

冷熱儲能多功能系統與 測試應用在奶製品發酵製作

國立臺北科技大學 能源與冷凍空調工程研究所博士班 林謙育
臺北市立南港高級工業職業學校 冷凍空調科 邱品逢

摘 要

國內的食安問題日趨嚴重，民眾人心惶惶，市售食品不安全。研究調查市售優格機僅能做發酵用，在溫度控制方面，使用加熱器，控制不精確，故奶製品生產產品穩定性不佳，性能受限。

本文所提出的冷熱儲能多功能奶製品發酵系統，應用蒸氣壓縮循環系統，由卡諾循環 CC(Carnot Cycle) 原理，輸入電量比上輸出熱量比 (輸出熱量為蒸器吸收熱量加上壓縮機運轉所產生之熱量)，可推估效率高達 300~400 %。在儲能方面，當發酵模式時，發酵完成後必需進入冷藏模式，為節省降溫所需耗能，於壓縮機出口加裝儲能熱交換器，發酵時在儲能熱交換器保存冷能，發酵結束後儲於熱交換器的冷能，由小型水泵將冷能轉移到發酵槽，進行預冷卻。量測發現，加熱性能較市售高 150~300 % 左右，冷卻性能係數 (Coefficient of performance) COP 高達 9.2 W/W 與加熱性能約 7.22 W/W。

壹、研究動機

最近國內的食安問題日趨嚴重，民眾對於加工食品等信任度降低，市面上的食品變得越來越不安全，食品安全愈來愈成為現代人選擇吃的考量之一，在眾多的食品機械中，專門製作優格的機器是相對極少的，優格製作大多都是附屬功能，雖有專門進行優格製作的機器，但大多數為傳統加熱器控溫，無自動冷藏功能，使用者稍不注意，優格機中之優格便會發酵過度，導致優格餿掉，浪費食材。故本研究動機為，如何運用冷凍空調專業知識結合可程式控制原理，研發出一台創新節能發酵設備，即一機多功，它擁有自動化製作奶製品、加熱食材、冷卻食材與儲能之功能等四種功能。

貳、研究方法與過程

本文先建立理論系統，隨後建立實務系統。定義出牛奶優格產品品質參考指標，以提供後續研究比較之依據；而在壓縮機、熱交換器之設計評估方面，本文以基本蒸氣壓縮式理論進行推估，並以 (Solkane) 冷媒電腦模擬軟體進行模擬分析比較，最後將數據繪製成性能曲線圖，再對結果做分析，流程如圖 1。

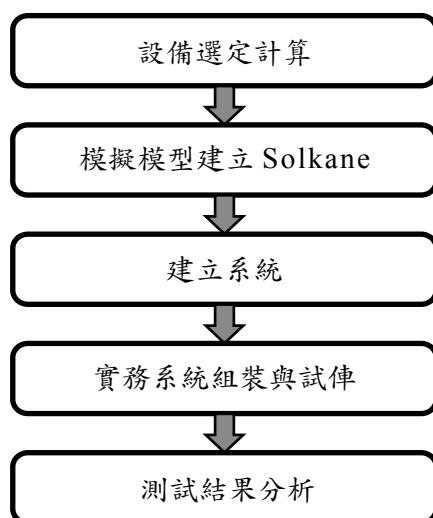


圖 1 研究流程

一、研究工具與材料

本文研究所需之設備、工具與材料如表 1 所示：

表 1 設備、工具與材料一覽

設備 工具	壓縮機	四通閥	真空泵
	電焊機	氧乙炔焊組	切木板機
	可程式控制器	鑽孔機	電動起子
	喇叭口製作器	銅管處理工具組	彎管器
儀器	風速計	四點式溫度計	溫濕度計
	電力計	電子式電流(壓)表	高低壓力計
材料	銀焊條	銅管	毛細管
	絞線	冷媒止閥	木板
	過電流電驛	電磁開關	無熔絲開關
	指示燈	R-134a 冷媒	平頭開關

