

# 蒸汽排放系統

- 壹.概述
- 貳.設計基準
- 參.系統功能
- 肆.系統詳述
- 伍.儀器控制和警報
- 陸.系統運轉

## 壹.概述

本系統是用來排放由蒸汽產生器產生之多餘蒸汽，確保核能蒸汽供給系統、蒸汽產生器及主蒸汽管路之安全。本系統由十個大氣排放閥和六個汽機旁通閥以及相關管路與控制儀器所組成。本系統主要功能有下列兩項：

1. 提供二次側人工負載，協助穩定一次側：核能蒸汽供給系統（NSSS）之控制棒控制系統只能應付汽機負載 $\pm 10\%$ 階度變化（Step Change）和 $\pm 5\%/min$ 的斜坡式變化（Ramp Change）。當一次系統功率和汽機負載需求發生超過上述限值之偏差時，本系統即提供一人造負載，將過量之蒸汽旁通到主冷凝器、排放到大氣，以減少一次系統所承受的暫態變化，使一次系統之溫度和壓力暫態變化可由設計之控制棒控制系統來控制。
2. 移除衰變熱：當機組降載停機後，一次系統的降溫冷爐控制即藉本系統控制主蒸汽旁通系統再配合輔助飼水系統，吸取一次系統餘熱後排放到主冷凝器，藉由此路徑將一次側餘熱移除，直至RCS溫度達176 以下改由RHR運轉移除衰變熱止。（如蒸汽排放系統故障、蒸汽無法排至冷凝器，則第一階段餘熱移除也可經由主蒸汽管動力釋放閥排至大氣來達成，直至餘熱移除系統可處理為止。）

## 貳.設計基準

- A. 本系統須能排放32%額定蒸汽量至主冷凝器而另53%則可排放到大氣，再加上NSSS本身有10% 驟降的應付能力，因此共能允許機組由滿載驟降至廠用負載而不造成反應器跳脫，亦不引起主蒸汽管安全閥非必要之開啟。
- B. 本系統設計與蒸汽管路上的動力釋放閥及安全閥並用，以防止主蒸汽系統在各種運轉情況下超過設計壓力。當汽機跳脫後，除了移除反應器的餘熱外，還能將一次系統冷卻水的平均溫度（Tavg）調節到無載參考值。
- C. 當機組起動（負載低於10%）時，本系統可用來調節汽機旁通閥開度，維持主蒸汽集管壓力於無負載參考壓力值。在停機時，也可以手動調節第一組中的兩個冷卻閥（Cooldown Valve）的開度，使核能蒸汽供給系統的冷卻率維持於某一限值內，而獲得良好降溫控制。
- D. 為了節省冷凝水，減少蒸汽量釋放到大氣，因此一、二次系統功率不平衡時，多餘的蒸汽先排到冷凝器。當主冷凝器壓力升至5"HgA以上時，汽機旁通閥會因冷凝器不能用而自動關閉。當主冷凝器不可用或一、二次系統因不平衡所需排放的蒸汽量大於釋放至冷凝器的總容量（32%額定）時，剩下多餘的蒸汽量即藉大氣排放閥排放到大氣。
- E. 本系統與核能蒸汽供給系統的控制棒控制單元結合後（控制棒能控制10%的負載階度變化），可允許機組由滿載突降到廠用負載，而不造成反應器跳脫，也不致引起主蒸汽管上的動力釋放閥（PORV）和安全閥（Safety Valve）開啟。
- F. 當主冷凝器不能用，而機組降載量又大於大氣排放閥的容量（53%）時，多餘的主蒸汽可由動力釋放閥或必要時由安全閥排放，其開啟先後決定於開啟設定點。如此可以因應一次系統之暫態變化，以防止主蒸汽系統過壓。

