

除濕輪以微波再生之技術探討

李志良

德霖技術學院機械工程系

摘要

除濕輪為一塗佈除濕劑的圓形滾輪，操作於兩股空氣流體之間。其中一股較大流量為需要被除濕的流體；而另一股較小流量為用來再生除濕劑的流體。被除濕的空氣流體可用做製程空氣，當它通過緩慢轉動的除濕輪，空氣中的水份會吸附於除濕劑上(例如具多孔性之合成矽膠)。如此可降低製程空氣中的濕度而成為乾空氣，此乾空氣則可供應工廠某些製造生產過程中，特別需要控制為低濕度的地方。為了讓除濕輪上的除濕劑能夠循環使用，所以需要另一股較高溫的再生空氣來再生除濕劑。目前最常用來加熱再生空氣的方法是用電熱器，再生空氣經過電熱器加熱再進入除濕輪，通常除濕輪的再生區較小佔除濕輪的四分之一，另外則是除濕區。當再生空氣將除濕劑中的水份加熱汽化後，則成為高溫高濕的空氣由除濕輪排出至室外，以完成濕度控制之需求。本研究之目標在研究探討以微波來再生除濕輪的技術，因為微波可以使吸附於除濕劑中的水產生高頻率的振盪，振盪中水分子與水分子互相摩擦，從而產生熱量使水份汽化達到除濕劑再生的效果，經實驗結果顯示以微波來再生除濕輪確實有再生效果。

關鍵字：除濕輪、微波、再生

The Study of Dehumidifier Rotor by Regenerated Microwave

Chi-Liang Lee

Department of Mechanical Engineering, De-Lin Institute of Technology

Abstract

The dehumidifier rotor is of the solid wheel desiccant type and operates with two air streams. Here, one larger air stream is to be dehumidified and one smaller air stream for regeneration of the desiccant rotor. The larger air (process air) passes through the rotor, which is in a continuous slow rotation; the rotor material adsorbs the water vapor. This reduces the humidity of the air which will leave the dehumidifier as dry air. This dry air is presented in the space to be dehumidified or to any manufacturing process where low humidity is required. To remove the moisture captured in the desiccant rotor, the smaller air (regeneration air), which is counter flow to the dry air, is heated up in a heating coil before entering the rotor. As this warmer air is passed to a smaller segment of the rotor, the rotor material will give away its moisture to this air. The moisture will leave the dehumidifier as wet air, which will be exhausted outside the space that is to be humidity controlled. In this study, the technology of regeneration by microwave for dehumidifier rotor will be developed. The microwave has high frequency can transmit to the water in the desiccant rotor to remove the moisture.

Keywords : dehumidifier rotor, microwave, regeneration

一、前言

台灣氣候常年高濕，除濕是工作與生活中的必需，例如生活中的濕害防制有益人們的家居生活品質，可減少氣喘病的醫療資源投資。提供乾空氣進行脫水蔬菜、茶葉等製作，增加農產品食用期，可降低夏天颱風造成的蔬菜供應短缺的民生問題。在美術館、圖書館、博物館可保護珍貴的館藏免於受潮變形。在國防設備的維護及彈藥的保存上，可防止設備因受潮而失效等等。基於台灣地區在生活上充滿各種除濕需求的評估，具經濟效益的除濕輪應用技術商品化量產，在國內市場的潛力將相當看好。又近年來由於CFC冷媒大量的破壞臭氧層，並造成環境與氣候被嚴重的污染與破壞，解決此問題最好的辦法就是不要使用CFC冷媒。除濕輪用在空調系統中，可取代部分傳統之壓縮機式的空調系統。由於除濕輪除濕的功能是利用物理吸附作用，而非化學作用，因此不會產生任何有害的化學物質。它的優點有不用冷媒就不會破壞大氣臭氧層為一環保產品；不用壓縮機所以重量輕容積小且噪音較低；兼具除濕烘乾功能等，以下為圖1除濕輪流程示意圖。

