

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生活與應用科學科(一)

探究精神獎

032805

廢熱不廢，節能 30% 靠你了!

學校名稱：新北市立溪崑國民中學

作者： 國一 李芷樂 國三 李芷蘋	指導老師： 高國慶
---------------------------------	------------------

關鍵詞：熱交換、廢熱、節約能源

廢熱不廢，節能 30%靠你了!

摘要

本實驗探討如何於居家環境中進行簡易廢熱利用，以達到節能目的—透過熱水降溫時所釋放出來廢熱，提高冷水溫度，並嘗試熱電效應將廢熱轉換成電能利用。

為了達到冷水溫度上升最多且所需時間最少的效果，我們嘗試許多實驗，最終發現利用保麗龍箱減少熱能散失，且使用少量水做為傳熱介質，再加上抽水馬達促進介質的循環效果最好，最高可在 30 分鐘內節省超過 30%的能源。其他嘗試方法大多也能達到至少 10%節能效果。若利用熱電效應回收廢熱，受限於熱電晶片現今技術，其回收效率不甚理想，最佳回收率僅約 0.2%。

經以上實驗結果可知，在準備烹煮下一餐前，提早約 30 至 90 分鐘進行簡單廢熱利用，即有良好節能減碳效果，為環境盡一份心力。

壹、前言

一、研究動機

2021 年的 5 月，當時的我們還是國一、小五的學生，因為新冠肺炎疫情嚴峻，學校改為線上教學。每天一到中午，暫時結束了上半年線上課程的我們卻不得閒，立刻要和爸爸一起煮午餐。夏天飲水量大，要經常燒開水放涼；但中午只有一個半小時的休息時間，必須趕快把食材加熱。在手忙腳亂的過程中，我們發現每天一直在重複兩個矛盾的動作：「把剛燒好的熱水放在室溫中降溫」和「把剛從冰箱取出的冰冷食材拿去瓦斯爐加熱」。我們思考著：既然熱水需要釋放熱才能降溫，而冰冷的食材則需要加熱才能食用，若能利用熱水降溫過程中釋放的熱幫助冰冷食材回溫，不就能夠節省等待熱水降溫的時間，也可以減少加熱冰冷食物所需的瓦斯燃燒，達到節能減碳的理想？這樣的想法一直在我們的腦海中盤旋著。隔年，恰好我們分別在國二理化與小六自然課中，都學到了熱的相關知識，讓我們又再度思考，如何透過熱的傳導、對流、輻射這些基本原理，設計出一般家庭中就能方便使用的熱交換裝置，達到省錢又環保的效果。

二、研究目的

透過熱傳播的三種方式：傳導、對流、輻射，設計出可以將剛煮沸熱水與室溫中待加熱冷水進行熱交換的裝置，並且期望達到下列成效：

- (一)減少熱水降溫所需的時間，並有效利用熱水降溫時釋放的廢熱。
- (二)利用熱水降溫所釋放的廢熱，有效率提高冷水溫度，節省後續冷水加熱所需的能量。
- (三)所設計的裝置需在一般的家庭廚房中能方便操作。

三、文獻回顧

關於廢熱回收大多是應用在工業上，因為工業的廢熱量大且溫差大，回收的價值高(吳世國，2019)。對於一般家庭所製造出來的廢熱回收再利用的資料非常少。國二在介紹中國地理時，老師曾提到在中國北方家庭中有「炕」，是將廚房燃燒產生熱氣引導到床下，使床變溫暖的設計，可以說是家庭廢熱再利用的一個實例。瑞典的一家公司開發出為餐廳廚房產生廢氣回收熱能，但不適用於一般家庭的廚房中(自由時報，2018)。廢熱經由熱電材料發電有初期成本高、需要大溫差(600°C~700°C時才有 10%的轉換效率)等缺點(黃振東、徐振庭，2013；吳世國，2019；郭雅欣，2021)，同樣不適用於一般家庭中。近年有開發出「低溫差」的溫差電池(linjunJR，2020)，但也需要 50°C 的溫差，且效率離實用尚有距離。在第 61 屆全國科展高中組工程學(一)科中有一篇作品提到利用瓦斯爐周圍散失的熱來加熱水，這也是一個廚

房廢熱回收的實際例子 (薛宇宏、蘇韋愷, 2021)。在全國科展作品中, 還有一些熱電相關的探討的作品, 不過多為模型, 缺少實用性。和我們原先的構想仍有差距, 我們想要達到的目標是找尋最有效的方式回收熱水降溫過程中散失的熱, 希望可以做出一個適用於一般家庭的熱水廢熱回收裝置。

四、實驗中使用到的名詞定義、代號與圖例符號說明

(一)名詞定義

名詞	定義
冷水鍋	直接從室溫中水龍頭流出的水, 盛裝 2000 公克於直徑 16cm 的不鏽鋼鍋中
熱水鍋	於直徑 16cm 的不鏽鋼鍋中, 盛裝 2000 公克的水, 置於瓦斯爐加熱到沸騰, 且鍋中的三個溫度感測器至少有 2 個讀數超過 100°C
介質水	部分實驗中, 在冷、熱水鍋外加水, 可以用來作為熱的傳播介質
外鍋水	部分實驗中, 介質水是裝在 18cm 的不鏽鋼鍋與 16cm 的冷水鍋或熱水鍋之間, 稱為外鍋水
熱量散失	在冷水鍋到達 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 時, 熱水鍋釋放的熱量與冷水鍋吸收的熱量差

(二)代號說明

名詞	代號	說明
冷水鍋初溫	T_{C0}	冷水鍋的水, 熱交換前三支溫度感測器讀數的平均值
熱水鍋初溫	T_{H0}	以 100 °C 計算
冷水鍋最大溫差	$\Delta T_{C_{MAX}}$	熱交換後, 冷水鍋三支溫度感測器平均的最大值減去 T_{C0}
冷水鍋達最大溫差所需時間	$t_{C_{MAX}}$	熱交換後, 溫差到達 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 所需的時間
冷水鍋水溫上升 90% 所需時間	$t_{C90\%}$	熱交換後, 溫差到達『 $\Delta T_{C_{MAX}} \times 90\%$ 』所需的時間
冷水鍋水溫上升 80% 所需時間	$t_{C80\%}$	熱交換後, 溫差到達『 $\Delta T_{C_{MAX}} \times 80\%$ 』所需的時間
熱水鍋水溫下降到 50°C 所需時間	$t_{H50^{\circ}C}$	熱交換後, 熱水鍋水溫由 100°C 下降到 50°C 所需的時間

(三)圖片代號或圖例符號說明

圖片代號	代表物品	圖例符號	代表意思	圖例符號	代表意思	圖例符號	代表意思
H	熱水鍋	H_{top}	熱水鍋的表層溫度	C_{top}	冷水鍋的表層溫度	hot	熱水鍋的外鍋水溫度
C	冷水鍋	H_{mid}	熱水鍋的中層溫度	C_{mid}	冷水鍋的中層溫度	cold	冷水鍋的外鍋水溫度
PC	負責處理數據記錄與分析的電腦	H_{bot}	熱水鍋的底層溫度	C_{bot}	冷水鍋的底層溫度		

貳、研究設備及器材

一、實驗裝置硬體器材

		
<p>溫度感測器 DS18B20</p> <ul style="list-style-type: none"> ●測量溫度($-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}$) ●精確度： $-10^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}:0.5^{\circ}\text{C}$ $-55^{\circ}\text{C} \sim +125^{\circ}\text{C}:2^{\circ}\text{C}$ 	<p>溢流器</p> <ul style="list-style-type: none"> ●利用飲料瓶改造，並連接矽膠管，可將外鍋水引導到特定深度 	<p>溫度感測器固定架</p> <ul style="list-style-type: none"> ●利用鋁條改造，以縫衣線固定溫度感測器於其上 ●利用塑鋼土垂直固定
		
<p>抽水馬達</p> <ul style="list-style-type: none"> ●標示：電壓 12V；功率 3W ●提供外鍋水的循環動力 ●實際供電 6.7V，電流 90mA 	<p>保麗龍箱</p> <ul style="list-style-type: none"> ●尺寸 48.0*41.0*24.5 (長*寬*高) ●提供密閉環境，減少熱量散失 	<p>不鏽鋼網架</p> <ul style="list-style-type: none"> ●將冷、熱水鍋架高
		
<ul style="list-style-type: none"> ●16cm*16cm 深鍋含鍋蓋x2 ●盛裝實驗用的冷水及熱水 	<ul style="list-style-type: none"> ●18cm*5.7cm 淺鍋x1 ●盛裝冷水鍋的外鍋水 	<ul style="list-style-type: none"> ●18cm*13.6cm 深鍋x1 ●盛裝熱水鍋的外鍋水
		
<p>致冷晶片(TES1-3105SR 晶片) 與熱電實驗裝置相接，通電運作促使冷水降溫</p>	<p>升壓模組 將熱電晶片輸出電壓提升到 5V</p>	<p>USB 小風扇 與熱電實驗裝置相接，進行相關實驗</p>
		
<p>熱電實驗裝置 4 組熱電晶片(SP1848+散熱片，固在 16cm*16cm 深鍋外側壁上</p>	<p>致冷實驗裝置 1 組致冷晶片+散熱片，固定在鐵製容器上，並包覆保溫材料</p>	<p>電表*2 實驗過程中記錄電流，電壓</p>

二、實驗數據記錄與分析軟、硬體

			
<p>ArduinoUNO 板</p> <p>● 記錄溫度、時間數據</p>	<p>Arduino IDE</p> <p>● 撰寫記錄程式</p>	<p>PLX-DAQ release 2.0</p> <p>● 由 Parallax, Inc 發行，可將 UNO 板偵測數據直接記錄到 EXCEL</p>	<p>Excel</p> <p>● 記錄及分析數據</p>

參、研究過程或方法

一、撰寫記錄溫度的程式

利用 ARDUINO IDE 撰寫記錄程式。

二、製作實驗所須裝置

(一)溫度感測器固定架

初步測試實驗發現水溫會有分層的問題，所以我們要製作一個溫度感測器的固定架，可固定三支溫度感測器，分別測量上、中、下層水溫。實驗中冷水鍋與熱水鍋的水溫，皆各由 3 支溫度感測器同時測量記錄。

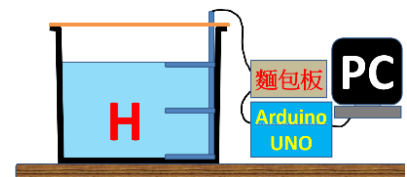
(二)溢流器

為了讓介質水能順利循環，部分實驗需要連接冷、熱水外鍋的介質水，由於沒有現成的物品，我們必須自行製作。

三、進行實驗

(一)測量背景數據

目的：了解在熱水從沸騰(100°C)降溫到 50°C所需的時間及冷水從室溫上升到 100°C所需的瓦斯量，供後續實驗比較經熱交換後所節省的能源及時間。

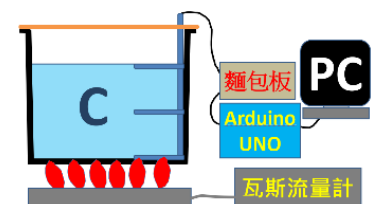


1.熱水鍋降溫時，溫度與時間的關係

將熱水加熱到 100°C後，直接放置於實驗桌上，使其在室溫中降溫，如右圖所示，利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中。

2.冷水鍋加熱時，溫度變化、消耗瓦斯量與時間的關係

將冷水從室溫加熱到 100°C，利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中；同時人工記錄瓦斯流量計數值，實驗後彙整、分析。

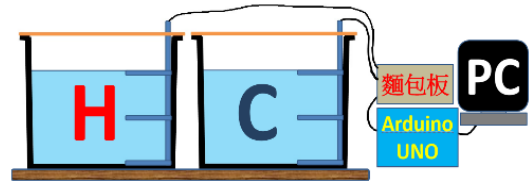


(二)在開放空間中進行熱交換

目的：最初的構想，兩鍋接觸或靠近可利用傳導或輻射的方式，達成熱交換的效果

1.冷水鍋與熱水鍋左右擺放

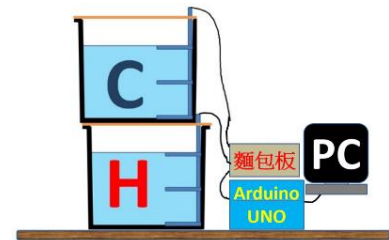
- (1)將冷水鍋與熱水鍋左右擺放，調整位置使兩者盡量靠近(因為有鍋簷，故兩鍋僅鍋簷略為接觸外，鍋側面無接觸)，放置於實驗桌上，如右圖所示



- (2)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中。

2.冷水鍋與熱水鍋上下擺放

- (1)將冷水鍋直接疊放於熱水鍋上，調整位置使兩者重疊面積最大(因有溫度感應器的電線，故無法完全重疊)，放置於實驗桌上，如右圖所示



- (2)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中

(三)在保麗龍箱中進行熱交換，以空氣為介質

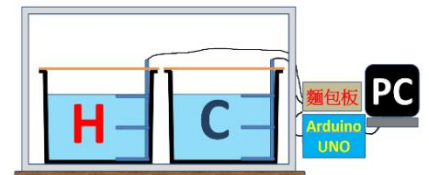
目的：經由前面實驗，發現需要有隔熱的設備，減少熱量散失，因此加上保麗龍箱

1.冷水鍋與熱水鍋左右擺放

- (1)將冷水鍋與熱水鍋左右擺放，調整位置使兩者盡量靠近，並蓋上保麗龍箱蓋，如右圖所示



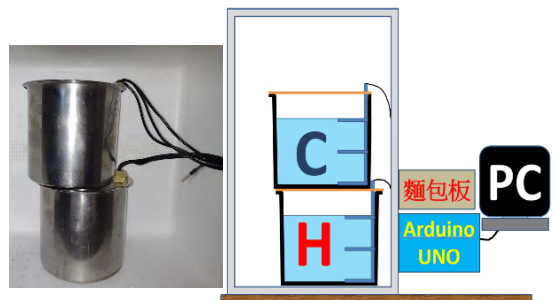
- (2)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中



2.冷水鍋與熱水鍋上下擺放

- (1)將冷水鍋直接疊放於熱水鍋上，調整位置使兩者重疊面積最大(但因有溫度感應器的電線，故無法完全重疊)，並蓋上保麗龍箱蓋，如右圖所示

- (2)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中



(四)在保麗龍箱中進行熱交換，以大量的水為介質

目的：經由前面實驗，發現以空氣為介質熱交換效率不佳，嘗試以水為介質傳播熱，在保麗龍箱中加入水，改變冷、熱水鍋浸泡的深度

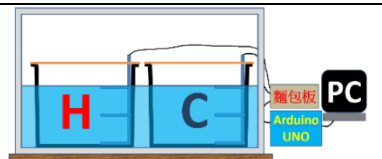
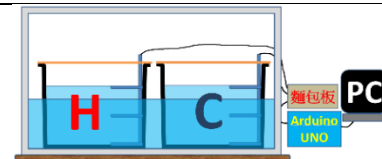
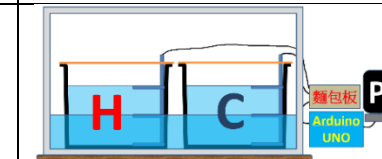
1.冷水鍋與熱水鍋左右擺放，保麗龍箱中加入水，使冷、熱水鍋浸泡深度均為 9.5cm(與鍋內液面等高)，所加入的水量共 13L。

- (1)將冷水鍋與熱水鍋左右擺放，調整位置使兩者盡量靠近，並蓋上保麗龍箱蓋。

(2)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中。

2.重複上述 1.實驗，改變浸泡深度為 7.2cm，所加入的水量共 8L。

3.重複上述 1.實驗，改變浸泡深度為 5.5cm，所加入的水量共 6L。

實驗(四)保麗龍箱內的裝置示意圖		
實驗(四)-1 水量 13L 浸泡深度 9.5cm	實驗(四)-2 水量 8L 浸泡深度 7.2cm	實驗(四)-3 水量 6L 浸泡深度 5.5cm
		

