

熱驅動儲冷技術簡介與研析

陳志豪^{1*} 康育豪² 陳鈞振¹ 顏詩芸³ 曾鵬樟⁴ 鄭名山⁵

摘要

夏季尖峰負載過高的問題將成為臺灣走向綠色能源與非核家園的主要障礙，利用儲冰系統移轉夏季尖峰用電應是一種可行的方法，而傳統儲冰系統由於使用固液相變化材料作為儲冷介質，其儲能密度低，因此存在著體積過大、結冰熱阻變大與熱交換器冷縮熱脹毀損等問題；而吸附式或吸收式等熱驅動儲冷系統，則可利用液氣相變化材料作為儲冷介質，大幅提升儲冷密度，且在室溫下可穩定保存，故極有機會能改善傳統儲冰空調的問題。根據大部分文獻之實際測試結果指出，目前吸收式儲冷系統只能有200~400 kJ/kg的儲能密度，其低於理論值原因，在於其使用100°C以下再生之吸收劑，吸收效果較差，加上系統若有加裝太陽能熱水，更會因熱源不穩定性、成本較高與體積過大等問題，而使得吸收式儲冷系統目前仍無法與傳統儲冰系統競爭；而吸附式儲冷系統，因傳統固態吸附劑吸附率低，故其儲能密度又較吸收式更低。基於上述分析，未來若可開發適合之離子液體材料應用於吸收式儲冷系統，因其吸收效果較佳且不會有結晶與金屬腐蝕等問題，將可改善傳統吸收式儲冷系統之缺點，同時利用離子液體可流動性之優勢，將可應用於大型儲能系統中。而吸附式儲冷系統，若能以最新有機金屬骨架材料做為吸附劑，由於其再生溫度低且有較高吸附率，再藉由鹽類等吸收劑改質成孔洞內富含鹽類之複合材料，亦可大幅提升吸附式儲冷之應用性，其理論儲冷密度將可高達到約600 kJ/kg，但因固態吸附劑較無法流動，故適合應用於小型或是分散型儲冷系統中。因此本研究將針對低溫再生(<80°C)之離子液體材料或金屬有機骨架材料進行研析，未來若能使用高效率高穩定性的熱泵系統，做為吸附式或吸收式儲冷系統的供熱源，將可大幅提升熱驅動儲冷系統之市場競爭性。

關鍵詞：儲冷系統，熱驅動空調，移轉尖離峰用電

1. 前言

臺灣與國際並肩，逐步走向綠色再生能源與非核家園，然而綠色再生能源最大的問題即是不穩定性，臺灣夏天尖離峰用電量差異極大，如果再生能源無法即時補足尖峰負載量，

很容易造成跳電或缺電危機，其中一種撫平用電曲線與儲存再生能源的方式即是使用儲冷系統，利用離峰時的電力進行儲冷，並於尖峰時以微電的方式釋冷，將可解決夏天尖峰負載過大之問題，根據統計國內民生空調用電負載量佔比高達40%，工業用電也有13%是使用在空

¹工業技術研究院綠能與環境研究所 研究員

²工研院綠能所 經理

³工研院綠能所 副研究員

⁴工研院綠能所 副組長

⁵工研院綠能所 組長

*通訊作者電話: 03-5917956, E-mail: itriA50019@itri.org.tw

收到日期: 2019年02月23日

修正日期: 2019年04月12日

接受日期: 2019年05月10日

調上，故成為夏季尖峰負載飆高的主因，而儲冷系統將是未來可能的解決方式之一。

圖1為四種不同儲冷(熱)密度之比例，分別有水的顯熱、相變化材料、物理性吸附、化學性吸附等方式，其中物理吸附式因有較大的儲冷密度，且為傳統潛熱儲冷的二倍，故近幾年備受關注，此外能以室溫保存液態冷媒(通常是水)更是一大優勢。另一方面，擁有儲冷(熱)設備之空調系統，其對於再生能源或是負載波動很大的狀況下，都能有較穩定的效果。熱驅動儲冷系統即是物理吸附式儲能系統之一，透過液態水在真空條件下蒸發帶走熱能，即可製造出15°C的冰水，蒸發的水氣再透過吸收劑或是吸附劑進行吸附，保持真空腔體的蒸氣壓，使水不斷地蒸發製冷，吸附劑在吸濕的過程中會放熱，放熱會影響吸附劑的吸附能力，因此會使用冷卻水讓吸附劑降溫，如果能有效地帶走吸附熱，將有利於系統的效率提升，吸附飽和的吸附劑會切換到再生系統，通入熱水，使吸附劑溫度上升，進而脫附水分，脫出去的水蒸氣再透過冷凝器冷卻變回液態水，因此熱水溫度與冷凝器中冷水的溫度差所造成的再生壓差越大，再生效果越好，系統的效率越高，由此可見，系統的蒸發器溫度、吸附床溫度與冷凝器溫度，都會影響系統的效能，而系統地最

終效能可以COP (coefficient of performance)表示，即單位時間的製冷量除以單位時間輸入的熱量。然而目前吸附式儲冷(熱)系統所遭遇的問題，即是結構複雜、熱質傳效果不佳，COP都在0.4~0.7之間，實際雛型機運作時，其儲冷密度並沒有如理論計算值高，約只在200 kJ/kg~400 kJ/kg之間，若換算成系統體積，並沒有比傳統儲冰系統下降太多，探究其原因，可能是低溫再生下，吸附劑的動態吸附容量並不夠突出，導致冷媒儲存量不足，故未來可透過新型材料的開發，使儲冷系統進入下一個世代。

2. 吸收式儲冷系統

傳統吸收式製冷系統的原理是利用液態吸濕材料(吸收劑)，如氯化鋰(LiCl)等鹽類(Yu *et al.*, 2013)，吸收空氣中的水分(冷媒)，協助降低蒸發器的蒸氣壓，讓液態水持續蒸發而製冷，示意圖如圖2所示，吸收劑再生時，可使用太陽能熱能或是廢熱源，使吸收劑中的水分(冷媒)在發生器中脫離出，並在冷凝器上凝結成液態水而回到蒸發器中，完成一循環，當吸收式製冷系統應用於空調儲冷系統時，則系統可簡化成兩個元件槽體，分別為蒸發器(冷凝器)與吸收槽(再生槽)，隨著儲冷或釋冷狀態

