

應用範例 某鞋材製造工廠蒸汽系統冷凝水回收

1.專案說明：某鞋材製造工廠蒸汽系統均未回收冷凝水與閃沸蒸汽再利用，規劃安裝冷凝水回收管線、差壓分離桶、補充水槽等設施，將冷凝水及閃沸蒸汽回收至鍋爐補充水槽，提高鍋爐補充水溫度，並利用氣動泵浦提高泵浦回收效能，並降低回收限制，藉以以提高蒸汽系統效率，節省燃料用量。

2.適用條件：

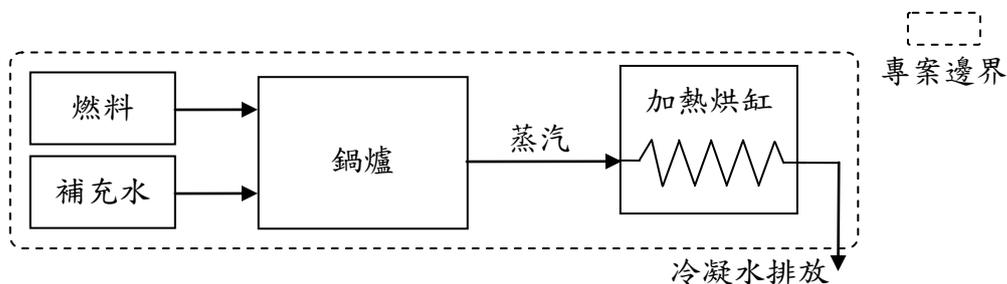
本專案依循「TMS-III.002 回收冷凝水提高蒸汽系統效率」方法，並符合下列適用條件—

- (1)於蒸汽鍋爐系統裝設冷凝水回收管線等設施，將蒸汽系統中之冷凝水及閃沸蒸汽收集至補充水槽，提高補充水溫度，降低廠內蒸汽鍋爐之燃料使用，符合條件 1。
- (2)專案實施前後，蒸汽鍋爐使用的燃料類型相同，均使用燃料油，符合條件 2。
- (3)冷凝水回收做為鍋爐之補充水，僅用於自廠製程使用，屬實施此減量方法之事業單位本身，符合條件 3。
- (4)蒸汽鍋爐無論是否實施本專案，皆能持續運作，符合條件 4。
- (5)專案設備之剩餘使用年限超過 10 年(大於計入期)，符合條件 5。
- (6)專案之年減碳量為 246 tCO₂e(小於 60,000 tCO₂e)，符合條件 6。

3.專案執行邊界：

(1)專案實施前

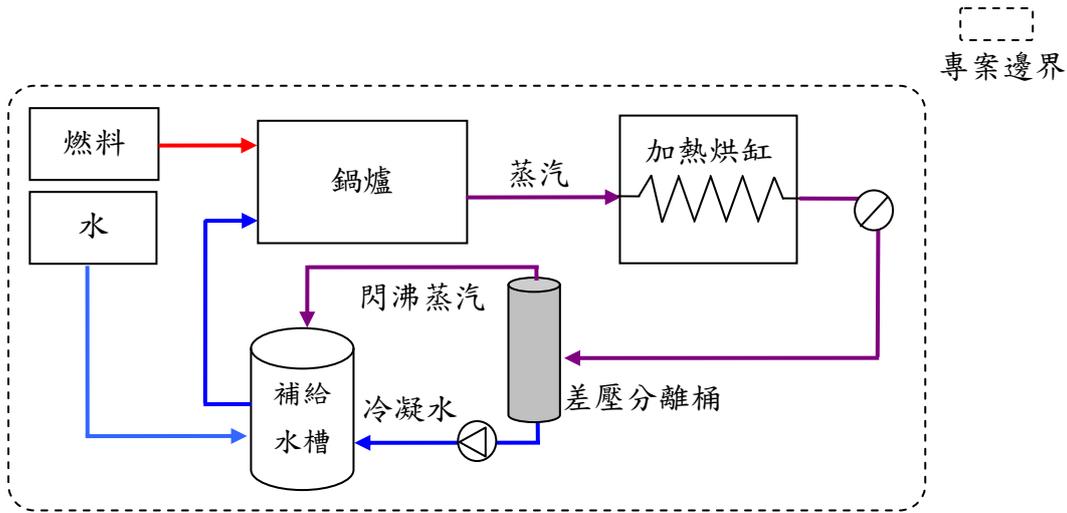
既設 1 座煙管式蒸汽鍋爐，平均補充水溫度為 25°C，累計補充水量平均每小時 10 噸，一天運作 8 小時，一年工作天 280 天。補充水注入鍋爐後加溫產生 7kg/cm² 飽和蒸汽進行間接加熱烘缸等製程作業。



