

冰水主機汰換之 節能績效量測與驗證方法 (FEMP)

財團法人台灣綠色生產力基金會

冰水主機汰換之節能績效量測與驗證方法 (FEMP)

- 說明：以空調系統之耗電量與冷卻水主幹管回水溫度 T_{cwr} 、冰水主幹管出水溫度 T_{chws} 、主機部分負載比率 PLR，進行基準線之建立。為一個隨溫度變化的模型，可適用負載比率與溫度有較大變化的空調系統之中，並且單獨建立個別冰水主機之模型。

一、收集數據與資料

(1) 基準線（欲汰換之冰水主機）：

- 冰水主機之冰水流量（LPM）
- 冰水主機之冰水回水溫度及出水溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）
- 冰水主機之冷卻水回水溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）
- 冰水主機之耗電（kW）

(2) 改善後（新冰水主機安裝後）

- 冰水主機之冰水流量（LPM）
- 冰水主機之冰水回水溫度及出水溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）
- 冰水主機之冷卻水回水溫度（ $^{\circ}\text{C}$ ）
- 冰水主機之耗電（kW）
- 平均電費單價（包含基本電費及流動電費）（元/kWh）

二、方法及計算說明：

(1) 改善前連續記錄運轉資料，建立冰水主機基準線的性能方程式：

在空調冰水機房節能改善前，連續收集（1~3 個月）基準線所需之空調冰水機房的運轉資料，改善前取樣運轉資料的間隔時間為 1 分鐘，再利用資料分析中的迴歸計算方式，將數據區分出 X 範圍之輸入變數部份以及 Y 範圍之輸出變數部份，用迴歸計算分析後得到 C_0 至 C_9 的係數。

建立基準線冰水主機耗電量數學模型

$$\begin{aligned} P_{chiller} = & C_0 + C_1 \times T_{chws-b} + C_2 \times T_{chws-b}^2 + C_3 \times T_{cwr-b} + C_4 \times T_{cwr-b}^2 + C_5 \times PLR_{base} \\ & + C_6 \times PLR_{base}^2 + C_7 \times T_{chws-b} \times T_{cwr-b} + C_8 \times T_{chws-b} \times PLR_{base} + C_9 \times T_{cwr-b} \times PLR_{base} \end{aligned} \quad \dots(2.33)$$

符號說明如下：

$P_{chiller}$ ：基準線冰水主機耗電量(kW)

T_{chws-b} ：基準線冰水主幹管的冰水出水溫度(°C)

T_{cwr-b} ：基準線冷卻水主幹管的冷卻水回水溫度(°C)

PLR_{base} ：改善前主機之部分負載率（ $Q_{Load}/Capacity$ ）

$C_0 \sim C_9$ ：依量測數據所迴歸之係數

參照 M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0 中所列出之冰水主機基準線性能係數方程式（方程式 2.33），需先迴歸 $C_0 \sim C_9$ 係數才能定義出空調冰水機房基準線的性能係數方程式。

(2) 改善前記錄數據

改善前先蒐集紀錄主機之冰水流量、主機之冰水出回水溫度、主機之冷卻水回水溫度以及冰水主機之耗電，如下表 2.19 所示，再將的冰水主幹管出水溫度 T_{chws-b} 、冰水主機的冷卻水主幹管回水溫度 T_{cwr-b} 、冰水主機之部分負載率 PLR_{base} 代入（方程式 2.30），再利用 Excel 內建迴歸求解方式迴歸出 $C_0 \sim C_9$ 係數，用所得的 $C_0 \sim C_9$ 之係數代入 FEMP 經驗公式模型（方程式 2.33），此方程式可求得迴歸之基準線耗電量基準線。

再利用資料分析中的迴歸計算方式，將數據區分出 X 範圍之輸入變數部份以及 Y 範圍之輸出變數部份，用迴歸計算分析後得到 C_0 至 C_9 的係數，如下表 2.20 所示。

