

**應用範例** 某化學材料工廠熱媒鍋爐排氣廢熱回收供飼水預熱使用

**1.專案說明：**化學材料工廠於熱媒鍋爐煙道排氣口加裝氣對水熱交換器，回收之廢熱將作為廠內既有鍋爐飼水預熱使用。

**2.適用條件：**

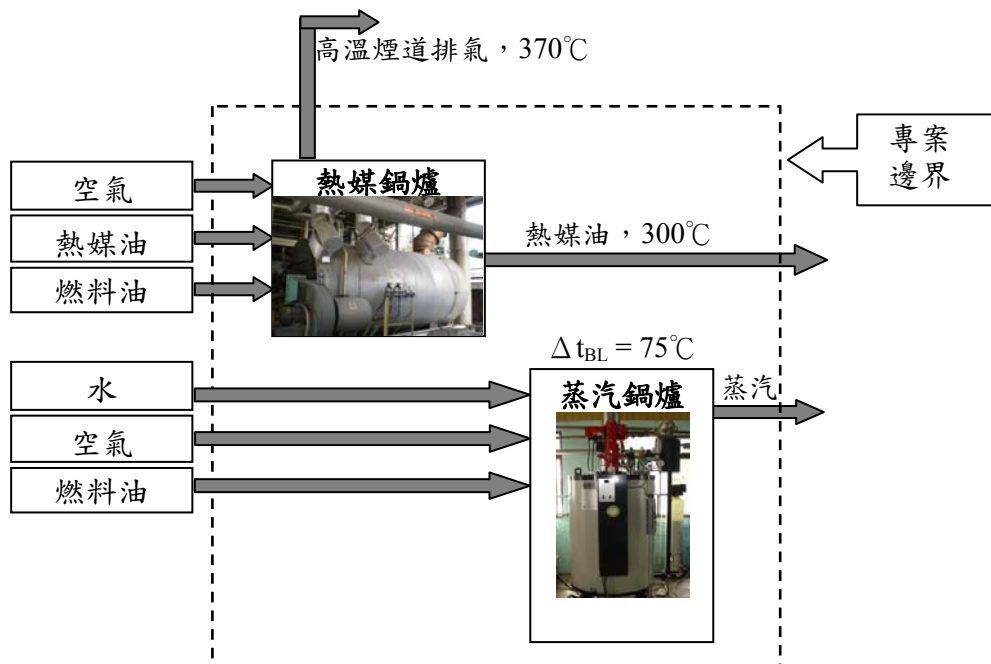
本專案依循「TMS-II.002 工業設施的排氣/高溫產品廢熱回收利用」方法，並符合下列適用條件—

- (1)於熱媒鍋爐煙道排氣口加裝熱交換器，將排氣廢熱與鍋爐飼水進行熱交換，以降低廠內蒸汽鍋爐之燃料使用，符合條件 1 及條件 2。
- (2)透過熱交換器所產生之熱水僅用於實施此減量方法之事業單位本身，符合條件 3。
- (3)既有熱媒鍋爐仍繼續使用，符合條件 4。
- (4)可透過流量計等，直接量測相關參數以計算專案實施後，邊界內設備的能源使用量(燃料/電力)，以掌握廢熱回收量以及降低之能耗量，符合條件 5。
- (5)專案實施前後，蒸汽鍋爐所使用的燃料類型相同，均使用燃料油，符合條件 6。
- (6)專案設備之剩餘使用年限超過 10 年(大於計入期)，符合條件 7。
- (7)專案之年燃料投入節能量約 0.125 GWh<sub>th</sub> (小於 180 GWh<sub>th</sub>)，符合條件 8。

