

知識物件上傳表

計畫名稱：低耗能乾燥除濕應用設備開發計畫

上傳主題：沸石組成及基本特性介紹

提報機構：工研院綠能所

提報時間：110年03月04日

與計畫相關	☒ 1.是 ☐ 2. 否
國別	☒ 1.國內 ☐ 2. 國外：(註明國家名稱)
能源業務	☐ 1.能源政策(包含政策工具及碳交易、碳稅等) ☐ 2.石油及瓦斯 ☐ 3.電力及煤碳(包含電力供應、輸配、煤炭、核能等) ☐ 4.新及再生能源 ☒ 5.節約能源(包含工業、住商、運輸等部門) ☐ 6.其他
能源領域	☐ 1.能源總體政策與法規 ☐ 2.能源安全 ☐ 3.能源供需 ☐ 4.能源環境 ☐ 5.能源價格 ☐ 6.能源經濟 ☒ 7.能源科技 ☐ 8.能源產業 ☐ 9.能源措施 ☐ 10.能源推廣 ☐ 11.能源統計 ☐ 12.國際合作
決策知識類別	☐ 1.建言(策略、政策、措施、法規) ☒ 2.評析(先進技術或方法、策略、政策、措施、法規) ☐ 3.標竿及統計數據：技術或方法、產業、市場等趨勢分析 ☐ 4.其他：
重點摘述	我國位處於亞熱帶地區且屬於海島型潮濕氣候，終年環境大氣條件偏向潮濕狀態，各項乾燥除濕技術，已成為工業部門與一般家用之基礎設備。除濕技術系統可分為壓縮式除濕和吸附式除濕，前者以電能驅動冷卻除濕後再升溫循環，後者以吸附材吸附除濕後加熱再生，兩者各有優、缺點及適合運作之環境。而一般吸附乾燥技術大多利用多孔隙材料為吸附劑，其原理為物理性吸附，主要透過吸附劑孔洞內壁之凡得瓦爾力，捕捉空氣中的水分子以達到除濕效果，其中矽膠和沸石為目前商業上普遍應用於除濕產品之材料。本文主要針對沸石的組成與基本特質進行介紹。
詳細說明	台灣位處於亞熱帶地區且屬於海島型潮濕氣候，全年環境濕氣重，因此各項乾燥除濕技術，如防潮、除濕與乾燥等皆為工業部門與一般家用之基礎必備設備。在目前工業製造中常見吸附劑的材料包含矽膠(silica gel)、沸石(zeolite)、活性氧化鋁(activated alumina)、活性碳(activated carbon)及矽酸鋁(aluminosilicate)等，其中矽膠和沸石為目前商業上普遍應用於除濕產品之材料。矽膠為非晶形的顆粒狀二氧化矽水合物，其吸附熱約為2,500~2,800 kJ/kg，經由適當造粒後常用作為拋棄型乾燥劑和工業乾燥材，其尺寸和形貌隨製程變化具有多樣化的特性，然而矽膠的吸附容量不高且易粉碎之結構導致其應用於除濕設備受到限制。沸石為鋁、矽、氧與金屬離子組成的矽酸鹽晶體，為天然之微孔材料，其小於2奈米之孔徑可提供高比表面積，加上沸石對水具有極佳的親和力，因此具有絕佳的除濕效果。 沸石(zeolite)吸附材料於1756年由瑞典科學家 B. Cronstedt 發現，它是一種氧化矽、氧化鋁與鹼在水氣壓力下作用所形成的結晶性矽鋁酸鹽類，沸石具

The diagram illustrates the hierarchical structure of zeolites, showing the progression from atomic-scale building blocks to the full unit cell.

- Atomic Scale (小):**
 - Primary building units (四面體):** Consist of Si^{4+} or Al^{3+} tetrahedra (TO_4 -tetrahedron) and bridging oxygen atoms. The bond length is approximately 0.16 nm.
 - Secondary building units (SBUs):** Represented by a hexagonal ring of atoms.
- Intermediate Scale:**
 - Composite building units (CBUs):** Shown as a sodalite unit (a cage-like structure).
- Unit Cell Scale (大):**
 - FAU (Framework Acidic Unit):** A large cage-like structure with a side length $a \sim 2.43 \text{ nm}$.
 - Unit cell:** The final assembly of building units, shown as a large cube with a side length a .

The diagram uses a large green arrow to indicate the increasing scale from small (小) to large (大) structures.

