

應用範例 某造紙廠空壓系統效能提升專案

1.專案說明：廠內造紙製程使用之空壓系統中，螺旋式 250 hp 空壓機共計 4 台(含 2 台備機)，由各主機獨立運轉改為多機連鎖(管路連通及加設變頻控制)，並將 1 台吸附式乾燥機改裝為加熱吸附式乾燥機，以提升空壓系統整體運轉效率。

2.適用條件：

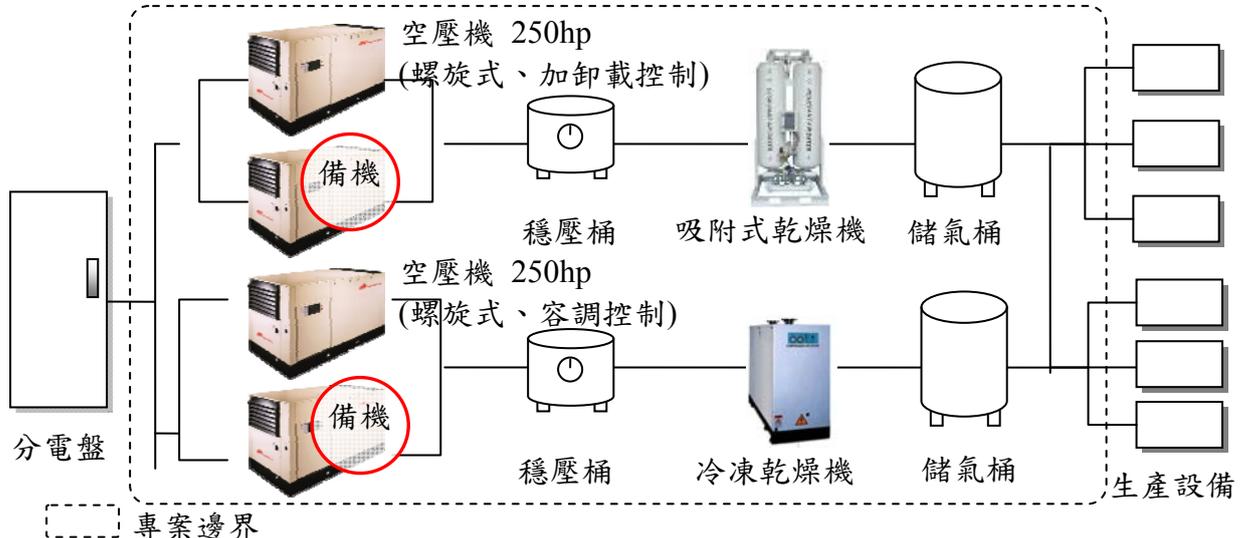
本專案依循「TMS-II.004 既有空壓系統之能源效率提升」方法，並符合下列適用條件—

- (1)既有空壓機裝設變頻器及採多機連鎖控制，並改裝既有吸附式乾燥機，以提升空壓系統整體之能源效率，符合條件 1。
- (2)若未實施專案，既有 4 台空壓機及吸附式乾燥機皆能繼續使用，符合條件 2。
- (3)專案實施後，導入之變頻機及加熱吸附式乾燥機等為全新設備，符合條件 3。
- (4)專案實施後，與空壓系統耗能最相關之活動量(如產氣量或耗電量)，可以量測方式取得數據，符合條件 4。
- (5)專案實施後，空壓系統壓縮空氣提供能力(或設備輸入馬力)介於既有系統之 90%~150%，符合條件 5。
- (6)專案實施前後壓縮空氣使用端之設定壓力差距於 1kgf/cm^2 以內，符合條件 6。
- (7)專案實施前後，空壓系統運轉之動力來源為電力，符合條件 7。
- (8)專案實施後，空壓系統所產生壓縮空氣為自廠所使用，符合條件 8。
- (9) 冷凍乾燥機之冷媒逸散未納入排放減量計算，符合條件 9。
- (10)專案設備之剩餘使用年限超過 10 年(大於計入期)，符合條件 10。
- (11) 本專案之年總節能量約為 0.56 GWh_e，未超過 60 GWh_e，符合條件 11。

