

知識物件

計畫名稱：節能綠色吸附材料關鍵元件及設備技術開發計畫(3/3)

主題：使用冷卻技術和熱回收裝置的乾燥劑除濕機的固體乾燥劑空調系統

國別	■國內
能源業務	<input type="checkbox"/> 總體能源 <input type="checkbox"/> 化石能源 <input type="checkbox"/> 電力 <input type="checkbox"/> 核能 <input type="checkbox"/> 新及再生能源 ■節約能源
能源領域	<input type="checkbox"/> 政策與法規 <input type="checkbox"/> 環境衝擊與調適 <input type="checkbox"/> 經濟及產業 ■科技 <input type="checkbox"/> 統計資訊
決策知識類別	<input type="checkbox"/> 建言 ■評析 <input type="checkbox"/> 標竿及統計數據 <input type="checkbox"/> 其他
關鍵字	高效能除濕空調, 智慧創新除濕機, 熱回收裝置, 節能
重點摘述	<p>本實驗設計和製造高效除濕空調，透過保護環境免受有害排放、實現熱舒適條件和合理化能源消耗來實現永續發展。為了實現這一目標，智慧創新乾燥劑除濕機和能量回收裝置與空調相結合。智慧創新乾燥劑除濕機旨在透過使用更大的冷卻速率來冷卻製程空氣，從而提高空氣除濕能力並避免吸附熱的影響。為了最大限度地減少功耗，使用能量回收裝置對再生空氣進行預熱。結果表明，本研究提出的高效除濕空調代表了一種有效的設計，因為它可以實現熱舒適條件並合理化能源消耗。高效除濕空調可提供平均濕度 8 至 10 g_w/kg_{da} 之間變化的冷卻空氣。此外，能量分析表示，所提出的乾燥劑空調是高效的，熱性能係數和電氣性能係數皆隨著製程空氣流量的增加而增加，熱能平均節省率在 21.9% 以上。</p>
主要參考資料來源	Mohamed Abdelgaied, Mohamed A. Saber, M.M. Bassuoni, Ahmad M. Khaira, Journal of Cleaner Production 421 138387, 2023.
撰寫人	陳昱任
email	houpigse2380@nari.org.tw

如今，必須減少傳統空調的使用，增加乾燥劑空調系統的使用，來保護環境免受有害排放及合理能源消耗，從而實現永續發展。透過使用除濕空調系統，我們可以避免傳統空調系統消耗大量電力以及因使用含氯氟烴氣體而產生的有害氣體排放等問題，這些問題危害環境，導致全球暖化和氣候變遷。

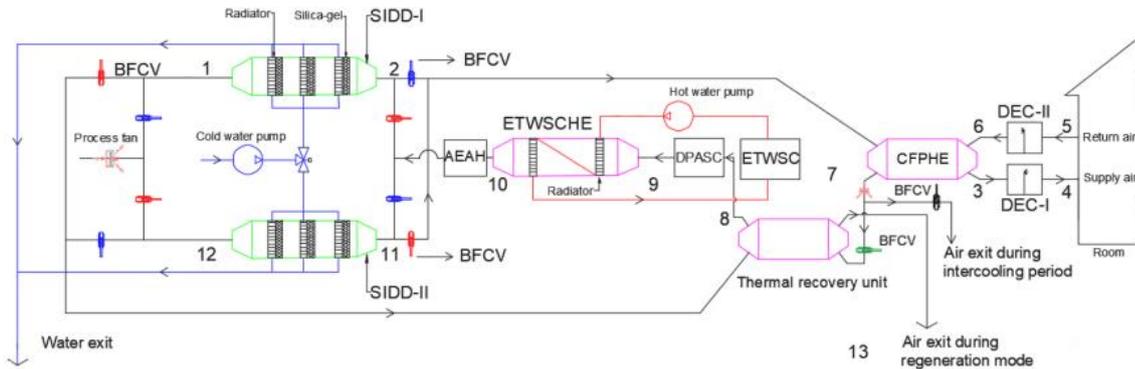
為了實現這一想法，將高效乾燥劑空調與智慧創新乾燥劑除濕器和能量回收裝置相結合。智慧創新乾燥劑除濕機由三塊乾燥劑材料墊組成；每個墊後面都有散熱器熱交換器進行預冷卻。另外，兩個太陽能集熱器（雙路空氣太陽能集熱器&真空管水太陽能集熱器）與智能創新的乾燥劑除濕機加熱再生空氣，加上輔助電空氣加熱器將再生空氣溫度設定到所需溫度，從而合理化能源消耗率。

