

# 蒸汽產生器

- 壹.構造
- 貳.水位控制系統
- 參.沖放系統

## 壹、構造

本廠蒸汽產生器屬F型（Model F）基本上是直立式的U型管熱交換器（Heat Exchanger），由反應爐爐心流出的高溫高壓水，經進水室（Inlet Chamber），沿著U型管至出水室（Outlet Chamber），經由反應器冷卻水泵再打回到反應爐。流經U型細管時，將熱量傳給殼側低壓二次系統飼水。飼水由頂部飼水環餉入蒸汽產生器，先由潛降區（Down Comer）流至U型管束的底部，然後往上吸收一次系統的熱量，成為汽水混合體，經汽水分離器（Moisture Separator）、乾燥器（Dryer）等將水分排除，再將蒸汽送往汽機作功發電。被排除的飽和水混合飼水再回到潛降區，繼續循環不已。

### A. 一次系統側的構造：

1. 管板與U型管形成一次系統的壓力周界（Pressure Boundary），用以承受一次系統與二次系統之差壓。
2. 管束由七個支持板（Support Plate）所支持。支持板上有四葉形流孔以避免流量不均導致化學物質聚集而產生局部腐蝕的現象。管束彎曲處有防震桿組（Anti-Vibration Bar Assembly）以加強該處的結構，並防止管束顫動。
3. 一次側爐水進水室與出水室中間有分隔板，各有一個進（出）水口及一個人孔（Man Hole），人孔係用來檢修管束洩漏。分隔板底部有一小孔作洩放水之用（Drain）。

### B. 二次側的構造：

蒸汽產生器由下而上分成下殼區（Lower Shell），過渡區（Transition Cone）以及蒸汽鼓（Steam Drum）。下殼區主要為U形管束，為一、二次系統熱交換的所在。過渡區則充滿汽水混合物，蒸汽鼓主要有汽水分離蒸汽乾燥設備。

1. **飼水環管（Feedwater Ring）**  
飼水環管的高度約與汽水分離器相當，飼水環管上有許多倒“J”形噴嘴，飼水自J形噴嘴噴出，會同由汽水分離器排出的飽和水，沿管束裙外側的潛降區流下。
2. **管束裙（Tube Bundle Wrapper）**  
管束裙圍住管束，將飼水路徑與蒸汽產生路徑分開，並與蒸汽產生外殼形成潛降區（Down Comer）。飼水流經潛降區，可吸收管束發出的輻射熱，減少熱損失，並提高效率。
3. **導流板（Flow Distribution Baffle, FDB）**  
飼水自管束裙底部，沿U形管向上流，導流板位於管板與最低一個支持板之間，使管板附近的管子所接觸的飼水流量均勻。導流板孔為圓形，而不是四葉形，其中心部份完全切去，以使低流量區，也是雜質沉積區恰在沖放取水管（Blow down Intake）附近。
4. **汽水分離器（Moisture Separator）**  
飼水由管束吸收一次系統的熱量，轉化為飽和汽水混合體，經過渡區上升至汽水分離器。
5. **蒸汽乾燥器（Steam Dryer）**  
自汽水分離器出來的蒸汽仍含有大量水份，須通過第二階段的汽水分離器，通常也叫蒸汽乾燥器，進一步去除水份。
6. **蒸汽限流孔（Steam Flow Restrictor）**  
乾燥之飽和蒸汽由蒸汽產生器頂部蒸汽出口送至主汽機。蒸汽出口為一文氏限流孔（Venturi Flow Restrictor）。
7. **沖放系統（Blowdown System）**  
管束底部有一沖放管將蒸汽產生器內一部份水量不斷的排出，此因飼水雖然純淨，但難免帶一些雜質，當飼水化為蒸汽後，這些雜質卻留下來，不斷的聚積，使得蒸汽產生器內部水質變壞，熱交換效率降低，甚至造成腐蝕的現象，沖放系統將雜質不斷的沖走，以保持水質於良好限值內。

## 貳.水位控制系統

### A. 水位程式（Water Level Program）

理想之蒸汽產生器水位程式，係考慮下列三項因素而決定：  
蒸汽管路斷裂時之圍阻體壓力。  
蒸汽管路斷裂時，反應爐冷卻水系統（RCS）冷卻的程度。  
膨脹與收縮（Shrink And Swell）

