

應用案例 某鋼鐵廠空調主機增設外掛變頻控制

1.專案說明：廠內現場各區電氣室空調主機(箱型水冷式)透過加裝冷氣外掛變頻模組(1台主機對1台變頻器)，穩定冷能供應與需求負載平衡，以提升空調主機運轉效率。空調主機規格與數量分別為，5T-30台、10T-50台。運轉時間每日16小時，年工作天數300天。

2.適用條件：

本專案依循「TMS-II.019 無風管空調主機導入變頻控制」方法，並符合下列適用條件—

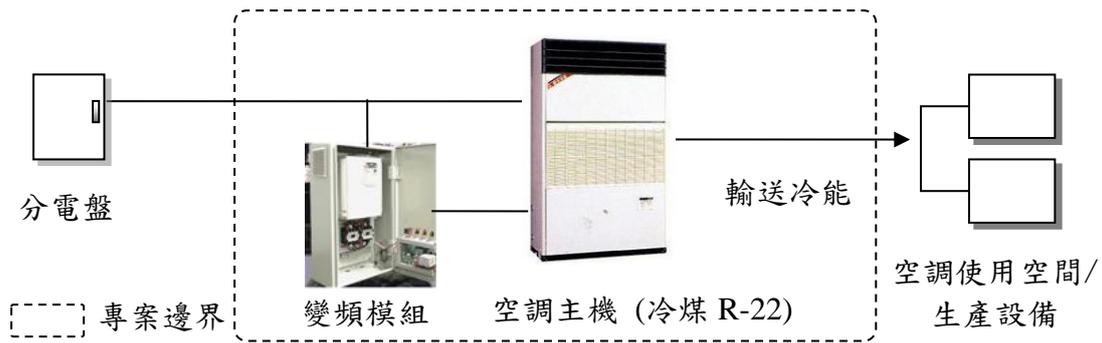
- (1)廠內既有箱型水冷式空調主機增設外掛式變頻控制模組(1對1)，符合條件1。
- (2)專案實施後，添購之變頻模組為向設備商購買之全新設備，符合條件2。
- (3)專案實施前後，空調主機所產生冷能皆為廠內電氣室使用，符合條件3。
- (4)專案活動未包括空調系統泵浦等其他設備之改善，不受條件4規範。
- (5)專案實施前後，空調主機非屬再生能源供應類型，使用電力來自台電電網，符合條件5。
- (6)專案邊界內空調主機之剩餘使用年限超過10年(大於計入期)，符合條件6。
- (7)本專案空調主機使用R-22冷媒，國內尚未有法規禁止該冷媒使用，符合條件7。
- (8)本專案之年總節能量約為0.39 GWh_e，未超過60 GWh_e，符合條件8。

3.專案執行邊界：

各區電氣室空調主機及外掛變頻模組。

(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：現行法令未強制規範空調主機須採用變頻控制，以提升主機效率。

(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。

檢視本專案規劃時(100 年)，廠內公用設備節能類型投資案之回收年限，平均在 3 年以下，若超過 3 年，將可能因經濟效益不具吸引力，而不予執行或暫緩施行。經計算結果，本專案設備投資回收年限為 4.44 年，明顯超過同類型投資案之回收年限指標(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：

- 每年節約用電 361,306.1 度(kWh)，每度電平均單價為 2.6 元(依據工廠 100 年度用電平均單價)。
- 5RT 主機對應變頻模組單價約 4.5 萬元(台)，10RT 主機對應變頻模組單價約 5.5 萬元(台)，另加上工程施工等費用，預估本專案投資成本約 450 萬元(含變頻模組、監測設備、效率檢測、管路施工等費用)。



▪ 無政府補助經費。

$$\begin{aligned} \text{設備投資回收年限} &= \frac{\$NTD4,500,000 - \$NTD 0}{(2,117,450 \text{ kWh/y} - 1,727,440 \text{ kWh/y}) \times \$NTD 2.6/\text{kWh}} \\ &= \frac{\$NTD4,500,000}{390,010 \text{ kWh/y} \times \$NTD2.6/\text{y}} = \frac{\$NTD4,500,000}{\$NTD1,014,026/\text{y}} \approx 4.44 \text{ 年} > 3 \text{ 年} \end{aligned}$$

