

1000MW超超临界机组定子冷却水参数异常波动原因分析

王永正

江西大唐国际抚州发电有限责任公司 江西 抚州 344128

摘 要：某电厂1000MW超超临界机组检修后，首次启动发现定冷水压力升高，在相同发电机进水压力下，定子冷却水流量较修前下降，发电机引出线冷却水流量较修前升高，定冷水箱液位波动增大，机组启动两个月后发现发电机定冷水含铜量有升高趋势，通过分析、排查找到引起异常的原因，提出针对性的解决方案消除定冷水液位波动，降低了发电机的铜腐蚀，保证了设备的安全运行，为同类型电厂定子冷却水出现类似问题提供解决思路借鉴。

关键词：某电厂定冷水；压力；流量；水位；波动；pH值；电导；含铜量

引言：随新型电力市场的发展，新能源装机容量逐年升高，火电机组的压舱石作用更为突出，要求火电机组升的快、调的下，调峰深度逐步加深，对发电机水电接头等端部部件带来极大损伤，对于大容量采用水-氢-氢冷却方式的发电机，一旦发电机进水，将对电网带来巨大的冲击、对发电企业带来巨大的损失，此时对发电机的进水压力、水氢差压的监视，发电机定子冷却水系统的安全运行就晓得尤为重要，本课题的研究对发电机定子冷却水系统典型故障排查具有深远的指导意义，值得借鉴。

1 某 1000MW 超超临界汽轮发电机组概况介绍

某厂1000MW超超临界机组汽轮机汽轮机为东方汽轮机厂生产的超超临界N-1000-26.25/600/600汽轮机^[1]；发电机为东方电机有限责任公司制造的QFSN-1000-2-27型三相同步汽轮发电机，冷却方式为水氢氢^[1]；正常运行定冷水进水压力在0.26Mpa~0.31Mpa，额定流量为121t/h；定冷水系统由东方汽轮机厂整体供货，主要由两台100%容量的定冷水泵、两台定冷水冷却器、两个过滤器、一个定冷水箱、一台离子交换器组成，系统主、备补水来源于除盐水、凝结水；为改善定冷水水质，将定冷水总水量的5~10%的水经过离子交换器进行处理^[2]。

2 某 1000MW 超超临界机组定冷水系统异常情况介绍

2.1 定冷水压力、流量异常前后对比

检修前后，在负荷、发电机定子电流、定冷水量、定冷水温相同的情况下，统计分析发现，满足定冷水额定流量下，发电机定子进水压力需要高出异常前0.06Mpa，在此压力下发电机引出线冷却水流量较异常前高6.7t/h；如果将发电机进水压力调整至0.36Mpa，定冷水三个流量测点显示分别为102.91t/h、103.42t/h、104.23t/h，发电机引出线冷却水流量为28.07t/h，定冷水流量较异常前降低16.91t/h，发电机引出线冷却水流量较异常前升

高3.27t/h，具体定冷水系统异常前后数据对比如表1。

表1 定冷水系统异常前后数据对比表

测点名称	单位	异常前数值	异常后数据
负荷控制三取中	MW	998.3	998.2
发电机定子线圈进水压力	MPa	0.36	0.42
发电机定子线圈冷却水流量	t/h	120.6	120.4
发电机引出线冷却水流量	t/h	24.8	31.5
发电机定子线圈冷却水入口母管温度	DEG C	45.58	45.47
发电机定子线圈出水温度	DEG C	57.86	53.52
定冷水PH值	PH	8.38	8.21
定冷水比电导率	us/cm	0.73	0.86
发电机A定子冷却水泵电流	A	100.25	100.75
发电机定子电流	A	21042.1	20985.3

2.2 检修后定冷水含铜量变化趋势

机组检修后定冷水含铜量持续升高，定冷水pH值缓慢下降，需投入定冷水加碱装置来控制定冷水pH值在8~8.5之间，检修前通过投入离子交换器连续运行就可以维持定冷水pH值在8.3左右，机组检修后定冷水含铜量变化趋势。

2.3 定冷水水箱液位异常前后对比

对比检修前、后及临机定冷水水箱液位发现，检修后本机组定冷水水箱液位波动幅度大幅增加，就地对比临机定冷水水箱液位波动量明显偏大，最大波动达40mm，正常波动小于5mm。

2.4 定冷水防虹吸管温度对比

检修前定冷水进水温度在45℃，回水温度显示52℃，定冷水防虹吸温度37.5℃，检修后定冷水防虹吸管温度45.5℃，较检修前升高8℃。

3 该 1000MW 超超临界机组定冷水异常原因分析

3.1 排查热工测点与阀门状态

针对该机组检修后定冷水进水压力升高，流量降

低,首先联系热控人员校验压力、流量变送器,排除热工测点异常导致的测量误差,通过就地压力表可以佐证定冷水进水压力、流量测点的准确性;定冷水进水压力、流量测点就地位于定冷水进水手动门之前,定冷水进水滤网之后,排除定冷水流量下降因滤网堵塞引

