

# 台西盆地二氧化碳地質封存特性與 封存量之探討

邵國士\* 李易叡\*\* 俞旗文\*\*\* 葛文忠\*\*\*\* 冀樹勇\*\*\*\*\*

## 摘要

對燃煤火力電廠大量碳排放進行二氧化碳分離與地質封存(Carbon Dioxide Capture and Sequestration, CCS)，為現階段先進國家解決火力電廠二氧化碳過量排放的重要對策之一。台灣電力公司為國內最大二氧化碳排放源，為及早因應我國基載火力電廠未來可能面臨之碳排放問題，並兼顧時效、經濟與安全等考量，台電公司遂於民國 97~99 年逐步完成適合我國燃煤火力電廠之 CCS 優良場址之篩選及目標場址之地質封存條件與封存量評估等工作。經各項地質封存條件之評比，篩選出以台西盆地構造作為二氧化碳地質封存之優選場址。

本文先從台西盆地場址之地質演化過程，進而探討台西盆地之地質封存條件，最後進行場址封存量之評估；這些資訊可作為以台西盆地場址進行先導試驗及未來商業運轉決策之參考。

關鍵字：台西盆地、二氧化碳地質封存、封存量評估

## 一、前言

為因應全球氣候變遷議題並落實政府節能減碳之政策，台灣電力公司分別於民國 97、99 年度辦理「二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫」及「二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究」等兩項計畫，作為台電公司力行減碳技術研發之第一階段工作，以因應未來我國基載火力電廠可能面臨之碳排放問題。

對燃煤火力電廠的大量碳排放進行二氧化碳分離與地質封存(Carbon Dioxide Capture and Sequestration, CCS)，為現階段先進國家提出解決火力電廠二氧化碳過量排放的重要對策之一。對台電公司而言，身為國內最大二氧化碳排放源，壓力不言而喻；故採行 CCS 技術處理碳排放問

題，乃為我國尚未找到足夠替代能源前，並因應未來國際間課徵碳稅考量下的有效具體對策。

基於時效、經濟與安全兼顧的考量，地質封存必須先從國境內區域尺度，探討具最大可行性的優選場址所在，再集中資源對於優選目標場址進行尺度較小、較為深入之工址調查研究，最後進行目標場址之封存條件、封存量、可行性、風險等評估工作。中興顧問受台電公司委託，已於民國 97~98 年計畫完成適合我國燃煤火力電廠之 CCS 優選場址之篩選工作，爾後於民國 99 年度計畫完成目標場址之地質封存條件與封存量評估，本文乃就這些成果統整說明之。

## 二、台西盆地地質概述

台西盆地位於新竹—台中間海域，為孫習之

\*中興工程顧問社防災科技研究中心都會巨災模擬組組長

\*\*\*中興工程顧問社大地工程研究中心副經理

\*\*\*\*\*中興工程顧問社大地工程研究中心、防災科技研究中心經理

\*\*中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員

\*\*\*\*中興工程顧問社大地工程研究中心高級研究員

(Sun, 1981)所命名，係指古第三紀時竹苗外海，被澎湖隆起、南日島脊、觀音隆起所包圍的沉積盆地，如圖 1 所示。

台西盆地的地質演化歷程可分為三個時期(林殿順,2001)，由老至新依序為古新世同步張裂期(Palaeogene Syn-rift)、漸新-中新世後張裂期(Oligo-Miocene Post-Break-Up)、中新-現代前陸盆地期(Latest Miocene-Recent Foreland Basin)等三期。從適合二氧化碳地質封存的地層深度分布來看，所設定的目標地層為頭嵛山層、卓蘭層、錦水頁岩及桂竹林層等，均形成於前陸盆地期。



圖 1 台灣西部沉積盆地構造與台西盆地之關係

在地質構造方面，圖 2 為林殿順(2001)所研究之台西盆地南側東西向震測剖面，顯示台西盆地在同步張裂期及後張裂期已形成數條正斷層；但於前陸盆地期，這些張裂正斷層多半已停止活

動，於前陸盆地中逐漸形成一系列向東緩傾斜之沉積地層。由此可知，台灣中部海域在中新世以後，構造型態就顯得非常單純，屬於大陸邊緣盆地，地層向台灣島方向加厚與加深。

在台西盆地的北側，因新竹至苗栗間之台灣變形前緣區，受到蓬萊造山運動影響，既有斷層構造以逆斷層形式再度活動，故此區斷層出現的密度較高，且部分斷層向上延伸至上新世及更新世的地層，圖 3 即顯示盆地北側之苗栗外海震測剖面(傅式齊, 1997)。

就二氧化碳地質封存之目的而言，若於台西盆地進行商業運轉灌注時，須考慮二氧化碳移棲至台西盆地北緣之新竹-苗栗外海地區，可能沿既有斷層構造發生溢散的可能，而台西盆地南側地體構造的活動度相對於西部麓山帶地區較為穩定。為保守計，可針對大甲溪以南的台西盆地區域進行二氧化碳地質封存；從構造地質的角度來看，此區亦屬於地體活動度較為穩定的範圍。