(3)其他障礙分析：因應廠內空調主機規格，變頻模組為國外製，從安裝、操作至維修，需仰賴國外技術人員指導，對現場操作人員而言，存在控管過程之技術障礙。

註：於減量方法應用時，應依各專案實際狀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「TMS-II.019 無風管空調主機導入變頻控制」方法，以「既有空調主機未採變頻控制持續運轉」做為基線情境。廠內各區電氣室使用箱型水冷式空調主機，包括 30 台 5RT 及 50 台 10RT，依現場實際檢測結果，專案實施前冷卻水平均質量流分別為 3,765kg/h 及 7,530kg/h；冷卻水出水/回水平均溫差分別為 3°C 及 4°C。年使用時間皆為 4,800 小時(16 小時/天×300 天/年)。廠內空調主機提供冷能狀況穩定，專案實施前後，相關製程產能變動不大。

(2)基線能源用量

$$EC_{BL, y} = \sum_m EC_{m, BL, y}$$

$$EC_{m, BL, y} = EC'_{m, PJ, y} \div \alpha_m$$

經抽樣連續掛錶 1 個月檢測結果，變頻控制前後，壓縮機平均功率(W)變化如下：

主機規格	控制模式	平均功率(kW)	控制模式	平均功率(kW)
5RT	定頻控制	3.29	變頻控制	2.77
10RT	定頻控制	10.76	變頻控制	8.71

$$\alpha_m = \frac{W_{m, PJ}}{W_{m, BL}} ; \alpha_{5RT} = \frac{2.77 \text{ kW}}{3.29 \text{ kW}} = 0.842 ; \alpha_{10RT} = \frac{8.71 \text{ kW}}{10.76 \text{ kW}} = 0.810 , \text{ 則}$$

$$EC_{5RT, BL, y} = 10,803 \text{ kWh/y} \div 0.842 = \underline{\underline{12,830 \text{ kWh/y}}}$$

$$EC_{10RT, BL, y} = 28,067 \text{ kWh/y} \div 0.810 = \underline{\underline{34,651 \text{ kWh/y}}}$$

$$\begin{aligned} EC_{BL, y} &= 12,830 \text{ kWh/y} \times 30 \text{ 台} + 34,651 \text{ kWh/y} \times 50 \text{ 台} \\ &= 384,900 \text{ kWh/y} + 1,732,550 \text{ kWh/y} = \underline{\underline{2,117,450 \text{ kWh/y}}} \end{aligned}$$



(3)基線排放量

$$\begin{aligned}
 BE_y &= EC_{BL,y} \times EF_{ELEC,y} \div 1,000 \\
 &= 2,117,450 \text{ kWh/y} \times 0.536 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/t} \\
 &\doteq \underline{\underline{1,135 \text{ tCO}_2\text{e/y}}}
 \end{aligned}$$

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 /y	1,135
$EC_{BL,y}$	y 年之基線用電量	kWh/y	2,117,450
$EC_{PJ,y}$	y 年之專案用電量	kWh/y	1,727,440
α_{5RT}	專案實施前後 5RT 空調主機耗電比	—	0.842
α_{10RT}	專案實施前後 10RT 空調主機耗電比	—	0.810
$W_{5RT,PJ}$	專案實施後，5RT 空調主機之平均功率	kW	2.77
$W_{10RT,PJ}$	專案實施後，10RT 空調主機之平均功率	kW	8.71
$W_{5RT,BL}$	專案實施前，5RT 空調主機之平均功率	kW	3.29
$W_{10RT,BL}$	專案實施前，10RT 空調主機之平均功率	kW	10.76
$EF_{ELEC,y}$	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

$$EC_{PJ,y} = \sum EC'_{m,PJ,y}$$

本專案空調主機為箱型水冷式，適用減量方法第 16 點第(2)項，以冷能需求量計算空調主機 m 之用電量($EC'_{m,PJ,y}$)。

$$EC'_{m,PJ,y} = \sum_m \frac{CR_m}{\eta_{m,PJ}} \div 1,000 \times k_m ; k_m = \min(1, T_{m,his} / T_{m,PJ})$$

