

空調EER產業技術CNS綠色工法研討會

冰水機組測試方法於實務上應用技術

主講人: 國立台北科技大學-節能減排研究中心主任
卓清松教授

大綱

Ø冰水主機測試規範介紹

- 冰水機組測試用途
- CNS12575、12812與AHRI550/590比較
- 整合性部份負載效率之測定

Ø冰水機組節能策略

- 節能策略介紹
- 冷卻水塔節能控制

ØEER與節能防垢技術

- 耗電比較分析
- 個案研究

冰水機組測試用途

冰水機組(水冷式或氣冷式)是製造冰水提供製冷能力最重要的一個機具設備，其效率之高低、性能之優劣直接影響中央空調系統的效能與耗電量。近來由於政府逐步在節約能源、效率管制上採取嚴格措施，加上民眾對於環保節能與消費意識的提高，用來驗證設備效率的相關性能測試，也更加的受到重視並被大量的執行使用。

測試項目

- Ø 製冷能力試驗
- Ø 製冷消耗電功率試驗
- Ø 熱回收加熱能力試驗
- Ø 熱回收加熱電功率試驗
- Ø 能源效率比或者性能係數試驗

CNS12575、12812與ARI550/590比較表

標準	CNS12575	CNS12812(已廢止)	ARI550/590
壓縮機形式	容積式	離心式	蒸氣壓縮式
全載測試條件	1.冰水進水溫 $12(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 冰水出水溫 $7(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 2.冷卻水進水溫 $30(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 冷卻水出水溫 $35(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 3.水流量 $10.0\text{L}/\text{min}/\text{RT}\pm 5\%$	同CNS12575	1.冰水流量 $2.4\text{GPM}/\text{RT}$ ， 出水溫 $6.7(\pm 0.3^{\circ}\text{C})$ 2.冷卻水流量 $3.0\text{GPM}/\text{RT}$ ， 進水溫出水溫 $29.4(\pm 0.3^{\circ}\text{C})$ 3.水流量額定值 $\pm 5\%$ 內

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23 5

標準	CNS12575	CNS12812(已廢止)	ARI550/590
部分負載條件	1.冰水出水溫 $7(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ ， 水量固定 2.100%冷卻水入水溫 $30(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 75%冷卻水入水溫 $24(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 50%冷卻水入水溫 $19(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 25%冷卻水入水溫 $19(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 3.水流量 $12.5\text{L}/\text{min}/\text{RT}\pm 5\%$	1.冰水出水溫 7°C $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，水量固定。 2.冷卻水進水溫 100%運轉 $30(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ 0%運轉 $25(\pm 0.5^{\circ}\text{C})$ ； 能力在此範圍內 依線性比例推算。	1.冰水條件與全載相同 2.冷卻水進水溫則依照 $100\%=29.4^{\circ}\text{C}$ $75\%=23.9^{\circ}\text{C}$ $50\%=18.3^{\circ}\text{C}$ $25\%=18.3^{\circ}\text{C}$
積垢容許值	$0.000044\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$	$0.000044\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$	冰水側: $0.000018\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 冷卻水側: $0.000044\text{ m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23 6

CNS 12575測試標準條件（96年）

		冰水 ^{°C}		水冷式 ^{°C}		氣冷式(入口空氣溫度)	
		水流量	出口水溫	入口水溫	水流量	乾球溫度	濕球溫度
冷卻機組	冷卻條件	10.0± 5% L/min/RT	7.0 ± 0.5 (各種負載)	30.0 ± 0.5	12.5± 5% L/min/RT (各種負載)	35.0± 1.0	24 ± 0.5
	過載條件			32 ± 0.5		43 ± 1	25.5 ± 0.5
熱泵機組	加熱條件	40 ± 0.5	45 ± 0.5	15.5 ± 0.5	7 ± 0.5	7 ± 1	6 ± 0.5
	過載條件	---	50 ± 0.5	21 ± 0.5	---	21 ± 1	15.5 ± 0.5
部份負載 冷卻運轉		出口溫度一定 (7.0 ± 0.5) °C 水量 10.0 L/min/RT± 5%		75%	24.0 ± 0.5°C	75%	27.0 ± 1.0°C
				50%	19.0 ± 0.5°C	50%	18.0 ± 1.0°C
				25%	19.0 ± 0.5°C	25%	13.0 ± 1.0°C

