

27

出國報告（出國類別：實習）

MOVE 軟體整合構造地質解釋課程

服務機關：台灣中油股份有限公司探採研究所

姓名職稱：洪作緒 地質師

派赴國家/地區：英國

出國期間：112.3.25 - 112.4.5

報告日期：

摘要

構造地質分析已經是歷史悠久的地質工作，一直以來都在綜合地質分析之中佔據一定分量，作為探勘工具，可以增進對各種場址的地質狀況與歷史的了解，應用範圍十分廣泛，從石油探勘、礦業到大地、土木工程都有相關的應用，並且就算面對資料完整性與密度的不一，也可以產生出一定品質的成果。就石油探勘而言，適合用於較大空間尺度的探勘工作，用於探討如沉積盆地的演化，油氣儲藏的圈閉範圍、協助建立熱流模型與油氣移棲歷史等等。

本次出國計畫報名參加 Petroleum Experts Limited 舉辦之「Integrated Structural Geology - MOVE Standard Course」課程，開設對象主要為 MOVE 軟體使用者與有構造地質分析工作需求者，課程含括了軟體使用的理論基礎與限制、操作練習與操作實際案例之工作坊，增進對軟體的基礎認識，加強未來利用 MOVE 軟體建立構造地質模型的品質。

目次

一、 目的	1
二、 過程	3
三、 具體成效	26
四、 心得及建議	26

一、 目的

建立地質模型與構造模擬為地質分析工作中的重要環節，旨在建立區域演化史，以增進對研究區域的地質理解，於油氣探勘方面，判斷圈閉面積、移棲路徑與關鍵層位的形貌解釋上，都必須先經過構造分析，地球化學油氣模擬所需的年代剖面亦需要以構造回復模擬方式取得，而在構造複雜的區域，例如造山帶，地質構造因素在區域演化史中更扮演了非常重要的角色，因此對於相關技術的了解與精進是必須的。

探採研究所目前使用 MOVE 軟體進行部分地質模型建立與構造模擬工作，已有應用於 110 年石油基金計畫「澳洲西北海域 Roebuck 盆地中生代沉積環境研究」，亦預計運用於 112 年石油基金計畫與國外礦區評估，該軟體為專門提供地質師進行整合構造分析的平台，可進行三維地質模型建立、構造剖面建立分析、盆地構造回復、應力與應變分析等。本次計畫參加軟體公司 Petroleum Experts 辦理之 MOVE 軟體整合構造地質解釋課程，內容涵蓋軟體使用之理論基礎與限制、地質模型專案建置、構造剖面分析方法、區域應力應變與裂隙分析等等，為地質模型建立與構造分析的基礎與整合應用，並包含實際案例實作與工作坊（圖一），本次計畫透過此課程可增進對上述課題的了解，並實際操作熟悉作業流程，可增進本所在前述方面的能力，增進所建立之地質與構造模型品質，以降低探勘風險，有助於未來探勘工作與其他場址的地質評估。



Integrated Structural Geology – MOVE Standard Course

Target Audience:

This course is intended for those that: (i) work with geological models in the exploration or production domain and need to become familiar with structural geology tools/analysis; (ii) attended the course already some time ago, and require a refresher, or; (iii) are in other disciplines trying to understand how structural geology is integrated into the exploration or production context (e.g. accountants, project managers, etc.).

Overall Objectives:

- 1/ Learn structural geological theory
- 2/ Discuss the limitations of the theory
- 3/ Apply the theory and become familiar with **MOVE**

Course Agenda

Day 1 Introduction to integrated structural geology modelling and MOVE

- Importance of integrated structural geology modelling for reducing uncertainty in the reservoir model.
- Geological model components – Terminology, assumptions, rock properties, describing shapes.
- Input data for geological models – Data types, collection methods, projection of data.
- Stress and Strain – Calculating in-situ stress, elastic properties, deformation, Andersonian faulting.
- **Exercises** – Introduction to **MOVE**; setting up a Stratigraphy Table; importing data; stereonet analysis; interpreting sections & calculating apparent dip.

Day 2 Limitations in geological data and reducing uncertainty

- Constrained model building using basic geometric principles – Kink-band method.
- Material Balance – Assumptions, Simple depth-to-detachment, Area-depth calculation.
- Constrained model building using mass balance and geological principles – Constant Heave.
- Kinematic Models – Simple Shear, Fault Parallel Flow, Trishear.
- **Exercises** – Kink-band method to constrain fold shape; geometric fault construction; forward modelling deformation in 2D; geometric restoration.

Day 3 Modelling deformational processes

- Sedimentary basins – Extensional, compressional, strike-slip.
- Evolution of rift basins – Tectono-stratigraphic observations, geological processes.
- Isostasy, mechanical compaction, thermal subsidence.
- Sequential Restoration – Introduction to technique.
- **Exercises** – Airy isostasy model, Sclater-Christie compaction model & McKenzie thermal subsidence model; Sequential Restoration in **MOVE**.

Day 4 Predicting subsurface flow pathways, buffers and barriers

- Strain and fracture prediction – Relationship between strain and shear plane orientations
- Critical failure – Mohr Diagram and Coulomb failure.
- 3D model building – Techniques available in **MOVE**.
- Fault Displacement Analysis – Learn techniques to understand and validate fault displacement.
- Fault Seal Analysis – Fault Rock Seal, Shale Gouge Ratio.
- **Exercises** – Forward modelling deformation in 3D and calculating strain associated with deformation; generating Discrete Fracture Network (DFN); 3D model building; fault displacement and seal analysis.

Day 5 Reservoir structural geology modelling workshop

- Use learnings from first four days to build a model and carry out integrated structural analysis in **MOVE**.

Petex House, 10 Logie Mill, Edinburgh, Scotland, EH7 4HG, UK

Tel: +44 131 474 7030 Fax: +44 131 474 7031 Email: edinburgh@petex.com Website: www.petex.com

圖一、整合構造地質解釋課程之課程內容簡述。

二、 過程

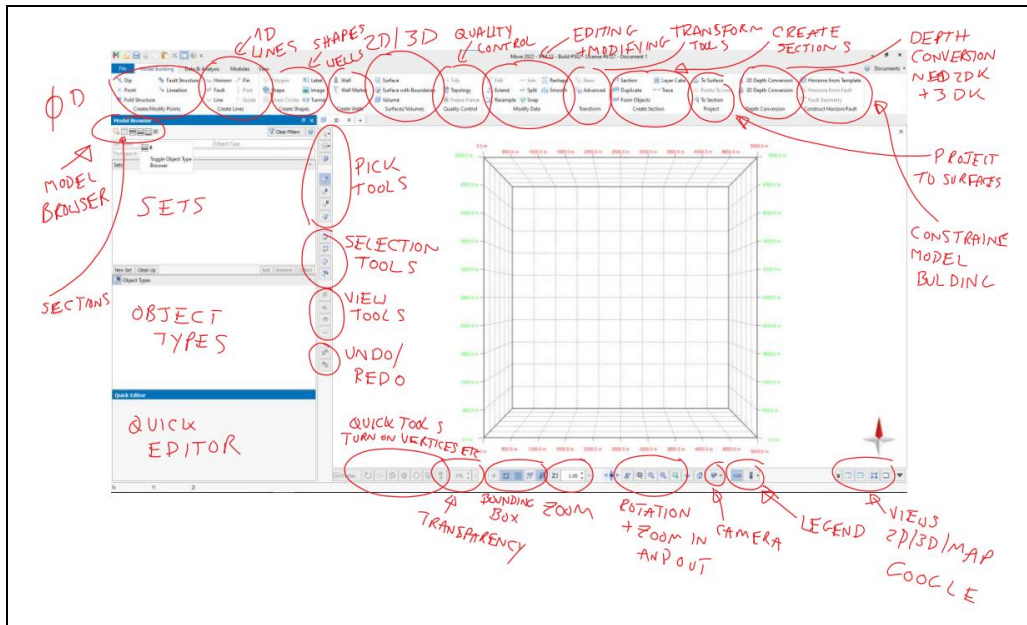
課程內容簡述如圖 1.1，期間從 3 月 27 日至 3 月 31 日。

1. 第一日

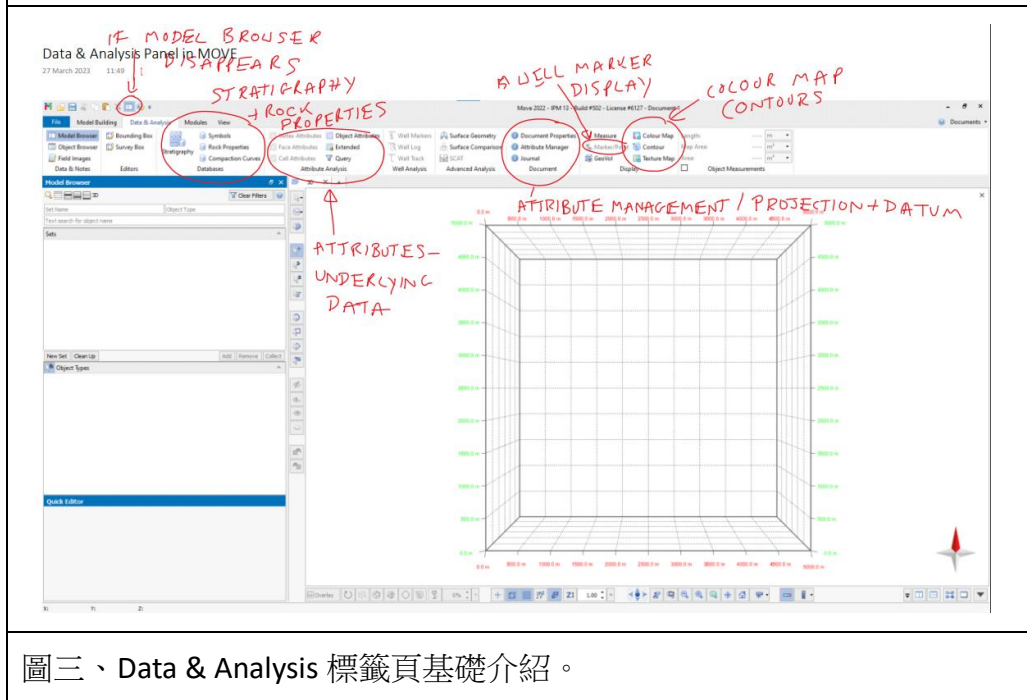
首日課程著重於基礎理論、程式基礎操作與架構。建立地質構造模型的目的為透過地質理論協助探勘人員增進對於地下狀態的認知，降低探勘過程的不確定性，排除不必要的雜訊與分析人員的成見，並預測模型未來的演化或是模型針對例如注氣等外來行為的反應，以及比較不同的情境。建立模型的流程如下：(一)建立資料庫與理論基礎。(二)根據現有資訊確定主要的地質作用。(三)根據確定的地質作用，決定用何種方法預測無資料區塊的屬性，及預測變化。

MOVE 為地質建模軟體，並包含數個不同功能的模組，依種類可分為：(一)核心模組(Core modules)：MOVE 軟體的必須基礎模組，功能包含地質資料模型建立，包含資料輸入並自定義數據屬性，資料編輯、模型視覺化呈現；(二)運動學模組(Kinematic modules)，包含二維運動學模組與三維運動學模組，以不同機制模擬物質在空間上的變化與影響；(三)進階模組(Advanced modules)，包含應力分析、斷層型態分析、裂隙分析、地質力學分析、斷層反應分析。本次課程內容包含核心模組、運動學模組以及進階模組的應力分析、斷層型態分析與裂隙分析。MOVE 可使用之資料包含地質圖資，如一般地質圖、地形資料、重力測勘圖資、磁力測勘圖資、大地電磁測勘資料等；井資料，如位置、鑽深、井偏、井測、井地層等；震測資料；地質解釋與實際地質調查資料，如地層位態、二維/三維構造地層形貌；不同種類的地層與岩石參數，如年代、孔隙率、滲透率、密度、震波速度、楊氏模數(Young' s modulus)、帕松比(Poisson ratio)等等。