二、熱力元件選擇

冷熱儲能低碳之高效率能多功奶製品發酵系統之研製元件之選用熱力計算模式，才能選擇壓縮機大小，最後再依照能量守恆定律，推估蒸發器大小。

(一)、設計條件:冷凝溫度為 42°C、蒸發溫度 6°C、冷卻量 0.96 kW、加熱量 1.2kW。

(二)、理論模式：

1、 $Q=m \times C_p \times \Delta T$ 其中： m 冷媒質量流率 l/s； C_p 定壓比熱 kcal/kg°C； ΔT 熱交器進出口溫差°C

$$2、Q=U \times A \times LMTD = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} = KA \frac{LMTD}{\Delta x} = K \pi d_o L \frac{LMTD}{\Delta x}$$

其中： U 總熱傳係數 W/m²°C； A 有效傳熱面積 m²； ΔT 熱交器進出口溫差°C； Δx 管壁厚度 m； $LMTD$ 對數平均溫差°C； K 熱傳導係數 W/m²°C； d_o 外管直徑 m； L 銅管長度 m

$$3、LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{T_1}{T_2}}$$

其中： ΔT_1 = 冷水進口溫度 - 冷媒進口溫度； ΔT_2 = 冷水出口溫度 - 冷媒出口溫度 °C

$$4、COP=Te/Tc-Te=Qe/W$$

$$PF=Tc/Tc-Te=Qc/W$$

其中：COP 冷卻性能係數；PF 加熱性能係數； T_e 蒸發溫度 $^{\circ}\text{C}$ ； T_c 冷凝溫度 $^{\circ}\text{C}$ ； Q_e 冷卻能力 kW； Q_c 加熱能力 kW

三、模擬模型建立

本研究使用 Solkane 開發的 Solkane Windows Version 5.0 版冷媒循環分析軟體。本軟體可提供使用者選擇各種不同的共沸冷媒與非共沸冷媒，同時具有五種蒸氣壓縮循環之分析計算功能。

