

出國報告（出國類別：實習）

板式熱交換器維護技術

服務機關：台灣電力公司核一廠

姓名職稱：程維慶 工程師

派赴國家：日本

出國期間：101年06月04日至06月13日

報告日期：101年7月13日

目 錄	頁 次
一、出國目的	2
二、出國過程	3
三、研習心得	4~16
(一)、板式熱交換器簡介	
(二)、板式熱交換器功能特性	
(三)、板式熱交換器之維護	
(四)、本廠板式熱交換器配置與維護方式	
四、建議事項	17~18

一、出國目的

沸水式核能電廠，設置有燃料池，置放每次大修從反應爐內移出之使用過燃料元件。用過燃料元件仍會持續釋放出衰變熱，須靠燃料池冷卻系統持續移除其衰變熱量。

本廠燃料池冷卻系統原設置有兩具管殼式熱交換器，管側為燃料池水，殼側靠聯合廠房冷卻水系統(Combination Structure Cooling Water System,CSCW)冷卻，CSCW 系統本身之熱量，再透過管殼式之 CSCW 熱交換器，將其熱量交由海水冷卻。

本廠燃料再填換，常採全爐心燃料退出爐心方式，為提升公司績效，大修工期亦日趨縮短，另又需配合用過燃料池格架再更換，使原燃料池燃料元件貯存數增加至 3083 束之情況下，為提高燃料池冷卻系統熱交換容量及增加機組大修時餘熱移除系統之隔離維修彈性，並為符合法規及相關規定所要求之燃料池水溫度及冷卻系統設計準則與安全標準，近年增設一套使用冷卻水塔冷卻之新增燃料池冷卻系統。新設系統採用板式熱交換器進行熱交換。本廠對於此種新型熱交換器之維護技術較為欠缺，因此赴日本板式熱交換器之原製造廠家 HISAKA 公司實習此一型式熱交換器之維護技術，以提昇對於此型式熱交換器之熟悉度與維護技術，增進系統及機組運轉可靠性。

二、出國過程

101年06月04日 往程 (台北→大阪)

101年06月05日~101年06月12日

赴日本大阪，HISAKA 公司及其板式熱交換器製造組裝維護工廠進行實習。實習期間，HISAKA 公司安排參觀製造工廠，解說製造流程，包括設計、製造、組裝及水壓測試，並安排實習本廠所安裝類似型式之板式熱交換器之拆解、清洗、各部組件檢查檢測、回裝、回裝後測試等流程。於 HISAKA 廠內，也見到部份板式熱交換器送回原廠重新維修整備之情形。HISAKA 公司亦安排與該公司相關工程師討論研習此類熱交換器之安裝運轉與故障維護經驗。此行收集廠家相關維護資料，對本公司未來所有板式熱交換器之維護，提供經驗參考，以提昇熱交換器維護品質、減少故障，增進系統及機組運轉可靠性。

