

課程內容

蒸汽系統及汽水分離再熱器MSR

台電核二廠模擬中心

日期:104.7

講師:游振造

Email:u881007@taipower.com.tw

一. 蒸汽系統概述

二. 蒸汽系統設計標準

三. 蒸汽系統主要組件及功能

四. 汽水分離再熱器MSR

1

2

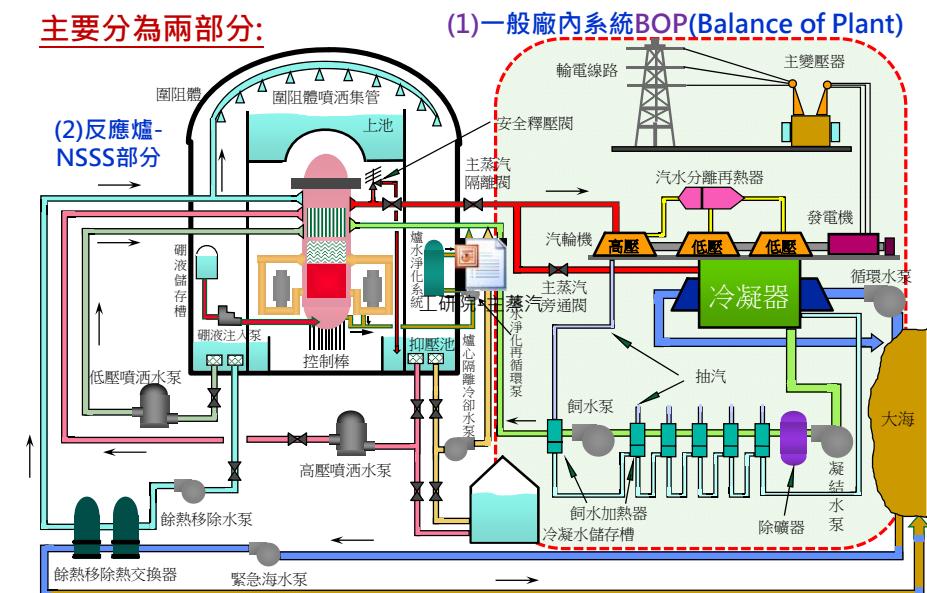
一. 蒸汽系統概述

- 包括主蒸汽系統、汽機旁通、抽汽系統和汽封蒸汽系統等。
- 導引反應爐所產生的蒸汽，由四條主蒸汽管穿過包封容器，經汽機節流閥和控制閥至高壓汽機。
- 每條主蒸汽管，在乾井內側和包封容器外側各有一只主蒸汽隔離閥(MSIV)，接受信號自動關閉，俾隔離一次系統。
- 主蒸汽管上裝有安全釋壓閥(SRV)：
 - 一為藉爐內高壓力頂開彈簧，以限制反應爐壓力，使其不超過ASME規範（核能系統設計壓力為1250psig，ASME規範容許過壓至110%，即1375 psig）。
 - 一為接受信號而釋放爐槽壓力。
- 二者均為保護反應爐，以免反應爐過壓情況發生。

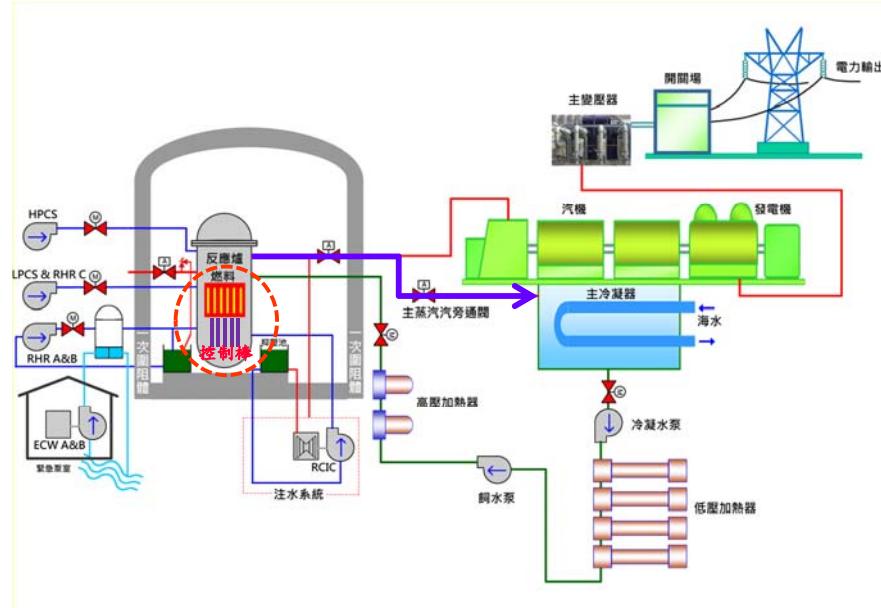
3

核二廠沸水式反應爐系統簡要流程圖

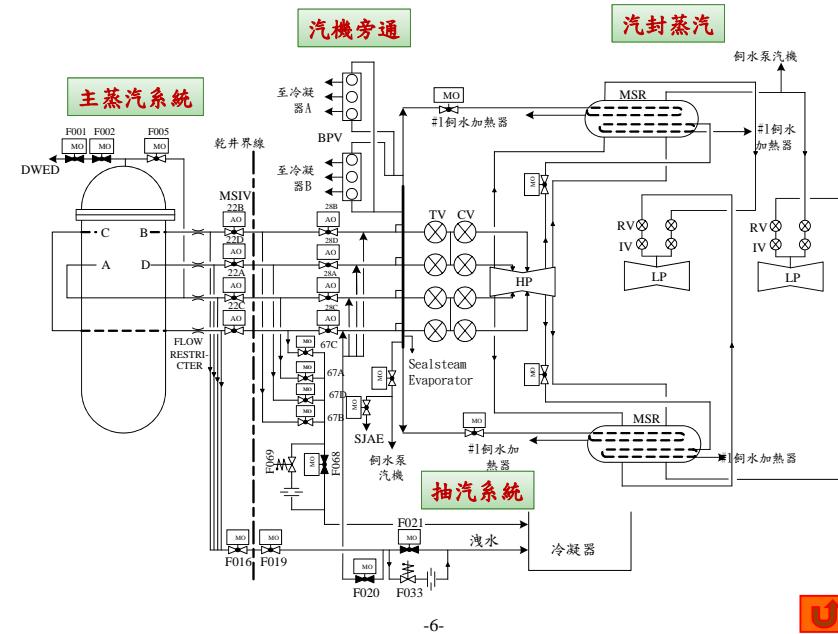
主要分為兩部分:



4



5 5



-6-

二、主蒸汽系統設計標準

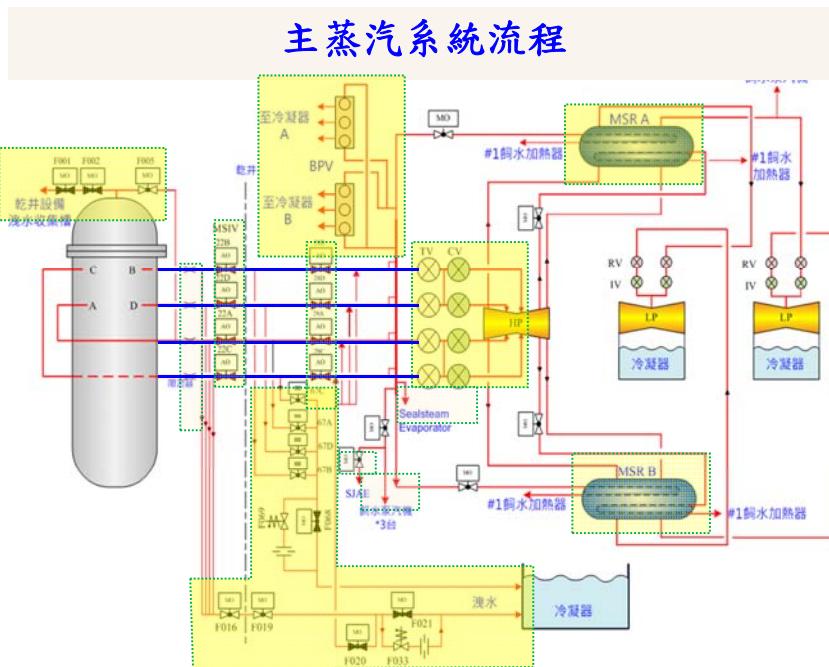
1. 正常運轉中，主蒸汽系統能引導反應爐蒸汽通過包封容器至汽輪機作功。
2. 主蒸汽管路之設計，須能防止帶有過量放射性之蒸汽洩漏至廠外。
3. 此系統須能防止核能蒸汽供給系統壓力過高，致使核能流程壓力邊界(Pressure Boundary)損壞。



三、主蒸汽系統主要組件及功能

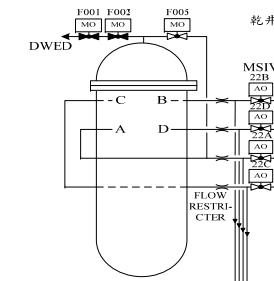
- A. 主蒸汽管
- B. 反應爐頂蓋通氣閥
- C. 安全釋壓閥
- D. 蒸汽管限流器
- E. 主蒸汽管隔離閥
- F. 主蒸汽管洩水系統
- G. 主蒸汽管抽汽系統





9

A. 主蒸汽管 (MSL)



10

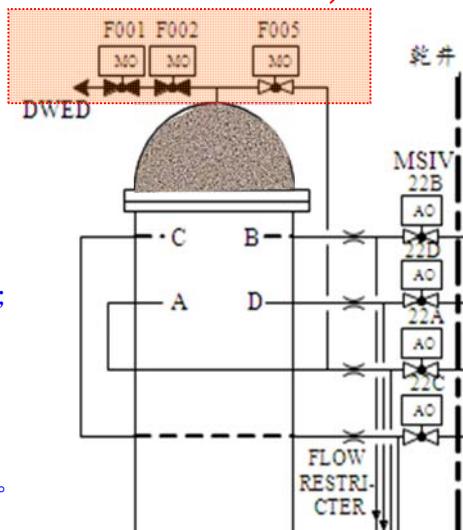
- 數量：四條
- 管徑：24"

➤ 主蒸汽管設計標準：

- 運轉中可做汽機TV及MSIV之性能試驗。
- 管路破裂時，能限制放射性物質洩漏。
- 管斷裂時，能限制爐槽內部組件因大量汽水沖放之差壓。
- 一條管路隔離下，容許反應爐在高功率運轉。

B、爐頂通氣閥(RPV Vent Valve)

- 功能：
排除RPV頂蓋區域之不凝結氣體。
- 運作情形：
 - 溫度小於 98.9°C (210 °F) 時：爐頂區域不凝結氣體經B21-F001/F002排放至乾井機件洩水收集槽；機組正常運轉中B21-F001/F002全關。
 - 溫度大於 98.9°C 時：爐頂區域不凝結氣體經B21-F005排放至A主蒸汽管，正常運轉中B21-F005全開。



11

C、安全釋壓閥(SRV)

A. 功能：

1. 反應爐過壓保護設備
2. 緊急洩壓(ADS)，確保ECCS低壓注水系統正常注水。

B. 釋壓閥動作方式：

- (1) 手動動作～16只
 - 由控制室前盤(1C01)或後盤(1C31)操作控制開關手動操作。
 - 時機：BPV不可用時。
- (2) 安全動作～16只
 - 反應爐壓力上升至釋壓閥彈簧設定值時，會將安全釋壓閥彈簧頂開。
 - 單純機械設計。

12

C、安全釋壓閥(SRV)-續

B. 釋壓閥動作方式(續)：

(3) 釋放動作～16只

■ 爐壓信號達設定值時，會使釋壓閥之直流電磁閥開啟，引導蓄壓空氣至氣壓操作活塞，藉機械機構使閥開啟。

(4) 低-低設定系統(Lo-Lo Setting)～5只SRV具此功能。

■ 當反應爐壓力上升達1113psig時，會引動Lo-Lo Setting的邏輯

■ 目的：

為限制SRV開關的頻率及降低第二次開啟時之排放量，低—低設定邏輯會降低兩個再開啟及五個再關閉之設定點，使其沖放範圍增大（由100psi增大至107～167psi）

13

C、安全釋壓閥(SRV)-續

B. 釋壓閥動作方式(續)：

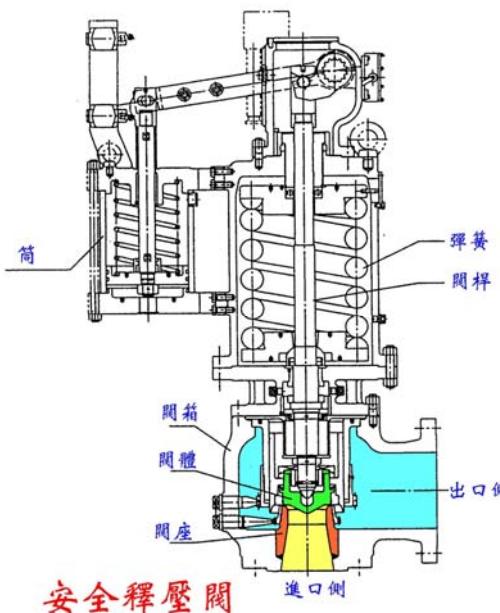
(5) 自動洩壓 (ADS) ～7只

■ 接受LOCA信號，動作激磁兩只電磁閥開啟，只要兩只電磁閥中之任一個開啟，即可開啟具ADS閥（7只安全釋壓閥兼具作ADS閥），洩放反應爐爐壓力，使低壓ECCS注水系統，能即時發揮注水功能。

