

# 逆向思考之冰水系統 熱交換器節能設計

報告人：王世民

作者：王世民、連上舜

台灣積體電路製造股份有限公司 三廠廠務部

# 內容大綱

- 前言
- 基本熱傳原理
- 問題描述與現況掌握
- 冰水系統之逆向思維
- 節能評估與實驗分析
- 板式熱交換器汰換工程
- 結果與討論
- 結論

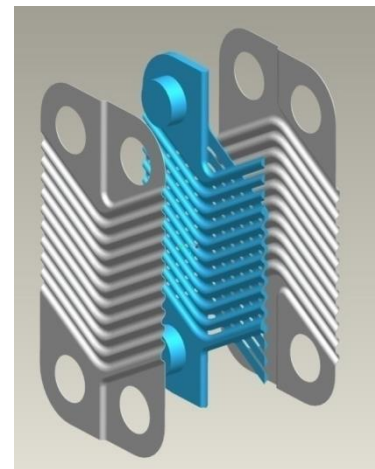
# 前言

## ● 板式熱交換器性能說明

- 熱傳及壓差性能取決於板片的設計
- 板片衝壓製成波浪狀的山形紋路，增加流體運行間之紊流程度

## ● 提升熱交換性能方法

- 增加熱交換器的表面積
- 採用高導熱材料或紋路製作熱交換器
- 提升工作流體的流量
- 採用高導熱的工作流體



# 基本熱傳原理

- 用來使熱量從**熱流體**傳遞到**冷流體**，以滿足規定系統要求的裝置，是對流傳熱及熱傳導的一種工業應用。

- 熱傳遞可包含以下三種方式

- 熱傳導與Fourier's law
- 熱對流與Newton's law of cooling
- 熱輻射與Stefan-Boltzmann law

$$q = k \frac{\Delta T}{\Delta X}$$

$$Q = hA\Delta T$$

$$Q = \epsilon\sigma T^4$$

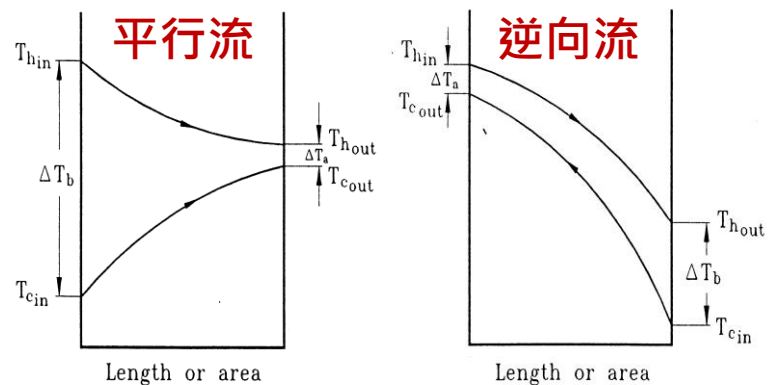
# 基本熱傳原理

## ● LMTD method

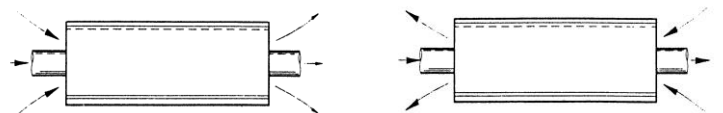
硬體改善方向

$$\begin{aligned} \text{熱傳方程式: } Q &= U \times A \times \Delta T_m \times F \\ &= Q_2 \times C_p \times \Delta T_2 \end{aligned}$$

$$\text{對數平均溫差: } \Delta T_m = LMTD = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)}$$



※Q:熱傳量、U:總熱傳係數、A:熱傳面積、 $\Delta T_m$ :對數平均溫差、  
F:溫差校正因子、 $Q_2$ :冷側流量、 $C_p$ :水比熱、 $\Delta T_2$ :冷側溫差

