

地質空間資訊的三維展現與應用

邵國士* 李易叡* 洪世勳* 林貴崑** 鄭錦桐*** 俞旗文****

焦中輝***** 黃連通*****

摘要

傳統地質圖資是以二維平面的方式呈現，隨著地理資訊系統(GIS)的發展與三維資料軟硬體處理技術的進步，已可將複雜的平面地質圖資或大量的地質調查資料以三維立體化、視覺化、數量化、網路化等方式呈現，其成效不僅可提供專業地質工程人員以數值化的地質資訊與不同工程界面人員溝通；對於重要工程建設所面臨的地質問題，透過三維視覺化的處理，可將複雜的地質議題能簡易的讓社會大眾了解，增加政府與民眾的溝通效率，亦能滿足人民知的權利。故三維地質空間資訊除了可供專業人士使用之外，對於向一般大眾說明也是一項很好的工具。

本文首先將目前三維地質空間資訊在不同領域的應用概況做一介紹，而後再說明地質資料三維數值化的處理方式，並舉一實際案例。冀以透過本文的介紹，能讓工程地質從業人員對三維地質空間資訊有初步的認識，進而研發相關技術以因應政府單位未來之需求，並與地質資料發展的潮流及技術趨勢接軌。

關鍵字：GIS、地質空間資訊、三維地質模型

一、前言

近年來隨著地理資訊系統(GIS)的發展與三維資料軟硬體處理技術的進步，對於傳統的地質圖資可以有新的解釋與展現。以往地質圖資僅止於專業人士能夠判讀理解，較不易向一般社會大眾說明。然而現今是一個資訊公開的時代，人民對於使用國家資源的公共財有知的權利，故如何將地質專業問題簡易的向社會大眾說明乃是一重要課題。良好的社會溝通可降低大眾的疑慮，對於各種類型工程計畫的推展亦將有所幫助。

我國主管地質業務的政府單位為經濟部中央地質調查所，其推動的「地質法」立法精神如下：「隨著地質科學知識及技術進步，地質應用領域逐漸擴展至有系統之紀錄，並透過解釋全國

土地之各種地質科學數據，提供公共建設所需之地球科學資訊。二十世紀後期，世界各地自然災害頻傳，加上全球逐漸認同環境永續經營之理念，掌握國土地質環境以維護國民生命財產安全及國土環境永續經營，成為各國地質科學工作之核心目標。」

而根據地質法草案第五條：「全國性地質資料為國土利用及資源開發規劃、地質災害預防及國土保育策略之基礎。」另第十五條：「地質資料屬國土規劃決策及土地開發利用之重要參考資料，具公共財性質，政府應有適當之資料蒐集及管理機制，以建立地質資料管理體系，適時支援地質調查、地質災害防範、地質研究及地質教育之需要。」

因地質資料具有三維空間特性，為了便於資

*中興工程顧問社大地工程研究中心研究員

** 中興工程顧問公司大地工程部地質師

***中興工程顧問社大地工程研究中心組長

****中興工程顧問社大地工程研究中心副經理

*****台灣電力公司電源開發處組長

*****台灣電力公司電源開發處課長

料的保存、展示、查詢、分析研究、資料流通等功能，根據該法的精神，各項地質調查成果資料均將朝向 GIS 化、數量化、視覺化、3D 立體化、Web 網路化等方向發展。基於此，將傳統地質圖資及空間資訊加以三維立體化、視覺化、數量化有以下優點：

1. 方便專業工程人員能快速有效地研判地質資料，並可將地質資訊明確地以數值化展現，增進不同界面之溝通，以利工程決策之用。
2. 對於重要工程建設所面臨的地質問題，透過三維視覺化的處理，可將複雜的地質議題簡易的讓社會大眾了解，增進政府與民眾的溝通效率，亦能滿足人民知的權利。

故三維地質空間資訊除了可供專業人士使用之外，對於向一般大眾說明也是一項很好的工具。本文首先將目前三維地質空間資訊的應用概況做一介紹，而後說明如何將平面地質圖資加工三維化的處理方式，並舉一實際成果應用案例。冀以透過本文的介紹，能讓工程地質從業人員對三維地質空間資訊有所瞭解，進而研發相關技術以因應政府單位對地質資料之需求，並與地質資料發展的潮流趨勢接軌。

