

裂解气压缩机透平在线清洗技术应用

刘东 丁占峰 刘二龙

中国石油辽阳石化分公司, 辽宁 辽阳 111003

[摘要] 中国石油辽阳石化分公司裂解装置裂解气压缩机在运行过程中, 由于水质原因造成透平结垢, 转数提不起来, 蒸汽耗量增加, 高压蒸汽不够用, 机组能力下降, 达不到要求的生产负荷。工艺和设备人员分析、判断, 确认蒸汽透平结垢, 能力下降。经过文中主要阐述利用饱和湿蒸汽对机组透平在线清洗的技术应用, 包括清洗前后效果对比。确保机组稳定运行。

[关键词] 压缩机; 透平; 结垢; 湿蒸汽在线清洗

DOI: 10.33142/ec.v5i8.6528

中图分类号: TQ221.211

文献标识码: A

Application of Online Cleaning Technology for Cracking Gas Compressor Turbine

LIU Dong, DING Zhanfeng, LIU Erlong

PetroChina Liaoyang Petrochemical Company, Liaoyang, Liaoning, 111003, China

Abstract: During the operation of the cracking gas compressor in the cracking unit of PetroChina Liaoyang Petrochemical Company, due to water quality, the turbine was scaling, the number of revolutions could not be raised, the steam consumption increased, the high-pressure steam was insufficient, the unit capacity decreased, and the required production load could not be reached. The process and equipment personnel analyzed and judged and confirmed that the steam turbine was scaling and the capacity decreased. This paper mainly describes the application of saturated wet steam to on-line turbine cleaning, including the effect comparison before and after cleaning, so as to ensure the stable operation of the unit.

Keywords: compressor; turbine; scaling; wet steam online cleaning

引言

裂解装置裂解气压缩机是蒸汽裂解装置的核心, 为后部系统提供一定的压力。机组是否稳定运行直接影响装置的能耗。由于透平受运行方式和锅炉水质的影响, 透平叶片根据运行时间增加而结垢, 影响透平正常运行, 而正常的阀位输出, 导致透平转数下降, 保证透平转数则蒸汽阀位增大, 耗能增加。中国石油辽阳石化分公司烯烃厂裂解装置经过改造, 2007 年两台机组并联使用。在 2019 年检修过程中两台机组透平开盖检查透平不同程度结垢, 判断蒸汽品质问题。经过与上游沟通, 开车后采取措施对水质监控运行, 大大得到改善, 由于大修时间延长, 机组运行时间有 3 年多, 机组不同程度结垢在所难免。则可以在线除垢, 避免了停车对透平解除垢而造成的巨大经济损失。此法已在辽阳石化裂解装置过去的生产过程中进行过多次应用, 取得了良好效果。

1 出现的问题及判断

辽阳石化蒸汽裂解装置裂解气压缩机为两台, 运行方式采用双机并联操作。裂解气压缩机 C204 于 2001 年由德玛格公司引进, 透平采用西门子技术, 机组由 WOODWARD 控制, 防喘振采用 CCC 控制系统。机组透平设计为抽凝式, 部分蒸汽抽出并入中压蒸汽管网, 部分蒸汽做功后经复水器全凝, 然后由复水泵提压后外送。由于 MS 管网压力不稳, 抽汽系统未投用, 透平实际为全凝式。

表 1 C204 透平设计参数

透平形式	额定功率 /KW	最大连续转速 / (r/min)	最小连续转速 / (r/min)	入口蒸汽压力 /MPa	入口蒸汽温度 /℃	抽出蒸汽流量 / (t/h)	抽出 MS 压力 /MPa
抽汽凝汽式	9786	7808	6692	10.4	510	34.9	3.7