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

7

整合性部份負載效率之測定

CNS 12575/ARI 550標準之部份負載性能表示法有下列兩種：

- (1) 整合性部份負載效率 **IPLV** (Integrated Part Load Value)：根據標準試驗條件測得。
- (2) 非標準條件部分負載效率 **NPLV** (Non-Standard Part Load Value)：根據廠商自行選擇的應用試驗條件測得。

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

8

CNS 12575/ARI 550 IPLV計算公式

公英制	單位	IPLV
I-P	KW/RT	$IPLV = \frac{1}{\frac{0.01}{A} + \frac{0.42}{B} + \frac{0.45}{C} + \frac{0.12}{D}}$
S-I	EER or COP	$IPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D$
<p>其中：A = 於 100% 製冷能力時之 kW/ton [EER 或 COP] B = 於 75% 製冷能力時之 kW/ton [EER 或 COP] C = 於 50% 製冷能力時之 kW/ton [EER 或 COP] D = 於 25% 製冷能力時之 kW/ton [EER 或 COP]</p>		

代表單一冰水機之平均部分負載效率
(並不適用於多冰水機系統)

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

9

AHRI 550/590 - 2003 IPLV溫度條件

S-I制

%負載	水冷式 冷凝器入水溫 °C/°F	氣冷式 空氣入口乾球 溫度°C/°F	蒸發冷卻式 空氣入口濕球 溫度°C
100%	29.4/85	35.0/95	23.9/75
75%	23.9/75	26.7/80	20.4/69
50%	18.3/65	18.3/65	17.0/63
25%	18.3/65	12.8/55	13.5/56

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

10

有段加卸載冰水機之IPLV測試

當主機無法依要求做出100%、75%、50%、25%能力時，必須將該機部分負載的效率值描點繪圖，點跟點之間再連成直線。再於線上內插求出標準負載點。要注意的是，不可以將直線做外插延伸，須往外推測能力時，須依下列公式步驟來計算而得。

首先計算LF值：

$$LF = \frac{\left(\frac{\% \text{標準負載百分比}}{100}\right) \times (\text{滿載能力})}{\text{實測部分負載能力}}$$

再將LF值代入下列公式求出C_D值：（下標D表示下圖D點）

$$C_D = (-0.13 \cdot LF) + 1.13$$

再將C_D值代入下列公式求出EER值：

$$EER = \frac{EER_{\text{實測最低負載}}}{C_D}$$

注意此EER為美國慣用單位，台灣改用kcal/h亦可

有段加卸載冰水機之IPLV測試範例

以下為某台冰水機的部分負載實測結果：

降載段	能力(冷凍噸)	輸入電力(kW)	EER**
4	100.0	92.3	13.00
3	72.1	57.4	
2*	41.3	31.3	
1*	41.8	33.3	

* 已為最低負載，無法再降載

** EER在此為美國慣用單位Btu/h/Watts

根據實測結果繪出右圖(以方點表示)，再由圖中內插
求出75%、50%的效率值(以圓點表示)如下表。

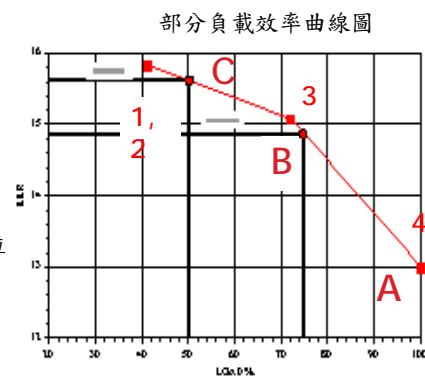
點	負載比例%	能力(冷凍噸)	EER
A	100%	100	13.00
B	75%	75	14.85
C	50%	50	15.62

由於25%的值在直線之左側之外，不能使用外插，所以要使用前述公式來求得。

$$LF = \frac{\left(\frac{25}{100}\right) \times (100)}{41.8} = 0.60 \quad C_D = (-0.13 \times 0.60) + 1.13 = 1.05 \quad EER_{25\%} = \frac{15.06}{1.05} = 14.35 \frac{\text{Btu}}{\text{W} \cdot \text{h}}$$

