

核电站 RRA 连接一回路双相停运主泵操作分析

丁斌

大亚湾核电运行管理有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i6.10423

[摘要] 机组大修上行阶段,主控出现L2LGA002AA(KIT中为:003EC进线/母线电压互感器或配电盘故障),怀疑L2LGA301开关存在异常。后经大修指挥部决议,需对L2RCP002PO开关进行更换,需要在NS/RRA双相停运L2RCP002PO,并在开关故障处理完成后启动主泵,在此平台启停主泵超P-T图风险较高,且大亚湾基地没有相关经验数据,故对操作进行风险分析和总结。

[关键词] 主泵;一回路双相;P-T图

中图分类号: TH3 **文献标识码:** A

Operation analysis of bipolar shutdown main pump with RRA connection of nuclear power plant

Bin Ding

Daya Bay Nuclear Power Operation Management Co., LTD.

[Abstract] In the uplink stage of unit overhaul, the main control appeared L2LGA002AA (003EC incoming / bus voltage transformer or distribution board fault) in KIT, and the L2LGA301 switch is abnormal. After the resolution of the overhaul headquarters, the L2RCP002PO switch should be replaced for L2RCP002PO, and the main pump is started after the switch fault processing is completed. The risk of starting and stopping the main pump exceeding the P-T diagram on this platform is high, and there is no relevant experience data in Daya Bay base, so the risk analysis of the operation is analyzed and summarized.

[Key words] main pump primary circuit duplex P-T diagram

引言

岭澳一期核电机组正常大修换料后上行时,一回路升压到27bar后,进行主泵的再鉴定并保持运行,在一回路温度达到130℃时开始建立稳压器汽腔,向一回路双相过渡。在175℃/27bar左右停运一台主泵属于非计划工作,而且外基地可参考的经验较少,文章从RCP002PO停运后泵入口流体动静压转换、稳压器喷淋阀/加热器的喷淋/加热效应、RRA流量变化影响一回路温度/压力变化等方面,对一回路双相停运主泵进行风险分析并制定相应措施,最后介绍了实际机组停运/启动主泵前后热工水力参数的变化。

1 P-T图背景介绍

针对不同的运行模式,有不同的运行限值和条件。P-T图标明了各种运行模式下RCP系统的温度和压力范围(横坐标为一回路温度,单位℃;纵坐标为一回路压力,单位bar. a)^[1]。

一回路温度173.8℃,压力27bar. g,处于模式4(反应堆压力容器顶盖的所有螺栓处于完全张紧状态、反应性 $K_{eff} < 0.99$ 、 $90^{\circ}\text{C} < T_{avg} < 180^{\circ}\text{C}$),此时从P-T图上可以看到一回路压力要求在24-30bar. a之间,停运启动主泵可能导致一回路压力变化超出此范围。查阅相关经验反馈,发现外部电厂有类似案例(N-LOER-1-20160007^[2])。

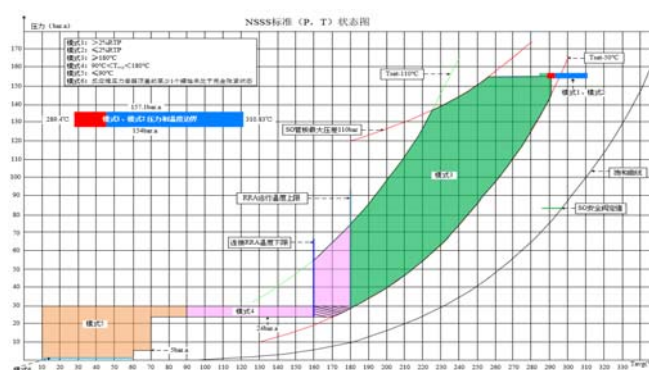


图1 标准P-T图

2016年9月28日,受台风“鲇鱼”影响,某核电厂1号主变中性点伸缩节铝片断裂,电厂决策1号机组后撤到NS/RRA模式(RRA运行条件双相中间停堆工况)停运主变进行处理。9月30日,1号机组后撤至NS/RRA模式(28.3bar. a, 166℃),执行停运RCP002PO(反应堆冷却剂系统2号泵)的操作,一回路压力上涨,短时超过NS/RRA模式运行压力边界值(超压0.3bar,持续41s),违反运行技术规范。