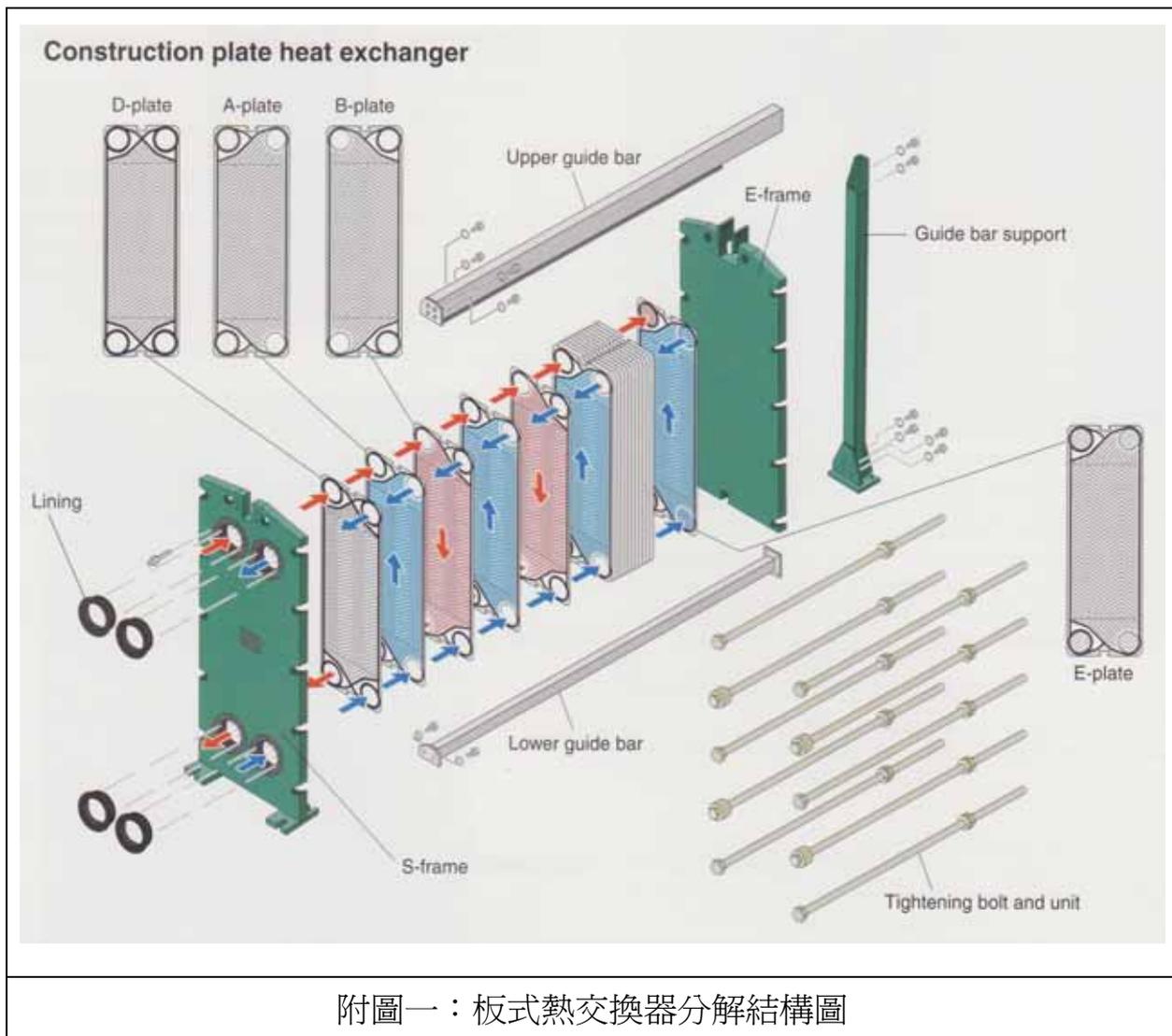
101年06月13日 返程 (大阪→台北)

三、研習心得

(一)、板式熱交換器簡介

板式熱交換器之熱交換部份由多片壓製成型之薄片金屬組成，材質為不銹鋼或鈦合金(Titanium)，其厚度依型式之不同，約為 0.5~1.0 mm，整組熱交換器之前後，由提供承受內部壓力之結構板塊 S-Frame 及 E-Frame 構成，上下端則有 Upper guide bar 及 Lower guide bar 做為板式熱交換器薄片金屬板片的上下定位軌道。板式熱交換器之熱交換板片，裝置時分為 A、B 板片，A、B 板片其構造相同但裝置時上下方向相反，各板片之外周溝槽安裝墊圈來密封流體。A、B 板片都可以有兩種使用方式，既可以當作 A 板片來使用，也可以將其上下顛倒當作 B 板片來使用，具有可相互替代性。需被冷卻之流體(例如用過燃料池水)與做為熱沉之流體(例如以冷卻水塔冷卻循環之 Raw water)，分別流經各板片之四個角落之下(上)方流孔進入板式熱交換器，再由上(下)方流孔流出。相鄰板片間的通道，則構成板式熱交換器的流體通道。較熱之流體與較冷之流體以反方向流動，藉以達到熱交換作用。另外，為避免流體與 S-Frame 及 E-Frame 接觸，板式熱交換器之第一片板片(D-Plate)安裝有雙重密封墊圈，使流體無法經由四角落流孔向下(或向上)流經波紋形槽口通道，最後一片板片(E-Plate)四角落流孔為盲封設計。

