

# CPR1000 核电机组大修报警和核应急报警管理优化

高波涛

大亚湾核电运营管理有限责任公司

DOI:10.12238/pe.v2i4.8396

**[摘要]** CPR1000核电机组在大修期间、异常或事故情况下会产生大量的报警,而这些报警中又包含大量的大修状态报警和可能启动核应急的报警。因在设计之初,由于未考虑通过一种比较直观和快速识别的方式来做指引,而是通过主控操纵员逐一点击每个报警卡进行繁杂的人工识别,从而给核电站操纵员带来极大的不便,甚至有可能因为延迟判断或误判导致异常报警未及时得到响应,会给机组安全或公众安全带来一定的影响,急需找到一种快捷的方式来解决这些难题。

**[关键词]** CPR1000; 大修报警; 应急报警; 后备盘

**中图分类号:** X830.7 **文献标识码:** A

## Optimization of outage alarm and emergency alarm management for CPR1000 Nuclear Power Plant

Botao Gao

Daya Bay Nuclear Power Operations and management Company

**[Abstract]** During the outage period, abnormal or accident situations of CPR1000 nuclear power plant, a large number of alarms will be generated. Among these alarms, there are a large number of overhaul status alarms and emergency alarms that may trigger nuclear emergency responses. At the beginning of the design, since a relatively intuitive and quick identification method for guidance was not considered, operators were required to conduct cumbersome manual identification by clicking on individual alarm cards, which brought great inconvenience to the operators of nuclear power plants. There is even a possibility that abnormal alarms fail to receive timely responses due to delayed judgment or misjudgment, which will have a certain impact on the safety of the unit or the public. It is urgent to find a quick way to solve these problems.

**[Key words]** CPR1000; outage alarm; emergency alarm; back-up panel

### 引言

核电机组在大修期间因设备停运、检修等会产生大量的报警、在异常或事故情况下会产生可能导致启动核响应的应急报警。在众多报警中,有些是正常的状态报警,而有些是可能关系到机组安全和公众安全的非常重要的异常报警,如果单纯靠主控操纵员去逐个甄别,一方面需要花费很大的精力,另一方面还需要主控操纵员有丰富的经验和技能储备,这对操纵员是一个很大的考验,同时也对机组安全带来非常大的挑战。CPR1000机组作为我国比较成熟的核电二代改进型堆型,广泛应用于我国的多个核电项目。CPR1000机组因在设计之初,没有充分考虑这方面的因素,当众多报警出现后,操纵员可以第一时间甄别出对机组安全和公众安全有影响的重要报警,从而更有针对性的进行报警响应,以便更快的启动有效手段消除机组安全隐患和公众影响。本文通过深入的研究和大量的实践,在我国CPR1000机组上首次对大修报警和应急报警进行管理优化,很好的解决了

这一难题<sup>[1]</sup>。

### 1 大修报警的梳理方法及汇总

据不完全统计,世界各国核电机组产生的有影响的事件超过60%以上发生在机组停机大修期间,因此对大修期间的报警管理尤为重要。CPR1000机组的主控室报警在两个地方显示,一是DCS系统的KIC(KA)报警,二是后备盘(简称BUP盘)上的(AA)报警。虽然这些报警在设计之初已通过赋予绿色、红色、黄色、白色等不同颜色或BUP盘上标示(DOS)等形式,已经定义出报警的重要程度及响应的优先级,但因为机组停运和大量的检修、试验等工作,报警的产生量比较大且比较频繁,管理起来还是存在很高的难度。大修期间产生的众多报警有几种类型:(1)正常的系统设备停运、隔离检修等产生的状态报警;(2)因为设备故障导致的设备异常报警;(3)人因操作失误等导致的系统异常报警<sup>[2]</sup>。

针对第(1)种报警,一般会按照大修计划进行,设备停运、隔

离检修时产生的报警是预先可以知道的,是预期产生的报警,无需过多干预,只需确认报警预期触发即可;针对第(2)、(3)种报警的出现,往往可能导致机组系统和设备进一步恶化,如果不及及时干预,将会给机组带来比较严重的后果,因此需要主控操纵员及时甄别和干预,第一时间进行控制,消除机组安全隐患。大修期间众多报警出现后,为了甄别出需要紧急作出干预的重要报警,通过现有的途径很难在较短的时间内进行甄别和处理,不能保证每个主控操纵员都能在短时间内进行快速准确的干预。通过研究、分析、对比及讨论,对现有的报警卡进行全面评估,根据其重要性、紧急程度和相关性通过多个方面的维度(反应性、堆芯/乏池冷却、放射性监测、稳压器水位、压缩空气、支持功能)将CPR1000机组大修重要报警分为大修“0”(Outage)报警和停堆安全“OS”(Outage Safety)报警两大类。

