压水堆核电站电动主给水泵出口压力低低跳泵逻辑优化改进

Improvement of trip logic at discharge pressure low low for motor-driven feedwater pump system in PWR

牛云 杨林山

Yun Niu LinShan Yang

中广核研究院有限公司 中国·广东 深圳 518124

China Guangdong Nuclear Research Institute Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong. 518124, China

摘要: 针对压水堆核电站压力泵在最小转速以下并叠加出口压力低低的故障工况下不能自动跳泵及联启备用泵问题, 本文介绍了一种优化跳泵允许条件的改进方法, 仅需通过修改 DCS 组态即可实现异常运行工况下自动跳泵及联启备用泵的功能。

Abstract: This paper introduces an improvement of trip logic for motor-driven feedwater pump system in PWR, in allusion to cannot trip the running pump and start up the standby pump automatically under the failure condition of lower than the minimum speed and lower discharge pressure. The function can be realized under abnormal operation conditions only by modifying DCS configuration.

关键词: 出口压力低低; SR 触发器; 跳泵

Key words: discharge pressure low low; SR flip-flop; trip pump ;

DOI: 10.36012/etr.v2i9.2662

0 引言

国内压水堆核电站的电动主给水泵系统(以下简称 APA 系统)逻辑设计基本一致, 均存在运行泵处于最小转速以下并叠加泵出口压力低低的异常工况下不能自动跳泵及联启备用泵的问题。若未及时启动备用泵, 蒸发器水位会持续下降直至触发低水位停堆, 严重影响 APA 系统给水稳定性及机组运行的安全水平。为解决该安全隐患, 本文详述了一种仅需修改 DCS 组态的改进方法, 可适用于压力泵各种运行工况。

1 技术背景

1.1 故障问题

2018 年 2 月 19 日 01:40 分, 某压水堆核电站 1 号机组在满功率运行过程中, 因 APA 系统匀管位置传感器故障, 导致匀管自动恢复到最小位置, APA102PO 压力泵在 7 秒钟内转速由 4500rpm 突降至 786rpm, 出口压力也由 76.4bar.g 下降至 31.3bar.g (压力降至 35bar.g 前, 转速已低于 3950rpm), 蒸发器水位最低降到 -1.063m, 堆芯热功率短

时达到 102.09%FP。为维持蒸发器水位, 主控操作员紧急手动启动备用泵, 并降低电功率。备用泵启动后, 蒸发器水位恢复稳定, 功率也回升至满功率。

上述 APA 压力泵转速突变事件发生时出口压力虽然低于泵出口压力低低跳泵定值 35bar.g, 但未触发出口压力低低报警与跳泵信号, 也未联启备用泵。经核实, 发现该核电站 APA 系统压力泵出口压力低低跳泵及联启备用泵的逻辑存在缺陷: 在压力泵转速低于 3950rpm 并叠加泵出口压力低低的故障工况下不能产生跳泵与联启备用泵信号。目前多基地电站均存类似逻辑缺陷。

1.2 缺陷原因

多基地压水堆核电站现有 APA 系统泵出口压力低低跳泵逻辑如下图 1 所示, 跳泵及联启备用泵逻辑需要同时满足以下三个条件^[1]:

- ① APA 系统压力泵出口压力低低 < 35bar.g ;
- ② APA 系统压力泵实际转速 > 3950rpm (最小转速);
- ③ 电机处运行状态 ;

【作者简介】 牛云 (1984~), 女, 江西九江人, 仪控工程师, = 从事核电站热工仪表控制自动化方面的研究。

性及运行的安全水平。

2.1 逻辑优化

置位端 S 保留了原有的跳泵允许条件：泵运行并且转速 $> 3950\text{rpm}$ 持续 20S，且置位端 S 优先；

压力低低阶段避免产生跳泵及联启信号。

改造后, 正常工况下压力泵转速 > 3950rpm, 在持续 20S 后置位端 S 为 1 并保持 (S=1, R=0, 输出为 1), 若泵出口压力 < 35bar.g, 可以正常跳泵及联启备用泵, 与改进