使用者事可先根據熟悉之單位及語言事先於軟體內作好設定再執行冷媒循環計算分析，所計算出來之數據可以圖表及數據的方式呈現。

冷媒循環計算模式

冷媒循環設計之條件如圖 2 所示，按下計算鍵便可計算出此冷媒循環之性能係數 COP、壓縮功率、冷凍能力及冷凝過程與蒸發過程等資料，如圖 3 所示

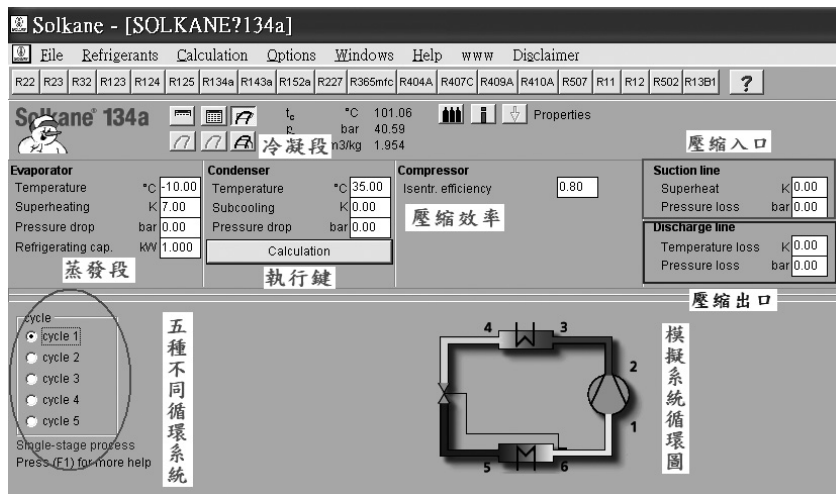


圖 2 冷媒循環模式設計條件

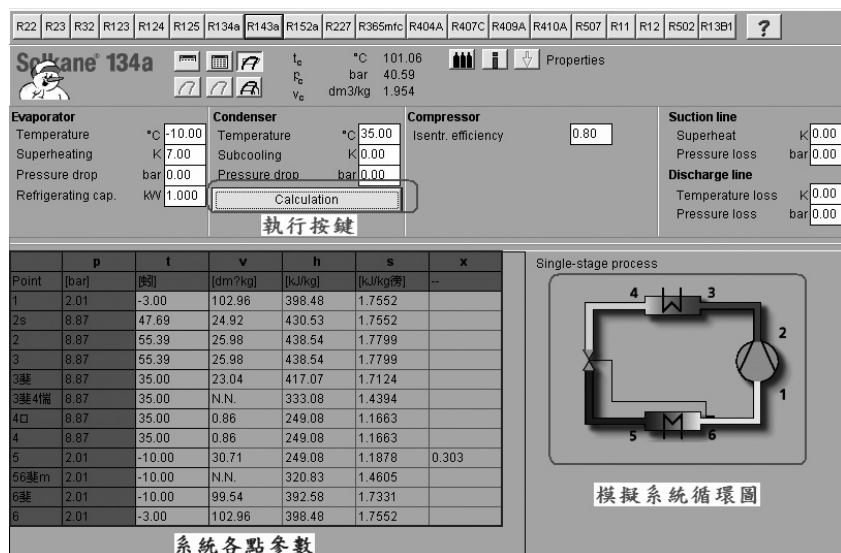


圖 3 冷媒循環模式之輸出

四、建立實務系統架構

系統架構主要分成三大部分，分別為電路、外殼與管路來進行討論，說明如下

(一)、電路系統

實際測驗了解了各元之電路後，將以控制原理畫成可程式步進指令圖，主要分成發酵模式、冷藏模式、加熱模式三種控制。

此機器有三種模式，各動作說明如下：模式 1 發酵模式，啟動壓縮機之製熱（發酵模式）加熱至 $45 \pm 1^\circ\text{C}$ ，時間電驛計時 8 小時，優格發酵，發酵時間到，先行停機，預冷後再行製冷。送電指示燈亮，送電時水閥開，經 5 秒後開啟節能水泵，循環 3 分鐘進行預熱，時間到關閉水泵經 2 分鐘後將水閥關閉，開啟室內風機與壓縮機，進行製熱開始發酵，經 8 小時後，室內風機與壓縮停止，將水閥開關打開，經 5 秒後開啟水泵，循環 3 分鐘進行預冷，時間到關閉水泵經 2 分鐘後將水閥關閉，開啟四通閥，經 3 秒後開啟室內風機與壓縮機，進行製冷，保存發酵品。

送電指示燈亮，模式 2 冷藏模式，開啟四通閥，經 3 秒後開啟室內風機與壓縮機，進行製冷，如溫度過低時壓縮機與室內風機停止，溫度回升

後而投入壓縮機與室內風機。壓縮機過載時保護開關跳脫，系統停機電源指示燈亮。

送電指示燈亮，模式 3 加熱模式開啟室內風機與壓縮機，進行製熱，如溫度過高時壓縮機與室內風機停止，溫度回升後而投入壓縮機與室內風機。壓縮機過載時保護開關跳脫，系統停機電源指示燈亮，如圖 4 所示。