板式熱交換器之分解結構圖如附圖一。

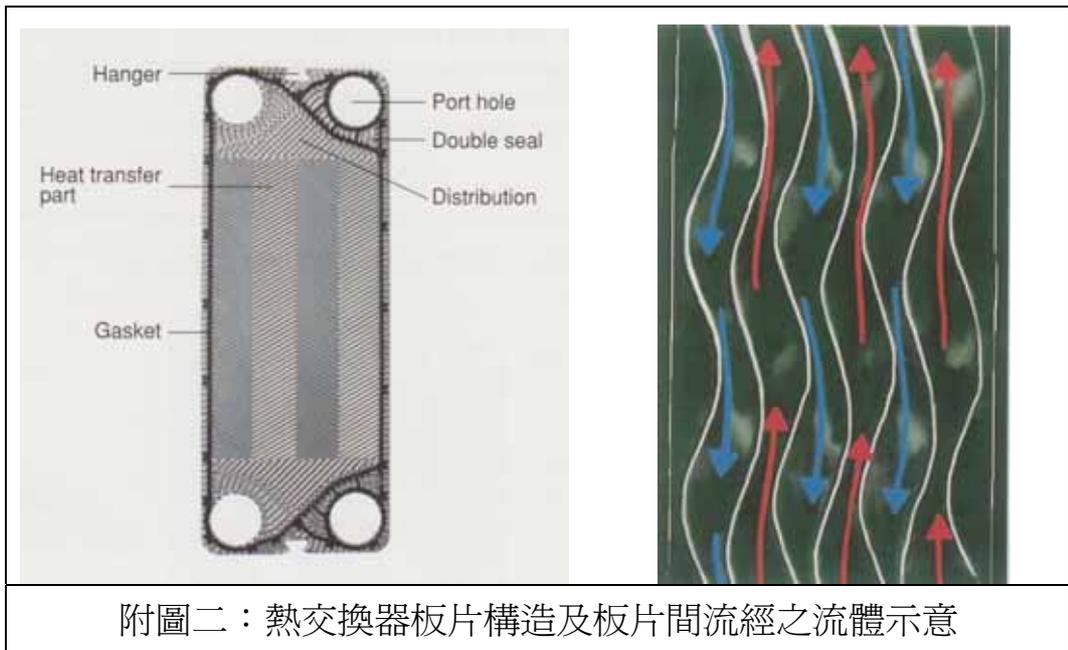


附圖一：板式熱交換器分解結構圖

(二)、板式熱交換器之功能特性

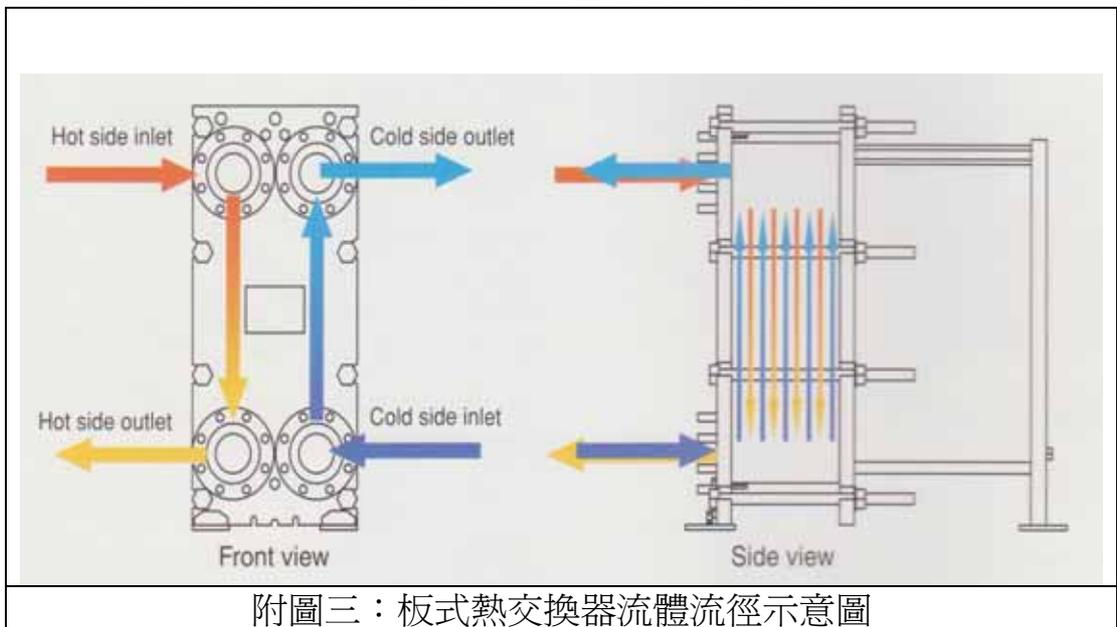
1. 熱交換板片設計：

板式熱交換器之板片由高壓壓床壓製成型，依設計所須功能之不同，其上有各種不同的花紋模式來增加其強度及熱交換面積。除此之外，位於熱交換器板片上之花紋，還可增加流經板片流體之紊流性，以提高熱交換之熱傳系數。板片之四角落則為流體進入(或流出)之流孔。板片外圍則以安裝於板片溝槽內之墊圈來緊密封。



