

文章编号: 0258-0926(2016)02-0141-02; doi: 10.13832/j.jnpe.2016.02.0141

# CPR1000 核电机组对空旁路排放系统 控制指令振荡及阀门失效分析

彭海成, 杨中, 杨建辉, 欧阳辉, 李晋

福建宁德核电有限公司, 福建宁德, 352000

**摘要:** 针对 CPR1000 核电机组蒸汽对空旁路排放系统 (GCT-a) 出现的控制指令振荡和阀门失效问题, 对 GCT-a 控制回路的比例积分控制器参数进行优化。利用阀门诊断仪 (Flow-scanner 6000) 对阀门参数进行测试, 结合工艺系统运行数据, 指出阀门失效根本原因是阀门的阀笼在流量设计上存在问题, 导致系统在运行时间阀门控制指令出现振荡, 致使阀门的密封面加速受损, 并提出该问题的解决办法。

**关键词:** 旁路系统; 指令振荡; 参数优化; 阀笼

**中图分类号:** TM623.7 **文献标志码:** A

## Research on Atmospheric Steam Dump System Control Commands Oscillations and Valve Failure of CPR1000 Nuclear Units

Peng Haicheng, Yang Zhong, Yang Jianhui, Ouyang Hui, Li Jin

Fujian Ningde Nuclear Power Co., Ltd, Ningde, Fujian, 352000, China

**Abstract:** For CPR1000 nuclear units atmospheric steam dump system (GCT-a), one event happened was mainly caused by the sustained oscillation of the valve control command which led to the valve malfunction eventually. By optimizing the PID parameter of control loop and testing the valve parameters with Flow-scanner 6000, and also considering the operation data, it is demonstrated that the valve failure is caused by the design defect on the cage contributing to the control command oscillation and damage on sealing surface, and the resolution is proposed.

**Key words:** Bypass system, Commands oscillations, Parameters optimized, Cage

### 0 引言

蒸汽旁路系统一般由向凝汽器排放系统、向除氧器排放系统和对空旁路排放系统 (GCT-a) 组成<sup>[1]</sup>。本文的研究对象是某核电厂 GCT-a。该 GCT-a 包含 3 个排放调节阀 (GCT131VV/132VV/133VV), 蒸汽排放量为 10%~15% 额定流量。在系统投运过程中, 该系统的 3 个调节阀的控制指令出现振幅约为 3.8%、周期为 20 s 的等幅振荡。之后调节阀出现内漏, 机组运行状态被迫后撤; 对调节阀进行解体检查, 发现调节阀的先导阀密封面均出现冲蚀痕迹。

CPR1000 核电机组在第一个燃料循环周期内, 对这 3 个排放调节阀先后进行了 5 次解体检修, 给机组的安全性和经济性造成不利影响。

### 1 GCT-a 控制指令振荡原因分析

该调节阀用于控制二回路的主蒸汽压力。阀门控制回路的调节器是基于三菱 Melens 平台实现的单回路比例积分 (PI) 调节器。被控量为二回路主蒸汽压力, 其设定值分为内部设定值和外部设定值; 外部设定值由运行人员根据机组状态设定; 内部设定值为固定值 (7.75 MPa)。经调节器运算后输出阀门控制指令, 该 PI 调节器的比例增益 ( $K$ ) 为 526%/MPa 积分时间  $T_i$  为 25 s。GCT-a 中的 3 个排放调节阀采用的是 FISHER 厂家生产的 EVPNS size 6"x7"; 阀门定位器型号为 3582-G。

考虑到阀门指令和主蒸汽压力等幅振荡的一个最大可能是控制回路测量值频繁小幅波动或者

调节器的  $K$  过大, 所以制定了以下方案。

方案分成 2 个部分: ①通过阀门置手动, 观察变送器的测量值。由于变送器的测量值无波动, 所以控制回路无需增加滤波环节; ②采用试凑法, 优化比例积分微分 (PID) 调节器参数。2012 年 11 月 3 日对 GCT-a 控制回路参数进行了优化, GCT-a 控制回路的 PID 的  $K$  由原来的 526%/MPa 改成了 78%/MPa。阀门指令等幅波动的周期大大提高, 由原来的 20 s 延长至 180 s, 即阀瓣的落座频率明显减缓。

