

廠用海水與汽機廠房冷卻水

壹.廠用海水系統

貳.汽機廠房冷卻水系統

壹.廠用海水系統 (Nuclear Service Cooling Water System)

一.概述：

- A. 廠用海水系統 (NSCW) 在機組正常運轉時，提供海水至廠內各相關系統，爐心失水事故 (LOCA) 或其他設計基準事故時，提供海水到緊要安全設施使用。
- B. 此系統提供海水至下列設施及系統，把運轉中各組件產生之熱量帶走，可分為安全相關與非安全相關部份：

1. 安全相關串 (有A串及B串)

- a. 核機冷卻水系統 (CCW) 熱交換器。
- b. 緊要寒水系統寒水機冷凝器。
- c. 緊急柴油發電機冷卻水熱交換器。

2. 非安全相關串

- a. 中央寒水系統寒水機之冷凝器。
- b. 汽機廠房冷卻水系統熱交換器。
- c. 主汽機冷凝器機械真空泵封水冷卻器。
- d. 進出管制廠房及行政廠房 (一號機) 寒水機冷凝器。
- e. 次氯酸鈉 (NaOCL) 產生器(備用水源)及CWP潤滑水冷卻水。

- 3. 在事故時，自動隔離閥將非安全相關的負載隔離，且確保每一安全串的負載均有一台廠用海水泵提供海水來冷卻。
- 4. 廠用海水系統的迴轉欄污柵將廠用海水帶進來的雜物去除後收集帶走。避免：

- a. 堵塞安全及非安全相關負載的熱交換器管子。
- b. 傷害到廠用海水泵的葉片。

二. 設計基準

- A. 廠用海水系統在任一設備單一故障時，不會損壞系統執行安全設計基準的能力。
- B. 本系統在安全停機地震 (SSE) 發生時，仍然能執行其功能。
- C. 本系統有足夠的能力承受颱風、洪水及其他天然災害的侵襲。

- 1. 進水口的結構能承受海嘯及颱風的侵襲，操作層的所有門戶通道都經過密封，防止海水或雨水滲進造成淹水，損害泵和迴轉欄污柵。
- 2. 海嘯發生的大退潮，廠用海水泵仍有足夠的淨正吸取水頭 (NPSH) 。

- a. 泵的進水池位於平均海平面下11.1公尺。
- b. 而可能發生的最低海平面是負8.9公尺。
- c. 至少有2公尺以上的水位差，使泵的葉片能浸在海水裡轉動。

- D. 因為每串的泵都是100%容量，所以在固態邏輯卡片裡，每串各有一台泵被設定在"優先" (lead) 位置，在安全注水時優先起動。
- E. 廠用海水系統的主動元件 (如泵、電動閥、和氣動閥)，在功率運轉時，能被檢查和測試。
- F. 流過迴轉欄污柵的海水速度不會超過每秒1呎。
- G. 迴轉欄污柵能在5呎的前後差壓水頭下運轉。

- 1. 各部機組各有兩個迴轉欄污柵及兩台欄污柵清洗泵，各欄污柵之清洗泵出口可互相連通。
- 2. 迴轉欄污柵及欄污柵清洗系統收集雜物後由排水溝集中於一地方，便於清理。

