

冰水主機節能改善
節能績效量測與驗證方法
(參考 ASHRAE Guideline 14-2002 方法)

冰水主機節能改善

節能績效量測與驗證方法

(參照美國 ASHRAE G-14 方法)

定義：本量測與驗證方法學適用於空調冰水主機之節能改善專案。改善前，依本方法學規定，連續量測並記錄冰水主機之耗電量、冰水進出水溫度、冷卻水進水溫度及空調負荷等主要運轉參數，據以建立冰水主機於不同運轉條件下之基準線性能係數(COP)方程式。改善後，持續量測並記錄冰水進出水溫度、冷卻水進水溫度、空調負荷及冰水主機實際耗電量，並將改善後之實際運轉條件代入基準線 COP 方程式，換算同等條件下之基準耗能，以比較基準耗能與改善後實際耗能之差異，評估空調冰水主機之節能成效。

1. 收集資料或部份量測數據：

(a) 基準線（欲汰換之冰水主機）：

- 冰水主幹管之冰水流量 (LPM)
- 冰水主幹管之冰水回水溫度及出水溫度 (°C)
- 冰水主幹管之冷卻水進水溫度 (°C)
- 冰水主機之總耗電 (kW)

(b) 改善後（新冰水主機安裝後）：

- 冰水主幹管之冰水流量 (LPM)
- 冰水主幹管之冰水回水溫度及出水溫度 (°C)
- 冰水主幹管之冷卻水進水溫度 (°C)
- 冰水主機之總耗電 (kW)
- 平均電費單價（包含基本電費及流動電費，元/kWh）

2. 方法及計算說明：

(a) 改善前連續記錄運轉資料，建立空調冰水機房基準線的性能方程式：

在空調冰水機房節能改善前，應連續收集為期一至三個月之基準期運轉資料，作為建立基準線所需之依據。改善前之運轉資料取樣間隔時間可設定為一分鐘、五分鐘或十五分鐘。依所蒐集之運轉資料，以下列計算式計算空調冰水機房之總冷凍能力(Q_{evap})及性能係數(COP)。

基準線空調冰水機房的總冷凍能力 Q_{evap} (kW)

$$Q_{evap} = \frac{V_{chw} \times (T_{chwrt} - T_{chwst}) \times \rho_w \times C_{pw}}{60 \text{ sec/min}}$$

V_{chw} ：基準線冰水主幹管的冰水流量(LPM)

T_{chwrt} ：基準線冰水主幹管的冰水回水溫度($^{\circ}\text{C}$)

T_{chwst} ：基準線冰水主幹管的冰水出水溫度($^{\circ}\text{C}$)

ρ_w ：水之密度=1 kg/L

C_{pw} ：水之比熱=4.186 kJ/kg- $^{\circ}\text{C}$

基準線空調冰水機房的性能係數COP

$$COP = \frac{Q_{evap}}{P_{chiller}}$$

$P_{chiller}$ ：基準線空調冰水機房的總耗電(kW)

參照ASHRAE Guideline 14-2002中所列出之冰水主機基準線性能係數方程式(1)，應先以基準期運轉資料進行迴歸分析，求得方程式中之 A_0 、 A_1 及 A_2 係數，據以定義空調冰水機房之基準線性能係數方程式。

先將蒐集記錄之冰水出水主幹管的溫度 T_{chwst} 及冷卻水進水主幹管的溫度 T_{cwt} ，轉換為絕對溫度(K)，逐筆代入計算式(2)，計算每筆資料的 α 值，計算格式如表1：試算範例表。將每筆的 T_{cwt}/T_{chwst} 值及其對應之 α 值，以 T_{cwt}/T_{chwst} 為X軸， α 值為Y軸，繪製如圖1之XY分佈圖，並迴歸出XY分佈圖的線性方程式，線性方程式的X項係數值（斜率）即為 A_2 。

