

應用範例 某材料公司利用熱泵取代加熱鍋爐設備

1. **專案說明：**廠內 10 台天然氣熱水鍋爐，提供製程所需之加熱熱能，經檢測目前鍋爐效率為 90%，專案實施後熱水水溫 60°C，補水溫度為 20°C，年用氣量 393,761.1 m³，年用水量 70,877 m³，年使用時間約 2,100 小時(6 小時/天×350 天/年)，並且已使用 10 年，擬汰換為熱泵進行加熱。

2.適用條件：

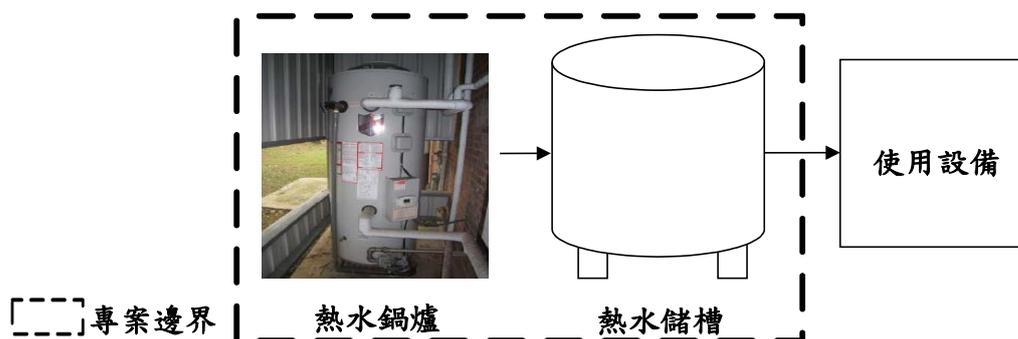
本專案依循「TMS-II.014 以熱泵取代現有加熱設備」方法，並符合下列適用條件—

- (1)廠內導入高效能之熱泵取代既有設備，用於製造熱水，符合條件 1。
- (2)既有加熱設備使用天然氣運轉，符合條件 2。
- (3)本專案實施後之熱泵為全新之設備，並非來自其他專案活動，符合條件 3。
- (4)專案實施後，熱泵所產生之熱水，僅使用於實施此減量方法之事業單位本身，符合條件 4。
- (5)既有加熱設備無論是否實施專案，仍能繼續使用，符合條件 5。
- (6)既有加熱設備依循 CDM 最新版次之設備剩餘壽齡推估工具” Tool to determine the remaining lifetime of equipment” 評估，採用選項(a)：製造商提供之設備技術資料，熱水鍋爐使用年限可達 25 年，現今鍋爐本體已使用 10 年，剩餘使用年限應還有 15 年(大於計入期)，符合條件 6。
- (7)專案實施後熱泵使用冷媒 R-134a 非法規禁用冷媒，符合條件 7。
- (8)此專案年總節能量約 0.85 GWh_{th}，不超過 180 GWh_{th}，符合條件 8。

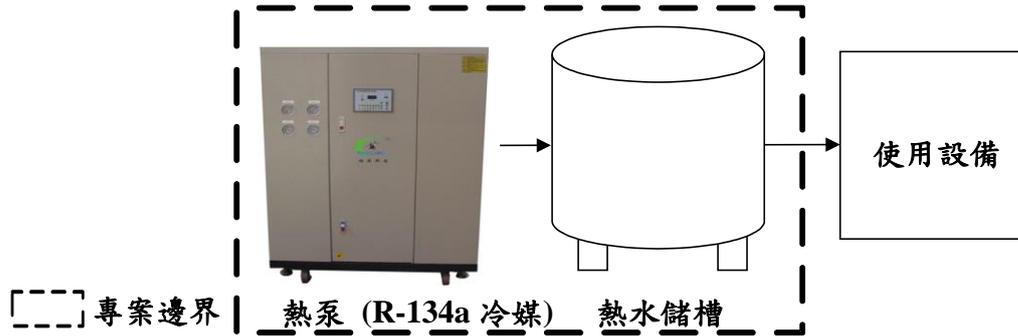
3.專案執行邊界：

加熱設備及使用熱水之生產設備。

(1)專案實施前



(2) 專案實施後



(3) 在評估基線與專案實施後之排放量時，燃料燃燒之溫室氣體排放僅將 CO₂ 納入該專案活動邊界內，如表 1 所示。

表 1 專案邊界內之溫室氣體排放源鑑別

來源	溫室氣體	是否納入	說明/解釋
熱水鍋爐的天然氣使用	CO ₂	是	主要的溫室氣體排放
	CH ₄	否	估計排放量極小，故簡化忽略不計
	N ₂ O	否	
熱泵的電力使用	CO ₂	是	主要的溫室氣體排放
	CH ₄	是	納入考量
	N ₂ O	是	納入考量
專案實施後熱泵之冷媒逸散	HFCs	是	納入考量

