

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第三名

091104

家用冰箱廢熱回收節能研究探討

學校名稱：臺北市立南港高級工業職業學校

作者： 職三 林偉傑 職三 周 昕 職三 鐘心好	指導老師： 林謙育 黃俊程
---	-----------------------------

關鍵詞：廢熱回收、節能、冷凍

摘要

由於經濟蓬勃發展，而台灣又是位於亞熱帶的島嶼型國家，四季如春的天氣，為了防止食物的腐敗，因此每一戶家庭至少都有一台電冰箱，所以家用電冰箱可說是現代家庭中不可缺少的家電用品。在現今油價飆漲，能源短缺的情況下，對於需要全年 24 小時不停運轉的冰箱，如何減少其能源消耗，是本研究想進一步探討的問題。

目前市面所銷售之家用冰箱居多採用電熱除霜方式，以節約能源而言，採用電熱除霜是一種較耗能的除霜方式，若能將壓縮機所產生之熱量回收再利用，利用原本要排除至大氣之熱量儲存於儲熱桶中，於除霜時，利用其熱來除霜，不僅能減少能源消耗，亦能達到節能減碳等目標。

壹、研究動機

結霜現象為日常生活中常見的一種現象，就冷凍食品而言，食物表面結霜是有利的，因為結晶的霜在食物的表面可以減低食物脫水現象。但對家用電冰箱則產生很大的負面影響，冷媒在蒸發器內經空氣與庫內物品熱交換來達到冷凍或冷藏的目的，當蒸發器的表面溫度低於 0°C 以下，且入口空氣溫度低於露點溫度，則空氣中的水氣就會凝結於蒸發器表面形成霜，造成熱阻。隨著霜逐漸增厚，如一層隔熱絕緣體，冷凍庫內的熱量無法帶走，反而使蒸發器的傳熱效率降低，除了浪費能源外，甚至造成冷媒無法完全蒸發，造成壓縮機損壞。就整個冷凍循環而言，結霜將增加系統額外的負荷。由此可見結霜對整個冷凍循環造成許多負面影響。以下所列為家用電冰箱電熱除霜所衍生問題。

一、電冰箱結霜的原因：

冰箱內所存放之食物帶有些許水分或冰箱庫門在開啟時，亦會有一些水氣進入，而這些水氣在冰箱內部就容易造成結霜的現象。

二、電熱除霜的缺陷：

電熱除霜是使用輻射熱來融化蒸發器上的霜，會造成除霜不完全，以及除霜 15 分鐘後，壓縮機還需額外運轉 30 分鐘帶走電熱除霜的餘熱，且大幅度的溫升容易使食物腐敗及變質。

三、降低壓縮機耗能以及延長壽命：

過多的結霜會使蒸發器散熱不良，造成冷凍效果降低，使得壓縮機需要消耗更多的能量來達到其冷凍效果，而壓縮機越是賣力的運作，結霜就越厚，冰箱也就越不冷，及電熱除霜後所殘留下的大量熱能，皆會造成相當大的電力耗損以及壓縮機的壽命減少。

貳、研究目的

- 一、研發新型除霜方式(熱能回收)。
- 二、減少除霜時所造成庫體溫升問題。
- 三、提升家用電冰箱之能源消耗比值(EF)。
- 四、降低壓縮機之外殼熱量。
- 五、減少熱排放並達到節能減碳等目標。

參、研究設備及器材

一、測量儀器

		
桌上型電腦	資料擷取器(TRM-20)	功率分析記錄器
		
風速計	夾式電流表&三用電表	電子秤

二、實驗設備



家用電冰箱

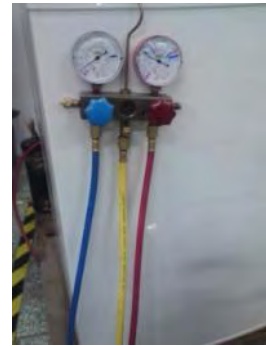
三、工具及消耗性材料



氧乙炔焊接組



R-134a 冷媒



R-134a 複合式壓力錶



氮氣流量錶



加壓錶



真空泵



配電箱



電磁閥



十字起子、一字起子



電工鉗、尖嘴鉗



斜口鉗、剝線鉗



活動扳手



2分彎管器、彈簧彎管器



捲尺



抽水馬達



保溫水管



銅管



2分、3分銅螺帽、由令



電壓轉換器(110V 轉 220V)



保溫棉



水箱精(1400C.C.)

肆、研究過程與方法

本實驗主要以家用電冰箱實際量測為主，分為實驗系統及量測系統兩大部分，實驗裝置如圖 4-1 所示。本實驗利用家用電冰箱作為能量之量測，探討改裝之熱能回收桶使用之可行性。