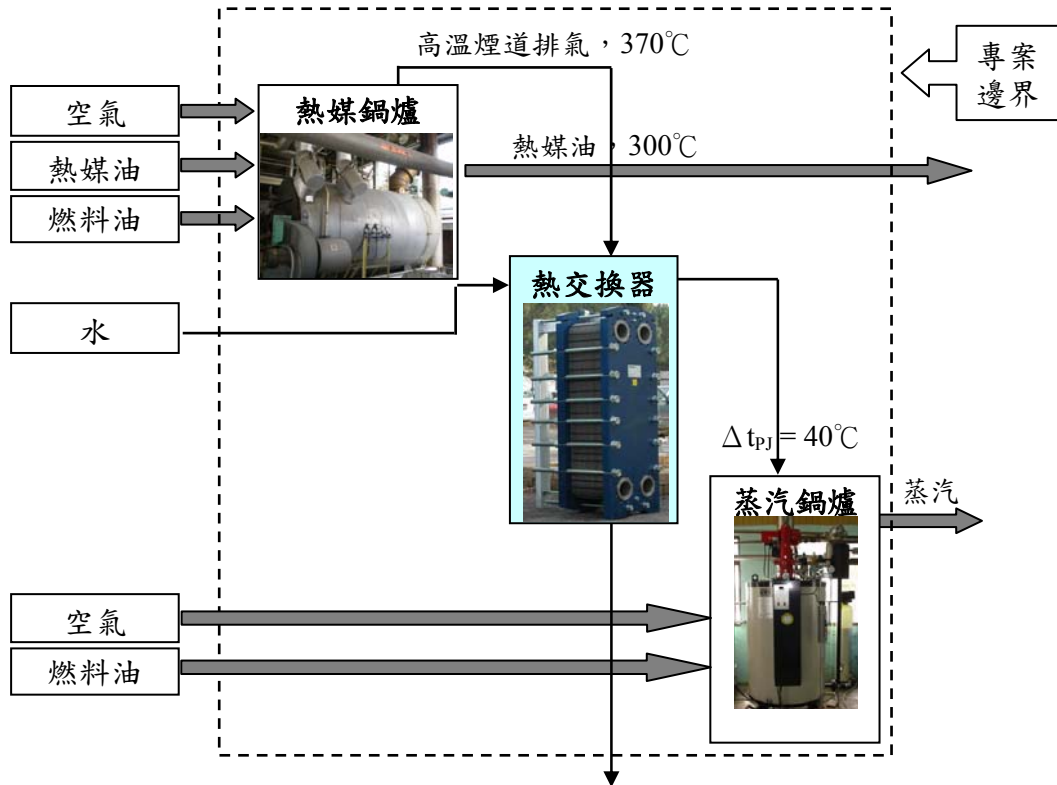
**3.專案執行邊界：**

本專案於熱媒鍋爐煙道排氣口加裝熱交換器，將熱媒鍋爐高溫煙道排氣與蒸汽鍋爐之鍋爐飼水進行換熱，可提升鍋爐飼水平均溫度至 60°C，降低燃料使用。

(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 CO<sub>2</sub> 納入本專案活動邊界內，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
蒸汽鍋爐的化石燃料使用	CO <sub>2</sub>	是	主要的溫室氣體排放
	CH <sub>4</sub>	否	估計排放量極小，故簡化忽略不計
	N <sub>2</sub> O	否	

4. 外加性說明：

- (1) 法規外加性：現行法令未針對工廠廢熱回收再利用進行規範。
- (2) 投資障礙分析：本案例參考 CDM 小規模外加性工具規範，以投資回收年限 (payback period) 作為投資分析計算基準，並以比較分析方式論述。由於國內尚未有一致之外加性量化指標，故以公司歷年投資容許風險(3 年)為比較基準(benchmark)。經計算結果本專案投資回收年限為 3.6 年(>3 年)，具投資外加性。

$$\text{設備投資回收年限} = \frac{\text{設備投資費用(元)} - \text{政府相關補助(元)}}{\text{每年節省之能源費用(元/年)}} > 3\text{年}$$

相關計算如下：

- 專案實施後每年節省燃料油 34.3 公秉，每公秉燃料油以新台幣 16,895 元

計(依據中油油品價目表 99 年低硫燃料油平均單價)

- 每年增加用電(附屬設備)10,742.4 度，以每度電平均單價為 2.6 元計(依據工廠 99 年度用電平均單價)
- 無政府補助經費
- 廢熱回收裝置(含施工)投資費用約 200 萬元計算：

設備投資回收年限 =

$$\begin{aligned} & \frac{\$NTD 2,000,000 - \$NTD 0}{34.3 \text{ kL/y} \times \$NTD 16,895/\text{kL} - 10,742.4\text{kWh} \times \$NTD 2.6/\text{kWh}} \\ & = \frac{\$NTD 2,000,000}{\$NTD 551,568} \approx 3.6 \text{ 年} > 3 \text{ 年} \end{aligned}$$