實驗裝置說明

圖 1、2 顯示智慧創新高效能除濕空調示意圖及實際照片。由兩台智慧創新乾燥劑除濕機（SIDD-I、II）組成，逆流板式熱交換器（CPHHE）、熱回收裝置、兩個直接蒸發冷卻器（DEC-I、II）、雙路空氣太陽能集熱器（DPASC）、真空管水太陽能集熱器（ETWSC）、真空管水太陽能集熱器熱交換器（ETWSCHE），輔助電氣空氣加熱器（AEAHA）、蝶形控制閥（BFCV）及製程風扇、再生風機、冷水泵、直接蒸發冷卻泵和熱水泵等。

實驗研究包含兩條路徑：（a）製程空氣（供應空氣）；（b）再生空氣（回流空氣）。SIDD-I 處於製程模式時，SIDD-II 處於再生模式。透過 SIDD-I，在點 1 和點 2 之間，製程空氣的濕度由於流經三個乾燥劑材料墊和散熱器而降低並冷卻。然後在點 2 和 3 之間，CPHHE 中的回風會降低製程空氣的溫度。透過控制 DEC-I 中噴灑的水量，將點 4 供氣相對濕度設定為 80%。調節室的回風在點 5 和 6 之間被加濕和冷卻。熱空氣在點 12 和 13 之間被回收，並用於加熱

熱回收單元中點 7 至 8 的返回空氣。從點 8 到 9 以及從點 9 到 10，回風分別在 DPASC 和 ETWSCHE 中被加熱。使用 AEAH 從點 10 到點 11 設定加熱到乾燥劑材料所需的溫度，並且使用溫度控制器來控制。透過 SIDD-II，空氣從點 11 開始被冷卻和加濕，流過飽和的矽膠多層墊。最後，從點 12 到點 13 進行熱交換並排出，這些過程都是由 BFCV 控制。



SIDD-I, II	Smart innovative desiccant dehumidifier	AEAH	Auxiliary electrical air heater
CFPHE	Counter flow plate heat exchanger	BFCV	Butterfly control valves
DEC-I, II	Direct evaporative coolers	T	Temperature sensor (DS18B20)
DPASC	Double path air solar collector	AF	Air flow measurement
ETWSC	Evacuated tube water solar collector	WF	Water flow meter
ETWSCHE	Evacuated tube water solar collector heat exchanger	T, RH	Temperature and relative humidity sensor (DHT22)

圖 1、智慧創新高效能除濕空調流程圖



(1) SIDD-I	(4) Thermal recovery unit	(7) DPASC	(10) AEAH
(2) SIDD-II	(5) DEC-I	(8) ETWSC	(11) BFCV
(3) CFPHE	(6) DEC-II	(9) ETWSCHE	

圖 2、智慧創新高效能除濕空調實際照片

圖 3、圖 4 顯示 SIDD 包含三組乾燥劑材料墊，每個墊後面都有散熱器進行預冷卻。這款智慧創新除濕機速率透過使用更大的冷卻，避免了吸附熱的影響，增強了空氣除濕能力。每個 SIDD 由 1 毫米厚度的鍍鋅方鋼組成，尺寸為 400mm×400 mm×800 mm，內含三個用矽膠墊用於製程空氣的除濕，每個墊後面面接散熱器，降低離開乾燥劑除濕機的製程空氣溫度。墊板尺寸為 38 mm×350 mm×厚度 40 mm，含 3.83 公斤白色矽膠，其性質為（堆積密度 720 kg/m³，顆粒尺寸 2~5 mm，比表面積 650:800 m²/g，孔體積 0.35:0.45ml/g）。為了防止漏氣，橡膠墊圈用於橋接和主體之間的間隙。SIDD-I、II 同時工作在兩個不同的模式（製程模式和再生模式）。SIDD-I、II 的外表面由 0.041 W/m 的玻璃棉絕緣，可減少熱量損失。