本研究自行製作一組儲熱桶，將壓縮機所製造之熱量儲存於儲熱桶中，將廢熱用來除電冰箱蒸發器所製作出來的霜，有效減少電冰箱耗電量及除霜時所產生溫升。

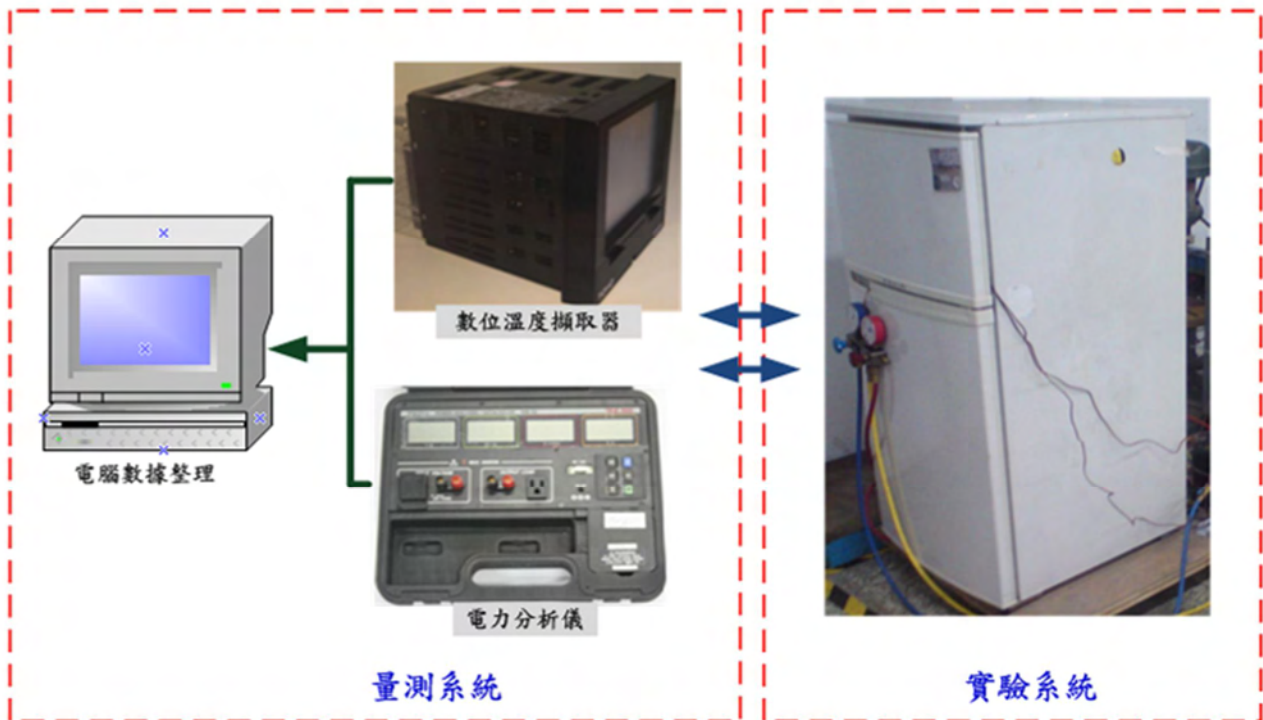


圖 4-1 實驗裝置示意圖

一、使用公式：

1. 冷凍能力

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_r \times (h_2 - h_3)$$

2. 性能係數(coefficient of performance,COP):是用來表示冷凍循環效率的一項系統特性。冷凍系統由冷凍空間所吸收的熱量對壓縮機輸入功所等價之熱量(即壓縮熱)的比值。

$$COP = COP = \left(\frac{\dot{Q}}{W_{comp}} \right)$$

3. 能源消耗比值

家用冰箱的效率是以能源因數值 (EF : Energy Factor) 來表示，其單位為公升/度/月，即為每月消耗1度電所能使用的冷凍冷藏容積大小，EF值愈高，愈為省電。

$$EF(l/kwh/月) = \left(\frac{V_r + K \times V_f}{W_u} \right)$$

其中 V_r : 冷凍藏內有效內容積， V_f : 冷凍室內有效內容積

K : 冷凍室等效內容積換算係數， W_u : 1日內消耗電量(kWh)

二、實驗系統

本實驗採用某廠牌，採用的除霜方式為電熱絲，規格如表 4.1 所示。

表 4.1 家用電冰箱規格表

冷凍庫工作溫度	冷凍(-18℃)，冷藏(+5℃)
外型尺寸	56 cm (L) × 51 cm (W) × 110 cm (H)
使用冷媒	R-134a
冷媒充填量	130 (g)
能源消耗比值	2.141

三、量測系統

(一)冷媒系統圖：

圖 4.1 為改善構造後的冷媒系統圖，綠色管路為水側的系統，是於壓縮機後段多加一個加熱器，使用壓縮機的熱來加熱不凍液，而加熱過後的不凍液，由於除霜時透過抽水馬達將不凍液送至蒸發器做除霜。藍色管路則為一般的冷凍循環系統，冷媒離開壓縮機後，經過冷凝器→毛細管→蒸發器，再回到壓縮機。

T1 壓縮機出口溫度	T8 儲熱桶水溫度
T2 壓縮機入口溫度	T9 儲熱桶出水口溫度
T3 毛細管出口溫度	T10 進蒸發器水溫
T4 毛細管入口溫度	T11 儲熱桶入水口溫度
T6 儲熱桶出口溫度	T12 壓縮機外殼溫度
T7 儲熱桶入口溫度	

