

## 压水堆硼稀释事故的计算

杨 顺 海

(中国原子能科学研究院, 北京, 102413)

关键词 压水堆硼稀释事故, 临界时间公式。

### 一、概 述

核电站压水堆的初始过剩反应性是通过控制棒、固体可燃毒物和溶解在主回路冷却剂中的硼酸等三种方式联合控制的。随着反应堆的燃耗和裂变毒物的积累, 堆的过剩反应性不断减少, 需要通过化容系统, 控制硼酸的浓度来进行补偿。如果化容系统发生故障或操作员误操作, 就会给回路注入无硼或低于规定浓度的补给水, 给反应堆引入正反应性, 造成硼稀释事故。

按核安全法规的要求<sup>[1]</sup>, 应对换料、冷停堆、热停堆和启动等工况进行计算, 并要求在这些工况下, 一旦发生硼稀释事故, 应有足够的时间, 使操作员和反应堆保护系统能及时发现事故并采取补救措施, 制止正反应性不断增加, 使堆芯免遭损坏。同时, 要求从硼稀释事故开始至达到临界所需要的时间, 对于换料工况必须大于30 min, 而对于其他工况则必须大于15 min。

### 二、计算公式

通过建立主回路冷却剂系统中含硼量  $m(t)$  随时间  $t$  的变化所满足的微分方程, 求解得到系统内硼浓度随时间的变化  $c(t)$ , 从而求得从硼稀释事故开始至达到临界所需要的时间。  $m(t)$  满足下列方程:

$$\frac{dm(t)}{dt} = fc_m - fc(t) \quad (1)$$

其中:  $m(t) = V\rho c(t)$  (2)  
 $V$  为主回路冷却剂的体积,  $\rho$  为冷却剂的密度,  $c(t)$  为时刻  $t$  的冷却剂中的硼浓度,  $c_m$  为注入补给水中的硼浓度,  $f$  为注入补给水的质量流量。

将式(2)代入式(1), 并求解, 得到:

$$c(t) = c_m \left( 1 - e^{-\frac{fV}{V}t} \right) + c_0 e^{-\frac{fV}{V}t} \quad (3)$$

$c_0$  为  $t = 0$  时的初始硼浓度,  $c_0 = c(0)$

由式(3)可得

$$t = \frac{V}{fV} \ln \left( \frac{c_0 - c_m}{c(t) - c_m} \right) \quad (4)$$

这里  $f_v$  为注入补给水的体积流量,  $f_v = f/\rho$

假设注入的补给水为纯水, 则  $c_m = 0$ , 式(4)便化为

$$t_c = \frac{V}{f_v} \ln\left(\frac{c_0}{c_c}\right) \quad (5)$$

其中  $c_c$  为临界硼浓度,  $t_c$  是本文所要求的达到临界所需要的时间。

### 三、讨 论

按公式(5)计算时, 进一步假设冷却剂的体积  $V$  取最小值, 以及注入补给水的体积流量  $f_v$  取最大值, 使计算得到的临界时间  $t_c$  为最短, 这些考虑都是偏安全的。

利用秦山核电厂的工况参数计算得到的结果列于表1。为了进行比较, 表中还援引该厂安全分析报告中用其他程序计算的结果<sup>[2]</sup>。从两种计算结果的比较可以看出, 对于换料工况, 临界时间  $t_c$  均大于30 min, 其他工况的  $t_c$  均大于15 min, 都满足核安全法规的要求。

表1 计算结果

Table 1 Results of calculation

不同工况 所需时间/min	换料	冷停堆	热停堆	启动	功率运行
本文	53.2	23.7	47.8	64.8	18.8*
秦山	51.0	23.3	36.0	49.2	

\* 丧失1%过剩反应性需要的时间。

### 参 考 文 献

[1] U.S. Nuclear Regulatory Commission, Standard Review Plan, NUREG-0800, Rev. 2, p. 15.4.6-1, July, 1981.

[2] 上海核工程研究设计院, 秦山核电厂初步设计, 第二章, 硼稀释事故, 728-07-01(4), 1983年8月。

(编辑部收到日期: 1991年10月4日)

## CALCULATION OF BORON DILUTION ACCIDENTS IN A PRESSURIZED WATER REACTOR

YANG SHUNHAI

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

### ABSTRACT

According to the equation presented in paper, the intervals from the time the operator is made aware of an unplanned boron dilution accident to the time a loss of shutdown margin occurs on the vari-

ous conditions are calculated by using the primary coolant volume, the volume flow of boron dilution water and the initial and critical boron concentrations on each condition. The assumptions are conservative and so the results computed are safe. The comparison is made between results of this paper and the safety analysis report of Qin Shan power plant.

**Key words** Boron dilution accident, Pressurized reactor, Critical time interval.

〔上接第81页, continued from p. 81〕

### 参 考 文 献

- [1] Balke, B. et al., *Phys. Rev.*, **C42**, 30(1990).  
Rehm, K. E. et al., *Phys. Rev.*, **C41**, 45(1990).
- [2] Chu Lianyuan, Lu Dinghui, *Commun. Theor. Phys.*, **13**, 33(1990).
- [3] Horowitz, C. J., *Phys. Rev.*, **C40**, 1555(1989).
- [4] 王顺金, *科学通报*, (8), 583(1990).

(编辑部收到日期:1991年6月3日)

## COULOMB SCREENING OF DEUTERIUM IN METAL CRYSTAL

CHU LIANYUAN      WANG SHUNUAN

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

### ABSTRACT

The Poisson equation is solved to discuss the Coulomb screening for deuterium in metal crystal.

**Key words** Coulomb screening, Cold fusion.