

出國報告（出國類別：實習）

大潭計畫廢熱回收鍋爐  
規劃設計、組裝程序及運轉維護訓練報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：鍋爐課長 張劉國 701096

派赴國家：日本

出國期間：96年09月11日至96年09月24日

報告日期：96年10月30日

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：大潭計畫廢熱回收鍋爐規劃設計、組裝程序及運轉維護訓練報告。

頁數38含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台灣電力公司

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：張劉國(701096)/台灣電力公司/  
北部施工處/鍋爐課長/(03)4737767 轉 611

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：96年09月11日至96年09月24日

出國地區：日本

報告日期：96年10月30日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：

大潭發電計畫熱回收鍋爐設備係由日本重工(MHI)負責設計並提供相關器材及安裝，主要設備包括壓力組件-汽鼓、集管器、加熱元件、連接管路、降過熱器、安全閥等；及非壓力組件-支撐結構、鍋爐牆板、保溫、膨脹接頭、燃氣風門擋板等。

本報告內容涵蓋熱回收鍋爐設備基本原理、發展設計技術、運轉流程、安裝程序及維修保養等均有詳細的內容及說明。

另職於出國研習期間對三菱公司在執行工安工作上的認真及執著也提出一些感想及看法，並提出相關建議，希望公司在推動全面工安政策的同時有新的突破及效益。

# 報 告 書 目 錄

	<u>頁次</u>
壹、 出國研習目的	3
貳、 出國研習過程	3
參、 研習內容及心得	4
1.0 複循環發電流程概述	4
2.0 熱回收鍋爐之發展及技術特徵	5
3.0 大潭複循環發電計畫熱回收鍋爐設計	6
4.0 熱回收鍋爐安裝程序	21
5.0 熱回收鍋爐之控制	22
6.0 熱回收鍋爐運轉指引	22
7.0 熱回收鍋爐主要組件之維護保養	27
肆、 結論與建議	38

## 壹、出國研習目的：

為使大潭計畫發電機組安裝工程順利並將相關之設計、製造、安裝及運轉維護技術移轉，依合約規定統包廠商須提供本公司選派人員技術訓練之服務。本案即赴大潭計畫合約統包商三菱重工公司(M. H. I.)實習，蒐集複循環發電機組廢熱回收鍋爐技術，並至廠家製造工廠瞭解其設備製造、組裝、維護保養及測試程序方法，以提升工地設備安裝品質、確保機組順利運轉及減少維護費用，亦有助於爾後其他發電計畫鍋爐設備之規劃、採購規範等訂定更加完備。

## 貳、出國研習過程：

- 研習過程：
- (1)96年09月11日由台北(中正機場)搭機赴日本福崗機場，嗣由福崗轉車至長崎。
  - (2)96年09月12日迄21日，於日本三菱公司長崎造船所實習。實習包括講授及工廠實地觀摩。
  - (3)96年09月21日迄23日，於日本三菱公司總部橫濱實習。
  - (4)96年09月24日，由橫濱經成田機場返回台北(桃園機場)。

研習內容：大潭計畫廢熱回收鍋爐規劃設計、組裝程序及運轉維護訓練。

- 複循環發電流程概述
- 熱回收鍋爐之發展及技術特徵
- 大潭複循環發電計畫熱回收鍋爐設計
- 熱回收鍋爐安裝程序
- 熱回收鍋爐之控制
- 熱回收鍋爐運轉指引
- 熱回收鍋爐主要組件之維護保養

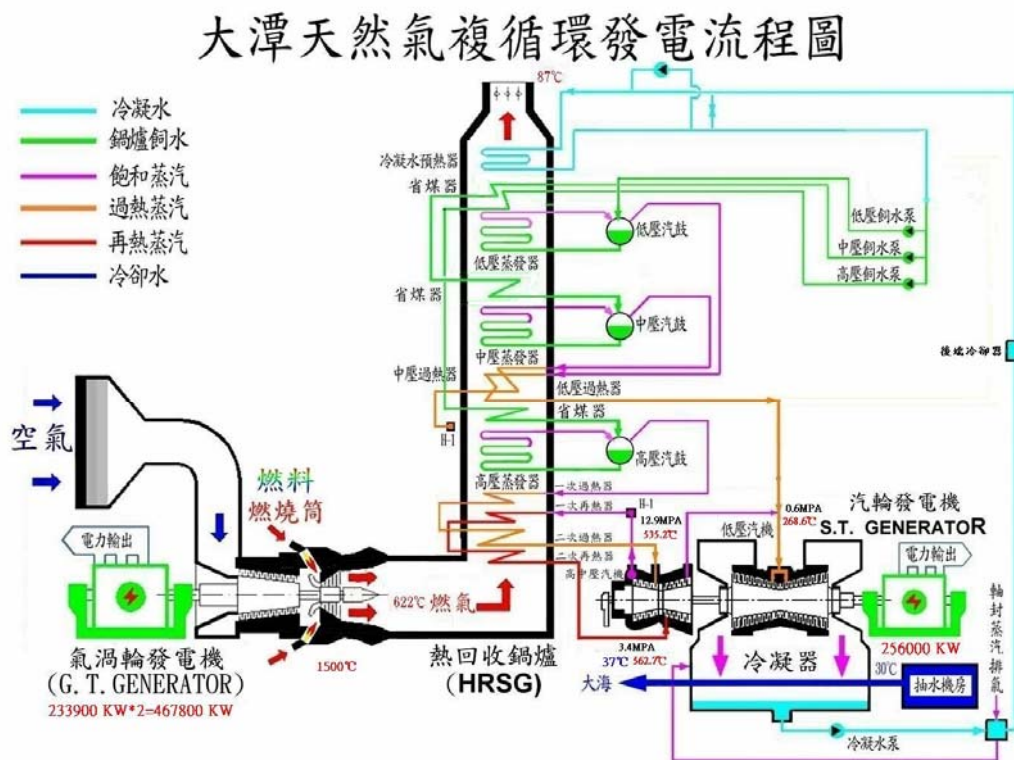
## 參、研習內容及心得

### 1.0 複循環發電流程概述。

隨著燃氣渦輪機在單循環發電熱效率之提昇，其高溫排氣如不能充分利用實在可惜，因此近幾年來，一方面持續提高燃氣渦輪機之進氣、排氣溫度，藉以提高出力外，並對此高溫排氣加以回收利用，達到節約能源目的，此即為複循環( combined cycle )發電之原理。

一般進步型之氣渦輪機之燃氣溫度已高達 1,400°C 左右，其排氣溫度在 550°C 以上，此高溫熱燃氣經由熱回收鍋爐( Heat Recovery Steam Generator—簡稱 HRSG )回收利用，可將發電效率提高至 55% 以上（註：慣常火力機組效率約為 37%）。

如下圖例所示，將燃氣渦輪機(Gas Turbine )之燃氣排氣排入熱回收鍋爐，燃氣與爐管中之爐水以對流方式進行熱交換，產生蒸汽，推動汽輪機(Steam Turbine)，以帶動發電機發電。汽機作功後，其蒸汽經過冷凝器(Condenser)冷卻，成為冷凝水飼水(Feedwater)系統，再回到熱回收鍋爐加熱成為蒸汽，如此成為循環發電模式。



每部複循環機組共 724000 KW

BASE ON STAGE II (GAS)

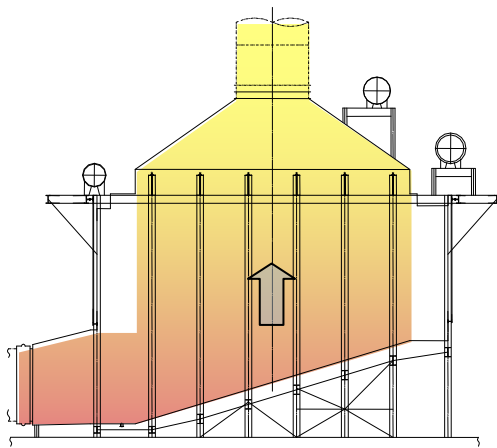
熱回收鍋爐之型式，依燃氣渦輪機(Gas Turbine )之排氣進入熱回收鍋爐前有否助燃裝置，以提高排氣溫度或在熱回收鍋爐中，直接加燃料，增加鍋爐出力等方式可概分為非燃式、助燃式、再燃式等；或依鍋爐壓力系統區分為單壓式、雙壓式及三壓式等，或依燃氣通過熱回鍋爐之流向區分為垂直流式、水平流式等；或依有無再熱系統可區分為再熱式及無再熱式等。

## 2.0 熱回收鍋爐之發展及技術特徵

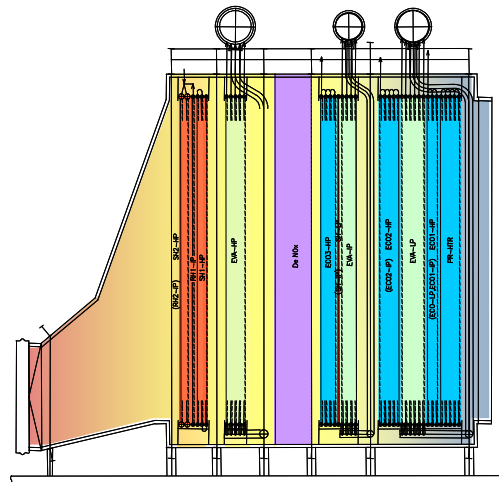
2.1. 自西元 1963 年起，三菱公司已產製 137 座熱回收鍋爐。目前正在設計中的有 37 座。

2.2. 三菱熱回收鍋爐技術特徵：

- 基於先進技術及製造知識，具有高可靠度。
- 具有垂直/水平燃氣流式熱回收鍋爐，可依工地條件、電廠佈置及業主之需求提供彈性選擇。
- 包括工程規畫、製造、研究及發展部份。



垂直燃氣流式  
熱回收鍋爐



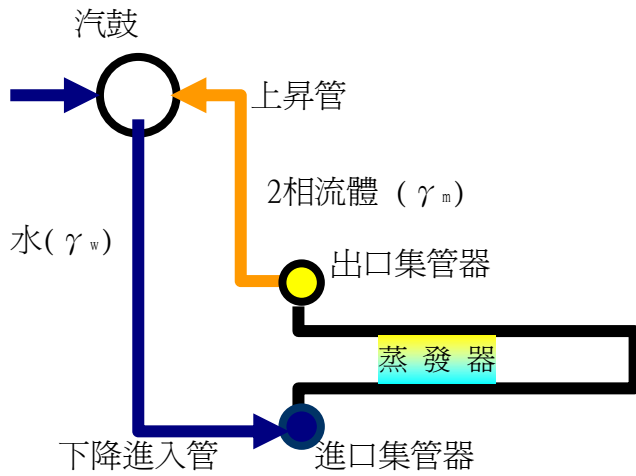
水平燃氣流式  
熱回收鍋爐

2.3 大潭複循環發電計畫之熱回收鍋爐係採用三菱垂直燃氣流式/自然循環熱回收鍋爐，相較於水平燃氣流式熱回收鍋爐，它具有以下優點：

- 因較少集管器(headers)及管閥，故構造較簡單。
- 因煙囪可安置在頂部，故佔地較小。
- 因集管器排放口具有較高高程，故沖放水易於排放。
- 因人員易於接近集管器，且無需臨時鷹架供作爐管(tubes)檢查之用，故易於檢查及保養。
- 因藉由頂部吊撐系統，爐管等組件可自由熱膨脹，故熱應力低。
- 自然循環之優點如下：
  - 因無鍋爐循環水泵運轉問題，具高可靠度。
  - 因無鍋爐循環水泵運轉電力消耗，故省能。
  - 因無鍋爐循環水泵設置，故無該泵之設置及保養費用。

● 自然循環之原理：

因上昇管與下降進入管內流體比重差發生循環力，如下圖所示。



$$\Delta P_f = \Delta P_{SH}$$

$$\Delta P_f = f \times \frac{L}{D} \times V^2$$

$$\Delta P_{SH} = H \times (\gamma_w - \gamma_m)$$

### 3.0 大潭複循環發電計畫熱回收鍋爐設計

#### 3.1. 三菱熱回收鍋爐規格(STAGE II)

熱回收鍋爐型式		垂直燃氣流/自然循環/三壓
設計條件		大氣溫度=32 °C
燃氣渦輪機型式		M501G
系統配置		2 on 1 x 4
高壓蒸汽	流量率	253.3 t/h
	壓力	13.40 MPa-a
	溫度	538.2 °C
中壓蒸汽	流量率	51.4 t/h
	壓力	4.30 MPa-a
	溫度	283.1 °C
低壓蒸汽	流量率	40.9 t/h
	壓力	0.70 MPa-a
	溫度	271.6 °C
再熱蒸汽	流量率	257.3 t/h
	壓力	3.6 MPa-a
	溫度	566.5 °C

### 3.2 三菱熱回收鍋爐主要組件

熱回收鍋爐主要組件分為壓力組件及非壓力組件兩大部份。其中，壓力組件包括：汽鼓、集管器、加熱元件、連接管路、降過熱器、安全閥等；非壓力組件包括：支撐結構、鍋爐牆板、保溫、膨脹接頭、燃氣風門擋板等

#### 3.2.1 壓力組件：

##### (1) 設計準則：

汽鼓、管集器、加熱元件、聯結管路、降溫過熱器(De-superheater)、安全閥等組件須依美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I) 及製造廠家標準設計。

