

燃气-蒸汽联合循环机组低压主蒸汽温度突降事件分析及对策

谢为良¹, 夏小勇¹, 刘源¹, 程途²

(1. 东莞深能源樟洋电力有限公司, 广东 东莞 523000;

2. 江苏华电戚墅堰发电有限公司, 江苏 常州 213011)

摘要: 本文主要描述联合循环机组运行状态的改变, 机组由调峰运行到长期连续运行, 因现场管道布置不合理, 导致低压主蒸汽温度突降, 引起汽轮机发生轻微水冲击的事件。文章分析了事件产生的原因, 结合实际情况进行技术改造, 给同类机型在设计初期合理进行管道安装布置提供一定的借鉴意义。

关键词: 水冲击; 燃气-蒸汽联合循环; 调峰; 连续运行

中图分类号: TK476

文献标志码: B

文章编号: 1009-2889(2023)04-0069-04

随着电力市场蓬勃发展, 承担电网调峰主力军的燃气-蒸汽联合循环机组在夏季电网需求高峰期, 经常长时间连续运行。系统设备原本满足调峰运行, 由于运行状态的改变, 不能满足现场实际需要, 从而导致安全事件的发生。

某电厂燃气-蒸汽联合循环发电机组因运行状态的改变, 导致低压主蒸汽温度急剧下降。本文对本次事件进行较为详细的分析, 提出解决方案, 从而进一步提高机组运行的安全可靠性能。

1 事件发生过程介绍

1.1 电厂基本情况

某电厂现有两套燃气-蒸汽联合循环机组, 燃气轮机为上海电气和安萨尔多公司联合设计制造的AE94.3A型燃气轮机, 余热锅炉为杭州锅炉厂设计制造的NG-AE94.3A-R型三压、再热、卧式、自然循环余热锅炉, 汽轮机为上海汽轮机厂设计制造的D880型三压、再热、单轴、反动式、双缸、中低压合缸、轴向单排汽凝汽式汽轮机。联合循环机组采用单轴布置, 有高、中、低压三级主蒸汽系统, 设置100%容量高、中压二级串联旁路和100%容量低压旁路系统, 联合循环主蒸汽以及旁路系统流程图见

图1。该机组低压主蒸汽设计参数为压力0.378 MPa, 温度242℃, 流量48.1 t/h。

1.2 事件发生过程

7月23日01:11, 1号机组422 MW运行, 机组各项参数运行正常。01:23现场巡检人员听到1号机组凝汽器附近传来巨大响声, 振动异响每次持续2~3 s, 每次振动间隔约10 s, 约1 min后响声消失, 现场检查管道及阀门无明显异常。主要事件过程中的机组参数见表1。

1.3 事件排查过程

7月23日白天, 电厂技术人员对现场进行检查, 根据汽轮机低压主汽阀前温度突降时锅炉侧低压主蒸汽温度无明显变化, 结合现场低压主蒸汽管道疏水管道的实际位置, 事件发生时低压主蒸汽管道疏水阀处于正常关闭状态, 疏水阀后温度也无异常变化, 且疏水扩容器液位正常, 排除冷汽或冷凝水通过疏水管道返回至低压主蒸汽管道的可能。初步怀疑低压旁路及其预暖管内蒸汽流动性较差, 可能有冷凝水通过预暖管返回至低压主蒸汽管道, 导致低压主蒸汽温度突降。

技术人员拆除低压主蒸汽管道相关部位的保温, 测量低压旁路阀前预暖管管道壁温为82℃, 低

收稿日期: 2023-08-10

作者简介: 谢为良(1981—), 男, 湖北鄂州人, 本科, 工程师, 从事联合循环电厂燃气轮机运行及设备管理工作, E-mail: 123793719@qq.com。

