

汽轮机通流部分结垢的判断及处理措施分析

吉 星¹ 刘红岩² 刘晓乐³

1. 建元煤化科技有限公司空分车间 内蒙古 鄂尔多斯 016064

2. 建元煤化科技有限公司 内蒙古 鄂尔多斯 016064

3. 建元煤化科技有限公司空分车间 内蒙古 鄂尔多斯 016064

摘 要: 进入汽轮机的蒸汽品质不合格, 或者长期停车后未做保护措施, 都会引起通流部分的结垢, 汽轮机结垢不仅影响设备的稳定性、安全性、使用寿命, 而且影响装置运行的经济性。如何判断运行中的汽轮机通流部分结垢并采取合理有效的措施解决, 成为企业安全稳定长周期运行的关键。

关键词: 蒸汽品质; 汽轮机; 结垢; 轮室压力; 主汽门; 轴封压力; 冲洗

1 引言

汽轮机通流部分的结垢, 主要源于进入汽轮机的蒸汽品质不佳。具体来说, 不合格蒸汽中可能会含有各种钙镁离子、溶解盐类、悬浮固体颗粒和杂质, 这些蒸汽中含有的各类杂质, 在蒸汽通过汽轮机的过程中会逐渐沉积在通流部分, 尤其是叶片和喷嘴等关键部位, 久而久之通流部分及叶片、喷嘴就会形成一层坚硬的污垢。

汽轮机结垢不仅影响设备的稳定性、安全性、使用寿命, 而且影响装置运行的经济性。如何判断运行中的汽轮机通流部分结垢并采取合理有效措施解决, 成为企业安全稳定长周期运行的关键。本文以杭汽ENKS40/56/50凝汽式抽汽汽轮机为例, 分析说明结垢形成的现象及处理措施。

2 装置概况

我公司空分装置压缩机组采用蒸汽驱动汽轮机, 汽轮机“一拖二”模式带动空压机和增压机运行。压缩机组的驱动汽轮机由杭州汽轮机股份有限公司制造, 汽轮机采用抽汽凝汽式, 机组于2020年10月投用。汽轮机的动力蒸汽来自园区电厂锅炉和我公司干熄焦锅炉共同提供的混合4.0MPa过热蒸汽。2022年9月在使用园区电厂锅炉蒸汽基础上首次引入1#、3#干熄焦蒸汽, 2023年11月又增加了2#干熄焦蒸汽, 3套干熄焦蒸汽平均总量为200t/h、园区电厂锅炉蒸汽平均总量为100t/h。

3 运行情况

2023年11月28日大修后启机至今, 在连续运行的5个月时间内, 汽轮机各参数发生较大变化。新蒸汽进汽流量, 由原来的67t/h增大至70t/h, 中抽压力由原来的1.137MPa升至1.259MPa, 轮室压力也由原来的2.05MPa升至2.52MPa, 调节汽阀开度缓慢变大, 且位移有持续上涨的现象。

2024年3月, 首先发现汽轮机在负荷稳定的情况下, 主蒸汽消耗稍有增加, 且调节级后压力有所上升, 进汽调节阀开度略微变大。其次又发现轴封汽调节阀为了维持设定压力稳定, 一直不断开大, 由开车初期的60%开至79%。最明显的变化是, 纯化系统充压时, 汽轮机负荷短暂增大, 调节汽阀开大后中抽压力升高, 最高时已接近安全阀起跳压力。

以上种种异常现象, 已经严重影响到机组的安全运行, 虽然采取了纯化系统充压前, 启动三台仪表空压机为装置补气、适当提高中抽蒸汽安全阀起跳压力等一系列方法来维持设备运行, 但效果并不理想, 机组负荷不能满足日后需求。同时, 轴封汽阀逐渐全开也存在较大隐患, 若轴封汽阀全开后, 汽封压力不足, 造成湿空气进入汽轮机后汽封, 后缸会出现受热不均匀, 振动加剧, 真空下降等现象, 甚至被迫停车。

与此同时, 我公司乙二醇装置的两台汽轮机也相继出现效率呈明显下降趋势等类似现象, 尽管也采取了降低机组负荷等措施, 机组的运行工况仍然不稳定。针对此次发生的设备运行共性问题, 由煤化科技公司设备部牵头, 组织公司领导、设备专工、空分工程师、乙二醇工程师、厂家技术人员等专业人员, 对汽轮机结垢的性质和结垢形成的原因进行了论证分析, 认为主要是干熄焦蒸汽品质低, 大量使用不合格的蒸汽与电厂蒸汽混合后拉低了整体蒸汽品质, 导致进入汽轮机的混合蒸汽含有各种盐份和杂质, 汽轮机通流部分结垢、流通不畅, 汽轮机做功能力下降, 甚至威胁到机组的安全经济运行。