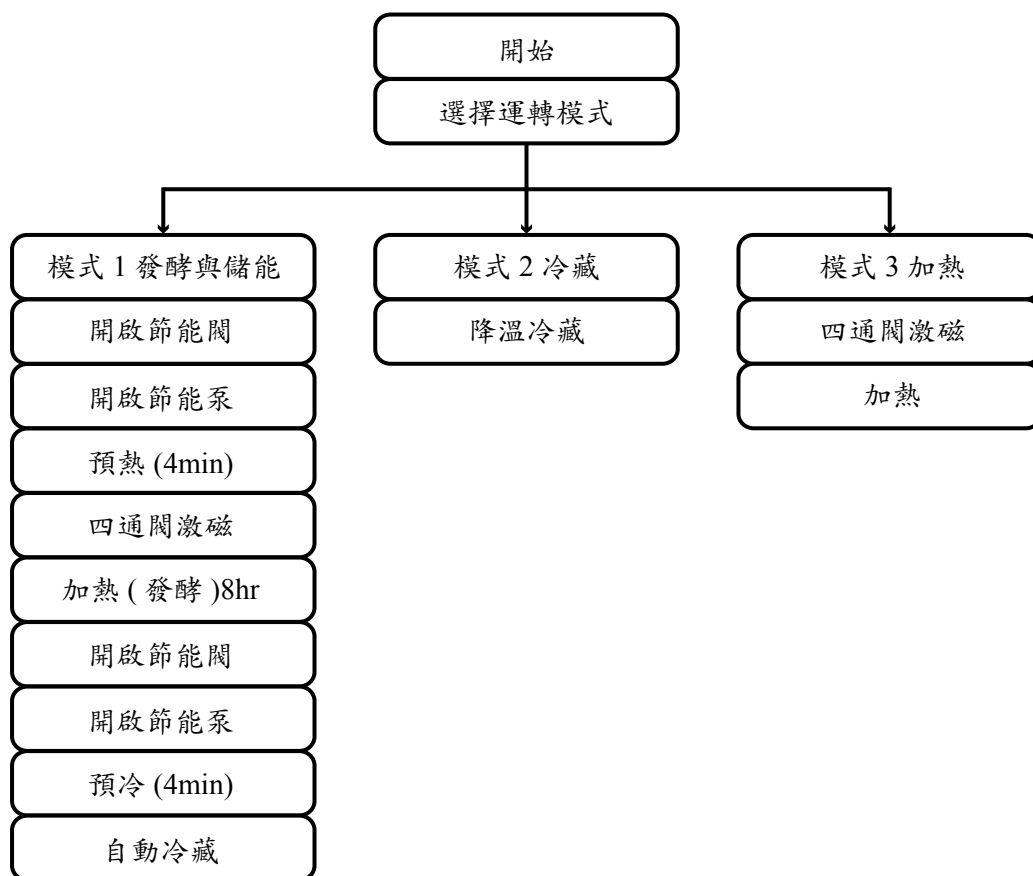


圖 4 動作流程

(二)、管路系統

系統元件為壓縮機、冷凝器、毛細管、蒸發器與四通閥，其中四通閥用於變更系統加熱或冷藏控制的控制元件，四通閥未通電時為冷卻模式，即在箱體內將產生 $7\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之冷環境，相反的四通閥通電激磁時系統為逆循環，此時箱體內將產生之 $45\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 熱環境，圖 5 為系統循環圖。

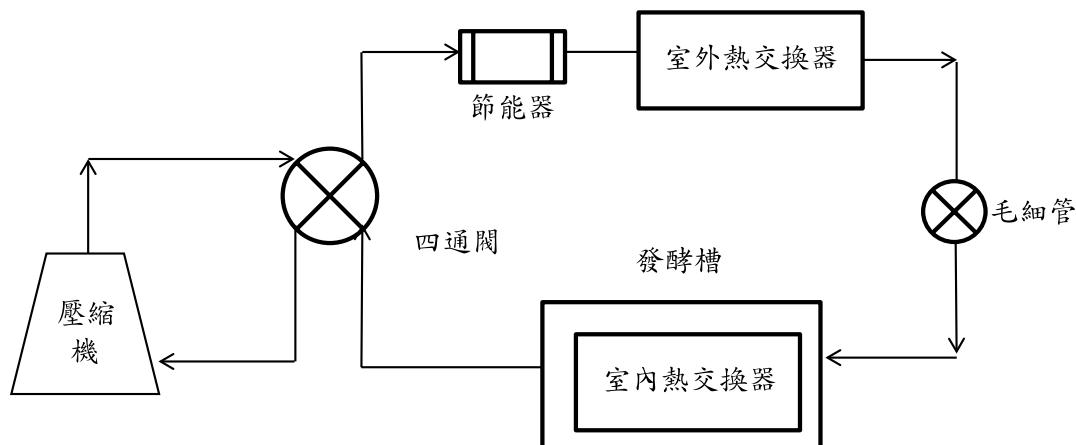


圖 5 為系統循環圖

(三)、系統組裝

抽真空一小時後，將真空泵關閉，站空一小時，確定壓力正常，關閉修理閥，拆除真空泵，將原接真空泵皮管接上冷媒瓶排空，打開修理閥進行破空，破空高低壓平衡後開機充填冷媒，如圖 6，充填冷媒高壓壓力為 120 psig，低壓壓力 0 psig。