此值即為D點之值。最後將A、B、C、D代入IPLV公式：

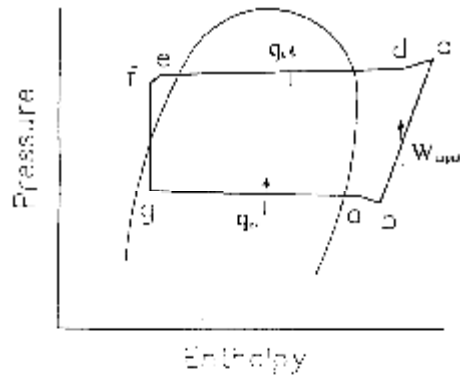
$$\text{IPLV} = 0.01 \times 13.00 + 0.42 \times 14.85 + 0.45 \times 15.62 + 0.12 \times 14.35 = 15.12 \text{ Btu/W-h}$$



熱平衡 (H. B, Heat Balance) 的意義

熱平衡百分比的定義如下：

用來確認冰水機測試數據的準確度



$$\frac{q_{ev} + W_{input} - q_c}{q_c} \times 100$$

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

13

積垢容許之水溫修正範例

範例：以冷凝器管內的額定積垢值，來修正冷凝器入口水溫(以U.S.標準單位為例)

額定的積垢容許 $ff_{sp} = 0.00025 \text{ hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$

冷凝器負載， $q = 2,880,000 \text{ Btu/h}$

額定的冷凝器出口水溫， $T_{wl} = 95 \text{ }^\circ\text{F}$ 額定的冷凝器入口水溫， $T_{we} = 85 \text{ }^\circ\text{F}$

管內表面積， $A_i = 550 \text{ ft}^2$ (因本範例為管內積垢) 飽和冷凝溫度， $t_s = 101 \text{ }^\circ\text{F}$

$S_{sp} = t_s - t_{wl} = 101 - 95 = 6 \text{ }^\circ\text{F}$

$R = t_{wl} - t_{we} = 95 - 85 = 10 \text{ }^\circ\text{F}$

其中

$$LMTD = \frac{R}{\ln(1 + R/S)} = \frac{10}{\ln(1 + 10/6)} = 10.2 \quad ILMTD = ff_{sp} * \left(\frac{q}{A}\right) = 0.00025 * \left(\frac{2,880,000}{550}\right) = 1.31$$

$$TD_a = S_{sp} - \frac{R}{e^z - 1} \quad \text{其中} \quad z = \frac{R}{LMTD - ILMTD} = 1.12$$

$$TD_a = 6.0 - 4.8 = 1.2 \text{ }^\circ\text{F}$$

由上得知，以冷凝器的入水溫度提高 $1.2 \text{ }^\circ\text{F}$ 來模擬 $0.00025 \text{ hr ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/Btu}$ 的積垢

容許，故冷凝器的入水溫度須為 $85 + 1.2$ 即 $86.2 \text{ }^\circ\text{F}$ 。

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

14

冰水機組節能策略

冰水主機效率不佳原因

主機系統設計不佳	運轉操作不良
壓縮機效率不佳	主機於低負載運轉
熱交換器面積不足	<u>結垢造成熱交換效果差</u>
熱交換器與冷媒管路與元件 壓損過大	<u>水量偏低</u>
設計水流速過低	<u>冷卻水溫偏高</u>
系統油循環量過高	<u>冰水水溫設定偏低</u>
系統回油不良	冷媒系統中有水份或不凝結 氣體
	冷媒洩漏

節能策略介紹

- u 變頻控制之應用
- u 提高冰水主機之蒸發溫度
- u 降低冰水主機之冷凝溫度
- u 使用高效率之冰水主機
- u 定時使用化學藥劑清洗冷凝器
- u 使用節能防垢設備改善冷凝器運轉熱交換效率

