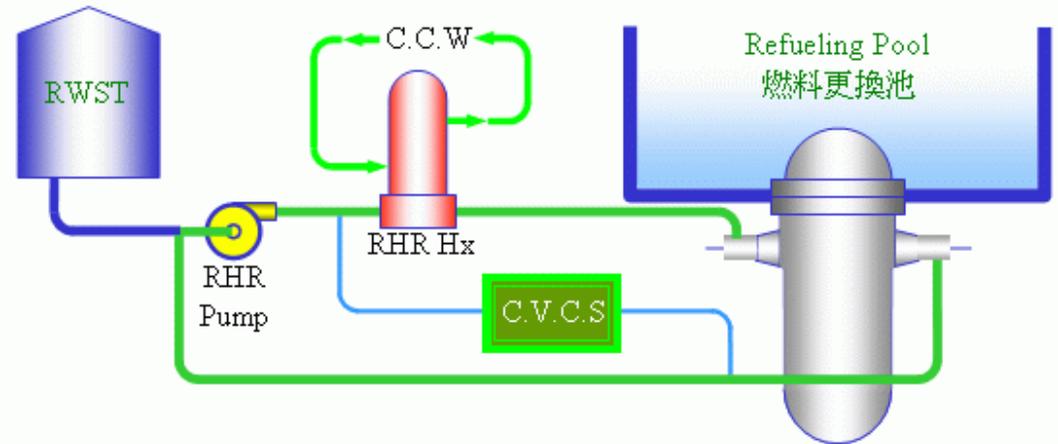


# 餘熱移除系統

- 壹、系統功能
- 貳、設計基準
- 參、系統流程
- 肆、系統運轉

## 壹、系統功能

1. 在停機降溫過程和燃料更換期間，本系統能移除爐心及一次冷卻水系統潛在的熱能。
2. 本系統係安全注水系統的一部份，當緊急情況下提供低水頭安全注水到一次冷卻水系統的冷端，爐心失水事故後，並可長期提供冷卻水，以移除爐心之衰變熱。
3. 當準備燃料更換時，本系統能將燃料更換所需的水量從燃料更換用水儲存槽傳送到燃料更換池，當燃料更換完成後，藉本系統將燃料更換池水送回燃料更換用水儲存槽。
4. 本系統引導部份流量至爐水控制系統予以淨化處理；且可作為冷機時的壓力控制。



## 貳、設計基準

### 1. 安全設計基準：

- A. 本系統之設計，係當第二階段的機組冷卻過程中，(註：第一階段機組仍處於高溫高壓狀態，通常利用蒸汽排放系統來降溫)用以移除爐心與一次冷卻水系統的餘熱和衰變熱，降低一次冷卻水系統的溫度。本系統同時屬於安全注水系統，可在事故發生後將爐心維持在可冷卻的狀態。
- B. 發生爐心失水事故後的注水階段，如果發生任一主動元件故障，或在再循環階段有任一主動元件或被動元件故障時，都不致影響本系統執行其原有功能。

### 2. 功率產生設計基準：

- A. 本系統設計在燃料更換前後，傳送燃料更換用水儲存槽和燃料更換池間的硼酸水。同時在燃料更換期間，提供餘熱移除能力且引導部份流量至爐水控制系統予以淨化處理。機組起動期間，並能提供引水流量。
- B. 在機組冷卻過程中，藉本系統移除爐心的衰變熱和餘熱，降低一次冷卻水系統的溫度。當機組從長期滿載停機後，機組由176.7 (350 ° F) 冷卻至60 (140 ° F)，運轉二串RHR可在16小時內完成。機組由176.7 (350 ° F) 冷卻至小於93 (200 ° F)，運轉一串RHR可在30小時內完成。

