

600MW等级汽轮发电机组发电机故障原因分析及防范

安柔嘉¹, 安殿华²

1. 德州学院, 山东 德州 253023

2. 华电国际项目管理有限公司, 山东 济南 250000

摘 要 : 某发电机厂引进制造的600MW发电机在设计及制造安装过程中存在发电机定子引线水路外接回水管道管径偏小, 造成发电机并联环及部分铜线熔断等一系列事故, 针对事故原因, 对发电机进行了发电机定子引线水路外接回水管道改造并设置了监控仪表及调节阀, 避免了故障, 保障了机组安全。

关 键 词 : 600MW发电机; 并联环; 故障; 改造

Causation Analysis and Prevention of 600MW Generator's Typical Failure

An Roujia¹, An Dianhua²

1. Dezhou College, Dezhou, Shandong 253023

2. Huadian International Project Management Co., Ltd. Jinan, Shandong 250000

Abstract : Series failures occurred, such as parallel connection ring damaged, copper wire fused, during the designs, manufacturings and installations of the introducing type 600MW Generators manufactured by Shanghai Generator Manufactory, because of the smaller diameter of the cooling water pipe return lines which have cooled the generator connection wires. Aim at the causation of such failures, the reconstruction of the cooling water pipe return lines were performed, and the control instruments and control valves were set up additionally. And so, the failure is avoided, the safety of units is ensured.

Keywords : 600MW Generator; parallel connection ring; failure; reconstruction

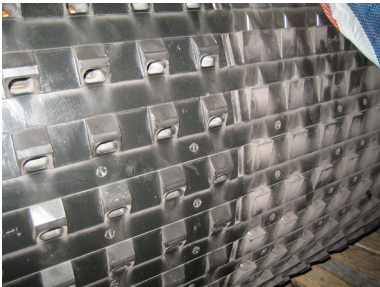
引言

某公司所属新建发电 A、B 公司的 600MW 等级汽轮发电机组的发电机在投产试运伊始就先后发生两起类似的发电机内部故障事件。2007 年 7 月 4 日, 发电 A 公司 #4 机组在 650MW 负荷运行时发生跳闸; 7 月 10 日, 试运期间的发电 B 公司 #2 机组在满负荷运行 36 小时后发生跳闸, 并损毁发电机。

一、故障概况

1. 发电 A 公司 #4 发电机为某汽轮发电机有限公司 (现更名为某发电机厂, 以下简称“某电”) 生产的 QFSN-670-2 型发电机, 2007 年 6 月 9 日正式投入商业运营。7 月 4 日 16: 20, 机组负荷 650MW, 发电机内冷水压力突然升高, 16: 26, 锅炉 MFT, 首出原因为“发电机故障”、“发电机匝间保护动作”, 故障时发电机进水^[1]。

2. 发电机抽出转子后发现, 发电机励端 1 点方向第 2 排 (从里往外数) W2 弓形引线熔断 400mm 左右, 发电机汽端损坏严重, 部分线棒出槽口拐角处铜线



>图1 转子污染示意图

断裂、电联接烧断, 转子污染严重 (如图 1)

3. 发电 B 公司 #2 发电机为“某电”生产的 QFSN-660-2 型发电机, 2007 年 4 月出厂。正在试运期间, 7 月 10 日 9: 02, 机组负荷 660MW, #7、8、9 瓦振动突然增加, 其中 #8 轴承 X 向振动由 90.69 微米突升到 339.8 微米, 达到定值跳机, 发电机逆功率保护信号同时发出, 其它发变组保护均未动作。事故追忆显示, 在振动增大的同时, 发电机负序电流从 1355.125A 突增到 2728.56A。就地检查发电机氢气干燥器排污管处有绝缘烧坏的异味^[2]。

4. 打开发电机励侧上端盖进行检查, 发现



>图2 并联环损坏示意图

励端 11 点方向第 2 排弓形引线（并联环）熔断 400mm 左右。转子抽出后，未发现发电机其它部位损坏。（如图 2）

二、故障原因分析

1. 发电机 W 相并联绕组中的 2W 绕组至中性点的弓形引线烧断是由于气（汽）堵造成水量大幅度减小，局部过热致使铜线烧熔。2W2 引线长度最长，当总体水流量偏小时，相应的水流量不足以冷却该引线产生的热量和带走引线顶部聚集的气体，产生局部气堵，进而造成引线冷却水流量减少和局部温度急剧升高，冷却水升温以后的汽化更加剧流量的减少，直至断水导致该引线熔断^[3,4]。

