



二氧化碳之處理及固定技術

報告人：顧洋 教授

2007/1/26

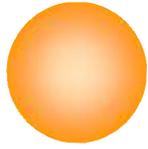

Laboratory of Environmental Engineering
Dept. of Chemical Eng. NTUST



ETL-NTUST

前言

- 氣候變遷問題經過多年討論之後,逐漸確認人為溫室氣體排放引發的全球氣候溫暖化,是全球共同面臨的重要環境問題,因此溫室氣體排放管制的實施,應該具體落實在國家、產業、和企業等不同層次;以採取符合經濟效益的排放減量方式,降低其對全球氣候變遷的影響。
- 人為溫室氣體之減量:
 - 能源節約技術之發展
 - 無碳及低碳能源技術之發展
 - 溫室氣體之轉化技術之發展
 - 溫室氣體之貯存及固定技術之發展
- 我國近年來針對溫室氣體減量相關議題在國科會、經濟部、環保署等政府單位之支持下,已累積相當研究成果,但是由於溫室氣體減量相關議題廣泛,以致於研究成果較為分散。



二氧化碳之儲存及固定技術研究方向

- 二氧化碳之儲存及固定技術研究主要分為以下兩方向
 1. CO₂儲存: 將二氧化碳經處理後封存不再排放至大氣, 共可分為以下三種方法:
 - a. 海洋儲存
 - b. 地質儲存
 - c. 其他儲存
 2. 生物固定: 依其不同的生物可分為以下兩種:
 - a. 海洋生物固定
 - b. 植物固定

CO₂之海洋儲存

- 緣起：1970 年代後期起, 科學家即著手研究將CO₂注入海中之可行性
- CO₂之儲存技術逐漸被區分為兩大類：
 - (a)“CO₂ 湖泊”的方式(lake-type storage concept)將CO₂ 儲存於深海中
 - (b) “稀釋儲存”的概念(dilution concept)將CO₂ 溶解於海水之中

•環境衝擊：

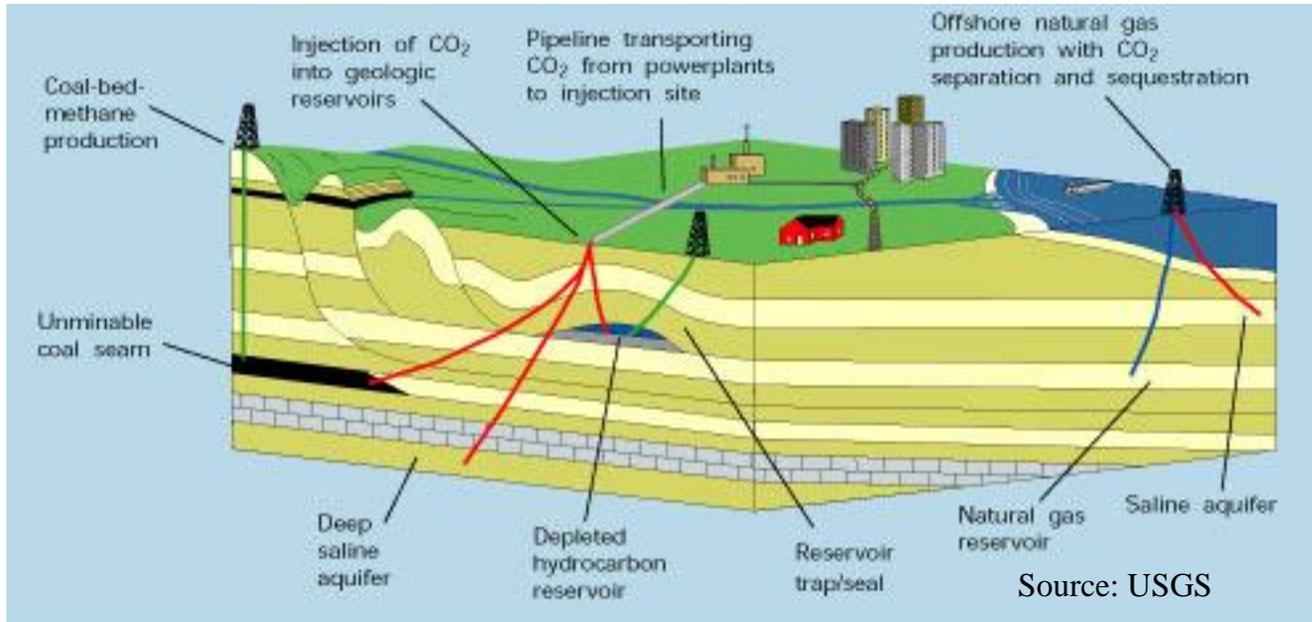
- 1.以乾冰的形式儲存在深海當中,則如果當地球的溫度上升幾度之後,乾冰可能會外洩,而對生態的影響將不可估計
- 2.海洋表面海水會酸到讓浮游生物、雙貝類和珊瑚的生長速率降低20%~50%
- 3.到本世紀末,海洋中二氧化碳含量的增加可能會導致海洋動物殼中的鈣含量損失25%到45%

