

反應爐水補充系統

- 壹、系統功能
- 貳、反應爐水補充系統的基本流程
- 參、系統詳述
- 肆、系統運轉

壹、系統功能

反應爐水補充系統可供給混合硼酸溶液或純水到反應爐冷卻水系統和其他補助系統。

1. 供給反應爐等級的純水或硼酸水作為稀釋反應爐冷卻水，用來控制反應度，或作充水之用。
2. 供給穩定濃度硼酸溶液到不同的一次水系統，如反應爐冷卻水系統(RCS)或用過燃料池作為反應度控制。
3. 提供化學劑的注入能力，即允許加入聯胺 (N_2H_4) 至反應爐水中，用來除氧及定期加入化學劑以控制pH值。

貳、反應爐水補充系統的基本流程

包括四個次系統：反應爐補充水系統、硼酸系統、補水控制系統和化學劑加入系統

1. 反應爐補充水系統供給除礦和除氧補充水到化學容積控制系統 (CVCS)，安全注水系統 (SIS)，反應爐冷卻水系統 (RCS) 和冷凝水傳送儲存系統。
2. 硼酸系統內貯存硼酸溶液，並以加熱式硼酸混拌槽調整硼酸溶液的濃度後，經傳送泵再提供至硼酸槽。再經由硼酸傳送泵供給到不同的一次水系統，用以控制反應度。另外，化學劑混合槽作為化學添加之用。
3. 補水控制系統供給自動控制，計數硼酸溶液和一次水之補充量，此系統自動供給混合硼酸溶液的需求量至不同的一次水系統。

參、系統詳述

一、反應爐補充水系統：

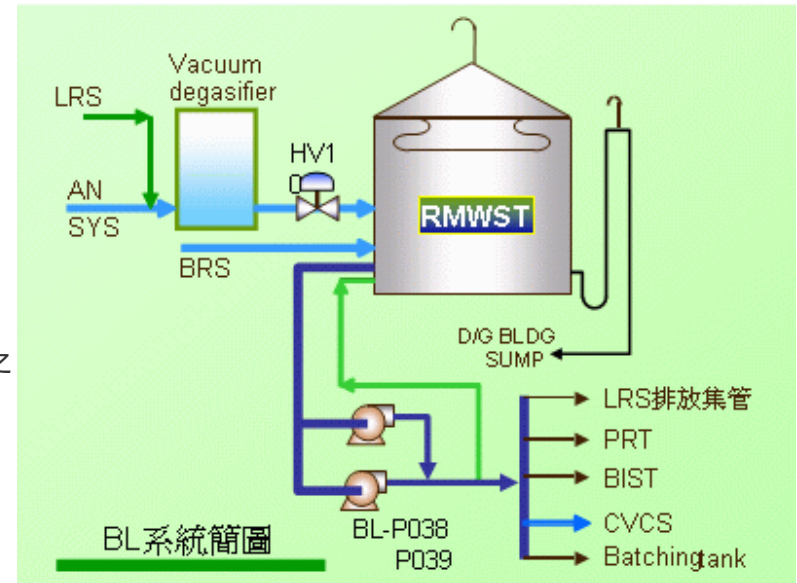
1. 系統之設計基準：

- A. 安全設計基準：無安全設計基準。
- B. 功率設計基準：

- a. 除氣並由除礦水系統分佈用水(一、二次側)。
- b. RMWST有足夠容量在EOL時，機組正常運轉降至冷停機後，能讓RCS隨後再起動。
- c. BL傳送泵要能夠滿足正常運轉的需求量。
- d. 滿足上述條件的同時，BL傳送泵在PZR安全閥最大容量排放時，要能夠對PRT提供足夠的冷卻。

2. 補充水儲存槽水的來源：

- a. 除礦水經真空除氣後之除氧水。
- b. 硼回收蒸發器冷凝回收水。
- c. LRS Monitor Tank。



1. 純水則供給至不同的系統作為稀釋，充水和沖洗之用，這些系統包括：

- A. 反應爐冷卻水系統 (RCS)：PRT噴灑與RCP #3封環之封水。
- B. 化學與容積控制系統 (CVCS)。
- C. 硼酸混拌槽 (BATCHING TANK)。
- D. 硼酸注入儲存槽。
- E. 液體廢料系統出口集管。