2. 板式熱交換器流體流徑：

板式熱交換器之熱交換板片分爲 A 板片及 B 板片，A、B 板片之間之空隙則構成了板式熱交換器之流體通道。需被冷卻高溫流體與做爲熱沉之流體以相反方向交替流經各自之流體通道，並藉此來達到高熱傳系數之熱交換作用。HISAKA 公司所設計大部分型式板式熱交換器之 A 板片與 B 板片的構造及花紋皆相同，僅是裝置上之方向上下顛倒。板式熱交換器之整體流徑示意圖如圖三。

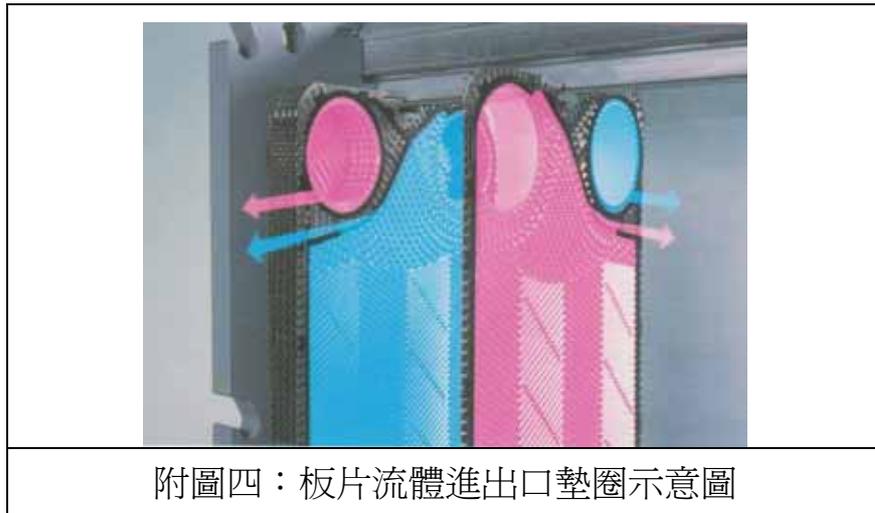


3.可應用於極低之溫差進行熱交換：

板式熱交換器之設計，運用冷熱流體逆向之流動，又藉由板片花紋產生紊流而得到很高之熱交換系數(約 $4000\sim 9000\text{ W/m}^2\cdot\text{°C}$)，使其可運用於冷熱流體間溫差小於 1 °C 之情形下進行熱交換。

4.使用雙重墊圈設計來防止冷熱流體相混合：

Hisaka 公司之板式熱交換器設計，冷熱流體間有兩道墊圈加以隔離，當一道墊圈出問題時，流體僅會向外漏出熱交換器本體，而不會造成冷熱流體混合，如附圖四。



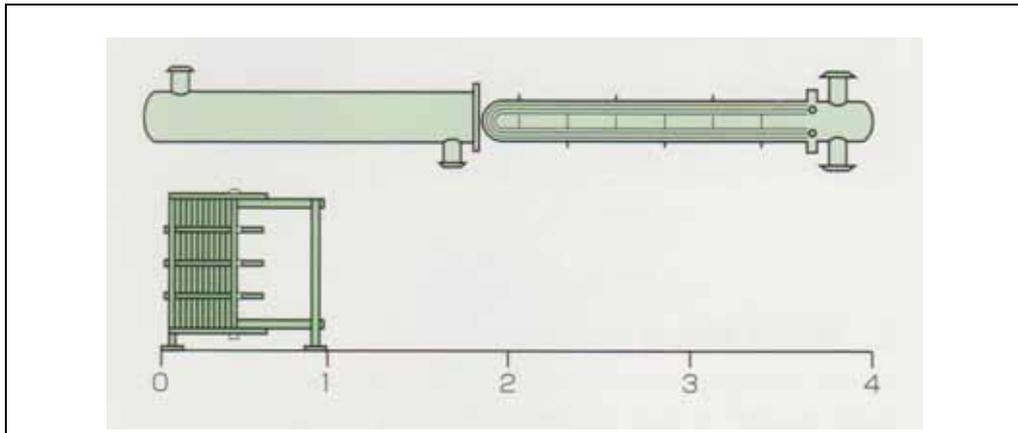
附圖四：板片流體進出口墊圈示意圖

5.可彈性調整運用之熱傳面積：

板式熱交換器之設計，可依據所須處理之熱容量的變化，彈性增加或減少熱交換器之板片數，適度改變其熱傳面積。

6.較小之安裝空間：

板式熱交換器具有高熱傳系數(約為一般管殼式熱交換器之 $3\sim 5$ 倍)，故可縮小所需安裝面積，且設備本身較為輕巧(約可為同容量管殼式之 $1/4$ 大小， $1/3$ 重)。其與傳統管殼式熱交換器之比較示意如附圖五。



