

# 核电厂安全壳喷淋系统反冷 CCW 的可行性分析

李吉根, 黄东兴, 浦胜娣

(中国原子能科学研究院 反应堆工程研究设计所, 北京 102413)

**摘要:** 针对核电厂在失去重要厂用水后, 用换料水箱通过安全壳喷淋系统管线、喷淋泵和喷淋热交换器构成冷却回路, 以反冷设备冷却水系统进行了分析。分析结果表明: 夏天反冷是很难成功的; 在冬天, 只要操纵员在 8 min 内及时切除不必要的热负荷, 反冷是可以成功的。

**关键词:** 设备冷却水; 安全壳喷淋; 反冷

中图分类号: TL362.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2004)S0-0006-03

## Feasibility to Cool Component Cooling Water With Containment Spray System in Nuclear Power Plant

LI Ji-gen, HUANG Dong-xing, PU Sheng-di

(China Institute of Atomic Energy, P. O. Box 275-56, Beijing 102413, China)

**Abstract:** The feasibility to cool component cooling water with refueling water storage tank through the containment spray test line, spray pump and spray heat exchanger in the event of loss of essential service water in nuclear power plant is analyzed. It is concluded that after a loss of essential service water, the cooling component cooling water system with containment spray system is difficult to succeed in summer, but it is successful in winter if only operator switches off the unnecessary heat loads within 8 min.

**Key words:** component cooling water; containment spray; essential service water

核电厂在失去重要厂用水后, 根据现行规程必须用换料水箱通过喷淋系统试验管线、安全壳喷淋泵和安全壳喷淋热交换器构成冷却回路以反冷设备冷却水系统。该反冷途径能否成功、及时地将反应堆带到余热排出系统可投入的状态, 对核电站的概率安全评价结果有一定影响, 因此有必要对该反冷方式的冷却效果进行分析计算。

核电站在重要厂用水丧失后, 控制室出现重要厂用水警报, 操纵员在规程的指引下将停掉反应堆并切除设备冷却水中两机组公共部分的热负荷, 然后进入下级规程。在规程中, 操纵员需要进行停运第 2 套核岛冷冻水系统、切除不必要的设备冷却水热负荷、切换换料水池冷却系统等一系列反冷准备操作。在反冷成功后, 操纵员将通过蒸汽发生器的辅助给水和

收稿日期: 2004-04-15

作者简介: 李吉根(1962—), 男, 湖南衡阳人, 研究员, 博士, 核能科学与工程专业

气排放阀以 56 /h 的速率冷却主系统,将反应堆带到后撤状态和余热排出系统投入状态。

### 1 系统描述

在失去重要厂用水后,利用换料水箱通过喷淋系统试验管线、安全壳喷淋泵和安全壳喷淋热交换器冷却设备冷却水系统的示意图示于图 1。其工作原理是,安全壳喷淋泵从换料水箱中抽水进入安全壳喷淋热交换器喷淋侧,设备冷却水泵运行使冷却水流过喷淋热交换器冷却水侧,由于换料水箱中的水温比设备冷却水温度低,借助于换料水箱的大热容量,可以使设备冷却水在一定时间内得到冷却。

反冷时涉及的主要系统和设备及其主要参数如下:1) 安全壳喷淋系统;2) 换料水箱;3) 设备冷却水系统;4) 核岛冷却水系统。

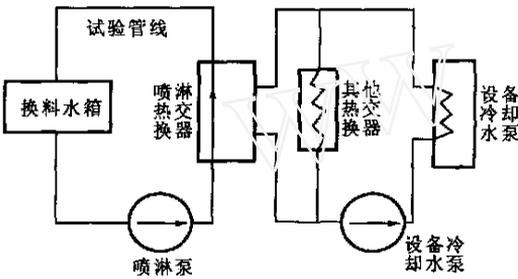


图 1 安全壳喷淋水冷却设备冷却水系统示意图

Fig. 1 Schematic representation of system for cooling component cooling water system with containment spray system

### 2 分析方法

#### 2.1 分析程序

计算分析采用 RELAP5/ MOD2/ RMA 程序进行。RELAP5 程序是美国 Idaho 国立实验室研制开发的轻水堆核电厂系统分析程序,用于轻水堆瞬态和事故分析是公认有效的。

