

主蒸汽系統介紹

討論大綱

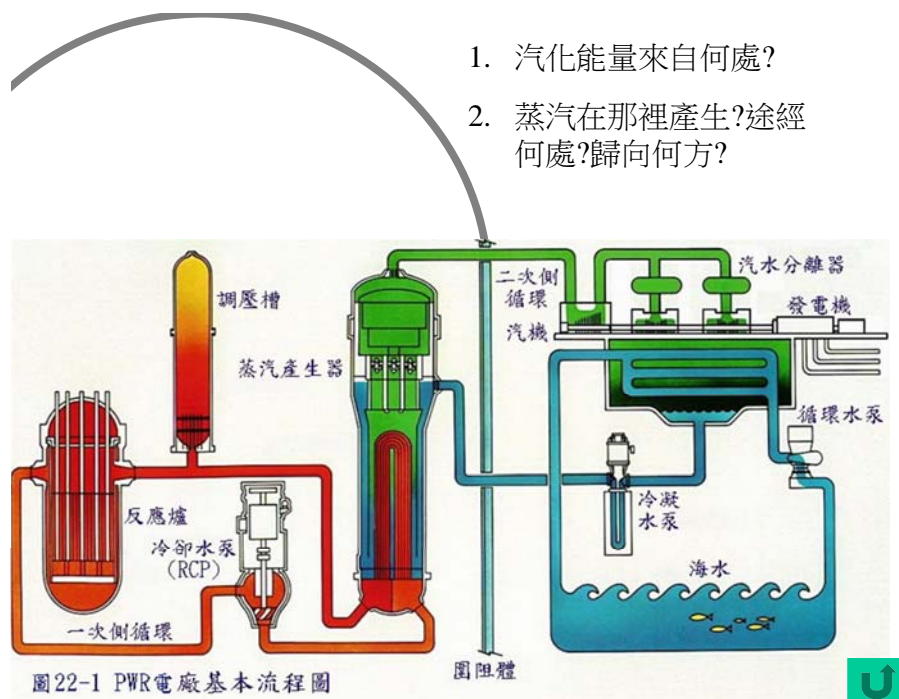
1. 一般概述
2. 蒸汽產生器介紹
3. 主蒸汽系統介紹
主蒸汽排放控制系統介紹
4. 主汽機系統簡介
5. 冷凝器簡介
6. 輔助蒸汽系統簡介

1

概述

1. 反應爐內的**核燃料**吸收熱中子發生**分裂反應**，此為放熱反應將**燃料溫度提升**，能量經燃料護套傳遞至強制循環的一次側**冷卻水**，再流經**蒸汽產生器**(管側)將其殼側的二次側飼水加熱、使沸騰、而產生**蒸汽**，經水汽分離、乾燥後離開SG。
2. **主蒸汽系統**是指將蒸汽產生器產生的飽和蒸汽引導到高壓汽機和其他汽力循環附屬設備的管路和組件。包括**主蒸汽**、**輔助蒸汽**和**蒸汽排放系統**。
3. 當機組從滿載**突降**到廠內負載時，本系統可將蒸汽旁通至冷凝器和大氣，而不會造成汽機或和反應器跳脫。

2



蒸汽產生器

1. 蒸汽產生器構造
2. 一/二次冷卻水之循環
3. 蒸汽產生器組件
4. 蒸汽產生器沖化系統
5. 蒸汽產生器TUBE洩漏偵測設計

4

蒸汽產生器之構造

1. 蒸汽產生器是一直立式圓柱形容器，其上下蓋均呈半圓球形，內部上方為汽水分離設備，下方半球形隔成兩部份。分別為一次冷卻水進口室及出口室。
2. 反應爐之一次冷卻水經由蒸汽產生器底端之進口室進入管側，流經倒U字型的管束內側，再由底端之出口室流回反應爐。

[S/G參考圖](#)

蒸汽產生器之構造

3. 結構上，S/G二次側可分為：Lower Shell，Transition Cone，Upper Shell三區。
 - 1) Lower Shell分為：DownComer，Riser。
 - 2) 一/二次側之直接熱傳，發生於S/G之Riser區。此區頂部，為Bulk Boiling之Bubbly Slug Flow。
 - 3) Upper Shell又名Steam Drum，包含二種Moisture Separator：
 - Swirl Vane (渦漩葉片) Separator：16組 * 單Vane
 - Chevron (迴紋結構) Separator

6

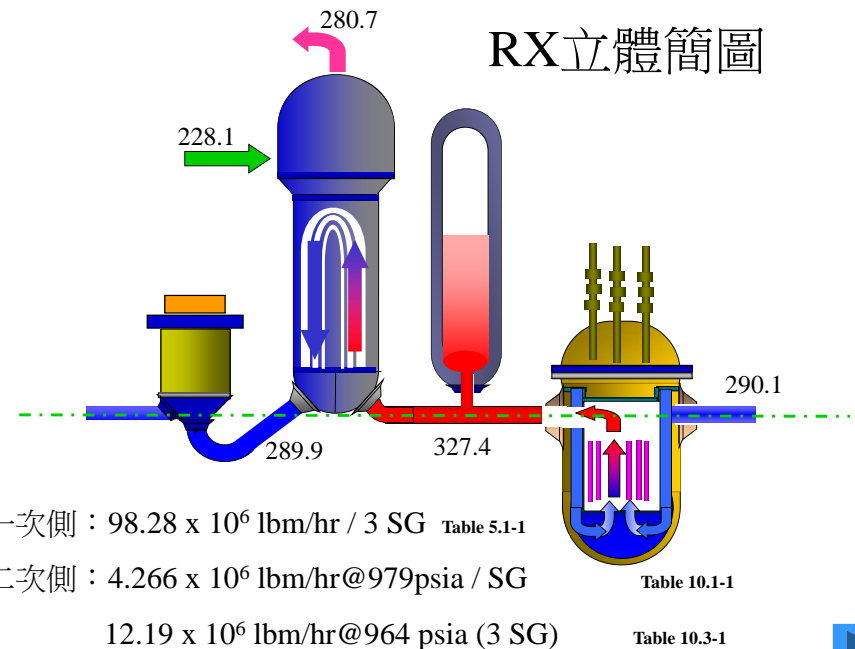
蒸汽產生器之一次冷卻水

1. F型，直立式U型管熱交換器，重量為305噸，由反應爐爐心流出的高溫高壓水，經進水室（Inlet Chamber），沿著5624根U型管的管內側至出水室（Outlet Chamber）、RCS跨管，再由反應器冷卻水泵再打回到反應爐。
2. 高溫的反應爐冷卻水流經U型管束時，熱量傳給殼側的二次側飼水。

[一次側](#)

[S/G參考圖](#)

7



8

蒸汽產生器之二次側

1. 飼水由頂部飼水環管進入，先由潛降區流至U型管束的底部，然後往上吸收一次系統的熱量，形成汽水混合流體，再經汽水分離器、乾燥器排除蒸汽中的濕氣後，約99.75%乾度的蒸汽經限流孔離開SG，送往汽機作功。
2. 經汽水分離器和乾燥器由蒸汽中排除的飽和水（稱之為再循環流量Recirculation Flow），經洩水管回流而下、與飼水混合（稱之為循環流量Circulation Flow）後再流經潛降區、U型管束，繼續另一次的循環。

二次側

9

蒸汽產生器之二次側

飼水經蒸汽產生器壁管嘴進入飼水環管，這環管位於管束上方，以確保正常運轉時管子能被水覆蓋。

1. 飼水在管束裙（tube wrapper）和蒸汽產生器外殼間向下流到管束裙和管板之環狀通道。然後流入管束向上，以移除一次冷卻水之熱量。
2. 此時，部份飼水轉換為蒸汽。汽水混合物向上流經管束後，進入徑向漩渦導葉片（radial swirl vane），此導葉片作用一徑向加速度於汽水混合物，產生一離心力於汽水混合物，水份則由於離心力而從漩渦導葉片的上方邊緣噴濺出去，再向下流和進入之飼水互相混合。

S/G參考圖

10

蒸汽產生器之二次側

3. 蒸汽繼續向上通過汽水分離器（Separator）第二段（Dryer、乾燥器），二只方形排列之汽水抽出器。蒸汽在此部份更多的水份被抽出。
4. 離開二只汽水抽出器後，蒸汽繼續向上流，經半球形多孔衝擊板，此為末段汽水抽出器，經過分離後之蒸汽流經限流器進入主蒸汽管。當穩定負載運轉時，蒸汽中水份含量約為0.25%左右。

S/G參考圖

11

主要設計參數

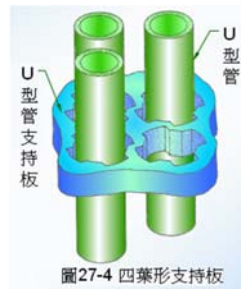
1. 一次側須能承受 175kg/cm^2 （2500psig）的壓力和 343.3°C （650°F）的溫度
2. 二次側則能承受 83.47kg/cm^2 （1200psig）的壓力和 315.5°C （600°F）的溫度
3. 承受一、二次系統 112 kg/cm^2 的差壓。
4. 每個蒸汽產生器之熱交換面積約為 4953m^2 （55,030ft²），熱交換功率最大為982Mwt（ $982 \times 3 = 2946\text{Mwt}$ ）。

12

一次系統側的構造

1. 管板（為53.3公分（21吋）厚的碳鋼，內層襯以英高鎳。管板與U型管形成一次系統的壓力周界，承受一/二次系統之差壓。
2. U形管延展性並耐高壓之英高鎳製成，管腳於管板處擴管並銲接，以防洩漏。
3. 管束由七個支持板所支持。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。管束彎曲處有三組防震桿組（Anti-Vibration Bar Assembly）。

參考圖



S/G參考圖

13

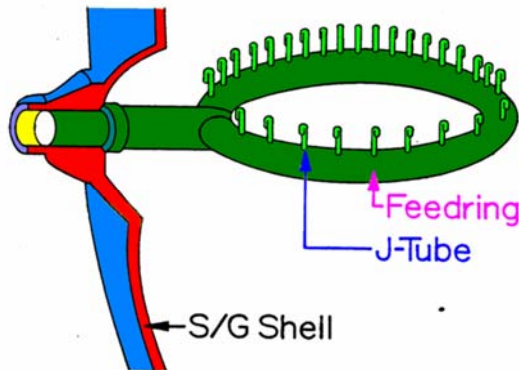
二次側的構造

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

14

飼水環管

- 高度約與汽水分離器相當，倒“J”形噴嘴的理由，使內部經常充滿飼水，以免發生水鉋、熱震。
- 飼水自噴嘴噴出，會同由汽水分離器排出的飽和水(此稱為再循環流量)，沿管束裙外側的潛降區流下。
- 飼水環管將大約80%的飼水飼入靠熱端側的管束，其餘約20%飼入冷端側的管束，這是為使蒸汽產量平均。



S/G圖

15

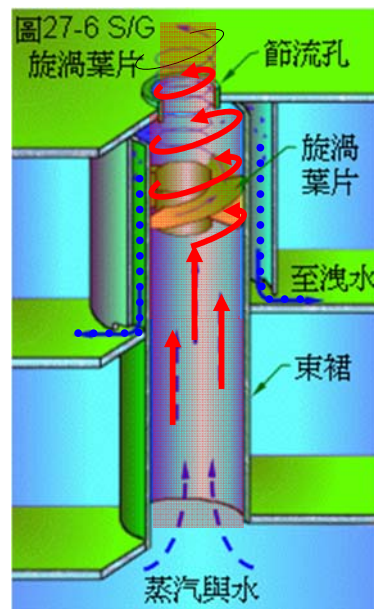
管束裙（Tube Bundle Wrapper）

- 管束裙圍住管束，將飼水路徑與蒸汽產生路徑分開，並與外殼形成潛降區。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。
- 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位置的支持板之間，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。

16

汽水分離器

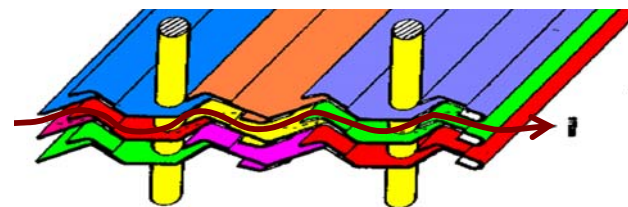
- 飼水由管束吸收熱量，轉化為飽和汽水混合體，經過渡區上升至汽水分離器。
- 汽水分離器由16個旋渦葉片（Swirl Vane）及豎管所組成，每個豎管高約3公尺（10呎）。當汽水混合體通過豎管內之葉片時即開始旋轉，由於水份較重而被甩開，僅蒸汽能自由通過各豎管之中央部節流孔。