2. 反應爐補充水儲存槽，設計運轉於大氣壓力及120 溫度之下。槽頂裝置一橡膠膜片與水面保持接觸以防止因氣體吸收而減低水的品質，膜片上部之空氣直通大氣。
3. 反應爐補充水儲存槽，水位指示器LI-2，提供高低水位警報及高水位信號去關閉除氣水進口閥HV-10，亦提供低低水位警報及信號停止傳送泵以保護泵。水位計LS-11提供高水位警報，LS-12提供低水位警報。流量指示器 (FI- 1) 和傳送器 (FT-1) 測量除氣器至儲存槽的流量。
4. 反應爐補充水儲存槽為防止過壓力及高水位裝有一溢流管洩至柴油機房集水池 (Sump)。假如儲存槽不能使用，水源可直接經由旁通閥BL-V018供給至傳送泵進口。
5. 二台補充水傳送泵 (N-P038, N-P039) 以電動馬達驅動。P038電源由480VAC馬達控制中心N-1E-NH-E24-J1供電，泵P039由N-1E-NH-E12-D3供電。

二、硼酸系統：

1. 硼酸是一種溶解性均質的中子毒素，幫助控制棒和可燃耗毒素，在臨界時維持爐內反應度的平衡。
2. 硼酸槽之硼酸液來源：

- a. 硼酸混拌槽(Boron acid batching tank)。
- b. 硼回收系統(Boron recycle system)。

3. 穩定濃度的硼酸液供給到下列系統：

- a. 爐水控制系統 (CVCS)。
- b. 燃料更換水儲存槽 (RWST)。
- c. 硼回收滯留槽 (BRS HUT)。
- d. 硼熱再生系統 (BTRS)。
- e. 用過燃料池冷卻與淨化系統。

兩座硼酸槽，儲存硼酸液。槽頂上方通大氣，槽附有電氣加溫設備，避免溫度太低而產生硼酸結晶。

4. 四個水位計裝置於控制室第五盤，指示兩硼酸槽水位，並有三段警報指示。第一段指出高或低水位，提供起動或停止補水。第二段過低水位警報指示低硼酸水位將違反運轉規範。第三段槽空水位警報於槽空時產生，警告運轉員停止傳送泵及關閉出口閥。
5. 溫度指示器有槽A及槽B裝置於控制室第五盤指示。
6. 反應爐熱停機模式前，一座硼酸槽至少要有69%的容量，能在控制棒全抽出時有足夠硼酸置反應爐於冷停機。
7. 兩台硼酸傳送泵，正常運轉一台，一台列置於stop/auto模式可依反應爐補水控制系統信號提供硼酸溶液至充水泵的入口集管 或其他系統。反應爐補水控制系統，可以手動或自動起動一台硼酸傳送泵，由任一硼酸儲存槽取水供給硼酸溶液至充水泵入口集管，最小流量從泵的出口流回至相關的硼酸槽，泵A流回槽A，泵B流回槽B，以防止水泵過熱受損。後備硼酸泵可用來循環硼酸儲存槽內的硼酸溶液以保持熱、硼酸均勻分布。傳送泵同時也以可用來將硼酸混拌槽內的新調製的硼酸溶液傳送至任一硼酸槽，泵室須控制溫度避免過低而導致硼酸結晶。
8. 壓力計PI-111A、PI-111B用以提供泵出口管路過濾器 之前後壓力指示，並可由此求得過濾器之進出口差壓。過濾器在注入反應爐補水前，從溶液中移除微粒和硼酸晶體，當過濾器差壓超出設定值時，須隔離清理過濾器。當經由閥門HV-20(控制盤上手動操作)執行加硼時，其流量由FI110流量計確認。
9. 硼酸混拌槽，利用反應爐補水系統的水來調合硼酸的結晶體補充到硼酸槽。為了幫助硼酸結晶體的溶解，槽外設有蒸汽套加熱器。使用的蒸汽來自輔助蒸汽系統，由溫度控制閥BG-TV100控制進汽流量。
10. 硼酸混拌槽經濾網、洩放管路而連接於硼酸傳送泵入口連通管。輔助蒸汽控制閥TV100由槽內溫度指示控制器TIC100控制開或關，並能警示高低溫度警報。