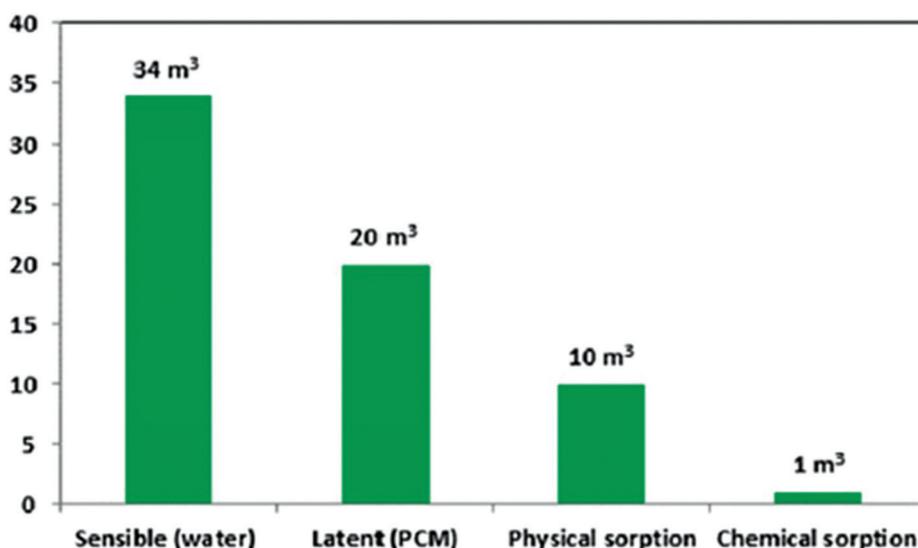


圖1 各種儲冷與儲熱密度比較(Yu *et al.*, 2013)

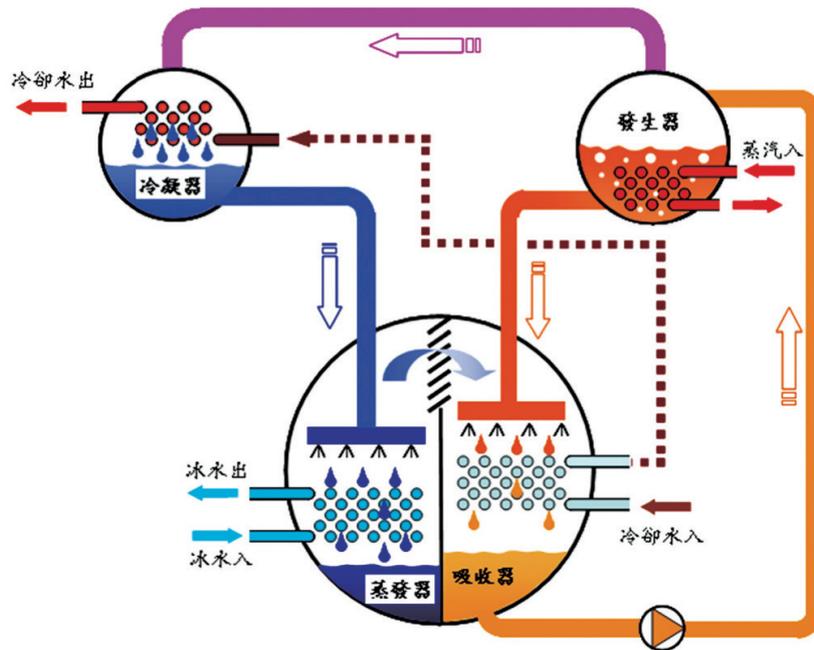


圖2 吸收式製冷系統示意圖(鐘震麒，2012)

進行切換，如圖3所示，意即當離峰或是有多餘熱源時，再生(Charge)吸收劑並儲存吸收劑與冷媒水；於尖峰或是負載需要時，持續放出(Discharge)吸收劑吸收冷媒水進行製冷，系統會根據使用的時間，儲存相對應的冷媒水與吸收劑(液態吸濕材料)，因為吸收劑為液態，故可反覆使用液態泵使其流動，讓冷媒水與吸收劑有充份且均勻的接觸，熱交換的區域也可被限定在一固定大小的熱交換器腔體中，並隔離吸收劑與冷媒水的儲存區域，有利於大型系統的配置與操作。相較於傳統吸附式儲冷系統，

因其吸附劑不具流動性，故每顆吸附劑都需利用較大面積之熱交換器提供再生熱量，因此系統的建置成本與體積會上升許多，因此在商辦等大型儲冷系統中，吸收式儲冷系統將會比吸附式儲冷系統更加具有優勢。

根據Gang *et al.* (2012)的分析統整，眾多鹽類都已經被提出研究，其中包含 $MgCl_2$ 、 Na_2S 、 $SrBr_2$ 、 $MgSO_4$ 、 $CaCl_2$ 、 $LiBr$ 與 $LiCl$ 等，各吸收溶液之單位儲冷密度會根據再生溫度的不同而有所差異，如圖4所示，大部分吸收式之儲冷密度都比吸附式高，其原因為吸收溶液對