4. 外加性說明：

- (1) 法規外加性：現行法令未針對加熱設備效率提升進行規範。
- (2) 投資障礙分析：設備投資回收年限，大於公司歷年投資容許風險(3 年)，故符合投資外加性。

$$\text{設備投資回收年限} = \frac{\text{設備投資費用(元)} - \text{政府相關補助(元)}}{\text{能源節省量(用量/年)} \times \text{單位能源價格(元)}} > 3\text{年}$$

相關計算如下：

- 改善前每年使用天然氣 393,761.1 m³，每 m³ 平均單價為 16 元(依據工廠 99 年度平均單價)。
- 改善後每年用電 1,098,868 度，每度電平均單價為 2.6 元(依據工廠 99 年度用電平均單價)。
- 預估本專案投資成本約 1,100 萬元(含熱泵及相關施工費用)。
- 無政府補助經費。
- 設備投資回收年限

$$= \frac{\$NTD11,000,000 - \$NTD0}{(393,761.1\text{m}^3 \times \$NTD16/\text{m}^3) - (1,098,868\text{ kWh/y} \times \$NTD2.6/\text{kWh})}$$

$$= \frac{\$NTD11,000,000}{\$NTD3,443,119/y} \approx 3.2 \text{ 年} > 3 \text{ 年}$$

註：未來產業於應用本減量方法時，應依各專案實況選擇適合之外加性論述方式。(如，採用其他投資分析方式(IRR、NPV)，提出專案經費籌措困難證明，或進行技術障礙、普遍性障礙及其他障礙論述等)。另，針對設備投資回收年限之計算方式與設定基準，亦應依各公司狀況、產業發展趨勢或專案實施當時政策等情況而定。

5. 基線排放量：

(1) 基線情境(廠內實際狀況)

- 本專案依循「TMS-II.014 以熱泵取代現有加熱設備」方法，以「既有熱水鍋爐之持續使用」做為基線情境。
- 廠內 1 台天然氣熱水鍋爐，提供製程所需之加熱熱能，經檢測目前鍋爐效率為 90%，專案實施後熱水水溫 60°C，補水溫度為 20°C，年用氣量 393,761.1 m³，年用水量 70,877 m³，年使用時間約 2,100 小時(6 小時/天×350 天/年)。

(2) 基線能源用量：

$$FC_{BL,y} = \frac{HC_y}{NCV_{FUEL} \times \eta_{BL}}$$

$$= 2,835,080,000 \text{ kcal/y} \div (8,000 \text{ kcal/m}^3 \times 0.9)$$

$$= 393,761.1 \text{ m}^3/\text{y}$$

參數	定義	單位	數值
$FC_{BL,y}$	y 年之基線燃料用量	m ³	393,761.1
HC_y	y 年之專案耗熱量	kcal	2,835,080,000
NCV_{FUEL}	燃料淨熱值(低位發熱量)	kcal/m ³	8,000
η_{BL}	基線加熱設備之熱轉換效率	%	90

於計畫書撰寫時， $HC_y = HC_{his}$

$$HC_y = Q \times (t_{out} - t_{in}) \times C_{p-w} \times \rho_w$$

$$= 70,877 \text{ m}^3/\text{y} \times (60-20)^\circ\text{C} \times 1 \text{ kcal/kg-}^\circ\text{C} \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$= 2,835,080,000 \text{ kcal/y}$$

$$HC_y = \min(HC_y, HC_{his}) = 2,835,080,000 \text{ kcal/y}$$

參數	定義	單位	數值
Q_y	y 年之熱泵進水量	m ³ /y	70,877
t_{out}	專案之出水溫度	°C	60.0



t_{in}	專案之回水溫度	°C	20.0
C_{p-w}	水之比熱	kcal/kg-°C	1.0
ρ_w	水之密度	kg/m ³	1000.0
HC_{his}	基線耗熱量之歷史值	kcal	2,835,080,000

(3)基線排放量

$$BE_y = BE_{ENERGY,y} + BE_{ref,y}$$

參數	定義	單位	數值
BE_y	y 年之基線排放量	tCO _{2e}	740
$BE_{ENERGY,y}$	y 年之基線能源使用排放量	tCO _{2e}	740
$BE_{ref,y}$	y 年之基線冷媒逸散排放量	tCO _{2e}	0