二、三維地質空間資訊的應用概況

現階段已有眾多領域應用三維地質空間資訊協助處理相關議題，如石油工業、採礦工程、地球物理學、土木工程、環境工程等，本文茲舉石油工業、污染物地下深層處置、斷層構造分析等三案例為說明。

(一) 石油工業之應用

石油及採礦工業因探勘油氣田及礦床之技術需求，已應用電腦科技將大量的地質探勘資料以三維化、數值化的方式呈現與分析，可說是發展三維地質空間資訊之先驅。以石油工業為例，透過海域及陸上地球物理探勘資料及鑽井資料，累

積大量的地質探勘數據，必須將各種地質資料予以整合，以利工程師判斷地下儲油構造所在位置，並進行最佳的探油經濟模式分析。圖 1 為石油工業應用三維地質資料及地質模型輔助油氣移棲分析之概念。

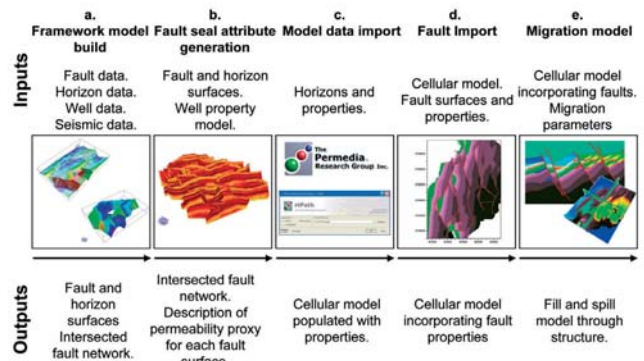


圖 1 石油工業應用三維地質資料及地質模型輔助油氣移棲分析之概念

(二) 污染物地下深層處置

瑞典核燃料及廢料管理公司(SKB)為了評估核廢料在瑞典境內地質處置的可行性所建立的地下硬岩實驗室，乃在 Äspö 小島之火成岩體開鑿各式調查坑道以瞭解核廢料地下處置場周圍的地質構造形貌。該計畫為了妥善運用累積多年的大量地質調查數據，乃自行發展三維地質資料庫系統，稱之為 Rock Visualization System(簡稱 RVS)。該系統將各類地質資料運用 Microsoft Access、開發物件模組(Objects)建置於 GIS 系統，並與 MicroStation 繪圖軟體整合而具有 3D 建模的功能。此外，為了便於與民意監督單位及大眾溝通，亦將地質與工程資料以三度空間視覺化的方式展現。

圖 2 為 RVS 資料庫系統在整體計畫及後續應用端之相互關係圖。圖 3 為 RVS 系統之工作環境畫面及功能展示。圖 4 為運用 RVS 系統配合鑽井、剪裂帶等地質調查資料進行核廢料處置場地下隧道配置設計之案例。

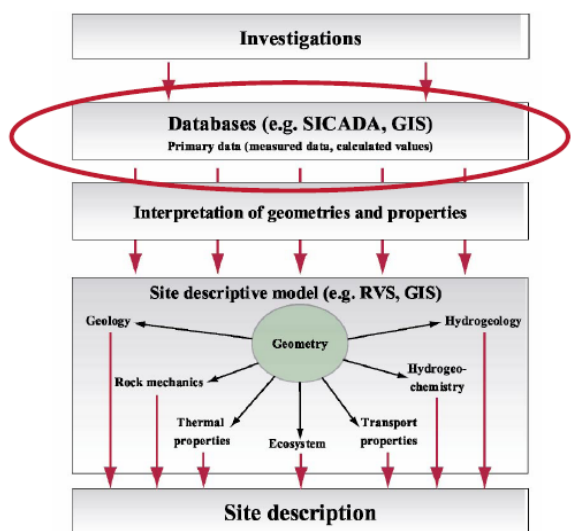


圖 2 RVS 與整體計畫架構之相互關係

(三) 斷層構造與孕震區之分析

根據美國南加州地震研究中心(SCEC)之「Community Fault Model」計畫，於南加州地區已建立活動斷層之三維斷層幾何模型，圖 5 為根據地質文獻及地物探勘成果資料所建置的南加州地區活動斷層三維模型分布圖。透過活動斷層三維模型及地震空間資料之整合有助於區分與斷層活動相關的地震區域，圖 6 為將震源及活動斷層幾何型貌套繪於 3D GIS 之展示情形。