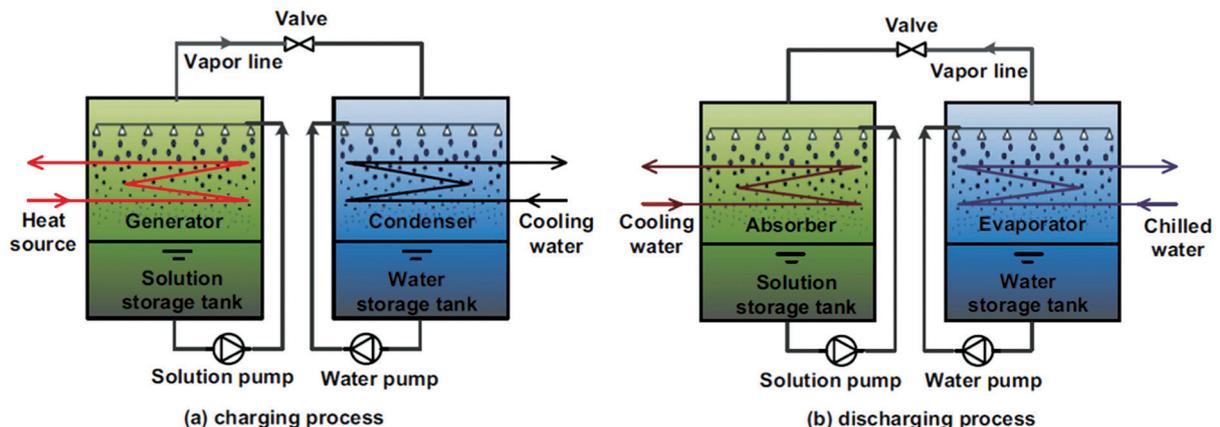


圖3 吸收式儲冷系統示意圖(Zhang *et al.*, 2014)

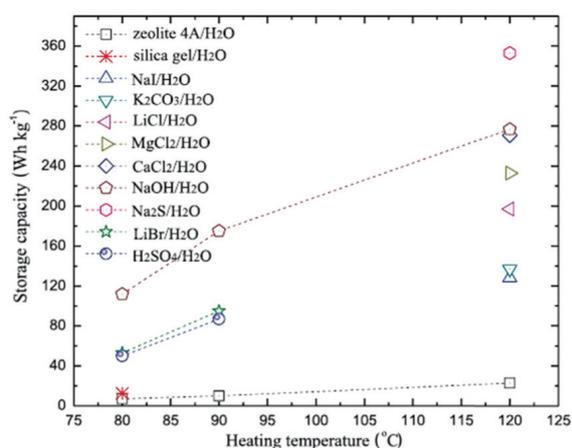


圖4 不同再生溫度下之各吸收劑儲冷密度 (Mugnier and Goetz, 2001)

水的吸附容量較大，近年來有更多的實驗證實吸收式儲冷系統的實際運行能力，其中因應太陽熱能與低階廢熱的應用，再生熱源在80°C之吸收式製冷研究更加完整，而Gang等人認為，在低溫再生狀態下，低成本且具有較高儲冷密度的LiCl材料是相當具有優勢，表1列出低溫再生下具有潛力的吸收劑，其中NaOH雖然便宜且儲冷密度高，但其再生溫度需80°C以上，且為強鹼溶液，管件需有抗腐材料防護，故實際應用時仍會受限。

在儲冷理論計算中，通常需要評估吸收劑與冷媒水的重量，再根據不同再生熱源溫度、冷凝器溫度等操作參數進行評估計算，例如LiCl吸收劑的操作濃度範圍通常介於40~55%之間變化，所以每公斤的濃吸收溶液(濃度55%)約可吸收375g的冷媒水，變為稀吸收溶液(濃度40%)，而水的蒸發潛熱約2,260 kJ/kg，因此理論儲冷密度可達616 kJ/kg (稀溶液吸收劑)與傳統儲冰系統單位儲能量最高333 kJ/kg相比，

仍具有一定的優勢。然而在目前的所有文獻當中，針對低溫再生儲冷系統實驗，仍未有超出400 kJ/kg以上的實驗數據，代表著吸收式儲冷系統，在實際應用上還有許多操作限制尚須突破與克服。

吸收式儲冷系統最大的缺點就是鹽類吸收劑對金屬材料都具有腐蝕性，必須使用特殊抗腐蝕的熱交換器，造成熱交換器成本上升與熱傳效果下降，且運行時吸收劑需避免結晶現象產生、蒸發溫度不能太低等缺點(趙杰等，2009)。所以在高性能吸收式製冷系統的發展過程中，研究人員一直期待在吸收劑材料能有所突破，而離子液體材料有機會成為解決傳統吸收式製冷(儲冷)系統問題的關鍵材料，由於離子液體幾乎沒有蒸汽壓、呈液態的溫度區間大、無結晶及腐蝕性、穩定不易燃、室溫下可流動等特性，滿足各項吸收式製冷(儲冷)的基本要求，未來在下世代吸收式製冷(儲冷)系統更具發展潛力。

表2即為傳統鹽類與離子液體之特性比較表，因為離子液體本身的分子結構特性，並不會產生結晶狀，因此不會有傳統鹽類吸收劑再生過度而在冷卻時產生的結晶問題，也因此可使離子液體系統可操作的工作溫度範圍可比傳統鹽類系更廣，液態吸收式系統在真空系統中也擔心吸收劑本身會蒸發的問題，離子液體與傳統鹽類系統相似，蒸發壓力都很小，並不會影響系統的操作，像是氨、醇類等吸收劑，即有吸收劑蒸發壓力的問題，離子液體屬於人造合成物的一種，也因此具有很大的分子結構可調性，可根據使用的場域做出很大彈性的調

表1 不同吸收劑理論儲能密度與再生溫度(Gang *et al.*, 2012)

| Working pairs | Absorbent price (Euro ton ⁻¹) | Without crystallization | | |
|-------------------------------------|---|---|---------------------------------|---|
| | | Concentration maximum (%) (kg absorbent kg ⁻¹ solution ⁻¹) | Capacity (kJ kg ⁻¹) | Temperature requirement for heat driving (°C) |
| LiBr/H ₂ O | 6,000 | 60 | 1,535 | 74 |
| LiCl/H ₂ O | 3,400 | 46 | 2,922 | 68 |
| NaOH/H ₂ O | 300 | 53 | 3,442 | 84 |
| CaCl ₂ /H ₂ O | 140 | 45 | 628 | 50 |

