

硼回收系統

- 壹、系統介紹
- 貳、系統組件
- 參、系統流程
- 肆、硼回收系統的運轉

壹、系統介紹

1. 系統設置目的：

- A. 硼回收系統（BRS）的主要目的在於收集從反應爐冷卻水系統洩漏或溢流的液體以及從化學容積控制系統來的引水，予以蒸發回收處理硼酸水，打回系統再使用。以節省硼酸和一次側冷卻水之補充，並可減輕放射性廢棄物處理系統的負擔。
- B. 硼回收系統亦可做為爐水短期間容積變化的調節。
- C. 即使機組滿載運轉在1%燃料破損的情況，本系統能確保處理後仍符合補充水和硼酸水質規範。

2. 系統簡介：

- A. 硼回收系統所收集的反應爐冷卻水，首先經過除礦器和過濾器，將分裂產物和離子性雜質移除，而後流到滯留槽儲存。當兩只滯留槽水位和達到90%時，起動蒸發器，將蒸餾水、硼酸水及分裂氣體分離。蒸餾水打回反應爐補水槽或進行計畫性排放，硼酸水打回硼酸槽，氣體則送到放射性氣體處理系統處理。硼酸亦可打至緩衝槽暫存，或調整成較低濃度硼酸水傳至用過燃料冷卻系統。
- B. 硼回收系統運轉採取批次濃縮作業，其模式須由運轉員手動確立，包括起動、停機或改變流徑。然而任何一種模式的運轉都有自動控制，因此只須運轉員些許的操作即可，這些操作包括取樣分析和改變到所需的運轉模式。



貳、系統組件

1. 硼回收蒸發器之飼水除礦器（Recycle Evaporator Feed Demineralizer）：

- A. 由兩個各自獨立而可逆洗的除礦器所組成，可個別、串聯或併聯使用，用來移除離子性雜質和分裂產物，每一除礦器其內各含有H-OH型的混床樹脂，當分析其效率，發現效率降低或差壓過高，則需更新樹脂。
- B. 除礦器的設計是可運轉於1%燃料破損情況下，處理回收硼酸水。如果進入本系統的硼酸水溫度大於設定值或樹脂床進出口差壓太高，轉向閥TV-250會旁通除礦器直接流至滯留槽做為除礦器樹脂的保護。溫度由TIS250感測，差壓由PDA-253感測。TV-250在失去控制信號時，即閉鎖在旁通位置。
- C. H-OH型混床樹脂利用離子交換的原理，將反應爐冷卻水內的Cs⁺、Li⁺、I⁻、BO₃⁻³，以H⁺、OH⁻離子交換使BO₃⁻³飽和。

2. 硼回收蒸發器之飼水過濾器（Recycle evaporator Feed Filter）

- A. 在飼水除礦器下游有二個可個別或並聯使用可棄式捲筒形蒸發器飼水過濾器，過濾98% 5微米以上的樹脂微粒或其他粒子。
- B. 當濾網差壓大於操作設定值即須更換；在兩道並聯的過濾器中，另有一手動之旁通管路，更換時須先手動隔離和旁通。

3. 回收滯留槽（Recycle Hold up Tank）

- A. 由兩個沃斯田不銹鋼槽所組成。
- B. 滯留槽除回收過濾器來的硼酸水處理外，其他來源另有：a.放射性氣體處理系統緩衝槽凝結水。b.用過燃料池冷卻淨化系統。c.硼回收系統安全閥。正常時一個滯留槽用來集水，另一個則可作為蒸發器的飼水。
- C. 滯留槽上部設有膜片，防止空氣進入溶於水中，並阻止水中的氫和分裂氣體產物混入空氣中，槽頂部膜片上方之空氣連續由空氣處理單元處理。回收滯留槽的膜片下方，各有逸氣管聯接到逸氣集管，經壓力控制閥PV251，以滯留槽抽氣泵間歇性泵送槽內氣體和分裂氣體至放射性氣體處理系統的緩衝槽。此閥主要在控制上游壓力，壓力過低時自動關閉，防止滯留槽因負壓崩潰。
- D. 滯留槽各有現場水位指示（LI-261和LI-262），並在硼回收系統控制盤RP-020上設有高低水位警報，高水位警報設在81%(39'-7")，低水位警報設在7%(4'-6.2")，當水位繼續下降至低低水位(5%)警報以下，水位開關（LI-261A和LS-262A）將跳脫蒸發器飼水泵，以保護飼水泵。
- E. 滯留槽之容量設計是考量：
 - a. 假設兩部機組皆於硼酸濃度200ppm且氬毒平衡和控制棒全出之情況下冷停機，可容納機組再啟動期間所有可能排出最大水量。
 - b. 停機以進行更換燃料再啟動時可容納所有可能排出最大水量。

