

雙效空調熱泵簡介 與其在蝴蝶蘭產業的應用

方煒

台大生機系教授

2008/12/06 嘉義大學

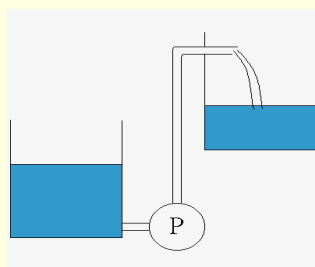
1

大綱

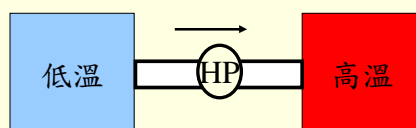
- 空調熱泵簡介
- 本研究團隊研發的雙效空調熱泵
- 雙效空調熱泵在蝴蝶蘭產業之應用
 - 催花與抑梗/栽培溫室
 - 溫室除濕
- 廠商在製造、施工、設計上之盲點
- 結論

2

水泵與熱泵(Heat Pump)的異同



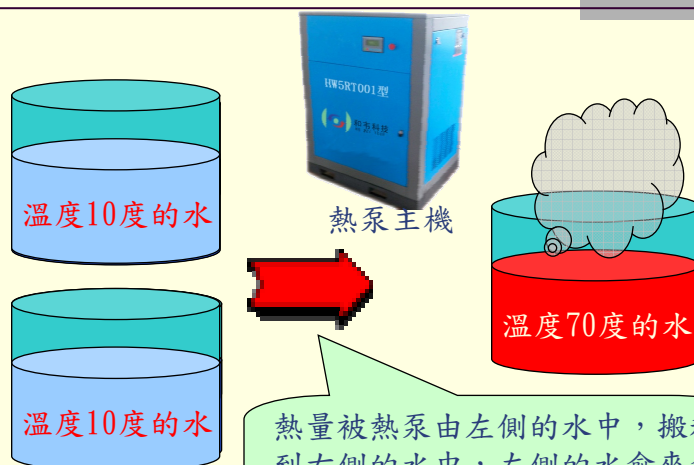
水泵產生 → 位能差
將水由低水位送至高水位



熱泵產生 → 溫度差
將能量由低溫區送至高溫區

3

什麼是熱泵



熱量被熱泵由左側的水中，搬移到右側的水中，左側的水愈來愈冷，右側的水愈來愈熱。

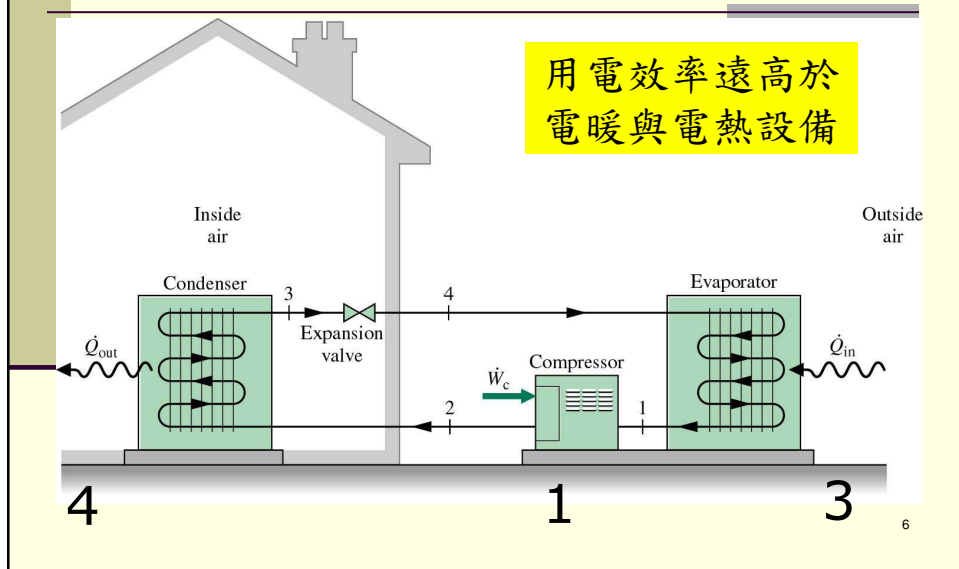
4

傳統的熱水產生系統

- 瓦斯熱水器，鍋爐
 - 產生二氧化碳(溫室氣體)
 - 產生一氧化碳(危害安全)
- 鍋爐
 - 操作安全顧慮
 - 維護費時費工
 - 耗能
- 電熱水器，電熱爐（統稱電熱器）
 - 高耗電

5

暖氣機就是熱泵（單效熱泵）



各型加熱系統效能

型式	熱值	COP
電阻式電熱器	3.6 kJ/kWh	1
熱泵	3.6 kJ/kWh	2 ~ 2.75
2號燃油	38000 kJ/L	0.65 ~ 0.75
天然氣	35000 kJ/m ³	0.7 ~ 0.85
液態瓦斯(LP)	26000 kJ/L	0.7 ~ 0.85

7

摘自 Albright, 1990 (Chap7)

各種加熱系統之比較

	熱泵(COP=4)	電能	天然氣	柴油	燃料油
單價 (2007/9)	NT2.4/Deg	NT2.4/Deg	NT15/Deg	NT25.5/L	NT14.2/L
熱值	3440 kcal/Deg	860 kcal/Deg	12000 kcal/Deg	10300 kcal/L	9700 kcal/L
Mega kcal	290.7 Deg	1162.8 Deg	83.3 Deg	97.1 L	103.1 L
花費	698元	2791元	1250元	2476元	1464元

1 4 1.8 3.5 2.1

搭配大型保溫熱水槽，使用離峰電力 (0.8NT\$/度)，可進一步節能

1 4 5.4 10.5 6.3₈

(方，2007)

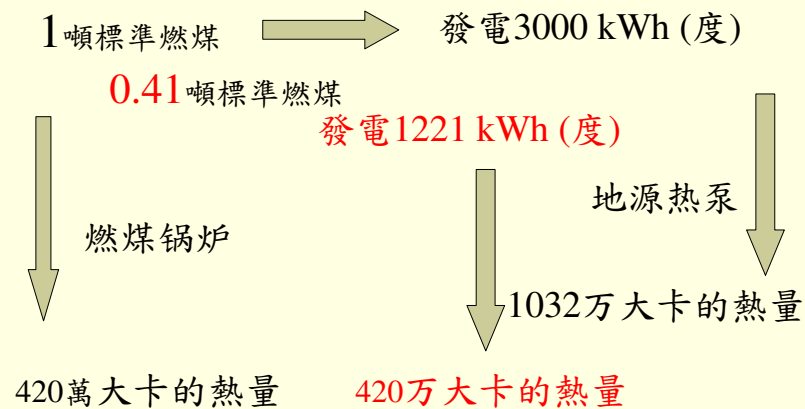
熱泵的優越性

■ 節能、省錢之外

- 吸取環境熱能，有助於減緩全球暖化
- 沒有燃燒，不排放二氧化碳、一氧化碳與其他污染物質
- 不用燃料，沒有燃料外洩的安全疑慮
- 不用鍋爐，不擔心氣爆問題

9

熱泵節能減碳效能大



10

中國政府相關政策

为鼓励新建或改造的办公楼、工业厂房、医院、宾馆、学校、大型商场、商务楼等公共建筑以及居民住宅楼和农村集中建设的住宅采用热泵系统，鼓励燃煤、燃油锅炉改用热泵系统，2006年5月31日，**北京市发展和改革委员会、北京市规划委员会、北京市建设委员会、北京市市政管理委员会、北京市科学技术委员会、北京市财政局、北京市水务局、北京市国土资源局、北京市环境保护局**9家单位共同研究制定并下发了《关于发展热泵系统的指导意见》（京发改[2006]839号）文件，文件指出：

“.....

二、支持鼓励热泵系统的建设和运营

.....

2. 其他在本市辖区内建设的各类项目，供热制冷系统选用热泵系统的，根据市规划委核定的建筑面积从本市固定资产投资中安排一次性补助，**补助标准为：地下（表）水源热泵35元/平方米，地源热泵和再生水源热泵50元/平方米。**

.....