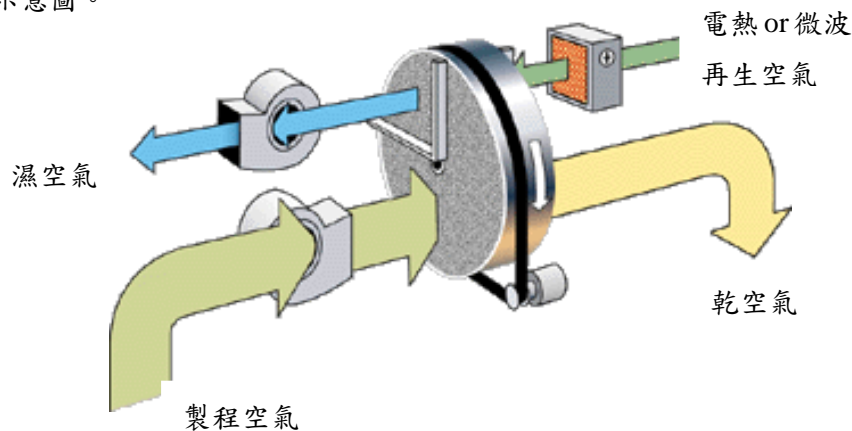


圖 1. 除濕輪流程示意圖

針對除濕輪於國內外相關之研究，在數值解上Mclaine-cross and Banks[1]及Banks[2]利用類比法將除濕輪之數學模式簡化為轉輪式熱交換器之數學模式，但其限制Lewis的值為1.0的情況下。Mclaine-cross[3]及Holmberg[4,5]以有限差分法直接解析除濕輪之數學模式，此法可得到較類比法精確的答案，但須耗費較多的電腦運算時間。還有Schultz and Mitchell[6]將「假穩態」的觀念與差分法相比較，「假穩態」的數學模式是將除濕輪分割為好幾個區域，每個區域都是一個能夠達到穩態的熱、質傳之交換器，經數值運算結果，此法可得到與差分法相近之精確度，但也需花相當的運算時間。在除濕冷卻方面，Collier et al.[7], Kweller et al.[8]及Waugaman et al.[9]作了一般性的介紹。Jurinak et al.[10]以電腦模擬的方式比較了除濕輪空調系統與壓縮式空調系統，並指出將前者配合太陽能時其效率要較後者好許多，唯其成本較高。Collier and Cohen[11]提出了具「階段式再生側」的除濕輪來提高系統效率。Crum et al.[12]引進非蒸發式冷卻器及冷卻水塔至傳統除濕輪空調系統，以增加系統COP值。Waugaman and Kettleborough[13]在1987年提出了較先進的除濕輪空調系統稱為DIEC (direct indirect evaporative cooling)。在系統模擬方面Lindler and Anand[14]以系統中每個元件的效率定義來模擬傳統除濕輪空調系統的操作情形。Waugaman and Kettleborough[15]在固定的再生溫度及除濕輪轉速，以DIEC系統模擬一建築物四季變化的情況下，改變空氣流率找出能達到室內要求的條件，並算出系統COP值，其平均熱效率可達1.44，平均總效率為1.10，其中並分析了DIEC系統的操作成本。此外除濕輪於國內已有許多相關單位進行過各種不同之研究，其中尤以工研院能資所之通風與室內空氣品質研究室，研究成果最豐，該研究室針對除濕輪技術已具有多項研究專利。其中賴世明等人[16]和賴世明等人[17]提出差分數值方法解除濕輪質量與能量守恆方程式，配合有效率的差分間格控制，可迅速

的計算空氣經過除濕輪後之溫濕度，以及除濕基體之溫濕度分佈。另外沈君洋[18]針對旋轉式太陽能固態吸附劑空調系統加以研究，其中再生之熱空氣所需之能量，則由太陽能經由集熱器供給。