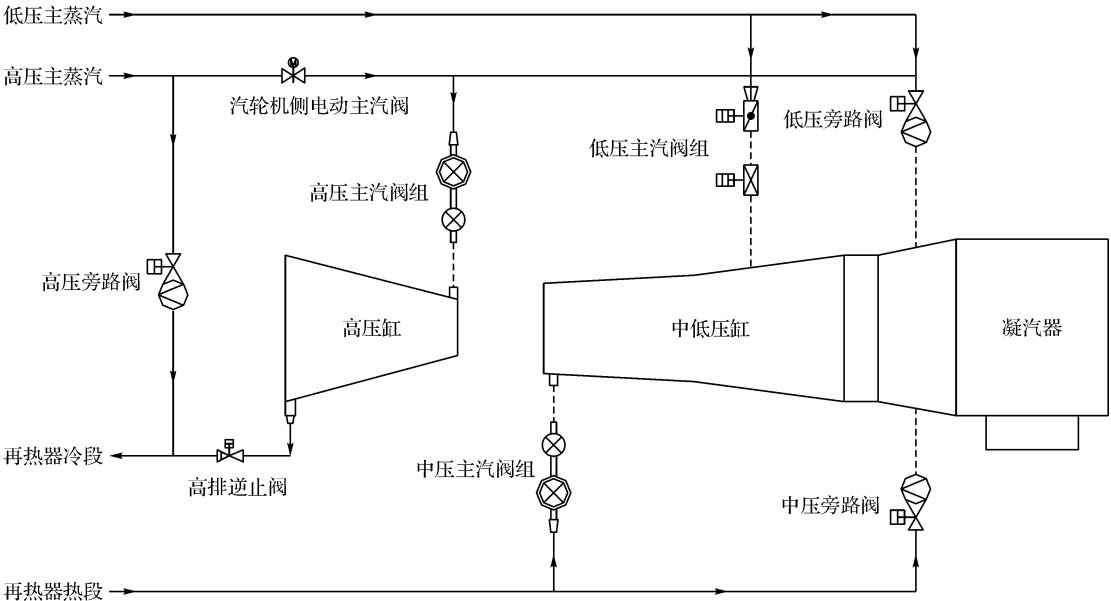


图 1 联合循环主蒸汽及旁路系统流程图

表 1 事件中机组参数变化表

时刻	机组参数	备注
01:11:25	机组总负荷 423.6 MW, 汽轮机负荷 142.35 MW, 锅炉侧低压主蒸汽温度 249.1 ℃, 汽轮机侧低压主蒸汽温度 242.1 ℃, 低压缸排汽温度 78.2 ℃	汽轮机侧低压主蒸汽温度开始下降, 现场有振动声
01:12:18	低压旁路后温度测点显示故障, 2 s 后恢复。低压旁路开度反馈由 -0.5% 跳变至 -1.6%, 凝汽器背压、瓦振、轴振、胀差及轴向位移无明显变化	
01:13:02	机组总负荷 423.6 MW, 汽轮机负荷 142.35 MW, 锅炉侧低压主蒸汽温度 249.1 ℃, 汽轮机侧低压主蒸汽温度 176.1 ℃, 低压缸排汽温度 72.6 ℃, 排汽缸轴承(1 号轴承)瓦振由 1.0 mm/s 突升至 1.5 mm/s	机组负荷没有明显变化, 97 s 汽轮机侧低压主蒸汽温度下降 66 ℃, 低压缸排汽温度下降 5.6 ℃, 排汽缸轴承(1 号轴承)振动瞬时突变后立即恢复正常
01:13:27	汽轮机侧低压主蒸汽温度开始上升	
01:21:08	汽轮机侧低压主蒸汽温度恢复正常, 稳定在 241 ℃ 左右	

压旁路阀前疏水管道壁温为 72 ℃。在现场排查过程中,1 号机低压旁路阀前预暖管、低压旁路阀及其后管道等部位突然再次发生剧烈振动并传出巨大响声。立即通知值班人员开启低压主蒸汽系统疏水阀进行疏水,疏水阀开启后振动以及异响消失。