三、化學劑加入系統：

1. 本系統主要為一個化學劑混合槽，連接供水、調節閥、化學劑補充管嘴、通氣管路、洩放等管路，可將批次調配各類化學藥劑混合溶液經離心充水泵打入反應器冷卻水系統。
2. 化學劑混合槽的容量為5加侖，提供反應爐冷卻系統穩定濃度的聯氨以利除去水中溶氧。
3. 補水經調節閥BG-V249限制進入混合槽的流量率，以防止過高濃度的化學劑溶液經充水泵而流到反應爐冷卻水泵的水封。

四、反應爐補水控制系統：

1. 反應爐補水控制系統包括一自動控制器和閥、泵系統，能自動補水到爐水調節系統，到燃料更換水儲存槽，硼熱再生系統或硼回收系統。
2. 爐水控制系統控制盤有一具有六段補充模式的選擇開關(BG-HS071)：
 - a. 自動模式 (Automatic mode)：

正常運轉中，因容積控制槽低水位引起自動補充已選擇好的硼酸濃度溶液進入充水泵入口集管以維持系統容積。
 - b. 稀釋模式 (Dilute mode)：

操作純水補充到容積控制槽，降低反應爐冷卻水系統的硼酸濃度。
 - c. 後備稀釋模式 (Alternate Dilution Mode)：

由操作員操作，將純水直接注入到充水泵的入口集管和容積控制槽。快速降低反應爐冷卻水系統的硼酸濃度。
 - d. 加硼模式 (Borate mode)：

補充硼酸到反應爐冷卻水系統，增加硼酸濃度。
 - e. 手動模式 (Manual mode)：

操作員操作補充混合流量，純水或硼酸溶液到任何需要補充的系統。
 - f. 停止(Off)：停止任何模式之補水。
3. 補水控制系統包括硼酸流量控制站(BG-FK113)、硼酸容積計數器(BG-FQS113)、混合溶液流量控制站(BG-FK114)、補水容積計數器(BG-FQS114)、模式選擇開關(BG-HS071)及起動開關(BG-HS070)。
4. 硼酸流量控制閥BG-FV113A用以調節硼酸流量的大小，其自動節流控制信號來自於硼酸流量控制站BG-FK113(須置於AUTO模式)的流量設定信號和流量傳送器BG-FT113的實際流量信號(回饋信號)之誤差信號，此節流控制信號可自動調節BG-FV113A的開度，使實際流量(BG-FT113)自動追隨BG-FK113的流量設定值。
 另BG-FV113A之控制開關BG-HS113A置於modulate(AUTO)模式時，控制閥亦受反應器補水控制系統之控制，當(1)補水模式選擇開關(BG-HS071)置於borate或manual且起動開關(BG-HS070)轉到START，或者是，(2)選擇開關(BG-HS071)置於AUTO且起動開關(BG-HS070)為START狀態和VCT水位(BG-LT115)小於20%時，BG-FV113A將自動的依BG-FK113之設定的流量信號節流開啟至對應之閥位開度，以補充硼酸進入集管補水。此時，若將改變BG-HS71之模式、或將BG-HS070轉到STOP、或於borate或manual模式而硼酸計數器(BG-FQS113)已達設定值、或於AUTO模式而VCT水位(BG-LT115)大於40%，BG-FV113A將自動關閉以停止硼酸之補充。
5. 硼酸容積計數器(BG-FQS113)分為上、下兩個記數區，上記數區為預計加入的硼酸容積總數(單位為公升)，硼酸加入期間，所設定的計數會倒數。當指示退到零時，補水控制系統將自動停止加硼。下面的記數區則指示已加入的硼酸數量(單位為公升)。
6. 補水混合液流量控制站BG-FK114用以調節補水混合液流量的大小，此補水混合液流量在RCS DILUTE期間即為純水流量，其他模式則為硼酸與純水之合計流量，流量傳送器BG-FT114則提供此實際流量指示。
 純水流量控制站(BG-FV114B)用以節流進入補水集管之純水流量，其自動節流控制信號來自於混合液流量控制站BG-FK114(須置於AUTO模式)的流量設定信號和流量傳送器BG-FT114的實際流量信號(回饋信號)之誤差信號，此節流控制信號可自動調節BG-FV114B之開度，使混合液流量的實際流量(BG-FT114)自動追隨BG-FK114之流量設定值。
 另BG-FV114B之控制開關BG-HS114B置於modulate(AUTO)模式時，控制閥亦受反應器補水控制系統之控制，當(1)補水模式選擇開關(BG-HS071)置於Dilute、AtDilute或manual且起動開關(BG-HS070)轉到START，或者是，(2)選擇開關(BG-HS71)置於AUTO且起動開關(BG-HS070)為START狀態和VCT水位(BG-LT115)小於20%時，BG-FV114B將自動的依BG-FK114之設定的流量信號節流開啟至對應之閥位開度，以補充適當的純水流量進入集管補水，此純水流量即為混合液流量減去硼酸流量。
 此時，若將BG-HS71之模式改變、或將BG-HS070轉到STOP、或於Dilute、At Dilute或manual模式而補水容積計數器(BG-FQS114)已達設定值、或於AUTO模式而VCT水位(BG-LT115)大於40%，BG-FV114B將自動關閉以停止純水之補充。
7. 補水容積計數器(BG-FQS114)分為上、下兩個記數區，上記數區為預計加入的混合液容積總數(單位為公升)，混合液流量加入期間，所設定的計數會倒數。當指示退到零時，補水控制系統會自動停止。下面的記數區則指示已加入的混合液數量(單位為公升)。
8. 啟動控制開關 (HS070) 用以控制反應爐冷卻水補水系統之啟動與停止，共有三個開關位置：START、STOP與中立位置，當放開該操作開關時，開關即回復到中立位置。
 - a. 在正常運轉期間，控制開關 (HS070) 須轉至START使控制開關置於啟動狀態(START燈亮)，配合補水模式選擇開關(BG-HS071)選置AUTO模式，則補水控制系統即於待機中。
 - b. 當反應爐補水系統啟動進行補水期間，若補水量已達到預先設定的補水容積時，該補水控制系統將自動停止補水。例如下列：