H. 進水口最高預期溫度是32.2 ，廠用海水系統預期最高進水溫度是33.9 。

三. 組件介紹

- A. 進水口結構是防震一級設計。
 - 1. 廠用海水系統各安全串兩台共用一進水渠道。
 - 2. 此水泵之NSCW取水池加上NSCW泵室容量，總共350382ft³，作為最終熱沈，萬一發生海嘯或其他故障時，由於具有足夠的水源，仍可繼續運轉30分鐘。
 - 3. 海嘯時，浪高約為36呎，也就是在操作面層以上11呎。海嘯受到防波堤及廠房構築的阻擋，不致對廠用海水泵及迴轉欄污柵設備造成損壞。
 - 4. 進水池後面依序是固定欄污柵、閘門、迴轉欄污柵、細網。
 - a. 固定欄污柵
 - b. 閘門可以關閉進水口水源，便於檢修水泵。
 - c. 迴轉欄污柵是垂直迴轉，由鏈條帶動，必要時，也可以手動迴轉。
 - d. 一個迴轉欄污柵配置一台欄污柵清洗泵。
 - e. 細網可以確保進入水泵之海水無雜物存在。
 - 5. 廠用海水系統每一安全串各有兩台容量100%的水泵。
 - a. 水泵的型式為垂直輪機型，每台的出口流量是22500gpm。
 - b. 馬達容量1250HP，885rpm，供給電源來自4.16KV匯流排。
 - c. 水泵遇到最大的海潮或海嘯時，仍可正常運轉。
- B. 除了汽機廠房冷卻水系統的熱交換器進口閘外：
 - 1. 管路上各電動閥都是從緊要馬達控制中心 (M.C.C.) 受電。
 - 2. 各氣動閥都是防震一級，接到緊要安全設施 (ESFAS) 動作信號，會自動關閉。失去操作空氣或電源時，也是會自動關閉。
- C. 為了防止管路生銹，都內襯以橡皮。
 - 1. 埋管每隔76.2公尺的間隙，都有一個91.4公分寬的人孔，便於定期檢查管路內襯及塗裝材質。
 - 2. 管路上有測試接頭和膨脹接頭，以便檢修各段防震一級的埋管。
- D. 在剛開始要使用本系統前，各熱交換器和冷凝器流量要互相平衡，因此管路上有流量計臨時接頭。

四. 系統介紹

- A. 本廠的廠用海水系統提供緊要安全設施及其他非安全相關設備冷卻之用。
- B. 由兩個容量100%的雙重串組成，每一串有兩台容量100%的水泵。
- C. 從南灣的最後熱沈經廠用海水泵取水。
- D. 此泵室為鋼筋混凝土結構，二部機組共有四座進水池。
- E. 每座進水池配置一部迴轉欄污柵、固定欄污柵、細網以及兩台迴轉欄污柵清洗泵、廠用海水泵軸封冷卻水設備和加氯設備。
- F. 次氯酸鈉產生器及與CWP潤滑水冷卻水，係由B串單獨供給，安全注水信號時會自動隔離。
- G. 每串的廠用海水泵出口構成一條集管，提供海水給非安全相關設備。
- H. 在A串和B串泵出口均有一條回流大海管路，其功能是：
 - 1. 在檢修廠用海水泵時，管路洩水之用。
 - 2. 泵檢修後，測試泵時，當做是最小回流管路。
- I. B串也單獨提供冷卻海水到進出管制廠房的寒水機冷凝器。