蜂巢轉輪式(Honey Combe Rotor)化學除濕機為瑞典Mr. Munters於西元1956發明，至今Munters除濕機在全世界各個角落為空調界解決各種不同的濕氣問題，蜂巢轉輪式除濕機能迅速有效地減低空氣中的濕度以供各業主要求，其主要之工作方式乃按照兩氣流分別經過Munters吸收兼吸附式轉輪進行熱量轉換之原理所研製而成，處理空氣側轉輪快速吸收空氣中的濕氣使成乾燥空氣，另一迴路引入外氣經電熱器加熱後送入轉輪再生側，使其放出濕氣完成還原程序，高溫高濕空氣排至室外，經由馬達及皮帶驅動轉輪，周而復始不停抽出濕氣。其加熱再生溫度的範圍要以除濕劑的種類為考量，對矽膠再生的溫度在攝氏80度以上時，矽膠的含水率會劇降，所以溫度越高矽膠所能吸附的水分越少，因此在越高溫的情形下再生越好，但溫度過高會使矽膠產生結構上的變化而喪失除濕能力。一般而言，矽膠之再生溫度低於攝氏200度。

本研究所要探討的技術是以微波做為除濕輪再生的方式，目前業界與相關研究論文找不到以微波再生除濕輪之探討。本研究希望將原本以電熱器的再生方式，改為微波爐裏的微波發射器來微波再生，微波發射器所發射出的微波為2.45GHz，由於微波的高振盪頻率可以讓吸附於除濕劑中的水份磨擦而汽化完成再生，本研究將比較利用微波再生與電熱器加熱之優劣。

二、研究內容

本研究以實驗來進行，將一台使用傳統電熱器再生的除濕機(在此選用歌林牌編號 KJ-701Z 之除濕輪式除濕機)，與一台改裝使用微波發射器做為再生的除濕機，同時除濕以比較各自除濕能力的效果。目前市面上所販售的除濕機還是以傳統壓縮循環式的為主，但仿間也可發現一些品牌所推出的除濕輪式除濕機，除濕輪式除濕機再生過程中，是使用電熱器來蒸發除濕輪上吸附的水份，電熱產生之高溫空氣將濕氣由矽膠吸濕材排出，室溫也略為提升造成些微悶熱。歌林牌 KJ-701Z 之除濕輪式除濕機，其再生方式是使用電熱器加熱，本研究將電熱器拆除改裝微波發射器做為微波再生方式，以下為製作過程與步驟：

1. 除濕機改裝部份：

- (1) 先將 KJ-701Z 除濕輪除濕拆解開，並研究內部的電路設計與風管路徑以利改裝，詳圖 2。
- (2) 為避免壓克力模型的組裝破壞到微波爐本身的安全裝置及機體結構，所以仿照原本機體上的電熱再生系統的外型，製作了一個類似的壓克力模型，並貼上防微波布以防止微波洩漏，詳圖 3。



圖 2. 內部的電路設計與風管路徑

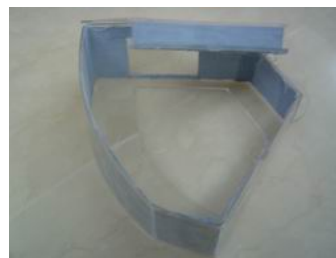


圖 3. 壓克力盒並貼上防微波布

- (3) 接著在壓克力模型上挖開一個 7×3.5 的矩形孔(與導波管銜接用)，並在模型的內側貼上防微波材料，以確保操作人員之安全。
- (4) 再將電熱器再生系統拆下換上事先準備好的壓克力模型，詳圖 4。



圖 4. 裝上製作好的壓克力盒



圖 5. 微波爐機體內部

2. 微波發射器改裝部份：

- (1) 將買來二手的微波爐拆解開，並了解機體內部的結構與相關之安全裝置，準備拆除微波發射器，詳圖 5。
- (2) 將機體本身的微波發射裝置拆下，並在微波發射器前加裝一個可程式定時器用來控制微波運轉時間，以防止除濕輪結構由於加熱時間過長而發生脆化，詳圖 6。



