

某电厂660MW超临界发电机组定冷水流量异常分析及处理

韩世雄

国能浙江北仑第一发电有限公司 浙江 宁波 315000

[摘要]针对某发电厂3号机组发电机定子冷却水流量低和压力升高的现象,通过分析,判断为定子线棒腐蚀、进而堵塞导致。通过化学清洗,最终成功解决了3号机定子线棒堵塞的问题。为国内外发电厂发电机定子冷却系统化学清洗提供了实例。

[关键词]定冷水; 流量低; 腐蚀; 化学清洗

[DOI] 10.12252/j.issn.2096-6288.2021.10.467

1. 发电机本体结构简介

某发电厂660MW发电机由日本东芝公司(TOSHIBA)制造。发电机定子共有42槽,每槽嵌有上、下二组线圈,上面一组线圈由24只空心铜棒和48只实心铜棒组成,下面一组线圈由20只空心铜棒和40只实心铜棒组成。发电机各部件在运行中,为了便于监视各点温升情况,在机内埋有监视测点,其中在定子线圈每槽的上层线棒和下层线棒之间的绝缘垫条中埋有电阻型测温元件(42槽共埋42个线圈温度测点),在定子线圈的汽机侧的每槽线棒端部绝缘引水管与汇流管之间均埋有线圈出水温度测点42个。^[1]

2. 发电机定冷水系统概述

发电机定子绕组是由除盐水来冷却的,除盐冷却水来自化学补给水,经过去离子装置进行离子交换,然后进入定子冷却水箱。冷却水由定子冷却水泵注入空心定子导线,从泵出口的定子冷却水,经过定子水冷器、温度控制阀、主滤网、压力控制阀和定子线圈,最后返回定子冷却水箱。冷却水温度用定子水冷器冷却,其冷却水来自闭式冷却水系统。在冷却器出口设有两只过滤器,用以去除冷却水中的固体杂质。定冷水箱有充氮保护,系统运行时,水箱上部充以氮气,使可能漏至水冷系统中的氢气与氮气混合并排至大气,同时也能防止空气进入冷却水,以保持水质^[2]。正常运行时定冷水系统主要参数如下^[3]:

1. 定子冷却水流量: 1200L/min (实际1130L/min)
2. 发电机进口定冷水温度(冷却器出口温度): 40~46℃ (实际45℃)
3. 发电机进口定冷水压力: $\geq 216\text{kPa}$ (实际270kPa)
4. 冷却水导电率: $< 0.5\mu\text{s/cm}$ (实际 $< 0.1\mu\text{s/cm}$)
5. 定子冷却水回水温度: $< 76^\circ\text{C}$

3. 发电机定冷水系统异常分析

二期发电机组自投产以来,机组检修前均会对发电机线棒进行正反冲洗的操作,机组启动后运行情况一直正常。本次3号机组因扩大型C修于2021年09月05日停运,在进行该操作后,发电机进入检修状态。

三号机组历经70天检修结束后,2021年11月14日定冷水系统投运,发电机定冷水进口压力275kPa,流量1088L/min,压力调节阀开度15%。之后几天定冷水进口压力呈缓慢上升趋势,流量则呈相反的下降趋势。半个月后发现发电机定冷水进口压力突升至290kPa,进口流量下降至900L/min,压力调节阀自动下关15%~9%。当时机组负荷600MW状态下,发电机各线棒温度、出水温度未发现明显异常。随后,通过手动开大定冷水进口压力调节阀开度至15%,定冷水流量940L/min,定冷水进口压力达302kPa。

3.1 异常排查

在随后的一周内,运行及检修人员对发电机定冷水系统进行了一系列的排查工作^{[4][5]}:

- 1) 对发电机定冷水入口压力变送器、流量变送器进行校验,均正常。
- 2) 对定冷水泵、滤网进行切换检查,未发现异常。
- 3) 对定子线棒冷却水进口阀、出口阀、回水隔离总阀、气平衡阀进行拍片,结果显示阀门状态正常;
- 4) 拆卸充氮管道靠近定冷水箱的法兰后确认水箱压力正常,不存在压力高导致定冷水回水不畅的情况;同时对处于负压的管道法兰处包裹了塑料薄膜以便排除系统中是否进入空气;
- 5) 对二期三台机组的定冷水水质进行取样化验对比,结果无明显差异。
- 6) 在发电机定子冷却水进口增装一压力表(6.1米层),核对就地数值与DCS显示一致。