(五)在保麗龍箱中進行熱交換，以少量的水為介質

目的：減少介質水量，並能維持熱交換的效率，設計了以下實驗。

1.使用保麗龍塊挖洞減少介質水量並能維持水位高度

(1)將保麗龍塊(長寬高：36*43*12cm)挖 2 個相連的圓洞(直徑均 18cm)，以防水膠固定在保麗龍箱內，如右圖所示。

(2)經計算加入 533ml 的水(放入冷、熱水鍋後水位高度會上升到 10cm)。

(3)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中。



2.使用 18cm 不鏽鋼深鍋、淺鍋各一(分別浸泡熱水鍋和冷水鍋)，盛裝介質水，並以抽水馬達和溢流器連接。

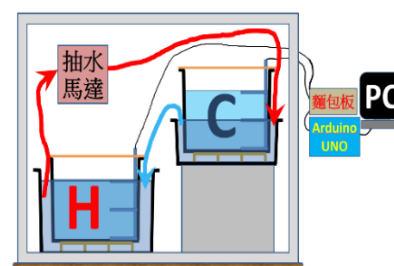
(1)抽取 18cm 深鍋(熱水鍋之外鍋)的表層水送到 18cm 淺鍋(冷水鍋之外鍋)底層，18cm 淺鍋表層水溢流到 18cm 深鍋「表層」，實驗裝置如右圖所示。



(2)開啟抽水馬達，調整介質水量到可以循環，且熱水鍋的外鍋水位高於熱水鍋內側的水位。

(3)利用 ArduinoUNO 及 PLX-DAQ 程式，每分鐘自動記錄兩鍋上、中、下層溫度一次於 Excel 試算表中

(4)實驗結束後，小心移除裝置，測量介質水的量。



3.在溢流器出水口連接矽膠管，使 18cm 淺鍋(冷水鍋之外鍋)的表層水溢流到 18cm 深鍋(熱水鍋之外鍋)的「底層」，重複步驟(2)~(4)。

4. 本實驗主要是在秋、冬季節進行(冷水初溫大多在 15°C~20°C)。我們好奇到了夏天，冷水初溫大幅升高(約 25°C上下)，實驗五-2 與實驗五-3 熱交換的狀況如何？因此到了五月時我們重複了這 2 個實驗各 3 次，分別以『實驗五-2 夏』、『實驗五-3 夏』為代號。

(六)僅有熱水鍋時，廢熱的應用(本部分亦為五月份進行)

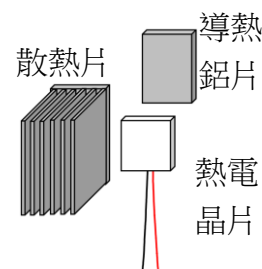
目的：若僅有剛煮沸等待降溫的熱水，但無冷水需要加熱時，廢熱利用的初步嘗試。

想法：熱能若不以熱的形式移轉、利用，勢必得轉變成其他可以利用或儲存的形式。

目前最普遍的就是利用 Seebeck effect 發展的熱電材料－利用溫差來發電的模式。本實驗採用溫差發電晶片型號為 SP1848(以下稱為「熱電晶片」)。相關原理與應用在前人科展已經有許多探討，在此不再贅述。(聶倬安、吳紹齊、孫鍾維、陳禹婷，2017；王育涵、王子洋，2015；陳柏驊，2015；洪愷駿、王啟白，2017)

1.設計使熱水鍋壁的熱可快速傳導至熱電晶片的裝置

(1)從鍋壁到散熱片的設計如右圖。利用鋁質散熱鰭片將熱傳導到空氣中散失，以維持熱電晶片兩端溫差。由前人資料得知，熱電晶片能源轉換效率不佳，故本實驗同時使用 4 個熱電晶片串聯，以期增加裝置的實用性。



(2)由於裝置移動不易，本部分實驗改成將 2000 毫升的水加熱到沸騰後，再倒入熱水鍋進行實驗。經實測實驗開始(倒入沸騰熱水到熱水鍋)，熱水鍋初溫約 95°C 左右。且本部份實驗因各種狀況停止的末溫不同，所以有些資料僅分析最初 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 的部分。



2.測量四個熱電晶片串聯後的開路電壓，同時每分鐘自動記錄熱水鍋溫度於 Excel 試算表中。

3.此裝置可否帶動風扇轉動？

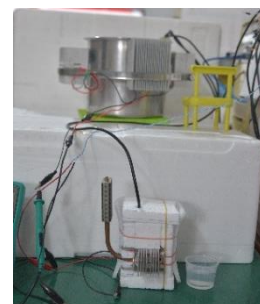
將熱電晶片輸出端加裝 1~3 升壓模組升壓至 5V 後，分別連接 1~3 個 USB 小風扇，朝向環境或散熱片送風，每分鐘自動記錄熱水鍋溫度於 Excel 試算表中，同時也記錄其中 1 個小風扇的工作電壓與工作電流供後續分析。

4.可否製造冷水？

※想法：Seebeck Effect 是在熱電材料兩端給予溫差而產生電壓，但也可以反過來給予熱電材料電壓，造成晶片兩面產生溫差，稱為 Peltier Effect。本實驗使用型號為 TES1-3105SR 晶片(以下稱為「致冷晶片」)。

(1)將致冷晶片兩面各夾上 1 個 DS18B20 溫度感測器，利用熱電晶片供電，每分鐘自動記錄熱水鍋溫度於 Excel 試算表中，同時也記錄致冷晶片工作電壓與工作電流供後續分析。

(2)設計一個小型絕熱裝置，內部放置小容器裝盛水 20ML，容器外壁上黏貼致冷晶片的冷面，而熱面外再加散熱片，容器內放置 DS18B20 溫度感測器測量水溫。完成後利用熱電晶片供電，每分鐘自動記錄小容器水溫於 Excel 試算表中，同時也記錄致冷晶片的工作電壓與工作電流供後續分析。



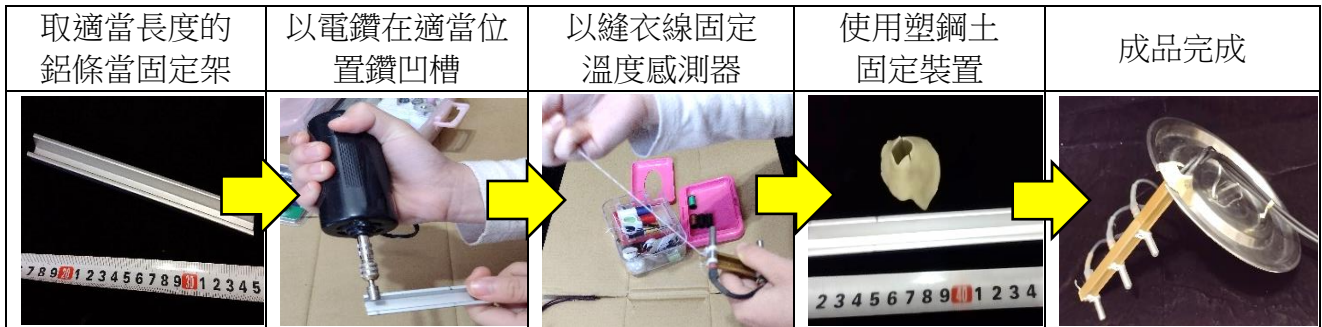
肆、研究結果

一、撰寫記錄程式

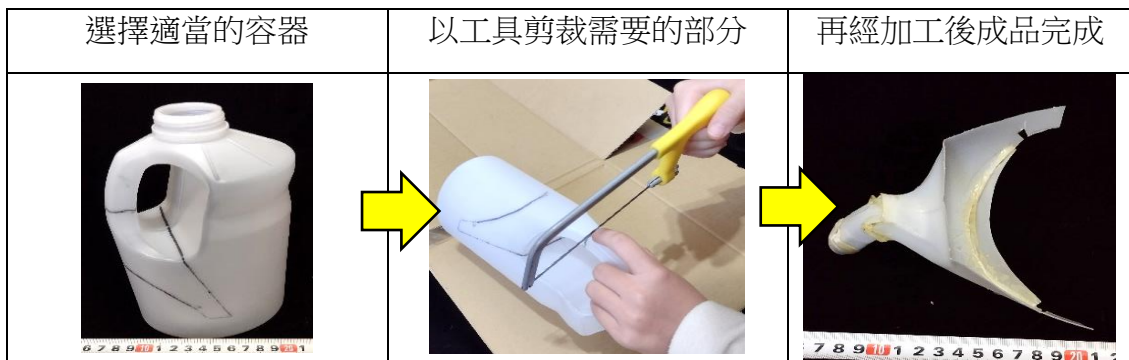
我們設計了一個可以使 Arduino UNO 板每分鐘讀取 8 個溫度感測器的程式，並將資料傳到電腦利用 PLX-DAQ 記錄於 EXCEL。程式碼請見附錄。

二、製作實驗所須裝置

(一)溫度感測器固定架



(二)溢流器



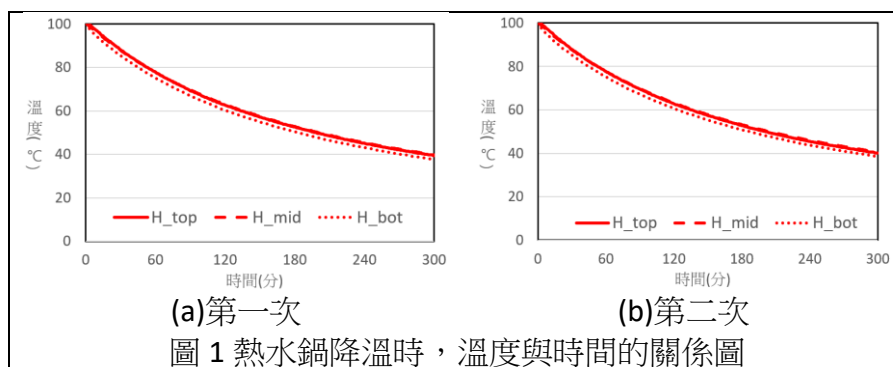
三、各項實驗數據結果如下：

(一) 背景數據

1.熱水鍋降溫時，溫度與時間的關係
本實驗進行二次。溫度變化與時間關係如下圖 1(a)與圖 1(b)， $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 如右表 1，這些數據將與後續實驗進行比較。

表 1 實驗(一)-1 相關數據

實驗項目	實驗次數	室溫(°C)	$t_{H50^{\circ}\text{C}}$ (分)
沸騰的熱水在開放空間中降溫	1	16.7	194
	2	17.7	197

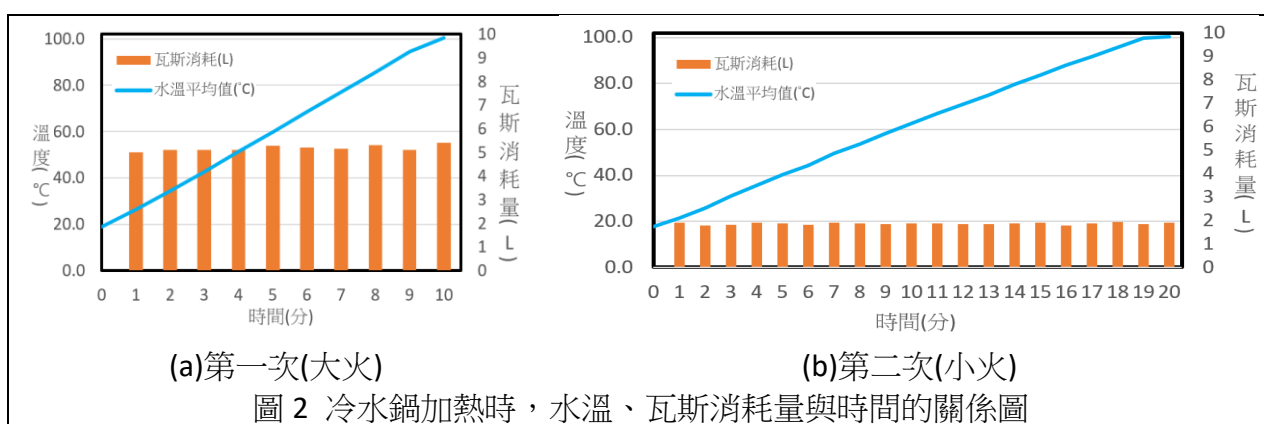


2. 冷水鍋加熱時，溫度變化、消耗瓦斯量與時間的關係

本實驗進行二次。溫度變化、單位時間瓦斯消耗量與時間關係如表 2 與圖 2(a)、(b)，兩次實驗的火力不一樣，第一次的火力較大，加熱的速度較快，但消耗的瓦斯較多；第二次則相反，火力較小，加熱的速度慢，但瓦斯消耗的總量少。但兩次實驗都可看出在瓦斯穩定供應下，水溫上升和時間大致是線性的關係。因此我們可以利用這個實驗結果，估算熱交換後所節省的瓦斯量。

表 2 實驗(一)-2 相關數據

實驗項目	實驗次數	T _{C0} (°C)	冷水加熱到沸騰時間(分)	瓦斯消耗量(L)	每分鐘消耗瓦斯量(L)
利用廚房瓦斯爐加熱冷水	1(大火)	19	10	51.8	5.18
	2(小火)	17.7	20	37.4	1.87



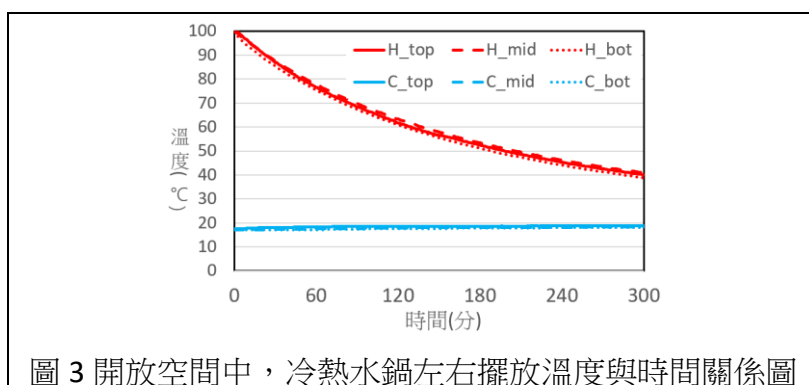
(二) 在開放空間中進行熱交換

1. 冷水鍋與熱水鍋左右擺放

本實驗進行一次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 3，相關數據整理於表 3。熱水鍋 $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 和實驗(一)-1 中 $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 差異不大；冷水鍋 $\Delta T_{\text{CMAX}} = 1.2^{\circ}\text{C}$ ，顯示熱水鍋散失熱量並未被冷水鍋吸收。到 t_{CMAX} 時，經計算熱量散失 116000 卡。

表 3 實驗(二)-1 相關數據

實驗項目	T _{C0} (°C)	ΔT_{CMAX} (°C)	ΔT_{CMAX} 時熱水鍋溫度(°C)	t_{CMAX} (分)	$t_{\text{C90\%}}$ (分)	$t_{\text{C80\%}}$ (分)	$t_{H50^{\circ}\text{C}}$ (分)
冷、熱水鍋左右擺放	17.3	1.2	40.8	290	231	185	198