圖 6. 可程式定時器



圖 7. 7×3.5×50cm 導波管

- (3) 因為此實驗裝置為兩個不同的機體經改裝後相連接，所以我們特別製作了一隻 7×3.5×50 公分的金屬導波管做為微波之導通用，詳圖 7。微波是電磁波的一種，波長範圍在 1 mm 到 1 m 之間，國際上規定家用微波爐的微波波長為 12.2 cm，對應頻率為 2.45GHz，選擇這個波長，主要是為了避免干擾通訊電波。導波管的尺寸大小相關計算如下：

$$F_c \times \lambda_c = C$$

F_c ：截止頻率，微波發射器所發出的頻率為 2.45GHz

λ_c ：截止波長，12.2 cm

C ：光速， 3×10^8 m/s

其中 λ_c 為波在導波管中傳播時的波長， F_c 是這個導波管的截止頻率，此值與導波管的種類和截面積大小有關，在此選用矩形的導波管， $F_c = C/(2a)$ ， a 為矩形導波管截面的長方形中的"寬"，亦即 λ_c 是 a 的 2 倍，但矩形導波管通常比較常選用 1.6 倍或 1.7 倍，所以 $a = 12.2/1.7 = 7.17$ ，在此選定 a 為 7cm。由於影響導波管是否導波只與截面寬度 a 有關係，與高度只需微小空間即可，不過一般導波管的寬、高比通常為 2:1，所以矩形導波管截面以 7×3.5 公分訂製。

- (4) 將導波管與微波發射器連接，啟動後周圍以防微波布阻擋，避免直接接觸人體，再由高斯計量測電磁波之計量，並隨時注意是否過量外洩。

3. 實驗步驟：

- (1) 將一台使用電熱器再生的除濕機，與一台使用微波發射器的除濕機，同時進行除濕能力測試，詳圖 8。



圖 8. 左使用電熱器，右使用微波再生

- (2) 將導波管插入壓克力模型上的矩型孔中，並且在壓克力外殼與導波管連接處及微波發射器與導波管連接處以矽膠黏著劑(silicone)密封，並貼上抗微波材料，以防止電磁波之外洩。
- (3) 將兩台除濕機放置在同一個空間內，並紀錄運轉前的室內溫度及相對濕度。
- (4) 開始運轉以及設定可程式定時器在裝有微波發射器的除濕機以記錄通電時間。
- (5) 間隔固定時間，紀錄兩台除濕機的水量。
- (6) 最後比較兩台除濕機的水量，評估除濕效果。

三、結果與討論

進行除濕實驗的數據記錄於下列之表 1 與表 2，實驗時詳細記錄當時的溫濕度，並分別以上午、中午及傍晚三個時段進行除濕實驗，每個時段三小時。結果顯示，以微波再生的除濕機的確仍有除濕效果，但是除水量較少於電熱式再生方式，其主要可能原因探討於後。

表 1 除濕水量比較(一)

| 最初濕度:65.3% | 第一次 | |
|-------------|--------|--------|
| 最初溫度:28.8°C | 濕度 | 溫度 |
| 09 點至 12 點 | 58.20% | 29.2°C |
| 12 點至 15 點 | 52.70% | 29.6°C |
| 15 點至 18 點 | 47.80% | 29.5°C |
| | 電熱式除濕 | 微波式除濕 |
| | 水量 | 水量 |
| 09 點至 12 點 | 420cc | 220cc |
| 12 點至 15 點 | 345cc | 195cc |

| | | |
|------------|-------|-------|
| 15 點至 18 點 | 275cc | 165cc |
|------------|-------|-------|

表 2 除濕水量比較(二)

| 最初濕度:62.7% | 第二次 | |
|-------------|--------|--------|
| 最初溫度:27.6°C | 濕度 | 溫度 |
| 09 點至 12 點 | 57.10% | 28.4°C |
| 12 點至 15 點 | 53.60% | 28.8°C |
| 15 點至 18 點 | 48.20% | 28.5°C |
| | 電熱式除濕 | 微波式除濕 |
| | 水量 | 水量 |
| 09 點至 12 點 | 330cc | 180cc |
| 12 點至 15 點 | 295cc | 160cc |
| 15 點至 18 點 | 240cc | 135cc |