17

蒸汽乾燥器

- 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（蒸汽乾燥器），進一步去除水份。
- 蒸汽乾燥器採用許多迷宮式迴紋狀板，蒸汽通過時，須突然改變方向，才能順利通過，水份來不及改變方向而被鉤狀葉片留下來。
- 經過蒸汽乾燥器出來的蒸汽乾度已達到99.75%以上。（此種葉片稱做Hook And Pocket Vane）。



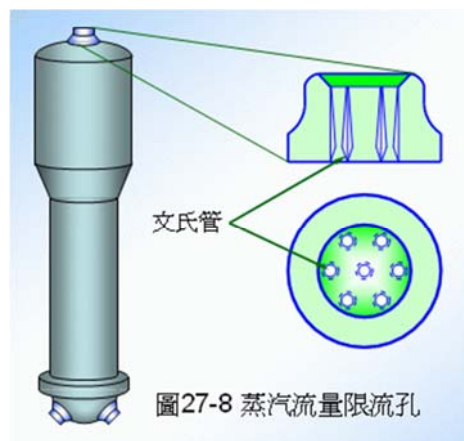
18

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，此蒸汽出口即為文氏型之限流孔（Venturi Flow Restrictor）。

□正常狀態此限流孔作為流量偵測器

□當蒸汽管路斷裂時，能防止產生器內之蒸汽瞬間閃化，限制SG的壓力下降率，並限制斷管甩動(PIPE WHIP)。



19

流量限制器（Flow Restrictor）

在蒸汽產生器出口管嘴裝有文氏管型的流量限制器，其作用係當MSIV上游蒸汽管路破裂時能限制蒸汽沖放率，在正常運轉中提供蒸汽流量的測量工具。限制器的設計必須滿足下列條件：

1. 正常設計額定蒸汽流量時，減少蒸汽壓力降。
2. 當蒸汽管路破裂時，
 1. 減低由主蒸汽隔離閥所必須承受的蒸汽流量。
 2. 提供系統保護之用。（RX過冷、PTS、SGTR時幅射外釋量）
 3. 降低潛在的推力。
3. 利用文氏管提供流量率的測量，此蒸汽流量率係功率的函數，並提供控制訊號。

20

沖放系統 (Blowdown System)

- 二次側U型管束底部有一5公分(2吋)直徑的沖放管路，連續的將部份蒸汽產生器底部低流速區的飼水抽出，經冷卻、除礦器、過濾器淨化後，再回收至冷凝器A。
- 飼水水質雖經嚴格的管制頗為純淨，但難免仍帶有些許雜質，SG內部持續的蒸發使飼水化為蒸汽排出，而這些雜質卻留下來且不斷的聚積。此效應可造成蒸汽產生器內部水質變壞，沈積物多使熱交換效率降低，長期將造成U型管的腐蝕。
- 沖放系統用以抽出雜質，使水質保持於良好限值內。
- 管板上另鑽有5公分(2吋)孔，作為二次系統洩水之用，此孔較管板之二次系統板面低數吋，所以水可完全洩光。

參考圖

21

S/G之洩漏偵測

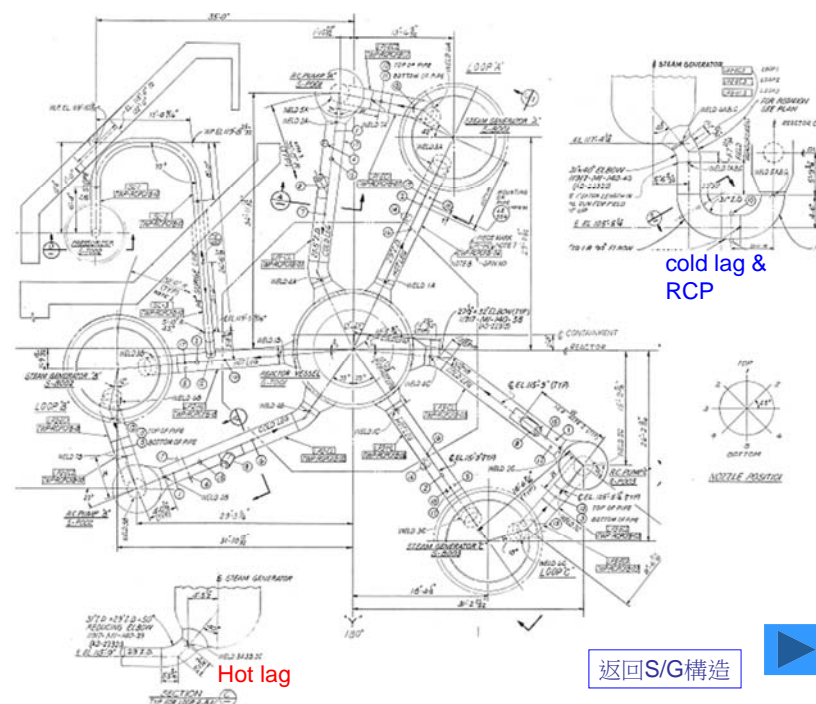
1. VAMCIS (Volumetric Activity Measurement Channel Inside Steam / 每一迴路)
2. 輻射偵測 (AB-RT499A、499B、499C)。
3. 化學分析(取樣管/每一迴路，MSIV下游)。
 1. 化學課檢測 1st/2nd 硼酸濃度
 2. 化學課測定 2nd 總輻射強度
4. BM BLOWDOWN系統：BM-RT410/RT417
5. 冷凝器真空泵出口：CG-RT004

22

SHRINK & SWELL

1. SHRINK：蒸汽流量突降，水位指示將快速降低，其發生之機制，說明如下：
 1. 沸騰點位置高度未變，Carry over變小，recirculation flow減小，即Down comer區的補水減少。
 2. 壓力突升，汽泡縮小，體積流量減小，摩擦阻力變小，Down comer區內的水更易流入Riser區。
2. SWELL反之。

23



返回S/G構造

圖27-1 蒸汽產生器構造

The diagram illustrates the internal structure of a steam generator. The main longitudinal section on the right shows a vertical cylindrical vessel. At the top, there is a steam flow restrictor (蒸汽流量限制器) and a manhole (人孔). Inside, a bundle of tubes (管束) is supported by a support plate (支持板). A steam separator (汽水分離器) is located near the top of the tube bundle. A feedwater ring (餵水環管) surrounds the tubes, with feedwater nozzles (餵水管嘴) at the top. A bundle jacket (管束裙) is also shown. At the bottom, there is a downcomer (導流板) and a side water connection (殼側洩水接頭). A partition plate (分隔板) separates the main chamber from a lower section containing a cooling water nozzle (一次側冷卻水管嘴) and another manhole (一次側人孔). Three cross-sectional views are provided on the left: the top view (頂視圖) shows the circular arrangement of tubes and nozzles; the A-A section (剖視圖 A-A) shows a detailed view of the tube bundle; and the bottom view (底視圖) shows the base of the vessel with its various connections.

蒸汽流量限制器

人孔

蒸汽乾燥器

汽水分離器

餵水管嘴

餵水環管

管束裙

管束

支持板

導流板

殼側洩水接頭

管板

一次側人孔

一次側冷卻水管嘴

分隔板

沖放管路

底視圖

剖視圖 A-A

頂視圖

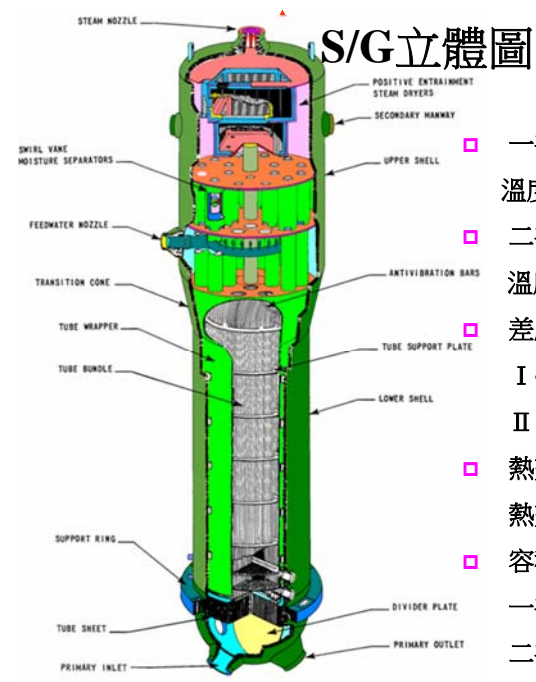
文氏管
限流管

放大圖

RCS圖



25



設計參數

溫度：343℃

□ 二次側：83.4Kg/cm²

溫度：316°C

□ 差壓：

I - II : 112.6Kg/cm²(@343°C)

II - I : 47.2Kg/cm²(@316°C)

□ 熱交換面積:4953m² (55,030ft²)

熱交換功率：982Mwt(Max)。

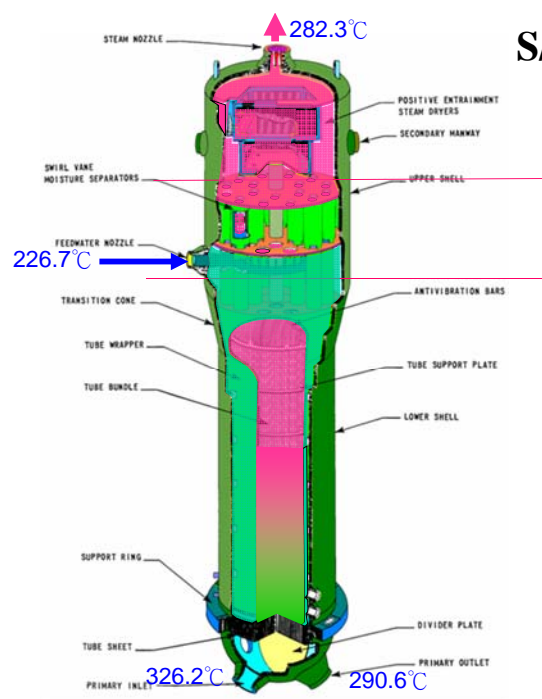
□ 容積：

一次側：966 ft³

二次側：5900 ft³

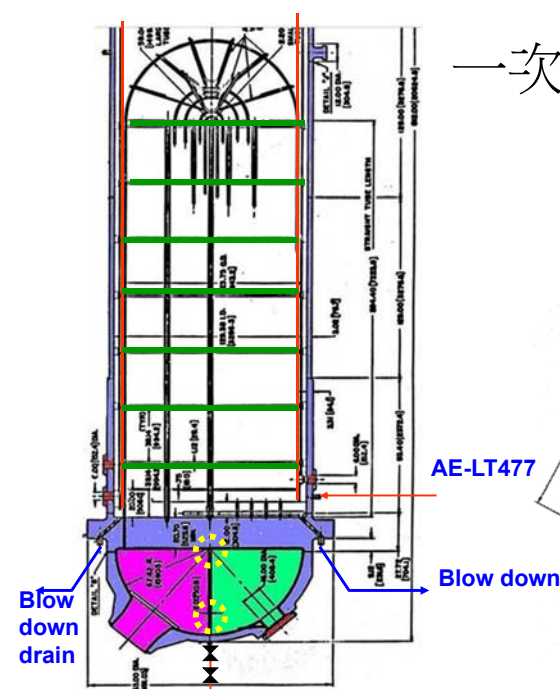


26

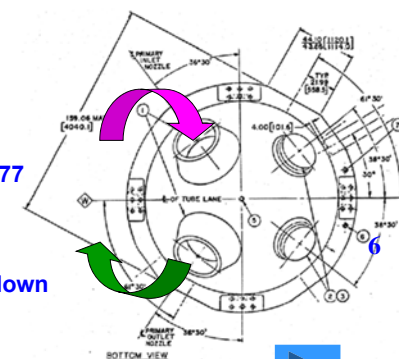


S/G立體圖

27



一次系統側の構造



AE-LT477

Blow down



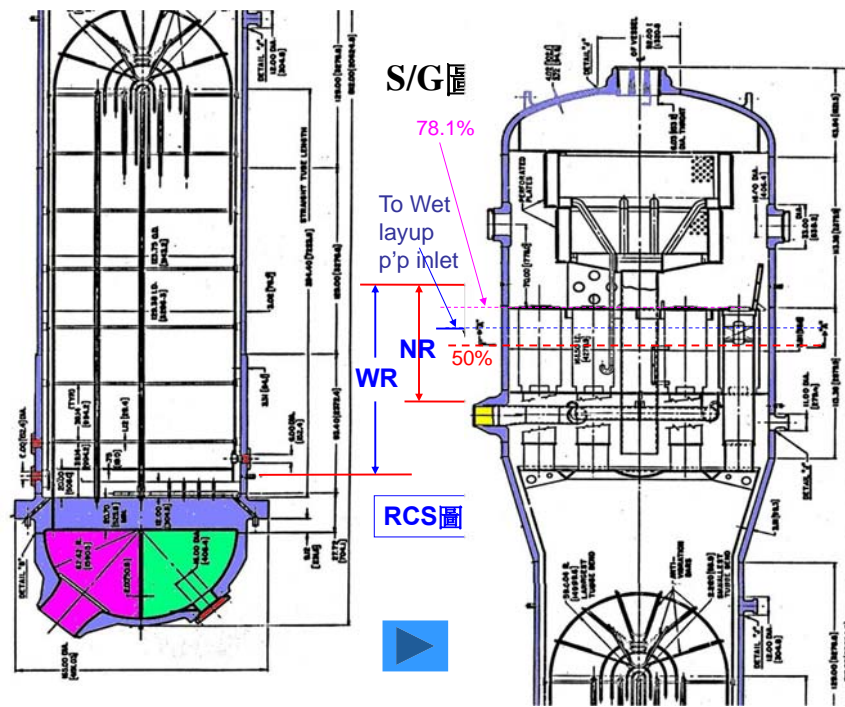
28

主蒸汽系統

討論大綱

1. 主蒸汽系統設計基準
2. 主蒸汽系統設計功能
3. 主蒸汽管路配置與蒸汽輸供系統
4. 主蒸汽系統之重要組件
5. Steam Dump Control System
6. FSAR 10章之參考參數