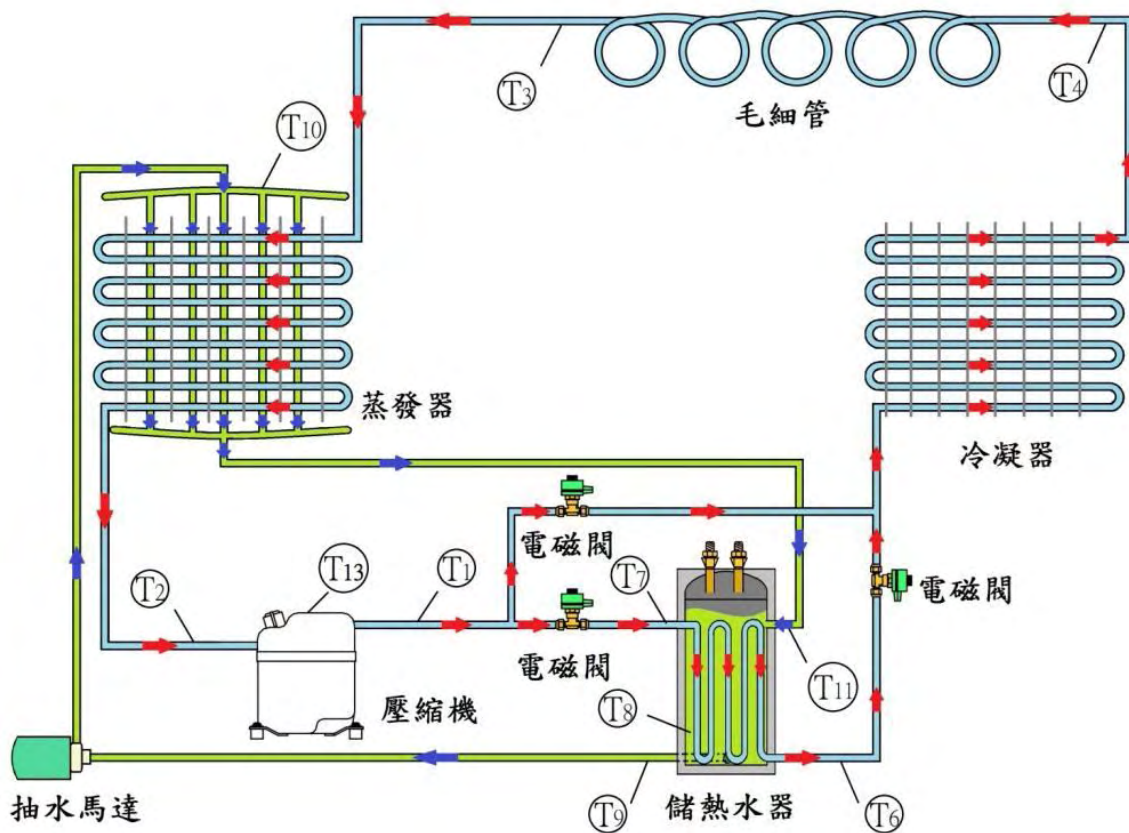


圖 4.2 冷媒系統圖

(二) 電路圖動作說明：

送電時，轉 COS 啟動，啟動後壓縮機動作，風扇延遲 5 分鐘後動作運轉六小時後，開始除霜，此時壓縮機停止運轉，抽水馬達動作，10 分鐘後除霜停止。

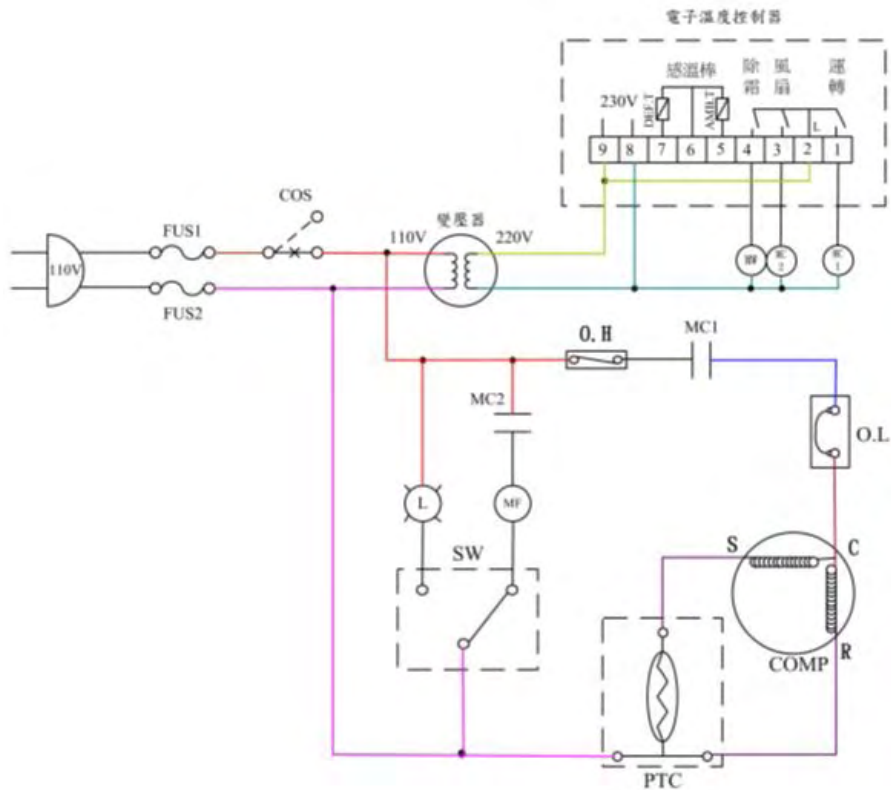


圖 4.3 箱電路圖

符號說明

FUSE	→	保險絲
COS	→	選擇開關
L	→	庫內燈
SW	→	門開關
MF	→	風扇馬達
MW	→	抽水馬達
O.H	→	恆溫器
O.L	→	過載保護器
PTC	→	固態式啟動繼電器
COMP	→	壓縮機

四、實驗架構

實驗架構分為以下二部份:

1. 進行原冰箱性能試驗及相關數值擷取，經由實驗結果確立比較基礎。
2. 冰箱經過改良後，在相同樣的條件下擷取相關數值後，再與原型機分析比對分析。

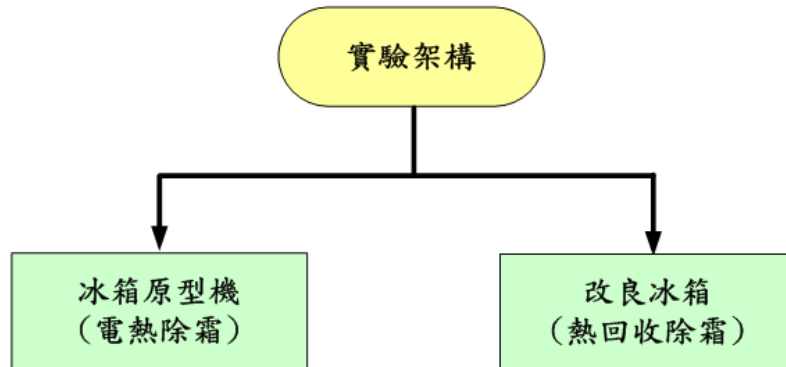


圖 4.4 驗架構圖

五、研究流程

(一)實驗流程圖

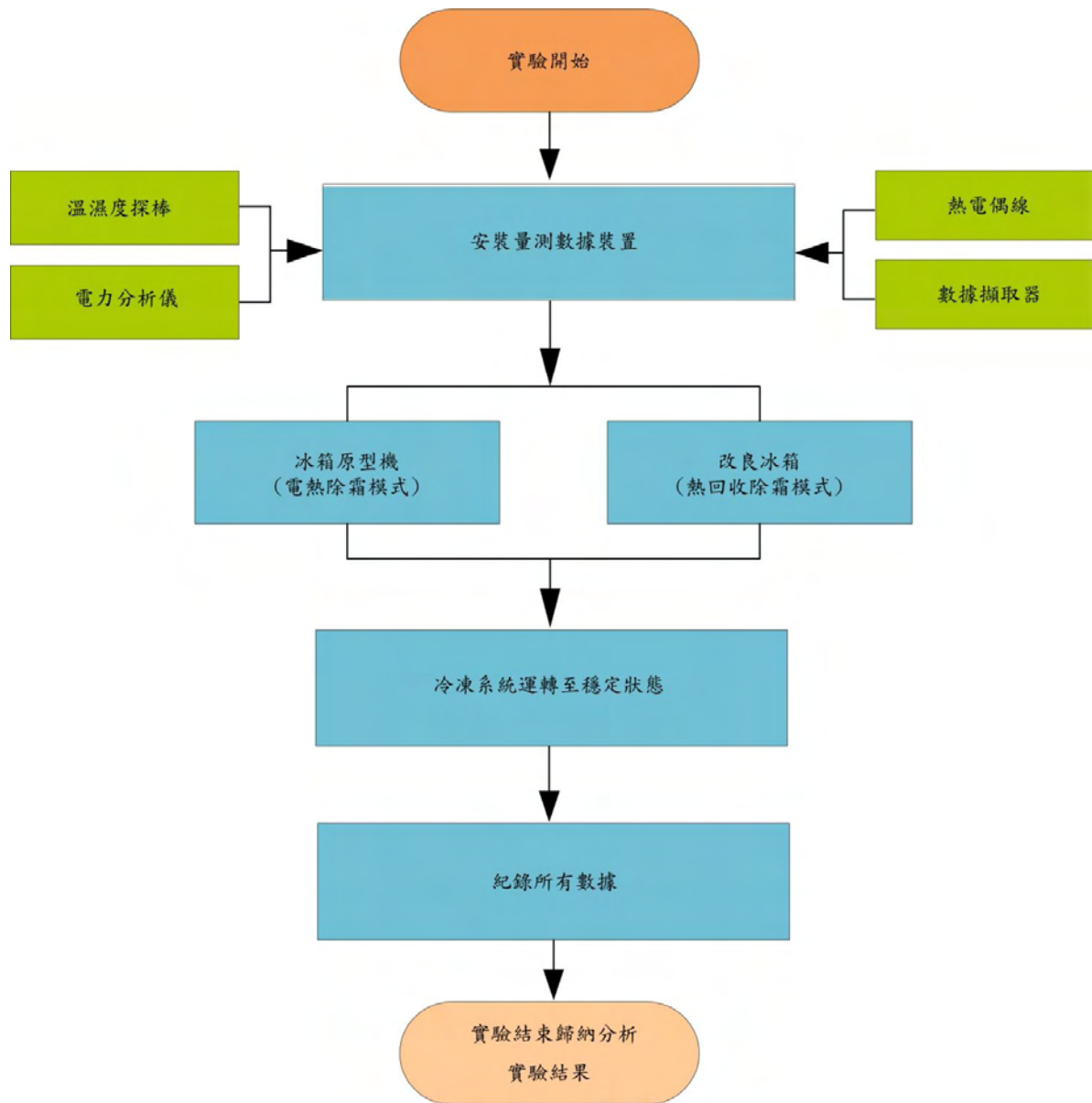


圖 4.5 實驗流程圖

(二)步驟

1.先於基板上標示尺寸，安裝壓縮機及抽水馬達做固定，鎖上 C 型鋼固定銅管。



圖 4.6 於基板量尺寸示意圖



圖 4.7 安裝壓縮機示意圖



圖 4.8 安裝抽水馬達示意圖



圖 4.9 鎖上 C 型鋼示意圖

2.銅管處理、銲接：

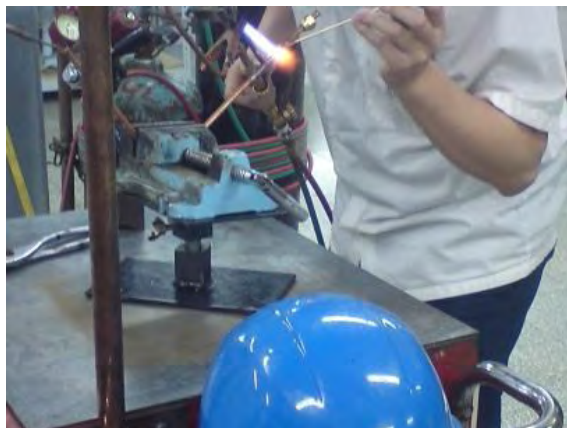


圖 4.10 接示意圖



圖 4.11 縮機管路配置示意圖



圖 4.12 銲接(壓縮機部份) 示意圖

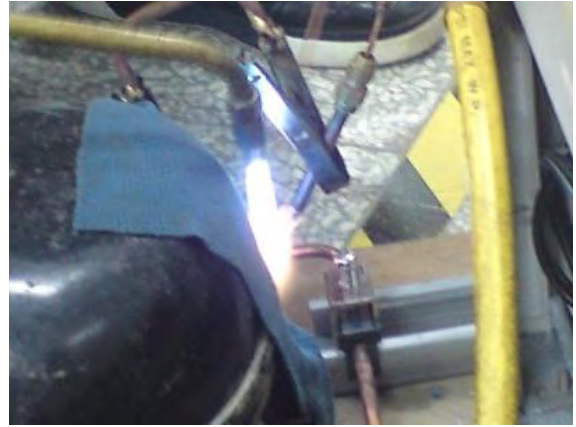


圖 4.13 銲接(壓縮機部份) 示意圖

3.製作儲熱水器：本實驗的儲熱器內部的加熱器是由冷凝盤管剪裁改造而來



圖 4.15 銲儲熱桶內的加熱盤管示意圖



圖 4.16 將儲熱桶內的銅管銲起來示意圖



圖 4.17 儲熱水桶上蓋銲接示意圖



圖 4.18
將儲熱水桶的瓶身及上蓋
使用電銲示意圖



圖 4.19
除熱桶完成品示意圖

4.蒸發器的改造：

此步驟是要將水側系統的管路放置蒸發器上，讓熱水（水側管路裡）至蒸發盤管處做熱交換，使結霜融化。



圖 4.20 將水側銅管在蒸發器上排好

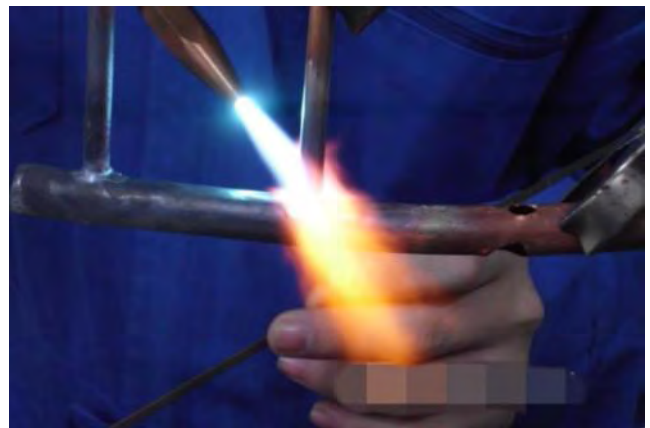


圖 4.21 將其銲接於先前彎好的銅管上



圖 4.22 封管



圖 4.23 放入蒸發盤管中

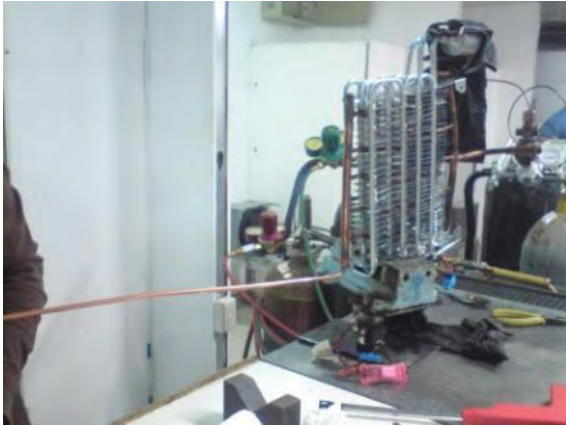


圖 4.24
將另一邊也銲接好並接上出排水的管路



圖 4.25
將改造後的蒸發器裝回冰箱，
並使用氣銲銲牢

5.加水及保溫



圖 4.26 將儲熱水桶內
加入 1400 c.c.的不凍液



圖 4.27 在外的銅管管路包上保溫棉



圖 4.28 將水管保溫，使用束線帶綁緊



圖 4.29 設備改裝完成

6. 測量數據



圖 4.30 貼熱電偶線