此外，斷層三維模型亦可用來區分震源塊體區域 (Block Region)，並以塊體區域進行物理模擬，從能量在塊體上之累積 (塊體變形) 來推估塊體邊界 (活動斷層) 之滑移虧損及可能發生之地震規模。

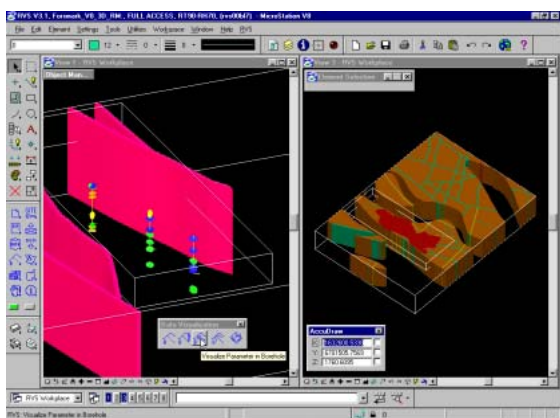


圖 3 RVS 系統工作環境畫面

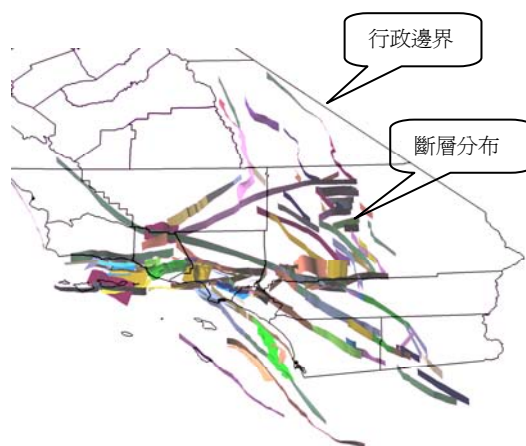


圖 5 南加州之三維斷層模型

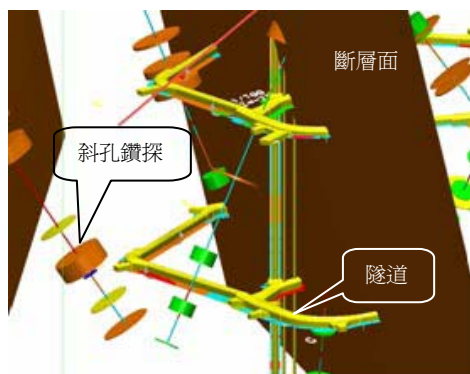


圖 4 RVS 配合地質調查資料進行處置場隧道配置設計

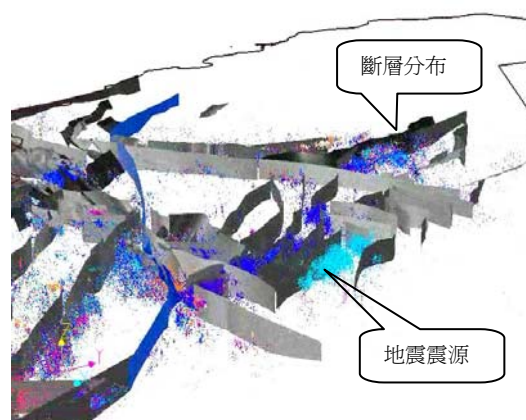


圖 6 南加州之活動斷層三維模型與區域震源疊合

三、三維地質模型的建立方式

建立三維地質模型的資料來源可分為既有地質圖資及新地質調查資料兩類。新執行的地質調查資料均有坐標系統，只需再將空間屬性建入 GIS 系統即可。然既有地質圖資通常尚未整合於 GIS 系統，故本文著重在如何將既有平面地質圖資建構成三維地質模型的方法介紹。將既有平面地質圖資轉換成三維地質模型的概念如圖 7 所示，執行方式如下：

(一)地質圖資掃描建檔

為了便於能將各類型平面地質資料迅速有效的整合成空間資訊物件格式，以建置三維 GIS 地質資料庫，首先必須將平面地質圖資掃描成數位影像，即成為工作底圖。對於建構三維地質模型之目的而言，所需的工作底圖以具有空間屬性的地質圖資為主，如鑽井資料、地層等深圖、地層邊界、構造線、等物理量、地質剖面資料等。此工作底圖必須先進行坐標系統的定位及校正方可與 GIS 系統結合，而圖面上的地質資訊才能轉換成具有三維坐標意義的空間資訊。以 GIS 軟體進行工作底圖坐標系統的定位及校正(如圖 8)。

