

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統的研究分析

**An Experimental Study on Flat Tube Adsorption Bed for Low
Temperature Dehumidification System**

計畫編號：108B011

受委託機關(構)：國立中央大學能源工程研究所

計畫主持人：楊建裕

聯絡電話：03-4267347

E-mail address：cyyang@ncu.du.tw

協同主持人：

研究期程：中華民國 108 年 4 月至 108 年 12 月

研究經費：新臺幣柒拾柒萬元

核研所聯絡人員：李恆毅

報告日期： 108 年 12 月 11 日

目 錄

目 錄.....	ii
圖目錄.....	iii
中文摘要.....	1
Abstract	2
壹、計畫緣起與目的.....	3
貳、研究方法與過程.....	7
參、主要發現與結論.....	25
肆、參考文獻.....	27

圖目錄

圖 1、一般吸附式除濕輪乾燥系統.....	4
圖 2、固體吸附式空調系統工作原理示意圖.....	5
圖 3、扁平管熱交換器.....	6
圖 4、重量量測法之實驗系統圖.....	8
圖 5、矽膠之等溫吸附性能曲線.....	10
圖 6、FAM Z05 沸石之等溫吸附性能曲線.....	11
圖 7(a)、吸附床組裝圖	13
圖 7(b)、扁平管熱交換器尺寸圖	14
圖 7(c)、扁平管截面尺寸圖	14
圖 7(d)、完成沸石塗佈後之吸附床實體照片	14
圖 8、開放式風洞系統.....	15
圖 9、穩定情況下吸附床之除濕能力測試結果.....	19
圖 10、空氣溫度 20°C、相對溼度 60~80°C、風速 1.36m/s、熱水 60°C，冷水 20°C 之測試結果	20
圖 11、空氣溫度 20°C、相對溼度 50~60°C、風速 1m/s、熱水 60°C，冷水 20°C 之測試結果	21
圖 12、空氣溫度 20°C、相對溼度 50~60°C、風速 1m/s、熱水 60°C，冷水 15°C 之測試結果	22
圖 13、空氣溫度 20°C、相對溼度 50~60°C、風速 1m/s、熱水 60°C，冷水 25°C 之測試結果	23
圖 14、空氣溫度 20°C、相對溼度 60~80°C、風速 2m/s、熱水 60°C，冷水 20°C 之測試結果	24

中文摘要

本研究針對扁平管吸附床應用於低溫除濕系統之相關技術進行分析研究。首先利用扁平管熱交換器之密緻性，將沸石等吸附材料當作除濕劑塗佈於熱交換器表面成為扁平管吸附床，再將此吸附床置於風洞中，量測其吸附性能。然後建立扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統之數學模型，並改善和優化扁平管吸附床應用於低溫乾燥除濕系統性能。

關鍵詞：吸附劑、除濕劑、沸石、乾燥除濕系統、扁平管

Abstract

This project will focus on the analysis and research of the flat extruded aluminum tube heat exchangers adsorption bed applying for low temperature dehumidification system. First of all, due to the compactness of the flat tube, zeolite was coated on the surface of the flat tube heat exchangers to be a flat tube adsorption bed. The adsorption bed was setup in an open wind tunnel to test its adsorption performance at various heating temperature and inlet air temperature and humidity. And then, the mathematic parametric model of flat tube heat exchanger for the dehumidification systems was built and the performance of this system is improved.

Keywords: Adsorbent, desiccant, zeolite, dehumidification system, flat tube

壹、計畫緣起與目的

一、研究背景

根據工研院統計指出，國內乾燥設備市場產值約新台幣 400 億元，近年逐年升高，國內急需節能且符合各式製程之乾燥設備。就全球而言，乾燥設備若分為常壓除濕乾燥、壓縮空氣乾燥、工業熱風乾燥設備、除濕防潮乾燥等四種類別，吸附乾燥設備產值分別約新台幣 1,800、1,700、450、380 億元，總值達新台幣 4,300 億元以上。目前國內主要乾燥設備供應商，使用的蜂巢式矽膠轉輪都是進口，核心元件掌握在國外手中，導致設備成本偏高。另外多採電熱方式加熱再生空氣，耗電量高增加操作成本。

一般吸附式除濕輪乾燥系統如圖 1 所示，外界再生空氣經電熱器加熱成高溫空氣後，進入除濕輪，將輪內吸附材加熱而將其中之水汽帶走，成高溫潮濕空氣流出。而潮濕吸附材中水汽被帶走後成乾燥吸附材，再經由除濕輪轉動，將乾燥吸附材轉至另一風道。在另一風道中，室內之潮濕空氣經由冷凍機冷卻後成低溫潮濕空氣，進入除濕輪後將乾燥吸附材冷卻，而空氣中之水汽由吸附材吸附，而成乾空氣流出，達到室內除濕之目的。此種方式需要利用電熱器去加熱外界空氣，再用已加熱之熱空氣來加熱吸附材，使其產生水汽脫附。由於採取間接加熱方式，使其加熱過程產生多段熱

阻，而影響其加熱性能。

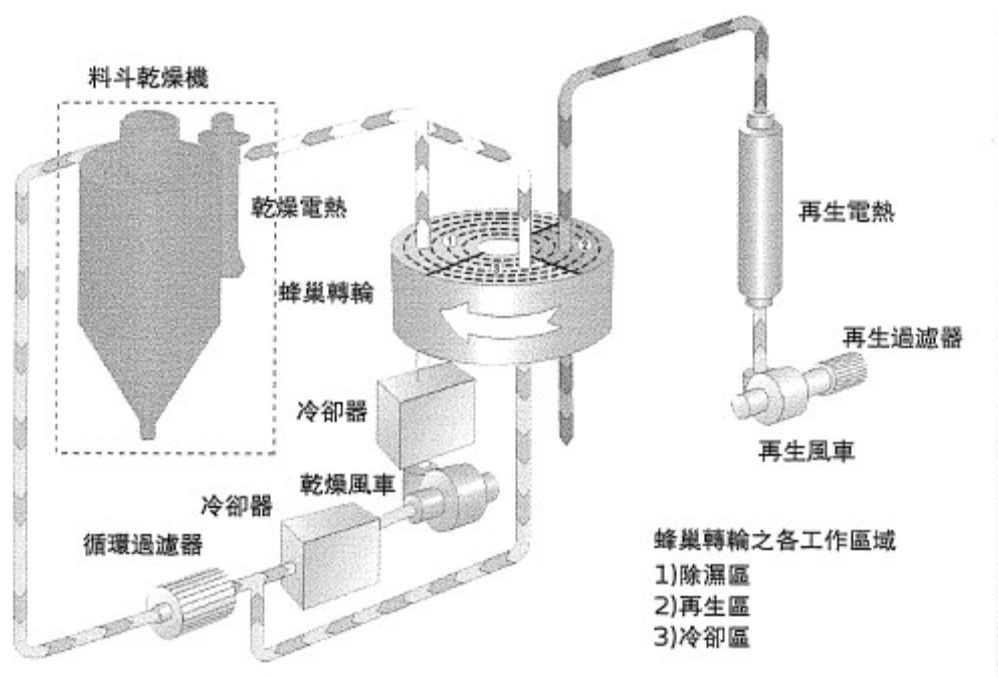


圖 1、一般吸附式除濕輪乾燥系統[1]