## 參、系統流程

1. 餘熱移除系統由兩串具相同容量的獨立支系統或稱串所組成，以提高其可靠性，並具運轉彈性。任一支系統均能個別滿足安全設計基準，每一系統包括一部RHR水泵，一個熱交換器和相關管閥與儀控設備。
2. 在系統運轉時爐心冷卻水由RCS熱端管路經RHR水泵，泵送沿熱交換器管側，然後由安全注水系統冷端注水集管進入一次冷卻水系統。一次冷卻水的熱量藉熱交換器殼側的核機冷卻水 (CCW) 系統帶走。在機組冷卻過程中，RHR熱交換器部份出口流量，可以引導到爐水控制系統做淨化處理。此時若調壓槽內無蒸汽汽泡作為RCS壓力控制，則可藉著引水流量之壓力控制做為一次系統在冷機時的壓力控制。
3. 一次冷卻水的冷卻率可由手動調整流經熱交換器管側的RHR流量來控制，RHR熱交換器備有旁通管路和流量控制閥，可以自動維持回流到RCS的固定流量，本系統兩串均具有壓力、溫度、流量儀器，提供控制和指示。
4. 兩部RHR水泵在正常情況皆處於備用狀態，一旦接受到安全注水信號時，RHR泵自動起動由RWST取水，當一次系統壓力降至低於水泵關斷水頭99m (即325ft) 時，RHR經安全注水系統冷端集管，將冷卻水注入反應爐槽。但當R.W.S.T.降到過低水位時，自動將水泵入口改從圍阻體再循環集

水池取水。

- 在事故後的冷端或熱端再循環階段本系統將圍阻體再循環集水池水泵送經RHR熱交換器，降低溫度後注入爐心，再經破管處流回再循環集水池，以移去衰變熱和餘熱。在此階段RHR水泵出口連接至離心充水泵的進口，以確保當一次冷卻水壓力高於RHR泵關斷水頭時，仍有相當冷卻水注入一次系統。
- 當燃料更換過程中，本系統除了移除爐心餘熱外，並引導部份流量至C.V.C.S作淨化處理，以維持水質，RHR水泵也可在燃料更換前後傳送燃料更換時之用水。

## 肆、系統運轉

以下將討論RHR系統在各種機組情況下的運轉情形，至於各組件的啟用，或運轉注意事項可另參考操作手冊。

### 1. 機組起動

機組起動定義：將反應爐從冷停機提升到無載時的運轉溫度與壓力的操作過程。

一般而言，在停機時尚維持一部RHR水泵運轉，以再循環方式帶動一次冷卻水，移除衰變熱。但在開始起動時，至少一部RHR水泵須在運轉中，一方維持低壓力之引水流量至CVCS作淨化處理，一方面維持RCS在相當的溫度，此時RHR連通於RCS以再循環方式運轉，如果必要亦可將兩部RHR都起動以提高再循環量。

開始加熱時，可調節RHR熱交換器出口閥開度，逐漸停止移去衰變熱，調壓槽也開始加壓加熱，蒸汽泡漸產生前，本系統尚可提供RCS壓力控制。

RHR進口管路溫度  $> 115.6$  時，需宣佈該串低壓安全注水不可用，當兩串RHR進口管路均低於  $115.6$  才可進入MODE 3。

若因故RCS已升溫  $> 115.6$ ，而RHR仍有未列置SI模式之情況，須依SOP 334將RCS降溫至小於  $115.6$  後，停止RHR泵並列置SI模式，再升溫RCS。

一旦調壓槽已有相當的汽泡和相當壓力，可漸建立正常引水流量，配合RHR之部份引水，增大總引水量，建立調壓槽水位，若RCP尚未全部運轉，即可起動三台RCP，利用水泵熱對一次系統繼續加熱，RCS溫度達  $115.6$ ，或壓力達  $30\text{Kg/cm}^2$  ( $425\text{ psig}$ ) 以前，應停用RHR泵，將RHR系統與RCS隔離，將RHR置於正常備用狀態(SI模式)。

### 2. 正常功率運轉

所謂正常功率運轉，指的是反應爐在正常運轉溫度與壓力的熱待機和功率運轉階段。

此時RHR系統不在運轉，而處於備用狀態(SI模式)，做為緊急爐心冷卻系統安全注水的一部份。

### 3. 停機運轉

A. 停機運轉定義為，將反應爐由熱停機的溫度與壓力降到冷機情況的操作過程。

B. 第一階段的反應爐冷機，係將一次冷卻水系統的熱能藉輔助餉水，由蒸汽產生器產生蒸汽，再由蒸汽排放系統排放至主冷凝器(C-9)，或由動力釋壓閥排放至大氣。反應爐停機的四小時內，即可將一次冷卻水系統的溫度與壓力降至  $176.6$  ( $350$ )  $30\text{Kg/cm}^2$  ( $425\text{ psig}$ ) 左右，此時第二階段的反應器冷卻開始，並啟用RHR系統。

