

岭澳二期 RIS 浓硼回路再循环泵切换方式优化研究

高波涛

大亚湾核电运营管理有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i1.11424

[摘要] 岭澳二期RIS浓硼回路循环泵日常运行期间保持1台运行1台备用,通过T*RIS004定期试验来完成定期切换,每六个月执行一次。切换后备用泵进出口阀门关闭、使用SED水对泵内浓硼进行冲洗置换、备用泵电源拉出、化学对RIS浓硼回路取样分析、跟踪一天备用泵出口压力等,试验耗费大量人力和产生大量工艺废水,同时过多的操作历史上出现多次人因失误(如L-IOER-2-20060009),存在优化空间。本文通过多角度研究、分析和论证,对岭澳二期浓硼回路再循环泵切换方式进行优化改进,取得很好的收益。

[关键词] 浓硼回路; 硼结晶; 再循环

中图分类号: TQ128+.1 **文献标识码:** A

Optimization Research on Switching Mode of Recirculation Pump in Concentrated Boron Circuit of Lingao Phase II RIS

Botao Gao

Daya Bay Nuclear Power Operations and management Company

[Abstract] During the daily operation of Lingao Phase II RIS concentrated boron circuit circulation pumps, one pump is kept in operation and one is in standby. Regular switching is completed through the T*RIS004 regular test and is executed once every six months. After switching, the inlet and outlet valves of the standby pump are closed, SED water is used to flush and replace the concentrated boron in the pump, the power supply of the standby pump is pulled out, the chemistry department samples and analyzes the RIS concentrated boron circuit, and the outlet pressure of the standby pump is tracked for one day. The test consumes a lot of manpower and generates a large amount of process wastewater. At the same time, due to excessive operations, there have been many human errors in history (such as L-IOER-2-20060009), so there is room for optimization. Through multi-angle research, analysis and demonstration, this paper optimizes and improves the switching mode of the recirculation pump of the concentrated boron circuit in Lingao Phase II and achieves good benefits.

[Key words] concentrated boron circuit; boron crystal; recirculation

1 概述

岭澳二期RIS系统浓硼回路为防止硼酸结晶,设计了两台并联的再循环泵RIS021P0/022P0,正常运行时,一台连续运行而另一台备用。泵的定期切换由六个月一次的T*RIS004试验完成。切换后备用泵进出口阀门关闭,备用泵电源拉出,同时为防止硼结晶,需将泵壳及进出口相关管线的浓硼通过SED水进行冲洗置换和保养,同时也产生大量的工艺废水。以上操作下来至少需要耗时约3h,且试验后需跟踪备用泵出口压力一天时间以验证备用泵进出口阀关闭严密。因每次进行硼水置换,为确保RIS浓硼回路硼浓度满足7000-9000ppm的要求,每次切换试验后都需要化学配合取样,试验耗费大量人力和放射性废水。为了减少现场工作负担、工艺废水产量、化学配合取样及降低备用泵冲洗期间

人因操作不当导致备用泵运行异常损坏等风险,对岭澳二期浓硼回路再循环泵切换方式进行分析研究。经分析最终通过取消T*RIS004试验,通过定期切换表方式跟踪泵的定期切换。优化后备用泵的冷备用状态修改为热备用状态,即泵进出口阀开启,电源开关保持送电不改变,取消SED置换冲洗和保养操作,优化后切换时间缩短至5min左右,大幅节省人力同时,也减少化学取样和工艺废水排放。

2 优化可能带来的风险分析

2.1 硼结晶风险

2.1.1 备用泵及相关管线硼结晶风险

优化前的做法是:以RIS021P0备用为例,RIS021P0停运后,断开RIS021P0电源,关闭RIS211VP和RIS203VP,开启RIS221VP和

RIS218VP, 用SED水对RIS021P0泵壳及RIS211VP至RIS203VP之间的管线进行冲洗, 置换浓度较高的硼酸水, 冲洗后关闭RIS218VP和RIS221VP, 确保RIS211VP至RIS203VP之间的管线充满SED水进行保养, 同时通过RRB加热系统连续加热保温。以上操作的主要目的是防止RIS021P0备用情况下高浓度的硼酸溶液结晶, 避免影响RIS021P0备用泵的备用功能^[1]。

优化后备用泵及前后管线取消SED置换冲洗和保养, 改为热备用状态(即前后隔离阀保持开启, 泵电源保持合闸), 备用泵及相关管线是否可能存在硼结晶风险? 分析的关键点为热备用时备用泵RIS021P0或RIS022P0本体及所在管线温度是否会降低至最大硼浓度9000ppm所对应的结晶温度的问题。