試俾前先以三用電表測量確認 110 V 電源，無熔絲開關任一條電線掛上夾流表，觀察夾流表如圖 7，電流約為 1.26 A；裝上瓦特表，待系統溫度與壓力穩定後，以多點式溫度計量測壓縮機、冷凝器、蒸發器與毛細管進出口溫度。



圖 6 灌冷媒



圖 7 試俾中

(四)、優格製作流程

優格是牛乳與羊乳為主，經過適當的殺菌消毒後，再接種特定的乳酸菌或酵母菌加以培養所製成的帶有酸味及芳香的製品，酸酪乳種類相當繁多，以乳酸菌的數目來說，我國現行之標準規定，凝態產品的乳酸菌數須在每公克產品中含一千萬個以上，稀釋產品則於每毫升產品中至少含一百萬個以上活性乳酸菌。優格之製作流程如圖 8 所示，先高溫殺菌後將牛奶預冷到 $42\sim 45^{\circ}\text{C}$ 後再加入乳酸菌或酵母菌加以培養，並將溫度控制在 $45\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，發酵時間約 8-10 小時即可為優格。

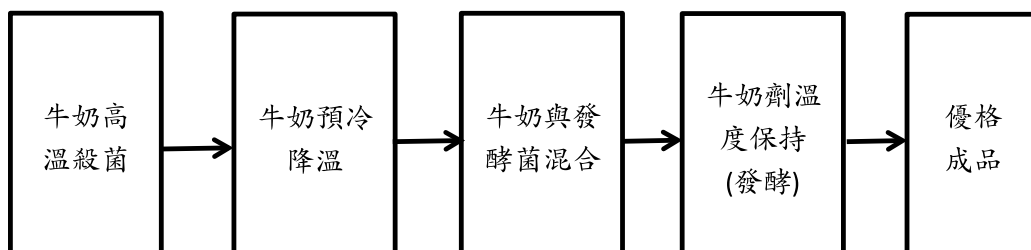


圖 4 動作流程

參、研究結果與討論

一、模擬結果

為了更配合本專題之實務量測，將以模擬作比較與分析，並將蒸發溫度、冷凝溫度、過熱度、過冷溫度與冷卻負載作為電腦變數，將模擬結果進行分析探討。

(一)、不同冷媒之冷凝溫度對性能係數的比較

圖 9 所示，固定蒸發溫度 -10°C 、過熱度 5 K 與過冷度 3 K，並且模擬四種不同之冷媒，圖中縱軸為性能係數 COP、橫軸為冷凝溫度，由圖中可清楚看出四種不同冷媒，隨著冷媒冷凝溫度的上升，模擬冷卻機之性能係數 COP 也將隨之降低，這也印證了室外環境溫度之上升，冷卻機之性能將會受影響而下降，由本圖中又可看出模擬系統性能，其中以 R-22 為最佳、R-407C 次之，最差為 R-410A。

(二)、不同冷媒之蒸發溫度對性能係數的比較

如圖 10 所示，固定冷凝溫度為 35°C 、過熱度為 5 K 與過冷度 3 K ，本圖也同時模擬四種不同冷媒作比較探討，圖中縱軸為性能係數 COP、橫軸為蒸發溫度，由圖中可清楚看出其蒸發溫上升，性能係數 COP 將隨之上升，由此可知冷卻器蒸發溫度的上升在冷凝溫度固定且冷卻機之系統相同的情況下，性能最佳為 R-22，最低為 R-410A。