基線能源使用排放量：加熱設備使用燃料運轉

$$BE_{ENERGY,y} = FC_{BL,y} \times EF_{FUEL} \div 1,000$$

$$BE_{ENERGY,y} = 393,761.1 \text{ m}^3/\text{y} \times 1.879 \text{ kg CO}_2\text{e}/\text{m}^3 \div 1,000 \text{ kg}/\text{t} = 740 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y}$$

參數	定義	單位	數值
EF_{FUEL}	燃料二氧化碳排放係數	tCO _{2e} /m ³	1.879×10^{-3}

基線冷媒逸散排放量：基線設備未使用冷媒 $BE_{ref,y} = 0$

6. 專案實施後之排放量：

(1) 專案實施後之能源使用量

改善後熱水水溫 60°C，補水溫度 20°C，熱泵年耗電量 1,098,868.2 kWh：

$$EC_{PJ,y} = \frac{HC_y}{NCV_{ELEC} \times \eta_{PJ}} = 2,835,080,000 \text{ kcal}/\text{y} \div 860 \text{ kcal}/\text{kWh} \div 300\%$$

$$= 1,098,868.2 \text{ kWh}/\text{y}$$

參數	定義	單位	數值
$EC_{PJ,y}$	y 年之專案能源使用量-電能	kWh/年	1,098,868.2
η_{PJ}	專案實施後熱泵之熱轉換效率	%	300
NCV_{ELEC}	電力熱值	kcal/kWh	860.0

η_{PJ} 參考「熱泵熱水系統 Q&A 節能技術手冊」(經濟部能源局)第 12 頁，熱泵熱水器效率 COP>3.0~6.0，此案例以保守值 COP = 3.0 進行計算， $COP = 3 = \eta_{PJ} = 300\%$ 。

(2) 專案實施後之排放量



$$PE_y = PE_{ENERGY,y} + PE_{ref,y}$$

參數	定義	單位	數值
PE_y	y 年之專案排放量	tCO _{2e}	676
$PE_{ENERGY,y}$	y 年之專案能源使用排放量	tCO _{2e}	589
$PE_{ref,y}$	y 年之專案冷媒逸散排放量	tCO _{2e}	87

專案能源使用排放量

$$PE_{ENERGY,y} = EC_{PJ,y} \times EF_{ELEC,y} \div 1,000$$

$$= 1,098,868.2 \text{ kWh/y} \times 0.536 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/t}$$

$$= 589 \text{ tCO}_2\text{e /y}$$

專案冷媒逸散排放量

$$PE_{ref} = Q_{ref, PJ} \times F_{ref, PJ} \times GWP_{ref, PJ}$$

本專案熱泵之冷媒 R-134a 屬於 IPCC 科學評估報告所列 HFC 及, HCFC 等種類，計算專案冷媒逸散排放如下：

$$PE_{ref,y} = 0.446 \times 15\% \times 1300 = 87 \text{ tCO}_2\text{e /y}$$

表 2 專案冷媒逸散排放量(R-134a 冷媒)

冷媒填充量	冷媒年逸散率	冷媒全球暖化趨勢	專案冷媒逸散排放量
$Q_{ref, PJ}$	$F_{ref, PJ}$	$GWP_{ref, PJ}$	$PE_{ref,y}$
t	%	tCO _{2e} /t	tCO _{2e}
0.446	15	1,300	87

7.洩漏量：

本案基線既有加熱設備直接報廢 $LE_y = 0$

8.排放減量：

(1)單一年度排放減量

$$ER_y = BE_y - (PE_y + LE_y)$$

$$= 740 \text{ tCO}_2\text{e /y} - (676 \text{ tCO}_2\text{e /y} + 0) = 64 \text{ tCO}_2\text{e /y}$$

▪ 相關計算參數彙整如表 3 所示：

表 3 排放減量計算參數彙整表

參數	定義	單位	數值
ER_y	y 年之排放減量	tCO _{2e}	64
BE_y	y 年之基線排放量	tCO _{2e}	740
PE_y	y 年之專案排放量	tCO _{2e}	676
LE_y	y 年之洩漏排放量	tCO _{2e}	0

(2)計入期計算摘要

本專案以導入熱泵工程發包日(100年10月1日)為起始日，考量熱泵壽命約25年，則專案結束日期為125年9月30日。

另，依據環保署「溫室氣體先期暨抵換專案推動原則」，選擇以10年(固定型)做為專案計入期，初步規劃減量效益計算期間為101年1月1日~110年12月31日，則於計入期內各年度之減量計算摘要如表3：