六、**本意见自2006年7月1日起执行。”**

11

中華民國政府相關政策

從缺

穿西裝不用打領帶

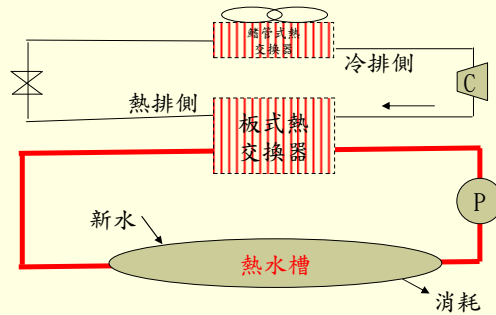
冷氣溫度調低

買節能家電每台補助 2000 元

12

單效熱水機 水氣型熱泵 製熱水

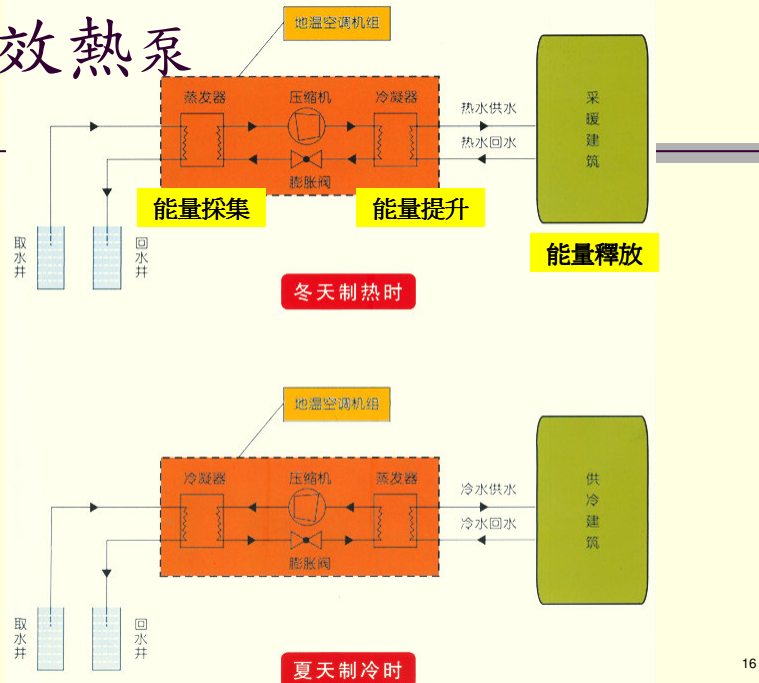
對環境提供/排放冷氣



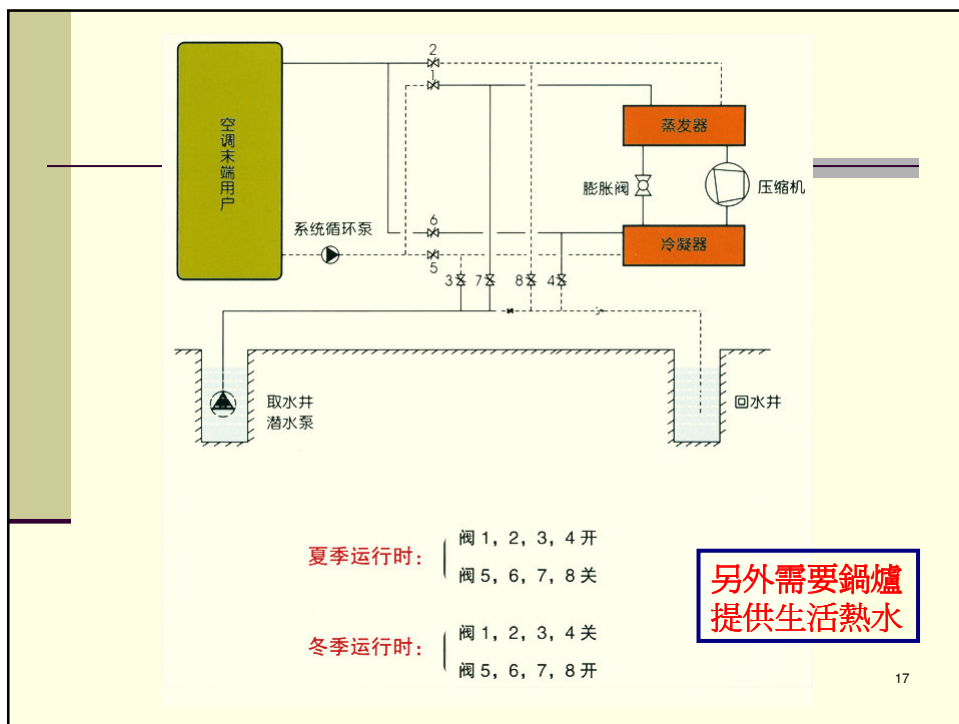
熱水提供暖氣、生活/消毒
熱水與製程所需之預熱

15

單效熱泵

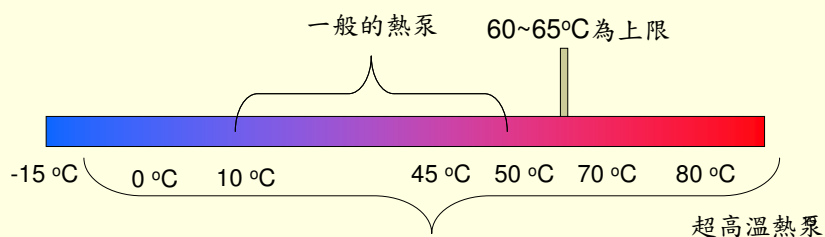


16



什麼是 雙效熱泵？

- 低溫區溫度夠低，允許其他應用
- 高溫區溫度夠高，允許其他應用
- 低溫區與高溫區允許同時應用
- 低溫區與高溫區允許儲存兩者或任一者以待後續之應用



雙效熱泵 淺顯的說法

- 可製造熱水的冷氣機
- 可提供冷氣的熱水機

熱泵的種類：依熱源分類

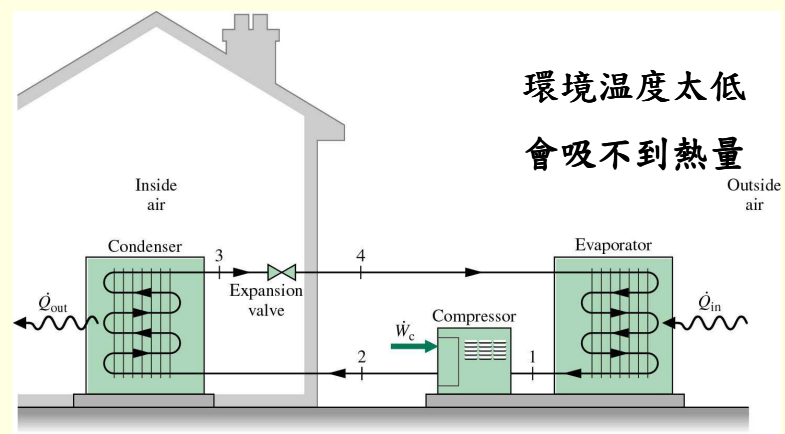
■ 氣源 熱泵

■ 地源 熱泵

■ 水源 熱泵

21

暖氣機就是氣源熱泵



22

氣源熱泵系統

- **傳統**的氣源熱泵
 - 氣溫低於**15°C**以下的地區不適合使用
- **高性能**的氣源熱泵
 - 氣溫低於**4 °C**以下的地區不適合使用
- 氣源熱泵不適合的高緯度地區可改用
 - **地源**或**水源**熱泵系統。

23

地源熱泵系統 冷/熱能來源

- 表層**土壤**受到陽光照射（用於間接製熱）
- 中/深層**土壤**全年溫度穩定（用於製熱或散熱）
- 深層**岩層**溫度高（用於間接製熱，以水為工作介質）
- 淺/中層**地下水**溫度低（用於間接製冷）
- 高/中/低溫**地熱**應用（用於間接製熱）

24

地熱資源按溫度可分為三類

- 高溫地熱
 - 溫度 $>150^{\circ}\text{C}$ 的地熱以蒸汽形式存在
- 中溫地熱
 - $90\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的地熱以水和蒸汽的混合物形式存在
- 低溫地熱
 - 溫度 $25\sim 90^{\circ}\text{C}$ 的地熱以
 - 溫水 ($25^{\circ}\text{C}\text{—}40^{\circ}\text{C}$)
 - 溫熱水 ($40^{\circ}\text{C}\text{—}60^{\circ}\text{C}$)
 - 熱水 ($60^{\circ}\text{C}\text{—}90^{\circ}\text{C}$) 等形式存在

