**第十六章 凝結水及飼水系統**

壹、凝結水與飼水系統說明

**一、設置目的**

凝結水與飼水系統之設置目的，為提供一獨立飼水系統至反應爐，且提供飼水加熱及保持飼水純水質。採用沸水式反應爐的電廠，是以再熱 (Reheat) 及再生 (Regenerative) 的閉路式郎肯循環(Rankin Cycle)做為熱功動力的循環，凝結水與飼水系統就相當於其中的絕熱壓縮和再生過程，增壓並預熱主冷凝器回收之凝結水，供做反應爐飼水，而與反應爐、汽輪機和冷凝器等系統共同構成其閉路式熱功循環。

二、設計基準

本系統對於反應爐的安全停機無關，亦無促使反應爐維持於安全停機 情況之核能安全功能需要。

1.關於核能安全之設計基準

（1）凝結水與飼水系統各管路機件，均能適應各種運轉應力，諸如熱應力、內部壓力及安全停機強震等負荷，以免發生任何故障而使流體洩漏，導致放射性物質外洩量超出輻射防護法規之規定。

（2）飼水管貫穿乾井之前後，須設止回閥做為隔離閥，以符合乾井之完整性規定。

2.功率產生設計基準

（1）須具有熱功功能，將主冷凝器熱井所聚集的凝結水加壓並預熱，供給反應爐所需之額定流量、壓力和溫度之飼水。並且有充份的流量和壓力餘裕，足以因應各種預期的運轉情況，而維持反應爐水位於設定範圍內。

（2）飼水加熱器供給進入反應爐飼水需要的溫度，於機組額定運轉時，經過六級的飼水加熱，最後溫度為420℉。

（3）須具有水處理能力，能處理運轉中預期最不純淨的熱井凝結水和補給水，清除水中溶解性和懸浮性固體物，以維持反應爐所需之高純度飼水水質。

（4）所有管路機件須遵照有關工程法規標準之規定。管路機件之安排，須便利從事運轉中檢視和試驗作業。

貳、系統概述與流程

1、凝結水與飼水系統自主冷凝器熱井到反應爐飼水入口止。依次有凝結水泵、蒸汽抽氣器冷凝器、汽封冷凝器、廢氣冷凝器、凝結水除礦器組、低壓飼水加熱器組、飼水泵、高壓飼水加熱器組等設備，和連通管路、控制閥與儀控系統。通常以飼水泵為分界點，其前是凝結水系統，其後為飼水系統。實用上，除礦器下游之凝結水系統，又稱為低壓飼水系統。汽輪機抽汽使用於總數六階的閉路飼水加熱，而飼水加熱器的洩水，則逐級地經較低壓的飼水加熱器而到達主冷凝器。凝結水泵從主冷凝器熱井吸取除氧凝結水，經過並聯的蒸汽抽氣器及汽封冷凝器，然後經過廢氣冷凝器、凝結水除礦器，再經過連續的五階低壓飼水加熱器，最後送達反應爐飼水泵進口管路。反應爐飼水泵則將此飼水送經單階高壓飼水加熱器後進入反應爐。

2、凝結水泵與飼水泵共同提供凝結水與飼水系統所需之絕熱壓縮過程。

其中，凝結水泵將熱井凝結水加壓，克服凝結水系統之動靜水頭損失，保持凝結水過冷狀態，並供應飼水泵所需之正淨吸水頭。飼水泵將這些通過凝結水系統的凝結水絕熱壓縮、巨幅增壓，克服飼水系統之動靜水頭損失和反應爐內部壓力。本系統提供四台各具1/3額定量的凝結水泵，於正常滿載運轉時，三台凝結水泵雖已滿足所需要的流量，但為保守起見，以程序書規定是四台凝結水泵全部運轉。各泵前後設有隔離閥，於保養停用時操作關閉，使泵與系統隔離，而不致妨礙系統之運轉，增加系統之運用能力。