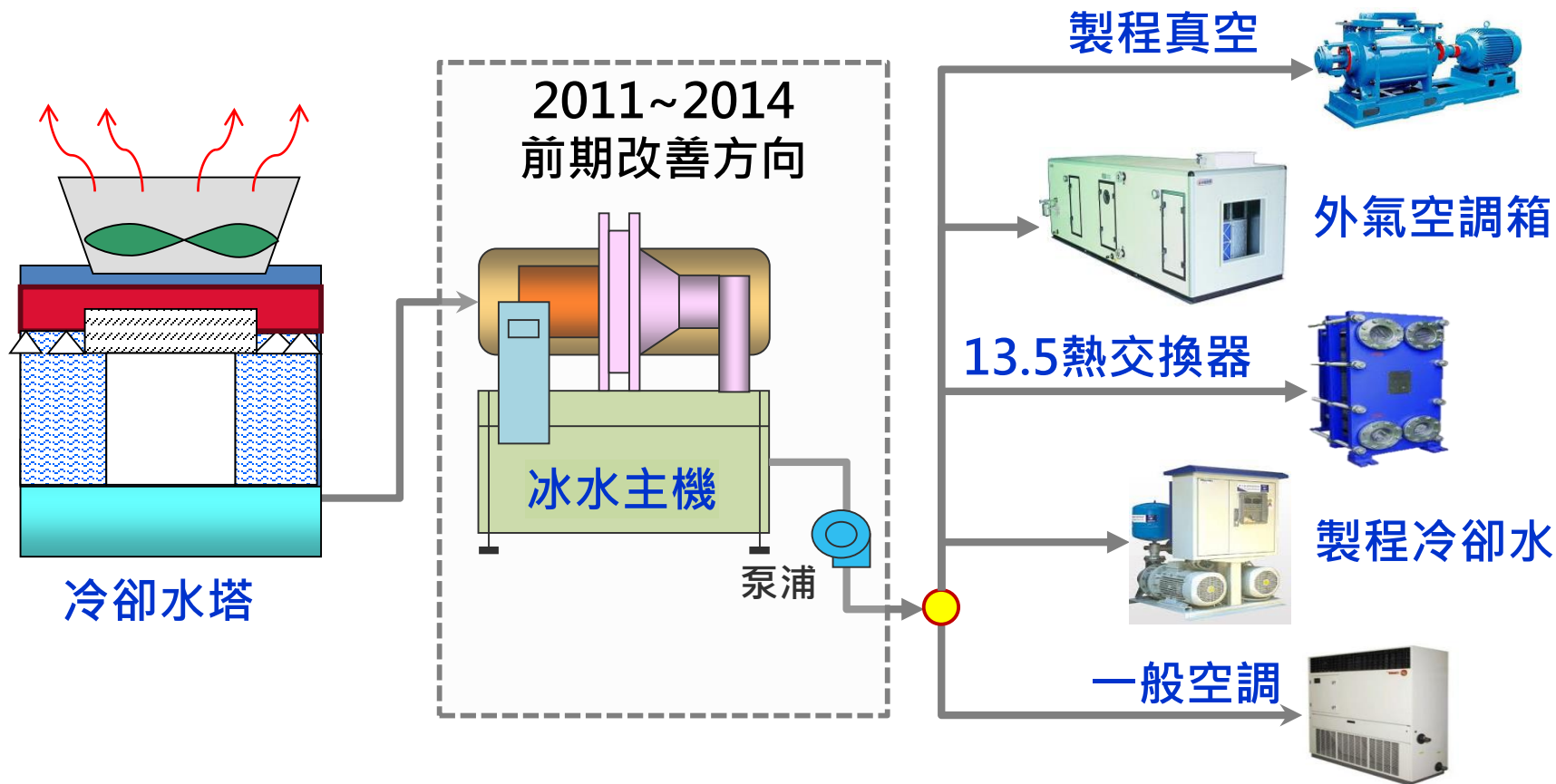


# 問題描述與現況掌握

## ● 3W1H 現況分析

【Where】 節能改善機會在哪裡？

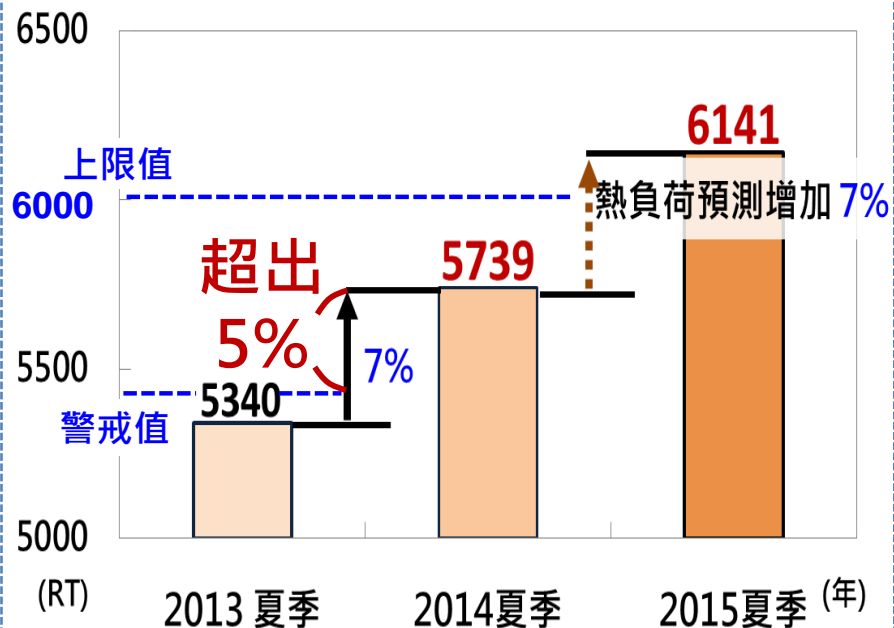
### 冰水系統流程及熱負荷分布圖



# 問題描述與現況掌握

## 【When】什麼時候要完成？

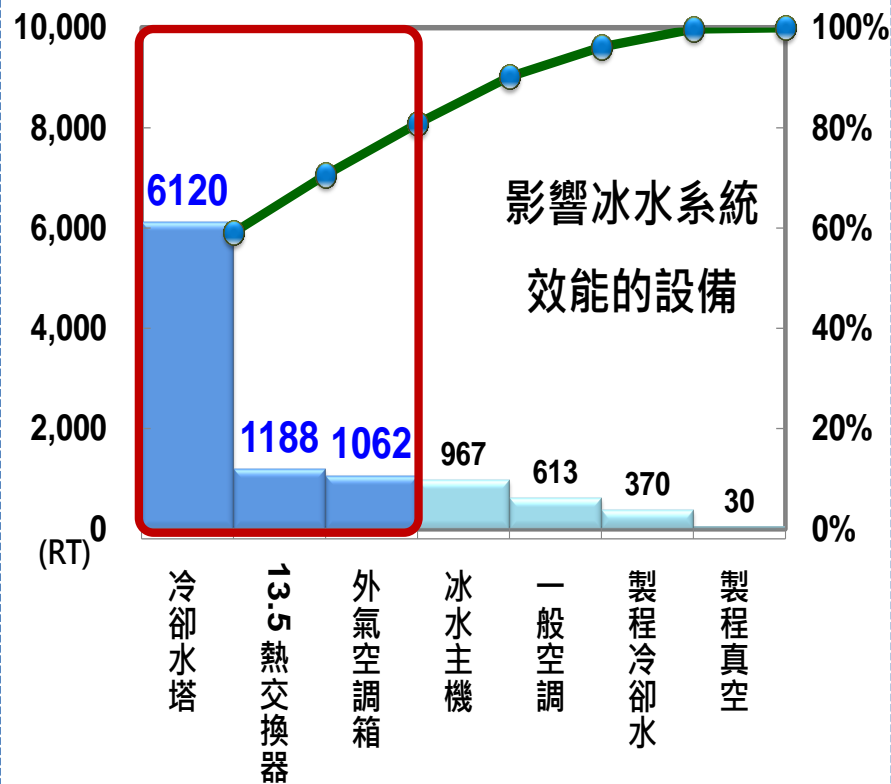
- Y2014最大熱負荷超出警戒**5%**
- 預測Y2015熱負荷將達**6141RT**



資料時間: 2013夏季~2014夏季