(2)專案實施後

本專案於蒸汽系統主管路增設冷凝水回收管線、祛水器、差壓分離桶、補充水槽、與氣動泵浦等設施，回收閃沸蒸汽及冷凝水至補充水槽再利用，提高鍋爐補充水溫度，並運用氣動泵浦將所有高溫冷凝水集中送至鍋爐給水槽，再藉由

鍋爐自有泵浦，減少蒸汽鍋爐燃料消耗量。



(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 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	
冷凝水回收再利用的電力使用	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

4.外加性說明：

(1)法規外加性：現行法令並未針對冷凝水回收進行規範，實施本專案具有法規外加性。

(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，故以本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 4.7 年(>3 年)。

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

相關計算如下：

- 專案實施後每年節省燃料油 67.2 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)
- 專案實施後，採用氣動式泵浦(附屬設備)將回收之高溫冷凝水後泵送至補

充水槽，由於不需使用電力，並未增加用電量

- 蒸汽使用屬間接加熱，回收之冷凝水及閃沸蒸汽不需再經純化或其他處理，並未增加用電量或其他能源
- 無政府補助經費
- 冷凝水回收裝置等(含施工)投資費用約 560 萬元計算：

$$\text{設備投資回收年限} = \frac{\$NTD5,600,000 - \$NTD0}{(67.2 \text{ kL/y} \times \$NTD16,895/\text{kL}) + (\$NTD53,760)} \approx 4.7 \text{ 年}$$

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「既有蒸汽產生器未經回收設備完全回收利用之冷凝水或／含閃沸蒸汽直接或間接排放」做為基線情境。
- 廠內目前日常使用 1 座 10 噸蒸汽鍋爐，以燃料油為燃料，供應廠內加熱烘缸製程所需之蒸汽。鍋爐補水量平均每小時 10 噸，專案實施前最近 3 年平均累計補充水量為 22,400 噸，常溫補充水平均 25°C，加熱後產生壓力 7kg/cm² 之飽和蒸汽。

(2) 基線排放量

- 未進行冷凝水回收時，每年累計鍋爐補充水量 22,400 噸，常溫補充水平均 25°C，加熱後產生壓力 7kg/cm² 之飽和蒸汽，基線排放量計算如下：

$$\begin{aligned} BE_y &= \frac{HC_{BL,y}}{\eta} \times EF_{CO_2,heat} \times 4.1868 \times 10^{-6} \\ &= (14,200,311 \div 85\%) \times 77.4 \times 4.1868 \times 10^{-6} \\ &\doteq 5,414 \end{aligned}$$

參數	定義	單位	數值
BE_y	y 年之基線排放量	tCO ₂ e	5,414
$HC_{BL,y}$	y 年之基線耗熱量	Mcal	14,200,311
η	蒸汽產生器之熱轉換效率	%	85
$EF_{CO_2,heat}$	單位熱能之燃料二氧化碳排放係數	tCO ₂ /TJ	77.4

$$\begin{aligned} HC_{his} &= Q_y \times \rho \times \Delta h_{BL} \div 1,000 \\ &= 22,400,000 \times 0.997 \times (660.85 - 25) \div 1,000 \end{aligned}$$

$$= 14,200,311$$

$$HC_{BL,y} = HC_{his} = 14,200,311$$

- 本案於專案計畫書撰寫時，基線耗熱量($HC_{BL,y}$)以 3 年歷史平均值(HC_{his})計算。

參數	定義	單位	數值
HC_{his}	基線耗熱量之歷史值	Mcal	14,200,311
Q_y	蒸汽產生器累計補充水量	L	22,400,000
ρ	補充水之密度	kg/L	0.997
Δh_{BL}	專案實施前，補充水與蒸汽之熱焓差	kcal/kg	635.85