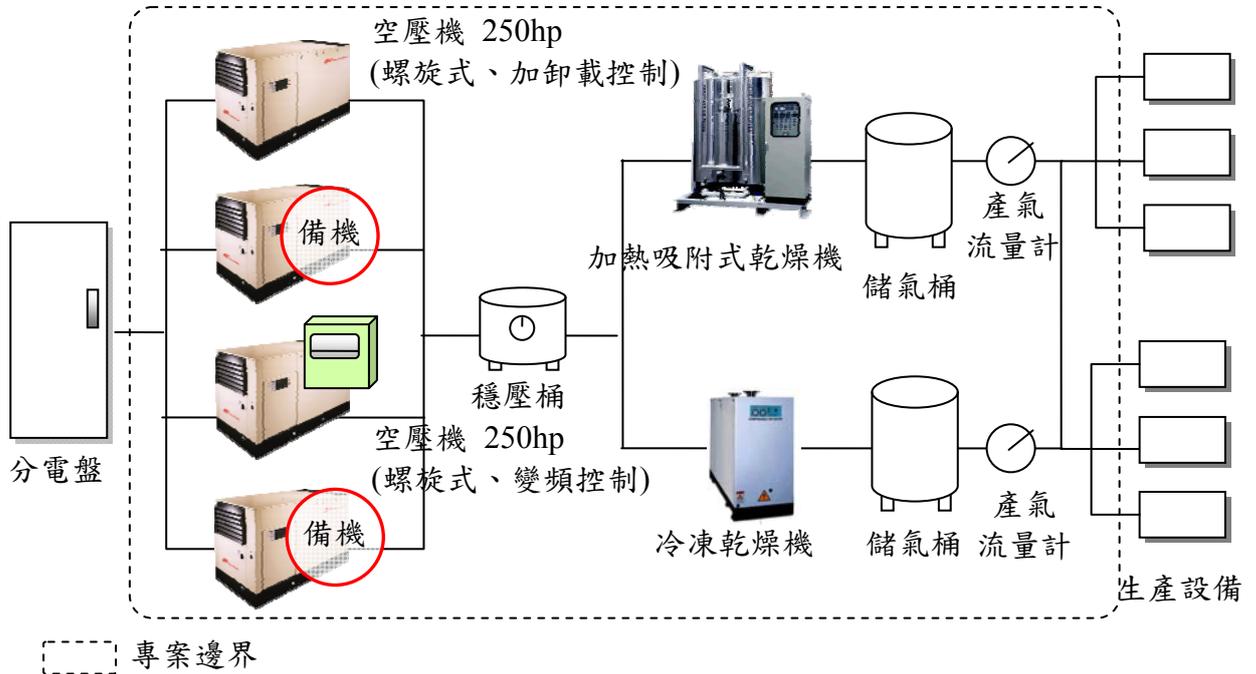
3.專案執行邊界：

廠內造紙製程使用之空壓系統。(含空壓主機及其附屬/周邊設備，以及使用壓縮空氣之氣動設備)

(1)專案實施前



(2) 專案實施後



(3) 於基線情境與專案實施後，本專案活動因電力使用產生之溫室氣體種類包括 CO₂、CH₄ 及 N₂O，其中，CO₂ 為主要的溫室氣體排放，專案邊界內之溫室氣體排放源鑑別如表 1 所示。

表 1 專案邊界內之溫室氣體排放源鑑別

溫室氣體	是否納入	說明
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：現行法令未針對空壓系統效率提升進行規範，亦未強制規範空壓機之控制方式與乾燥機之種類。

(2) 投資分析：本案例參考 CDM 小規模外加性工具規範，以投資回收年限 (pay-back 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(bench-mark)。經計算結果本專案投資回收年限為 4.1 年(>3 年)，具投資外加性。

相關計算如下：

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



- 每年節約用電 556,437.6 度(kWh)，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 600 萬元(含空壓主機/附加設備之改裝、管路施工等費用)。
- 無政府補助經費。

$$\begin{aligned} \text{設備投資回收年限} &= \frac{\$NTD6,000,000 - \$NTD 0}{(2,060,880 \text{ kWh/y} - 1,504,442.4 \text{ kWh/y}) \times \$NTD 2.6/\text{kWh}} \\ &= \frac{\$NTD6,000,000}{\$NTD1,446,738/\text{y}} \approx 4.1 \text{ 年} > 3 \text{ 年} \end{aligned}$$

註：未來產業於應用方法時，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)

