

核电站重要厂用水泵停运时出口压力异常下降的分析

丁斌

大亚湾核电运行管理有限责任公司, 广东 深圳 518000

摘 要 : 核电站重要厂用水泵停运时出口压力约在0.4bar.g, 保证泵出口逆止阀下游管道处于充满水状态, 值班期间发现重要厂用水泵停运时出口压力下降到0, 可能影响核电站重要厂用水泵的可用性, 作者对泵出口压力下降进行了充分的分析。

关 键 词 : 重要厂用水泵; 逆止阀; 虹吸原理

Analysis of the Abnormal Decrease of Outlet Pressure When the Water Pump of Important Nuclear Power Plant is Suspended

Ding Bin

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD. Shenzhen, Guangdong 518000

Abstract : important plant pump shutdown outlet pressure about 0.4bar.g, ensure the pump outlet check valve downstream pipeline in the state of full water, found during duty important plant pump shutdown outlet pressure dropped to 0, may affect the availability of nuclear power plant pump, the author of the pump outlet pressure drop is fully analyzed.

Keywords : important factory water pump; check valve; siphon principle

引言

核电站的冷源是常规岛凝汽器和辅助冷却水、核岛设备冷却水系统的冷却用水源, 滨海核电厂一般用海水作为冷源。建立安全可靠的核电站冷却设施, 是确保核电站安全、稳定运行的重要保障。近年来, 随着越来越多的核电机组投入运行, 加之由于海洋环境变化, 核电厂频频发生由于海洋生物或者异物入侵造成的冷源取水口滤网堵塞, 影响核电厂正常运行的安全事件, 导致核电机组降功率、跳机跳堆, 造成巨大的经济损失和安全隐患。重要厂用水系统 (SEC) 作为最终热阱的一部分, 其设备状态对核电站整体安全有较大影响, SEC 泵出口压力下降可能导致正常或事故情况下需要自动启动时无法建立流量, 文章对 SEC 泵出口压力下降的原因进行了深入分析, 并简单介绍了检修结果。

一、重要厂用水系统介绍

重要厂用水系统 (SEC) 把设备冷却水系统 (RRI) 收集的热负荷传输至最终热阱——海水。重要厂用水系统是由两条与安全相关的冗余系列组成 (A/B 列), 通过海水冷却 RRI 系统的 RRI/SEC

热交换器完成热传输。SEC 泵经由取水构筑物和循环水过滤系统过滤装置从最终热阱 (海水) 吸取海水。每个系列的两台泵 (A 列: SEC001/003PO; B 列: SEC002/004PO) 通过一根埋置于混凝土中的母管取水, 并将其接在循环水泵的弯道吸入腔上。泵进、出口段设有隔离阀, 出口段上设止回阀。在故障情况下, 为了保持额定流量通过热交换器, 止回阀可自动把有故障的泵从系统中隔离开来^[1]。

二、事件背景

2018年06月12日, L1SEC A列正常停运约10分钟后, 发现A列出口压力表L1SEC001MP开始缓慢下降至0bar (初始0.69bar左右), 咨询专业答复该类仪表故障可能性不高, 现场检查管线无外漏。重新启动L1SEC003PO后L1SEC001PO自动启动, SEC A列压力正常; 停运L1SEC001PO保持003PO运行后, A列流量计L1SEC001MD显示无流量, 但L1SEC003PO电流正