余热排出系统RRA的主要功能为在一回路温度 $\leq 180^{\circ}\text{C}$,压

力小于30bar. a的工况下, 排出三部分热量: 堆芯余热、一回路水和设备的显热以及主泵给一回路水提供的热量。主要包括两台并联布置的泵; 两台并联布置的热交换器, 由设备冷却水(RRI)冷却; 一条热交换器的旁路管线及其它连接管线。余热排出泵(RRA001和002P0)从一回路RCP第二环路热段吸入, 送入一段母管。热交换器所在管线的调节阀(RRA024/025VP)用于调节通过热交换器的一回路水流量, 以达到控制一回路的降温或升温速率和控制一回路温度的目的^[3]。

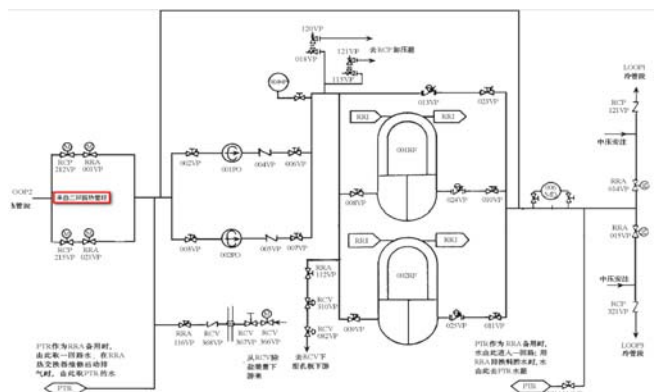


图2 RRA系统流程图^[4]

2 风险分析及机组状态调整

当时机组初始状态为: 一回路温度173.8℃, 压力28bar. a, 一回路刚建好汽腔进行排水, 一回路压力控制器RCP401RC在手动30%, 稳压器加热器RCP001/002RS手动停运, 另外两组稳压器加热器RCP005/006RS自动没有投运, 稳压器喷淋阀RCP001/002VP手动开度17%, 稳压器PZR水位-4米, 反应堆余热导出系统RRA双泵运行。

根据机组运行补充要求在此状态一回路压力的要求范围为24-30bar. a, 在P-T图上一回路温度接近180℃时, 压力范围更小。机组初始温度173.8℃, 此时P-T图上压力下限24bar. a, 所以先决定降低一回路温度到170℃, 增加一回路压力允许的波动范围。

下面对影响停运启动主泵时一回路压力变化因素进行分析。

2.1 首先考虑RCP002P0停运后泵入口流体动压转换为静压

一回路压力表RCP037/039MP处于RRA吸入口, 主泵吸入段^[5], 如图:

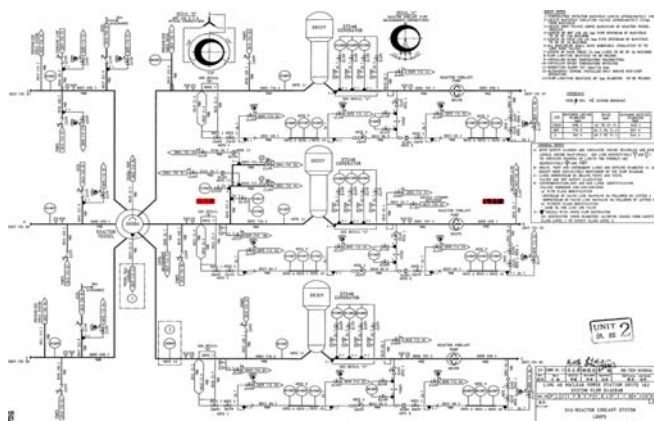


图3 RCP037/039MP位置

主泵属于低扬程、大流量的离心泵^[6], 停运RCP002P0造成整个二回路水的流速快速大幅下降, 由于水流的惯性作用, 使流体的动压转换成静压。根据伯努利方程^[7], 在停运RCP002P0时其入口RCP037/039MP处的压力变化为:

$$\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2} c_1^2 - \frac{\rho}{2} c_2^2$$

p_1 、 p_2 为停运主泵前后RCP037/039MP处的压力;

c_1 、 c_2 为停运主泵前后RCP037/039MP处的流速;

