

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2015.09.022

CPR1000 项目反应堆保护系统首出功能优化研究

史红亮,姚兴瑞,王永新,孙明军

(辽宁红沿河核电有限公司,辽宁 大连 116001)

摘要:针对红沿河核电站反应堆在启堆过程中,首出功能在特定阶段(启堆后到汽轮机挂闸前)不可用的问题,对首出功能的设计目的、实现方案、判定原则以及核电站启动过程工艺系统的状态等方面进行了研究,对该特定阶段的机组状态进行了分析,根据堆跳机的保护逻辑以及机组启动过程中工艺系统的实际状态,提出了基于当前机组状态下首出功能的优化方案。研究表明,该优化方案能够更好地反映机组在启动过程中的实际需求,从根本上解决了核电站在启动过程中(尤其是启堆到汽轮机挂闸前的阶段)首出功能不可用的问题,提高了首出功能的可用率。

关键词:核电站;CPR1000 项目;首出功能;优化

中图分类号:TM613

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2015)09-1250-04

First-fault function optimization and implementation in reactor protection system of CPR1000 project

SHI Hong-liang, YAO Xing-rui, WANG Yong-xin, SUN Ming-jun

(Liaoning Hongyanhe Nuclear Power Co., Ltd., Dalian 11601, China)

Abstract: Aiming at the problem that the first-out function was not available in particular stage (From the reactor starting to the turbine is latched), when Hongyanhe nuclear power plant reactor in the starting progress, the design purposes, implementation scheme, judgment principles of first-out function and the process of system state when the nuclear power plant is starting, were researched. Through the research about the particular stage of the reactor crew, according to the logic of reactor protection and the actual state of progress system startup, optimization scheme was proposed based on the current state of the first-out functional. The results indicate that the optimization scheme can reflect the real demand of the unit when it is starting up, and solve the problem that the first-out function is not available in particular stage (especially the start-up of the reactor to the turbine latched), improve the availability of the first-out function.

Key words: nuclear power plant; CPR100 project; first-fault function; optimization

0 引 言

CPR1000 是中国广核集团推出的中国改进型百万千瓦级(1 000 MW)压水堆核电技术方案。它是在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,结合 20 多年来的渐进式改进和自主创新形成的“二代加”百万千瓦级压水堆核电技术。该技术源于法国的百万千瓦级堆型——M310 堆型,大亚湾核电站采用的即 M310 堆型。岭澳一期核电站以大亚湾核电站为参考核电站,

维持热功率和其他主要参数不变,结合经验反馈和核安全技术发展要求,通过 37 项技术改进,进一步提高了电站安全水平和技术经济性能,使总体性能达到了国际同类型在役核电站的先进水平^[1]。红沿河核电站是以大亚湾和岭澳一期核电站为参考基础,为进一步满足新版核安全法规的要求,相应地采纳了一些新技术,如 DCS 控制系统等。在后续项目中,CPR1000 方案仍将结合经验反馈,陆续采用新技术,使其安全性和经济性进一步提高。

收稿日期:2014-12-19

作者简介:史红亮(1981-),男,吉林松原人,工程师,主要从事安全级 DCS 及反应堆保护控制系统相关方面的研究。E-mail:shihongliang@cgnpcc.com.cn

红沿河核电站的首出功能是参照岭澳二期电站设计的,在 CPR1000 项目中具有典型性。其他核电站,如宁德核电站、阳江核电站的首出设计与红沿河基本相同。通过研究红沿河首出逻辑的问题并进行适当优化,对于其他在建电站有一定的借鉴意义。

本研究对红沿河核电站 CPR1000 项目反应堆保护系统首出动能的设计目的、实现方案、判定原则以及核电站启动过程工艺系统的状态等进行研究。

1 红沿河核电站首出简介

核电站是以核反应堆来代替火电站的锅炉，以核燃料在核反应堆中发生特殊形式的“燃烧”产生热量再加热水使之变成蒸汽。蒸汽通过管路进入汽轮机，推动汽轮发电机组发电，最终将电能通过电网送至用户。在核电站启动的初期与常规火电有着较大的区别，反应堆从启动到满足汽轮发电机组发电的条件前，需要经过一系列的状态转换，此时反应堆保护功能已经投运，相关的辅助功能也应该保持可用，以保证反应堆的安全。

1.1 首出功能的概况

红沿河核电站 DCS 采用了 MELTAC(安全级) + HOLLIAS(非安全级)相结合的控制系统(结构简图如图 1 所示),进一步引入和开发面向状态的诊断技术、智能化报警技术、数据库技术、符合人因工程要求的人机界面、先进的主控室等现代技术^[2]。