2. 发电机定子引线水路外接回水管道管径偏小、阻力偏大，导致发电机引线冷却水流量总体偏小，是引发两起事件的主要原因。由于制造厂对管径的标注不明确，提供的图纸中只将瓷套管出水孔连接法兰标注为 Dg32，对引线水路外接回水管道管径未做标注（Dg 为已废止的标准，现应用标准为 DN），而厂家也未对此管道尺寸做补充说明（图纸中其它部分均有说明）。施工单位对管径尺寸不清楚，不询问厂家，只盲目判断，造成安装的管道管径偏小。

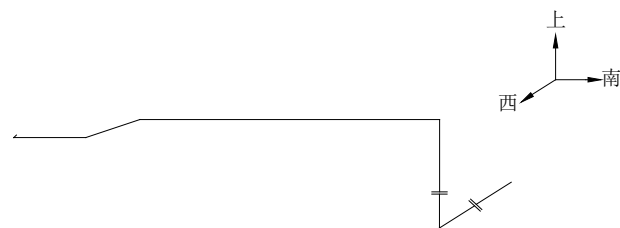
3. 另一方面，此类结构的发电机位于顶部位置的定子弓形引线较长，水流量分配不均，容易出现气堵^[5]。

三、防范措施

1. 针对发电机故障原因，对发电机主引线内冷水回水管道进行了检查，对发生事故的发电机及同型号发电机进行改造。根据各电厂不同情况，合理选择内冷水供回水管道的布置和走向，并改变不合理的管径，以减小流动阻力，增加冷却效果。

（1）发电 B 公司改造实例：

1）在改造前，对发电 B 公司 #1 发电机主引线内冷水回水管道进行了检查。检查发现，该管道全部采用 32×3 管道连接，并在离发电机主引线出口法兰约 400mm 处，为绕开墙壁上的固定支架，弯制约 150 度的挺伸（如图 3）。对照某汽轮发电机厂出具的改造方案，管道内径及弯头连接方式均不符合要求^{[6][7]}。



>图 3 改造前示意图

2）按照某汽轮发电机厂出具的方案，将所有管道更换为 $\phi 42 \times 3$ mm 不锈钢管，弯头为 $\phi 45 \times 3$ mm，弯曲半径大于 1.5 倍通径。由于管径变粗后，墙壁过近，墙壁上固定支架阻挡，为方便布置管道，管道的布置方式改为先向下约 400mm，再按原方式恢

复。对照原布置方式，去掉了挺伸，多增加了一个弯头（如图 4）。管道焊接全部采用氩弧焊，保持管道清洁无杂物。并在反冲洗回水门后加装堵板，以防止内冷水进水由此返回内冷水箱。并检查相关管路，立即更换管径不符合要求的引线水路外接回水管，回水管的安装尽量减少直角弯，减少回水阻力。



>图 4 改造后示意图

2. 同时，对照制造厂定子内冷水系统说明书、图纸，以及设计院图纸，对水系统进行全面核查，重点检查管道管径和弯曲半径是否符合图纸要求，检查临时冲洗管道是否已全部拆除，并已正确恢复正常系统连接，反冲洗阀门是否严密。

3. 增加对引线水流总量的监测手段，以便于发现流量偏小时及时处理，以确保定冷水流量。某电机厂原设计要求定冷水压力保持 3~4 公斤（0.3~0.4MPa），经现场试验，在压力为 4 公斤（0.4MPa）时流量仅 80 立方，不能满足现场要求。某电机厂确定在满足定冷水流量 116~120 立方的前提下，对压力不做要求^[8]。

4. 在发电机组调试及机组启动阶段，将反冲洗 A 组阀门用堵板堵死，避免水的分流返回水箱的问题发生。

5. 增设定子冷却水系统中的气表，按某汽轮发电机有限公司的要求将气表安装到位，增设密封油空侧和氢侧温度两套气动调节阀。开机前对内冷水系统彻底排气，以减小定冷水流动气阻。

6. 加强运行时的监控，密切注意发电机线圈层间温度、进出水温度和流量、的变化，并及时采取降负荷等措施。

7. 严格监视电机电压、电流、负序电流的变化情况，并对发电机冷却水压力、氢气压力加强监视和调整，保证在其正常范围内运行。

8. 加强对发电机冷却水水质、氢气纯度的化验，发现问题及时调整处理。

四、防范措施的应用及效果

以上措施从 2007 年 8 月开始在发电 A、B 公司相继实施后，达到了预期的预防效果，再未发生类似的发电机烧损事故，杜绝了事故隐患。某公司系统内的安徽、宁夏两地同类型机组采取上述措施后，都取得了很好的效果。