附圖五：板式熱交換器與管殼式熱交換器大小比較示意圖

7. 快速啓用：

板式熱交換器內之流體儲存量較少，故可快速起動運轉。

(三)、板式熱交換器之維護技術

1. 板式熱交換器於使用過程中，可能發生之故障如下表：

現象	故障種類	可能原因/排除方式
性能降低	熱傳性能降低	板片表面上結有水垢/清理熱交換板片
	流動性能降低	流體通道阻塞或板片表面結有水垢/清理熱交換器
流體洩漏	從板片墊圈處洩漏	墊圈緊度不足、墊圈損傷或劣化、板片墊圈溝槽腐蝕、板片裝置排列錯誤、墊圈密封面存有異物、墊圈扭曲或疊置/排除故障原因、更換墊圈或板片
	從 S-frame 處洩漏	D-plate 墊圈、D-plate 本體、管路進口墊圈或管嘴本體損壞/更換損壞之零件
	從 E-frame 處洩漏	E-流孔墊圈、E-plate 本體損壞/更換損壞之零件
冷熱流體混合		熱交換器內部板片可能因腐蝕或損壞而穿孔/更換損壞之板片

2. 板式熱交換器板片間墊圈之使用壽命：

於 70°C 之溫度以下使用，墊圈之平均使用壽命為 5~7 年(本廠所用型式，廠家建議之

墊圈使用壽命為 10 年)，故廠家建議於使用大約 5 年之後準備備用品。

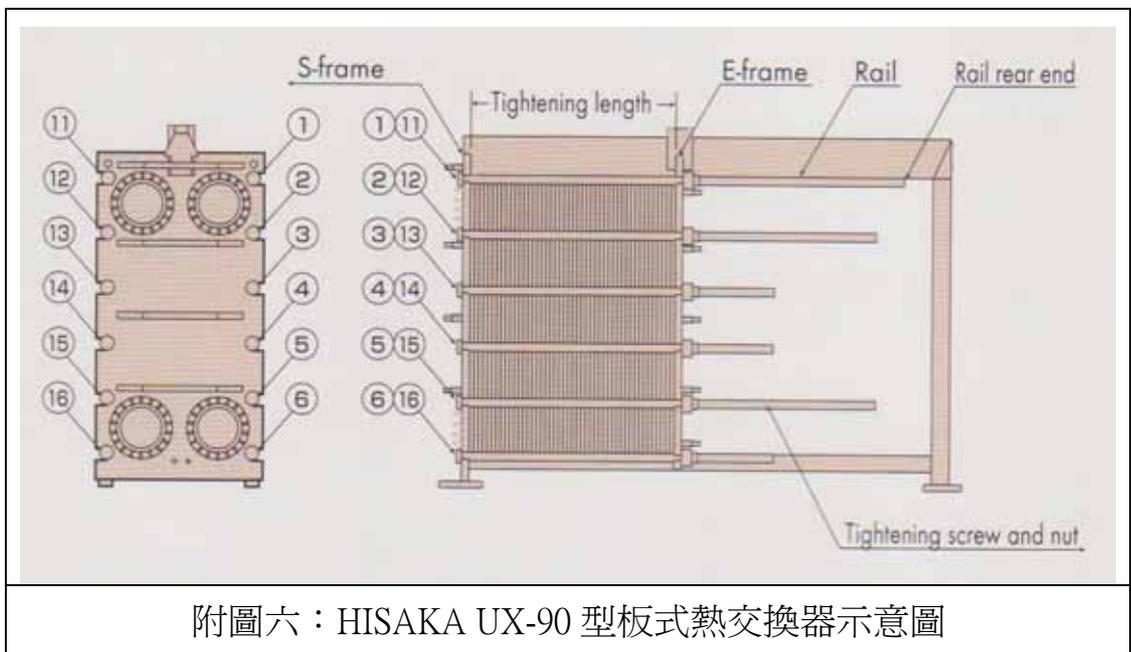
3.使用中發生洩漏時應採取之對策：

- (1)如果是因墊圈老化磨損所引起之洩漏，可透過更進一步的鎖緊板片(熱交換器標示牌上之鎖緊尺寸以內)，做為應急措施。但若鎖緊後仍然洩漏時，則須更換墊圈。
- (2)如果是熱交換器熱交換板片本身穿孔洩漏，可把穿孔之板片連同其前一片或後一片之板片一同抽出即可暫時修復恢復運轉，待適當時機更換板片。