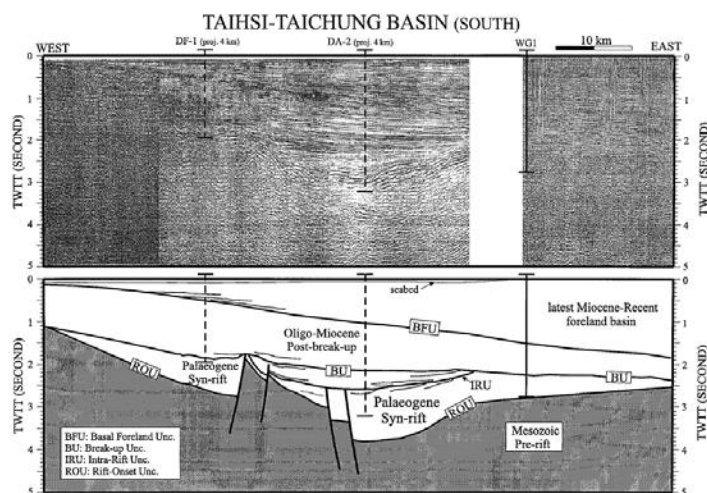


圖 2 台西盆地南側震測剖面 (林殿順, 2001)

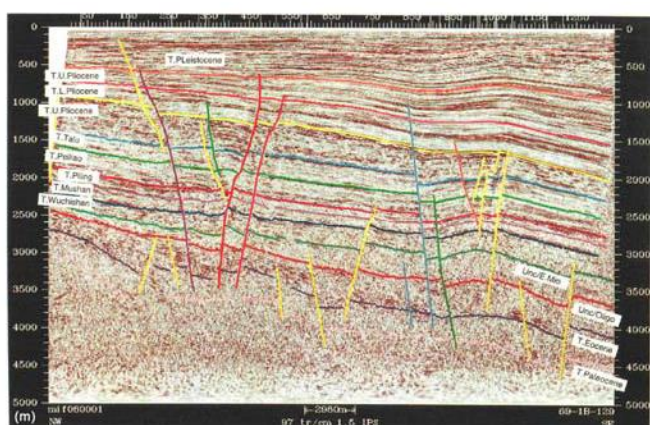


圖 3 台西盆地北側震測剖面 (傅式齊, 1997)

### 三、台西盆地地質封存條件評估

#### (一) 二氧化碳地質封存基本條件

適合二氧化碳地質封存的地質條件包括構造封閉、地層岩性封閉與煤層封閉。其中地層岩性封閉需有上部不透水層的隔絕效果，再配合廣闊側向延展的儲集地層形成封閉效果，如沉積盆地之深層鹽水層，此類封存構造通常具有較大封存量，本計畫目標場址之台西盆地即屬於此類。

Stefan Bachu(2006)曾為加拿大亞伯達省制定以深層鹽水層構造作為二氧化碳地質封存場址之篩選原則，本計畫亦以此標準評估台西盆地地質封存的適當性，篩選標準如下：

##### 1. 地質特性

(1) 適合的沉積岩厚度：必須有足夠厚度且高孔隙率之封存地層，以便有足夠孔隙空間封存大量二氧化碳。

(2) 具圍束作用的蓋層：利用大地之圍束力使蓋層中可能的裂隙閉合，以達封存效果。大地應力若為張應力區則易產生張力裂縫，形成二氧化碳滲漏管道。

(3) 受構造運動影響少：相對少量的斷層、破碎與褶皺作用。

(4) 具相襯的沉積層序：儲集層頂部應有封

閉性良好的蓋層，而儲集層內最好有砂頁岩互層之次層，如此可提高封阻效率。

(5) 緩慢固結岩化作用：由於岩化作用會堵塞減低孔隙率與滲透率，因此場址地層應具較低的岩化作用，如中新世~上新世或更新世地層。

#### 2. 水動力與地溫機制

(1) 封存地層深度應有利於超臨界二氧化碳狀態的壓力與地溫條件。

(2) 封存地層應為有利於超臨界二氧化碳狀態之流體系統，即深度、區域尺度、流向等均適合於二氧化碳地質封存之成熟穩定型盆地。

#### (二) 台西盆地地質封存條件評估

根據前節對台西盆地的地層岩性、地質構造及深層鹽水層地質封存的基本條件要求，本節彙整各項資訊擬定台西盆地可作為二氧化碳地質封存的地質條件與範圍。

##### 1. 台西盆地適合二氧化碳封存的範圍界定

###### (1) 台西盆地封存場址之北邊界：

由海域震測資料顯示台西盆地含巨厚沉積層，但是在適合於二氧化碳封存深度（中新世晚期至上新世早期地層），台西盆地北部普遍存在正斷層構造，而靠近海岸線部分則為逆斷層，且部分斷層的近期活動徵兆相當明顯。另根據周穎蔚(2002)研究成果，北台西盆地的斷層數量眾多，主要分布於近台灣陸地及近南日島脊區域，幾乎涵蓋了該盆地的五分之二範圍，顯示北台西盆地地體活躍程度高，不符合二氧化碳地質封存的地質基本條件。故設定台西盆地封存場址之北邊界為台中大甲鎮以南的區域。