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

17

變頻式冰水主機控制原理

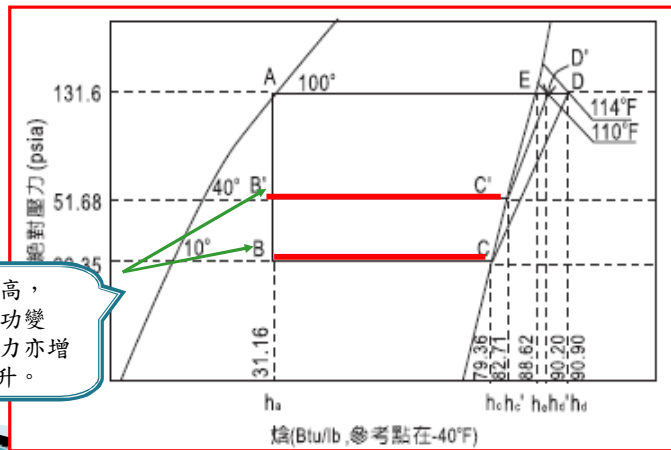
1. 壓縮機的冷凍能力是與轉速與入口截面積成正比，只要轉速或入口截面積增加，壓縮機的冷凍能力亦增加。
2. 壓縮機的揚程是與冷媒流速二次方成正比，只要轉速或直徑增加，壓縮機的揚程亦增加。
3. 壓縮機的耗電量是與冷媒流速三次方成正比，只要葉輪轉速或揚程下降，壓縮機的耗電量即可迅速下降。
4. 冰水主機與變頻器搭配可以提高冰水主機的效率。