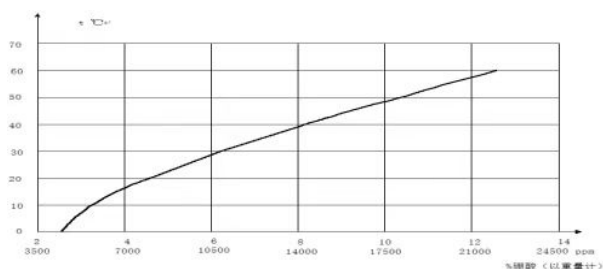


图1 硼酸溶液结晶温度曲线

图1是不同浓度的硼酸溶液对应的结晶温度曲线, 从图中可以看出, RIS浓硼回路最大硼浓度9000ppm时对应结晶温度约为24℃。

(1) 备用泵是否存在硼结晶的风险分析: 正常备用情况下泵本体的保温, 设计上通过保温箱及其RRB控制系统(温度传感器1/2)保证泵本体的温度在40℃以上, RRB加热器有两路, 一路为正常加热器, 启停定值为45℃和50℃, 另一路是应急加热器, 在正常加热器故障的情况下, 由应急加热器控制柜控制应急加热器的启停, 应急加热器的启停定值为40℃和45℃, 冗余的设计保证备用泵温度不低于40℃。

另外通过调取3RIS022P0和4RIS021P0备用时主控实际的温度趋势来看(未优化前备用泵充满SED水, 泵进出口阀保持关闭的情况下, 热传导的性能更低), 其温度趋势均在50℃左右, 泵出口管线通过RRB加热, 可判断备用泵的整体温度基本上保持在50℃以上, 不存在低温区域, 不存在泵结晶风险。

(2) 备用泵进出口管线是否存在硼结晶的风险分析: 根据系统流程及RRB加热图分析: RRB007/008/016/045MT用于RIS021P0回路RIS211VP至RIS203VP之间管段的RRB温度监测; RRB009/010/012/044MT用于RIS022P0回路RIS212VP至RIS204VP之间管段的RRB温度监测。

通过查询的3/4RRB历史趋势来看, 当前状态下备用回路为SED水时温度趋势最低温度为42℃, 最低温度仍远远高于9000ppm硼酸溶液所对应的结晶温度(24℃)。RIS浓硼回路EOMM手册中明确RRB加热器设计在环境温度为7℃, 可维持设备温度在50℃。

通过以上分析, 优化后, 当备用泵及相关管道为7000~9000ppm硼酸溶液时, 回路最低温度为42℃, 不存在硼结晶风险。

2.2 RIS浓硼回路硼超标风险

日常期间安排有T*RPA/B010定期试验用于检验A/B列安注A1/B1组信号出现时相关阀门和泵正常动作, 试验期间RIS相关阀门开启将导致少量一回路低的硼酸溶液进入RIS浓硼回路, 试验周期为1个月, 一个燃料循环共需执行约20次试验, 试验后RIS021BA水位将上涨约12cm, 通过打开RIS021BA盖板进行蒸发(以降低RIS021BA水位, 避免硼酸罐溢流), T*RPA/B010试验后RIS浓硼回路硼浓度会有所上升; 大修后RIS浓硼回路配置初始硼浓度约8000ppm, 大修后首次临界后一回路初始硼浓度约1400ppm, 寿期末硼浓度接近0ppm, 计算整个循环中浓硼回路硼浓度随着试验的执行, 硼浓度逐渐上升, 寿期初上涨速率快, 随着燃耗加深浓硼回路硼浓度上涨速率变慢, 总共最大硼浓度上涨约166ppm, 大修后初始硼浓度设置约为8000ppm, 即寿期末RIS浓硼回路硼浓度约8166ppm, 整个循环浓硼回路硼浓度无需干预^[2]。

整个循环浓硼回路硼浓度上涨量计算过程:

(1) 查询EOMM手册, RIS021BA的内径为700mm, 每次做完试验RIS021BA液位上涨约0.12m, 计算得出每次试验结束后一回路水进入RIS021BA体积约为:

$$V1 = \pi r^2 h = 3.14 \times (0.35)^2 \times 0.12 = 0.0462 \text{ m}^3$$

(2) 浓硼回路硼酸总体积=RIS021BA的有效容积为0.45m³+RIS004BA有效容积为3.4m³+管道体积, 通过查询等轴图及现场布置管道直径为60.3mm的长度约为6.7m, 管道直径为33.4mm的管道长度约26m, 计算管道体积约为0.168m³, 粗略计算, 所循环的水的体积约为4.018m³。