技術分類	管線法	運輸船法	二氧化碳湖泊法	直接棄置CO ₂ 法
運輸方式	架設管線	陸地上稀釋,現地稀釋,釋放前稀釋,噴灑管,拖曳管	注入船導管,半沉浮台導管,浮管,張力柱浮台導管	直接陳降棄置
注入形式	氣或液體	液體(液滴)	液體(CO ₂ 湖)	乾冰
注入深度	深海注入(>500m)	中間深度釋放(1000~1500m)	深海隔離(<3000m)	深海隔離(<3000m)
建議尺寸	氣泡半徑約1~2cm	半徑約1~2cm	不需考慮	邊長3m的立方塊(乾冰)
儲存方式	稀釋式	湖泊式	湖泊式	稀釋式
滯留時間	最短(<50年)	次之(200~300年)	較長	較長
成本比較	成本較低	最有較率	成本高	能量及運輸成本高
生態影響	較小	較小	較大	較大

CO₂之海洋儲存(續)

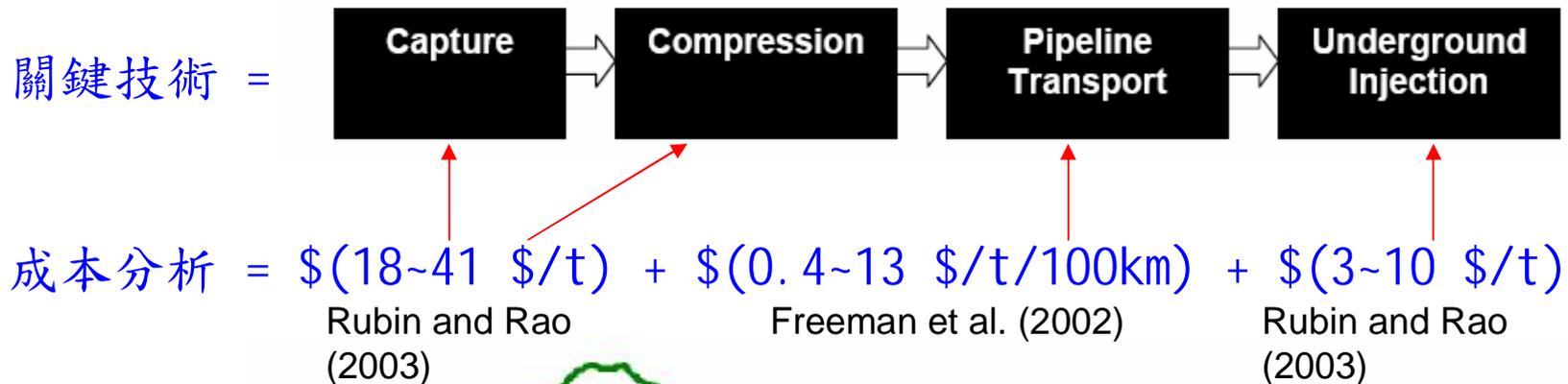
- 運輸船法：是目前最有效率且本土適用性較高的運輸方式，將CO₂加壓至壓力6bar,溫度-55°C運送
- 儲存方式及深度：利用拖曳管船將壓縮的CO₂液體運輸至1000~1500m深海稀釋處置的方法，以稀釋儲存方式，將CO₂溶解於海水之中
- 環境衝擊：CO₂深海處置對於海洋生態有可能造成的影響及運輸過程安全性能需加以考慮
- 成本分析：
 1. CO₂回收(包含：amine吸收、氣提、壓縮)18~41 \$/t (Rubin and Rao, 2003)，
CO₂深海處置成本1.95 \$/t
 2. 加裝CO₂防治設備的電廠，其總發電成本從1.6 NTD/kWh增加為2.4，約佔總發電成本的三分之一
 3. CO₂深海處置階段的成本相較於回收階段而言明顯地低，因此CO₂深海處置方案的確具有經濟可行性的誘因