■ 動作激磁之電磁閥與釋放動作之電磁閥相同。

ADS : Automatic Depressurization System

14



SRV總數：16

Opening Time :

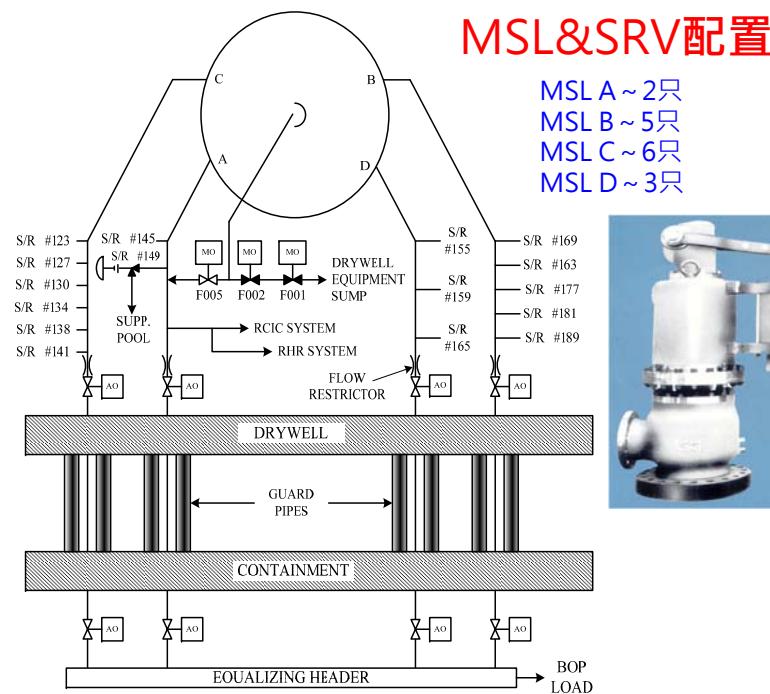
- Power Actuation :
≤ 0.15 sec

- Spring Actuation :
≤ 0.3 sec



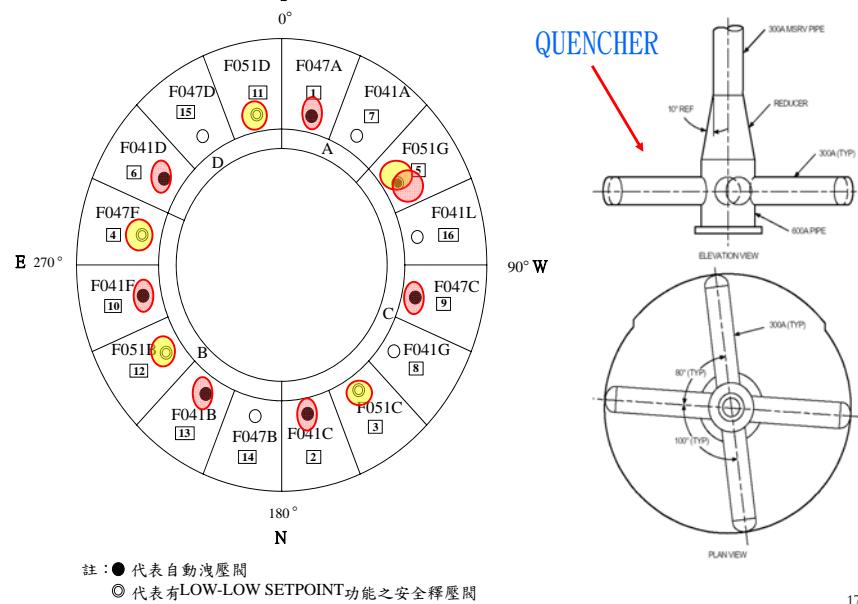
Safety/Relief Valve

15



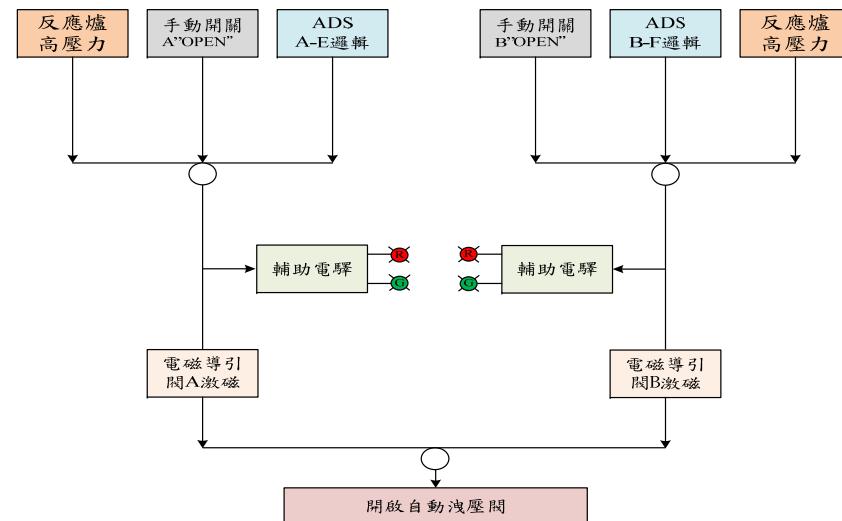
16

SRV QUENCHER在抑壓池內的位置分佈



17

ADS電磁閥動作邏輯



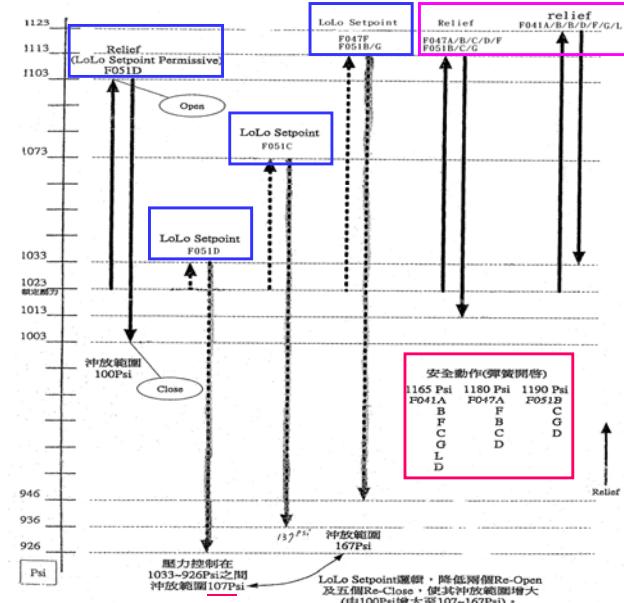
18

核二廠SRV壓力設定值

數量	釋放設定壓力 (電磁閥動作開啟) (psig) kg/cm ²		彈簧設定壓力 (psig) kg/cm ²		蒸汽排放容量 (lbs/hr) kg/hr																						
	1	3	5	7	(1103)	(1113)	(1113)	(1123)	77.5	78.2	78.2	78.9	(1190)	(1190)	(1180)	(1165)	83.6	83.6	82.9	81.9	(890,000)	(890,000)	(880,000)	(870,000)	405,000	405,000	400,000
1																											
3																											
5																											
7																											

19

SRV Relief Lo-Lo Setpoint 動作壓力關係圖



Lo-Lo Setpoint :
B21-F051D
B21-F051C
B21-F051G
B21-F051B
B21-F047F