6. 專案實施後之排放量：

(1) 專案實施後之能源使用量

專案實施後，由差壓分離桶分別將閃沸蒸汽與 100°C 冷凝水(含部分飽和蒸汽)回收至補充水槽，蒸汽在差壓分離桶前由錶壓 7kg/cm² 降壓至 1kg/cm²，閃沸蒸汽由回收管線送至補充水槽上端，經常溫水吸收蒸汽熱能注入補充水槽內，冷凝水亦經由管線回收至補充水槽(2t/hr)，閃沸蒸汽、冷凝水與常溫水等透過混合器(injector)混合均勻，提高鍋爐補充水溫度。

(2) 專案實施後之排放量

- 專案排放量計算如下：

$$\begin{aligned} PE_y &= PE_{h,y} + PE_{a,y} \\ &= 5,168 + 0 \\ &= 5,168 \end{aligned}$$

參數	定義	單位	數值
PE_y	y 年之專案排放量	tCO ₂ e	5,168
$PE_{h,y}$	y 年之蒸汽產生器排放量	tCO ₂ e	5,168
$PE_{a,y}$	y 年專案附屬設備排放量	tCO ₂ e	0

鍋爐排放量計算如下：

$$\begin{aligned} PE_{h,y} &= \frac{HC_{PJ,y}}{\eta} \times EF_{CO_2,heat} \times 4.1868 \times 10^{-6} \\ &= (13,554,933 \div 85\%) \times 77.4 \times 4.1868 \times 10^{-6} \\ &\doteq 5,168 \end{aligned}$$

參數	定義	單位	數值
$HC_{PJ,y}$	y 年之專案耗熱量	Mcal	13,554,933
η	蒸汽產生器之熱轉換效率	%	85
$EF_{CO_2,heat}$	單位熱能之燃料二氧化碳排放係數	tCO ₂ /TJ	77.4

鍋爐耗熱量計算如下：

$$\begin{aligned}
 HC_{PJ,y} &= HC_{BL,y} - (HC_{condensate} - HC_{flashsteam}) \times k \\
 &= 14,200,311 - (429,579 - 215,799) \times 1 \\
 &= 13,554,933
 \end{aligned}$$

參數	定義	單位	數值
$HC_{BL,y}$	y 年之基線耗熱量	Mcal	14,200,311
$HC_{condensate}$	專案實施後，冷凝水回收再利用之熱能	Mcal	429,579
$HC_{flashsteam}$	專案實施後，閃沸蒸汽再利用之熱能	Mcal	215,799
k	調整因子	—	1

冷凝水回收再利用之熱能計算如下：

$$\begin{aligned}
 HC_{condensate} &= Q_{condensate,y} \times \rho_{condensate} \times h_{condensate} \div 1,000 \\
 &= 2,000 \times 2,240 \times 0.958 \times 100.092 \div 1,000 \\
 &= 429,579
 \end{aligned}$$

參數	定義	單位	數值
$Q_{condensate,y}$	專案實施後，冷凝水回收量	L	4,480,000
$\rho_{condensate}$	冷凝水之密度	kg/L	0.958
$h_{condensate}$	專案實施後，冷凝水熱焓(飽和溫度 100°C)	kcal/kg	100.092