###### (2) 台西盆地封存場址之西邊界：

根據林殿順(2001)所描繪之前陸盆地底部等深度分布，初步定出台西盆地之西邊界位於前陸盆地底部等深度線為零之處；之後再疊加錦水頁岩等厚度分布，研判錦水頁岩在台西盆地西邊尖滅之處，如此定出封存範圍之西邊界。

###### (3) 台西盆地封存場址之南邊界：

林國安等(1998)研究資料顯示，台西盆地南半部範圍，中新世以後斷層構造活動減少，地層亦相當平緩，根據震測剖面所推估之地層位態大約向東北微傾(N15° W/5.5° E)。另周穎蔚(2002)資料亦顯示台西盆地南半部斷層數量明顯減少且延伸不長，研判應係北港高區阻隔來自東南方之擠壓應力，形成高區後側之屏蔽效應，故此區域地體構造穩定，且大地應力屬壓應力狀態，斷層分布少且位置較深；故以北港高區作為台西盆地可封存區域之南邊界。對應 Bachu(2006)所提出的區域尺度封存場址篩選原則，本區亦滿足二氧化碳地質封存之盆地條件要求。

#### (4) 台西盆地封存場址之東邊界：

台西盆地東邊以彰化斷層為界，根據經濟部中央地質調查所於 2010 年公告之全台活動斷層分布圖，彰化斷層已更新為第一類活動斷層，為避免二氧化碳封存時由斷層面滲漏至地表，或是因斷層活動促使二氧化碳沿著破裂面逸散等因素，因此將台西盆地封存範圍的東邊界設定在距離彰化斷層 2~5 公里處。

經各項地質條件設定台西盆地封存場址之北、西、南、東邊界條件結果如圖 4 所示。

## 2. 台西盆地封存地層參數擬定

從二氧化碳地質封存的角度來看，與封存量最直接相關的地質參數為封存地層的孔隙率。本段說明台西盆地目標地層之孔隙率設定資料，以供封存量評估之參考。

我國對於深層地層（超過 1,000 公尺）之孔隙率資料多源自於台灣中油公司的深層鑽井資料。然而中油公司基於油氣探勘之因素，大多針對中新世更深的地層進行孔隙率相關試驗；但對於適合二氧化碳地質封存的淺層地層系統，如卓蘭層、錦水頁岩、桂竹林層等，其孔隙率資料相對較稀少。本研究參考林殿順(2001)所歸納之台灣西部前陸盆地地層孔隙率隨深度變化趨勢，統計孔隙率與深度之迴歸關係，分析結果顯示地層

孔隙率隨深度增加而減少，此因深度增加造成地層壓密，而孔隙率也隨之減少。圖 5 為林殿順(2001)所歸納之台灣西部五個沉積盆地構造區之地層深度與孔隙率關係，其中 BD1 區可作為目標場址之孔隙率參考。大致上孔隙率隨深度增加而呈指數率減少之趨勢，此趨勢不隨沉積環境而改變。綜整台西盆地二氧化碳地質封存之各目標地層孔隙率歸納如下：

- 頭料山層：孔隙率為 32%~35%
- 卓蘭層：孔隙率為 32%
- 錦水頁岩：孔隙率為 8%~17.54%
- 桂竹林層：若扣除孔隙率較低的十六份頁岩段，則桂竹林層砂岩段的孔隙率為 15.11%~23.53%

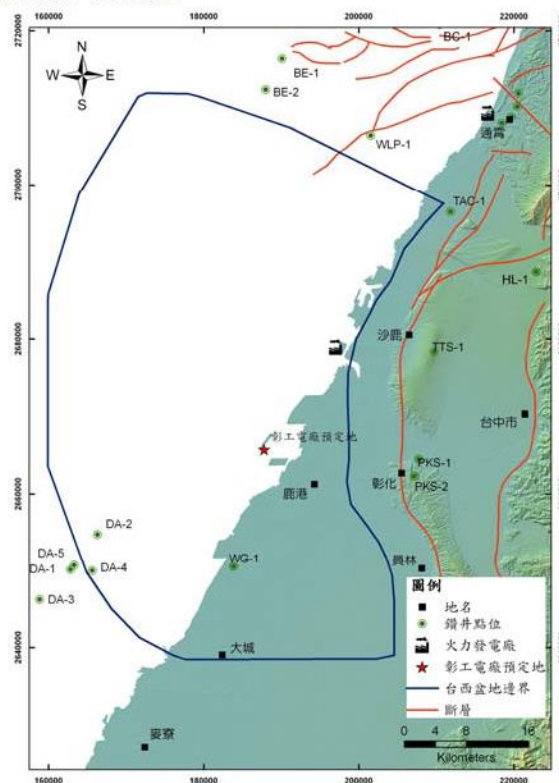


圖 4 台西盆地封存場址之北西南東邊界

目前國際上對於二氧化碳地質封存場址之蓋層與儲集層特性的認可條件整理如表 1，與我國地質條件類似的日本也研究歸納出適合該國的地質封存基本條件如表 2。我國應循此規則，作為