查询参数趋势曲线,发现从 10:18 开始,1 号汽轮机低压主蒸汽温度在 77 s 内由 237 ℃ 下降至最低 172 ℃,降温幅度最大约 65 ℃,中低压缸轴向位移由 -0.9 mm 升至 -0.88 mm,汽轮机真空度、瓦振、轴振、胀差无明显变化。

1.4 采取的临时措施

根据现场管道布置以及排查过程中发生的振动现象,可以确认因低压旁路及其预暖管内蒸汽流动不畅,机组长时间连续运行后,在低压旁路阀前的管道内部蒸汽逐渐凝结成水,通过预暖管返回至低压主蒸汽管道中。鉴于以上原因,将低压旁路阀前疏

水手动阀开启 2 圈,全开疏水气动阀,保证低压旁路阀前管道内蒸汽的流动性。持续对低压旁路阀前的预暖管和疏水管管壁金属温度进行监视,该方案能满足机组安全运行要求,同时选择合适的窗口期对汽轮机末几级叶片进行检查。

2 原因分析

机组正常运行期间,低压旁路阀在关闭后,预暖蒸汽从预暖管进入低压旁路管道,然后逆流至低压主蒸汽管道,与低压主蒸汽一起进入汽轮机低压缸做功,如图 2 所示。

查阅 1 号机组低压主蒸汽安装图^[1],低压旁路预暖管管径较小(OD45 × 2.5 mm),现场设置有较多弯头,导致预暖蒸汽流动时沿程阻力损失和局部阻力损失较大;且低压旁路预暖管引入点与低压旁路管道入口距离仅有 764 mm^[2],在低压旁路阀和低

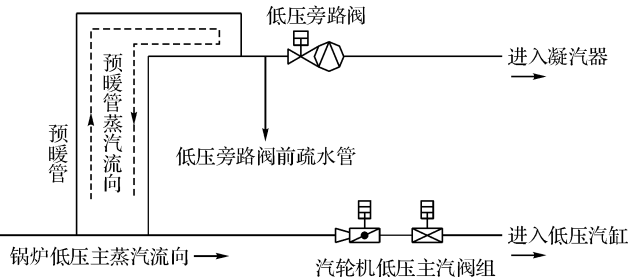


图 2 正常运行期间低压旁路预暖管汽流示意图

压旁路阀前疏水阀关闭严密时,产生的压差不足以维持预暖蒸汽的流动。

经试验,关闭低压旁路阀前疏水 8 h 后,低压旁路阀前管壁金属温度已下降至低压蒸汽压力对应的饱和温度以下,证实预暖蒸汽流动较差。

查阅 1 号机组运行记录,此前机组连续运行最长时间为 22 天,此次事件发生时机组已连续运行 30

天,测量低压旁路阀预暖管壁温仅 82 ℃。由于预暖蒸汽流动性较差,散热引起低压旁路阀前管道内的蒸汽温度低于饱和温度,从而产生凝结水。查阅设计施工图册,低压旁路管道最高处管道与低压旁路阀高度差 2 648 mm^[3],预暖管最高处与低压旁路管道高度差 300 mm^[3],如图 3 所示。在机组连续运行 30 天后,低压旁路阀前管道内的冷凝水越聚越多,当冷凝水水位超过预暖管最高处时,凝结水在重力的作用下,沿着预暖管流动,同时冷却预暖管内的蒸汽,管道内的蒸汽因凝结体积突然缩小,低压旁路阀前管道内的冷凝水在压差的推动下涌入预暖管,引起预暖管、低压旁路阀等相关管道发生水冲击;同时冷凝水从预暖管返回至低压主蒸汽管道,在极短的时间内使汽轮机的低压主蒸汽温度急剧下降,导致汽轮机低压部分发生水冲击。