## 【What】什麼影響冰水效能？

- 冰水系統熱負荷主要為冷卻水塔、**13.5熱交換器**及外氣空調箱



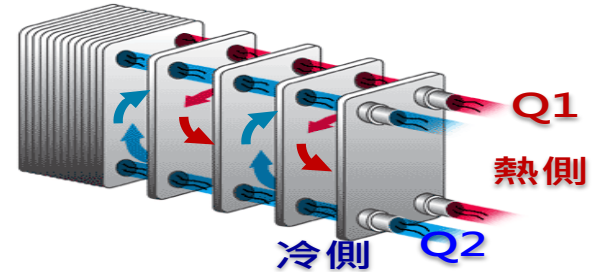
資料時間: 2013夏季~2014夏季

# 冰水系統逆向思維

- 目標：提高熱交換器設備效能

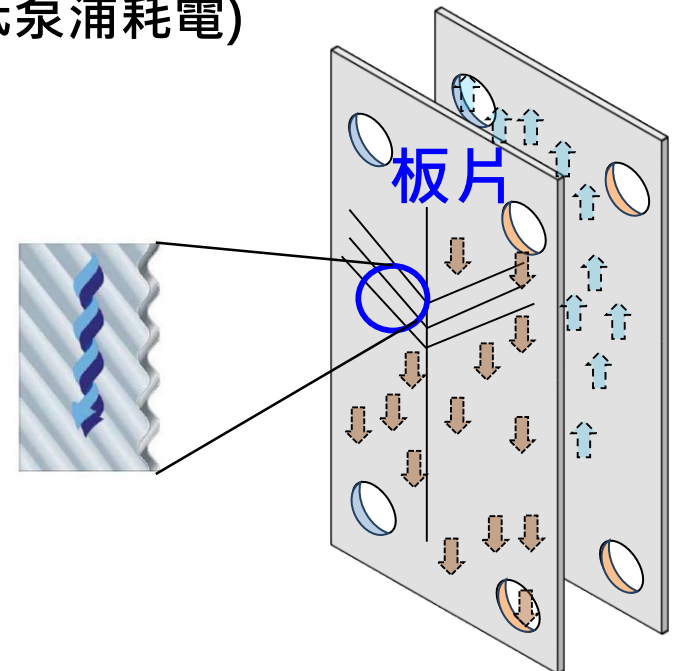
## 【Plan-1】對策擬定

$$\text{設備效能} = \frac{\text{(效能提升望大)} \quad Q1 \times \Delta T2 \quad \text{(冷側溫差)}}{\text{(冷側流量)} \quad Q2 \times \Delta T1}$$