表2.19 改善前基準線數據蒐集

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	$T_{cwST}(^{\circ}C)$	$T_{cwRT}(^{\circ}C)$	$M_{cw}(kg/min)$	$T_{chwST}(^{\circ}C)$	$T_{chwRT}(^{\circ}C)$	$M_{chw}(kg/min)$	P(kW)	資料總數
2	31.20	28.74	6444.92	8.64	10.57	4484.71	247.64	3826
3	31.17	28.72	6444.92	8.64	10.57	4484.71	248.07	
4	31.20	28.72	6444.92	8.56	10.57	4484.71	247.15	
5	31.15	28.71	6444.92	8.64	10.55	4484.71	247.94	
6	31.15	28.72	6444.92	7.17	10.49	4484.71	248.76	
7	31.21	28.73	6444.92	7.21	10.52	4484.71	247.54	
8	31.21	28.74	6444.92	7.32	10.52	4484.71	247.59	
9	31.17	28.74	6444.92	7.36	10.50	4484.71	249.34	
10	31.11	28.71	6444.92	7.32	10.39	4484.71	247.49	
11	31.07	28.65	6444.92	7.21	10.21	4484.71	249.52	
12	31.07	28.71	6444.92	7.02	9.95	4484.71	246.92	
13	30.94	28.67	6444.92	7.02	9.80	4484.71	247.50	
14	30.90	28.71	6444.92	6.98	9.63	4484.71	250.15	
15	30.81	28.67	6444.92	6.94	9.53	4484.71	250.00	
16	30.72	28.62	6444.92	6.84	9.44	4484.71	250.11	
17	30.49	28.48	6444.92	6.91	9.41	4484.71	247.99	
18	30.26	28.35	6444.92	6.85	9.30	4484.71	248.05	
19	30.06	28.28	6444.92	6.83	9.18	4484.71	246.98	
20	29.96	28.31	6444.92	6.91	9.12	4484.71	245.57	
21	29.91	28.27	6444.92	6.92	9.09	4484.71	242.73	
22	29.68	28.08	6444.92	6.89	9.05	4484.71	238.87	

表2.20迴歸計算求得 C_0 至 C_9 係數表

係數	冰水主機
C_0	-265.4093
C_1	34.2226
C_2	-14.5177
C_3	15.6453
C_4	-1.45748
C_5	-919.1953
C_6	-430.2128
C_7	7.6277
C_8	45.3835
C_9	28.5107

(3) 改善後收集運轉數據

新的冰水主機安裝後，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如下表 2.21 所示，取樣運轉資料的間隔時間為 1 分鐘，再將改善前以 Excel 迴歸分析求得之 C_0 至 C_9 係數代回公式(2.33)，如下式(2.34)所示

表2.21 改善後數據蒐集

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	$T_{cwsT}(^{\circ}C)$	$T_{cwRT}(^{\circ}C)$	$M_{cw}(kg/min)$	$T_{chwST}(^{\circ}C)$	$T_{chwRT}(^{\circ}C)$	$M_{chw}(kg/min)$	P(kW)	資料總數
2	32.60	29.60	6012.40	6.65	10.34	4493.70	338.19	2360
3	32.57	29.57	6012.40	7.17	11.17	4493.70	333.52	
4	32.33	29.33	6012.40	7.36	11.29	4493.70	335.13	
5	32.14	29.14	6012.40	7.34	11.35	4493.70	332.74	
6	32.03	29.03	6012.40	7.27	11.02	4493.70	330.42	
7	31.87	28.87	6012.40	7.08	10.68	4493.70	323.96	
8	31.84	28.84	6012.40	6.98	10.53	4493.70	317.68	
9	31.77	28.77	6012.40	6.89	10.37	4493.70	303.22	
10	31.63	28.63	6012.40	6.82	10.27	4493.70	275.81	
11	31.53	28.53	6012.40	6.84	10.22	4493.70	249.26	
12	31.44	28.44	6012.40	6.79	10.15	4493.70	260.39	
13	31.46	28.46	6012.40	6.75	10.03	4493.70	268.83	
14	31.36	28.36	6012.40	6.70	9.91	4493.70	273.68	
15	31.31	28.31	6012.40	6.62	9.81	4493.70	270.06	
16	31.27	28.27	6012.40	6.59	9.72	4493.70	265.50	
17	31.26	28.26	6012.40	6.64	9.64	4493.70	261.22	
18	31.08	28.08	6012.40	6.61	9.54	4493.70	253.99	
19	31.05	28.05	6012.40	6.56	9.45	4493.70	250.81	
20	30.85	27.85	6012.40	6.55	9.36	4493.70	246.53	
21	30.76	27.76	6012.40	6.50	9.30	4493.70	240.21	
22	30.66	27.66	6012.40	6.52	9.23	4493.70	235.30	

(4) 模擬改善前冰水主機耗電量 P_{base} (kW)

$$\begin{aligned}
 P_{base} = & -265.4093 + 34.226 \times T_{chws-P} - 14.5177 \times T_{chws-P}^2 + 15.6453 \times T_{cwr-P} - 1.45748 \times T_{cwr-P}^2 \\
 & - 919.1953 \times PLR_{Post} - 430.2128 \times PLR_{Post}^2 + 7.6277 \times T_{chws-P} \times T_{cwr-P} \\
 & + 45.3835 \times T_{chws-P} \times PLR_{Post} + 28.5107 \times T_{cwr-P} \times PLR_{Post}
 \end{aligned}
 \quad (2.34)$$

以改善後的冰水出水溫度 T_{chws-P} 、及冷卻水回水溫度 T_{cwr-P} 及冰水主機部分負載率 PLR_{Post} ，代入前述之冰水主機基準線的耗電量計算公式(2.34)，即可求得改善前的 P_{base} 。