4 汽轮机结垢的分析判断

汽轮机结垢后, 运行参数会逐渐偏离正常工艺指标, 特别是轮室压力、主汽门开度、轴封汽压力等, 会随着结垢的严重程度慢慢变化。这种变化相对于原始

开车数据是明显的，相对于每日数据又是很细微的。所以，对运行保运人员的工作能力要求，既要细心又要专业。当汽轮机运行出现指标异常，是否是因为通流部分结垢造成的，主要从以下几个方面进行分析和判断。

表1 运行数据

时间\指标	主汽门开度 (%)	轴封汽阀开度 (%)	轮室压力 (MPa)	中抽汽压力 (MPa)	位移A (mm)	位移B (mm)	真空度 (MPa)
2023.3.26	48	66	2.05	1.179	0.039	0.019	0.014
2023.8.25	47	68	2.05	1.140	0.044	0.021	0.015
2023.9.25	46	65	2.05	1.132	0.035	0.013	0.015
2023.11.30	55	61	2.05	1.137	0.034	0.033	0.017
2023.12.30	58	56	2.08	1.184	0.049	0.048	0.016
2024.1.20	55	62	2.10	1.125	0.047	0.047	0.017
2024.1.26	54	62	2.18	1.084	0.051	0.051	0.017
2024.2.26	56	70	2.20	1.231	0.023	0.021	0.016
2024.3.26	60	78	2.52	1.259	-0.06	-0.06	0.016

4.1 运行数据对比分析

通过对汽轮机的运行数据进行长期跟踪和记录，对比各项指标的变化趋势，可以初步判断汽轮机是否存在结垢现象。重点关注蒸汽流量、主汽门开度、轴封汽阀开度、轮室压力、中抽压力以及轴位移等参数的变化，当这些参数出现异常升高或不稳定趋势时，可能表明汽轮机内部存在结垢。

4.2 计算轮室压力相对增加值

根据杭汽提供的使用说明书，计算轮室压力相对增加值 ΔP 是判断汽轮机通流部分结垢状态的有效方法，若 $\Delta P > 10\%$ （设计值），则判断为通流部分结垢，应及时进行清洗。

$$\Delta P = P_R - P_{RO} / P_{RO} \times 100\%$$

P_R 是在相同进汽参数、流量下目前运行时的轮室压力
 P_{RO} 是洁净状况下与测量流量对应的轮室压力

我公司本次汽轮机开车， $\Delta P = P_R - P_{RO} / P_{RO} \times 100\% = 2.52 - 2.05 / 2.05 \times 100\% = 23\% > 10\%$ 。实际 ΔP 大于设计值，分析判断汽轮机通流部分存在结垢现象且比较严重。

4.3 蒸汽品质分析推断

汽轮机发生结垢的主要原因是汽水品质不合格，而过热蒸汽中的杂质主要是由锅炉水中带出，所以控制好锅炉水指标是防止汽轮机结垢的最直接方法。过热蒸汽中常见的成份是硅酸和各种钠化合物，带有杂质的过热蒸汽进入汽轮机后，由于压力和温度降低，钠化合物和硅酸在蒸汽中的溶解度随压力降低而减小，当其中某种物质的溶解度下降到低于它在蒸汽中的含量时，该物质就会以固态析出，并沉积在汽轮机蒸汽通流部分。

（1）结垢类型：磷酸钠、氢氧化钠、碳酸钠、氯化钠、矽酸钠、氧化矽、铁和铜的氧化物、其他盐类，具

体的应由化验室分析得出结论

（2）汽轮机蒸汽指标：钠、二氧化硅、铁、铜的含量、电导率

（3）锅炉给水指标：电导率、氯离子、硬度、二氧化硅、钠、铁、铜、PH值、油

通过分析汽轮机蒸汽指标，与清洁蒸汽指标进行对比，若指标偏离较大，可以推断汽轮机通流部分，已经发生结垢现象。

4.4 其他方法

根据抽汽压力与主蒸汽流量成正比这个原理，在运行中通过监视抽汽压力，就可以有效地监督通流部分工作是否正常。如果在同一负荷下抽汽压力升高，则说明该抽汽级以后通流面积减少，多数情况下是结了盐垢。对汽轮机设备本体及其附件的运行声音、振动进行动态监测，也能够对潜在故障进行早期检测和预报。当凝汽器管道积垢后，高速通过的水流会带走脱落的盐垢，垢块碰撞管道会发出清脆的叮铛声。