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

18

提高冰水主機之蒸發溫度

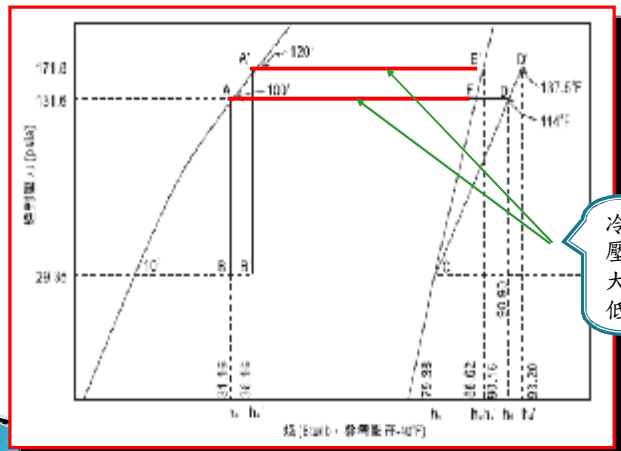
改變蒸發溫度對循環效率所造成的影響，可用兩個在不同蒸發溫度的簡單飽和循環為例。



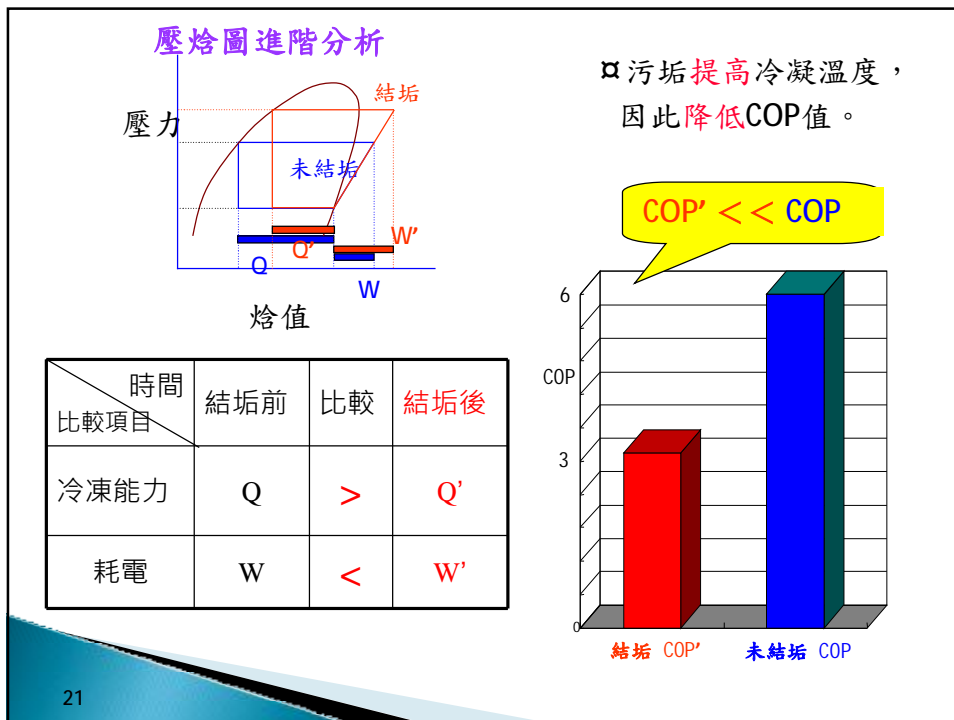
蒸發溫度提高，
壓縮機壓縮功變
小，冷凍能力亦增
加，COP提升。

降低冰水主機之冷凝溫度

冷凝溫度的改變對循環效率所造成的影響並不如蒸發溫度的改變那麼大，但其影響也是一樣重要。蒸發溫度保持定值，則當冷凝溫度提高時，冷凍循環效率將降低。



冷凝溫度提高，
壓縮機壓縮功變
大，冷凍能力亦降
低，COP將降低。



- ### 主機系統耗電項目
- Ø 冷凝銅管因表面結垢導致冷媒溫度上升1°C耗電3%
 - Ø 冷凝器所需冷卻水流量因不足(低於85%流量)耗電3%
 - Ø 冷凝器冷媒系統內因有不凝結氣體，高壓每上升1PSIG耗電3%
 - Ø 蒸發器因冷媒不足及熱交換率效率每下降1°C耗電3%
 - Ø 蒸發器因冷媒與油混合超過5%以上,其熱交換率每下降1°C耗電3%
 - Ø 負載因操作不當(50%以下運轉)耗電15%
 - Ø 冷卻水塔效率每下降1°C耗電2%
- 以上資料來自經濟部能源局
- 卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23 22

可改善的因素

- Ø 冷卻水入水溫度每調降1°C可省**1.5%電費**
- Ø 當(室內)溫度達到設定值時冰水出水溫度可自動調高,每調升1°C可省**2%電費**
- Ø 室內溫度每調高1°C可省**6%電費**
- Ø 階段性時間分配(高負載與低負載作平均分配)可省**6%電費**
- Ø 當春秋季夜間外氣低於20°C,可將冰水出水溫度提升3°C(例如:原設定7°C可自動提高為10°C)可省**6%電費**

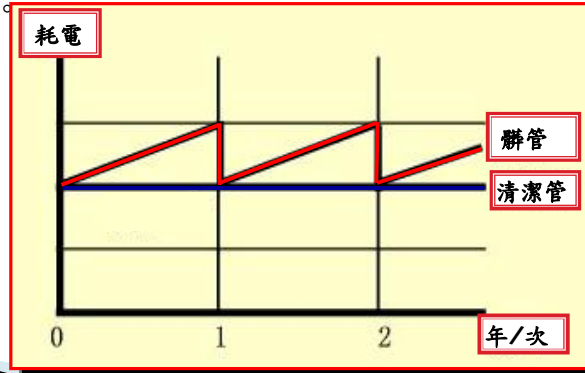
以上資料來自經濟部能源局

選購高效率之冰水主機

執行階段		第一階段	第二階段			
實施日期		民國九十二年一月一日	民國九十四年一月一日			
型	式	冷卻能力等級	能源效率 比值 (EER)kcal/h-W	性能係 數(COP)	能源效率 比值(EER) kcal/h-W	性能係數 (COP)
水冷式	容積式 壓縮機	<150RT	3.50	4.07	3.83	4.45
		≥150RT ≤500RT	3.60	4.19	4.21	4.90
		>500RT	4.00	4.65	4.73	5.50
	離心式 壓縮機	<150RT	4.30	5.00	4.30	5.00
		≥150RT <300RT	4.77	5.55	4.77	5.55
		≥300RT	4.77	5.55	5.25	6.10
氣冷式	全機種		2.40	2.79	2.40	2.79

定時使用化學藥劑清洗冷凝器

- 冷凝器平時因有冷卻水通過，管壁上會有結垢物(礦物質(CaCO₃、SiO₂、Fe等成分)產生，造成熱交換效率降低，致使主機因冷凝溫度提高而較耗電。
- 定時清潔冷凝器將可避免此情形發生，且效率約可提高10~50%。



卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

25

冷卻水塔節能控制

- 冷卻水塔趨近溫度(Approach,冷卻水塔出水溫度與外氣濕球溫度之溫差，

$$T_{\text{趨近溫度}} = T_{\text{冷卻水塔出水溫度}} - T_{\text{濕球溫度}}$$

- 冷卻水塔風扇加裝變頻器，以控制趨近溫度在3~4°C為目標，控制冷卻水塔風扇轉速，達到節能之目的。

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

26

提高冷卻水塔效率之設置管理原則

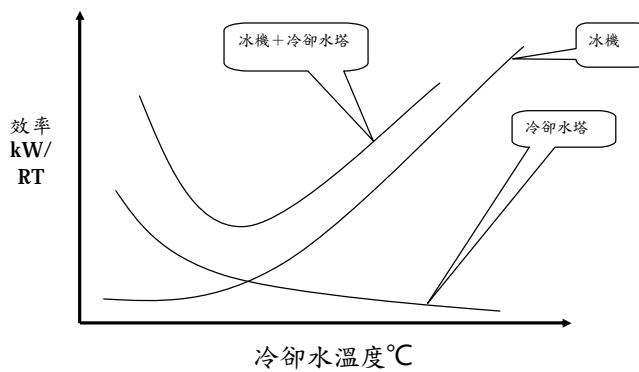
1. 冷卻水塔設置位置應留有足夠空間。
2. 多台冷卻水塔並聯運轉時，水量必須要能平均分配至各水塔。可採多台並聯組合型，配合溫度控制，開啟運轉台數。
3. 必須定期檢視撒水管撒水情形是否正常均勻。
4. 下方四面進入水塔內的空氣是否平均。
5. 塔內散熱材有無受損引起水流氣流不平均。
6. 塔側上方檢側口是否脫落，致使部份空氣走短路等。
7. 磁能防垢或自動加藥控制冷卻水質以減少結垢。

冷卻水塔節省能源控制規劃

1. 冷卻水塔風車起/停控制。
2. 冷卻水塔風車馬達雙速控制改變風量。
3. 多組冷卻水塔輪流停止風車轉動。
4. 冷卻水流量三通閥旁通控制。
5. 設計一組備用機組。
6. 冷卻水塔噸數以冰水主機噸數的1.25倍左右為宜。

冰水主機及冷卻水塔之匹配

冷卻水溫度高低會影響主機效率，每升高1°C會造成主機耗電量增加3%，反之，則減少3%。對於冷卻水塔而言，降低出水溫度就會增加耗電量，反之，則減少，其與主機耗電量則剛好相反。因此，兩者之間必存在一個最佳運轉點(冷卻水溫度)。



卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

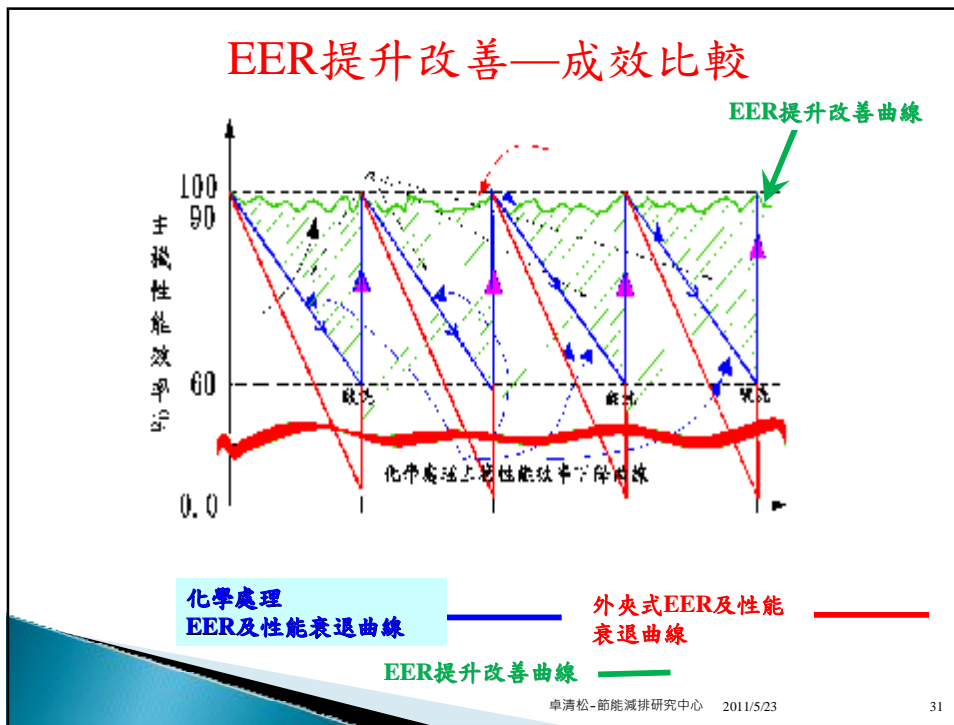
29

EER與節能防垢技術

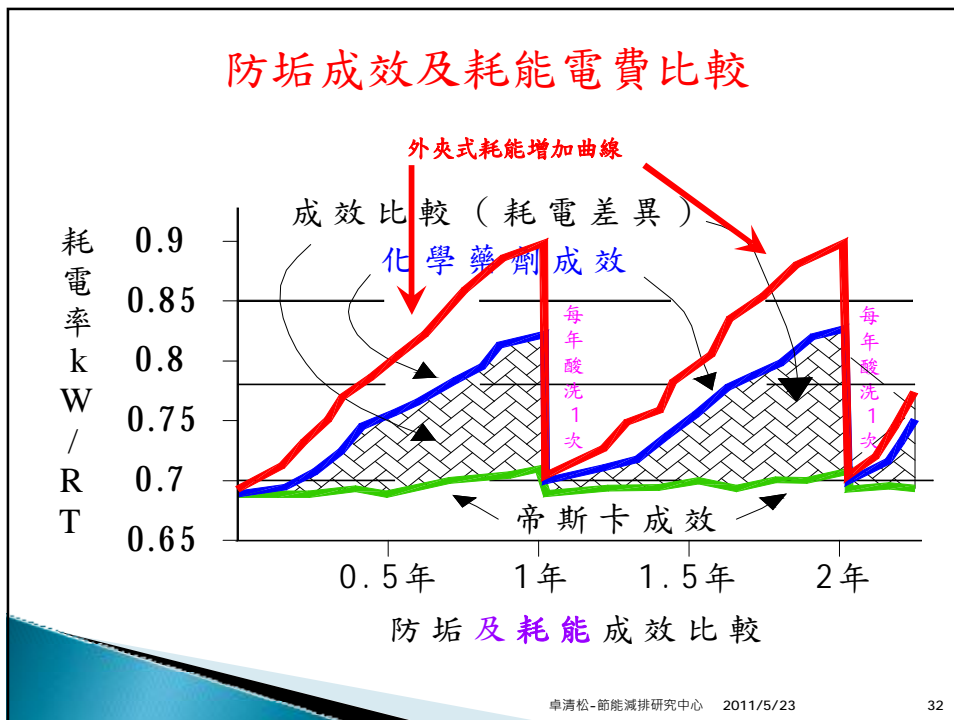
卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

30

EER提升改善—成效比較



防垢成效及耗能電費比較



個案EER研究1

Trane CenTraVac Chiller CTV-1 IPLV=0.628 (Constant Flow)

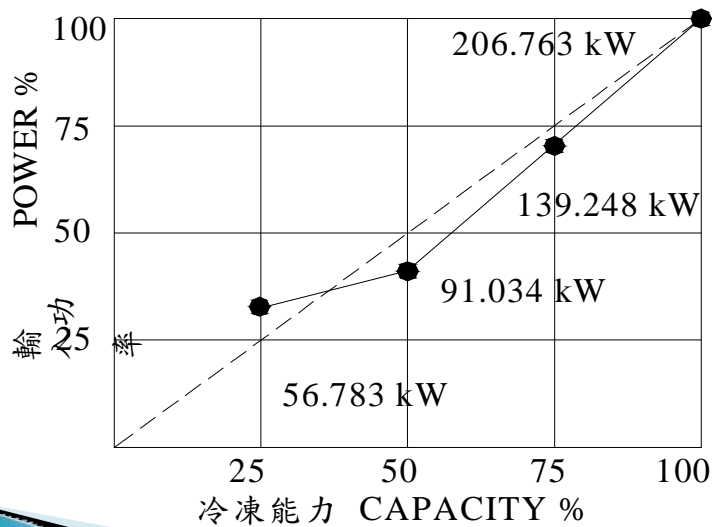
負載	容量	冰水 出水 溫	冰水 流量	冰水 入水溫	冷卻水 入水溫	冷卻水 流量	冷卻水 出水溫	消耗 功率	kW/R T 60%	kW/R T 90%	kW/R T100 %
100	300	42.08	723.735	51.980	89.6	850.74	99.86	206.763	1.148	0.766	0.689
75	225	42.08	723.735	49.504	77.3	850.74	84.845	139.248	1.032	0.688	0.619
50	150	42.08	723.735	47.028	65.0	850.74	70.009	91.034	1.012	0.674	0.607
25	75	42.08	723.735	44.554	65.0	850.74	67.603	56.783	1.262	0.841	0.757