30



一、主蒸汽系統設計基準

安全設計基準

1. 在**冷凝器可用**的情況下，為了允許機組從**滿載降到廠內負載**，主蒸汽系統提供一將蒸汽排放至冷凝器和大氣的方式，提供一個人工負載，以協助一次側穩定。
2. 另外當機組起動，熱停機、冷停機時，它能**排除**核能蒸汽供給系統(NSSS)產生的**熱量或餘熱**，直至反應器達到低溫低壓而餘熱移除系統(RHR)可以取代其排熱功能止。
3. 本系統在蒸汽管路設有隔離閥(MSIV)，作為**圍阻體的隔離**。
4. 緊急情況下，反應爐必須冷爐時，本系統須保證能供給推動汽機帶動輔助飼水泵(Turbine Driven Aux. Feed Pump)所需的蒸汽，尤其在**喪失電源時提供輔助飼水至SG作為冷爐之用**。
5. 從SG到包括**主蒸汽隔離閥間**的系統管路設計上，須能保證當受安全停機強震後仍能執行其功能。

31

功率產生設計基準

1. 當汽機從暖機提升到額定負載時，蒸汽壓力與流量發生變化，本系統係設計能將此變化過程所需的蒸汽從**蒸汽產生器傳送到**高壓汽機。同時可供至汽水分離再熱器(MSR)、主飼水泵汽機、蒸汽排放系統和輔助蒸汽系統。
2. 為了允許由滿載降載至廠內負載，且不造成汽機或反應器跳脫，本系統在設計上須能旁通**32%額定蒸汽量至主冷凝器**，必要時額外的**53%可以排放至大氣**。(Steam Dump)
3. 正常起動和停機時，本系統能將一次系統產生的熱量或餘熱排除，控制機組之升、降溫率。

32

二、主蒸汽系統功能

1. 主蒸汽系統主要用以容納蒸汽產生器產生的飽和蒸汽且傳送到主汽機。
2. 本系統為一次系統的主熱沈（Heat Sink），可防止燃料過熱。
3. 本系統構成放射性流體和非放射性流體間的部份邊界(SG)。

33

三、主蒸汽管路

1. 設有3支32吋分別來自3個蒸汽產生器的主蒸汽管，其設計壓力為83.3kg/cm² (1185psig)，溫度315.5°C (600°F)，在額定蒸汽壓力66.7kg/cm² (964psig) 下傳送乾度為99.75%，流量為5.577 × 10⁶kg/hr (12.295×10⁶lb/hr) 的飽和蒸汽。

設計上，從SG至高壓汽機斷止閥(Stop Valve)的總壓力降為2.1kg/cm² (30psi)，這些管路均有足夠的伸展性，做為熱膨脹時和蒸汽產生器間的相對移動緩衝。

如圖23-1。

34

三、主蒸汽管路

2. 主蒸汽管路在出圍阻體外側後，每支蒸汽管路上設有兩個併排的動力釋壓閥（Power Operated Relief Valve，PORV），五個安全閥和一個主蒸汽隔離閥(MSIV)，除了輔助飼水泵汽機的供給蒸汽管路與低點洩水管路連接於主蒸汽隔離閥上游的蒸汽管路外，其餘的連接管均位於主蒸汽隔離閥的下游。

如圖23-1。

35

三、主蒸汽管路

3. 各主蒸汽管在隔離閥下游匯接於一條42吋的連通集管，然後再經4支26吋的進汽管連接4個汽機斷止閥和控制閥進入高壓汽機做功。

蒸汽進入高壓汽機前，4支26吋的進汽管在斷止閥之後，控制閥進口處互連於一平衡管，所以失去一次系統任一環路將不致於引起蒸汽的不平衡分佈。

即主汽機斷止閥之上、下游均各有一連通管路。

T/B MSV-CV

AC-P&ID

36

三、主蒸汽管路

4. 洩水管路接於各主蒸汽管的低點，在傾斜的洩水管路裝有限流閥和蒸汽祛水器（Trap），其目的在允許凝結的水汽排入冷凝器，以避免水滴進入汽機或造成管路水槌（water hammer）。
5. 當蒸汽產生器被隔離或失去廠外電源時，本系統組件的安排將保證能繼續供給蒸汽至汽機推動的輔助飼水泵，此推動蒸汽來自主蒸汽管 #1 和 #2 主蒸汽隔離閥的上游。

如圖23-1。

蒸汽之輸供系統

主蒸汽連通管 (MSIV下游)支管引至：

1. 汽水分離再熱器A、B、C、D的第二級加熱蒸汽
2. 汽機汽封系統 (Steam Seal System)
3. 排放至主冷凝器 (Dump to Condenser)
4. 排放至大氣 (Dump to Atmosphere)
5. 推動主飼水泵汽機 (Main feed water pump turbine) A、B、C高壓進汽隔離閥 (低功率時， $<40\%$)。
6. 輔助蒸汽系統 (Auxiliary steam system)
7. 連通至另部機以提供輔助蒸汽。

如圖23-1。

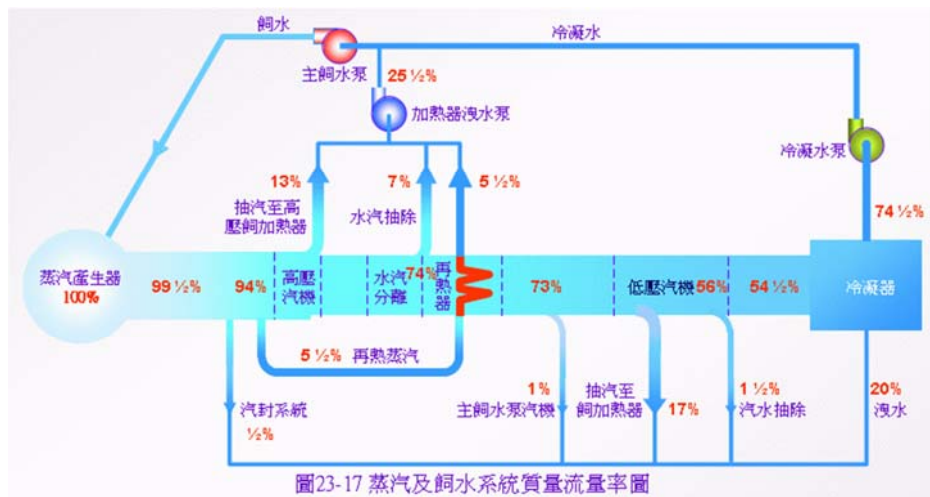


圖23-17 蒸汽及飼水系統質量流量率圖

蒸汽之輸供系統

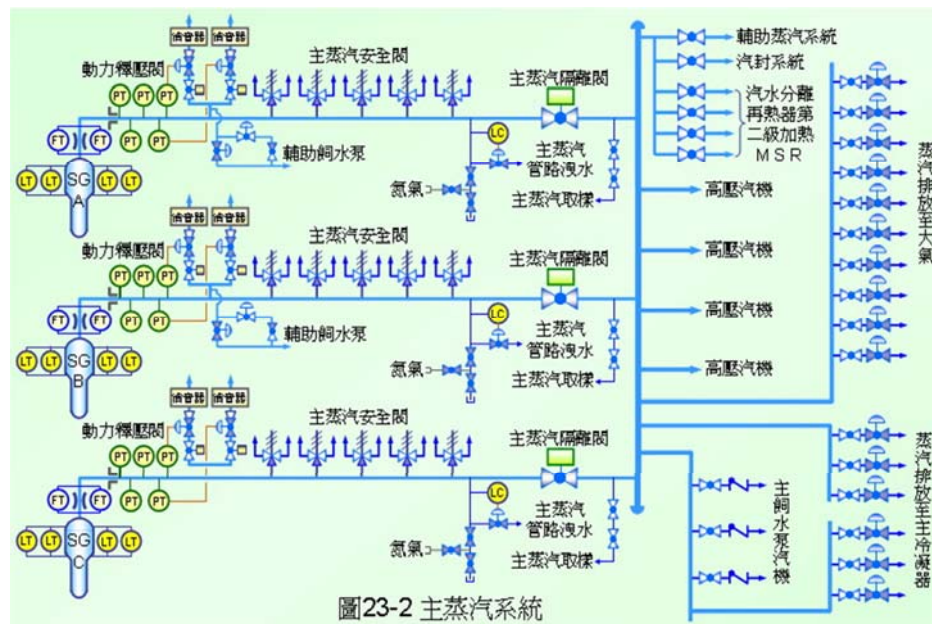
一、主蒸汽MSIV上游支管引至：

1. PORV
2. Safety valve
3. TD AUX. feed water pump

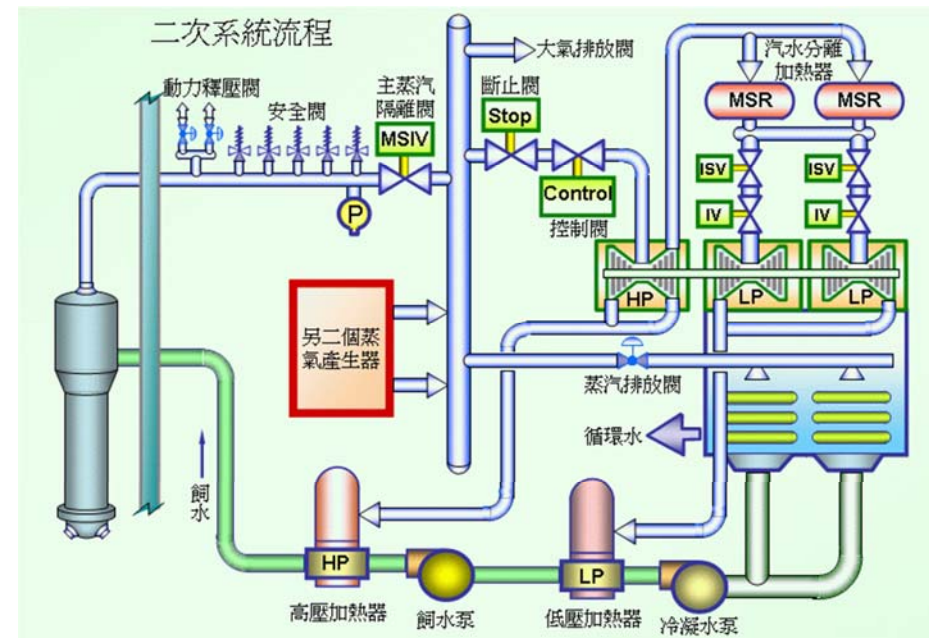
二、CTMT至主蒸汽MSIV上游管路上之設備：

1. S/G PT x 3+2 (/loop) °
2. VAMCIS °
3. AB-RT499A、499B、499C °
4. PORV x 2 (/loop) °
5. TD AFP supply line °
6. AB PSV x 5 (/loop) °
7. Drain & N2 line °
8. MSIV & By pass valve 各一 (/loop) °