$$CR_m = cr_{m,h} \times T_{m,PJ} ; cr_{m,h} = HC_{m,h} - HG_{m,h}$$

$$HC_{m,h} = Q_m \times \Delta t_{m,cs-cr,PJ} \times C_p \times \rho_w$$

$$HC_{5RT,h} = 3.765 \text{ m}^3/\text{h} \times 3^\circ\text{C} \times 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 1,000 \text{ kg/m}^3 = 11,295 \text{ kcal/h}$$

$$HC_{10RT,h} = 7.530 \text{ m}^3/\text{h} \times 4^\circ\text{C} \times 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 1,000 \text{ kg/m}^3 = 30,120 \text{ kcal/h}$$

$$HG_{m,h} = W_{m,PJ} \times NCV_{ELEC}$$

$$HG_{5RT,h} = 2.77 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/kW} = 2,382.2 \text{ kcal/h}$$

$$HG_{10RT,h} = 8.71 \text{ kW} \times 860 \text{ kcal/kW} = 7,490.6 \text{ kcal/h}$$



$$cr_{5RT,h} = 11,295 \text{ kcal/h} - 2,382.2 \text{ kcal/h} = 8,912.8 \text{ kcal/h}$$

$$cr_{10RT,h} = 30,120 \text{ kcal/h} - 7,490.6 \text{ kcal/h} = 22,629.4 \text{ kcal/h}$$

$CR_m = cr_{m,h} \times T_{m,PJ}$ ；假設專案實施前後，相關運轉操作條件相同，空調主機運轉時數一致，即 $T_{m,PJ} = T_{m,his}$ ，則：

$$CR_{5RT} = 8,912.8 \text{ kcal/h} \times 4,800 \text{ h} = 42,781,440 \text{ kcal}$$

$$CR_{10RT} = 22,629.4 \text{ kcal/h} \times 4,800 \text{ h} = 108,621,120 \text{ kcal}$$

$$k_{5RT} = \min(1; 4,800/4,800) = 1 ; k_{10RT} = \min(1; 4,800/4,800) = 1$$

依設備商提供之檢測值， $\eta_{5RT,PJ} = 3.96 \text{ kcal/W-h}$ ， $\eta_{10RT,PJ} = 3.87 \text{ kcal/W-h}$

$$EC_{5RT,PJ} = 42,781,440 \text{ kcal} \div 3.96 \text{ kcal/W-h} \div 1,000 \text{ W/kW} \times 30 \text{ 台} \times 1$$

$$= 10,803 \text{ kWh} \times 30 \times 1 = \underline{\underline{324,090 \text{ kWh}}}$$

$$EC_{10RT,PJ} = 108,621,120 \text{ kcal} \div 3.87 \text{ kcal/W-h} \div 1,000 \text{ W/kW} \times 50 \text{ 台} \times 1$$

$$= 28,067 \text{ kWh} \times 50 \times 1 = \underline{\underline{1,403,350 \text{ kWh}}}$$

$$EC_{PJ,y} = EC_{5RT,PJ,y} + EC_{10RT,PJ,y}$$

$$= 324,090 \text{ kWh} + 1,403,350 \text{ kWh} = \underline{\underline{1,727,440 \text{ kWh}}}$$

(2) 專案實施後之排放量

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

$$= 1,727,440 \text{ kWh} \times 0.536 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} \div 1,000 \text{ kg/t} = \underline{\underline{926 \text{ tCO}_2\text{e}}}$$

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	926
$EC_{PJ,y}$	y 年之專案用電量	kWh	1,727,440
$EC_{5RT,PJ,y}$	專案實施後 5RT 之用電量	kWh	324,090
$EC_{10RT,PJ,y}$	專案實施後 10RT 之用電量	kWh	1,403,350
CR_{5RT}	專案實施後 5RT 主機所需冷能	kcal	42,781,440
CR_{10RT}	專案實施後 10RT 主機所需冷能	kcal	108,621,120
$cr_{5RT,h}$	專案實施後 5RT 主機之單位時間所需冷能	kcal/h	8,912.8
$cr_{10RT,h}$	專案實施後 10RT 主機之單位時間所需冷能	kcal/h	22,629.4
$T_{5RT,PJ}$	專案實施後 5RT 主機之運轉時數	h	4,800
$T_{10RT,PJ}$	專案實施後 10RT 主機之運轉時數	h	4,800
$T_{5RT,his}$	專案實施前 5RT 主機之歷史年運轉時數	h	4,800
$T_{10RT,his}$	專案實施前 10RT 主機之歷史年運轉時數	h	4,800
$HC_{5RT,h}$	5RT 主機單位時間冷卻水帶走的熱量	kcal/h	11,295