25



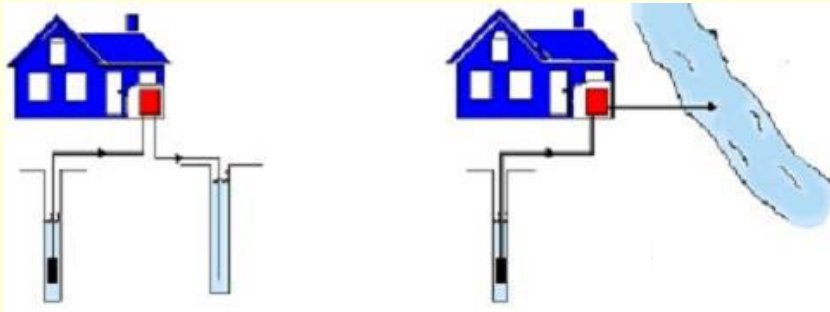
地下水地源熱泵系統

可利用的水源

- 地下水
 - 淺層、深層地下水
- 地表水
 - 湖水、河水、海水
- 污水
 - 工業污水、生活污水

26

地下水地源熱泵系統



雙井系統

單井系統

27

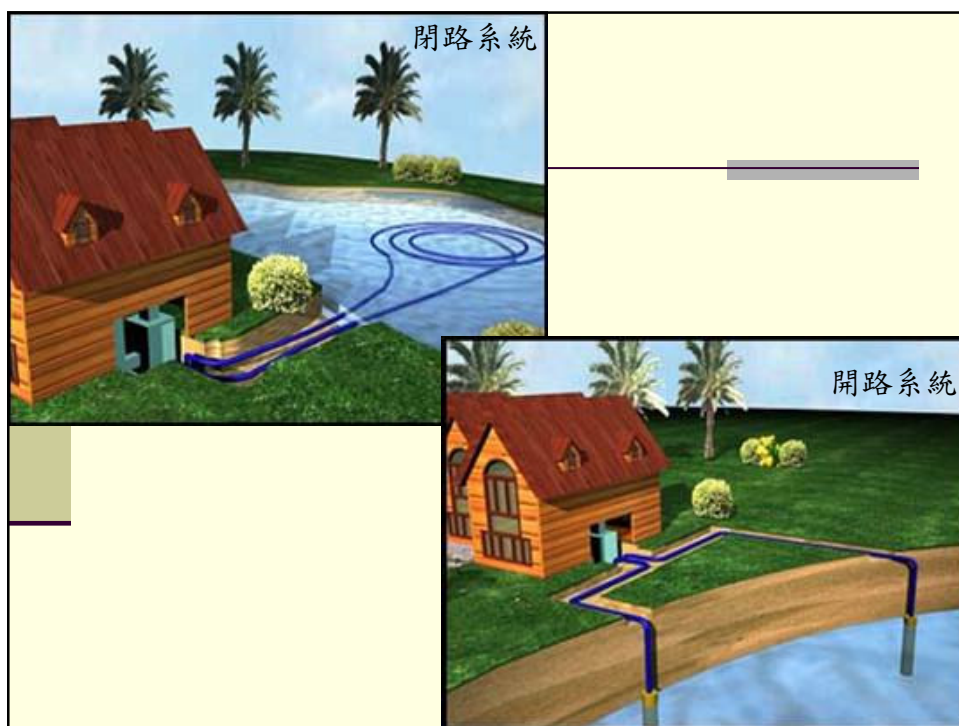
地表水地源熱泵系統



閉路系統

開路系統

28



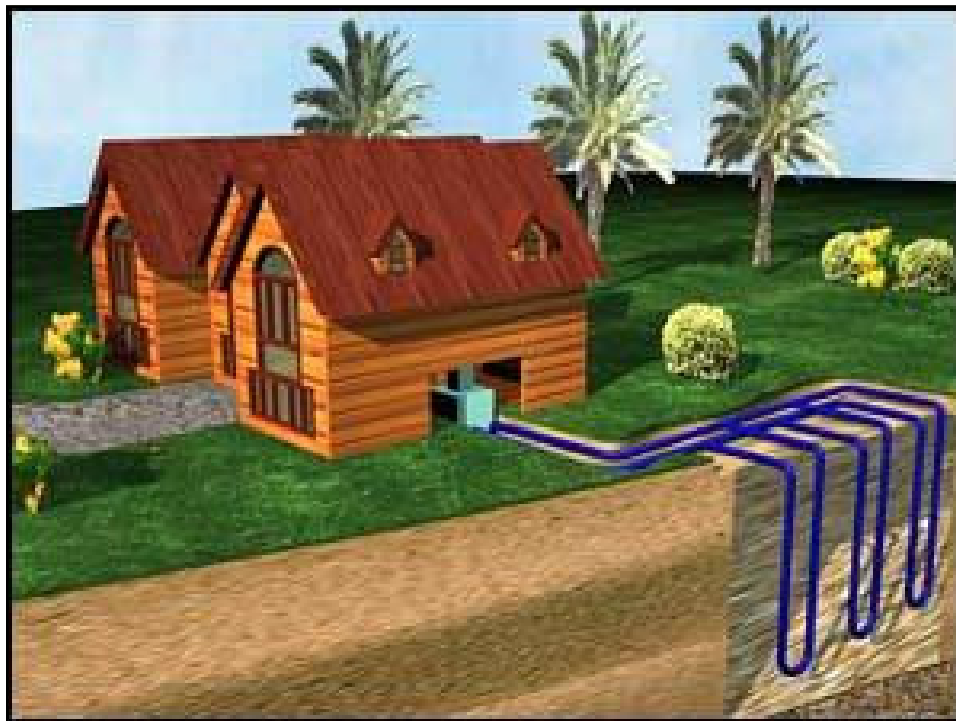
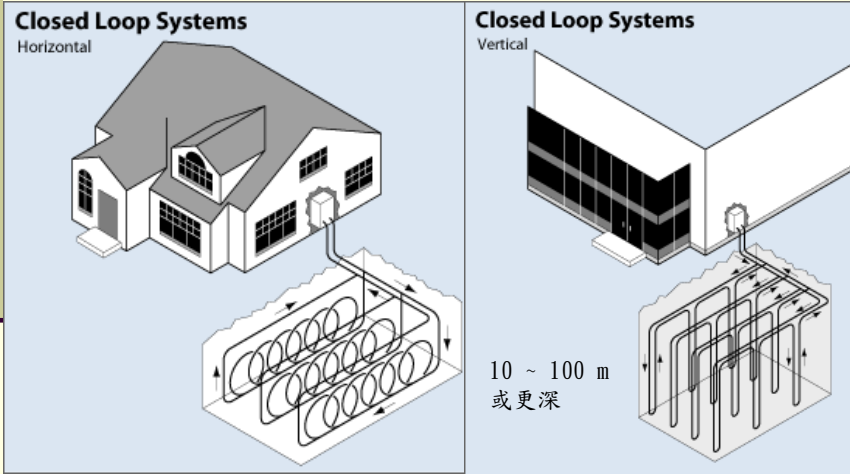
可埋管的區域

- 建築物外
 - 綠地、停車場
 - 運動場、馬路
 - 湖底
- 建築物下
 - 單獨鑽孔
 - 結構樁內



地埋管地源熱泵系統³⁰

地埋管地源熱泵系統（垂直安裝）



地埋管地源熱泵系統（水平安裝）



33

地埋管地源熱泵系統（水平安裝）



34

兩種地源熱泵系統之比較

垂直地埋管 或 深層地下水式 地源熱泵系統	水平地埋管式
佔地面積小	佔地面積較大
施工難度高	施工簡易
造價高	低
回收 4~10 年	回收 < 2 年

35

水平式 地埋管 地源双效热泵 1

XX 工厂（寧波）

36

開挖及佈管（深度 < 2 m）



回填及維修管道基礎施作



復土及維修管道間施作



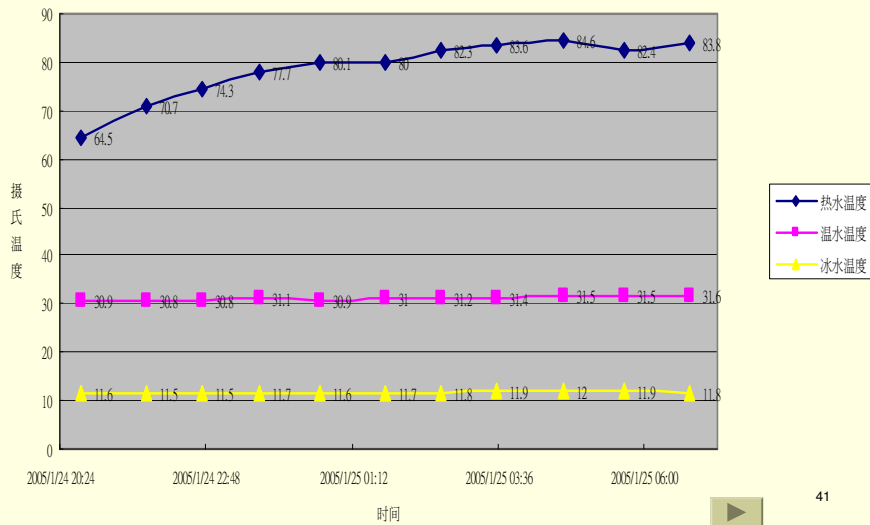
39

完工圖



40

最高溫度之狀態圖



41

中國地源熱泵市場

- 截至到2006年底，年銷售額已**超過50億**元人民幣，並以**20%**的速度在增長。
- 高速發展的市場前景迅速擴大了地源熱泵行業的從業隊伍，眾多對地源熱泵技術不甚了解的機構和個人參與到地源熱泵系統運作的各個環節，導致
 - **系統穩定性差**
 - **不節能**
 - **地下水偷排**
 - **回灌不暢**
 - 等各種問題層出不窮

42

地下水地源熱泵系統

■ 優點：

- 當具備地下高溫岩層時，可高效能供熱
- 當具備深層低溫井水時，可高效能供冷
- 正確設計的可以在 冬季製熱、在夏季製冷且提供生活熱水

■ 缺點：

- 設計不好的只能製熱或製冷
- 不是任何地點的地下都有高溫岩層或低溫井水
- 需事先探勘，需花費額外成本
- **開鑿深層井**
 - 需要較高技術、系統造價高、需要較長工期
 - 沈水馬達供水揚程大，耗能高却被忽略
 - 深層井有誘發地震的風險

43

本團隊研發的

超高溫雙效空調熱泵

44

超高溫熱泵

型號	UT-30	UT-60 韓國單效熱泵	UT-120 單效熱泵	UT-240	本研究團隊-50WW
製熱量 BTU/hr	26000 (7.6 kW)	59000 (17.3kW)	118000 (34.6 kW)	220000 (64.4 kW)	
最高製水溫度	55 °C	55	55	55	> 80
最低環境溫度	15 °C	15	15	15	7
消耗電量	2.6 kW	6.1	12.1	21.4	
COP	2.92	2.83	2.85	3.01	> 8 *

* 雙效熱泵合併COP可以高達8以上

花費1度電可以獲得相當8度電的熱能(COP_hp>4.5)與冷能(COP_ac >3.5)⁴⁶

優異性

- 應用廣
 - 同時提供冷熱水（冷暖氣）
 - 提供超高溫熱水，可用能高，應用廣
- 節能成效大
 - 比傳統單效熱泵節能，減廢
- 高效能：相同壓縮機大小，超額冷卻能力
- 超低啟動電流、較低運轉電流
- 壓縮機使用壽命長、系統運作穩定

46

節能的雙效熱泵

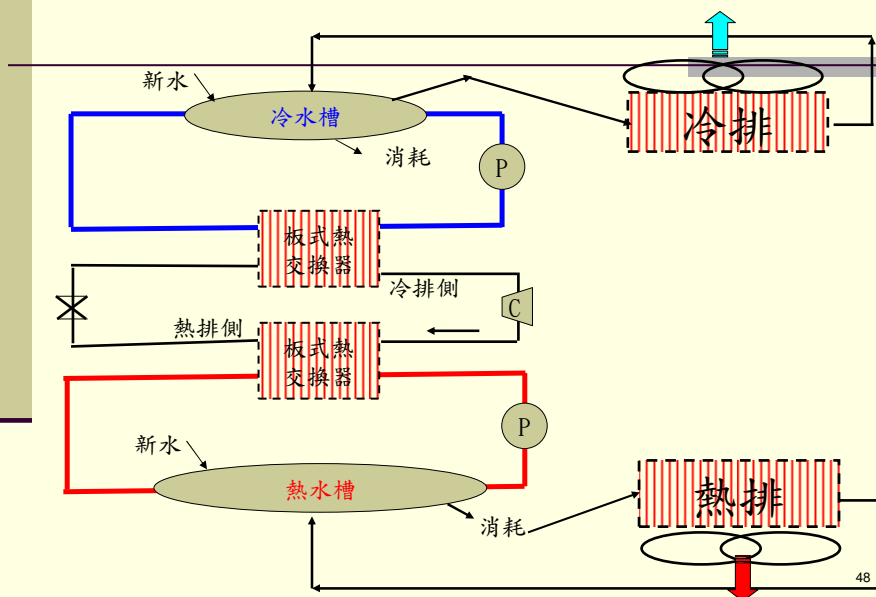
- 可穩定地同時供熱及供冷，亦可單側使用
- 當熱水機使用已經非常節能
- 加上能夠有免費冷氣使用，更節能
- 允許彈性設計做多功能之應用
- 可提供冷氣、冷水、暖氣、熱水、除濕或恆溫等

真正雙效主機

不會有其他廠牌單效或雙效主機
有熱水達55度以上，冰水消失或
能力降低至50%以下之現象

47

冷水/冷氣/熱水/暖氣 四效系統



雙效熱泵與傳統熱泵性能比較

超高溫雙效熱泵	一般熱泵
熱水溫度可達80°C以上，有用熱高，節能效益佳。	熱水溫度最高僅能在60°C以下，有用熱低，節能效益差。
當熱水溫度超過85°C時，耗電量仍為額定電流之88%左右。	當熱水溫度超過60°C以上時，耗電量將超過額定電流值100%，甚至以上。
起動電流僅為運轉電流之2.5倍以內，壓縮機壽命長。	起動電流約為運轉電流之6~15倍。
可同時提供7°C以下冰水及80°C以上高溫熱水。如環境超過40°C以上，仍可以正常長時間運轉，不致當機。	無法同時提供7°C以下冰水。如環境超過40°C以上，容易當機，長時間運轉，可能導致機組燒燬。

49

啟動電流/運轉電流

AA & WW型	KHT 15AA	KHT 25AA	KHT 50WW	KHT 75WW	KHT 100WW	KHT 150WW	KHT 100AW
啟動電流	21	35	48	67	86	125	103
運轉電流	8	13	19	26	33	48	41
倍數	2.63	2.69	2.53	2.58	2.60	2.60	2.51

WW型	KHT 300	KHT 400	KHT 500	KHT 600	KHT 800	KHT 1000	KHT 1200
啟動電流	124	166	208	278	380	480	580
運轉電流	47	63	79	105	144	182	220
倍數	2.64	2.63	2.63	2.65	2.64	2.64	2.64

50

其他廠牌

	日立 RAM- 50BJ	東元 MA720B	YORK YOC-10A	聲寶 AU-D36	禾聯 HC-632	東元 MA3810BR
啟動 電流	25	35	32	30	72	85
運轉 電流	2.8	3.4	4.75	6.4	12.2	16.5
倍數	8.9	10.3	6.74	4.69	5.9	5.15