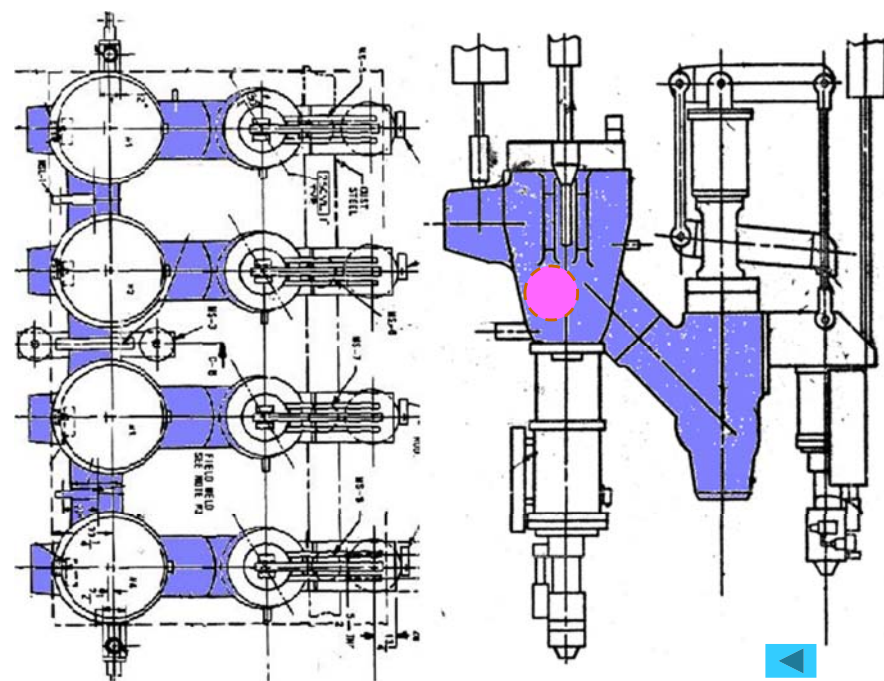
如圖23-1。



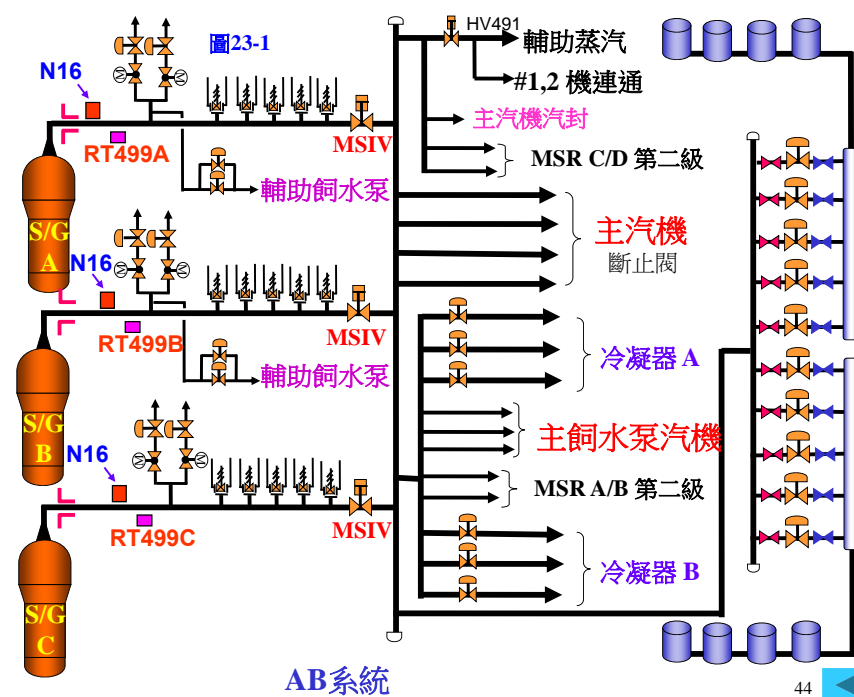
41



42

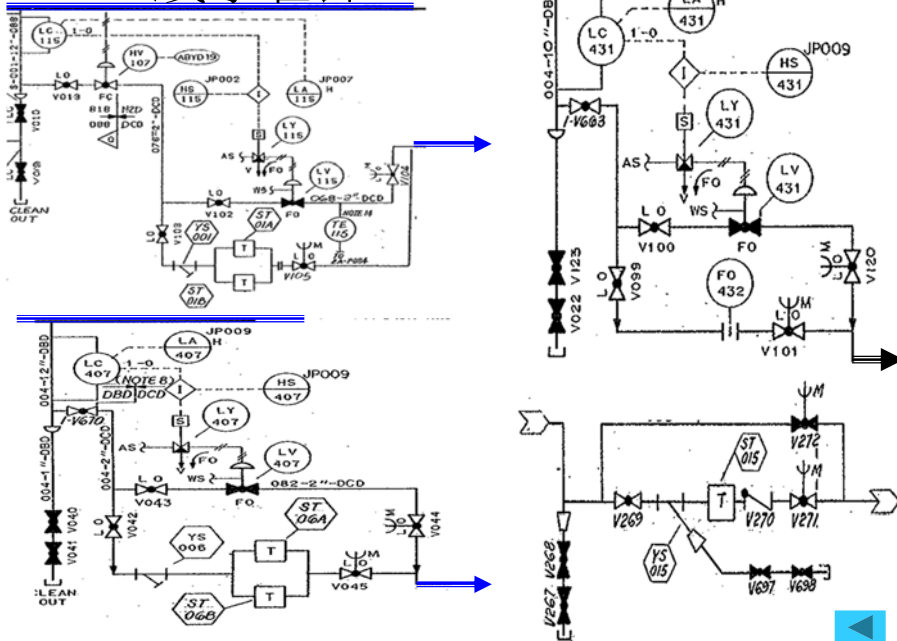


43



44

洩水管路



四、主蒸汽系統(AB)之組件

本系統包括

1. 三個蒸汽產生器
 2. 流量限制器 (Flow Restrictor)
 3. S/G之洩漏偵測元件
 4. 動力釋壓閥 (PORV)
 5. 安全閥
 6. 主蒸汽隔離閥 (MSIV)
 7. 大氣排放閥 (Atmosphere Dump Valve)
 8. 汽機旁通閥 (Turbine Bypass Valve)
 9. 其他管路、洩水管路和儀控設備。
- 主蒸汽管路圍阻體穿越孔道上游，除了蒸汽產生器頂部出口的流量測量單元外，別無任何管路或儀器與主蒸汽管相連。

如圖23-1 46

動力釋壓閥 (Power Operated Relief Valve)

- 此閥裝於圍阻體外側的蒸汽管路上，位於安全閥的上游，設定點比PSV低，其作用係減免PSV的開啟。
- 每一釋壓閥的釋放容量為310,260kg/hr (684,000 lbm/hr)，在設計壓力83.5kg/cm² (1185psig) (此時PORV全開)下，3個(共6個)動力釋壓閥的釋放容量為額定蒸汽流量的10%，其最小釋放量在6kg/cm² (100psig)時為25,855kg/hr (57,000 lb/hr)。
- 當停機時，且冷凝器不能用的情況下，PORV可帶走爐心殘留的衰變熱，蒸汽經消音器排至大氣。

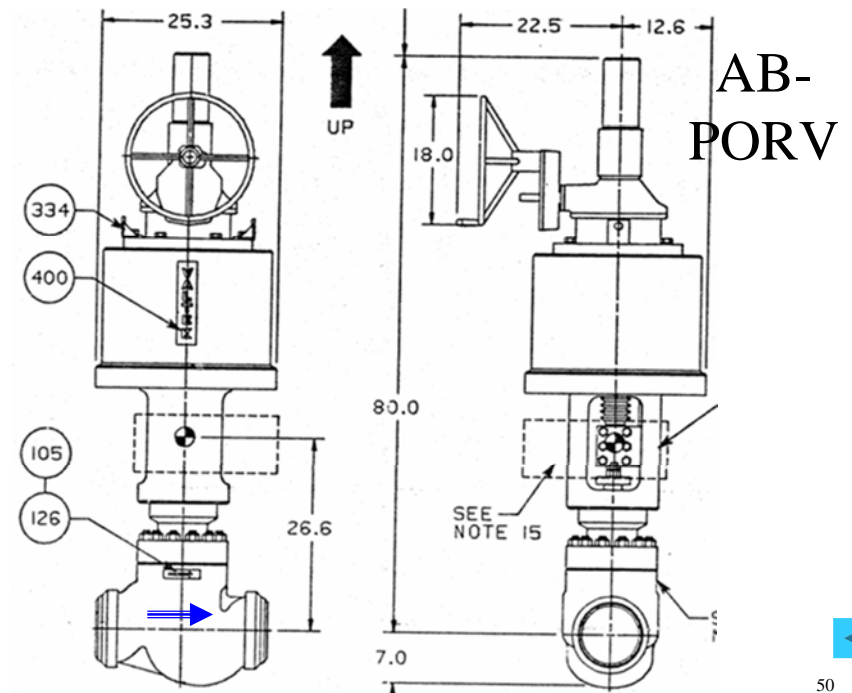
動力釋壓閥

- 此閥為可調節型，操作員可於控制室遙控調整釋壓閥的開啟設定點，正常運轉時，本釋壓閥藉主蒸汽管路壓力來自動控制，可在現場手動操作。
- 正常開啟(全開)設定點為79.1kg/cm²，可在20秒內全開。
- 釋放閥的開啟設定點較安全閥的最低設定點低3.16 kg/cm² (45psig)，其作用係避免系統暫態屢次開啟安全閥。為了減少意外蒸汽釋放的潛在性，此閥設計在失去控制氣壓時閉鎖在關閉位置。
- 動力釋壓閥和輔助飼水系統互相配合，允許機組由安全閥的最低設定點冷機至餘熱移除系統可以取代移熱為止。

PORV

1. 於設計壓力下**六**個PORV總容量為20%。
2. 於 MSIV 關閉或冷凝器不可用時，將爐心餘熱排放至大氣。
3. 緊急情況(LOV)時，配合輔助飼水泵補水，提供爐心冷卻能力。
4. 當失去操作空氣時，閥關閉(F.C)，正常設定在 79.1 kg/Cm^2 ，當取代蒸汽排放閥時，設定壓力降為 76.8 kg/Cm^2 。
5. PORV正常置自動控制，也可手動遙控或於現場手動節流。

49



50



PORV之操作

1. 控制室手動遙控
2. 控制室設定-自動控制
3. SHUT DOWN PANEL輔助停機盤手動遙控
4. SHUT DOWN PANEL輔助停機盤設定-自動控制
5. 現場手動操作節流

51

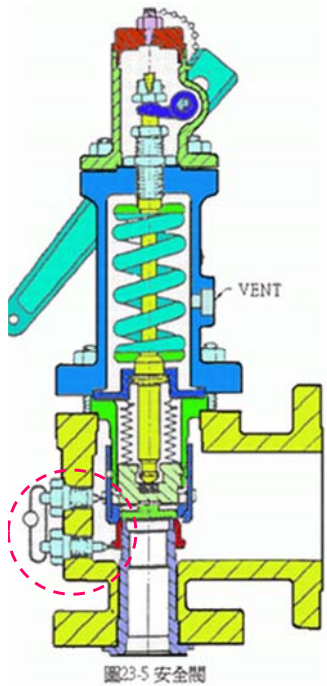
安全閥 (Safety Valve)

1. 屬**安全相關**設備。
2. 位於圍阻體外側，主蒸汽隔離閥上游，動力釋壓閥之後，**每一主蒸汽管路上備有五個安全閥**，提供二次系統之過壓保護，各閥容量相同，但隨開啟設定壓力的增加其排放量亦增加，**五個安全閥的總容量為 $2,088 \times 10^6 \text{ kg/hr}$ ($4,603,570 \text{ lb/hr}$)**。
3. 當反應器功率與蒸汽需求量不平衡時，此安全閥提供蒸汽產生器緊急能量釋放，為了滿足安全設計準則，安全閥和動力釋壓閥皆用來**限制主蒸汽系統的壓力**，大修期間，需個別測試各安全閥之壓力設定和排放量。
4. 提供緊急能量釋放能力，以防止二次蒸汽系統**過壓**。