4.板式熱交換器之大修、清洗、重新組裝作業說明(以 HISAKA UX-90 型如附圖六為例)：

所需工時：約 12 小時

所需人力：6 人



附圖六：HISAKA UX-90 型板式熱交換器示意圖

作業名稱	步驟	作業內容
拆卸作業 工作人員：2 人 替換人員：4 人 需要時間：1 小時 30 分 累計時間：1 小時 30 分	1	轉鬆螺帽，卸下螺栓 1、16、11、6
	2	同時鬆開螺帽 2、15 20mm
	3	同時鬆開螺帽 5、12 20mm
	4	同時鬆開螺帽 3、14 20mm
	5	同時鬆開螺帽 4、13 20mm
	6	鬆開 3、4、13、14 全部螺帽後，保留螺栓 2、5、12、15，卸下螺栓 3、4、13、14

	7	同時鬆開螺帽 2、15 20mm
	8	同時鬆開螺帽 5、12 20mm
	9	重複步驟 7 及 8、直到螺栓全部拆下
	10	卸下所有螺栓後，移動 E-frame 至橫桿後端 ※當 E-plate 黏附 E-frame 時，須小心將其分離後在移動，並注意防止 E-plate 變型。
清洗作業 工作人員：3 人 替換人員：3 人 需要時間：6 小時 累計時間：7 小時 30 分	1	把一片熱交換板片移到 E-frame 側
	2	洗去附著在熱交換板片兩面的污垢
	3	藉由水洗方式無法完全去除污垢時，用刷子刷掉後再用水沖
	4	將已除去污垢的熱交換板片移到 E-frame 側
	5	重複步驟 1~4，直到完成所有熱交換板片的清洗
清洗檢查作業 工作人員：2 人 替換人員：4 人 需要時間：2 小時 累計時間：9 小時 30 分	1	把一片熱交換板片移到 S-frame 側
	2	檢查墊圈表面及熱交換板片溝槽內是否附有灰塵、藻類、沙粒、貝類等，以及墊圈是否從導熱板片脫離
	3	如有雜物附著，請用擦拭材料擦去；如果墊圈有脫離現象，需用黏合劑重新固定
	4	將擦乾淨的熱交換板片移到 S-frame 機架側
	5	重複步驟 1~4，直到完成所有熱交換板片的清洗
組裝作業 工作人員：2 人 替換人員：4 人 需要時間：2 小時 30 累計時間：12 小時	1	將所有螺栓塗上潤滑油脂
	2	把 2、5、12、15 的螺栓安裝到機架上
	3	轉動 2、5、12、15 位置的螺帽，以均勻的調整鎖緊尺寸
	4	同時鎖緊螺帽 2、15 5mm
	5	同時鎖緊螺帽 5、12 5mm
	6	重複步驟 4、5 直至完全鎖緊
	7	把螺栓 3、4、13、14 安裝到機架上
	8	轉動 3、4、13、14 螺栓位置的螺帽，以均勻的調整鎖緊尺寸
	9	同時鎖緊螺帽 3、14 5mm
	10	同時鎖緊螺帽 4、13 5mm
	11	重複步驟 9、10 直至完全鎖緊
	12	重複步驟 4~11，直到把螺帽鎖至規定的鎖緊尺寸 +20mm
	13	把 1、16、11、6 的螺栓安裝到機架上
	14	同時鎖緊螺帽 1、16 5mm
	15	同時鎖緊螺帽 11、6 5mm
	16	把 1、16、11、6 螺栓位置上的螺帽鎖至規定的鎖緊尺寸 +20mm
	17	重複步驟 4~11、14~15，直到把螺帽鎖至規定的鎖緊尺寸