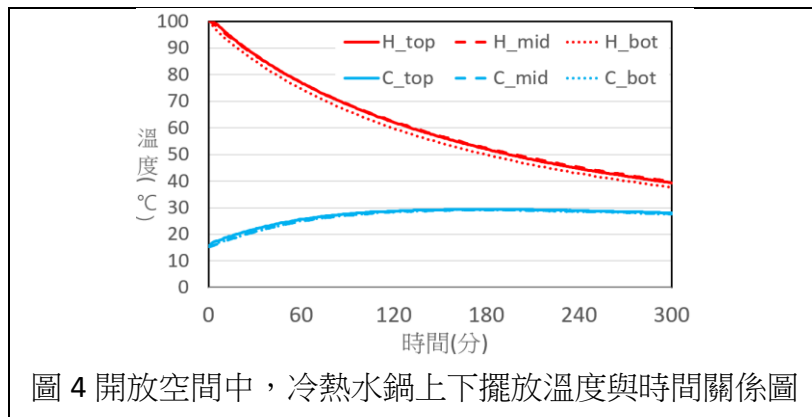
2. 冷水鍋與熱水鍋上下擺放

本實驗進行一次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 4，相關數據整理於表 4。

熱水鍋 $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 和實驗(一)-1 中 $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 差異不大；冷水鍋 $\Delta T_{\text{CMAX}}=13.8^{\circ}\text{C}$ ，顯示熱水鍋散失熱量部分被冷水鍋吸收。到 t_{CMAX} 時，經計算熱量散失 64000 卡。

表 4 實驗(二)-2 相關數據

實驗項目	T_{C0} ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{CMAX} ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{CMAX} 時熱水鍋 溫度($^{\circ}\text{C}$)	t_{CMAX} (分)	$t_{\text{C90\%}}$ (分)	$t_{\text{C80\%}}$ (分)	$t_{H50^{\circ}\text{C}}$ (分)
冷、熱水鍋上下擺放	15.5	13.8	54.2	161	102	76	191



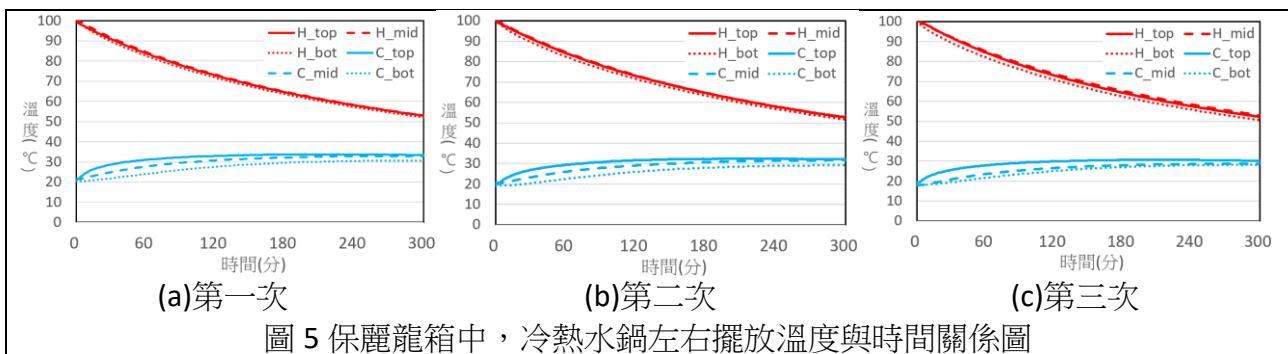
(三) 在保麗龍箱中進行熱交換，以空氣為介質

1. 冷水鍋與熱水鍋左右擺放

本實驗進行三次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 5(a)、圖 5(b)、圖 5(c)，相關數據整理於表 5。三次實驗到達 t_{CMAX} 時，經計算平均熱量散失 63667 卡。冷水鍋水溫有分層的現象。

表 5 實驗(三)-1 相關數據

實驗項目	實驗 次數	T_{C0} ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{CMAX} ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT_{CMAX} 時熱水 鍋溫度($^{\circ}\text{C}$)	t_{CMAX} (分)	$t_{\text{C90\%}}$ (分)	$t_{\text{C80\%}}$ (分)	$t_{H50^{\circ}\text{C}}$ (分)
冷、熱水鍋 左右擺放	1	21.1	11.3	57.3	246	152	111	336
	2	19.6	11.4	56.5	252	157	114	330
	3	18.5	10.6	57.4	240	148	113	325

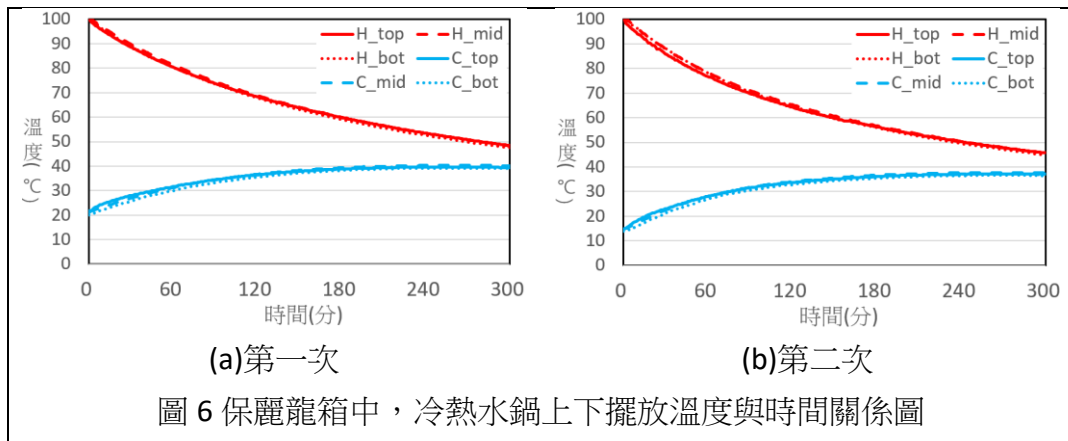


2. 冷水鍋與熱水鍋上下擺放

本實驗進行二次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 6(a)和圖 6(b)，相關數據整理於表 6。二次實驗到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算平均熱量散失 57500 卡。

表 6 實驗(三)-2 相關數據

實驗項目	實驗次數	T_{C0} (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ 時熱水鍋溫度(°C)	$t_{C_{MAX}}$ (分)	$t_{C_{90\%}}$ (分)	$t_{C_{80\%}}$ (分)	$t_{H_{50^{\circ}C}}$ (分)
冷、熱水鍋上下擺放	1	21.1	18.7	53.2	240	152	118	276
	2	14.5	22.7	47.9	266	146	107	241



(四)在保麗龍箱中進行熱交換，以大量的水為介質

1. 冷水鍋與熱水鍋左右擺放，介質水深 9.5cm (與鍋內液面等高，共 13L)。

本實驗進行一次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 7，相關數據整理於表 7。到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算熱量散失平均 130800 卡，其中有 62400 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 68400 卡。本次實驗冷水鍋與熱水鍋均有水溫分層的現象。

表 7 實驗(四)-1 相關數據

實驗項目	實驗次數	浸泡深度 (cm)	T_{C0} (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ 時熱水鍋溫度(°C)	$t_{C_{MAX}}$ (分)	$t_{C_{90\%}}$ (分)	$t_{C_{80\%}}$ (分)	$t_{H_{50^{\circ}C}}$ (分)
同時浸泡在 13L 水中	1	9.5	17.7	8.7	25.9	44	25	19	7

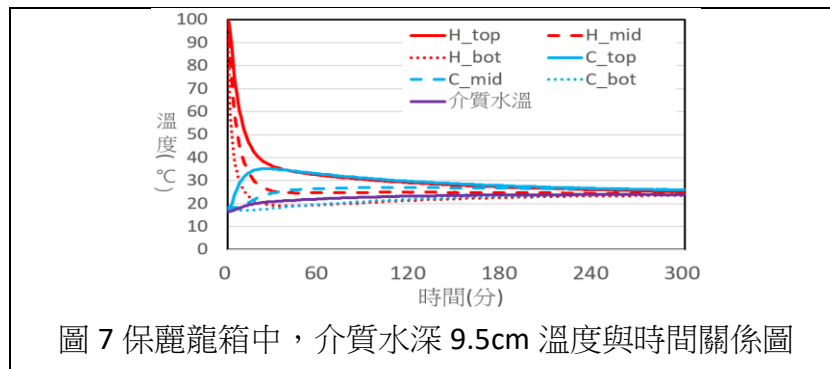


圖 7 保麗龍箱中，介質水深 9.5cm 溫度與時間關係圖

2.重複上述 1.實驗，介質水深 7.2cm (共 8L)

本實驗進行一次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 8，相關數據整理於表 8。到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算熱量散失 102400 卡，其中有 57600 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 44800 卡。本次實驗冷水鍋與熱水鍋均有水溫分層的現象，熱水鍋水溫分層非常明顯。

表 8 實驗(四)-2 相關數據

實驗項目	實驗次數	浸泡深度 (cm)	T_{C0} (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ 時熱水鍋溫度(°C)	$t_{C_{MAX}}$ (分)	$t_{C90\%}$ (分)	$t_{C80\%}$ (分)	$t_{H50^{\circ}C}$ (分)
同時浸泡在 8L 水中	1	7.2	16.7	13.6	35.2	56	28	21	18

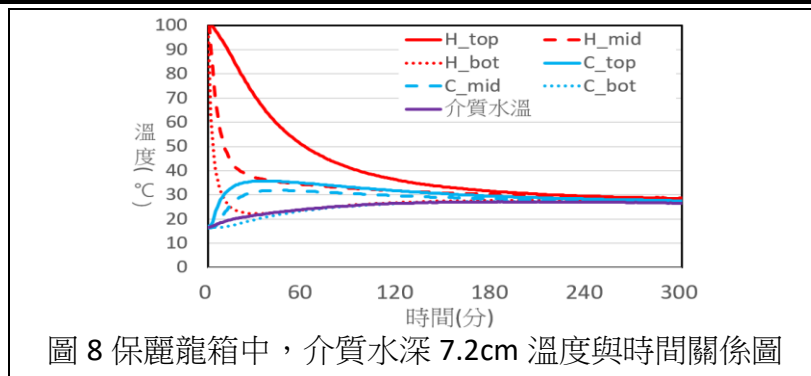


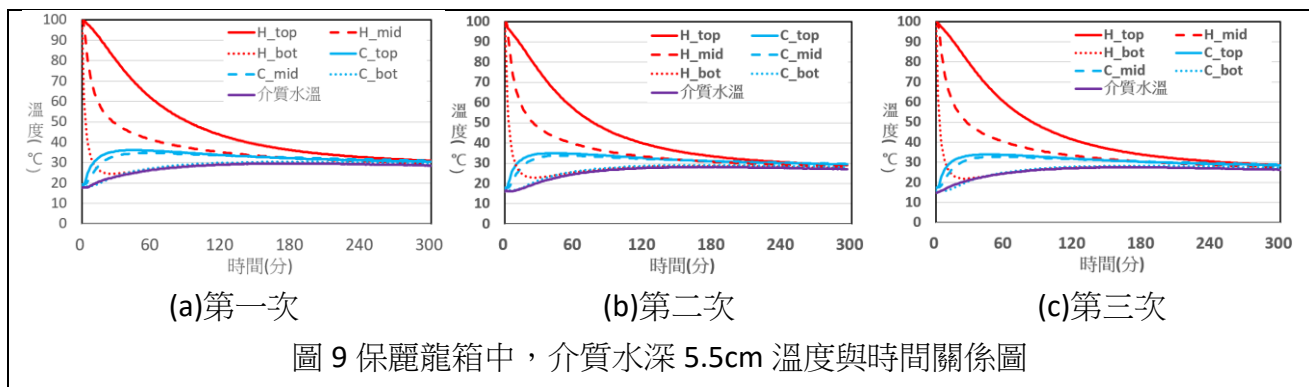
圖 8 保麗龍箱中，介質水深 7.2cm 溫度與時間關係圖

3.重複上述 1.實驗，介質水深 5.5cm (共 6L)

本實驗進行三次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 9(a)、圖 9(b)、圖 9(c)，相關數據整理於表 9。到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算平均熱量散失 91133 卡，其中有 56400 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 34733 卡。本次實驗冷水鍋與熱水鍋均有水溫分層的現象，熱水鍋水溫分層也是非常明顯。

表 9 實驗(四)-3 相關數據

實驗項目	實驗次數	浸泡深度 (cm)	T_{C0} (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ 時熱水鍋溫度(°C)	$t_{C_{MAX}}$ (分)	$t_{C90\%}$ (分)	$t_{C80\%}$ (分)	$t_{H50^{\circ}C}$ (分)
同時浸泡在 6L 水中	1	5.5	18.9	13.8	42.1	66	34	25	33
	2	5.5	17.4	14.1	40.0	63	33	24	27
	3	5.5	16.8	13.9	39.4	71	36	26	30



(五)在保麗龍箱中進行熱交換，以少量的水為介質

1.使用保麗龍塊挖洞減少介質水量並能維持水位高度

此構想在初步試做時，發現有嚴重的問題：由於外鍋的介質水量很少(若介質水 10cm，估計僅需 533ML，約之前的 1/10~1/20)，所以當熱水鍋放進去，介質水水溫便立刻升高，使保麗龍發出濃濃臭味。因此這個方法不再繼續，改而尋找耐高溫適合的器材繼續實驗。

2.使用 18 公分不鏽鋼深鍋、淺鍋各一，盛裝介質水，抽取熱水鍋外表層介質水，經冷水鍋外降溫後，溢流至熱水鍋外介質水的表層。

本實驗進行二次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 10(a)、圖 10(b)，相關數據整理於表 10。到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算平均熱量散失 55700 卡，其中有 37803 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 17897 卡。本次實驗熱水鍋有水溫分層的現象。

抽水馬達運作時，經計算 1 分鐘消耗約 8.656 卡能量。計算過程如下：

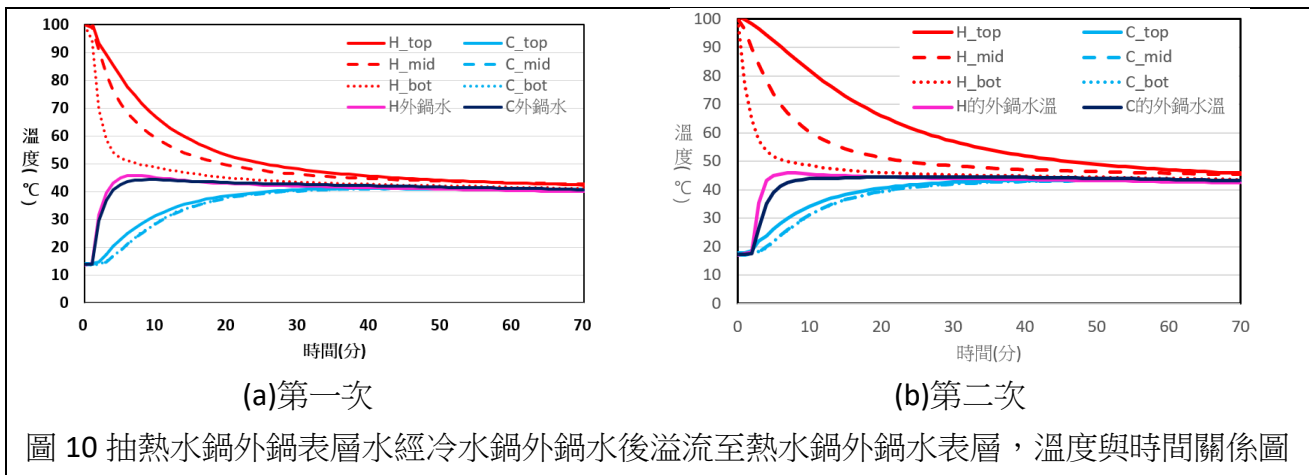
經測量 $I = 90mA = 0.09A$, $V = 6.7V$, 功率 $P = I * V = 0.09 * 6.7 = 0.603W$,

即 1 秒鐘消耗 0.603J 能量，換算 1 分鐘消耗 36.18J。

依據熱功當量 1 卡=4.18J 可知，抽水馬達 1 分鐘消耗約 $36.18/4.18=8.656$ 卡後面計算冷水升溫所節省能量時，可參考此數據扣除抽水馬達消耗能量。

表 10 實驗(五)-2 相關數據

實驗項目	實驗次數	T_{C0} (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ (°C)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ 時熱水鍋 溫度(°C)	$t_{C_{MAX}}$ (分)	$t_{C90\%}$ (分)	$t_{C80\%}$ (分)	$t_{H50^{\circ}C}$ (分)
利用抽水馬達和溢流器，促使熱水鍋外鍋表層水流入冷水鍋外鍋水底層，再溢流回到熱水鍋外鍋水「表層」	1	13.9	27.2	44.2	41	21	16	19
	2	17.4	25.9	47	47	23	17	31