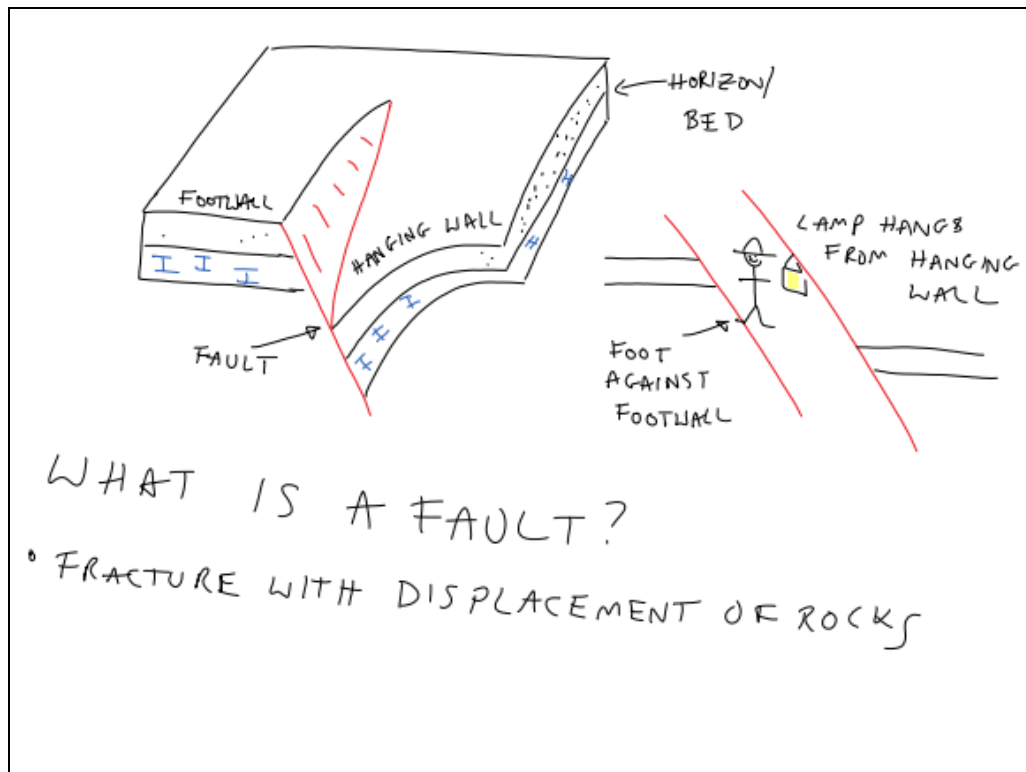
本日課程亦包括 MOVE 建模與資料頁面之介紹(圖二、三)，斷層的定義(圖四)，基礎地質理論，包含均變說、疊置理論、地層平行連續、截切關係、物質平衡原則(圖五)、形變與相關參數(圖六)等等。



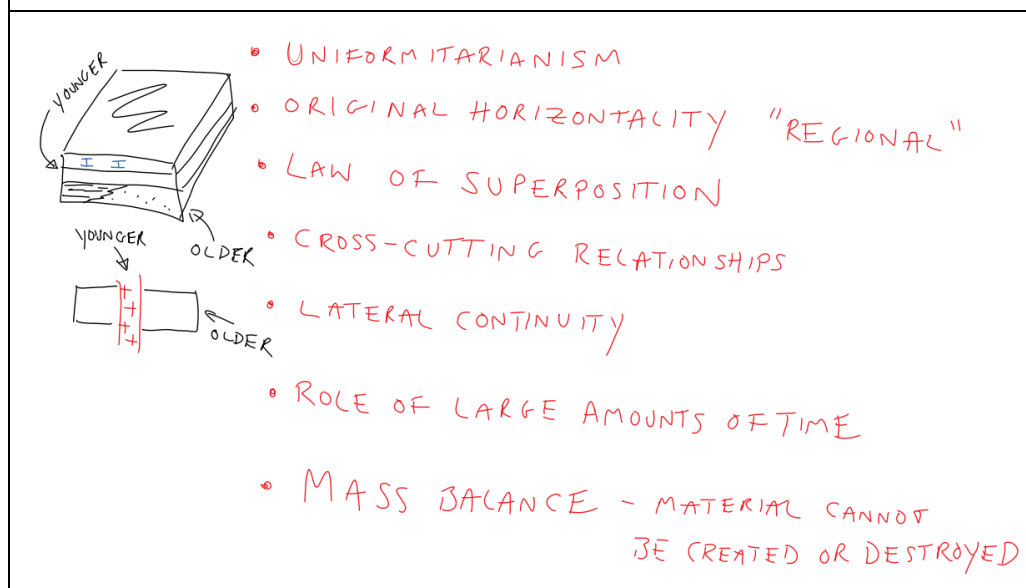
圖二、Model Building 標籤頁及模型介面基礎介紹。



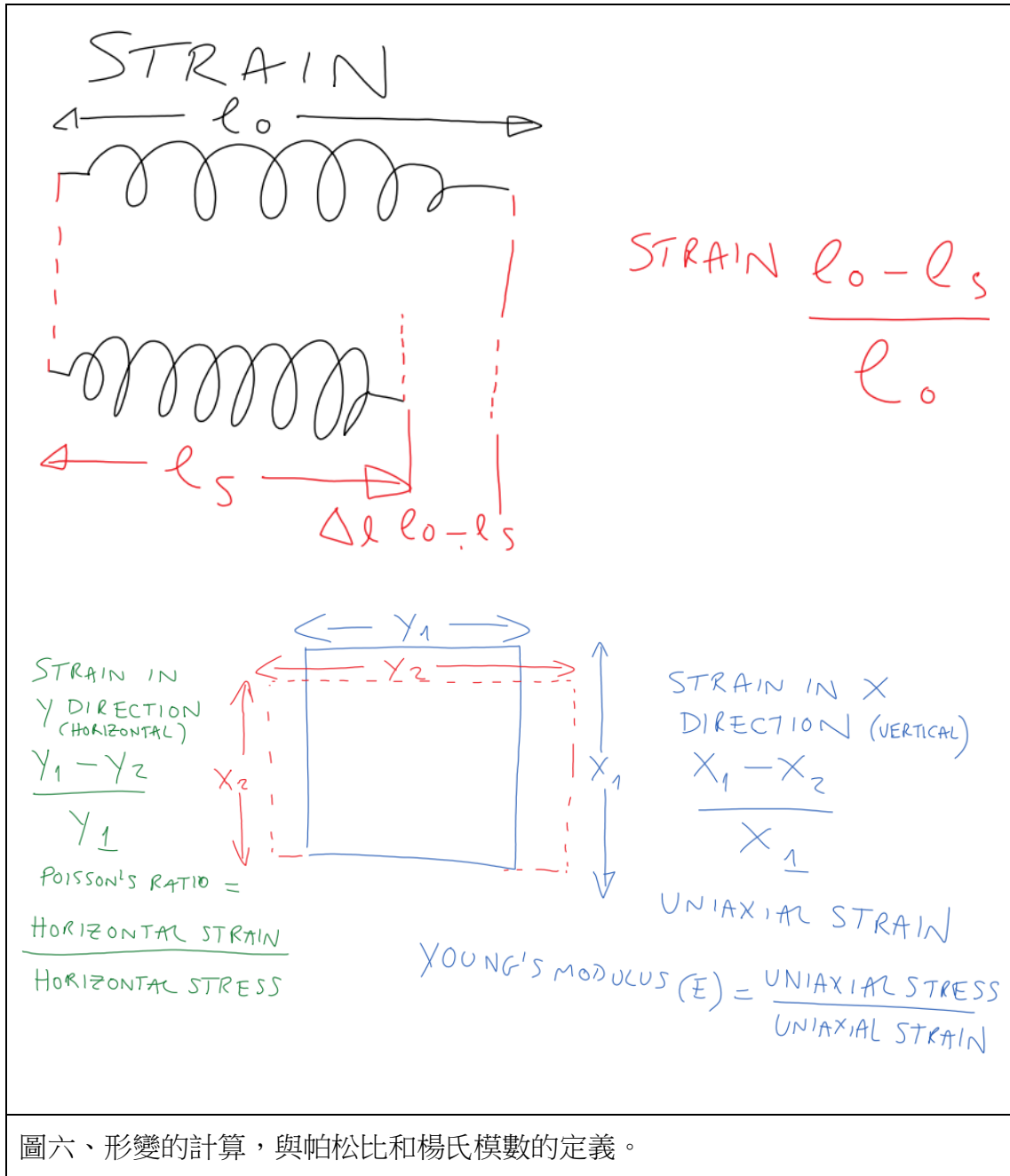
圖三、Data & Analysis 標籤頁基礎介紹。



圖四、簡單的斷層示意圖。

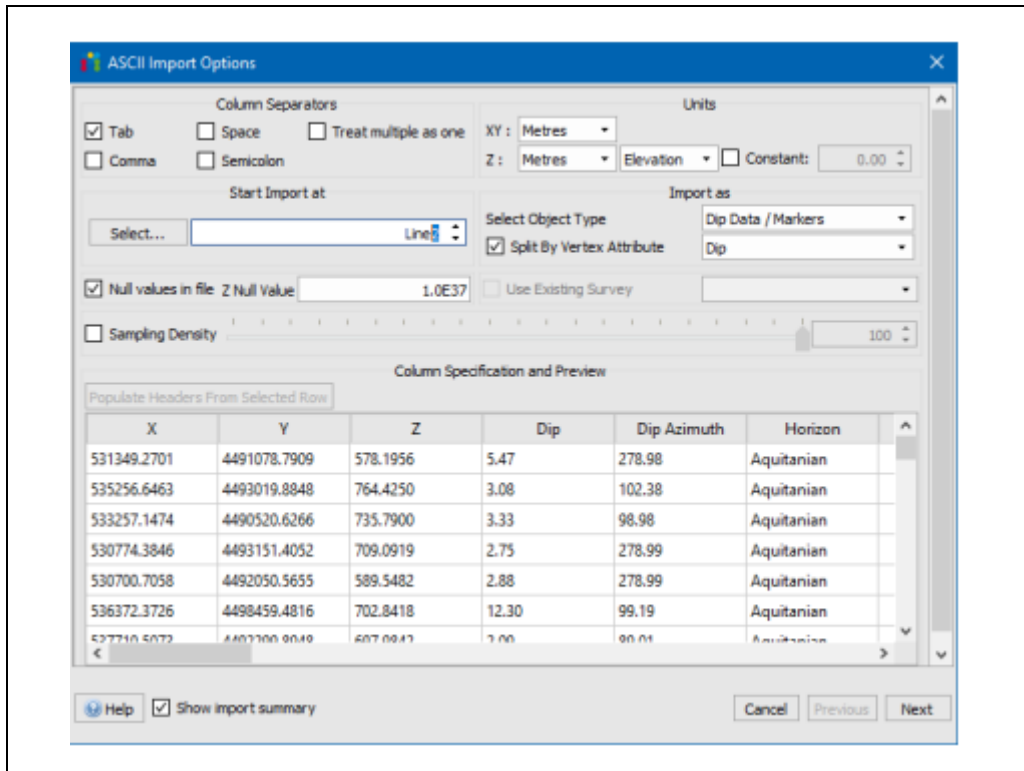


圖五、地質構造模擬的基礎原則與觀念，由上而下為均變說、原始水平沉積、疊置定律、截切關係、地層水平連續、大尺度時間、物質平衡。

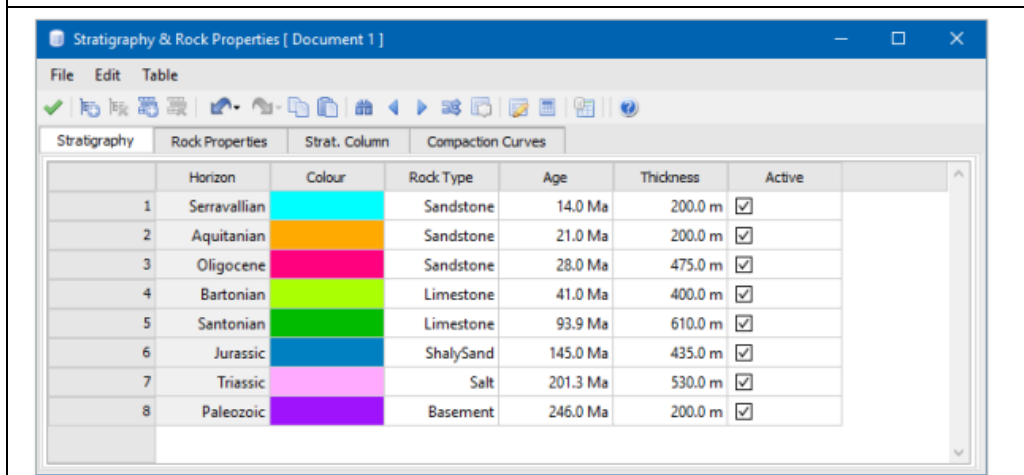


圖六、形變的計算，與帕松比和楊氏模數的定義。

軟體操作部分為資料輸入與建置地層資料庫。資料輸入為 File 標籤內的 Insert，根據需要輸入的資料選擇不同的檔案類型，或是利用 ASCII 格式輸入後再自行定義各欄內容所代表的意義(圖七)。地層資料建置點選 Data and Analysis 標籤中的 Stratigraphy，開啟後可自定義各地層之名稱、呈現顏色與樣式、年代、厚度(圖八)。