(二)工作底圖目標物數化成三維向量檔

工作底圖經坐標系統定位後，便可將圖面上的目標物以點、線、面等物件特性進行數化，並建立有地質意義的 GIS 資料屬性(圖 9)。透過 GIS 軟體將平面地質圖數化及建立空間屬性後即具備三維向量型態，如圖 10 所示之地層等深線。

(三)三維向量線物件擴充為面物件

在實際的地質條件中，不同岩性材料的界面(如地層面)為瞭解地質特性的首要資訊，亦為建構三維地質模型的重要邊界資料。運用 GIS 軟體之三維空間處理模組可將點、線物件經空間內插成三維面物件，以地層為例，圖 11 顯示數化完成之各地層等深線空間內插為地層面之概念。

(四)三維面物件擴充為三維實體

以往的三維地質模型大多屬於三維空間面物

件，而非實體三維(Solid 3D)。現今隨著 GIS 軟硬體之進步，透過專門的三維地質處理軟體，運用空間克利金(3D Kriging)處理程序已可建立實體的地質模型。圖 12 即顯示以立體晶格概念所組成之實體地層模型。

至此，從三維地質空間資訊建構成三維地質模型的基本概念已告完成，然實際的地質資料除了基本的地層深度分布之外，尚包括如地表高程、斷層構造面、地層剖面、鑽井岩石材料特性、地下水位面等各式點、線、面資料屬性。以單一特定場址為例，整合各種地質資料之場址三維地質模型概念如圖 13 所示。