- J. 行政廠房AHU之冷排寒水由一號機的進出管制廠房寒水機提供。
- K. 廠用海水系統的管路設計安排，在氣動隔離閥隔離兩個安全串時，每個安全串將僅提供海水給自己相關串的安全相關設備。
1. 非安全相關負載由一條91.4公分直徑的管路供給，位於A串隔離閥HV103，B串隔離閥HV203的下游。
 2. 非安全相關負載再分別由兩條較小的集管所供應。
 - a. 這兩個電動隔離閥在緊急狀況（安全注水時），會將非安全相關的廠用海水負載隔離。
 - I. HV105隔離中央寒水系列寒水機。
 - II. HV205隔離下列負載：
 - i. 汽機廠房冷卻水系統熱交換器。
 - ii. 水箱驅氣泵封水冷卻器。
 - iii. 主汽機冷凝器機械真空泵封水冷卻器。
 4. 到A、B兩串安全相關負載的兩個集管，分別由電動隔離閥所隔離。
 5. 在防震一級鋼筋混凝土建築的閥室裡，有下列閥：
 - a. HV103、HV203非安全串隔離閥
 - b. HV106、HV206安全串隔離閥
 - c. HV105、HV205非安全串隔離閥
 - d. HV121、HV221安全串隔離閥
 - e. HV122、HV222非安全串隔離閥
 - f. HV223中央寒水機出口閥
 6. 安全相關負載的進口閥位於組件附近，這些閥是：
 - a. 核機冷卻水熱交換器隔離閥HV107、HV207。
 - b. 緊要寒水機冷凝器隔離閥HV112、HV212。
 - c. 緊要柴油機廠用海水隔離閥HV117、HV217。
 7. 汽機廠房冷卻水系統每個熱交換器之海水進口側有一個電動蝶形閥，有旁通閥做為熱交換器充水時用。
 8. 進出管制廠房寒水機的海水側進出口有兩個電動閥，接到安全注水信號時會自動關閉。
 9. 中央寒水機冷凝器、水箱驅氣泵封水冷卻器和機械真空泵封水冷卻器的海水進口閥由現場操作蝶形閥或閘閥來控制。
 10. 非安全相關負載熱交換器上游的壓力釋放閥（熱釋放閥）可以在失去冷卻海水（被隔離）時，移除超過或累積的潛熱。
 - a. 主汽機冷凝器機械真空泵和水箱驅氣泵的封水冷卻器釋放熱量回管路下游。
 - b. 汽機廠房冷卻水系統熱交換器和進出管制廠房寒水機釋放熱量到地面洩水孔。
 11. 兩個安全串的負載排水到兩條輸水管。
 - a. 每條管路各有一個出口電動隔離閥（可以調節開度）。
 - b. 這兩個閥接到安全注水信號時會自動打開，使海水供應到安全負載。
 12. 廠用海水系統出口有一條連通集管，位於兩條安全負載排水管路間。

- a. 管路上有兩個氣動隔離閥。
- b. 此兩閥在失去操作空氣或電源時會自動關閉。

13. 中央寒水系統寒水機冷凝器出口管路，併入廠用海水出口連通集管。

- a. 管路上有一個可以寸動調節（JOG）開度的電動閥。
- b. 安全注水時，會將中央寒水系統隔離。

L. 各負載的冷卻海水，最後經由廠用海水排放管路排出：

1. 核機冷卻水熱交換器。
2. 緊要寒水系統寒水機冷凝器。
3. 緊要柴油發電機。
4. 中央寒水系統寒水機冷凝器。
5. 進出管制廠房寒水機冷凝器。

M. 各負載海水排進循環水系統排水渠道的有：

1. 汽機廠房冷卻水系統熱交換器。
2. 冷凝器真空泵封水冷卻器。
3. 水箱驅氣系統封水冷卻器。

N. 廠用海水排水管路和循環水排水管路合併成一條明渠排水道，此明渠兩部機組共用，經後壁湖出水口排至大海。

五. 系統運轉

A. 正常運轉時：

1. 每部機組的四台廠用海水泵，每串運轉一台，其餘兩台備用。
2. 藉著閥的調整，輸送到各廠房負載的流量大小，可以保持平衡狀態。海水將下列負載的熱量帶走：
 - a. 核機冷卻水A串及B串。
 - b. 汽機廠房冷卻水熱交換器A串或B串。
 - c. 冷凝器機械真空泵封水冷卻器一台。
 - d. 中央寒水機冷凝器一台。
 - e. 進出管制廠房寒水機一台。
 - f. 次氯酸鈉產生器。

B. 異常運轉時：

1. 在發生安全注水時，由於兩安全串互相隔離，提供海水到安全相關負載。非安全相關負載如下：
 - a. 進出管制廠房寒水機冷凝器。
 - b. 中央寒水系統寒水機冷凝器。
 - c. 汽機廠房冷卻水熱交換器。
 - d. 冷凝器機械真空泵封水熱交換器。
 - e. 次氯酸鈉產生器。