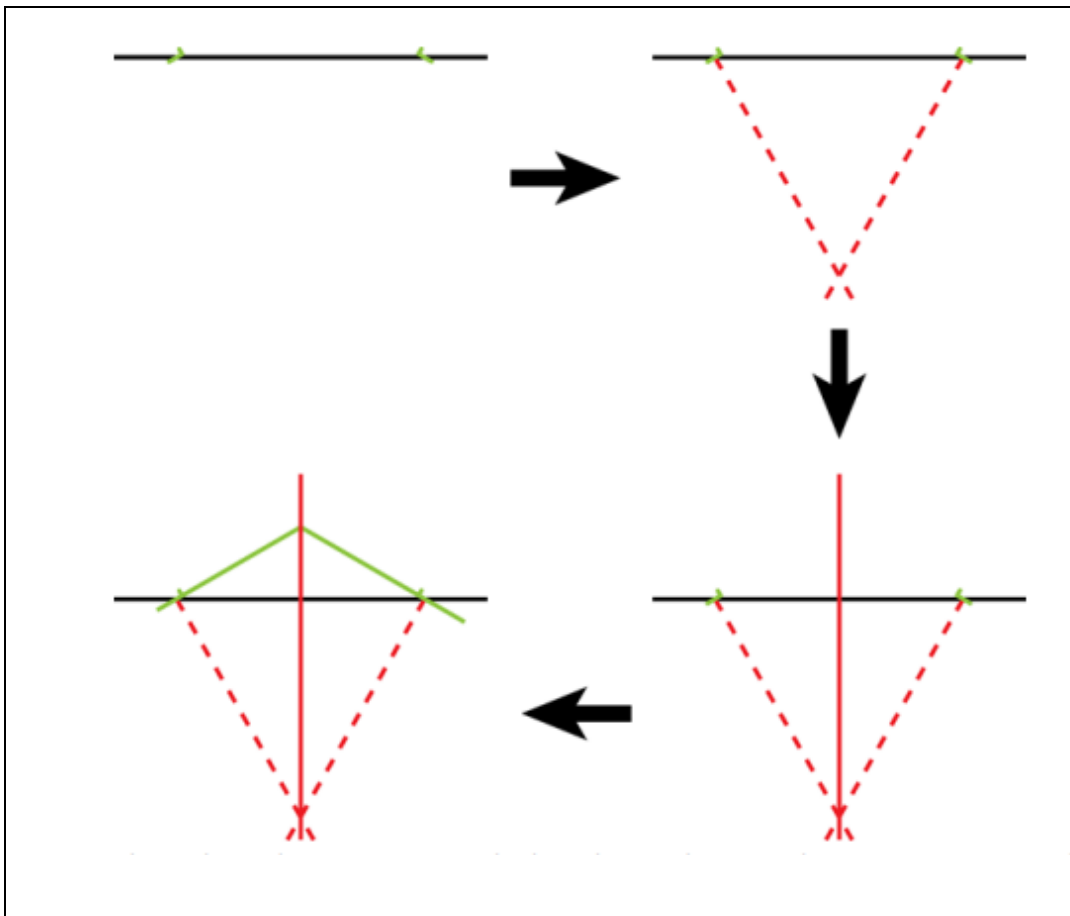
圖七、ASCII 格式資料輸入介面，下方表格各欄數值意義可自定。



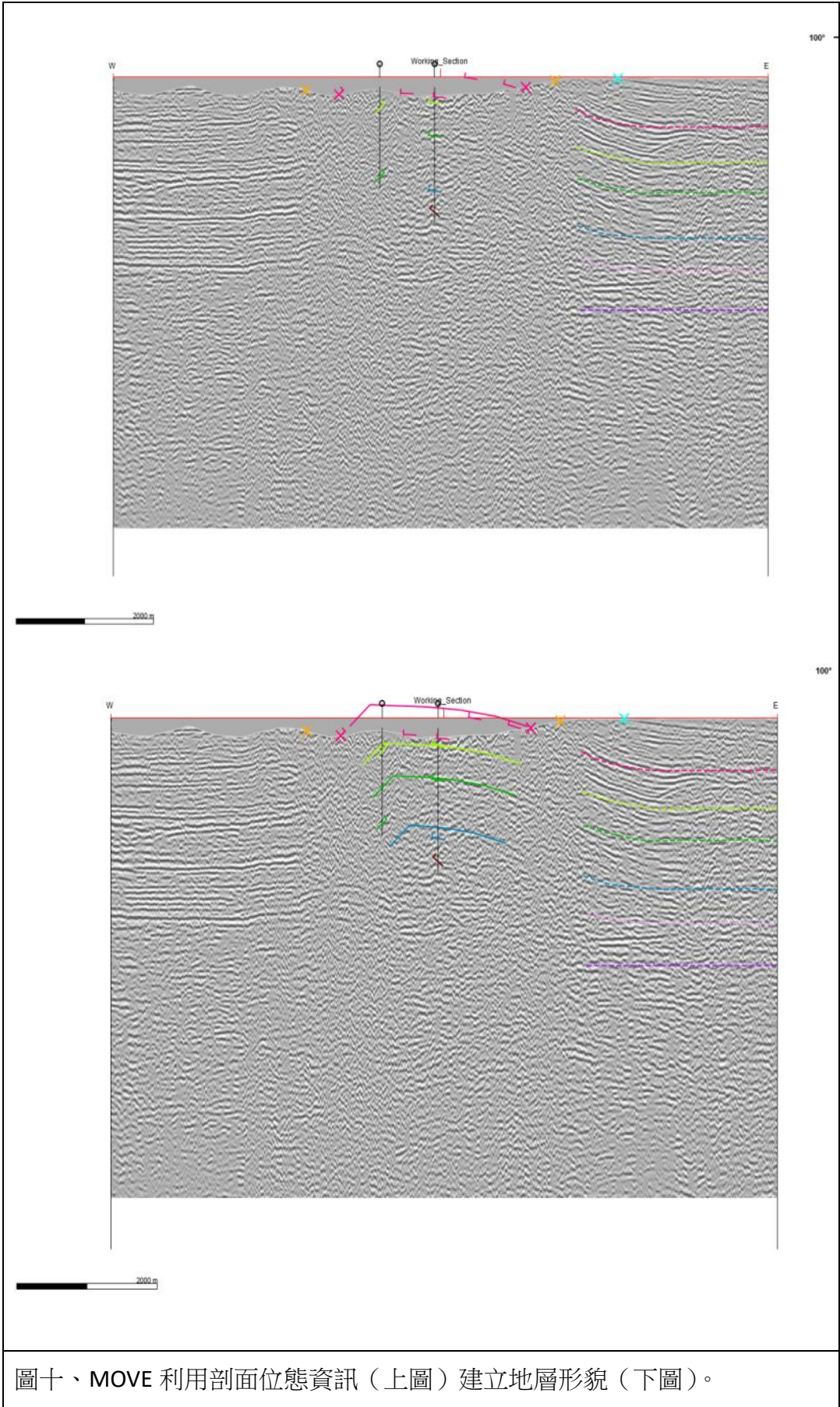
圖八、定義之地層資料庫，可再細節設定岩石參數等等。

2. 第二日

第二日課程為如何利用不連續的現有資料建立構造剖面，以及利用回復檢視構造、層面解釋的合理性。MOVE 以急折法(Kink Band Method)作為建構構造剖面與模擬的基礎，若同一個層位在剖面上有兩個不同的位態資料點，沿此兩個位態延伸直至相交，在相交處的內角生成角平分線，以此平分線可區分出兩側兩個角度域，在每個角度域內層面都會維持相同的位態(圖九)，透過此方法可以利用原本為點資料的位態，建構構造剖面上的層位(圖十)。

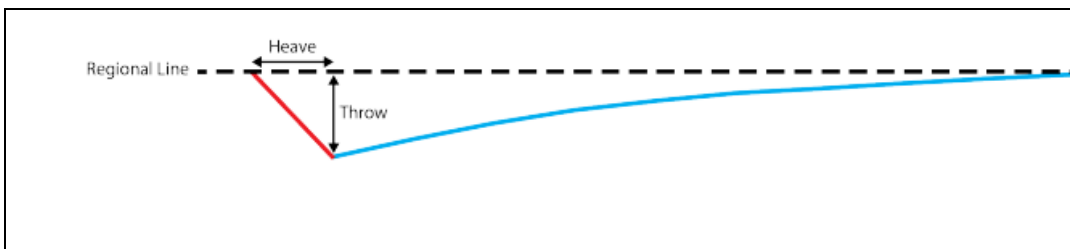


圖九、急折法作圖法式意圖，須注意兩個位態應為同一層位，角平分線（紅色實線）區分出左右兩個角度域，同一角度域內的層面都具有同樣的位態。

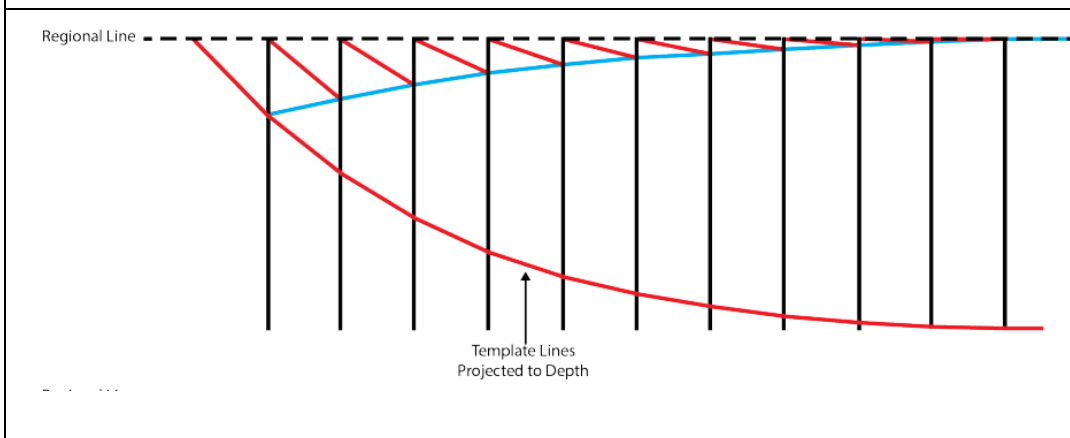


圖十、MOVE 利用剖面位態資訊（上圖）建立地層形貌（下圖）。

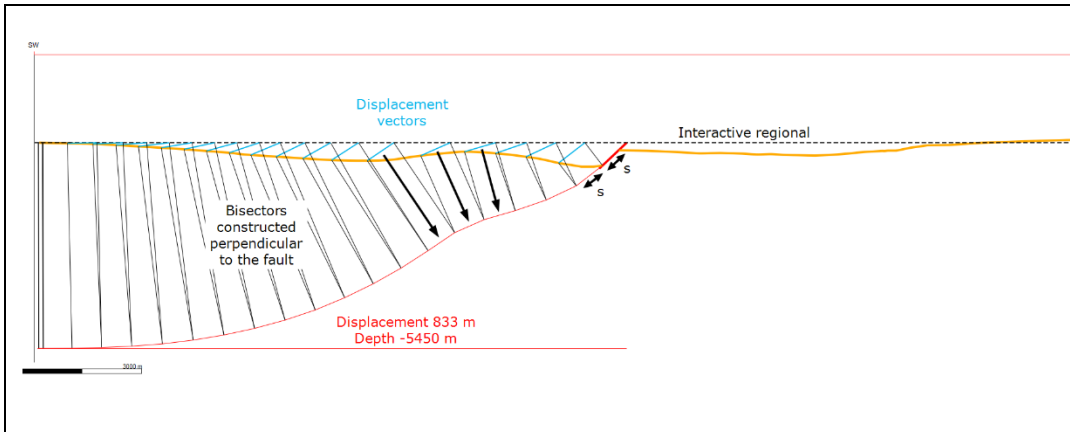
若已知部分斷層、上盤現今層位與原始層位，主要使用兩種方法可以應用於重建斷層形貌：(一)Constant Heave，斷層的總滑移量為 Slip，滑移量的水平分量為 Heave，垂直分量為 Throw(圖十一)，在剖面上向斷層延伸方向每一單位的 Heave 為一個區間方格，從已知斷層側之原始層位連線至斷層延伸側之現今層位，此線段平移至與已知斷層相接即為斷層的延伸方向(圖十二)。(二)Constant Slip，概念與前項類似，然而區間方格定義改為沿著總滑移量的方向，每個區間方格寬度為一個觀察到之總滑移量為單位(圖十三)。一般而言，Constant Heave 使用在拉張構造環境，而 Constant Slip 使用在擠壓構造環境。在 MOVE 軟體中，可以結合 Construct Fault Geometry 與 Horizons from Fault 功能建立斷層與地層形貌(圖十四~圖十六)。