閃沸蒸汽回收再利用之熱能計算如下：

$$\begin{aligned}
 HC_{flashsteam} &= Q_{condensate,y} \times [(h_1 - h_2) \div h_3] \times \rho_{flashsteam} \times h_{flashsteam} \div 1,000 \\
 &= 2,000 \times 2,240 \times [(171.526 - 120.445) \div 525.90] \times 0.943 \times 525.90 \div 1,000 = 215,799
 \end{aligned}$$

參數	定義	單位	數值
$Q_{condensate,y}$	專案實施後，冷凝水回收量	L	4,480,000
h_1	專案實施後，蒸汽初始錶壓 (7kg/cm ² G) 之熱焓(顯熱)	kcal/kg	171.526
h_2	專案實施後，蒸汽最終錶壓 (1kg/cm ² G) 之熱焓(顯熱)	kcal/kg	120.445
h_3	專案實施後，蒸汽最終錶壓 (1kg/cm ² G) 之熱焓(潛熱)	kcal/kg	525.90
$\rho_{flashsteam}$	閃沸蒸汽之密度	kg/L	0.943
$h_{flashsteam}$	專案實施後，閃沸蒸汽熱焓	kcal/kg	525.90



調整因子k值之計算如下：

$$k = \min\left\{1; \frac{HC_{his}}{HC_{BL,y}}\right\} = \frac{14,200,311}{14,200,311} = 1$$

附屬設備排放量：專案實施後，裝設氣動式泵浦泵送高溫冷凝水至補充水槽，再運用既有之泵浦泵送補充水至鍋爐，不需額外使用電力泵送，且因本專案之蒸汽主要用於間接加熱，回收後之冷凝水及閃沸蒸汽無需再經過純化處理，故無新增附屬設備使用電力所產生之溫室氣體。

$$PE_{a,y} = EC_{a,ELEC,y} \times EF_{ELEC,y} \\ = 0$$

參數	定義	單位	數值
$PE_{a,y}$	專案附屬設備排放量	tCO ₂ e	0

7.洩漏量：

依減量方法「TMS-III.002 回收冷凝水提高蒸汽系統效率」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

$$ER_y = BE_y - PE_y \\ = 5,414 - 5,168 = 246$$

參數	定義	單位	數值
ER_y	y 年之減量	tCO ₂ e	246
BE_y	y 年之基線排放量	tCO ₂ e	5,414
PE_y	y 年之專案排放量	tCO ₂ e	5,168

(2)計入期計算摘要

本專案依據環保署「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，執行期間為 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下表所示：



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	5,414	5,168	0	246
102	5,414	5,168	0	246
103	5,414	5,168	0	246
104	5,414	5,168	0	246
105	5,414	5,168	0	246
106	5,414	5,168	0	246
107	5,414	5,168	0	246
108	5,414	5,168	0	246
109	5,414	5,168	0	246
110	5,414	5,168	0	246
合計	54,140	51,680	0	2,460

(3)預設係數與參數說明

數據/參數	ρ
數據單位	kg/L
描述	補充水的密度
使用數據來源	Perrvs-Chemical-Engineers-handbook-1999
數值	0.997
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	$\rho_{condensate}$
數據單位	kg/L
描述	冷凝水的密度
使用數據來源	Perrvs-Chemical-Engineers-handbook-1999
數值	0.958
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	$\rho_{flashsteam}$
數據單位	kg/L
描述	閃沸蒸汽的密度
使用數據來源	http://www.spiraxsarco.com/uk/resources/steam-tables/saturated-water.asp
數值	0.943
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	Δh_{BL}
數據單位	kcal/kg
描述	專案實施前，補充水與蒸汽之熱焓差
使用數據來源	量測值
數值	635.85
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	以實際測量蒸汽鍋爐入口補充水溫度與蒸汽出口壓力，按「飽和蒸汽表」計算求得
備註	由最近3年數據取其平均值

數據/參數	HC_{his}
數據單位	Mcal
描述	基線耗熱量之歷史值
使用數據來源	以量測值計算
數值	14,200,311
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	以最近3年實際量測之 $Q_y \cdot \Delta h_{BL}$ 取平均值後計算
備註	—