註：相同冷卻水入水溫、負載條件比較 EER 或 kW/RT
(個案流量、冰水出水溫通常相同)

卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

33

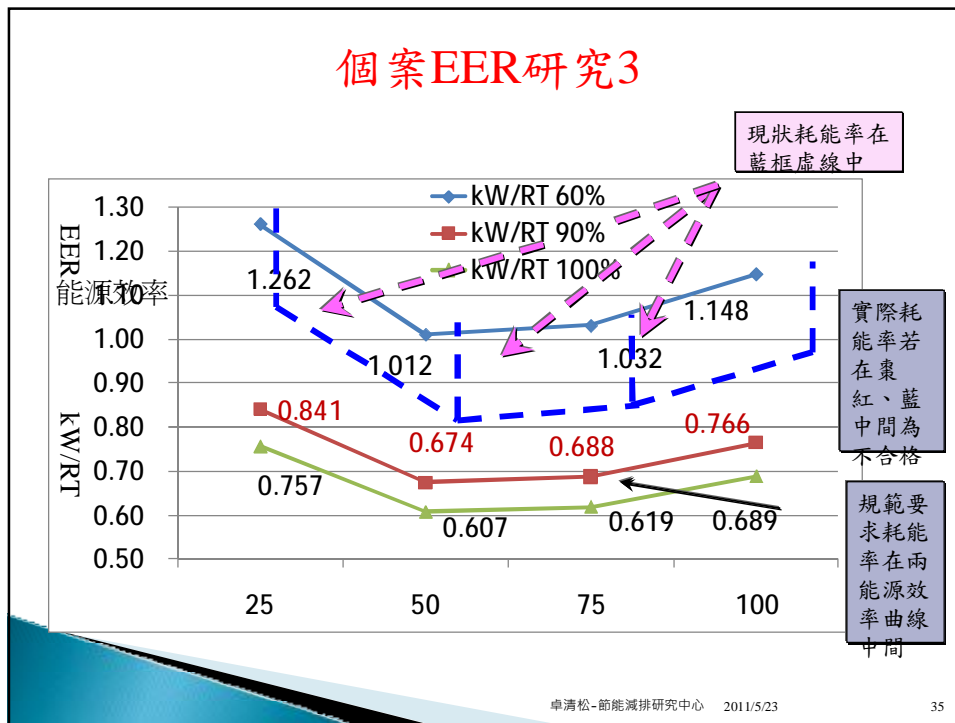
個案EER研究2



卓清松-節能減排研究中心 2011/5/23

34

個案EER研究3



個案EER研究4—NPLV

前一頁為依照IPLV的冷卻水水溫及空調負載計算的曲線。

業界可利用M&V及節能分析系統記錄NPLV條件下的kW/RT值，依此類推製作耗能率曲線。

1. 試車及驗收時乾淨銅管的耗能率kW/RT曲線。
2. 依規範要求時程的耗能率kW/RT曲線。
3. 不同季節選擇相同水溫負載條件製作耗能率曲線，以便依規範要求比對。

根據台灣實際運轉狀況，NPLV模式之水溫負載條件為部分負載：
50%、60%、70%、80%、90%共5種負載條件。

冷卻水入水溫：25、26、27、28、29、30℃共6種溫度條件合計30種運轉條件下的EER耗能NPLV模式。

參考資料

1. CNS 12575 “容積式冰水機組”(78年版、96年版)。
2. CNS 12812 “離心式冰水機組”(79年版)。
3. AHRI 550/590-2003 " Standard for Water Chilling Packages Using the Vapor Compression Cycle ".
蒸氣壓縮式冰水機性能測試標準

Thanks for your attention