篩選適當蓋層與儲集層之參考。以台西盆地目標場址為例，建議之儲集層為桂竹林層砂岩段，其平均孔隙率約在 15~23%之間，符合國際與日本制定的一般標準，亦符合澳洲 CO2CRC 計畫所歸納之適當蓋層與儲集層岩石孔隙率與滲透率關係經驗值(如圖 6)。另作為目標蓋層的錦水頁岩，平均孔隙率約為 8~17%，雖然比日本所制定的標準值大，但錦水頁岩層的側向延伸性良好、厚度大、無斷層切穿，且頁岩在地層中為層狀交叉分布，預期將大幅提高封存場址之整體封阻效果。

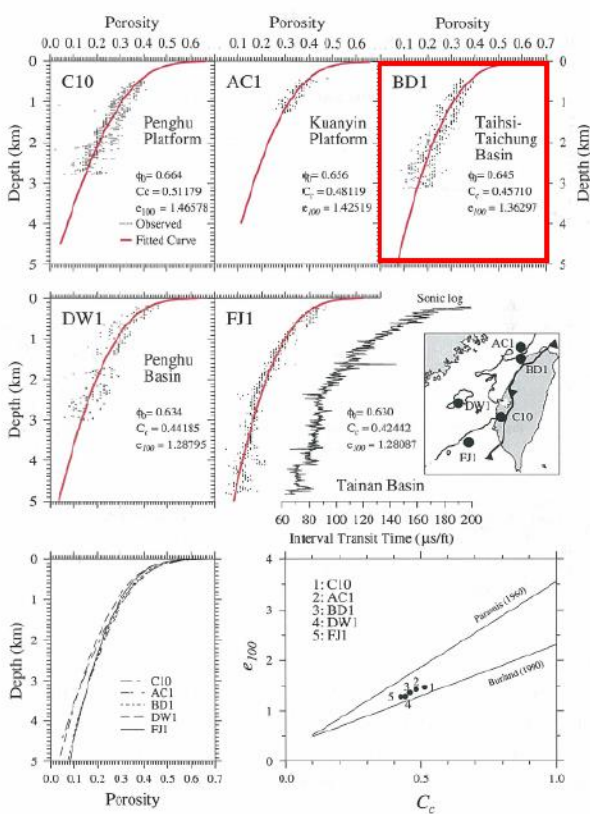


圖 5 台灣西部五個構造盆地之新生代沉積層孔隙率與深度關係曲線 (摘自 Lin, 2001)

註： $\phi_0$  為初始孔隙率， $C_c$  為壓密係數， $e_{100}$  為空隙比。

表 1 封存場址適宜性之關鍵地質條件指標 (修改自 Chadwick et al., 2007)

儲集層特性		
	有利指標	不利指標
深度	>1000m 且 <2500m	<800m 或 > 2500m
儲集層淨厚度	> 50m	< 20m
孔隙率	> 20%	< 10%
滲透係數	> 500 mD	< 200 mD
鹽度	> 100 g/l	< 30 g/l
蓋層特性		
	有利指標	不利指標
側向連續性	地層均勻、無斷層	側向變異性與斷層
厚度	> 100m	< 20m

表 2 日本二氧化碳地質封存條件指針 (修改自 RITE 平成 15 年報告)

層類	岩石種類	孔隙率		滲透率	
		優	差	優	差
蓋層	泥岩、頁岩	5%以下		0.1md 以下	
儲集層	砂岩、礫岩、碳酸岩	優	20%以上	優	100md 以上
		良	15~20%	良	10~100md
		可	10~15%	可	1~10md
		差	5~10%	差	0.1~1md
		不可	5%以下	不可	0.1md 以下

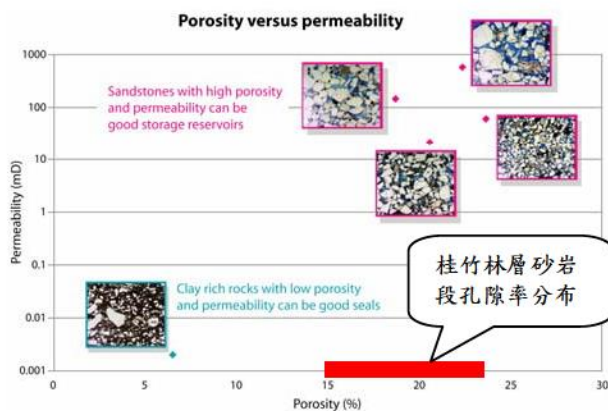


圖 6 適當蓋層與儲集層孔隙率、滲透性經驗值 (摘自 CO2CRC 計畫網站資料, 2010)

#### 四、台西盆地場址封存量評估

場址封存量與儲集層岩石之物理化學性質、超臨界二氧化碳特性等因素有關，欲提昇場址封存量評估的準確性，首先必須詳細蒐集場址之各項封存參數。一般而言，隨著場址地質資料及試驗數據豐富性的增加，場址封存參數的不確定性亦將隨之降低；故封存量評估值將隨地質參數精確度之提高而逐漸遞減，此即是封存量金字塔之概念，如圖 7 所示。