在吸附式製冷應用中，多採用如圖 2 所示之直接加熱或冷卻方式，將熱水直接通入吸附床，加吸附材加熱而脫附水汽，或是將冷水通入吸附床，使吸附材冷卻而吸附水汽。吸附床中所用加熱水管，傳統多使用圓管，近年來已開始有研究使用如圖 3 所示之扁平管為加熱水管。相較於圓管，扁平管具有體積小、重量輕、以及密緻性高等優點，可以在較小空間中產生較多之冷卻能力。

就先前文獻顯示，一般直接加熱式除濕系統多使用電熱片，使用廢熱加熱之應用較少。另由於扁平管雖曾應用於吸附式製冷系統，但尚未有研究應用於除濕，因此本研究預定針對扁平管吸附床

應用於除濕系統之相關技術進行分析研究，期能建立扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統之參數模型，並改善和優化扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統性能。

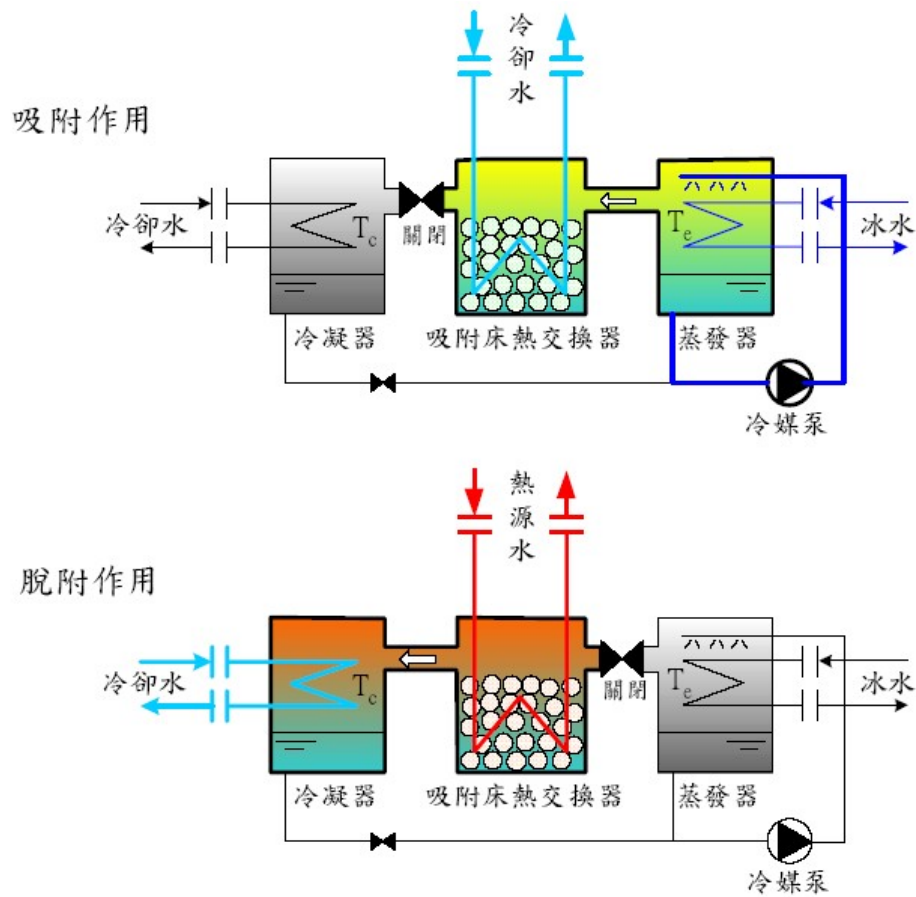


圖 2、固體吸附式空調系統工作原理示意圖 [2]

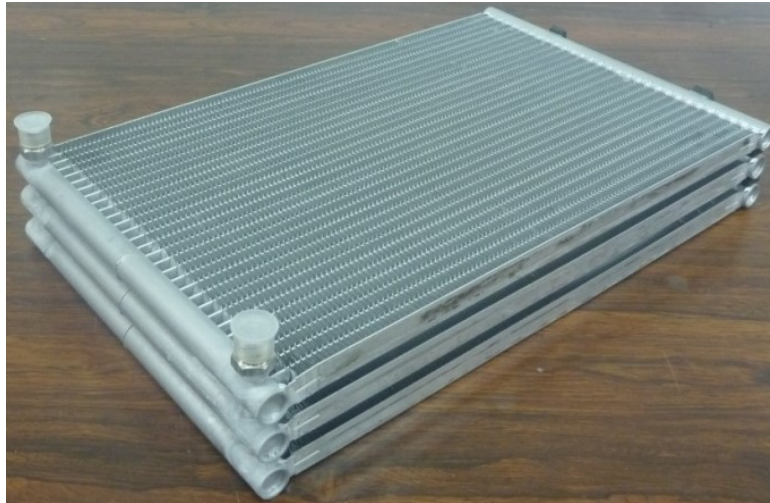


圖 3、扁平管熱交換器

二、研究目的

本研究預定針對扁平管吸附床應用於除濕系統之相關技術進行分析研究，利用扁平管熱交換器之密緻性，將沸石等吸附材塗佈於熱交換器表面成為扁平管吸附床，再將此吸附床置於風洞中，量測其吸附性能。期能建立扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統之參數模型，並改善和優化扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統性能。

貳、研究方法與過程

一、工作項目

本計畫預定利用扁平管熱交換器之密緻性，將沸石吸附材塗佈於熱交換器表面成為扁平管吸附床，再將此吸附床置於開放式風洞中，於熱交換器管內通入不同溫度熱水，管外則通過經由風洞所提供之不同溫、濕度空氣，如此測試不同溫度吸附材在不同溫、濕度空氣中之除濕能力。分析不同工作條件對不同吸附材料性能之影響，並得出扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統之改善和優化方案。各項預定工作步驟如下：

1. 扁平管吸附床之相關資料蒐集與探討。
2. 分析各種扁平管吸附床材料之吸脫附特性。
3. 建立扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統之參數模型。
4. 扁平管吸附床應用於低溫乾燥系統之改善和優化。

二、吸附材料之吸脫附特性

吸附材料(吸附劑)之吸附性能對整個除濕系統之工作設計至關重要，本研究使用重量量測法量測吸附材料之吸水量變化，重量量測法是利用吸附材料吸附水汽後之重量和吸附材未吸附水汽(及乾燥狀態下)下之比值來計算吸附性能，實驗系統圖如圖 4 所示，本實驗使用電鍍鎳之鋁材做為鋪放沸石之平台，其內側

長 220 mm、寬 220 mm、深 20 mm、厚度為 1 mm，中間地方則鑽直徑 8 mm 之孔，使平台能與荷重器用螺絲固定於真空腔體中以荷重器量測秤盤中吸附材料的重量變化，並同時以電熱片控制吸附材料溫度以及並控制恆溫水槽進入蒸發器溫度以控制真空腔體內之水汽壓力，實驗操作步驟如下：