表23-1

Rated flow

52



AB-PSV

閥號	設定壓力 kg/cm ² (psig)	排放容量 kg /hr(1b/hr)	限流孔截面 積cm ² (in ²)
X02	83.31 (1185)	405,135 (893,160)	103.2 (16.00)
X03	84.72 (1205)	411,889 (908,050)	103.2 (16.00)
X04	86.13 (1225)	418,647 (922,950)	103.2 (16.00)
X05	87.18 (1240)	423,714 (934,120)	103.2 (16.00)
X06	88.24 (1255)	428,720 (945,290)	103.2 (16.00)

53

主蒸汽隔離閥 (Main Steam Isolation Valve, MSIV)

1. MSIV為**氣動液壓活塞式**隔離閥，安全相關設備。
2. 每個MSIV均有**二串液壓**控制系統，每一串液壓控制系統都能單獨控制MSIV的開關；每串液壓控制系統組件有五個電磁導引閥，二個動作器，一個蓄壓器及共用的一台空氣泵。
3. 當電磁導引閥**失去控制氣壓或電源**時，本閥(MSIV)將閉鎖在**關閉位置**。
4. 正常功率**運轉中**，本閥可執行“Exercise”測試(90%開啟)。
5. 當主蒸汽管破裂時，本閥可**快速關閉**(5秒內)，以避免**RCS過份冷卻**，或**圍阻體過壓**。
6. MSIV亦屬**CTMT**隔離閥。

(參照圖)

54

主蒸汽隔離閥

1. 在正常情況下，此閥可在接受隔離訊號後**五秒內關閉**，在設計上，它提供下列情況的保護：
 1. 位於圍阻體內和蒸汽產生器出口間的主蒸汽管斷裂(MSLB)。
 2. 在圍阻體外和隔離閥上游間的主蒸汽管路斷裂(MSLB)。
 3. 當隔離閥下游的主蒸汽集管斷裂(MSLB)。
 4. 蒸汽產生器管子破裂(SGTR)。
2. 主蒸汽隔離閥的隔離信號邏輯：
3. 在**MSLB**時：

MSIS

 1. 可避免RCS過度冷卻，造成PTS或RX再臨界。
 2. 可避免CTMT過壓。
4. 在**SG TUBE 破管**時，防止或減緩**放射物質外釋**。

如圖23-1。

55

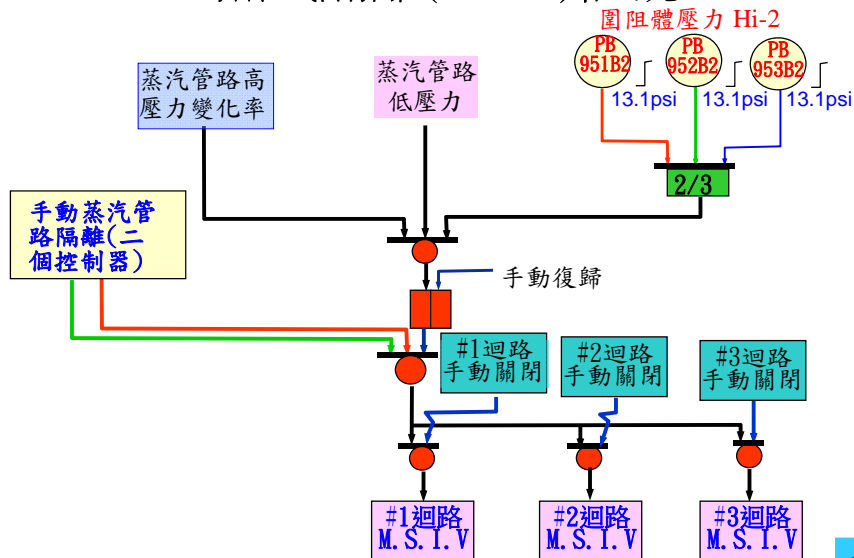
MSIS

1. **Manual** ACT(SA-HS310 JP006) & (SA-HS320 JP002)
2. P-11且BLOCK STM Line Lo Press後，任一**SG Hi Press Rate** (2/3 :PB-474A /475A /476A setting: 7 Kg/cm²/Sec)
3. P-11但尚未BLOCK STM Line Lo Press前，任一**SG LO Press** (2/3:AB-PB474B/475B/476B setting: 41.14kg/cm²)
4. **CTMT Press Hi-2** (2/3 : GN-PB951B/952B/953B setting: 0.92 kg/cm²)

MSIS

56

主蒸汽隔離(MSIS)信號



57

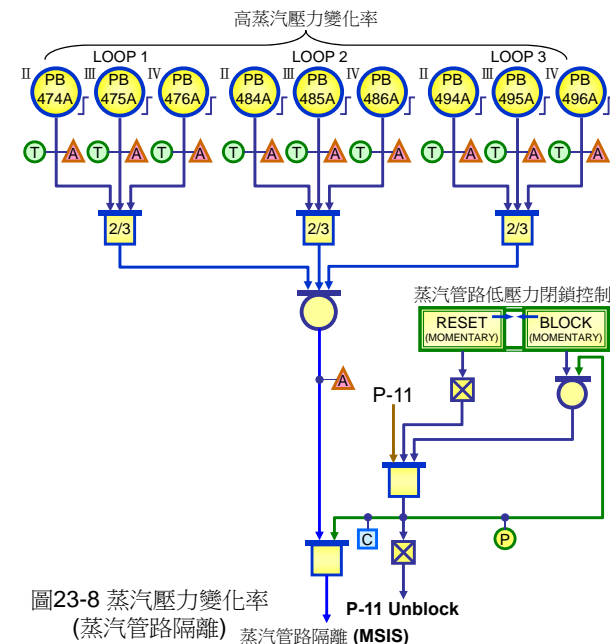


圖23-8 蒸汽壓力變化率
(蒸汽管路隔離)

58

圖23-9 主蒸汽管路低壓力隔離

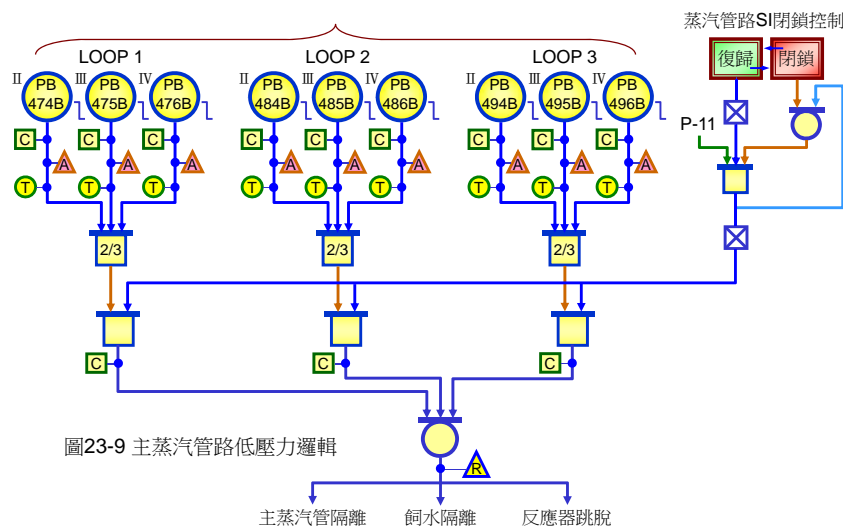


圖23-9 主蒸汽管路低壓力邏輯

59

MSIV相關問題

- MSIV 在高蒸汽壓力且Disc高差壓時，可能發生 **Drift Open**，此乃設計上的問題。88/01/03曾經發生一次。當時#1機正開啟 MSIV ByPass閥進行二次側Warming中，MSIV突然離開關閉位置，致使AB-PI464由64Kg/cm²突升至70 Kg/cm²，S/G水位亦發生擾動(Level Dev Alarm尚未出示)。
- GOP216規定：MSIV 上下游差壓力 < 6 kg/cm²，才可開啟MSIV。
- 蓄壓槽壓力會隨環境溫度劇變，約變動500 Psig，對各封環造成潛在的威脅。因此，GL-F255，260，261，262 & F226/230 等風扇，必須儘可能全部啟動維持運轉。

60

MSIV相關問題

3. [600-0-042](#)

步驟7.3 當有一串氮壓 < 4500 PSIG 應依運轉規範 3.7.2 採取行動。

步驟7.4 MSIS快速關閉功能無法達成時，應依運轉規範 3.6.3 與 3.7.2 採取改正行動。

□ 低壓力警報設定點: 4700 Psig。

4. 蓄壓槽內的PISTON位置，機械組將以超音波設備，定期量測查驗。以避免長久的氮氣微漏，造成蓄壓槽功能喪失。

61

MSIV相關問題

5. 【MSIV/FWIV AIR PUMP START TOO FRQ.】

(JP07A-11) 警報出示 (Air p' p 打8次) 時，值班人員須赴現場手動Reset。Reset前，須記錄時間，計數器次數與該閥蓄壓槽之壓力指示值，再將上述數據通知機械組。

□ 原設計之【AIR泵起動次數計數器】的Auto Reset(每天早上10點鐘)功能，已經取消，以提早發現潛在問題，及早處理。

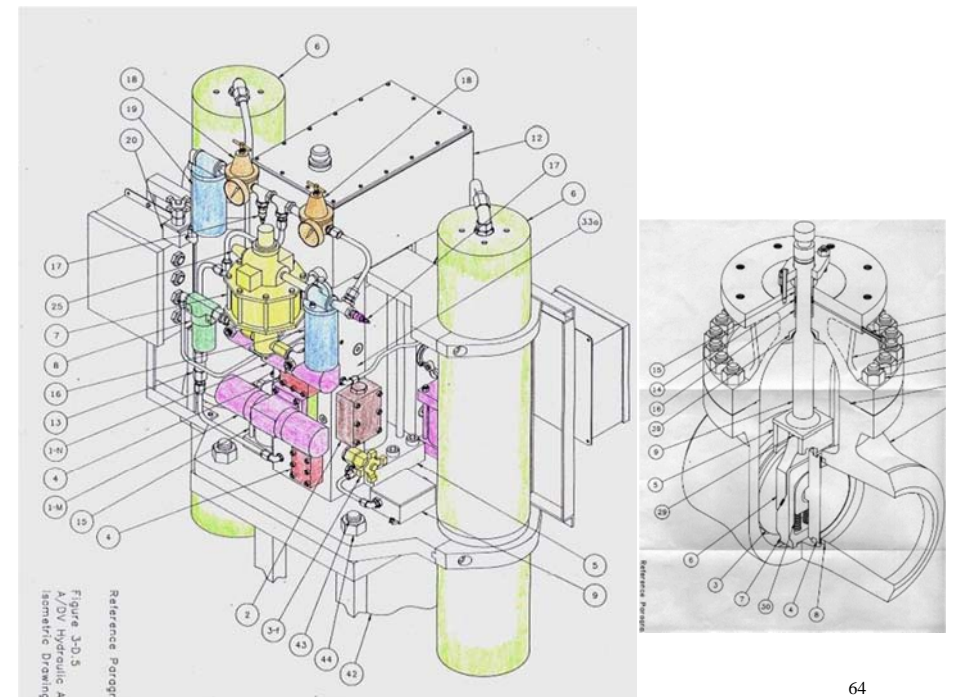
62

MSIV相關問題

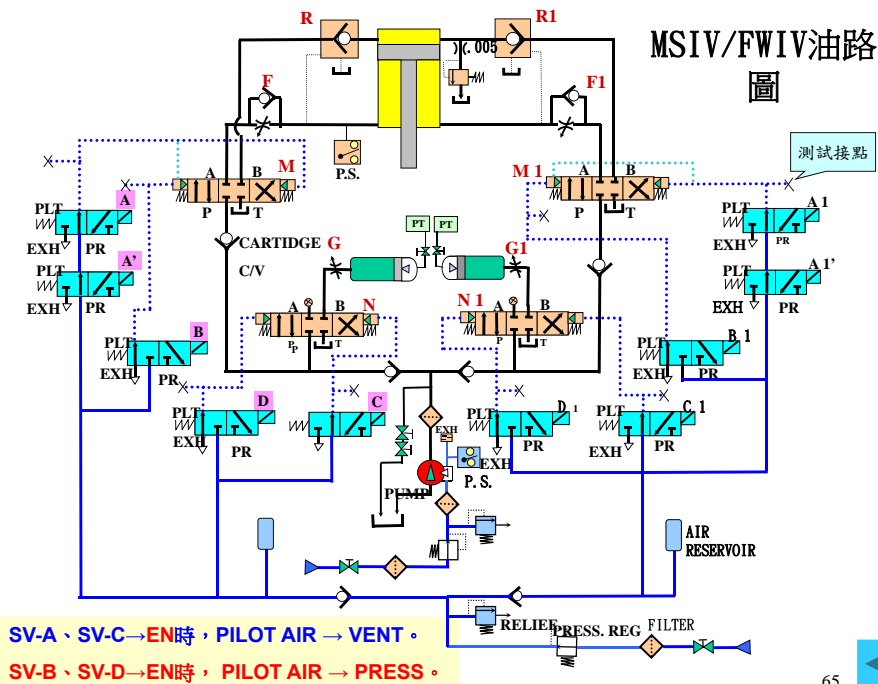
6. 定期MSIV Exercise測試時，因Pilot valve缺陷而快速關下，差點造成工安問題。
7. 蓄壓槽之N₂可能洩漏，致即使壓力指示仍高但其實蓄壓槽已喪失功能。
8. 大修前MSIV關閉情況下，必須先Pre-Charge後，才可切電(再次快速關閉)掛卡，否則易致液壓油洩漏。

