

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告格式

題目名稱： 氧化鎂與矽酸鈣不同比例混合對二氧化碳吸收效率的影響
一、摘要 本研究探討氧化鎂 (MgO) 與矽酸鈣 (CaSiO_3) 在不同比例混合下對二氧化碳 (CO_2) 吸收效率的影響，目的是找出最佳配比以提升碳捕集效果。實驗中，我們將混合好的粉末放入密閉反應瓶，利用 Vernier Go Direct CO_2 感測器即時量測瓶內 CO_2 濃度變化，並透過單向閥控制氣體進入，確保反應過程的準確性與一致性。經過多組比例比較與重複實驗後，我們發現當 MgO 與 CaSiO_3 的質量比例為 5:5 時，其吸碳效率最高，推測該比例下可達成活性與穩定性的平衡，產生協同吸附效應。本研究結果顯示，適當比例的混合吸碳材料能有效提升碳捕集效能，未來具備應用於空氣淨化、建材製造及碳封存技術之潛力，對減碳與環境永續發展具有積極意義。
二、探究題目與動機 隨著全球暖化與氣候變遷問題日益嚴重，二氧化碳 (CO_2) 排放成為關鍵議題之一。近年來，碳捕集與封存技術 (Carbon Capture and Storage, 簡稱 CCS) 受到廣泛關注，而氧化鎂 (MgO) 與矽酸鈣 (CaSiO_3) 因其與 CO_2 反應生成穩定碳酸鹽的特性，被視為潛在的除碳材料。然而，不同比例的氧化鎂與矽酸鈣混合可能影響其吸收 CO_2 的效率，因此，本研究旨在探討兩者在不同配比下的除碳表現，以期找出最佳配方，提升碳捕集技術的應用價值，並為未來環保材料的開發提供實驗數據支持。
三、探究目的與假設 探究目的： 本研究旨在探討氧化鎂 (MgO) 與矽酸鈣 (CaSiO_3) 在不同比例混合時，對二氧化碳 (CO_2) 吸收效率的影響，並找出最佳的混合比例，以提升碳捕集的效能。透過設計實驗，測試各種比例材料對 CO_2 的吸收量，分析其反應速率與最終產物，期望為未來碳捕集技術與環保材料應用提供參考數據。 探究假設： 1.最佳比例假設： 氧化鎂與矽酸鈣的混合比例會影響 CO_2 的吸收效率。 2.協同效應假設： 適當比例的氧化鎂與矽酸鈣可能產生協同效應，使 CO_2 吸收效率高於單獨使用時的效果。 3.反應機制假設： 矽酸鈣可能在特定條件下提高氧化鎂的反應活性，影響最終碳酸鹽的形成速率與穩定性。

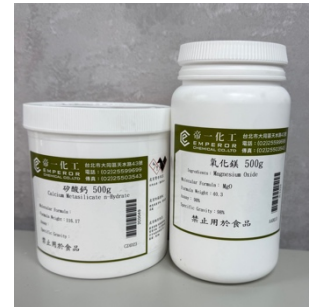
四、探究方法與驗證步驟

探究方法：

本研究使用氧化鎂 (MgO) 與矽酸鈣 (CaSiO_3) 以不同比例混合，探討其對二氧化碳 (CO_2) 吸收效率之影響。主要步驟如下：

1. 材料準備：

秤取不同質量比例但總重量相等的氧化鎂與矽酸鈣，充分混合均勻備用。



2. 裝置組裝：

(1) CO_2 注入裝置(左圖)

將乾冰放入裝置中，靜置 15 分，瓶內會充滿高濃度二氧化碳，可灌入感測系統中。

(2) 感測系統(右圖)

將混合粉末放入氣密塑膠瓶中，瓶口連接 Vernier Go Direct CO_2 感測器。瓶側設置導管並連接單向閥，確保 CO_2 在瓶內不會外洩，而當 CO_2 減少時，壓力變小，外界大氣壓力會將大氣流入瓶內，可以確保瓶內壓力與外界一致。



3. 實驗方法：

先將粉末放入感測系統，接著灌入 CO_2 到感測系統中長達 15 秒，插入感測器測量 CO_2 ppm 濃度，利用傾倒跟灌入反覆操作調整 CO_2 ppm 濃度低於 10 萬 ppm (感測器最高是 10 萬 ppm)，待感測器的數值穩定只有少量浮動即可開始紀錄。