表3 專案執行期間溫室氣體減量

年度 (民國)	基線排放量 (tCO ₂ e)	專案排放量 (tCO ₂ e)	洩漏排放量 (tCO ₂ e)	預期排放減量 (tCO ₂ e)
101	740	676	0	64
102	740	676	0	64
103	740	676	0	64
104	740	676	0	64
105	740	676	0	64
106	740	676	0	64
107	740	676	0	64
108	740	676	0	64
109	740	676	0	64
110	740	676	0	64
合計	7,400	6,760	0	640

(3)預設係數與參數說明

數據/參數	C_{p-w}
數據單位	kcal/kg-°C
描述	水之比熱
使用數據來源	引用文獻資料
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1.0
將被採用的量測方法和步驟之描述	-
備註	-

數據/參數	ρ_w
數據單位	kg/m ³
描述	水之密度
使用數據來源	引用文獻資料
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1,000
將被採用的量測方法和步驟之描	-



述	
備註	-

數據/參數	η_{BL}
數據單位	%
描述	基線加熱設備之熱轉換效率
使用數據來源	設備規格值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	90.0
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 以流量計、溫度計或其它儀器，量測加熱設備本體累計補充水量及溫度等數據計算
備註	<ul style="list-style-type: none"> 鍋爐規格值計算

數據/參數	NCV_{FUEL}
數據單位	kcal/m^3
描述	使用能源的單位熱值
使用數據來源	能源局公告值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	8,000
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 引用能源局 100 年度能源統計手冊「天然氣」
備註	—

數據/參數	HC_{his}
數據單位	kcal
描述	基線耗熱量之歷史值
使用數據來源	以量測值計算
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	2,835,080,000
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 以流量計、溫度計或其它儀器，量測加熱設備本體施累計補充水量及溫度等數據計算
備註	<ul style="list-style-type: none"> 以專案實施前一年累積量計算

數據/參數	$Q_{ref, PJ}$
數據單位	t
描述	專案實施後之冷媒填充量
使用數據來源	以設備規格值計算

用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	0.446
將被採用的量測方法和步驟之描述	-
備註	-

數據/參數	$F_{ref, PJ}$
數據單位	%
描述	專案實施後之冷媒年逸散率
使用數據來源	引用 IPCC 國家溫室氣體指南(Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006)
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	15
將被採用的量測方法和步驟之描述	-
備註	-

數據/參數	$GWP_{ref, PJ}$
數據單位	tCO ₂ e/t
描述	專案實施前、後之冷媒全球暖化潛勢
使用數據來源	IPCC 第二次評估報告之 GWP 數值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1,300
將被採用的量測方法和步驟之描述	-
備註	-

9. 監測方法：

(1) 應監測之數據與參數

數據/參數	η_{PJ}
數據單位	%
描述	專案實施後熱泵之熱轉換效率
使用數據來源	量測計算值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	300
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 以流量、溫度、電力檢測計算，1 年 1 次

將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> 量測儀器應接受定期維護校正，並依據適用的國家/國際標準測試有效範圍
備註	<ul style="list-style-type: none"> 於專案計畫書撰寫時，暫以官方公告技術手冊值計算 以電子檔保存

數據/參數	Q_y
數據單位	m^3
描述	y 年之熱泵進水量
使用數據來源	流量計量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	70,877
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 以流量計持續量測，每天記錄至少 1 筆資料，彙整年累計值
將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> 流量計應接受定期維護校正，並依據適用的國家/國際標準測試有效範圍
備註	<ul style="list-style-type: none"> 於專案計畫書撰寫時，暫以 98-100 年數據計算 以電子檔保存

數據/參數	t_{out}
數據單位	$^{\circ}C$
描述	熱泵之出水溫度
使用數據來源	溫度計量測計算值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	60.0
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 以溫度計持續量測入口溫度，每天記錄至少 1 筆資料，彙整年平均平均值
將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> 溫度計應接受定期維護校正，並依據適用的國家/國際標準測試有效範圍
備註	<ul style="list-style-type: none"> 於專案計畫書撰寫時，暫以 98-100 年數據計算 以電子檔保存

數據/參數	t_{in}
數據單位	$^{\circ}C$
描述	熱泵之回水溫度
使用數據來源	溫度計量測計算值

用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	20.0
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 以溫度計持續量測入口溫度，每天記錄至少 1 筆資料，彙整年平均值
將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> 溫度計應接受定期維護校正，並依據適用的國家/國際標準測試有效範圍
備註	<ul style="list-style-type: none"> 於專案計畫書撰寫時，暫以 98-100 年數據計算，但專案實施後應以實際量測數據計算 以電子檔保存