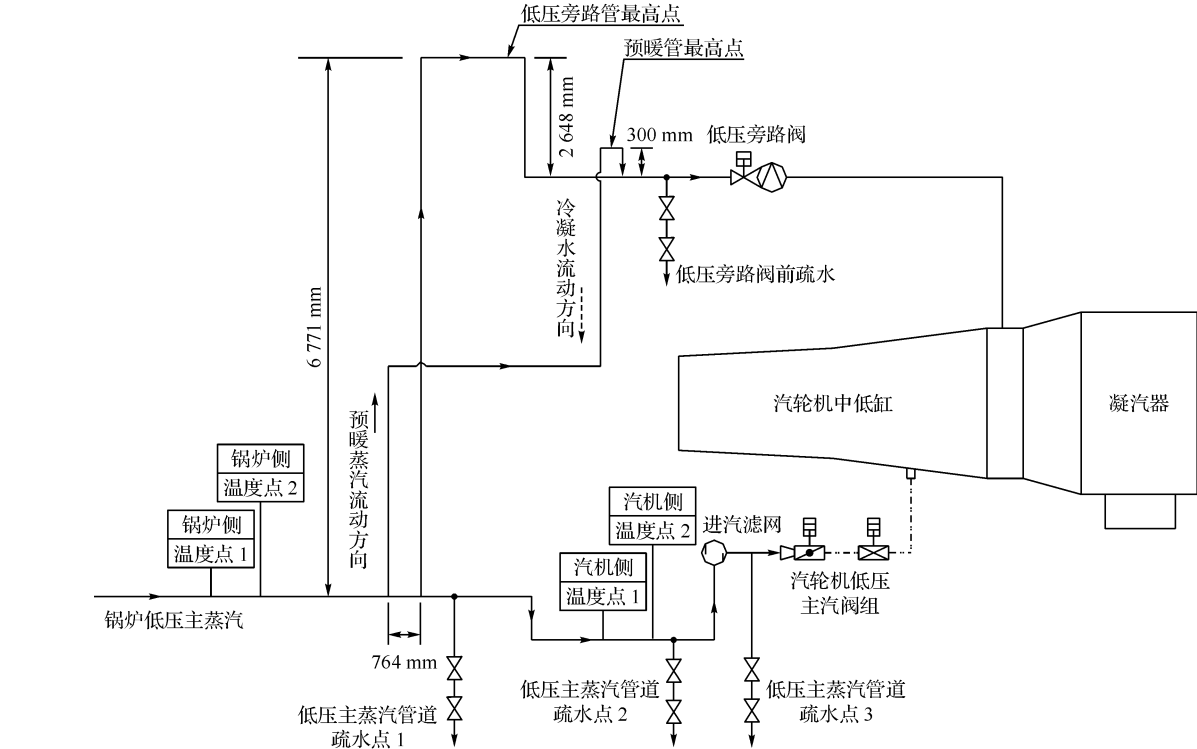


图 3 现场实际布置示意图

3 解决方案

预暖蒸汽流动性差和低压旁路阀前冷凝水不能及时排出是导致本次事件的直接原因。保证低压旁路及其预暖管内蒸汽的流动性,同时防止冷凝水聚集,才能有效解决机组长时间连续运行存在的风险。根据现场实际情况,设计有 4 种改造方案,见表 2。

为了保证改造后机组运行的安全性,同时兼顾经济性,技术人员一致同意采取方案三的方案。技术改造完成后,机组经过长达 31 天的连续运行,测得低压旁路阀前预暖管道与低压旁路阀前管道的碰管处壁温在 180 ℃至 200 ℃之间,蒸汽过热度达到 30 ℃以上,低压旁路及预暖管内的蒸汽流动性能满足要求,能满足机组长期连续运行的安全性。

