

出國報告 (出國類別:實習)

參加震測層序分析研習相關課程

服務機關：台灣中油公司

姓名職稱：邱維毅 地球物理探勘師

派赴國家：馬來西亞

出國期間：106年10月1日至106年10月7日

報告日期：106年10月20日

摘要

本次出國實習課程目的為參與 Schlumberger 公司所屬 NExT 訓練機構位於馬來西亞吉隆坡市之訓練中心所開設的 Applications of Borehole Imaging to Hydrocarbon Exploration & Production 課程。該課程以井孔影像測井之類型、原理、適用環境、品質控制與解釋為講授重點，並結合其他量測資料(如：常規井下測井、油氣測試)及實際案例進行解說與練習。

影像測井儀器可依據適用的泥漿類型區分為兩大類型，分別適用於水基泥漿(WBM)與油基泥漿(OBM)。而儀器量測原理各可分為量測地層電阻率(如：FMS、FMI、FMI^{HD}、OBMI、OBMI²)及聲波走時(UBI)等兩種。藉由上述兩種儀器的量測，可分析地下地層之裂隙形貌、裂隙類型、裂隙與地層走向、沉積環境、可能之構造型類型、不整合面、應力主軸...等資訊。除了可應用到儲集岩特性分析與描述外，若整合油氣測試結果與震測解釋，則能串聯縱向高解析度的井孔影像資料及側向分布廣泛的震測資料，進行構造形貌修正、預測岩性分布和建立裂隙模型等工作項目。此外，藉由井下應力分析結果，搭配區域構造架構，除能建立構造發育史外，根據現地應力，亦可進行鑽井前鑽探風險預測，利於井位之選定。

目次

摘要.....	2
目次.....	3
目的：.....	4
過程：.....	5
建議與心得：.....	19

參加震測層序分析研習相關課程出國報告

目的：

高解析度井孔影像測井技術於 1984 年正式應用於石油探勘後，歷經三十多年的發展，已成為井下地層特性、沉積環境識別、地層裂隙與應力分析等研究不可或缺的工具。其中，對於近十數年來大量進行開發活動的墨西哥灣及鹽丘相關深水探勘與開發而言，油基泥漿內的高解析度井孔影像測井更是分析地下儲油氣資訊的重要依據。

本公司於台灣西南海域 F 構造及鄰近區域之油氣探勘著墨多年，其中共有 17 口井層施行過 FMS 井孔影像測井。近兩年來，為整合 F 構造與台灣西南外海可能之油氣資源以達到降低開發門檻、符合經濟效益之目的，本公司正積極進行此區域舊有探勘資料之再檢視與蘊藏量/資源量評估。研究工作中，關於裂縫儲集岩的研究描述、地層沉積相的分類(尤其是砂岩段)是進行地下構造模型、屬性模型建立及油氣評估工作中至關重要的一環。而過往的 FMS 及地層傾斜儀量測資料其實仍有許多可供研究之空間，惟本公司近年來因受人力斷層缺口之影響，如吾輩等新進人員對於此些測井曲線的判讀、解釋與應用尚無法體會及掌握，因此期望可藉此訓練機會，除學習井孔影像測井技術之相關原理與判讀外，更能藉由測井資訊結合地層資訊，以提高構造解釋、構造模型、層位模型及屬性模型建立的可信度。

過程：

本次訓練課程舉辦地點位於馬來西亞吉隆坡市，課程開設單位為 Schlumberger 公司所屬之 NExT 訓練機構，課程正式名稱為 Applications of Borehole Imaging to Hydrocarbon Exploration & Production；出國行程表如表 1 所示；課程內容共分為五日講授，講師為 Philippe MONTAGGIONI 博士，其有 30 多年的地質與井下影像解釋經歷(如圖 1)，且曾實際參與目前業界所實際使用之影像測井理論研究、硬體及軟體開發，可以說是該領域之翹楚；Philippe MONTAGGIONI 博士授課內容細節如圖 2 與圖 3 所示；上課教室位於 Schlumberger 吉隆坡訓練中心之訓練教室（如圖 4。Level 14, East Wing, Schlumberger Office Building, Rohas Pure Circle, No. 9 Jalan P. Ramlee, 50250 Kuala Lumpur, Malaysia）。

表 1、本次參加震測層序分析研習課程之行程。

日期	地點	行程
106/10/01	台北→吉隆坡	啟程
106/10/02-06	吉隆坡	參加震測層序分析研習相關課程
106/10/07	吉隆坡→台北	返程

Who I am		
Jul 2013	Consultant	<ul style="list-style-type: none"> ▪NEXT instructor in Petroleum Geology & Borehole Imaging
26 Years	Schlumberger	<ul style="list-style-type: none"> ▪Geology advisor for the Exploration and Production Regional Center of Data and Consulting Services in Pau. ▪ Principal Geologist North Africa for 5 ½ years. ▪ Managed Schlumberger worldwide borehole imaging business for three years. ▪Co-leader of the Schlumberger borehole imaging technical group for two years and the Schlumberger geology technical community for three years. ▪Team leader for multiple geological interpretation studies based on borehole image logs for various customers in North and West Africa, Saudi Arabia, Indonesia and Europe.
2 Years	Venezuela Petroleum Institute (INTEVEP)	Geology Evaluation of the Paleozoic basement of the Orinoco belt
Education	University Paris XI	M.Sc (D.E.A) in Sedimentology - Thesis done at the French Institute of Petroleum (I.F.P) - 1980
	I.S.E.P Paris	Post Graduate Diploma in Computer Science - 1984
5	Copyright ©2017 NEXt. All rights reserved	Email: phmontaggi@numericable.fr