本專案依循「IDB-II-007 既有空壓系統之能源效率提升」方法，以「既有空壓系統之持續使用」做為基線情境。廠內造紙製程使用螺旋式 250 hp 空壓機共計 4 台，其中 2 台採容調控制(含 1 台備機)，另 2 台以加卸載控制(含 1 台備機)，提供製程氣動設備壓縮空氣。空壓機管路未連通，且配置有吸附式乾燥機 1 台(20hp)、冷凍式乾燥機 1 台(5hp)、空氣儲槽 2 個及無耗氣式祛水器 4 個。年使用時間約 6,000 小時(24 小時/天×250 天/年)。經實際檢測，空壓機重車負載(產氣量百分比)約 60%，廠內空壓系統供氣狀況穩定，空壓系統產氣流量為 799.4cfm，系統總輸入馬力為 343.48kW。

(2) 基線用電量

$$EC_{BL,y} = EC_{air.comp.sys,his} \times \frac{Q_{sys,his}}{Q_{sys,PJ,y}}$$

假設專案實施前後，空壓系統產氣量固定(廠內製程壓縮空氣需求量一致)

$$Q_{sys,his} = Q_{sys,PJ,y} = 799.4\text{cfm} \times 1.699 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{cfm} \times 6,000 \text{ h/y} = 8,149,084 \text{ m}^3/\text{y}$$

$$\begin{aligned} EC_{BL,y} &= 343.48\text{kW} \times 6,000 \text{ h/y} \times \frac{8,149,084 \text{ m}^3}{8,149,084 \text{ m}^3} \\ &= 2,060,880 \text{ kWh/y} \end{aligned}$$

註：單位換算：1cfm=ft³/min× 60min/h× (12 in/ft)³× (2.54cm/in)³ × (m/100cm)³ =1.699m³/h

(3) 基線排放量

$$BE_y = EC_{BL,y} \times EF_{ELEC,y} \div 1,000$$

$$\begin{aligned} EC_{BL,y} &= 2,060,880 \text{ kWh/y} \times 0.536 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/t} \\ &= 1,105 \text{ tCO}_2\text{e /y} \end{aligned}$$

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
BE_y	y 年之基線排放量	tCO ₂ e	1,105
$EC_{BL,y}$	y 年之基線用電量	kWh/y	2,060,880
$EC_{air.comp, sys, his}$	空壓系統內所有設備用電量之歷史值	kWh/y	2,060,880
$Q_{sys, PJ, y}$	空壓系統 y 年之專案總產氣量	m ³ /y	8,149,084
$Q_{sys, his}$	空壓系統總產氣量之歷史值	m ³ /y	8,149,084
$EF_{ELEC,y}$	電力排放係數	kgCO ₂ e/ kWh	0.536

註：電力排放採用能源局公告 100 年度電力排放係數計算(2012 年 9 月 14 公告，調整後)。

6. 專案實施後之排放量：

(1) 專案實施後之能源使用量

本專案進行空壓系統內空壓主機導入變頻裝置，並將既有吸附式乾燥機汰換為耗氣較少之加熱吸附式乾燥機，以提升空壓系統整體效率。由於在專案實施前後空壓系統產氣量固定(製程需求一致)之前題下，乾燥機所造成之壓縮空氣耗損，亦會直接反應於空壓系統整體之耗電量，故專案實施後之能源使用量，直接以空壓主機的耗能比進行計算。

專案實施前，2 台空壓機(常載)之負載率(產氣百分比)皆為 60%，專案實施後，其中 1 台容調之空機加裝變頻控制，空壓機之負載率(產氣百分比)分別為 100%(加卸載控制)及 20%(變頻控制)。

對照圖 1，專案實施前加卸載之空壓主機之耗能比例為 90%，容調主機之耗能比例為 85%；專案實施後，加卸載主機之耗能比例為 100%，而以變頻控制之主機之耗能比例為 28%。