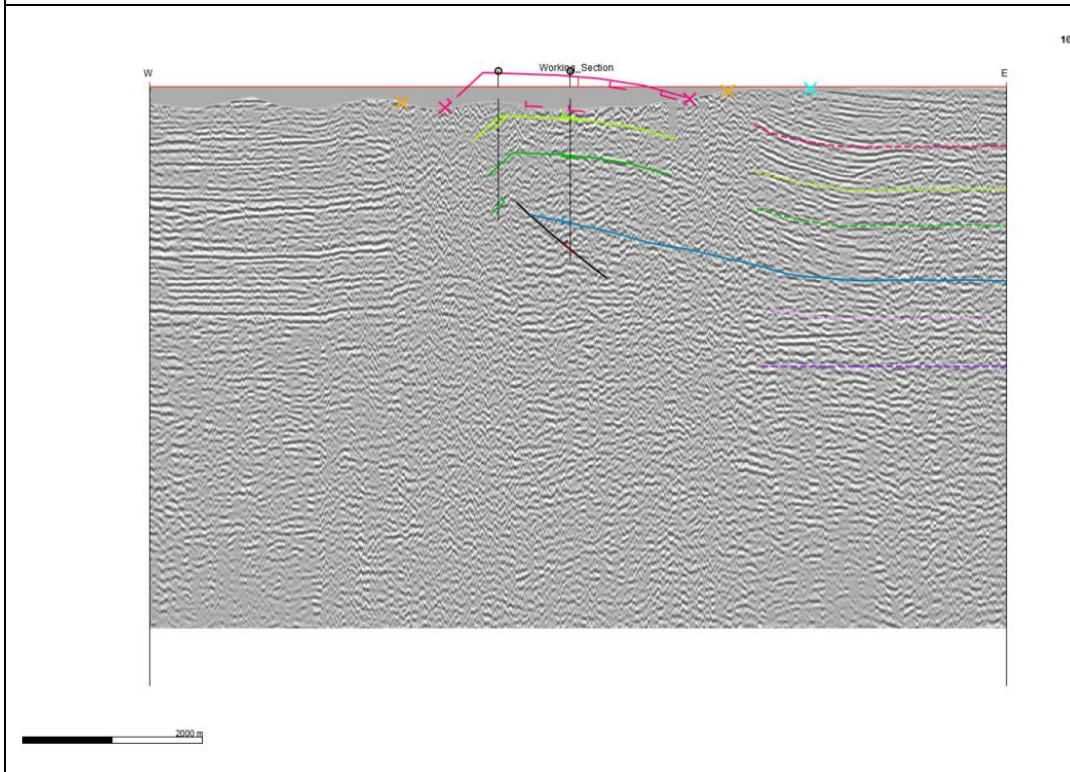
圖十一、重建斷層形貌所需之資訊，Regional Line 為推估發生構造變形前之原始層位，紅線為 Slip。



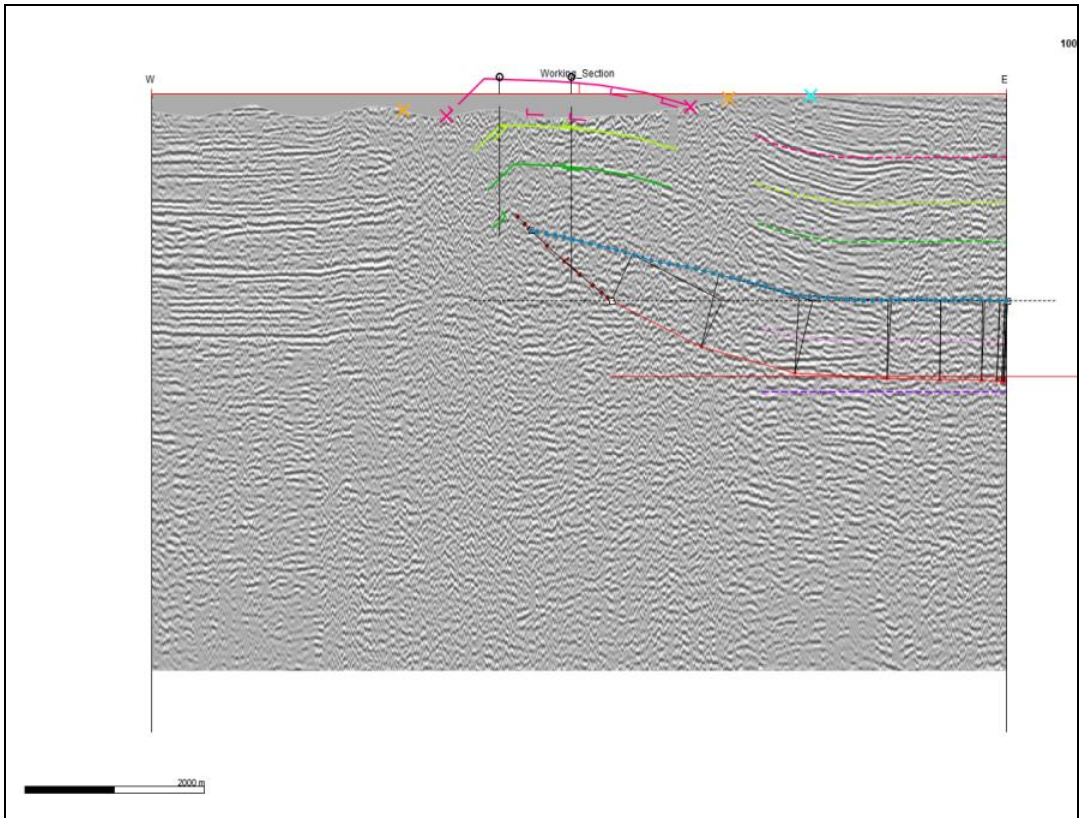
圖十二、Constan Heave 作圖法示意圖，每個單位區間的紅線為平行線，與前段斷層連接。



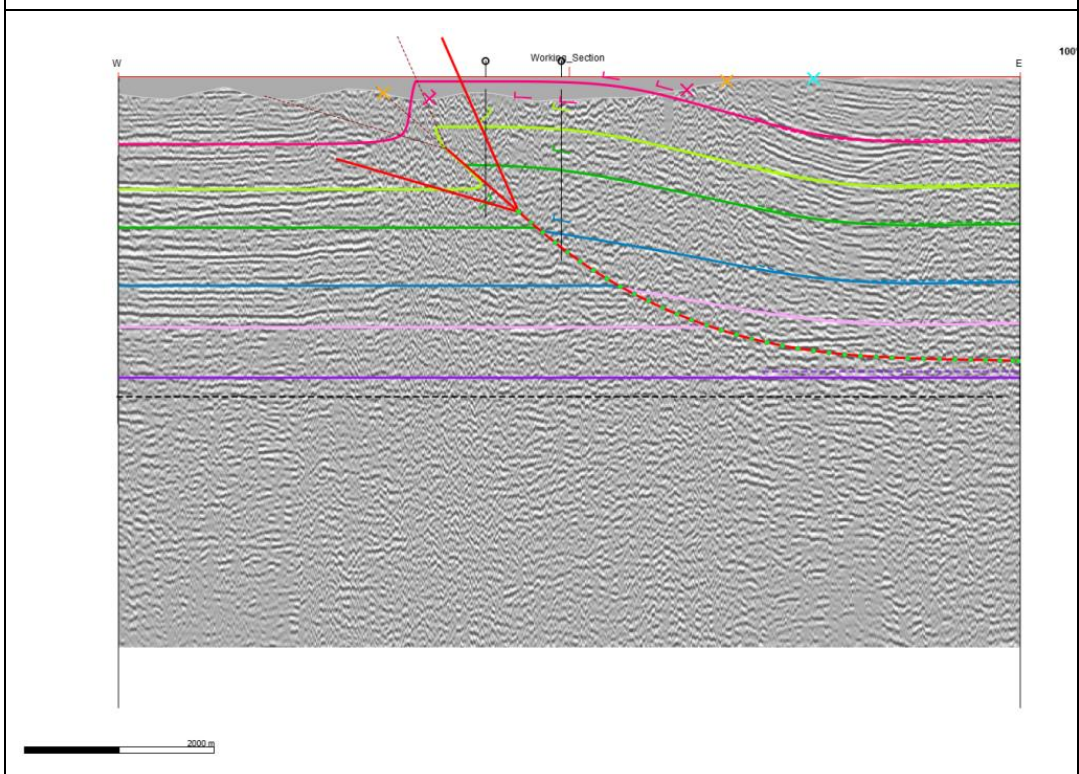
圖十三、Constant Slip 作圖法示意圖，每一個單位方格寬度為滑移量（ s ），並垂直前段滑移方向，延伸至與 Regional 的交點，為圓心作半徑 s 的圓，圓心與此圓交上盤地層的靠上盤側交點連線即為斷層延伸之方向。



圖十四、鑽井已知藍色地層位置與斷層位置。

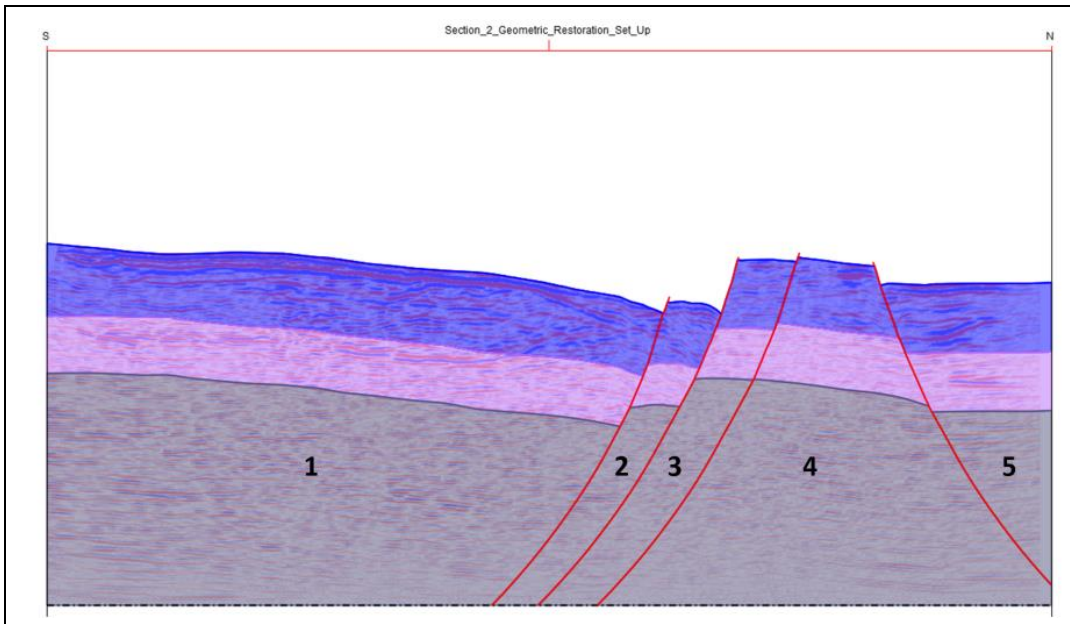


圖十五、利用 Constant Slip 重建斷層。

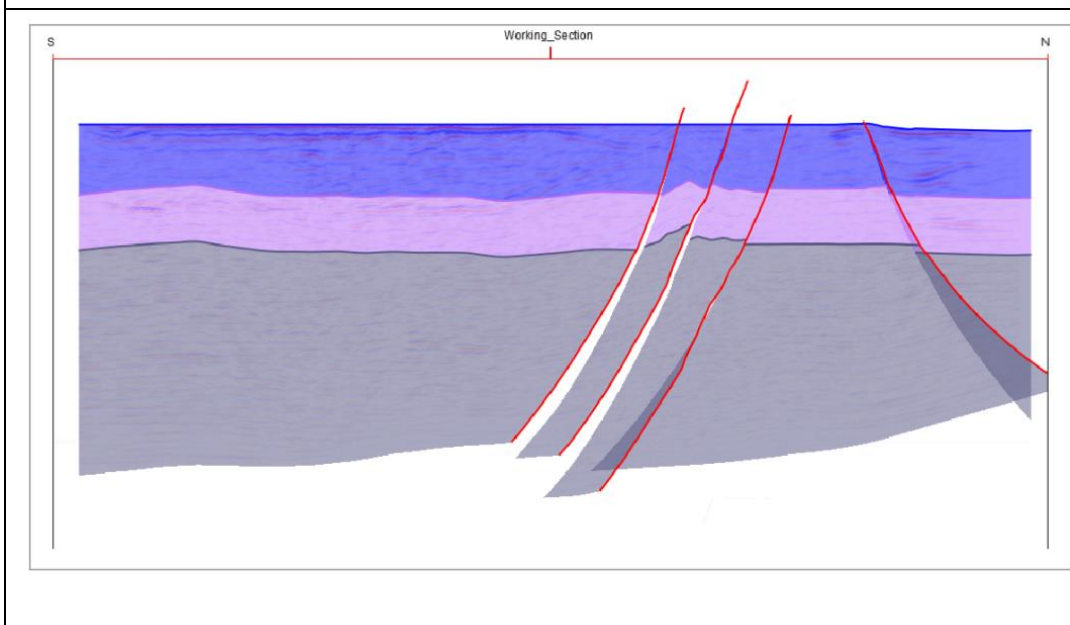


圖十六、利用斷層形貌模擬地層可能形貌。

物質平衡是構造模擬的基本原則之一，在剖面內物質不會無故增加與減少，此原則在二維構造剖面上即展現為剖面之地層面積須保持守恆，且經過回復的剖面理論上不應出現地層空缺或是重疊的狀況(圖十七、十八)，若出現此類偏誤，代表須考慮修正地層解釋，或是構造回復時的運動學機制或是參數有誤，應修正對區域應力場的理解。