4. 回收蒸發器飼水泵 (Evaporator Feed Pump)

- A. 運轉模式的選擇可在硼回收主控制盤上 (HS270A、HS270B) 或現場控制盤 (HS270、HS270C) (HS270D、HS270E)執行。一般而言，正常用來飼入蒸發器時使用REMOTE(現場控制盤)和 AUTO(主控制盤)模式。
如果滯留槽水位低於低水位警報設定時，水位開關 (LS261A、LS262A) 將使飼水泵自動停止。
- B. 蒸發器飼水泵可將硼酸水傳送至
 - a. 蒸發器。
 - b. 放射性液體處理系統(LRS)蒸發器。
 - c. 蒸發器飼水除礦器。
 - d. 蒸發器飼水過濾器。
 - e. 用過燃料池冷卻淨化系統(含RWST)。
 - f. 爐水化學容積控制系統離心充水泵進口。
 - g. 最小流量管路至滯留槽。

5. 硼回收蒸發器 (Recycle Evaporator , 本章通稱蒸發器) 組件

A. 飼水預熱器

來自滯留槽的硼酸飼水，首先進入蒸發器組件飼水預熱器之管側，流經殼側的輔助蒸汽將飼水加熱。加熱所需的蒸汽流量是由飼水預熱器出口水溫 (TT304) 來控制 (TCV304)。進入的飼水流量率是由蒸發器水位計LT315與LCV315來控制。

B. 飼水噴吸器

被加熱的飼水進入氣體分離器前，先流經噴吸器，在流經噴吸器時建立低壓力區，可將逸氣冷凝器所冷凝下來的水抽回飼水。

C. 氣體分離器

此分離器內充滿鋼環，以增加分離的表面積，飼水由頂部進入圓柱形氣體分離器後將氫氣和分裂氣體均從含硼水中分離，所用的分離介質為蒸發器所用的部份蒸汽，由分離器的底部進入，被分離的氣體和部份分離蒸汽由分離器頂部離開，然後進入逸氣冷凝器。

D. 逸氣冷凝器

逸氣冷凝器收集來自氣體分離器和蒸發器殼側的氣體和蒸汽，流經殼側，由流經管側的核機冷卻水冷凝，將不凝結氣體由蒸汽中分離出來，氣體藉逸氣集管經排氣集管，排入GRS氣體緩衝槽，再經放射性氣體處理系統處理 (參考第十五章)。而液體冷凝水則經由飼水管路的噴吸器回流至分離器。

E. 蒸發器

在氣體分離器除過氣體的飼水，由分離器底部飼入蒸發器底部。當蒸發器內的飼水淹過U形管後，U形管內引入輔助蒸汽來加熱飼水，俾以蒸餾和濃縮飼水。飼水飼入量由蒸發器的液位來決定，即以LT315控制LCV315；而輔助蒸汽的流量率則由蒸發器的殼側壓力來決定，即以PT316，控制PCV316。

當飼水不斷的飼入蒸發器，經蒸餾處理後使硼酸和微粒濃度增加，漸積存於蒸發器底部，蒸發器底部的存留液，由一台濃縮泵連續循環。運轉員依滯留槽硼濃度、蒸發器水位及欲濃縮硼濃度估算欲濃縮時間，達濃縮時間後，則泵送到硼酸槽，或硼回收放蒸發器飼水除礦器重新回滯留槽。離開蒸發器的大部份水汽，進入吸收塔。為防止蒸發器內的硼酸因溫度過低而結晶，在蒸發器組件盤面RP021上有溫度指示TI1313，且當溫度過低時在警報窗有低溫警報警示。為確保蒸發器水位淹過加熱管又不致太高造成騰帶，蒸發器設有高低水位警報(60%，50%)，以確認蒸發器運轉於適當的水位。

F. 吸收塔

將蒸發器來的蒸汽經金屬線繞製的繞性網孔 (Fleximesh) 分離的濕汽流回蒸發器；另有三個水平拖盤安裝燈罩型物件，蒸汽經過其中，與蒸餾水泵 (Distillate Pump) 打回的沖洗蒸餾水接觸，使拖盤維持純蒸餾水。