## 參.系統功能

本系統之設計，有下列幾個主要功用：

- A. 允許機組突降高達85%之額定負載，而不造成反應器跳脫。
- B. 在機組跳脫後，能移除爐心所儲存之能量和餘熱，使一次系統回復到無載情況，而不引起蒸汽產生器安全閥之開啟。
- C. 提供機組冷卻時之手動排放控制。
- D. 在機組起動和停機時提供人造負載，使得能順利控制汽輪機起動或停機。

## 肆.系統詳述

- A. **所有**汽機旁通系統和大氣蒸汽排放系統之各閥均具有相同的控制邏輯和容量，都用空氣壓力開啟，空氣釋壓而關閉，為故障時趨向關閉的設計。各閥均備有一閥位定位器(Positioner)和空氣供給管路，閥的開度是決定於作用在該閥膜片之空氣壓力高低，而空氣壓力是由空氣壓力調節器(Air Regulator)經閥位定位器予以調節控制。閥位定位器之輸入信號來自I/P轉換器，此I/P轉換器可將電流信號轉換成相對的空氣壓力信號，而電流信號來自7300控制系統，其大小依所選擇的蒸汽排放模式及一、二次系統不平衡的程度而定。
- B. 在控制盤上，蒸汽排放模式的選擇有兩種，第一種稱為平均溫度控制模式（Tavg Control Mode，簡稱Tavg模式），第二種稱為蒸汽壓力控制模式（Steam Pressure Control Mode，簡稱Steam PRESS模式）。
1. 平均溫度控制模式：依Tref溫度與Tavg之差值來決定排放閥之開度。又可分為兩種控制程式：一種是機組棄載控制程式，另一種是汽機跳脫控制程式。
    - a. 機組棄載控制程式：  
當機組負載已高於10%，此時如發生降載暫態變化（汽機未跳脫）超出於反應器控制棒控制單元所能控制之範圍（10%）時，可開啟蒸汽排放閥以降低Tavg。在降載或棄載時，藉比較三迴路的中間值Tavg和需求的參考溫度Tref（Tref係汽機第一級擊室壓力控道三者之中間值經程式換算值）之誤差信號（Tavg-Tref），一方面送到棄載控制程式（Load Rejection Controller）將溫差信號轉換成電氣信號，經I/P轉換器後，決定各汽機旁通閥及大氣排放閥空氣供給管路之空氣壓力，以控制汽機旁通閥和大氣排放閥閥組之開度，以平衡一次系統和二次系統之功率。
    - b. 汽機跳脫控制程式：  
當汽機跳脫時，比較三迴路的中間值Tavg和無載Tref參考值（設定291.7），所得誤差信號，一方面送汽機跳脫控制程式（Turbine Trip Controller）將溫差換算成電氣信號，經I/P轉換器轉換為壓力信號，決定各汽機旁通閥之閥位開度；另一方面送到跳脫雙穩態程式，以決定No.4電磁閥是否要賦能，使得部份或全部汽機旁通閥瞬間全開以協助降壓。
  2. 蒸汽壓力控制模式：依主蒸汽集管壓力與設定值之差值來控制蒸汽排放閥之開度。  
此模式係應用在機組起動至併聯後約10%負載之間；在此模式下可用手動或自動調整之。在低載運轉中，蒸汽壓力控制站置自動，控制單元藉比較主蒸汽集管的壓力和蒸汽壓力控制站的壓力設定值比較，得到的壓力誤差信號，送經I/P轉換器，以適當調節汽機旁通閥之開度，維持蒸汽集管之壓力於設定值。在反應器功率未變情況下，汽機提升負載，將使得主蒸汽集管壓力降低，減少實際壓力與設定點之差值，蒸汽排放閥關小，直至所有蒸汽全部送往汽機作功，蒸汽排放閥至全關位置止。