Pre-Charge Check 主要用以驗證蓄壓槽內氣體容積足夠確保其功能，另於Exercise時防止意外快速動作。

63



64



65

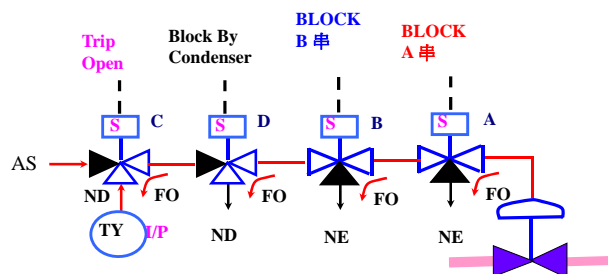
SOLENOID

Operation Mode	A(A')	B	C	D
Slow Open	+	+	+	-
Slow Close	-	-	+	-
fast Close	-	-	-	-
fast Open	+	+	-	-
Exercise close	-	-	+	-
Exercise Open	+	+	+	-
Pre-Charge	+	-	+	+
Fully Open (normal op)	+	-	-	-
Fully Close	+	-	-	-
MSIS(同fast Close)	-	-	-	-

66

STEAM DUMP CONTROL SYSTEM

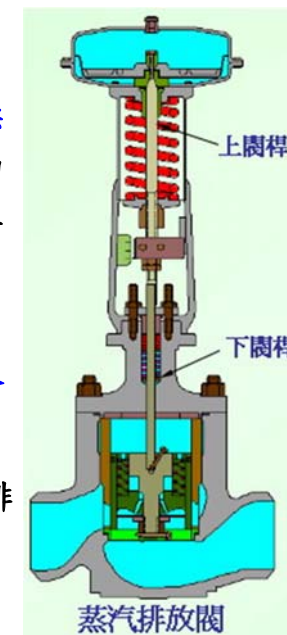
- 主蒸汽管路之旁通流路，可將蒸汽排放至大氣或冷凝器，以帶走NSSS產生的熱量。
- 汽機/發電機 棄載或跳脫時作第一階段的爐心冷卻。32% => CONDENSER、53% => ATM。
- Steam Dump vavle不可用或MSIV CLOSE時，六個PORV可作其後備，總容量為20% Rated Power。



67

冷凝器蒸汽排放閥

- 冷凝器蒸汽排放閥 (Steam dump to Condenser) 共有6個，為氣壓膜片操作閥，提供一、二次系統不平衡時的人為負載，避免主蒸汽系統過壓，其設計旁通容量為32%額定蒸汽流量。
- 六個中有2個可做為機組起機升溫時主蒸汽集管的壓力控制或冷機時的冷卻控制。
- 喪失DC或儀用空氣等故障時，蒸汽排放閥將關閉。



大氣蒸汽排放閥

大氣蒸汽排放閥 (Steam dump to Atmosphere) 共有10個，完全和冷凝器蒸汽排放閥一樣，主要是在當主**冷凝器不可用**或**棄載**且一、二次系統不平衡的蒸汽排放需求量大於冷凝器蒸汽排放閥的容量時，用以移除多餘的蒸汽量之用。

喪失DC或儀用空氣等故障時，蒸汽排放閥將關閉。

69

貳設計基準

1. 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。
2. 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。
3. 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, AB-TV410/TV411) 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。

70

貳設計基準

4. 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。
5. 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。
6. 當主冷凝器不能用，而機組降載量大於大氣排放閥的容量 (53%) 時，多餘的主蒸汽可由SG動力釋放閥或安全閥排放，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。

71

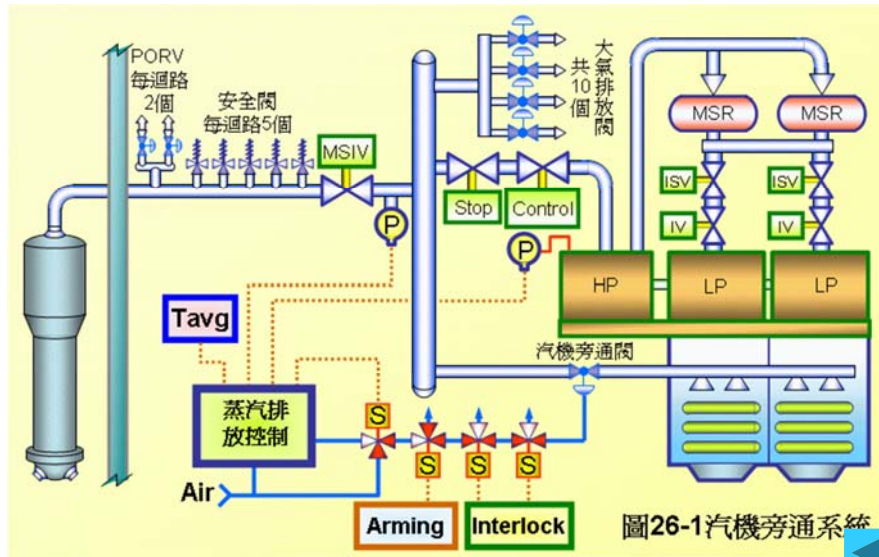
系統功能

本系統之設計，有下列幾個主要功用：

1. 允許機組**突降**高達**85%**之額定負載，而不造成反應器跳脫。
2. 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。
3. 提供機組**冷卻**時之**手動**排放控制。
4. 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。

72

Steam dump system



73

蒸汽排放閥控制模式

1. 平均溫度(Tavg)控制模式：

依Tref溫度與Tavg之差值來決定排放閥之開度。
又分為兩種控制程式：

1. 機組棄載控制程式：Tref溫度為三迴路之中間值。
2. 汽機跳脫控制程式。Tref溫度為No load Tavg(291.7℃)。

2. 蒸汽壓力(steam pressure)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。

參考圖

74

蒸汽排放控制系統相關的連鎖

1. C-7 (蒸汽排放需求連鎖)：有C-7A和C-7B，表示汽機負載突降(由AC-PT446、PT447、PT450的中間值代表)。
 1. C-7A：汽機負載階變大於 10%/120秒。
 2. C-7B：汽機負載階變大於 42%/120秒。
2. C-8 (汽機跳脫)：四只MSV均全關或2/3 ETS AC - PB4/8/12 < 600psig。
3. C-9 (冷凝器可用連鎖)，表示四台循環水泵中已有三台起動運轉及四個冷凝器壓力中已有三個壓力小於5" HgA。若冷凝器不可用，汽機旁通閥之空氣供給管路將因No. 3(Arming)電磁閥失能而洩壓，所有汽機旁通閥均關閉、無法開啟。
4. P12：Tavg low low(2/3 < 287.7℃，BB-TB412E、422E、432E)。

75

機組停機冷卻

1. 機組停機後，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。
3. 當蒸汽壓力漸降，一次溫度遞減至過低值(P-12，287.7℃)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TV410、TV411開啟，並可以手動控制機組的冷卻。
4. 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TV410、TV411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。

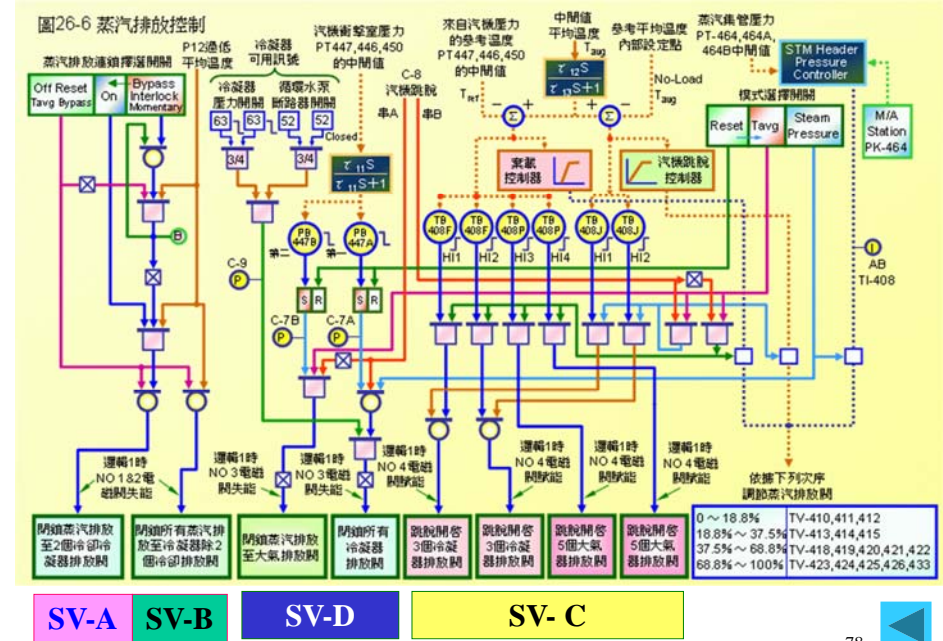
76

跳脫雙穩態程式(Trip Bistable)

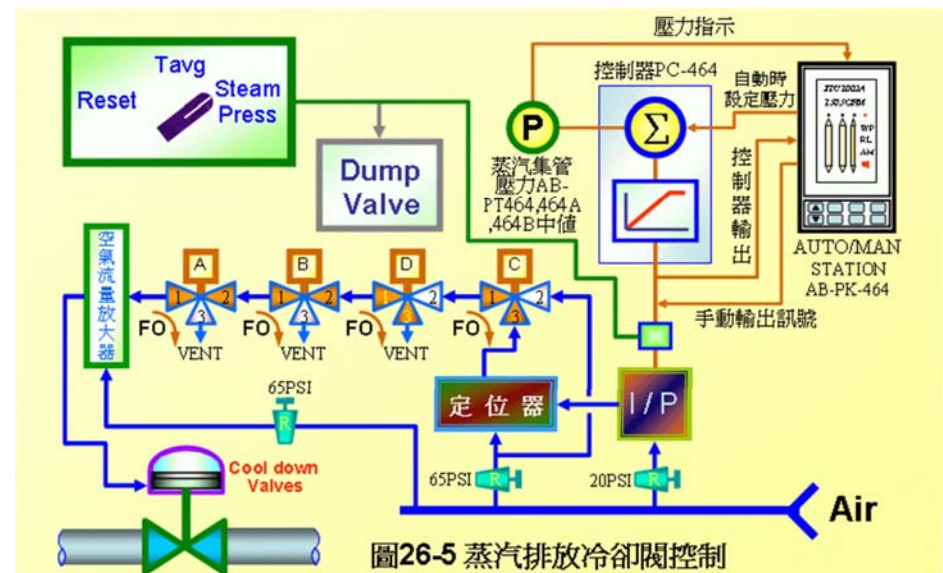
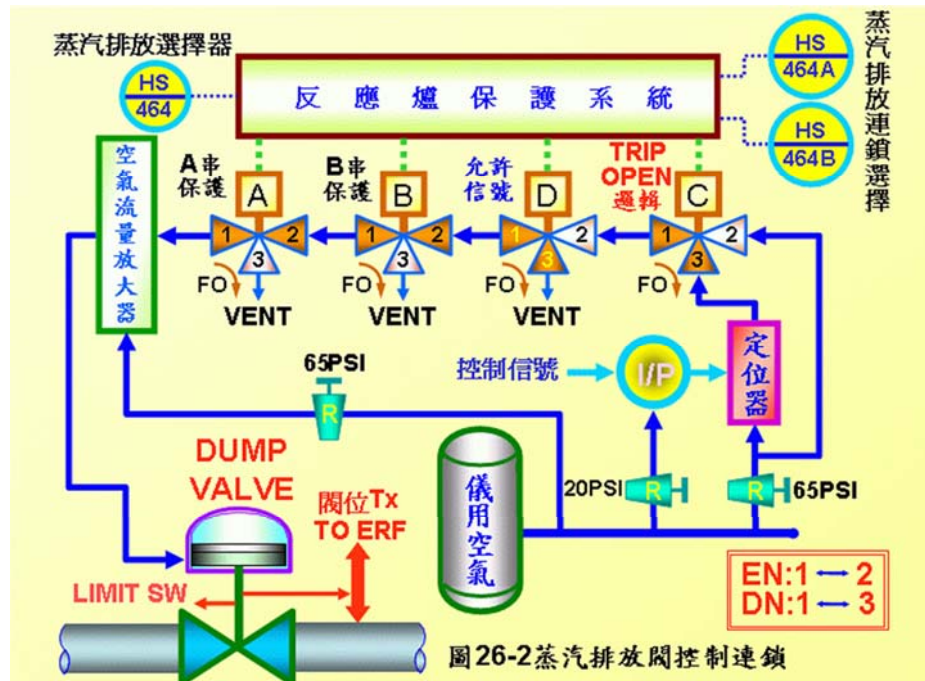
1. Trip Bistable動作時，對應之蒸汽排放閥將因No. 4電磁閥(SV-C)賦能而全開。
2. 汽機跳脫時：有Hi-1和Hi-2兩種，當溫度誤差信號相當於
 1. 16% (8.78°C) 的蒸汽排放需求時，TB408J-1(Hi-1)動作，第一組的三個排放到冷凝器的汽機旁通閥全開。
 2. 31.9% (17.5°C) 蒸汽排放需求時，TB408J-2(Hi-2)動作，第二組的三個排放到冷凝器的汽機旁通閥全開。
3. 在棄載的情況下：有Hi-1、Hi-2、Hi-3、Hi-4等四種，當溫度誤差信號相當於
 1. 16% (3.41°C)，TB408F-1(Hi-1)動作，第一組的三個排放到冷凝器的汽機旁通閥全開。
 2. 31.9% (5.69°C)，TB408F-2(Hi-2)動作，第一組個排放到冷凝器的汽機旁通閥全開。
 3. 58.5% (9.52°C)，TB408P-1(Hi-3)動作，第一組五個大氣排放閥(AB-TV418、TV419、TV420、TV421、TV422)開啟。
 4. 85% (13.3°C)，TB408P-2(Hi-4)動作，第二組五個大氣排放閥(AB-TV423、TV424、TV425、TV426、TV433)開啟。