##### (2) 設計條件(壓力)：

- 省煤器/飼水系統須依泵浦關斷壓力作選擇。
- 蒸汽系統須依考慮:1. 端點條件之差異(如燃氣條件等); 2. 動態操作條件(如負載拒絕等); 3. 安全閥之排放壓力(設定點壓力之 4%)等因素所預測之最大壓力作選擇。

系 統	節 段		設計壓力
	起 自	迄 至	
預熱器	預熱器進口	預熱器出口	2.90 MPa-g
低壓飼水	低壓飼水泵出口	低壓飼水控制閥	4.80 MPa-g
低壓蒸汽	低壓飼水控制閥	低壓過熱器出口	1.20 MPa-g
中壓省煤器	中壓飼水泵出口	中壓飼水控制閥	10.9 MPa-g
中壓蒸汽	中壓飼水控制閥	中壓過熱器出口	5.9 MPa-g
再熱器	再熱器進口	再熱器出口	4.51 MPa-g
高壓省煤器	高壓飼水泵出口	高壓飼水控制閥	25.0 MPa-g
高壓蒸汽	高壓飼水控制閥	高壓過熱器出口	15.1 MPa-g

##### (3) 設計條件(溫度)：

- 省煤器/飼水/蒸發器系統須依據設計壓力下之飽和水溫度作選擇。
- 過熱器/再熱器系統須基於下列因素所作預測之最高溫度作選擇：
  - 端點條件之差異(如燃氣條件等);
  - 在集管器出口之流體不平衡(對於爐管及集管器部份);
  - 內流體液膜溫升及爐管金屬溫升(對於爐管部份);
  - 選擇爐管設計溫度須考慮內流體液膜溫升差及 1/2 爐管金屬溫升差。
  - 依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I), 第 PG-27.4 節規定, 爐管最低限溫度 372°C。



(4) 壓力組件規格之選擇程序：

材料

基於設計溫度，依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I)作選擇。

尺寸

依製造廠家標準，選擇滿足每一組件功能之尺寸。

厚度

基於設計條件，依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I)作計算。

a. 爐管厚度計算：

依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I)，第 PG-27.2.1 節規定計算，如下列：

$$t = \frac{P \times D_o}{2 S + P} + 0.005 D_o$$

t：厚度 (in)， P：設計壓力 (psi)，  $D_o$ ：外徑 (in)， S：容許應

b. 汽鼓、集管器及管路厚度計算：

依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I)，第 PG-27.2.2 節規定計算，如下列：

$$t = \frac{P \times D_i}{2S \times E - 2(1-Y)P} + C$$

t:厚度(in)， P:設計壓力(psi)，  $D_i$ :內徑(in)， S:容許應力(psi)，  
E :效率(-)， y :溫度係數(-)， C:最小裕度(in)

c. 汽鼓之設計基礎(設計程序)：

■ 汽鼓尺寸

須考慮下列因素作選擇：

- 清除器(scrubber)之數量： 蒸汽/水分離。
- 含水量： 液位控制。

■ 液位設定

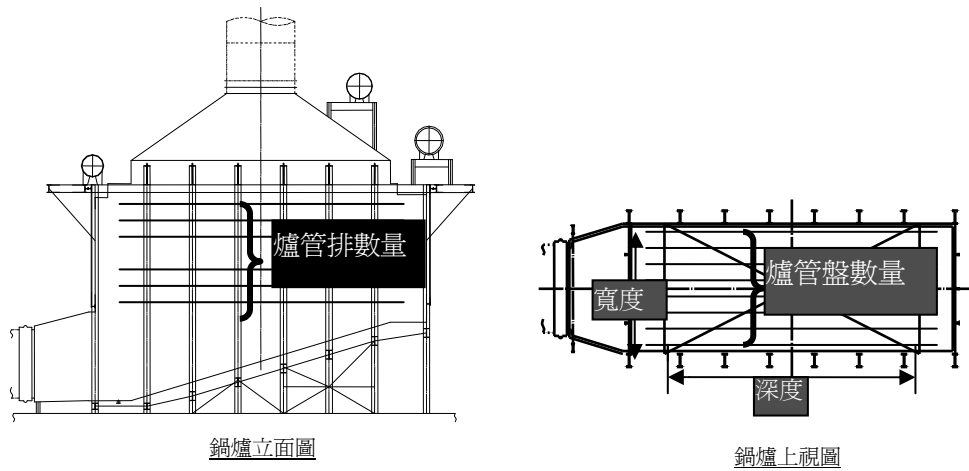
- 高水位跳脫=清除器- $\alpha$ ： 蒸汽/水分離。
- 高低水位警報(依製造廠家標準)
- 低水位警報=較低偵測點+ $\alpha$ ： 液位控制。

d. 加熱元件之設計基礎：

■ 加熱元件配置(1/3)

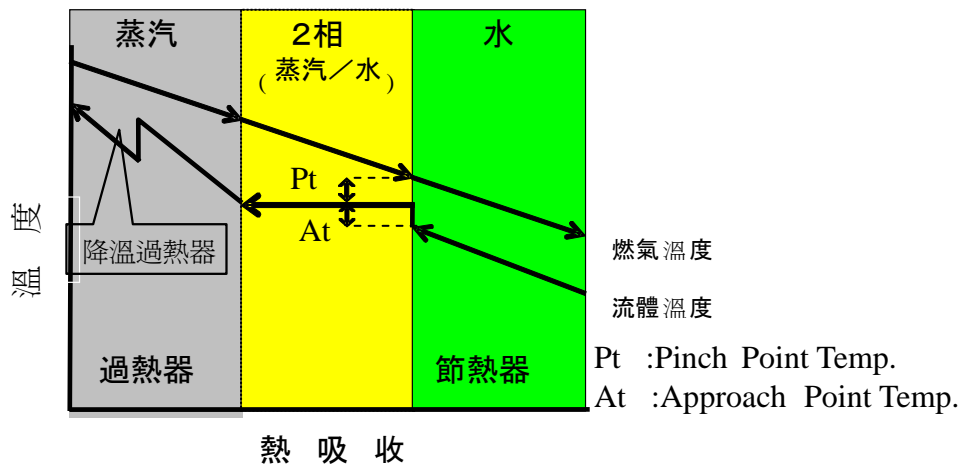
爐管盤(panel)及爐管排(row)(如下圖示)之數量須依下列步驟計算：

- 燃氣路徑之深度
  - 因受製程限制，燃氣路徑之深度為爐管最長之長度。
- 燃氣路徑之寬度
  - 選擇充份的路徑面積以維持設計稿本損失。燃氣路徑之寬度係基於燃氣路徑之深度及面積作計算。
- 爐管盤(panel)之數量
  - 爐管盤(panel)之數量須基於燃氣路徑之寬度及盤之節距作計算。
- 爐管排(row)之數量
  - 爐管排(row)之數量須基於爐管盤(panel)及所需加熱表面積作計算。

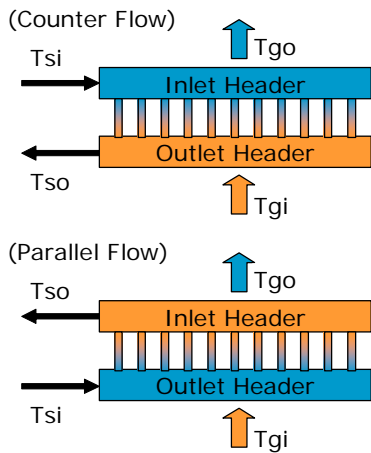


■ 加熱元件之配置(2/3)

- 加熱元件須完全依照燃氣及內部流體之溫度作配置。



■ 加熱元件之配置(3/3)



$$Q = RT \times HS \times LMTD$$

$$LMTD = \frac{(T_{gi} - T_{so}) - (T_{go} - T_{si})}{\ln\left\{\frac{(T_{gi} - T_{so})}{(T_{go} - T_{si})}\right\}} \quad (\text{In case of Counter Flow})$$

$$= \frac{(T_{gi} - T_{si}) - (T_{go} - T_{so})}{\ln\left\{\frac{(T_{gi} - T_{si})}{(T_{go} - T_{so})}\right\}} \quad (\text{In case of Parallel Flow})$$

Here, Q Heat Absorption  
 RT Heat Transfer Rate  
 HS Heating surface  
 LMTD Logarithmic Mean Temperature Difference  
 Tgi/Tgo Gas Temperature (Inlet/Outlet)  
 Tsi/Tso Water & Steam Temperature (Inlet/Outlet)

降溫過熱器設計基礎(考慮因素)：

- 噴水流量  
基於考慮端點情況之差異性(如燃氣條件等)所作預測最大噴水量作選擇。
- 加溫蒸汽  
從過熱器/再熱器進口部提供加溫蒸汽以減低因主蒸汽與噴水兩者溫差所造成之熱應力。

■ 安全閥設計基礎(排放容量)：

- 汽鼓及過熱器安全閥：  
須依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I), 第 PG-67. 4. 2 節及 PG-68. 2 節規定作選擇。  
 總排放量(汽鼓+過熱器)  $\geq$  最大蒸汽流量  
 總排放量(汽鼓)  $\geq$  最大蒸汽流量之 75%
- 再熱器安全閥：  
須依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I), 第 PG-68. 4 節規定作選擇。  
 總排放量(進入+流出)  $\geq$  最大蒸汽流量  
 總排放量(流出)  $\geq$  最大蒸汽流量之 15%

■ 安全閥設計基礎(壓力設定)：

- 須依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I), 第 PG-67. 3 節、PG-68. 1 節及 PG-68. 4 節規定作選擇。
- 汽鼓 1(低)  $\leq$  設計壓力

汽鼓 1(高)	$\leq 1.03 \times \text{設計壓力}$
過熱器	$\leq \text{汽鼓 1 設定壓力} - \text{壓力損失}$
再熱器入口 1(低)	$\leq \text{設計壓力}$
再熱器入口 2(高)	$\leq 1.03 \times \text{設計壓力}$
再熱器出口	$\leq \text{再熱器出口 1 設定壓力} - \text{壓力損失}$

● 排放壓力：

須依據美國機械工程師協會鍋爐及壓力容器法規第一章(ASME B&PV Code, Sec. I), 第 PG-72.1 節規定作選擇。

排放壓力	$\leq \text{設計壓力之 } 4\%$
------	--------------------------

### 3.2.2 非壓力組件：

支撐結構、鍋爐牆板、保溫、膨脹接頭、燃氣風門擋板等非壓力組件須依製造廠家標準設計。

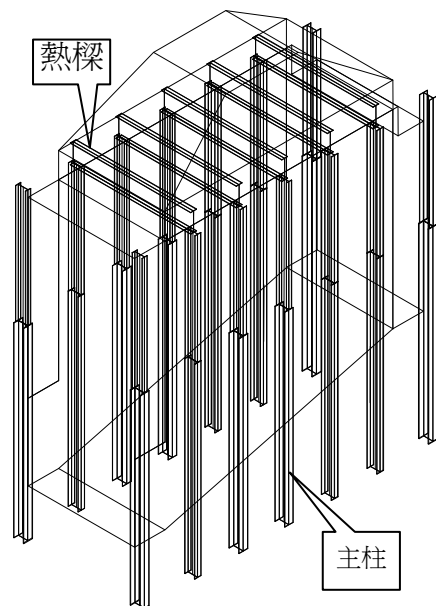
#### (1) 支撐結構設計基礎(主支撐程序)

##### a. 熱樑

- 加熱元件之重量藉由熱樑懸吊負荷。
- 熱樑移轉負荷至主柱支撐。

##### b. 主柱

- 加熱元件及集管器之負荷被傳送至主柱頂部。
- 鍋爐牆板等負荷直接由主柱支撐。



#### (2) 保溫設計基礎

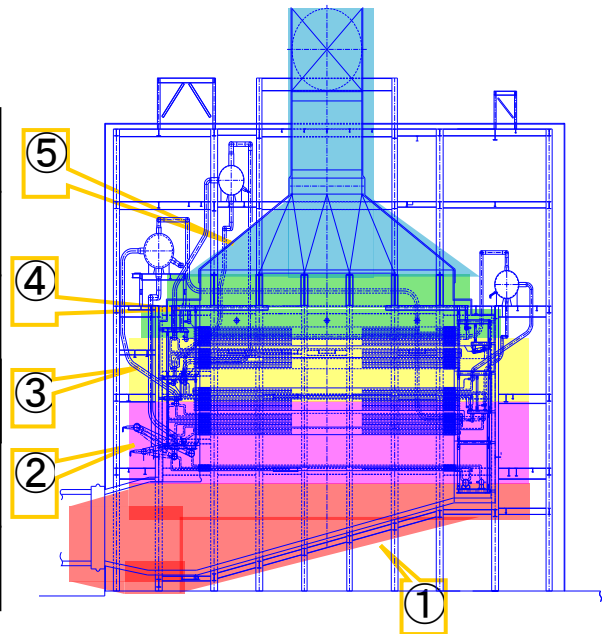
a. 規格

設計原則：須設計於 30°C 週邊溫度下保持組件外表之溫度不超過 55°C。

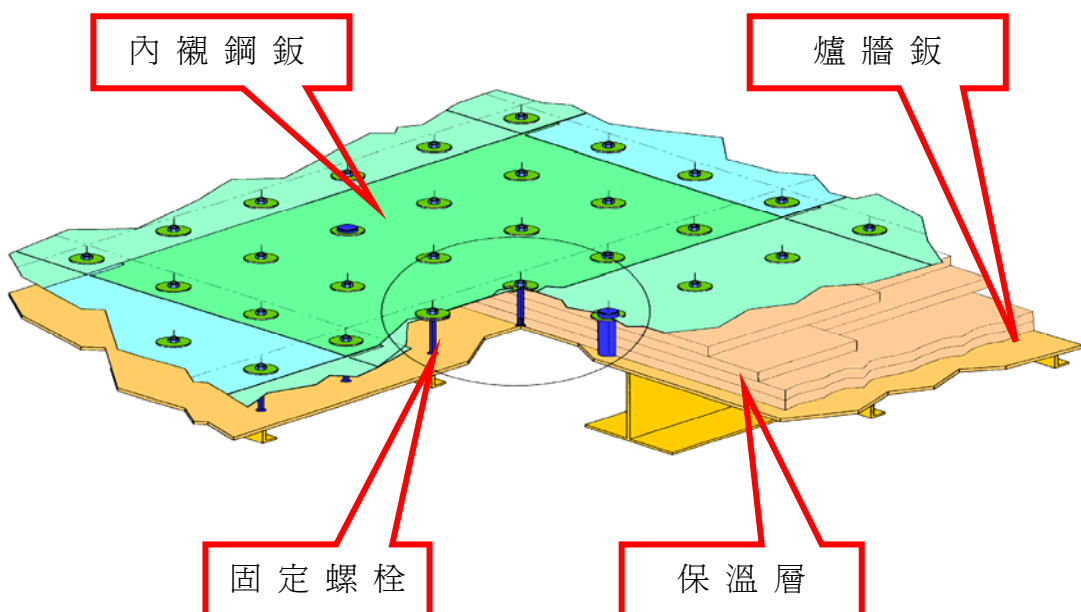
節段	型式	保溫材料	外覆材料
壓力組件	外部	矽酸鈣	平鋁片×0.4 t mm.
鍋爐牆板	內部	陶瓷、礦岩氈	—
入口牆板	內部	陶瓷、礦岩氈	—
出口牆板	外部	礦岩氈	肋骨型鋁片×1.0 t mm.

