

## 國際碳封存潛力與技術研發重點

台灣經濟研究院研究一所 陳映蓉助理研究員提供

碳封存是將捕捉的二氧化碳灌注到由不透水的岩石層覆蓋的多孔岩石深層地下下密閉空間或岩層中的孔隙，從而封存與儲存二氧化碳，而蓋岩層扮演制止二氧化碳向上移棲的功能，可阻止二氧化碳洩漏至大氣中。目前碳封存的技術中，以深層的鹽水層和耗竭油氣層封存為最大碳封存容量。其中，深層鹽水層是充滿鹽水的多孔且可滲透的岩石層，廣泛分佈於陸上和近海沉積盆地中。而耗竭油氣層是多孔岩層，在開採前已經捕捉數百萬年的石油或天然氣區域，在該區域注入二氧化碳以封存。

全球目前有 65 個商業化之 CCSU 設施，其中 26 個 CCSU 設施正在運轉中，每年封存 4 仟萬噸二氧化碳，另有 39 個在興建或規劃中，其中 17 個項目屬於發電廠的 CCSU，以及還有 34 個 CCSU 示範設施。在這些案例中，有 5 個專門封存於鹽層中，而其餘的則將二氧化碳注入油氣田以提高原油採集率(Enhanced Oil Recovery，以下簡稱 EOR)。此外，還有一些較小規模測試和一些示範計畫。

根據 IEA 於 2020 年報告指出，在開始注入以確保二氧化碳安全且長期(千年)封存於地底下之前，在地質層中封存二氧化碳的標準至少具有三個先決條件，包含：

- 確定合適的封存地點，並確認其封存容量。
- 對封存地點的特徵，是否符合法規的要求。
- 封存管理計畫，包含使用的工具和方法，用以監測二氧化碳注入行為與預測相符，且無外漏跡象，並且應提出發生洩漏或意外行為時，應採取的適當緩解措施。

捕捉後的二氧化碳可用於提高碳氫化合物採收率(Enhanced Hydrocarbon Recovery)。但國際上提高煤層氣採收率(Enhanced Coal Bed Methane Production，ECBM)、提高天然氣採收率(Enhanced Gas Recovery，

EGR)和提高天然氣水合物採收率(Enhanced Gas Hydrate Recovery, EGHR)等應用方式仍在開發中或在試驗中，而提高石油採收率(EOR)的應用已相當廣泛，主要用於北美陸地。在美國用來提高石油採收率的二氧化碳其中不到 30%是屬於人為來源，而其餘部分是自然產生。在提高石油採收率作業中，注入的二氧化碳有 90%-95%的量是留在地底下。因此，二氧化碳地質封存與提高石油採收率技術是一種安全封存二氧化碳的方法。ISO 於 2019 年也為二氧化碳地質封存與提高石油採收率技術制定了國際標準。

在地質和地球物理數據覆蓋稀少的情況下，對於估算二氧化碳封存容量是一項挑戰。評估容量的方法有許多種方法，而石油工程師協會(Society of Petroleum Engineers, SPE)於 2017 年所發布的地質封存資源管理系統(Geologic Storage Resources Management System, 以下簡稱 SRMS)正是朝著統一評估方法邁出的重要一步。SRMS 的全球普及是以石油和天然氣氣候倡議(Oil and Gas Climate Initiative, OGCI)資助的淡藍點(Pale Blue Dot)和全球碳捕捉與封存研究院(Global CCS Institute, GCCSI)所負責推動。

到目前為止，SRMS 已經確定了全球有近 12,000 Gt 的潛在碳封存量，其中 400 Gt 被歸類為已發現資源。而 IEA 於 2020 年報告指出全球的二氧化碳封存潛力估計值在 8,000-55,000 Gt 範圍內(如圖 1)，這樣的容量將足以幾個世紀所使用。其中俄羅斯、北美和非洲擁有最大的產能，澳大利亞也被認為是有巨大碳封存潛能。在全球範圍內，廢棄油氣田的碳封存容量可能不到總容量的 1%。而二氧化碳的礦化，即封存在玄武岩或其他類似地層中，則為全球二氧化碳注儲提供主要潛力。