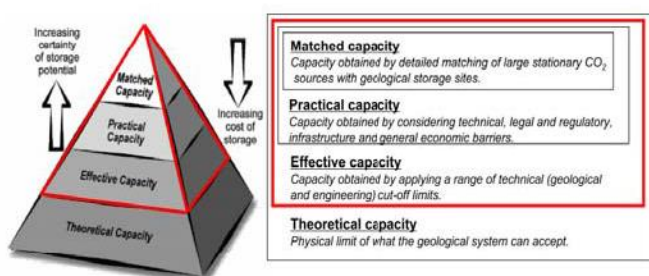


圖 7 考慮不確定因素之封存量估算金字塔概念

##### (一) 封存量評估方式

對於場址封存潛能評估方式，國際間已有諸多單位提出其評估法，如美國能源部(USDOE-2006)、防止氣候變遷之國際地質封存領導者論壇組織(CSLF-2007)、澳洲(CO2CRC-2008)、美國地質調查所(USGS-2009)、國際能源總署IEA/EERC-2009、CGSS-2010、以及日本 RITE 等。各式評估法之基本原則不外乎考慮：儲集層體積、地層孔隙率、超臨界二氧化碳流體密度性質、地層可儲存效率等因子，然後予以乘積，即可得場址之封存量。適合台灣現況且已被國內相關單位使用的評估法為美國能源部、CSLF 及日本 RITE 等三種，簡述如下：

##### 1. 美國能源部(USDOE)評估法：

不考慮地層水中 CO<sub>2</sub>之溶解性條件，其評估公式為：

$$G_{CO_2} = At \times hg \times \phi_{tot} \times \rho \times E \quad (式 1)$$

At：封存構造面積

hg：儲集層之有效層厚度

$\phi_{tot}$ ：孔隙率

$\rho$ ：二氧化碳密度

E：封存效率因子，本參數反應岩石中可填滿 CO<sub>2</sub>之總孔隙體積比例。

##### 2. CSLF 評估法：

Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) 是一國際性的全球氣候變遷研究組織，成立於 2003 年，關注在改進二氧化碳地質封存長期安全與經濟可行議題的發展。該組織包含 21 個國家及歐盟，皆為主要的碳排放國或是石化燃料使用者。該團隊投注資源來研究發展 CO<sub>2</sub>地質封存技術，並進行地質封存潛能評估供其國家參考。根據該單位於 2008 年之 Phase III Report，提出沉積盆地含鹽水層有效封存量評估公式如式 2 表示。

$$M_{CO_2e} = C \times (A \times h \times \phi \times (\rho_s X_s^{CO_2} - \rho_o X_o^{CO_2})) \quad (式 2)$$

C：封存參數，為考慮 CO<sub>2</sub>在地層內之擴展性與溶解度之參數，與時間相關，可用數值模擬結果以方程式表示，或是以單一值表示。

A、h：分別為含水封存層面積與厚度。

$\phi$ ：封存地層孔隙率。

$\rho_s$ 、 $\rho_o$ ：分別為初始狀態及飽和狀態之地層水密度。

$X_o^{CO_2}$ ：初始狀態地層水 CO<sub>2</sub>含量比例。

$X_s^{CO_2}$ ：飽和狀態地層水 CO<sub>2</sub>含量比例，與含水層之壓力、溫度、鹽度分布等相關。

##### 3. 日本 RITE 評估法：

$$C = Ef \times A \times h \times \phi \times Sg / Bg \times \rho \quad (式 3)$$

Ef：排掃效率

- A：封存構造面積
- h：儲集層之有效層厚度
- $\phi$ ：孔隙率
- Sg：超臨界狀態二氧化碳飽和度
- Bg：二氧化碳容積係數
- $\rho$ ：二氧化碳密度

由 1~3 之評估法，可知二氧化碳封存量估算方法依不同尺度考量而不同；綜合而論，封存量評估方式可歸納為：

$$\text{封存潛能} = (\text{可封存體積} \times \text{二氧化碳狀態密度} \times \text{封存效率}) \quad (\text{式 4})$$

考量現階段對於台西盆地場址地質資料了解的精細度，本計畫以公式 4 為基礎，但於可封存體積項下另考慮儲集層砂岩含量比率加入計算，以排除該地層所夾之無封存效果的頁岩。亦於計算時，考慮場址之地溫梯度與封存深度所造成的特定狀態二氧化碳密度值，並考量深層鹽水層盆地構造之封存效率，擬定本研究之封存量評估公式如式 5 所示：

$$\text{封存量} = (\text{儲集層體積} \times \text{砂岩佔儲集層比例} \times \text{砂岩孔隙率} \times \text{二氧化碳狀態密度} \times \text{封存效率} \times Sg) \quad (\text{式 5})$$

## (二) 台西盆地場址封存量評估

在進行場址封存量評估之前，以本計畫所建構之台西盆地場址三維地質模型為基礎，運用 TOUGH-2 軟體進行二氧化碳移棲模擬。模擬結果顯示移棲範圍與地層幾何條件及分析參數有關，故進行場址封存量評估時，將統整台西盆地可封存之地層深度分布、斷層構造分布、移棲範圍模擬結果與超臨界狀態二氧化碳密度特性等因素，綜合評估台西盆地場址之有效封存量，評估流程概念如圖 8 所示。