- a. BG-HS071選置AUTO模式時，VCT水位 40%。
- b. BG-HS071選置Dilute、Borate或AtIDilute 模式時，當硼酸流量計數器或補水總計數器到達設定點。
- c. BG-HS071選置Manual模式時，此時兩組計數器同時計數，必須兩組都達到設定點。

c. 操作人員以手動將控制開關（HS070）轉換至stop位置，則停止補水。

肆、系統運轉

一、自動模式：

在此模式下，本系統可以自動地提供和反應爐冷卻水同樣濃度的硼酸溶液到反應爐冷卻水系統，其啟動信號是來自容積控制槽的水位控制器LC-115。

1. 當反應爐補水模式（BG-HS071）選在AUTO(自動)位置，且啟動控制開關（BG-HS070）在啟動狀態(START燈亮)時，由下列公式計算並設定BG-FK114與FK113。
補水(混合液)硼酸濃度(ppm) = (BG-FK113設定流量 / BG-FK114設定流量) × 硼酸儲存槽之硼酸濃度(ppm)
為了不造成反應度的改變，補水硼酸濃度(ppm)必須等於RCS硼酸濃度。在查知RCS硼酸濃度與硼酸儲存槽硼酸濃度(ppm)後，即可由上式求得BG-FK113設定流量與BG-FK114設定流量之比值，再選定二者適當的流量設定值即可。
2. 若容積控制槽的水位降到 20%時，補水系統即開始自動的補充混合溶液流量，經閥FV113B到充水泵的入口 集管。
 - a. 此時，已置於自動模式之硼酸傳送泵與反應爐補水泵將自動啟動。(註：正常運轉期間，前者一台置AUTO，另台置於MAN；後者則一台運轉中，另台置於AUTO)
 - b. 純水流量控制閥FV114B隨FK114所設定的流量信號(L/S)而調節FV114B的閥位開度以控制流量。流量傳送器FT114供給一個流量的回饋信號到BG-FK114中間Bar。
 - c. 同時，硼酸流量控制閥FV113A隨著硼酸流量控制站FK113設定值而調節硼酸的流量(L/S)。
 - d. 流徑控制閥FV113B全開，直接將混合液導入容積控制槽下游的充水泵的入口集管。
 - e. 自動模式繼續運轉到容積控制槽的水位回升到 40%時，補水即會自動停止。
3. 動作期間操作人員須確認BG-FK113與BG-FK114中間Bar顯示值。
4. 如欲停止補水時，可將控制開關（BG-HS070）轉到停止位置，自動補充即自動停止。
5. 自動補充的基本操作規程：
 - a. 將補水控制開關（BG-HS070）放在“停止”位置。
 - b. 轉動補水模式選擇開關（BG-HS071）到“自動”位置。
 - c. 在硼酸流量控制站FK113設定硼酸流量率。
 - d. 在總流量控制站FK114設定硼酸-水混合溶液之總流量率。
 - e. 補水控制開關轉至啟動位置(START燈亮)。
 - f. 當容積控制槽水位升到40%時，補水系統自動停止，補水控制開關（BG-HS070）START燈仍亮著，即仍待機中，下次VCT低水位時仍會自動補水。