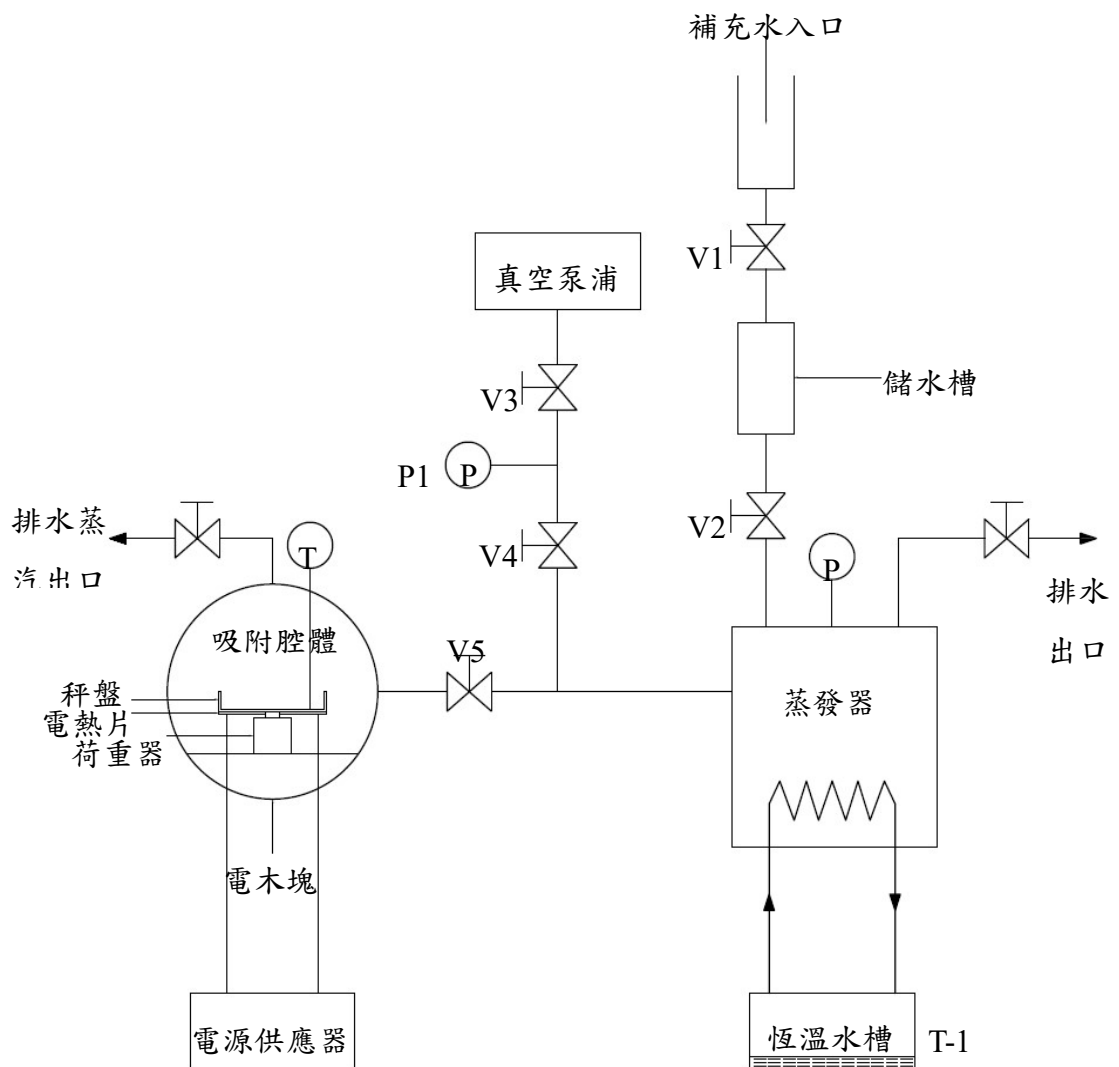


圖 4、重量量測法之實驗系統圖

1. 將吸附劑烘烤至乾燥，記錄乾燥吸附劑重量，再將烘烤過後的吸附劑鋪放至重量量測平台，並將其放置腔體內部，然後鎖上腔蓋。
2. 將真空泵開啟，打開V3 和V4 閥門，開始抽真空。在V4 閥門開啟時，由於吸附劑是粉狀，須緩緩開啟，。
3. 觀察真空計P1，當壓力低於 0.1 torr時，將V4 閥門關閉，打開V5 閥門並開啟資料擷取系統開始擷取，記錄壓力、溫度和重量變化。
4. 當壓力、溫度和重量穩態時，記錄以上數值並停止擷取。
5. 開始調整T-1 改變水汽壓力，開啟資料擷取系統，並且重複步驟 5，直到完成吸附性能實驗。

本實驗量測之吸附劑之乾燥重量分別為矽膠 128.4g，金屬有機框架 110.8g，FAM Z05 沸石 109.3g，並以吸附率(X)做為吸附性能指標，定義為：

$$X = \frac{\text{吸附水汽質量}}{\text{乾燥吸附材質量}} \quad (1)$$

矽膠、FAM Z05 沸石實驗結果依序如圖 5、圖 6，縱坐標為吸附率，橫坐標為蒸發器之溫度，各吸附材料之吸附率隨蒸發汽飽和溫度上升而增加，而在同樣的蒸發器飽和溫度下，較低的吸附材溫度可達到較高的吸附率，較高的吸附材料溫度其吸

附率則較低，因此可運用此特性控制吸附材溫度以及空氣中水汽壓力在吸附過程有較高吸附率，而脫附過程有較低吸附率，將水汽排除完成除濕，而FAMZ05 之吸附曲線相對矽膠在超過特定蒸發溫度會有陡升的現象，並達到其最高吸附率，矽膠個溫度之曲線皆較為平緩，因此在實際乾燥系統應用上，FAMZ05 更能在較少的溫度差下完成相同吸脫附差之吸脫附循環，因此本研究將使用FAMZ05 為吸附材料，並將吸附材料吸脫附特性於系統參數模型進行分析。