G. 蒸發器冷凝器

進入蒸發器殼側的純蒸汽被管側的核機冷卻水冷凝後，由蒸餾水泵傳送到蒸餾水冷卻器，氣體則排到逸氣冷凝器去處理。

蒸發器殼側的冷卻率是由蒸餾水泵出口管路的蒸餾水流量傳送器FT307來控制流量控制閥FCV307，以調整核機冷卻水的流量率；亦可改變FCV307的閥位誤差以維持固定的蒸餾水流量。

蒸發器殼側的水位是由LT306控制並改變LCV305或LCV302閥的開度以維持殼側的水位；當正常排出(Discharge)模式時控制LCV305，當回收(Recycle)模式時控制LCV302，如水位高於70%或低於10%在RP 021各有高或低警報警示，且水位低到10%會自動停止蒸餾水泵。

H. 蒸餾水泵

泵送蒸發器殼側的蒸餾水到蒸餾水冷卻器，出口管路有一固定流量的回流，回流到吸收塔再循環作為吸收介質，用以分離蒸汽中的硼酸。當蒸發器殼側的水位低於10%時會自動停止蒸餾水泵。

I. 蒸餾水冷卻器

由蒸發器殼側經傳送泵送來的蒸餾水流經冷卻器管側，而核機冷卻水流經殼側，將蒸餾水溫度降低，以免損害除礦器樹脂。蒸餾水冷卻器出口溫度亦設置高/低溫警報，確保運轉操作水溫。

6. 硼回收蒸發器冷凝除礦器 (Recycle Evaporator Condensate Demineralizer)

硼回收蒸發器冷凝除礦器 (Recycle Evaporator Condensate Demineralizer)

蒸發器冷凝水除礦器 (Recycle Evaporator Condensate Demineralizer) 為一可沖洗式陰離子樹脂 (OH⁻) 除礦床，用以移除硼和陰離子雜質，此除礦器為硼回收系統最後一道的淨化，在必要時可予以旁通，以便做維護工作。蒸餾水出口設置高導電度警報，確保蒸餾水的運轉導電度。

7. **硼回收蒸發器冷凝水過濾器** (Recycle Evaporator Condensate Filter)
為一可棄換式圓筒形過濾器，用以移除從冷凝水除礦器流出的任何粒子或樹脂微粒。在過濾器的進出口有現場差壓指示，當差壓大於操作設定值時即須更換。
8. **RV-16轉向閥：**
用以控制回收水的放射強度。正常時此轉向閥的位置是將蒸餾液從冷凝水過濾器流入反應爐冷卻水補充水槽，當放射性傳送器RT-16偵測出高放射性強度 $1.0 \times 10^{-2} \mu\text{ci/cc}$ 時，在硼回收系統控制盤將發出"蒸發器蒸餾液高放射性"警報，且RV-16轉向閥會自動轉向，將蒸餾液導向飼水除礦器進口再處理。
9. **硼回收蒸發器濃縮泵** (Evaporator Concentrate Pump)：
蒸發器運轉時，利用此蒸發器濃縮泵循環濃縮硼酸液。當蒸發器濃縮時間達計算之濃縮時間後，即可將濃縮硼酸傳送至硼酸槽或硼酸緩衝槽。
10. **硼回收蒸發器濃縮過濾器** (Evaporator Concentrate Filter)
蒸發器濃縮過濾器為一可棄換式圓筒形過濾器，用以移除硼酸裡所含微粒子，現場備有進出口高差壓指示器 (PI-271A、PI-271B)，當差壓高於操作設定值即須更換。
11. **硼酸緩衝槽** (Boric Acid Surge Tank N-T057)
當蒸發器內之硼酸濃度已達濃縮標準，而硼酸槽 (BAT) 暫時尚無空間可以補入時，可先排至硼酸緩衝槽暫存，待硼酸槽可以補充硼酸液時，再經由傳送泵N-P055 (或N-P056) 泵送到硼酸槽內。
硼酸緩衝槽之液位當LB-328達82%時會在RP020有高水位警報同時自動關掉補充閥HV-331；當液位低至7%時會在RP020有低水位警報，再低至5%時會自動跳脫傳送泵。