- 提高熱交換器效能 → 降低冷側冰水流量(降低泵浦耗電)

$$\begin{aligned} \text{熱傳方程式: } Q &= U \times A \times \Delta T_m \times F \\ &= Q2 \times C_p \times \Delta T2 \end{aligned}$$



- 方法1：選擇低壓損板片 → 降低流量
- 方法2：增加板熱數量 → 提高溫差

# 節能評估

## ● 評估投資回收年限

### 【Plan-2】分析清洗或更換設備效益

- 清洗HEX需**4.2**年回收，更換HEX需**2.1**年回收

項目 \ 設備	原運轉HEX	清洗HEX	更換HEX
運轉流量 (CMH)	514	431	250
實際 $\Delta T$	3.1	3.7	12
用電量 (kW)	75.0	62.9	36.5
節能量 (kW)		12	39
節省效益 (NT\$)		287,996	911,297
Initial cost (NT\$)		1,200,000	1,920,000
Running cost (NT\$)	1,774,595	1,486,599	863,298
Payback(Yrs.)		<b>4.2</b>	<b>2.1</b>

# 實驗分析

## ● 挑選低阻抗大面積板片

### 【Do-1】重新設計板熱參數

- 總熱傳係數不變，熱傳面積增加24%，阻抗降低50%

機型	熱側溫差 (°C)	冷側溫差 (°C)	總熱傳係數 (W/m <sup>2</sup> *K)	熱傳面積 (m <sup>2</sup> )	板片阻抗 (kPa)
<b>原機型</b>	<b>5.5</b>	<b>3.7</b>	<b>2770</b>	<b>141.7</b>	<b>100</b>
A	6.7	5.5	3418	112.2	41~50
B	6	6.5	3535	113.1	42~50
C	4.9	5	2304	166.4	39
D	6.5	8	3581	118.2	33~49
<b>新機型</b>	<b>8.6</b>	<b>12</b>	<b>2764</b>	<b>175.2</b>	<b>26~49</b>