圖 4.31 上資料擷取器



圖 4.32 開機



圖 4.33 設定電子溫控器



圖 4.34 紀錄資料擷取器測得的溫度







圖 4.35 紀錄功率分析記錄器的測量值

(三)除霜過程

依先前測量出的結果如下表（表 4.3）數據，每 5 分鐘記錄一次，記錄每時段的庫內溫度（Ch5）、功率（P）及電流（I）。

表 4.3

時間	電熱絲除霜	熱水除霜
0 分鐘	 <p data-bbox="247 940 821 1019">冰箱剛進入除霜狀態，所以鰭片上可見厚厚的結霜</p>	 <p data-bbox="845 940 1428 1019">冰箱剛進入除霜狀態，所以鰭片上可見厚厚的結霜</p>
5 分鐘	 <p data-bbox="247 1433 821 1467">並沒有明顯的融霜現象</p>	 <p data-bbox="845 1433 1428 1467">鰭片上的霜已經有慢慢在融化</p>
1 0 分鐘	 <p data-bbox="247 1881 821 1926">卻只有下方鰭片開始融霜</p>	 <p data-bbox="845 1881 1428 1926">鰭片上的霜已經融化完畢</p>

<p>1 5 分 鐘</p>	 <p>還是只有下方鱗片融霜</p>	<p>除霜完畢</p>
<p>2 0 分 鐘</p>	 <p>此時只有下方及右方的霜融化</p>	
<p>2 5 分 鐘</p>	 <p>融霜範圍延伸至四周的鱗片</p>	
<p>3 0 分 鐘</p>	 <p>大部分的霜已融化，剩下中間部份的霜尚未融化</p>	

(四) 電熱絲除霜與熱水除霜之壓縮機外殼溫度比較關係

如圖 4.36 因壓縮機外殼熱量若過多，會造成壓縮機的溫度逐漸升高，會使壓縮機的壽命減少，而加裝儲熱桶後，使得部分熱量已被儲熱桶中的水箱精吸收，所以最後回到壓縮機時所攜帶的熱量也較少，使得壓縮機外殼的熱量減少。

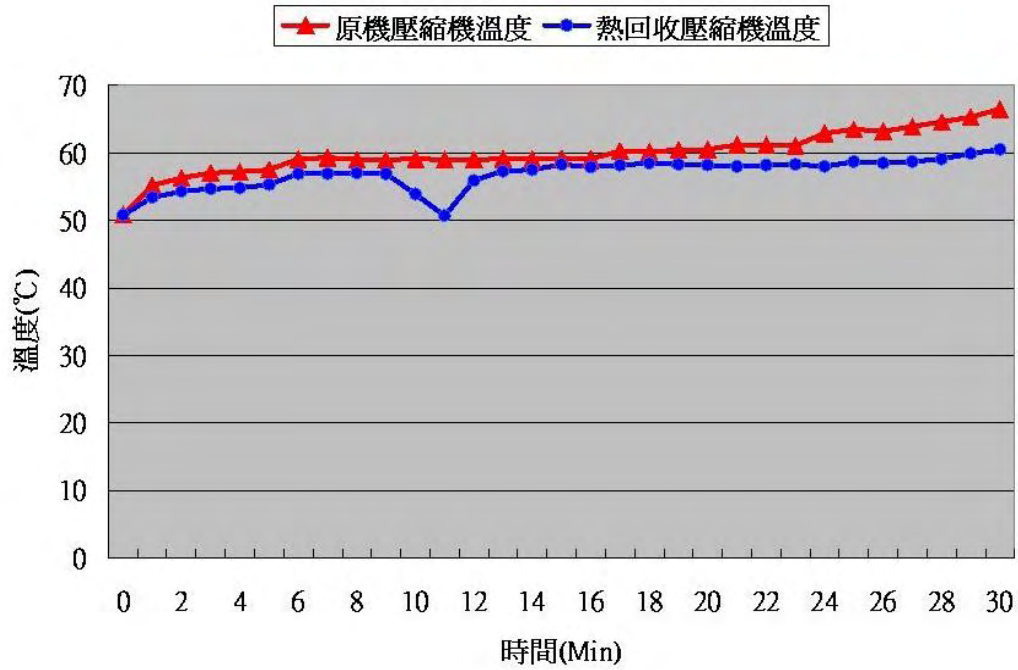


圖 4.36 除霜時壓縮機外殼溫度關係圖

伍、研究結果

如表（表 5.1）所示，原本電熱除霜使用輻射熱除霜所需時間約要 30 分鐘，但除霜效果並不佳，30 分鐘後能有殘留下來的霜，而熱水除霜只需短短 10 分鐘的時間，就可以把蒸發器鰭片上的霜除得很乾淨，由此可發現熱水除霜時間比電熱絲除霜時間更短，除霜效果更好；又因為除霜時間大幅的減少，所以除霜時的耗能也跟著大幅降低，除霜結束後留下的熱能也相對減少。