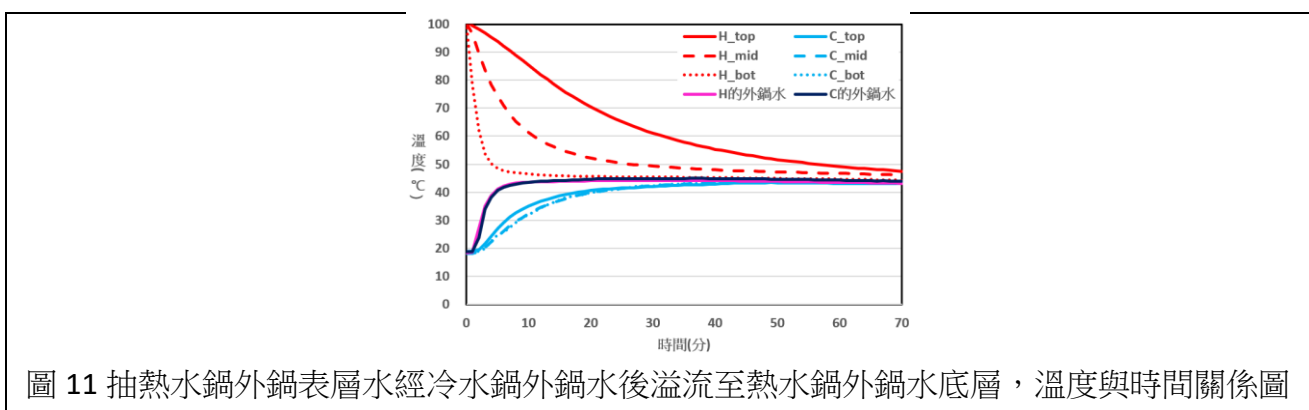


3.同 2，但溢流水利用矽膠管引導至熱水鍋外介質水的底層。

本實驗進行一次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 11，相關數據整理於表 11。到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算總熱量散失 53400 卡，其中有 31022 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 22378 卡。本次實驗冷水鍋與熱水鍋均有水溫分層的現象，熱水鍋水溫分層也是非常明顯。

表 11 實驗(五)-3 相關數據

實驗項目	實驗次數	T_{C0} ($^{\circ}C$)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ ($^{\circ}C$)	$\Delta T_{C_{MAX}}$ 時熱水鍋 溫度($^{\circ}C$)	$t_{C_{MAX}}$ (分)	$t_{C90\%}$ (分)	$t_{C80\%}$ (分)	$t_{H50^{\circ}C}$ (分)
利用抽水馬達和溢流器，促使熱水鍋外鍋表層水流入冷水鍋外鍋水底層，再引導回流到熱水鍋外鍋水「底層」	1	18.4	25.2	48.1	49	23	17	37



4.『實驗(五)-2 夏』：

本實驗進行三次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 12(a)、圖 12(b)、圖 12(c)，相關數據整理於表 12。到達 $t_{C_{MAX}}$ 時，經計算平均熱量散失 51000 卡，其中有 33413 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 17587 卡。本次實驗熱水鍋有水溫分層的現象。

表 12 『實驗(五)-2 夏』 相關數據

實驗項目	實驗次數	T _{C0} (°C)	ΔT _{C_{MAX}} (°C)	ΔT _{C_{MAX}} 時熱水鍋溫度(°C)	t _{C_{MAX}} (分)	t _{C_{90%}} (分)	t _{C_{80%}} (分)	t _{H50°C} (分)
利用抽水馬達和溢流器，促使熱水鍋外鍋表層水流入冷水鍋外鍋水底層，再溢流回到熱水鍋外鍋水「表層」	1	26.6	22.7	52.0	48	21	16	81
	2	25.4	23.1	51.4	51	22	16	71
	3	24.9	23.5	50.8	55	25	17	68

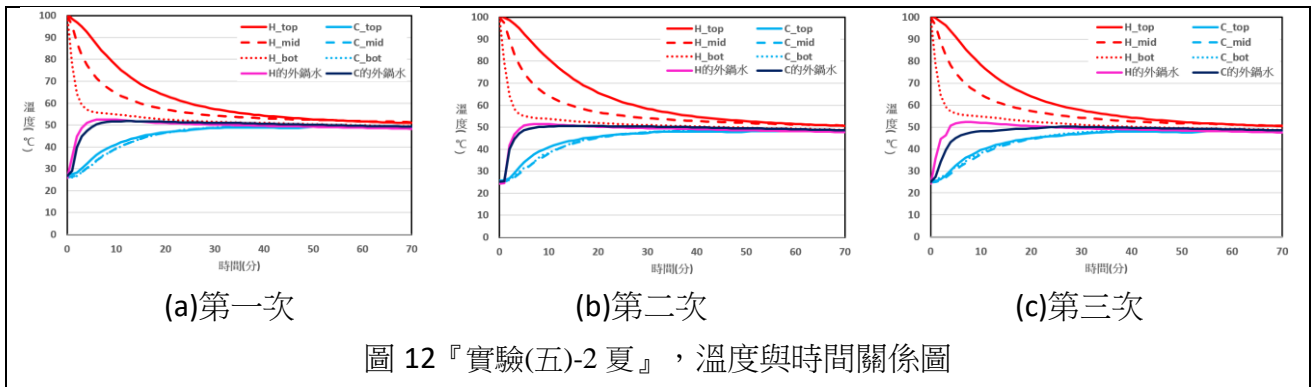


圖 12 『實驗(五)-2 夏』，溫度與時間關係圖

5. 『實驗(五)-3 夏』：本實驗進行三次。冷、熱水鍋溫度變化與時間關係如圖 13(a)、圖 13(b)、圖 13(c)，相關數據整理於表 12。到達 t_{C_{MAX}} 時，經計算平均熱量散失 50800 卡，其中有 33807 卡的熱量是被介質水所吸收。實際散失到環境的熱量是 16993 卡。本次實驗熱水鍋有水溫分層的現象。

表 13 『實驗(五)-3 夏』 相關數據

實驗項目	實驗次數	T _{C0} (°C)	ΔT _{C_{MAX}} (°C)	ΔT _{C_{MAX}} 時熱水鍋溫度(°C)	t _{C_{MAX}} (分)	t _{C_{90%}} (分)	t _{C_{80%}} (分)	t _{H50°C} (分)
利用抽水馬達和溢流器，促使熱水鍋外鍋表層水流入冷水鍋外鍋水底層，再引導回流到熱水鍋外鍋水「底層」	1	24.4	23.8	52.0	39	20	15	61
	2	26.0	22.7	52.3	45	21	16	74
	3	26.7	21.9	51.1	60	23	17	76

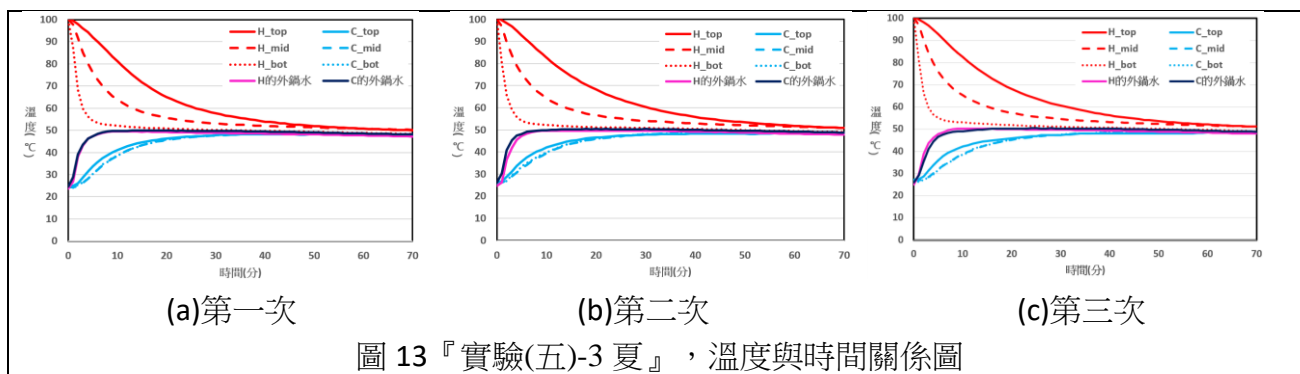


圖 13 『實驗(五)-3 夏』，溫度與時間關係圖

(六)僅有熱水鍋時，廢熱的應用(本部分亦為五月份進行)

1.測量四個熱電晶片串連後的開路電壓

熱水鍋加入熱水後，平均溫度、熱電晶片內外溫差、開路電壓與時間關係如(圖 14)。由圖可知剛到入沸水時，熱電晶片內外溫差最大，所測得開路電壓亦最大，達 5.62V。隨著熱電晶片內外溫差的縮小，量測到的開路電壓亦降低。

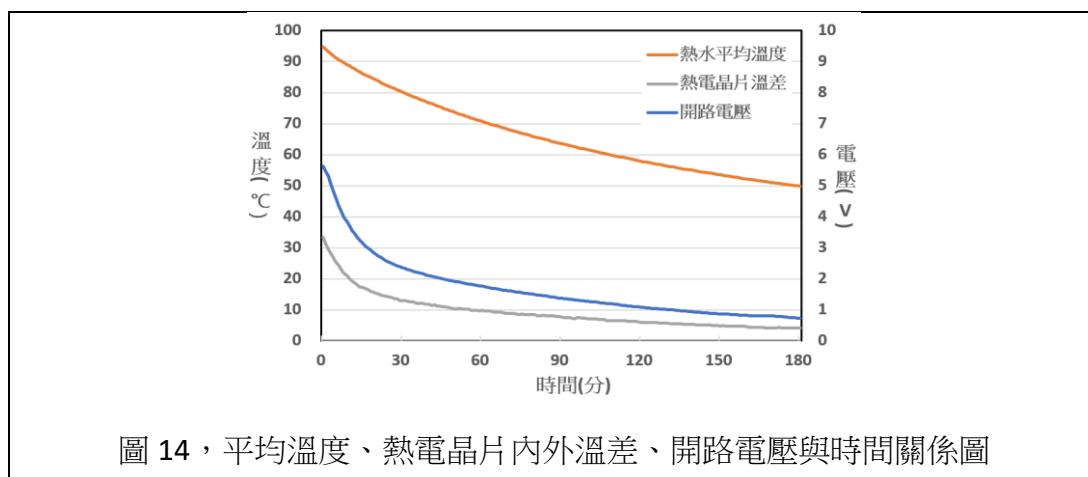


圖 14，平均溫度、熱電晶片內外溫差、開路電壓與時間關係圖

2.利用熱電效應使風扇轉動

(1)由上圖 14 可知本裝置開路電壓在 5V 以上僅有不到 5 分鐘，對於許多需要 5V 供電的 USB 裝置而言，電壓是不足的。所以我們在熱電晶片輸出端分別(並聯)加裝了 1~3 個升壓模組，再透過 USB 接口連接 USB 小風扇 1~3 個。每個實驗重複 2 次。

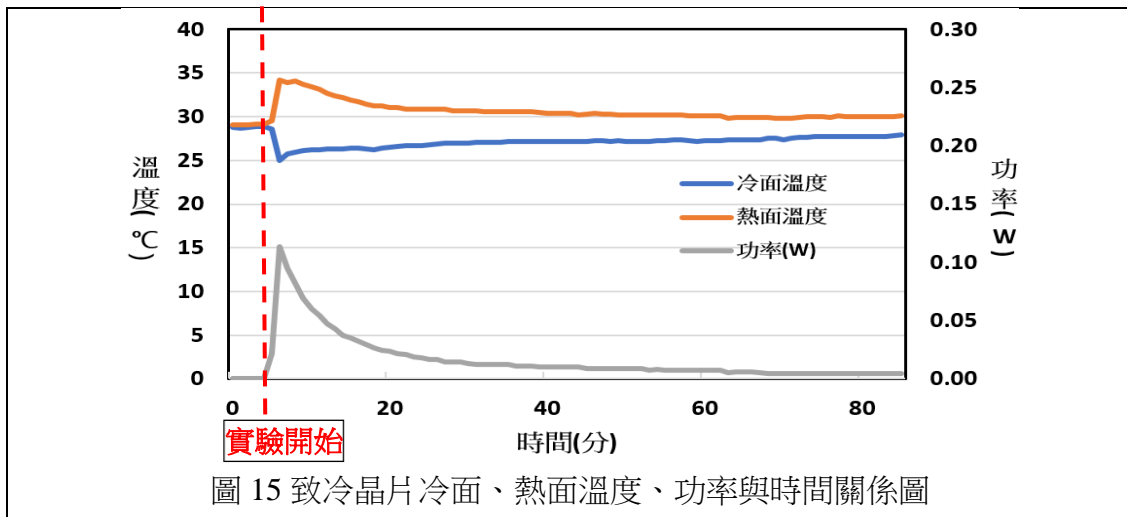
(2)從直觀來看，連接 1 個小風扇的轉速最快、2 個次之、3 個最慢(無實測數據)。風扇數目與風扇運轉時間、最初降溫 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 所需時間、最初降溫 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 平均功率如表 14(下頁)，不意外的風扇數目越多，運轉時間越短。原本預期風扇吹散熱片可以增加溫差，進而增加發電效率達到增加運轉時間，在此剛好相反。對環境送風的運轉時間比對散熱片送風的運轉時間長。但是利用工作電壓與工作電流部分估算功率時，對散熱片送風的平均功率似乎略大於對環境送風的趨勢。「熱水最初降溫 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 所需時間」部分，對散熱片送風比對環境送風降溫快，這是意料之中的。

表 14 熱電效應下風扇轉動的時間與功率

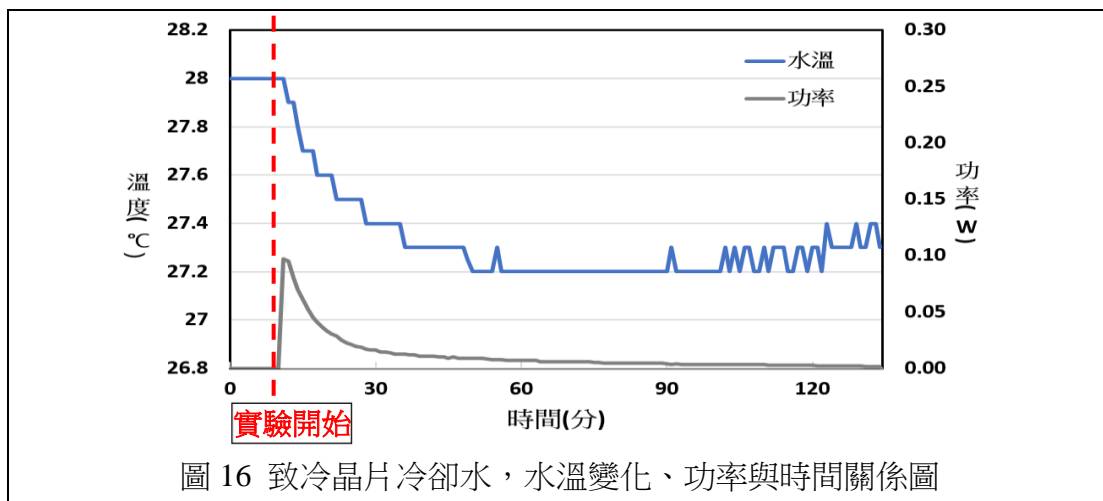
風向	對環境送風			對散熱片送風		
	1 個	2 個	3 個	1 個	2 個	3 個
電扇數目	1 個	2 個	3 個	1 個	2 個	3 個
平均運轉時間(分)	86.5	43.0	19.0	76.0	37.5	19.5
熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 所需時間(分)	15.5	15.5	15.5	13.0	13.0	13.5
熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 平均功率(W)	0.16	0.13	0.13	0.17	0.14	0.14