b. 爐牆板保溫

區域	型式	保溫	內襯板
①	內保溫	陶瓷 × t50mm 岩棉氈 × t200mm	SUH409
②	內保溫	陶瓷 × t25mm 岩棉氈 × t175mm	SUH409
③	內保溫	岩棉氈 × t75mm	SUH409
④	內保溫	岩棉氈 × t50mm	SUH409
⑤	外保溫	岩棉氈 × t25mm	SUH409

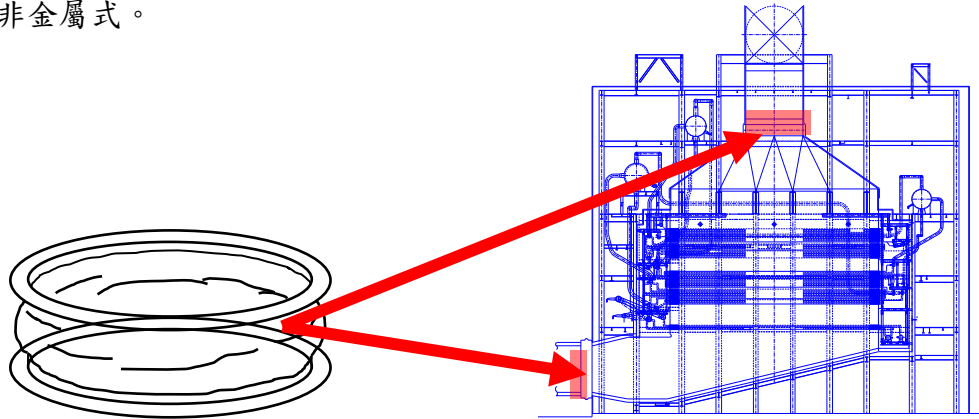


c. 內側保溫之基本結構



(3) 膨脹接頭之設計基礎(一般配置)

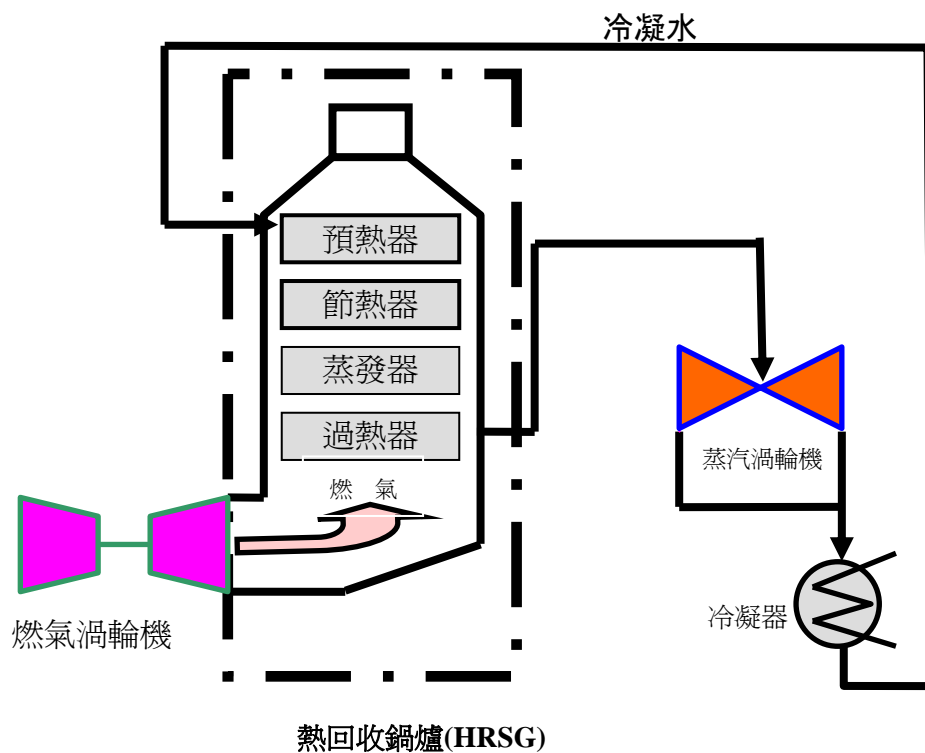
- a. 膨脹接頭可調整熱膨脹之位差。
- b. 非金屬式。



### 3.3 熱回收鍋爐系統設計：

#### 3.3.1 系統設計〈複循環電廠〉

大潭發電計畫熱回收鍋爐係無燃、自然循環及再熱式鍋爐。在熱回收鍋爐系統中，來自燃氣渦輪機之燃氣排氣熱量被轉移至飼水及蒸氣系統，並依汽輪機所需高、中、低壓蒸汽之壓力及溫度產生蒸汽，推動蒸汽渦輪機/發電機發電。概如下圖所示。



熱回收鍋爐系統設計	目的/功能
主流體系統: ● 高壓(HP)系統 ● 中壓(IP)系統 ● 低壓(LP)系統 ● 預熱系統	依汽輪機所需高、中、低壓蒸汽之壓力及溫度產生蒸汽，產生蒸汽供蒸汽渦輪機作功。
沖放水系統	維持汽鼓水位正常。
閉路冷卻水系統	供給冷卻水至泵浦軸承冷卻器冷卻軸承。
儀用及廠用空氣系統	● 供給儀用空氣予控制閥。 ● 供給廠用空氣。
氮氣系統	供給氮氣至熱回收鍋爐供作保存之用。
燃氣排氣系統	供燃氣渦輪機燃氣排氣。

### 3.3.2 系統設計〈熱回收鍋爐高壓系統〉

熱回收鍋爐高壓系統包括高壓飼水系統、高壓節熱器、高壓汽鼓、高壓蒸發器、高壓過熱器等設備。

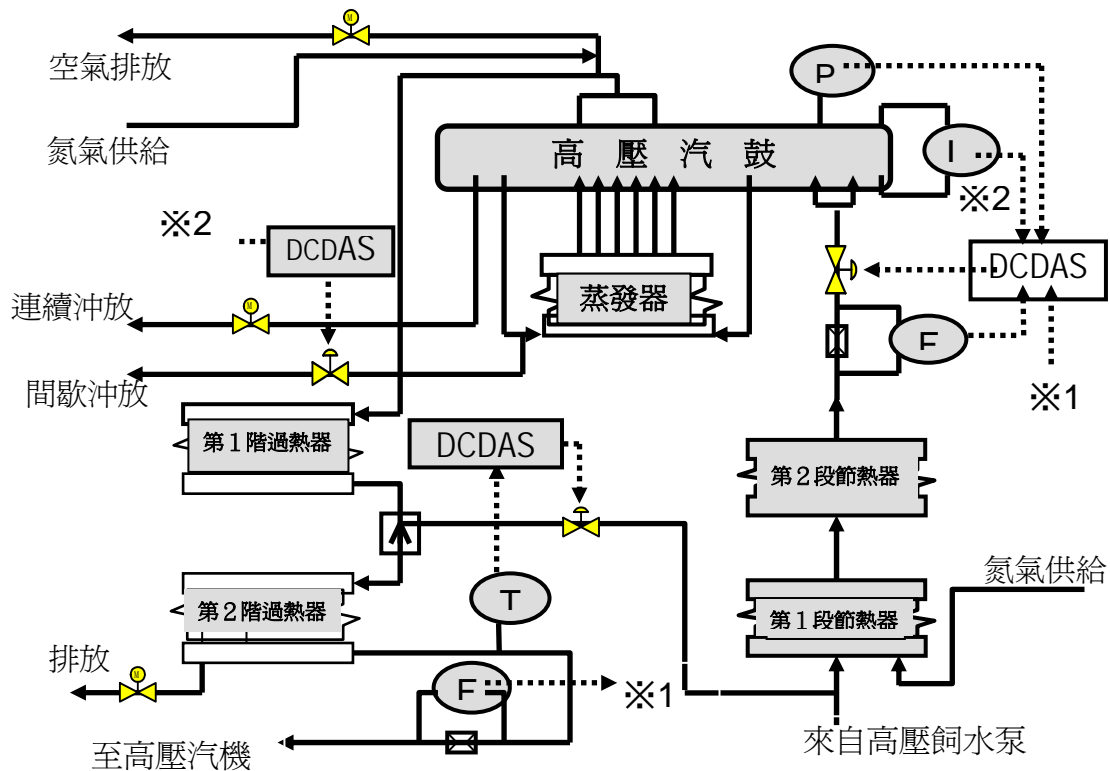
高壓飼水係由高壓飼水泵經由電動進口關斷閥、進口逆止閥、飼水管進入節熱器。節熱器分成2節段，每一段節熱器係由附有鋸齒式(serrated fin)鰭片之無縫管子(tubes)所製成，以確保正常運轉情況下，飼水無「汽化」發生。被加熱之飼水離開第2段節熱器後經高壓水管進入高壓汽鼓。飼水控制閥則設於第3段節熱器與高壓汽鼓之間，以控制飼水量。鍋爐初始飼水則係由除礦水分配系統供水。

高壓汽鼓(9.4m shell LG. x 2.0m I.D. 容量約34 m<sup>3</sup>)位於前爐上方，配置有汽水分離器、2安全閥附排水管及消音器、壓力/ 液位/ 流量傳送器、金屬溫度元件、液位計、壓力錶、人孔、、、等組件。

飼水由高壓汽鼓經2條下降管路進入蒸發器系統。進入高壓蒸發器進口集管器，部份循環水於蒸發器管子內蒸發成汽水混合，經6條上昇管路送回高壓汽鼓。高壓蒸發器管子(tubes)係由附有鋸齒式(serrated fin)鰭片之無縫管子(tubes)所製成。為排放及間歇沖放，配以電動根閥及控制閥之一間歇沖放水管理聯接高壓蒸發器進口集管器(位於蒸發器系統最低位置)。

飽和蒸汽自高壓汽鼓流入第1段過熱器後，在第1段與第2段過熱器間，藉由進入高壓降溫過熱器噴灑飼水入高壓蒸汽系統，目的在控制過熱蒸汽在降溫過熱器出口溫度在538°C以下，然後進入第2段過熱器加熱蒸汽溫度至所需蒸汽溫度然後注入主蒸管路，推動高壓汽機作功。熱回收鍋爐高壓系統，概如下圖所示：

### 系統設計< 高壓系統 >



### 3.3.3 系統設計< 熱回收鍋爐中壓系統 >

熱回收鍋爐中壓系統包括中壓飼水系統、中壓節熱器、中壓汽鼓、中壓蒸發器、中壓過熱器等設備。

中壓飼水係由中壓飼水泵經由電動進口關斷閥、進口逆止閥、飼水管進入節熱器。鍋爐初始飼水則係由配有入口逆止閥、法蘭聯接之短管及關斷閥之除礦水分配系統供水。法蘭聯結之短管於正常運轉期間須拆除，以防飼水逆流。節熱器為1節段，係由附有鋸齒式(serrated fin) 鰭片之電阻焊縫管子(EWR tubes)所製成，以確保正常運轉情況下，飼水無「汽化」發生。被加熱之飼水離開節熱器後經中壓水管進入中壓汽鼓。飼水控制閥則設於節熱器與中壓汽鼓之間，以控制飼水量。

中壓汽鼓 (8m shell LG. x2m I.D. 容量約 27 m<sup>3</sup>) 位於後爐上方，配置有汽水分離器、2 安全閥附排水管及消音器、壓力/ 液位/ 流量傳送器、金屬溫度元件、液位計、壓力錶、人孔、、、等組件。