51

雙效空調熱泵的

產業應用

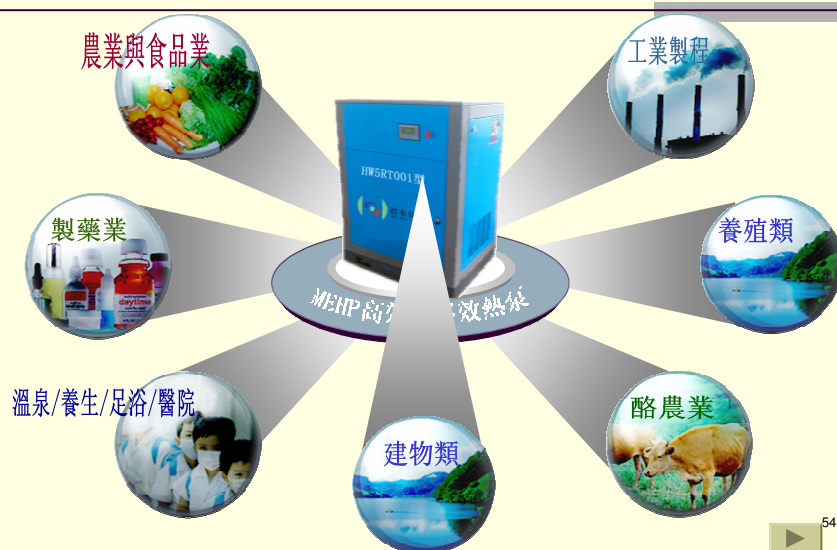
52

冷熱水/冷暖氣 應用產業

- 熱水 → 洗頭、洗澡
 - 冷水 → 冷氣
 - 熱水 → 三溫暖熱水池
 - 冷水 → 三溫暖冷水池
- 美髮業
飯店/民宿業
宿舍
溫泉業
- SPA業
溫水游泳池
- 其他

53

可廣泛使用在有冷熱需求的各種產業



54

在蝴蝶蘭產業的應用：環控栽培

■ 同步使用 冷、熱 能

- 蝴蝶蘭催花溫室 (日溫25/夜溫18 °C)
- 蝴蝶蘭抑梗溫室 (不低於 28 °C)
- 蝴蝶蘭栽培溫室 (保溫與加溫)

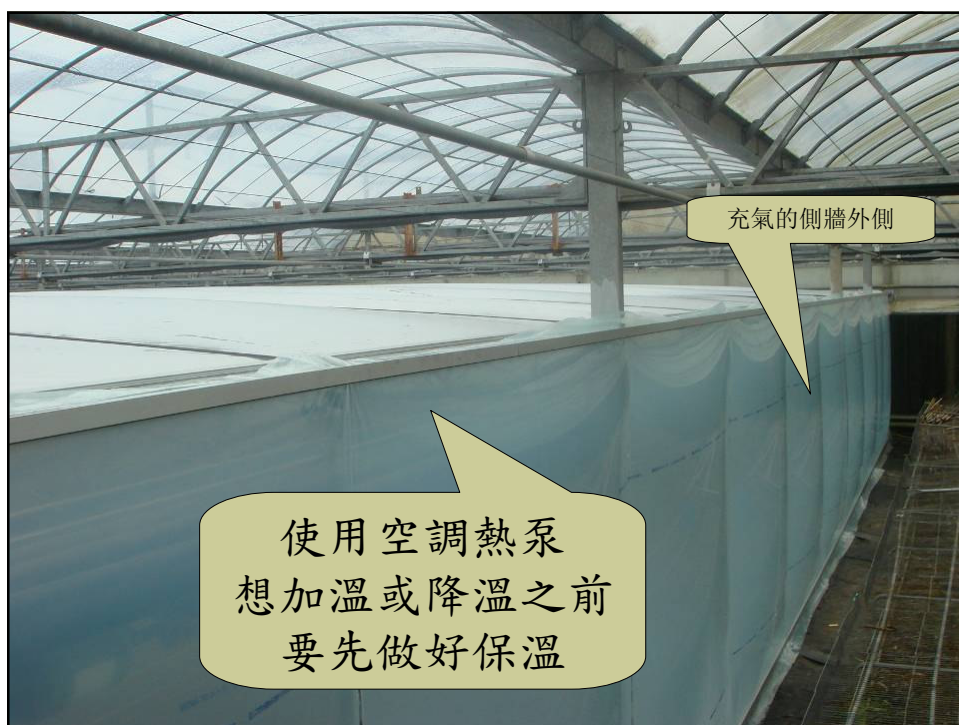
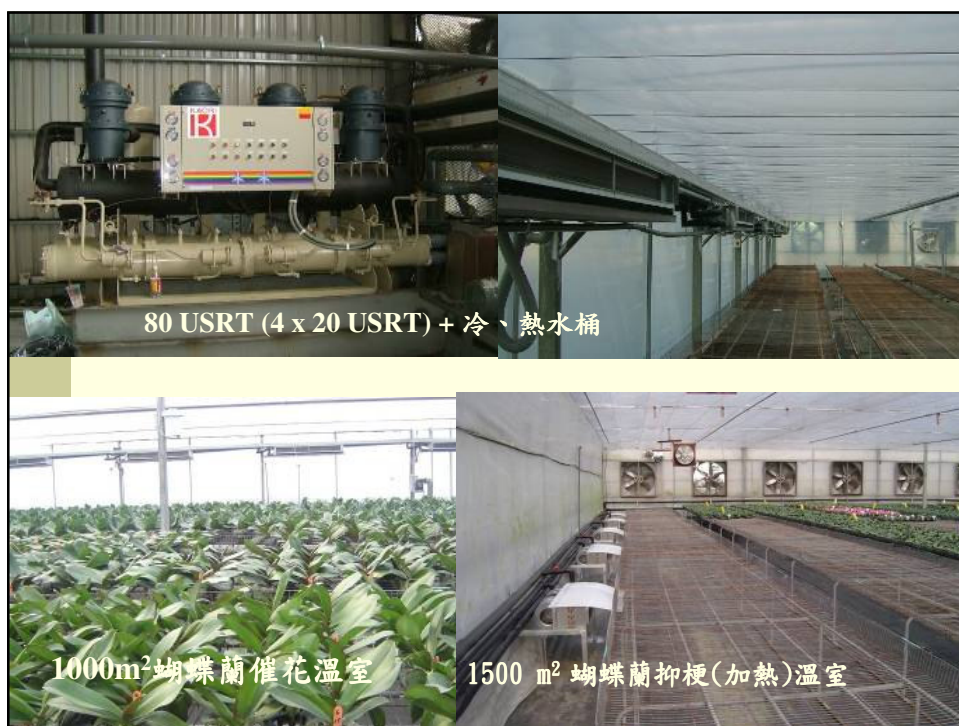
55

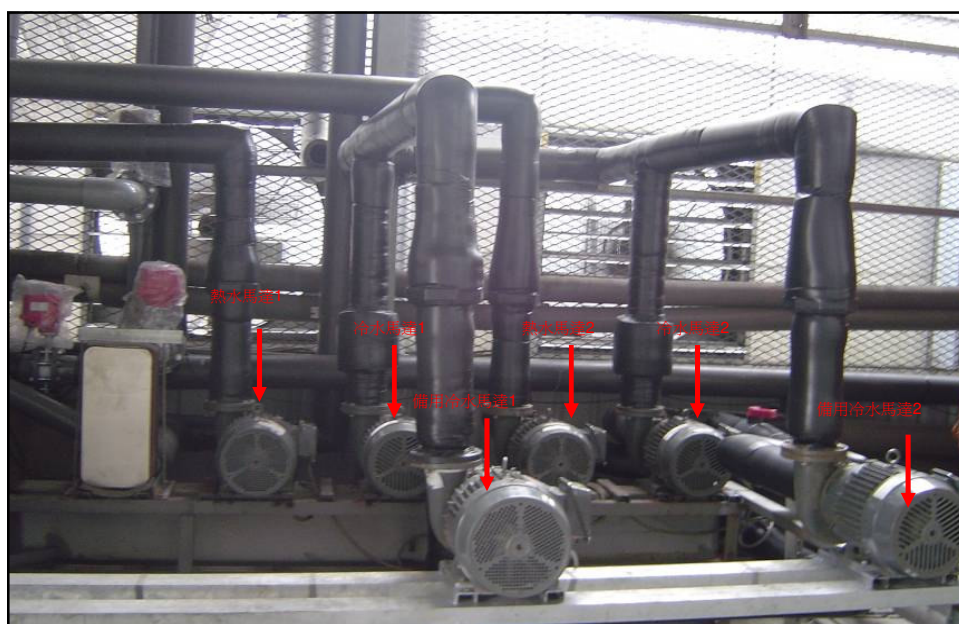
高度 3.5 ~ 4 m 的溫室代表

■ 皇基公司 (750 坪)

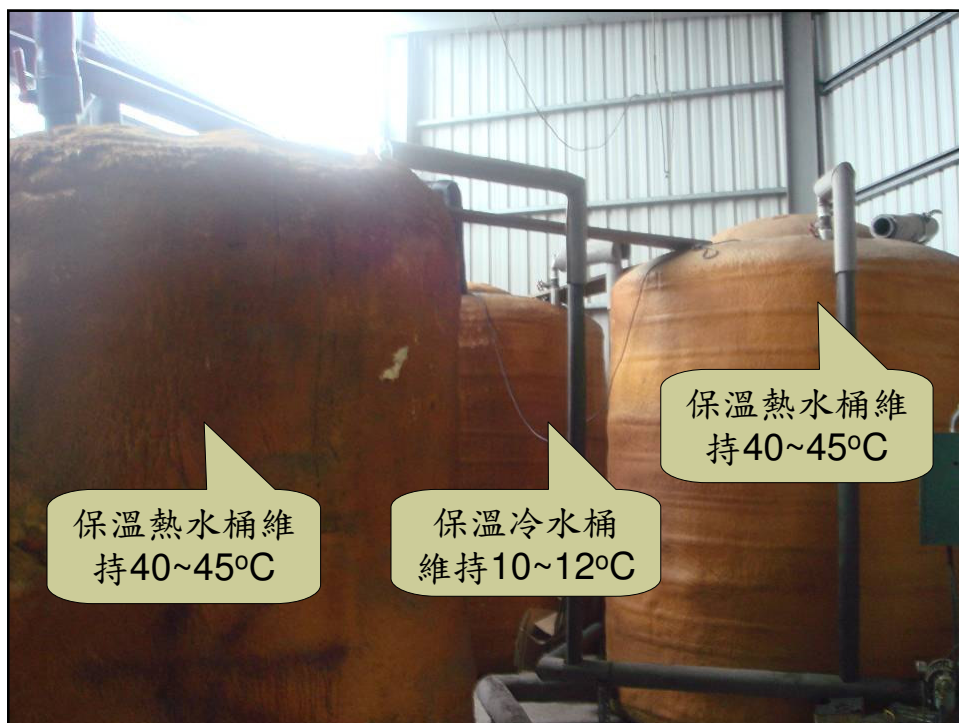
- 催花溫室 300 坪，供冷與供暖 (送風機 20 台)
- 抑梗溫室 450 坪，供暖 (送風機 20 台)
- 製冷 80 USRT → 3.75坪 / USRT
- 製熱 80 x 1.2 USRT → 7.8 坪 / USRT
+ 燃油加溫機

56





冷熱水抽水馬達





保溫儲水桶

屋簷高度 6 m 或以上的溫室代表

■ 育品公司 (9000 坪)

催花溫室 1200 坪 → 2400 坪 (送風機200台)

栽培溫室 7800坪 → 6600坪 (熱水管)

製冷 2台200 USRT → 6 坪 / USRT

製熱 2 x 200 x 1.1 USRT → 15 坪 /
USRT (?)