C. 在冷機模式啟用RHR系統前，下列工作必須先完成：

a. 建立供給到RHR熱交換器殼側所須的最大核機冷卻水流量，並將不須CCW冷卻的負載設備停用。

b. 置暖機串之最小流量閥手動開啟，其它閥位配置同SI模式。起動一部RHR水泵，使其流量經最小流量管循環運轉5~10分鐘左右。取樣測量RHR系統的硼液濃度；如果低於RCS硼液濃度，則參照GOP213 附錄G加硼於RHR系統，打開RHR至CVCS之引水控制閥，經由CVCS引水管路，送至硼回收系統，每隔5分鐘再做取樣直至RHR系統之硼液濃度高於或等於RCS。

c. 停用RHR水泵。

d. 將取樣合格之RHR串，改為冷卻模式；並引RCS熱端高溫水繼續執行RHR冷卻模式串暖機。

e. RCS熱端管路溫度高於  $115.6$  時，僅能使用一串RHR為“RCS冷卻模式”，另一串仍應維持在SI模式備用。

D. 上述工作完成後，即可起動RHR水泵，開始冷卻運轉。一次系統的冷卻率，可由RHR熱交換器出口閥手動控制，而回流至R.C.S之總流量，可由熱交換器之旁通閥自動補償以維持定值，或由RHR熱交換器出口閥手動控制。

E. 一次系統冷卻率在運轉規範中有詳細說明，尤其考慮反應器及相關設備。同時也受熱交換器殼側之CCW運轉溫度限制。

F. 當一次系統爐水溫度漸降，經熱交換器的冷卻水流量則漸增。繼續冷卻下去，調壓槽即逐漸充滿水，整個一次系統即運轉於水固情況。此時之壓力控制可由RHR系統流經BG-HV142引至CVCS之引水量和引水系統之壓力控制閥共同達成。

G. 當一次系統壓力逐漸降低，且水溫已達  $60$  ( $140$ ) 或更低時，反應爐槽蓋可以開啟，準備燃料換填或從事維護工作；然後再根據當時爐心餘熱的多少及水泵與熱交換器的容量，決定所須運轉之水泵數目。

### 4. 燃料更換時之運轉

A. 在準備燃料更換時，一部RHR水泵自RCS熱端取水，經RHR熱交換器移除爐心餘熱，之後注入RCS冷端。另一部RHR水泵則將RWST的含硼水傳送至燃料更換池(RFP)，且進行RFP灌水作業之RHR串，其由RCS熱端至RHR系統之進口閥均關閉，直接由RWST取水，經熱端注水管路注入RCS。首先將反應爐槽頂蓋打開，並略為提起，來自RWST的含硼水經RHR系統，從熱端注入集管自二迴路進入反應爐槽。當反應

爐槽水位已達法蘭面 ( Flange ) 時，部份水量開始進入燃料更換池，水位逐漸升高，此時可將反應爐槽頂蓋逐漸提起。直到整個反應爐槽和燃料更換池達相當高水位時，停用補水之RHR泵，手動關閉由RWST來的進口閥且開啟RCS熱端至RHR系統的進口閥。

- B. 此時各項燃料更換準備工作完成。依當時爐心之殘餘熱量，適當啟用所須之RHR水泵，將燃料池水量以再循環方式冷卻，並將部份水量引導至CVCS引水管路做淨化處理，維持燃料更換池具有良好的乾淨度，此時可開始燃料更換工作。
- C. 燃料更換完成後，燃料更換池的水可藉RHR系統傳送回RWST。由RCS熱端取水，泵送回RWST。當水位已達燃料更換前反應爐槽頂蓋位置時，準備將反應爐槽頂蓋放回，當水位降至法蘭面以下時，將頂蓋放回原位，定位後RHR系統流程應重新調整，置於冷機移熱狀態。(由RCS熱端取水，經熱交換器注入RCS冷端，並有部份引水至C.V.C.S)。
- D. 在RCP停止運轉，RCS降壓後可起動除鈷增壓泵，以提高引水流量，增進除鈷或水質淨化能力，但應注意下列除鈷增壓泵之使用條件：
  - (1) RHR泵出口壓力 < 16kg/cm<sup>2</sup>。
  - (2) RHR泵出口溫度 < 93。
- E. 在RCS降水量或半水位運轉期間，RHR用以移除爐心餘熱而維持RCS溫度，此時由RCS冷端取水，經熱交換器冷卻後再打回熱端。半水位運轉期間尤應注意RHR流量不可大於限制，否則可能使RHR泵因進口漩渦效應而吸入空氣，導致出口壓力、流量、電流等運轉參數大幅幌動，甚至使爐心喪失冷卻水。