自 2019 年 8 月份装置大修开车, 已经运行接近 3 年多。2021 年 11 月份主汽阀开度增长较快, 由于透平主汽阀开度过大, 机组轮室压力升高, 机组开始被动抽汽。12 月份由于裂解原料调整, 裂解炉高压蒸汽产量低, 机组转速无法提高, 主蒸汽消耗不断增加, 高压缸一次阀开度不断增大, 基本在 70%~80%之间, 机组已无调节能力, 高压蒸汽消耗量和机组抽汽间形成恶性循环。透平进汽量过大导致排气温度升高, 排气温度的升高又直接影响透平的使用效率。C204 排气温度自 2021 年 11 月 8 日开始逐渐恶化, 11 月末排气温度升高至 73℃左右。在此期间工艺、设备人员对机组全面检查但透平一级轮室蒸汽压力明显增高, 造成抽中压量增多, 压缩机轴振动、轴向位移逐渐增大, 此情况严重影响装置负荷和机组安全。依据透平主汽阀变化和排气温度变化情况, 推断是透平转子和隔板通流部分结垢、结盐所引起上述现象。

2 透平结垢的危害

透平结垢后, 对汽轮机和压缩机都有直接影响, 严重威胁透平的安全运行以及压缩机生产负荷。具体为: (1)

隔板压差增大。由于级间结垢压力增加,造成该级压力增加,隔板前后压差增大,严重时隔板变形会使叶片和隔板发生摩擦。(2)极间应力。由于极间温度变化速率不同,而引起较大温差,造成较大极间温度应力,缸体与转子膨胀不同发生相对位移造成摩擦。(3)减少流通面积。使蒸汽流量减少,机组效率下降,负荷降低,汽耗量增加。(4)结垢发生后,由于结垢多少前后各级的焓相对减少,转子动叶片轴向推力增加,会使迷宫密封梳齿之间的空间被填满,造成密封效果下降,泄漏量增加。(5)在叶片上结垢分布不均匀而使叶片受热不均,会引起转子不平衡,产生振动和位移。

3 透平结垢的原因

①透平结垢与蒸汽中盐类杂质的溶解性密切相关。盐类杂质进入蒸汽系统,蒸汽进入透平膨胀做功后,蒸汽的温度、压力逐渐下降,由于盐类杂质的蒸汽溶解性不同,在不同的温度压力区间,当某种物质的携带量大于它在蒸汽中的溶解度,就会以固相析出并沉积在蒸汽流通表面。若锅炉给水品质差,盐类和硅酸进入汽包,则会有相当数量的钠盐和硅酸盐被带入蒸汽中。在过热蒸汽中,硅酸失水变成 SiO_2 ,部分在高温状态下以胶状物的 Si 元素被释放出来,进入透平,在机组长期运行过程中,与携带的溶解氧反应,在叶片上逐渐附着形成 SiO_2 结垢。另一部分 SiO_2 及盐类物质在过热蒸汽中呈溶解状态,进入透平后,其溶解度随压力的降低而减少,因此在叶片中析出。

②蒸汽及脱盐水分析频次为每天一次,无在线仪表,无法捕捉水质和蒸汽品质变化情况,对于超标问题无法及时体现,需通过增设在线分析表,加强监测;

③透平全凝运行,在低压端冷凝的蒸汽量较大,而低压端钠离子和二氧化硅的溶解度降低,造成析出量增大,这与检修结垢物集中于低压端一致;锅炉水缓蚀剂钠离子含量按批次分析,加注量 0.62kg/h ,其中纯药剂钠含量最高值 14mg/L ,锅炉水流量 120t/h ,稀释后实际提高钠离子含量 $0.072\mu\text{g/kg}$,远低于 $5\mu\text{g/kg}$ 的指标,影响可以忽略。