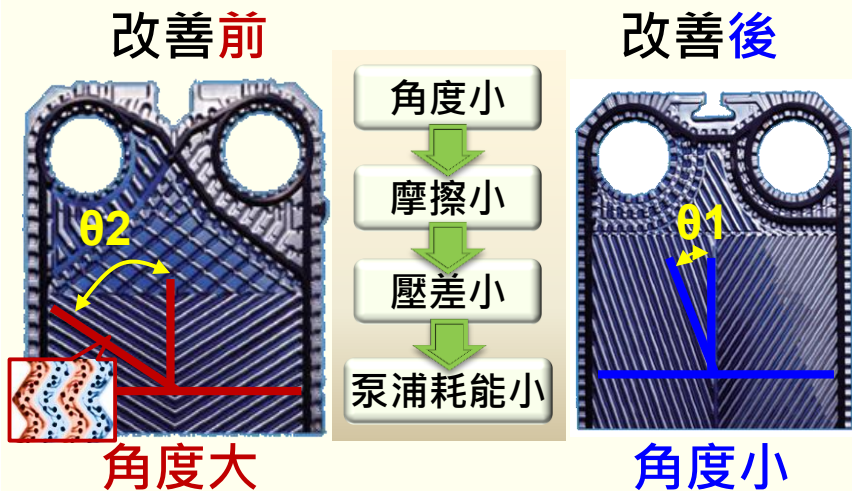
# 實驗分析

## ● 調整山形紋角度與板片數量

### 【Do-2】 角度減小，流速降低

#### ■ 說明：流道角度小，壓差小

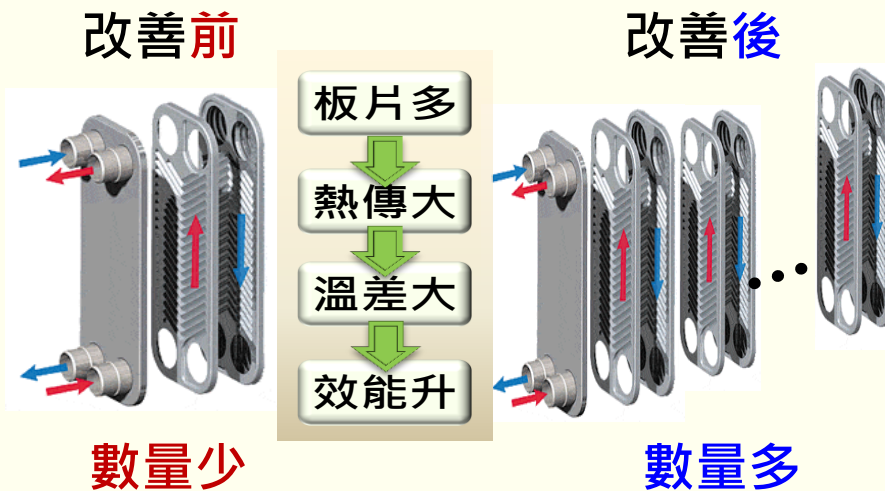
- ✓ 降低3倍山形紋角度，減少摩擦
- ✓ 摩擦小，壓差減小50%



### 【Do-2】 板片重疊，面積增加

#### ■ 說明：面積增加，效能提升

- ✓ 增加40片，提升熱傳面積24%

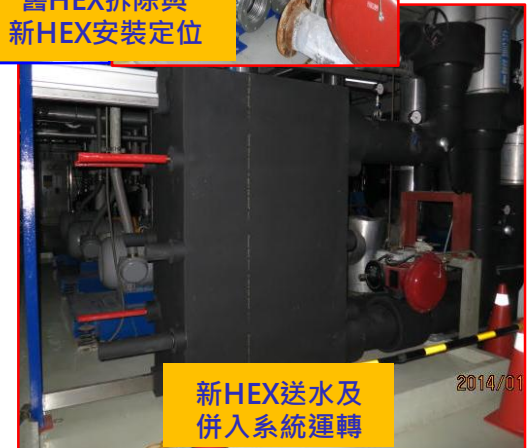
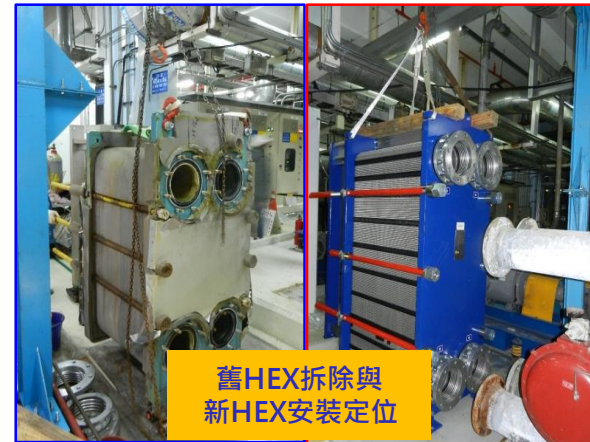
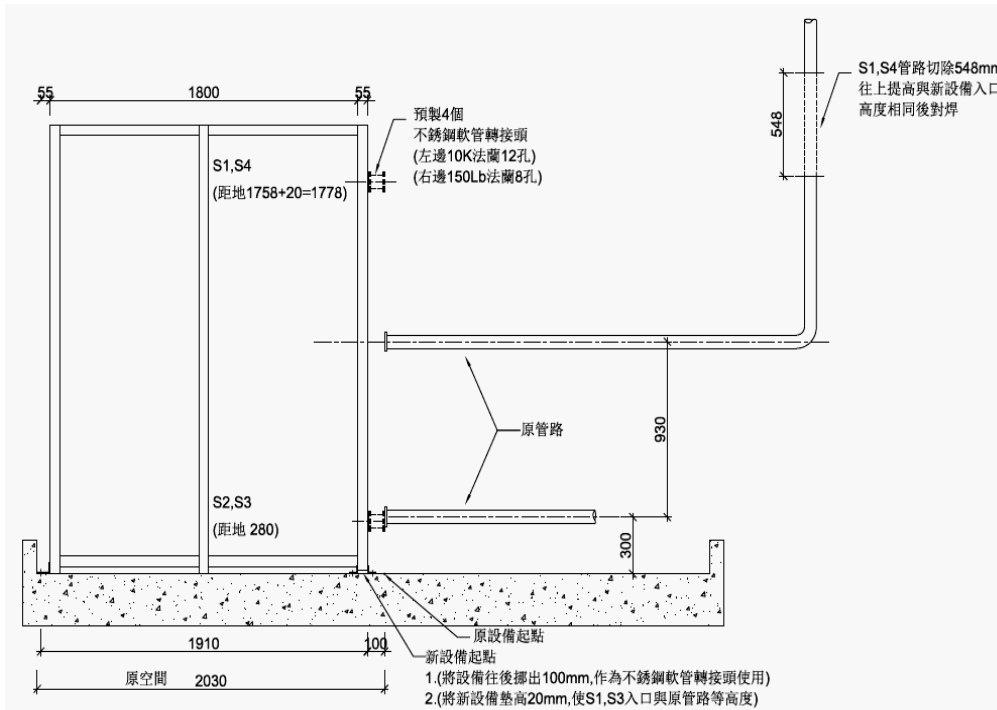