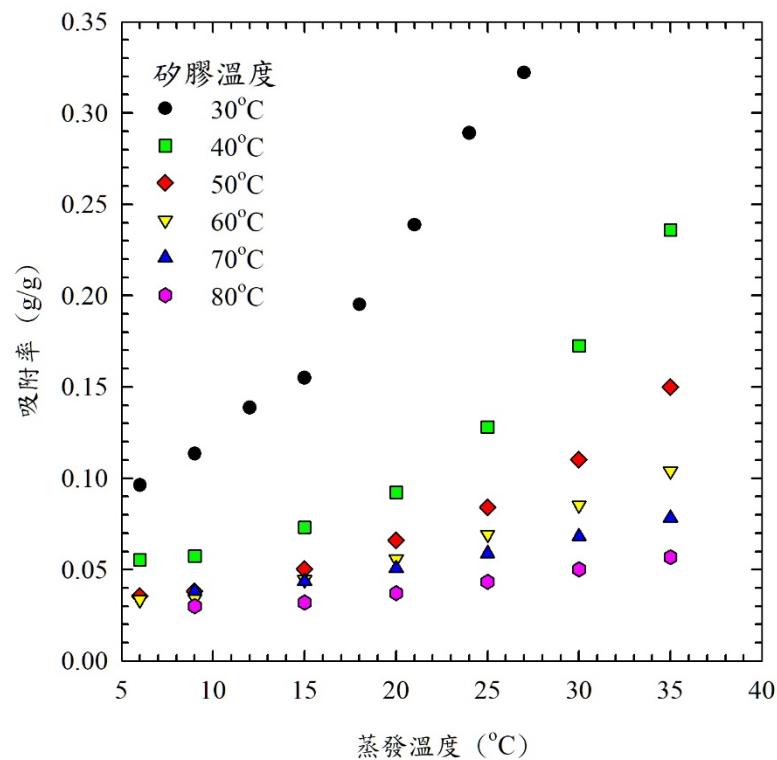


圖 5、矽膠之等溫吸附性能曲線

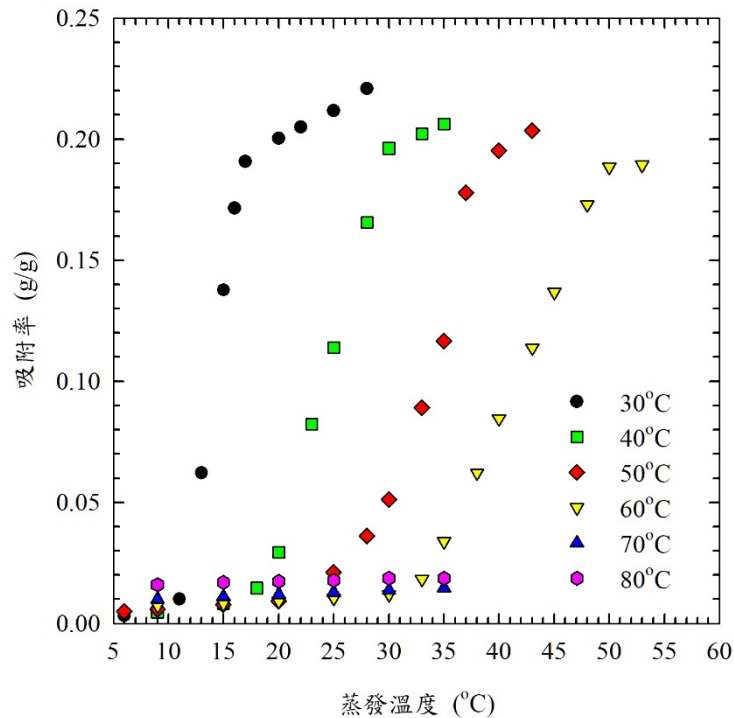


圖 6、FAM Z05 沸石之等溫吸附性能曲線

三、除濕能力測試系統

扁平管吸附床由數片不同大小之扁平鋁擠型管熱交換器所組合而成。設計參數包括扁平管尺寸、每片熱交換器尺寸、熱交換器片數、以及吸附材塗佈厚度、吸附材間隙等。吸附材厚度越厚，可塗佈吸附材越多，亦即可吸附水汽越多。但由於吸附材厚度大，由管內熱水經由吸附材傳至吸附表面之熱阻亦越大。另外吸附材間隙越小，可塗佈吸附材亦越多，但水汽流經吸附材間隙之阻力也越大，此會影響吸附性能。因此需依據整體吸附器性能測試結果，計算其熱傳量、吸附量而獲致最佳設計結果。本實驗

室曾依據不同參數之實驗結果，編撰吸附床設計程式，可據以作為吸附床優化設計之工具。

本研究所測試吸附床如圖 7(a)所示，由九片不同大小之扁平鋁擠型管熱交換器所組合而成，其中最大片(中間)扁平管熱交換器尺寸如圖 7(b)所示，圖 7(c)為扁平管之截面圖，而圖 7(d)為完成沸石塗佈後之吸附床實體相片。

另外，對於吸附劑填放於吸附床之方式，傳統上大致可分為填充式、固化式、塗佈式等三種型式。不同的填放方式各有不同的熱傳及質傳特性，以下分別簡述。

填充式吸附床即是將吸附劑直接堆疊於熱交換器與鰭片之間，並在外層包覆金屬網將吸附劑固定。這種方式吸附劑彼此沒有緊密的接觸，填充密度不高，但是由於吸附劑間的空隙較大，有利於冷媒蒸汽的流動，與其他填放方式相比有較好的質傳性能。但是吸附劑與熱交換器，以及吸附劑相互間的熱傳阻力太大，使得系統性能下降，且填充式的吸附劑密度較低，造成所需的熱交換器體積增大。

固化式吸附床主要是將吸附劑研磨成粉狀，並與黏結劑均勻混合，經一些處理程序，如加壓或加熱後，得到所需形狀的固化吸附劑。此種方式之吸附劑由於經過加壓處理，使得吸附劑間的空隙相當小，可有效的提升堆疊密度，並增加熱傳係數。另外，

固化式吸附劑在固化過程及可塑型，使固化後的塊狀結構能與熱交換器及鰭片緊密結合，減少接觸熱阻。

此種吸附床將吸附劑與特定黏著劑混合置於熱交換器表面，經過處理使之固化，使之附著於熱交換器，由於可控制塗佈之厚度，厚度越薄，其熱阻越小，且吸附劑與熱交換器表面藉由黏著劑而能緊密接觸，有效降低接觸熱阻，而提升吸附床的性能，因此本研究利用塗佈式將吸附劑塗佈於扁平管熱交換器上，並進一步進行除濕能力測試。

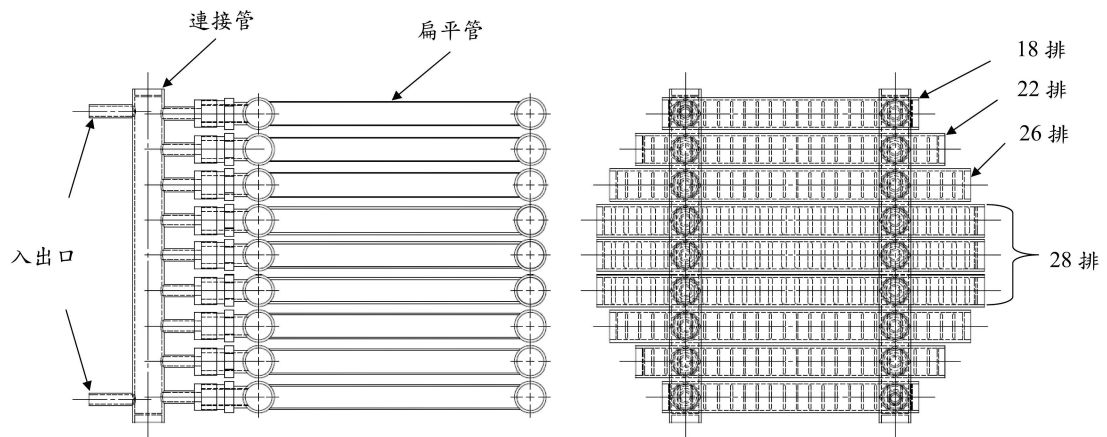


圖 7(a)、吸附床組裝圖[3]