表 5.1 電熱絲及熱水除霜消耗功比較

	電熱除霜	熱水除霜
除霜時間	30 分鐘	10 分鐘
除霜總功	70.598 W	5.066 W
除霜結束後冷凍庫內溫度	Ch5 =8.5 °C	Ch5 = -11.7 °C
能源消耗比值（EF）	2.141	2.194

本實驗經由長時間運轉分別測試電熱除霜、熱水除霜進行相關實驗數據分析後，可得到表 5.2 冷凍系統相關性能差異分析表。

表 5.2 電熱除霜及熱水除霜長時間試驗之各點平均數據與計算值一覽表

測試項目 \ 實驗項目	電熱除霜	熱水除霜
環境溫度（°C）	27	27
冷凍庫平均溫度（°C）	-18	-19
冷凍庫蒸發器盤管表面溫度（°C）	-21	-21
壓縮機外殼平均溫度（°C）	66	63
壓縮機入口平均溫度（°C）	24	22
壓縮機出口平均溫度（°C）	68	69
儲熱桶(冷媒管)出入口溫差（°C）	-	7
儲熱桶(不凍液)出入口溫差（°C）	-	3
長時間運轉耗電量(以 24 小時計) (以電熱絲除霜作為基礎)	8.638	8.315
耗電電度比（以電熱除霜作為基礎）	1	0.96
二氧化碳排放量（kg）	0.043	0.03

