

文章编号：0258-0926(2015)03-0088-02; doi: 10.13832/j. jnpe. 2015.03.0088

RRA 入口隔离阀控制逻辑改进分析

方华松，刘士立，张锦飞，李建文

苏州热工研究院有限公司，江苏苏州，215004

摘要：针对大亚湾核电站原始设计中反应堆余热排出系统（RRA）的入口隔离阀控制逻辑的设计不满足单一故障的情况，提出增加 2 台压力变送器的改进方案。通过定量化计算，评价改进方案对 RRA 及机组堆芯损坏的影响。

关键词：反应堆余热排出系统；入口隔离阀控制逻辑改进；可靠性分析

中图分类号：TL353+.11 文献标志码：A

Analysis and Improvement of Control Logic for Entrance Isolation Valve in RRA System

Fang Huasong, Liu Shili, Zhang Jinfei, Li Jianwen

Suzhou Nuclear Power Institute Co.,LTD., Suzhou, Jiangsu, 215004, China

Abstract: Because of the origin design for control logic of entrance isolation valve in RRA system was not conform to the single failure criterion, the improvement scheme, which would be added two sets of pressure transmitter, has been raised. The effect of RRA system and the damage of reactor core have been evaluated through quantitative calculation about the scheme of the modification.

Key words: RRA, Entrance isolation valve control logic improvement, Reliability analysis

0 概述

在核电厂中，反应堆余热排出系统（RRA）的主要功能为：小破口失水事故发生后，当 RRA 投入条件具备后，RRA 或安全壳喷淋系统（EAS）之一必须能工作以便排走余热；蒸汽发生器传热管破损事故（SGTR）发生后，如果没有隔离事故蒸汽发生器，则需要投入 RRA，以平衡一、二回路之间的压力，若 RRA 不能投入且代替手段也不能发挥功能，堆芯将损坏。

依据核安全导则 HAD102/08《核电厂反应堆冷却剂系统及其有关系统》^[1]的要求：执行余热排出功能的系统应符合单一故障准则，而大亚湾核电站 RRA 中入口隔离逻辑的设计不满足这一要求。基于此情况，对 RRA 入口隔离逻辑进行改进设计，并对实施改进方案的可行性进行分析，对可靠性进行评价。

1 原始设计分析

1.1 原始设计描述

RRA 入口隔离阀控制逻辑如图 1 所示。

大亚湾核电站 RRA 通过冗余的 2 条管线（A、B 列）与反应堆冷却剂系统连接，每条管线上各有 2 个电动隔离阀（其中，RCP212VP 和

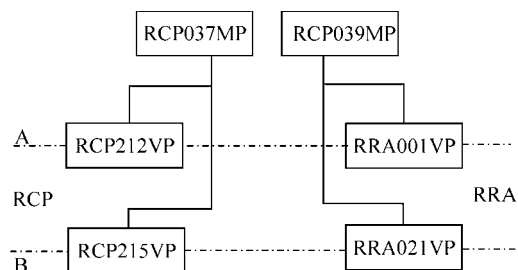


图 1 RRA 入口隔离阀控制逻辑图

Fig. 1 Control Logic Diagram for Entrance Isolation Valve in RRA

RCP—反应堆冷却剂系统

收稿日期：2014-07-08；修回日期：2015-03-10

作者简介：方华松（1982—），男，高级工程师，现从事系统及设备评估方面的工作

RRA001VP 为 A 列，RCP215VP 和 RRA021VP 为 B 列)。4 个阀门通过自动闭锁信号两两联锁，以防止误开，其中电动隔离阀 RCP212VP 与 RCP215VP 联锁，自动闭锁信号由压力传感器 RCP037MP 发出，RRA001VP 与 RRA021VP 联锁，自动闭锁信号由压力传感器 RCP039MP 发出。

1.2 安全分析

RCP212/215VP 阀门为反应堆冷却剂系统 (RCP) 与 RRA 之间第 1 隔离阀，其故障可能影响到一回路压力边界的完整性和 RRA 的正常运行，这 2 个阀门都由 RCP037MP 进行控制。RRA001/021VP 阀门为 RCP 与 RRA 之间连接管线上的第 2 隔离阀，其故障可能影响 RRA 的正常运行，这 2 个阀门都由 RCP039MP 进行控制。由于不同列的 2 个隔离阀共用同一个压力变送器，若一个压力变送器出现故障（如 RCP037MP），将导致两列的入口隔离阀（如 RCP212VP/215VP）同时开启失效，RRA 无法投运，不满足单一故障准则。