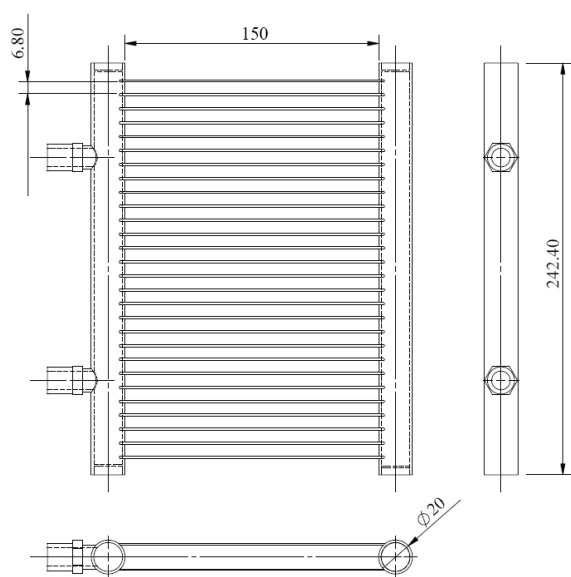


圖 7(b)、扁平管熱交換器尺寸圖

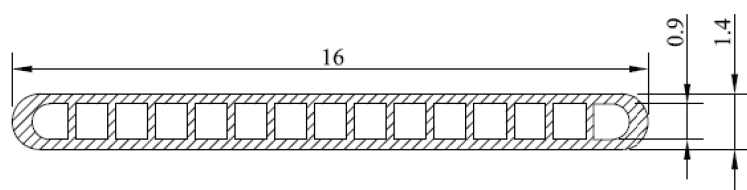


圖 4(c)、扁平管截面尺寸圖

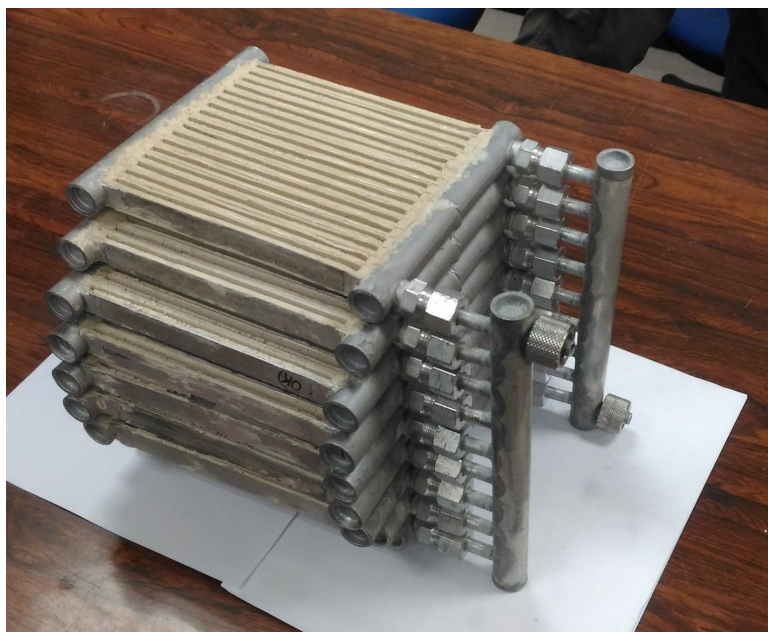


圖 7(d)、完成沸石塗佈後之吸附床實體相片

測試時，將前述吸附床置於如圖 8 所示之開放式風洞系統中，利用風扇調整流經吸附床之風量，利用恆溫槽控制流經吸附床之熱水溫度，整體風洞置於一可控制溫、濕度之環控室中，利用環控室提供所需之進氣溫、濕度。本研究使用 FAM-Z05 沸石為吸附材，測試條件如下：

1. 吸附床溫度：20~80 °C
2. 空氣溫度：20 °C
3. 空氣濕度：50~60 %
4. 空氣流速：0.5~2.0 m/s
5. 吸附材塗佈質量：1.17kg

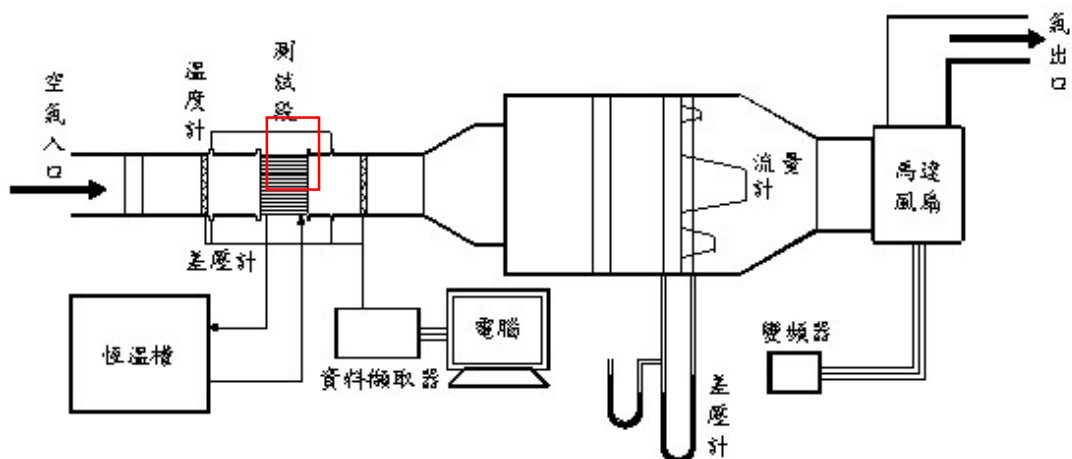


圖 8、開放式風洞系統

上述之參數模型使用圖 666 之預期吸附性能加以分析，由參數設定之溫度 20、40、60、80 度以及相對濕度 50~60%，使用相對濕度 RH 與空氣中水氣飽和壓力 $p_{\text{vap,sat}}$ 兩水氣分壓 p_{vap} 的關

係式：

$$p_{\text{vap}} = RH \times p_{\text{vap,sat}}$$

得出 FAMZ05 在 20、40、60、80 度、相對濕度 50~60%間之飽和壓力皆分別為 1.28、4.01、10.83、25.77kPa，所對應之飽和溫度為 10.7、29.2、47.6、65.9 攝氏度，對應圖 6 之吸脫附曲線可得 40、60 度吸附率為 0.19、0.18 和 0.02，因此從吸附床由 80 度至 40 度預計可吸附 198.9 克的水汽，然而，實際上在吸附床通熱水時，由於有空氣側之空氣同時對吸附床進行熱交換，因此吸附床並非確切之 40 度、60 度與 80 度，其吸脫附性能尚須由實驗加以測試。

三、除濕能力測試方法

本研究使用 FAM-Z05 沸石塗佈於扁平管熱交換器上，並進行除濕性能探討，共進行兩種不同運轉情況之吸、脫附性能測試，第一種為在穩定情況下測試吸附床之除濕能力，另一種為在不同熱水溫度變化下之循環除濕能力測試。