圖 5 顯示出了系統在再生空氣溫度 90°C 和製程和再生空氣流量 240 m³ h⁻¹ 時的濕度圖，在每個點的空氣溫度、濕度和其他參數。

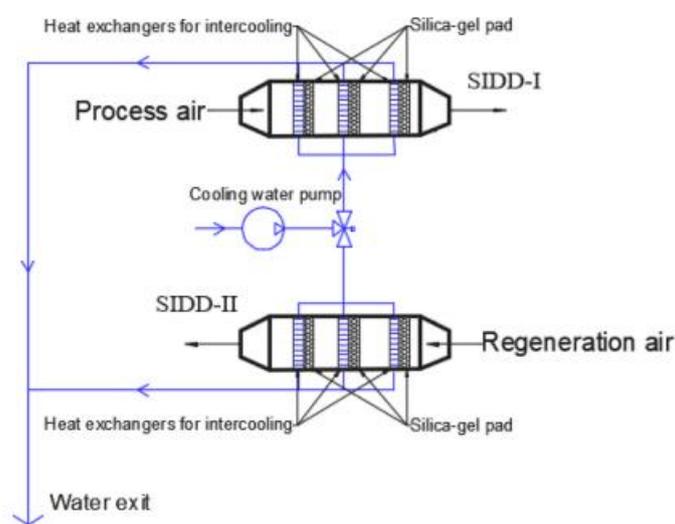


圖 3、SIDD-I、II 循環示意圖。



A stage of silica-gel pad and heat exchanger for intercooling

Silica-gel pad

Heat exchanger



圖 4、SIDD-I、II 照片

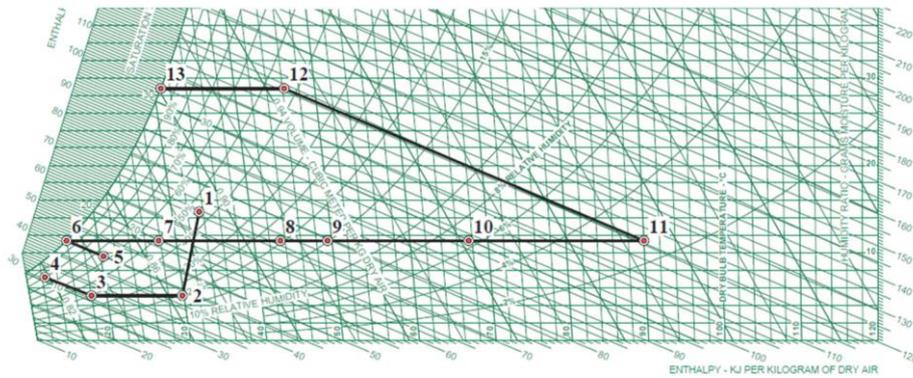


圖 5、系統濕度圖

系統性能指標

(1) SIDD 上的除濕能力(Dehumidification capacity, DC)

$$DC = (\omega_{p,1} - \omega_{p,2}); \quad \left(\frac{g_w}{kg_{da}} \right)$$

(2) 除濕過程的性能係數 (The performance coefficient of dehumidification process, DCOP) ，可表示為吸附濕氣潛熱與所需再生空氣熱能的比例。

$$DCOP = \frac{\dot{m}_p (\omega_{p,1} - \omega_{p,2}) h_{fg}}{\dot{m}_{reg} C_p (T_{reg,11} - T_{reg,8})}$$

(3) 空調熱性能係數(Thermal coefficient of performance, TCOP)

$$TCOP = \frac{\dot{m}_p (h_{p,1} - h_{p,4})}{\dot{m}_{reg} C_p (T_{reg,11} - T_{reg,8})}$$

(4) 電氣性能係數(Electrical coefficient of performance, ECOP)

$$ECOP = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{AEAH} + P_{fans} + P_{pumps}}$$

(5) 熱能的節能率

$$\text{Saving in the required thermal energy} = \frac{\dot{Q}_{thermal\ recovery\ unit}}{\dot{Q}_{thermal\ recovery\ unit} + \dot{Q}_{th,DPASC} + \dot{Q}_{th,ETWSC} + \dot{Q}_{th,AEAH}} = \frac{\dot{m}_{reg} C_p (T_{reg,8} - T_{reg,7})}{\dot{m}_{reg} C_p (T_{reg,11} - T_{reg,7})}$$

本研究主要在製程空氣流量（ $120 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $180 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ ）在再生空氣溫度 90°C 及流量 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 的條件下進行測試。

