

EPR 机组低功率下蒸汽发生器水位控制要点

Key Points of Steam Generator Water Level Control under Low Power of EPR Unit

刘云

Yun Liu

台山核电合营有限公司 中国·广东 台山 529200

TNPJVC, Taishan, Guangdong, 529200, China

摘要: 三代核电机组的自动化程度高, 逻辑设计较为复杂, 当某些特定工况或设备出现异常时, 水位控制系统容易出现异常, 需要手动干预, 论文从 EPR 机组蒸汽发生器水位控制逻辑原理入手, 探讨 EPR 机组低功率下蒸汽发生器水位控制要点并给出控制建议。

Abstract: The third-generation nuclear power station has a high degree of automation, the logic design is more complex, when some specific conditions or equipment abnormal, the water level control system is prone to abnormal, need manual intervention, this paper discusses the EPR unit steam generator level control points under low power and gives control recommendations based on the EPR unit steam generator level control logic principle.

关键词: 蒸汽发生器; 低功率水位控制; 汽水压差

Keywords: steam generator; low power water level control; steam-water pressure difference

DOI: 10.12346/etr.v4i2.5473

1 引言

在低功率下, 由于机组上存在的一些缺陷导致 SG 水位较难控制。一方面, 低功率时很小的含汽率变化会引起很大的空泡份额变化, 这是由热工水力特性决定的; 另一方面, EPR 蒸汽发生器水位调节系统在低功率时参数的设置和设计原理以及设备本身的缺陷问题和特点, 导致控制容易出现异常, 如 GCT 阀杆断裂、GCT 反馈杆脱开、并网瞬间映像负荷的阶跃上升、APA 泵低流量下振动高、APA 泵再循环阀 /ARE 大阀 / 汽水压差控制之间存在耦合现象、汽水压差过低时对 ARE 小阀管线流量产生影响、大小阀切换点附近阀门状态配置不正确会产生跟踪信号等。论文着重分析汽水压差异常时对 SG 水位控制产生的影响及其相应的控制建议。

2 问题分析

2.1 SG 水位控制中的汽水压差修正环节

EPR 机组蒸汽发生器主给水系统根据功率水平的不同, ARE 系统用极小流量调节阀 VLLCV (1120VL-)、小流量调节阀 LLCV (1220VL-) 或大流量调节阀 FLCV (1320VL-) 将 SG 水位维持在正常运行范围^[1]。

为保证 ARE (蒸汽发生器主给水系统) 大小阀的调节准确性, 在流量调节器的输出值基础上, 引入了压差修正环节, 经过压差修正后产生阀门 CV 值, 再得到阀门开度。

汽水压差修正环节公式如下^[2]:

$$Q_{cv} = \frac{Q_{\text{流量调节器输出}}}{\sqrt{\frac{\Delta P - 1.37 - \text{映像负荷}^2 \times 153.4 \times 10^{-7}}{3.6}}}$$

在低功率情况下, 假设汽水压差 ΔP 为最小值 5.3bar, 映像负荷为 100kg/s, 则算出的修正系数为: 1.024; 在一个 GCT 阀杆故障的情况下, 以 GCT1331VV 为例, 映像负荷由 100kg/s 增加到 150kg/s, 则算出的修正系数约为 1。可见, 由 GCT 一个阀门故障导致映像负荷变化进而导致汽水压差修正系数的变化并不大。

由于避免低功率下 APA 泵再循环阀 /ARE 大阀 / 汽水压差控制之间的耦合而把运行的 APA 泵转速置于手动控制时, 参与 ARE 水位调节的汽水压差修正中的 ΔP 就由汽水压差整定值切换至汽水压差实测值。这种情况下, 如果汽水压差实测值严重偏离整定值时, 就会极大影响需求给水流量。还是以映像负荷 100kg/s 为例, 如果汽水压差实测值降至

【作者简介】刘云 (1982-), 男, 中国四川宜宾人, 本科, 工程师, 从事核电站运行技术方面的研究。

3bar, 此时算出来的压差修正转换系数约为 0.64, 因此对大阀开度产生很大的影响, 会导致大阀开度过大。

因此在低功率运行时, 如果把运行的 APA 泵转速置于手动状态, 操纵员需密切监视汽水压差的数值, 确保维持在整定值附近。

2.2 汽水压差过低带来的影响

ARE 给水流量实测值计算如下^[1]: 正常情况下, 当单列给水总流量 > 110kg/s 时, 给水流量测量值等于单列总流量; 当单列总流量 < 110kg/s 时, 给水流量测量值等于小阀管线测量的流量, 以保证在低负荷时测量的准确性(见图 1)。