# 板式熱交換器汰換工程

- 歲休12小時內完成

## 【Do-3】更新板式熱交換器

- 拆除舊熱交換器、洩壓排水
- 新熱交換器安裝定位、管路焊接、  
焊道測試、試水試壓及保溫施作



# 結果與討論

## ● 更新成大溫差低阻抗設備

### 【Check-1】 確認數據，量測驗證

- 冷側溫差提升**11.34°C**
- 壓損降低**50%**

項目 狀態	流體 工作溫度	流量 (CMH)	開度 (%)	泵浦頻率 (Hz)	入口溫度 (°C)	出口溫度 (°C)	溫差(°C)	壓損 (kg/cm2)
新熱交換器 (施工前)	4.5	356	64	NA	4.81	7.92	3.11	1.8
	13.5	169	NA	40	20.8	13.7	7.1	1
新熱交換器 (施工後)	4.5	55	17	NA	4.77	19.22	14.45	1.8
	13.5	117	NA	40	20.85	13.73	7.12	0.5

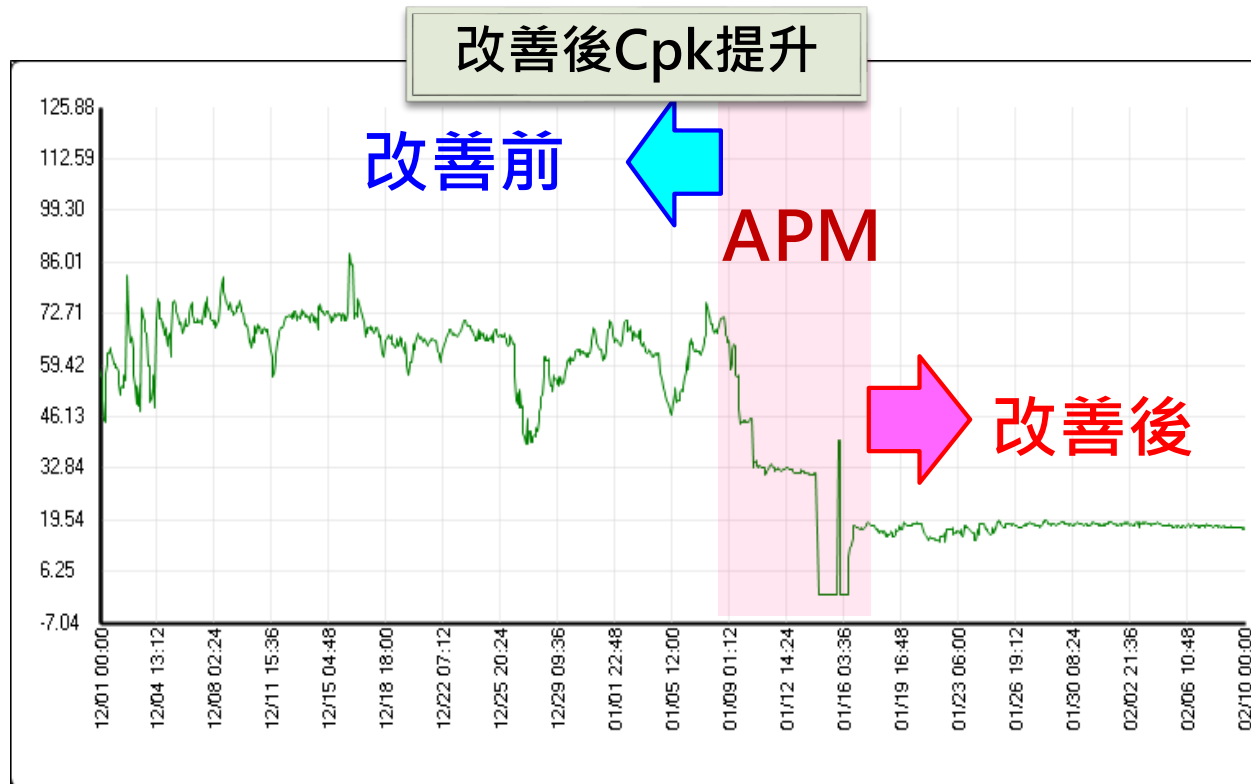
- 冷側冰水泵浦節省費用NT\$1.0M
- 熱側冰水泵浦節省費用NT\$0.2M
- 扣除增加板片成本，淨效益NT\$1.2M

項目 型號	板熱片數	NT\$/片	板片擴充額外 投資成本	設備+施工 投資成本(NT\$)	降低耗能(kW)	節能效益(NT\$/Yr.)	淨效益(NT\$)
舊HEX	169	1,500	60,000	900,000	55	1,312,213	1,252,213
新HEX	209						
差異	24%						

