

空調EER產業技術CNS綠色工法研討會

ASHRAE Guideline 14 冰水機效能驗證方法介紹

報告人: 劉中哲

工業技術研究院綠能與環境研究所

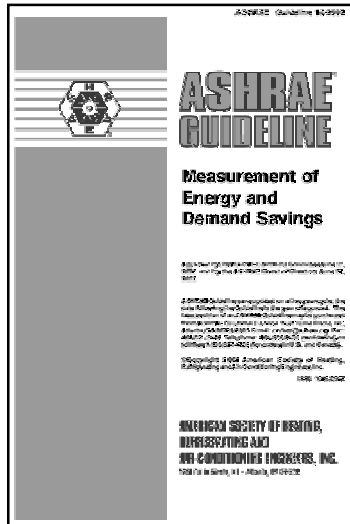
2011.05.21

1

大綱

- 一、ASHRAE Guideline 14概要
- 二、冰水機效能驗證概念
- 三、COP 模型概要
- 四、實驗室驗證
- 五、冰水機性能監測
- 六、現場驗證
- 七、結語

ASHRAE Guideline 14概要



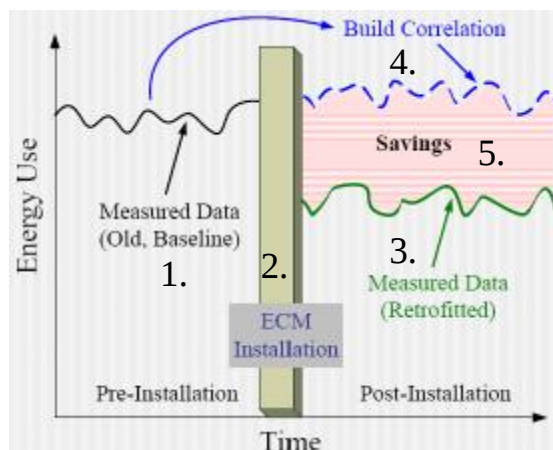
- 美國加熱冷凍空調工程師協會(ASHRAE)指導方針 14「能源與節能需求測量」，2002版本，共165頁。
- 為建築物能源管理專案提供可靠之能源與節能需求測量指導方針
- 提供建物中泵浦、風扇、冰水機、鍋爐、暖氣爐、照明、冷凝機組等性能與節能驗證方法