CO₂之地質儲存



- 廢油田儲存法
- 廢煤田儲存法
- 廢天然氣井儲存法
- 地質岩層儲存法

Source: Sally(2004)



2007/1/26

CO₂之地質岩層儲存法

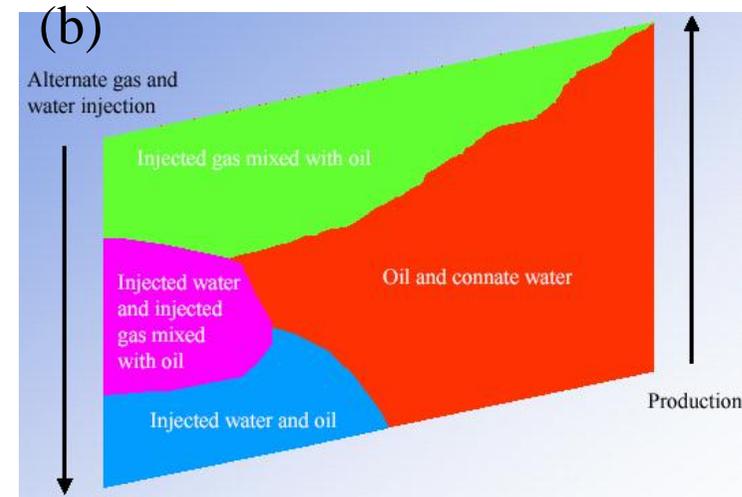
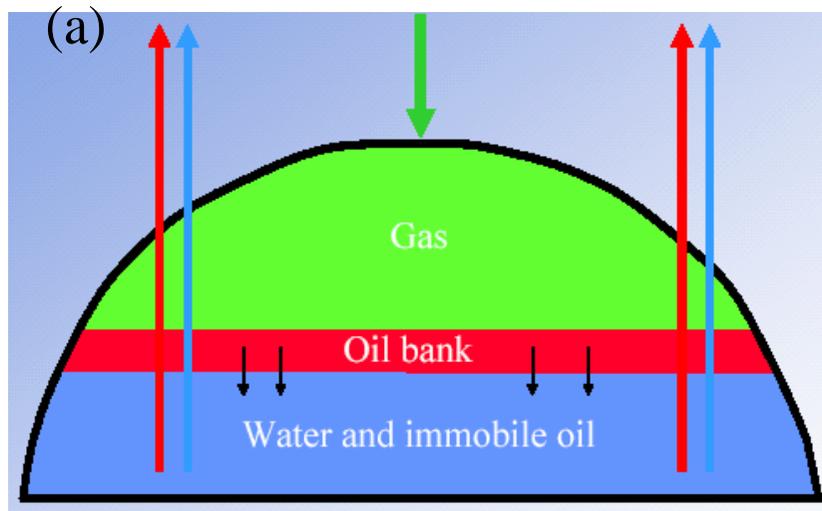
- 注入狀態:溫度31°C, 壓力為73bar的液體CO₂
- 適合儲存CO₂之岩層可分兩種:
 - 近海(offshore)岩層
 - 近陸(onshore)岩層
- 適合作為儲存地點: 岩層必須包含一層透水層,及一層不透水層或低滲透性的岩層。而地質儲存的關鍵因子為以下幾項:
 1. 需要在深度800~1000m並且具有阻絕估功能的背斜地質構造
 2. 背斜地質構造下方,具有流體儲存的空間
 3. 流體儲存的空間的化學環境適合CO₂沉澱
 4. 運輸距離短可降低成本
 5. 儲存岩石結構需有良好的孔隙度
- 環境影響:
 1. CO₂長期儲存於地質中約有10~30% 的CO₂會與礦物行成碳酸鈣沉澱。
 2. Statoil於1996注入CO₂於Utsira formation, 於1999 年再做震測調查,發現氣泡 (Gas bubble)並未逸散 (Source: Karsted,2002)