如表 5.2 的數據統計，統整出下列四張圖表：

1. 除霜時庫內溫度的比較：

如圖 5.1 所示，冰箱在除霜時，原機除霜的冰箱庫內溫度是明顯大幅度的上升；但相對的，熱回收除霜造成的溫升幅度較小，所以這樣可以減少冰箱再次製冷時的負擔。

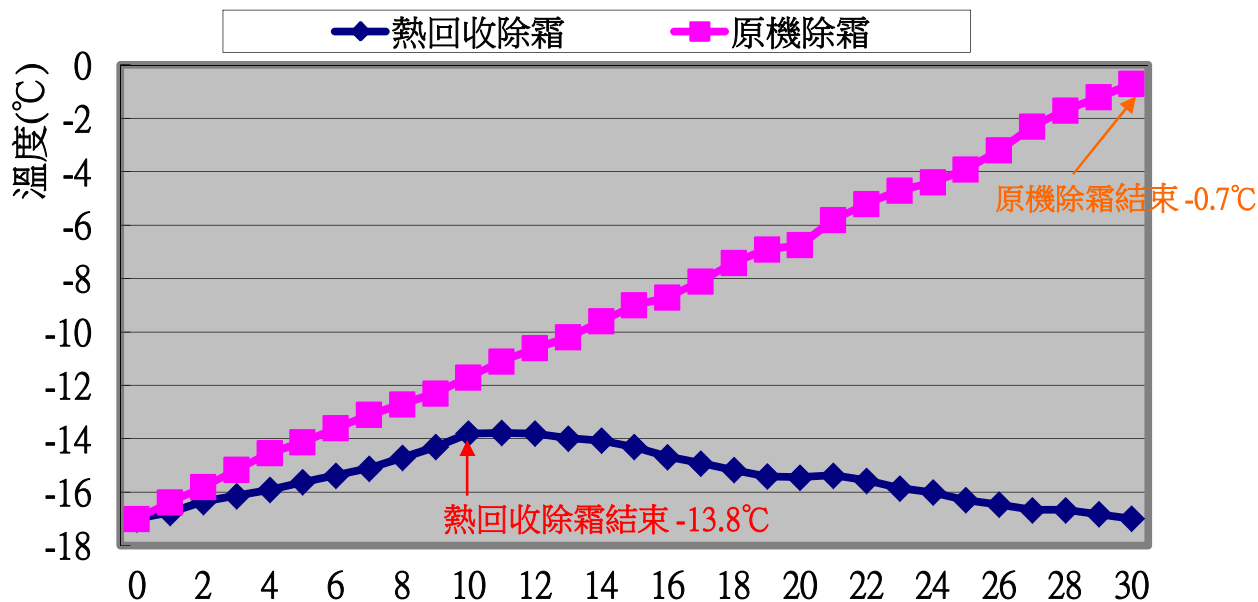


圖5.1 除霜時庫內溫度之比較

2. 除熱桶冷媒出入口溫度變化：

如圖 5.2 可見，當冰箱在運轉時，期出入口溫差相近，所以除熱桶可以穩定的吸收熱源。

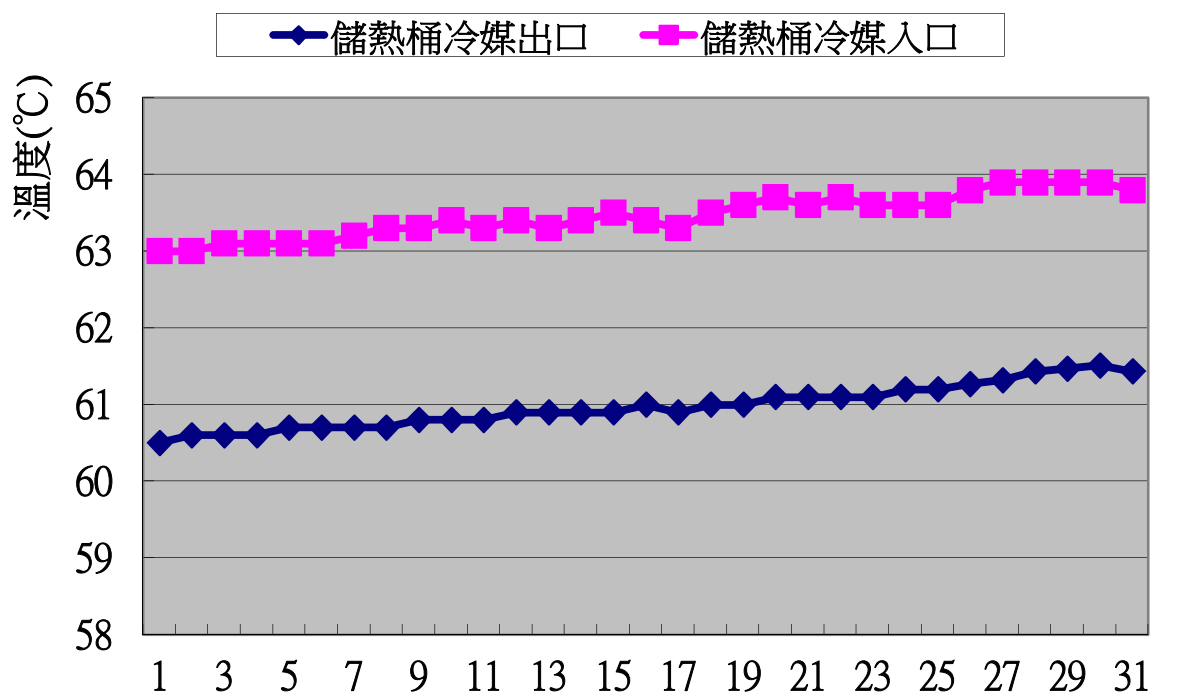


圖5.2 儲熱桶冷媒出入口溫度變化

3. 除霜時儲熱桶出入水溫度變化與時間關係：

如圖 5.3 所示，除熱圖在除霜時的這段時間，溫度會有明顯下降，此時表示除熱桶內的熱水正在蒸發器盤管上做熱交換。

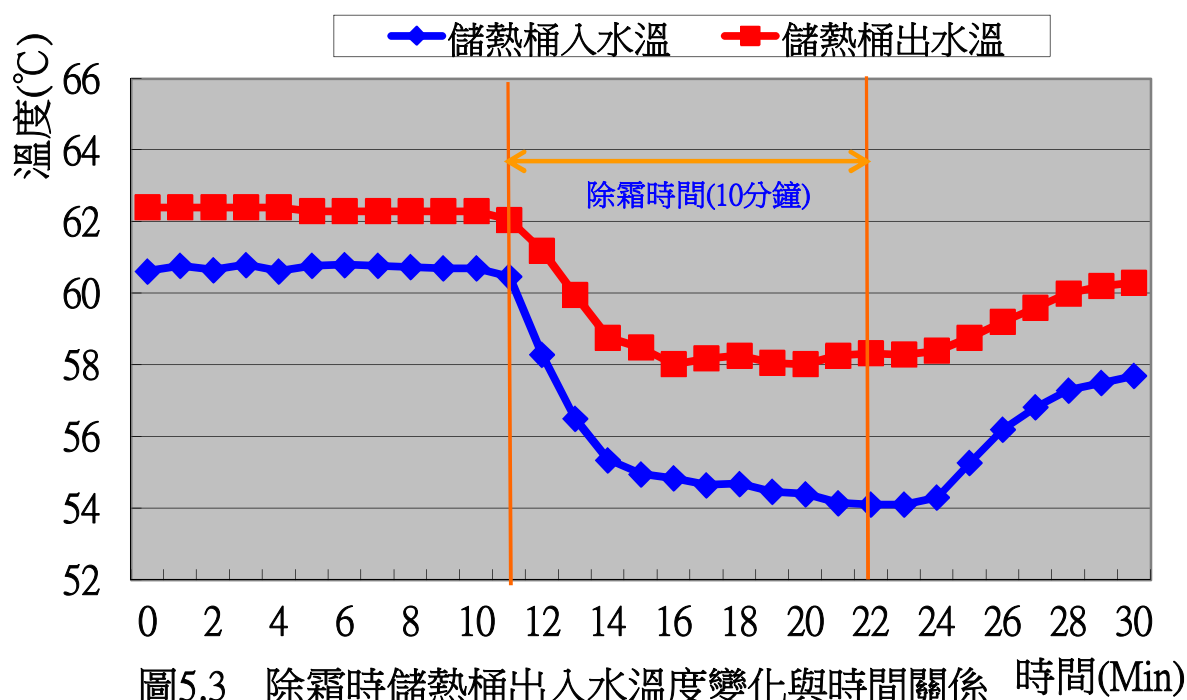


圖5.3 除霜時儲熱桶出入水溫度變化與時間關係 時間(Min)

4. 運轉時壓縮機外殼溫度：

如圖 5.4 所示，因為熱回收可以使壓縮機出口的溫度下降，所以可以間接的降低壓縮機外殼的溫度。

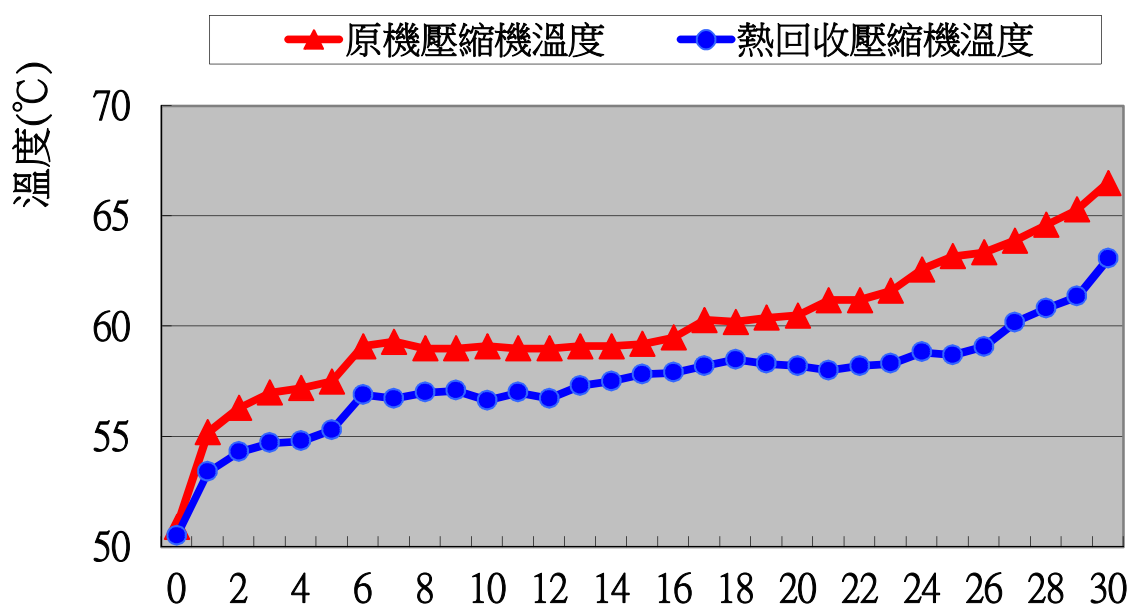


圖5.4 運轉時壓縮機外殼溫度 時間(Min)