NEXt

圖 1、Philippe MONTAGGIONI 博士之職業經歷概述。

DAY 1	
Morning	
▪	Introduction <i>1. Introduction.pptx</i>
▪	Borehole Imaging Tools <i>2A. Borehole Imaging Technology.pptx</i>
▪	Well-site inclinometry & Image QC <i>3A. Well-site GPIT and Image QC.pptx</i>
▪	Well-site Image interpretation <i>4A. Well-site Image Interpretation.pptx</i>
Afternoon	
▪	Practical sessions -Tools, GPIT, well-site image QC & image interpretation <i>2B. Practical Session - Borehole Imaging Tools.pptx</i> <i>3B. Practical Session - Well-site GPIT QC.pptx</i> <i>3C. Practical Session - Well-site Image QC.pptx</i> <i>4B. Practical session - Well-site image interpretation.pptx</i>
DAY 2	
Morning	
▪	Dipmeter Computation and Interpretation Principles (with practical session) <i>5. Dipmeter processing and Interpretation Basics.pptx</i>
Afternoon	
▪	Structural Geology (with practical session) <i>6A. Structural Interpretation.ppt</i> <i>(presenter should distribute Schmidt_Stereonet_For_Exercise.pptx with a pin & transparent paper to participants.</i> <i>6B. Schmidt_Stereonet_Basics.ppt should be presented if participants are not familiar with stereonet analysis</i>

圖 2、首日與次日詳細授課內容。

DAY 3
Morning
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Structural Geology (with practical session) – Cont.d <i>6A. Structural Interpretation.ppt</i>
Afternoon
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fracture & Fault Characterization <i>7A. Fractures, Faults and Stress.pptx</i>
DAY 4
Morning
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fracture & Fault Characterization - Cont.d <i>7A. Fractures Faults and Stress.pptx</i> ▪ Practical session Fracture & Fault Characterization <i>7B. Practical Session - Faults & Structural Dip.pptx</i>
Afternoon
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stress Analysis (with practical session) <i>7A. Fractures Faults and Stress.pptx</i> ▪ Integration of fracture data with Sonic and Dynamic data <i>7A. Fractures Faults and Stress.pptx</i>
DAY 5
Morning
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Palaeo-current analysis (with practical session) <i>8. Sedimentary Interpretation.ppt</i>
Afternoon
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facies analysis and Sequence Stratigraphy <i>8. Sedimentary Interpretation.ppt</i>

圖 3、第三至第五日詳細授課內容。



圖 4、訓練教室照片。

以下分別簡介五日課程之概略授課內容：

第一日：

課程首日主要授課內容有二。其一為井孔影像測井技術簡介；其二為現地量測資料品質控制，以下分別簡介：

一、簡介各種電纜影像測井與隨鑽影像測井儀器的原理及應用時機，並藉

由實際案例，簡介在不同地質情況、測井條件(水基泥漿、油基泥漿)與測井目標(地層影像、裂隙)的前提下，如何決定該使用何種影像測井儀器(如圖 5、圖 6)。另外，更簡介如何藉由測井影像處理之流程，使影像符合可供地質解釋之目的。

二、簡介通用測井儀(general purpose inclinometer tool, PGIT)與測井影像品質控制流程。雖然測井影像的地質分析工作主要建立在良善的品質控制及資料處理之上，但是由於鑽井現場探勘決策工作的即時性，常常需根據現場即時之通用測井儀與井孔影像測井資料立即進行判讀。因此實務上而言，現場資料的品質控制、修正往往更為重要、關鍵。本部分課程以測井影像原理講授(高解析度電阻影像、高解析度聲波電測)結合實例練習，教導學員如何識別通用測井儀與影像測井的採集問題及進行解釋。

Imaging Tool Planner								
Application	WBM			OBM				
	FM&FM [®]	UBI*	GVR*	FM [®]	OBM1*&OBM2*		UBI*	Quanta Geo*
BH Geometry Visual	VG	EX	N/A	VG	P	F (2)	EX	VG
BH Shape Analysis (Stress)	G (Calban*)	EX (Hosana*)	N/A	G (Calban*)	G (Calban*)		EX (Hosana*)	G (Calban*)
Bedding – Structural Dip	EX	P (rare G)	F (rare G)	G (rare)	EX		P (rare G)	EX
Faults	EX	G	G	EX	F	VG (2)	G	EX
Fracture Identification	EX	VG	F (rare G)	EX	P	F	VG	VG
Fracture Orientation	EX	EX	F (rare G)	EX	F		EX	EX
Fracture – Open/ Closed	G (EX with UBI*)	VG (EX with FMIs)	F (rare G)	VP (VG with UBI*)	VP (VG with UBI*)		VG (EX with OBM*)	VP (VG with UBI*)
Paleo-currents (X-Beds)	EX	P (rare G)	P	EX	F	G	P (rare G)	EX
Detailed Sedimentology	EX	P	VP	EX	P		P	EX
MDT/XPT Points etc	EX	G	VP	EX	P		G	EX