3.1 穩定情況下吸附床之除濕能力測試

本研究實驗以通入 80 °C 熱水直至吸附材脫附完成為基準，量測在水側溫度為 60、40、20 °C 時、以及在空氣流速 0.5、1、1.5、

2 m/s 之吸附床之吸水量。整體吸附床塗佈 1.17 kg 之吸附材，並安裝於風洞中進行實驗測試，詳細實驗步驟如下：

1. 環控系統打開控制溫度在 25 °C，濕度維持在 50-70 %，靜待 2 小時待溫度達成穩態。
2. 通入 80 °C 熱水於吸附床(測試段)中，並控制風洞中空氣流速為 2 m/s，直到入出口溫度、濕度不再發生變化。
3. 將恆溫水槽溫度降至 60 °C，量測並記錄入、出口空氣溫、濕度直到溫度濕度直到穩定，不再變化。
4. 依序將恆溫水槽溫度降至 40 °C 及 20 °C，重複步驟 3。
5. 改變風速，重複步驟 2~4。

3.2 在不同熱水溫度變化下之循環除濕能力測試

吸附式乾燥系統在實際運作上需不斷進行吸附與脫附才能對空間不斷的進行除濕，傳統除濕輪式乾燥系統利用持續旋轉使吸附材料在旋轉至室內側進行吸附除濕，至室外側則進行脫附排濕，而熱交換器式之吸附床則利用兩個吸附床，一個通室內空氣與冷水進行吸附除濕另一則通室外空氣與熱水進行脫附排濕。固定時間後原先通室內空氣之熱交換器換成通室外空氣及熱水進行脫附排濕，另一熱交換器則通室內空氣與冷水進行吸附除濕，並不斷循環，因此本研究針對單一熱交換器在固定時間內進行吸脫附過程的性能分析。

實驗參數為熱水溫度、冷水溫度、空氣側入口溫度以及空氣流量，本實驗研究在熱水 60 °C、冷水 20 °C 及空氣 20 °C 下改變空氣入口風速 1 m/s 以及 2 m/s 的吸脫附循環實驗。另針對固定熱水 60 °C、空氣溫度 20 °C 以及固定 1 m/s 的風速下，改變冷水溫度之吸脫附量實驗。實驗詳細步驟如下：

1. 將環控系統打開控制溫度在 20 °C，濕度維持在 50-70%，靜待 2 小時待溫度達成穩態。
2. 通入熱水於吸附床(測試段)中，10 分鐘後切換至冷水，固定流速於 4.5 l/min，10 分鐘後再度切為熱水。
3. 重複循環步驟 2 十次確保每次吸脫附量趨於固定並紀錄之。

四、除濕能力測試結果

4.1 穩定情況下吸附床之除濕能力測試結果

穩定情況下吸附床之除濕能力測試結果如圖 9 所示，除濕能力係由空氣入、出口絕對濕度差，乘以空氣流量而得。由圖可看出，除濕量隨吸附床溫度增加而降低，同時隨風速增加而增加。由於本研究以 80 °C 時之吸濕量為基準，因此在熱水溫度為 80 °C 時除濕量在各種風速情況下皆接近為零。當吸附床溫度高時，吸附材之吸附率低，因此當空氣流經吸附床時，不易再吸附水汽，因此除濕能力較低。相反當吸附床溫度低時，吸附材之吸附率高，因此當空氣

流經吸附床時，較易從空氣中吸附水汽，因此除濕能力較高。和熱傳係數相似，一般空氣的質傳係數與風速成正比，因此當風速高時除濕能力亦較高，而風速低時除濕能力較低。

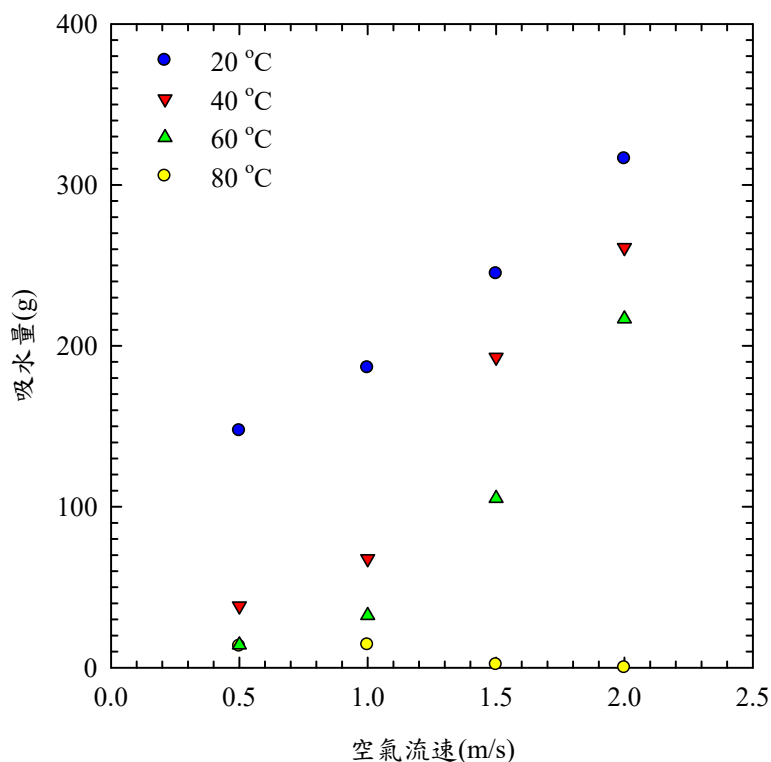


圖 9、穩定情況下吸附床之除濕能力測試結果

4.2 在不同熱水溫度變化下之循環除濕能力測試

本研究分別改變入口冷水溫度、風速，以及冷水溫度，測試在熱水溫度為 60 °C、入口空氣溫度為 20 °C、相對濕度約為 60 %時，空氣流經吸附床之溫、濕度變化，循環時間皆為加熱 10 分鐘，冷卻 10 分鐘，此結果可以做為吸附床設計改良時依據。

圖 10 為空氣溫度 20 °C、相對濕度 60~80 %、風速 1.36 m/s、熱水 60 °C，冷水 20 °C 之測試結果，由於水流量固定，因此入、

出口水溫差及為整體吸附床及空氣吸收之熱量。由圖可看出當剛開始通入熱水，加熱時吸附床時，入、出口水溫度差約 7.1 °C，由於吸附床逐漸升溫，因此吸收之熱量亦逐漸減少，因此入、出口之水溫度差逐漸降低至約 5.1 °C。空氣出口溫度隨吸附床溫度上升而上升，但入口溫度則因受環控溫度精確度影響而呈現波動，空氣入出口絕對濕度因受入口溫度影響亦呈波動狀。於此過程中，吸附床為加熱除濕狀態，因此空氣出口濕度高於入口濕度，但此入出、口濕度差則隨時間而減小，此乃由於吸附床溫度上升逐漸脫附完成所致。