蒸汽壓力控制模式的另一個運用時機，是在初期冷機時，藉由汽機旁通系統兩個冷卻閥開度來控制一次冷卻水系統的冷卻率。

- C. 在Tavg模式運轉時，來自比較程式（Comparator）的溫度誤差信號分別送至相關的控制程式和跳脫雙穩態程式（Trip Bistable），其中：
1. 汽機跳脫時：雙穩態程式有Hi-1和Hi-2兩種，當溫度誤差信號相當於16%的蒸汽排放需求時，迅速跳脫Hi-1，此時第一組的三個排放到冷凝器的汽機旁通閥，因其空氣供給管上的No.4電磁閥賦能而全開；又當溫度誤差信號相當於31.9%蒸汽排放需求時，迅速跳脫Hi-2，此時所有排放到冷凝器的汽機旁通閥均開啟。
  2. 在棄載的情況下：雙穩態程式有Hi-1、Hi-2、Hi-3、Hi-4等四種，當溫度誤差信號相當於16%的蒸汽排放容量時，Hi-1跳脫；此時第一組的三個汽機旁通閥開啟，將蒸汽排放到冷凝器。當溫度誤差信號相當於31.9%的蒸汽排放容量時，Hi-2跳脫；此時所有排放至冷凝器的汽機旁通閥均開啟。又若棄載時，一、二次系統不平衡，而溫度誤差信號到達相當於58.5%之排放量時，即跳脫Hi-3；此時有半數的大氣排放閥（第三組）開啟。又若多餘的溫度誤差信號，相當於85%蒸汽排放量時，即跳脫Hi-4，此時所有的大氣排放閥即第四組均開啟，將蒸汽排放到大氣。
  3. 因汽機跳脫控制程式和棄載跳脫控制程式特性不同，因此二者各雙穩態之跳脫設定點不同。無論是棄載或汽機跳脫，當其相對溫度誤差信號並非正好等於各閥組之相對溫度雙穩態動作點時，則該系統能依其實際溫度，以調節方式適當開啟各排放閥。

## 伍.儀器控制和警報

- A. 蒸汽排放閥  
在控制盤JP002上有一蒸汽排放模式選擇開關HS464，其三個位置分別為Tavg模式、蒸汽壓力控制模式和復歸。復歸後選擇開關自行回復至Tavg模式的位置，它是用來復歸C-7A/C-7B連鎖。也就是在棄載信號出現後，汽機旁通閥或大氣排放閥開啟，待一、二次系統恢復平衡，所有開啟的閥組依序關閉後，須由操作員復歸棄載信號，以閉鎖各排放閥組（使No.3電磁閥失能）。在同一控制盤JP002上，設有兩個連鎖選擇開關HS464A、HS464B，各有三個位置：OFF RESET、ON、BYPASS，兩個選擇開關須同時操作使用。在OFF RESET位置時，所有蒸汽排放閥都閉鎖在關閉位置。
- B. 參考溫度Tref是由汽機第一級衝擊室壓力控道三者之中間值經程式換算產生。汽機第一級衝擊室壓力中間值也用於動作C-5低功率連鎖（汽機負載<15%），C-7A/B蒸汽排放需求連鎖，及控制棒控制系統。當任一壓力控道試驗或儀器失靈時，運轉人員可由控制盤上旁通開關AC-HS446選擇旁通該控道，而汽機第一級衝擊室壓力由另外兩控道的較低值來控制。
- C. 控制盤JP002另設有主蒸汽集管壓力指示PI464A，蒸汽排放溫度差指示AB-TI408，這些都與上述的選擇開關緊鄰。無載壓力的設定(76.8kg/cm<sup>2</sup>)可藉PK464手動輸入設定，以自動模式開啟蒸汽排放閥，或將PK464置於手動模式，以增/降按鈕來決定閥的開啟或關閉，上述方式主要用在當負載在