2. 安全注水時的安全相關負載如：

- a. 緊急柴油發電機冷卻水熱交換器。
- b. 緊要寒水系統寒水器冷凝器。

3. 核機冷卻水熱交換器B串在安全注水時，旁通閥會關閉，而大管路隔離閥會自動打開，使A、B兩串都有較大流量通過。

4. 當接到安全注水訊號時，所有迴轉欄污柵及清洗泵會立刻自動起動，持續運轉。

C. 起動 / 停機時：

1. 電廠在起動 / 停機時，安全串設施通常停用，送到核機冷卻水熱交換器以及汽機廠房冷卻水熱交換器流量可以減少10%。
2. 在廠用海水泵起動前，應先起動迴轉欄污柵及攔污柵清洗系統，起動泵後，應每8小時自動運轉30分鐘。
3. 中央寒水系統寒水機出口閥應該調節開度，避免造成冷凝器管側高真空。
4. 安全串的出口閥應該調節開度，避免出口管路流速過快。

六. 儀表和連鎖

A. 在控制室有廠用海水泵出口壓力錶和每串流量指示錶。

B. 在A串水泵103被選作優先 (lead) 下：

1. P103的起動開關在自動模式下，P104沒運轉或P104出口低壓力延遲5秒，P103會自動起動。
2. P103的起動開關不論是在自動或手動模式下，在安全注水步驟4時會自動起動。
3. P104的起動開關不論是在自動或手動模式下，在安全注水步驟8時，會成為自動模式，當下列狀況時會自動起動：
 - a. P103沒運轉。
 - b. P103出口低壓力延遲5秒。

4. 泵在下列狀況時會跳脫：

- a. JP004或JP201的開關按下"停止"。
- b. 失去廠外電源時的卸載 (load shed)。
- c. 電氣保護電驛動作。
- d. 出口低壓力延遲10秒。

C. 下列狀況時B串核機冷卻水熱交換器進口閥會自動開啟 (如果沒開)，且其較小的旁通閥會自動關閉 (如果沒關)：

1. 核機冷卻水兩串隔離 (任一閥沒全開) 時。
且NSCW B串隔離閥未關時 (也就是沒有SI訊號，且兩安全串未互相隔離)。
且CCW到RHR熱交換器進口閥沒有關時。
2. SI動作。

D. 若CCW A串、B串互相隔離，且進口閥關閉，隔離閥未關 (即無SI信號，且未兩串隔離)，則進口閥會關閉，旁通閥會開啟，因RHR未運轉，通過較小流量就足夠。

七. 注意和限制條件

- A. 密切監視泵出口壓力和泵之馬達電流，如果出口壓力上下幌動相差 $3.1\text{kg}/\text{cm}^2$ 或馬達電流超過 162Amp ，立即動手停止該泵。
- B. 當有下列徵候出現，表示本系統可能異常，立即執行AOP，545 廠用海水系統異常。
 - 1. CCW Hx出口溫度A串/B串：指示大於 37°C 。
 - 2. 緊要寒水出口水溫度大於 7°C 。
 - 3. 緊急柴油機控制盤"水套溫度高"大於 190°C 。
 - 4. TBCCW水溫大於 32°C 。
- C. 確定循環水化學控制系統使用中，次氯酸鈉已加入進水口中。
- D. 在15分鐘內，馬達可以連續起動三次，但第三次起動前須至少運轉10分鐘以上。
- E. 如果迴轉攔污柵不可用時，相關的廠用海水泵在迴轉攔污柵發生過量的差壓前儘快停止。

貳. 汽機廠房冷卻水系統 (Turbine Building Closed Cooling Water System)

一. 概述：

TBCCW的功能是移除汽機廠房的設施及蒸汽產生器沖放系統所產生的熱量。

二. 設計基準：

- A. 正常功率運轉時，TBCCW能連續供給汽機房設施最大溫度不超過 37°C 的冷卻水。
- B. 此系統允許任一主動元件故障，而不中斷此系統的冷卻功用。
- C. 此系統有足夠的除礦水補充容量，自動供給系統因洩漏所造成的流失。同時此系統調節槽的容量可因應水的熱脹冷縮所造成的體積變化。
- D. 此系統須定期加入鉬酸鈉以防止腐蝕現象。鉬酸鈉則來自TBCCW化學添加槽。