5 处理措施分析

针对汽轮机通流部分结垢问题，可以从以下几个方面采取措施：

5.1 提高蒸汽品质

优化蒸汽的生产和输送过程，降低蒸汽中的杂质含量。通过严格控制脱盐水电导、二氧化硅等各项指标，严格控制锅炉给水和锅炉水药剂添加量和药剂品质，加强锅炉定排和连排管理、优化锅炉运行参数等方式实现。

5.2 定期清洗

定期对汽轮机通流部分进行清洗，以去除已经形成的结垢。清洗方式包括在线清洗和离线清洗，清洗方法包括化学清洗和机械清洗等，具体方式方法的选择应根

据结垢的成分和分布情况而定。

5.3 监控和检测

建立有效的监控和检测系统,实时监测蒸汽的品质和汽轮机的运行状况。一旦发现蒸汽品质下降或汽轮机运行异常,应及时采取措施进行处理,防止结垢问题的进一步恶化。

5.4 优化操作和管理

合理调整汽轮机的运行参数和操作流程,避免因操作不当导致的结垢现象。

5.5 优化汽轮机的设计

根据公司发展现状,使用干熄焦蒸汽不可替代,要求厂家考虑现有蒸汽特点,对汽轮机的设计进行优化,以减少结垢的可能性。例如,改进叶片和喷嘴的设计,减少叶片数量,增大间隙,使蒸汽的流速降低、静压升高,减少 SiO_2 析出,使其更不易于沉积杂质;优化汽轮机的结构,提高蒸汽流动的均匀性和稳定性等。

6 岗位应急处理措施

(1) 空分车间中控压缩岗位,密切关注主汽门开度,当开度大于70%后,及时启动螺杆空压机对系统补气;当开度大于80%后,中控重点关注机组各个振动参数,现场重点关注机组振动、声音,任何一项出现异常情况并不可控制,可以紧急停车;当开度大于90%,停车检修处理积垢。

(2) 空分车间中控压缩岗位,密切关注轴封汽阀开度,当开度大于85%后投用旁路,稳定轴封汽压力大于12KPa,现场关注轴封排汽管有汽冒出。当旁路投用后,中控、现场重点关注排汽管冒汽情况,若不冒汽,湿空气漏入低压缸,汽轮机真空下降,可以紧急停车;当轴封蒸汽旁路全开后,轴封汽阀开度达到80%或者汽轮机真空度无法保持达到报警值,停车检修处理积垢。

(3) 空分车间中控压缩岗位,密切关注轴位移及止推轴承温度,当轴位移与止推瓦温度同时上升时,立即

报告车间领导,由领导根据温度上升速度及相关工况判断是否紧急停车;当轴位移达到报警值-0.56mm或止推轴承温度明显异常上涨时,停车检修处理积垢。

(4) 空分车间中控压缩岗位,密切关注轴振动趋势变化,当振动有所上升后,现场要仔细检查运行声音、回油温度,并立即报告车间领导,由领导根据相关工况进行调整;当振动明显上涨或者较大幅度波动时,停车检修处理积垢。

(5) 空分车间现场压缩岗位,密切关注轮室压力变化,当压力大于3.0MPa时,立即报告车间领导,停车检修处理积垢。

(6) 空分车间现场压缩岗位,日常巡检时应重点关注汽轮机声音,若发现有金属碰撞声或机壳剧烈震动,汇报班长后,立即打闸停车。

综上所述,汽轮机通流部分结垢问题的成因复杂,涉及多个方面的因素。通过提高蒸汽品质、定期清洗、监控和检测以及改进设计等措施,可以有效预防和解决这一问题,确保汽轮机的安全、稳定运行。同时,加强预防措施的实施,能够降低结垢的发生概率,延长设备的使用寿命。

参考文献

- [1]《汽轮机使用说明书》冯照和、刘白兰,杭州:杭汽工业透平研究院,2018.7
- [2]《汽轮机技术问答(第二版)》张克舫、沈慧坊,北京:中国石化出版社,2006.6
- [3]《化工原理》谭天恩、窦梅、周明华,北京:化学工业出版社,2005.7
- [4]《新编制氧工问答》汤学忠、顾福民,北京:冶金工业出版社,2001.7
- [5]《石油化工设备》张漪芳,上海:兰州石油机械研究所有限公司,2001.6