④经过与行业对标,乙烯高压蒸汽普遍采用 GB/T12145-2016 火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量指标进行监控,其中高压蒸汽指标 $\text{Na}\leq 5\mu\text{g/kg}$, $\text{SiO}_2\leq 15\mu\text{g/kg}$,电导率 $<5\mu\text{S/cm}$ 锅炉排污 $\text{SiO}_2\leq 2\text{mg/kg}$,电导率 $<30\mu\text{S/cm}$,锅炉给水指标 $\text{Na}\leq 30\mu\text{g/kg}$, $\text{SiO}_2\leq 15\mu\text{g/kg}$,电导率 $<10\mu\text{S/cm}$ 。通过加强来水监控和汽包排污管控进行控制,目前辽阳石化裂解装置排污量高于 3%,因此排污水分析数据远低于指标要求。

4 透平实施在线处理步骤

4.1 清洗方法

清洗蒸汽透平上的结垢物有以下 2 种方法,(1)在机组停车后进行化学清洗,需要有一定的停车时间(2)在

低转速的情况下在线蒸汽清洗。这次清洗采用低转速、在线饱和湿蒸汽冲洗清除结垢物,利用湿蒸汽做功低转速运行的同时,湿蒸汽冲刷喷嘴和叶片,将垢层冲刷溶解,随凝结水排出。

从锅炉给水泵出口低点倒淋处接临时管线到 C204 透平 VS 总管低点倒淋处,该接入点距调速阀有大约 5 米的距离,可以保证注水后的蒸汽与水在进入机体前得到充分混合,使得进入机体的蒸汽处于微饱和的湿蒸汽状态,从而满足对清洗的要求。清洗流程见图 1:

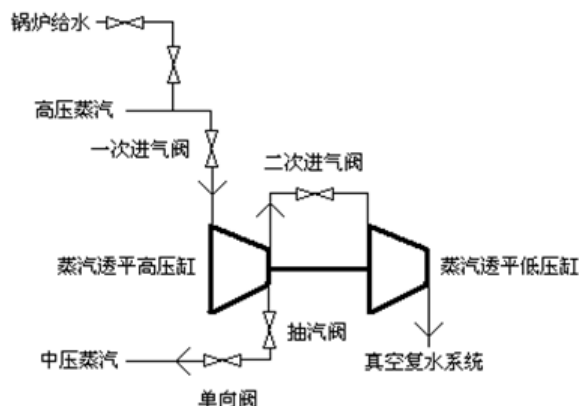


图1 湿蒸汽清洗流程图

本次清洗采用装置现有锅炉给水作为水源,锅炉给水的指标如下:

注水水质条件:

pH 值 9~9.5, 溶解氧 $\leq 7\mu\text{g/L}$ $\text{SiO}_2\leq 20\mu\text{g/L}$

4.2 清洗主要步骤

该机组的湿蒸汽清洗于 11:30 开始,至 15:00 结束,经过 3 小时 30 分钟,主要过程如下:

①8:00 开始,裂解炉降负荷,保证并联的另一台压缩机 C201 运转正常。10:00C204 开始降转速,停车前确认临时管线焊接、气密、试压吹扫完成。

②机组降至最低转速 1800r/min 时,由于排气温度高,机组连锁停机,停机后,立即组织机组升速,将转速重新升至 1800r/min 后,机组具备冲洗条件。

③缓慢关闭注水放空阀门,将锅炉水注入透平主蒸汽管线内,DCS 岗位和室外岗位密切配合。控制蒸汽入口温度在饱和温度 315°C 以上。DCS 岗位观察机组振动、位移以及轴承温度变化情况,及时汇报。蒸汽降温过程中,室外岗位检查现场压缩机有无喘振以及异常声响,有无水击现象。

④在蒸汽温度接近 320°C 时,调整要缓慢,蒸汽温度达到饱和温度 315°C 时,保持转速 1800r/min 在线清洗 0.5h,对复水进行采样分析,以判断清洗效果。