# 結論

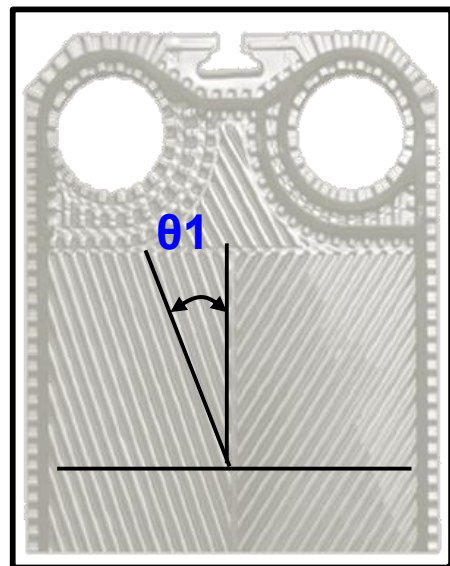
## 【Check-2】三項改善成果

- 提高HEX可靠度，確保無塵室正常生產
- 改善後Cpk從0.81→1.77
- 節省冰水用量，效益NT\$1.2M/Yr. (payback:0.8yr.)

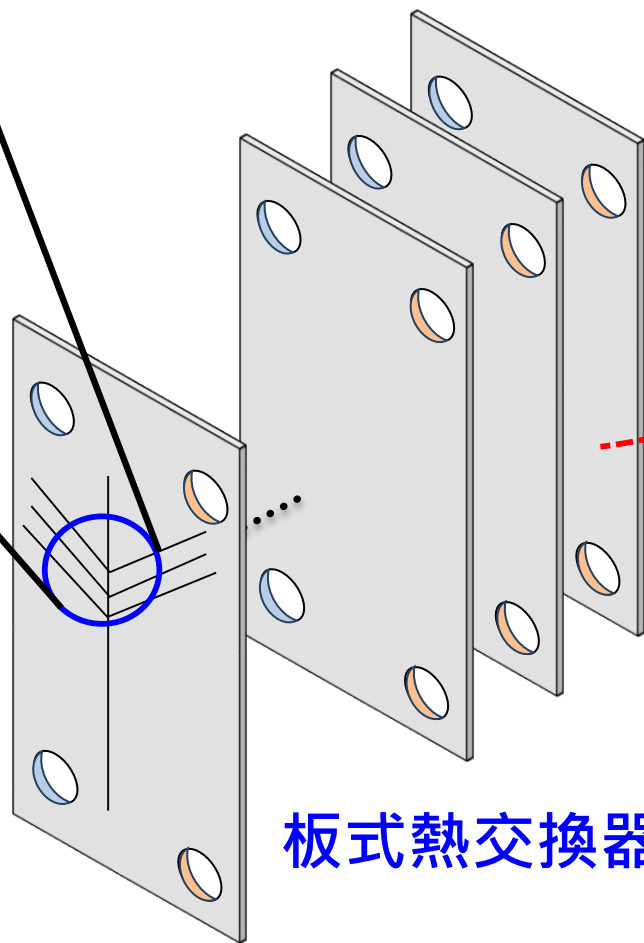


# 結論

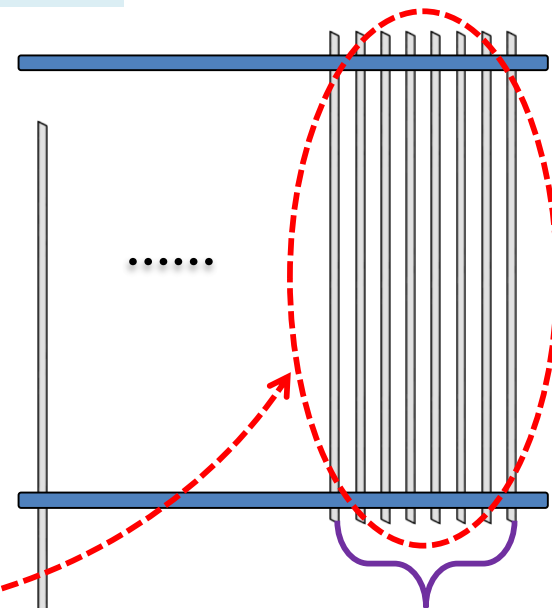
【改善特點】板片投資**0.8**年回收，超越汰舊換新



板片流道角度  
降低至 $\theta 1^\circ$



板式熱交換器

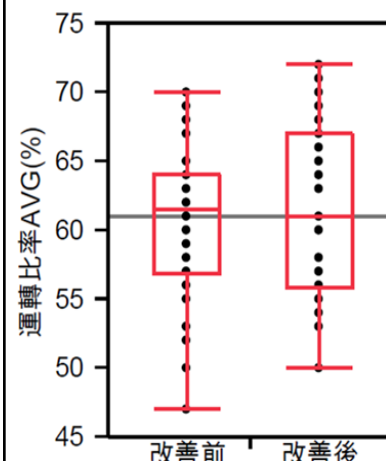


板片數量  
增加**24%**

# 結論

## 【Check-3】

## 風險項目表

對策	可能影響	驗證方法	執行日期	檢查紀錄																																		
B-1-2	更新流道小角度板片無副作用	板熱總熱傳係數變化小																																				
B-2-1	運轉品質： 冰機N+1備載容量不足	確認基載運轉容量	2014.11	<p><b>基載運轉容量無差異</b></p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>改善前</th> <th>改善後</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>樣本數</td> <td>30</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>平均值</td> <td>64.8</td> <td>66.3</td> </tr> <tr> <td>標準差</td> <td>5.28</td> <td>4.94</td> </tr> <tr> <td>資料時間</td> <td>2013.11.01~11.30</td> <td>2014.11.01~11.30</td> </tr> <tr> <td>取樣頻率</td> <td colspan="2">一筆/一天</td> </tr> <tr> <td>檢定工具</td> <td>假設</td> <td>檢定結果</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">T 檢定</td> <td><math>H_0: \mu_{\text{改善前}} = \mu_{\text{改善後}}</math></td> <td rowspan="2">P=0.272 (&gt;<math>\alpha=0.05</math>) 不拒絕 <math>H_0</math></td> </tr> <tr> <td><math>H_1: \mu_{\改善前} \neq \mu_{\text{改善後}}</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">F 檢定</td> <td><math>H_0: \sigma_{\text{改善前}} = \sigma_{\text{改善後}}</math></td> <td rowspan="2">P=0.163 (&gt;<math>\alpha=0.05</math>) 不拒絕 <math>H_0</math></td> </tr> <tr> <td><math>H_1: \sigma_{\text{改善前}} \neq \sigma_{\text{改善後}}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="5">根據檢定分析結果顯示運轉比率<b>無顯著差異</b></td> </tr> </tbody> </table>		