表2 傳統鹽類吸附劑與離子液體吸附劑之特性比較表(本研究整理)

| 吸收劑 | 傳統鹽類 | 離子液體 |
|-----|--|--|
| 特性 | <ul style="list-style-type: none"> • 固態(結晶)溶於水 • 工作溫度範圍較窄 • 無明顯蒸氣壓 • 吸濕性小於離子液體 • 有腐蝕性，需有抗腐蝕劑 • 成本低 | <ul style="list-style-type: none"> • 液態 • 有較寬的工作溫度範圍 • 無明顯蒸氣壓 • 吸濕性可調整彈性大 • 無腐蝕性 • 成本高 |

整，但是就如所有新的人造合成物一樣，通常一開始未大量生產時，都有價格過高的問題。

離子液體可因不同陰陽離子組合而有不同特性，故可依照系統需求進行調配，當離子液體作為吸收劑時，其黏度不可過大。由於正負離子的作用力，使得離子液體黏度通常比水的黏度大很多，且離子液體黏度的大小受分子間的氫鍵及凡得瓦作用力影響，即陽離子碳鏈愈長，凡得瓦力愈強則黏度愈高。圖5為Iolitec公司(德國)測試幾項離子液體與LiBr對水吸收強度的比較圖，由圖5可觀察到Choline glycolate、EMIM OAc、DEMA OMs的離子液體，其對水的吸收強度(能力)沒有LiBr大，暗示其對水吸收容量雖較LiBr低，但其再生時所需溫度或能量可較LiBr鹽類為低，加上這此離子液體並無腐蝕性及結晶問題，故仍具有相當競爭優勢。上述離子液體之分子結構如圖6所示，未來將可持續合成開發高吸附量且便宜的離子液體。

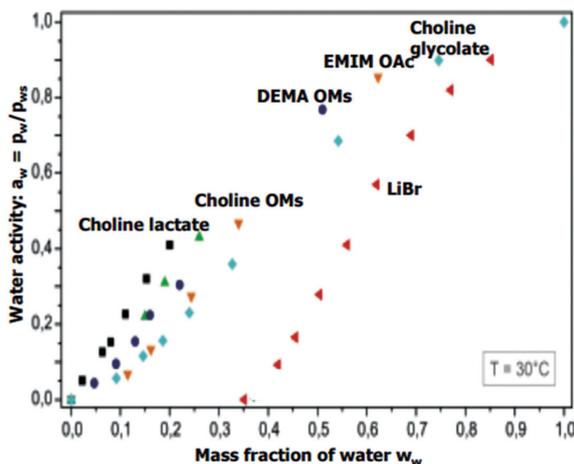


圖5 離子液體與LiBr對水活性比較圖(Beyersdorff and Schubert, 2012)

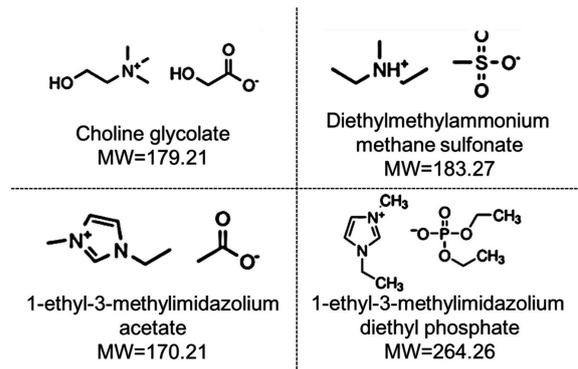
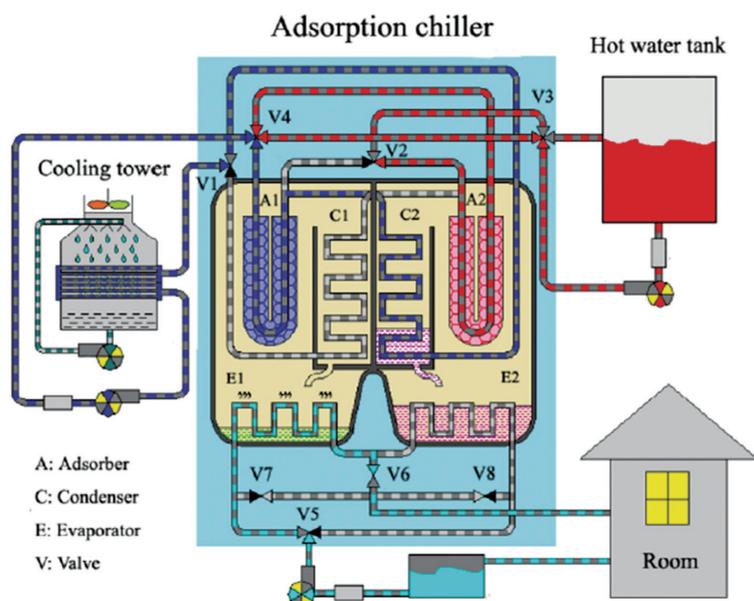
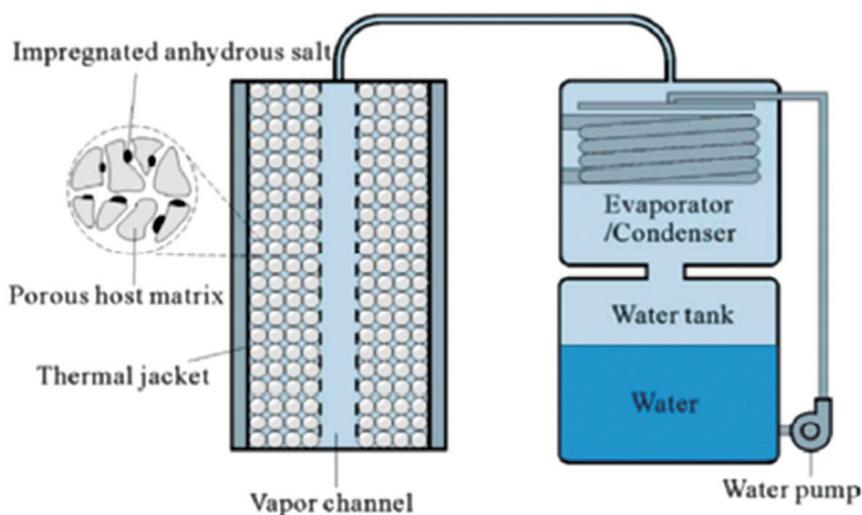