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。

## 5. 基線排放量：

### (1) 基線情境(廠內實際狀況)

- 本減量方法係依 CDM 基線方法所列「現有實際或歷史的溫室氣體排放量」計算基線排放量，故以「將既有工業設施未經回收設備回收利用之熱能直接或間接排放」做為基線情境。
- 廠內目前日常使用 1 座 30 萬 kcal/h 熱媒鍋爐，熱媒油流量為 28 噸/小時，運作壓力約 10 kgf/cm<sup>2</sup>，年燃料油耗用量約為 290 公秉。熱媒油供應溫度約 300°C，熱媒鍋爐煙道排氣溫度約為 370°C，目前未進行任何排氣熱回收。另，廠內設有 1 噸貫流式蒸汽鍋爐 1 座，以燃料油為燃料，供應廠內蒸汽使用需求。蒸汽鍋爐飼水年流量為 8,000,000 kg、平均補水溫度為 25°C。
- 熱媒鍋爐在未進行任何廢熱回收時，蒸汽鍋爐須完全仰賴燃料油燃燒後產生之熱能，進行鍋爐水之加熱至 100°C(僅考量無相變化)。

### (2) 基線能源用量

- 未進行廢熱回收時，蒸汽鍋爐之耗熱量：

$$\begin{aligned} HC_{BL,y} &= M \times C_p \times \Delta t_{BL} \\ &= 8,000,000 \text{ kg/y} \times 1 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times 75^\circ\text{C} \\ &= 600,000,000 \text{ kcal} \end{aligned}$$

(3) 基線排放量

$$\begin{aligned}
 BE_y &= \frac{HC_{BL,y}}{\eta} \times EF_{CO_2,heat} \times 4.184 \times 10^{-9} \\
 &= 600,000,000 \text{ kcal} \div 85\% \times 77.4 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 4.1868 \times 10^{-9} \\
 &= 228.75 \text{ tCO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

- 計相關計算參數彙整如表 2 所示：

表 2 基線排放量計算參數彙整表

參數	定義	單位	數值
$HC_{BL,y}$	Y 年之基線耗熱量	kcal	600,000,000
$M$	蒸汽鍋爐飼水流量	kg/y	8,000,000
$C_p$	水的比熱	kcal/kg $^{\circ}$ C	1
$\Delta t_{BL}$	專案實施前，蒸汽鍋爐飼水於鍋爐入口與出口之溫度差	$^{\circ}$ C	75
$\eta$	蒸汽鍋爐之熱轉換效率	%	85
$EF_{CO_2,heat}$	燃料油之二氧化碳排放係數	tCO <sub>2</sub> /TJ	77.4

註：燃料油之二氧化碳排放係數採環保署溫室氣體排放係數管理表第 6.0 版。

6. 專案實施後之排放量：

(1) 專案實施後之能源使用量

利用熱交換器，將熱媒鍋爐高溫煙道排氣與蒸汽鍋爐之鍋爐飼水進行換熱，將蒸汽鍋爐飼水溫度預熱至 60 $^{\circ}$ C，可降低蒸汽鍋爐燃料使用。

(2) 專案實施後之排放量

- 專案實施後能源用量，為扣除所回收的廢熱後，蒸汽鍋爐之耗熱量：

$$\begin{aligned}
 HC_{PJ,y} &= M \times C_p \times \Delta t_{PJ} \times k \\
 &= 8,000,000 \text{ kg/y} \times 1 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C} \times 40 \text{ }^{\circ}\text{C} \times 1 \\
 &= 320,000,000 \text{ kcal} \quad (\text{於計畫書撰寫時，} k = 1)
 \end{aligned}$$

- 專案實施後排放量，包含蒸汽鍋爐燃料燃燒之溫室氣體排放，以及廢熱回收裝置附屬設備(2 hp 鼓風機)電力使用所產生之溫室氣體排放：

$$\begin{aligned}
 PE_{a,y} &= EC_{a,ELEC,y} \times EF_{ELEC,y} \\
 &= \left( \sum_i W_i \times LF_i \times T \right) \times EF_{ELEC,y} \div 1,000 \\
 &= 1.49 \text{ kW} \times 90\% \times 8,000 \text{ h} \times 0.536 \text{ kgCO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/t} \\
 &= 5.750 \text{ tCO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 PE_y &= PE_{h,y} + PE_{a,y} \\
 &= \frac{HC_{PJ,y}}{\eta} \times EF_{CO_2,heat} \times 4.1868 \times 10^{-9} + PE_a \\
 &= 320,000,000 \text{ kcal} \div 85\% \times 77.4 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \times 4.1868 \times 10^{-9} + 5.750 \text{ tCO}_2\text{e} \\
 &= 121.998 \text{ tCO}_2\text{e} + 5.750 \text{ tCO}_2\text{e} \\
 &= 127.75 \text{ tCO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