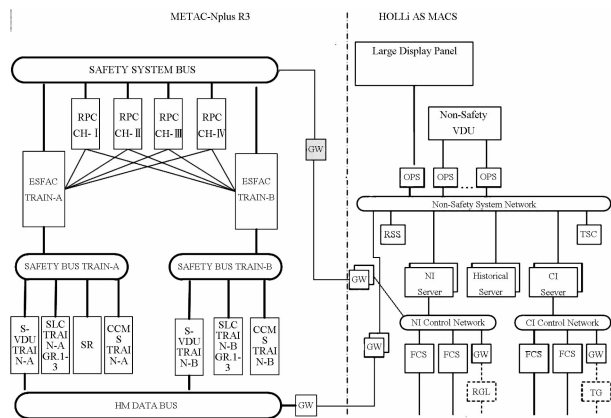


图 1 DCS 结构简图

首出报警功能作为 CP1000 项目中一个重要技术组成部分,用于识别导致反应堆保护动作的初始故障原因,并将反应堆保护系统相关的安全动作的重要信息都集中在一幅画面中显示,便于操纵员分析安全动作的原因,有效地提高了操纵员的工作效率,也进一步满足了人因工程的要求^[3]。当事故发生时,系统通过首出画面可以有效地帮助操纵员及时识别事故原因,

并确认安全动作的执行情况,对事故情况下的机组安全起到重要作用。

1.2 首出功能的目的

在核电站运行过程中,当由于某种异常工况导致反应堆保护动作后,操纵员必须确认各安全执行器是否正确动作,确保反应堆处于安全状态。当机组稳定在安全和可控状态时,需要对事故原因进行分析,找出初始原因。但由于事故发生时会导致一系列的设备和报警,很难从这些繁杂和无规律的日志数据中判断初始原因。首出功能的目的即用于识别触发各安全动作的初始原因,同时能确认安全动作的执行情况,为进行事故后快速分析提供必要信息。

1.3 首出功能的实现方法

首出功能的核心是在发生保护动作的情况下,能够准确地识别出触发该动作的初始原因。当在短时间内有不同的事件触发同一安全动作时,系统应有足够的辨别方案和分辨率精度识别出不同事件发生的先后顺序^[4]。

根据首出原因触发及处理的路径不同,产生安全动作的首出原因信号大致分为两类:

(1)通过 GWP 判断首出(示意图如图 2 所示)。

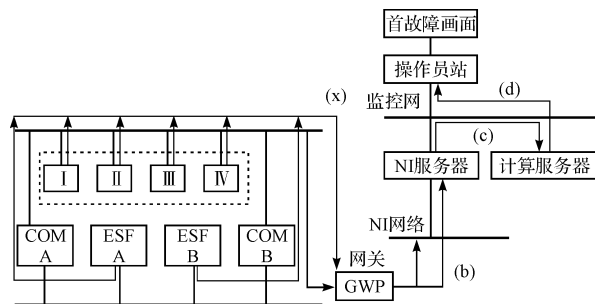


图2 通过GWP判断首出示意图

安全动作的原因信号由安全级设备产生^[5],在GWP网关中判断是否为首故障和首报警信号,通过以下路径完成首出信息的提示功能:

路径(x):由安全级设备 RPC(反应堆保护机柜)或 ESF(专设安全机柜)产生,通过安全系统总线(Safety System Bus)传递到网关中。

路径(b):原因信号在 GWP 网关中判断是否为首故障,若为首故障则在网关中打上时间标签为首故障和首报警显示做准备,并通过 NI 网络将首故障信息传递到 NI 服务器中。

路径(c):首故障信息在 NI 服务器中通过监控网传递到计算服务器中。

路径(d):计算服务器按照一定的规则对所有的
首故障信息进行管理,并把首故障信息通过网络传递

到 OPS 中进行显示^[6]。

(2)不通过 GWP 判断首出(示意图如图 3 所示)。

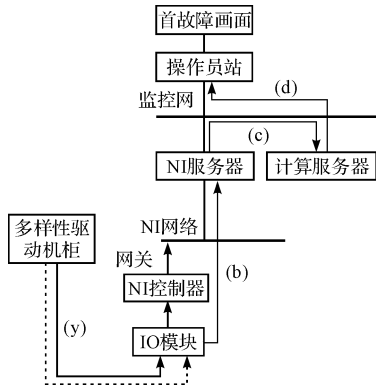


图 3 不经过 GWP 的路径示意图

原因信号由非安全级设备产生(如 ATWT 保护信号^[7]),通过硬接线传递到 NI 服务器中,在 NI 服务器中判断是否为首故障信号,通过该路径传输的首故障信号也将无条件地作为首故障原因信号在 NC-VDU 中显示。