3、低壓飼水加熱器組和高壓飼水加熱器組，是提高飼水溫度之主要設備。飼水加熱器就是抽汽再生器，利用抽汽之汽化潛熱間接預熱飼水，提高飼水溫度，增加熱功循環效率，並減少飼水與爐水之溫度差，緩和反應爐槽飼水管嘴之熱應力。低壓飼水加熱器組構成Ａ、Ｂ兩相同迴路，每一迴路設有五級低壓飼水加熱器，依飼水流向，分別編號為＃6、＃5、＃4、＃3和＃2低壓飼水加熱器。高壓飼水加熱器組亦分成Ａ、Ｂ兩路並聯，每一路有一級高壓飼水加熱器，編號為＃1高壓飼水加熱器。

4、高壓飼水加熱器應用高壓汽輪機第五級抽汽加熱。＃ 2低壓飼水加熱器引用高壓汽輪機一小部份排汽加熱。其餘＃3、＃4、＃5、＃6低壓飼水加熱器，則分別取用低壓汽輪機抽汽。除＃5、＃6低壓飼水加熱器之抽汽外，其餘每一抽汽進入飼水加熱器之前設有逆止閥，防止汽輪機跳脫時，積存在飼水加熱器之洩水閃化，蒸汽倒流進汽輪機致使汽輪機超速，當汽機跳脫時，所有的逆止閥將自動關閉。

5、飼水的最後額定溫度，在高壓飼水加熱器出口處設定為420 ℉。飼水溫度除與熱功率循環效率有關外，對沸水式反應爐性能，尚有極重要的影響，包括爐水反應度、溫度效應變化、爐心最低臨界功率比值增減、和爐水再循環系統之NPSH高低等。

6、沸水式反應爐爐水是保持高純度水質，以防止其內部機件和系統設備之腐蝕、和放射性活化產物問題。因此，反應爐飼水需有水質淨化處理，儘可能提高水質純度，防止系統腐蝕產物或異物隨飼水侵入反應爐。本系統應用的方法，積極方面有凝結水除礦器組之全流量離子交換處理和主冷凝器除氧設計，消除水中不純物，消極方面有飼水加熱器洩水系統和起動沖放管之安排，將不純之水導回主冷凝器熱井，予以再處理。

7、凝結水除礦器組的主要目的，在於保持流往反應爐的飼水有高純度水質。是由六個深床式混合離子交換樹脂除礦器並聯組成，以全流量處理正常運轉中和包括設計上允許之最高污染情況下的熱井凝結水。於正常運轉時，凝結水除礦器組清除溶解性和懸浮性固體物，以保持反應爐高純度飼水。

8、於正常運轉中，只需五個除礦器即足夠全流量處理凝結水，維持反應爐所需之飼水純度，另外一個除礦器經常保持備用狀態，目前本廠是以化學課掌控儘可能同時使用六個除礦器。

9、各級飼水加熱器洩水是以階疊方式構成洩水系統。正常運轉中，從再熱器開始，洩水靠重力及各加熱器之壓力差由壓力較高的飼水加熱器往較低的飼水加熱器，一級一級宣洩。每一級洩水管設有流量控制閥，控制上一級加熱器之水位於設定範圍內，以保持飼水加熱器之效率。但若一飼水加熱器高水位時，其上游之水位控制閥即自動關閉，阻止上一級飼水加熱器繼續洩水進入，此時上一級飼水加熱器的洩水，即經由其旁通洩水管上的水位控制閥，直接導入主冷凝器熱井，直到恢復正常。

10、反應爐的飼水流量，隨其負載和水位的情況改變，其目的主要是在維持反應爐水位於設定範圍內。反應爐最佳水位的設定，是一方面保持爐心在預期的各種運轉情況下，恆有爐水覆蓋；另方面使蒸汽分離器保持適當浸水深度，有效地發揮其汽水分離功能，並考慮再循環水泵跳脫時之爐水膨漲和反應爐急停時之爐水收縮，防止騰帶和潛挾情況發生。