2号主泵停运后环路内的流体流速从 c_1 快速下降至 c_2 , 则其

压力将从 p_1 上涨至 p_2 。其中 $\frac{\rho}{2} c^2$ 称为动压, p 称为静压。由于压力波在水中的传导速度接近声速, 这种效应对一回路压力的影响属于快效应。

2.2 然后考虑稳压器加热器/喷淋阀的加热/喷淋效应

投运稳压器加热器导致一回路升压, 投运稳压器喷淋阀导致一回路降压。本次停运RCP002P0时稳压器通断式加热器处于停运状态, 比例式加热器只保持较低功率, 而岭澳2号机稳压器喷淋与一/三环路连接, 停运RCP002P0后喷淋流量影响不大, 如果其它机组停运喷淋管线对应主泵需要考虑喷淋流量变化对一回路压力变化。

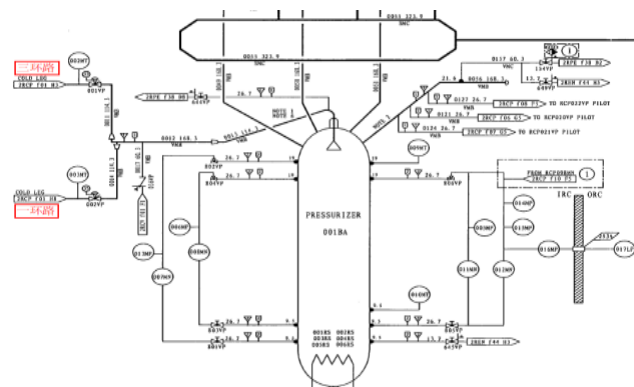
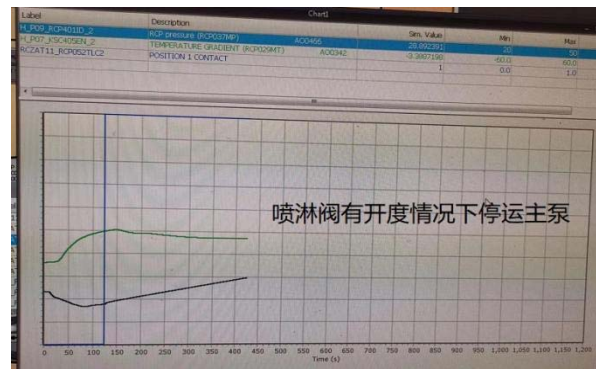


图4 稳压器加热器和喷淋管线布置^[8]

实际机组在准备停运主泵时, 同步启动模拟机验证。模拟机初态: 一回路压力25.2bar, 温度170℃, RRA单台泵运行, 比例式加热器正常投运。最终结论模拟情况与真实机组有一定区别, 但模拟喷淋阀初始开度越大, 停运主泵后一回路压力上升越快。有一定借鉴意义, 变化趋势如下图。



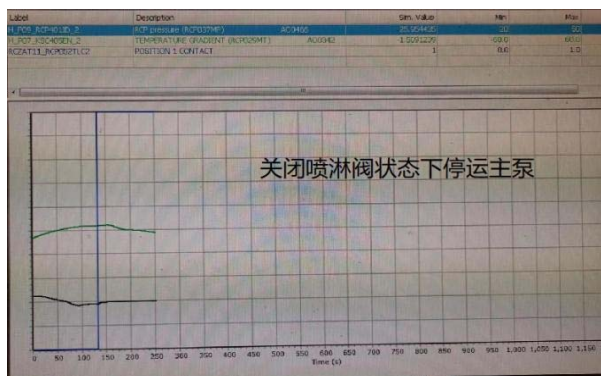


图5 模拟机模拟停运主泵时一回路压力变化

2.3最后考虑主泵停运启动时导致RRA流量变化影响一回路温度,从而导致一回路压力变化^[9],初态时余热排出系统RRA001/002P0双泵运行,停运主泵会导致RRA通过冷却器的流量变大,为了防止一回路温度下降导致压力变化,而且考虑后续退RRA关闭RRA系统出口阀门RRA014/015VP前要求保持一台RRA泵运行(不允许RRA双泵同时小流量运行)^[10],在停运主泵前停运RRA002P0。