表 2 改造方案比较

序号	内容	缺点	优点
方案一	在低压旁路阀处并联一个手动旁路阀,正常运行时,保持开启状态,让部分蒸汽直接进入凝汽器	浪费高品质蒸汽,增加能耗,需改管	简单易行,工作量较小
方案二	将预暖管与低压旁路阀前管道的碰口改至管道下部,产生的冷凝水能及时沿管壁流至低压主蒸汽管道	需要改管,工作量相对较小,蒸汽流动性不能保证	节能
方案三	结合现场管道的布置,将预暖管引出点向汽轮机侧后移 14 m,保证预暖管内蒸汽的流动性;同时将预暖管与低压旁路阀前管道的碰口改至管道下部,产生的冷凝水能及时沿管壁流至低压主蒸汽管道	需要改管,工作量较大	节能,安装方便,可靠性高
方案四	将低压旁路阀前疏水阀并联一路带自动疏水器的管路	自动疏水器可靠性不高	简单易行

4 结语

本次事件的发生,其主要原因是设计院未认真核算低压预暖管与低压旁路内蒸汽正常流动时的压差。其次,安装过程中电厂技术人员没有监督到位,使得低压预暖管在低压旁路阀前管道的上部碰口,导致因蒸汽流动性差产生的凝结水大量聚集在低压旁路阀前管道内。原本设计承担调峰任务的机组,很多设计或安装细节可能不满足机组长期连续运行的要求,在设计和施工阶段,电厂技术人员应该仔细

审核相关图纸,深入监督施工安装过程,及时发现问题并进行分析整改。

参考文献:

[1] 广东电力设计院. 1 号机组低压主蒸汽及旁路系统流程图 F4381S-J0501-04[Z]. 2019.

[2] 广东电力设计院. 1 号机组低压主蒸汽管道 IOS 图 F4381S-J0503-03[Z]. 2019.

[3] 广东电力设计院. 1 号机组低压主蒸汽管道 IOS 图 F4381S-J0508-02[Z]. 2019.

Analysis and Countermeasures for Sudden Temperature Drop of Low Pressure Main Steam in Gas-steam Combined Cycle Units

Xie Weiliang¹, Xia Xiaoyong¹, Liu Yuan¹, Cheng Tu²

- (1. Dongguan Shenzhen Energy Zhangyang Power Co., Ltd., Guangdong Dongguan 523000, China;
2. Jiangsu Huadian Qishuyan Power Generation Co., Ltd., Jiangsu Changzhou 213011, China)

Abstract: This article mainly describes the changes in the operating status of the gas-steam combined cycle unit. The unit goes from peak shaving operation to long-term continuous operation, and due to unreasonable on-site pipeline layout, the temperature of the low-pressure main steam suddenly drops, causing a slight water shock event on the steam turbine. The article analyzes the causes of the incident and makes technical improvements based on the actual situation, providing certain reference significance for the reasonable pipeline installation and layout design of similar models in the early design stage.

Keywords: water shock; gas-steam combined cycle; peak shaving; continuous operation