五、防止水路堵塞的反事故措施

1. 定子绕组端部引线水路通流截面应达到设计值，引出线外部水路的安装应严格按照厂家的图纸和要求进行，保证（总）水管焊接位置有效截面积满足设计要求。

2. 水内冷转子进水支座安装时应严格按照制造厂的安装图纸和技术规范进行, 保证安装精度, 防止盘根等部位磨损造成转子水路堵塞^[9]。

3. 定子、转子冷却系统应采用耐蚀性能不低于 S30408 不锈钢材质的水泵、管道和阀门, 防止锈蚀产物进入内冷水系统。

4. 水内冷系统中管道、阀门的橡胶密封圈应全部使用聚四氟乙烯垫圈, 并应定期更换。检修过程中涉及水回路再密封时, 应严格按照制造厂施工工艺要求开展, 禁止随意更改密封措施。

5. 绕组线棒在制造、安装、检修过程中, 若放置时间较长, 应将线棒内的水放净并及时吹干, 防止空心导线内表面产生氧化腐蚀。

6. 定期对定子线棒进行反冲洗, 反冲洗回路不锈钢滤网应达到 200 目 (75 μm), 并定期检查和清洗滤网。机组运行期间发电机水路反冲洗门应关闭严密并上锁。反冲洗时应按照相关标准要求, 冲洗直到排水清澈、无可见杂质, 进、出水的 pH 值、电导率基本一致且达到要求时终止。

7. 交接及大修时应进行水系统流通性检查, 分支路进行流量试验或进行热水流试验。

8. 内部水回路充水时应彻底排气, 防止由于环形引线“气

堵”导致的过热烧损。

9. 水内冷机组的内冷水质应按照相关标准进行优化控制, 长期不能达标的发电机应选择适用的内冷水处理方法进行设备改造。机组运行过程中, 应在线连续测量内冷水的电导率和 pH 值, 定期测定含铜量、溶氧量等参数^[10]。

10. 严格按规范安装温度测点, 做好防止感应电影响温度测量的措施, 防止温度跳变、显示误差。

11. 对于内冷水系统存在漏氢隐患的机组, 应加强出水温度的监测, 防止由于气堵造成线棒过热。

12. 运行中严格保持水内冷转子进水支座盘根冷却水压力低于转子内冷水进水压力, 以防盘根材料破损物进入转子分水盒内。

六、结束语

某公司对于所属电厂同类型机组未发生该类事故的机组制定了严格的运行监控及应急措施, 安排停机改造时间, 对磁套管出水管道进行更换改造, 从根本上杜绝了事故发生的隐患, 保证了机组安全和企业财产安全, 为该型发电机的设计和制造优化做出了探索和实践, 取得了良好的技术效益和经济效益。

参考文献

- [1] 张乐川, 高永芬, 李临临. 600MW 等级超超临界汽轮发电机组型式探究 [J]. 山东电力技术, 2007, (02): 18–21.
- [2] 胡琨, 马雪松. 两种 660MW 超超临界机组机型比较 [J]. 电力勘测设计, 2010, (02): 40–43.
- [3] 王鹏. 发电厂 660MW 超超临界机组节能技术研究 [J]. 科技风, 2022, (13): 88–90.
- [4] 董海涛, 孙朋伟. 1000MW 超超临界汽轮发电机转子线圈制造技术研究 [J]. 大电机技术, 2011, (02): 17–19.
- [5] 曹文, 关达生. 1000MW 超超临界汽轮发电机设计理念 [J]. 上海大中型电机, 2009, (03): 12–13.
- [6] 杨永. 汽轮发电机组安装调试技术要点研究 [J]. 科技与企业, 2014, (21): 196.
- [7] 梁洪涛, 谢玉增, 付长虹, 等. 1000MW 汽轮发电机设计改进 [J]. 大电机技术, 2013, (04): 24–25+60.
- [8] 李录强, 马良, 李海霞. 超超临界汽轮发电机试验站励磁系统设计 [J]. 防爆电机, 2014, 49(02): 33–35.
- [9] 田勇, 丁世勇. 关于大中型汽轮发电机自并励静止励磁系统问题的探讨 [J]. 电力系统保护与控制, 2008, (19): 61–62+66.
- [10] 张泽, 王涛, 王浩, 等. 某 1000 MW 汽轮发电机组轴系振动故障分析及处理 [J]. 发电设备, 2023, 37(06): 399–402+408.