4. 數據紀錄與分析：

比較不同配比下 CO_2 濃度的下降幅度與速率，以評估其吸收效率。數據取自固定時間內 CO_2 濃度的平均下降量。

5.實驗一：設立對照組

說明：使用純氧化鎂 MgO 與純矽酸鈣 CaSiO_3 作為對照組

控制變因：溫度、反應時間與材料質量皆保持一致。

實驗步驟：(1)取 10 克氧化鎂放入感測系統

(2)準備好 CO_2 注入裝置

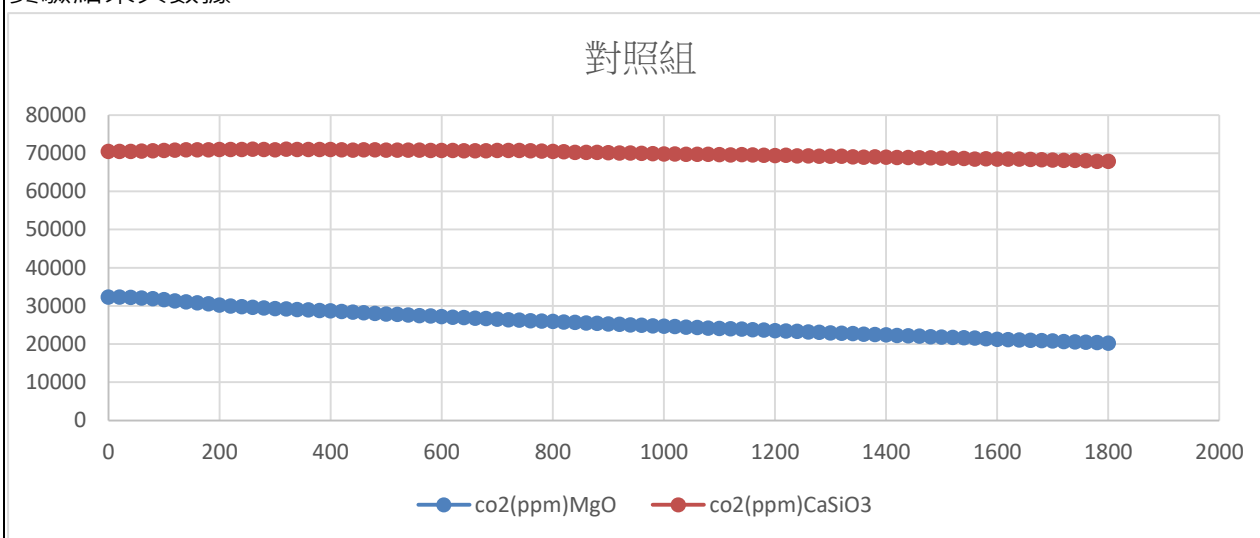
(3)執行實驗方法

(4)將系統靜置，每 20s 採樣一次系統內 CO_2 ppm 數據

(5)每組比例至少進行三次實驗，取平均值以確保數據穩定性與可信度。

(6)更換矽酸鈣重覆上述步驟 1~5

實驗結果與數據



平均速率 ppm/s	0~200s	200~400s	400~600s	800~1800s	0~1800s
氧化鎂	10.69	7.45	7.51	5.66	6.71
矽酸鈣	0	0	1.31	2.57	1.42

討論：發現數據的變化有階段性，於是乎根據時段分析每一段的平均速率。再查找文獻後得知文獻資料與數據相當吻合。

1. 在乾燥條件下，氧化鎂可以直接與 CO_2 表面反應，乾燥初期碳酸化速率快；矽酸鈣則需要水來幫助 Ca^{2+} 溶出，沒有水就幾乎不反應，有水會非常快。

2. MgO 會形成碳酸鎂層鈍化表面，讓後期反應變慢。 CaSiO_3 一開始難反應，但反應後也會形成 CaCO_3 和 SiO_2 ，這兩個產物一樣會形成「覆蓋層 (passivation layer)」，而且 SiO_2 更容易封死孔隙。兩者都會鈍化，只是 MgO 鈍化比較明顯(因為初期反應快後期慢)、 CaSiO_3 是「反應很難啟動 + 一旦開始就也會被鈍化」。