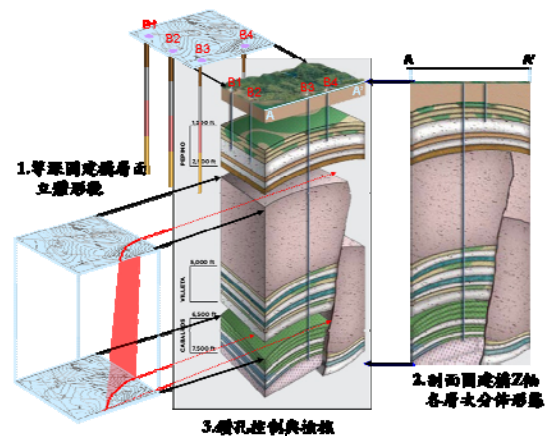


圖 7 平面地質圖資建構成三維地質模型之概念

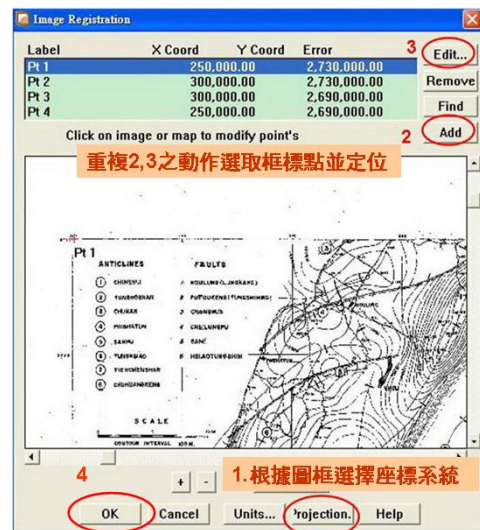


圖 8 地質工作底圖掃描與坐標系統之定位校正

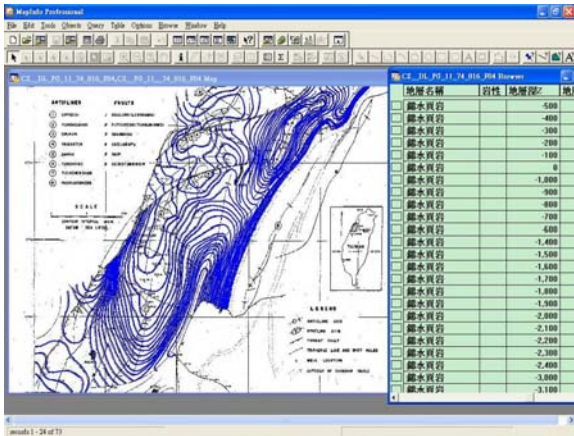


圖 9 工作底圖目標物數化及空間屬性建立

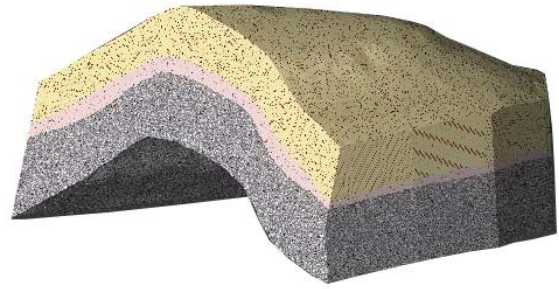


圖 12 以六角柱晶格組成地層實體模型

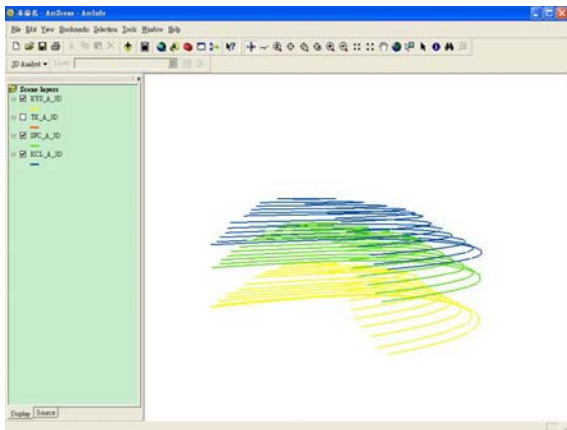
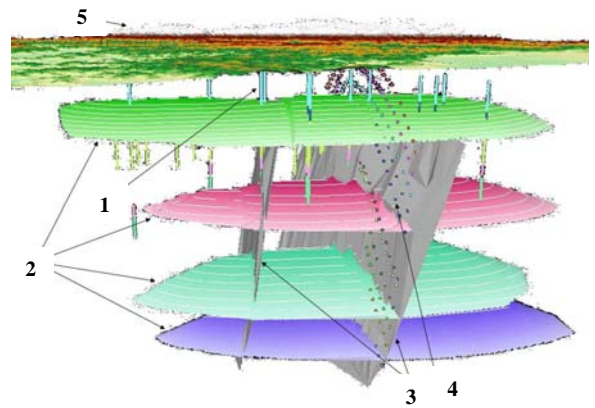


圖 10 數化後之平面地質圖具有三維向量型態 (各地層等深度線)



1.鑽井資料、2.地層面資料、3.斷層面資料、4.地質剖面資料、5.地表 DEM 資料

圖 13 整合各種地質資料之場址三維地質模型

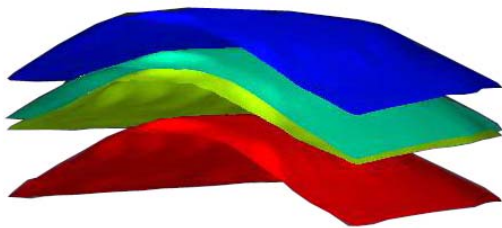


圖 11 數化之等深線內插成各地層面

四、三維地質模型應用實例

台灣電力公司為解決火力電廠二氧化碳排放量過多問題，遂參考國際經驗，於民國 97 年提出「二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫」，並委託中興工程顧問公司執行。該計畫目標之一為整合中油既有文獻資料及圖資嘗試建立油氣構造的三維地下形貌，以作為二氧化碳封存候選場址之決策依據，本文茲舉相關執行成果如下：

(一) 油氣構造二氧化碳封存量評估

該計畫選取台灣西部麓山帶既有油氣構造來建構三維地質模型以作為二氧化碳封存場址可行

性評估之用。既有油氣構造因探勘資料豐富，然探勘歷史已久且多數資料未整合於 GIS 系統，故經由分析各地層的深度分布，整合鑽井、斷層、褶皺構造等資料，並套疊衛星影像及地表數值高程(DEM)等資料，依循三維地質模型建置程序所建構之錦水油氣構造三維地質模型如圖 14 所示。如此可明確地瞭解該油氣構造的三維構造形貌，並可進一步針對特定地層進行量體計算，再搭配地層岩石物理特性參數及地溫梯度等數據加值計算特定目標地層的二氧化碳封存量，以供場址可行性評估之用。

該計畫亦對於其他特定場址建構三維地質模型(如圖 15~圖 17)。經由各場址的封存量分析即可進行各二氧化碳候選場址之封存優劣特性比較(如表 1)，如此可供決策者訂定節能減碳策略目標之參考依據。