起;检查定冷水进、回水手动门均在全开位,反冲洗进、回水手动门在全关位,定冷水电加热进、回水手动门在全关位,排除定冷水系统阀门位置异常导致定冷水进水压力、流量异常。定冷水系统如图1:

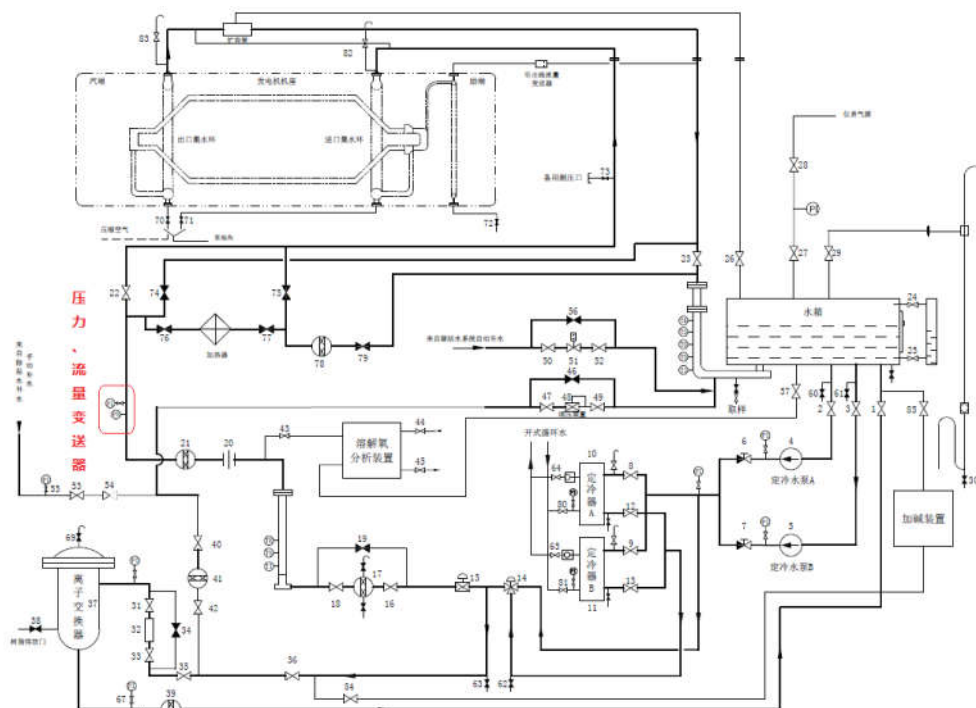


图1 定冷水系统

3.2 针对该机组检修后定子冷却水含铜量变化趋势原因分析:

①定冷水系统漏入空气,引起pH值下降,定冷水水质被污染。

②定冷水离子交换器树脂失效或配比不合适。

针对原因①,该厂采用对定冷泵入口法兰、放水管,与水箱相连法兰、发电机定冷水回水管道法兰、三通焊缝、回水管排空管道及与回水管道相连法兰,定冷水进、回集水环底部放水管等部位进行包裹加堵板等,定冷水系统异常未的到明显改善,随后对以上部位进行氦气检漏也未发现明显漏点,排除定冷水系统负压区域因法兰、焊缝、排空、放水管密封不严导致发电机定冷水水质恶化。

针对原因②,该厂将定冷水离子交换器树脂全部取出,对树脂进行复苏、再生,调整阴阳离子配比。

3.3 定冷水箱液位波动导致定冷水箱发生呼吸效应原因分析:

对比分析发现,该机组检修后定冷水水箱液位波动高

达40mm,是修前液位波动的8倍(如2.3异常现象附图),就地检查发现定冷水箱液位波动较大并伴有大量气泡,推测定子冷却水水质恶化是因为定冷水箱液位大幅波动形成潮汐现象产生呼吸效应,导致空气通过定冷水箱排空管进行了气体交换,进而引起定冷水水质恶化。

3.4 排查发电机定冷水防虹吸管道工作状态

根上分析,推测引起定冷水箱液位大幅波动、并伴有气泡至可能是防虹吸管道大量吸汽,被发电机定冷水回水卷吸导致。定冷水回水温度一般在52~55℃之间,如果防虹吸管道大量吸汽,热交换加强,必然引起防虹吸管道温度升高,测量发现检修后定冷水防虹吸管壁温度45℃,修前防虹吸管道温度仅37℃,由此验证了推测的正确性。

尝试关闭定冷水防虹吸手动门后,定冷水进水压力0.43Mpa,下降至0.37Mpa,定冷水流量由121t/h升高至128t/h,定冷水水箱液位由595mm下降至469mm,水箱液位波动量有40mm下降至6mm,水箱内气泡明显减少,定冷水pH值、电导下降幅度明显减小,据此基本可以确定定冷水系统指标异常为防虹吸管道工作异常引起。