前一致。若压力泵由正常转速突降 $< 3950\text{rpm}$ ，置位端 S 由 1 变为 0，复位端 R 也为 0 ($S=0, R=0$ ，输出仍为 1)，若泵出口压力 $< 35\text{bar.g}$ ，APA 系统也可以正常跳泵及联启备用泵，较改进前优化。同步修改 APA 系统泵出口压力低低报警逻辑，保证在泵转速 $< 3950\text{rpm}$ 的出口压力低低异常工况下，报警信号也能及时触发。

在跳泵信号产生后，复位信号“泵停运反馈 CH1/CH2”会立刻为 1，SR 触发器的输出被复位为 0，跳泵及联启备用泵信号会立刻由 1 变为 0。为确保备用泵的可靠启动，增加 2S 后延时，使跳泵及联启备用泵信号延长 2S 后由 1 变为 0。

2.2 工艺分析

某核电站单台 APA 系统压力泵在机组运行过程中，主要有下述五种工况，结合上述 SR 触发器功能特性，具体分析如下：

正常启动工况：主要分为冷态启动、热态启动、备用状态的自动启动方式。自动启动方式在保护联启工况下介绍。APA 系统泵在启动之前，“泵停运反馈”信号为 1，“泵运行”信号为 0，SR 触发器在复位状态。在启动过程中，APA 系统泵主要为手动控制，且置位端 S 优先，故在泵出口压力低低时，也不会启动备用泵，与改进前保持一致。

正常运行工况：APA 系统泵自动跟踪主给水流量控制系统给出的转速信号，其转速 $> 3950\text{rpm}$ ，无论转速控制系统处于手动模式还是自动模式，S 端均为 1，若此时出口压力 $< 35\text{bar.g}$ ，可跳泵及联启备用泵，此工况与改进前一致。

异常运行工况：这里主要是指 APA 系统泵在正常运行期间转速异常下降的工况，如上述异常事件。转速异常导致

出口压力低低，未联启备用泵导致机组超功率。新增 SR 触发器，转速降低导致置位端 S 由 1 变为 0，复位端 R 未置 1，SR 触发器输出自保持为 1。改进后则可产生自动跳泵及联启备用泵行，该项属于改进优化内容。

停运工况：第一种是正常停运，将 APA 系统泵从工作转速降至 3950rpm 以下，然后停运电机；另一种是紧急停运，不管 APA 系统泵处于哪种状态，直接按跳泵按钮实现泵的紧急停运。在第一种停运方式中，转速降至 3950rpm 以下停运电机，可在泵出口压力低低信号到来之前复位 SR 触发器输出端，闭锁压力低低保护跳泵及联启备用泵逻辑。第二种停运方式下，泵的停运信号同样会在压力低低信号到来之前闭锁跳泵逻辑，不会联启备用泵。此工况与改进前一致。

保护跳泵及联启备用泵工况：这里主要是指运行泵保护跳泵及联启备用泵的情况，当运行泵故障或保护跳泵信号到达时，会触发保护跳泵及自动联启备用泵逻辑。该方案不影响除出口压力低低保护信号外其他轴承温度高等保护信号参与的保护跳泵及联启备用泵条件。

3 结论

本文详述的电动主给水泵系统保护跳泵的改进方案仅需修改 DCS 组态，即可实现压力泵转速突降至最小转速以下且出口压力低低的跳泵与备用泵启动问题，可以减少蒸发器水位波动和减少对机组的扰动，提高了二回路给水稳定性及机组运行安全水平，均有良好的示范意义和推广价值。

参考文献

- [1] 大亚湾核电站运营管理有限公司. 大亚湾核电站 APA 系统设计手册 [R]. 深圳：大亚湾核电站运营管理有限公司 2009.