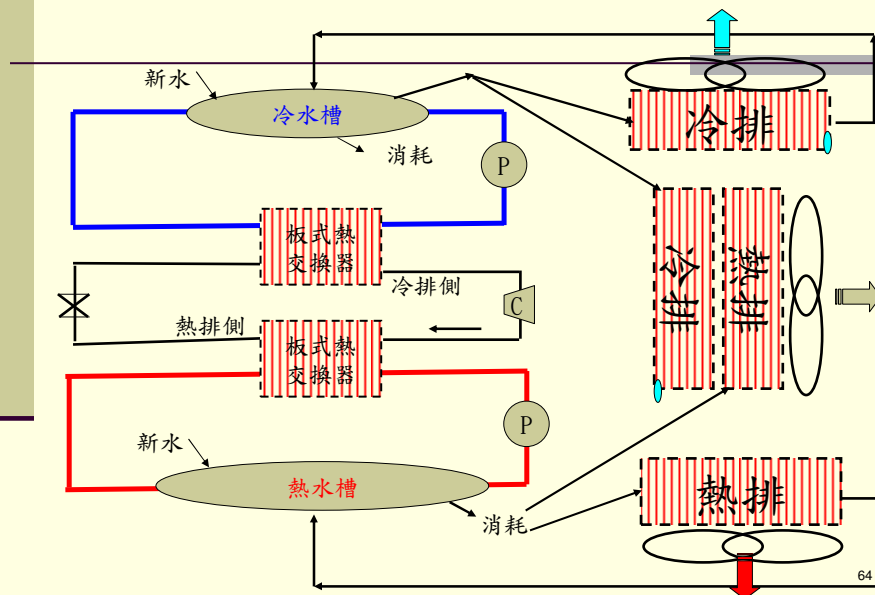
不同高度的催花溫室

溫度管理策略之差異

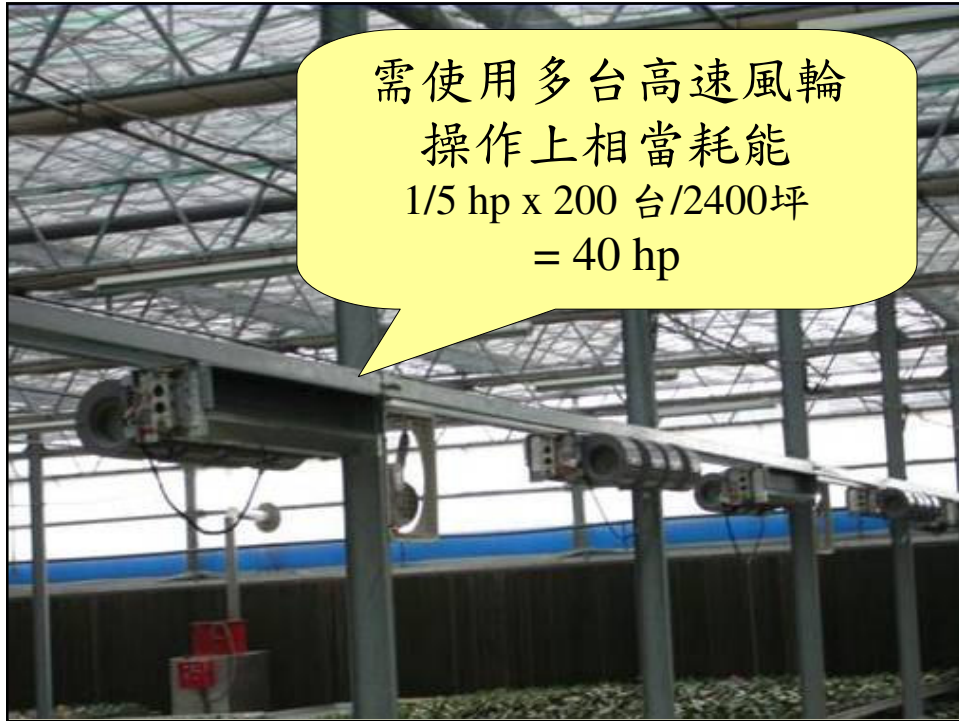
溫室高度	白天降溫設備	夜間降溫設備 (離峰電力)	優點	缺點
低	冷氣 3.75坪/USRT	冷氣		
高	風扇 水簾	冷氣 4 pm~7 am 6坪 / USRT	熱泵噸數可大幅減少。操作成本可大幅降低	白天較難維持25度C，抽梗率降低與花朵品質可能受損

63

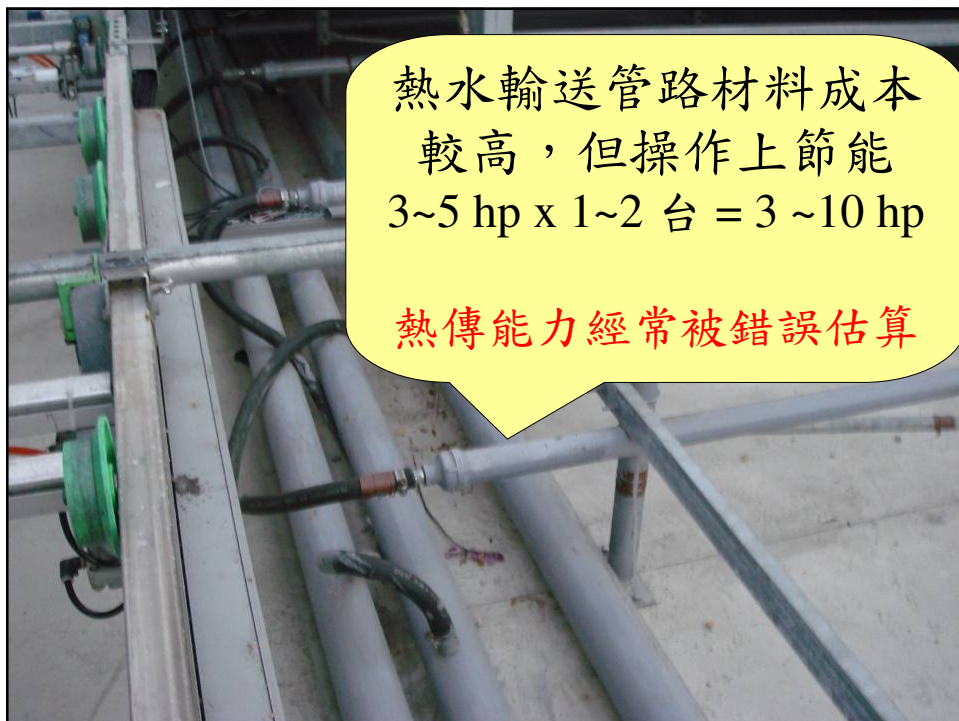
冷水/冷氣/熱水/暖氣/除濕 五效系統



64



需使用多台高速風輪
操作上相當耗能
 $1/5 \text{ hp} \times 200 \text{ 台} / 2400 \text{ 坪}$
 $= 40 \text{ hp}$



熱水輸送管路材料成本
較高，但操作上節能
 $3 \sim 5 \text{ hp} \times 1 \sim 2 \text{ 台} = 3 \sim 10 \text{ hp}$

熱傳能力經常被錯誤估算

用這種方式供應冷氣或暖氣
才是最節能且最省錢的設計



Water flow of 152 L/min

Air flow rate 218 m³/min

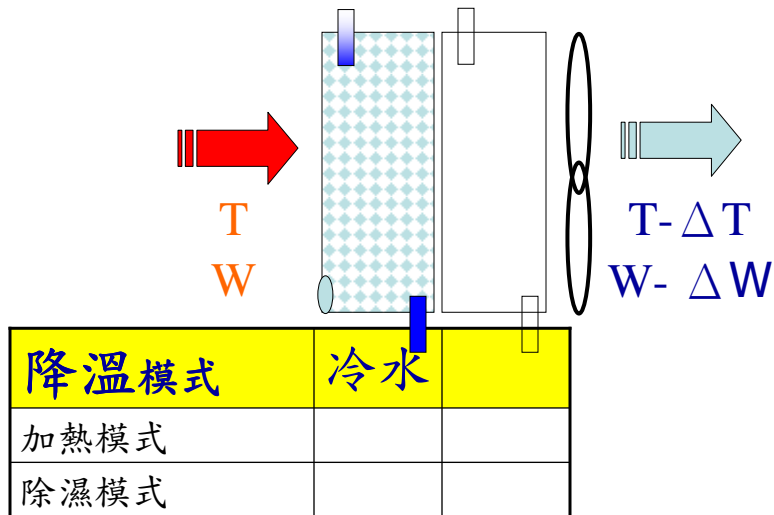
Heat exchange rate:

**Watts = 3165 * entering temperature
difference**

MODEL GLW660S

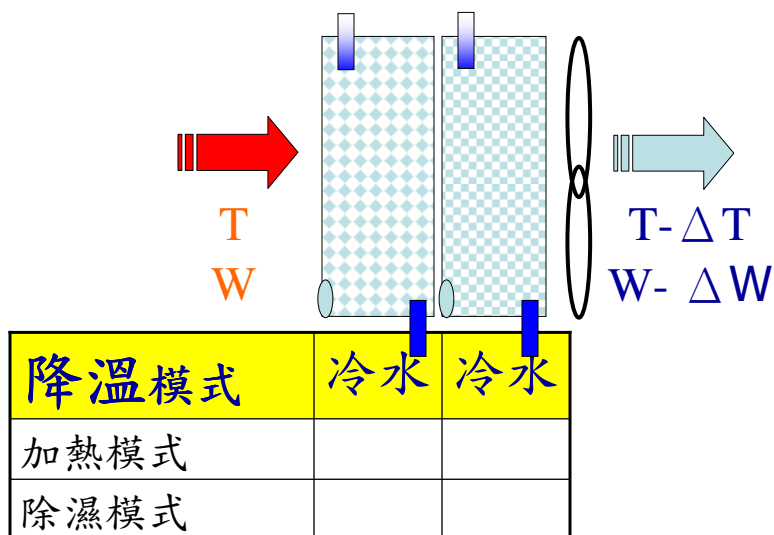


Two stage heat exchanger



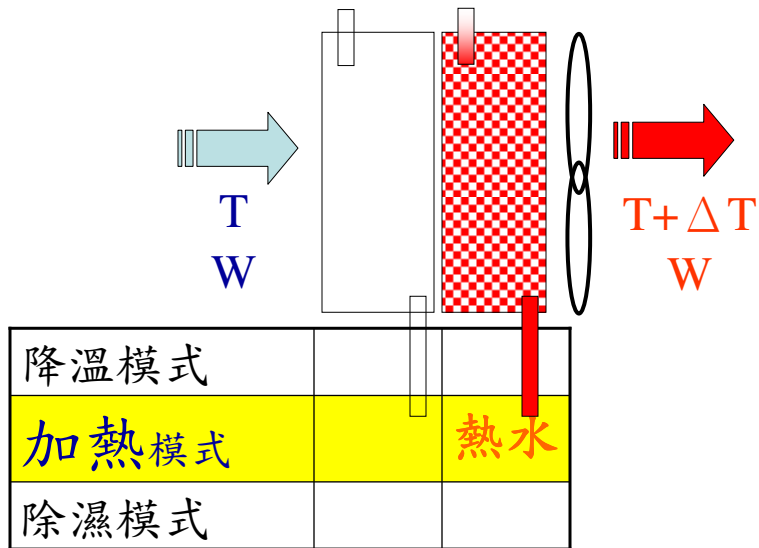
69

Two stage heat exchanger



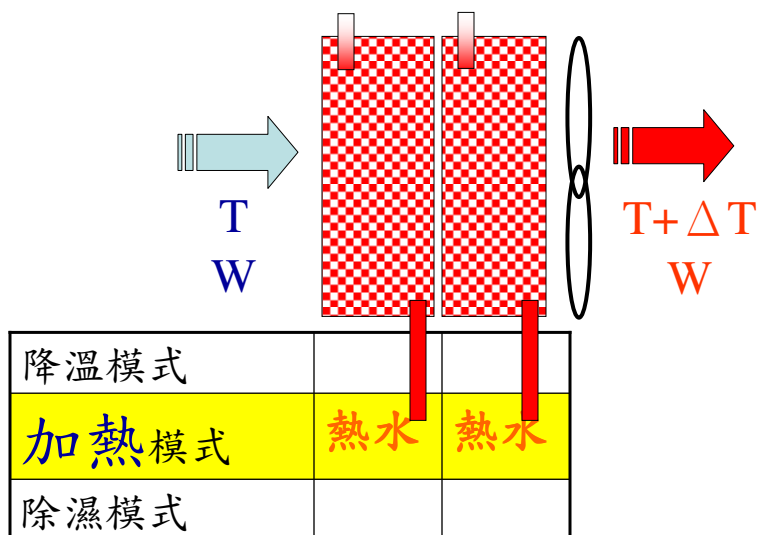
70

Two stage heat exchanger



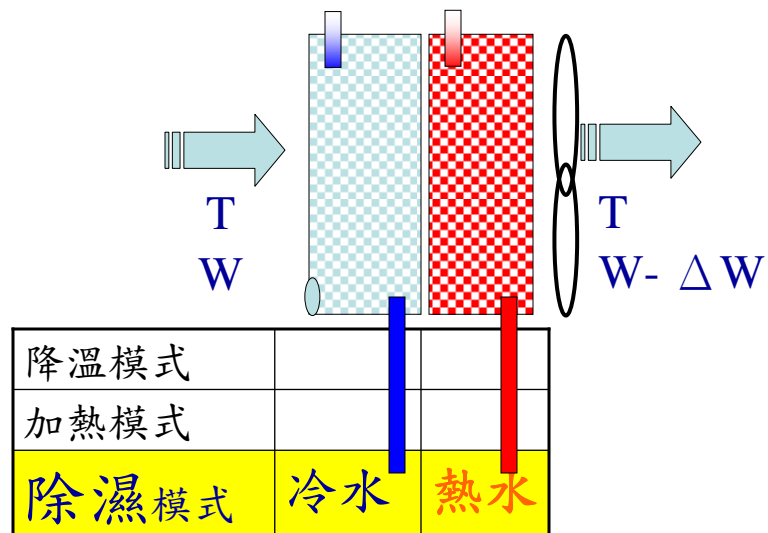
71

Two stage heat exchanger



72

Two stage heat exchanger



73

農業應用 - 園藝產業 環控栽培

■ 同步使用 冷、熱能

溫室除濕

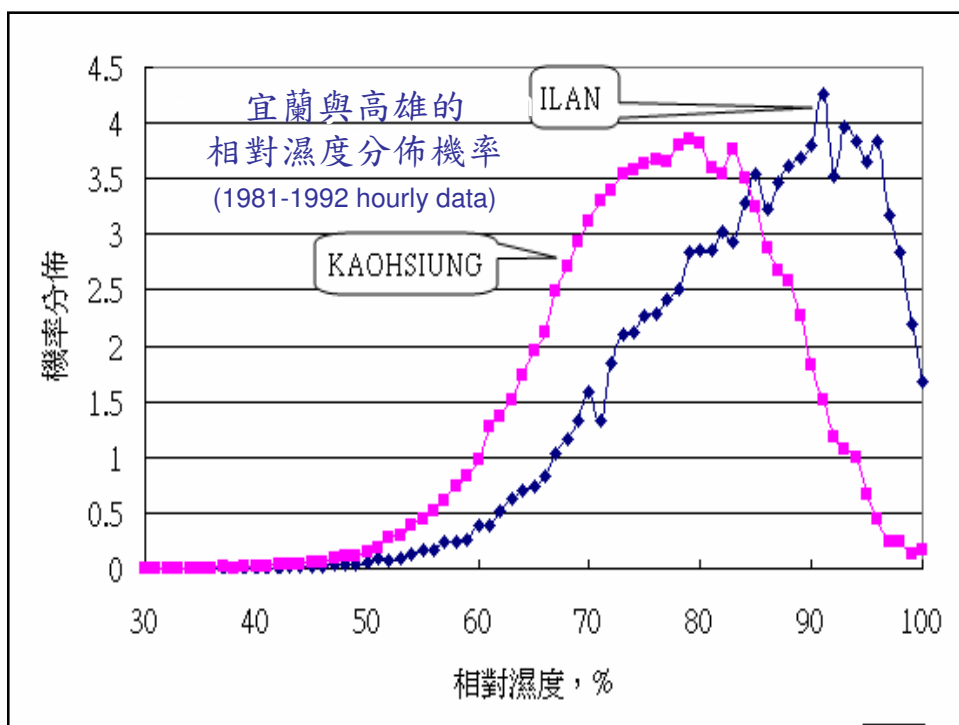
74

除濕

高濕 + 停滯的空氣為萬病之源

加強內循環

75



溫度影響濕度

- 所謂溫度指的是乾球溫度
- 所謂濕度通常指的是相對濕度
- 露點溫度則決定了是否會發生結露現象
- 當空氣的露點溫度高於物體的表面溫度，結露就會發生在該物體表面
- 溫室內部一結露，病害發生的機率就會大幅提高

77

溫室內的溫度與相對濕度

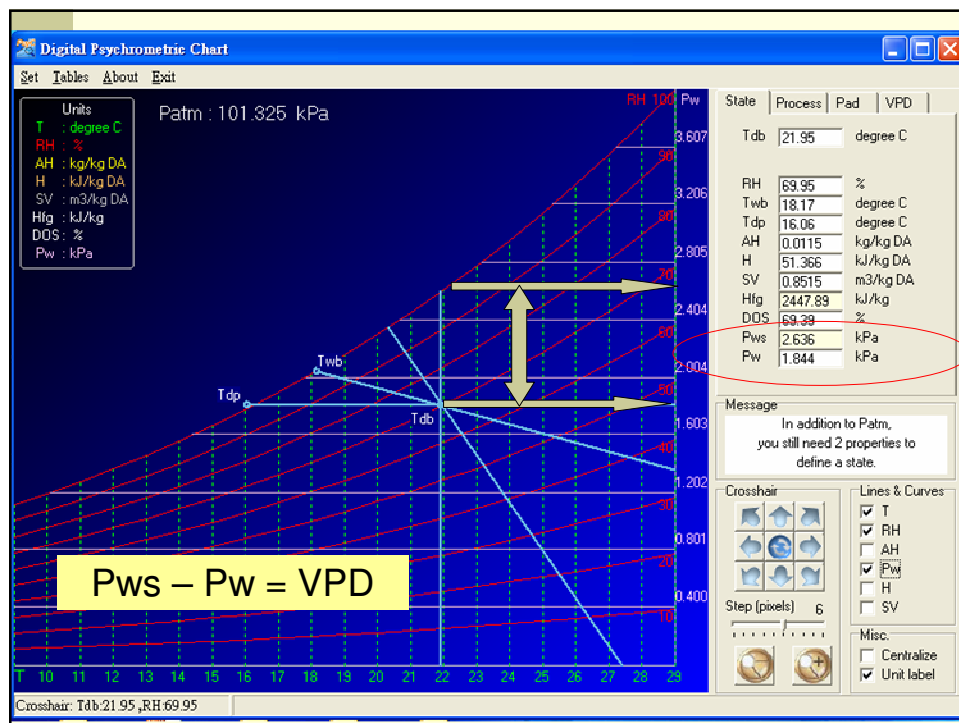
溫度 度C	最低濕度 (可啟動加濕系統)	適當濕度	最高濕度 (超過就容易發生病蟲害)
15	-	50 %	73
20	46	64	80
25	60	73	86
30	70	80	89