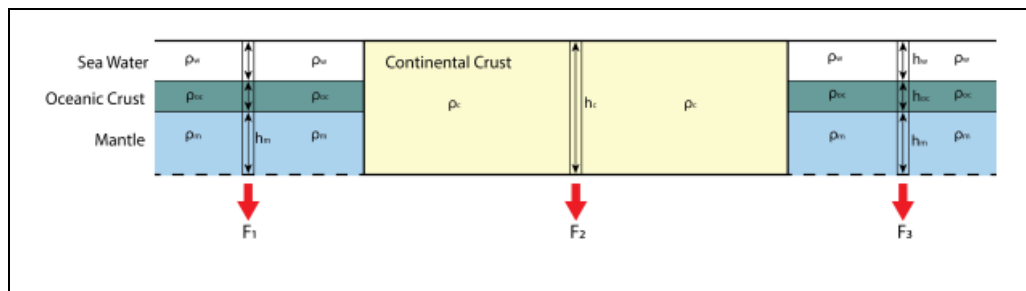
圖十七、解釋剖面，未回復前不易發現不合理之處。



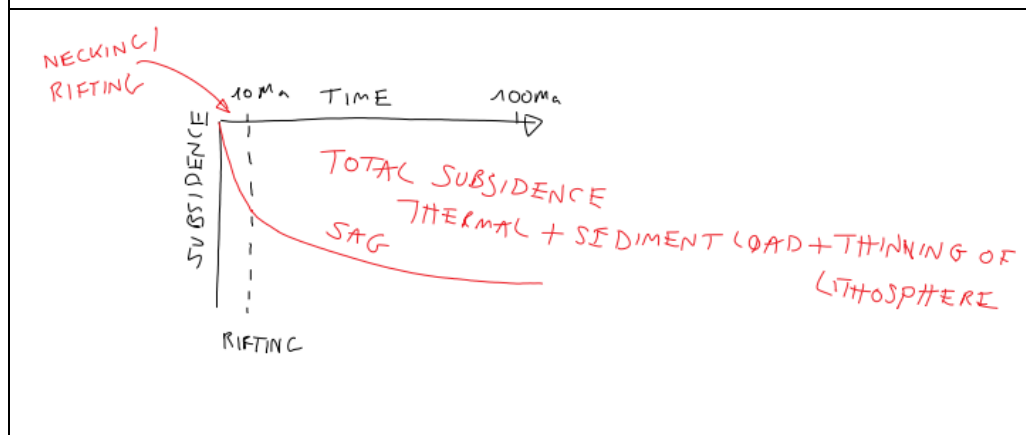
圖十八、圖十七之回復剖面，經回復斷層、褶皺作用後，空缺、重疊等不合理處浮現。

3. 第三日

本日課程主題為沉積盆地發育、地殼均衡、壓密以及綜合上述與斷層、褶皺作用的剖面連續回復。沉積盆地，指涉長期發生沉積作用，且大於侵蝕作用之處，在油氣探勘上是非常受關注的地質單元，尤其是張裂盆地，可以匯聚石油系統中所需的物質，包含生油物質、儲集層材料，規模夠大，並且在張裂作用中常會因地殼減薄、地函上浮而使地溫上升，有利於有機物進入油窗生油。在分析張裂盆地時，因地殼減薄以及地函上湧加熱所導致地殼均衡變化與熱沉降作用(圖十九、二十)，沉積時增加的荷重也會使舊沉積物受到壓密作用影響，而改變厚度，上述都是在張裂盆地進行構造回復與反剝時應關注的因素。

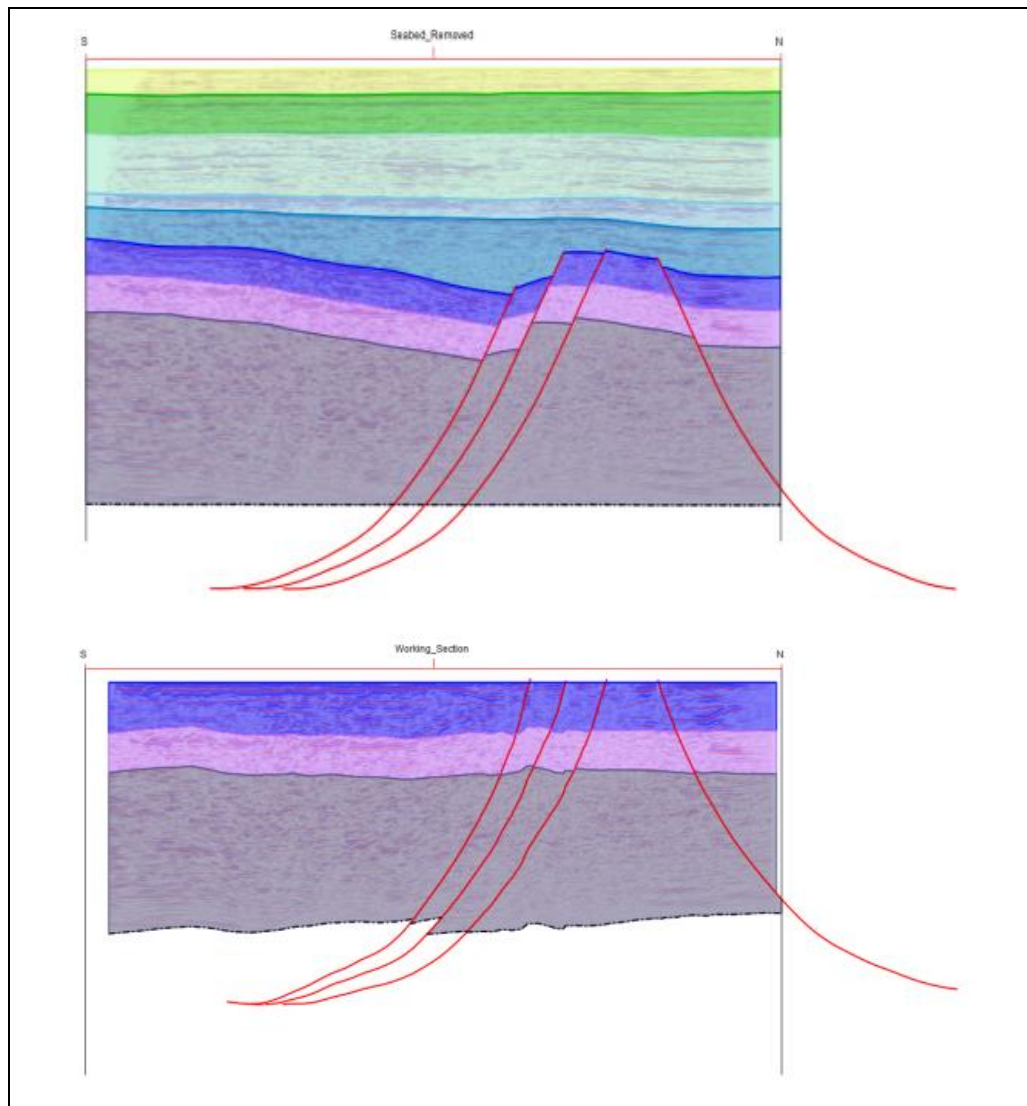


圖十九、大地均衡示意圖，虛線為軟流圈界線，在虛線以上重量需相等，即 $F_1=F_2=F_3$ 。



圖二十、熱沉降曲線圖，當地殼冷卻時因密度上升，使地殼逐漸下沉。

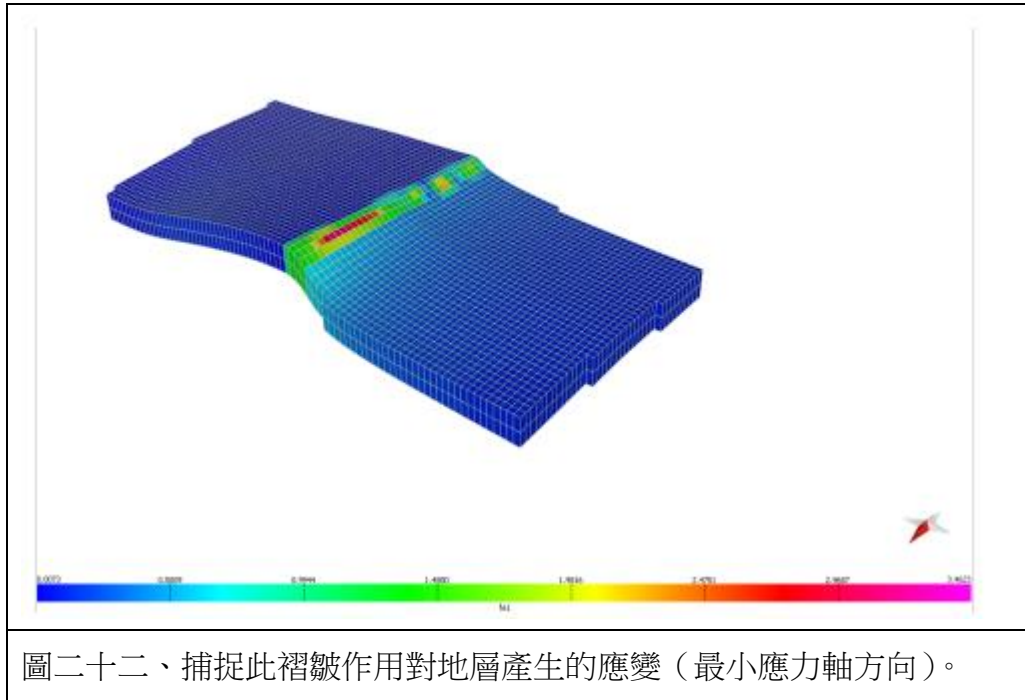
盆地反剝回復，為回復每個地層單位所受到的地質作用，以獲得地質模型在不同階段的可能形貌，地層單位界定的時間或空間尺度需視模擬目標而定，需要回復的地質作用包括斷層、褶皺、沉積物壓密、地殼均衡、地殼熱沉降。對目標以上之地層單位依序進行完地質作用回復並依序剝除後，便可獲得目標層當時的可能形貌，以及模型的演化歷史(圖二十一)。