二、稀釋模式：

在此模式下，本系統可以手動啟動方式提供預先設定的純水量(公升，BG-FQS114設定)，並依預設的流量率(L/S，BG-FK114設定)注入爐水控制系統。稀釋模式是用來降低反應爐冷卻水系統硼酸的濃度以增加爐心反應度，提高反應器功率。

1. 當需要降低反應爐冷卻水系統的硼酸濃度時，先將BG-HS070切至STOP以停用補充控制系統，再將模式選擇開關BG-HS071轉到稀釋(DILUTE)位置，在總流量控制器BG-FK114設定適當之流量率並置於AUTO模式，在總流量計數器BG-FQS114之上部計數區設定需加入的純水量(公升)。然後再將控制開關BG-HS070切至START位置，則下列將自動啟動：
 - a. 反應爐補水泵起動(置LEAD/AUTO台)。
 - b. 流徑控制閥FV114A全開以導引補充水經容積控制槽頂部之噴嘴噴入VCT，使氫氣更容易溶解於補充水中，維持反應器冷卻水系統的氫濃度。
 - c. 純水流量控制閥FV114B自動節流，其開度即依控制站BG-FK114之設定流量率而定。
2. 過程中，操作人員須確認BG-FK114中間Bar顯示值或電腦點BGF017。
3. 若容積控制槽的水位上升，水位控制閥BG-LV115A將引水流量部份或全部轉向到硼回收系統的滯留槽，為了確保反應爐稀釋運轉時，容積控制槽水位不致太高，運轉員必須監視VCT水位。當達到預設定之補水總量時，總流量計數器BG-FQS114即失能，自動停用補水控制單元與關閉流量控制閥，停止稀釋流量。補水期間，如將補充控制開關BG-HS070轉到STOP位置或變更BG-HS071之選擇模式時，亦會停止稀釋運轉。

三、後備稀釋模式：

後備稀釋模式和稀釋模式之功用相似，但更快速的改變反應爐冷卻水系統之硼酸濃度。此模式動作時，部份稀釋流量經流徑控制閥FV113B直接進到充水泵進口集管，另一部分流量則經流徑控制閥FV114A經容積控制槽頂部噴嘴注入槽中。

1. 使用後備稀釋模式補充時，先將BG-HS070切至STOP以停用補充控制系統，再將模式選擇開關轉到BG-HS071後備稀釋(ATL DIL)位置，在總流量控制站BG-FK114設定適當之流量率並置於AUTO模式，在總流量計數器BG-FQS114之上部計數區設定需加入的純水量(公升)，而將下部歸零，最後將補充控制開關BG-HS070切至起動(START)位置。
2. 過程中，操作人員須確認BG-FK114中間Bar顯示值或電腦點BGF017。
3. 當達到預設定之補水總量時，總流量計數器BG-FQS114即失能，自動停用補水控制系統與關閉流量控制閥而停止後備稀釋。補水期間，如將補充控制開關BG-HS070轉到STOP位置或變更BG-HS071之選擇模式時，亦會停止後備稀釋運轉。