參、系統流程

1. 來自爐水控制系統的含硼水，氘水和脫氣的液體都直接引至本系統的硼回收飼水除礦器，特別是在容積控制槽高水位時，來自引水管路的一次系統冷卻水可由LV-115A直接引入本系統，本系統亦接受下列排放之含硼水：
 - A. CVCS的硼熱再生系統 (BTRS)。
 - B. 反應爐冷卻水洩水槽 (RCDT)。
 - C. 設備洩水槽 (EDT)。
 - D. 反應爐水補充系統 (RMUS)。
 - E. 放射性氣體處理系統集管洩水槽 (GRS HEADER DRAIN TANK)。
2. 上述各項洩水源進入本系統，經過轉向閥TV-250後再流經蒸發器飼水除礦器和過濾器，以移除分裂產物和離子雜質。經由過濾淨化後的含硼水即被儲存在滯留槽，正常情況下一個滯留槽用來接收飼水，另一滯留槽則作為回收處理用。有兩台蒸發器飼水泵傳送含硼水進入回收蒸發器單元，如有更進一步淨化水質時亦可泵送含硼水回到硼回收蒸發器飼水除礦器。在硼回收蒸發器內利用蒸發凝結方法，可以不斷地蒸餾濃縮硼酸。
3. 蒸發器蒸餾液經吸收塔、蒸發器冷凝水除礦器和冷凝水過濾器後再泵送至一次系統補充水儲存槽 (BL TANK)，也可以回收至蒸發器飼水除礦器再處理或者送至放射性液體處理系統出口集管。
4. 在蒸發器所濃縮的硼酸溶液在整個過程中，逐漸提高濃度。如果濃縮度合乎補水系統硼酸的規格，它就流經濃縮過濾器，送至機組硼酸槽待用。否則濃縮溶液就泵送至蒸發器飼水除礦器再處理。

肆、硼回收系統的運轉

1. 蒸發處理過程

- A. 反應爐冷卻水經除礦器和過濾器到滯留槽。
- B. 氣體由槽內水中排出，經PV251到放射性氣體處理系統。
- C. 一個滯留槽用來收集硼酸水，一個作為飼水泵水源。
- D. 飼水經預熱器加熱。
- E. 噴吸器抽取逸氣冷凝器內的水。
- F. 氣體分離器將氣體分離出來逸氣到逸氣冷凝器。
- G. 蒸發器來的蒸汽幫助氣體分離。
- H. 飼水進入蒸發器殼側，輔助蒸汽走管側。
- I. 濃縮泵循環蒸發器內的濃縮液。
- J. 蒸發器內產生汽泡進入吸收塔，將殘餘的水份和硼酸分離下來。
- K. 由吸收塔來的較純蒸汽進入冷凝器殼側，由管側之核機冷卻水冷凝下來。
- L. FCV-307開大，使冷凝器核機冷卻水流量加大，則
 - a. 冷凝器水位上升，蒸餾水泵流量加大，維持設定水位。
 - b. 蒸發器壓力下降，輔助蒸汽增加，維持設定壓力。
 - c. 飼水流量增加，以維持蒸發器水位。
 - d. 預熱器出口溫度下降，輔助蒸汽量增加，以維持設定溫度。
- M. 蒸餾水泵將冷凝器內的蒸餾水打到冷卻器，冷凝水除礦器和過濾器，最後到反應爐補水槽。
- N. 高輻射強度時RV-16轉向到飼水除礦器。
- O. 濃縮達預計時程後，硼酸水打至硼酸槽或緩衝槽，蒸發器進入冷卻過程。

2. 冷卻處理過程

- A. 蒸餾水模式開關轉到回收模式，則飼水控制閥、預熱器蒸汽進口閥、蒸餾水出口閥皆關閉，回收控制閥打開。
- B. 蒸發器蒸汽進口閥、逸氣冷凝器逸氣閥手動關閉，濃縮泵手動停止，冷凝器核機冷卻水改由手動控制。
- C. 冷凝水循環流經柱形氣體分離器和蒸發器以移除熱量。
- D. 蒸發器低溫警報產生，冷卻過程完成，可進入傳送過程。

3. 傳送過程

- A. 關閉冷卻器核機冷卻水，打開冷凝器蒸汽進口閥，以便加壓。
- B. 起動濃縮泵且打開濃縮泵出口閥BEF33。
- C. 執行傳送過程前，運轉員須先將傳送管閥正確排列。
- D. 蒸發器低低水位警報出示時，停止濃縮泵，關閉出口閥。
- E. 回復到補水模式，而後沖洗管路，再執行另一循環的運轉。