四面體結構中心通常為 Si 或 Al 原子，四面體頂點與下個四面體共享一個氧原子，因此一個四面體化學結構組成為 SiO_2 ，若中心為 Al 則為 AlO_2^- ，另外須仰賴額外的陽離子(M)來保持物質之電中性，因此沸石的化學結構寫為： $\text{M}^{n+}_{x/n}[(\text{AlO}_2^-)_x(\text{SiO}_2)_y]$ 其中 n 為陽離子的氧化數，常見的陽離子大多為一價之氫離子(H^+)、鈉離子(Na^+)與銨離子(NH_4^+)，另外，由於兩個 AlO_2^- 四面體無法直接相連，使得 $x \leq y$ ，即沸石的 Si/Al 原子數比(矽鋁比)必須大於或等於1。不同數量之四面體可組成一多邊形之二級骨架單元(secondary building units, SBUs)；以不同的 SBU 可進一步組成複合骨架單元(composite building units, CBUs)，例如六角柱體等，CBU 不一定具對稱性，而沸石的單位晶格就是由不同的 CBU 組合建構而成之有序結構。

圖2示意圖為四面體相互連接組成的環，沸石環通常包含4、5、6、8、10或12個四面體，甚至更多的14、18和20個四面體環的骨架，很少有3、7或9環的骨架，骨架中環的大小決定了不同沸石晶格的入口孔徑。同時，CBU 組合後有之單位晶格有時會呈現牢籠狀(cage type)，也就是入口孔徑小，但內部具有較大的孔容空間。

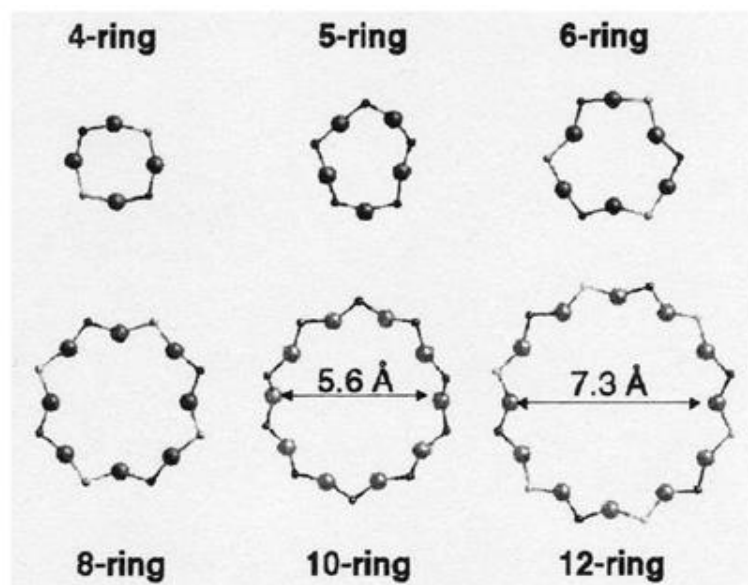


圖 2、不同沸石環大小對應不同孔洞大小^[2]

根據 IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)將多孔性材料按孔洞直徑大小分成三類^[3]，如表1所示。

表 1 多孔洞材料孔徑大小之分類

孔洞分類	孔洞大小
微孔洞(Microporous)	< 2 nm
中孔洞(Mesoporous)	2~50 nm
巨孔洞(Macroporous)	> 50nm

不同大小孔洞之沸石能選擇性的吸附不同大小之分子，因此沸石又稱為「分子篩」。沸石內之矽鋁比與陽離子類型可改變沸石的極性，會使得沸石孔洞的大小與表面極性隨之改變，因此分子篩對不同吸附物的功用就更加富有變化。

沸石的特性不只與其組成有關，矽鋁比值($\text{Si/Al}=n$)與酸性位點也是很重要的因素。沸石的矽鋁比愈高，電性愈中和，則極性愈弱，同時沸石的熱穩定性及酸性強度因矽含量增加而增高，但是離子交換能力及酸性則隨矽含量增加而減少。依其矽、鋁含量來分，約可分成四類：

- 低矽沸石；即 Si/Al 原子數比在 1~1.5 之間，如 A 型及 X 型沸石，屬於較親水性材質，多用於離子交換。
- 中矽沸石；即 Si/Al 比在 1.5~5.0 之間，如 Y 型或絲光沸石(mordenite)，用於石油煉製及石化工業的觸媒作用。
- 高矽沸石； Si/Al 比大於 5，其中最著名的為 ZSM-5，表面屬於較疏水性。
- 全矽沸石:沸石結構中無含鋁元素，如 Silicalite。

	資料來源 1. Moshoeshe, M.; Nadiye-Tabbiruka, M. S.; Obuseng, V., A Review of the Chemistry, Structure, Properties and Applications of Zeolites.(2017) 2. Everett, D. H., MANUAL OF SYMBOLS AND TERMINOLOGY FOR PHYSICOCHEMICAL QUANTITIES AND UNITS APPENDIX II Definitions, Terminology and Symbols in Colloid and Surface Chemistry PART I.(1972) 3. Breck, D.W.,“Zeolite molecular sieves”(1974)
--	--

- 註：1.請計畫執行單位上傳提供較具策略性的知識物件，不限計畫執行有關內容。
- 2.請計畫執行單位每季更新與上傳一次，另有新增政策建議可隨時上傳。
- 3.文字精要具體，量化數據盡量輔以圖表說明。