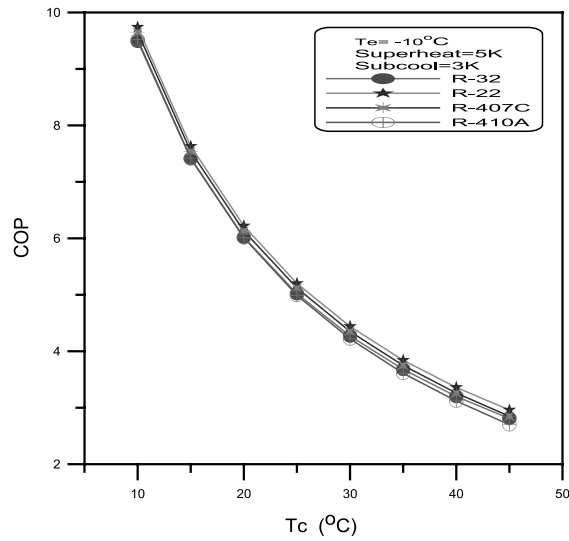


圖 9 冷凝溫度對設備性能

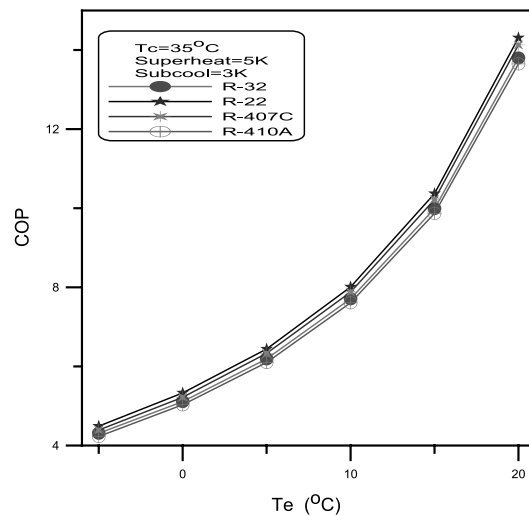


圖 10 蒸發溫度對設備性能

二、實驗結果

(一) 設備運轉性能實驗結果

表 2 所示，本實驗應用瓦時計量測設備總用電量，並將逐時記錄毛細管、壓縮機、冷凝器與箱體溫度等數據，以供計算系統加熱與冷卻之性能為依據，量測結果可以看出在冷卻模式時冷凝器之過冷卻度較高約 4.2°C 而加熱模式時過冷卻僅 1.8°C ，在系統用電量方面加熱模式用電量較冷卻模式高，約上昇 22 %，以下將計算加熱模式性能系數 PF 與冷卻模式對性能系數 COP。

表 2 量測數據

運轉 模式	電壓 (V)	用電量 (kW)	毛細管入口 ($^{\circ}\text{C}$)	壓縮機出口 ($^{\circ}\text{C}$)	壓縮機入口 ($^{\circ}\text{C}$)	箱體溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	冷凝溫度 ($^{\circ}\text{C}$)
冷卻	110	0.24	21.8	52.4	18.9	6	26
加熱	110	0.3	40.2	54.8	19.1	39	42

(二) 冷卻與加熱模式系統循環

1、冷卻模式循環狀態

首先輸入冷凝溫度、蒸發溫度、壓縮機入口、壓縮機出口、毛細管入口溫度可計算出系統循環過程之莫利爾圖，如圖 11 過熱度約 12.9°C (6-6'')，過冷卻度約 4.2°C (4-4'')。而性能推估方法可由瓦時計所量測用電量 0.24 kW，配合壓縮機進出口焓差可得到系統冷媒流率 0.016kg/s，冷卻能力可由蒸發器進出口焓差和質量流率計算出約 2.21kW，故性能系數 COP 約 9.2 W/W 左右，性能極高主要是外氣溫度較低之原故。

2、加熱模式之循環狀態

輸入冷凝、蒸發(水槽)、壓縮機入口、壓縮機出口、毛細管入口溫度可計算出系統循環過程，如圖 12 過熱度約 3.3°C (6-6'')，過冷卻度約 1.8 (4-4'')。而性能推估可由瓦時計所量測之用電量 0.3 kW，配合

壓縮機進出口焓差，得到冷媒流率為 0.0138 kg/s，加熱能力可由冷凝器進出口焓差與質量流率得出約 2.166 kW，熱泵性能系數 PF 約 7.22 W/W 左右。