Copyright 2011 工業技術研究院

3

冰水機節能驗證概念

1. 建立舊機的性能模型
2. 進行更換工程
3. 量測新機之能力與耗電
4. 以舊機性能模型同步預測舊機於同能力時之耗電
5. 計算新機之節能量



ECM: Energy Conservation Measure

Copyright 2011 工業技術研究院

4



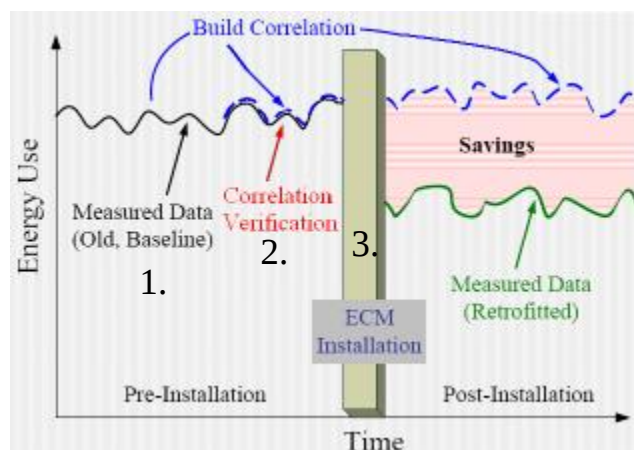
冰水機節能驗證成功要素

1. 冰水機性能量測的準確性與成本
2. 冰水機性能模型的準確性與實用性
3. 宣導與成功案例推廣

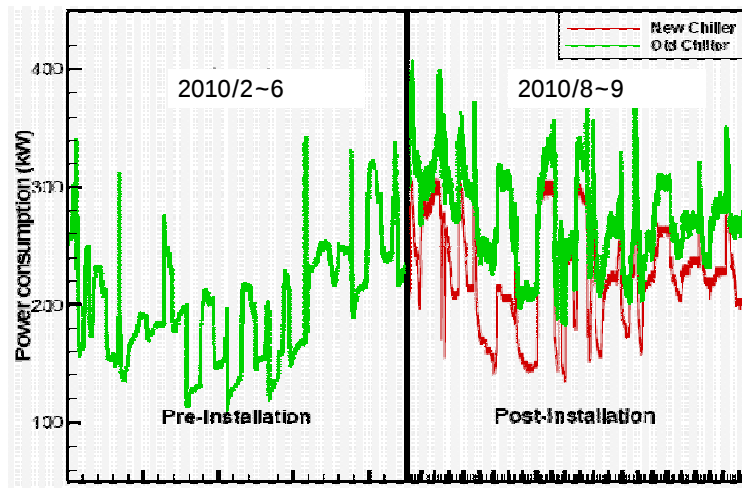


性能模型的準確度確認

1. 建立舊機的性能模型
2. 於更換工程前進行性能模型準確度確認
3. 準確度符合要求後，才進行後續工作



冰水機改善前後之效率差異



Copyright 2011 工業技術研究院

圖片來源：柯明村，北科大，量測與驗證規範

7

節能效益計算

- p 連續監測運轉資料，用以計算節能效益 $E_{saving-t}$
- p 間隔 t 分鐘記錄 1 筆運轉資料， COP_{base} 為舊機效率(模型推算)， COP_{pose} 為新機實測效率， Q_{evap-p} 為新機實測能力。累計的節能量為

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

Copyright 2011 工業技術研究院

8



冰水機性能模型概要

- ASHRAE Guideline 14的冰水機性能模型-溫度相關模型(Temperature Dependent Model)

$$\frac{1}{COP} = -1 + (T_{cwRT} / T_{chwST}) + \frac{-A_0 + A_1(T_{cwRT}) - A_2(T_{cwRT} / T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

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

Copyright 2011 工業技術研究院

9



建立模型方法及計算說明

- 連續量測(1~3個月)欲汰換之冰水主機數據，擷取間隔可為1分鐘、5分鐘或15分鐘：

- 冰水流量 (LPM)
- 冰水回水溫度及出水溫度 (°C)
- 冷卻水進水及出水溫度 (°C)
- 主機之耗電 (kW)
- 計算出主機之能力(Q_{evap})與效率COP

日期	時間	T_{evst} °C	T_{chvst} °C	T_{chvrt} °C	T_{chw} °C	$P_{chiller}$ kW	Q_{evap} kW	COP $Q_{evap}/P_{chiller}$
2006/2/8	12:17:44	21.56	6.72	9.22	32.10	127.0	539.9	4.21
2006/2/8	12:22:44	21.56	6.44	8.98	32.10	119.0	539.9	4.50
2006/2/8	12:27:44	21.34	6.50	8.92	32.10	126.0	497.7	3.95
2006/2/10	12:30:44	21.39	6.61	9.06	32.10	126.0	547.4	4.34
2006/2/8	12:37:44	21.33	6.44	8.83	32.10	122.0	535.0	4.35
2006/2/8	12:42:44	21.06	6.50	9.12	32.10	118.0	597.2	5.06

Copyright 2011 工業技術研究院

數據來源：林文祥，綠基會，節能績效量測與驗證方法簡介，96年8月29日

10



建立模型方法方法及計算說明

冰水機性能模型 $\frac{1}{COP} = -1 + (T_{cwRT} / T_{chwST}) + \frac{-A_0 + A_1(T_{cwRT}) + A_2(T_{cwRT} / T_{chwST})}{Q_{evap}}$

令 $a = \left(\frac{1}{COP} + 1 - (T_{cwRT} / T_{chwST}) \right) Q_{evap}$

則冰水機
性能模型
可表示為

$a = -A_0 + A_1(T_{cwRT}) + A_2(T_{cwRT} / T_{chwST})$

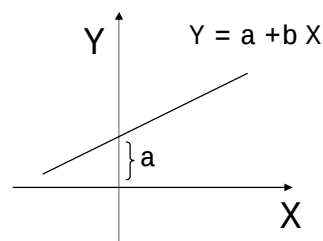
A_2 為 a 與 T_{cwRT}/T_{chwST} 回歸線性方程式之斜率



一次方程式的意義

$$Y = a + bX$$

截距 斜率



$$a = \frac{-A_0 + A_1(T_{cwRT}) + A_2(T_{cwRT} / T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