製程空氣流量對創新除濕空調性能的影響

圖 6 顯示了 DC 在不同溫度下的每小時變化。SIDD 的 DC 在製程流量為 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $180 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 和 $120 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 時，各自為 $8 - 9.2 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ 、 $8.6 - 10 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ 和 $9.3 - 10.8 \text{ g}_w/\text{kg}_{da}$ 。這些結果顯示 DC 隨著增加製程空氣流量而降低，這是透過增加製程空氣速度來乾燥劑材料，而減少了製程空氣之間的接觸時間。

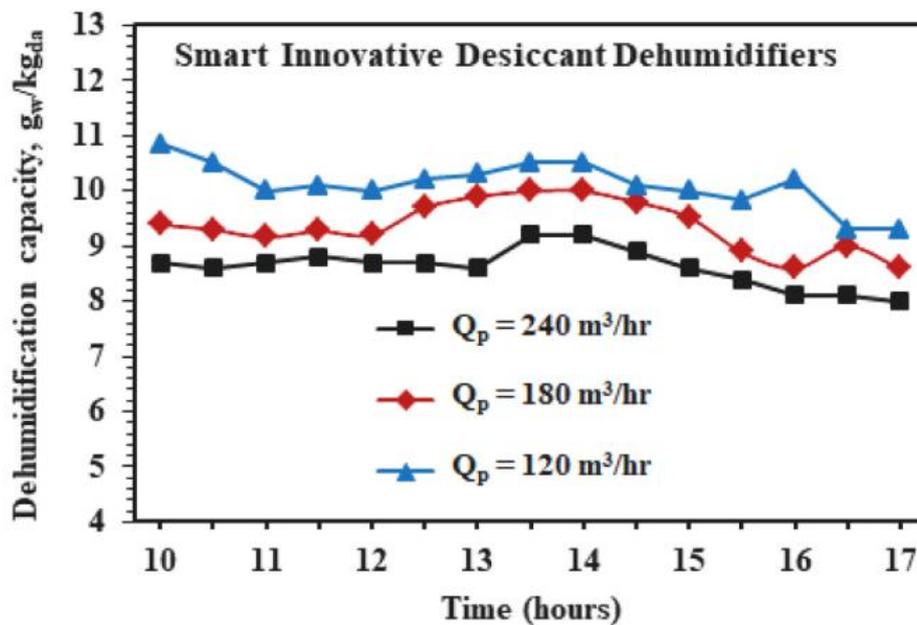


圖 6、不同製程空氣流量 SIDD 上的 DC 關係圖

除濕性能係數（DCOP）是分析乾燥劑除濕器的重要參數。如圖 7 所示，DCOP 在製程流量為 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $180 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 和 $120 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 時，各自為 $0.858 - 0.986$ 、 $0.688 - 0.798$ 和 $0.497 - 0.553$ 。各製程流量的 DCOP 平均值分別為 0.92 、 0.74 和 0.535 。結果顯示，DCOP 隨著製程空氣流量的增加而增加。