69 Copyright ©2017 NEXT. All rights reserved. N/A: Not Applicable, VP: Very Poor, P: Poor, F: Fair, G: Good, VG: Very Good, EX: Excellent **NEXT**

圖 5、適用於水基泥漿(WBM)及油基泥漿(OBM)之各種影像測井儀之適用性比較圖。值得注意的是，本圖並無標示出各種影像測井方式的解析度，因此需再搭配查閱各項儀器之解析度限制(圖 6)，以進一步篩選符合施測目的之影像測井儀器。

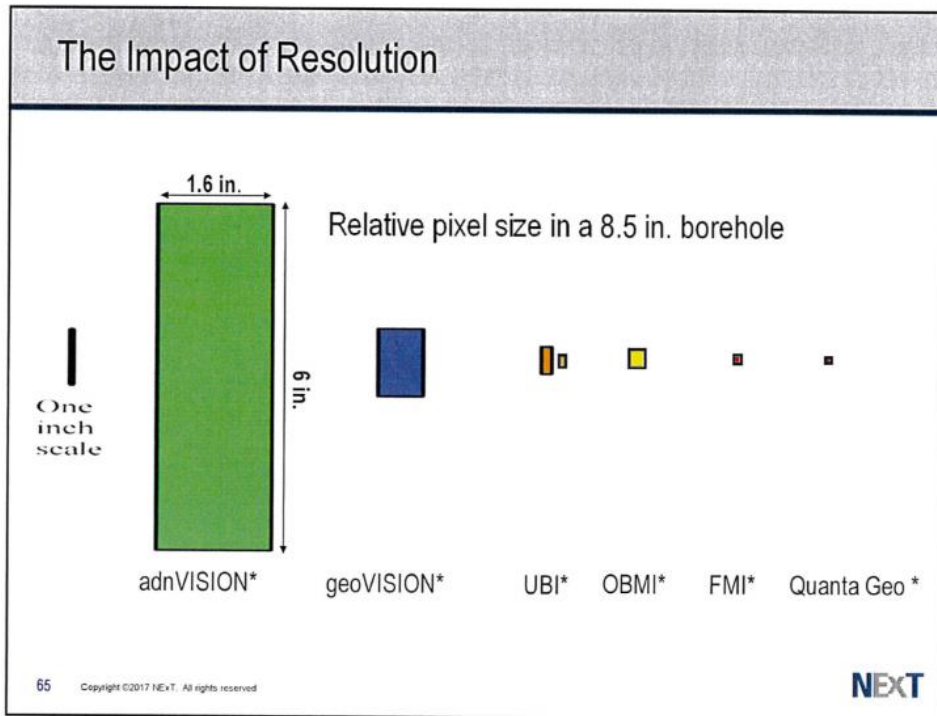


圖 6、各種影像測井儀器之垂向解析度比較圖

第二日：

第二日之課程講授著重於地層傾斜儀(dipmeter)資料品質控制、資料校正(圖 7)、解釋基本原則及依據地層傾斜儀量測資料進行解釋。在上世紀的 80 年代早期，所謂井孔影像多僅能根據地層傾斜儀所量測地層電阻率數據進行幾何運算而得到傾角資訊，這些傾角資訊可區分為構造傾角(structural dip)及沉積傾角(sedimentary dip)，因此地質師需基於這些傾角資訊分析地下構造，如：斷層、不整合面、沉積構造和非均向性...等。本部分課程除簡介基於井孔影像進行構造解釋之工作流程外，更講解如何利用軟體(Techlog)的統計功能以擬合可能的造成井下地層傾角(圖 8)與影像特徵之構造作用(圖 9)。此外，Philippe MONTAGGIONI 博士亦講解如何使用基本的球面投影網(Schmidt stereonets)分析井下傾角以摘取構造資訊(圖 10)，如：褶皺軸方位、褶皺軸面方位、裂隙與層面之交會關係...等等。