Lo-Lo Permissive 1103 psi

Lo-Lo Function :
B21-F051D
Open : 1033 psig
Close: 926 psig
B21-F051C
Open : 1073 psig
Close: 936 psig
B21-F051B/G & F047F
Open : 1113 psig
Close: 946 psig

-20-

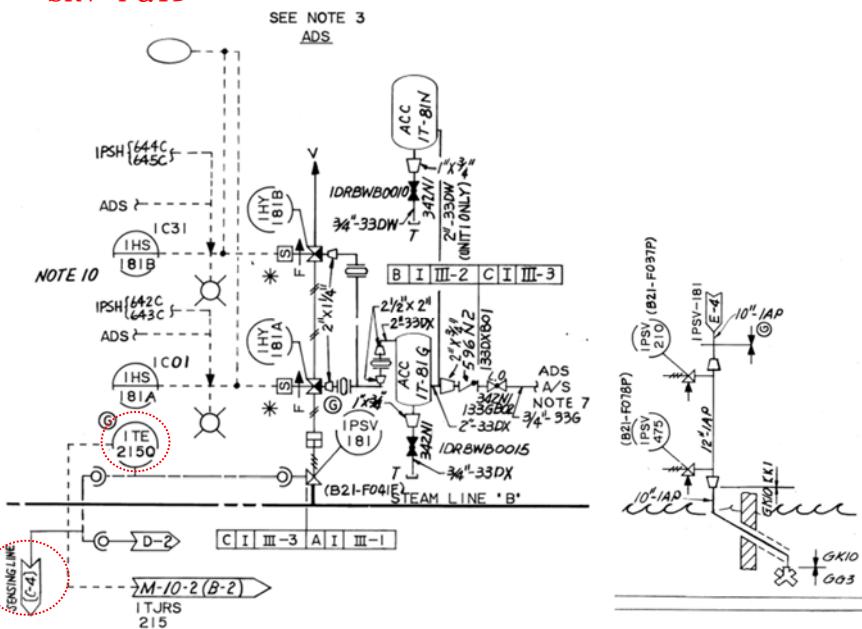
SRV排洩管路



- 十六只安全釋放閥之排洩管，各自連接至抑壓池之最低水面下。
- 各閥排洩管設有膨脹伸縮箱(Expansion Bellow)，供作閥動作時熱脹冷縮緩衝之用。
- 各閥排洩管設真空破壞閥，引導乾井空氣進入排洩管路，以防止沖放後蒸汽在管內凝結而形成真空，致抑壓池水倒灌入管路，致使釋壓閥排洩管部份積水。此時，若再次開啟釋壓閥時，可能導致排洩管過壓。

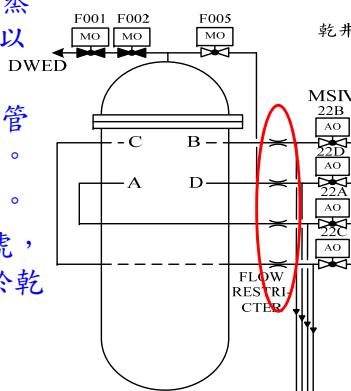
21

SRV P&ID



D、流量限流器 (Flow Restrictors)

1. 主蒸汽管發生斷裂時，限制反應爐水蒸氣流失量（限制最大流量為200%），以保護燃料屏障。
2. 限制蒸汽乾燥器及壓力槽內部組件在管路斷破時（大量汽水沖放）之壓力差。
3. 提供主蒸汽流量信號至飼水控制系統。
4. 提供MSIV因流量過高之自動隔離信號，在MSIV關閉前，可限制放射性物質於乾井外之釋放量。



23

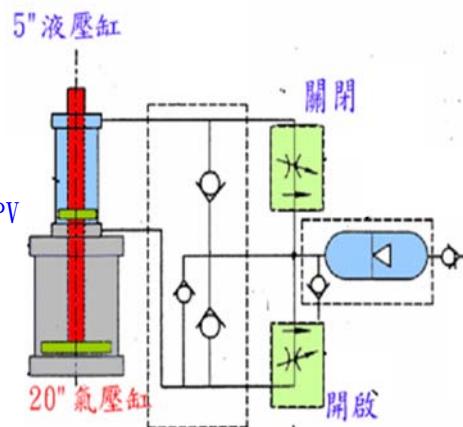
E、主蒸汽隔離閥(MSIV)_功能

- MSIV在接受隔離訊號後，約3~4.5秒關閉：
 - 關閉太快，對爐心之衝擊較大。
 - 關閉太慢，則會造成放射性物質洩漏至周圍環境。
- 主蒸汽管在乾井外斷裂時，關閉MSIV限制爐水流失，避免燃料護套損壞。
- 燃料放射性物質隨爐水或蒸汽流失時，關閉MSIV，可限制放射性物質洩漏至周圍環境。
- 當MSIV關閉到94%位置時，會造成反應爐急停，90%汽機跳脫。