## 5. 事故時之運轉 - 注水階段

- A. RHR泵在手動安全注水信號出現時，或在接受自動安全注水信號時，依加載時序信號自動起動，此時所有RHR系統組件都處於備用狀態位置，熱交換器沒有核機冷卻水流過，水泵自RWST經馬達操作隔離閥取水，以最小流量迴流於最小流量管。在安全注水階段，兩串RHR經跨接管連通閥互連，分由三支冷端注水管在止回閥下游與離心充水泵出口的注水管路會合，但是經由RHR系統泵送的含硼水必須在RCS壓力降至低於RHR水泵關斷水頭時，始由冷端注入爐心，在小量爐心失水事故時，RCS壓力降的很慢（仍高於水泵關斷水頭時），此時安全注水系統的其他設備，有足夠的能力來承擔爐心的冷卻，若有任何單一被動元件失敗，並不妨礙RHR系統執行其緊急爐心冷卻的功能。
- B. 當RWST達過低水位時，自動改由圍阻體再循環集水池取水，RHR系統的注水階段也自動終止，應將RWST至RHR進口閥手動關閉，此時圍阻體再循環集水池內有足夠的水量提供RHR所需的淨正吸水頭。

## 6. 事故運轉 - 再循環階段

### A. 冷端再循環

- a. 在此階段RHR系統之流程安排如下：

RHR水泵A由圍阻體再循環集水池A取水，流經熱交換器後，送至RCS冷端注水集管和RHR系統B之冷端注水集管會合。由三支管路注水至RCS三個迴路的冷端管路，此外還經HV-105隔離閥泵送至CVCS離心充水泵A之進口。

RHR水泵B亦由圍阻體再循環集水池B取水，經熱交換器後，送至RCS冷端注水集管和RHR串A會合。此外，還經HV205隔離閥泵送至CVCS離心充水泵B之進口。

- b. 冷端再循環階段的系統冷卻可以自動維持相當長時間。唯一須要操作員操作的就是：啟用CCW至熱交換器的水流，並將此系統流程重新安排如上項所示。如果RCS壓力低於RHR水泵關斷水頭，則所有安全注水系統之水泵均泵送冷卻水至爐心。但如果RCS壓力仍較RHR水泵關斷水頭高，則RHR水泵並無能力泵送冷卻水至爐心。但安全注水之其他系統如CCP可以連續傳送冷卻水至爐心。以比較保守的估計，假設在爐心失水事故後，RCS壓力儀器不可用或不可靠。此時無論RCS壓力為何，離心式充水泵可在事故後連續24小時皆由RHR水泵出口取水，以確保足夠的注水流量泵送至反應爐槽。

### B. 熱端再循環

- a. 由於在爐心失水事故後，爐心上部區域發生沸騰，使得此區域之硼酸晶化而或多或少影響爐心冷卻水流經爐心。為避免此種情形；當事故發生7小時後，應該改以熱端再循環注水。它可防止硼酸晶化的形成，同時可阻止蒸汽泡在反應爐槽出口環層或爐心頂部積聚。

- b. 在此階段RHR系統管路流程安排如下：

RHR水泵A和B均由圍阻體再循環集水池取水，各別經熱交換器後；RHR串A的部份水流，泵送至離心充水泵A進口；RHR串B的部份水流，泵送至離心充水泵B進口。兩串之另一部份水經跨接管隔離閥共同匯合於安全注水熱端集管，再進入RCS迴路#1和#2之熱端管路。

關閉冷端再循環隔離閥。  
開啟兩串RHR跨接連通閥。  
開啟熱端再循環隔離閥。  
確認熱端再循環流量。