三. 系統介紹：

- A. TBCCW由水泵、管路、閥、熱交換器、調節槽、控制儀器所組成，此系統供給冷卻水到汽機廠房設備。
 - 1. TBCCW泵，每部機組有二部為水平離心式，額定容量為 $732\text{L}/\text{S}$ ，為 4.16KV 匯流排。
 - 2. TBCCW調節槽型式為水平式，容量為 76091 公升，最大工作壓力為 $6.8\text{kg}/\text{cm}^2$ 。
 - 3. TBCCW化學添加槽，型式為垂直式，容量為 284 公升設計壓力 $10.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，溫度為 65.6°C 。腐蝕抑制 鉬酸鈉可手動加入TBCCW化學添加槽。
 - 4. TBCCW熱交換器，每部機二台 100% 容量，殼形直管型，可容納 $76.31 \times 10^6\text{ BTU}/\text{hr}$ ，殼側為碳鋼製成，水源為汽機冷卻水，進/出口溫度為 $44^\circ\text{C} / 36.7^\circ\text{C}$ ，流量率 $732\text{L}/\text{S}$ ，設計壓力為 $10.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 。管側為銅鎳製成，水源為廠用海水，進 / 出口溫度為 $32.2^\circ\text{C} / 38.3^\circ\text{C}$ ，流量率為 $883\text{L}/\text{S}$ ，設計壓力為 75psig 。
- B. TBCCW從下列設備收集熱量，然後將熱量經熱交換器傳遞到廠用海水系統。
 - 1. 發電機氫氣冷卻器。
 - 2. 發電機相間隔離匯流排風管冷卻器。
 - 3. 發電機定子冷卻器。
 - 4. 發電機勵磁機冷卻。
 - 5. 主汽機潤滑油冷卻器。
 - 6. 蒸汽產生器飼水泵汽機潤滑油冷卻器。
 - 7. 蒸汽產生器沖放熱交換器。
 - 8. 電子液壓控制油冷卻器。

9. 空氣壓縮機水套冷卻器及後段冷卻器。
10. 冷凝水泵馬達軸承油冷卻器。
11. 二次系統取樣冷卻器。
12. 加熱器洩水泵填料箱。
13. 起動主飼水泵潤滑油冷卻器、軸封熱交換器。
14. 備用中央寒水機。
15. 蓄電池室冷氣機單元。
16. 充電機室冷氣機單元。
17. ILRT空氣壓縮機冷卻器。

- C. 當正常功率運轉只運轉一台TBCCW泵及一台熱交換器。TBCCW將除礦水打入TBCCW熱交換器殼側，再流經各需要冷卻的設備。TBCCW熱交換器的熱量由流經管側的廠用海水移除。
- D. 流經主汽機潤滑油冷卻器，蒸汽產生器，飼水泵汽機潤滑油冷卻器的流量是由冷卻水出口自動控制閥來調整，至於流到EHC油冷卻器及空氣壓縮機中段冷卻器的冷卻水，則由冷卻水進口的自動控制閥來調整。
- E. 除了前面所述的幾個設備外，其他所有的冷卻器之TBCCW流量，都是由冷卻水出口的個別節流閥手動調整，同時為了防止過多的流量流經發電機定子冷卻器，故裝置了一個限流孔。
- F. 在各冷卻器的出口集管上裝有流量測量元件，用來調整此系統的最初流量平衡。
- G. 壓力溫度指示器裝置在每個冷卻器的冷卻水出口。
- H. TBCCW調節槽位於此系統最高點，由氮氣（N²）加壓，與泵的進口連接，調節槽於系統發生洩漏時，可提供除礦水補水，同時可容納此系統因溫度變化產生之冷卻水脹縮。
 - I. 補充TBCCW的除礦水是由除礦水傳送泵供給，調節槽的水位會自動控制補充水量。腐蝕抑制劑可用手動加入此系統。
 - J. TBCCW泵可以從主控制盤手動起動及停止，正常運轉時先起動一台，另一台則置於"自動"位置，如果接收到出口壓力低的信號，則自動起動。