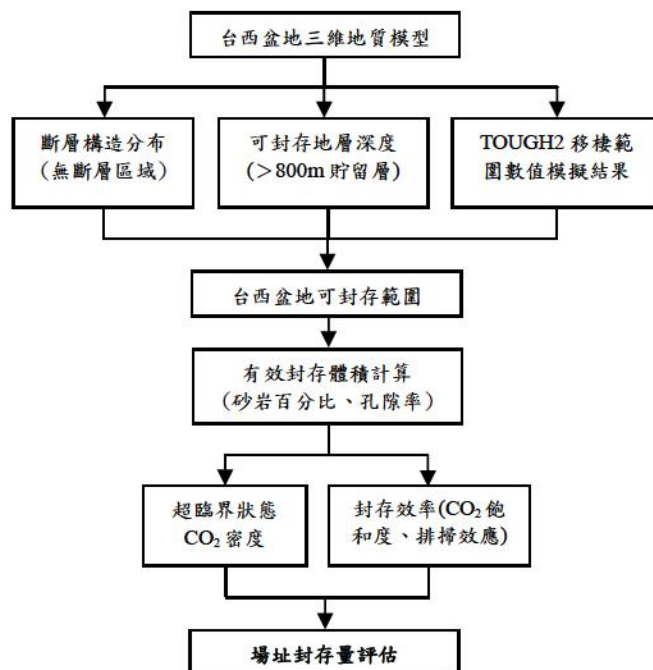


圖 8 封存量評估概念流程

實際執行上，以公式 5 為基準，並根據台西盆地可封存的地質條件與範圍，運用 GIS 系統與三維地質模型等工具，提出「GIS 單元網格式」進行台西盆地封存場址之盆地尺度封存量評估。各封存量參數計算程序如下：

### 1. 封存單元體積計算

以 GIS 將儲集地層區分為 1,000×1,000m 的單元網格式，每個網格式都有對應之深度、厚度、溫度及孔隙率資訊。運用 GIS 之空間分析功能，便可求得每個單元網格式之封存量，最後將各網格式之封存量加總後即為台西盆地之封存量。

進行場址體積計算前，先根據前節之台西盆地北、西、南、東地質邊界為基準，設定計算條件(情境一)為(1)自彰化斷層往西退縮 2 公里為有效封存範圍之東邊界；(2)錦水頁岩蓋層厚度至少為 30 公尺所涵蓋的範圍作為台西盆地場址之有效封存區域。

以 GIS 劃分完成之儲集層（桂竹林層）之單

元網格厚度分布如圖 9 所示。將每一單元網格面積乘以厚度即可獲得各單元網格之體積，將其加總即為儲集層之總體積。經計算，台西盆地有效封存範圍共有 2,589 個單元網格，總體積為  $3.5033 \times 10^{11} \text{m}^3$ 。

### 2. 儲集地層砂岩含量比例推估

參考莊恭周(1998)、張錫齡(Chang, S. L. 1968)、周瑞燉(Chou, J. T.,1970)等人對台灣中北部地區之中新世以後地層岩性之研究，歸納出台西盆地桂竹林層內之砂岩含量百分比約為 78.9%，並以此代入封存量評估公式進行計算。

### 3. 目標地層之地溫分布

根據黃立勝(1990)之研究，台西盆地目標地層區域的地溫梯度約為  $2^\circ\text{C}/100\text{m}$  (即  $20^\circ\text{C}/1\text{km}$ )。本研究將每個單元網格的儲集地層深度進行平均後，假設台西盆地地表溫度為  $20^\circ\text{C}$ ，可計算出台西盆地每個網格之地溫分布。

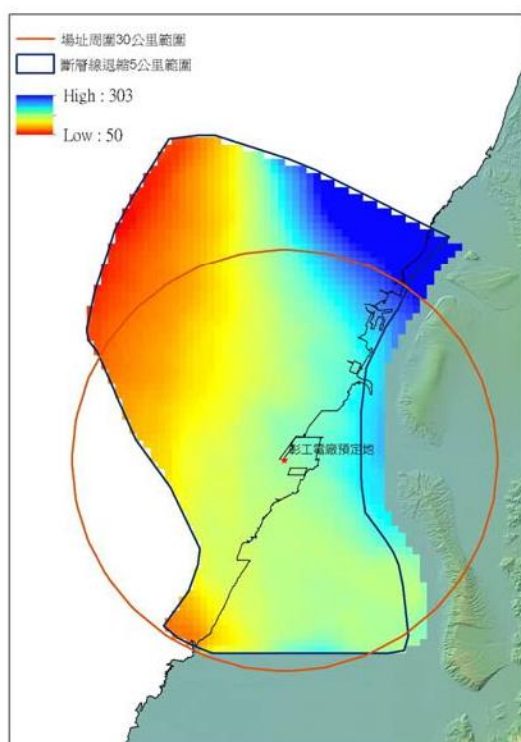


圖 9 台西盆地場址儲集層(桂竹林層)單元網格與厚度分布 (厚度單位為公尺)