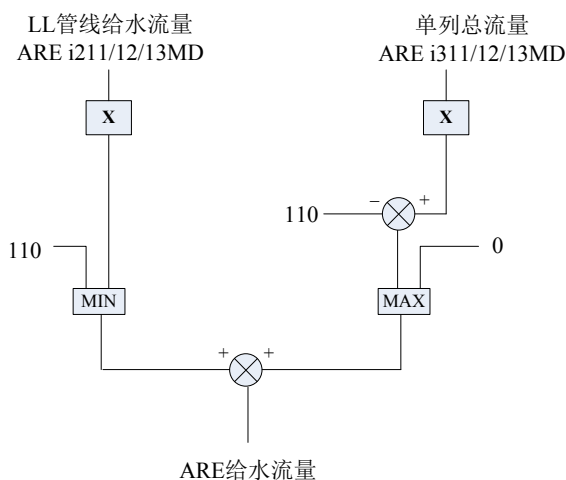


图 1 ARE 给水流量实测值计算逻辑

但当汽水压差过低, ARE 大阀开度很大时, 就可能出现单列总给水流量 > 110kg/s, 但小阀管线中的给水流量 < 110kg/s 的情况。此时计算出来的给水流量测量值为: 单列总流量 - 110kg/s + 小阀管线给水流量, 就会导致参与控制的给水流量测量值偏低, 从而导致大阀开度过大, 再经过汽水压差修正环节放大后大阀开大更多, 甚至全开。

根据机组上的实际数据, 当汽水压差实际值为 5bar 时, ARE 小阀管线上流量为 390t/h 左右; 当汽水压差降到 2.1bar 时, 小阀管线的给水流量降到 70t/h, 远小于 110kg/s (对应 396t/h)。导致真实的给水流量测量值比参与控制的给水流量测量值大 326t/h, 从而导致大阀开大, 这在低负荷控制时会极大地影响水汽平衡, 从而导致 SG 水位快速升高。

2.3 低功率时 APA 泵转速控制及再循环阀在手动控制的影响

低功率时, 如果运行的 APA 泵转速处于手动控制, 参与 ARE 水位调节的汽水压差修正环节中的 ΔP 就取至汽水压差实测值。当 ARE 阀门开大时, 实测汽水压差下降, APA 泵无法自动调节汽水压差稳定在整定值。汽水压差下降, 导致汽水压差修正环节对大阀的需求开度有一个放大效果, 导致汽水压差进一步下降。

而如前面所分析的, 随着汽水压差的下降, ARE 小阀管线中的流量会逐渐偏离 110kg/s, 导致真实的给水流量测

量值比参与控制的给水流量测量值大, 大阀会迅速开大, 甚至全开。此时 SG 水位就很可能快速上涨。

如果 APA 泵再循环阀处于手动开启位置, 当 ARE 阀门开大后, 泵流量增大, 但由于再循环阀在手动, 不会响应流量的增加而自动关小, 就会加剧汽水压差的下降。

2.4 SG 水位异常手动干预后放自动的时机讨论

根据上面的汽水压差修正环节公式以及汽水压差对小阀流量的影响可以看出, 当汽水压差偏离整定值较大时, 自动控制容易出问题, 如果要把 ARE 阀门放回自动, 一定要确保汽水压差能控制在整定值附近, 不能偏离过大。

因此, 如果手动干预阀门后, SG 汽水流量基本调平, 水位回到 15.7m, 且汽水压差在整定值附近, 就可以将 ARE 阀门放回自动, 但此时要注意监视汽水压差。尤其是在 APA 泵转速手动控制的时候。

3 控制建议

①如果由于避免 APA 泵低流量振动高以及 ARE 阀门和 APA 再循环阀控制耦合时把 APA 转速和再循环置于手动控制, 一定要密切监视汽水压差在整定值附近, 一旦偏离整定值, 需及时调节 APA 泵转速及再循环阀开度。

②低功率并网时, 在汽机升功率到 GCT 全关后, 给水流量的上涨会引起汽水压差的变化, 如果此时 APA 泵在手动控制, 一定要及时调节 APA 泵转速控制汽水压差。

③低负荷下, SG 水位干预一定要果断, 如果 SG 水位超过 16.3m, 水大于汽时需要立即全关大阀, 然后根据汽水偏差情况, 及时手动关小阀, 避免水位进一步上涨; 水位干预过程中, 大阀关闭后, 由于此时大阀在手动, 如果小阀自动开度 > 99%, 水位调节会进入跟踪模式, 因此小阀此时是不具备自动调节能力的, 需要密切关注 SG 水位的变化趋势。

④瞬态干预 SG 水位后, 注意 ARE 阀门放回自动的时机。如果四列 SG 水位及给水流量均在大幅波动, 且汽水压差在手动控制, 不建议将阀门直接放自动, 容易产生耦合。建议在 SG 水位接近 15.7m, 汽水基本平衡, 且汽水压差维持在整定值附近时再放回自动, 否则放回自动控制仍容易出现的问题。

4 结语

EPR 机组蒸汽发生器水位控制逻辑在相关设备均自动控制的情况下运转良好, 但其设计上未能避免在某些特定工况下会出现与其他控制系统出现耦合的现象, 因此仍然需要总结在这些工况下更好地控制水位的方法和技能, 作为对自动设计边界外未包含的情况的补充。

参考文献

[1] 郭利民, 廖伟明, 杨昭刚, 等. EPR 核电厂系统与设备[Z]. TNPJVC 培训中心, 2012.
[2] 郭利民, 赵文生. EPR 机组智能化控制的设计原理[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2018.