行,压缩机入口处会表现出较高的吸引力,从而引发负压现象,无法更好地体现实管道内压力测量值。此时,一旦过滤器稍微出现堵塞现象,压缩机测量压力显示器会直接弹出“压差较大”等信息,控制室内的显示屏弹出“负压”字眼,说明测量压力为负压,这对后期工作人员操作产生一定的误导作用,导致工作人员对压缩机返回线不断延长,促使压缩机负荷不断降低。维修人员将压力取压点设置导靠近过滤器位置,与 PSA 尾气压缩机入

口处距离保持 1m 以上, 有效地提高测量结果的精确度和真实性, 同时, 还能将过滤器测量阻力降到最低。

3.5 水汽凝结故障处理

3.5.1 故障现象描述

脱盐水通过过滤器后, 由于 PSA 尾气压缩机出口温度较低, 会出现水汽凝结现象, 增加后期过滤器堵塞风险。

3.5.2 故障原因分析

PSA 尾气压缩机为螺杆式。在进行缸内冷却操作时, 借助脱盐水直接进行喷淋降温, 充分发挥脱盐水的蒸发吸热功能, 并将返回线设置到压缩机上, 确保返回线设置在相邻过滤器之前位置。为提高压缩机操作温度的合理性和安全性, 需要将控制指标出口温度统一控制为 100℃, 当返回处理后, 入口温度达到 60℃左右, 此时, 当 PSA 尾气压缩机入口温度降低至 60℃, 一旦与冷工艺气体进行混合后, 再通过过滤器, 会导致过滤器内部出现水汽凝结现象。当过滤器表面附着大量的水, 且与杂质混合后, 会形成大量的堵塞物, 导致过滤器出现严重堵塞现象。

3.5.3 故障处理措施

为避免过滤器出现水汽凝结现象, 还要与相关厂家积极沟通和协作, 将 PSA 尾气压缩机出口温度设置到 106℃。设置完成后, 喷淋水阀门开度出现明显下降, 由原来的 50% 逐渐下降到现在的 30%, 同时, 入口温度得以显著提升, 提升了 70℃ 左右。当 PSA 尾气压缩机入口处温度提升之后, 将水汽凝结出现概率降到最低, 同时, 附着在过滤器表面上的水汽含量也出现明显下降, 降低了过滤器堵塞风险。

4 结语

综上所述, 对于 PSA 尾气压缩机而言, 其过滤器堵塞常见原因主要包含 PSA 吸附剂受损、气温过低、双重过滤器、脱碳效果不好、压缩机出口温度偏低等。本文针对这些原因, 提出相应的解决方案, 有效地解决过滤器堵塞问题, 提高 PSA 尾气压缩机运行性能, 避免因停机清理压缩机而造成不必要的尾气、天然气浪费问题, 从而实现经济效益的最大化。

参考文献:

- [1] 王伟, 翟永刚, 舒陶生. 重整循环氢压缩机入口过滤器堵塞在线处理 [J]. 炼油技术与工程, 2021, 51(9): 36-39.
- [2] 穆树才. 聚丙烯装置循环气压缩机一级干气密封过滤器频繁堵塞原因分析 [J]. 清洗世界, 2019, 35(12): 3-4.
- [3] 李建芳, 冯星星. 天然气液化装置过滤器堵塞改造方案研究 [J]. 石化技术, 2020, 27(3): 311-312.
- [4] 谢丽媛, 王振. 基于三角模糊数的压缩机组外水冷系统失效概率分析 [J]. 石油工业技术监督, 2023, 39(8): 45-50.
- [5] 薛雨, 张鑫, 王晓刚, 等. 管网互联互通反输初期压缩机停机分析及对策——以西气东输二线 X 压气站为例 [J]. 压缩机技术, 2019(6): 34-38.
- [6] 张孝真, 刘军平, 苗伟, 等. 影响尾气回收压缩机运行周期原因及解决措施 [J]. 云南化工, 2020, 47(2): 156-157.
- [7] 王维刚. 焦炉煤气压缩机在线清洗装置的研究与应用 [J]. 化工设计通讯, 2019, 45(2): 167-168.

作者简介: 倪淼 (1988.05-), 男, 汉族, 辽宁辽阳人, 本科, 助理工程师, 研究方向: 离心压缩机组机械设计。