2 改进方案

针对 RRA 入口隔离阀控制逻辑不满足单一故障准则的情况，采用增加 2 个压力变送器的方式予以改进，具体改进方案如下：

在 RRA 系统入口管线上增设 2 个压力变送器 RCP137MP 和 RCP139MP，其引压管分别从原来的 RCP037MP 和 RCP039MP 的根阀后引出。增设的 2 个压力变送器 RCP137MP/139MP 和 RCP037MP/039MP 一起共 4 个压力变送器分别控制 4 台电动隔离阀，其中 RRA 入口隔离阀 RCP212VP、RRA001VP 为 A 列电源供电，RCP215VP、RRA021VP 为 B 列电源供电。且从每根引压管的 2 个压力信号分别送往 A 列和 B 列的阀门进行联锁控制。改进后 RRA 入口隔离阀控制逻辑，如图 2 所示。

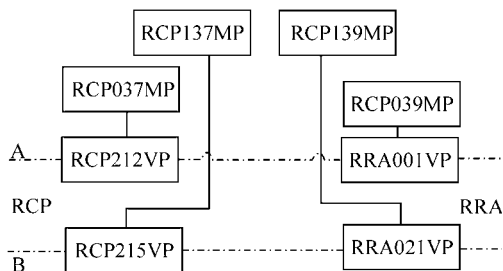


图 2 改进后 RRA 入口隔离阀控制逻辑图

Fig. 2 Improved Control Logic Diagram for Entrance Isolation Valve in RRA

可以看出：无论是 RCP 与 RRA 之间的第 1 隔离阀 RCP212/215VP，还是第 2 隔离阀 RRA001/021VP 均实现了由单独的压力变送器进行控制，无论哪台压力变送器故障，仅将导致其所在 1 列失效，满足单一故障准则的要求，可在任何 1 个压力变送器出现故障的情况下，在主控室实现 RRA 的投入。

3 改进影响分析

3.1 对 RRA 系统可靠性的影响

如图 1、图 2 所示，本项改进前后最大的区别在于：改进前，A 列隔离阀和 B 列隔离阀均由 RCP037MP/039MP 闭锁控制；改进后，A 列隔离阀仍由 RCP037MP/039MP 闭锁控制，B 列隔离阀由 RCP137MP/139MP 闭锁控制。

分别考虑有无新增 2 个压力变送器的情况，利用故障树分析 (FTA) 的方法^[2]，建立 RRA 失效故障树，并通过量化计算，得出改进前 RRA 失效概率为 1.85×10^{-2} ，改进后为 7.69×10^{-3} ，其变化量为 1.08×10^{-2} 。改进后失效概率降低 58.4%，提高了 RRA 的可靠性。

3.2 对堆芯的影响

改进所涉及部分对堆芯损坏频率 (CDF) 的影响体现在事件树题头事件“余热排出系统两列全部失效”中，该题头事件涉及多个事件树。通过量化计算可得到改进前后 CDF、放射性大量释放频率 (LERF) 变化量分别为 6.00×10^{-7} /堆年、 5.70×10^{-7} /堆年。

考虑改进项后，CDF 值由 1.71×10^{-5} /堆年降低至 1.65×10^{-5} /堆年，降低 3.5%；LERF 值由 2.74×10^{-6} /堆年降低至 2.17×10^{-6} /堆年，降低 20.8%，降低了 CDF。

4 结论

通过对原始设计进行详细分析，发现 RRA 入口隔离阀控制逻辑存在不满足单一故障准则，并提出增设 2 台压力变送器的改进建议。通过对改进方案进行详细分析得出，改进方案满足单一故障准则的要求，并使 RRA 失效概率大幅降低，提高了 RRA 的可靠性。此外，CDF 和 LERF 也有所降低，对机组安全有积极的贡献。

参考文献：

[1] HAD102-08 核电厂反应堆冷却剂系统及其有关系统 [S].1989.

(责任编辑：张祚豪)