#### 2.2 主要分析假设

分析中所用数据考虑如下:1) 分析中所用主要数据均采用核电站设计值;2) 反冷时喷淋系统循环流量采用试验管线回路作试验时的测量值 312 m<sup>3</sup>/h;3) 喷淋侧初始冷却剂温度取 33 (夏天)和 22 (冬天),设备冷却水侧初始冷却剂温度取 45 ;4) 设备冷却水热负荷考虑 4.9~27.73 MW 多种情况。

### 3 分析结果

#### 3.1 正常运行热负荷工况

反应堆正常运行时,设备冷却水系统的热负荷为 27.73 MW,流量为 2 656 m<sup>3</sup>/h。核电站在重要厂用水丧失后,假设操纵员未及时切除不必要设备冷却水热负荷,在该工况下,即使考虑反冷,设备冷却水系统反冷过程仅可持续约 8.5 min(夏天)和 9.2 min(冬天),设备冷却水系统即达到 55 。

#### 3.2 基本热负荷工况

基本热负荷工况是假设操纵员很快切除不必要的热负荷并作好反冷准备的工况,这是一种理想工况。考虑到停运第 2 套核岛冷冻水系统,因此夏天设备冷却水基本热负荷为(6.1 + 3.84/2) MW,即 8.02 MW;冬天设备冷却水基本热负荷为(6.1 + 1.36/2) MW,即 6.78 MW。结果表明:在此工况下,冬天反冷过程可持续近 4 h;而夏天反冷过程仅能持续 50 min。

#### 3.3 反冷可持续时间与热负荷的关系

表 1 给出了各种热负荷下的反冷可持续时间(设备冷却水水温达到 55 )。结果表明,热负荷越大,反冷可持续时间越短。在夏天,即使一开始就把 RRI 热负荷降到基本热负荷水平(8.02 MW),反冷也仅能持续 50 min,因此,夏天反冷是不成功的。在冬天,若能很快把 RRI 热负荷降到基本热负荷水平(6.78 MW),反冷可望成功。

表 1 反冷可持续时间与热负荷的关系

Table 1 Duration available for cooling at various heat loads

热负荷/ MW	设备冷却水到 55 的时间/ min		
	有反冷		无反冷
	冬天	夏天	
4.9	>240	200	37
6.78	225	75	27
8.02	145	50	23
12.0	36.7	23	16
15.0	22.5	17	13
20.0	16.0	12	10
25.8	10.0	9	8
27.73	9.2	8.5	7.5

### 3.4 操纵员干预时间对反冷可持续时间的影响

表 2 给出了冬天时操纵员在不同的时间切换 RRI 中两机组公用部分热负荷,并在不同的时间把 RRI 热负荷降到基本热负荷时的反冷计算结果。结果表明:只要操纵员及时把两机组公用部分的热负荷切换掉,并将设备冷却水热负荷及时降到基本热负荷,反冷是可以成功的。例如,5 min 时切换两公用机组热负荷,10 min 时将设备冷却水热负荷降到基本热负荷,此时反冷过程可持续约 3.5 h,可以认为反冷是成功的。表 2 的结果还表明,切换两机组公用部分的热负荷越早,留给切除其它不必要热负荷的时间越长。极端情况是,当最终热阱丧失事故发生在不承担两机组公用部分设备冷却水热负荷的机组时,即两机组公用部分的热负荷在事故一开始就切换时,操纵员切除其它不必要热负荷的可用时间可以达到 17 min。

### 3.5 主系统冷却结果

假设反冷成功,利用蒸汽发生器的辅助给水 and 大气排放阀以 56 /h 冷却主系统,由主系统的降温降压计算结果得出,需要约 3 h 将反应堆带到后撤状态和余热排出系统可投入状态。

表 2 不同时间干预的影响

干预时间	降到基本热负荷时间	反冷可持续时间
0	17	200
0	18	19
2	15	201
2	16	17
3	14	201
3	15	16
4	12	200
4	13	14.5
5	11	200
5	12	13
6	10	200
6	11	12

## 4 结论与建议

上述结果表明,核电站在重要厂用水丧失后,夏天反冷是很难成功的。在冬天,只要操纵员在 8 min 内及时切除不必要的热负荷,如在 5 min 内切换两机组公用部分,10 min 切除不必要的热负荷,反冷是可以成功的。另外,在正常运行时不承担两机组公用设备冷却水热负荷的机组出现重要厂用水丧失事故时,操纵员切除其它不必要热负荷的可用时间能达到 17 min。