圖6 離子液體之分子結構與分子量(本研究繪製)

3. 吸附式儲冷系統

傳統吸附式製冷原理如圖7所示，其與吸收式的差別，在於使用固態吸附劑吸附蒸發器中的水蒸氣，將吸附劑是覆載於熱交換器上，所以再生時熱水透過熱交換器直接傳給吸附劑，以雙吸附塔切換操作，一塔進行再生脫附，一塔進行吸附製冷。以儲冷模式進行運作時，同樣可簡化系統元件，以單一吸附塔搭配蒸發器/冷凝器，切換吸附與再生，完成儲冷與釋冷程序，系統示意圖如圖8所示，因為吸附床無法像吸收式系統之吸收溶液可以流動，所以必須使用相當大面積之熱交換器分布於整個吸附床，因此如果應用於大型儲冷系統，所需吸附槽與熱交換器體積就會增加許多，且整個吸附槽都須為冷媒質預留質傳通道，更使得整體的系統體積比吸收式系統大很多。目前傳統吸附式系統所使用的吸附劑為矽膠，其在90°C再生溫度下，動態吸附量約只有17wt% (Gang et al., 2016)，所以1 kg吸附劑的理論儲冷室度

圖7 傳統吸附式製冷之原理圖(Pan *et al.*, 2016)圖8 吸附式儲冷原理圖(Yu *et al.*, 2014)

最高僅約384 kJ/kg，故大部分學者朝向複合式吸附劑研究，也就是利用鹽類吸收劑固著於吸附劑的孔洞中，一方面可避免含鹽類吸附劑結晶，一方面含鹽類吸附劑之理論儲冷密度可以更高，且鹽類吸收劑的成本便宜。學者Freni *et al.* (2016)以更嚴謹的方式模擬分析各吸附劑與複合吸附劑的理論儲冷密度，如圖9所示，可以看出LiCl-Silica含鹽類複合吸附劑與甲醇(冷媒)配對的系統儲冷密度最高，可達到630 kJ/kg，雖然甲醇的蒸發潛熱僅1,109 kJ/kg，約為水2,266 kJ/kg的一半，然在冷凍冷藏應用上為常

見的冷媒之一，未來也可針對甲醇冷媒之儲冷系統進行深入研究。吸附式儲冷系統因為可以常溫保存，故緯度高或是氣候變化大的國家，也有不少研究於季節變化等長時間儲能系統應用，也就是將秋冬多餘的熱能回收，於春夏天放出釋冷。

在實際雛型系統測試中，Freni *et al.* (2016)使用AQSOA FAM Z02沸石，製作出吸附式製冷/儲冷系統雛型機(Palomba *et al.*, 2017)，實驗結果顯示再生溫度90°C、蒸發溫度10°C、冷凝溫度30°C時，其儲冷密度約為244 kJ/kg與模

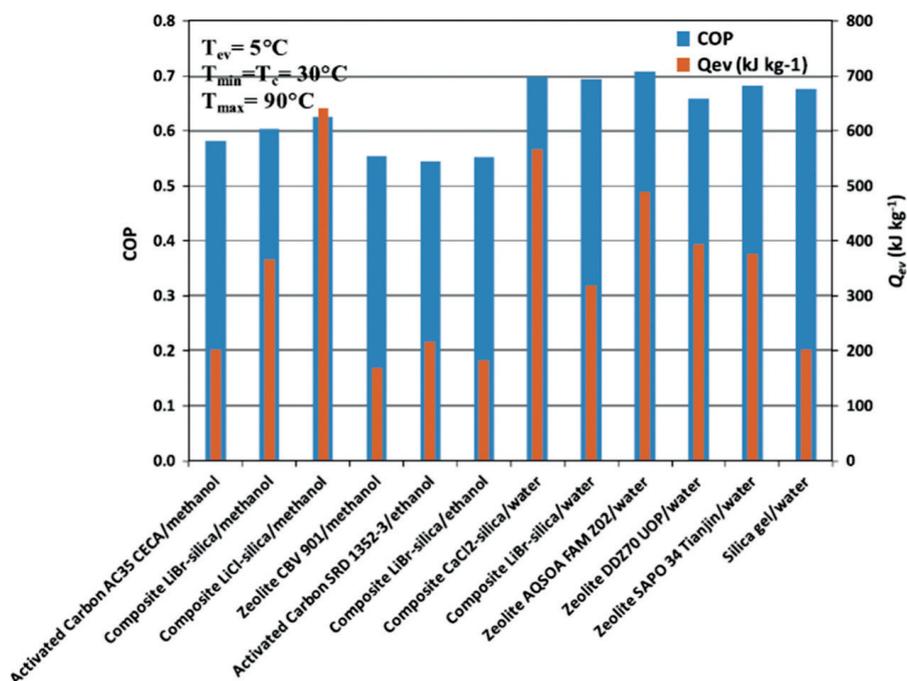
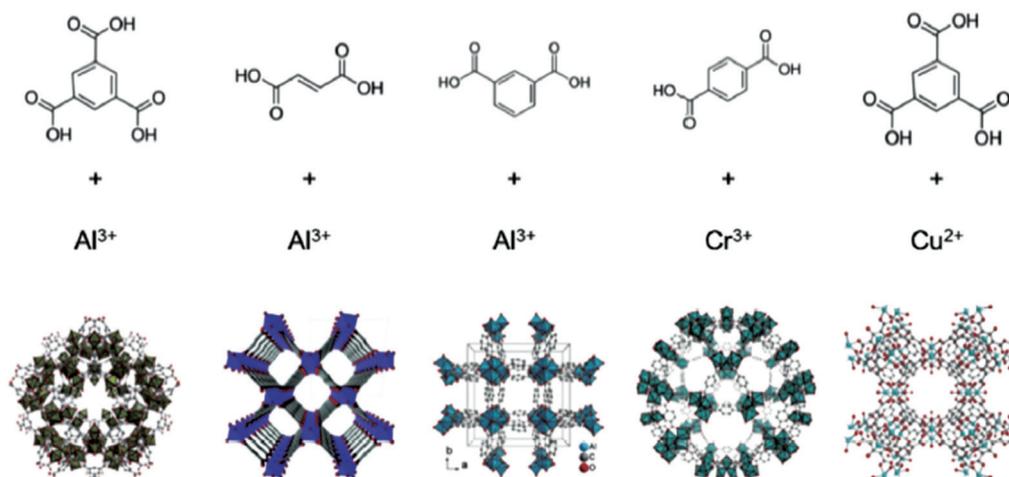