參、設備說明

一、主冷凝器

1.主冷凝器的主要目的為提供一熱沈.接受下列各管路之排汽及洩水。

（1）汽機排汽、洩水。

（2）汽機旁通系統之蒸汽。

（3）加熱器之排汽、洩水。

（4）蒸汽抽氣器冷凝器之洩水。

（5）汽封蒸汽冷凝器之洩水。

（6）飼水加熱器殼側排汽。

（7）其他蒸汽循環的洩水。

2.主冷凝器設計於滿載正常運轉時：

主冷凝器設計於接受35％的旁通蒸汽量，不致使其背壓升高到汽機跳脫的極限點，或超過汽機容許的排汽溫度。冷凝器靠SJAE可除凝結水中的氧，於正常運轉中保持凝結水中的不溶氧氣少於50ppb。冷凝器殼採用鋼板焊接結構以減少空氣洩漏，其附屬設備及管路亦應設計減少空氣洩漏。冷凝器熱井須有足夠的容量，並且能夠有效滯延冷凝水使放射性衰變。

二、凝結水泵

凝結水泵為馬達驅動、定速、直立式、多級離心泵，四台並聯，可提供足夠水頭，以防止飼水泵因NPSH不足而跳脫。每一凝結水泵於故障或需檢修時，均可使用隔離閥 單獨隔離之，以使其餘的凝結水泵能保持系統於正常的運轉中。於正常運轉時，三台凝結水泵提供了需要的流量，而第四台凝結水泵處於備用狀態。

三、凝結水除礦器

1.設計基準

(1) 凝結水除礦器，用來處理運轉中凝結水。維持正常或起動運轉時，除礦器出口水質在限制值內。

(2) 主冷凝器海水少量洩漏時，凝結水除礦器可維持正常運轉，並使出口水質合於限制值內。

2.系統概述

(1) 凝結水除礦器組，是由六個深床式混合離子交換樹脂除礦器組成，以全流量處理正常運轉中、以及設計上允許之最高污染情況之凝結水，清除溶解或懸浮性固體物及腐蝕產物，使反應爐能有高度純淨的飼水。

(2) 深床式混合離子交換樹脂除礦器，有離子交換和過濾兩件功能，其離子交換能力足以承擔有限度的海水洩漏。

(3) 正常運轉中，祇須五個除礦器即足夠處理全流量凝結水，維持飼水純度。另外一組除礦器經常保持備用，供作運轉中除礦器功能耗竭時的替換，增加了除礦器組的可靠性，也方便除礦器外部再生作業。

(4) 一條100％凝結水容量的旁通管，與凝結水除礦器組並聯，正常運轉中保持關閉。

3.設備說明

(1) 凝結水除礦器組，包括六個混床式除礦器、外部再生設備超音波樹脂洗淨器和管路、儀器設備。

(2) 除礦器為直徑11呎的圓球體，內壁襯以防腐蝕橡膠模，每個除礦器設計容納混合離子交換樹脂。陽離子交換樹脂，陰離子交換樹脂，，陰陽離子交換樹脂混合比為１：１。

(3) 除礦器外部還原設備包括：

a.樹脂分離與陽離子再生槽。

b.陰離子再生槽。

c.樹脂混合及儲存槽。

d.酸液槽

e.鹼液槽，

 f.其他包括超音波樹脂洗淨器、熱水槽，以及酸鹼傳送泵和儀控系

 統等。

（4）樹脂分離與陽離子再生槽，用來接收、逆洗和分離耗竭之樹脂，(並將陽離子樹脂用稀釋硫酸液再生，陰離子樹脂用稀釋鹼液再生。)儲存槽存放業已再生的陽離子和陰離子樹脂，引用壓縮空氣混合。