在研究經費與使用器材及實驗室有限的情況下，本研究盡可能的將此創意實踐，以本次的微波再生除濕輪的研究實驗中，由於我們所使用的微波發射器頻率為 2.45GHz 而且該波只對金屬才會有反射，也就是說對非金屬材料可以完全穿透，所以我們也將金屬導波管在連接兩機體的截面上貼上了防微波材料，以防止微波外洩造成的不良影響。在導波管的選用上我們也曾嘗試以直徑 3.5 公分之圓型導波管做導引，但始終無法導通，使得微波除濕無法進行，在多次與微波爐廠商的請教與詢問下，最後改為矩形截面的導波管。

在重新製做了一支 7×3.5×50 公分的矩形截面導波管之後，實驗成功的導通並微波加熱一張濕衛生紙，加熱時間只須 5~10 秒就可以使衛生紙蒸發出水氣，但裝在除濕機上需考慮風道的流動必須再經過一個壓克力盒，再加上礙於除濕輪需要轉動的空間，我們沒有辦法把除濕輪與導波管部份完全使用金屬密封，這個部份無法完全包覆微波，隨著微波的散失，也使加熱到除濕輪的效果降低了許多。雖然會有一點微波的散失，但是經過實驗之後，在同樣的時間、溫度、溼度、地點，相同的條件之下，我們同時進行兩台不同的加熱器來除濕，分別經過兩次的實驗下來，雖然微波式除濕機的水量比不上原本電熱式的除濕機，但還須扣掉先前微波的散失以及風道上的些微影響，若再經過更精密的微波技術的改良，除濕效果還是可能與電熱式除濕機抗衡，甚至超越。本研究除濕輪以微波再生之技術探討，其構想已申請通過中華民國智慧財產局之新型專利李志良[19]。

四、結論

由於溫室效應影響，全球氣候變化無常下，人們對空調設備的需求日與俱增，這不僅會大量消耗能源且破壞環境，更對我們的居住品質會造成很大的傷害。吸附式除濕輪應用上，不需要壓縮機減少能源消耗，所以沒有噪音及冷媒禁用的問題進而達到節能的目標，改善生態環境及降低在空調系統上的耗電量及提昇空調舒適度。本研究之微波再生技術探討，由於是利用微波使水分子互相摩擦生熱，所以對吸滿水的矽膠有一定的乾燥效果，不過因為電磁波會對人造成健康上的影響，所以本研究除濕輪以微波再生之技術研發與探討，在微波技術的掌控需特別的小心。

本研究之微波再生除濕輪由於所使用的微波發射器是由微波爐拆裝而來，所發射出的微波需透過導波管至除濕輪，另外在金屬導波管於連接兩機體(除濕機與微波發射器)的截面貼上防微

波材料(防微波布裁剪而來)，以防止微波外洩造成的不良影響。造成除濕效果沒預期的好，應該還是在微波技術的掌控不夠，微波發射器發射的微波只對金屬有反射，且對非金屬材料可以穿透，本研究改裝的除濕輪式除濕機的材質，幾乎都是塑膠材質，所以除濕效果沒有提升。不過本研究的執行證明以微波再生除濕機的除濕輪確實可行，且仍有一定的除濕效果，值得再進一步的研究探討與開發。