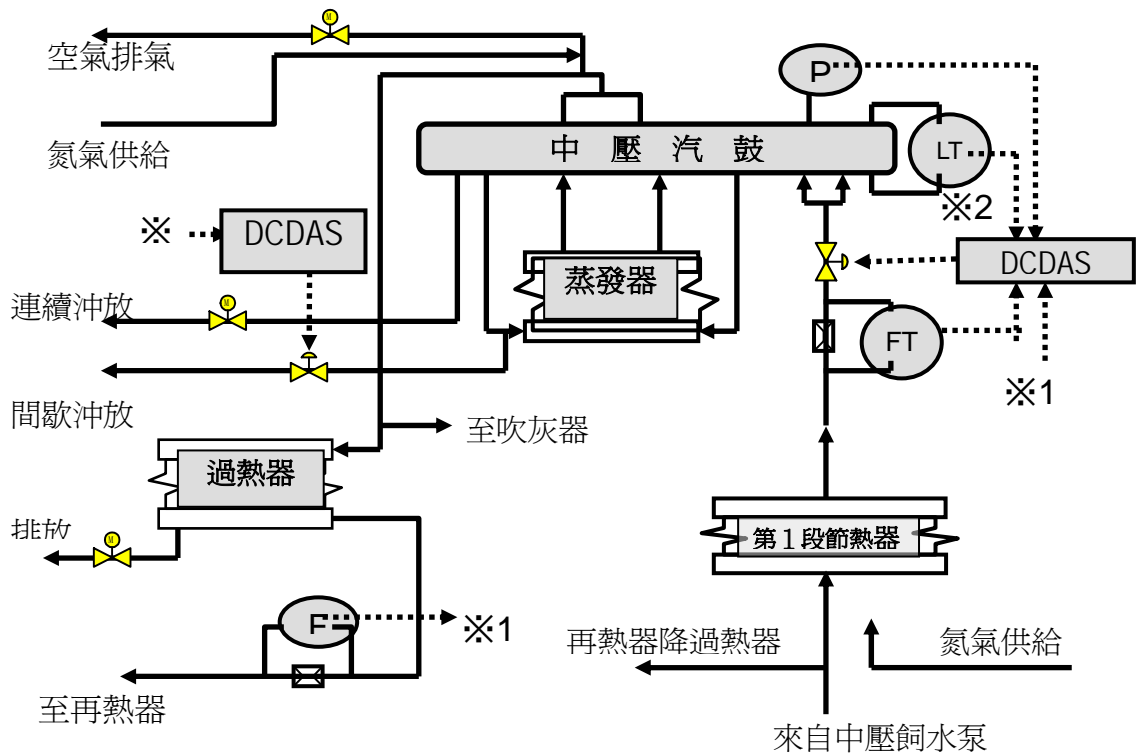
飼水由中壓汽鼓經 2 條下降管路進入蒸發器系統。進入中壓蒸發器進口集管器，部份循環水於蒸發器管子內蒸發成汽水混合，經 2 條上昇管路送回中壓汽鼓。中壓蒸發器管子(tubes) 係由附有鋸齒式(serrated fin) 鰭片之電阻焊縫管子(EWR tubes)所製成。為排放及間歇沖放，配以電動根閥及控制閥之一間歇沖放水管理接中壓蒸發器進口集管器(位於蒸發器系統最低位置)。

飽和蒸汽自中壓汽鼓流入過熱器進口集管器。過熱蒸汽經中壓蒸汽管至再熱系統。熱回收



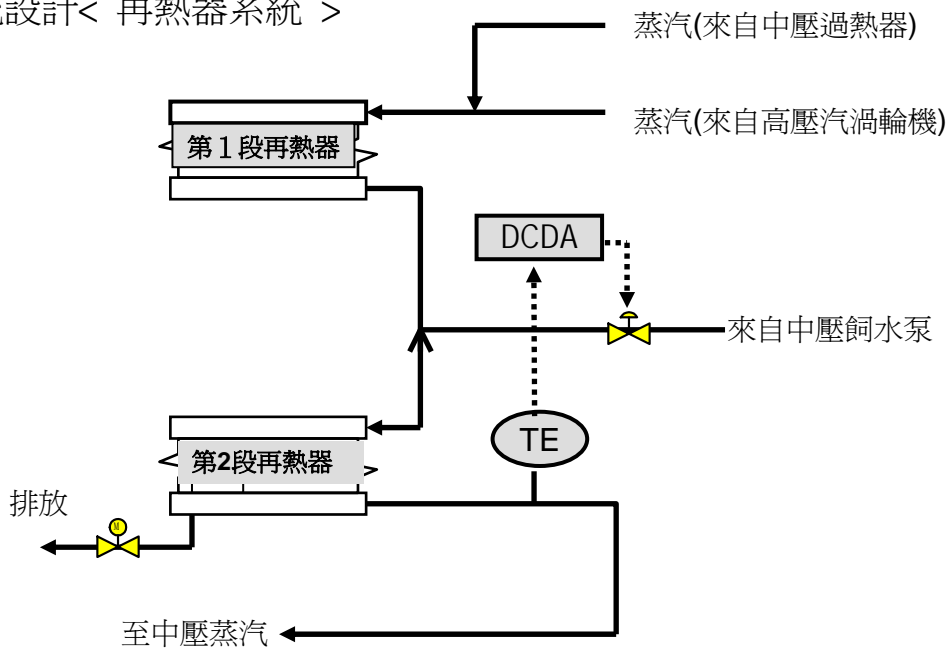
鍋爐中壓系統概，如下圖所示：

系統設計< 中壓系統 >



進入再熱系統之過熱中壓蒸汽與來自汽機之冷再熱蒸汽被合併進入第1段再熱器進口集管器流至再熱器降溫過熱器。降溫過熱器之目的在於藉由在第1段與第2段再熱器間，噴注飼水進入過熱蒸汽管線以控制在出口處之過熱蒸汽溫度在 566°C 以內。此蒸汽然後流經第2段再熱器加熱至所需之主蒸汽溫度，且然後進到主蒸汽管。降溫過熱器洒水控制關係自動控制。該主蒸汽溫度係與蒸汽出口設定點作比較。熱回收鍋爐再熱系統，概如下圖所示。

系統設計< 再熱器系統 >



### 3.3.4 系統設計 < 熱回收鍋爐低壓系統 >

熱回收鍋爐低壓系統包括低壓飼水系統、低壓汽鼓、低壓蒸發器、低壓過熱器等設備。低壓飼水係由低壓飼水泵經由電動進口關斷閥、進口逆止閥、飼水管進入汽鼓。鍋爐初始飼水則係由配有入口逆止閥、法蘭聯接之短管及關斷閥之除礦水分配系統供水。法蘭聯結之短管於正常運轉期間須拆除，以防飼水逆流。

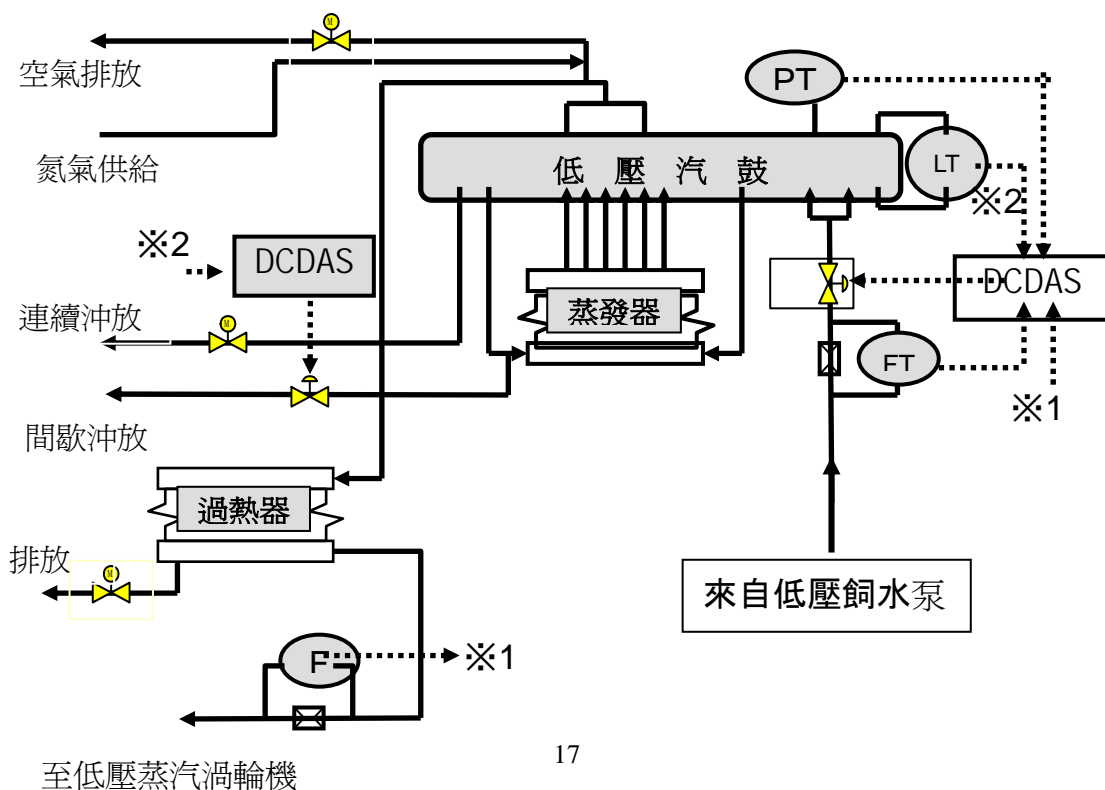
低壓飼水被提供進入低壓汽鼓。飼水控制閥則設於低壓飼水泵與低壓汽鼓之間，以控制飼水量。

低壓汽鼓 (8m shell LG. x 2m I.D. 容量約 27 m<sup>3</sup>) 位於前爐上方，配置有汽水分離器、2 安全閥附排水管及消音器、壓力/液位/流量傳送器、金屬溫度元件、液位計、壓力錶、人孔、等組件。

飼水由低壓汽鼓經 2 條下降管路進入蒸發器系統。進入低壓蒸發器進口集管器，部份循環水於蒸發器管子內蒸發成汽水混合，經 8 條上昇管路送回低壓汽鼓。低壓蒸發器管子 (tubes) 係由附有鋸齒式 (serrated fin) 鰭片之電阻焊縫管子 (EWR tubes) 所製成。為排放及間歇沖放，配以電動根閥及控制閥之一間歇沖放水管聯接低壓蒸發器進口集管器 (位於蒸發器系統最低位置)。

飽和蒸汽自低壓汽鼓流入低壓過熱器進口集管器。該過熱蒸汽流經低壓蒸汽管至低壓汽機。熱回收鍋爐低壓系統，概如下圖所示：

系統設計 < 低壓系統 >

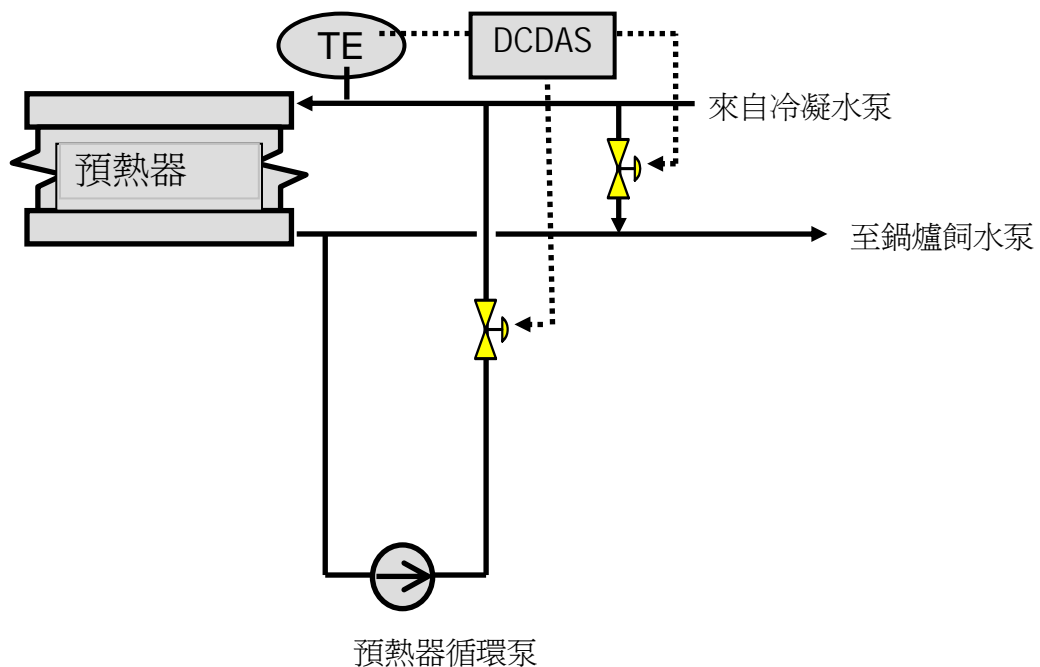


### 3.5 系統設計〈熱回收鍋爐預熱系統〉

預熱器被設計安裝於低壓系統內來加熱自冷凝器之水溫。為達到它進口在 55°C (在無硫天然氣情況)，預熱器係以熱水再循環。預熱器由附有鋸齒式(serrated fin) 鱗片之電阻焊縫管子 (EWR tubes) 所製成。