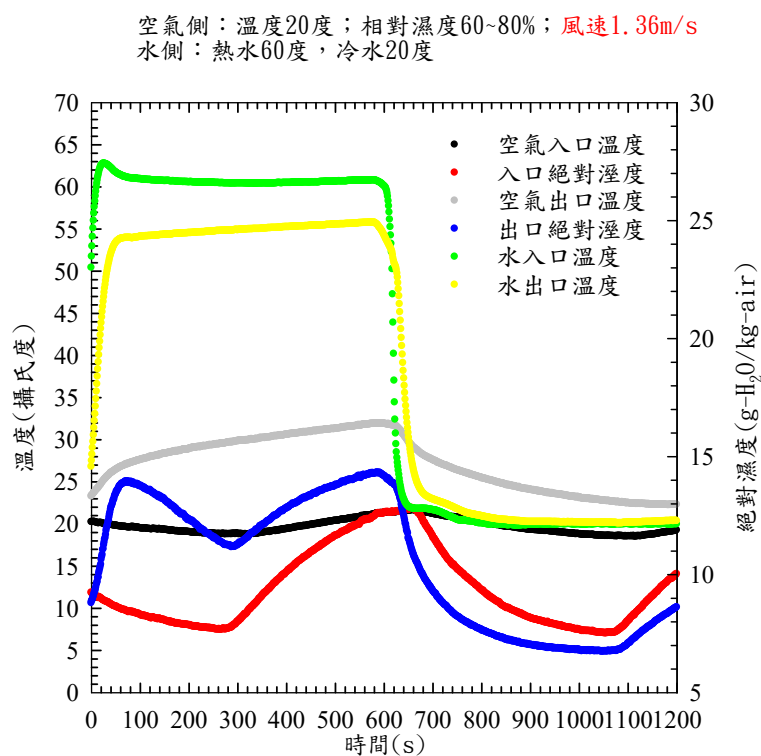


圖 10、空氣溫度 20 °C、相對濕度 60~80 %、風速 1.36 m/s、熱水 60 °C，冷水 20 °C 之測試結果

圖 11 為空氣溫度 20 °C、相對濕度 50-60 %、風速 1 m/s、熱水 60 °C、冷水 20 °C 之測試結果，入口水溫及空氣溫濕度變化趨勢大致和圖 7 類似，但由於風速較小，熱傳及質傳係數皆較低，因此入、口水溫差較風速為 1.36 m/s 時低，而空氣入、出口溫度差則較低。由於在加熱過程空氣對吸附床冷卻，因此吸附床溫升過程較慢，但在冷卻過程時，空氣亦對吸附床冷卻，因此吸附床降溫過程較快。

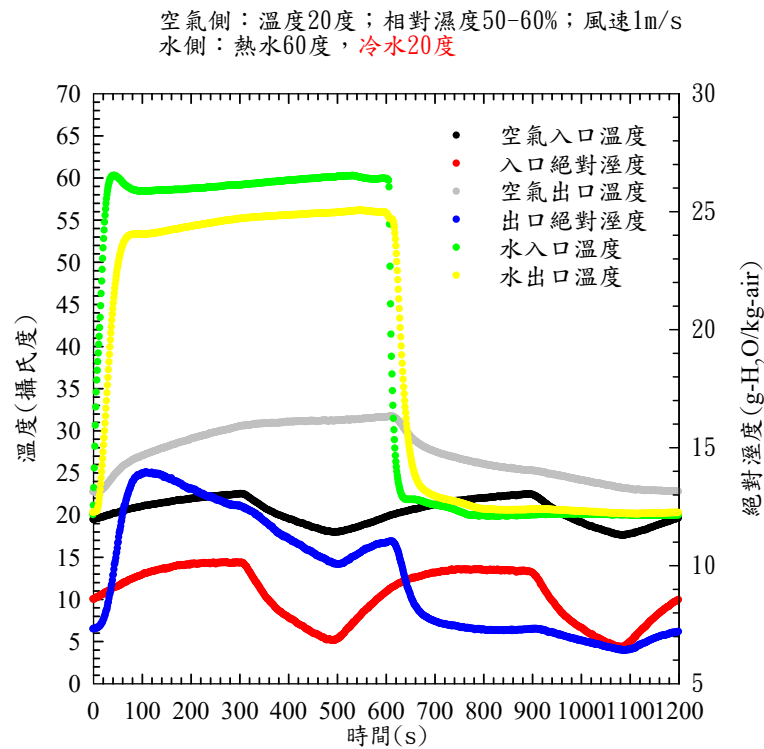


圖 11、空氣溫度 20 °C、相對濕度 50-60%、風速 1 m/s、熱水 60 °C、冷水 20 °C 之測試結果

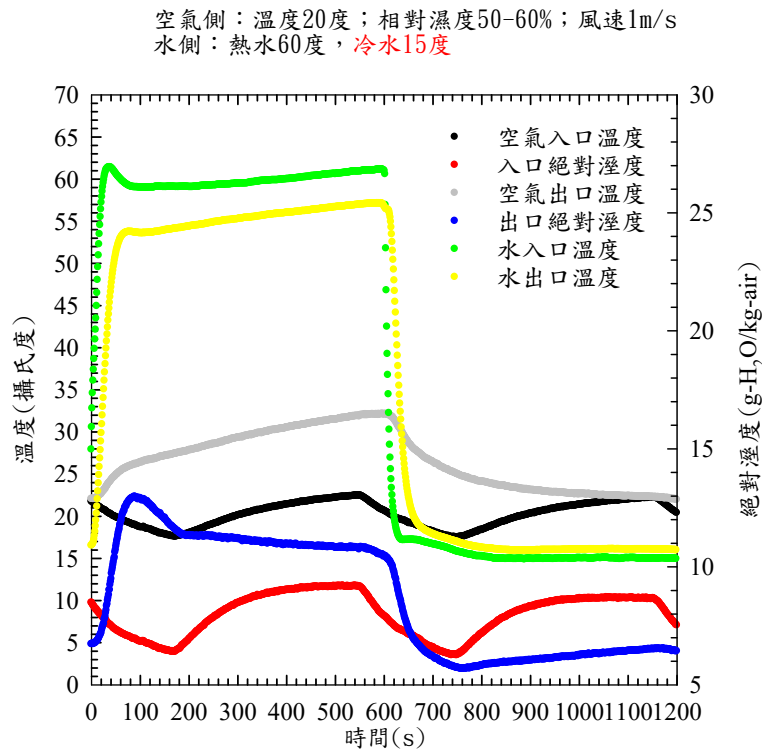


圖 12、空氣溫度 20 °C、相對濕度 50-60%、風速 1 m/s、熱水 60 °C、冷水 15 °C 之測試結果

圖 12 為空氣溫度 20 °C、相對濕度 50-60%、風速 1 m/s、熱水 60 °C、冷水 15 °C 之測試結果，圖 13 則為在其他條件相同下，冷水溫度為 25 °C 之測試結果。此三圖之唯一差異為冷水溫度不同，由圖可看出，當冷水溫度為 15 °C 時，吸附床最後冷卻溫度亦較低，吸附能力較高，因此入、出口空氣濕度差異較大。反之當冷水溫度為 25 °C 時，吸附床最後冷卻溫度最高，吸附能力最低，因此入、出口空氣濕度差異最小。