4 定冷水防虹吸管道工作异常原因分析

正常运行中，定冷水回水扩容器处压力P一般为-3~-5KPa之间，处于微负压状态，允许定冷水防虹吸管道微量空气流通，保持定冷水水箱、回水管道扩容器处处于等压点，一旦发电机断水通过防虹吸管道快速破坏发电机定冷水回水回落产生的虹吸效果，起到保护发电机的作用。

4.1 定冷水回水管扩容器处负压的形成原理

定冷水供水管径为DN150，回水管径为DN200，定冷水回水从标高为17m的回水管道自由下落至定冷水水箱，定冷水回水在定冷水水箱与大气相连，水箱内压力等于大气压，以额定流量121t/h的定冷水流量不足以充满整个回水管道，在定冷水回水管垂直段必然形成一段水

柱，这段水柱就是形成真空的根本原因^[1]。水柱的高度决定了定冷水回水管扩容器处负压的大小，当水柱高度为H0时，扩容器处压力P为0Mpa，当水柱高度小于H0时扩容器处绝压将小于大气压，如H1、H2，若H1=12m，P≈-0.05Mpa，若H2=7m，P≈-0.1Mpa。

4.2 定冷水回水管扩容器负压升高的原因

由定冷水回水管扩容器处负压形成的原因分析可知，定冷水回水管扩容器处负压升高是因为定冷水回水管水柱高度降低导致，引起水柱高度降低的原因为定冷水回水量减小；检修前后发电机相同负荷、相同定子电流下发电机定子铁心温度等参数基本一致（具体数据如表2），说明导致回水流量减小节流点在定冷水回水侧。

表2 发电机铁芯、定冷水温度统计表

名称	单位	修前	修后	修前	修后	修前	修后
功率	MW	500.3	500	702.4	697.2	996.7	997.2
定冷水进水压力	MPa	0.35	0.37	0.35	0.37	0.35	0.43
定冷水流量	t/h	120.8	126	121.1	125.2	120.2	123.4
定冷水进水温度	℃	45.55	45.01	45.43	45.85	45.53	44.65
定冷水回水温度	℃	48.57	49.53	51.56	53.02	57.91	58.13
定子线圈温度19	℃	50.3	50.3	53.7	53.9	59.6	59.6
定子线圈温度23	℃	51.3	51.3	54.4	54.7	59.7	59.7
定子冷却水出水温度	℃	47.7	48.7	51.9	53	60.5	61
发电机定子电流	A	10506.3	10513.7	14824.1	14666.1	20928.4	21007.4

根据“定冷水系统异常前后数据对比表”发现发电机引出线冷却水流量升高6.7t/h。

综合分析可知，造成发电机定子冷却水回水流量低的原因可能是①、②、③号法兰产生了节流引起的，结合机组检修项目发现，最有可能产生节流的是发电机定冷水水压试验结束拆除发电机定冷水回水管堵头后安装法兰垫片开孔太小引起（①号法兰）。

5 定冷水防虹吸管道工作异常处理

综上定冷水系统工作异常原因分析，解决发电机定冷水防虹吸管道工作异常的根本方法就是降低发电机定子冷却水回水管扩容器处的负压，降低发电机防虹吸管道气体的流通量，进而减少发电机定冷水回水管对防虹吸管道气体的卷吸量。具体实施如下：

- 1) 在保证发电机定冷水进水压力不超允许值（0.31MPa），氢水压差大于45Kpa的前提下，将发电机定子冷却水流量由额定流量121t/h提高至124t/h。
 - 2) 通过节流发电机定子冷却水回水手动门，使发电机定冷水回水管液位由H2升高至H1,但不超过H0。
- 实施以上措施后发电机定冷水水箱液位波动量、发电机定子冷却水pH值，电导趋于平稳，就地检查发电机

定子冷却水水箱气泡明显减小，发电机定子冷却水箱排空管道U型管液位恢复正常，发电机定子冷却水系统工作异常得到解决。

6 结束语

在电力系统内，也曾出现过发电机定冷水系统工作异常，导致发电机定冷水pH值下降、电导升高，主要原因为定冷水回水管扩容器产生裂纹、定冷水负压管道漏空气、离子交换器树脂配比不合适等，严重威胁发电机及机组的安全运行；本位以检修后机组定冷水系统出现异常机械能分析，究其原因为法兰垫片使用不合适，异常原因比较隐蔽、较难发现。建议机组检修时法兰垫片使用一体成型的成品垫片，为国内机组检修后定冷水系统异常分析提供了思路借鉴。

参考文献

[1]江西大唐国际抚州发电公司集控主机规程Q/CDT-FZPC1010001-2024[Z]:4-5

[2]东方电气集团A939 汽轮发电机氢油系统电厂运行维护注意事项[Z]: 14-16

[3]汽轮发电机运行导则[Z]:13-16