3.2 发电机在线反冲洗

经过细致的方式调整及排查,认为发电机定冷水系统堵塞的可能性极大,于是经各方商定,决定进行发电机在线反冲洗,以确定具体堵塞位置^[6],准备工作完成后机组减负荷至135MW,开始在线反冲洗操作:

安排四人同时对定子冷却水进水阀GT-2297和出水阀GT-2232,反冲洗进水阀GT-2234和出水阀GT-2233进行操作;反冲洗3小时后,采用15分钟内开关定冷水压力调节阀10%~22%~0%~20%,通过变流量以增强冲洗效果;就地轮流开启发电机两侧定冷水汇流管放水阀进行排污;最终观察冲洗效果不明显,就地检查无异物,CRT冲洗前后相关参数无明显变化,恢复系统原运行方式。

3.3 反冲洗注意事项:

- 1) 定冷水在线反冲洗切换时发电机会短时的断水情况,故在操作前,仪控强制发电机断水保护。^[3]根据机组规程要求:负荷减至低于156MW时如当时发电机定子冷却水导电度 $< 0.5\mu\text{s/cm}$,机组可继续运行1小时。本次反冲洗之前将负荷减至135MW,尽可能减少发电机电线棒发热量。
- 2) 定冷水反冲洗开始后,由于反冲洗操作的4个阀门在发电机进出水温度测点就地位置区间内,故发电机进出水温度可以按原进出水温度读取,控制出口水温不大于75℃。
- 3) 发电机内部各个线棒定冷水温度测点均位于正常流向的出水端,故反冲洗开始后,线棒水温直接变成定冷水进水温度,不再有温升,且不再具有监视参考作用。
- 4) 正反冲洗过程中,选取三个代表性线棒温度测点进行比对(定冷水进口温度48.035℃),变化情况差异不大,线棒温度测点安装位置在发电机中段位置,反冲洗时依然可作为温升的监视依据。

5) 定冷水反冲洗期间,发电机进口定冷水压力无法监视,只能根据定冷水压力调节阀后母管压力大致估算。保持氢/水差压大于50kPa。注意控制定冷水流量900L/min—1100L/min,母管压力340kPa—550kPa。

表 1 不同机组相同负荷下定冷水压差对比

负荷MW	3号机定冷水压差kpa	4号机定冷水压差kpa	5号机定冷水压差kpa
500	240	110	112
450	238	108	107
400	237	108	108

3.4对比不同机组定冷水压差

虽然本次在线反冲洗无效，但在正、反冲洗切换过程中，定子冷却水流量短时超过1500L/min，也表明了系统除定子线棒外的大管道不存在堵塞现象。之后安排人员在定子线棒汇流管进、回水底部放水阀处加装压力表进行测试。

经过不同机组定冷水压差的对比，基本上可以判断3号机发电机定子线棒普遍存在堵塞，只有有效消除发电机定冷水系统堵塞，才能保障发电机安全、稳定、长周期运行，实现机组满发超发。种种现象及数据表明三号发电机定子线棒进、回水汇流管间存在堵塞现象，为接下来进行定冷水系统化学清洗提供了依据。

4. 定冷水系统化学清洗

4.1. 清洗范围

本次清洗范围包括三号机组定冷水系统定子线圈所有空芯导线，定冷水箱，发电机进水、回水管道（包括过滤器），定冷水母管压力、发电机进口定冷水压力、发电机进/出口定冷水温度测点在线运行。（不包括：冷却器，高精度导电度表，定冷水压力、温度调节阀，定冷水箱水位计）

4.2清洗工艺循环回路（详见下图）

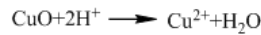
清洗循环流程为：定冷水箱→定冷水泵→定子水冷器、温度调节阀临时旁路→冷却水过滤器→压力调节阀旁路阀→定子线棒→定冷水箱。

补水流程为：除盐水补水→定冷水补水主管疏水阀→临时补水管→定冷水箱水封管法兰→定冷水箱

加药流程为：溶药箱→加药泵→定冷水箱水封管法兰→定冷水箱

4.3化学清洗的主要机理

酸洗的机理如下：



定子线棒发生腐蚀所产生的铜垢主要为铜的氧化物，用酸进行冲洗可以有效的溶解对应的氧化物，溶解在水中 Cu^{2+} 随水流被带出，从而达到有效清洗的目的^[7]。

4.3清洗方法

本次化学清洗采用复合酸DH-96化学清洗，氨洗除镀铜的清洗工艺，主要清洗流程为：化学清洗前水冲洗→复合酸DH-96化学清洗→酸液排放→化学清洗后水冲洗→氨洗除铜（视现场检查情况确定是否开展此步骤）→清洗后水冲洗（视现场检查情况确定是否开展此步骤）。