### 4. 儲集地層孔隙率推估

參考圖 5 林殿順所歸納之台灣西部沉積盆地(BD1 區)地層深度與孔隙率之回歸曲線，可推求出場址儲集地層之孔隙率分布情形，孔隙率分布範圍從 12%~32%。

### 5. 二氧化碳狀態密度推估

由於台西盆地地溫梯度約為  $20^\circ\text{C}/1\text{km}$ ，適用冷盆地之二氧化碳狀態密度曲線(如圖 10)；故可對比二氧化碳之密度大約為  $704 \sim 782 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

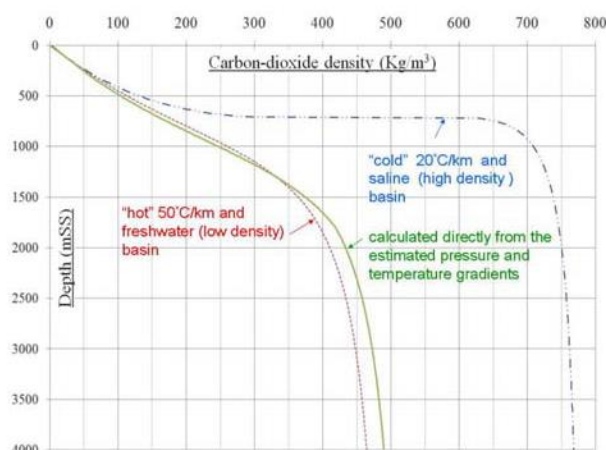


圖 10 二氧化碳密度與深度分布關係

### 6. 場址封存效率

參考國外經驗案例，台西盆地深層鹽水層之場址封存效率可設定為 0.25。

### 7. 氣體飽和度(Sg)

參考國外經驗案例，台西盆地深層鹽水層之氣體飽和度可設定為 0.5。

### 8. 封存量計算

綜合第 1~第 7 項之參數，運用 GIS 軟體之空間運算功能，將總數為 2,589 個單元網格之封存量評估因子予以乘積且加總之，即獲得台西盆地場址之總有效封存量約為 60.633 億噸，單元網格之封存量分布如圖 11 所示。運用 GIS 單元網格法進行場址封存量計算之流程如圖 12 所示。

上述案例(情境一)有效封存範圍之北西南邊



界係由深井探查或其他相關研究成果推估，變異性不大；若保守起見，將場址東邊界改為距離彰化斷層 5 公里(情境二)時，則儲集層體積減為 320.48 km<sup>3</sup>，封存量亦減至 56.7 億噸。

另經由 TOUGH-2 模擬二氧化碳可移棲範圍，將封存邊界設定在彰濱電廠預定地半徑 30 公里內(情境三)，則儲集層體積減為 233.13 km<sup>3</sup>，封存量亦大幅縮減至 39.9 億噸。

情境一~三的案例，鄰近內陸之儲集層底部最大深度均達 3,700 公尺以上，若再考慮灌注效率，僅將封存深度設定在 3,000 公尺以內(情境四)，則儲集層體積將減為 212.66km<sup>3</sup>，封存量減為 37.1 億噸。

表 3 為四種情境下之封存量估算結果，可知台西盆地場址封存潛能之上、下界。以現階段對台西盆地場址之地質參數掌握程度，對照封存金字塔概念，所估計之封存量應屬於有效封存量(Effective Capacity)之層次，未來將逐年提升封存參數之精度，以達商業運轉的最終目標。

## 五、結語

1. 依照 Stefan Bachu 對含鹽水層盆地構造所定義的封存場址地質條件，台西盆地具有寬廣低滲透性的頁岩蓋層、高孔隙率的厚層砂岩儲集層、目標地層內少有斷層切穿、地震及地體活動度低、大地應力條件屬於壓應力狀態、冷地溫盆地利於超臨界二氧化碳灌注與封存等有利條件。
2. 考量地質封存條件因素，本研究制定台西盆地場址可封存範圍之北、西、南、東邊界。依不同封存情境條件(情境一~情境四)，預估可封存體積約 350.33km<sup>3</sup>~212.66km<sup>3</sup>，蓋層為錦水頁岩、目標封存層為桂竹林層，設定封存深度為地表面下 800m~3,000m。
3. 本研究以美國 DOE 封存量評估法為基礎，搭配台西盆地場址三維地質模型，以 GIS 單元

網格法進行台西盆地場址之封存量計算，依不同封存情境，評估該場址封存量之上界約 60 億噸、下界約 37 億噸。

4. 現階段台灣對封存場址所掌握的地質參數精度，對照封存金字塔概念，所估計之封存量屬於有效封存量(Effective Capacity)之位階，未來將逐年提升封存參數之精度，以達商業運轉的最終目標。