9. 監測方法：

(1) 應監測之數據與參數

數據/參數	Q_y
數據單位	L
描述	蒸汽鍋爐累計補充水量
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	22,400,000
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	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 於計畫書撰寫時，以專案實施前最近 3 年量測平均值(22,400 噸)計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	$Q_{condensate, y}$
數據單位	L
描述	專案實施後，冷凝水回收量
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	4,480,000
將被採用的量測方法和步驟之描述	以流量計於高溫冷凝水回收至補充水槽入口前持續量測，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，或採用定量容積方式測量之實際水量。
備註	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 於專案計畫書撰寫時，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	$h_{condensate}$
數據單位	kcal/kg
描述	專案實施後，冷凝水熱焓
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	100.092
將被採用的量測方法和步驟之描述	以實際測量冷凝水溫度及進入補充水槽壓力，按「飽和蒸汽表」求得
將被應用的 QA/QC 步驟	壓力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，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	$h_{flashsteam}$
數據單位	kcal/kg
描述	專案實施後，閃沸蒸汽熱焓
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	525.90
將被採用的量測方法和步驟之描述	以實際測量蒸汽進入差壓分離桶前壓力，按「飽和蒸汽表」求得
將被應用的 QA/QC 步驟	壓力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，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	h_I
數據單位	kcal/kg
描述	專案實施後，蒸汽初始錶壓之熱焓(顯熱)
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	171.526
將被採用的量測方法和步驟之描述	以實際測量蒸汽進入差壓分離桶前壓力，按「飽和蒸汽表」求得
將被應用的 QA/QC 步驟	壓力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，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	h_2
數據單位	kcal/kg
描述	專案實施後，蒸汽最終錶壓之熱焓(顯熱)
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	120.445
將被採用的量測方法和步驟之描述	以實際測量蒸汽進入差壓分離桶前壓力，按「飽和蒸汽表」求得
將被應用的 QA/QC 步驟	壓力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，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

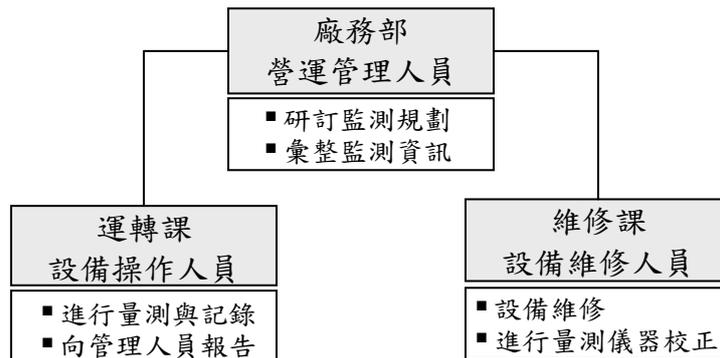
數據/參數	h_3
數據單位	kcal/kg
描述	專案實施後，蒸汽最終錶壓之熱焓(潛熱)
使用數據來源	量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	525.90
將被採用的量測方法和步驟之描述	以實際測量蒸汽進入差壓分離桶前壓力，按「飽和蒸汽表」求得
將被應用的 QA/QC 步驟	壓力計應接受定期維護校正，並依據適用的國家/國際標準測試有效範圍
備註	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 於專案計畫書撰寫時，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	η
數據單位	%
描述	蒸汽鍋爐熱轉換效率
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	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	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 於專案計畫書撰寫時，以設備商檢測值計算 ▪ 以電子檔保存

數據/參數	$EF_{CO_2,heat}$
數據單位	tCO ₂ /TJ
描述	單位熱能之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	77.4
將被採用的量測方法和步驟之描述	引用環保署「溫室氣體盤查係數管理表」6.0版燃料油 CO ₂ 排放係數(IPCC 2006 年 CO ₂ 排放係數=77,400kgCO ₂ /TJ)
將被應用的 QA/QC 步驟	管理人員應定期確認政府公告值是否更新，並妥善保存相關佐證資料
備註	以電子檔保存

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。