## 2 阀门失效分析及解决办法

### 2.1 阀门失效原因分析

从 CPR1000 核电机组运行数据看, 机组在热停工况下, 为了维持一回路压力的稳定, 该阀门的控制指令总是在 15%~24% 额定流量区间内。从 2013 年 3 月 15 日~3 月 16 日的 24 h 中, 阀门指令有 22 h 运行在 15%~24% 额定流量区间内。

当阀门指令处于 18% 时调节阀将出现等幅振荡, 振荡振幅约为 3.5%, 周期为 20 s。现场明显能看到阀杆的频繁移动及听到阀门落座的声音。

从阀门结构分析, 该阀门运行时前后压差大, 所以阀芯需要采用先导阀, 以平衡阀门前后的差压。运用阀门诊断仪 (Flow-scanner 6000) 对阀门进行检测, 先导阀的行程约为 6.1~6.3 mm, 阀门的总行程为 46.04~47 mm, 即先导阀的行程约为阀门行程的 13.3%。

阀门在校验调试整定过程中为了防止在阀门的 EP、定位器等控制部件的零点漂移情况下导致阀门的误开启, 所以阀门开始电流需调整为 4.8~5.2 mA, 即阀门的指令为 5%~7.5%。因此先导阀完全开启指令约为:  $13.3\%+5\%=18.5\%$ , 3 个阀门在热停工况下, 阀门的控制指令又总是在 18%~24%, 所以在标准热停工况下, 调节阀总是处于先导阀与主阀不停的切换, 造成流量的突变, 导致阀门振荡。

另外, 从系统的运行角度分析, 由于核电厂的蒸汽流量是利用蒸汽发生器出口限流器产生的差压折算出来的, 在低流量时测量误差较大, 而辅助给水系统安装了标准流量孔板, 并为准确测量低流量工况下的流量值而配置了窄量程变送器。根据工艺系统的物质平衡, 在蒸发器液位基本稳定的情况下, 给水流量与产生的蒸汽流量会基本相当。从历史数据可以分析出, 当机组在标

准热停工况时, 为维持一回路的温度需排出 8~10 t/h 的蒸汽流量。查看设备的制造数据, 显示阀门的最小调节流量为 8 t/h。这也就印证了前面的阀门失效分析, 阀门在热停工况会出现先导阀和主阀的不停切换。

### 2.2 阀门失效解决办法

根据上面的原因分析, 减缓阀门失效的措施有:

(1) 优化控制回路 PID 调节器参数。即在满足安全的情况下尽可能降低  $K$ , 以减少阀门振荡频率, 达到减小阀门频繁落座的次数, 减缓阀芯的损坏速率。

(2) 通过改变运行方式来减缓阀门失效。即通过设置 3 个回路的压力设定值, 使 3 个回路中的一个压力设定值稍低于另外 2 个回路的设定值 0.01 MPa, 并在 4 h 内进行 3 个回路轮流切换。由于其中的一个回路压力设定值降低后, 机组在热停工况下的热量将通过该回路进行排放, 另外 2 个回路将处于关闭状态, 而且该回路的阀门指令将会大于原来的开度指令, 也就避开阀门总是在先导阀和主阀切换期间运行。通过该方式阀门将不再振荡, 所以也能减缓阀门失效。

(3) 更换新型阀笼以改变流量调节范围。如前所述, GCT-a 大部分使用工况是标准热停工况, 要求阀门在该工况下应该具有调节功能, 因此需要一种新型的阀笼, 以降低阀门的最小调节流量。目前把该问题及建议已经反馈给厂家, 经过相关论证, 认为方案可行。目前厂家已经生产出一种新型阀笼, 最小可调节流量达 3 t/h, 即在阀笼上增加了一些小孔, 缩短了先导阀的有效行程。

## 3 结论

通过收集现场、厂家设备数据及开展相关的试验分析, 指出 CPR1000 核电机组 GCT-a 控制指令振荡及阀门失效的根本原因是阀门的阀笼在流量设计参数上存在问题, 因此阀笼需要改进; 并提出了现阶段减缓阀门失效的方法, 即降低 PID 调节器的  $K$  和改变运行方式。

### 参考文献:

- [1] 苏林森, 杨辉玉, 王复生, 等. 900MW 压水堆核电站系统与设备 [M]. 北京: 中国原子能出版社, 2007.
- [2] 彭海成, 易灵芝. 基于热平衡理论的反应堆功率控制参数修正研究 [D]. 湖南: 湘潭大学硕士学位论文, 2014.

(责任编辑: 杨洁蕾)