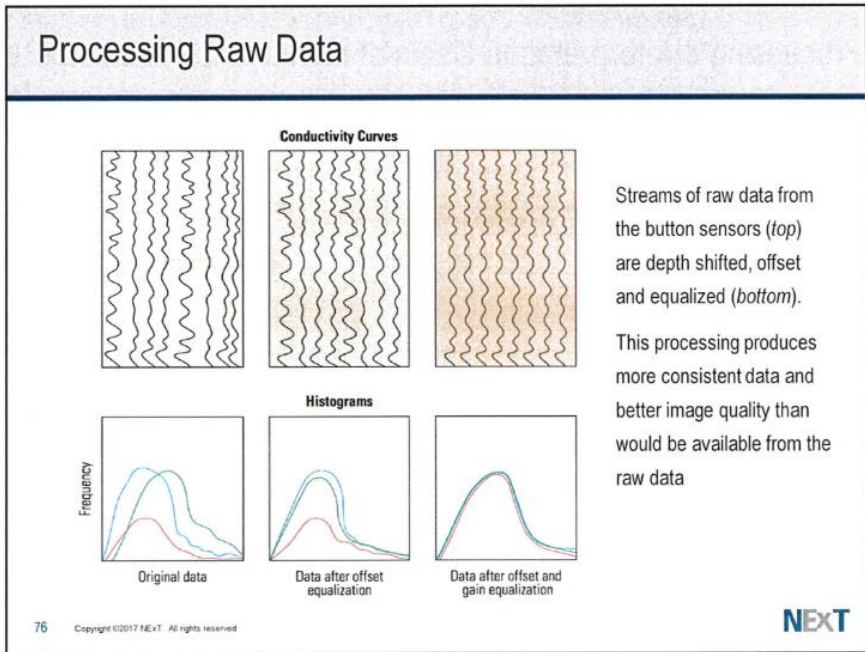


圖 7、井孔影像(電導率)校正流程示意圖。

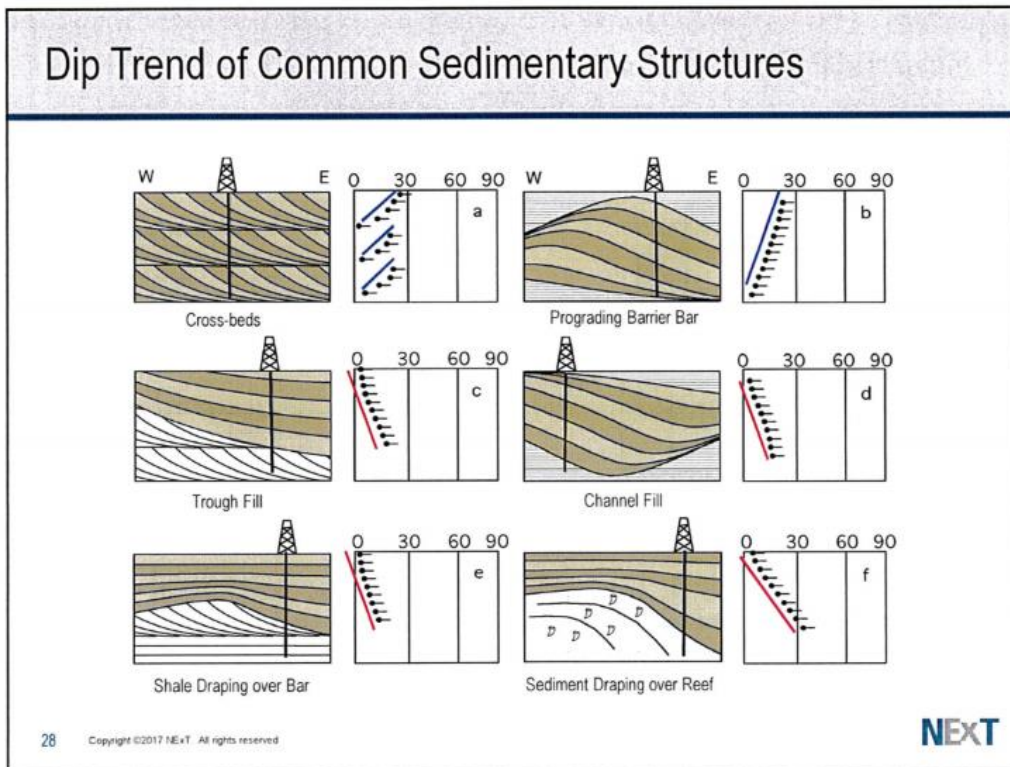


圖 8、地層傾斜儀數據與地下沉積構造變化關聯圖。

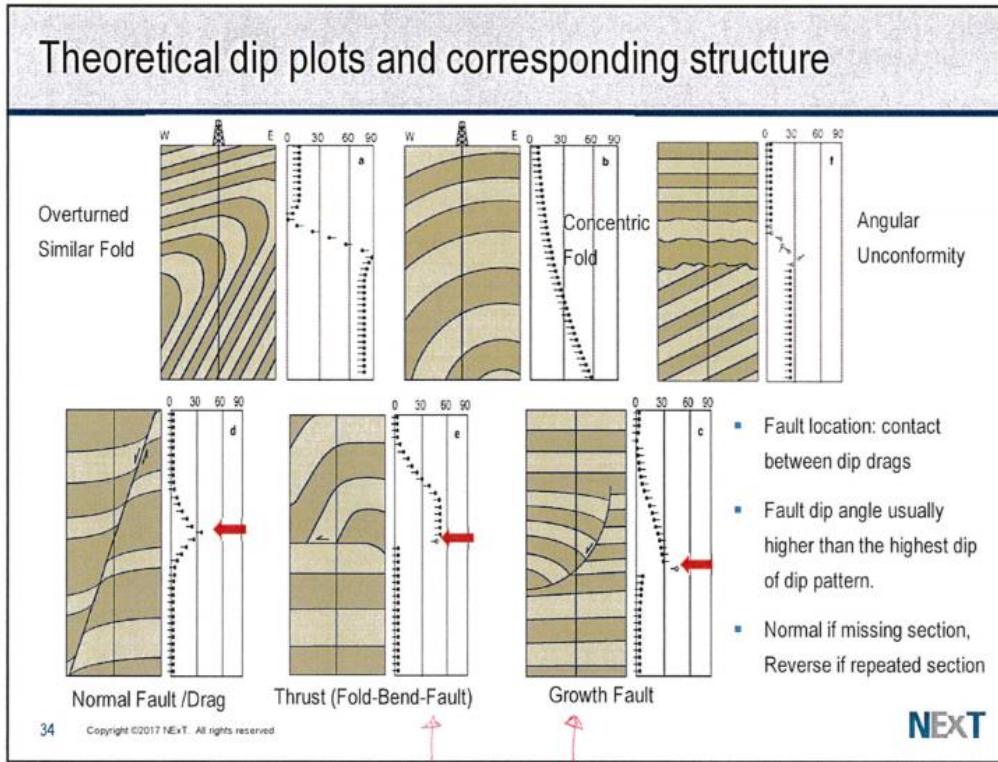


圖 9、地層傾斜儀數據與地下構造變化關聯圖。

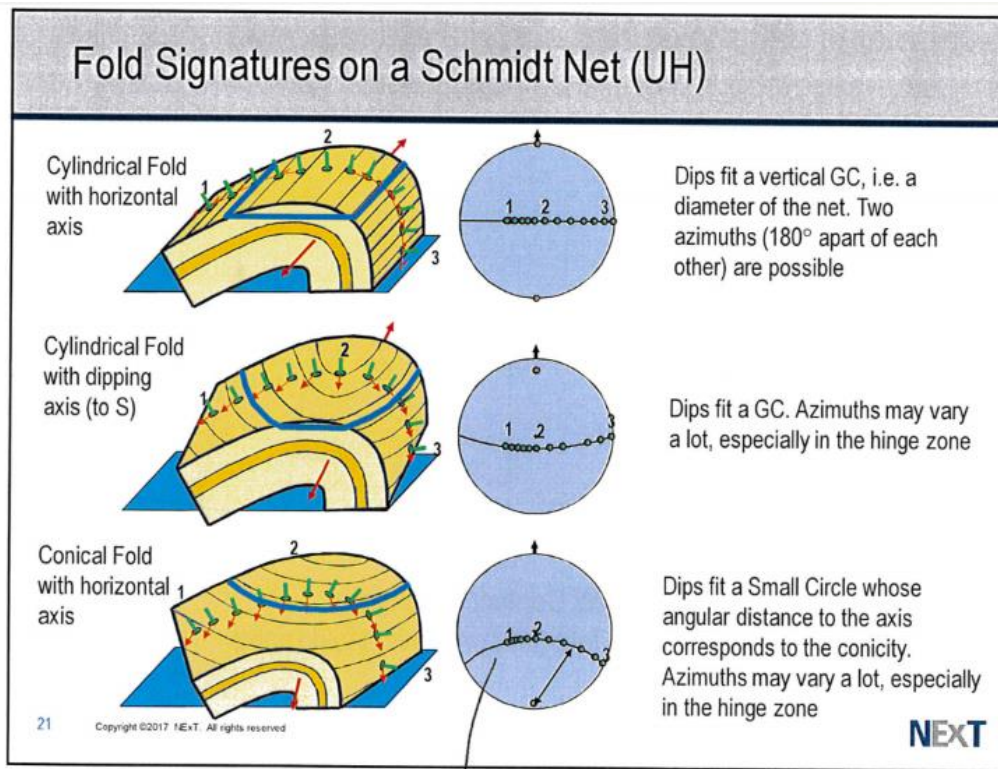


圖 10、利用球面投影網(Schmidt stereonets)分析不同類型的背斜型態示意圖。

第三日：

本日接續第二日之進度，講解如何依據垂直井、定向井及水平井之地層傾斜量測資料進行構造解釋、裂隙與斷層之識別及應力分析。講授重點聚焦於利用井下地層傾斜量測資料建構二維(圖 11)或三維構造模型，且據以更新 Petrel 震測解釋軟體內已有之構造模型形貌(ExpndBG 模組)。較為可惜的是，本功能仍限制於 Schlumberger 公司內部使用並未正式釋出給 Petrel 商業用戶，僅專門應用於該公司之對外技術服務項目(圖 12)。