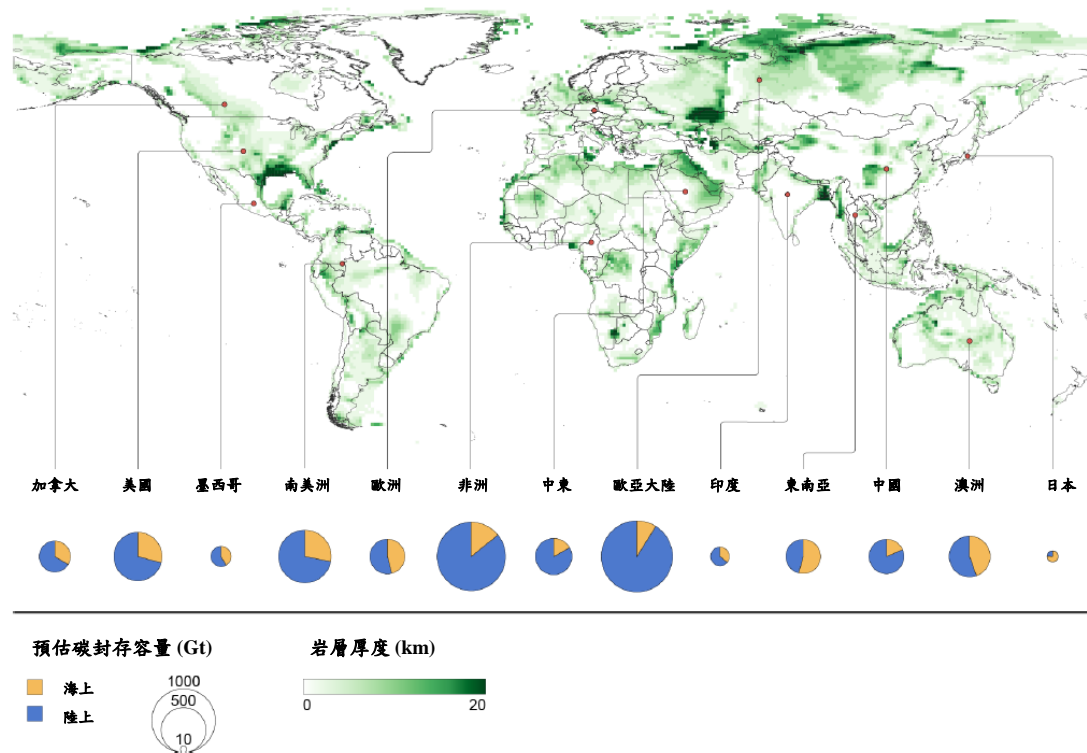


圖 1、世界各地區預估二氧化碳儲存量

資料來源：IEA，2020 年。

國際上 CCS 技術社群為改進碳封存資源的估算方面付出很多努力。這些研究顯著可協助提升全球封存估計量。然而，封存的效率，即所利用岩層的孔隙空間的比例非常低。碳封存於鹽層的情況下，CO<sub>2</sub> 的封存效率占總體積 1% - 4%。為了研究提高孔隙空間資源利用率的選項，CSLF 藉由成立工作小組，負責檢查碳氫化合物行業開發的現有技術、成熟的壓力管理技術和創新的新興技術，以及碳封存操作的一般原則。該工作小組於 2019 年提出四種不斷發展的技術，將被視為可幫助提高與二氧化碳封存相關的孔隙空間利用率的潛在方法，包含壓力管理、微泡二氧化碳注入、二氧化碳飽和注水與地熱能以及擺動注射等。相關技術對優化封存站的封存操作具有重要價值，但其中許多技術仍需要進一步的技術開發才能大規模商業部署。

碳封存的成本將取決於封存場址，根據 IEA 於 2020 年報告指出，在美國陸上和海上進行碳封存的成本將在 5 到 55 美元/噸二氧化碳之間變化，在 EOR 的情況下可能出現負成本。大約 60% 的陸上封存場只和僅 6% 的海

上封存點的成本低於 10 美元/噸二氧化碳。然而，國際上目前未有地質構造中碳封存的成本估算。

如前所述，二氧化碳封存已被證明是有效的，但技術需求仍需進一步優化封存過程，以進一步降低不確定性和成本，並透過改進封存場指的特徵和規劃，以促進大規模碳封存項目的部署。一個適當的碳封存管理計畫應包含確保注儲井的資訊完整性，並了解二氧化碳注儲過程中的壓力積聚，以及了解岩層的完整性以及監測計畫，像是先進的傳感和實時監測，而國際研究項目已經解決多數技術面的問題。儘管目前國際上的碳封存案例都是針對特定地點，但其持續技術開發將有助於降低成本。其中技術開發的議題包括建模、儲層和覆蓋層、注入井、監測以及監管和公眾接受度等。

### 參考文獻

- [1] Carbon Sequestration Leadership Forum (2021), CSLF Technology Roadmap, [https://www.cslforum.org/cslf/Resources/Publications/CSLF\\_Tech\\_Roadmap\\_2021\\_final](https://www.cslforum.org/cslf/Resources/Publications/CSLF_Tech_Roadmap_2021_final).
- [2] IEA (2020), Energy Technology Perspectives - Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage CCSU in clean energy transitions.