■ 相關計算參數彙整如表 3 所示：

表 3 專案實施後排放量計算參數彙整

參數	定義	單位	數值
$PE_a$	專案附屬設備排放量	tCO <sub>2</sub> e	5.750
$W_i$	鼓風機之耗功率	kW	1.49
$LF_i$	鼓風機之年均負載率	%	90
$T_i$	鼓風機之年運轉時數	h	8,000
$EF_{ELEC,y}$	電力排放係數	kgCO <sub>2</sub> e/kWh	0.536
$HC_{PJ,y}$	Y 年之專案耗熱量	kcal	320,000,000
$M$	蒸汽鍋爐飼水流量	kg/y	8,000,000
$C_p$	水的比熱	kcal/kg°C	1
$\Delta t_{PJ}$	專案實施後，蒸汽鍋爐飼水於鍋爐入口與出口之溫度差	°C	40
$\eta$	蒸汽鍋爐熱轉換效率	%	85
$EF_{heat,i}$	燃料油之二氧化碳排放係數	tCO <sub>2</sub> /TJ	77.4

註：1. 燃料油之二氧化碳排放係數採環保署溫室氣體排放係數管理表第 6.0 版

2. 電力排放係數採用能源局公告 100 年係數計算。

### 7. 洩漏量：

依減量方法「IDB-II-003 工業設施的排氣/高溫產品廢熱回收利用」規範，本專案並無洩漏量產生。

### 8. 排放減量：

(1) 單一年度排放減量

$$\begin{aligned}
 ER_y &= BE_y - (PE_y + LE_y) \\
 &= 228.75 \text{ tCO}_2\text{e} - (127.75 \text{ tCO}_2\text{e} + 0 \text{ tCO}_2\text{e}) \\
 &= 101.0 \text{ tCO}_2\text{e}
 \end{aligned}$$

■ 相關計算參數彙整如表 4 所示：

表 4 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 <sub>2</sub> e	101.0
$BE_y$	y 年之基線排放量	tCO <sub>2</sub> e	228.75
$PE_y$	y 年之專案排放量	tCO <sub>2</sub> e	127.75
$LE_y$	y 年之洩漏排放量	tCO <sub>2</sub> e	0

(2)計入期計算摘要

本專案以廢熱回收導入工程發包日(100 年 10 月 1 日)為起始日，考量熱交換器壽齡約 20 年，則專案結束日期為 120 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 5 所示：

表 5 專案計入期之溫室氣體減量

年度 (民國)	基線排放量 (tCO <sub>2</sub> e)	專案排放量 (tCO <sub>2</sub> e)	洩漏排放量 (tCO <sub>2</sub> e)	預期排放減量 (tCO <sub>2</sub> e)
101	228.75	127.75	0	101.0
102	228.75	127.75	0	101.0
103	228.75	127.75	0	101.0
104	228.75	127.75	0	101.0
105	228.75	127.75	0	101.0
106	228.75	127.75	0	101.0
107	228.75	127.75	0	101.0
108	228.75	127.75	0	101.0
109	228.75	127.75	0	101.0
110	228.75	127.75	0	101.0
<b>合計</b>	<b>2,287.5</b>	<b>1,277.5</b>	<b>0</b>	<b>1,010.0</b>

9.監測方法：

(1)預設係數與參數說明(僅於專案計畫書確證時確認即可)

數據/參數	$C_p$
數據單位	kcal/kg°C
描述	水的比熱
使用數據來源	經濟部能源委員會「節約能源技術手冊」
數值	1
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	—

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	量測值
數值	600,000,000
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	以實際量測之 $M$ 、 $\Delta h_{BL}$ 、 $\Delta t_{BL}$ 計算
備註	由最近 3 年數據取其平均值

(2)應被監測之數據與參數

數據/參數	$M$
數據單位	kg/y
描述	蒸汽鍋爐飼水流量
使用數據來源	量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	8,000,000
將被採用的量測方法和步驟之描述	以流量計持續量測，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	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	以電子檔保存

數據/參數	$\Delta t_{BL}$
數據單位	°C
描述	專案實施前，蒸汽鍋爐飼水於鍋爐入口與出口之溫度差
使用數據來源	直接量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	75
將被採用的量測方法和步驟之描述	以溫度計持續量測，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	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	以電子檔保存