四、加硼模式：

此模式可依預先設定之硼酸總流量，流量率與硼酸濃度的補充水注入反應爐冷卻水系統，以改變爐心反應度。

1. 採用加硼模式時，先將補水控制開關BG-HS070切至STOP以停用補充控制系統，將模式選擇開關BG-HS071轉至"加硼"位置(BORATE)，在流量控制站BG-FK113設定適當之流量率並置於AUTO模式，並在硼酸計數站BG-FQS113之上部計數區設定欲加入的硼酸容量(公升)，將下部計數區歸零，最後將控制開關BG-HS070轉至"啟動"位置(START)。
2. 過程中，操作人員須確認BG-FK113中間Bar顯示值或電腦點BGF016。
3. 當加硼量達到硼酸計數器BG-FQS113預先設定之硼酸總量時，硼酸流量計數器BG-FQS113即失能，自動停用補充控制系統，關閉流量控制閥及跳脫傳送泵。

五、手動模式：

此模式可提供預先設定的硼酸、純水、或混合溶液，依預定的流量率注入燃料更換水儲存槽、硼回收滯留槽、硼熱再生系統及爐水控制系統(VCT或BTRS)。

1. 採用手動模式運轉時，必須先於現場(與主控制室)執行「補水歧管至欲補水系統」間的管閥配置。
2. 完成補水管閥配置後，先將控制開關BG-HS070切至STOP(停止)位置，將補充模式選擇開關BG-HS071轉到MAN(手動)位置，在流量控制站BG-FK113設定適當之硼酸流量率並置於AUTO模式，在硼酸流量計數器BG-FQS113之上部計數區設定欲加入的硼酸量。在總流量控制站BG-FK114設定適當之混合流量率並置於AUTO模式，在總流量計數器BG-FQS114之上部計數區設定欲加入之總補水量，後將補水控制開關BG-HS070切至START(起動)位置。
3. 過程中，操作人員須確認BG-FK113與BG-FK114中間Bar顯示值或電腦點BGF016與BGF017。
4. 當補水總量達到設定值時，各計數器會停止所屬的補充系統。

六、AOP 576.1加硼時機與方法

- A. 當機組發生下列狀況時，應依程序書AOP576.1儘速執行加硼：
 - a. 在反應器跳脫或停機時有2支或更多的控制棒未能完全插入時。
 - b. 在反應器跳脫或停機時無法控制的反應爐冷卻水溫降，爐水平均溫度以一種無法控制的方式下降。
 - c. 不正常的控制棒插入，爐水平均溫度上升或功率階上升等顯示無法控制或無法解釋的反應度上升。
 - d. 反應爐補充水系統故障而必須旁通該系統以加硼反應爐冷卻水系統。
 - e. 控制棒位低於RIL值且無法於1hr內確定SDM是足夠時。
 - f. SDM不足時。
- B. 當機組暫態穩定後，應依程序書AOP576.1條列之方法儘速加硼，依估算之加硼量加硼，以控制反應度，程序書方法一，係直接從硼酸槽經硼酸傳送泵，經加硼控制閥HV-20送到充水泵入口集管，操作員須手動操作下列步驟：
 - a. 在控制盤面上，手動打開加硼控制閥BG-HV020。
 - b. 手動起動硼酸傳送泵BG-P004或P005。
 - c. 操作員要檢查傳送器BG-FT110的加硼流量率，因為加硼流量旁通補水系統和它的指示器，所以沒有硼酸流量的顯示。並須計算硼酸加入總量，可由硼酸流量率BG-FT110和時間求得。
 - d. 需將充水控制閥改手動並增加充水流量，提高CCP打水到爐心的流量率。

七、化學劑加入系統用以提供不同的化學劑經爐水控制系統注入反應爐冷卻水系統。

1. 在功率運轉時，加入以高純度的鋰（Li）拌合成LiOH溶液，注入反應爐冷卻水系以利控制爐水之PH值。
2. 在反應爐停機時，須加入聯氨 N_2H_4 以吸收氧，為了使輻射產生的Ammonia減到最少量，只在次臨界前才加入反應爐冷卻水系統。