再將迴歸求得之 A_2 值及每筆的 α 值代入計算式(3)，逐筆計算每筆資料的 β 值。將每筆的 T_{cwt} 值及其對應之 β 值，以 T_{cwt} 為X軸， β 值為Y軸，繪製如圖2之XY分佈

圖，並迴歸出XY分佈圖的線性方程式，圖2線性方程式的X項係數值（斜率）即為A₁，常數項係數值（截距）即為A₀。

以表1範例表經迴歸計算得到之A₀、A₁及A₂值，整理如表2所示，將迴歸得計算到之A₀、A₁及A₂值，代入方程式(1)後，即可建立空調冰水機房改善前基準線的性能係數方程式(4)。

$$1/\text{COP} = -1 + T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}} + [-A_0 + A_1 \times T_{\text{cwrt}} - A_2 \times (T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}})]/Q_{\text{evap}} \quad (1)$$

$$\alpha = (1/\text{COP} + 1 - T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}}) \times Q_{\text{evap}} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \beta &= (1/\text{COP} + 1 - T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}}) \times Q_{\text{evap}} + A_2 \times (T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}}) \\ &= \alpha + A_2 (T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}}) \end{aligned} \quad (3)$$

T_{cwrt}：基準線空調冰水機房冷卻水進水主幹管的溫度(°C)

表 1：試算範例表

日期	時間	T _{cwrt} °C	T _{chwst} °C	T _{chwrt} °C	V _{chw} LPM	P _{chiller} kW	Q _{evap} kW	COP (Q _{evap} /P _{chiller})	T _{cwrt} K	T _{chwst} K	T _{cwrt} /T _{chwst}	α	β
2005/2/8	12:17:44	21.06	6.72	9.22	3210	127.0	559.9	4.41	294.2	279.9	1.0512	98.3	1501
2005/2/8	12:22:44	21.56	6.44	8.94	3210	119.0	559.9	4.70	294.7	279.6	1.0540	88.7	1496
2005/2/8	12:27:44	21.94	6.50	8.72	3210	126.0	497.7	3.95	295.1	279.7	1.0552	98.5	1507
2005/2/8	12:32:44	21.39	6.61	9.06	3210	126.0	547.4	4.34	294.5	279.8	1.0528	97.1	1502
2005/2/8	12:37:44	21.83	6.44	8.83	3210	122.0	535.0	4.39	295.0	279.6	1.0550	92.6	1501
2005/2/8	12:42:44	21.06	6.50	9.17	3210	118.0	597.2	5.06	294.2	279.7	1.0520	86.9	1491