陸、討論

- 一、 熱水除霜是將電冰箱變為兩個循環系統，一為冷媒循環系統，另一為熱水循環系統而其除霜原理，主要是利用壓縮機出口端吐出的高壓高溫氣態冷媒(蒸氣壓縮冷凍循環)透過銅管傳遞熱能，在冷媒管路上外接一個水箱使水箱中的水溫升高。待除霜時再運用抽水馬達將加熱過後的熱水送至蒸發器除霜(熱水循環)。
- 二、 熱水除霜是將壓縮機的熱能做回收，以水當作儲存熱能的媒介，又因為水比熱低容易結冰，所以加入一般汽車用的水箱精（不凍液），來防止水的結冰。
- 三、 由表 6.1 為成本比較，假設電冰箱每天至少除霜一次，熱水除霜可以節省 56% 的能源，根據台電所公佈的電費價格，因夏、冬兩季價格不同，又分為尖峰時期及離峰時期的價格差異，所以我們取平均值約 2.73 元來做電費的計算，單計算除霜，一個月就已經較電熱除霜節省 5.37 元。又因電力公司不同的發電方式，所排放的 CO₂ 值也不同，若取其平均值，大約一度電所造成的 CO₂ 排放量為 0.6kg，經過計算後，本實驗可比電熱除霜減少 6.186kg 的 CO₂ 排放量，假設全台灣有 300 萬台冰箱，那麼一年下來就可以省下 1 億 8 千萬的電費。

表 6.1 成本比較(一個月)

項目 \ 類別	電熱除霜	熱水除霜	差額
平均除霜耗能(KW-hr)	259.14	249.45	10.31
電費(一度電 2.73 元)	5.79	0.42	5.37
CO ₂ 排放量(一度電=0.6kg)	155.484	149.67	6.186

四、問題 Q & A

Q1：抽水馬達使用電壓 220V，而電冰箱是 110V，因電壓不足無法啟動，要如何使抽水馬達動作？

A1：因為電壓不足，所以在抽水馬達前加一個 110V 轉 220V 電壓轉換器。

Q2：冷凍庫內溫度很低，造成原本用來除霜的水結冰，要如何改善此問題？

A2：加入一般汽車用的水箱精（不凍液），來防止水的結冰，但因為水箱精不可稀釋，所以直接用水箱精取代水。

Q3：汽車用的水箱精內含乙二醇，不可以稀釋，因濃度過低會對人體造成不良影響，那使用於保存食品用的電冰箱，是會危害人體健康？

A3：因本研究的裝置主要是分為兩大系統，類似冰水主機的原理，所以兩系統是不會互相影響的，又於製作過程有經過加壓測試，確定沒有漏洞，所以不會影響道應保存食品的品質。

Q4：加熱桶溫度的損失，要如何使水溫達到預期的溫度？

A4：將加熱桶外用保溫板包覆，製作隔熱層，使溫度不易散失。

Q5：熱水除霜及電熱除霜的差別？

A5：電熱絲使用輻射熱，而熱水除霜是使用熱回收能使霜融化。

Q6：除霜時，由於我們是使用一般 2 門的家用電冰箱，而其使用的是除霜計時時間 30min 的除霜計時器(DT)，則除霜完畢時，OH 跳脫，但計時器的時間尚未達預設值，此時等待 DT 時間道的時候，此冰箱同未送電，要如何改善此缺失？

A6：將除霜開關，改為電子溫控器，並改善電路圖上的缺陷。

柒、結論

本研究針對家用電冰箱除霜節能裝置研究探討，本研究自行製作「儲熱桶」進行實驗數據分析探討，尋求最佳冷凍循環及除霜狀態。歸結四點結論如下：

- 一、 熱水除霜是利用壓縮機產生的廢熱加熱不凍液，再使用加熱後的不凍液與蒸發器做熱交換，以此達成除霜的目的。
- 二、 熱水除霜後在冷凍庫內不會殘留多餘的熱量，銅管不用重新降溫，能有效減少庫內溫升，同時亦能降低壓縮機運轉時數，使冷凍庫內溫度下降的時間也相對減少，可以減少不必要的耗能及食物保存的品質。
- 三、 能源消耗比值（EF）越高，表示消耗功率越低，越能達到節能的目的，熱水除霜因每個月的消耗功率降低，所以其能源消耗比值（EF）相對升高。
- 四、 壓縮機出口溫度降低，進冷凝器溫度降低，使得回壓縮機的溫度降低，負擔及耗能減少，相對的會影響到壓縮機外殼的溫度及壽命，所以壓縮機外殼所散發的熱量越少愈好。
- 五、 由於此實驗是回收壓縮機所產生的廢熱，因此可以降低壓縮機的溫度及提高壓縮機的壽命，且在冷凍效果不變的情況下，亦可提高其冷凍能力及省下不必要的耗能。

捌、參考資料及其他

- 一、行政院環保署大氣層保護網 <http://www.saveoursky.org.tw/>
- 二、中時健康網 <http://health.chinatimes.com>.
- 三、冷凍空調原理 I II 陳聰明 編著
- 四、氣冷式冷凍冷藏系統 一丞冷凍工業
- 五、冷凍空調實習(二) 連錦杰、蕭明哲 編著
- 六、冷凍空調實務 李居芳 編著

【評語】 091104

1. 本作品利用回收壓縮機所產生的廢熱，儲存於儲熱桶，並於除霜時利用廢熱除霜。經實作改良現有電冰箱實際測試，確可減少能源消耗，降低 CO₂ 排放。
2. 建議未來可考慮增加控制裝置，偵測除霜時機，增加熱水管與冷媒管間接觸面積，並測試儲熱桶容量及熱水流率，以獲得最佳操作條件。