CO₂之地質岩層儲存法

- 案例1：挪威國家石油公司(Statoil)於北海之Sleipner 氣田,所產之天然氣含有過量的二氧化碳,為了規避支付為數相當龐大的碳稅,Statoil於1996年首度嘗試將所脫除之二氧化碳注入位於該油氣層上方的一個地下水層(Utsira Formation),該水層之深度為800至1,000公尺(Source: Karsted,2002)
- 案例2：北海一個由ELSAM和Kinder Morgan所領導的CENS計畫,其計畫目的建立一個二氧化碳輸送網路,連結丹麥的火力發電廠和挪威、英國靠近海岸的油田。此計畫約可連結到10個火力發電廠和12油田,約可以提供7億噸的二氧化碳,而此個結構網約由1500公里的近海管線和900公里的近陸管線所組成(Markussen, 2002)。
- 案例3：歐洲和澳洲則是在探勘和評估近海的鹽水層(salt-water)儲存槽(IEA Greenhouse Gas, 2001)
- 案例4：加拿大和美國則是在尋找近陸地的鹽水層(salt-water)儲存槽(IEA Greenhouse Gas, 2001)

CO₂之廢油田儲存法

- 緣起：1970年代起,石油工業界即發展出一套『強化採油』(Enhanced Oil Recovery, EOR)的技術,儲油層中的石油無法自然生產,遂以天然氣或二氧化碳注入油田,排掃殘存於儲油層孔隙中之石油而提高採收率。
- 英國Sustainable Hydrocarbon Additional Recovery Programme (SHARP)在2003中提出兩種注入方法,分別為:
 - (a)Gravity Stabilising Gas Injection (GSGI)
 - (b)Water Alternating Gas(WAG)



CO₂之廢油田儲存法(續)

- 案例1：美國能源部門會同其他15個國家政府機構、大學與研究機構斥資2800萬美元,將來自美國之CO₂經壓縮後以管線輸送至加拿大Weyburn油田進行二氧化碳掩埋計畫(Environment News Service, 2004)。

1. 目前已打入19億立方公尺的量

2. Encana公司預期在未來30年可以用二氧化碳擠出130百萬桶原油。

- 案例2：德州大學在Dayton附近枯竭的South Liberty油田的研究計畫(Carbon Storage Comes to Disused Texas Oil Fields-Reuters, 2004)。

1. 將1600公噸的二氧化碳打入5000英尺的地下儲存

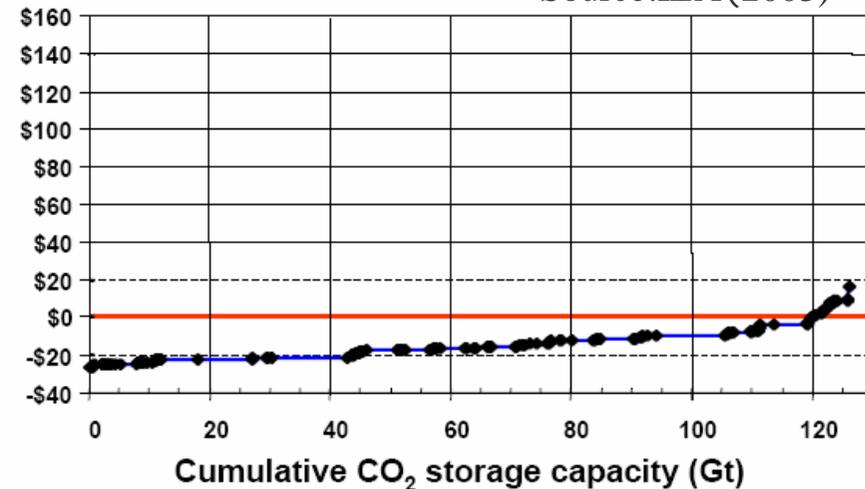
2. 多孔隙岩石層,自墨西哥延伸至阿拉巴馬,預估除儲存量達3000億噸。

- 成本分析：儲存二氧化碳於油田時由於可以提高石油的回收率,所以,可以減少儲存過程所需的成本。

Global potential

Cost of storage (US\$/t CO₂)