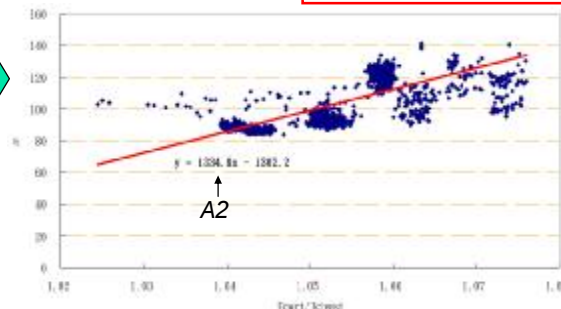
$$Y = a + bX$$

求 α 與 A_2 範例

依公式求出 α

日期	時間	T_{cwrT} ℃	T_{chwST} ℃	T_{cwrT}/T_{chwST}	T_{cwrT} K	P_{chT} kW	Q_{evap} kW	COP Q_{evap}/P_{chT}	T_{cwrT} K	T_{chwST} K	T_{cwrT}/T_{chwST}	α
2008/2/8	12:17:44	31.06	6.72	9.22	3210	127.0	539.9	4.41	294.2	279.9	1.0512	98.3
2008/2/8	12:22:44	31.50	6.44	8.94	3210	119.0	559.9	4.73	294.7	279.6	1.0540	88.7
2008/2/8	12:27:44	31.54	6.50	8.72	3210	125.0	497.7	3.95	295.1	279.7	1.0552	98.5
2008/2/8	12:32:44	31.30	6.61	9.06	3210	125.0	547.4	4.54	294.5	279.8	1.0528	97.1
2008/2/8	12:37:44	31.83	6.55	8.83	3210	122.0	529.0	4.34	295.0	279.6	1.0550	92.6
2008/2/8	12:42:44	31.00	6.50	9.17	3210	119.0	597.2	5.06	294.2	279.7	1.0530	86.9

畫出 α 與 T_{cwrT}/T_{chwST} 圖，產生線性方程式，其斜率即為 A_2



Copyright 2011 工業技術研究院 數據來源：林文祥，綠基會，節能績效量測與驗證方法簡介，96年8月29日

建立模型方法方法及計算說明

A_2 由 α 與 T_{cwrT}/T_{chwST} 產生

$$\text{令 } b = \left(\frac{1}{COP} + 1 - (T_{cwrT} / T_{chwST}) \right) Q_{evap} - A_2 (T_{cwrT} / T_{chwST})$$

$$\text{則 } \frac{1}{COP} = -1 + (T_{cwrT} / T_{chwST}) + \frac{-A_0 + A_1 (T_{cwrT}) + A_2 (T_{cwrT} / T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

$$b = -A_0 + A_1 (T_{cwrT})$$

A_1 為 β 與 T_{cwrT} 回歸線性方程式之斜率

$-A_0$ 為方程式之截距

Copyright 2011 工業技術研究院

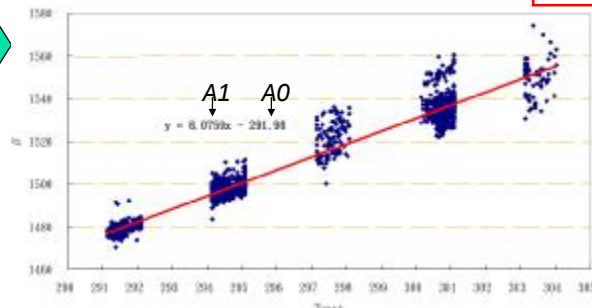
14

求 β , A_1 , A_0 範例

依公式求出 β

日期	時間	T_{evap} °C	T_{cond} °C	T_{subl} °C	T_{subl} °C	P_{subl} kPa	Q_{subl} kW	Q_{subl}/P_{subl} kJ/kg	T_{evap} K	T_{cond} K	T_{subl}/T_{cond}	α	β
2005/28	12:17:44	21.05	6.73	6.22	32.0	1.220	559.9	4.6	294.2	279.9	1.0512	98.3	1491
2005/28	12:22:44	21.35	6.64	6.30	32.0	1.180	579.5	4.9	294.7	279.6	1.0540	88.7	1495
2005/28	12:27:44	21.94	6.90	6.72	32.0	1.360	492.7	3.95	295.1	279.9	1.0552	98.5	1497
2005/28	12:32:44	21.39	6.6	6.06	32.0	1.360	542.4	4.34	294.5	279.8	1.0528	91.1	1492
2005/28	12:37:44	21.83	6.64	6.53	32.0	1.220	535.0	4.39	295.0	279.6	1.0550	92.6	1501
2005/28	12:42:44	21.05	6.90	6.17	32.0	1.180	597.2	5.06	294.2	279.7	1.0520	86.9	1491