路径(y):非安全级设备探测到首故障原因信号通过硬接线的方式将该信号传递到 NI 控制器中。

路径(b):通过 NI 控制器及 NI 网络传递到 NI 服务器中,并在 NI 服务器中进行首故障判断。

路径(c):首故障信息在 NI 服务器中通过网络传递到计算服务器中。

路径(d):计算服务器按照一定的规则对所有的首故障信息进行管理,并把首故障信息通过网络传递到 OPS 首故障画面中进行显示,通过该路径传输的首故障将无条件地作为首故障,在首故障画面中显示。

1.4 首出判定原则

当反应堆保护系统动作时,会触发保护相关报警,首出功能通过识别相应的报警并根据逻辑方程完成首出原因的判断,并送到操作员站进行显示。当系统检测到任一保护动作原因或者安全动作触发为“1”时,首出功能开始处理,同时操作员站画面上的首出画面激活。当最后一个安全动作消失后 300 ms 或者未触发安全动作,但触发原因消失 3 min 后,本轮首出结束,相关逻辑自动复位当首出复位的两个条件都不满足时,则本轮首出一直处于运行状态,相同的安全动作将不再记录其首出原因^[4]。

2 首出优化方案

2.1 首出问题分析

红沿河核电站 1 号机组处于汽轮机冲转前零功率

平台,汽机处于未挂闸状态,仪表人员调试期间,检查首出报警信号时候,发现报警逻辑采用汽轮机停机反馈信号存在首出报警盲区,经过与设计人员沟通,分析认为 GWP 采集到首出功能中原汽轮机跳机命令报警 XRPA/B678KS 一直为“1”状态(示意图如图 4 所示),导致本轮首出故障逻辑一直处于运行状态,无法结束。

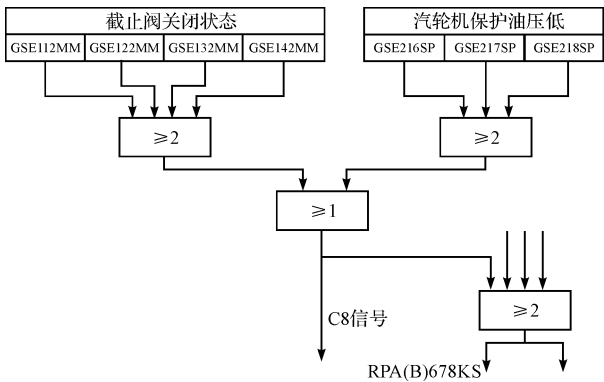


图 4 跳堆前 XRPA/B678KS 一直为“1”状态示意图

对应逻辑方程如下:

表 1 修改前首出触发逻辑

Safety action	Order	
	Train A	Train B
TURBINE TRIP T. TRIP	XRPA678KS = 1	XRPB678KS = 1

在以上情况下,安全动作“跳堆”的首出故障只能识别一次,之后所有导致“跳堆”的故障信息都将被认为非首出故障而不被记录,包括复位跳堆命令之后再再次导致跳堆的故障。根据首出结束条件——“当安全动作命令信号消失后 300 ms 或当只出现故障原因但没有触发相应安全动作情况 3 min 后,本轮首出故障处理将结束”,由于机组启动的过程中,汽机挂闸操作晚于反应堆启动,导致首出功能处于上一运行状态且无法复位,在机组启动初期功能处于不可用状态,无法记录跳堆相关的安全动作^[8]。

2.2 首出优化方案

根据以上分析,本研究初步得出以下结论:在修改前的逻辑中,采集 XRPA/B678KS 信号作为 T. TRIP 保护的触发原因,该信号为汽轮机跳闸后的状态反馈信号,用于判断跳机保护的首出,但由于在机组启动过程中,汽机合闸时间相对于反应堆启动时间滞后较多,导致无法满足首出复位条件,首出功能不可用。

为使首出功能在反应堆启动阶段保持可用,需对首出逻辑进行优化。根据反应堆保护逻辑,堆跳机信号是在 XRPA/B812EY 处形成,将该信号作为首出识别的原因信号可以正确地反映保护动作的原因,且在机组启动过程中满足首出复位的条件,保证首出功能的可

用^[9]。最终笔者将首出原因修改为 NOT(XRPA812EY), XRPR236KS, NOT(XR PB812EY), 分别对应 P4A/ ATWT/P4B 产生的跳机动作命令, 对应逻辑如图 5 所示。

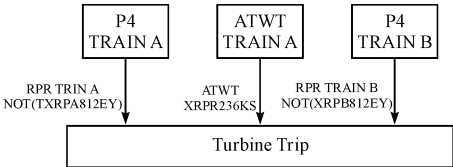


图 5 修改后的 T. TRIP 命令采集信息

修改后的逻辑方程表述如表 2 所示。即: 仅当 RPS 产生的跳机保护动作时, 才会触发 T. TRIP 首出报警。

表 2 修改后首出触发逻辑

Safety action		Order	
		Train A	Train B
TURBINE TRIP	T. TRIP	NOT(XRPA812EY)	NOT
		+ XRPR236KS	(XRPB812EY)