(3) 3号机组寿期初硼浓度为1400ppm, 寿期末硼浓度约0ppm, 以RIS021BA初始硼浓度约8000ppm、整个寿期试验次数为20次计算, 一回路进入RIS021BA硼浓度取平均=700ppm计算, 最终粗略计算硼浓度上涨约166ppm, 最终RIS021BA内硼浓度约为8166ppm, 不会上涨至9000ppm。

通过以上分析和运行数据证明, 两个机组优化后执行RPR010试验一个循环浓硼回路的硼浓度趋势可控, 不存在硼浓度超标风险。

2.3 备用泵误自启动及两台硼酸泵同时运行对泵及系统设备造成影响风险

RIS021/022P0启停仅通过就地按钮CC来实现, 无DCS相关信号接入, 因此不存在误自启动风险。安注信号仅触发RIS206/208/209VP关闭, 阀门关闭后RIS021/022P0通过小流量管线继续运行。

启停控制上若操作失误可能导致两台泵同时运行, 执行T*RIS004试验期间, 泵在短时间内会同运行, 对泵及设备无影响, 另外从泵的特性曲线也可确认泵在短时间内双泵运行不会造成影响^[3]。

2.4 RIS浓硼回路RRB相关加热器检修对备用泵回路的影响
经查维修大纲, RRB相关检修周期为1C或1Y每次检修时间均在大修停运窗口执行。即使日常时间执行, 可将备用泵回路通过

SED水置换形式或切换至备用泵运行方式保证不硼结晶的情况下进行RRB相关工作检修,因此对浓硼结晶问题可控。

2.5 RIS浓硼回路RRB相关ST/MT检修对备用泵回路的影响

经查维修大纲,RIS浓硼回路RRB相关ST/MT维修大纲无要求,仅在出现异常情况下进行纠正性维修。即使日常期间出现相关ST故障需处理,可将备用泵回路通过SED水置换形式或切换至备用泵运行方式保证不硼结晶的情况下进行RRB相关工作检修,因此对浓硼结晶问题可控。

2.6 RIS021/022P0维修大纲超期风险

经查询维修大纲,岭澳二期RIS021/022P0的检修周期为4C,检修内容为解体检修,均安排在大修浓硼回路排空窗口执行,对定期维护计划无影响。

2.7优化后T*RIS004试验取消违反管理要求风险

查询岭澳二期T*RIS004试验为非GOR相关试验,取消后,由定期切换表跟踪切换,不会对系统的运行带来额外风险;由试验改为定期切换后,从保护设备的角度出发,转机和电气专业建议将泵的切换周期由原来的6个月改为3个月,对设备的运行无影响,两方面分析,优化后T*RIS004试验取消,不存在违反管理要求风险。

2.8取消备用泵SED水置换和保养方式带来不利影响

取消备用泵SED水置换和保养方式,在遇到异常情况下需要进行备用泵用SED水置换和保养方式时,存在无程序可执行的情况。针对该问题,专门编写《RIS021P0切换到RIS022P0运行(备

用泵采用SED水保养)》及《RIS022P0切换到3RIS021P0运行(备用泵采用SED水保养)》专项操作单并上传文档系统,可随时调用,解决后顾之忧。

3 结语

根据以上多个方面的分析,T*RIS004试验取消后,将备用泵由冷备用状态修改为热备用状态,即泵进出口阀开启,电源正常在线,不会导致备用泵及相关管线出现硼结晶风险,由定期切换表跟踪切换,不会对系统的运行带来额外风险。同时经过优化后泵切换时间由1天多缩短至5min,大幅度缩短泵切换的工作时间,大大减少运行人员的工作量,有更多的时间查缺开展其他工作,提升本质核安全;取消SED冲洗及保养,将大大减少工艺废水的产生,具有较好的环保价值。目前该方案已在机组上推行,运行效果良好,有非常高的推广价值。

[参考文献]

[1]高璞珍.核动力装置用泵[M].哈尔滨工程大学出版社,2004.

[2]王琳,任云.富集硼酸在压水堆一回路化学中的应用研究[J].核科学与工程,2013,33(1):43-49.

[3]朱继洲.压水堆核电厂的运行核电厂[M].北京:原子能出版社,2000(22):51-55.

作者简介:

高波涛(1980--),男,汉族,河南省南阳市人,工程师,大学本科,研究方向:核电运行管理。