預熱器循環水系統配有管路及水泵以輸送來自預熱器出口到其進口之被預熱之水，以增加冷凝水進口溫度高於燃氣之露點溫度。熱回收鍋爐預熱系統，概如下圖所示：

#### 系統設計〈預熱器系統〉

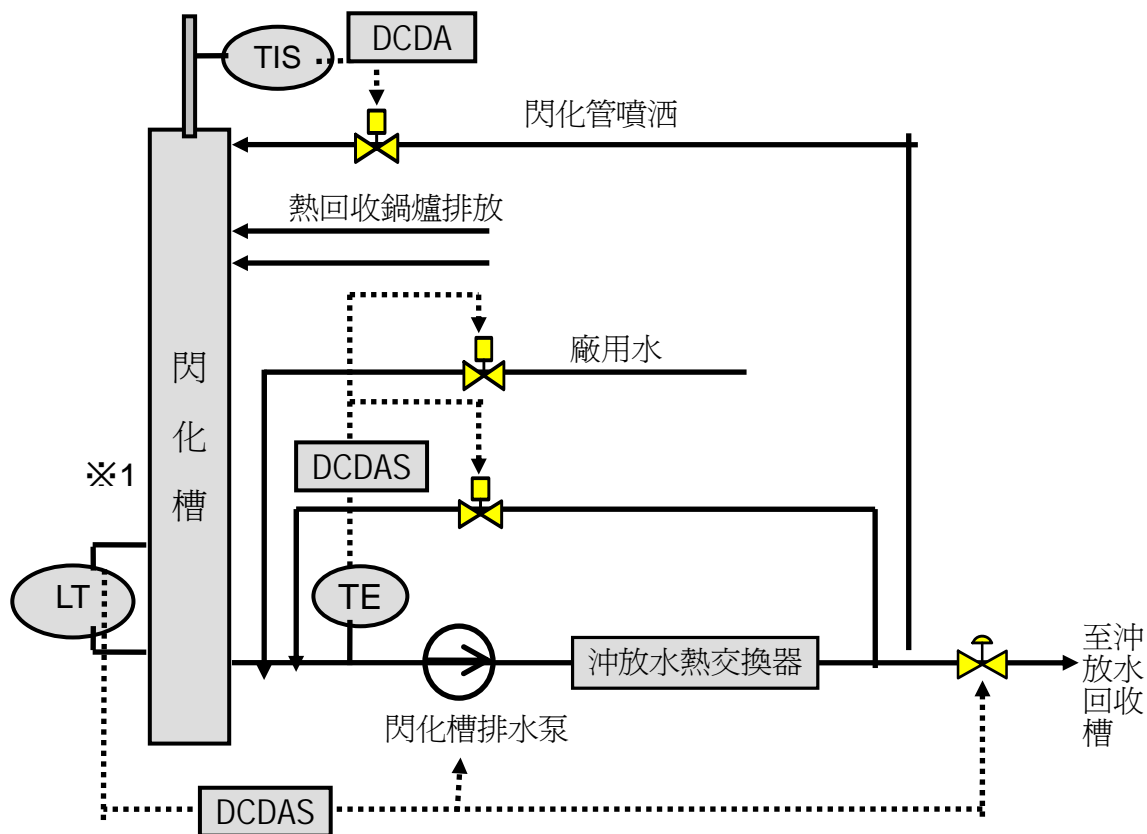


### 3.6 系統設計〈熱回收鍋爐沖放水系統〉

熱回收鍋爐沖放水閃化水槽收集來自熱回收鍋爐之排放水。該槽(5.0m shell LG. x 1.6m I. D. 容量約 10.1 m<sup>3</sup>) 配置有排水歧管、蒸汽排放管附膨脹接頭及排放消音器、液位控制器、噴水管嘴、及排放管嘴等組件。

自熱回收鍋爐沖放水閃化水槽之排水藉由閃化水槽排放水泵(每座熱回收鍋爐 2 組 100% 水泵) 且被排放水熱交換器冷卻至 60°C 或低些後被傳送至熱回收鍋爐沖放水回收水槽。熱回收鍋爐沖放水系統，概如下圖所示：

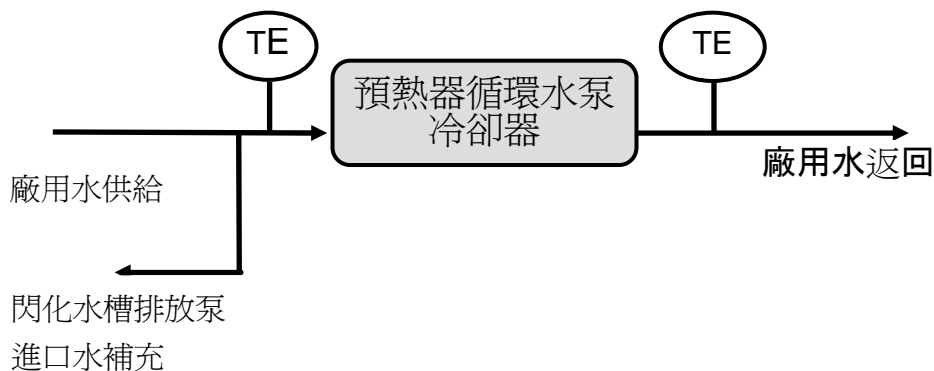
### 系統設計< 沖放水系統 >



### 3.7 系統設計< 熱回收鍋爐廠用水系統 >

自廠用水系統供水至 2 組預熱器循環水泵冷卻器以冷卻熱回收鍋爐預熱器循環水泵軸承。熱回收鍋爐廠用水系統，概如下圖所示：

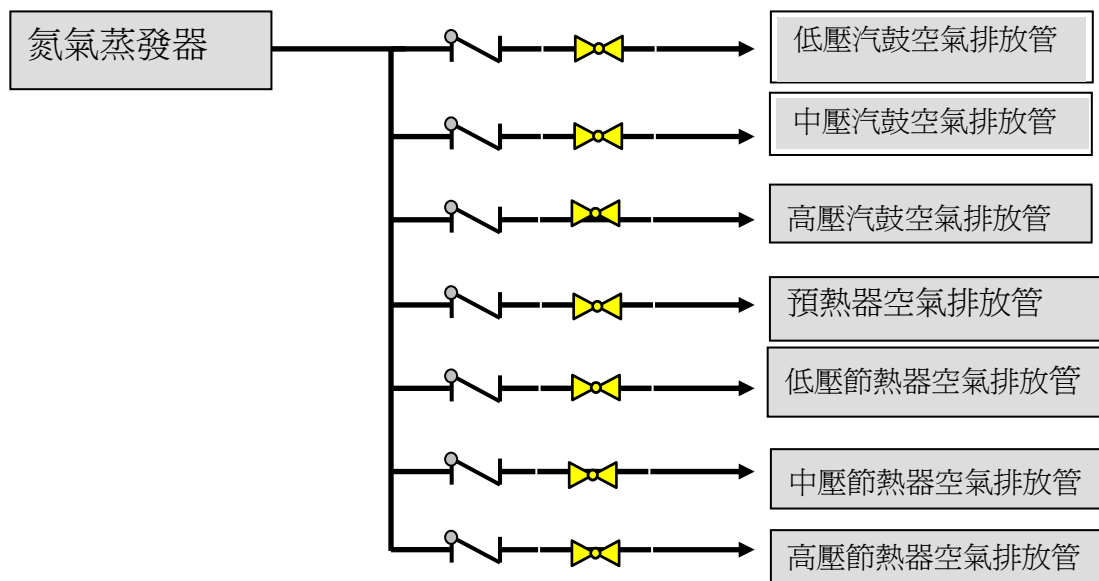
### 系統設計< 廠用水系統 >



### 3.8 系統設計〈熱回收鍋爐氮氣供給系統〉

氮氣供給系統係為提供氮氣作熱回收鍋爐長期停機時保存之用。每一氮氣供給管線被聯接至下列管線：

- 低壓汽鼓空氣排放管
- 中壓汽鼓空氣排放管
- 高壓汽鼓空氣排放管
- 預熱器進口空氣排放管
- 低壓節熱器進口空氣排放管
- 中壓節熱器進口空氣排放管
- 高壓節熱器進口空氣排放管

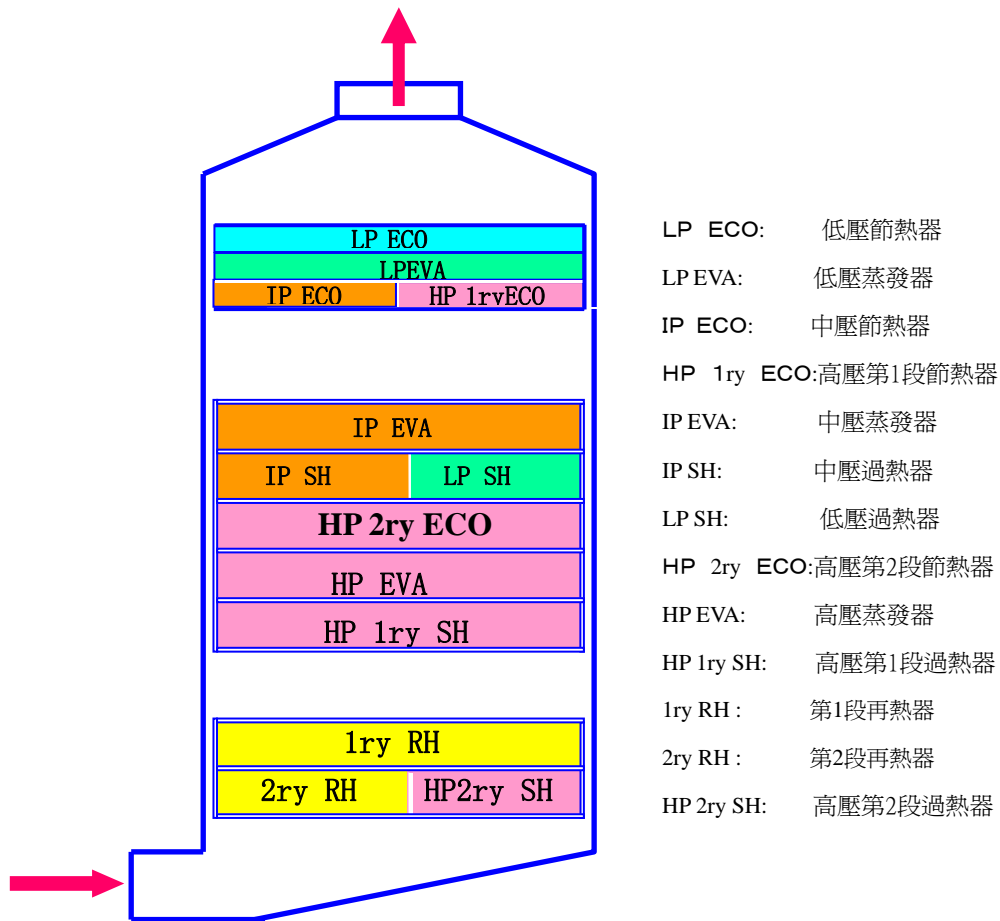


### 3.9 系統設計〈熱回收鍋爐燃氣排氣系統〉

熱回收鍋爐燃氣路徑傳輸燃氣渦輪機燃氣排氣，經不同之加熱截面後通往大氣。當通過每一加熱元件時，該煙氣損失它部份熱能。因此，相對於現場不同之溫度，不同之加熱截面被配置以獲取含在燃氣渦輪機燃氣排氣中之熱量。燃氣系統包含下列組件：

- 進口/出口膨脹接頭。
- 壓力指示器/傳送器、溫度元件及測試井等。
- 平片式風門。
- 排氣消音器、熱回收鍋爐牆板排水接頭。

## 系統設計< 熱回收鍋爐燃氣排氣系統 >



### 4.0 熱回收鍋爐安裝程序

1. 鍋爐鋼架基礎確認
2. 吊裝預製主柱及外殼保溫
3. 吊裝主橫樑及管排吊桿
4. 吊裝連接預製主柱及外殼保溫
5. 吊裝側面柱、樑及外殼保溫
6. 安裝走道及工作操作平台
7. 吊裝管排共 9 排
8. 吊裝高、中、低汽鼓
9. 吊裝鍋爐上蓋及風門、消音器等
10. 安裝鋼構及鍋爐底板
11. 安裝煙囪
12. 安裝煙道及保溫
13. 安裝煙道進出口撓性接頭

## 5.0 三菱公司熱回收鍋爐之控制

(1)熱回收鍋爐出口蒸汽溫度:

- 高壓過熱器出口蒸汽溫度藉由降溫過熱器噴洒水維持在 538.2°C 以下。
- 再熱器出口蒸汽溫度藉由降溫過熱器噴洒水維持在 566.5°C 以下。

(2)汽鼓液位

- 汽鼓液位藉由飼水控制閥作控制。
- 在液位上昇情況，藉由間歇沖放以降低液位。

(3)預熱器循環

- 為增加預熱器進口水溫高於燃氣露點溫度，藉由控制閥，維持進口水溫如下：  
燃燒天然氣：預熱器進口溫度 = 55°C
- 預熱器進口冷凝水溫係藉由循環預熱器出口水流作控制。

## 6.0 熱回收鍋爐運轉指引

### 6.1 起動程序

(1)準備:

- 熱回收鍋爐輔助設備(泵浦、閥等)轉至自動並起動。
- 熱回收鍋爐出口風門開啟。

(2)排水及空氣充氣操作

- 排水及空氣排放閥依序開啟，以清除排水及空氣。
- 燃氣渦輪機點火後，溫度及壓力上升。

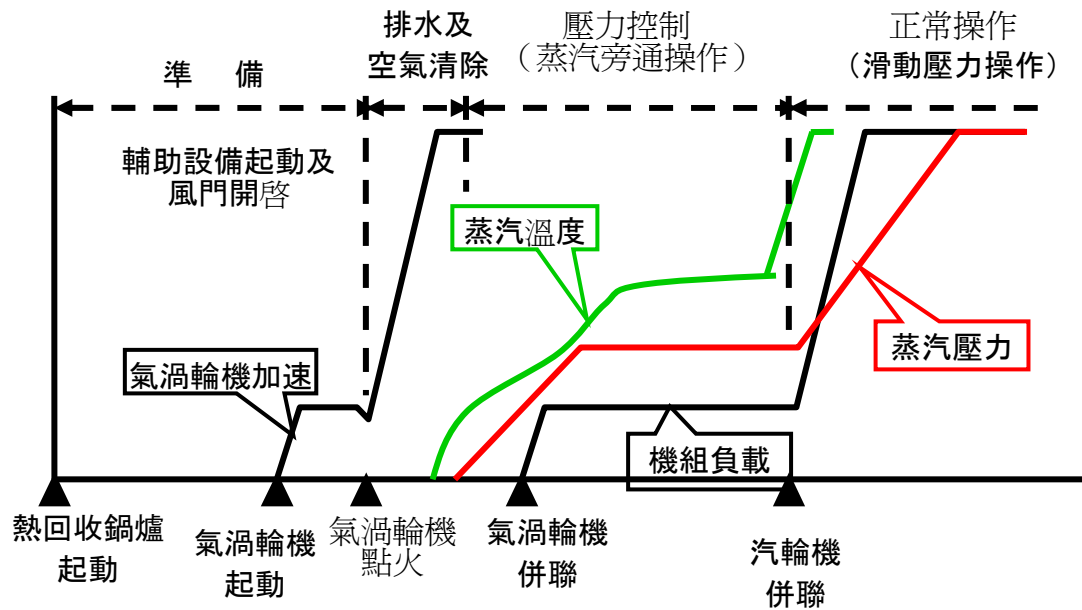
(3)壓力控制操作

- 當壓力到達設定值，燃氣渦輪機旁通閥開啟。
- 藉由燃氣渦輪機旁通閥，壓力被控制在最低限壓力。
- 排水及空氣排放閥依序關閉。

(4)正常操作

- 熱回收鍋爐被轉交至滑動壓力操作。
- 依機組負載，溫度及壓力增加。

## 6.2 起動曲線



## 6.3 熱回收鍋爐控制

- (1) 蒸汽溫度：藉由降溫過熱器作控制。
- (2) 蒸汽壓力：於起動期間藉由汽機閥操作控制。
- (3) 汽鼓液位：藉由飼水控制閥控制。
  - 單一元素控制(起動)：汽鼓液位。
  - 3 元素控制(正常運轉)：汽鼓液位、飼水流量、蒸汽流量。
- (4) 飼水溫度：藉由預熱器循環作控制。

## 6.4 一般注意事項

- (1) 警報及聯鎖
  - 警報：於異常運轉情況，警報信號自動出現。
  - 聯鎖：於異常運轉情況，某些設備自動停止。
- (2) 運轉資料

下列運轉資料將被記錄及週期性地檢核，俾在警報或聯鎖出現前發現錯誤功能。

  - 壓力(燃氣、蒸汽及水)
  - 溫度(燃氣、蒸汽及水)
  - 汽鼓液位
  - 飼水及蒸汽流量率
  - 水及蒸汽品質。



## 6.5 熱回收鍋爐之警報及聯鎖

敘述	警報	聯鎖	目的
高壓/中壓/低壓 汽鼓液位高	○	○ 汽機跳脫	引水預防
高壓/中壓/低壓 汽鼓液位低	○	○ 氣渦輪機跳脫	高壓蒸發器爐管保護
高壓蒸汽壓力高 熱再熱器蒸汽壓力高 中壓蒸汽壓力高 低壓蒸汽壓力高	○	—	壓力組件保護
高壓蒸汽溫度高 熱再熱器蒸汽溫度高	○	—	壓力組件保護
預熱器進口壓力低	○	—	預熱器再循環泵保護
沖放水閃化水槽 再循環排水溫度高	—	○ 沖放水閃化水槽排放 泵跳脫	沖放水閃化水槽排放泵 保護

## 6.6 運轉水質要求標準(JIS B-8223)

條件	最高運轉壓力	Mpa	1-2	2-3	3-5	5-7.5	7.5-10	10-15	15-20	
	補充水	-	除礦水							
飼水	PH 質	at 25deg-C	8.0-9.5			8.5-9.5		8.5-9.6		
	陽離子 導電度	mS/m	-	-	-	-	-	≤ 0.05	≤ 0.05	
	硬度	mg CaCO <sub>3</sub> /l	ND							
	油	mg/l	ND							
	溶氧量	μgO/l	≤ 500	≤ 100	≤ 30	≤ 7				
	鐵	μgFe/l	≤ 100			≤ 50	≤ 30		≤ 20	
	銅	μgCu/l	-	-	≤ 50	≤ 30	≤ 20	≤ 10	≤ 5	
水	聯胺	mgN <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /l	-	≥ 0.2	≥ 0.06	≥ 0.01				

鍋	處置法	-	磷酸處理						
	PH 質	at 25deg-C	9.8-10.8	9.4-10.5		9.5-10.7		9.0-10.0	
爐	導電度	mS/m	≤ 120	≤ 80	≤ 60	≤ 40	≤ 15	≤ 6	≤ 7
	氯離子	mgCl <sup>-</sup> /l	≤ 150	≤ 100	≤ 80	≤ 50	≤ 10	≤ 2	
水	磷離子	mgPO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /l	10-30	5-15		3-10	2-6	0.1-3	0.1-3
	矽	mgSiO <sub>2</sub> /l	≤ 50		≤ 20	≤ 5	≤ 2	≤ 0.3	≤ 0.2

## 6.7 水及蒸汽品質控制

### 6.7.1 目的

保持水及蒸汽品質適合以防止沈積及腐蝕等。

### 6.7.2 偵測項目

PH 值、導電度、陽離子導電度、溶氧量、矽、聯氨等。

### 6.7.3 水處理程序

- (1) 飼水(AVT) : All Volatile Treatment, 所有揮發性物質處理。  
 氨(NH<sub>3</sub>) : PH 值控制。  
 聯氨(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) : 清除氧。
- (2) 汽鼓水質(磷酸鹽處理)  
 磷酸鈉: PH 值控制及硬度組成物移除。

## 6.8 熱回收鍋爐之保存

分類 \ 期間	1-3 天	4-7 天	8-30 天	逾 30 天
節熱器	熱存	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 50ppm 及 N <sub>2</sub> 加壓保存	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 50ppm × (週) 及 N <sub>2</sub> 加壓保存	N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> 50ppm × (週) (上限 500ppm) 及 N <sub>2</sub> 加壓保存
蒸發器				
汽鼓				
過熱器		乾燥	N <sub>2</sub> 加壓保存	
再熱器				

### 6.8.1 注水+N<sub>2</sub> 加壓保存之注意事項:

(1) 情況查核

定期量測化學濃度，大約 1 週查核化學品消耗趨勢。

(2) N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 消耗

補充 N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 之消耗，以維持高於 50ppm/週數量。

### 6.8.2 吹乾+N<sub>2</sub> 加壓保存之注意事項:

(1) 沖放溫度

維持沖放水水溫約在 90°C 以使熱回收鍋爐內表面乾燥。

(2) N<sub>2</sub> 壓力

維持 N<sub>2</sub> 壓力在指定之數值 (0.03Mpa-g 以上)。

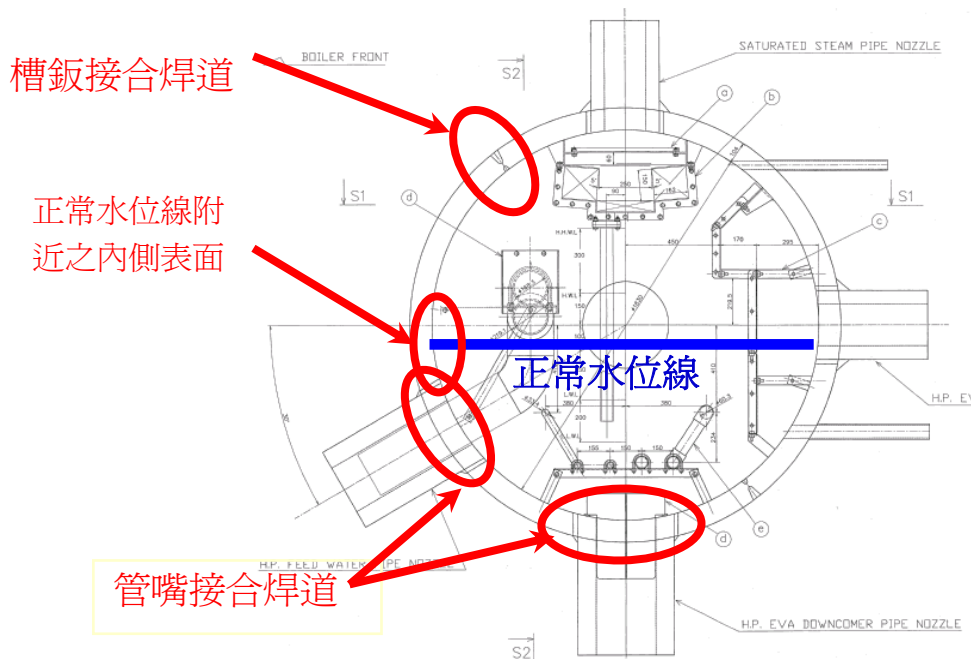
## 7.0 熱回收鍋爐主要組件之維護保養

### 7.1 壓力組件之維護保養：

汽鼓、集管器、管路及降溫過熱器、爐管子、爐管子支撐及附屬組件等。

#### 7.1.1 汽鼓（檢查指引）

##### (1) 汽鼓內部檢查



項 目	檢 查	方 法	檢 查 頻 率	處 置
汽鼓內側表面	查核沈澱物堆積：顏色、位置、化學組成	目視	每 2~4年 檢查1次	查核及調整水質。
汽鼓殼板接合 焊道 接頭	查核龜裂、腐蝕、及 沖蝕等。	液滲或探 傷檢查	每 2~4年 檢查1次	修理
管嘴接合焊道		液滲或探 傷檢查	每 2~4年 檢查1次	修理
汽鼓殼板接合 焊道		目視	每 2~4年 檢查1次	如發現損壞， 須作液滲或磁 粉探傷檢查。
正常水位線附 近之內側表面		目視	每 2~4年 檢查1次	

## (2) 汽鼓內部檢查

項 目	檢 查		檢查頻率	處 置
內部附件： 汽水分離器 群鈹，等	查核組配情況。	目視	每 2~4年 檢查1次	修理或更換。
	查核龜裂、腐蝕、及沖蝕等。	目視	每 2~4年 檢查1次	
飼水管之熱套管	查核龜裂、腐蝕、及沖蝕等。	目視	每 2~4年 檢查1次	修理或更換。
人孔密封墊片	查核損壞與否。	目視	每次開啓 作檢查	人孔每次開啓 後，密封墊片須換 新。

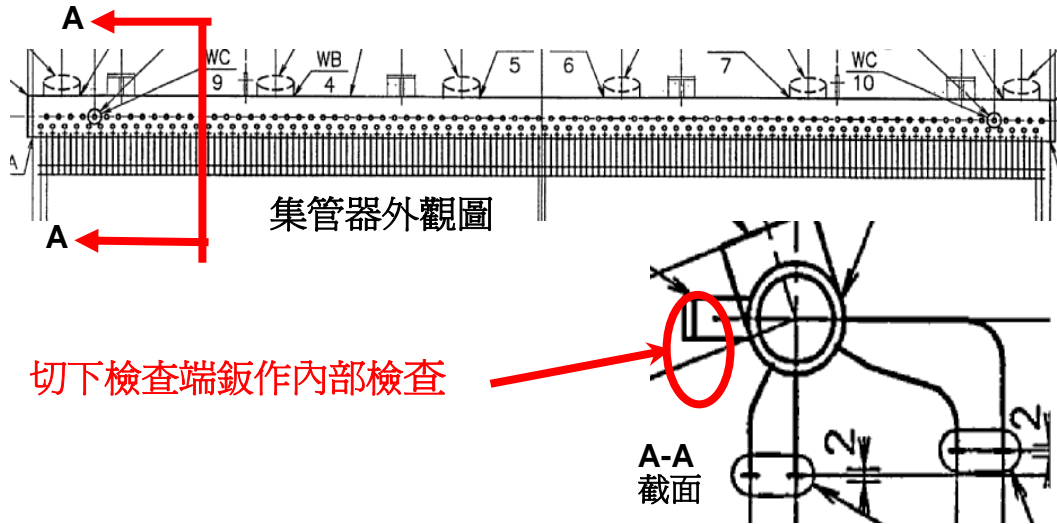
## (3) 汽鼓外部檢查

項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
管嘴接合 焊道	查核龜裂、腐蝕、及沖蝕等。	液滲或磁粉 探傷檢查	每 2~4年 檢查1次	修理

### 7.1.2 集管器（檢查指引）

項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
預熱器、節熱器、或蒸發器之集管器	查核內側表面沈澱物及堆積。	目視 (使用檢查管嘴)	每 2~4年 檢查1次	查核及調整水質。
	查核於接合焊道附近之外側表面之龜裂、腐蝕、及沖蝕	目視	每 2~4年 檢查1次	如發現損壞，須作液滲或磁粉探傷檢查。
過熱器、或再熱器之集管器	查核內側表面沈澱物及堆積。	目視 (使用檢查管嘴)	每 2~4年 檢查1次	查核及調整水質。
	查核於接合焊道附近之外側表面之龜裂、腐蝕、及沖蝕	目視	每 2~4年 檢查1次	如發現損壞，須作液滲或磁粉探傷檢查。