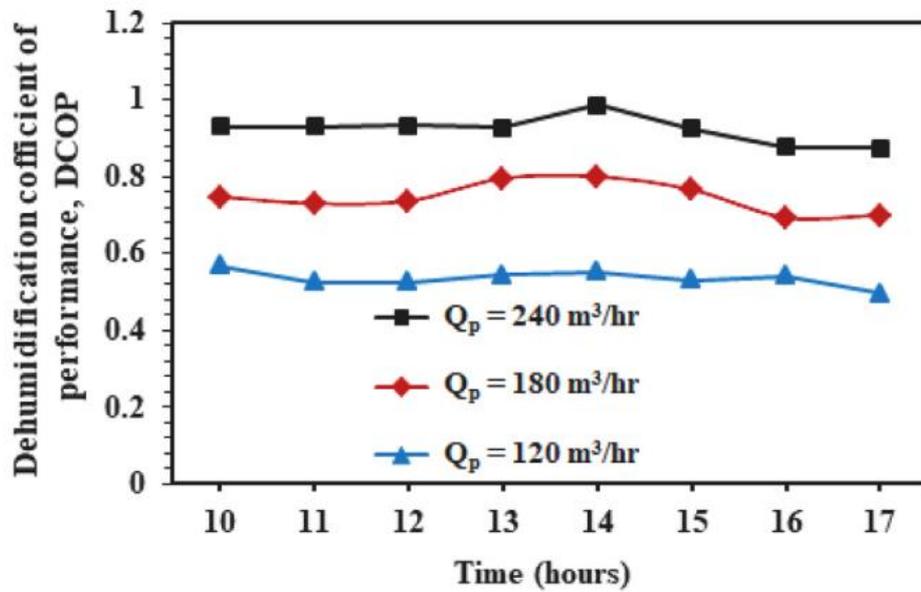


圖 7、不同製程空氣流量 DCOP 關係圖

熱性能係數 (TCOP) 是分析系統整體性能不可或缺的參數。如圖 8 所示，TCOP 在製程流量為 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $180 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 和 $120 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 時，各自為 1.64 - 1.91、1.27 - 1.47 和 0.87 - 0.99。各製程流量的 DCOP 平均值分別為 1.77、1.38 和 0.93。結果顯示，TCOP 隨著製程空氣流量的增加而增加，因冷卻能力隨著製程空氣流量的增加而增加。

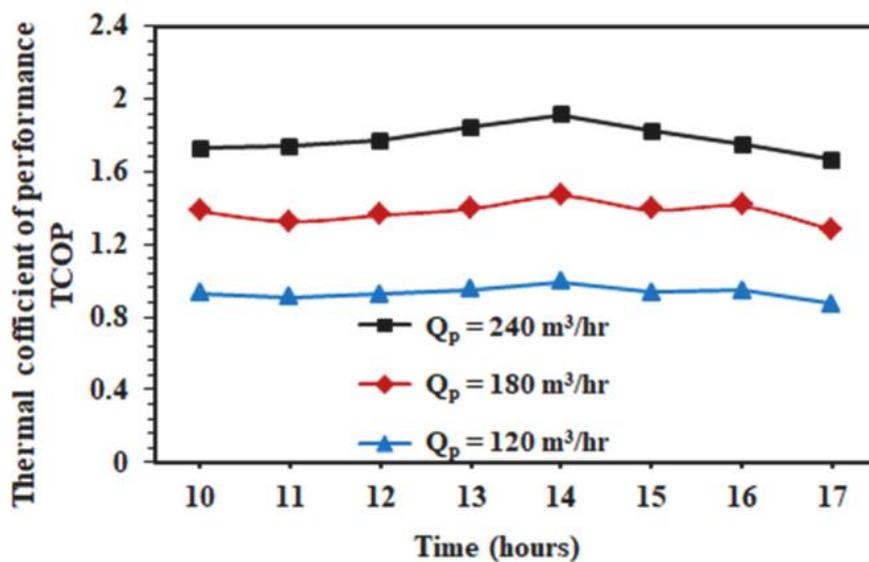


圖 8、不同製程空氣流量 TCOP 關係圖

圖 9 顯示高效除濕空調 ECOP 的變化。高效除濕空調的 ECOP 在製程流量為 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $180 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 和 $120 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 時，各自為 2.43~2.74、2.05~2.47 和 1.34~2.13。各製程流量的 ECOP 平均值分別為 2.58、2.27 和 1.73。結果顯示，ECOP 隨著製程流量的增加而增加，這主要是由於製冷能力隨著製程空氣流量的增加而增加。