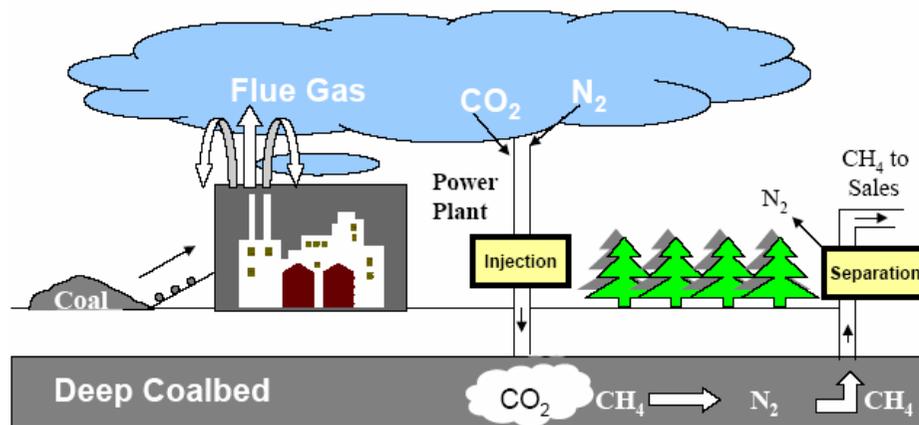
Source: IEA (2003)



2007/1/26

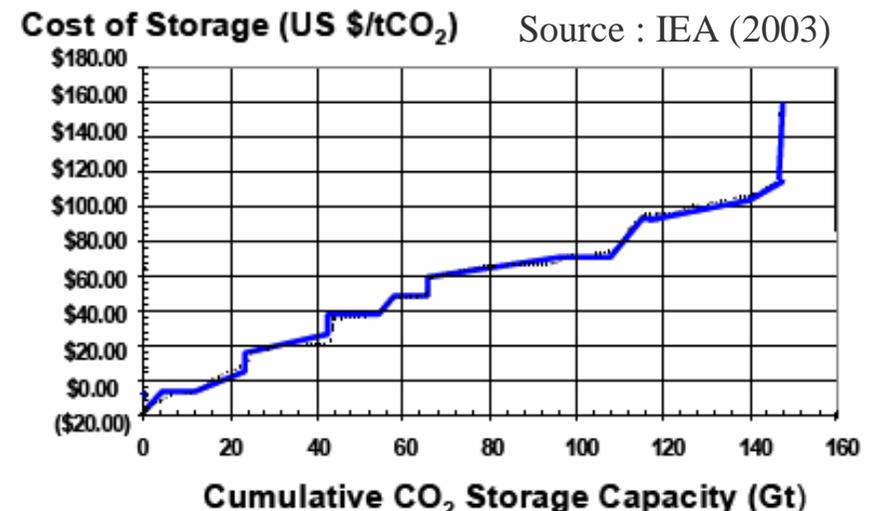
CO₂之廢煤田儲存法

- 煤層氣回收增強技術是把二氧化碳注入不可開採的深煤層中加以儲藏,同時排擠出煤層中所含的甲烷加以回收的過程。
- 環境衝擊：處在一定壓力下的二氧化碳就很難流失或洩漏,能提升儲藏的安全性,這是煤層氣回收帶來的另一益處。
- 成本分析：當儲存二氧化碳於煤田中,由於可以回收甲烷而其經濟效益可以負擔部分的儲存費用。(IEA, 2003)



- Enhanced coalbed methane (ECBM) recovery
- Sequestration of CO₂

Source : Alberta Research Council Inc. (2003)