3.利用熱電效應產生冷卻效果

(1)將致冷晶片兩面各夾上 1 個 DS18B20 溫度感測器，利用熱電晶片供電，冷面溫度、熱面溫度、功率(工作電壓×工作電流)與時間關係如圖 15。由圖中可見熱水倒入後(圖中紅色虛線對應處)，致冷晶片冷、熱面分別立即降、升溫，溫差立即出現並急速增加，最多可有 9.2°C 的溫差。之後工作電壓、電流雖隨時間遞減，但冷熱兩面仍可維持 2°C 以上溫差且持續相當長的時間。



(2)利用製冷晶片冷卻 20 毫升的水，水溫變化、功率與時間的關係如圖 16。可見熱電晶片供電使致冷晶片冷卻水是有可能的，不過溫差僅約 0.8°C ，但可持續約 90 分鐘以上(這部分除了製冷晶片外，和絕熱效果亦有關)。

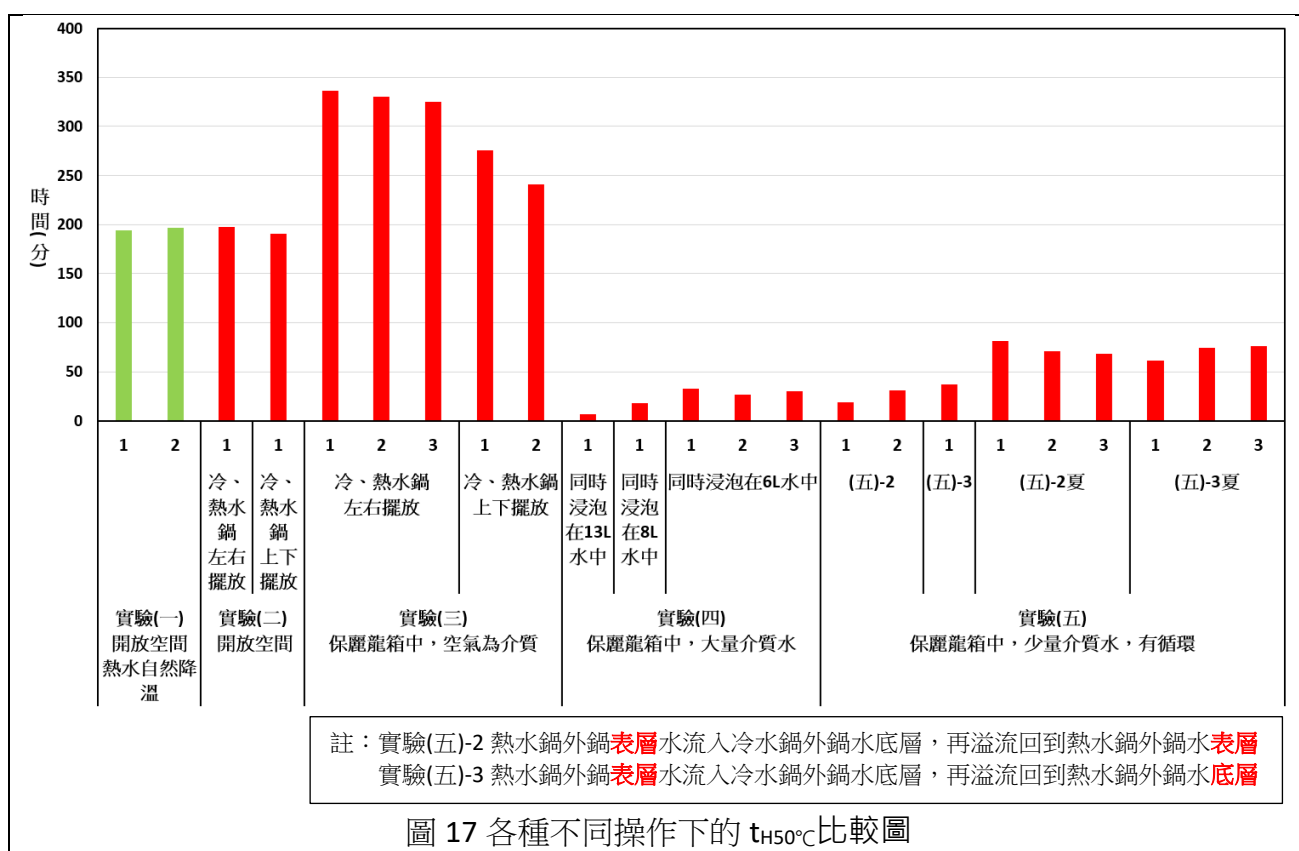


伍、討論

一、不同操作下，各項數據的比較

(一) 不同操作下， $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 的比較

我們選擇 50°C 的原因是 50°C 是一般醫學建議飲用水溫度的上限。所以 $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 代表熱水從沸騰降溫到人類可飲用溫度上限所需時間。與實驗(一)-1 比較(圖 17 左方綠色長條圖)，實驗(四)以大量水為介質降溫較快，其中泡水 13L 的實驗熱水鍋降溫速度最快(僅需 7 分鐘)。用大量的水冷卻剛燒好熱水的方式也是傳統上一般家庭會用的方式。但此方式會使用大量的水，且熱水降溫釋放的熱無法被利用。實驗(五)-2 和實驗(五)-3 的裝置中，減少介質水，利用抽水馬達製造介質水循環，用水僅 1/4~1/10，但可以達到相近的效果，且能利用熱水鍋的熱能給冷水鍋加熱。「實驗(五)-2 夏」與「實驗(五)-3 夏」因 T_{C0} 與室溫都較高， 50°C 幾乎已是達熱平衡的溫度，所以 $t_{H50^{\circ}\text{C}}$ 比(五)-2、(五)-3 多了不少。



(二) 不同操作下， $\Delta T_{C\text{MAX}}$ 的比較

$\Delta T_{C\text{MAX}}$ 是冷水鍋上升溫度的幅度，代表熱水鍋轉移到冷水鍋的熱量。其中，實驗(五)各組的結果如下頁的圖 18，冷水鍋溫度上升的幅度皆較大。我們的解釋是實驗(五)介質水少，因介質水吸收而散失的熱量也較少，所以冷水鍋能得到較多熱量。實驗(三)各組實驗有保麗龍箱隔絕熱量散失，即使沒有介質水，還是有不錯的升溫效果。特別是實驗(三)-2 鍋子上下擺放，除了熱輻射與空氣對流之外，再加上不銹鋼鍋的熱傳導，竟能達到 20°C 左右的升溫效果，令我們有點意外。至於「實驗(五)-2 夏」與「實驗(五)-3 夏」，因 T_{C0} 比冬季高約 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，所以 $\Delta T_{C\text{MAX}}$ 普遍低約 $2\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。

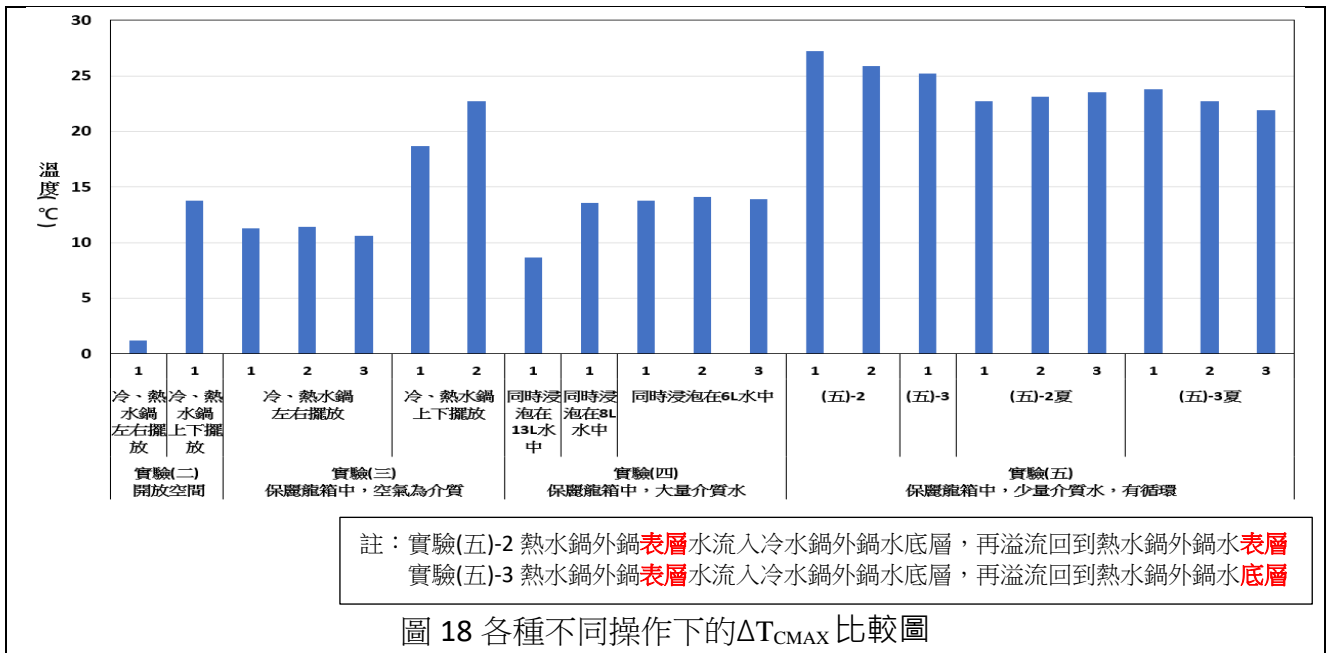


圖 18 各種不同操作下的 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 比較圖

(三) 不同操作下，冷水鍋升溫時間的比較

這個數據代表冷水鍋溫度上升的速度，也就是熱交換的效率。比較同一次的實驗中，如實驗(三)-2 的第二次實驗(參看表 6 與圖 6)，冷水鍋接近 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 時，溫度上升會非常緩慢，所以我們加入探討溫度變化到達 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 的 90% 與 80% 的時間。由下圖 19 可知， $t_{C_{MAX}}$ 與 $t_{C_{90\%}}$ 、 $t_{C_{80\%}}$ 時間會有很大的差異。這裡可以思考：為了再多一點溫差，要再等將近一倍的時間，效益上是否值得？

我們再看不同的實驗設計：有些實驗雖然 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 高，但卻會需要很長的時間。例如實驗(二)、實驗(三)沒有介質水，僅利用熱輻射與空氣傳播熱能，熱交換效率明顯低於有介質水的實驗(四)與實驗(五)。直接以大量介質水浸泡實驗(四)熱交換速度看似最快，但對照 $\Delta T_{C_{MAX}}$ 卻很不理想。實驗(五)有抽水馬達造成介質水強制循環，使熱傳播效果較好。「實驗(五)-2 夏」與「實驗(五)-3 夏」和冬季相比，看不出明顯差異。

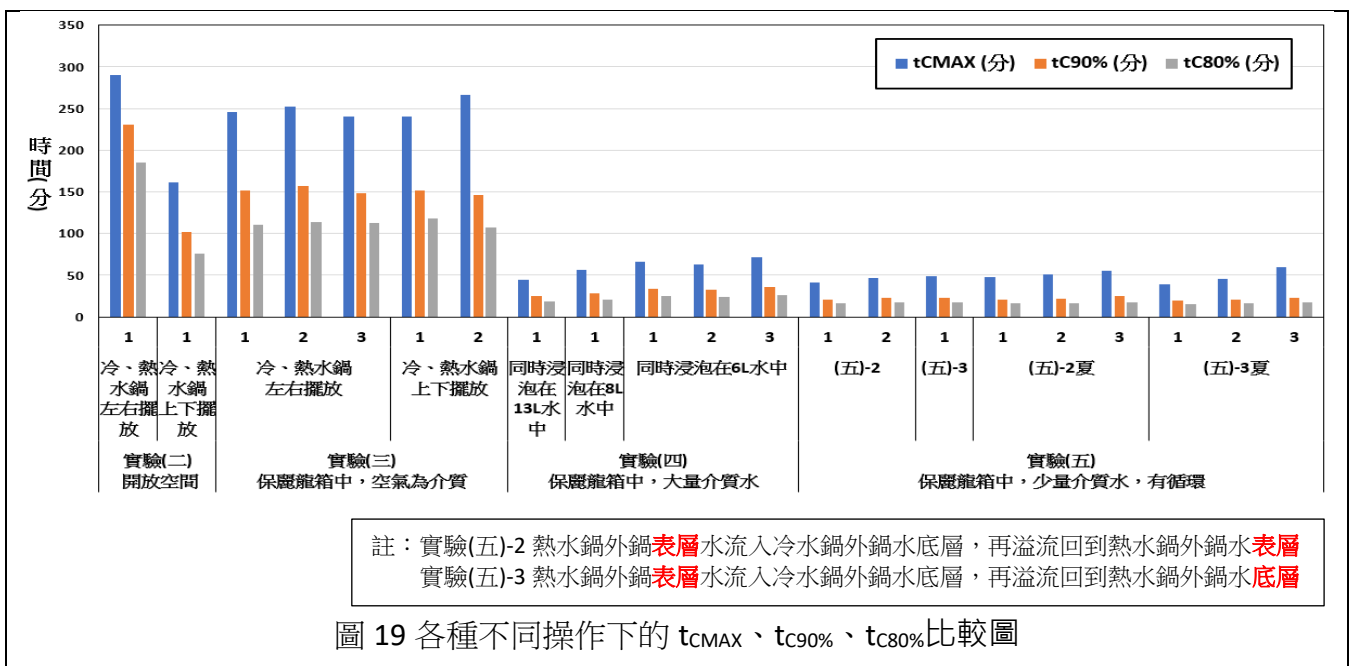


圖 19 各種不同操作下的 $t_{C_{MAX}}$ 、 $t_{C_{90\%}}$ 、 $t_{C_{80\%}}$ 比較圖

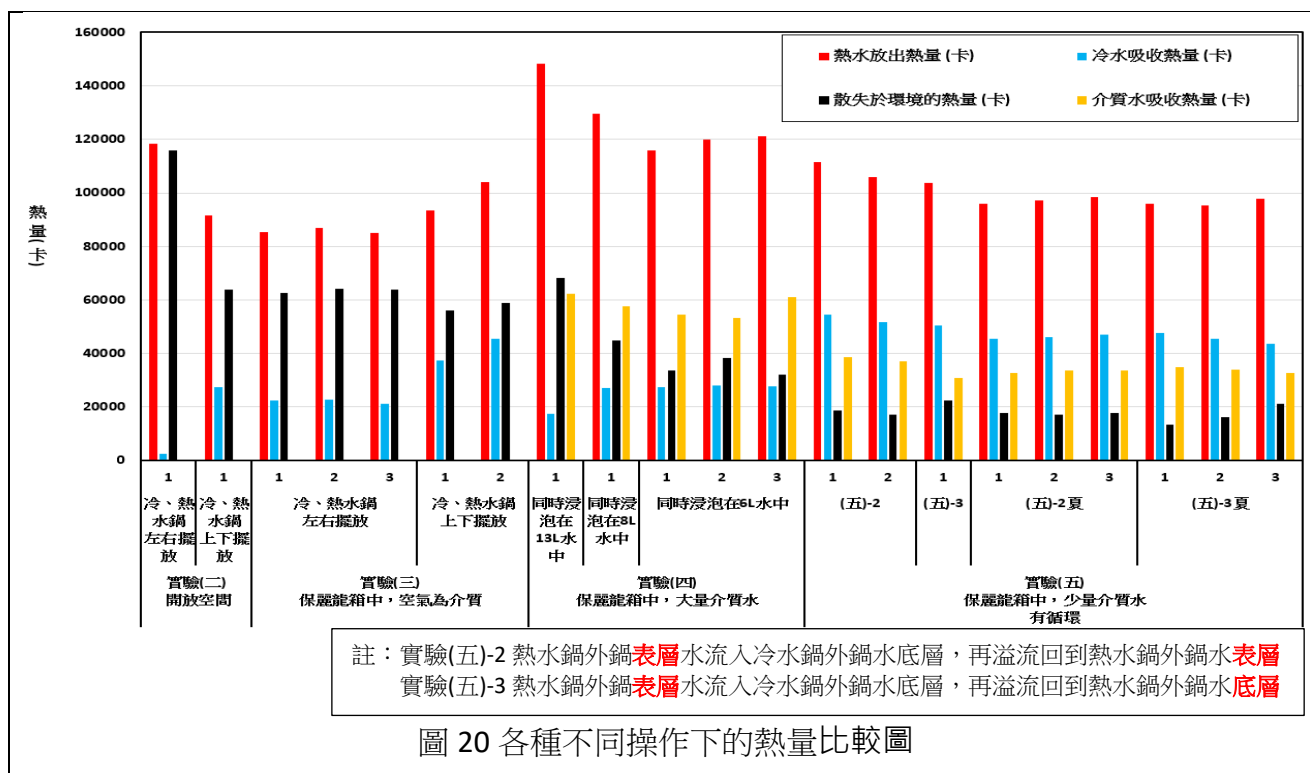
(四)不同操作下，熱量散失的比較

根據能量守恆定律，放熱總和=吸熱總和。實驗中，熱水鍋溫度最高；冷水鍋、介質水與環境中其他物品相對於熱水鍋的溫度低，可以吸收熱水鍋釋放的熱量。分析熱水鍋放出的熱能被何者吸收了多少，可以做為本實驗未來檢討改進的依據。