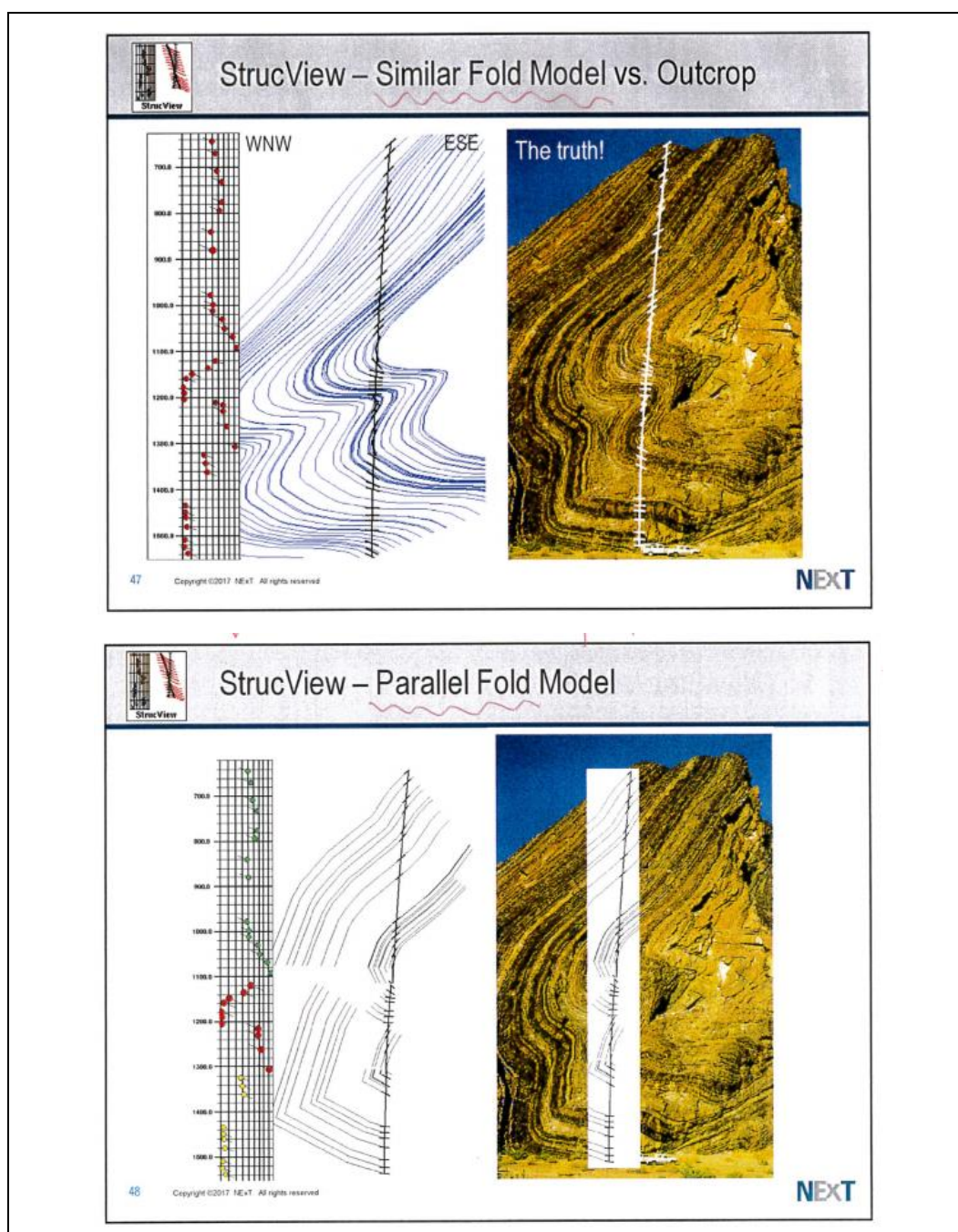


圖 11、以井下地層傾斜量測資料建構二維構造模型示意圖。本圖顯示構造分析的多解特性。構造模型常常為非唯一解，唯有依賴更多的資料對比(井下資訊、震測資料、連井對比...等)方可逐步完善地下地質的想像。

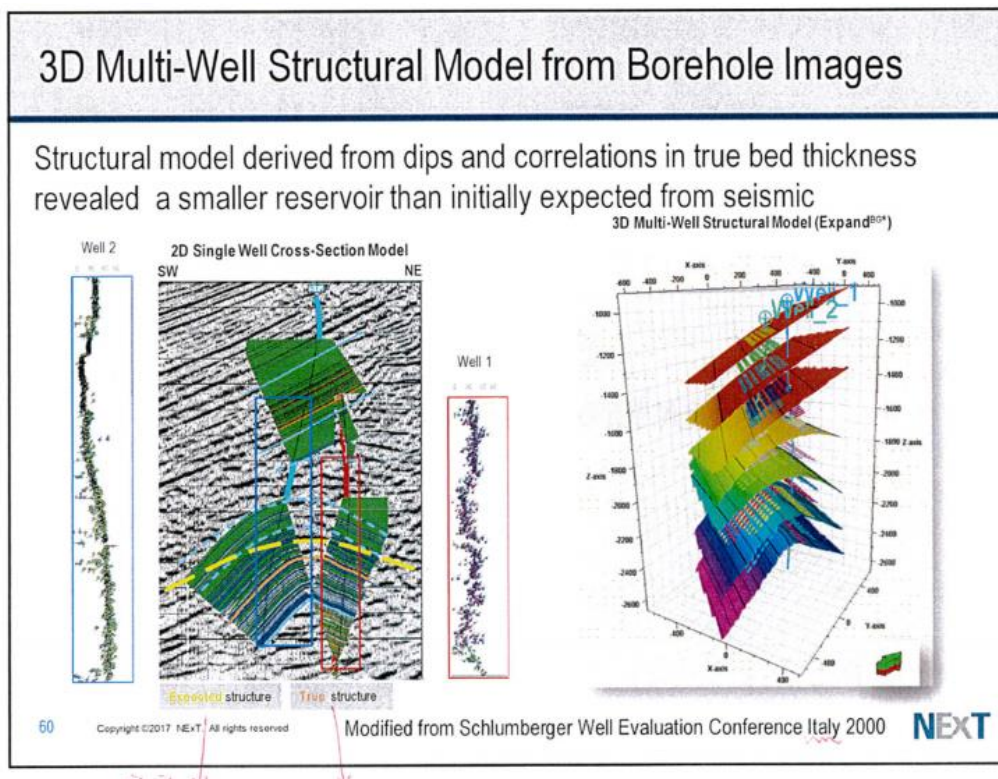


圖 12、以 Petrel 之 ExpndBG 模組整合井下構造傾角資訊更新 Petrel 內構造模型示意圖。

第四日：

第四日之訓練課程進一步結合聲波測井(sonic log)、流體測試資料進行裂隙與斷層識別及應力分析。此部分課程首先概論各種可在井孔影像上辨識出來之應力相關裂隙(圖 13)，並且講解如何經由此些裂隙影像分解出應力方向及強度(圖 14)。除了裂隙的存在與否，知曉裂隙與儲集岩之關係亦是了解儲集層的重要因素之一(圖 15)，所以課程中也講解如何綜合電阻率井孔影像(FMI、FMS、OBMI)、聲波影像測井(UBI)及動態資料(MDT、DST)進行裂隙識別、裂隙充填情形、裂隙充填材質推測...等技巧(圖 16)。而根據已知井的應力分析結果，則能進行未來井位之井下應力風險分析。