3.同時發現，二氧化碳濃度不影響結果。

4.兩者的能力不同，產生碳酸鹽都是放熱反應所以是自發的，能力不同應能互相截長補短。

6.實驗二：改變比例

說明：使用氧化鎂 MgO 與矽酸鈣 CaSiO_3 混合物(總質量 100 克)作為實驗組

控制變因：溫度、反應時間與材料質量皆保持一致。

實驗步驟：(1)取 100 克氧化鎂與矽酸鈣的混合物(總質量 100 克)放入感測系統

(2)準備好 CO_2 注入裝置

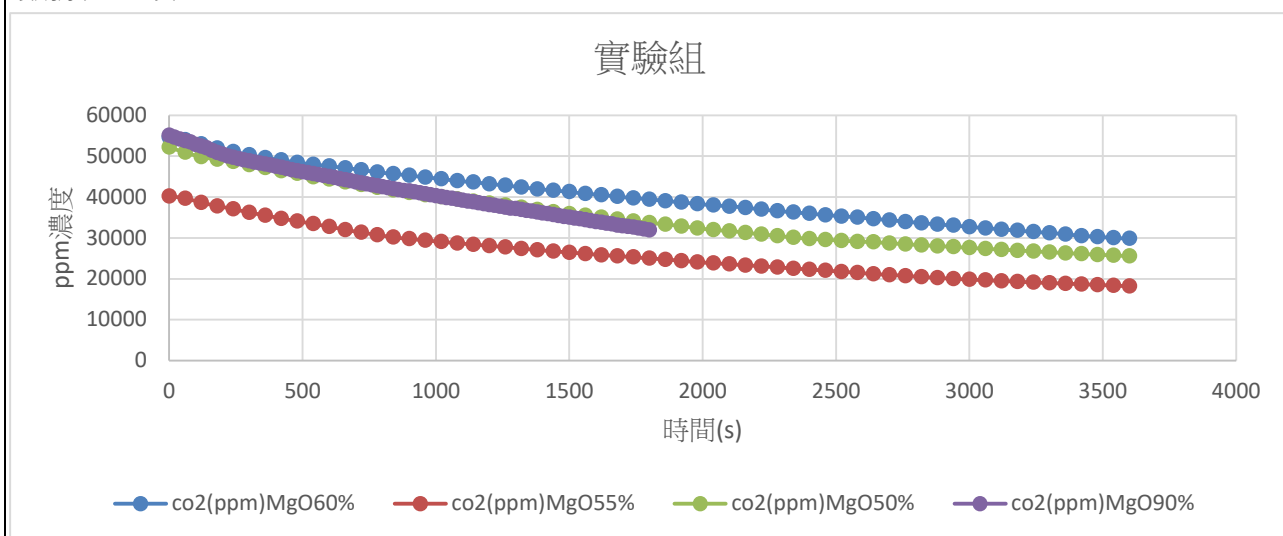
(3)執行實驗方法

(4)將裝置靜置一小時，每分鐘採樣一次裝置內 CO_2 ppm 數據

(5)每組比例至少進行三次實驗，取平均值以確保數據穩定性與可信度。

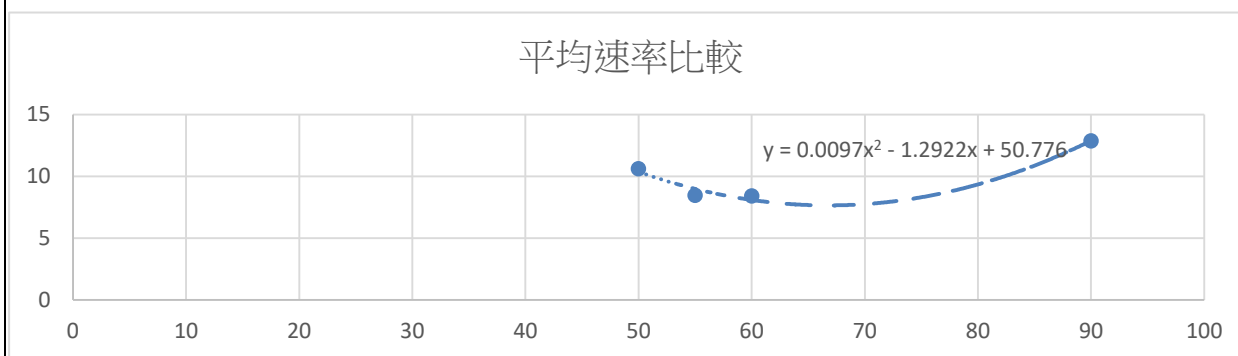
(6)更換氧化鎂與矽酸鈣比例重覆上述步驟 1~5

數據與圖表：



氧化鎂與矽酸鈣比例	0~300s	300~600s	600~900s	900~1800s	0~1800s
60:40	14.34	9.01	7.59	6.48	8.39
55:45	13.37	11.48	10.03	5.29	8.46
50:50	14.2	11.91	10.74	8.21	10.59
90:10	21	12.63	11.93	10.53	12.86

討論：分析方法與實驗一相同，考量到極端情況，也以乾燥情況進行實驗。可以發現氧化鎂與矽酸鈣混合的效果比純氧化鎂或純矽酸鈣都好，驗證能力不同應能互相截長補短。



五、結論與生活應用

結論：

本研究旨在探討氧化鎂與矽酸鈣在不同比例混合下對二氧化碳吸收效率的影響。雖然實驗得出純氧化鎂在短時間內具有較高的吸碳效率，但經實驗比較後，我們綜合考量吸碳能力、材料成本與長期封存穩定性，最終選定 MgO 與 CaSiO_3 的混合物合為最適組合。分析如下：

(一)反應機制總覽

矽酸鈣 (CaSiO_3)：先與酸性 CO_2 反應溶出 Ca^{2+} → 再與 CO_3^{2-} 生成 CaCO_3 。副產物為 SiO_2 凝膠，可能覆蓋表面造成反應停滯。