而實驗(三)的熱量散失看似沒有特別多，是因為到達 ΔT_{CMAX} 時，熱水鍋溫度偏高，所以累計釋放的熱量較少，我們的解釋是因為缺少適當的傳熱介質，所以熱水鍋釋放的熱量無法有效被冷水鍋吸收，因此冷水鍋水溫無法上升而實驗終止。

實驗(四)有大量介質水，熱水鍋散失熱量被介質水大量吸收導致冷水鍋溫度無法上升(圖 20 實驗(四)黃色長條圖)。

實驗(五)減少介質水，並使用抽水馬達增加介質水循環。冷水鍋吸收熱量增加、介質水與環境吸熱減少，熱交換效果明顯改善，縮短了熱交換時間，同時也減少了散失到環境的熱能。至於使用抽水馬達消耗的能量經計算 1 分鐘消耗約 8.656 卡的能量，實驗(五)使用抽水馬達時間都在 70 分鐘以內，換算消耗能量不超過 600 卡。佔能量散失比例不高，因此忽略不計。『實驗(五)-2 夏』與『實驗(五)-3 夏』因 ΔT_{CMAX} 較小，所以熱水釋放的熱量較冬季少，冷水吸收的熱量亦較冬季少。



(五)不同操作下，節能效果的比較

原本要進行節省瓦斯的探討，但因為實驗(一)-2 的結果顯示，在瓦斯穩定供應的條件下，瓦斯消耗與上升溫度是線性的關係，所以幾乎可以用 t_{CMAX} 與 t_{CO} 到沸騰的比例來代表節省的瓦斯。所以我們不討論瓦斯節省的量，改以節省能源百分比為指標。

這個實驗到底可以減少多少能源呢？

我們定義 節省能源百分比(%) = 冷水鍋最大溫度變化 / (100-冷水鍋初溫)*100%
 各次實驗換算結果如表 15：(註：理論上，本實驗熱交換的比例最多為 50%)

表 15 各種不同操作下的節省能源百分比比較表

實驗項目		實驗次數	節省能源百分比(%)	
實驗(二) 開放空間中進行熱交換	冷、熱水鍋左右擺放	1	1.5	
	冷、熱水鍋上下擺放	1	16.3	
實驗(三) 保麗龍箱中進行熱交換，以空氣為介質	冷、熱水鍋左右擺放	1	14.3	
		2	14.2	
		3	13.0	
	冷、熱水鍋上下擺放	1	23.7	
		2	26.5	
實驗(四) 保麗龍箱中進行熱交換，以大量的水為介質	同時浸泡在 13L 水中	1	10.6	
	同時浸泡在 8L 水中	1	16.3	
	同時浸泡在 6L 水中	1	17.0	
		2	17.1	
		3	16.7	
實驗(五) 保麗龍箱中進行熱交換，以少量的水為介質	利用抽水馬達和溢流器，促使熱水鍋外鍋表層水流入冷水鍋外鍋水底層，再溢流回到熱水鍋外鍋水表面層	1	31.6 *	
		2	31.4 *	
	利用抽水馬達和溢流器，促使熱水鍋外鍋表層水流入冷水鍋外鍋水底層，再溢流回到熱水鍋外鍋水底層	1	30.9 *	
		實驗(五)-2 夏	1	30.9 *
			2	31.0 *
	3		31.3 *	
	實驗(五)-3 夏	1	31.5 *	
		2	30.7 *	
		3	29.9	

註：「*」表示節能效果超過 30%。

我們發現，扣除實驗(二)-1 室溫中左右放的實驗，其他方式至少有 10%以上的節能效率，實驗(二)-2 即使在室溫中上下擺放就能有 16.3%的節能效率(但所需時間較長)。實驗(五)-2 兩次實驗甚至都達到 30%以上的效果！我們用了簡單的裝置，竟然達到了去年年底國發會所提出 2030 年減碳 30%的目標！(余弦妙、翁至威，2022)

另外，實驗(一)-2 的兩次實驗，意外的發現，燒開水用大火加熱比小火雖較快沸騰，但卻也多消耗約 2.7 倍的瓦斯(已控制大火火焰沒有超過鍋底)。所以建議如果時間充裕，瓦斯爐火不要開太大也可以節能。至於瓦斯爐火焰散失能量的利用，在 61 屆全國科展已有人探討(薛宇宏、蘇韋愷，2021)。

(六)熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 熱電晶片能源轉換的探討

利用熱水降溫釋放熱量與風扇運轉消耗的能量比較，可推算能源轉換率，結果如表 16：

表 16 能源轉換率

電扇數目	對環境送風			對散熱片送風			致冷晶片 測試時	致冷晶片 降溫冷水
	1 個	2 個	3 個	1 個	2 個	3 個		
熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 能源轉換率%	0.195	0.185	0.155	0.170	0.150	0.150	0.06	0.06

我們發現利用熱電轉換的效能皆不理想，遠低於一般所說 3%~5% (許君咏，2021)。也許是因為我們利用的是燒熱水等待放涼所釋放的廢熱，溫差僅數十度，且我們並沒有額外消耗能源進行散熱(會「得不償失」)，造成溫差縮小更影響了發電的效能。所以目前看來，熱電似乎不太適合我們的狀況。

(七)熱電晶片可否加速熱水鍋降溫？

理論上熱電晶片利用熱能轉變成電能，那是否會因為消耗熱能而加速熱水鍋的降溫？我們在夏天重新做了實驗(一)-1 熱水鍋在自然狀況下降溫，記錄從 95°C 下降 10°C 所需時間；也使用裝設好熱電晶片的熱水鍋，沒有負載的情況下測量熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 所需時間；再與使用 1 個風扇對環境或散熱片送風比較。結果如下表 17：

表 17 比較各種操作下，熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 所需時間

	實驗(一)-1 熱水鍋 自然降溫 (夏天)	裝設好熱電晶 片的熱水鍋 (含散熱片)	裝設好熱電晶 片的熱水鍋與 1 個風扇 對環境送風	裝設好熱電晶 片的熱水鍋與 1 個風扇 對散熱片送風
熱水最初降溫 $10\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 所需時間(分)	24	18.5	15.5	13

裝設好熱電晶片的熱水鍋因為有散熱片，所以降溫比只有熱水鍋快，這很好解釋。而對散熱片送風降溫比對環境降溫快，先前也解釋過。然而「裝設好熱電晶片的熱水鍋」和「裝設好熱電晶片的熱水鍋加上一個風扇對環境送風」之差異，是熱能轉變成電能而

加速降溫？還是因為送風造成鍋子周圍空氣流動較快而加速降溫？我們不得而知。但不管何者，和「實驗(四)」或「實驗(五)」使用介質水各組在相同狀況下降溫僅需 1~2 分鐘相比，速度上都慢了許多。

綜合我們的實驗，如果可以計劃性的安排烹煮流程，利用冷熱水進行熱交換是轉換效率最好的方法，廢熱回收率可達 30%。而若僅需降溫熱水，但沒有要讓冷水升溫，或許使用大量介質水是個不錯的選擇(至少效率高很多)。若能將被加溫的介質水做有效的利用，例如洗碗，溫水可以增加油脂的流動性，可以減少清潔劑的使用。

至於溫差發電，很可惜目前受限於溫差晶片，未能有好的表現，也期待未來技術上能有突破，讓廢熱的回收多一個選擇。

二、關於本實驗的檢討與展望

(一) 溫度感測器的固定

此次實驗使用鋁製的自製固定架，主要是廢物利用，因為在家中找到幾條先前做櫃子剩下的滑軌軌道，且我們考慮到的其他材質，例如：鐵、玻璃、塑膠，都有缺點。像是鐵會生鏽；玻璃怕熱漲冷縮會破裂，且不易加工；而塑膠則是有耐熱的問題。所以在種種因素的考量下，我們選擇易加工、可長時間浸泡水中的鋁為材料。但是我們發現溫度感測器及固定架的體積太大，實驗操作不便外，也無法精確地測量某個點的溫度。未來我們希望可以加以改良，使溫度感測器的體積變小，對水溫的影響降到最低，也可以更精確地測量特定位置的溫度。

(二) 隔熱的問題

由實驗(二)與實驗(三)可知隔熱十分重要，從「不同操作下熱量比較圖」可知，散失的熱是本實驗廢熱回收效率再突破的關鍵因素之一，也是未來我們要努力的重點。此外，每次實驗結束打開保麗龍箱時，空氣中總有淡淡的保麗龍氣味，未來也可再尋找其他安全的材質來保溫。

(三) 介質的問題

熱的三種傳播方式中，輻射需要很大的溫差才能有明顯效果，我們實驗時，冷、熱水鍋的溫差不超過 90 度，所以經由輻射傳播熱的能量有限。勢必需要介質幫助熱的傳播。圖 15 顯示，導熱介質是決定節能效率的關鍵因素之一。根據實驗(四)，使用了大量水當介質，雖然冷水到最高溫時熱水放出的熱量最多，但冷水鍋吸收的熱量並不多，大部分熱量都被介質吸收掉了。實驗(五)，減少介質水量，成功地提高了熱傳播的效能。然而，水並非導熱介質的唯一選擇，未來可以再嘗試其他的介質。

陸、結論

現代人忙碌的生活，常為了追求效率而消耗過多資源。本實驗結論：廢熱回收再利用是可行的，只要在準備烹煮下一餐前，提早約 30~90 分鐘進行熱交換，即使只是將冷熱鍋在室溫中上下堆疊，都能達到節能減碳的效果。

柒、參考文獻

linjunJR(2020年10月6日)。一點都不放過！家電廢熱可以回收再發電!?. 泛科學。
<https://pansci.asia/archives/192520>

吳世國(2019年10月21日)。淺談工業廢熱回收。能源教育資源總中心。
<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=4&id=435>

自由時報(2018年8月22日)。全球首見！瑞典開發出廚房廢熱回收系統。自由時報。
<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/2527121>

余弦妙、翁至威(2022年12月26日)。國發會推進2030減碳目標。經濟日報。
<https://money.udn.com/money/story/12926/6864902>

許君咏(2021年8月3日)。氣候變遷、能源廢熱怎麼辦？——專訪國立陽明交通大學材料科學與工程學系吳欣潔教授。科技大觀園。
https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=08451b61-5e40-48b3-baee-5b6625c0f897&fbclid=IwAR207sizh8ibEoWoqL-iG9yHVwgVsrP1QNxDS20PSQdMT9IT_zURSpU9qrl

郭雅欣(2021年8月23日)。你今天用熱發電了嗎？把廢熱變能源的魔術師——熱電材料。研之有物。
<https://research.sinica.edu.tw/thermoelectric-materials-cheny2/>

黃振東、徐振庭(2013)。熱電材料。科學發展期刊，486期，48-53頁。

聶佑安、吳紹齊、孫鍾維、陳禹婷(2017)。光與熱的複合發電-太陽能光熱分離複合發電的探討與設計。台北市第50屆中小學科學展覽會。

王育涵、王子洋(2015)。神奇的太陽光熱分離之旅！。中華民國第55屆中小學科學展覽會。

陳柏驊(2015)。增光擠熱拚綠能--探討太陽能板發電效能提升及應用。中華民國第55屆中小學科學展覽會。

洪愷駿、王啟白(2017)。熱情來電。中華民國第57屆中小學科學展覽會。

薛宇宏，蘇韋愷(2021)。瓦斯爐節能熱水器。中華民國第61屆中小學科學展覽會。

附錄

記錄程式程式碼

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 6 // 告訴 OneWire library DQ 接在那隻腳上
#define
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // 建立 OneWire 物件
DallasTemperature DS18B20(&oneWire); // 建立 DS18B20 物件
void setup(void){
  Serial.begin(9600);
  DS18B20.begin();
  Serial.println("LABEL,Date,Time,green1,yellow1,red1,green2,yellow2,red2,roomtemp,temp_8");
}
void loop(void){
/*宣告變數，順序為冷水上,中,下,熱水上,中,下,最後2個視情況紀錄，()內為溫度計電腦的排序，無法更改*/
```

```

float green1,yellow1,red1,green2,yellow2,red2,roomtemp,temp_8;
DS18B20.requestTemperatures();
green2 = DS18B20.getTempCByIndex(5);
yellow2 = DS18B20.getTempCByIndex(1);
red2 = DS18B20.getTempCByIndex(2);
green1 = DS18B20.getTempCByIndex(4);
yellow1 = DS18B20.getTempCByIndex(7);
red1 = DS18B20.getTempCByIndex(6);
roomtemp = DS18B20.getTempCByIndex(3);
temp_8 = DS18B20.getTempCByIndex(0);

```

/*將日期時間及溫度訊息輸出到 Serial Monitor，但實際上透過 EXCEL 巨集，數據會直接記錄到 EXCEL 試算表中*/

```

Serial.print("DATA");
Serial.print(",");
Serial.print("DATE");
Serial.print(",");
Serial.print("TIME");
Serial.print(",");
Serial.print((float)green1,1);
Serial.print(",");
Serial.print((float)yellow1,1);
Serial.print(",");
Serial.print((float)red1,1);
Serial.print(",");
Serial.print((float)green2,1);
Serial.print(",");
Serial.print((float)yellow2,1);
Serial.print(",");
Serial.print((float)red2,1);
Serial.print(",");
Serial.print((float)roomtemp,1);
Serial.print(",");
Serial.println((float)temp_8,1);

```

/*設定 1 秒鐘記錄一筆資料，所以上方程序執行完後，要設定一個延遲時間，這個數據會因不同電腦而不同*/