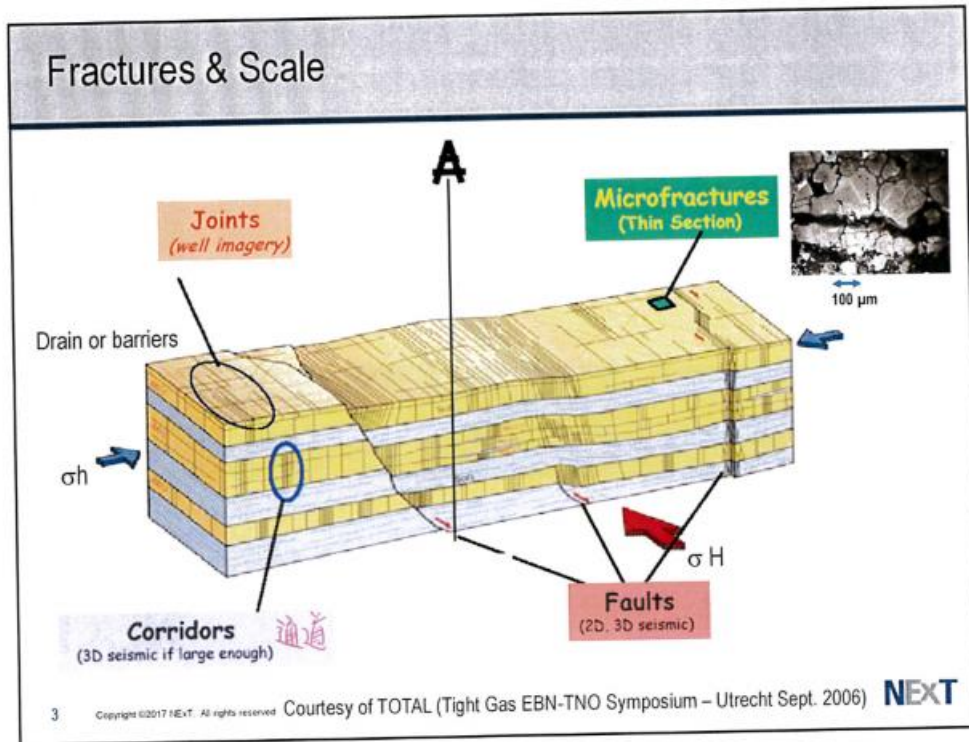


圖 13、各種與應力有關之裂隙示意圖。其中尺度最大且最易於震測剖面上進行識別者為斷層；再者為 corridors，若其延伸長度夠長，則可成像於震測剖面上；節裡(joint)則僅能顯示於井下資料中，難以使用震測方法進行識別；微裂隙則須經岩石薄片觀察方得知其存在。

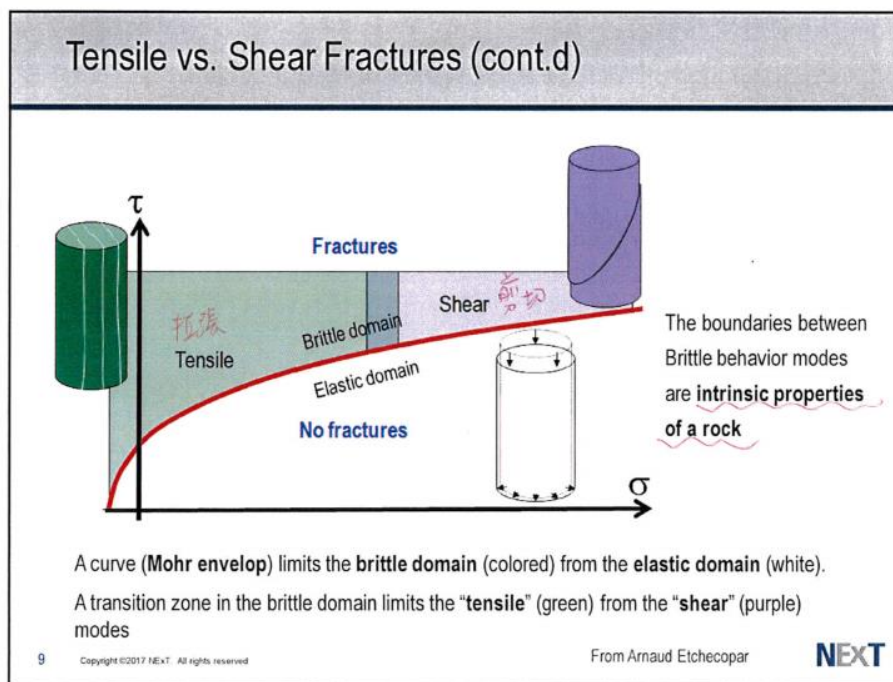


圖 14、裂隙形貌與正向應力/剪應力之關係。紅色線段為摩爾(Mohr)破壞包絡線，該線段以上代表材料發生脆性破壞之範圍，x 軸正值代表壓縮、負值代表拉張；Y 軸代表剪切應力。