畫出 β 與 T_{cwRT} 圖，產生線性方程式，其斜率即為 A_1 ，截距為 $-A_0$



Copyright 2011 工業技術研究院 數據來源：林文祥，綠基會，節能績效量測與驗證方法簡介，96年8月29日

冰水機性能模型完成範例

A_0	A_1	A_2
291.96	6.0759	1334.8

$$\frac{1}{COP} = -1 + (T_{cwRT} / T_{chwST}) + \frac{-A_0 + A_1(T_{cwRT}) + A_2(T_{cwRT} / T_{chwST})}{Q_{evap}}$$



$$\frac{1}{COP} = -1 + (T_{cwRT} / T_{chwST}) + \frac{-291.96 + 6.0759(T_{cwRT}) + 1334.8(T_{cwRT} / T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

Copyright 2011 工業技術研究院

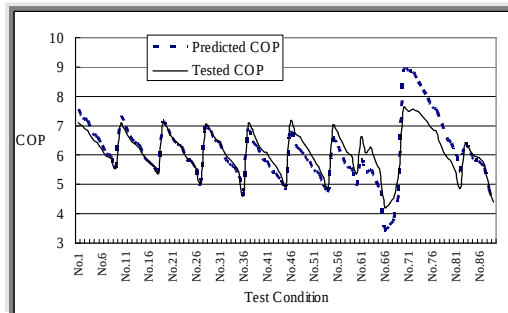
16

冰水機性能模型的準確度驗證



600RT R-134a

定頻離心式冰水機



- n 於實驗室以IGV 100,90,80,70,60,50,40,30%開度搭配兩個不同冷卻水入水溫度(共16個)進行測試，產生性能模型
- n 再以性能模型預測各種不同工況共89個，並與實驗數據比較其準確度
- n 實驗與模型預測平均誤差為 **CVRMSE = 7.6 %**

Copyright 2011 工業技術研究院

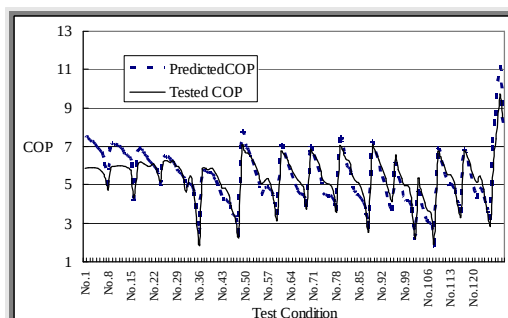
17

冰水機性能模型的準確度驗證



535RT R-134a

變頻離心式冰水機

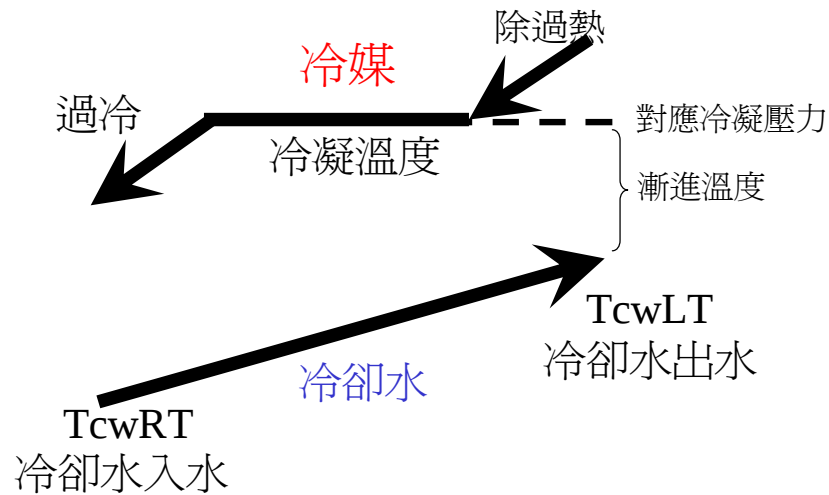


- n 於實驗室以不同轉速、不同IGV開度、不同冷卻水入水溫度共28個工況之實測資料產生性能模型
- n 再以性能模型預測各種不同工況共125個，並與實驗數據比較其準確度
- n 實驗與模型預測平均誤差為 **CVRMSE = 10.1 %**