24

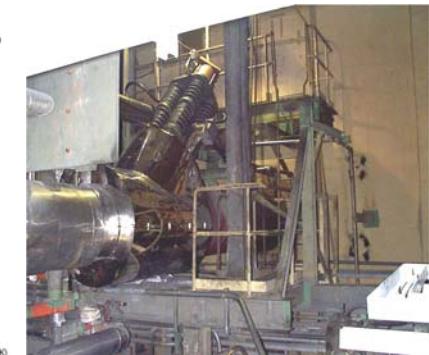
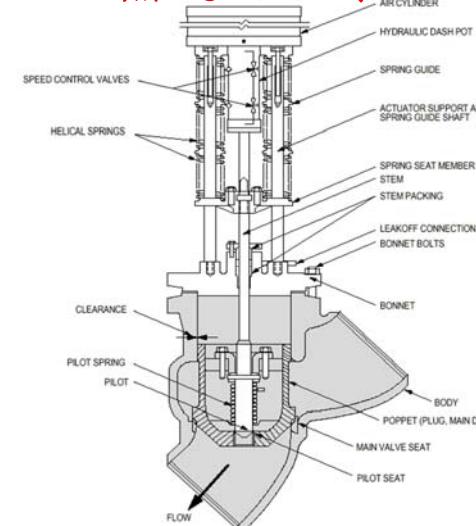
E、主蒸汽隔離閥_組件

- 關閉活塞及氣缸
- 主閥座
- 關閉彈簧
- 位置極限開關：
 - 94%開度:RPS
 - 10%開度:指示、汽機、BPV
 - 90%開度:指示
- 導引閥及閥座
- 液壓緩衝筒
- 速度調整閥
- 蓄壓器



25

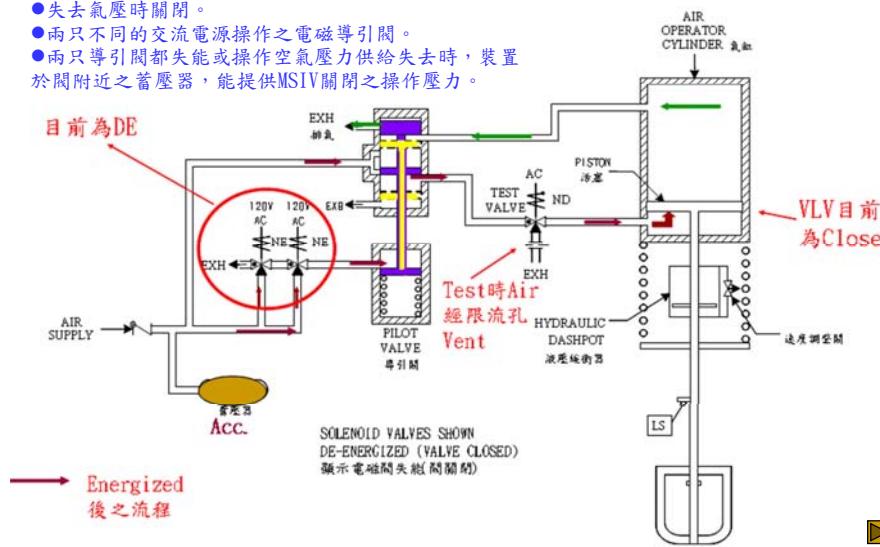
主蒸汽隔離閥



26

主蒸汽隔離閥操作示意圖

- 以彈簧力關閉。
- 用氣壓操作活塞開啟及關閉。
- 失去氣壓時關閉。
- 兩只不同的交流電源操作之電磁導引閥。
- 兩只導引閥都失能或操作空氣壓力供給失去時，裝置於閥附近之蓄壓器，能提供MSIV關閉之操作壓力。



-27-

E、主蒸汽隔離閥_設計特性

- 以彈簧力關閉
- 用氣壓操作活塞開啟及關閉
- 失去氣壓時關閉
- 兩只電磁導引閥電源分別由RPS BUS A/B 供給。
- 兩只導引閥都失磁或失去操作空氣壓力時，配屬閥之蓄壓器，能提供MSIV關閉之操作壓力。

◆ MSIV間差壓大於 $3.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 時，不可開啟。

28

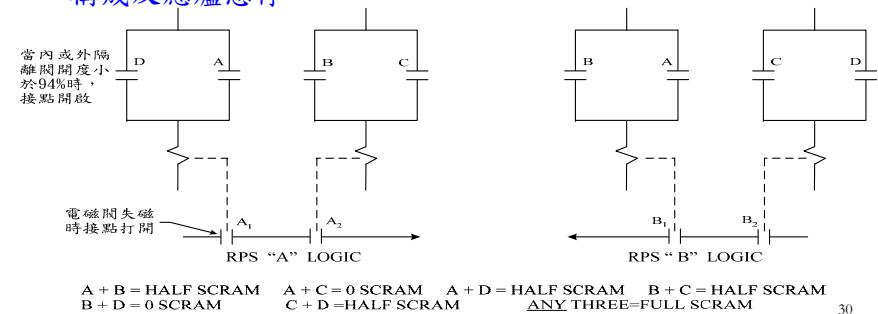
E、主蒸汽隔離閥_關閉信號

1. 反應爐低水位——第一階水位(-330cm, -130")
2. 汽機進汽壓力低—— 60.24kg/cm²(856.6psig)
3. 主蒸汽管高流量—— 11.79kg/cm²(167.7psid, 140%FLOW)
4. 主冷凝器低真空—— 21.42" HgAbs(54.4cm)
5. 主蒸汽管隧道高溫度—— 150°F(65.5°C)
6. 主蒸汽管隧道冷卻器進口高溫度—— 150°F(65.5°C)
7. 汽機間主蒸汽管高溫度—— 161°F(71.6°C)
8. 手動引動「自動隔離」開關

29

E、主蒸汽隔離閥_關閉急停邏輯

- 關閉兩條MSL隔離閥，引起半急停或零急停。
- 關閉任何三條MSL隔離閥，引起急停。
- 例行試驗，關閉一條MSL隔離閥，不致引起急停。
- 控道A有支控道A1和A2，控道B有支控道B1和B2。
- 正常運轉中，各支控道之接點均閉合(正常賦能)。
- 任一支控道動作，其相關控道跳脫，兩控道皆跳脫，方構成反應爐急停。