78

VPD 是比較好的指標

Vapor Pressure Deficit
蒸汽壓差

79

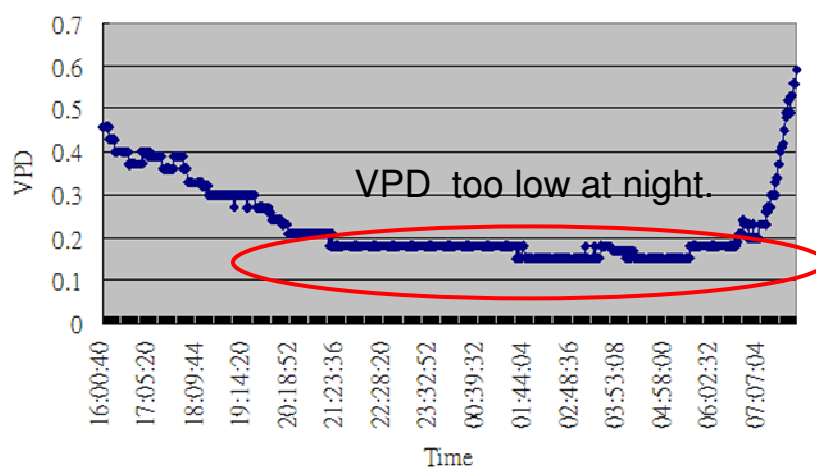


蒸汽壓差 (VPD)

過大的 VPD值 (過熱且過 乾-可啟動 噴霧加濕系 統)	適當的 VPD值 (濕度適當 適合作物蒸 散)	低的VPD (適合病菌生存) (過冷與過濕- 可啟動加熱或 除濕系統)	過低的 VPD (適合病菌入 侵)
1.25 kPa	0.85 kPa	< 0.45 kPa	< 0.20 kPa

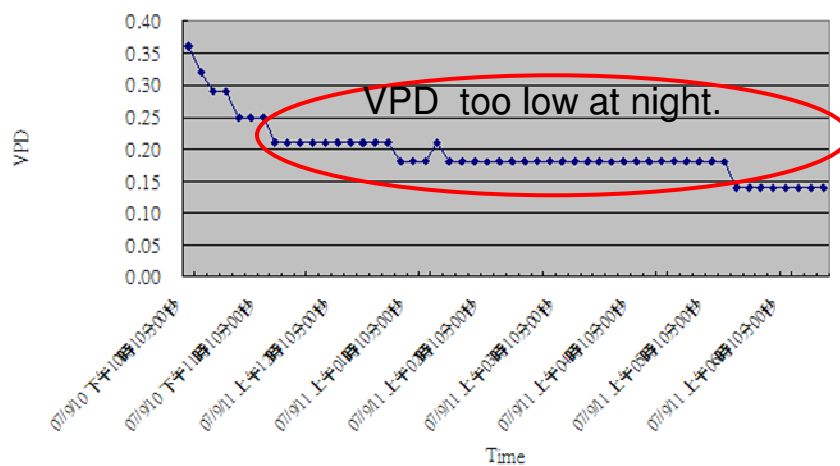
81

溫室A夜間量測的VPD



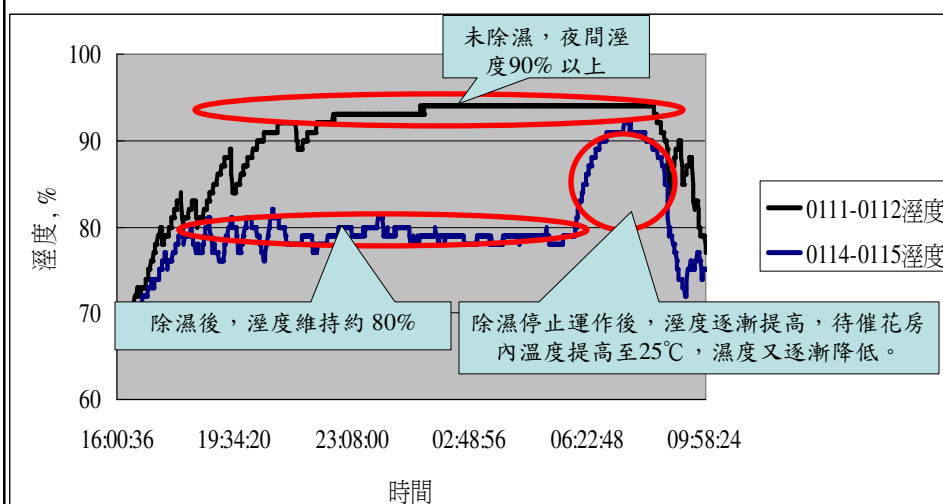
82

溫室B夜間量測的VPD

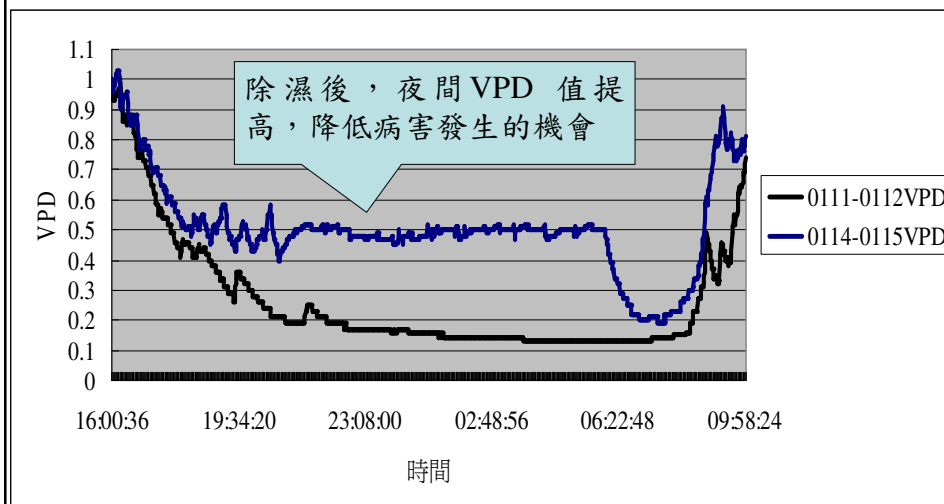


83

晚上6點至隔日早上6點 進行除濕



除濕前後 夜間VPD 值的變化



85

溫室內 安裝空調熱泵系統

廠商在製造、施工、設計上之盲點

86

除了造價高之外

1. 主機品質差，性能不穩定
 - 壓縮機至少應保固3年
2. 主機製熱性能不佳
 - 製熱能力應大於製冷能力的1.1 ~ 1.2倍以上

3. 冷凍噸數的糾紛

87

冷凍噸

- 1 USRT = 3024 kcal/hr
= 3.51 kW = 12000 Btu/hr
 - USRT : US Refrigeration Tonnage
- 1 JRT = 3320 kcal/hr
 - JRT : Japanese Refrigeration Tonnage

有人 10000 BTU/hr 就算 1 USRT

更離譜的是有人 2000 kcal/hr 也算 1 USRT

88

2000 kcal/hr = 1 冷凍噸 ???

臺灣-冷氣機 - Windows Internet Explorer
http://go.taiwan.net/columnpage/peccol/coolair-01.asp

1. 冷氣機之種類
2. 冷氣機之安裝
3. 冷氣機之保養

4. 冷氣機之選購
5. 冷氣機之安裝
6. 冷氣機之保養

7. 施工方式
1) 安裝要於通風處安裝
2) 安裝其他配件如通風扇
3) 應注意安裝位置

8. 其它因素(方位、西曬、牆面、窗簾、熱源)
· 西曬之房間由於日照較久，可以考慮設置冷氣能力較大之機種(如15坪之空間第一般環境可選擇之2000或2200kcal/hr機種，則應選擇2500kcal/hr以上之機種)
· 居住空間分、成幾部分的化或一般行選購時應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線

9. 家中有人數、小孩
由於老人及小孩之抵抗力較差，因此最好考慮選購其空氣清淨機功能的機種(如除菌過濾網)

10. 冷氣能力與使用耗電換算表：
冷氣能力指一台冷氣機，每小時能從室內移走的熱量，單位是kcal/hr，一小時需450kcal/hr~500kcal/hr，換算和容量則需要500 ~ 550kcal/hr。

使用坪數	Kcal/hr	BTU/hr	噸數
3~4	1600	6400	0.8
4~5	1800	7200	0.9
5~6	2000	8000	1
6~7	2500	10000	1.3
7~8	3150	12600	1.6
8~10	3550	14200	1.8
10~12	4500	18000	2.3
12~14	5600	22400	2.8
14~16	6300	26200	3.2

11. 冷氣機之選購
· 冷氣機之選購應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線
· 冷氣機之選購應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線

12. 冷氣機之安裝
· 冷氣機之安裝應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線
· 冷氣機之安裝應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線

13. 冷氣機之保養
· 冷氣機之保養應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線
· 冷氣機之保養應注意其電壓的規格，應為SAC雙網之機種，前後接線

89

除了造價高之外

1. 主機品質差，性能不穩定
2. 主機製熱性能不佳
3. 冷凍噸數的糾紛
4. 溫室冷熱負載計算方式不正確
 - 不應該只由換氣率計算

90

興建中的育品溫室 2008/5/15



育品溫室 (嘉義民雄廠)

■ 溫室

- 長、寬為108公尺x300公尺
- 面積約為 9000坪
- 屋簷高度為6公尺

■ 初期規劃

- 催花溫室 1200 坪
- 栽培溫室 7800 坪

XX工業所做的加熱負載計算(1)

- 未控制時
 - 室溫 15 °C / 60 %RH，焓 7.5 kcal/kg
- 需要升溫至
 - 室溫 25 °C / 60 %RH，焓 13.3 kcal/kg
- 目前空間
 - 9000 坪 x 3.3 x 高 3 m
 - 負載空間：89100 m³

93

XX工業所做的加熱負載計算(2)

96.09.15傳真

- 設每小時換氣量：5 次
- 空間需求風量：89100 x 5 = 445500 CMH
- 能力計算：
 - (出風焓 - 入風焓) / 出風口比體積 x 風量
 - (13.3 - 7.5) / 0.861 x 445500
 - = 3001045 kcal/hr 約 992 USRT
- 建議至少安裝 1000 USRT 以上暖氣
- 以上僅供參考

完全未考慮
溫室外狀況

94

XX工業所做的加熱負載計算(3)

96.09.16 傳真修正

- 設每小時換氣量：1 次
- 空間需求風量： $89100 \times 1 = 89100$ CMH
- 能力計算：
(出風焓-入風焓)/出風口比體積 x 風量
 $(13.3 - 7.5) / 0.861 \times 89100$
 $= 600,209 \text{ kcal/hr}$ 約 198 USRT
- 建議至少安裝 200 USRT 以上暖氣
- 以上僅供參考