四、飼水加熱器組

高壓和低壓飼水加熱器組均分為Ａ、Ｂ二路並聯。每一飼水加熱器為水平閉路式，裝置於允許正常加熱器殼側排洩的高度。前三個低壓飼水加熱器置於主冷凝器兩個殼頸內，均使用直管構造，其餘低壓飼水加熱器及高壓飼水加熱器級均使用Ｕ型管構造。所有飼水加熱器的流管均使用不繡鋼管。隔離閥及旁通閥允許飼水加熱器能夠單獨隔離，以使其餘的飼水加熱器能保持系統於正常的運轉中。於起動及運轉時，飼水加熱器蒸汽側的逸氣是直接通往主冷凝器。高壓飼水加熱器有一級共二個，低壓飼加熱器有五級共十個。

五、反應爐飼水泵

反應爐飼水泵為汽機驅動、臥式、單級、離心高壓水泵，共有三台並聯，每泵具有50％系統保證容量，其主要目的為將來自最後一級低壓飼水加熱器的凝結水，泵送至高壓飼水加熱器，經絕熱壓縮，巨幅增壓後，提供了反應爐所需要的壓力水頭。每一台反應爐飼水泵的出口端，有一飼水再循環管路經最低流量控制閥連通至主冷凝器的熱井，於正常運轉中，控制此飼水最低流量控制閥可確保最低安全流量通過反應爐飼水泵。

六、反應爐飼水泵汽機轉速控制之流程原理

反應爐飼水泵汽機轉速控制之流程共分為三種控制模式:

⚫ 手動控制模式

⚫ 自動（AUTO）控制模式

⚫ 超越(M/A)控制模式

（1）手動控制模式:

本模式為高壓/低壓調速閥手動控制模式,其控制係以西屋分散式程式控制盤伺服驅動( QSD)卡片為控制中心，伺服驅動(QSD)卡片本身即為獨立的PI控制器，它接收由高低壓調速閥閥位置回授信號，並與伺服驅動(QSD)卡片之閥位置需求信號比較後再由PI（比例＋積分）控制送出調整信號，以控制HP/LP調速閥之位置，使其與閥位置需求信號一致。

本模式之操作可由控制盤按鍵，閥位置增加按鈕及閥位置減少按鈕來使HP/LP調速閥定位。

（2）自動（AUTO）控制模式模式:

本模式又稱為自動（AUTO）控制，即接受來自飼水控制系統的手動自動（M/A）操作站之控制，M/A操作站輸出為0~100﹪，信號到反應爐飼水泵汽機 微處理電子液壓控制盤即轉為轉速需求信號.此信號與內部速度控制器設定之內部速度控制需求信號。相減後得出升降速率需求信號，此信號並經速率限制器限制，此升降率需求信號與內部速度控制需求信號相差後，再設定內部速度控制器並顯示於內部速度控制需求信號顯示表。

內部速度控制需求信號與實際飼水泵汽機轉速相差後再由PI（比例＋積分）控制器處理成閥開度需求信號再送伺服驅動(QSD)卡片控制LP/HP調速閥位置，使飼水泵汽機轉速保持與內部速度控制需求信號一致。

因此，本模式為正常之控制模式，完全接受飼水M/A操作站之控制，藉調整飼水泵汽機之轉速，使反應爐水位保持於設定值範圍內。

（3）超越(M/A)控制模式：

本模式為超越M/A操作站之控制模式，以手動設定內部速度控制需求信號來改變飼水泵汽機轉速之控制模式；此模式發生作用時，原由M/A操作站控制之權力轉由本模式取代，且僅能以手動調整閥位置增加按鈕或閥位置減少按鈕來設定內部速度控制器，以改變內部速度控制需求信號，從其下游接受飼水泵汽機轉速回授信號到PI（比例＋積分）控制器再到伺服驅動(QSD)卡片控制之型式，維持與自動控制模式之控制方法一樣。