30

MSIV 位置連鎖



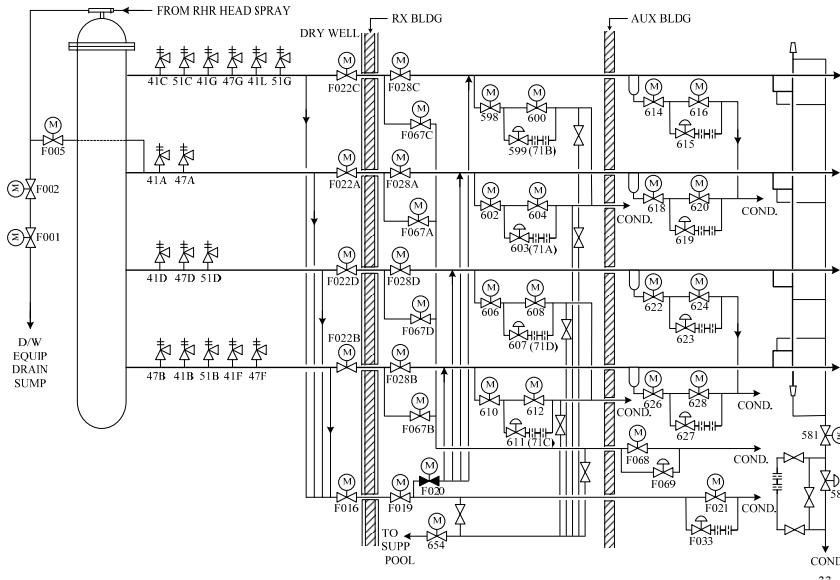
-31-

F、主蒸汽管洩水系統的功能

- 在反應爐起動及低功率運轉期間，連接於主蒸汽管最低點之洩水管路，可將管路積水（或蒸汽）洩至主冷凝器。
- 在操作程序上，洩水管路上之電磁氣動操作閥，須開啟直到50% load以上時才自動關閉，確保管路不致積水。
- 在異常情況下，可手動或自動引導洩水至抑壓池。
- 每條主蒸汽管都有洩水管路，運轉中必需隔離一條主蒸汽管時，該管洩水閥可開啟，以免積水。

32

主蒸汽管洩水簡圖



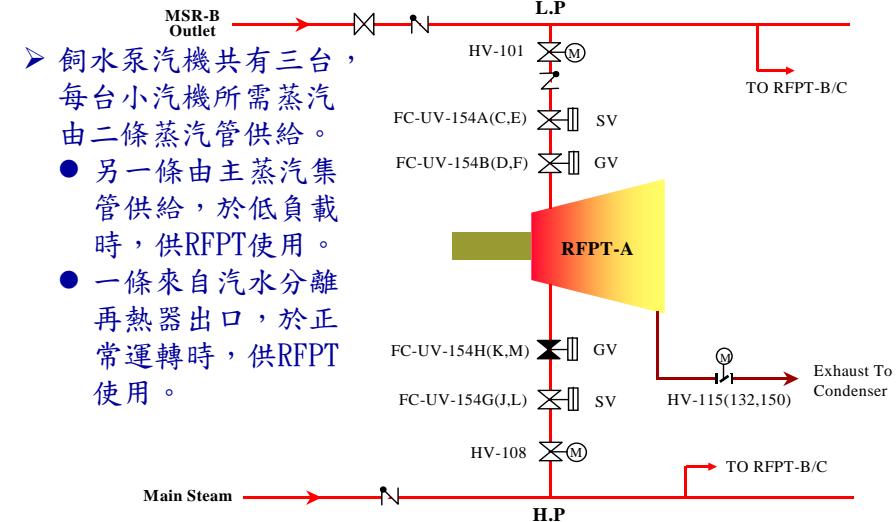
G. 主蒸汽管抽汽系統

➤ 引導蒸汽至：

- 蒸汽抽氣器(Steam Jet Air Ejector , SJAE)
 - 移除主冷凝器之不凝結氣體
 - 維持主冷凝器真空
- 汽水分離再熱器(MSR)
 - 將高壓汽機之排汽，加熱至過熱蒸汽，導引至低壓汽機作功。
- 汽封蒸汽蒸發器(Seal Steam Evaporator)
 - 提供主汽機、RFPT之汽封蒸汽。
- 飼水泵汽機：低負載時RFPT之驅動蒸汽
- 廢氣系統預熱器之加熱蒸汽
- 主冷凝器除氧用