數據/參數	$\Delta t_{PJ}$
-------	-----------------

數據單位	°C
描述	專案實施後，蒸汽鍋爐飼水於鍋爐入口與出口之溫度差
使用數據來源	直接量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	40
將被採用的量測方法和步驟之描述	以溫度計持續量測，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	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	以電子檔保存

數據/參數	$\eta$
數據單位	%
描述	蒸汽鍋爐熱轉換效率
使用數據來源	暫態量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	85
將被採用的量測方法和步驟之描述	以燃燒效率分析儀量測暫態效率，每月 1 次，彙整年平均值
將被應用的 QA/QC 步驟	燃燒效率分析儀量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	以電子檔保存

數據/參數	$W_i$
數據單位	kW
描述	鼓風機之耗功率
使用數據來源	直接量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1.49
將被採用的量測方法和步驟之描述	以電錶持續量測，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	電錶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	以電子檔保存

數據/參數	$LF_i$
數據單位	%



描述	鼓風機之年平均負載率
使用數據來源	操作紀錄
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	90
將被採用的量測方法和步驟之描述	每天 1 次記錄運轉情形，彙整年平均負載率
將被應用的 QA/QC 步驟	—
備註	以電子檔保存

數據/參數	$T_i$
數據單位	h
描述	鼓風機之年運轉時數
使用數據來源	操作紀錄
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	每天 1 次記錄運轉時數，並彙整年運轉時數
將被應用的 QA/QC 步驟	—
備註	以電子檔保存

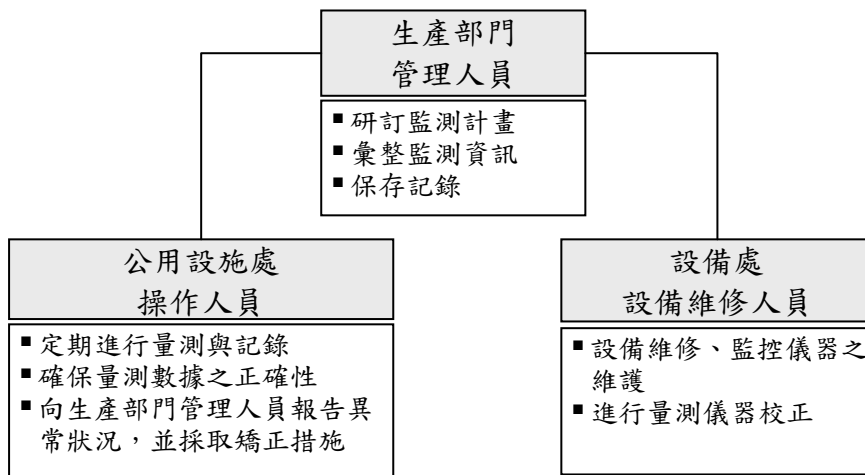
數據/參數	$EF_{CO_2, heat}$
數據單位	tCO <sub>2</sub> /TJ
描述	燃料油之二氧化碳排放係數
使用數據來源	IPCC 公告之燃料油 CO <sub>2</sub> 排放係數 (IPCC guidance for national greenhouse gas inventories, 2006)
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	77.4
將被採用的量測方法和步驟之描述	—
將被應用的 QA/QC 步驟	每年確認所引用值為 IPCC 最新公告值
備註	以電子檔保存

數據/參數	$EF_{ELEC., y}$
數據單位	kgCO <sub>2</sub> e/ kWh
描述	電力排放係數
使用數據來源	國家公告值
用於計算預估排放減量/移除量	0.536

之數據數值	
將被採用的量測方法和步驟之描述	引用能源局每年公告之電力排放係數
將被應用的 QA/QC 步驟	管理部人員每年確認電力排放係數之政府公告值是否更新
備註	引用能源局公告 100 年度電力排放係數

註：依環保署「溫室氣體查驗指引」規範，抵換專案相關資料保存至少至專案計入期或方案執行期間結束後的 2 年，故本專案資料保存年限設定為 12 年(專案計入期 10 年+2 年)。

## (2) 監測管理(組織架構)及權責



## 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"> <li>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</li> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>全部量測代表全部耗能參數皆以量測獲得，而非約定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>使用短時間或連續量測，進行節能效益計算</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>通常是利用現有電力公司或燃料公司公表進行量測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>藉由回歸分析，針對公表或分表之數據進行分析比較</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>此選項需要大量模擬方面的技術與理論基礎</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> </ul>

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。