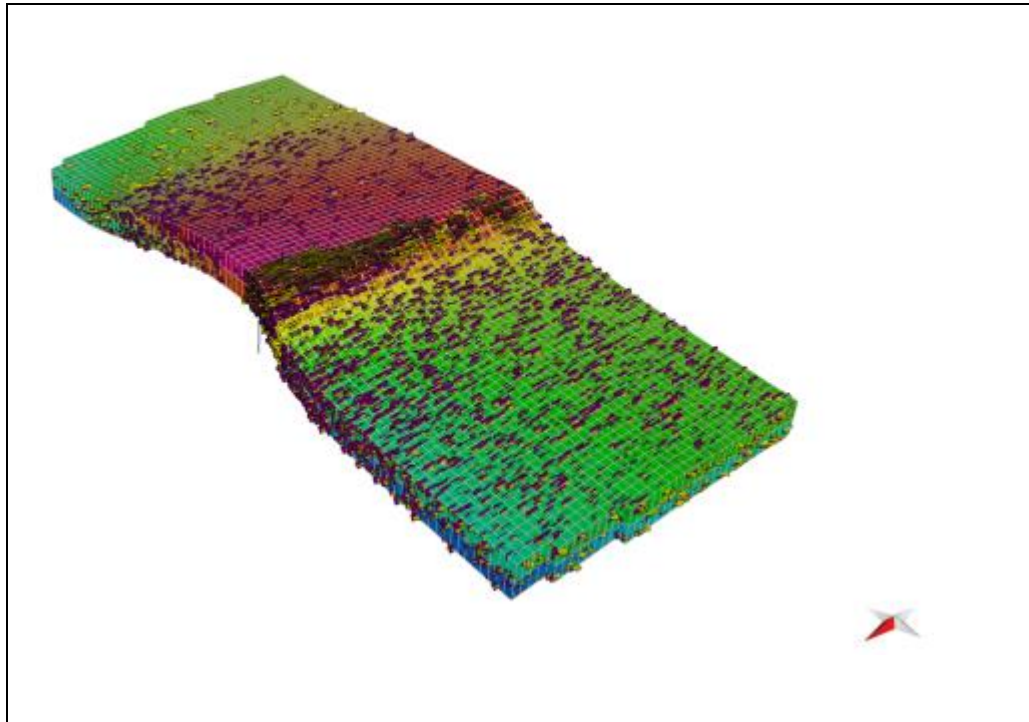
圖二十一、由黃色地層逐步回復置深藍色地層之結果，每一個地層在剝去時都應計算大地均衡、熱沉降、解壓密、斷層與褶皺回復的影響，由此便可建立此區間的剖面演化過程。

4. 第四日

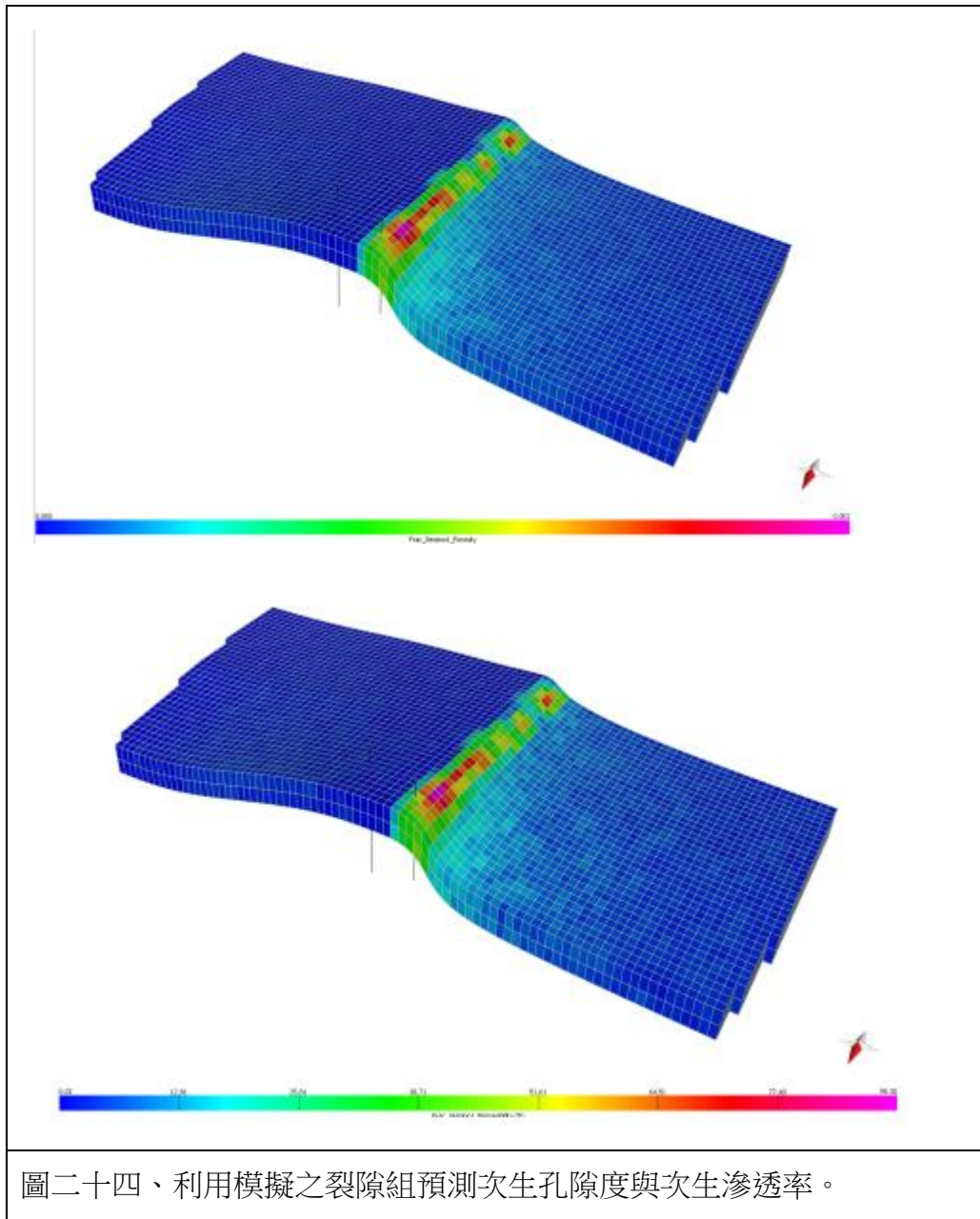
本日的課程主題為應變捕捉、裂隙分析與斷層分析。MOVE 的應變捕捉工具可以記錄順推模型所受的所有應變事件，如斷層及褶皺，並將多種應變相關數據以網格形式儲存，可視需求調整時間區間、層位與需要的應變數據形式，例如不同方向的應變量等等(圖二十二)。



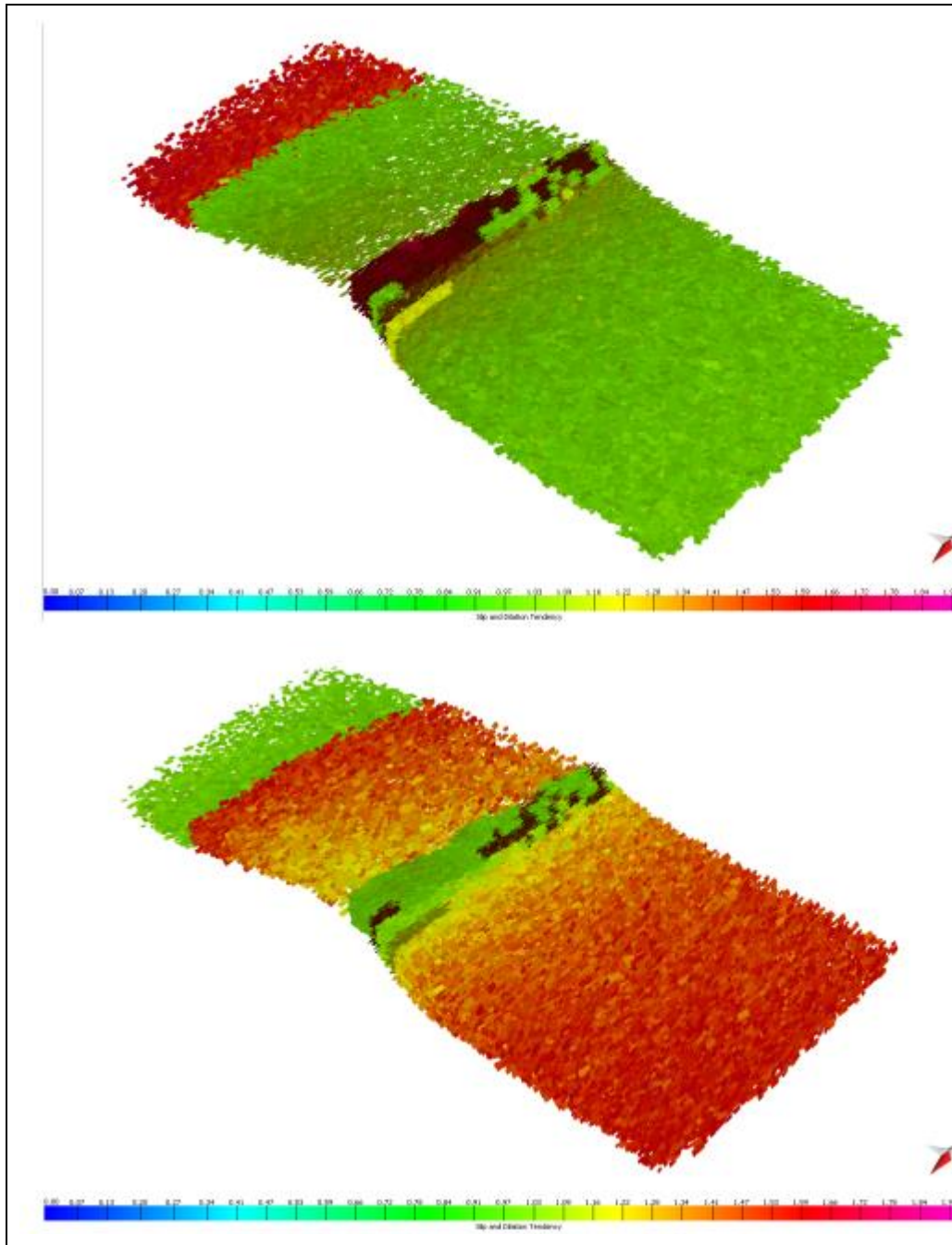
獲得應變資料後，MOVE 可進一步計算應變產生之裂隙（圖二十三），並計算因裂隙產生的次生孔滲率，並以網格形式輸出(圖二十四)，也可透過應力分析工具，判斷在現今之應力場下，裂隙的滑動與張裂傾向(圖二十五)。在進行裂隙分析時建議需要結合實際觀察之裂隙幾何型態(長度與分布密度)作為制約來得到較好的結果與對模型進行品質控制。