## 集管器(檢查指引)



切下檢查端板作內部檢查

A-A  
截面

### 7.1.3 管路(檢查指引)

#### (1) 管路

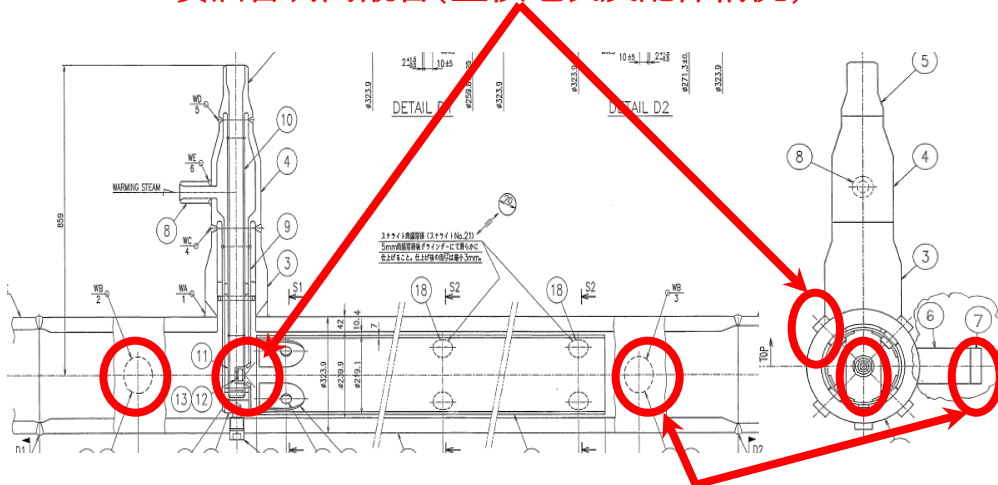
項 目	檢 查	方 法	檢 查 頻 率	處 置
管節間之電焊接頭	查核龜裂。	目視	每 2~4年 檢查1次	如發現損壞,須作 液滲或磁粉探傷 檢查。
管節與管配件之 電焊接頭		目視	每 2~4年 檢查1次	
管節與管嘴之電 焊接頭		目視	每 2~4年 檢查1次	
管節與附件之電 焊接頭		目視	每 2~4年 檢查1次	
管路	查核異常振動 及噪音。	目視	操作期間	查核擋板。

### 7.1.4 降溫過熱器(檢查指引)

#### (1)降溫過熱器

項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
降溫過熱器外側表面	查核龜裂。	目視	每2~4年 檢查1次	修理。
外側表面之電焊接頭		目視	每2~4年 檢查1次	
降溫過熱器本體	查核異常振動及噪音。	目視	操作期間	如異常振動連續發生，須作內部檢查。
內部附件 內襯管	查核龜裂及配件情況。	目視 (使用檢查管嘴)	每2~4年 檢查1次	修理或更換。
內部附件 噴灑管	查核龜裂。	液滲或磁粉探傷檢查	每2~4年 檢查1次	修理或更換。

噴灑管嘴內襯管(查核龜裂及配件情況)。



檢查管嘴(切下檢查端鈑作內部檢查)

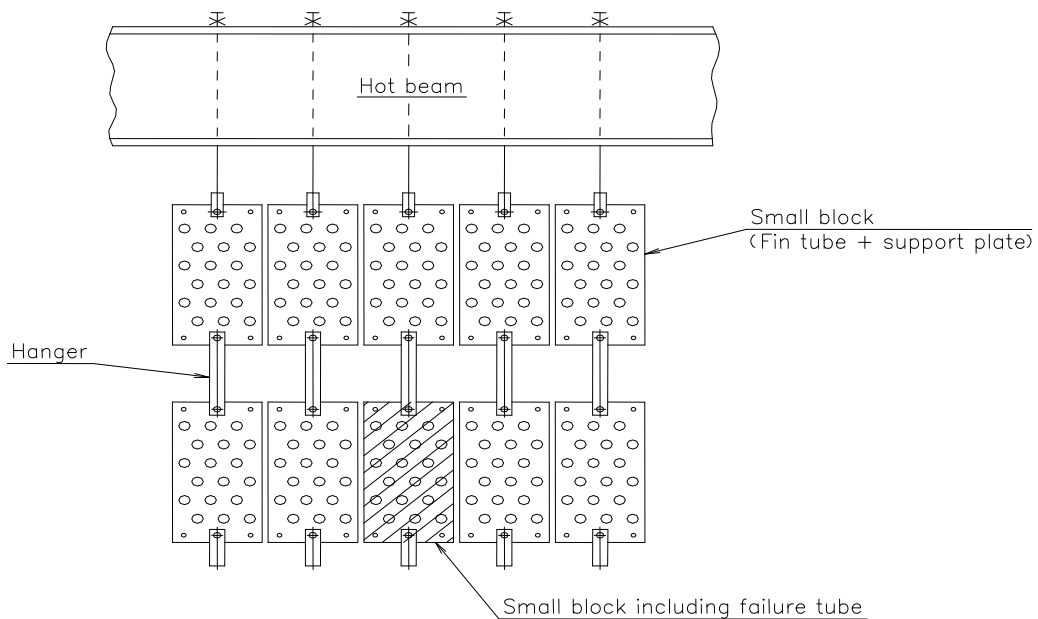
### 7.1.5 爐管子(檢查指引)

#### (1) 爐管子(Tubes)

項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
外側表面	查核龜裂及腐蝕。	目視	每 2~4年 檢查1次	如發現損壞,須 作選樣檢查。
管子及鰭片	查核變形。	目視	每 2~4年 檢查1次	
管子厚度	查核管子厚度	目視	每 2~4年 檢查1次	
損壞之管子	管子選樣檢查	尺寸檢查	如有需要。	
		化學性質		
		機械強度測試		
		冶金結構		

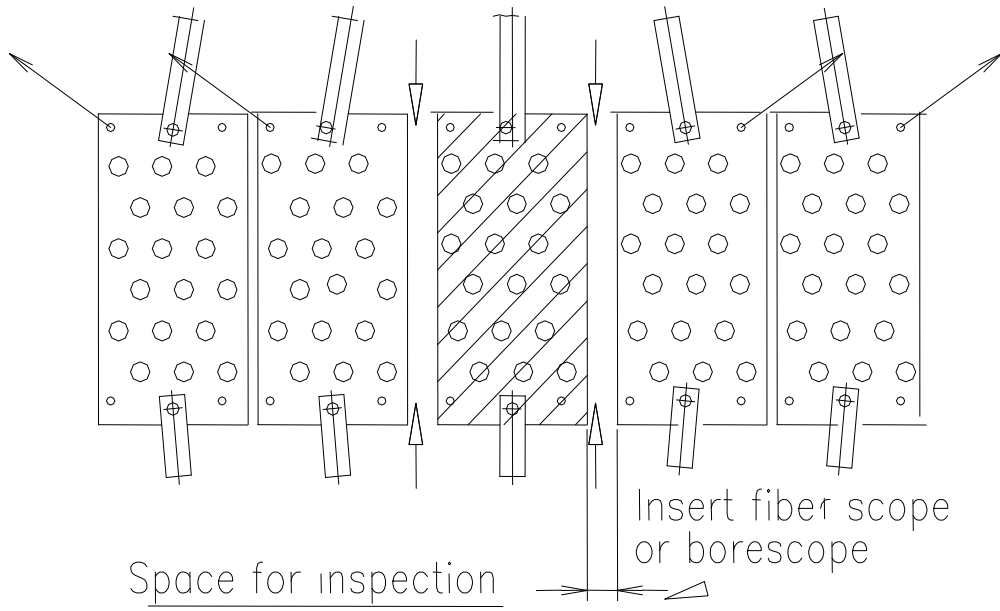
#### (2) 爐管子(修理程序)

a. 由注水確認失敗管子之粗略位置。

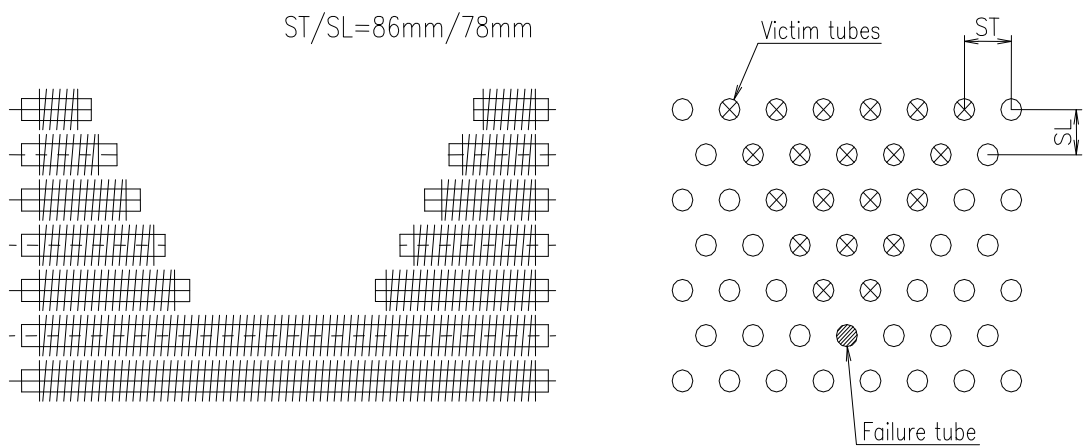




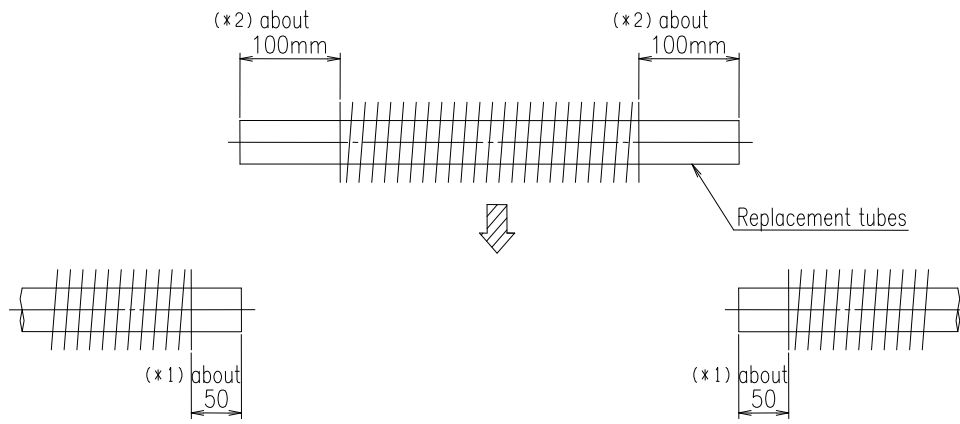
b. 確認失敗的爐管子。



c. 確認失敗的管子。

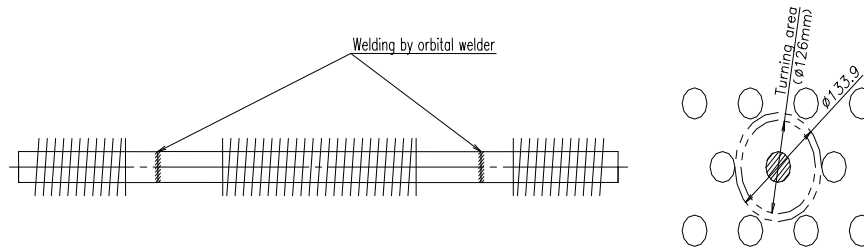


d. 修理失敗之管子

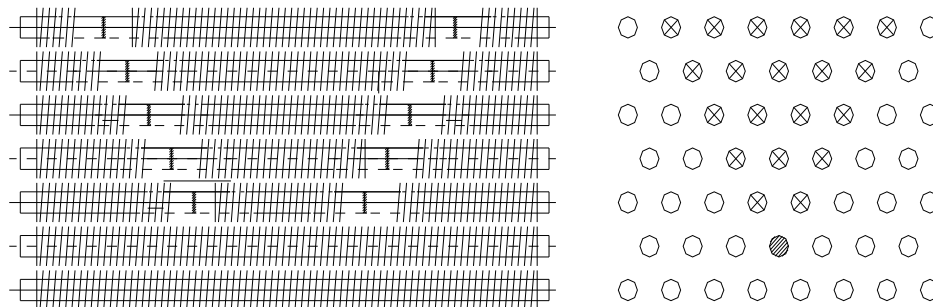


(將鱗管子端口整理並以替代管子更換失敗的管子。)

e. 換管子之焊接



f. 對被犧牲之管子作復原工作



### 7.1.6 管子支撐(檢查指引)

項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
a. 抗振動阻隔鈹 b. 管子支撐樑及鈹 c. 抗燃氣捷徑阻隔鈹 d. 熱樑 e. 集管器支撐	查核龜裂及變形。		每 2~4年 檢查1次	如有需要，修理或更換。
	查核腐蝕。	目視	每 2~4年 檢查1次	
	查核燒毀。	目視	每 2~4年 檢查1次	