5. 原廠板式熱交換器之再整新過程：

HISAKA 公司對於送返原廠進行整新之板式熱交換器的原廠維修整新過程，其進行整新之流程大致如下：

(1) 分解：

對於送返原廠整新之板式熱交換器，先進行外觀目視檢查後，即開始拆解作業，開始進行其總體維修保養作業。



(2) 預清洗作業：

分解後，對熱交換器板片以高壓水柱進行預清洗，去除附著在板片上之泥土、渣粒等異物。



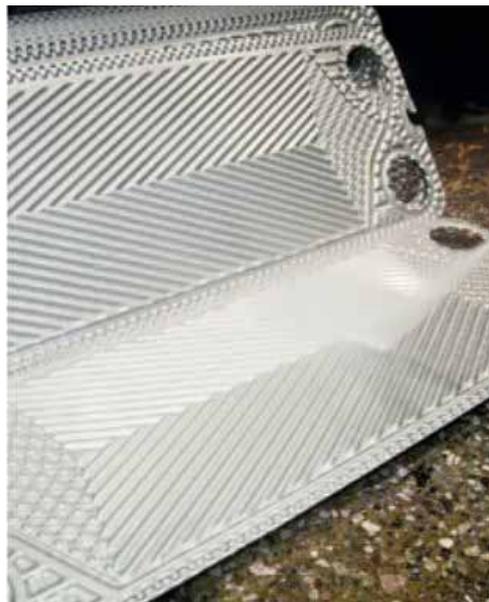
(3)脫脂槽、洗淨槽浸漬作業：

視熱交換板片上之沉積物質，進行熱水槽、酸槽、鹼槽之浸泡作業，去除附著在經預清洗後熱交換板片上的油脂和水鏽，此步驟時，以黏著劑安裝在熱交換板片上的密封墊圈也會剝落，殘留的黏著劑也會被洗淨。



(4)洗淨作業：

經浸漬作業之後的熱交換板片，可在短時間內將頑固附著之污垢浮離板片表面，此後再以高壓水柱清洗，徹底完成清洗作業。



(5)PT 檢查：

清洗完成之熱交換板片，再以目視及非破壞檢測之液滲檢測法(PT)進行檢測，確認板片表面有無裂痕或穿孔。



(6)熱交換板片墊圈黏貼作業：

熱交換板片整新清理結束後，安裝新的密封墊圈，安裝時並需注意墊圈有無破裂和脫落，並正確迅速的進行安裝作業。



(7) 框架整修作業：

框架本身牢靠的固定熱交換板片，故其整修亦為十分重要之工作，本步驟根據其劣化之狀況，進行管嘴部分之檢修及螺栓、螺帽之更換。



(8) 組裝作業：

將已整新完成之熱交換板片，懸掛於已整新完成之框架上，同時仔細檢查熱交換板片裝置及密封墊圈有無異狀，再以專用緊固裝置將主體緊固至規定之緊固尺寸。

(HISAKA 原廠備有專用之自動油壓拉伸裝置，可快速且均勻的將板片壓縮緊固至接近緊固尺寸，而非以(三).4 節”組裝作業”所述之人工方式，以對角對稱之方式

逐級鎖



固。

(9)氣壓試驗：

組裝作業完成後，將進行氣壓試驗，在一側維持一定之空氣壓力，再以肥皂水膜確認是否貫穿到另一側。



(10)完成檢查：

完成所有工作之後，加壓至規定之壓力，確認沒有任何洩漏。



(四)、本廠板式熱交換器配置與維護方式

1.本廠新增燃料池冷卻系統配置：

本系統一、二號機各自設置，一次側（燃料池水）之設備置於聯合結構間四樓（E

L : 110 F T) 東南側，二次側（冷卻水塔）之設備則置於H V A C室屋頂（ E L : 110 F T)。系統之一次側為安全有關，且耐震一級之系統。熱移除能力（每串）：燃料池水溫在 125°F時為 16.2×10^6 Btu/Hr，燃料池水溫在 140°F時為 24.3×10^6 Btu/Hr，燃料池水溫在 150°F時為 29.7×10^6 Btu/Hr。系統一次側流量為 1200GPM，二次側流量為 1400 GPM。

為免二次側之冷卻水受到一次側之污染，設計上，在熱交換器之進出口處一、二次側間有 20PSI 之壓差，以確保在熱交換器內任何一點二次側之壓力均高於一次側，防止洩漏發生時，水均由二次側往一次側流，而不致洩入環境中，且於二次側管路上裝設有一組線上輻射偵測器。

二次側之冷卻水，在冷卻水塔內與空氣直接接觸，且用生水(Raw Water)補水，因此加裝可自動逆洗之砂濾器系統，以移除水中之雜質及微生物。砂濾器濾材以石英砂為主，流量為 70GPM，濾淨效果可達 $5 \mu\text{m}$ 。