## B. 水位控制器

蒸汽產生器水位控制儀器，壓力儀器及流量儀器，這些儀器具有指示，控制及產生保護訊號等功能。具有安全保護功能的儀器須符合反應爐保護系統（Reactor Protection System, RPS）有關可靠性及多重性之規範。

### 1. 水位儀器

每個蒸汽產生器皆有五個水位儀器，其中四個是窄幅（Narrow Range）水位計，一個是寬幅（Wide Range）水位計。各水位計均為差壓式。寬幅水位計之上接頭與窄幅水位計相同，下接頭則位在管板上方。寬幅水位計不如窄幅精確，無保護功能，但能提供二次側全部高度之指示，在緊急事故時十分有用。

### 2. 流量儀器

#### a. 飼水流量儀器

三條主飼水管路飼水控制閥下游均各有一文氏管流量測量元件（Flow Element），每個文氏管備有三個流量傳送器(以迴路一為例為AE-FT476, FT477, FT478)分別測量差壓，此差壓訊號開平方即與體積流量成正比。經過飼水溫度補償後，與飼水質量流量成正比。

#### b. 蒸汽流量儀器

各蒸汽產生器之蒸汽流量可由測量其出口流量限制器（文氏管）之差壓而得。此差壓訊號開平方與蒸汽體積流量成正比，經過壓力訊號補償後，與蒸汽質量流量成正比。

#### c. 壓力儀器

- I. 三條蒸汽管路上圍阻體隔離閥之前各有五個壓力傳送器，測量蒸汽壓力，二個做為動力釋壓閥控制，另三個作為蒸汽流量補償訊號之用。
- II. 主蒸汽集管有三個壓力傳送器，其訊號經中值選擇器後，作為飼水泵轉速控制之用及蒸汽排放壓力模式控制用。
- III. 飼水集管上有三個壓力傳送器，其訊號經中值選擇器後，作為飼水泵轉速控制之用。
- IV. 汽機衝擊室壓力用來產生功率訊號，於水位程式中得出相對於該功率之程式水位。汽機衝擊室壓力有三個壓力傳送器，自動經中值選擇器(Medium Selector)選其中值做為控制訊號(控制棒控制，蒸汽排放控制)。本廠採固定水位程式，不論功率(汽機衝擊室壓力)高低定為50%。

C. 水位控制系統 蒸汽產生器之水位藉調整飼水流量的大小來控制，若水位太低則增加飼水流量來補足，若水位太高，則減少飼水流量，讓水位因蒸發作用而降低。飼水流量的控制，在高功率（18%）時，飼水旁通閥關閉，藉調整飼水控制閥的開度來控制流量。在低功率時，飼水控制閥關閉，藉調整飼水旁通閥的開度來控制。此外並有飼水泵轉速控制系統，隨功率高低，藉調整飼水泵轉速快慢，而建立理想的飼水控制閥差壓。

### 1. 飼水控制閥控制系統

水位差異訊號來自程式水位訊號減去實際水位訊號。程式水位訊號本廠固定在50%。從三個窄幅水位計經中值選擇器選出其一作為實際水位訊號，此訊號經濾波線路以除去振盪訊號。此實際水位訊號與程式水位訊號比較後產生水位差異訊號，再送去比例積分控制器。

- a. 水位差異訊號來自程式水位訊號減去實際水位訊號。程式水位訊號訂在50%；另從三個具控制功能之窄幅水位計選擇中間值產生實際水位訊號，此訊號經濾波線路以除去振盪訊號。程式水位減去實際水位後產生水位差異訊號，再送去比例積分控制器。
- b. 經過壓力補償的蒸汽流量訊號減去經溫度補償的飼水流量訊號成為流量差異訊號。這個訊號乃是預期水位將產生的變化，先行調整飼水流量以減少水位瞬態變化。若蒸汽流量大於飼水流量（流量差異訊號為正），水位勢將下降，控制器使飼水控制閥開度加大，增加飼水流量。若蒸汽流量小於飼水流量（流量差異訊號為負），水位勢必上升，控制器使飼水控制閥開度減小，降低飼水流量。
- c. 水位差異訊號和流量差異訊號相加，經由比例積分控制器送出相對的訊號調整飼水控制閥的開度以控制蒸汽產生器的水位。