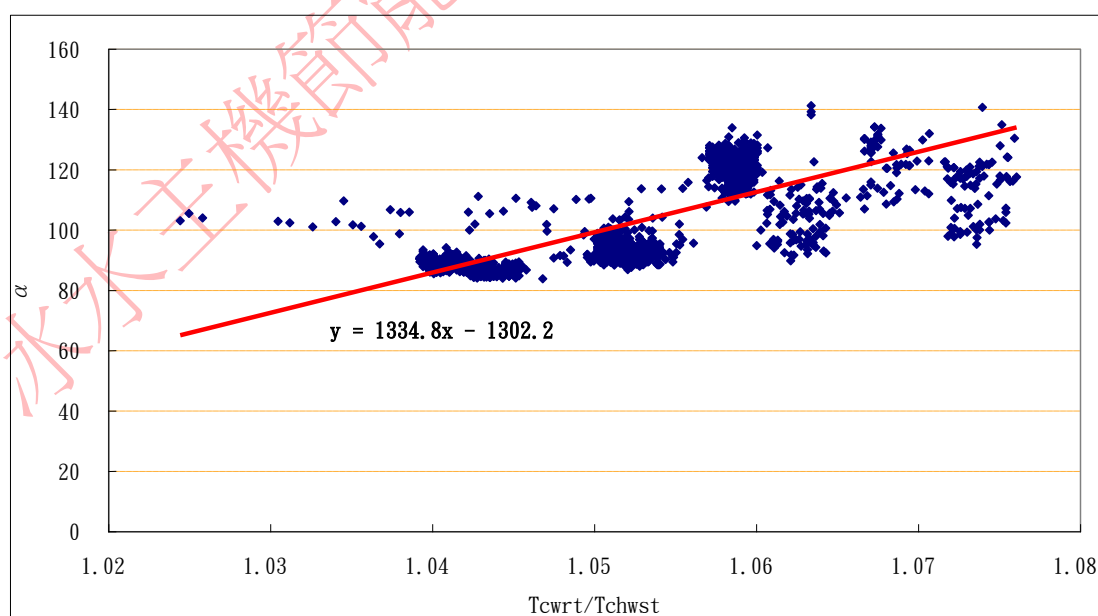


圖 1：A₂ 係數迴歸分析圖

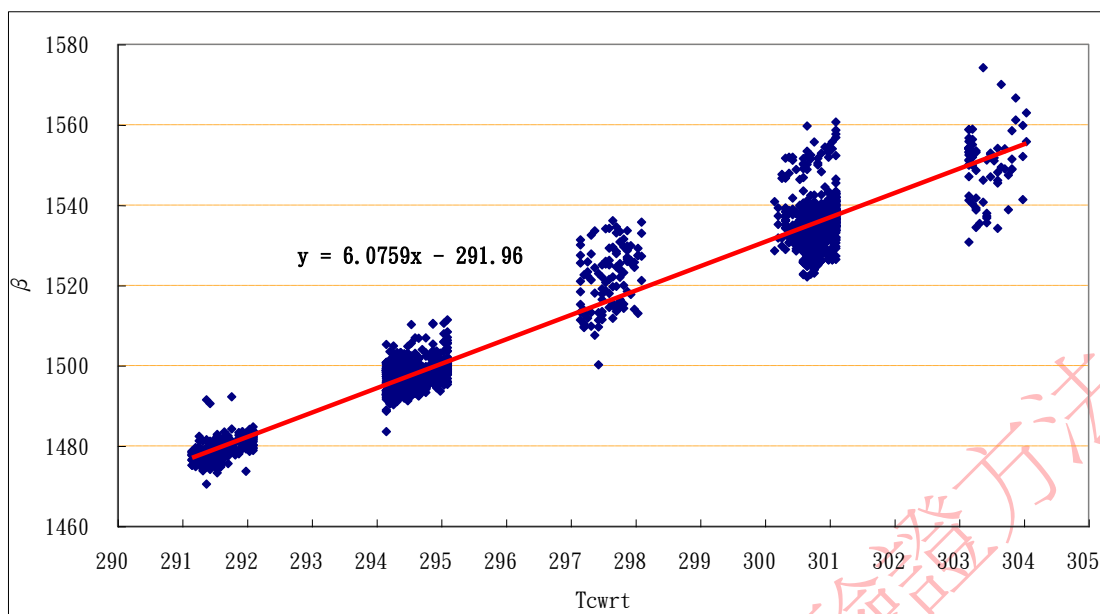


圖 2：A₀ 及 A₁ 係數迴歸分析圖

表 2：迴歸計算求得之 A₀、A₁、A₂ 係數表

A ₀	A ₁	A ₂
291.96	6.0759	1,334.8

$$1/\text{COP} = -1 + T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}} + [-291.96 + 6.0759 \times T_{\text{cwrt}} - 1,334.8 \times (T_{\text{cwrt}}/T_{\text{chwst}})]/Q_{\text{evap}} \quad (4)$$

