

# 核电站冷却水充水排气后头箱液位影响分析

吴铠佳

大亚湾核电运行管理有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i5.9869

**[摘要]** 本文探讨了核电站主泵冷却水充水排气后冷却水阀动作导致带公共负荷的RRI头箱液位波动影响现象,通过原因分析、数据分析、理论分析,判断直接原因为RRI系统特性残气导致,并结合大修实践提出改进措施,经实践验证解决问题。

**[关键词]** 头箱; 液位波动; 充水排气; 冷却水阀

**中图分类号:** U467.4+8 **文献标识码:** A

## Analysis of liquid level of head tank after cooling water in nuclear power plant

Kaijia Wu

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD

**[Abstract]** In this paper by the nuclear power plant main pump cooling water after water exhaust cooling water valve action with public load RRI header level fluctuation influence phenomenon, through cause analysis, data analysis, theoretical analysis, determine the direct cause for the RRI system characteristic residual gas, and overhaul practice improvement measures are put forward, the practice verification to solve the problem.

**[Key words]** head tank liquid level fluctuation; charging water discharge and exhaust; cooling water valve

### 引言

2022年2月3日,某核电站主控配合工作负责人关闭设备冷却水系统RRI210/283VN(1号主泵冷却水隔离阀)。之后,RRI缓冲头箱液位从1.696m开始上涨,现场进行干预排水,液位最高上涨到1.72m时出现水位异常报警,按报警卡响应并综合分析RRI系统运行正常。

初步分析后,在2022年2月4日进行了两次验证,确认关闭主泵RRI侧阀门后RRI头箱(带公共负荷列)上涨,开启主泵RRI侧阀门RRI头箱(带公共负荷列)下降的现象;2月5日再次进行了验证,发现开关主泵RRI侧阀门后RRI头箱稳定。针对上述现象,本文进行综合分析并对验证过程的数据整理形成结论和后续改进措施。

### 1 原因分析

本文基于ERP分析方法,对某核电站主泵冷却水充水排气后冷却水阀动作导致带公共负荷的RRI头箱液位波动影响现象分析各可能原因。

1.1 环境温度较低,系统可能存在反向冷却

关闭RRI210/283VN后,反向冷却效应消失,导致液位上涨,打开后液位恢复正常,水位稳定

支持: 开关阀门前后RRI冷却器上游温度存在0.2℃的上涨

反对: 温度效应非即时效应; 0.2℃温差导致RRI头箱液位

大幅度变化可信度不足,综合可能性低。

1.2 RRI210/283VN关闭不严

支持: 在压差作用下管段内“死水”继续流向系统,可能出现关阀液位上涨,开阀液位下降的现象。

反对: 现场检查阀门开关正常,同时下游流量随阀门关闭很快减为0,综合可能性低。

1.3 RRI001BA初始液位偏高,同时MN或者SN定值不准

支持: 记录仪指示初始液位1.696m,导致更容易触发液位异常报警; 1.72m时出现报警与定值1.75m有明显偏差。

反对: 检修后再鉴定试验未见异常,综合可能性中。

1.4 系统存在残气短时间内无法排出

支持: 三台主泵热屏冷却水壳外隔离阀在进行充水排气后一直保持关闭状态,系统残气短时间内无法排出,开启主泵冷却水阀后系统残气进入系统导致头箱液位波动。

反对: 已对系统进行过充水排气,综合可能性高。

### 2 数据分析

如图1,RRI210/283VN关闭时,RRI001BA(A列带公共负荷)液位从1.69m上涨到1.72m稳定,此时通过联通阀B列RRI头箱上涨到1.65m,共上涨9cm(计数采用了精度更高的EN读数)。期间进行现场排水,速率较慢忽略不计,在RRI210/283VN开启后RRI001BA液位出现快速下降,现场继续排水至1.65m。