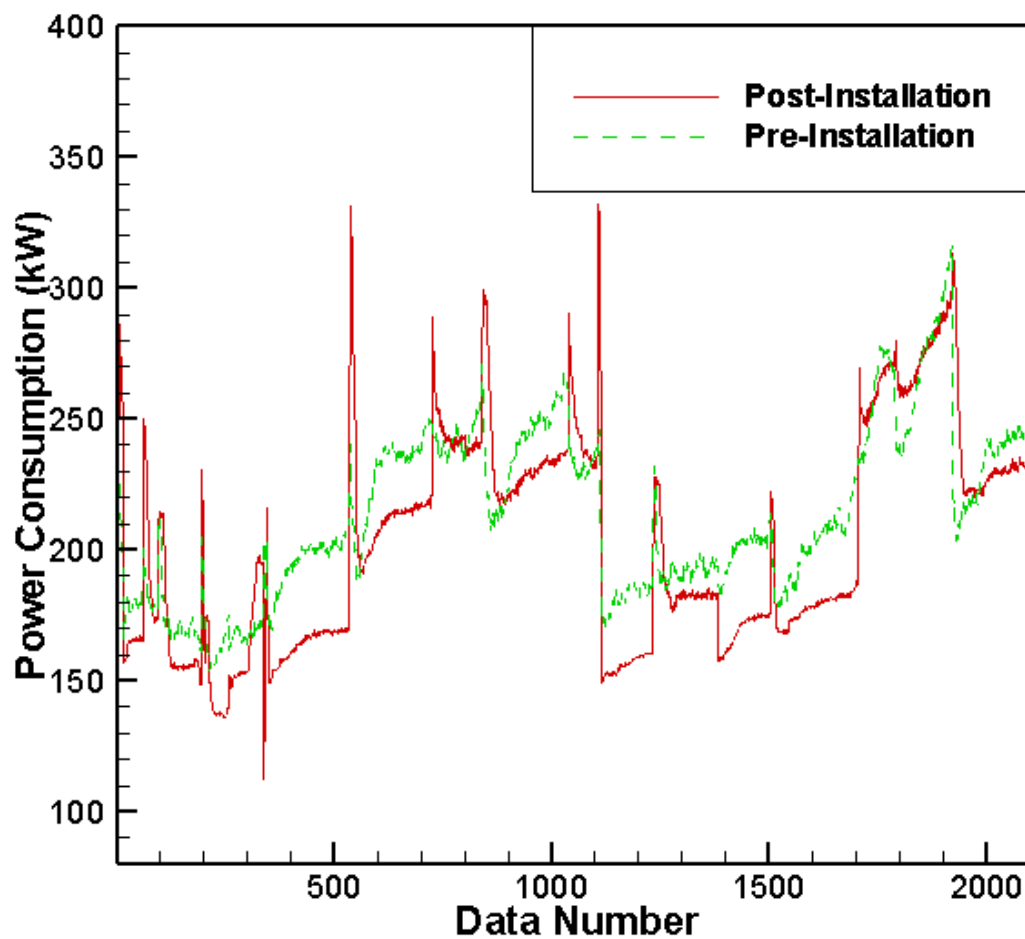


圖 2.23 相同數據及負載下耗電比較圖

上圖 2.23 為相同數據之下比較冰水主機改善前與改善後之耗電量比較圖，Pre-Installation 為改善前之耗電量，是以 FEMP 方法所以模擬出來之改善前耗電量，Post-Installation 為改善後所量測之冰水主機耗電量，並以相同之數據與環境下比較冰水主機節能效益。

節能效益計算：

(1) 每季記錄一短期的運轉資料，以部分約定運轉資料的方式，計算

每季之節能效益，如下式(2.35)：

$$E_s = \sum \left[\frac{(P_{base} - P_{Post}) \times t}{60 \text{ min/hr}} \right] \dots\dots(2.35)$$

t ：記錄運轉資料的間隔時間 (min)

日平均節能量 E_{s-dav} (kWh/日)：

$$E_{s-dav} = \frac{E_s}{d} \dots\dots(2.36)$$

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 $E_{savings}$

$$E_{savings} = E_{s-dav} \times D \dots\dots(2.37)$$

D ：約定每季冰水主機的運轉天數（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 $F_{savings-s}$

$$F_{savings-s} = F_{s-dav} \times D \times U_e \dots\dots(2.38)$$

U_e ：平均電價單價(元/kWh)

(2) 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，記錄及計算節能效益，長期累計累計量及節能金額，計算方式如下

間隔 t 時間記錄 1 筆運轉資料，長期累計的節能量 $E_{savings-t}$ ：

$$E_{savings-t} = \sum \left[\frac{(P_{base} - P_{Post}) \times t}{60 \text{ min/hr}} \right] \dots\dots(2.39)$$

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

$$F_{savings-t} = \sum \left[\frac{(P_{base} - P_{Post}) \times t \times U_e}{60 \text{ min/hr}} \right] \dots\dots(2.40)$$