圖二十三、利用應變量以及觀察資料建立裂隙組。

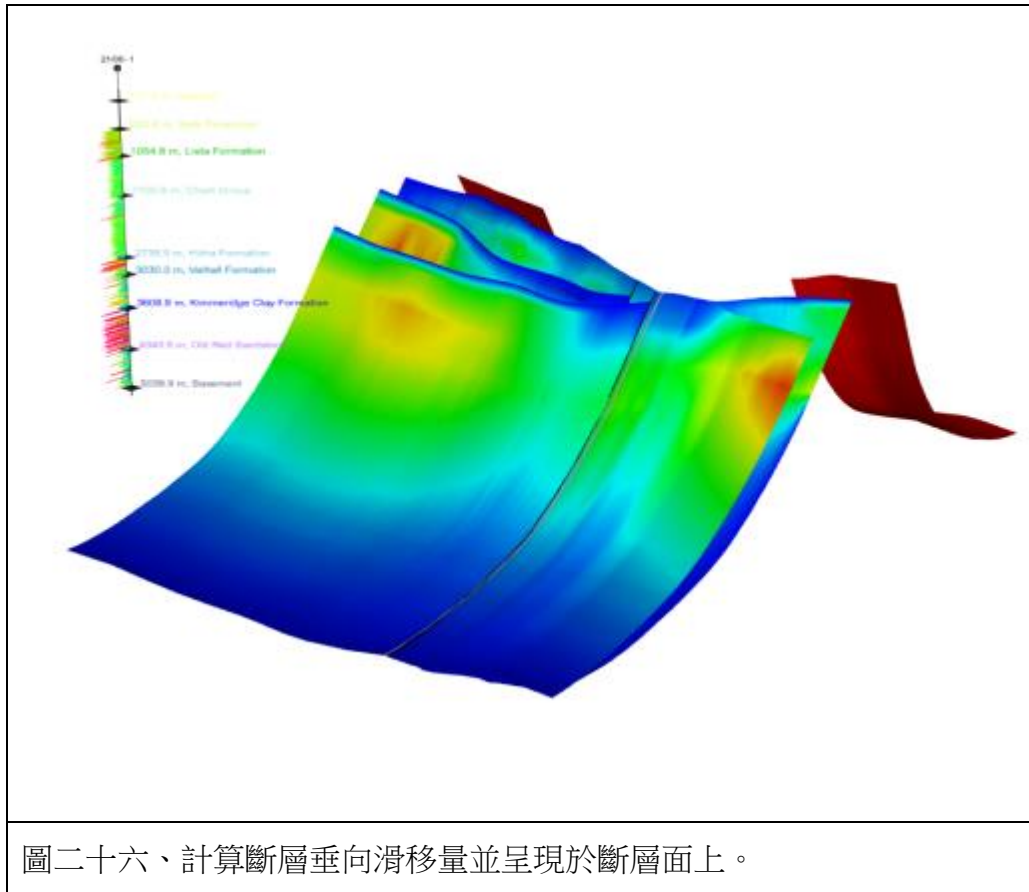


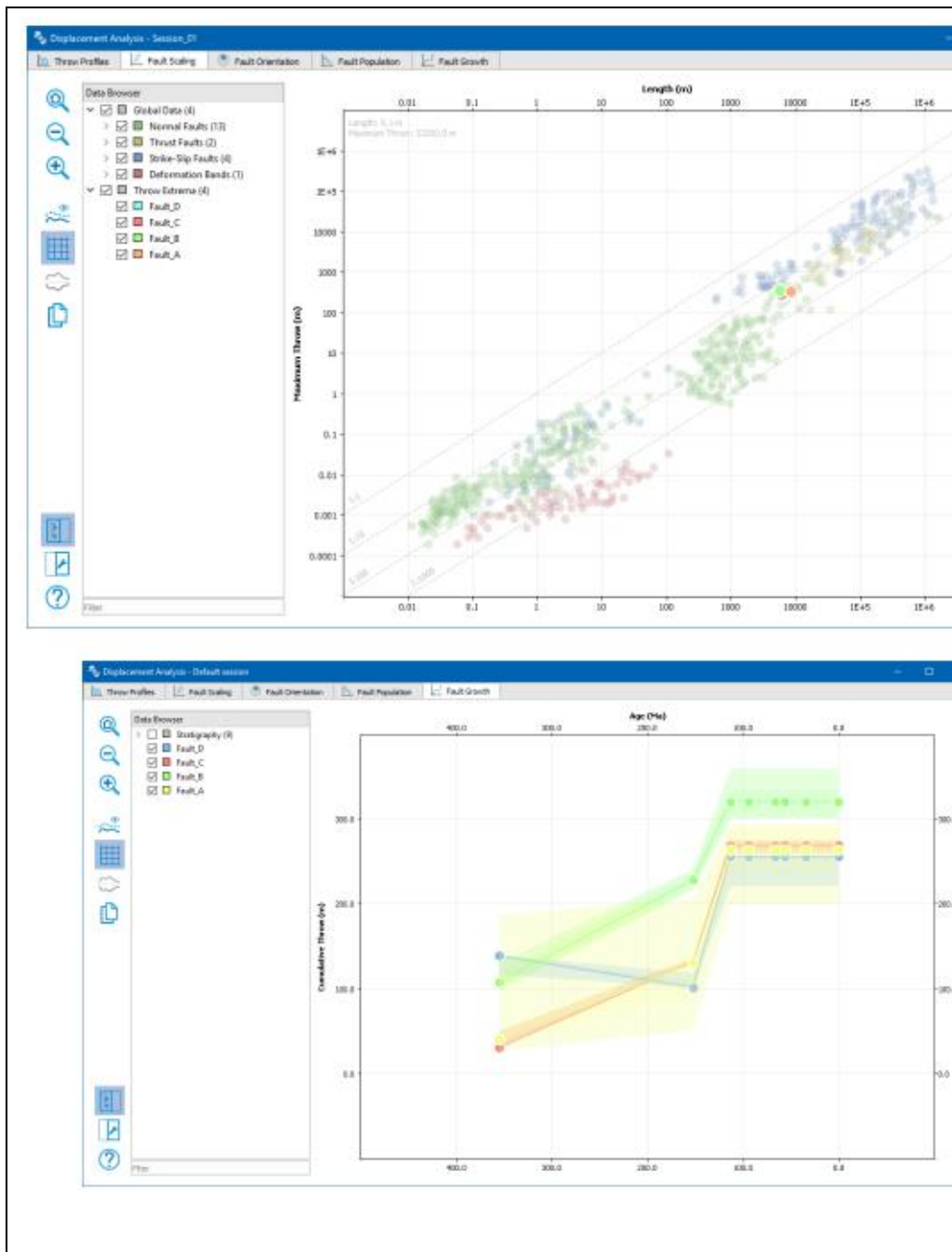
圖二十四、利用模擬之裂隙組預測次生孔隙度與次生滲透率。



圖二十五、利用現今應力場計算不同種裂隙組的封閉性，紅色為較高的開放傾向。

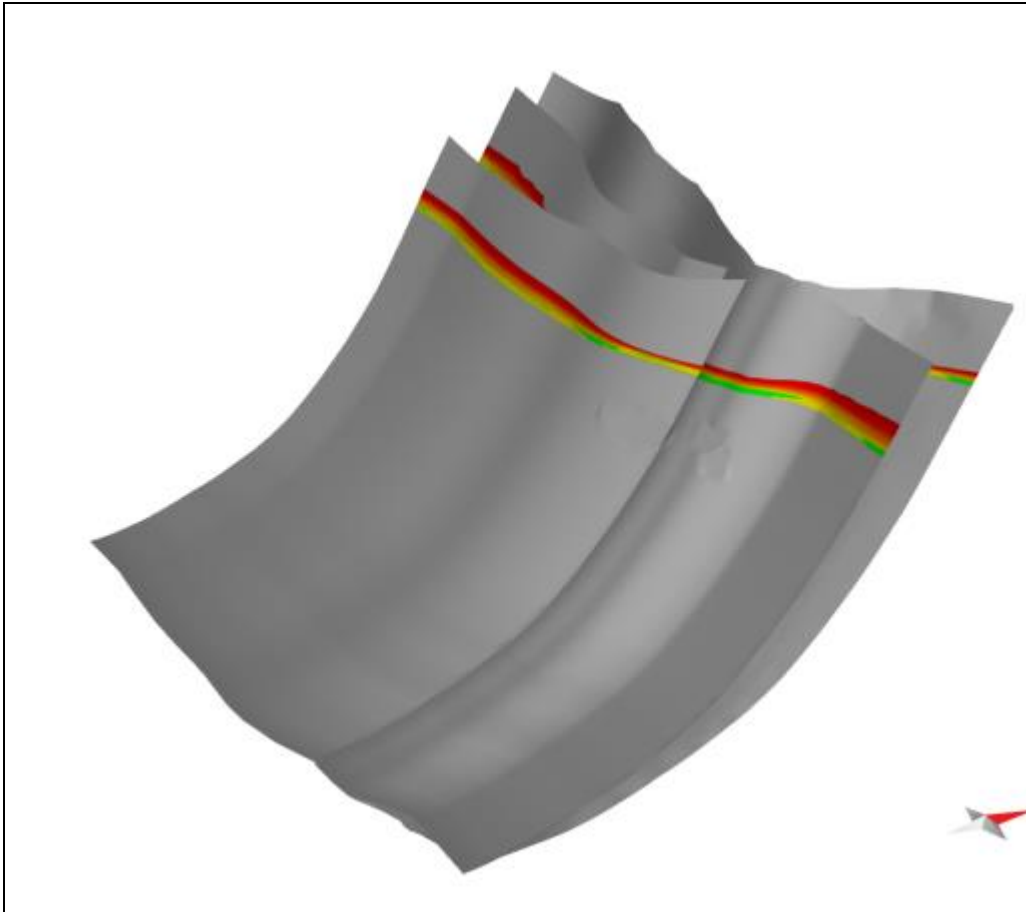
斷層分析工具可計算斷層面上的垂向滑移量分布(圖二十六)、各地層區間的累積垂向滑移量與最大垂向滑移量與斷層長度的比值，累積滑移量可作為斷層生長歷史的參考，滑移量與長度比值則具有合理區間，可初步判斷斷層解釋是否有誤(圖二十七)。





圖二十七、上圖為斷層垂向滑移量與長度比值，不透明點為模型的斷層，合理之斷層數據應位於虛線之內，下圖為各斷層之累積垂向滑移量分布，年代依據模型之地層資料庫，可發現藍色斷層在約 150Ma 以前的滑移方向相反，可能為構造反轉，或是解釋失誤。

MOVE 可利用井測資料(Gamma Ray)估算地層 Vshale，或是直接利用現有的 Vshale 資料，進而計算斷層的油氣封閉性(圖二十八)，亦可再進行不確定性分析(圖二十九)。



圖二十八、尚未經過不確定性分析之斷層封閉計算。



圖二十九、經過不確定性分析過後之斷層封閉程度，區域與圖二十八所見條帶的局部，綠色區域（高度連通）減少。

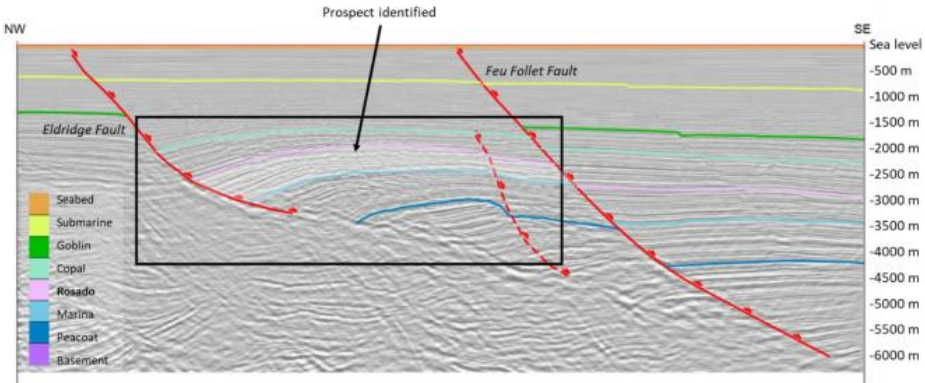
5. 第五日

第五日為工作坊，內容如圖三十，針對一資料並不完備之構造，依據前四日之課程的流程進行分析，成果如圖三十一至圖三十五。

Reservoir Structural Geology Modelling Workshop

Workshop Introduction

A prospect has been identified in the Rosado formation in the hanging wall of the Eldridge Fault and an exploration well is being planned. The aim of this workshop is to use structural modelling and analysis techniques learnt this week to help identify the optimum location to drill a well(s) in the prospect.



Data available

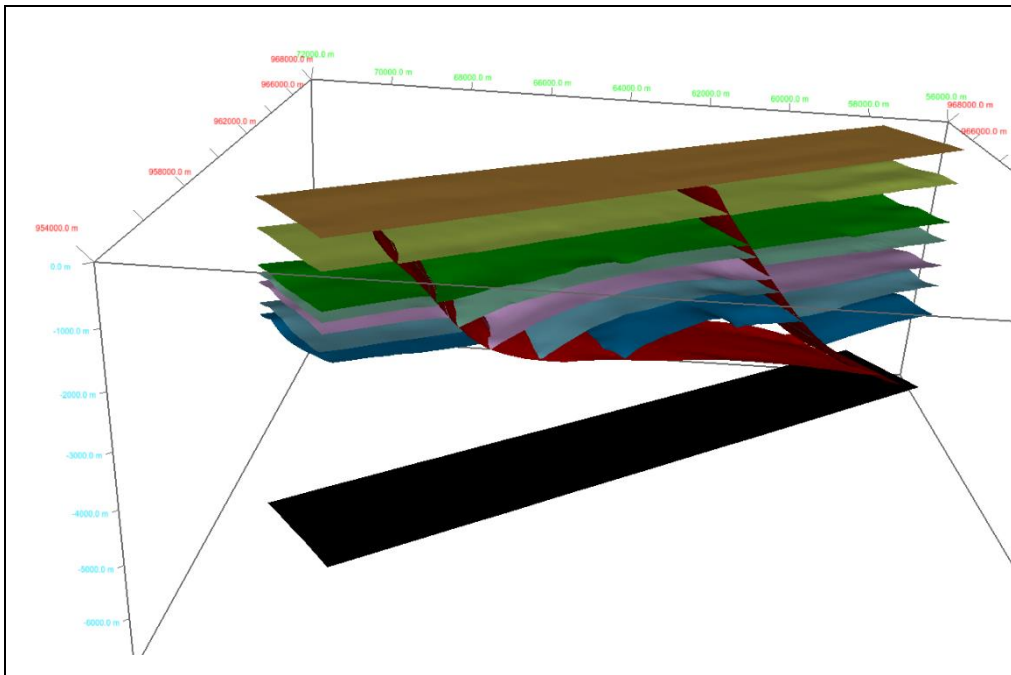
- Partial interpretation of 2D seismic reflection data (Figure 1).
- Additional section interpretations.
- A nearby well with a VShale log.