77

412Z/422Z/432Z



78



主蒸汽系統之運轉

- RX臨界 → POAH(加熱起始點)後，準備微開MSIV旁通閥，以溫熱(Warming)MSIV下游蒸汽管路。
- MSIV 上下游差壓力 < 6 kg/cm²，才可開啟MSIV(GOP216)。
- Main Turbine機殼溫熱(SHELL WARMING)--216 STEP 4.13，可與MSIV 旁通閥開啟一併執行。
- 主汽機控制閥(CV)汽櫃溫熱(CHEST WARMING)--204 STEP 4.3
- 先執行機殼溫熱至大於121℃後，再執行汽櫃溫熱，將汽櫃溫熱至主汽機控制閥內、外側溫差近乎零。

81

Table 10.3-2 MAIN STEAM SUPPLY SYSTEM DESIGN DATA

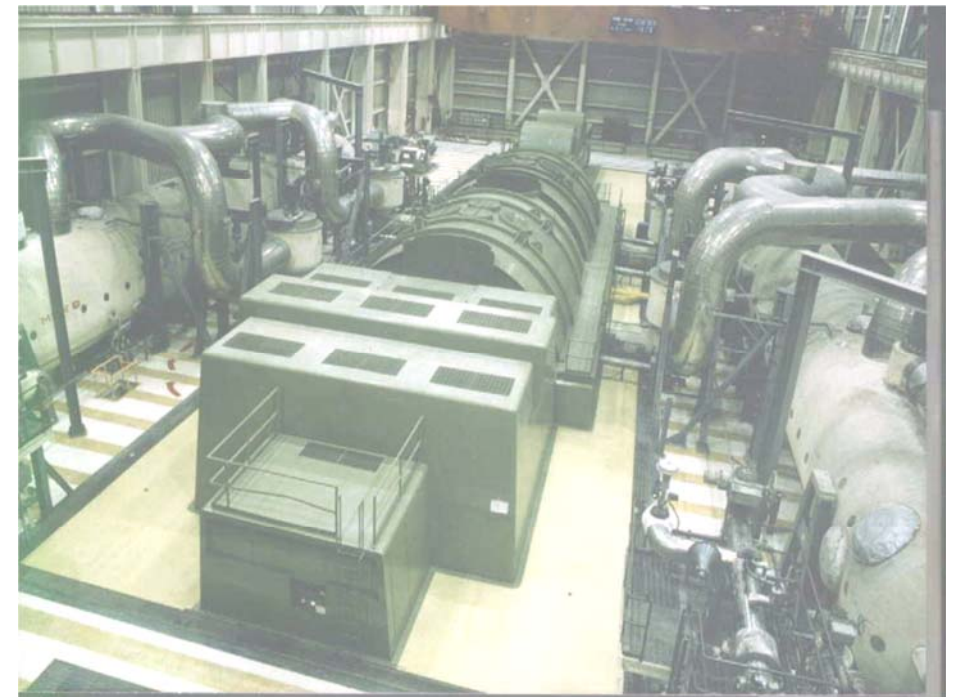
Main Steam piping (Safety-Related Portion)	
Rated flowrate at 964 psia and 0.25% moisture, 1b/hr	12.19 x 10 ⁶ 1b/hr
Number of lines	3
O.D., in.	32
Minimum wall thickness, in.	1.320 (Inside containment) 1.973 (Inside main steam support structure)
Design pressure, psia	1,200
Design temperature, °F	600 ⁵
Design code	ASME Section III, Class 2
Seismic design	Seismic Category I
Main Steam Isolation Valves	
Number per main steam line	1
Closing time, seconds	Less than 5
Design code	
Seismic design	Seismic Category I

82

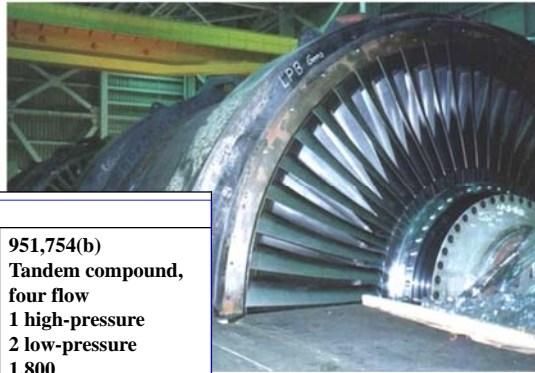
Table 10.3-2 Power Operated Relief Valves

Number per main steam line		2
Normal set pressure, psia		1,140
Capacity (each) at 100 psia, 1b/hr		64,000
Design code		ASME Section III, Class 2
Seismic design		Seismic Category I
Main Steam Safety Valves		
Number per main steam line		5
Orifice area, in. ²		16
Size, in.		6 x 8 x 8
Design code		ASME Section III, Class 2
Seismic design		Seismic Category I
Performance data		
Number	Set Pressure (psig)	Capacity at 3% Accumulation (1b/hr)
1	1,185	893,160
2	1,205	908,050
3	1,225	922,950
4	1,240	934,120
5	1,225	945,290

83



主汽機



Turbine-Generator	
Rating, kW	951,754(b)
Turbine type	Tandem compound, four flow
Quantity of turbine elements per unit	1 high-pressure
Operating speed, r/min	2 low-pressure
	1,800
Moisture Separator Reheater (MSR)	
Stages of reheat	2
Stages of moisture separation	1
Quantity of MSRs per unit	4
Main Condenser	
Type	Single pressure, two-shell
Quantity, per unit	16.267 x 10 ⁹
Condensing capacity, BTU/h (a)	684,000
Circulating water flow rate, gal/min	18.4 °F (10.22°C)
Circulating water temperature rise, °F	

85

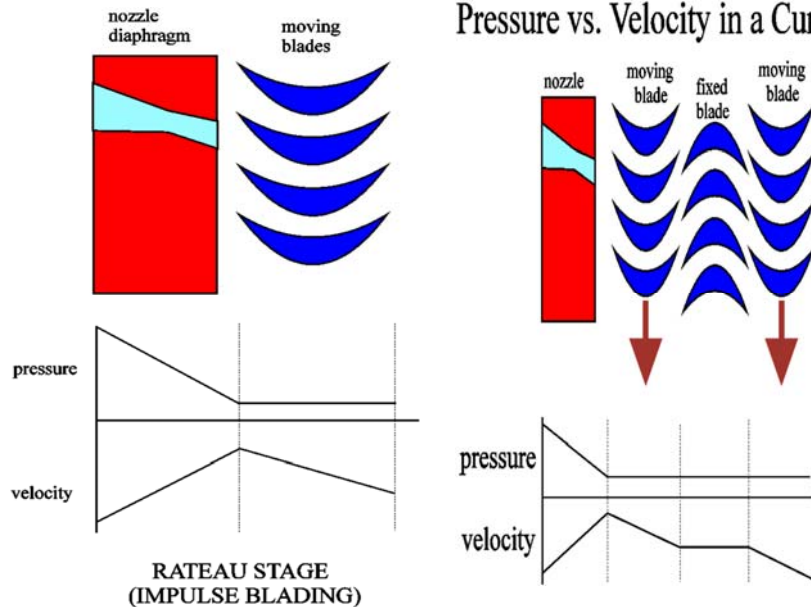
主汽機

- 汽機將主蒸汽之熱能(thermal energy)轉換為機械能，帶動發電機以產生並輸出電力。
- 其能量之轉換可分成二階段：
 - Step 1: Thermal E \rightarrow KE (nozzles)
 - Step 2: KE \rightarrow Work (blading)
- Nozzles之功能：
 - 利用流道截面積之縮減，將熱能轉換為動能，即提升蒸汽流速。
 - 引導蒸汽流以適當的角度進入葉片。
- BLADES：將動能轉換為機械能。

86

Impulse blades

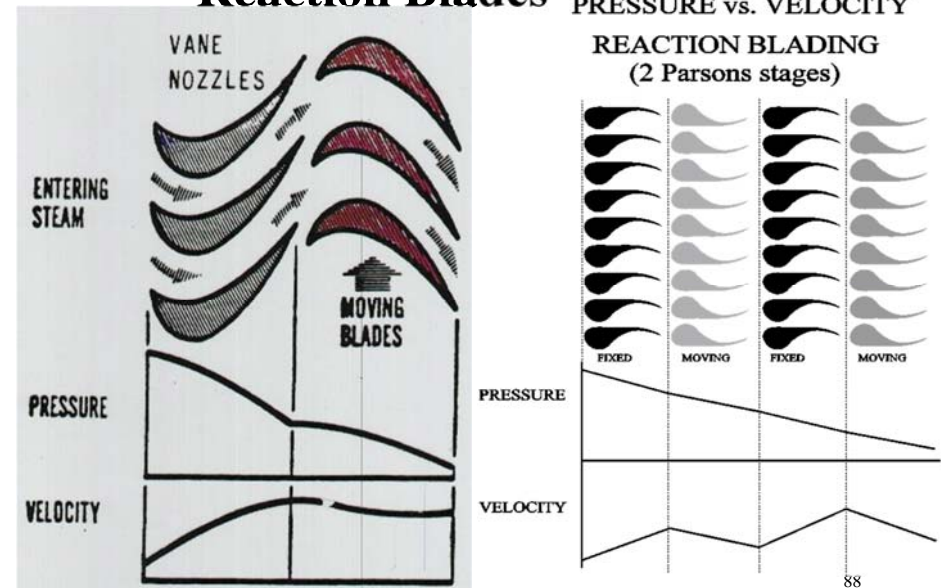
Pressure vs. Velocity in a Curtis Stage



87

Reaction Blades

PRESSURE vs. VELOCITY
REACTION BLADING
(2 Parsons stages)