## 參. 沖放系統

### A. 設計基準：

1. 本系統自蒸汽產生器至圍阻體隔離閥，須能承受設計基準地震。
2. 沖放系統，協同冷凝水除礦器，化學加藥系統（Chemical Injection System）等，須能維持蒸汽產生器殼側水質于限值內。
3. 當一次系統爐水自U型管束洩漏至二次系統時，沖放系統須能移除二次系統水中之放射性物質，維持輻射強度于運轉規範限值下。
4. 沖放系統須能回收部份熱量，所排放的水須全部回到冷凝器。

### B. 系統概述：

1. 自飼水帶進蒸汽產生器的雜質，由于蒸騰作用，濃度逐漸增加。若不加以控制，勢將引起腐蝕作用，不僅增加管束洩漏的機會；也會減少蒸汽產生器的使用壽命。控制的方法；一為加入化學藥品，一為沖放。也就是將沈積的雜質自蒸汽產生器底部排出。
2. 三個蒸汽產生器的沖放水匯於閃化槽。由於閃化槽壓力較低，故一部份沖放水閃化為蒸汽，引入第二高壓飼水加熱器，剩下來的沖放水經過再生熱交換器，將熱量交給冷凝水，再經非再生熱交換器，溫度進一步降低，然後流經過濾器及除礦器除去雜質後進入冷凝器。
3. 非再生熱交換器以汽機廠房冷卻水系統來冷卻，以免沖放水溫度太高，燒損除礦器內之樹脂。

### C. 系統重要組件：

1. 閃化槽：為一直立式碳鋼壓力槽，有一水位控制器，當槽內水位太高時，即將通往冷凝器的控制閥成比例打開，以加大沖放流量。
2. 再生熱交換器，共有四個殼管式熱交換器，以不銹鋼製成U形管讓沖放水通過，而以碳鋼製造的殼側通過冷凝水，以回收熱量，沖放水經再生熱交換器後的出口溫度，由殼側冷凝水出口閥來控制。

3. 非再生式熱交換器：共2個殼管式熱交換器沖放水通過不銹鋼製造的U形管，汽機廠房海水冷卻系統(TBCCW)流過，碳鋼製造的殼側。
4. 過濾器：兩個各有100%容量的過濾器可過濾沖放水中的顆粒雜質，通常只用一個，可定時換台。
5. 除礦器：兩個各有100%容量的混床式除礦器，外槽直立式不銹鋼壓力槽。此兩除礦器可串聯或並聯使用。

#### D. 系統運轉

沖放水以一定的速率自蒸汽產生器不斷的流向閃化槽。每一蒸汽產生器沖放流量通常在7 l/sec，三個蒸汽產生器共21 l/sec。若冷凝器殼側漏入海水或一次系統漏入二次系統時，每一蒸汽產生器沖放流量最高可增至20.25 l/sec，以維持水質于限制值內。閃化槽未閃化水流量在單串熱交換器與除礦器使用時最高可至23.4 l/sec；當兩串熱交換器與除礦器併聯使用時，未閃化水流量最大可提高至46.8 l/sec。每個蒸汽產生器之沖放量均由一控制閥加以控制，分別是HV104、HV204、HV304。這三個控制閥越接近閃化槽越好，蓋此閥下游之管路極易因液體閃化而受損。若飼水之全部溶解固體量增加時，沖放量也應增加。

#### E. 蒸汽產生器濕式儲存運轉：

當蒸汽產生器在延續冷爐停機期間，蒸汽產生器要置於濕式儲存運轉，使飼水保持良好的化學品質，以防止U形管遭氧化腐蝕。當蒸汽產生器在濕式儲存時，操作員須時常察看寬幅水位計指示，以確保蒸汽產生器的水位在濕式儲存噴嘴之上，在濕式儲存時，濕式儲存泵可用來保持U形管束外飼水的循環。