综上所述,停运启动RCP002P0影响一回路压力变化的主要原因为停运启动过程中RCP002P0入口流体动压/静压转化。

3 操作过程



图6 停运主泵时参数变化

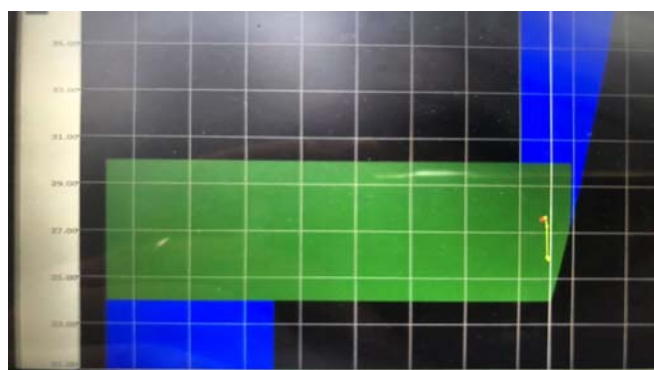


图7 停运主泵时压力变化(P-T图上压力为绝对压力)

停运RRA002P0,调节一回路冷却调节阀RRA024/025VP降低一回路温度到170℃,考虑到停运主泵时一回路压力上涨,通过开大稳压器喷淋阀RCP001/002VP降低一回路压力到25.2bar.g。

确认一回路温度压力稳定后,停运RCP002P0,停运过程中观察RCP037/039MP显示从25.2bar.g迅速上涨到27.6bar.g,从P-T图观察整个停运过程压力上涨2bar。

RCP002P0惰转结束后拉出开关进行检查,专业判断为报警回路元器件偶发故障,经讨论后对报警回路元器件和接点进行包络性更换和检查处理。开关处理完成后重新送电,考虑到预期的一回路压力下降,启动前调节喷淋阀开度提高一回路压力至27bar.g,根据程序启动RCP002P0,启动过程中一回路压力下降约2bar。

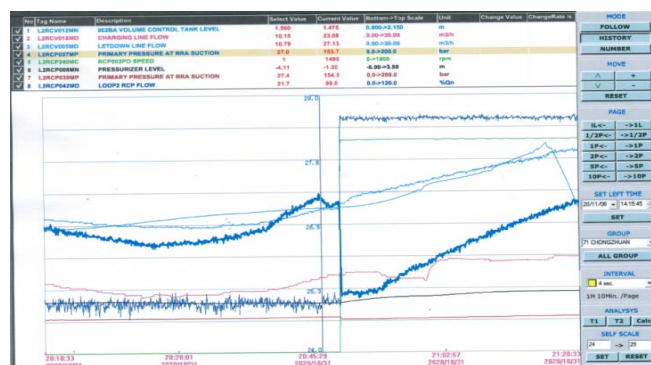


图8 启动主泵时参数变化

4 结语

在该平台停运/启动主泵最大的风险在于一回路温度/压力超出P-T图要求范围,影响一回路压力变化最大的因素为停运启动过程中RCP002P0入口流体动压/静压转化,停运RCP002P0时一回路压力仪表RCP037/039MP上涨2bar左右,在故障处理后重新启动RCP002P0时一回路压力下降2bar左右。一回路温度在170℃左右时,一回路压力的允许范围为24~30bar.a,停运/启动RCP002P0导致一回路压力2bar左右的变化量是可控的。

【参考文献】

- [1]LOP09POT004机组运行补充要求。
- [2]N-LOER-1-20160007:宁德核电厂1号机组一回路压力短时超出运行技术规范要求。
- [3]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。
- [4]大亚湾核电操纵人员取照必读.中国电力出版社,2013。
- [5]大亚湾核电站运行教材。
- [6]岭澳核电厂1、2号机组最终安全分析报告第5章-反应堆冷却剂系统和与之相连接的系统。
- [7]工程流体力学.浙江大学出版社,2017。
- [8]900MW压水堆核电站系统与设备[M].原子能出版社,2007。
- [9]LOPS2RRA003 在冷停堆或换料停堆期间RRA系统的运行。
- [10]LOP2POT012 化学平台及加热到177℃。

作者简介:

丁斌(1989—),男,汉族,浙江省诸暨市人,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。