### 1.1 反应性相关报警

核反应性对核反应堆的安全运行至关重要,系统、设备状态变化或人员行为均能影响反应性,它们直接或间接的影响核燃料的运行条件和环境,需要时刻关注。一旦出现涉及到反应性的异常报警,主控操纵员必须第一时间甄别和干预,通过梳理KIC和BUP盘相关报警清单,比如RPN403KA(中子通量高)、REN055KA1(硼浓度异常)、RPN412KA2(源量程通道II信号丧失)等报警。

### 1.2 反应堆冷却相关报警

在机组停堆停机的大修期间,核反应堆或乏燃料池中的核燃料仍将产生大量的热量,这些热量必须安全的被带出,才能确保反应堆燃料的安全。核电站通过设计多个系统将多余的热量安全的带出,比如RRI系统、RRA系统、SEC系统等,而这些系统或设备的安全运行直接关系到能量的安全导出,也体现到核电站反应堆冷却系统的重要性。通过反应堆冷却方面梳理的相关报警清单,比如RRI043KA3(RRI001BA水位低低)、RRA509KA(RRA001PO的RRI侧流量低)、RCP529KA(反应堆压力容器法兰面高高液位)等报警。

### 1.3 放射性监测相关报警

核电站因其固有的特性,运行期间将产生放射性物质,这些放射性物质通过管道、容器等进行安全可靠管理,但也需要通过参数监视、报警预警等手段加强管理,因为一旦出现放射性介质泄漏,如果不及时干预,将产生严重的后果,因此放射性的监测非常重要。通过放射性监测方面梳理出相关报警清单,比如KRT011KA(KRT001AR通道故障)、RPE411KA(反应堆厂房工艺疏水箱水位高)等报警。

### 1.4 稳压器水位相关报警

一回路的稳压器水位,直接表征了一回路水装量的多少,只有保证足够的水装量,才能保证反应堆的安全,因此稳压器水位的监视也是非常重要,通过稳压器水位方面梳理出相关报警清单,比如RCP447KA(稳压器水位低低)、RCP449KA(稳压器水位低3)等报警。

### 1.5 支持功能相关报警

作为支持功能方面的电源、气源等对核电站的稳定运行起到重要的支持作用,他们为许多的泵、阀门、元器件等提供动力或控制电源或气源,以保证核电站庞大的系统和设备安全稳定运行。一旦支持功能丧失,将严重影响核电机组的安全稳定运行,因此支持功能的监视也是非常重要,通过支持功能梳理出相关报警清单,比如LBA002KA(LBA电压低)、SAR001KA(SAR003BA压力低(DOS))、LHP451KA(应急柴油发电机电气故障)等报警。

### 1.6 KIC/BUP运行相关报警

KIC/BUP盘作为CPR1000机组的人机界面系统,他们是否正常运行直接影响核电机组的正常操作,人机界面系统异常会给电站的正常运行带来很大的威胁,通过KIC/BUP运行梳理的相关报警清单,比如KSC001KA(保护组IP KCS机柜故障报警)、KIC001KA(A列PU故障)等报警。

### 1.7 二回路相关报警

根据以往大修相关经验反馈,也出现过一些重要系统的异常情况,这些异常的出现可能影响到设备的损坏或人员的安全。为避免因响应不及时出现跑水、跑油、电梯被淹等重要安全隐患相关事件的发生,加入需要监视的系统设备报警清单,比如SEK002KA(含油废水冷却池水位高高)、GGR012KA(润滑油箱GGR001BA液位低)等报警。

### 1.8 停堆安全相关报警

根据换料大修停堆模式PSA模型分析,机组上下行各阶段,尤其是模式3、模式4、模式5、模式6对停堆安全的贡献大,模式4、模式5和模式6小开口法兰面水位堆芯损坏风险高。为了加强对换料大修期间停堆安全的管理,梳理出停堆安全相关报警来进行管理,起到纵深防御的目的,确保万无一失,比如ASG061KA(ASG001BA低液位)、REA408KA(硼酸容量低)等报警。

## 2 应急报警的管理优化

根据核事故性质、严重程度及辐射后果影响范围,我国核应急响应状态分为应急待命、厂房应急、场区应急、场外应急,分别对应IV级响应、III级响应、II级响应、I级响应。前三级响应,主要针对场区范围内的应急响应组织实施。出现或可能出现向环境释放大量放射性物质,事故后果超越场区边界并可能严重危及公众健康和环境安全时,进入场外应急,启动I级响应。由此可以看出,核应急响应对核电站来说是至关重要的<sup>[3]</sup>。