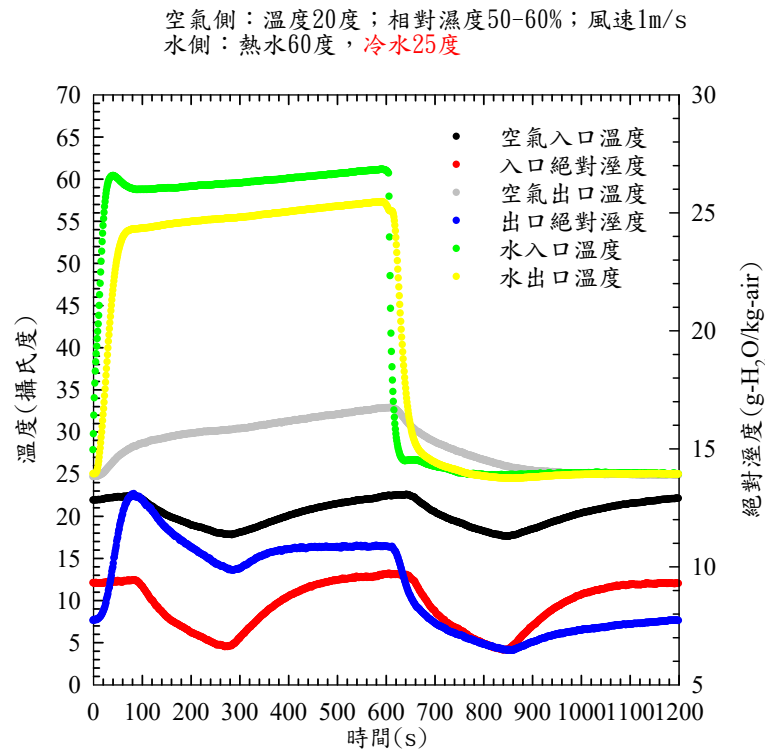


圖 13、空氣溫度 20 °C、相對濕度 50-60%、風速 1 m/s、熱水 60 °C、
冷水 25 °C 之測試結果

圖 14 為空氣溫度 20 °C、相對濕度 60-80 %、風速 2 m/s、熱水 60 °C、冷水 20 °C 之測試結果，比較圖 10、11 及圖 14 可看出，當風速較小時，熱傳及質傳係數皆較低，因此入、出口水溫差較低，空氣入、出口溫度及濕度差較低。相反當風速較大時，熱傳及質傳係數皆較高，因此入、出口水溫差較高，空氣入、出口溫度及濕度差較高。

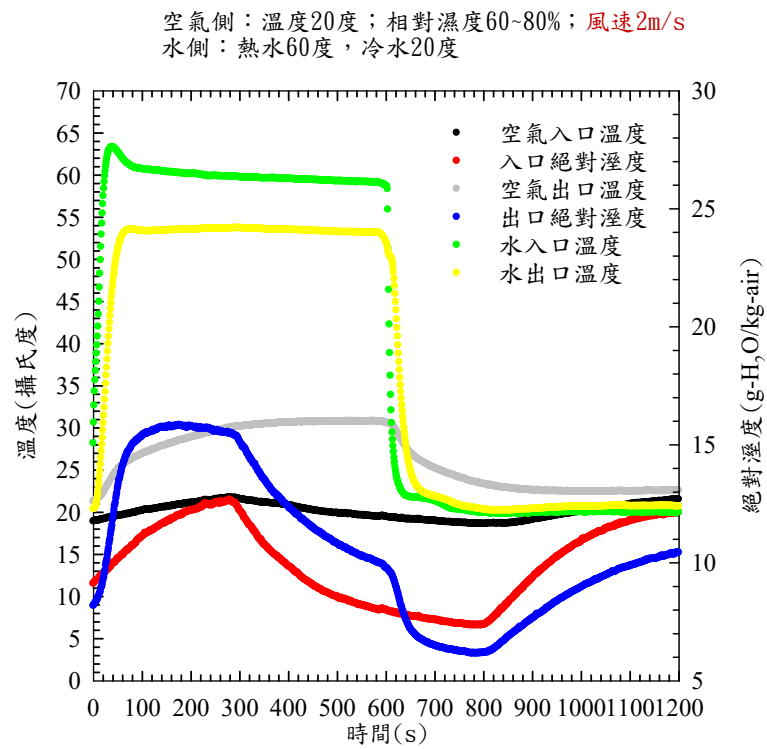


圖 14、空氣溫度 20 °C、相對濕度 60-80%、風速 2 m/s、熱水 60 °C、
冷水 20 °C 之測試結果

參、主要發現與結論

本研究使用 FAM-Z05 沸石塗佈於扁平管熱交換器上，並進行除濕性能探討，共進行兩種不同運轉情況之吸脫附性能測試，第一種為在穩定情況下測試吸附床之除濕能力，另一種為在不同熱水溫度變化下之循環除濕能力測試。

測試結果顯示：吸附床之除濕能力在穩定條件下，當吸附床溫度高時，吸附劑之吸附率低，因此當空氣流經吸附床時，不易再吸附水汽，因此除濕能力較低。相反當吸附床溫度低時，吸附劑之吸附率高，因此當空氣流經吸附床時，較易從空氣中吸附水汽，因此除濕能力較高。一般空氣的質傳係數和熱傳導係數相近，且與風速成正比，因此當風速高時除濕能力亦較高，而風速低時除濕能力較低。

在不同熱水溫度變化下之循環除濕能力測試結果得出，當冷水溫度為較低時，吸附床最後冷卻溫度亦較低，吸附能力較高，因此入、出口空氣濕度差異較大。反之當冷水溫度較高時，吸附床最後冷卻溫度較高，吸附能力較低，因此入、出口空氣濕度差異較小。當風速較小時，熱傳導及質傳係數皆較低，因此入、出口水溫差較低，空氣入、出口溫度及濕度差較低。相反當風速較大時，熱傳導及質傳係數皆較高，因此入、出口水溫差較高，空氣入、出口溫度及濕度差較高。

一般除濕輪以加熱空氣間接加熱除濕劑方式，由於空氣熱傳導性能差，因此熱交換器體積較大。直接以水加熱的熱傳導性能佳，具有更高的除濕性能以及需要較小之熱交換器。相對於傳統吸附床設計，扁平管熱交換器具有較密緻、熱傳導和質傳性能較高等優點，可望應用於實際吸附式除濕系統。但相關技術仍未完備，需繼續研究開發。

肆、參考文獻

- [1] 信易電熱公司型錄，<https://www.shini.com/tw/index.html>。
- [2] Chang, W.-S., Wang, C.-C., Shieh, C.-C., "Experimental study of a solid adsorption cooling system using flat-tube heat exchangers as adsorption bed", Applied Thermal Engineering, Vol. 27, pp. 2195-2199, 2007.
- [3] 陳威任，使用 FAM-Z05 之小型吸附式空調，國立中央大學，能源工程研究所碩士論文，2019。
- [4] X.N. Wu, T.S. Ge, Y.J. Dai, R.Z. Wang, "Review on substrate of solid desiccant dehumidification system", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, pp. 3236- 3249, 2018.