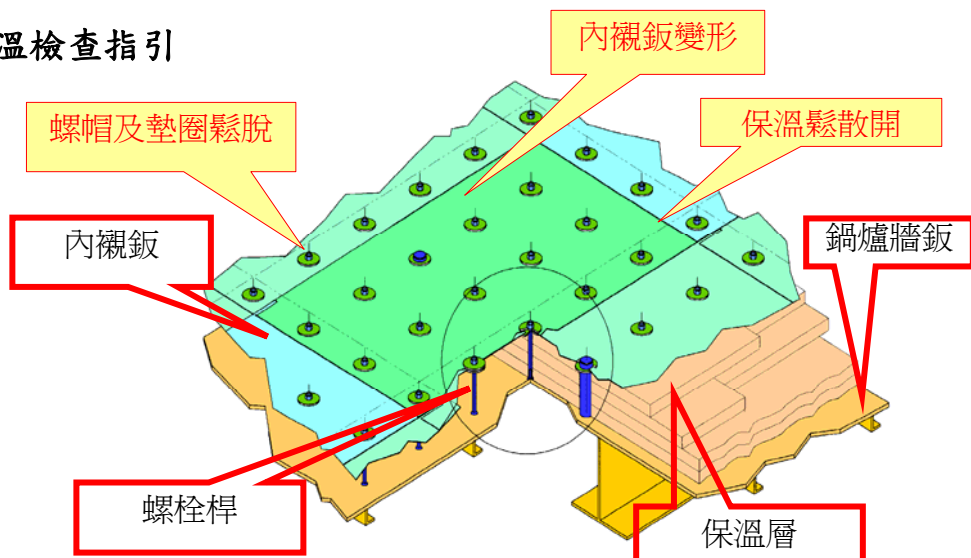
### 7.2 非壓力組件之維護保養：

鍋爐牆鈹、內襯鈹、保溫、膨脹接頭、燃氣風門擋鈹、吹灰器等。

#### 7.2.1 非壓力組件(檢查指引)

項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
鍋爐牆鈹塊	查核龜裂及變形。	目視	每年檢查	修理或更換保溫及牆鈹塊。
	查核燃氣洩漏。	目視	操作期間	
內襯鈹	查核龜裂及變形。	目視	每年檢查	修理或更換。
	查核保溫配件。	目視	每年檢查	重安裝保溫。
膨脹接頭 (金屬型)	查核褪色	目視	每年檢查	修理或更換保溫及膨脹接頭。
	查核燃氣洩漏。	目視	操作期間	

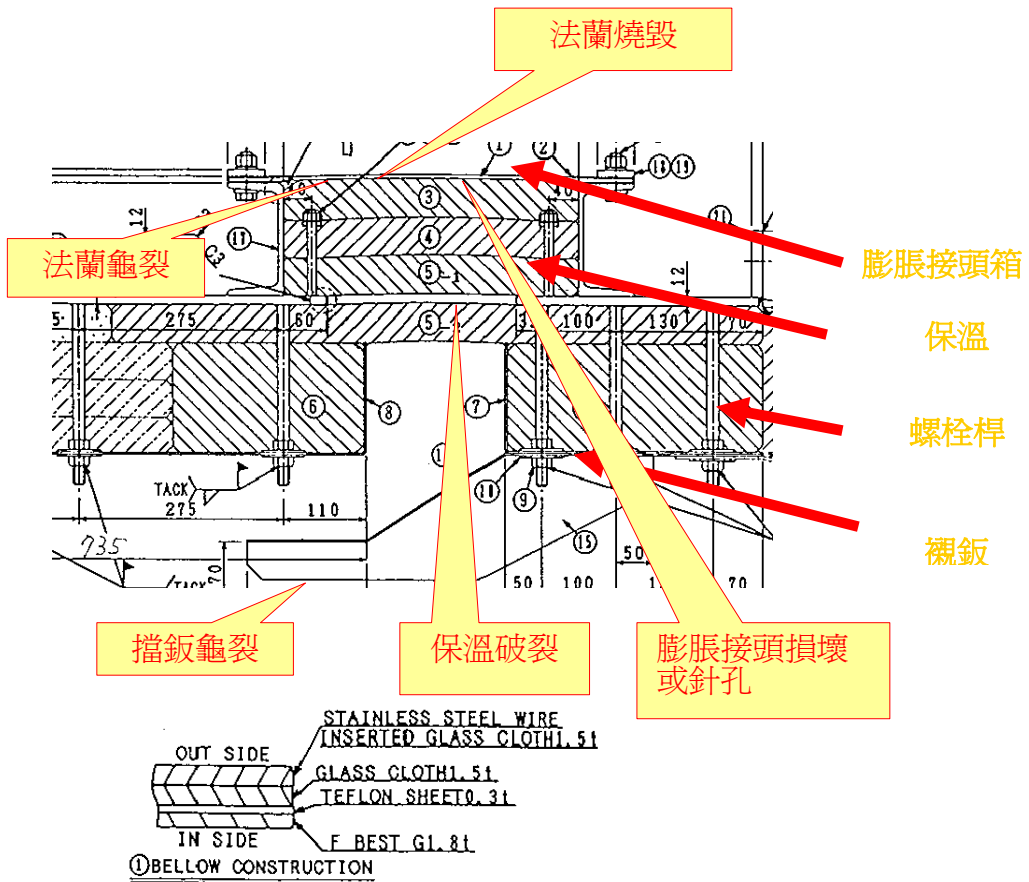
#### 7.2.2 內保溫檢查指引



### 7.2.3 非壓力組件(檢查指引)

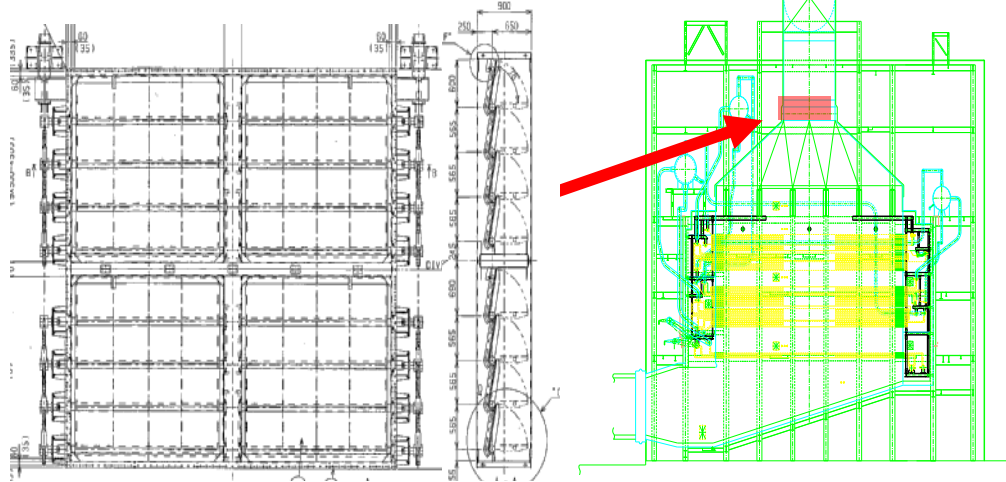
項目	檢查	方法	檢查頻率	處置
(a)膨脹接頭 (非金屬型)	查核龜裂及變形。	目視	每年檢查	修理或更換。
	查核燃氣洩漏	目視	操作期間	
	查核褪色	目視	每年檢查	查核內部保溫。
(b) 進出口阻風門	查核密封墊片損壞	目視	每次開啓	更換。
	查核內部保溫損壞。	目視	每次開啓	修理或更換。

(a)膨脹接頭(一般配置)檢查指引



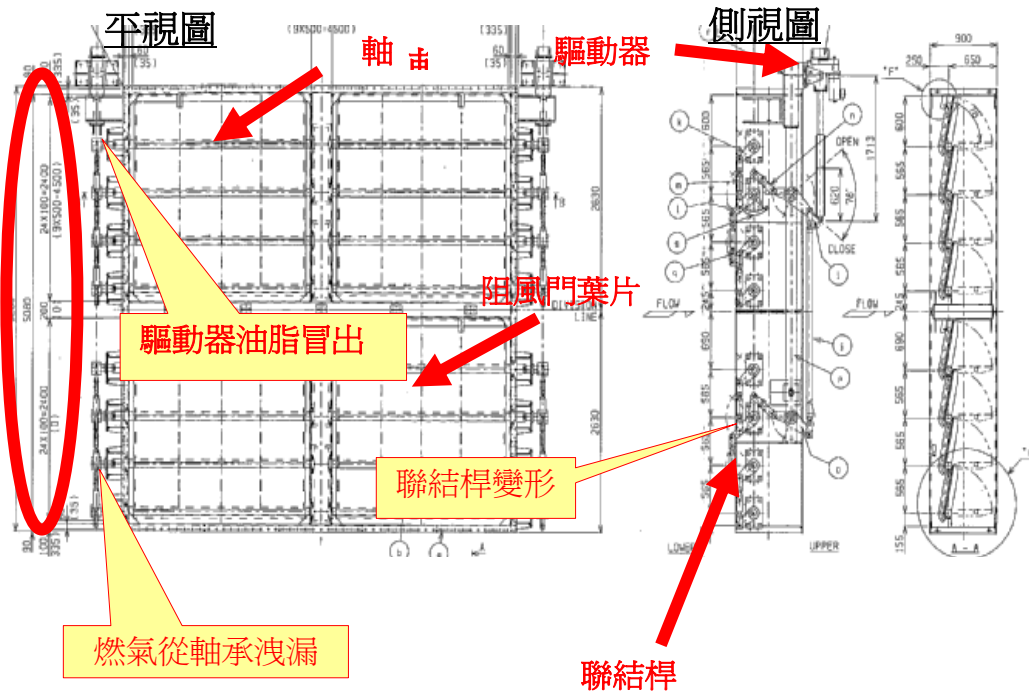
(b-1)熱回收鍋爐出口阻風門(一般配置)

- 摺翼式阻風門被提供。
- 熱回收鍋爐出口阻風門由16片摺翼組成。



項 目	檢 查	方 法	檢查頻率	處 置
出口阻風門	馬達驅動組操作測試	操作測試	每年檢查	調整或修理。
	查核阻風門框架、葉片、及聯接桿之變形	目視	每年檢查	
	查核軸承組件之燃氣洩漏	目視	每年檢查	更換軸承。
	查核密封墊片之變形	目視	每年檢查	更換密封墊片。

(b-2)熱回收鍋爐出口阻風門基本結構及檢查指引



三菱公司長崎タ-ビン 工場參訪照片(右1)

## 肆、結論與建議

- 一、本次奉派出國實習係依大潭複循環發電計畫案合約規定辦理，進行順利，除對專業素養有許多提升外，對廠家國家的人文、地理、及民情風俗亦有更進一步的體驗，對日後和廠家代表溝通上也有很大助益，海外訓練計畫值得繼續推行。
- 二、職本次赴製造廠家實習，接受熱回收鍋爐設計、安裝、運轉控制、維護保養等基礎訓練，有助於提升正進行之大潭複循環發電計畫熱回收鍋爐裝機品質、降低試運轉事故之發生，以及將來商轉後之維護保養工作正確執行。另透過在職授課等某種程度之經驗傳承，亦有助於爾後其他複循環發電計畫熱回收鍋爐設備之規劃、採購規範訂定等，使本公司執行合約更有利及避免採購到次級之產品。
- 三、大潭複循環發電計畫之熱回收鍋爐設備，三菱公司係採用垂直燃氣流式且自然循環之熱回收鍋爐。其相較於水平燃氣流式熱回收鍋爐，它具有構造較簡單、佔地較小、沖放水易於排放、爐管檢查時無需搭設鷹架而省工時及費用、熱應力低、且無需設置鍋爐循環水泵而具較高可靠度、省能及降低保養費等優點。
- 四、複循環發電計畫之工期，通常均為十分緊迫，而熱回收鍋爐各類組件繁多，為節省工地安裝工期並可有效控制安裝進度，**建議如下：**

於採購規範中規定熱回收鍋爐主要組件須以模組方式於工地外區域先行預組後，再行於工地現場直接吊裝，以縮短工期，減少材料置放場地及干涉，達成電廠如期商轉目標。
- 五、在實習期間觀摩三菱公司鍋爐設備製造工廠，其工安推行確實做得徹底，包括工廠環境的整潔、材料的整理整頓、預知危險的現場會議、吊裝作業的執行等都能按照作業標準程序來執行，實在值得我們在全力推動工安工作的同時，特別來思考除了上層的訓練、宣導、查核外，如何貫徹到現場第一線實為當務之急，**建議如下：**
  - (一)、特別要求本公司或承商現場領班(包括外勞領班)加強工安訓練及現場工作時落實執行工安危險預知的工作，以降低發生危險的風險。(因領班可掌控 90% 以上現場工作人員及機具的安全是別人無法取代做到的)。
  - (二)、另除現場主辦監工人員本身在執行工安工作外，另由專職工安人員於工地現場執行工安查檢工作(人數由各工地現場大小調整)，經這樣雙管齊下的機制才能隨時掌握工地現狀及變化，確保工作安全。因為在目前人員編制制度下(現場主辦監工人員平均每課約 1.5 人，其工作有-自行發包工作如下：發包、施工監造、報表、檢驗、抽查、抽驗、報告、進度控制、估驗、試車、開會、訓練、工安告知等；統包工作如下：施工監造、檢驗、抽查、抽驗、報告、進度控制、試車、開會、訓練、工安告知等)，在辦公室書面作業的時間幾乎佔了九成以上，實無法真正有效的來掌控現場的工作狀況及安全。
  - (三)、【工安要做好、現場要顧好；現場顧不好、神仙也難保】，在全面推動工安政策的同時，執行角度及方法上值得再進一步的檢討及深思。