四. 儀器和控制

- A. 到發電機勵磁機冷卻器的冷卻水流量率，及汽機潤滑油冷卻器，發電機氫氣冷卻器和蒸氣產生器飼水泵汽機潤滑油冷卻器的流量率是由自動應溫控制閥予以調節。這些閥座落於冷卻水出口管路，然而到電子液壓油冷卻器冷卻水的流量率是由溫度控制閥加以控制，此二閥位於冷卻水入口管路上。膜片操作控制閥的調節流量是反應溫度訊號，溫度訊號則來自被冷卻流體控制器的溫度指示，流到空氣壓縮機和後冷卻器的流量由壓力控制閥保持低於85psig的壓力。而空氣壓縮機出口的冷卻水流分支到水泵的入口以降低壓力閥的背壓，因此增加壓縮機前後的可用壓力降，配合入口85psig的壓力。
- B. 冷卻水到所有其他冷卻器的流量率是用手動調整，即調整各個別單元的冷卻水出口調節閥。為防止過多的冷卻水流經發電機定子冷卻器有一限制縮流管加以限制。
- C. 在冷卻器出口集管有流量元件及接管提供流量指示。出口集管是初始平衡系統的最好運用。
- D. 任何系統整體體積的增加會使汽機廠房閉路冷卻水系統調節槽的水位和內部壓力增加。壓力控制閥會偵查到此種情況而排放到汽機廠房西側集水池，調節槽壓力的下降由壓力控制閥測知，並使氮氣流入槽內以重新建立系統壓力。調節槽液位下降時由液位控制偵測，在控制盤上有指示，並開啟液位控制閥，使除礦水補水系統的除礦水流入，直到水槽達到其正常運轉的水位。
- E. 汽機廠房閉路冷卻水系統流到蒸汽產生器飼水泵汽機潤滑油冷卻器的流量是由溫度感測器控制。溫度感測器在潤滑油的儲存、傳送和淨化系統，感測器啟動控制閥以控制水流。
- F. 汽機廠房閉路冷卻水系統流經主汽機潤滑油冷卻器之水流是由潤滑油儲存、傳送和淨化系統的溫度感測器予以控制，感測器啟動溫度控制閥控制流量。
- G. 汽機廠房閉路冷卻水系統流經空氣壓縮機和中間冷卻器是由電磁控制閥啟動，當相對應的空氣壓縮機起動時閥就開啟，流經圓柱水套的水流是由調溫控制閥控制，而流過中間冷卻器的流量則由手動調整閥控制。

五. 系統運轉

A. 系統起動

1. 汽機廠房閉路冷卻水系統是由除礦水系統補水，所有組件隔離閥和系統高點通氣要打開。正常除礦水補水管路是用於系統充水，當調節槽充水達到運轉水位，除礦水補水電磁閥會自動關閉。
2. 水泵起動之前，調節槽以氮氣加壓以便充水到整個系統，而氫氣冷卻器是在最高位置。汽機廠房閉路冷卻水系統泵起動一台，起動由控制室

手動按鈕啟動，備用的一台水泵置於自動起動模式。一旦冷卻水循環於系統間，腐蝕抑制劑便由化學添加槽加入系統，化學劑裝入隔離的化學添加槽，然後使水流入以便拌合化學藥劑並加入冷卻水系統，有一週期取樣以分析汽機冷卻水的水質。

3. 每一組件所需要水流量是使用裝在系統流量組件的流量錶予以建立，每一組件的出口閥調節所需的流量，現場壓力指示器指示運轉的壓力，溫度控制閥分別在發電機勵磁冷卻器，發電機氫冷卻器，主汽機潤滑油冷卻器，飼水泵汽機潤滑油冷卻器和電子液壓油冷卻器，要加以校準。

B. 正常運轉

汽機廠房閉路冷卻水系統在電廠所有運轉模式期間均連續運轉供水，例如功率運轉、起動和停機等。在所有運轉模式下，系統只要一台水泵和一個熱交換器便能充份供給所需的冷卻水，重覆性的設備必須週期性地更換運轉以保持相同的可用狀態。轉換到備用水泵是在控制室施行，轉換系統的熱交換器和其他設備運轉則在現場實施。