通过分析发现,CPR1000机组对应急报警的直观性管理还存在不够完善的地方,根据初始设计响应,主控操纵员不能第一时间直观的判断相关异常是否需判断进入核应急状态。为避免当班值工因未识别应急工况从而导致未及时启动对应的应急状态,根据某电站《应急初始条件和应急行动水平》,梳理出来需要启动应急报警清单,比如KIS006KA(运行基准地震事件)、LBA002KA(LBA001TB电压低(113V))、RPN419KA(中间量程通道I倍增时间小于设定值)等报警。

## 3 大修重要报警和核应急报警直观化实施方案

3.1 大修“0”报警和停堆安全“OS”报警直观化实施方案  
因为主控室的报警显示通过KIC画面和BUP盘的光字牌两种

形式展现给主控操纵员,为了解决报警出现时,让主控室操纵员更容易甄别众多报警中优先响应的重要报警,通过实践和验证,主要通过以下形式表现出来。

KIC中的大修“0”报警和停堆安全“OS”报警是通过将之前梳理的报警卡后面加装“0”或“OS”标示(如下图示例)。当报警出现在KIC报警列表时,主控操纵员第一时间可以识别,警示主控操纵员该报警为重要报警,需要第一时间响应,以避免延迟响应给机组带来更严重的后果。

对于后备盘(BUP盘)上的大修“0”报警和停堆安全“OS”报警卡,将对应的报警卡视窗右上角上粘贴“0”或“OS”透明贴片,当报警出现时,操纵员从视觉上能第一时间甄别出来,从而更快的对异常报警进行响应,非常的主观和快捷。

### 3.2核应急报警直观化实施方案:

KIC中的核应急报警是通过将之前梳理的报警卡后面加装“E”标示(与大修“0”报警、停堆安全“OS”报警在KIC中的形式相同),当相关报警触发时,主控操纵员通过醒目的标示“E”可第一时间进行识别,警示主控操纵员该报警的出现可能需要进行相应的应急状态,需要毫无延迟的响应,以避免延迟响应给机组安全或公众、环境带来更严重的后果。

同时对以上梳理的核应急相关纸质和电子报警卡内容进行升版,增加“通知值长和安工,确认是否需要进入应急状态”的关键信息提示(相关报警出现后,需要值长和核安全工程师通过查询《应急初始条件和应急行动水平》程序确定应急水平等级),让值长和安工根据机组状态进一步确认需要进行何种应急状态,从而及早启动应急组织,共同研判和控制事故的进一步恶化,保证机组和公众、环境安全。

对于后备盘(BUP盘)上的核应急报警卡,将对应的报警卡视窗的左上角粘贴“E”透明贴片,当报警出现时,操纵员从视觉上能第一时间甄别出来,从而更快的对异常报警进行响应,非常的直观和快捷。

## 4 结语

经过大量的研究、讨论和实践,从核电厂众多报警卡中筛选出需要紧急干预的大修停堆安全报警和核应急报警,在后备盘(BUP盘)上将相应的大修报警卡、停堆安全报警卡、核应急报警卡上张贴大修“0”报警和停堆安全“OS”报警及应急“E”报警透明贴片直观显示;在KIC中对相应的大修报警卡分别打上“0”、“OS”标签,在大修窗口时下装到机组报警卡上。通过直观化的BUP盘透明贴片显示和KIC报警标识显示,一是有效解决大修期间大量报警出现无法第一时间甄别大修异常报警并及时响应的难题;二是有效解决机组出现严重事故的应急报警后无法第一时间识别和响应的问题,主控操纵员可以快速甄别并及时启动核应急,更快更好的解决核电厂应急状态响应问题,及时启动相应的应急状态,最大限度的减少对机组的安全威胁,保证机组的安全及公众的安全。

该创新应用已在某电站两台CPR1000机组上实施,解决国内CPR1000 DCS机组缺少大修报警和停堆安全报警及应急情况下应急报警的直观化管理的问题,效果良好,有非常高的推广价值。

### [参考文献]

[1]修耿杰,连鑫炜,洪诗鑫.一次非计划停堆背后的DCS设计缺陷及改进[J].电子技术应用,2021,(S1):90-96.

[2]连杰,核电厂DCS系统第三方通讯故障分析与处理[J].产业与科技论坛,2019,18(22):51-55.

[3]蔡二灵,许俊俊.CPR1000机组失去全部报警指示应急行动水平优化研究[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2019,(1):18-25.

### 作者简介:

高波涛(1980--),男,汉族,河南省南阳市人,大学本科,大亚湾核电运营管理有限责任公司,工程师,研究方向: CPR1000机组大修报警及核应急报警管理优化。