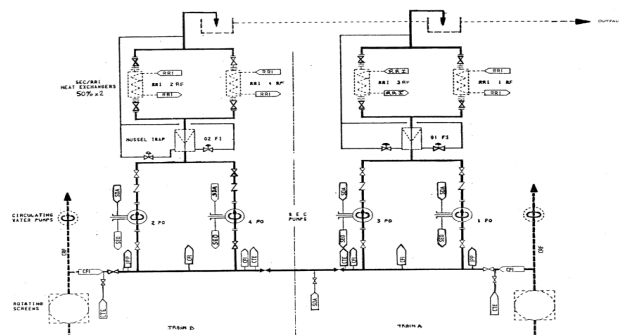


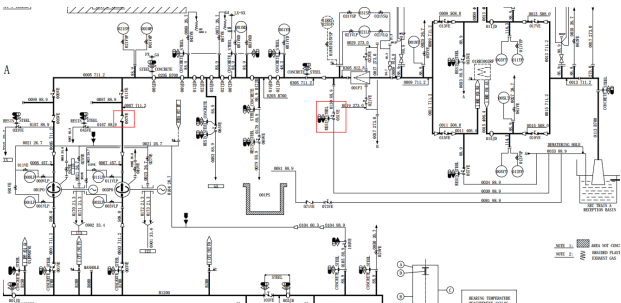
图1 重要厂用水系统总体流程图^[2]

作者简介: 丁斌 (1989.07—), 男, 汉族, 浙江省诸暨市, 大亚湾核电运行管理有限责任公司, 工程师, 本科, 核反应堆运行。

常,随后停运 L1SEC003PO。

分析原因为 L1SEC003PO 出口逆止阀 L1SEC007VE 偶发卡涩或杂质等原因导致回座不严,再叠加 L1SEC A 列过滤器入口海水疏水阀 L1SEC051VE 关闭不严,待泵停运后系统虹吸作用破坏,导致局部排空。重新启泵初期,因管道内有气体,导致压力低备用泵自动启动,且系统流量产生波动,待管道内充水完成后流量稳定。2018 年 06 月 15 日 OMM 检查确认 L1SEC051VE 阀瓣损坏,更换了内衬和阀瓣,打压合格已回装完毕。

以上事件处理完毕后,在后续跟踪过程中,发现虽然 L1SEC051VE 内漏已处理,L1SEC A 列停运且无任何相关操作情况下 L1SEC001MP 仍然出现了三次下降。



> 图2 L1SEC A列系统流程图^[3]

三、原因分析



> 图3 L1SEC A列管道布置图^[4]

根据之前 L1SEC051VE 内漏处理经验,L1SEC001MP 下降时通过就地厂房和相关管线廊道检查,并未发现系统外漏痕迹,所以初步定位为系统内漏。

根据经验蝶阀因杂质或阀瓣密封缺陷等因素很容易导致关闭不严^[5],并且系统内为海水,也容易因海生物等杂质影响,此外根据系统管道布置特点,判断逆止阀关闭不严可能性较高。咨询专业部门后,泵出口逆止阀关闭不严故障在其他电站也有发生过,目前岭澳二期四号机组上便存在此故障,所以机组也有可能出现类似共模故障。

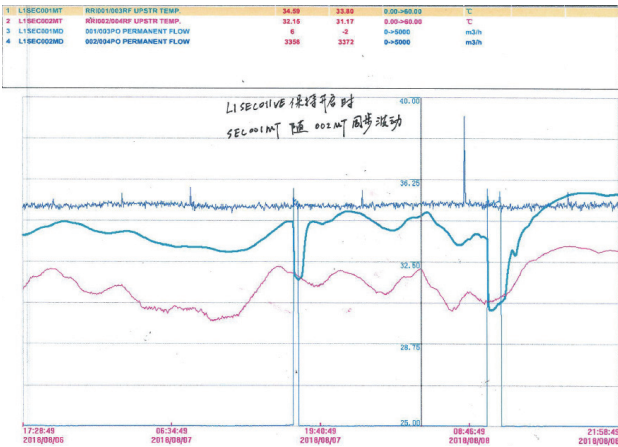
岭澳二期四号机组相关的故障信息如下:主控出现 L4SEC708KA(SEC B 列 L4SEC002/004PO 出口压力低报警)^[6],检查出口压力表 L4SEC002MP 逐渐下降到 0.3bar.g。现场检查 L4SEC B 列相关管线未见泄漏。初步分析泵组出口逆止阀 L4SEC006VE 或 L4SEC008VE 存在内漏。该问题历史上多次出现:2016 年 L3/4SEC

B 列曾长期存在该问题,检查确认 L3/4SEC006VE 内漏并进行了更换。2018 年 5 月 22 日,L4SEC A 列出现出口压力下降现象,分析出口逆止阀 L4SEC005VE 或 L4SEC007VE 内漏可能性较大。