4.4清洗过程

三号机组申请停运，停运后对定冷水系统进行正向变量水冲洗，反复两次。定冷水泵切换后，再进行定冷水反冲洗，反冲洗结束，对三个定冷水滤网进行检查，干净无异物。

12月10日19：30完成发电机定子冷却水系统酸洗前临时管路安装及检查并投运；

19：50配药完成开始进行正向化学清洗；

19：55定冷水进口压力快速下降275kPa↘198kPa；进口流量同步上升645L/M↗760L/M；

21：25 开始进行反向清洗；

22：25 清洗人员告知化学清洗结束，停运定冷水系统，并开启系统所有放水阀进行化学清洗原液排放回收；

化学清洗原液排空后，进行发电机的正、反冲洗，经

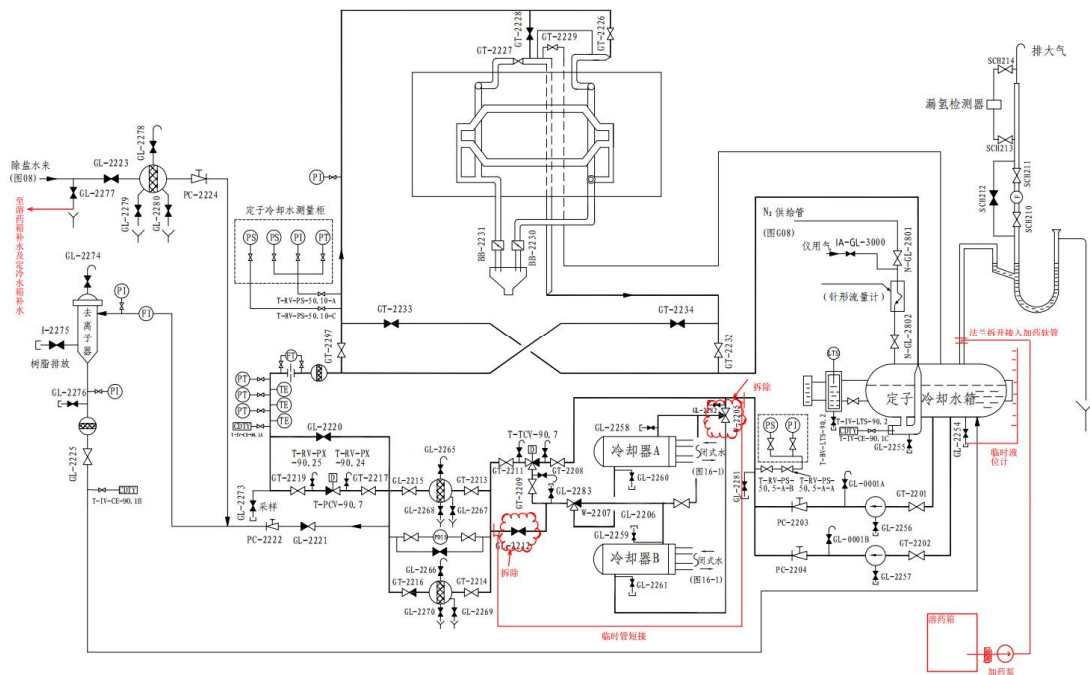


图 1 为设备安装清理管路

(下转第780页)

载体的校企深度合作关系。其中，成果转化问题是深化校企合作的一个关键性节点。校企双方必须着眼于市场需求和企业的发展方向，来选择适当的研发项目，合作开发新产品、新技术，实现校企深度融合的良性发展态势。

此外，要鼓励教师将参加企业项目研发过程中所获得的实践技能的提升和学术基础的巩固应用到教学中，把科研资源转化为优质教学资源。让教学内容更加贴近实际工作岗位，这对于提升教学质量、实现人才培养与岗位零距离意义重大。在具体的实践操作上，要鼓励和支持学生在学习过程中积极参加教师的科研项目。为学生提供参加产业相关科研活动和实践项目的机会，促进学生实践能力的提升。

参考文献

[1] 国务院. 关于印发《国家职业教育改革实施方案》的通知[Z]. 国发[2019]4号, 2019-02-13.