參數	定義	單位	數值
$HC_{10RT, h}$	10RT 主機單位時間冷卻水帶走的熱量	kcal/h	30,120
$HG_{5RT, h}$	5RT 主機單位時間壓縮機運轉產生之熱量	kcal/h	2,382.2
$HG_{10RT, h}$	10RT 主機單位時間壓縮機運轉產生之熱量	kcal/h	7,490.6
$\eta_{5RT, PJ}$	專案實施後 5RT 空調主機之效率	kacl/W-h	3.96
$\eta_{10RT, PJ}$	專案實施後 10RT 空調主機之效率	kacl/W-h	3.87
Q_{5RT}	專案實施後，5RT 主機冷卻水出水量	m ³ /h	3.765
Q_{10RT}	專案實施後，10RT 主機冷卻水出水量	m ³ /h	7.530
$\Delta t_{5RT, cs-cr, PJ}$	專案實施後，5RT 主機冷卻水出水/回水溫度差	°C	3
$\Delta t_{10RT, cs-cr, PJ}$	專案實施後，10RT 主機冷卻水出水/回水溫度差	°C	4
C_{p-w}	水的比熱	kcal/kg-°C	1
ρ_w	水的密度	kg/m ³	1,000
NCV_{ELEC}	電力熱值	kcal/kWh	860
k_{5RT}	5RT 主機用電量調整因子	—	1
k_{10RT}	10RT 主機用電量調整因子	—	1
EF_{ELEC}	電力排放係數	kgCO ₂ e/ kWh	0.536

7.洩漏量：

依減量方法「TMS-II.019 無風管空調主機導入變頻控制」並無洩漏產生。

8.排放減量：

(1)單一年度排放減量

$$ER = BE - (PE + LE)$$

$$= 1,135 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y} - (926 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y} + 0) = 209 \text{ tCO}_2\text{e} / \text{y}$$

▪ 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	209
BE_y	y 年之基線排放量	tCO ₂ e	1,135
PE_y	y 年之專案排放量	tCO ₂ e	926
LE_y	y 年之洩漏排放量	tCO ₂ e	0



(2)計入期計算摘要

本專案以變頻模組工程發包日(101年9月1日)為起始日，考量空調主機壽齡約25年，則專案結束日期為125年8月31日。

另，依據環保署「溫室氣體抵換專案管理辦法」，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102年1月1日~111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)	專案實施後之排放量(tCO ₂ e)	洩漏排放量(tCO ₂ e)	預期排放減量(tCO ₂ e)
102	1,135	926	0	209
103	1,135	926	0	209
104	1,135	926	0	209
105	1,135	926	0	209
106	1,135	926	0	209
107	1,135	926	0	209
108	1,135	926	0	209
109	1,135	926	0	209
110	1,135	926	0	209
111	1,135	926	0	209
合計	11,350	9,260	0	2,090

9.監測方法：

(1)監測項目

①預設係數與參數說明

數據/參數	$W_{5RT, BL}$ 、 $W_{10RT, BL}$
數據單位	kW
描述	專案實施前，空調主機之平均功率
使用數據來源	短期量測值
數值	3.29、10.76
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
備註	—

數據/參數	$T_{5RT, his}$ 、 $T_{10RT, his}$
數據單位	h
描述	專案實施前，空調主機之歷史年運轉時數
使用數據來源	操作紀錄



數值	4,800、4,800
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	C_{p-w}
數據單位	kcal/kg-°C
描述	水的比熱
使用數據來源	技術文件 (http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/spht.html)
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	使用 1 大氣壓下，25°C 液態水之比熱
備註	—