另外对本机组 SEC A 列停运后出口压力下降进行进一步分析,2018 年 8 月 8 日,由于需要检修实施了隔离,关闭 L1SEC003PO 出口隔离阀 L1SEC011VE 后,L1SEC001MD (A 列流量)和 L1SEC001MT (A 列热交换器上游母管温度)与之前趋势略有不同:

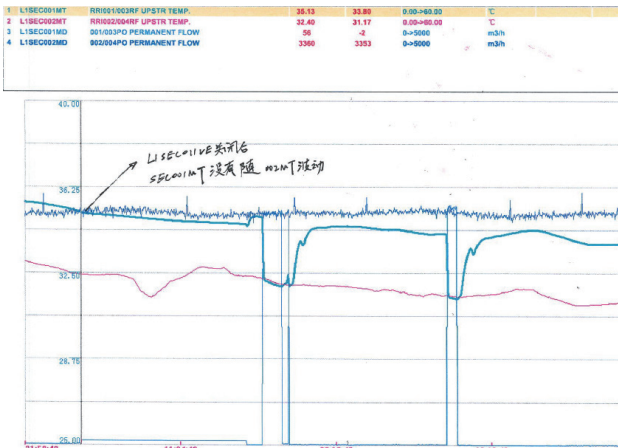
L1SEC001MT 为 L1SEC A 列热交换器上游海水温度,正常 SEC 停运时管道内没有海水流动,L1SEC001MT 应该基本稳定,但 L1SEC001MT 在记录仪 EN 和计算机 KIT 上有波动,对比 L2SEC002MT 在 B 列停运时保持稳定,说明 L1SEC A 列停运时 L1SEC 管道中存在流动,L1SEC001MT 随海水温度波动。

具体曲线如下图:



> 图4 L1SEC001MT 随 002MT 波动

L1SEC003PO 出口隔离阀 L1SEC011VE 关闭后反向流动被切断 L1SEC001MT 波动明显减小,如下图:

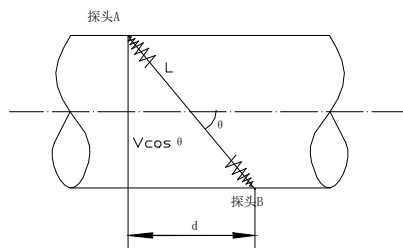


> 图5 L1SEC001MT 波动减小

L1SEC001MD 为超声波探头正常按 LMCIXSEC006 程序进行校验,根据程序零点调整是在没有流量的情况下进行的^[7]。在 2018 年 8 月 9 日实施 L1SEC003PO 隔离期间(关闭 L1SEC011VE),L1SEC A 列管道内海水没有流动,L1SEC001MD 阶跃上涨至 60m³/h 左右(L1SEC A 列停运),在解除隔离开启 L1SEC011VE 后 L1SEC001MD 重新显示 0,L1SEC001MD 变化与 L1SEC011VE

阀门关闭时间基本重合,说明 L1SEC001MD 标定期间存在反向流动,导致零点下漂,当 L1SEC011VE 关闭 SEC A 列反向流被阻断后,实际流量为 0,但由于标定时有反向流动,因此当实际流量为 0 时, L1SEC001MD 显示有正向流量 60m³/h 左右。

L1SEC001MD 测量原理探头 A 和探头 B 交替发送和接收超声波信号,以其传播时间之差来确定流量。



> 图6 流量计原理图

$$T_{AB} = \frac{L}{C + V \cos \theta} \quad T_{BA} = \frac{L}{C - V \cos \theta}$$

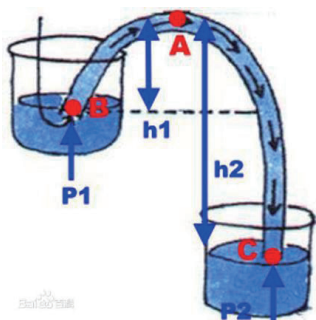
在此: V=流体的平均速度

C=声波在液体中的传播速度

$$\text{设 } \Delta T = T_{AB} - T_{BA}, \text{ 由上二式可推得: } V = \frac{L^2}{2d} \left[\frac{\Delta T}{T_{AB} T_{BA}} \right]$$

$$\text{由于流量 } Q = SV, \text{ 故 } Q = \frac{\pi \phi^2}{4} \times \frac{1}{K_h} \times \frac{L^2}{2d} \left[\frac{\Delta T}{T_{AB} T_{BA}} \right]$$