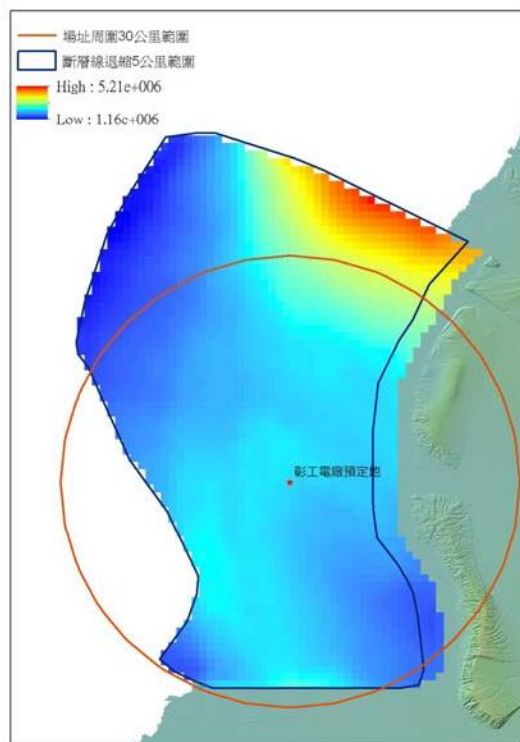


圖 11 封存情境一之單元網格封存量分布圖  
(網格封存量單位：噸)

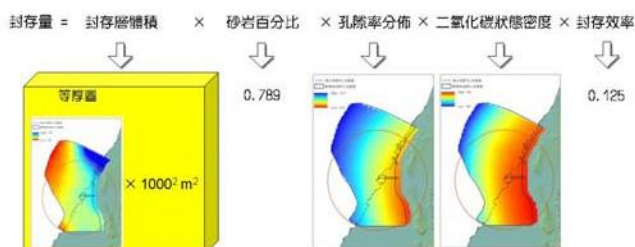


圖 12 封存量參數評估示意圖

表 3 封存量評估參數與不同封存情境結果比較

桂竹林層	情境一	情境二	情境三	情境四
砂岩含量	0.789	0.789	0.789	0.789
孔隙率	0.12~0.32	0.16~0.33	0.15~0.32	0.17~0.32
二氧化碳狀態密度 (kg/m <sup>3</sup> )	704~782	706~768	716~768	716~766
貯留層體積 (km <sup>3</sup> )	350.33	320.48	233.13	212.66
封存效率	0.25	0.25	0.25	0.25
Sg	0.5	0.5	0.5	0.5
封存量 (億噸)	60.6	56.7	39.9	37.1

情境一：封存範圍東邊界距離彰化斷層 2km。

情境二：封存範圍東邊界距離彰化斷層 5km。

情境三：情境二且封存範圍在彰濱場址半徑 30km 內。

情境四：情境三且封存底部深度限制在 3,000m 內。

本文承蒙台電公司民國 99 年度「二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究」(編號：R0159900001)之計畫支援，特此致謝。

### 參考文獻

IPCC (2005) Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Technical Report, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Prepared by Working Group III, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

台灣電力公司 (2009) 二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫，案號：PDD-EGS-970303

台灣電力公司 (2010) 二氧化碳地質封存試驗場址調查規劃與研究，案號：R0159900001

Sun, S. C. (1981) The Tertiary Basin of Offshore Taiwan, Proc. Sec. ASCOPE Conf. Exhib., Manila, Philippines, pp. 126-135

Lin, A. T. (2001) Cenozoic Stratigraphy and Tectonic

Development of the West Taiwan Basins, Ph.D. Thesis, Univ. of Oxford, Oxford, UK, pp. 246

傅式齊、梁守謙、吳素慧、邱仲信 (1997) 先中新統震測層序分析及油氣潛能評估-A 及 C 地區，中國石油公司探採研究彙報，第 20 期，第 1-28 頁

Bachu, S. (2006) Site Selection for CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage (CCGS), Alberta Geological Survey and Alberta Energy and Utilities Board, Presentation Material.

Chou, Y.W. and Yu, H.S. (2002) Structural Expressions of Flexural Extension in the Arc-continental Collisional Forefeep of Western Taiwan, GSA Bull., Spec. Paper 358, pp. 1-12

林國安、李明光、查美志 (1988) 鹿港區陸海域先中新世地層震測溝造解釋，中國石油公司探採研究彙報，第 11 期，第 98-124 頁

Chadwick, A et al. (2007) Best Practice for the Storage of CO<sub>2</sub> in Saline Aquifers, CO<sub>2</sub>STORE\_BPM\_final\_rev1

日本(財)地球環境產業技術研究機構(RITE) (2003) 平成 15 年報告，第 362 頁

CO<sub>2</sub>CRC 計畫 (2010) 網站資料

Barbara N. McKee (2008) Task Force for Review and Identification of Standards for CO<sub>2</sub> Storage Capacity Estimation Phase III Final Report, CSLF-T-2008-04

莊恭周、周定芳 (1998) 竹苗地區石底層與木山層之儲集岩研究，台灣石油地質，第 32 期，第 187-210 頁

Chang, S. L., Stanley (張錫齡) (1968) Regional Stratigraphic Study of the Lower Miocene Formations in Northern Taiwan, Petroleum Geology of Taiwan, No.6, pp.45-70

Chou, J. T. (周瑞燉) (1970) A Stratigraphic and Sedimentary Analysis of the Miocene in Northern Taiwan, Petroleum Geology of Taiwan, No.7, pp.145-189

黃立勝 (1990) 臺灣西部晚新生代沈積盆地之地下溫度及地溫梯度之研究，經濟部中央地質調查所彙刊，第 6 號，第 117-144 頁