(b)改善後收集運轉數據：

空調冰水機房節能改善後，每季（間隔3個月）連續監測記錄1~2週的運轉數據，資料蒐集的項目與基準線相同，取樣運轉資料的間隔時間，可以為1分鐘、5分鐘或15分鐘，逐筆計算空調冰水機房改善前後的性能係數COP。改善後空調冰水機房的總冷凍能力 $Q_{\text{evap-p}}$ (kW)。

$$Q_{\text{evap-p}} = \frac{V_{\text{chw-p}} \times (T_{\text{chwrt-p}} - T_{\text{chwst-p}}) \times \rho_w \times C_{pw}}{60 \text{ sec/min}}$$

$V_{\text{chw-p}}$ ：改善後空調冰水機房冰水主幹管的流量（LPM）

$T_{\text{chwrt-p}}$ ：改善後空調冰水機房之冰水回水主幹管的溫度（℃）

$T_{\text{chwst-p}}$ ：改善後空調冰水機房之冰水出水主幹管的溫度（℃）

改善後空調冰水機房的性能係數 COP_{post} ：

$$\text{COP}_{\text{post}} = \frac{Q_{\text{evap-p}}}{P_{\text{chiller-p}}}$$

P_{chiller} ：改善後空調冰水機房的總耗電(kW)

(c)基準線 COP_{base} 的計算方式：

以改善後冰水出水主幹管的溫度 $T_{chwst-p}$ 、及冷卻水進水主幹管的溫度 T_{cwrt-p} 及總冷凍能力 Q_{evap-p} ，代入前述之空調冰水機房基準線的性能係數方程式(4)中計算，即可求得改善前的 COP_{base} 。

$$1/COP_{base} = -1 + T_{cwrt-p}/T_{chwst-p} + [-291.96 + 6.0759 \times T_{cwrt-p} - 1,334.8 \times (T_{cwrt-p}/T_{chwst-p})]/Q_{evap-p}$$

(d)節能效益計算：

於改善後期間，採每季進行一次短期運轉資料量測，並以部分約定運轉資料方式進行節能效益計算。各季改善後應連續量測並記錄一至二週之運轉資料，據以計算該季累計節能量 $E_s(kWh)$ ：

$$E_s = \sum \left[\frac{\left(\frac{1}{COP_{base}} - \frac{1}{COP_{pose}} \right) \times Q_{evap-p} \times t}{60 \text{ min/hr}} \right]$$

t：記錄運轉資料的間隔時間(min)

日平均節能量 $E_{s-dav}(kWh/\text{日})$ ：

$$E_{s-dav} = \frac{E_s}{d}$$

d：累計記錄的天數

以雙方約定每季的使用天數，乘以日平均節能量 E_{s-dav} ，計算出改善後每季的節能量 $E_{saving-s}$ 。

$$E_{saving-s} = E_{s-dav} \times D$$

D：約定每季空調冰水機房的運轉天數（日/季）

以雙方約定每季的使用天數，乘以日平均節能量 E_{s-dav} 及平均電費單價 U_e ，計算改善後每季的節能金額 $F_{saving-s}$ 。

$$F_{saving-s} = E_{s-dav} \times D \times U_e$$

U_e ：平均電價單價(元/kWh)

(e)以連續監控系統，記錄運轉資料，累計計算節能效益：

採用連續監控系統，持續記錄運轉資料並計算節能效益，長期累計節能量及節能金額。系統以固定時間間隔 t 記錄一筆運轉資料，並據以計算長期累計之節能量 $E_{\text{saving}-t}$ ，其計算方式如下所示。

$$E_{\text{saving}-t} = \sum \left[\frac{\left(\frac{1}{COP_{\text{base}}} - \frac{1}{COP_{\text{post}}} \right) \times Q_{\text{evap}-p} \times t}{60 \text{ min/hr}} \right]$$

間隔 t 時間記錄 1 筆運轉資料，長時間累計的節能金額 $F_{\text{saving}-t}$ ：

$$F_{\text{saving}-t} = \sum \left[\frac{\left(\frac{1}{COP_{\text{base}}} - \frac{1}{COP_{\text{post}}} \right) \times Q_{\text{evap}-p} \times t \times U_e}{60 \text{ min/hr}} \right]$$