2.本廠新增增燃料池冷卻系統板式熱交換器之維護方式

本廠新增燃料池冷卻系統之板式熱交換器，隨著使用時間的增加，在冷卻水側之差壓有逐漸上升之現象，原因可預期為板式熱交換器內部熱交換板片之冷卻水側已有泥土、髒汙、水鏽之沉積而影響冷卻水之流動及熱交換器之性能。HISAKA 公司對於板式熱交換器之清洗，僅建議以拆開沖洗或刷洗之方式清理，並無提供任何可線上清理之方式。由於本廠之該熱交換器之配置使用情形為熱交換器其中一側為有輻射污染之燃料池水，另一側為以冷卻水塔透過空氣散熱冷卻之無污染水源，對於一側有輻射污染之板式熱交換器，日本 HISAKA 原廠亦無相關之拆解清洗經驗。考量清洗時工作人員之劑量及如何避免污染物質與清潔側之隔離問題，據 HISAKA 公司所稱，日本當地對於輻射污染之板式熱交換器是採直接換新之方式來處理，不進行任何的拆解清潔動作，HISAKA 公司亦建議本廠以同樣之方式處理。本廠目前正對新增燃料池冷卻系統現有之板式熱交換器進行更換工作，更換下之板式熱交換器採取暫存之方式儲存，將視日後相關技術之進展，伺機做進一步之處理再利用。

四、建議事項

(一)、可考慮增設一組板式熱交換器，降低風險：

日本在發生 311 福島核電廠事故之後，對於輻射外洩可能造成對居民健康及環境的影響，顯得格外的重視。本廠目前新增燃料池的板式熱交換器配置使用情形，一側為被冷卻的用過燃料池水，另一側為直接暴露在環境中的冷卻水塔循環水源來做冷卻。這樣的配置方式，在日本 HISAKA 公司的眼光看來，具有相當的風險性，因為如果一旦板式熱交換器內部的板片發生腐蝕穿孔，或是板片間的 GASKET 裂化而有洩漏，可能導致用過燃料池側的水源洩漏至冷卻水塔冷卻水源側，並將導致冷卻水塔冷卻水源側的所有設備受到污染，且帶輻射物質將直接暴露散布於環境之中。據 HISAKA 公司人員表示，日本電廠使用板式熱交換器來冷卻帶輻射之水源時，通常使用密閉循環之類似本廠 CSCW 系統之水源來做為熱沉，或是以二次熱交換之方式，先經由第一只熱交換器以密閉循環之水源來冷卻帶有輻射污染之水源，再經由第二只熱交換器，以冷卻水塔或是循環海水之方式來帶走清潔側密閉循環水源之熱量。

本廠新增燃料池冷卻系統，為免二次側之冷卻水受到一次側之污染，設計上，在熱交換器之進出口處一、二次側間有 20PSI 之壓差，以確保在熱交換器內任何一點二次側之壓力均高於一次側，萬一洩漏發生時，水均由二次側往一次側流，而不致洩入環境中，且於二次側管路上裝設一線上輻射偵測器進行線上監測。本廠之設置，對於 HISAKA 公司之疑慮，應已有初步的防範，但如果洩漏發生於該系統未運轉期間，或是系統運轉差壓有異常之情況之下，仍有可能造成二次側設備污染及隨之透過冷卻水塔將輻射外釋的風險。故建議可評估以本廠目前的空間限制及剩餘運轉年限，再設置一組板式熱交換器之必要性與可行性，以二次熱交換之方式，徹底防範發生以上所述問題之可能性。

(二)、於熱交換器本體增設可清洗過濾器：

HISAKA 公司廠內，對於板式熱交換器本體，有裝設本體內部過濾網之設計。其配置為於 E-frame 之下方，與流體流孔相對位置處，開

一孔洞，於其內裝置可抽換之過濾網，再以盲法蘭盲封，本廠其它使用板式熱交換器之處，若有運轉中流體性能降低之問題，而系統流程並未配置有過濾系統，應可參考其設計改裝。



(三)、評估購置組裝方式之專用機具：

HISAKA 公司原廠對於板式熱交換器之組裝方式，是以可調整位置之油壓拉伸機具以油壓拉伸方式直接對如附圖六之 2、5、12、15 號螺栓位置均勻的拉伸螺栓，以壓緊所有熱交換板片至約略之緊固位置，再安裝其它螺栓，將整組熱交換器鎖至所要求之壓縮量距離。本廠新增燃料池系統之板式熱交換器目前雖無拆解後重新安裝之經驗，但本廠飼水加氫系統之氫氣電解系統亦有使用板式熱交換器，根據該熱交換器之拆解安裝經驗，若對逐根螺栓以對稱方式逐根鎖緊之方法安裝，由於在鎖緊之過程中，板片可能承受不斷小量變型之過程，因此安裝之後容易產生洩漏之問題，故日後若本廠有較多之板式熱交換器需拆解、清理、重新安裝，可考慮購置通用螺栓油壓拉伸機具之必要性，以利板式熱交換器之組裝作業。