```

delay(58734);
}

```

【評語】 032805

本作品考量居家環境中有許多廢熱產生，對節能不太友善，因此作者思考透過熱傳、對流、輻射這些基本原理，設計出一般家庭中就能方便使用的熱交換裝置，達到省錢又環保的效果。議題由生活觀察出發，呼應實際需求，值得肯定。

對此研究，我們有以下之建議：

- (1) 若節能為廢熱回收的重要考量，應把馬達和電子系統所需電能也納入考量。
- (2) 若經濟性為廢熱回收的重要考量，可以把能量成本轉換成金錢成本。若時間也是重要考量，這部分則需另想指標來定義時間成本。
- (3) 隔離箱不適合用保麗龍，需要找材質更好的代替。
- (4) 可參考一般大型工廠也回收廢熱的實際做法，進行廢熱回收效益比較。

(5) 熱的傳遞基本上跟溫差成正比，部分數據呈現橫軸可考慮以溫差來表示。

(6) 變因很多，稍嫌發散，建議能聚焦一點。

作品海報

廢熱不廢，



節能30% 靠你了！

摘要

本實驗探討如何於居家環境中進行簡易廢熱利用，以達到節能目的—透過熱水降溫時所釋放出來廢熱，來提高冷水溫度，並嘗試熱電效應將廢熱轉換成電能利用。為了達到冷水溫度上升最多且所需時間最少的效果，我們嘗試了許多實驗，最終發現利用保麗龍箱減少熱能散失，且使用少量水做為傳熱介質，再加上抽水馬達促進介質的循環效果最好，最高可在30分鐘內節省超過30%的能源。其他嘗試方法，大多也能達到至少10%節能效果。若利用熱電效應回收廢熱，受限於熱電晶片現今技術本身，於本實驗回收效率不甚理想，最佳回收率僅約0.2%。經由以上實驗結果可知，只要在準備烹煮下一餐前，提早約30至90分鐘進行簡單的廢熱利用，即有良好節能減碳效果，為環境盡一份心力。

壹、前言

一、研究動機

2021年的5月，因新冠疫情嚴峻而在家進行線上教學。每天中午我們煮午餐時發現一直在進行兩個矛盾的動作：「把剛燒好的熱水放在室溫中降溫」和「把剛從冰箱取出的冰冷食材拿去瓦斯爐加熱」。我們思考著：是否可以利用熱水降溫過程中所釋放的熱，來幫助冰冷食材回溫或者轉換成電能利用呢？如此一來可以減少等待熱水降溫的時間，也可以節省加熱冰冷食物所需的瓦斯燃料，達到節能減碳的理想目標。

二、研究目的

- (一) 減少熱水降溫所需的時間。
- (二) 在最短的時間使冷水溫度上升到最高。
- (三) 設計裝置能在一般家庭廚房方便操作。
- (四) 嘗試熱電效應將廢熱轉換成電能利用。

三、實驗中使用到的代號與圖例符號說明





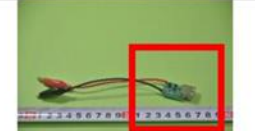













(一)代號說明

名詞	代號	說明
冷水鍋初溫	T _{Co}	冷水鍋的水，熱交換前三支溫度感測器讀數的平均值
熱水鍋初溫	T _{Ho}	以 100 °C計算
冷水鍋最大溫差	ΔT _{C_{MAX}}	熱交換後，冷水鍋三支溫度感測器平均的最大值減去 T _{Co}
冷水鍋達最大溫差所需時間	t _{C_{MAX}}	熱交換後，溫差到達ΔT _{C_{MAX}} 所需的時間
冷水鍋水溫上升90%所需時間	t _{C_{90%}}	熱交換後，溫差到達『ΔT _{C_{MAX}} × 90%』所需的時間
冷水鍋水溫上升80%所需時間	t _{C_{80%}}	熱交換後，溫差到達『ΔT _{C_{MAX}} × 80%』所需的時間
熱水鍋水溫下降到50°C所需時間	t _{H_{50°C}}	熱交換後，熱水鍋水溫由100°C下降到50°C所需的時間

(二)圖片代號或圖例符號說明

圖片代號	代表物品	圖例符號	代表意思	圖例符號	代表意思	圖例符號	代表意思
H	熱水鍋	H _{top}	熱水鍋的表層溫度	C _{top}	冷水鍋的表層溫度	hot	熱水鍋的外鍋水溫度
C	冷水鍋	H _{mid}	熱水鍋的中層溫度	C _{mid}	冷水鍋的中層溫度	cold	冷水鍋的外鍋水溫度
PC	負責處理數據記錄與分析的電腦	H _{bot}	熱水鍋的底層溫度	C _{bot}	冷水鍋的底層溫度		

貳、研究設備及器材

 溫度感測器 DS18B20 ●測量溫度(-55°C~+125°C) ●精確度： -10°C~+85°C:0.5°C -55°C~+125°C:2°C	 溢流器 ●利用飲料瓶改造，並連接矽膠管，可將外鍋水引導到特定深度	 溫度感測器固定架 ●利用鋁條改造，以縫衣線固定溫度感測器於其上 ●利用塑鋼土垂直固定	 致冷晶片(TEC1-3105SR 晶片)與熱電實驗裝置相接，通電運作促使冷水降溫	 升壓模組 將熱電晶片輸出電壓提升到5V	 USB 小風扇 與熱電實驗裝置相接，進行相關實驗
 抽水馬達 ●標示：電壓 12V；功率 3W ●提供外鍋水的循環動力 ●實際供電 6.7V、電流 90mA	 保麗龍箱 ●尺寸 48.0*41.0*24.5 (長*寬*高) ●提供密閉環境，減少熱量散失	 不鏽鋼網架 ●將冷、熱水鍋架高	 熱電實驗裝置 4 組熱電晶片(SP1848+散熱片，固定在 16cm*16cm 深鍋外側壁上)	 致冷實驗裝置 1 組致冷晶片+散熱片，固定在鐵製容器上，並包覆保溫材料	 電表*2 實驗過程中記錄電流，電壓
 ●16cm*16cm 深鍋含鍋蓋*2 ●盛裝實驗用的冷水及熱水	 ●18cm*5.7cm 淺鍋*1 ●盛裝冷水鍋的外鍋水	 ●18cm*13.6cm 深鍋*1 ●盛裝熱水鍋的外鍋水	 ArduinoUNO 板 ●記錄溫度、時間數據	 Arduino IDE ●撰寫記錄程式	 PLX-DAQ_release 2.0 ●由 Parallax, Inc 發行，可將 UNO 板偵測數據直接記錄到 EXCEL
			 Excel ●記錄及分析數據		

※實驗用冷水和熱水體積均為2L

參、研究方法

熱交換實驗設計



(一)開放空間，測量背景數據

1. 熱水鍋降溫時，溫度與時間的關係。

結果如右圖1，室溫下熱水自然降溫時間長，每個深度的水溫變化大致同步，水溫幾乎沒有分層現象。

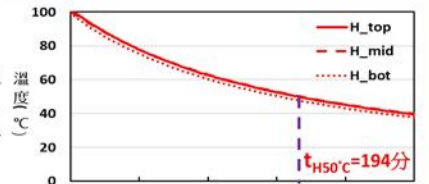
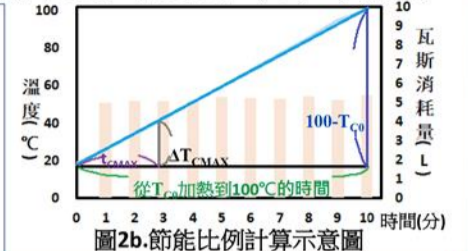
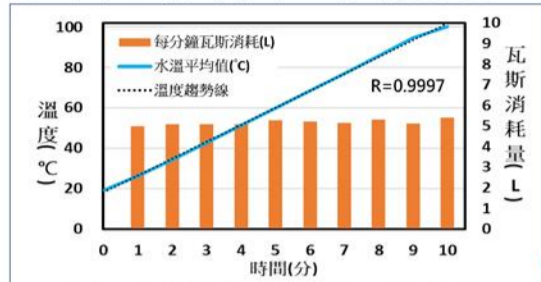


圖1.熱水鍋降溫時，溫度與時間的關係圖

2. 冷水鍋加熱時，溫度變化、消耗瓦斯量與時間的關係。



節能百分比 = (節省的能量 / 總能量) x 100% = (T_C0到T_CMAX的時間 / T_C0到100°C的時間) x 100% = (ΔT_CMAX / (100-T_C0)) x 100%

圖2a.冷水鍋加熱時，水溫、瓦斯消耗量與時間的關係(僅呈現大火的結果)

結果如圖2。由圖2a可看出在瓦斯穩定供應下，水溫上升和時間大致是線性關係(R=0.9997)。因此我們可利用上升的溫度為指標，估算節能的效率(圖2b)。

(二)開放空間中進行熱交換

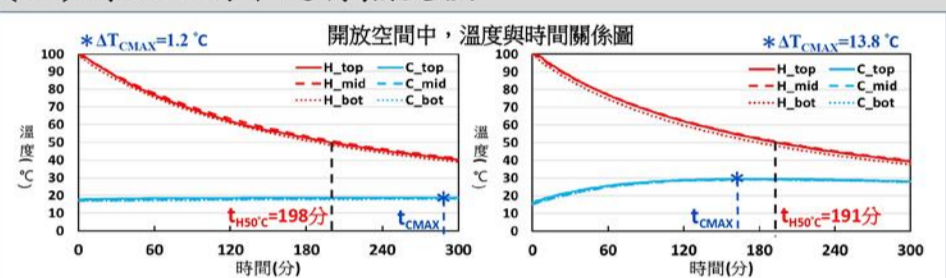


圖3.實驗(二)-1左右擺放 圖4.實驗(二)-2上下擺放

實驗(二)結果如圖3和圖4，上下擺放時的熱交換效果較好，冷水鍋到t_CMAX時，上下擺放熱量散失64000卡，左右擺放散失116000卡，由此可知上下擺放熱量損失較少。而比較圖3、圖4，上下擺放冷水鍋水溫明顯上升。

(三)保麗龍箱中進行熱交換，空氣為介質

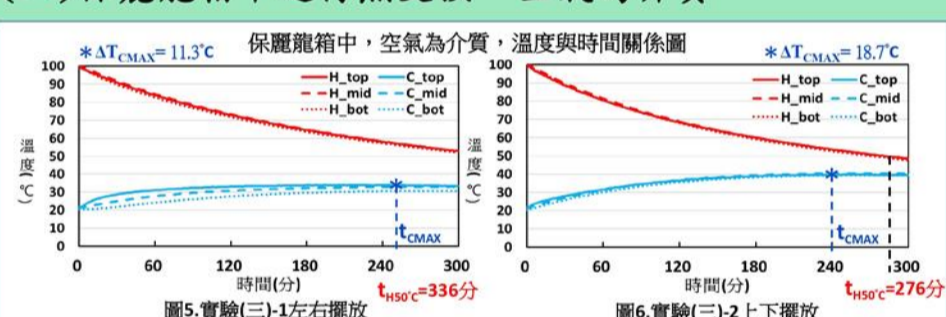


圖5.實驗(三)-1左右擺放 圖6.實驗(三)-2上下擺放

實驗(三)結果如圖5和圖6，冷水鍋到t_CMAX時，左右擺放的平均熱量散失較多(63667卡)，且冷水鍋略有分層(如圖5)，上下擺放的平均熱量散失較少(57500卡)，且無分層(如圖6)，但皆較開放空間損失熱量少。

(四)保麗龍箱中進行熱交換，大量介質水

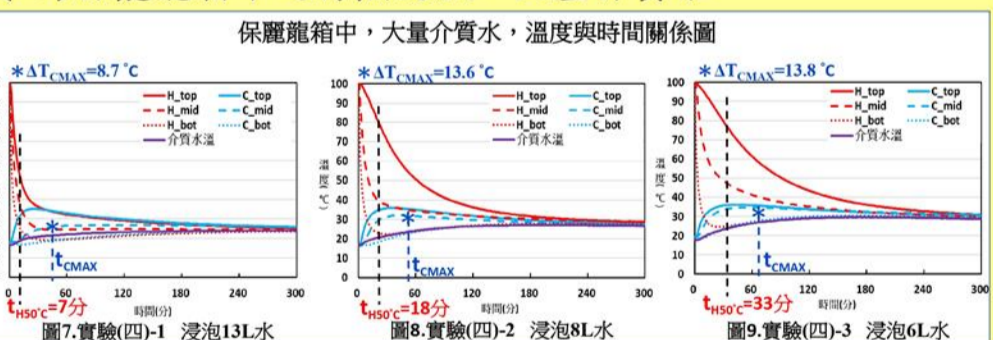


圖7.實驗(四)-1 浸泡13L水 圖8.實驗(四)-2 浸泡8L水 圖9.實驗(四)-3 浸泡6L水

實驗(四)結果如圖7、圖8和圖9，以大量的水為介質，t_H50°C與t_CMAX和實驗(三)相比明顯變短，但ΔT_CMAX和實驗(三)-1差不多。比較實驗(四)-1~(四)-3可見，介質水量越少時，熱水分層越明顯，表示熱水內部對流差，因此熱傳播效率差導致t_H50°C與t_CMAX越長。

經熱量計算，實驗(四)-1熱量散失最多(介質水佔62400卡，環境佔68400卡，共130800卡)，實驗(四)-3平均熱量散失最少(介質水佔56400卡，環境佔34733卡，共91133卡)。這些結果均與熱傳播效率差有關，導致熱水放出的熱無法有效傳遞到冷水處，反被介質水和環境吸收掉。由本實驗可知，必須減少介質水和改善對流不佳的問題，因此設計出實驗(五)的裝置。

(五)保麗龍箱中進行熱交換，少量介質水，有循環

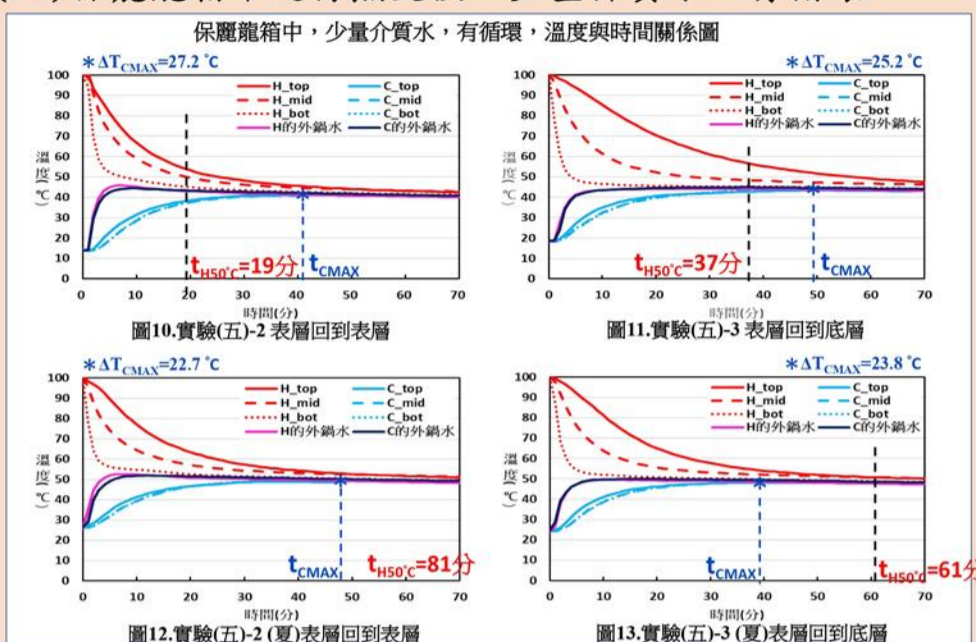