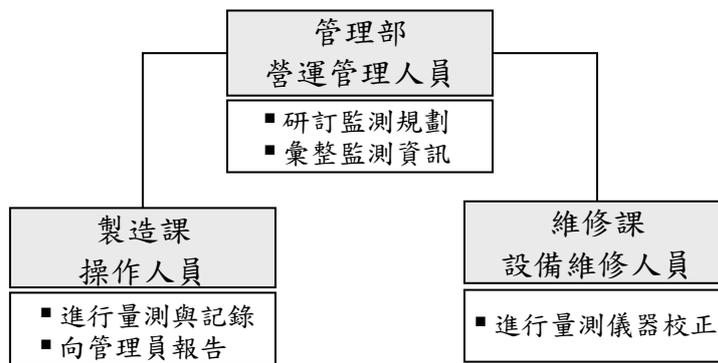
數據/參數	$EC_{PJ,y}$
數據單位	kWh
描述	熱泵用電量
使用數據來源	電錶量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1,098,868
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 以電力儀量測計算數值，每月 1 次，彙整年統計值
將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> 電力儀器應接受定期維護校正，並依據適用的國家/國際標準測試有效範圍
備註	<ul style="list-style-type: none"> 以電子檔保存

數據/參數	$EF_{ELEC,y}$
數據單位	kgCO ₂ e/ kWh
描述	電力排放係數
使用數據來源	引用政府最新年度公告電力排放係數
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	0.536
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> 引用能源局公告之 100 年度電力排放係數
將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> 管理部人員每年確認政府公告值是否更新，並應採用與計畫申請年度最接近之數據
備註	<ul style="list-style-type: none"> 以電子檔或紙本保存

數據/參數	$EF_{FUEL,y}$
數據單位	tCO ₂ e/m ³
描述	燃料二氧化碳排放係數

使用數據來源	國家公告值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1.879×10^{-3}
將被採用的量測方法和步驟之描述	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 引用環保署「溫室氣體盤查係數管理表」6.0版
將被應用的 QA/QC 步驟	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 管理部人員每年確認政府公告值是否更新，並應採用與計畫申請年度最接近之數據
備註	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 以電子檔或紙本保存

(2) 監測系統之管理結構(組織架構與權責)



附件

國際 IPMVP/ 國內 M&V 績效驗證方式

選項	量測方式	計算方式	量測與驗證費用
A	<ul style="list-style-type: none"> 透過部分量測獨立改善設備的耗能來計算節能量，量測時間可短期或連續量測 部分量測代表某些耗能參數可以為約定值，但做約定時必須進行誤差分析，證明約定值總誤差造成節能量計算結果的影響不大 	<ul style="list-style-type: none"> 使用短時間或連續量測、約定值、電腦模擬與(或)歷史資料，進行節能效益計算 	<ul style="list-style-type: none"> 決定於量測點的多寡、約定內容的複雜程度、量測頻率，典型的費用約占 1~5% 的節能專案成本
B	<ul style="list-style-type: none"> 透過全部量測獨立改善設備的耗能來計算節能量，量測時間可短時或連續量測 全部量測代表全部耗能參數皆以量測獲得，而非約定 	<ul style="list-style-type: none"> 使用短時間或連續量測，進行節能效益計算 	<ul style="list-style-type: none"> 決定於量測點及系統型態，與分析及量測的條款，典型的費用約占 3~10% 的節能專案成本
C	<ul style="list-style-type: none"> 透過全部量測整廠的耗能來計算節能量，量測時間可短時或連續量測 通常是利用現有電力公司或燃料公司公表進行量測 	<ul style="list-style-type: none"> 藉由回歸分析，針對公表或分表之數據進行分析比較 	<ul style="list-style-type: none"> 決定於分析參數的數量及複雜程度，典型的費用約占 1~10% 的節能專案成本
D	<ul style="list-style-type: none"> 透過電腦模擬方式來求得節能量，獨立節能改善或證廠節能改善皆可適用 此選項需要大量模擬方面的技術與理論基礎 	<ul style="list-style-type: none"> 將耗能相關數據帶入模擬模型進行校正後，再計算節能效益 	<ul style="list-style-type: none"> 決定於分析系統的數量及複雜程度，典型的費用約占 3~10% 的節能專案成本

資料來源：陳輝俊，台灣 ESCO 節能績效量測與驗證之案例分析，2010。