改善前	改善後	樣本數	30	30	平均值	64.8	66.3	標準差	5.28	4.94	資料時間	2013.11.01~11.30	2014.11.01~11.30	取樣頻率	一筆/一天		檢定工具	假設	檢定結果	T 檢定	$H_0: \mu_{\text{改善前}} = \mu_{\text{改善後}}$	P=0.272 (> $\alpha=0.05$ ) 不拒絕 $H_0$	$H_1: \mu_{\改善前} \neq \mu_{\text{改善後}}$	F 檢定	$H_0: \sigma_{\text{改善前}} = \sigma_{\text{改善後}}$	P=0.163 (> $\alpha=0.05$ ) 不拒絕 $H_0$	$H_1: \sigma_{\text{改善前}} \neq \sigma_{\text{改善後}}$	根據檢定分析結果顯示運轉比率 <b>無顯著差異</b>				
	改善前	改善後																																				
樣本數	30	30																																				
平均值	64.8	66.3																																				
標準差	5.28	4.94																																				
資料時間	2013.11.01~11.30	2014.11.01~11.30																																				
取樣頻率	一筆/一天																																					
檢定工具	假設	檢定結果																																				
T 檢定	$H_0: \mu_{\text{改善前}} = \mu_{\text{改善後}}$	P=0.272 (> $\alpha=0.05$ ) 不拒絕 $H_0$																																				
	$H_1: \mu_{\改善前} \neq \mu_{\text{改善後}}$																																					
F 檢定	$H_0: \sigma_{\text{改善前}} = \sigma_{\text{改善後}}$	P=0.163 (> $\alpha=0.05$ ) 不拒絕 $H_0$																																				
	$H_1: \sigma_{\text{改善前}} \neq \sigma_{\text{改善後}}$																																					
根據檢定分析結果顯示運轉比率 <b>無顯著差異</b>																																						

## 【Act】

- 改善完成日期： 2014.12.26
- 提案改善編號： 022030A15B300004
- 監控：每日耗能量報表輸出確認
- 知識文件編號： 78577
- 防呆：自動化出水溫度最佳控制設定
- 標準化：建立熱交換器更換SOP

# 結論

## 【未來節能方向】

- 安裝高溫冰水主機(0.5kW/RT)，直接供應13.5°C冰水，更有節能效益
- 負載(使用)端節能，可達到開源節流功效
  - ◆ 觀察泵浦設計揚程(4kg/cm<sup>2</sup>)過大，實際操作揚程 (2.2kg/cm<sup>2</sup>)
  - ◆ 泵浦選用低揚程2.6kg/cm<sup>2</sup>泵浦，泵浦與馬達(IE3)選用60HP
  - ◆ Cost saving NT\$190K/Yr.(運轉效率可從70%提升至84%)