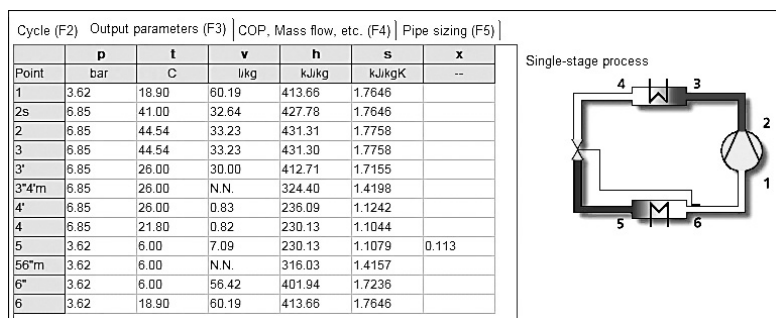


圖 11 冷卻模式

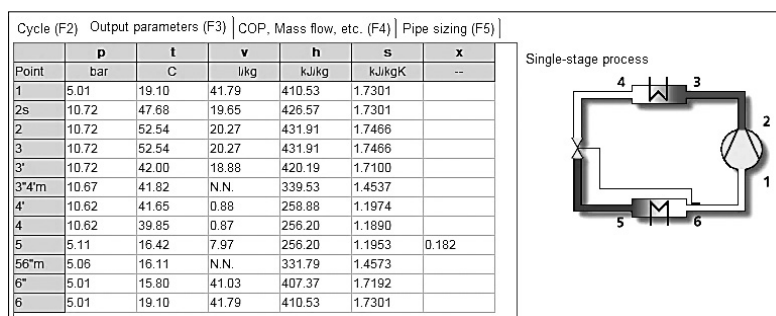


圖 12 加熱模式

肆、結論

一、模擬結論

- (一)、冷凝溫度對用電量成關係：冷凝溫度對系統用電量成正比關係，冷凝溫度低性能佳，相反的冷凝溫度高性能差。
- (二)、蒸發溫度對系統用電量關係：蒸發溫度對系統用電量成反比關係，蒸發溫低性能差，相反的蒸發溫度高時性能佳。

二、量測結論

- (一)、節能：蒸氣壓縮冷凍循環熱泵系統進行發酵控制，加熱效率提升，由量測結果顯示冷卻性能 COP 為 9.2 W/W ($COP = T_c / (T_c - T_e) = Q_c / W$)，而加熱模式之性能係數 PF 為 7.22 W/W ($PF = T_c / (T_c - T_e) = Q_h / W$)。
- (二)、儲能：冷卻時所移除的熱能，經由儲能槽保存提供下次預熱溫使用，可降低機器耗能。

伍、參考資料及其他

- 一、陳聰明，許棋欽 (2010)。冷凍空調原理 I。臺北市：弘揚圖書。
- 二、許守平 (2006)。冷凍空調原理與工程。臺北市：全華圖書。
- 三、祝裕，姜伯 (2014)。熱力 (工) 學與熱力學。臺北市：千華圖書。
- 四、王啟川 (2007)。熱交換器設計。臺北市：五南圖書。
- 五、蕭明哲 (2011)。空調設備。臺北市：全華圖書。
- 六、林志侯 (2007)。乳酸菌載體表現系統之研究現況與趨勢。農業生技產業，23，29-40。
- 七、洪連欉 (民 94 年 10 月)。益生菌酸酪乳之菌選取與應用。東海學報 24，46，59-67。
- 八、陳姿伶，蔡惠婷，徐永鑫 (2011.06)。牛奶及豆奶對乳酸菌發酵製品品質之影響。華醫學報，34，21-30。
- 九、吳士豪 (2010.06)。乳蛋白質於優格製作之影響。食品資訊，237，84-85。
- 十、陳立中 (2008.02)。香醇濃郁的液狀優酪乳 (酸奶或優格) 和其製造方法。中國畜牧，40，22-24。
- 十一、葉金桂；施宗雄 (民 90 年 10 月)。不同乳酸菌應用於羊乳酸酪乳製造之研究。東海學報，42，11-18。