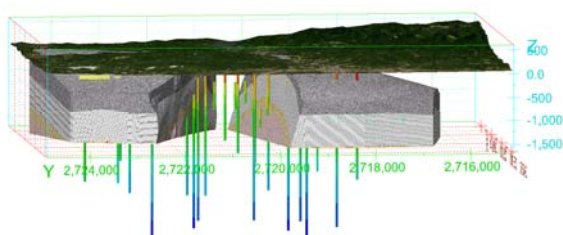


圖 14 錦水油氣構造之三維地質模型

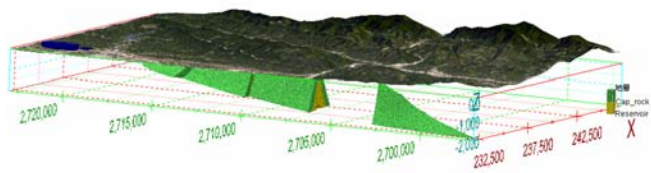


圖 15 出磺坑油氣構造之三維地質模型

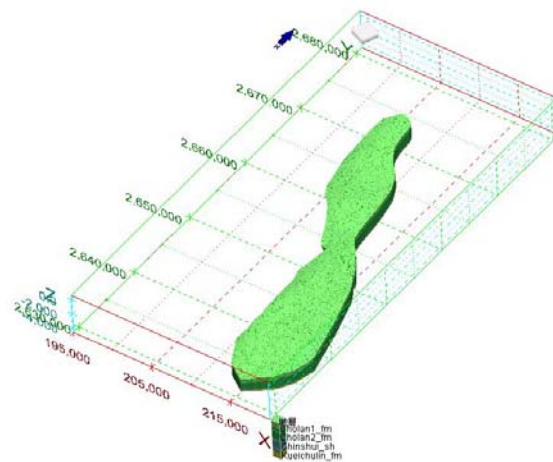


圖 16 八卦山油氣構造之三維地質模型

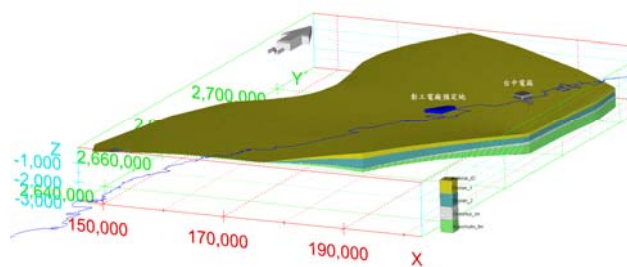


圖 17 海域台西盆地構造之三維地質模型

表 1 各二氧化碳封存候選場址特性比較

封存場址名稱	候選封存場址			
	錦水油氣構造	出磺坑油氣構造	八卦山油氣構造	台西盆地構造
地質構造名稱	錦水背斜	出磺坑背斜	八卦山背斜	台西盆地微傾斜地層
封存範圍面積(km ²)	15.12	75.82	234.88	2305.73
估計封存體積(億 m ³)	346.263	153.619	287.12	4166
估計封存量(億噸)	10.65	2.247	6.9	14.563~45.18
建議蓋岩層	錦水頁岩、桂竹林層	打鹿頁岩、北寮層上部、出磺坑產油層	卓蘭層上部頁岩、錦水頁岩	錦水頁岩
建議封存地層	南莊層	北寮層、出磺坑層	卓蘭層下部、桂竹林層	桂竹林層

(二) 三維地質模型與 GIS 系統整合應用：

如同第二節所舉之瑞典 SKB 核廢料地下處置案例，三維地質模型可與 GIS 系統相整合，兩者息息相關且相互連結才可發揮三維地質空間資訊的最大功效。

台灣電力公司「二氧化碳地下封存地質資料庫建置與候選場址評選計畫」將各地下封存場址的地層深度分布、構造空間資訊予以數化並建置於 SQL Server 資料庫，經由 GIS 相關軟體 ArcSDE 展示於 ArcGIS 平台，再透過三維地質視覺化展示工具 MVS(Mining Visualization System)來建構真實三維地質模型；三維地質模型與 GIS 系統整合平台如圖 18 所示。

此外，該計畫亦使用 Visual Basic 程式語言開發 COM 物件，由此工具可控制 ArcGIS 圖層的開關，使用者僅需在 ArcGIS 平台框選範圍，本物件即會讀取範圍內之地質構造圖層並於三維地質模型產生軟體 MVS 中動態產生三維地質模型，以將三維地質模型與 GIS 系統作緊密之結合，如此可提供二氧化碳封存場址評選工作有效且親善的輔助平台工具(如圖 19)。