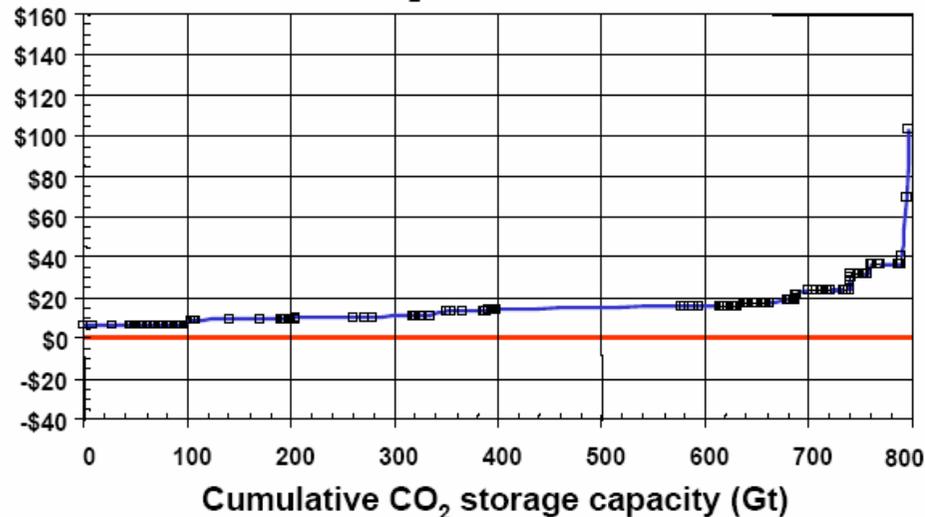
CO₂之廢天然氣井儲存法

- 將二氧化碳注入天然氣井中加以儲藏。
- 案例1：荷蘭政府委託的法國天然氣公司(Gaz de France, GDF)於2004年2月在巴黎舉行公開說明,計劃將二氧化碳注入北海一個離岸100公里、4公里深的舊天然氣田。二氧化碳的來源由位於海岸的二氧化碳脫除廠將其他氣田所生產含有二氧化碳之天然氣所脫除之二氧化碳經由海底管線輸送到位,再以高壓注入該氣田。
- 成本分析：天然氣井注入二氧化碳,有別於煤田及油田,由於沒有經濟產品的回收,無法減少儲存的成本。(IEA,2003)

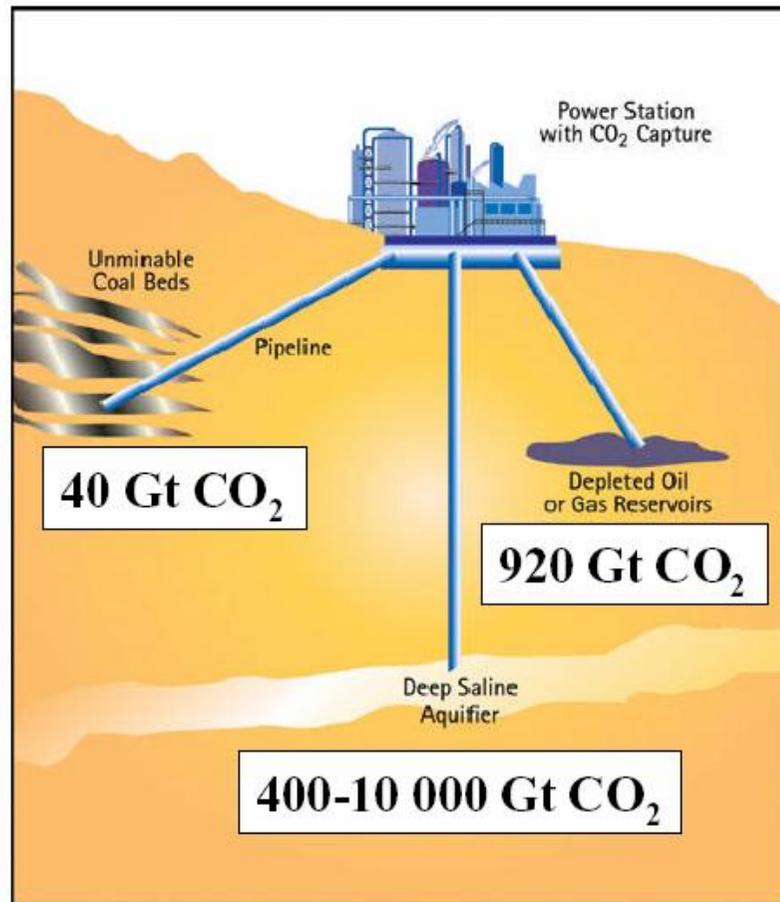
Global potential

Cost of storage (US\$/tCO₂)

Source : IEA (2003)



● 二氧化碳之儲存量及成本



Source: IEA GHG R&D Programme

- Rubin and Rao(2003)提出每噸CO₂的捕集與儲存的成本為 \$ 30~ \$ 70
- Simbeck (2004)提出有關其捕獲程序(包括分離和壓縮)中的電力成本:
 1. 火力發電廠其電力成本:
\$43 /MWh⇒\$61-\$78 /MWh;
 2. 在煤的火力發電廠其電力成本:
\$17 /MWh ⇒ \$58-\$67 /MWh
- 捕獲的成本就佔總成本75% ，
- 輸送二氧化碳和地質儲存佔總成本25%
- 地質儲存的成本大約為 \$ 3~ \$ 10/t CO₂



CO₂之其他儲存法

- Gibbs(1996)提及若將二氧化碳與水泥、飛灰、混凝土、Sodium Silicate等反應,可增強建築之材料。若能由此反應或將CO₂與水泥反應製造耐燃材料,可同時解決CO₂及廢料之間題
- 由IEA Greenhouse Gas R & D Programme (Freund , 2001)提出一些其他儲存方法的成本評估