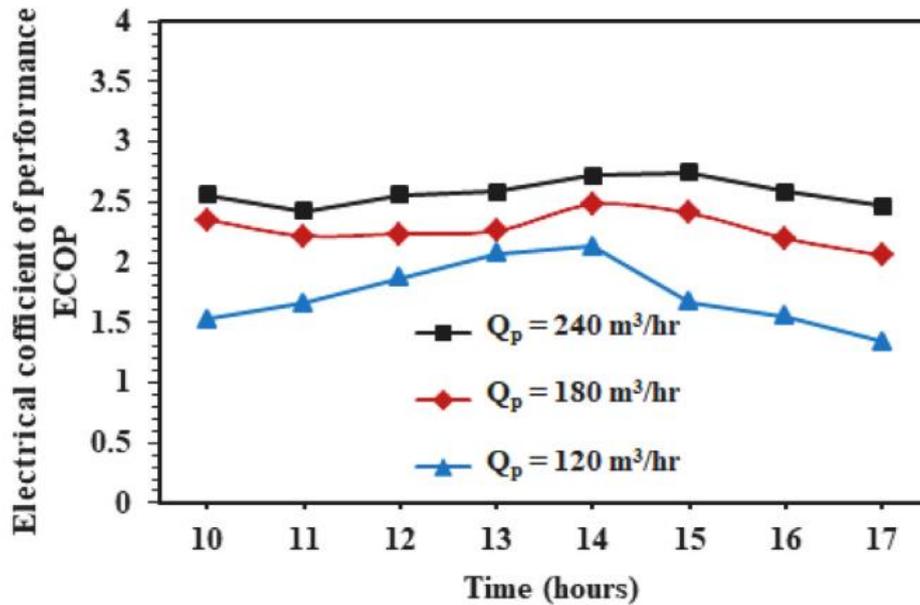


圖 9、不同製程空氣流量 ECOP 關係圖

高效創新乾燥劑空調的能量回收裝置對輔助電空氣加熱器可增加熱能節省率。能量回收裝置用於提高再生空氣在進入輔助電加熱器之前的溫度。透過回收從 SIDD 排出的再生空氣中所含之熱能。如圖 10 所示，熱能節能率在製程流量為 $240 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 、 $180 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 和 $120 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ 時，各自為 23.36%、22.74%、21.91%。結果顯示，能量回收裝置與高效乾燥劑系統的結合是一種以較低的電力消耗率生產高品質空調的有效系統。

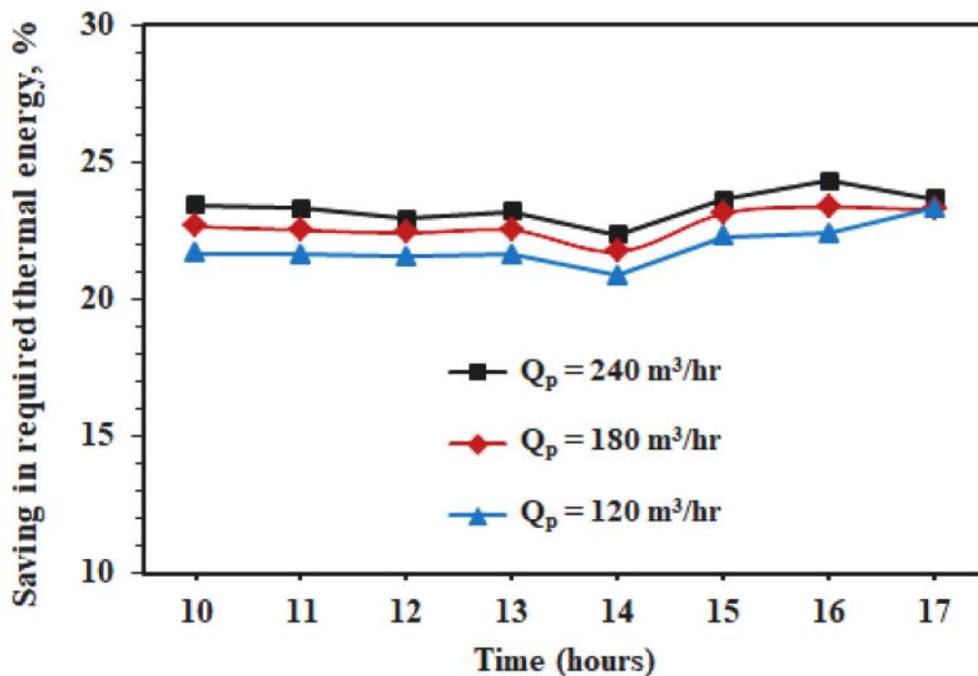


圖 10、不同製程空氣流量節能率關係圖

結論

本實驗設計和製造高效除濕空調，透過保護環境免受有害排放、實現熱舒適條件和合理化能源消耗來實現永續發展。為了實現這一目標，智慧創新乾燥劑除濕機和能量回收裝置與空調相結合。智慧創新乾燥劑除濕機旨在透過使用更大的冷卻速率來冷卻製程空氣，從而提高空氣除濕能力並避免吸附熱的影響。為了最大限度地減少功耗，使用能量回收裝置對再生空氣進行預熱。結果表明，本研究提出的高效除濕空調代表了一種有效的設計，因為它可以實現熱舒適條件並合理化能源消耗。高效除濕空調可提供平均濕度 8 至 10 g_w/kg_{da} 之間變化的冷卻空氣。此外，能量分析表示，所提出的乾燥劑空調是高效的，熱性能係數和電氣性能係數皆隨著製程空氣流量的增加而增加，熱能平均節省率在 21.9% 以上。