Copyright 2011 工業技術研究院

18

冷凝器工作流體溫度變化



Copyright 2011 工業技術研究院

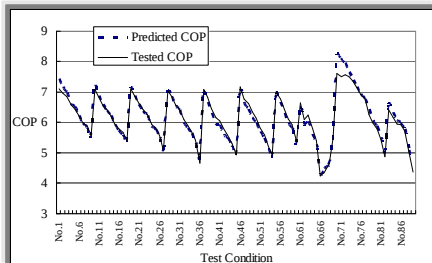
19

冰水機性能模型修正

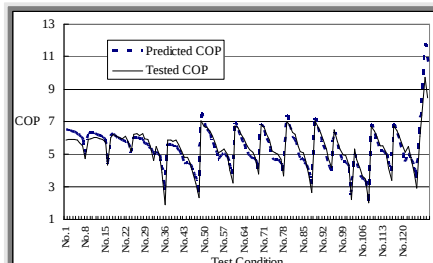
將冷卻水入水 T_{cwRT} 改為冷卻水出水 T_{cwLT}

$$\frac{1}{COP} = -1 + (T_{cwLT}/T_{chwST}) + \frac{-A_0 + A_1(T_{cwLT}) - A_2(T_{cwLT}/T_{chwST})}{Q_{evap}}$$

定頻離心機 **CVRMSE = 2.5%**



變頻離心機 **CVRMSE = 6.2%**



資料來源：C.C. LIU, J.C. CHUNG, H.C. CHIANG, J.Y. LIN, Temperature-Dependent Thermodynamic Chiller Model in Predicting Variable Speed Centrifugal Chiller Performance, ACRA Japan 2010

Copyright 2011 工業技術研究院

20

冰水機性能監測項目

擷取項目：

1. 溫度：冷卻水入口、冷卻水出口、冰水入口、冰水出口、外氣溫度
2. 流量：冷卻水流量、冰水流量
3. 電力：電流、電壓、功因、功率
4. (參考用)冷媒系統壓力：蒸發壓力、冷凝壓力
5. (參考用)水質：pH、導電度、ORP

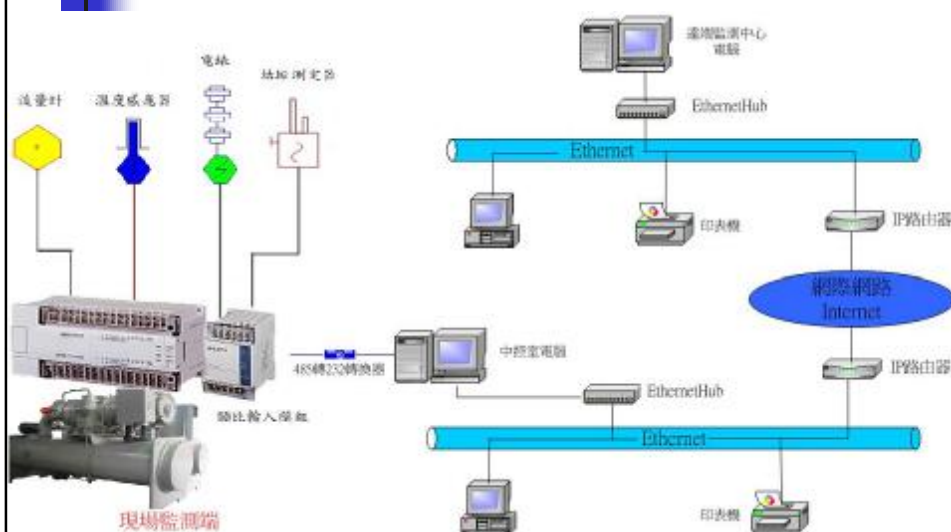
計算項目：

1. 冷凍能力(RT、kW)
2. 主機效率(COP、EER、kW/RT)

21

Copyright 2011 工業技術研究院

冰水機性能監測架構圖



22

Copyright 2011 工業技術研究院



溫度量測

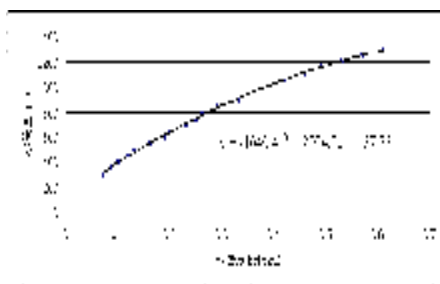
- n 熱電偶(TC)：成本低、精度較低(0.5°C)。
- n 電阻式溫度感測器(RTD)：成本高、精度較高(0.3°C)、無溫井時需使用表面量測型感測器。