《燃气轮机技术》2023 年索引

序号		第一作者	期	页
· 专题论述 ·				
1	旋转状态平板收敛缝形气膜孔改善冷却效果的数值研究	姚 玉	1	1
2	轮毂泄漏流对跨声速压气机转子性能影响的数值研究	付尧明	1	10
3	工况参数对 X 型桁架阵列通道流动与传热性能影响的数值研究	席 雷	2	1
4	基于多模型的三轴燃气轮机主动容错控制研究	沈立锐	2	7
5	旋转爆震涡喷组合发动机设计点计算模型研究	赵 起	3	1
6	网格变形技术及其在能源装备数值仿真中的应用	刘庆龙	4	1
7	H-25 型燃气轮机及国内技术引进应用	郑陆松	4	11
· 设计计算与理论研究 ·				
8	轴流压气机盘轮毂优化设计与分析	孙 震	1	18
9	航空发动机涡轮流场仿真与涡轮功计算	徐学文	1	22
10	微混喷嘴结构对氢混燃料/空气掺混均匀性的影响分析	陈 昊	1	25
11	某 F 级燃气轮机发电机组冷端优化策略研究	潘 攀	1	32
12	燃气轮机进气过滤系统性能在线计算方法	喜静波	1	40
13	基于 TTCAN 的燃气轮机分布式控制系统智能节点设计	张文豪	2	13
14	高负荷多级轴流压气机数值仿真的转静交界面模型研究	刘天一	2	19
15	某燃气轮机保护系统硬回路的安全完整性等级分析	吴志方	2	27
16	基于相变仿真技术的排气降温装置优化设计研究	付镇柏	3	10
17	燃气轮机下部传动箱试验台研制及应用	贾新旺	3	16
18	基于补燃的供热调峰机组设计方案优化	林张新	3	20
19	主燃孔位置对燃烧室性能影响研究	姚建朋	3	27
20	基于 AC800F 的联合循环机组在线性能测试装置的应用	温文忠	3	33
21	天然气发电厂生产对标指标研究与应用	薛志敏	3	39
22	某舰用燃气轮机舷侧进气系统性能试验研究	李庆峰	4	20
23	压气机特性线的处理方法研究	邓 军	4	28
24	基于响应面模型涡轮叶片冷却性能的数值研究	赵 振	4	32
25	考虑透平冷却的再热燃气轮机联合循环热力性能参数影响	贾晨曦	4	39
26	一种燃气轮机气体燃料调节阀的流动特性分析	张嘉耕	4	46
· 运行维护 ·				
27	联合循环机组汽轮机液压螺栓螺母脱落事件分析和处理	王庆韧	1	46
28	某工业型燃气轮机水清洗后滑油乳化分析	魏昌森	1	52
29	某燃气轮机透平二级静叶烧蚀原因分析及处理	黄耀文	1	56
30	余热锅炉汽包壁温差控制策略	蒋 刚	1	60
31	6F.03 燃气轮机 CO ₂ 灭火控制系统及常见故障分析与处理	赵雪芬	2	32

序号		第一作者	期	页
32	某型燃气轮机启动过程中火焰缺失故障分析与处理	张 浩	2	39
33	PG9171E 型燃气-蒸汽联合循环机组实现储能黑启动及辅助调频技术探讨	温文忠	2	44
34	某型燃气轮机圆柱滚子轴承失效原因分析	于 洋	2	50
35	某型发动机低压压气机转子叶片断裂分析	王文杰	2	57
36	R20 燃气轮机涡轮工作叶片断裂失效分析	王 辉	2	62
37	某工业型燃气轮机超温停机故障分析	魏昌森	3	47
38	汽轮机冷态启动冲转过程优化	张拴平	3	51
39	燃气轮机箱体压差报警停机问题分析及解决方案	裴 勇	3	55
40	EX2100e 励磁系统故障诊断与预警优化	童蕴真	3	59
41	9FA 燃气轮机清吹系统分析	吴学崇	4	53
42	一起 PG9171E 型燃气轮机启动失败故障的原因分析及处理	杨 薇	4	60
· 技术改造 ·				
43	M701F 机组交流润滑油泵变频改造分析与应用	黎 晖	1	64
44	进气冷却对 LM6000PF 燃气轮机夏季运行负荷的提升	杨尤平	1	69
45	某型燃气轮机箱体输出轴罩仿真及试验研究	周 拓	2	68
46	排气热电偶在控制系统国产化改造中的变化	吴学崇	3	63
47	汽轮机冷态预暖在燃气-蒸汽联合循环发电机组中的应用	夏小勇	3	69
48	9E 燃气轮机清吹阀故障处理及改进方案	杨体佳	4	64
49	燃气-蒸汽联合循环机组低压主蒸汽温度突降事件分析及对策	谢为良	4	69