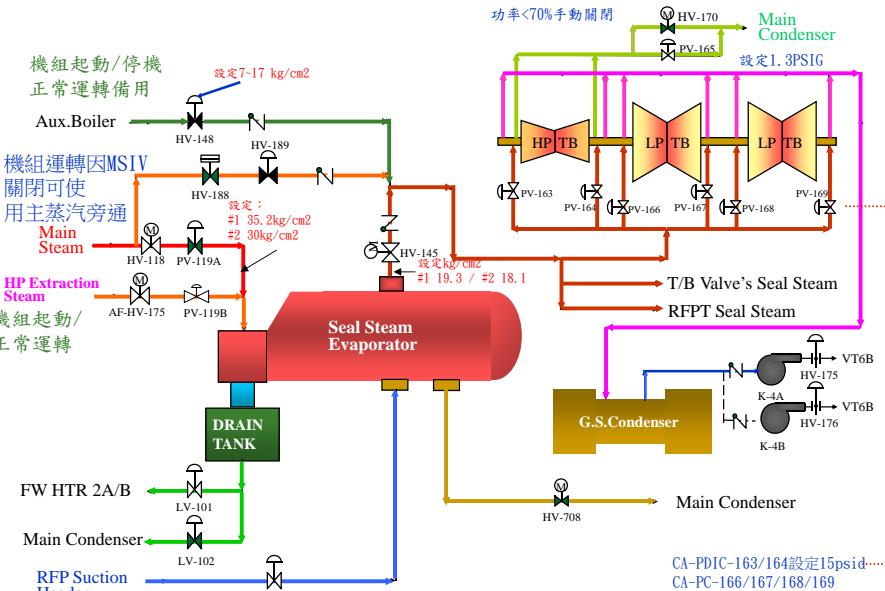
34

飼水泵汽機蒸汽供給管路



➤ 飼水泵汽機共有三台，每台小汽機所需蒸汽由二條蒸汽管供給。

- 另一條由主蒸汽集管供給，於低負載時，供RFPT使用。
- 一條來自汽水分離再熱器出口，於正常運轉時，供RFPT使用。



汽封蒸汽系統

36

四、汽水分離再熱器MSR

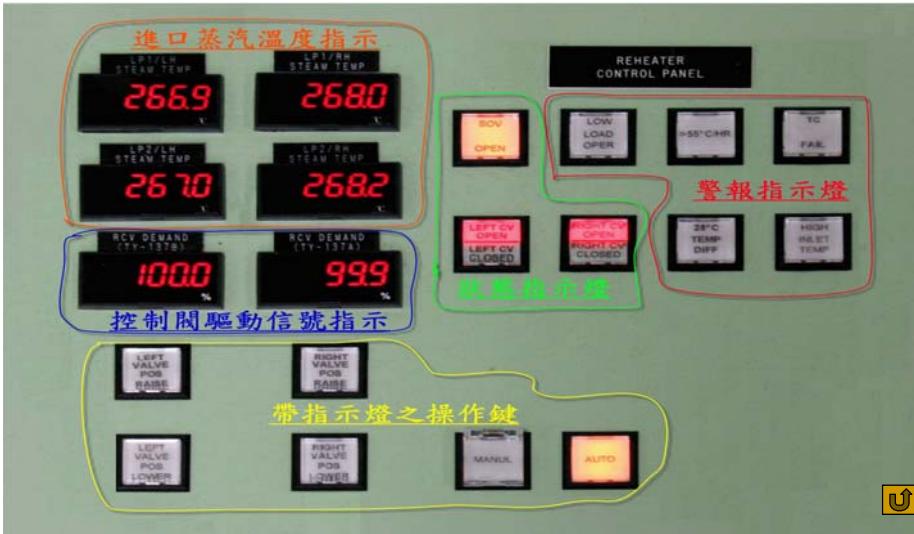
(一) : MSR功能

1. 高壓汽機排汽之汽水分離，再經加熱送至低壓汽機。
2. 減少低壓汽機葉片侵蝕。
3. 提高廠效率。

(二) : 流程(1)

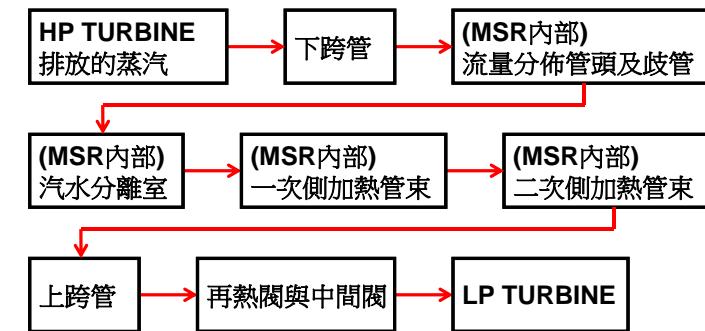
1. 高壓汽機排汽進MOP&SCRUP/MSR後，經PERFORATED PLATE/CHEVRONS排除水份，被分離之水排至MSR DRAIN TANK再由 HTR 2A/B回收。
2. 乾蒸汽經第一段再熱器(HP第三段抽汽)，及第二段再熱器(主蒸汽集管) 加至~268°C。
3. 第一/二段再熱器(HP第三段抽汽/主蒸汽集管) 加熱蒸汽冷凝水排至MSR LP/HP DRAIN TANK再由 HTR 1A/B回收。

(三) : MSR 溫度控制(RTC)-C85盤

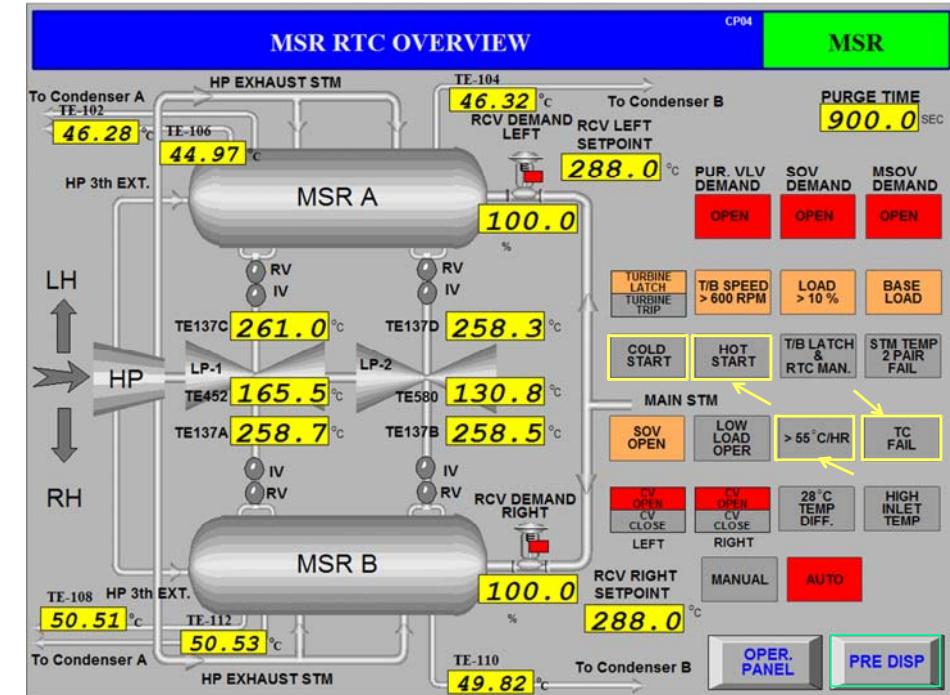


流程(2)

作動流程：



-38-



(四)MOPS & SCRUPS

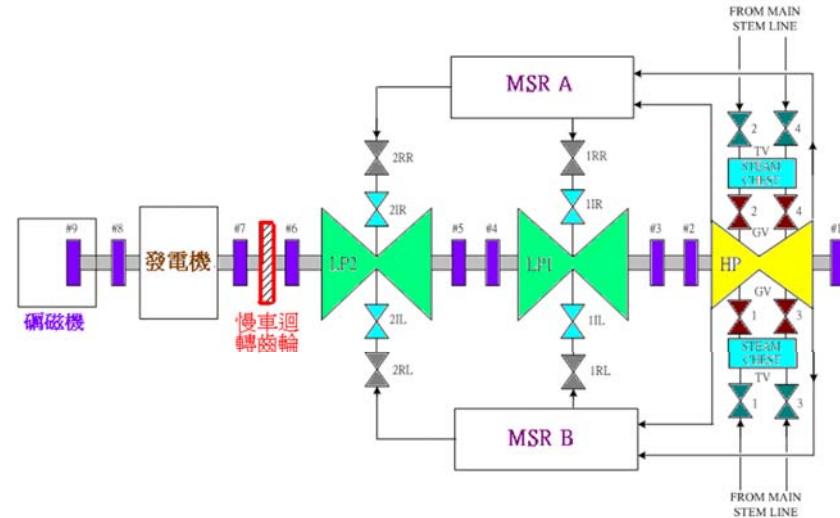
■ 位置：

在高壓汽機排汽至汽水分離再熱器間之下
跨管上裝有 MOPS (MOISTURE PRE-SEPARATOR) 及 SCRUPS (SPECIAL CROSSUNDER PIPE SEPARATOR)