數據/參數	ρ_w
數據單位	kg/m ³
描述	水的密度
使用數據來源	預設值
數值	1,000
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	NCV_{ELEC}
數據單位	kcal/kWh
描述	電力熱值
使用數據來源	政府公告值
數值	860
數據選擇說明或實際應用之量測方法和步驟的描述	引用能源局 100 年度能源統計手冊 p149(電力-消費面)
備註	—



②應監測之數據與參數

數據/參數	$W_{5RT,PJ}$ 、 $W_{10RT,PJ}$
數據單位	kW
描述	專案實施後，空調主機之平均功率
使用數據來源	短期量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	2.77、8.71
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
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員定期(每季 1 次)進行量測、記錄，並妥善保存資料。功率量測所使用之電力分析儀應定期(至少 3 年 1 次)進行校正。
備註	以電子檔保存

數據/參數	$T_{5RT,PJ}$ 、 $T_{10RT,PJ}$
數據單位	h/y
描述	專案實施後空調主機運轉時間
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	4,800、4,800
將被採用的量測方法和步驟之描述	以各空調使用區域(相關製程)運轉操作紀錄計算
將被應用的 QA/QC 步驟	各區域操作人員每日記錄空調主機(或相關製程之)運轉時間，每月彙整 1 次，並經現場主管確認後，取各區加權平均值計算
備註	如 5RT 主機與 10RT 主機(含相關製程)運轉時數應分別計算。以電子檔保存。

數據/參數	$\eta_{5RT,PJ}$ 、 $\eta_{10RT,PJ}$
數據單位	kacl/W-h
描述	專案實施後空調主機之效率
使用數據來源	短期量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	3.96、3.87
將被採用的量測方法和步驟之描述	取系統一段時間內正常運轉下，各負載狀況所測得空調主機效率之加權平均值
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員定期(每季 1 次)進行量測、記錄，並妥善保存資料。
備註	以電子檔保存

數據/參數	Q_{5RT} 、 Q_{10RT}
數據單位	m^3/h
描述	專案實施後，空調主機冷卻水出水量



使用數據來源	短期量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	3.765 、 7.530
將被採用的量測方法和步驟之描述	取系統一段時間內正常運轉下，各負載狀況所測得冷卻水質量流之加權平均值
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員定期(每季 1 次)進行量測、記錄，確認量測位置一致，並妥善保存資料。所使用之流量計應定期(至少 3 年 1 次)進行校正。
備註	以電子檔保存

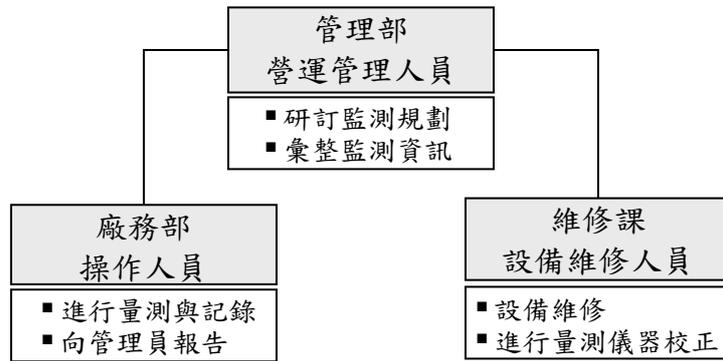
數據/參數	$\Delta t_{5RT,cs-cr,PJ}$ 、 $\Delta t_{10RT,cs-cr,PJ}$
數據單位	°C
描述	專案實施後，冷卻水出水/回水溫度差
使用數據來源	短期量測值
用於計算預估排放減量/移除量之數據數值	3、4
將被採用的量測方法和步驟之描述	於空調主機正常運轉情況下，以溫度計量測空調主機之冷卻水出水、回水溫度後計算(相減)，並取一段時間所量測結果之加權平均值
將被應用的 QA/QC 步驟	操作人員定期(每季 1 次)進行量測、記錄，並妥善保存資料。所使用之溫度計應定期(至少 3 年 1 次)進行歸零校正。
備註	以電子檔保存

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	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	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，獨立節能改善或整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。