95

採購的空調熱泵

- 採購 2 台 KLAH-200D 型氣冷式冷暖冰水機組 (堃霖冷凍機械股份有限公司)
 - 使用R22冷媒
 - 總冷房能力 = 1.12 M kcal/hr
 - 總暖房能力 = 1.232 M kcal/hr
 - 每台冷房能力 560,000 kcal/hr = $101 \text{ m}^3/\text{hr} \times (12 - 7^\circ\text{C}) \times 1000 \text{ kg/m}^3$ ，壓損 6.6 m
 - 散熱風扇 590 W x 20 台，風量 $5200 \text{ m}^3/\text{min}$
 - 每台暖房能力 616,000 kcal/hr = $111 \text{ m}^3/\text{hr} \times (45 - 40^\circ\text{C}) \times 1000 \text{ kg/m}^3$ ，壓損 7.7 m
 - 耗電量 240 kW = $240 \times 860 = 206,400 \text{ kcal/hr}$
 - COP冷 = $560 / 206.4 = 2.71$
 - COP熱 = $616 / 206.4 = 2.98$
 - 適用外氣溫度範圍：7 ~ 35 °C
- 使用植床下熱水管透過輻射加熱

96

冷/暖房能力評析

- 使用兩台堃霖冷凍機械公司氣冷式冰水機 KLAH-200D.
- 一台的冷房能力為 56 萬 kcal/hr, 暖房能力為 61 萬 kcal/hr
- 屋簷高度 6 m, 暖房 3 m 高度有保溫膜

- 冷房 1200 坪
 - $2 \times 560000 / 3024 = 2 \times 185 = 370 \text{ USRT}$
 - $1200 / 370 = 3.24 \text{ 坪 / USRT}$ (低估了)
- 暖房 7800 坪
 - $2 \times 610000 / 3024 = 2 \times 202 = 404 \text{ USRT}$
 - $7800 / 404 = 19.3 \text{ 坪 / USRT}$ (高估了)

97

加熱負載計算之調整歷程 評析

調整	換氣率	溫室面積 (加熱溫室)	規劃結果 (擬)採購主 機冷凍噸數	坪 /USRT	W/m ²
1 初步設計	5 次/hr	9000 坪	1000	9.00	118
2 更改設計	1 次/hr	9000 坪	200	45.00	24
3 實際安裝		7800 坪	404	19.31	55
4 修正面積		6600 坪	404	16.33	65
目前加熱能力仍然 嚴重不足		6600 坪	建議修正為 620	10.65	100

98

溫室加溫負載計算

計算需求的加熱系統容量：

1. 被覆表面的熱損失
2. 基於空氣流動的狹縫處熱損失
3. 沿四週牆壁的周邊的熱損失
4. 當外界風速較高或內外溫差較大時需做調整

以上相加即為總熱損失

99

被覆表面的熱損失

- Heat transfer through the structure depends on:
 - Heat transfer coefficient, U ($U = 1/R$)
 - Area, A
 - Temperature difference: $T_{\text{inside}} - T_{\text{outside}}$ (ΔT)
- Equation:

$$Q = U \times A \times (T_{\text{inside}} - T_{\text{outside}})$$

or

$$Q = UA \Delta T$$

100

溫室室外的冬季低溫

1. 加熱系統設計建議使用低溫期
(12~2 月，120 天，2880 小時)
室外溫度 99% 都在該溫度以上的
最低溫為 T_{outside} 設計值。
2. 1% $\approx$ 29 hours, 1.2 days。

101

多種溫室被覆材料的熱傳係數

Suggested U value through various greenhouse glazing [P.V. Nelson]		
Covering Materials (Glazing)	Heat Loss Coef. (U) Btu/ft ² /hr/F W/m ² /K	
Glass , single layer	1.13	6.42
Glass , double-layer, 1/4-in (6 mm) space	0.65	3.69
Glass , triple-layer, 1/4-in (6 mm) spaces	0.47	2.67
Polyvinyl Chloride (PVC)	0.92	5.22
Fiberglass-reinforced plastic (FRP)	1.2	6.81
Acrylic, single layer 1/8-in (3 mm)	1	5.68
Acrylic, double-layer pannel (16 mm thick)	0.58	3.29
Acrylic, double-layer pannel (8 mm thick)	0.64	3.63
Polycarbonate, double-layer pannel (16 mm thick)	0.58	3.29
Polycarbonate, double-layer pannel (6.5 mm thick).....	0.69	3.92
Polyethylene (PE) film, single layer (2,4,6 mil)	1.15	6.53
Polyethylene (PE) film, double layer	0.8	4.54
Polyester film, Mylar	1.05	5.96
Polyvinyl fluoride (PVF), Tedlar, single layer film.....	1.05	5.96
Polyvinyl fluoride (PVF), double-layer film	0.76	4.32

102

雙層充氣塑膠布屋頂被覆 + 保溫膜

Detail Info. of U value of ROOF

Suggested U values of selected insulating blanket materials in combination with a double PE greenhouse glazing [Roberts, et.al.]

Materials	Description	Source	(U) Btu/ft ² /hr/F	W/m ² /K
Reemay Spunbonded Polyester		Dupont	0.63	3.58
Double Knit Cloth		Van Wingerden	0.62	3.52
Black Polyethylene		Monsanto	0.48	2.73
Reinforced Polyethylene		Shade Corp. of America	0.46	2.61
Black Polyethylene over Reemay		Shade Corp. of America	0.44	2.5
Prefabricated Aluminized Vinyl		Stauffer/Revere	0.42	2.38
Reemay over Black Polyethylene		Stauffer/Revere	0.39	2.21
Aluminized Vinyl (worn)		Stauffer	0.38	2.16
Polypropylene Shade (97 %)		Shade Corp. of America	0.38	2.16
Foylon		Duracote	0.34	1.93

基於空氣流動的狹縫處熱損失

• Equation: $Q = 0.02 \times V \times C \times (T_{\text{inside}} - T_{\text{outside}})$

where:

V = greenhouse volume (ft³)

C = number of air exchanges per hour

Construction	C
New, glass	0.75 - 1.5
New, double poly	0.5 - 1.0
Old, glass and good condition	1.0 - 2.0
Old, glass and poor condition	2.0 - 4.0

104

沿四週牆壁的周邊的熱損失

- Equation: $Q = F \times P \times (T_{\text{inside}} - T_{\text{outside}})$

where:

F = perimeter heat loss Factor

P = greenhouse Perimeter (in feet)

F (Btu/hr per linear foot per °F)

Uninsulated	0.8
Insulated	0.4

- If you have a high water table: also consider heat loss to the soil underneath the greenhouse

105

沿四週牆壁的周邊的保溫



- At least 1 foot deep (preferably 2 feet)
- At least 1 inch thick (preferably 2 inches)



- Avoid gaps
- Try to work neatly around post footings

風速與溫差的影響

- If $\Delta T > 70^\circ\text{F}$ (difference between inside and outside temperature), and if average wind speed > 15 mph:
Multiply the calculated heating requirement by:
(1 + 0.08) for every increase in ΔT of 5°F
(1 + 0.04) for every 5 mph increase in wind speed
- For example, if $\Delta T = 80^\circ\text{F}$ (1.16) and the average wind velocity is 25 mph (1.08):
multiply the calculated heating requirement by a factor of: $1 + (0.16 + 0.08) = 1.24$

107

除了造價高之外

1. 主機品質差，性能不穩定
2. 主機製熱性能不佳
3. 冷凍噸數的糾紛
4. 溫室冷熱負載計算方式不正確
5. 溫室內供熱管路之供熱能力認識不清楚
 - 與管路形狀、管徑、水溫、材質、表面輻射率等相關

108

平滑鋼管



加熱管	截面圖	管徑 (英吋)	熱量輸出* (Btu/hr per foot)/ (Watts per meter)
平滑鋼管	o	1	100/96
平滑鋼管	o	1.5	130/125
平滑鋼管	o	2	160/153.83
平滑鋼管	o	2.5	190/182.7

* 入口水溫為 82 °C，環繞熱水管的空氣溫度為 18.3 °C

109

平滑鋼管 (2 inch)

加熱管	入口水溫 °C	管壁輻射率	熱量輸出* (Btu/hr per foot))/ (Watts per meter)
平滑鋼管	82	0.95	160/153.83
平滑鋼管	50	0.95	73/70
平滑鋼管	50	0.4	52/50

* 環繞熱水管的空氣溫度為 18.3 °C

110

鋁管加側板



加熱管	截面圖	管徑 (英吋)	熱量輸出* (Btu/hr per foot)
鋁管加2支側板		1	175
鋁管加6支側板		1	295
鋁管加3支側板		1	172

* 入口水溫為 82 °C，環繞熱水管的空氣溫度為 18.3 °C

111

銅管加鋁製鰭片



加熱管	截面圖	單一鰭片 面積 (in ²)	每英尺 鰭片數	管徑 (英吋)	熱量輸出* (Btu/hr per foot)
銅管加鋁製 鰭片		11.3	38	1	745
銅管加鋁製 鰭片		10.3	32	1.5	980
銅管加鋁製 鰭片		11.8	24	2	860

* 入口水溫為 82 °C，環繞熱水管的空氣溫度為 18.3 °C

112

Hot Water – More Efficient and Uniform Temperature controlled continuous circulation better than ON/OFF

Three-way valve

Four-way valves and circulators



結論

- 熱泵系統無有毒廢氣排放(如CO、CO₂、黑煙等)之環保疑慮。
- 熱泵系統節能減排效能大，是極為環保之綠色能源。
- 單獨使用單效功能用於製造熱水已可大幅度降低能源成本
- 以熱泵取代鍋爐，環保、安全、節能、省錢、省地、省工、冷卻地球

115

結論(續)

- 單效熱泵系統
 - 只能供暖或提供熱水
 - 夏天製冷，冬天供暖
 - 夏天製冷，冬天供暖，生活熱水
- 雙效熱泵系統
 - 節能、省錢程度更大
 - 溫差大、可用性高
 - 應用範圍廣

116

結論(續)

- 雙效熱泵在蝴蝶蘭產業有高度應用空間
 - 冷能可用於催花溫室的降溫
 - 熱能可用於抑梗溫室及栽培溫室的保溫與加溫
 - 冷熱能併用可用於溫室的除濕
- 空調熱泵產業界仍須加強之處
 - 溫室冷卻與加熱負荷的計算
 - 設備之製熱能力
 - 設備本身穩定性

117

給農政單位的建議

- 儘速建立空調熱泵性能測試設備
- 仿新型農機補助方式
- 通過性能測試的設備予以 1/3 ~ 1/2 的補助
- 節能程度越高者，補助越多，以 1/2 為上限
- 假設 1 USRT 主機造價 2.2 萬元
- 補助設備費用 1.1 萬元 $\times$ $COP_{total} / 8$
- 單效系統 (以製熱為例)
 - $COP_{total} = COP_{製熱} = 4$ ，補助 0.55 萬 / USRT
- 雙效系統
 - $COP_{total} = COP_{製冷} + COP_{製熱} = 6$ ，補助 0.825 萬 / USRT
 - $COP_{total} = COP_{製冷} + COP_{製熱} = 8$ ，補助 1.10 萬 / USRT

118

感謝聆聽

敬請指教！