圖10.實驗(五)-2 表層回到表層 圖11.實驗(五)-3 表層回到底層 圖12.實驗(五)-2(夏)表層回到表層 圖13.實驗(五)-3(夏)表層回到底層

實驗(五)包含冬夏兩季結果如圖10~13，實驗(五)-2、實驗(五)-3冷水鍋溫度上升幅度與效率均優於實驗(二)~(四)。經熱量計算，實驗(五)-2到達t_CMAX時，平均熱量散失55700卡(介質水佔37809卡，環境佔17897卡)，均優於實驗(二)~(四)。冷水各層升溫曲線接近、分層不明顯，可見冷水內部的對流效果佳。

「實驗(五)-2(夏)」、「實驗(五)-3(夏)」在五月時進行。夏季T_C0較高，導致ΔT_CMAX較小，且t_H50°C較長，但不影響熱交換後的節能效能。

(六)僅有熱水鍋時，廢熱的應用

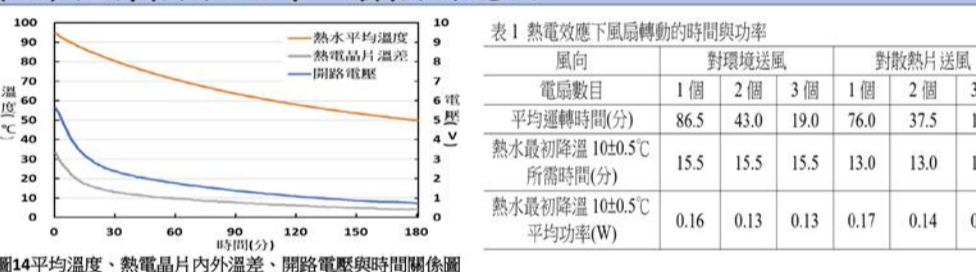


圖14.平均溫度、熱電晶片內外溫差、開路電壓與時間關係圖 圖15.致冷晶片冷面、熱面溫度、功率與時間關係圖 圖16.致冷晶片冷卻水，水溫變化、功率與時間關係圖

表1 熱電效應下風扇轉動的時間與功率。包含風向、電扇數目、平均運轉時間、熱水最初降溫所需時間、熱水最初降溫平均功率等數據。

實驗(六)測量開路電壓、溫度與時間，結果如圖14。加入熱水後溫差最大，產生的電壓可達5.62V，但隨後熱電晶片兩側的溫差急速縮小，電壓也急速降低。利用熱電晶片發電提供給USB小電扇(1~3個)運轉，相關數據如表1。表中以功率(工作電壓x工作電流)為單位時間消耗能量指標。風扇對散熱片送風可以略微增加功率與縮短熱水降溫10°C所需時間。利用熱電晶片發電提供致冷晶片(未絕熱)運作，致冷晶片兩面溫差、消耗功率與時間關係如圖15。致冷晶片兩面溫差最高可達9.2°C。利用熱電晶片使致冷晶片於絕熱環境中冷卻20ml的水，水溫、消耗功率與時間關係如圖16，最多可降溫0.8°C。

伍、討論

一、「實驗(一)~實驗(五)」，各項數據的比較

(一) t_H50°C時間的比較

50°C是一般醫學建議飲用水溫度的上限。所以t_H50°C代表熱水從沸騰降溫到人類可飲用溫度上限所需時間。由右圖17可知實驗(四)利用大量介質水與實驗(五)少量介質水搭配循環可以大幅縮短熱水降溫時間。夏季因室溫較高，冷水達最高溫時，熱水仍未降至50°C，t_CMAX之後，熱水等同室溫中降溫，所以t_H50°C比冬季實驗明顯增加。

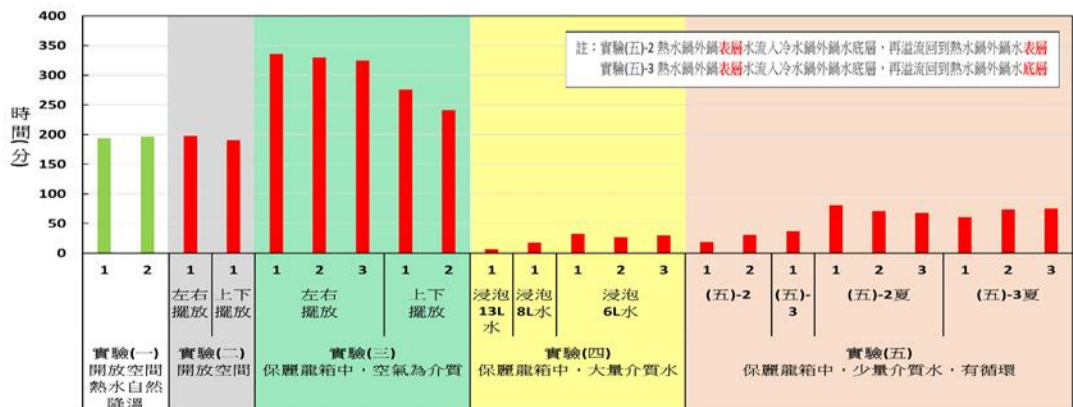


圖17.各種不同操作下的t_H50°C比較圖

(二) ΔT_{CMAX} 溫度的比較

這個數據代表冷水鍋所吸收的總熱量。如圖18可見，實驗(五)用少量介質水搭配循環，使冷水鍋能得到較多熱量。實驗(三)各組實驗有保麗龍箱隔絕熱量散失，雖沒有介質水導致時間較長，但還是有不錯的廢熱利用效果。特別是實驗(三)-2鍋子上下擺放，除熱輻射與空氣對流之外，再加上不銹鋼鍋的熱傳導，甚至有超過22°C的升溫效果。

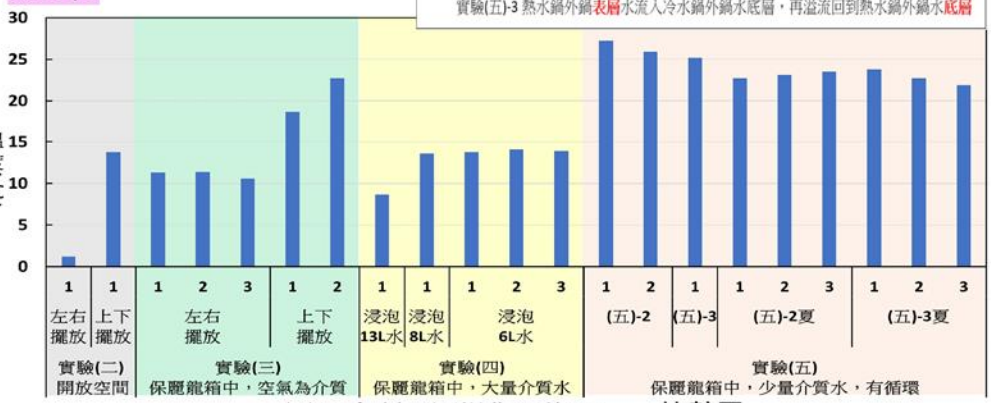


圖18.各種不同操作下的 ΔT_{CMAX} 比較圖

(三) t_{CMAX} 、 $t_{C90\%}$ 、 $t_{C80\%}$ 時間的比較

這個數據代表冷水鍋溫度上升的速度，也就是熱交換的效率。 t_{CMAX} 與 $t_{C90\%}$ 、 $t_{C80\%}$ 時間會有很大的差異。為了再多一點溫差，需要等將近一倍時間，效益上是否值得？我們再觀察不同的實驗設計，有些實驗雖然 ΔT_{CMAX} 高，但卻會需要很長的時間。例如實驗(二)、實驗(三)沒有介質水，僅利用熱輻射與空氣傳播熱能，熱交換效率明顯低於有介質水的實驗(四)與實驗(五)。直接以大量介質水浸泡實驗(四)熱交換速度看似最快，但對照 ΔT_{CMAX} 卻不理想。由圖19看來實驗(五)抽水馬達造成介質水強制循環，熱傳播效果較好。

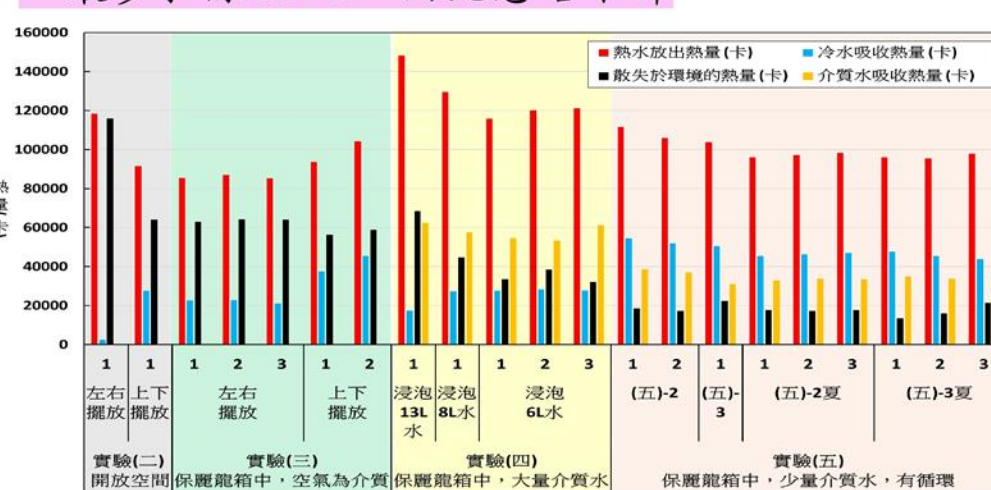


(四) 熱量散失的探討

根據「熱量=質量×比熱×溫度變化」與「能量守恆定律(放熱總和=吸熱總和)」。實驗中熱水鍋溫度最高，所以會放熱；冷水鍋、介質水與環境中其他物品溫度低於熱水鍋，可以吸收熱水鍋釋放的熱量。圖20可觀察實驗(三)熱量散失看似沒有特別多，是因為到達 ΔT_{CMAX} 時，熱水鍋溫度偏高，所以累計釋放的熱量較少，由於缺少適當的傳熱介質，所以熱水鍋釋放的熱量無法有效被冷水鍋吸收，因此冷水鍋水溫無法上升而實驗終止。實驗(四)中熱水鍋放出的熱量被大量介質水吸收，導致冷水鍋溫度無法上升。

實驗(五)減少介質水，並使用抽水馬達增加介質水循環。冷水鍋吸收熱量增加，散失到介質水與環境的熱量明顯減少，熱交換效果明顯改善，並縮短熱交換時間。若能再減少散失於介質與環境的熱量，將可再提升節能效果，這是未來檢討與改進的依據。

至於使用抽水馬達消耗的能量經計算1分鐘消耗約8.656卡的能量，實驗(五)使用抽水馬達時間都在120分鐘以內，換算消耗能量不超過1000卡，最多扣除0.5°C，因此忽略不計。



(五) 節能效果的比較

本實驗定義節能百分比(%)= $\frac{\text{冷水鍋最大溫度變化}}{(100^\circ\text{C}-\text{冷水鍋初溫})} \times 100\%$ (註：理論上本實驗熱交換的比例最多為50%)。

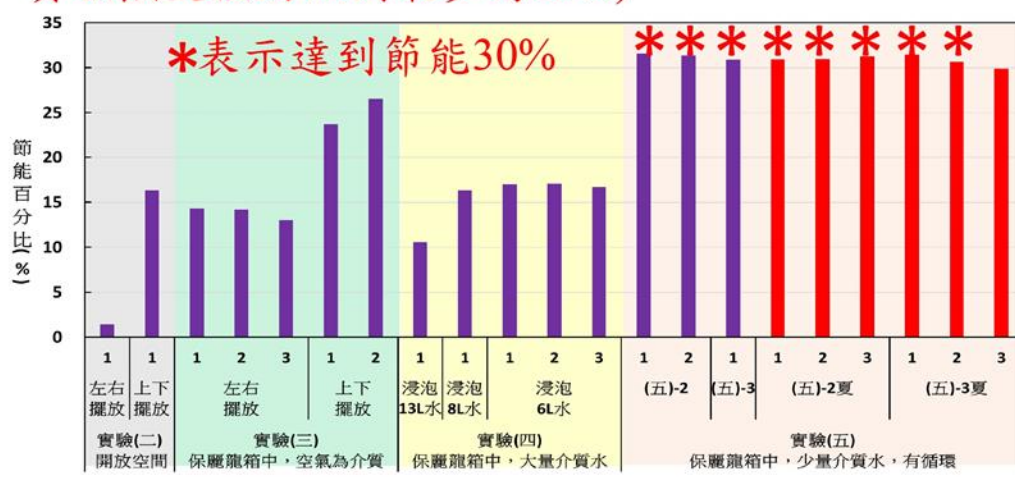


圖21.各種不同操作下的節能百分比(%)

實驗(五)中，除「(五)-3夏」第三次(29.9%)之外，其餘各次都達到節能30%以上的效果！(圖16) 國發會於111年年底所公布我國2030年的減碳目標為24%(以2005年為基期)。我們利用簡單裝置回收廚房廢熱，竟然提前7年就超越了這個目標，達到約30%的減碳效果！因為方法簡單，我們很希望和大家分享，希望大家能一同為減碳努力並且落實在生活中。扣除實驗(二)-1室溫中左右擺放的實驗，其他方式至少有10%以上的節能效率，實驗(二)-2在室溫中上下擺放也能節省16.3%的能源，但所需時間較長。

二、實驗(六)中，熱水最初降溫 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，熱電晶片能源轉換的探討

我們比較熱水降溫所釋放熱量與風扇運轉或致冷晶片所消耗能量，發現實驗(六)熱電晶片的能源轉換率均未超過0.2%，無文獻上所說3%~5%。推測原因是我們是利用沸水與室溫水進行溫差發電，溫差僅數十度，再加上沒有主動散熱，熱電晶片兩側溫差急速減小，減少了熱電晶片的效能。即使是溫差最大的最初降溫 10°C ，能源轉換率遠低於實驗(二)~(五)熱交換的結果(比較圖21與表2)。溫差發電在現階段實際應用的狀況較少，其中原因之一就是溫差發電的效能不理想，期待熱電材料專家能在這方面有所突破，讓未來多一種發電的選擇！

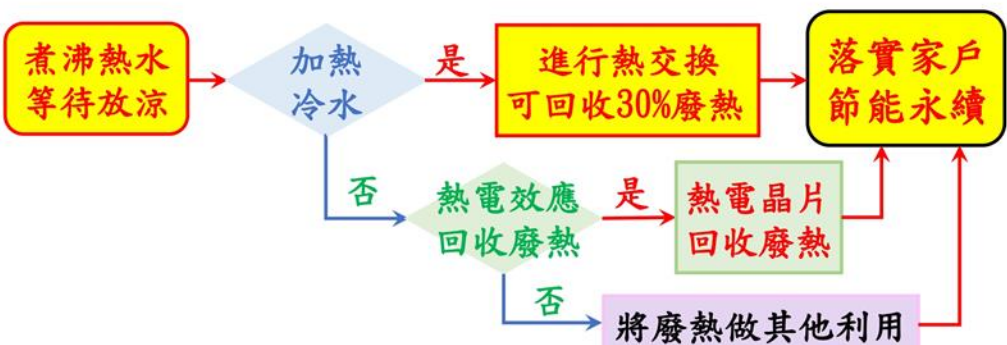
表2 能源轉換率

操作方式	對環境送風			對散熱片送風			致冷晶片測試時	致冷晶片降溫冷水	
	電扇數目	1個	2個	3個	1個	2個			3個
熱水最初降溫 $10 \pm 0.5^\circ\text{C}$		0.195	0.185	0.155	0.170	0.150	0.150	0.06	0.06
能源轉換率%									

三、檢討與展望

- (一)改良溫度感測器，使體積變小、降低對水溫的影響，並精確測量特定位置的溫度。
- (二)嘗試不同設計或材質減少熱量散失。
- (三)嘗試其他的導熱介質。
- (四)尋求本實驗中，熱電效應可以應用的地方。

陸、結論



現代人常為了追求效率而消耗過多資源。本實驗的結論：廢熱回收再利用是可行的，只要在烹煮下一餐前，提早約30~90分鐘進行熱交換，即使只是將冷熱鍋在室溫中上下堆疊，都能達到節能減碳的效果。

柒、參考文獻

洪連輝(民110年8月初版二刷)。國民中學自然科學2上：第五章冷暖天地。南一書局。
吳世國(2019年10月21日)。淺談工業廢熱回收。能源教育資源總中心。
<https://learnenergy.tw/index.php?inter=knowledge&caid=4&id=435>
許君咏(2021年8月3日)。氣候變遷，能源廢熱怎麼辦？—專訪國立陽明交通大學材料學與工程學系吳欣潔教授。科技大觀園。
<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=08451b61-5e40-48b3-baee-5b6625c0f897>
薛宇宏，蘇韋愷(2021)。瓦斯爐節能熱水器。中華民國第61屆中小學科學展覽會。
洪愷駿、王啟白(2017)。熱情來電。中華民國第57屆中小學科學展覽會。
國家發展委員會(2022年12月28日)。公布「十二項關鍵戰略行動計畫」全面推動淨零轉型目標。國家發展委員會新聞稿。
<https://money.udn.com/money/story/12926/6864902>