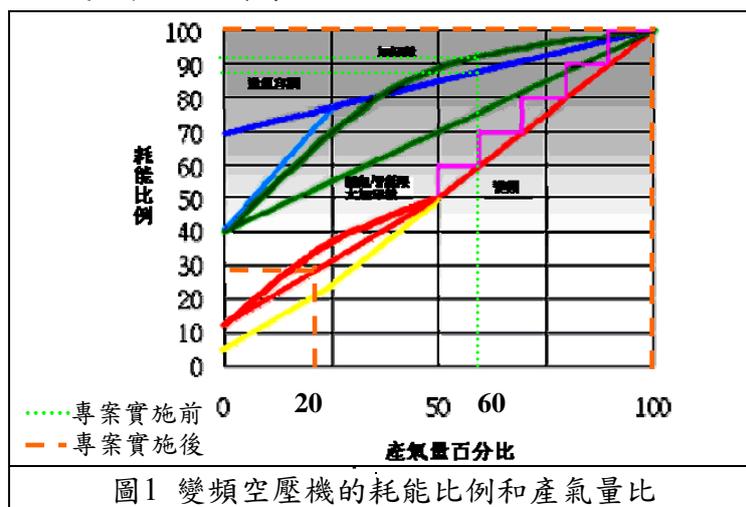


圖1 變頻空壓機的耗能比例和產氣量比

資源來源：壓縮空氣零損耗解決方案,TAESCO-威鐘企業。



$$EC_{PJ,y} = EC_{BL,y} \times \alpha$$

$$\alpha = \frac{EC'_{equip,PJ,y}}{EC'_{equip,his}}$$

$$EC'_{equip,PJ,y} = \sum (EC'_{m,PJ,y} \times k')$$

$$EC'_{equip,his} = \sum EC'_{n,his}$$

假設專案實施前後，各主機年運轉時間相同，且空壓系統產氣量固定， $k'=1$

$$EC'_{equip,PJ,y} = (250\text{hp} \times 0.746\text{kW/hp} \times 6,000\text{ h/y} \times 100\% \times 1) \times 1 \text{ 台} \\ + (250\text{hp} \times 0.746\text{kW/hp} \times 6,000\text{ h/y} \times 28\% \times 1) \times 1 \text{ 台} = (1,119,000 + 313,320) \text{ kWh/y} \\ = 1,432,320 \text{ kWh/y}$$

$$EC'_{equip,his} = (250\text{hp} \times 0.746\text{kW/hp} \times 6,000\text{ h/y} \times 90\%) \times 1 \text{ 台} \\ + (250\text{hp} \times 0.746\text{kW/hp} \times 6,000\text{ h/y} \times 85\%) \times 1 \text{ 台} = (1,007,100 + 951,150) \text{ kWh/y} \\ = 1,958,250 \text{ kWh/y}$$

$$\alpha = \frac{1,432,320 \text{ kWh/y}}{1,958,250 \text{ kWh/y}} = 0.73$$

$$EC_{PJ,y} = 2,060,880 \text{ kWh} \times 0.73 = 1,504,442.4 \text{ kWh/y}$$

(2) 專案實施後之排放量

$$PE_y = EC_{PJ,y} \times EF_{ELEC,y} \div 1,000 \\ = 1,504,442.4 \text{ kWh/y} \times 0.536 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/t} = 806 \text{ tCO}_2\text{e/y}$$

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_y	y 年之專案排放量	tCO ₂ e	806
$EC_{PJ,y}$	y 年之專案用電量	kWh/y	1,504,442.4
$EC_{BL,y}$	y 年之基線用電量	kWh/y	2,060,880
α	專案實施前後之空壓系統效率提升比例	—	0.73
$EC'_{equip,PJ,y}$	空壓主機 y 年之專案用電量總和	kWh/y	1,432,320
$EC'_{equip,his}$	專案實施前空壓主機用電量總和之歷史值	kWh/y	1,958,250
$W_{n,BL}$	專案實施前空壓主機 n 之輸入功率	hp	250
$W_{m,PJ,S}$	專案實施後空壓主機 m 之額定輸入功率	hp	250
$T_{m,equip,PJ}$	專案實施後空壓主機 m 之年運轉時間	h/y	6,000
$EF_{ELEC,y}$	電力排放係數	kgCO ₂ e/ kWh	0.536

7. 洩漏量：

本專案之空壓系統效率提升，並非由其他設備轉入(所購入之變頻器及乾燥機改專零件皆為全新設備)，且遭汰換之空壓主機已報廢，故依減量方法「IDB-II-007 既有空壓系統之能源效率提升」並無洩漏產生。



8.排放減量：

(1)單一年度排放減量

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

$$= 1,105 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y} - (806 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y} + 0) = 299 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y}$$

▪ 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 ₂ e	299
BE_y	y 年之基線排放量	tCO ₂ e	1,105
PE_y	y 年之專案排放量	tCO ₂ e	806
LE_y	y 年之洩漏排放量	tCO ₂ e	0

(2)計入期計算摘要

本專案以空壓系統設備汰換工程發包日(100 年 10 月 1 日)為起始日，考量空壓系統設備(含主機、乾燥機等)壽齡約 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 5：