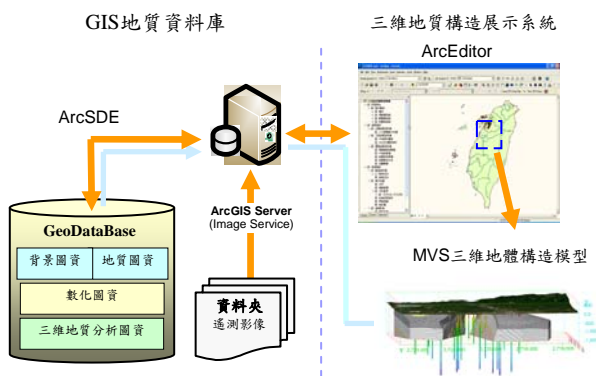


圖 18 三維地質模型與 GIS 系統整合平台

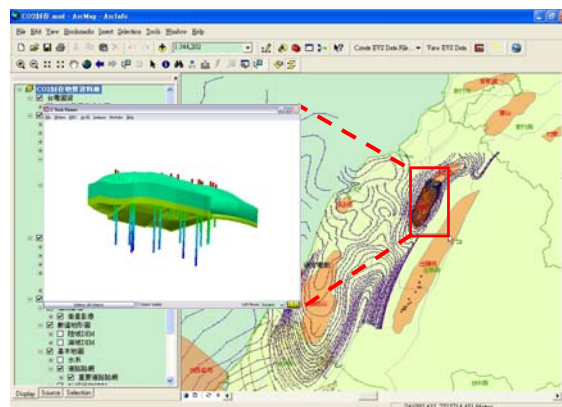


圖 19 三維地質模型與 GIS 系統整合平台

五、結論與建議

1. 運用 GIS 的主要目的是透過疊圖及空間分析功能，將原始地理、地質資料轉換為能輔助決策的空間資訊系統。故將複雜且大量的地質圖資以 GIS 化、數量化、三維視覺化、甚至網路化的方式處理與呈現將有助於地質專業人員與不同工程界面人員之溝通。
2. 對於重要工程建設所面臨的地質問題，透過三維視覺化的處理，可將複雜的地質議題簡易的讓社會大眾了解，增進政府與民眾的溝通效率，亦能滿足人民知的權利。
3. 以二氧化碳地質封存場址為例，該計畫已初步規劃出一套可行且親善的 GIS 展示系統。除可讓決策者綜觀整體的封存場址所在位置之交通、地理、地質及地物等狀況，亦可針對個別封存場址進行資料查詢及三維地質模型的展示，對於封存場址的評選提供一個有效率的資訊輔助平台。
4. 因地質資料具有三維空間特性，為了便於資料的保存、展示、查詢、分析研究、流通等功能，未來「地質法」若通過，後續各項地質調查成果均將朝向 GIS 化、數量化、3D 立體視覺化、Web 網路化等方向發展。建議應及早

研發精進相關技術以因應未來政府單位之需求，並與地質資料發展的潮流趨勢接軌。

參考文獻

- 地質法草案總說明，經濟部中央地質調查所網站資料，
<http://www.moeacgs.gov.tw>
- 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
- Curtis, P., Elfström, M., and Markström, I. (2005), Rock Visualization System Technical Description (RVS v.3.8), SKB-R-05-49, Svensk Kärnbränslehantering AB
- Shaw, John. Plesch, Andreas. Planansky, George. Community Fault Model last updated 1/4/04. Harvard College Geology Department. <http://structure.harvard.edu/cfm>
- Steve Dee, Brett Freeman, Graham Yielding, Alan Roberts, and Peter Bretan(2005), Best Practice in Structural Geological Analysis, Petroleum Geology, Vol. 23, April, pp.49-54
- 延伸閱讀：
俞旗文（2008），二氧化碳捕獲與封存，水利土木科技資訊季刊，第41期，第27-32頁
- P Curtis, M Elfström, I Markström(2004), Rock Visualization System Technical description (RVS v.3.5), SKB-R-04-55, Svensk Kärnbränslehantering AB
- SKB (2003), Geological Site Descriptive Model—a Strategy for the Model Development during Site Investigations, SKB Rapport R-03-07, Svensk Kärnbränslehantering AB, Sweden