优化方案实施后, 本研究通过现场模拟试验的方法对修改结果进行了验证, 即验证条件: 反应堆断路器已合闸, 但汽轮机处于跳闸状态, 即机组处于跳机不跳堆状态。此时, 本研究通过操纵员站可以正常复位首出逻辑, 即表示上一轮首出逻辑已正常结束, 首出功能处于正常运行状态。通过模拟反应堆保护动作报警信号, 首出功能正确识别安全动作, 并在操纵员站显示出正确的报警触发原因, 修改结果符合预期^[10-11]。通过此次优化, 可保证首出功能定能正确地判断保护动作原因, 为操纵员第一时间提供可靠信息, 为可能触发的事件调查带来极大的便利。

实践证明, 在后续某机组调试过程中, 曾经发生由于主变跳闸导致失去厂用电的事件, 反应堆控制棒失去驱动电源落入堆底, 迫使反应堆停堆。该事件的机组状态与首出逻辑优化前相似, 由于事件发生时间极短, 且事件发生时主控出现大量异常报警, 对于操作员判断停堆原因带来一定的困难。但是, 此次首出功能正确地采集并判断了跳堆原因, 并在画面上直观地显示出来, 为后续稳定机组状态及事件原因调查提供了便利条件, 加快了跳堆原因调查的进度, 节约了宝贵的时间。

3 结束语

首出功能作为反应堆保护功能的重要补充, 在事

故发生时可以帮助操纵员尽快确定事故原因, 为机组状态控制提供有价值的参考信息。优化前的首出功能仅适用于机组在正常运行期间的需求, 对于机组在启动期间可能发生的保护动作不能很好地实现其功能^[11]。而对于核电站的实际运行来说, 机组在启停机过程中, 操纵员的操作较多、机组状态变化迅速, 发生保护动作的可能性较正常运行要大得多, 此时如果首出功能不可用, 将会严重影响事件原因调查, 并可能间接影响核电站的安全性和经济性。

红沿河核电站通过首出逻辑的优化改造, 有效改善了首出功能在整个电站启停及运行过程中的可用性, 并通过现场试验验证此优化的效果, 为今后可能发生的意外情况提供了多一重的手段, 对于提高电站的安全性和经济性作出了一份贡献。

参考文献 (References):

[1] 中国广东核电集团有限公司. 中国改进型压水堆 CPR1000 简介[J]. 现代电力, 2006, 23(6): 39-41.

[2] 魏海峰. CPR1000 核电厂安全级 DCS 研究[J]. 科技视界, 2012(24): 295-297.

[3] 韦志超, 孙仲华, 张丽华. HMI 系统说明[S]. 北京: 北京广利核系统工程有限公司, 2011.

[4] 吴一谦. 首故障技术规范书[M]. 深圳: 深圳中广核工程设计有限公司, 2011.

[5] 陈 龙. 核电站安全级 DCS 系统网络的基本设计准则[J]. 自动化博览, 2013(1): 78-81.

[6] 王永新, 史红亮, 姚兴瑞, 等. 红沿河核电站安全级 DCS 技术要点分析[J]. 自动化博览, 2014(9): 54-58.

[7] 孙 凯. 核电站安全级 DCS 系统多样性分析[J]. 自动化博览, 2012(5): 62-64.

[8] 苟国楷, 黎国民, 王群峰. 核电站安全分级对 DCS 系统设计影响分析[J]. 核动力工程, 2011(10): 23-28.

[9] 朱 攀. 反应堆保护系统逻辑图[M]. 北京: 中国核动力研究院, 2011.

[10] 刘 玥, 丁长富, 王少华, 等. DCS 安全级仪控平台的分析研究[J]. 自动化博览, 2012(1): 54-60.

[11] 岳翠萍, 唐维庄. 基于时间自校准的多头灌装控制系统[J]. 包装与食品机械, 2014(4): 66-69.

[12] 邹志励, 郭东玲. RPR 标准协议在核电厂安全级 DCS 系统的应用[J]. 机电信息, 2012(18): 172-174.

[编辑: 张 豪]

本文引用格式:
史红亮, 姚兴瑞, 王永新, 等. CPR1000 项目反应堆保护系统首出功能优化研究[J]. 机电工程, 2015, 32(9): 1250 - 1253.
SHI Hong-liang, YAO Xing-rui, WANG Yong-xin, et al. First-fault function optimization and implementation in reactor protection system of CPR1000 project [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2015, 32(9): 1250 - 1253.
《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>