⑤将 C204 转速升至 4400r/min,在升速同时,继续在线清洗 3h,同时每 30min 对复水进行采样分析,以判

断清洗效果。

⑥清洗结束后,关闭注水阀,打开暖管线和透平机体导淋,待蒸汽温度上升至 400℃后,将 C204 机组转速升至正常转速,装置提负荷。

注意事项:为保证机组不受损坏,清洗时,保证机组安全为原则进行操作。由于蒸汽入口压力为 10.5MPa,其对应的饱和温度为 315℃,在冲洗过程中要始终保持透平入口蒸汽温度大于 315℃。若低于 310℃,则立即提高温度保证机组安全;透平出现振动或位移异常或增大明显,应停止清洗,恢复蒸汽温度正常。在每个温度及转速状况下,设备、工艺人员必须到现场,密切注意压缩机运转状态及声音情况。

5 冲洗效果

5.1 C204 透平清洗相关数据

5.1.1 冲洗过程 VC 水分析结果

对 C204 复水器凝液按操作时间节点取样分析,统计表格如下:

表 2 C204 透平冲洗过程中凝液分析结果

样瓶序号	机组状态	蒸汽温度	采样时间	分析结果			
				SiO ₂ (μg/L)	Na ⁺ (μg/L)	硬度 (μmol/L)	电导率 (μs/cm)
1	停机前	485	8:00	<10	3.3	1	1.83
2	6692rpm	445	10:12	89.45	145.1	1	5.60
3	1800rpm	445	11:30	61.98	33.2	1	2.67
4	4400rpm	325	12:00	1990	2100	1	44.4
5	4400rpm	323	12:16	4060	14800	1	307
6	4400rpm	323	12:50	550	258.1	47	7.67
7	4400rpm	320	13:30	450	89.5	26	4.00
8	4400rpm	320	14:00	200	53.9	1	3.25
9	4400rpm	320	14:30	180	53.9	1	3.03
10	4400rpm	320	15:00	160	34.8	1	2.72

从透平复水器凝液分析结果统计表中数据可以看出,透平凝液分析数据在开始时出现一次高值是因为透平连锁停机,造成复水器内液位大幅度波动,造成复水器表面部分物质脱落,影响分析结果。

透平重新升速后,随着蒸汽饱和度增加和冲洗时间的延长,透平冲洗的污水中,各结盐组分均出现峰值数据,在 12:16 分样品分析结果中,Na⁺数据最高值达到 14800 μg/L, SiO₂ 也在同一时间段内达到最大值 4060 μg/L,硬度分析数据为 Ca²⁺和 Mg²⁺总和,在 12:50 分时的样品结果中达到最大 47 μmol/L。两组数据出现时间先后,说明 Ca²⁺和 Mg²⁺的结盐不容易被冲洗下来,冲洗过程中需要有足够的耐心。

透平表面结构物含量在出现峰值后逐渐降低,冲洗效果明显,各结盐组分分析结果趋势图如下:

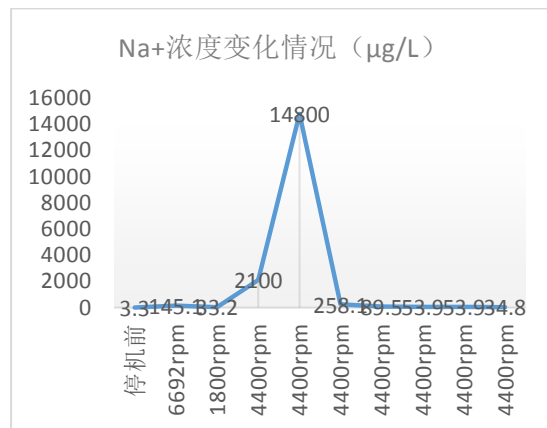


图 2 透平凝液 Na⁺离子分析结果变化趋势图

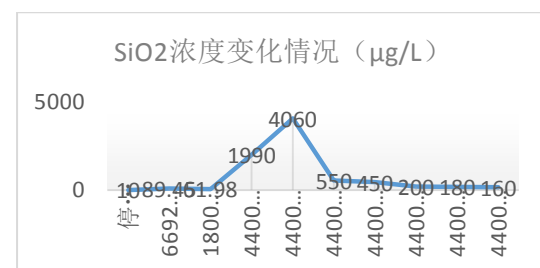


图 3 透平凝液 SiO₂ 分析结果变化趋势图

5.1.2 冲洗过程中透平凝液样品照片

照片中,12:16 分时的透平凝液颜色较重,与之对应的分析数据也说明此时间段内冲洗下的垢物较多。



图 4 透平凝液样品

5.2 影响

在线清洗过程中,轴位移、轴振动变化趋势均有一定程度的变化。轴位移波动明显,最大值与最小值相差 0.045mm 清洗结束后均恢复正常;轴振动也有一定波动,清洗结束恢复正常,未发现机械上的异常情况。说明在线清洗对压缩机透平有一定影响,但不会造成压缩机损坏

5.3 透平冲洗效果

透平冲洗结束后,压缩机运行平稳后,装置加工负荷提至 70t/h,压缩机在相同转速下进行的数据对比,冲洗后透平效率上升,相同转速下高压缸阀位由冲洗前的

70%~80%之间降到了 50%~60%，机组还有很大调节能力，高压蒸汽消耗量明显减少。透平进汽量少则排气温度下降，透平的蒸汽消耗量降低，透平停止被动抽汽。由于段间换热器并未进行检修处理，因此压缩机吸入压力、出口流量无明显改善。此外，由于机组负荷升降一次后，造成压缩机流量还有降低的趋势，压缩机吸入压力基本无变化。冲洗后，透平主气阀开度由 78%降至 59%，入口蒸汽流量由 37t/h 降至 24t/h，蒸汽节约量明显，对装置节能降耗作用较大。经过在线清洗，机组能够满负荷运行，达到之前高效运行，达到了满意的效果。

表 3 C204 透平冲洗前后压缩机性能参数对比表（装置负荷 70t/h）

项目	冲洗前	冲洗后	备注
主汽阀开度	78%	59%	透平转速 7400rpm
高压蒸汽消耗量	37000kg/h	28450kg/h	FI0213
透平抽汽量	11700kg/h	52kg/h	FI0212
吸入压力	84kpa	85kpa	PC201
压缩机三段出口流量	49500kg/h	47600kg/h	FQ-01
压缩机四段出口流量	44500kg/h	42500kg/h	FQ-02

5.4 改善措施

辽阳石化乙烯装置为两台裂解气压缩机并联运行，压

缩机运行效率较低，蒸汽消耗量大。机组运行一直为全凝式运行，与设计有很大出入。为了改善装置能耗计划将 C204 抽气投用，投用后机组抽汽，提高蒸汽利用效率，保证装置生存发展。

6 结束语

压缩机透平蒸汽在线清洗方法多次在我装置进行试用，这种方法简便，而且无需停车即可在实现，每次效果大相径庭。在很大程度上保证压缩机稳定运行，透平在线清洗后，效果可以持续半年时间，适用于大修末期机组调整，减少大修前装置窗口检修，如要彻底恢复机组性能，只能同时对压缩机和透平进行解体检修。解体检修，可以从根本上解决透平结垢的问题。但是长周期运行的机组，难免发生透平结垢的问题，必须从源头上抓起。加强对水质的分析监控和管理，确保水质合格。水质无问题，那么机组透平才能长周期稳定运行。

【参考文献】

- [1]张迪. 裂解气压缩机透平结垢分析及在线清洗技术应用[J]. 乙烯工业, 2014(12): 15-17.
 - [2]汪学峰. 化肥汽轮发电机、氮气压缩机叶片结垢的原因分析及措施[J]. 化工科技, 2014, 33(12): 15-17.
 - [3]王小春. 裂解气压缩机蒸汽透平结垢原因分析及应对措施[J]. 乙烯工业, 2012(3): 40-43.
- 作者简介：刘东（1971.10-）男，汉族，辽宁 辽阳，目前职称：高级技师，从事化工工作。