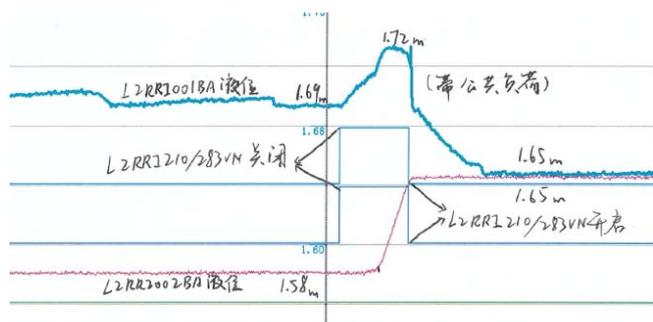


图1 关闭开启RRI210/283VN时RRI液位变化

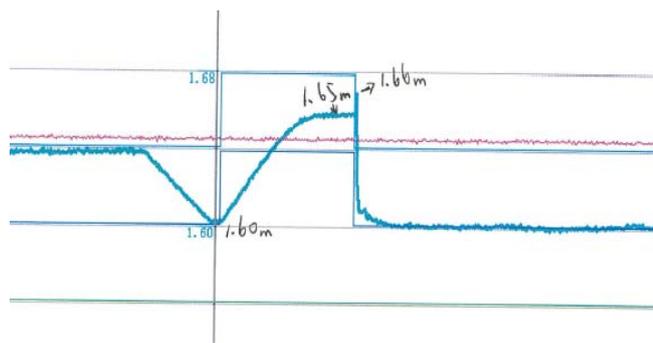


图2 关闭RRI210/283VN第一次验证

如图2, 2月4日将RRI001BA排水至1.60m, 关闭RRI210/283VN进行第一次验证, 发现RRI001BA液位上涨5cm稳定, 开启阀门时先快速上涨0.01米至1.66m然后快速下降至初始值1.60m。从图中可知开关阀液位可以稳定并最后恢复初始值, 这类似气体压缩的弹簧效应, 系统残气影响的分析得到初步验证, 如果系统残气影响则在系统带相关负荷运行更长时间后气体可以通过RRI头箱排出, 最终消除开关阀门对RRI头箱液位的影响。

图3为2月4日T EIE001期间数据, 三台主泵的RRI侧隔离阀同时关闭, 执行试验时关闭RRI280/281/282VN后RRI002BA (B列带公共负荷) 上涨6cm, 关闭RRI210/211/212/283/284/285VN后RRI001BA (A列带公共负荷) 水位上涨6cm, 说明液位变化的原因在公共负荷部分。图3距离图2验证时间约20小时, 由于三台主泵的RRI侧隔离阀同时关闭, 系统残气的影响要比单个环路开关阀门更加明显, 但对比2月3日关闭RRI210/283VN时RRI001BA水位上涨9cm, 有明显减少。

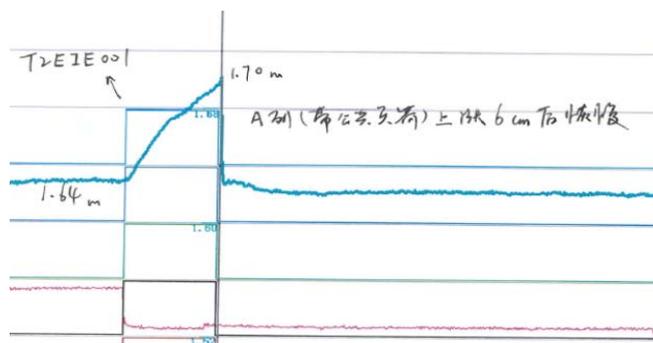


图3 T EIE001期间RRI头箱液位变化

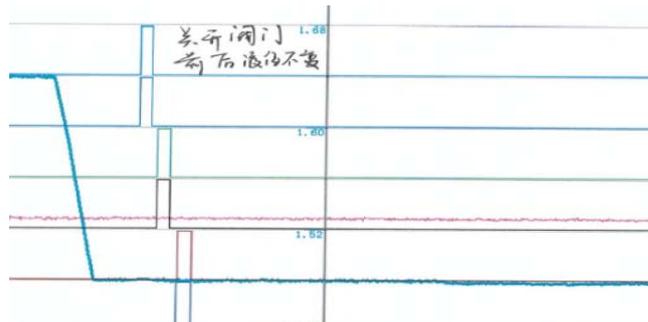


图4 分别关闭开启RRI侧阀门验证

图4, 2月5日联系专业讨论后进行验证, 将RRI210/211/212/283/284/285VN分别关闭、开启后RRI001BA (A列带公共负荷) 水位稳定, 未见上涨; 对比前两次关闭主泵冷却水阀时水位分别上涨9cm/6cm, 分析随着系统投运时间增长(距离图1出现液位联动时间约2天), RRI系统内残气已逐渐减少。

查历史记录, 上次大修期间RRI头箱液位变化趋势与此次大修一致。

### 3 理论分析

通过图4数据, 依次开关三台主泵RRI侧隔离阀, 观察5分钟, 头箱液位未见任何变化, 与“原因分析”中系统残气因素一致, 随着运行时间的增加, 回路里的残气已逐渐减少。

分析RRI头箱液位变化的原因为, RRI283/284/285VN处于开启状态时, 其下游压力较高, 下游管路中的气体处于压缩状态, 当RRI283/284/285VN关闭后, 气体处的水压降低为RRI头箱的位差导致的静压(详见下文分析), 因RRI泵入口的逆止阀带有小孔, 从而导致回路中水通过逆止阀的小孔缓慢被“挤向”头箱, 导致头箱液位上涨。随着RRI泵的运行搅混, RRI283/284/285VN下游的气体会慢慢释放到RRI头箱 (RRI泵入口处的压力最低)。因此第二次开关阀门相比第一次, RRI头箱的液位变化幅度也是明显在减小。