[2] 刘亚西. 高水平高职学校社会服务能力提升的实践逻辑[J]. 中国职业技术教育, 2019(30): 10-13, 28.

[3] 曹明. “双高计划”背景下高职院校打造技术技能创新服务平台的策略探讨[J]. 开封大学学报, 2021(3): P41-44;

[4] 独家! 10问答权威解读“双高计划”, 看职业教育如何“下好一盘大棋”[EB/OL]. (2019-04-09).

[5] 张向辉, 刘建国. 基于“优势互补、资源共享、共同发展”的对俄教育实践研究[J]. 对外经贸, 2020(10): 153-157.

[6] 张向辉, 刘丽. “双高”建设视域下打造技术技能创新服务平台实践研究[J]. 对外经贸, 2021(9): P133-136;

[7] 匡瑛. “双高计划”背景下高职高等性意涵及其实现[J]. 高等工程教育研究, 2020(1): 28.

[8] 杨理连. “双高计划”建设下高职院校技术技能创新服务能力研究[J]. 职业技术教育, 2020(4): 15.

[9] 冯新广. 努力建好技术技能创新服务平台[N]. 中国教育报, 2019-06-11.

基金项目: 本文系黑龙江职业学院(黑龙江省经济管理干部学院)校级课题《“双高计划”视域下技能创新服务平台建设的研究与实践》(课题编号: YJ2020076)的研究成果。

作者简介:

朱晓丹(1972.5—), 女, 哈尔滨人, 研究员, 硕士, 研究方向: 项目管理、高职教育研究。

付云超(1980.8—), 男, 黑龙江双城人, 副教授, 硕士, 研究方向: 高职教育研究。

(上接第710页)

过六次正反冲洗后, 三号机定冷水系统恢复正常运行方式, 定冷水进口压力270kPa, 流量1160L/min, 压力调节阀开度18%。

4.5 对比清洗前后定冷水流量

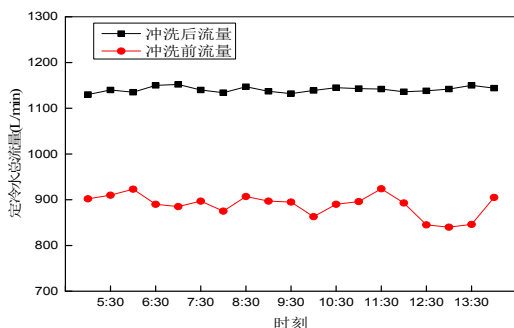


图2 为化学清洗前后定冷水流量对比

如图2所示, 在化学清洗前后定冷水流量差异明显, 在冲洗前定冷水流量低且波动较大, 冲洗后定冷水流量回归正常值且平缓, 化学清洗达预期目的。

5. 结论

本次三号发电机定冷水系统化学清洗过程顺利, 从清洗后定冷水压力和流量的变化来看, 清洗效果明显, 水冲洗后

检查未发现镀铜现象, 所以未执行氨洗除铜步骤。通过本次化学清洗, 除去了定子线圈空芯铜导线内表面的结垢和腐蚀沉积产物, 清洗氧化亚铜垢量约2.96kg, 恢复了空芯导线通水能力, 提高了导线换热效率及线棒间流量的均匀性, 一定程度上降低定子线棒的运行温度和温差, 保障了三号发电机的运行安全。

纵观整个过程, 本次三号发电机进行的机组运行时在线反冲洗工作, 及史上首次进行发电机线棒的化学清洗, 这两项工作也为我们今后碰到类似故障时, 在具体操作、过程排除、相应系统知识的延伸拓展上积累了宝贵的经验。

参考文献

[1] 东芝发电机手册

[2] 《二期机组系统及设备说明书》. 集控分册

[3] 《二期机组集控运行规程》

[4] 刘海青. 发电机定子冷却水出入口压差异常原因及处理[J]. 东北电力技术, 2010, 6: 22-24.

[5] 王涌, 刘斌, 何蓉, 等. 水内冷发电机定子线棒堵塞的处理方法[J]. 电力安全技术, 2009, 3: 65-67.

[6] 纪强, 石宗国, 石立斌. 600 MW发电机定子线棒温度高的原因分析[J]. 华电技术, 2010(3).

[7] 刘永兵, 韩广威, 龙国军, 等. 发电机定子冷却水系统化学清洗技术[J]. 发电机技术论坛, 2012, 8: 104-106.