參考文獻

- [1] Maclaine-cross, I. L. and Banks P. J., "Coupled Heat and Mass Transfer in Regenerators-Prediction Using an Analogy with Heat Transfer", *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 15, pp. 1225 - 1242, 1972.
- [2] Banks, P. J., "Prediction of Heat and Mass Regeneration Performance Using Nonlinear Analogy Method", Part I & II, *J. Heat Transfer*, Vol. 107, pp. 222 - 238, 1985.
- [3] Maclaine-cross, I. L., "A Theory of Combined Heat and Mass Transfer in Regenerators", Ph. D. Thesis, Dep. of Mech. Eng., Monash University, Clayton, Vic., Australia, 1974.
- [4] Holmberg, R. B., "Heat and Mass Transfer in Rotary Heat Exchanger with Nonhygro -scopic Rotor Materials", *J. Heat Transfer*, Vol. 99, pp. 196 - 202, 1977.
- [5] Holmberg, R. B., "Combined Heat and Mass Transfer in Regenerators with Hygroscopic Materials", *J. Heat Transfer*, Vol. 101, pp. 205 - 210, 1979.
- [6] Schultz, K. J. and Mitchell J. W., "Comparision of the DESSIM Model with a Finite Difference Solution for Rotary Desiccant Dehumidifiers", *Trans. ASME, J. Solar Energy Engineering*, Vol. 111, pp. 286 - 291, 1989.
- [7] Collier, R. K., Barlow R. S. and Arnold F. H., "An Overview of Open-Cycle Desiccant Cooling Systems and Materials", *Trans. ASME, J. Solar Energy Engineering*, Vol. 104, pp. 28 - 34, 1982.
- [8] Kweller, E., Mei V. C. and Chen F. C., "Options of Desiccant Cooling and Dehumidification Technology", *Pro- ceedings of the 26th Intersociety Energy Engineering Conference-IECEC*, pp.566 - 570, 1991.
- [9] Waugaman, D. G., Kini A. and Kettle -borough C. F., "A Review of Desiccant Cooling Systems", *Trans. ASME, J. Energy Resources Technology*, Vol. 115, pp. 1 - 8, 1993.
- [10] Jurinak, J. J., Mitchell J. W. and Beckman W. A., "Open-Cycle Desiccant Air Conditioning as an Alternative to Vapor Compression Cooling in Residential Applications", *Trans. ASME, J. Solar Energy Engineering*, Vol. 106, pp. 252 - 260, 1984.
- [11] Collier, R. K. and Cohen B. M., "An Analytical Examination of Methods for Improving the Performance of Desiccant Cooling Systems", *Trans. ASME, J. Solar Energy Engineering*, Vol. 113, pp. 157 - 163, 1991.
- [12] Crum, D. R., Mitchell J. W. and Bechman W.A., "Advanced Desiccant Cycles", *Solar Engineering*, Vol. 2, pp. 841 - 847, 1987.
- [13] Waugaman, D. G., Kettleborough C. F., "Combining Direct and Indirect Evaporative Cooling with a Rotating Desiccant Wheel in Residential Applications", *Solar Engineering*, Vol. 2, pp. 848 - 854, 1987.
- [14] Lindler, K. W. and Anand D. K., "A Computer Aided Design Approach to the Optimization of Control Strategies for Desiccant Air Conditioning", *Solar Engineering*, Vol. 5, pp. 71 - 75, 1989.
- [15] Waugaman, D. G., Lee J. H. and Kettleborough C. F., "Cooling Season Energy and Economic Analysis of a Solid Desiccant Cooling Systems in Houston, Texas", *Solar Engineering*, Vol. 10, pp. 189 - 196, 1993.
- [16] 賴世明、施建興及蔡尤溪，"固體除濕輪的電腦模擬與性能分析"，中國機械工程學會第六

屆學術研討會，pp. 783 – 792, 1989.

- [17] 賴世明、李浩銓及蔡尤溪，”吸附式除濕轉輪基體之輸送及熱力性質對其除濕性能的影響”，能源季刊第二十二卷第二期，pp. 11 – 24, 1992.
- [18] 沈君洋，”旋轉式太陽能固態吸附劑空調系統之分析”，能源季刊第十七卷第二期，pp. 67 – 75, 1987.
- [19] 李志良，”微波再生式除濕輪”，中華民國智慧財產局新型專利，新型 M321979, 2007.