88

AC P&ID

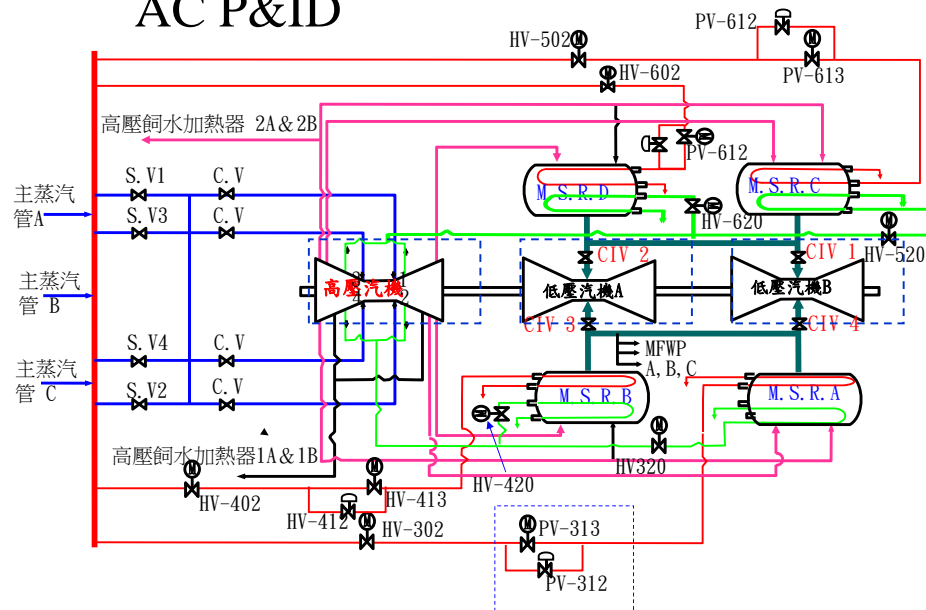


圖23-7b 主蒸汽與再熱蒸汽

89

抽汽系統

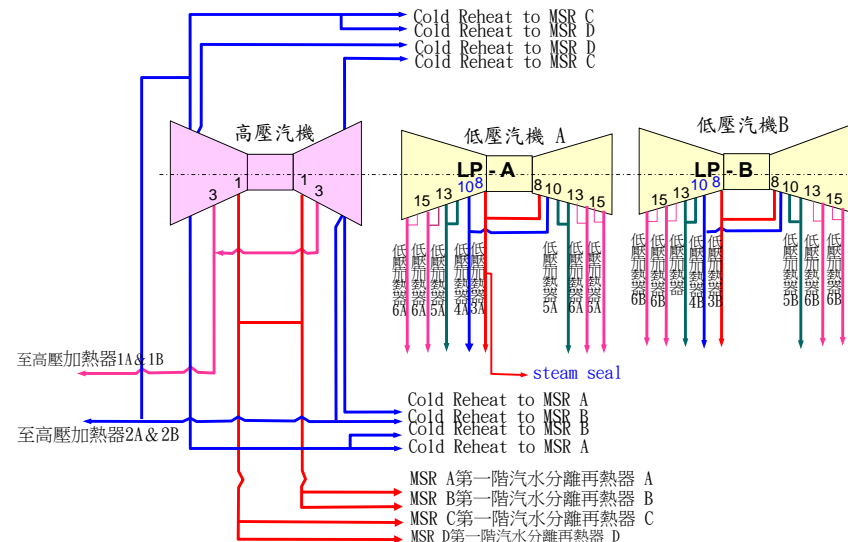
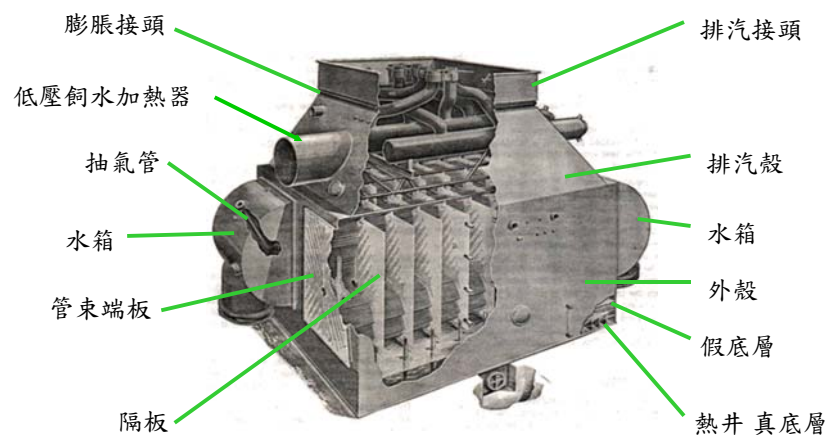


圖23-16 抽汽系統

90

主冷凝器介紹



本頁引用 修配組董國良兄之教材。

91

冷凝器的功能

1. 將汽機排汽的蒸汽凝結成水再使用。
2. 移除冷凝水中之不凝結氣體，控制飼水之溶氧。
3. 降低汽機排汽背壓，提昇效率。
4. 容納其他設備管路洩水、蒸汽或不凝結氣體之排放。

92

主冷凝器 (Main Condenser)

1. 為單一壓力、單一流向、除氧型(正常氧含量少於5ppb)，使用鈦管。
2. 在額定功率和運轉壓力6.5cmHg Abs(2.54"Hg)時，主冷凝器的負荷為 6.267×10^9 BTU/HR。
3. 共有兩個殼，分別座落於兩個低壓汽機底下，其頸部支持低壓飼水加熱器組，**同時頸部備有伸縮接頭和水封裝置，避免空氣進入**。
4. 殼下部各有兩套管束和分離的水箱，各管束流向與汽機轉軸相垂直，與個別的循環水管路相連接。

93

5. 主冷凝器共有四個熱井(Hot Well)，每一殼有二個，熱井就在冷凝器的正下方，可視為二次系統流量波動時的緩衝槽，兩殼在蒸汽區間設有連通的平衡管路。
6. 熱井裝有自動補水閥和排水閥，當熱井低水位時，自動補水閥開啟，直接由冷凝水儲存槽(Condensate Storage Tank)(CST)藉重力及冷凝器之真空補水。當熱井高水位時，排水閥(AD-LV048)自動開啟，經由冷凝水泵出口排至CST。

94

輔助蒸汽產生系統和輔助蒸汽系統

1. 輔助蒸汽系統提供機組在起動、停機或正常運轉中汽機廠房，輔助廠房和廢料廠房等設備所需的蒸汽。
2. 同時供給位於圍阻體、輔助廠房、廢料和燃料廠房等設備除污所需的蒸汽。
3. 在冷停機、熱待機和起動期間輔助蒸汽鍋爐提供機組所需的蒸汽。

95

輔助蒸汽

本系統須供給蒸汽至下列各處：

1. 硼酸混拌槽 (Boric Acid Batching Tank)。
2. 硼回收蒸發器 (Boron Recycle Evaporator BRS)。
3. 液體廢料蒸發器 (Liquid Radwaste Evaporator LRS)。
4. 設備除污 (Decontamination of Equipment)。
5. 輔助飼水泵汽機 (僅供起動試運轉用)。
6. 主飼水泵汽機 (僅供起動試運轉用)。
7. 飼水加熱器2A、2B、1A、1B。
8. 汽水分離再熱器A、B、C、D第一級、第二級加熱器之蒸汽覆蓋 (Steam Blanketing)。
9. 汽封系統 (Main Steam Seal System)。

96

輔助蒸汽

3. 在機組冷停機和起動時，輔助蒸汽鍋爐須能供給 9.5kg/cm^2 (150psia)，且水份低於0.5%的蒸汽到輔助蒸汽系統，但飼水應先經除氧加熱器處理，再注入輔助蒸汽鍋爐。
4. 當機組正常運轉時，主蒸汽系統須能經一降壓站([FA-PV001](#)，經[AB-HV491](#))供給蒸汽至輔助蒸汽系統，在此種運轉情況下，由輔助蒸汽回收的冷凝水須排放至冷凝器熱井。

AB P&ID

97

輔助蒸汽

5. 輔助蒸汽鍋爐使用No. 2燃料油。
6. 輔助蒸汽鍋爐須能自動運轉而不須經常性監視。
7. 輔助蒸汽飼水應加入聯胺和氨作為含氧量和PH值的控制

98

系統概述

1. 輔助蒸汽系統主要供汽至上述所列舉之設備。
2. 有一輔助蒸汽集管將輔助蒸汽分別送到圍阻體內做為反應器頂蓋之除污；燃料廠房燃料架的除污及輔助廠房和廢料廠房的設備之除污。
3. 另有一輔助蒸汽集管將輔助蒸汽送至汽機廠房之各設備，這些設備的冷凝水或排汽都回收至主冷凝器熱井，但輔助飼水泵汽機的排汽則直接釋放於大氣。

99

系統概述

4. 來自硼酸蒸發器和液體廢料蒸發器(廢料廠房)的輔助蒸汽冷凝水皆送至輔助蒸汽冷凝回收槽，此槽備有輻射警報和自動隔離閥([FA-RV017](#))。在此槽所收集的冷凝水可經兩個容量各為100%的冷凝水傳送泵送至輔助蒸汽除氧器。回收槽水位可由傳送泵出口閥來控制。
5. 座落在輔助廠房內的硼酸混拌槽的冷凝水直接送回輔助蒸汽除氧器，除氧器中的飼水經適當化學藥品處理後，可由兩個輔助鍋爐飼水泵，依回收蒸汽的來源為何分別送至輔助蒸汽鍋爐或排放至主冷凝器熱井。
6. 輔助蒸汽鍋爐和除氧器冷凝水的補充來自除礦水儲存槽。

100

運轉

1. 在機組起動過程和冷機起動時，輔助蒸汽鍋爐和輔助蒸汽系統供給蒸汽到二、2所列設備，輔助蒸汽鍋爐所用飼水均經除氧和化學處理。
2. 在機組正常運轉中輔助蒸汽來自主蒸汽系統，經降壓後以10.2kg/cm² (160psia) 的蒸汽壓力連接於輔助蒸汽集管，供給蒸汽需用的各設備。汽機廠房各設備的冷凝水都回收至冷凝器熱井。但在輔助廠房和廢料廠房的冷卻水則先引至回收槽再泵送至除氧器，經過處理後再排放至冷凝器。
3. 當輔助蒸汽鍋爐停用時，其內表面須覆以氮氣防止腐蝕，當反應爐脫時，輔助蒸汽產生器能快速的產生蒸汽供給到汽機軸封，硼酸混拌槽，液體廢料蒸發器和汽水分離再熱器。由除污站來的冷凝廢水都經放射廢液洩水系統，排到液體廢料系統。
4. 在熱待機或冷機時，輔助蒸汽鍋爐都應在使用中，供給蒸汽需用的設備。

101

課程討論

1. MSIV快速關閉之設計目的為?其啟動信號有那些?
2. MSIV之Pre-Charge Check之目的為何? 此一設計之主要目的為何?
3. 主蒸汽管路在CTMT至MSIV之間有那些設備(洩水與逸氣除外)。
4. 蒸汽管路常見各處安裝却水器(TRAP)以排淨水份，試說明其理安在。

102

自我評估 - 主蒸汽系統 1/2

1. MSIV快速關閉之設計目的為?其啟動信號有那些?

A. 設計目的在MSLB時：

1. 可避免RCS 過度冷卻，造成PTS或RX再臨界。
2. 可避免CTMT過壓。
3. 在S/G TUBE 破管時，防止或減緩放射物質外釋。

B. 啟動信號：

1. Manual ACT(HS-310 JP006) & (HS-320 JP002)
2. P-11且BLOCK STM Line Lo Press後，任一S/G Hi Press Rate(2/3 :PB-474A, 475A, 476A setting : 7kg/cm² / Sec)
3. 尚未BLOCK STM Line Lo Press前，任一S/G LO Press (2/3:AB-PB-474B, 475B, 476B setting : 41.14kg/cm²)
4. CTMT Press Hi-2(2/3 : GN-PB951B, 952B, 953B setting : 13.1kg/cm²)

2. MSIV之Pre-Charge Check之目的為何? 此一設計之主要目的為何?

答：Pre-Charge Check主要用以驗證蓄壓槽內氣體容積足夠確保其功能，另於Exercise時防止意外快速動作。

103

自我評估 - 主蒸汽系統 2/2

3. 主蒸汽管路在CTMT至MSIV之間有那些設備(洩水與逸氣除外)。

1. S/G PT x 3+2 (/loop) 。
2. VAMCIS 。
3. AB-RT499A、499B、499C 。
4. PORV x 2 (/loop) 。
5. TD AFP supply line 。
6. AB PSV x 5 (/loop) 。
7. Drain & N2 line 。
8. MSIV & By pass valve 各一 (/loop) 。

4. 蒸汽管路常見各處安裝却水器(TRAP)以排淨水份，試說明其理安在。

答：將管路之凝結水排入冷凝器，避免水滴進入汽機造成沖蝕或造成管路water hammer。

104