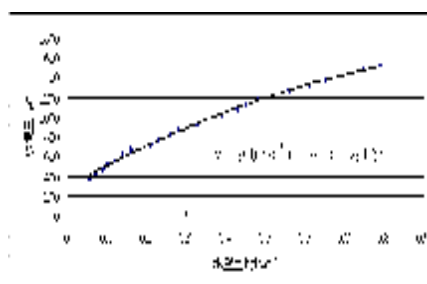
流量量測

- n 高成本的做法：採用浮子式、槳葉式、電磁式、超音波式等各式流量計直接量測流量。
- n 低成本的做法：量測熱交換器水側差壓，再轉換為流量。水側差壓與流量的關係可由冰水機製造廠提供，或由現場實測而得。

蒸發器水壓損與流量關係



實測蒸發器壓損與流量



實測冷凝器壓損與流量

Copyright 2011 工業技術研究院

25

電力量測裝置

- n 一般的作法：採用三相綜合電力計。
- n 低成本的作法：固定電壓與功因，以電流轉換器直接量測電流。主機部分負載時較不準確。

Copyright 2011 工業技術研究院

26

資料擷取裝置

- n 使用工業用控制器之輸入模組
- n 或使用資料擷取模組
- n 或使用記錄器
- n 需與近端電腦或網路連結，長時間儲存運轉數據
- n 性能數據可由資料擷取裝置或電腦計算而得

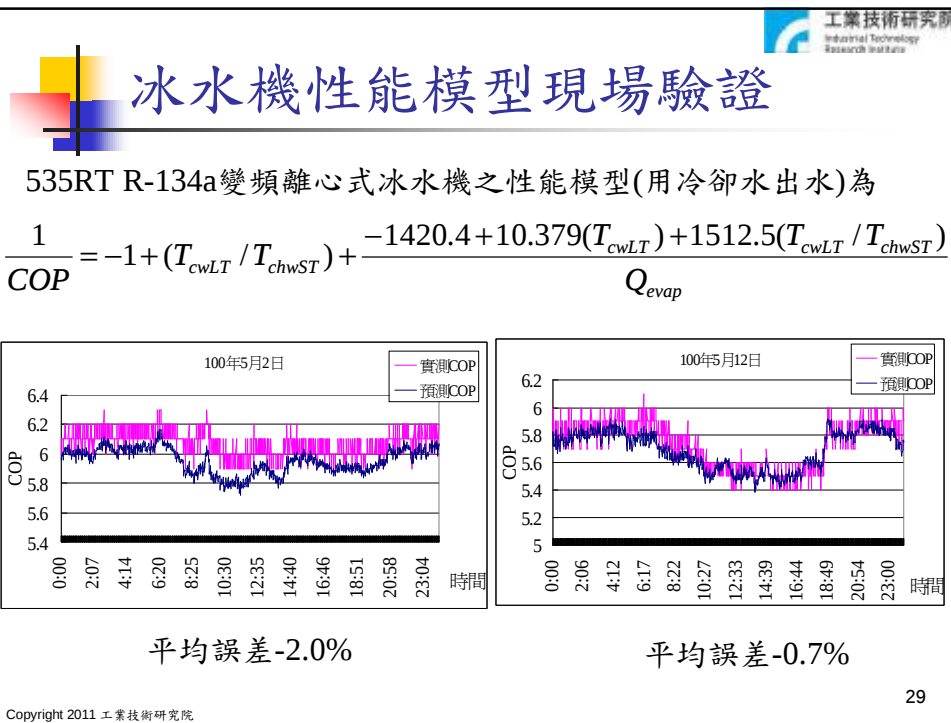
現場性能監測

聚隆纖維六廠鑫國空調550RT變頻式離心機

運行數據表	
冷水出水	38.0°C
冷水回水	42.0°C
冷媒回水	45.0°C
冷媒出水	55.0°C
總電壓	380.0 V
總電流	150.0 A
功率	100.0 kW
電量	100.0 kWh

冰水機之系統控制器內建電阻式溫度感測器 (RTD)、水側差壓轉換為流量、三相綜合電力計，於主機端計算出製冷能力RT與COP，透過工業電腦與轉換盒上傳運轉數據至遠端伺服器

即時製冷能力RT



工業技術研究院
Industrial Technology
Research Institute

結語

冰水機技術發展日新月異，性能不斷提升，若能與檢測與驗證技術密切配合，必可使冰水機節能事業成為我國重要的綠能產業。

30

Copyright 2011 工業技術研究院



報告完畢，謝謝聆聽

Q & A

31