氧化鎂 (MgO)：表面直接吸附 CO_2 生成 MgCO_3 ，或先轉成 Mg(OH)_2 後再反應。易受碳酸鎂鈍化層阻礙，反應速率中後期下降。

混合反應特性： Ca^{2+} 優先與 CO_3^{2-} 結合 → 避免 MgO 提早被包覆。 MgO 釋放 OH^- 提升 pH → 有利 Ca^{2+} 反應，比沒水時好。

(二)混合比例與非線性效應 (實驗觀察解釋)

MgO 比例	效果	解釋
0% (純 CaSiO_3)	吸碳效率最低	SiO_2 覆蓋，反應停滯，鹼度不足
50% (1:1 混合)	反應速率與吸收量高	鹼性與 Ca^{2+} 均衡，協同效應最強
60–70%	反而下降	Ca^{2+} 不足、 MgO 被部分鈍化
≥80%	再度上升	MgO 量充足、總吸碳量提升，孔隙通道維持

(三)關鍵協同效應來源

化學層面：碳酸根分散吸收，避免某一成分過快鈍化。

物理層面：矽酸鈣形成骨架與裂縫，避免孔道堵塞。形成多孔網絡結構抑制團聚與燒結。

最終產物組成： CaCO_3 、 MgCO_3 (含水合形式)、非晶 SiO_2 。熱力學穩定，不會在環境條件下分解。可避免 MgO/CaO 的體積膨脹問題。

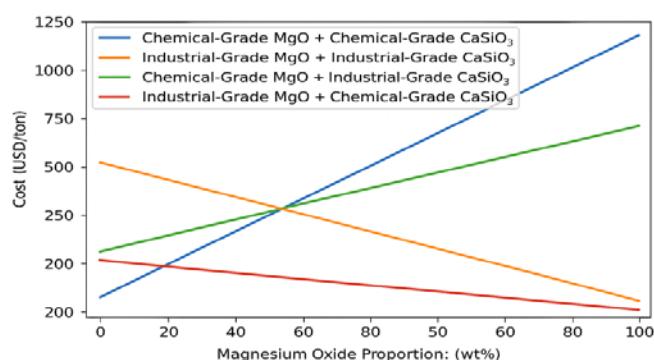
結論：

產物具有良好的儲碳潛力與環保應用價值。本研究結果不僅提供一種高效的除碳材料配比參考，也有助於未來碳捕集與封存技術 (CCS) 的材料開發，應用於空氣淨化、建材製造與綠色工程等領域，具備實際應用潛力。未來若能搭配不同環境條件 (如溫度、濕度) 進行進一步測試，將更能全面掌握材料反應機制，並優化其應用效能。

本研究最終可視為環境工程，既為工程，需要考量到成本，這是我們查詢國際進出口價格算出的成本表如下：

氧化鎂比例 (wt%)	化學級別 混合成本 USD/ton	工業級別 混合成本 USD/ton	化學級氧化鎂 工業級矽酸鈣 混合成本 USD/ton	工業級別氧化鎂 化學級矽酸鈣 混合成本 USD/ton
0% (全矽酸鈣)	\$800	\$500	\$500	\$800
10% MgO	\$845	\$470	\$575	\$740
20% MgO	\$890	\$440	\$650	\$680
30% MgO	\$935	\$410	\$725	\$620
40% MgO	\$980	\$380	\$800	\$560
50% MgO	\$1025	\$350	\$875	\$500
60% MgO	\$1070	\$320	\$950	\$440
70% MgO	\$1115	\$290	\$1025	\$380
80% MgO	\$1160	\$260	\$1100	\$320
90% MgO	\$1205	\$230	\$1175	\$260
100% (全氧化鎂)	\$1250	\$200	\$1250	\$200

之前的平均速率比較圖可知道，當氧化鎂的比例在 65%~75%時，整體表現最差，紅字為可執行成本，藍字為最佳成本選擇(取前四名)。下圖是成本成長情況。



參考資料

1. 科技新報：史丹佛大學發現將普通岩石轉為碳捕捉利器的低成本方案

<https://technews.tw/2025/02/26/scientists-discover-low-cost-way-to-trap-carbon-using-common-rocks/>

2. Chen Y.X. (2008). 以改質氧化鈣捕獲二氧化碳氣體之循環再生能力研究. 國立交通大學碩士論文

3. Ping, C., Feng, B.-Q., Teng, Y.-L., Chen, H.-Q., Liu, S.-L., Tai, Y.-L., Liu, H.-N., & Dong, B.-X. (2020). Acquiring an effective CaO-based CO₂ sorbent and achieving selective methanation of CO₂. *RSC Advances*, 10(36), 21509–21516.