由于 L1SEC A 列停运时,由于 L1SEC A/B 列出水口由连接管相连, L1SEC A 列管道通过虹吸原理从 B 列取水,当 SEC B 列出水口水位变化时, L1SEC A 列出水口露出水面,虹吸被破坏,导致 L1SEC001MP 缓慢下降。虹吸的实质是因为液体压强和大气压强而产生。因为 $h_1 < h_2$, 所以根据帕斯卡定律 $p = \rho gh$, 装置中左管中的液体压强小于右管的液体压强,另外,在 B 点跟 C 点分别有大气压的作用,大气压表现为上低下高,但在此处 B 点与 C 间高度相对地球的大气压计算高度来说,可以忽略两者间的大气压强差值。所以, $p_1 - \rho gh_1 > p_2 - \rho gh_2$, 那么在 A 左端的压强就大于 A 右端的压强,在大气压和液体压强的共同作用下,水朝一个方向移动^[8]。



> 图7 虹吸原理^[9]

四、结论

SEC 系统停运后出口母管持续压力下降引起 SEC-B 列出口排空,影响设备可用性;排空后重新启动时,下游管线形成水锤设

备损坏,影响电站冷源安全;如压力下降频繁,需频繁启停 SEC 泵充压,会影响设备寿命^[10]。

泵出口逆止阀 L1SEC007VE 偶发卡涩或杂质等原因导致回座不严,待泵停运后 L1SEC A 列从 L1SEC B 列出水口取水,通过 L1SEC007VE 内漏反向回流到大海,当 L1SEC B 列出水口水位或者反流流量变化时, L1SEC A 列出水口露出水面虹吸被破坏,导致 L1SEC001MP 缓慢下降。

后维修部门对出口逆止阀 L1SEC007VE 内漏进行了处理,拆卸管道法兰连接螺栓,清洗检查发现阀座橡胶密封垫圈脱落,更换新阀门,新阀备件验收合格,投运后检查无内外漏。解除隔离恢复系统正常运行后,跟踪 L1SEC A 列停运时 L1SEC001MP 不再下降, L1SEC001MT 没有随 002MT 波动, A 列流量计 L1SEC001MD 显示流量 61m³/h,以上现象说明出口逆止阀 L1SEC007VE 内漏已消除, L1SEC A 列停运时管道中不再存在反向流动。



> 图8 检修完成后 L1SEC001MT 波动减小

五、结语

泵出口逆止阀 L1SEC007VE 偶发卡涩或杂质等原因导致回座不严,待泵停运后 L1SEC A 列从 L1SEC B 列出水口取水,通过 L1SEC007VE 内漏反向回流到大海, SEC 系统停运后出口母管持续压力下降引起 SEC-B 列出口排空,影响设备可用性。如果主控室监测到停运列泵出口压力下降,应该及时手动启泵,重新将下游管道充满,避免故障或事故工况泵接收到自动启动信号启动时,无法及时建立流量影响冷却。

参考文献

- [1] 岭澳核电厂 1、2 号机组最终安全分析报告第 9 章——辅助系统。
- [2] 900MW 压水堆核电站系统与设备。[M]。原子能出版社, 2007。
- [3] 大亚湾核电站运行教材。
- [4] 岭澳核电站 1、2 号机 SEC 系统设计手册。
- [5] 工业专用阀门选用手册。机械工业出版社, 1998。
- [6] KOPA4SEC999 重要厂用水系统报警手册 (BUP)。
- [7] SEC001/002MD 超声波流量计通道检查及定值校验。LMCIXSEC006。
- [8] 力学。高等教育出版社, 2002。
- [9] 物理。上海教育出版社, 2007。
- [10] 大亚湾核电操纵人员取照必读。中国电力出版社, 2013。