Information provided

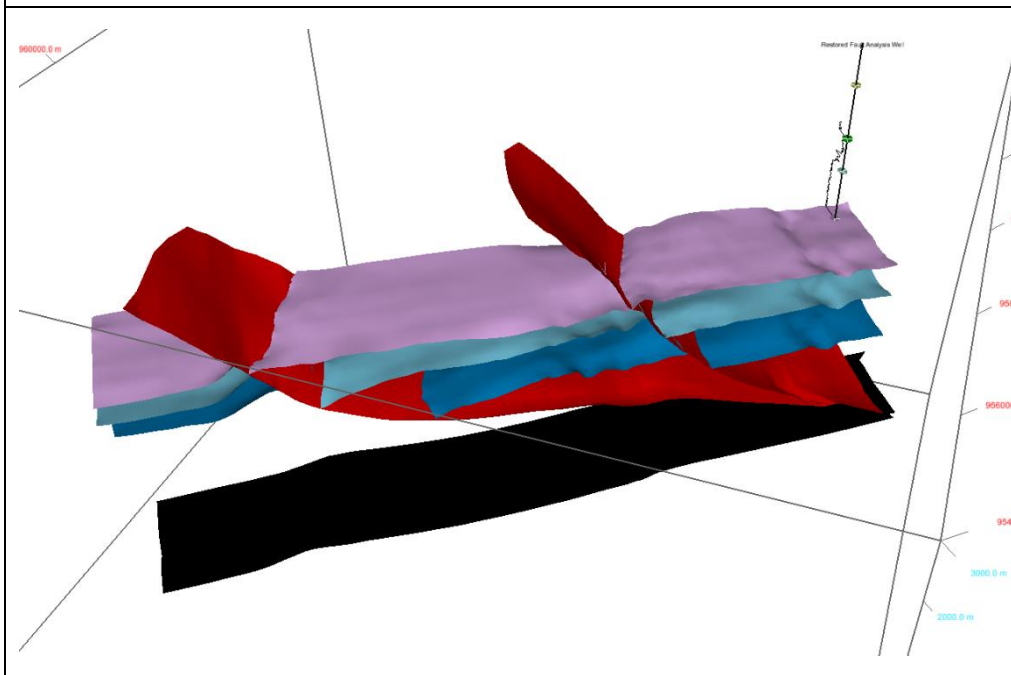
- The source rock is in the Marina formation. In this basin the hydrocarbon maturation window is from ~2 Ma to 0 M (Present-Day). N.B. maturation occurs in this area at depths >3,500m.
- Joints/Cross-joints are seen to enhance permeability and porosity in the Rosado reservoir.

Discuss with the rest of the class what information is required to enhance the geological understanding of the area and how this will help inform your decision of where to drill. Think carefully about which structural geology techniques and workflows you learnt this week will help you achieve this objective.

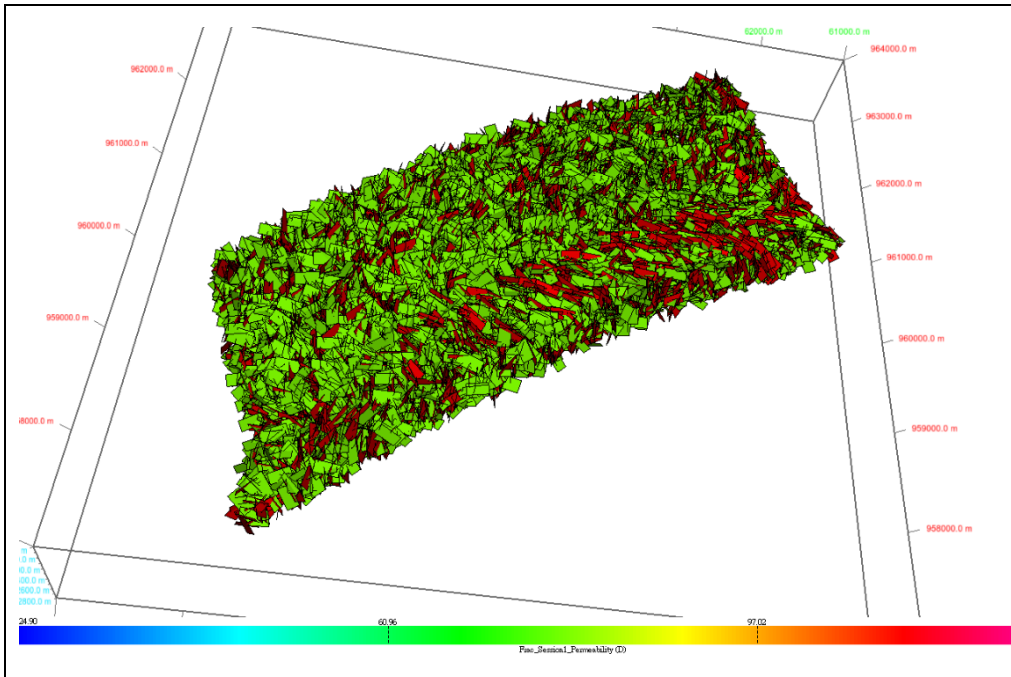
圖三十、工作坊簡介，為實際資料，目標為重建地層，判斷中間背斜的 Rosado Formation 是否有儲油機會，僅有東南側的 Marina Formation 進入油窗，因此需判斷 Feu Follet Fault 是否連通下盤的 Rosado Formation 與上盤的 Marina Formation，若有儲油機會，在 Rosado Formation 內找到裂隙集中而增加孔隙率與滲透率（也可能增加鑽探難度）的區域。



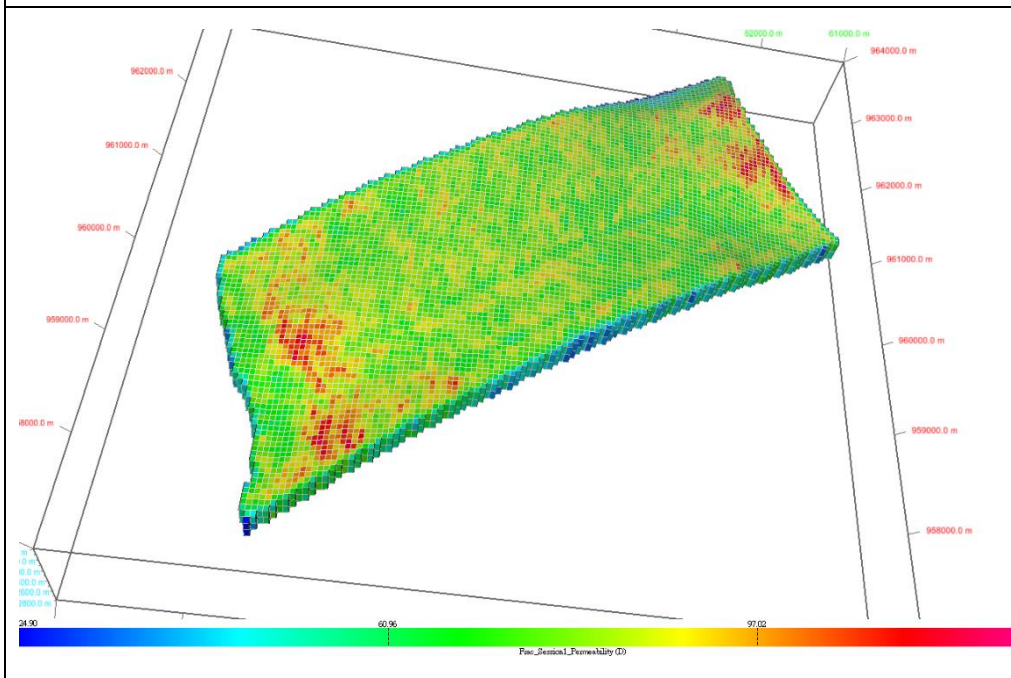
圖三十一、利用數條剖面建立三維地層與構造形貌。



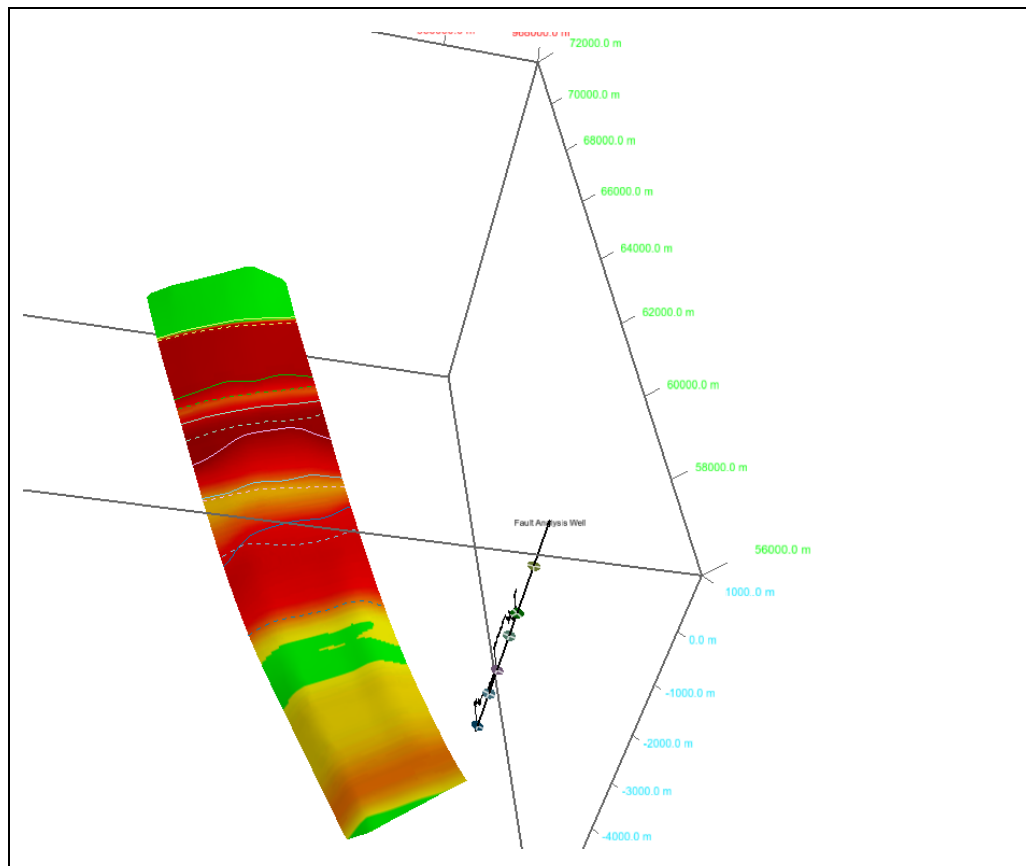
圖三十二、剝去 Rosado Formation 之上，無須關注之地層。



圖三十三、模擬目標區 Rosado Formation 的裂隙分布。



圖三十四、模擬目標區 Rosado Formation 的次生裂隙滲透率。



圖三十五、計算 Feu Follet Fault 的連通性，顯示在目標區 Rosado Formation（實線粉紅-淺藍區間）斷層的連通性並不好。

三、 具體成效

藉由本次參與構造地質軟體課程，對 MOVE 軟體的理論基礎與許多功能有更進一步的認識，也了解模擬工作的流程與所需參數與限制，各式工作包含地層與構造形貌的重建，剖面回復的完整流程與代表意義，斷層的連通性分析，應變、應力場與裂隙分析等等，為構造地質模擬工作立下了良好的基礎，有利於未來對各式場址的構造地質評估工作。

四、 心得及建議

本次課程內容以 MOVE 軟體為核心，講授了軟體所利用的理論基礎與基於這些理論所需要的參數，於本次課程中講師也有額外與學員們傳達基礎定義的重要性，包含了斷層的定義，沉積盆地的定義，以及個人認為最重要的概念，建立模

型的目的。建立模型是為了達到特定的目標，建模人員必須認知到模型不可能完全正確的反應真實情況，先認知到最重要的目標，並以此判斷哪部分資料、流程是重要的，又有哪部分是雜訊，對於目標並無影響而可以捨棄，才不會在建模時被多餘的雜訊影響，而這些判斷，必須基於正確的理论基礎，後續才能獲得真正有用的模型。

本次課程所講授的模組有許多目前本所並未購買，包括進階模組的斷層型態分析、應力場分析、裂隙分析與三維運動學模擬，然此些模組也對基礎資料的完整性要求較高，需先評估相關場址的資料品質是否足夠，再考慮是否應增加購置相關模組的授權。

課程講師由經驗十分豐富的資深構造地質工作者擔任，從定義討論、理論基礎到實際案例演練皆詳細的講解，並隨時提問討論，由於本次課程為 MOVE 軟體的基礎課程，尚有許多內容並未涵蓋，像是部分的進階模組，並且使用的案例都較為單純，易於理解，十分適合對建模與 MOVE 軟體資歷尚淺的人員參加，對於較有經驗的人員也可藉由參與本課程重新檢視自己的認知是否有誤，並且也有充分機會可與講師進行課程內容外的交流。該公司亦提供進階構造回復課程，未來若有相關出國計畫可再考慮是否派員參加，參加者應具有一定的構造地質基礎，並應事先熟悉 MOVE 軟體的使用，方能達到較好的學習效益。