圖9 不同複合吸附劑與工作對之理論儲冷密度比較圖(Freni *et al.*, 2016)

擬結果相近，但在系統體積上並沒有較傳統儲冰系統具有優勢，因此新型吸附劑的開發將會是未來技術突破的主要關鍵。除了與鹽類吸收劑形成複合吸附材料外，新型高比表面積之金屬有機骨架(Metal Organic frameworks, MOF)，也具有相當發展潛力，由於金屬有機骨架具有孔洞大小可調控性、極高比表面積與高冷媒吸附量，因此近年來備受學者重視，例如德國

Fraunhofer研究單位即對常見的MOF進行分析(Henninger *et al.*, 2017)，如圖10所示。表3顯示MOF的比表面積與吸附量都比傳統矽膠吸附劑高出許多，然而目前金屬有機骨架存在著吸脫附穩定性不佳與成本過高的問題，正等待著各國學者們的技術突破，儲冷系統也許成為未來新型MOF材料應用有很好的切入點，因其高比表面積也代表著可附載較高鹽類吸收劑之可能



Schematic structures of reviewed MOFs MIL-100(Al), aluminium fumarate, CAU-10-H, MIL-101(Cr) and HKUST-1 (from left to right).

圖10 常見MOF結構式(Henninger *et al.*, 2017)

表3 常見MOF特性統整(Henninger *et al.*, 2017)

| MOF | Metal nodes | Linker | S_{BET} [m ² /g] | Pore volume [cm ³ /g] | Max loading [g/g] | Average HoWater-A [kJ/mol] |
|-------------------|------------------|---------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------------------|
| MIL-100(Al) | Al ³⁺ | BTC | 1,814 | 1.14 | 0.5 | 43.4 |
| Al fumarate | Al ³⁺ | FUM | 1,021 | 0.48 | 0.45 | 51 |
| CAU-10-H | Al ³⁺ | 1,3-BDC | 525 | 0.27 | 0.34 | 52 |
| MIL-101(Cr)-water | Cr ³⁺ | 1,4-BDC | 4,000 | 2.02 | 1.43 | 45.13-47.2 |
| HKUST-1-water | Cu ²⁺ | BTC | 1,340 | 0.72 | 0.55 | – |

性，提高單位重量吸收劑含鹽量，儲冷密度有機會突破630 kJ/kg的理論儲能密度。

4. 熱驅動儲冷系統整合

在系統使用方面，配合吸收式與吸附式等熱驅動製冷系統的特性，可以在尖峰時，直接使用太陽能集熱器驅動吸附式製冷，但因為太陽能供應不穩定而無法確保系統穩定，故可於離峰時，利用工廠廢熱或是直接使用熱泵系統對熱驅動儲冷進行儲冷，並於尖峰時，將吸附式儲冷系統釋出冷能，以輔助白天太陽熱能驅動製冷系統，解決再生能源不穩定之問題，或

單純做為尖離峰空調用量之移轉，系統運作概念如圖11所示。由於熱泵產熱的COP高達3以上，最高溫度為80°C，如果使用CO₂熱泵，有機會產生90°C以上的熱水，且其蒸發器的冷源如果能保持15~20°C，也可提供給熱驅動儲冷系統之冷凝器使用，以提高儲冷的效率，保持熱驅動儲冷系統COP大於0.7。固態吸附式儲冷系統適合應用於小型且分離的辦公大樓，可以與窗型或分離式冷氣方式逐戶安裝，此與美國Ice Energy公司推出的Ice bear儲冷系統概念相似，以理論儲冷密度而言，其體積可望下降。

另一種系統配置概念如圖12所示，同樣在離峰時使用熱泵產生熱水，但是熱泵的蒸發

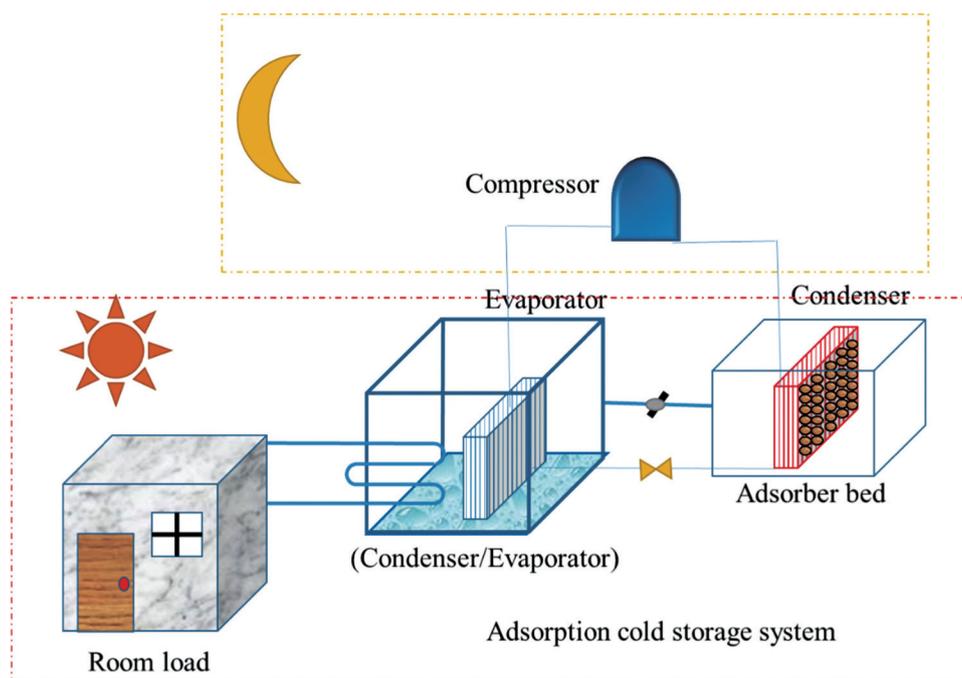


圖11 熱泵驅動吸附式儲冷系統(本研究繪製)