对RRI285VN下游和RRI泵入口分别取截面A和截面B, 由伯努利方程<sup>[1]</sup>:

$$P_A = P_B + P_a + P_{\Delta h} + \Delta p_f + \Delta p_c$$

$$\text{其中, } P_a = \frac{\rho v^2}{2g}, \Delta p_f = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2}, \Delta p_c = K \frac{\rho v^2}{2}$$

$P_A$ 、 $P_B$ 分别代表RRI285VN下游和RRI泵入口两截面处压力,  $v$ 为RRI285VN下游流速 (RRI泵入口流速为0),  $\rho$ 为流体的密度,  $g$ 为重力加速度,  $\Delta h$ 为两截面位差;

$P_B$ 在系统正常运行工况下为设计定值, 即关闭RRI众多负荷中的一个对RRI泵入口压力的影响可以忽略不计;

$P_a$ 为加速压降;

$P \Delta h$ 为RRI285VN下游与RRI泵入口的位差所引起的重力压头, 对于既定系统设备, 此为常数;

$\Delta p_f$ : 沿程阻力损失, 也称摩擦压降,  $f$ 为摩擦阻力系数,  $L$ 为流道的长度,  $D$ 为流道的当量直径;

$\Delta p_c$ : 局部阻力损失, 也称形阻压降,  $K$ 为形阻系数。

从上述公式可以看出,  $P_a$ 、 $\Delta p_f$ 、 $\Delta p_c$  均与流速的平方成正比。RRI212/282/285VN均开启时, RRI侧水要能够回到RRI泵入口, RRI285VN下游压力点的压头必须要克服管道阻力, RRI212/282/285VN关闭时,  $P_a$ 、 $\Delta p_f$ 、 $\Delta p_c$  即为0。

由此, 对上述截面的伯努利方程可以简化为:

$$P_{285VN下游} = x v^2 + C, \quad x \text{为系数, } C \text{为常数。}$$

为方便定性分析, 我们近似认为系统内残气为理想气体, 且状态变化时系统温度不变, 则RRI系统残气满足理想气体状态方程<sup>[2]</sup>:

$$p v = n R T$$

其中 $n$ 为阿伏伽德罗常数,  $R$ 为理想气体常数,  $T$ 为气体绝对温度, 近似的有残气压力 $p$ 与体积成反比。

执行T EIE001试验, RRI282VN关闭后, 管路流量、流速降为0,  $P_{285VN下游}$ 下降, 气体膨胀, 导致作为系统缓冲箱的RRI头箱液位上涨。

#### 4 残气来源分析

通过现场访谈排除操作不当因素。

以1号主泵为例: 现场核实RRI283VN至RRI286VN之间管线从WX延伸到KX厂房, 管线较长无排气点且空间布局较为复杂, 容易导致RRI系统中气体聚集在此<sup>[3]</sup>。

查看主泵RRI侧充水排气文件包发现充水排气时, RRI280VN关闭, 利用出口管线经逆止阀RRI476VN小流量反向充水, 主控利用开、关电动阀RRI283VN来控制充水。

RRI210VN至逆止阀RRI213VN直径168.3mm管段通过反向缓慢充水的方式不能达到充水排气目的, 在RRI210/283VN开启后管段积气进入系统成为系统残气, 需随系统运行缓慢赶到头箱, 通过数据分析这个时间大概为2天。

#### 5 结论和措施

通过原因分析、数据分析、理论分析, 判断某核电站本次开关主泵RRI侧阀门导致带公共负荷的RRI头箱液位波动的直接原因为RRI系统残气导致, 为RRI系统本身特性。建议改进措施:

主泵RRI侧阀门的开关, 至少需要等主泵RRI侧在线充水排气完成两天以后。

在需要关闭主泵RRI侧阀门时, 确认RRI头箱液位不高于1.6m, 同时做好RRI头箱液位上涨的干预准备(现场待命进行排水), 关注RRI头箱液位变化趋势。

考虑优化充水排气方式, 反向充水排气结束后, 可开启RRI210VN(将RRI283VN关闭, 断电, 做好干预水位准备)再做一次充水排气。

目前实际机组采纳了前两项措施, 效果明显。

#### [参考文献]

- [1]四川大学水力学与山区河流开发保护国家重点实验室. 水力学[M].(第5版).高等教育出版社,2016.
- [2]张学学.热工基础[M].2版.北京高等教育出版社,2006.
- [3]RRI系统设计手册.[S].

#### 作者简介:

吴铠佳(1990--),男,汉族,广东省揭阳市人,本科,大亚湾核电运行管理有限责任公司,工程师,核反应堆运行。