Storage as	Cost per tonne of CO ₂ stored (\$/t CO ₂)
Mineral carbonate	62
Dry ice in an artificial store on land	160
CO ₂ clathrate by displacing methane from natural methane hydrates	510

Source:Freund,2001

CO₂之植物固定

- 藉由林木本身生理特性進行光合作用吸收大氣中二氧化碳，所貯存的二氧化碳轉化為有機碳貯存於植物體內。
- 陸地植物以森林植物所固定之碳量最大，不僅其光合作用之效率高，同時所佔陸地面積亦最大。
- Williams and Flanagan提出林木藉由光合作用來吸收二氧化碳，
但影響光合作用的因素甚多，如二氧化碳濃度、光、溫度及水，另外如樹種、樹齡、呼吸作用與蒸散作用等生理因子，亦為重要的影響因素。二氧化碳為光合作用暗反應的基質，隨著二氧化碳的濃度提高，淨光合速率亦隨之增加。
- Sedjo 曾試算造林對碳的固定量，在普通人工林年平均生產量每公頃15 立方公尺材積的林地，1 立方公尺材積可吸收0.26 公噸的碳。
- Brown et al. 估計熱帶造林地每年可吸收 $0.03 - 0.11 \times 10^9$ 公噸的碳，並指出其碳吸收最多的齡級位於0- 5及6-10 年生之林木。

● 國內植物固定CO₂相關研究

- 王亞男教授(2002)比較台灣欖木和樟木對於二氧化碳減量的效果由實驗結果發現以樟樹較台灣欖為佳。
- 廖秋成教授(2002)選取六種台灣原生樹種：烏心石、青剛櫟、豬腳楠、土肉桂、杜英及赤皮,實測其光合作用與葉面積指數進而推算其二氧化碳的固定量。
- 林國銓(2003)提出以研究的台灣杉來說,其人工林地上部每年可固定 8.63 ton/ha (ha: 10⁴ m²)的二氧化碳,以六龜試驗林13年生至23年生台灣杉造林地約175.9 ha,假設各齡級年固定量大致相同,則每年可固定約1500公噸的二氧化碳。

樹種	每平方公尺葉面積 二氧化碳固定量	出處
杜英	6.453 kg CO ₂ /year	廖秋成(2002)
青剛櫟	3.648 kg CO ₂ /year	廖秋成(2002)
土肉桂	2.633 kg CO ₂ /year	廖秋成(2002)
台灣欖木	1.442 kg CO ₂ /year	王亞男(2002)
樟木	1.980 kg CO ₂ /year	王亞男(2002)
台灣杉	0.863 kg CO ₂ /year	林國銓(2003)



CO₂之海洋生物固定

- Markels(2000)發表的專利『Method of sequestering carbon dioxide』中提到有關於在海面施加肥料，使的浮游生物大量生長以達到固定二氧化碳的目的，而其施肥的海面所需條件如下：
 - 1.至少有一個營養物的消失已達到一特定量
 - 2.水面需夠深，至少要5,000英呎(約1524公尺)深，10,000英呎(約3048公尺)深較佳，15,000英呎(4572公尺)深最好
- Markels(2000)的專利中提出初步的計算指出每一年、每一平方英哩的施肥後的深熱帶海洋、17,000噸的二氧化碳含有4,600噸的碳可能被轉換成在一個單位面積或體積內的生物量以及隔離到海底。並且評估每年如果140000平方英哩(約370,000平方公里)施肥過後的海洋，其若要去掉20億噸的二氧化碳將需要700,000噸的肥料
- 成本分析:假如肥料供應的成本每噸為5,000美元，則每年需要35億美元的成本，亦即處理每噸的二氧化碳需要1.75美元。
- 環境衝擊:投入之肥料可能成為另一種環境污染



我國進行未來二氧化碳之處理及固定技術之建議

我國近年來針對溫室氣體減量相關議題，在國科會、經濟部、環保署等政府單位之支持下，已累積相當研究成果，但是由於溫室氣體減量相關議題廣泛，以致於對於二氧化碳儲存及生物固定技術之研究成果較為不足。未來我國二氧化碳處理及生物固定技術的探討，應就台灣陸地與海洋環境之二氧化碳涵容量、對陸地與海洋環境與安全的衝擊、二氧化碳監控測定、和相關處理技術實施成本等方向來評估。