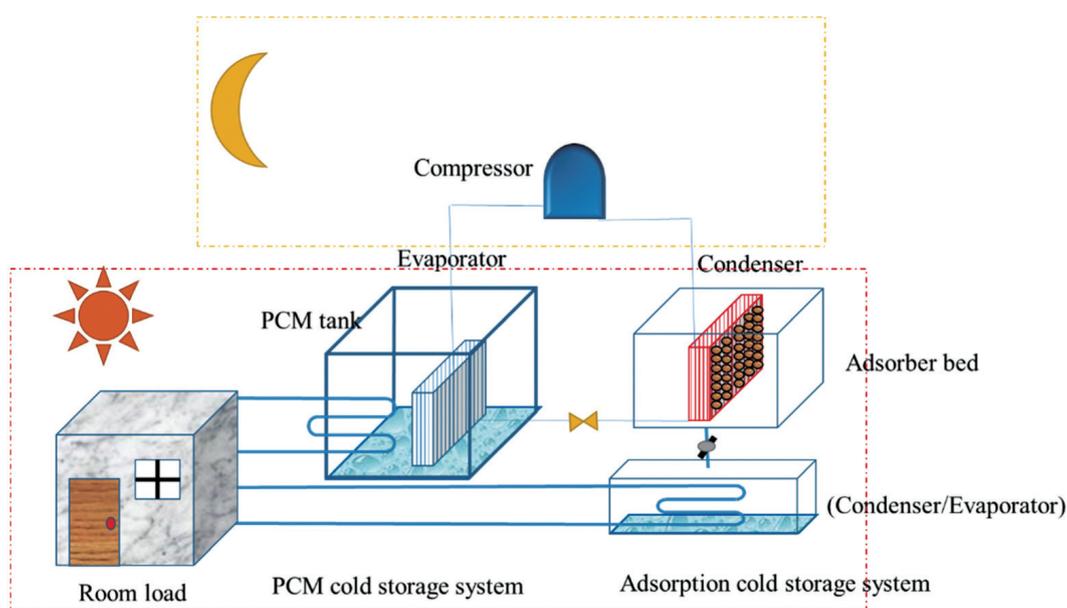


圖12 熱泵驅動吸附式儲冷與相變化儲冷系統(本研究繪製)

器冷源端，用來進行相變化材料(phase change material, PCM)的儲冷，雖然熱驅動儲冷系統因缺乏熱泵蒸發器的冷能支援，僅能使用常溫冷卻水做為冷源，因此COP可能只剩0.5，但相變化材料儲冰系統(PCM)，可用COP2~3的方式進行儲冷，因此整體系統的儲冷效率仍是上升，因此於尖峰時，可同時使用相變化材料儲冰系統與吸附式儲冷系統釋冷降低尖峰負載，效益將比運用單一型儲冷系統佳，然而此概念系統配置能否成功的最重要關鍵因素，即是是否於80°C低溫熱源下，有較高性能之熱驅動儲冷(製冷)系統可供使用，因此開發低溫再生型吸附劑或離子液體吸收劑，將是未來發展儲冷系統之成功關鍵。另外，提高太陽熱能的儲熱能力(Du *et al.*, 2018)，把多餘的熱能儲存起來，並於尖峰負載過大時，再放出熱能推動熱驅動製冷系統，將可大幅改善臺灣夏季空調用電結構與缺電危機。

5. 結論與建議

臺灣總電力約有30%使用在空調設備上，夏天尖峰負載更是因空調設備用電所致，因此如何利用離峰便宜電力進行儲冷系統，有效轉

移尖離峰用電量，將可使用戶、電廠與環境保護達到三贏的可能，目前傳統儲冰系統皆使用相變化材料(或水)進行儲冰，其潛熱值最高僅能333 kJ/kg，造成體積過大，且有熱傳效果不佳與結冰膨脹損害等問題，長期反覆儲冰與釋冰對系統硬體的耐久性也是一大考驗;而熱驅動儲冷系統，則使用吸附劑與吸收劑吸附蒸發器中的冷媒(或水氣)，在真空狀態下進行蒸發製冷，其蒸發潛熱可高達2,260 kJ/kg。其優勢就是可以使用廢熱進行儲能，配合工業區的時間電價與契約容量限制，有利於場域整體冷熱能源的規劃，如果應用於民生空調系統中，較能低成本且穩定使用的熱源為熱泵的廢熱，然目前熱驅動儲冰系統最大的問題是低溫熱源再生下(50~90°C)，冷媒吸附量並不高，導致目前實際熱驅動儲冷系統之儲冷密度並沒有比傳統儲冰系統高很多，雛型實驗中仍未有超出400 kJ/kg以上的數據，雖然可以使用，但是儲冷系統體積依然龐大，因此未來若能持續投入開發可低溫再生之離子液體吸收劑與新型MOF吸附劑，當80°C以下可充分再生吸收劑或吸附劑時，將可有效縮小系統體積、亦因為廢熱可常溫儲存冷能、不會有熱交換器熱脹冷縮與冰霜處理問題，進而取代傳統儲冰系統，此外搭

配使用高效率熱泵系統做為熱驅動儲冷系統之熱源，於離峰時以電力熱泵系統進行儲冷，熱泵的冷端可當作熱驅動空調的冷凝用水提高 COP，或是配合相變化材料儲冰系統使用提高系統能源效率，將可解決臺灣尖峰負載量過大的問題，而吸收式系統因為可流動特性，較適合應用於大型儲冷系統，吸附式系統不怕震動與低噪音特性可應用於小型儲冷系統，市場未來性非常龐大，值得臺灣學界與業界持續投入。