表 5 專案計入期之溫室氣體減量

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	1,105	806	0	299
102	1,105	806	0	299
103	1,105	806	0	299
104	1,105	806	0	299
105	1,105	806	0	299
106	1,105	806	0	299
107	1,105	806	0	299
108	1,105	806	0	299
109	1,105	806	0	299
110	1,105	806	0	299
合計	11,050	8,060	0	2,990



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	$EC_{air, comp, sys, his}$
數據單位	kWh/y
描述	空壓系統內所有設備用電量之歷史值
使用數據來源	短期/暫態量測值
數值	2,060,880
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	以電力分析儀量測，取系統一段時間內正常運轉下各負載狀況所得耗電之加權平均值，並乘以年運轉時間計算
備註	年運轉時間為專案實施前，最近 3 年之歷史平均值

數據/參數	$Q_{sys, his}$
數據單位	m^3/y
描述	空壓系統總產氣量之歷史值
使用數據來源	短期/暫態量測值
數值	8,149,084
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	取系統一段時間內正常運轉下各負載狀況所得系統產氣量之加權平均值，並乘以年運轉時間計算
備註	年運轉時間為專案實施前，最近 3 年之歷史平均值

數據/參數	$EC'_{n, his}$
數據單位	kWh/y
描述	專案實施前空壓主機 n 之年用電量歷史值
使用數據來源	以設備型錄值乘以實際運轉時數計算
數值	1,007,100 及 951,150
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	—
備註	年運轉時間為專案實施前，最近 3 年之歷史平均值



數據/參數	$W_{n, BL}$
數據單位	hp
描述	專案實施前空壓主機 n 之輸入功率
使用數據來源	設備型錄值
數值	250
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	$W_{m, PJ, S}$
數據單位	hp
描述	專案實施後空壓主機 m 之額定輸入功率
使用數據來源	設備型錄值
數值	250
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	—
備註	—

(2)應被監測之數據與參數

數據/參數	$Q_{sys, PJ, y}$
數據單位	m^3/y
描述	空壓系統 y 年之專案總產氣量
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	8,149,084
將被採用的量測方法和步驟之描述	以流量計連續量測(每月記錄(取年平均))
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員每月記錄量測結果,確認專案實施前後量測位置等條件一致,並妥善保管數據資料。
備註	以電子檔保存

數據/參數	$EC'_{m, PJ, y}$
數據單位	kWh/y
描述	空壓主機 m 於 y 年之專案用電量
使用數據來源	短期/暫態量測值



用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	1,119,000 及 313,320
將被採用的量測方法和步驟之描述	以電力分析儀量測，取系統一段時間內正常運轉下各負載狀況所得耗電之加權平均值，並乘以實際年運轉時間計算
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員應於空壓系統正常運轉狀況進行量測，且電力分析儀需定期進行校正(至少 3 年 1 次)
備註	於計畫書撰寫時，年運轉時間為專案實施前，最近 3 年之歷史平均值

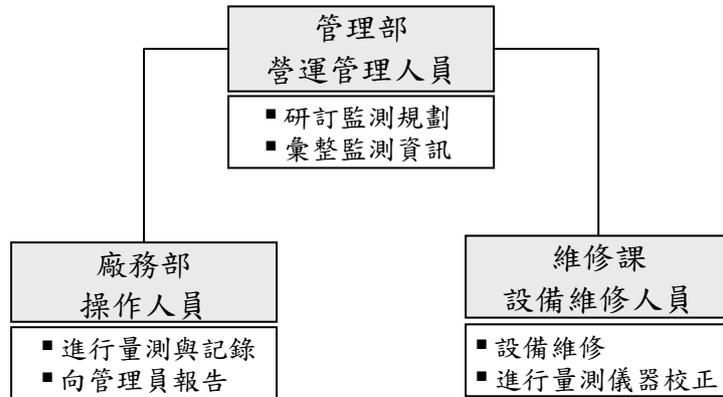
數據/參數	$T_{m, equip.PJ}$
數據單位	h/y
描述	專案實施後空壓主機 m 之年運轉時間
使用數據來源	操作紀錄
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	6,000
將被採用的量測方法和步驟之描述	依據日報表統計專案邊界內各空壓主機年運轉時數
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員須確認各主機運轉正常，確實記錄運轉時間，並妥善保管數據資料
備註	專案計畫書撰寫時，以最近 3 年之歷史平均值計算

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	國家公告值
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	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)。



(3) 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。