10%以下及冷機作業時。同時在JP002有蒸汽排放需求指示，以百分比表示（BB-TI408A）。

D. 主蒸汽集管的壓力採用三支傳送器的中間值，當任一壓力控道失效(Not Valid)時，主蒸汽集管的壓力由另外兩控道的較高值來控制。

## 陸.系統運轉

### A. 機組起動：

在機組起動時，本系統須置於蒸汽壓力控制模式，主蒸汽集管壓力 PK464 設定在  $76.8\text{kg}/\text{cm}^2$  之無載壓力，控制棒以手動控制。當一次系統加熱至無載溫度以上時，二次系統之蒸汽壓力也將漸增至無載壓力，此時汽機旁通閥將適度的開啟、關閉，以維持主蒸汽集管壓力於無載值。當一次系統壓力達  $157.2\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $291.7$ ，即可以手動控制抽出控制棒，使反應器達臨界程度，再漸提升功率至10%左右。此時一次系統大量熱量產生，二次系統則約有10%的蒸汽流量經由汽機旁通閥排放至主冷凝器，此時可利用這些蒸汽來起動汽機。當汽機穩定運轉於額定轉速（1800RPM）且發電機已加壓至額定電壓，即可將發電機併聯於系統開始提升汽機負載，使得蒸汽壓力減少，汽機旁通閥逐漸關下。

### B. 正常運轉

正常功率運轉中，蒸汽排放系統置於Tavg控制模式，如果負載的變動不大於10%/120秒之變化時，蒸汽排放系統不會動作，但是當汽機跳脫或負載變動超過上述控制棒所能因應之限值時，其動作情況如下：

#### 1. 汽機跳脫：

此時汽機跳脫控制單元接受並比較當時的Tavg和無載參考溫度Tref（也就是Tno-load）的差值，適當的動作汽機跳脫雙穩態，並調節各汽機旁通閥的開度，將一、二次系統不平衡的蒸汽量由汽機旁通閥排放至主冷凝器，或必要時由動力釋壓閥排放至大氣。當多餘的蒸汽被排放後，Tavg漸降，各排放閥逐漸關小，至無載溫度設定值時全部關閉。復歸C-7A/B信號後，將蒸汽排放轉至蒸汽壓力控制模式，再依適當的情況，維持在無載狀況或繼續冷機下去。

#### 2. 棄載信號出現，亦即負載變動大於42%/120秒（C-7B）或10%/120秒（C-7A）：

此時棄載控制單元接受並比較當時的Tavg和當時的汽機第一級壓力轉換的參考溫度（Tref）差值，適當的動作棄載跳脫雙穩態，並調節各汽機旁通閥和大氣排放閥的開度，將一、二次系統不平衡的蒸汽量，由汽機旁通閥排放至冷凝器，或必要時由大氣排放閥排放至大氣。當溫度差值超過0.83 左右時，控制棒自動插入，可使一、二次系統恢復平衡狀態。

### C. 機組停機、冷卻

如果機組因故需要停機或冷爐，則可以下列方式為之：

#### 1. 當汽機負載降至15% 以下C-5低功率連鎖狀態燈亮起後，將控制棒改為手動控制，以手動控制控制棒，使Tavg和Tref差值在 $\pm 0.83$ 以內。

確認主蒸汽集管壓力PK464設定在 $76.8\text{kg}/\text{cm}^2$ ，檢視此時之蒸汽排放溫度指示應為零，並復歸C-7A/B線路，然後將蒸汽排放控制由Tavg模式改為主蒸汽壓力控制模式，本系統依當時蒸汽壓力，維持在無載情況。

#### 2. 若機組需要繼續冷卻，可逐漸降低主蒸汽集管壓力設定值，此時，汽機旁通閥自動開啟。當蒸汽壓力漸降，一次溫度遞減至過低值(P-12)時，所有汽機旁通閥全部關閉。此時需手動將兩個蒸汽排放連鎖選擇開關轉至BYPASS位置，允許汽機旁通閥之第一組二個冷卻閥開啟，並可以手動控制機組的冷卻。將主蒸汽集管壓力控制器設定值慢慢降低，此時二個冷卻閥，將依主蒸汽集管壓力實際值與設定值之差，適當開啟或關閉閥之開度並配合輔助飼水流量直接控制冷卻率，直至RHR系統可取代之程度。