參考文獻

- 趙杰、梁世強、張珍、王立與淮秀蘭，2009。離子液體在吸收式製冷中的應用研究進展。中國製冷學會2009年學術年會論文集。
- 鐘震麒，2012。吸附式製冷技術發展。能源知識庫。取自 http://km.twenergy.org.tw/KnowledgeFree/knowledge_more?id=263。
- Beyersdorff, T. and T. Schubert, 2012. Ionic Liquids as Sorption Cooling Media. Retrieved from IOLITEC: <http://www.iolitec.de/Download-document/970-Presentation-Sorption-Cooling-CleanTech-2012.html>.
- Du, Kun, John Calautit, Zhonghua Wang, Yupeng Wu and Hao Liu, 2018. A review of the applications of phase change materials in cooling, heating and power generation in different temperature ranges. *Applied Energy* 220, 242-273.
- Freni, Angelo, Gaetano Maggio, Alessio Sapienza, Andrea Frazzica, Giovanni Restuccia and Salvatore Vasta, 2016. Comparative analysis of promising adsorbent/adsorbate pairs for adsorptive heat pumping, air conditioning and refrigeration. *Applied Thermal Engineering* 104, 85-95.
- Gang, Li, Yunho Hwang and Reinhard Radermacher, 2012. Review of cold storage materials for air conditioning application. *International journal of refrigeration* 35, 2053-2077.
- Gang, Li, Yunho Hwang and Reinhard Radermacher, 2016. Experimental investigation on energy and exergy performance of adsorption cold storage for space cooling application. *International journal of refrigeration* 67, 336-344.
- Henninger, Stefan K., Sebastian-Johannes Ernst, Larisa Gordeeva, Phillip Bendix, Dominik Fröhlich, Alexandra D. Grekova, Lucio Bonaccorsi, Yuri Aristov and Jochen Jaenchen, 2017. New materials for adsorption heat transformation and storage. *Renewable Energy* 110, 59-68.
- Mugnier, D. and V. Goetz, 2001. Energy storage comparison of sorption systems for cooling and refrigeration. *Solar Energy* 71 (1), 47-55.
- Palomba, Valeria, Salvatore Vasta and Angelo Freni, 2017. Experimental testing of AQSOA FAM Z02/water adsorption system for heat and cold storage. *Applied Thermal Engineering* 124, 967-974.
- Pan, Q.W., R.Z. Wang, L.W. Wang and D. Liu, 2016. Design and experimental study of a silica gel-water adsorption chiller with modular adsorbers. *International journal of refrigeration* 67, 336-344.
- Yu, N., R. Z. Z. Wang and L. W. W. Wang, 2013. Sorption thermal storage for solar energy. *Prog Energy Combust Sci* 39, 489-514.
- Yu, N., R. Z. Wang, Z. S. Lu, L. W. Wang and T. F. Ishugah, 2014. Evaluation of a three-phase sorption cycle for thermal energy storage. *Energy* 67, 468-78.
- Yu, N., R. Z. Wang and L. W. Wang, 2015. Theoretical

- and experimental investigation of a closed sorption thermal storage prototype using LiCl/water. *Energy* 93, 1523-1534.
- Zhang, X., M. Li, W. Shi, B. Wang and X. Li, 2014. Experimental investigation on charging and discharging performance of absorption thermal energy storage system. *Energy Convers Manage* 85, 425-34.

Heat Driven Cold Storage System

Chih-Hao Chen^{1*} Yu-Hao Kang² Jiun-Jen Chen¹ Shih-Yun Yen³
Pen-Chang Tseng⁴ Ming-Shan Jeng⁵

ABSTRACT

High peak load will be one of the main obstacles for Taiwan moving forwards green renewable energy and nuclear-free homeland. The ice storage system is one of the feasible ways for shifting the peak load of air conditioning electricity. The traditional ice storage system used solid-liquid phase change materials as storage medium, but the volume of the system is too large to be applied. Moreover, the thermal resistance of ice and the heat exchanger damaged by thermal expansion contraction are the main issues for the traditional ice systems. Heat driven air-conditioning systems (HDAC), such as absorption or adsorption chiller systems, not only can use the latent heat of liquid-gas phase change as a storage medium significantly increasing the cold storage density, but also can store the cold energy at the ambient temperature. All of these advantages make HDAC have enormous potential to replace traditional ice storage systems. According to references mentioned, the absorption chillier prototype test results show that the energy storage density is about 200~400 kJ/kg. The values are almost the same level to the traditional ice systems. Because of the low sorption capacity of absorbent or desiccant at low regeneration temperature condition (<100°C), the storage energy density is actually lower the highest theoretical one. On the other hand, if the heat source come from solar, the cost, volume of the system and undulate heat supply will decline the competitiveness of HDAC systems. The adsorption chillier has lower storage energy density than the absorption chillier due to solid adsorbent with low adsorption capacity. However, though impregnated with salt absorbent, the composite desiccant have a highest theoretical storage energy density of 600 kJ/kg. In the future, developing a new absorbent regenerated at low temperature, like non-crystallized ionic liquids, can improve the performance and the maintenance costs. The liquidity advantage of absorbent let absorption chillier is suitable to apply in large-scale cold storage systems. Simultaneously, Metal Organic Frameworks (MOFs) which can regenerate in the low temperature and have high adsorption capacity also make the adsorption chillier competitive. Nevertheless, the non-mobility of solid desiccant limit the system applications and suits for the small or distributed cold storage systems. When the new low regeneration temperature absorbents and adsorbents are developed, HDAC driven by the high efficient and stable heat pumps significantly will increase the market competitiveness.

Keywords: cold storage, heat driven chillier, shifting peak load.

¹ Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

² Manager, GEL, ITRI.

³ Associate Researcher, GEL, ITRI.

⁴ Deputy Division Director, GEL, ITRI.

⁵ Division Director, GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-5917956, E-mail: itriA50019@itri.org.tw

Received Date: February 23, 2019

Revised Date: April 12, 2019

Accepted Date: May 10, 2019