■ 功能：

去除高壓汽機排汽飽和蒸汽中的水份，以防止管路、汽水分離再熱器及低壓汽機的沖蝕。

汽水分離再熱器



-42-

兩段式汽水分離再熱器 供汽、排氣、洩水

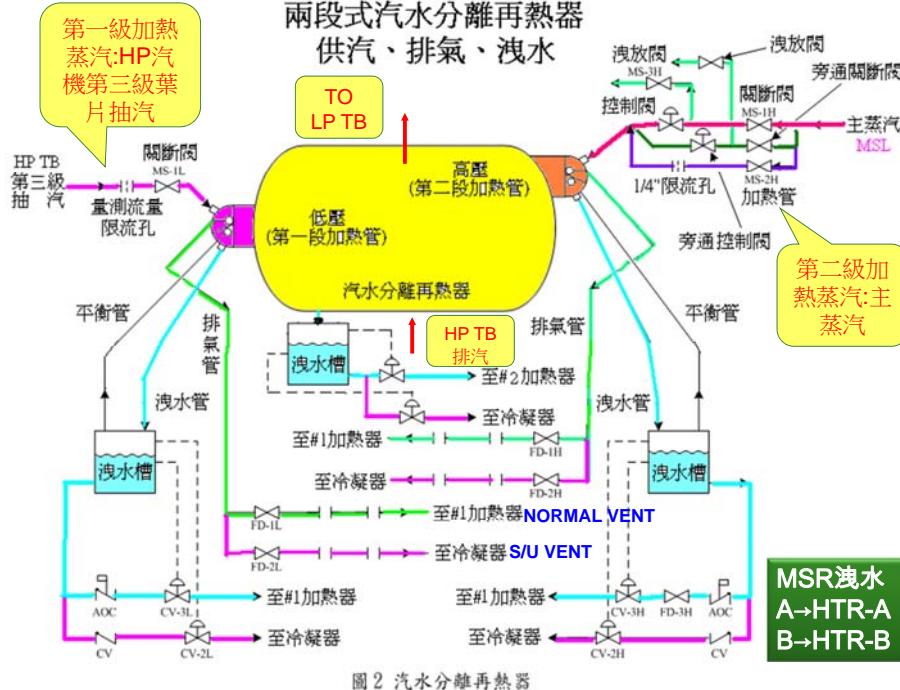
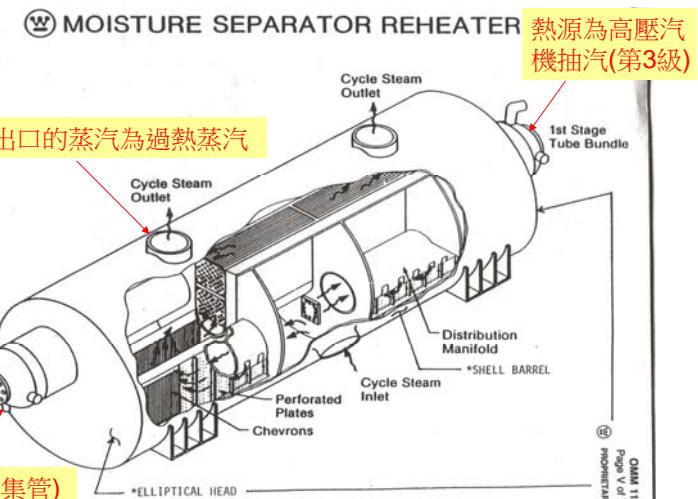


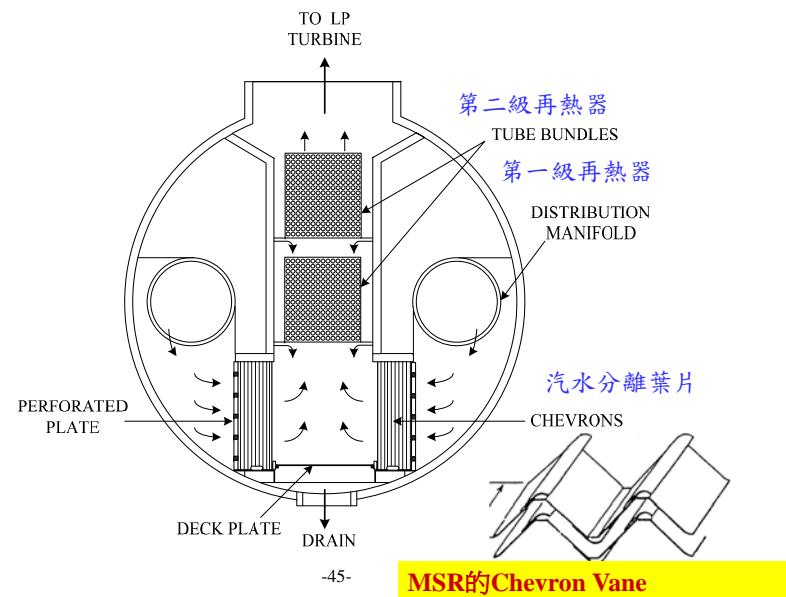
圖 2 汽水分離再熱器

汽水分離再熱器

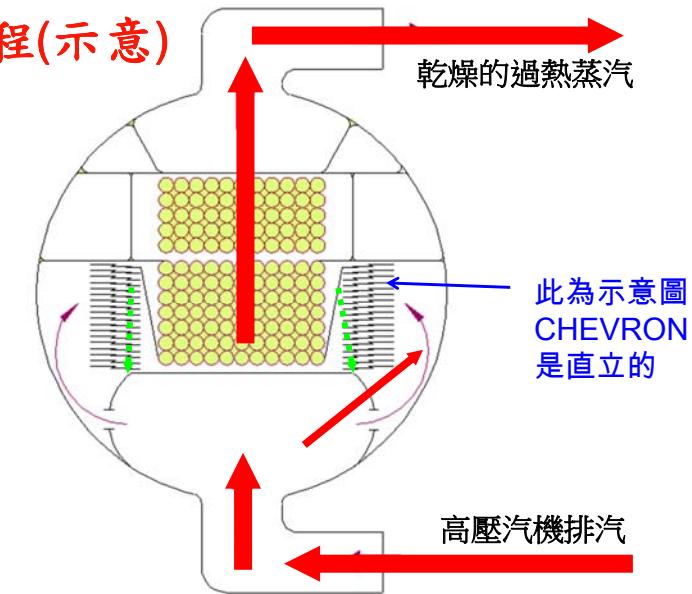


-44-

汽水分離再熱器



作動流程(示意)



課程完畢！

請多指教

謝謝！！