Fracture Type and Impact on the Reservoir

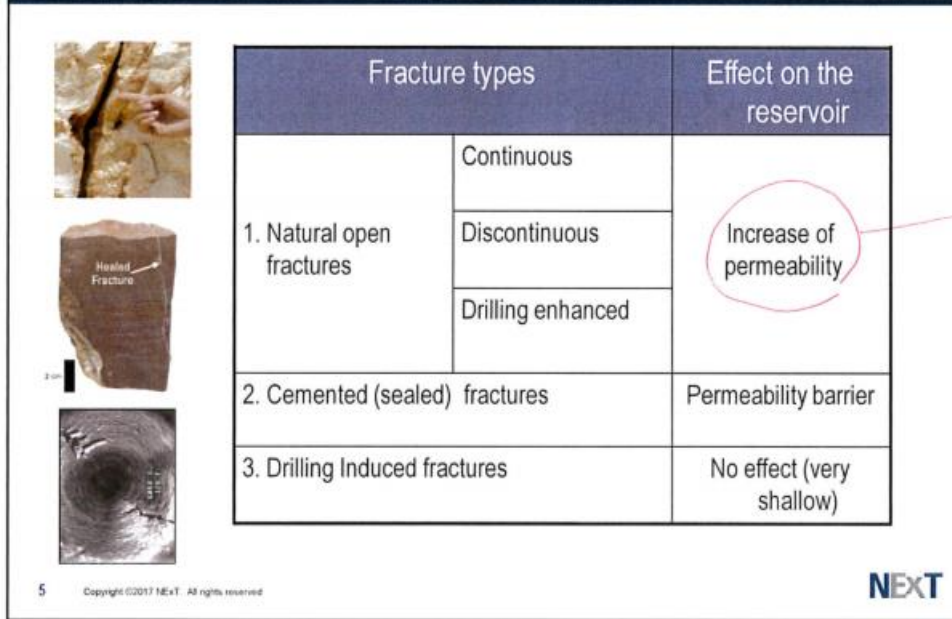


圖 15、各種裂隙對於儲集層之影響。

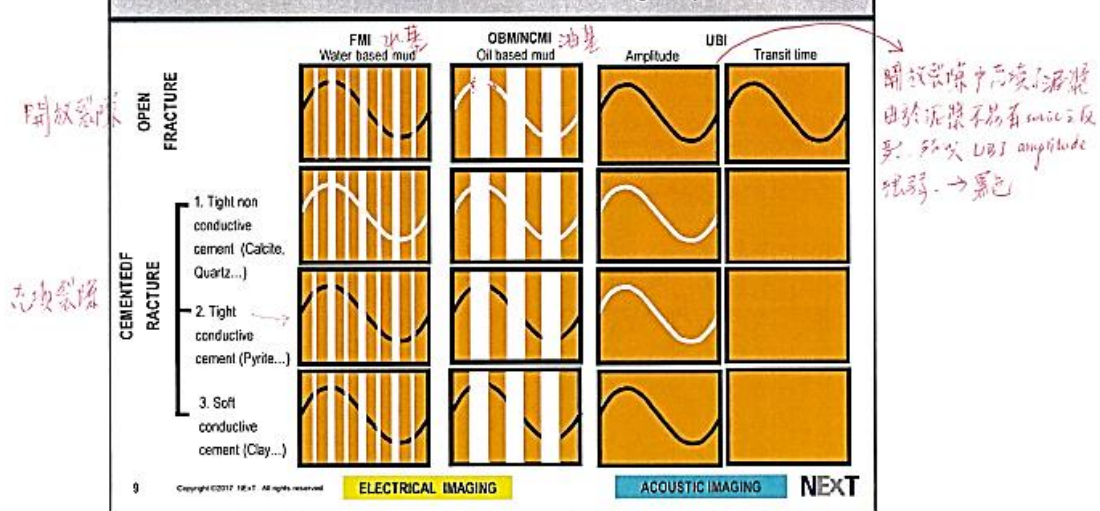
裂隙充填
 1. 緊密不導電
 2. 緊密導電
 3. 鬆散導電

FMI (水基)
 黑色 → 導電
 白色 → 不導電

OBMI (油基)
 黑色 → 不導電
 白色 → 導電

9/29/2017
 開放裂隙充填油基泥漿 → 不導電 (白色)
 裂隙充填
 1. 緊密不導電 (ex. calcite) 白
 2. 緊密導電 (ex. pyrite) 黑
 3. 鬆散導電 (ex. mud) 黑

Fracture Identification From Borehole Images (Vertical Well)



經由 FMI/OBMI 及 UBI 判斷裂隙開閉。

圖 16、經由 FMI、OBMI 及 UBI 綜合識別裂隙及其充填材質特性之示意圖。

第五日：

課程最後一日講授內容集中於與古水流、沉積相及層序地層分析相關之井孔影像解釋工作。此部分課程先簡介井孔影像如何進行沉積相分析的工作流程，以及概述常見沉積結構的尺度和定義，包含大陸河流相，三角洲相，淺海相，深海相，風成堆基，碳酸鹽堆積和冰川環境...等沉積環境。接著簡介如何藉由井孔影像內的地層紋理與電測相解釋解析出沉積環境(如：河曲沙洲、三角洲、河口沙洲、海岸環境...等，圖 17 至圖 20)，以及利用多口井孔影像資料進行沉積相與層序邊界界定之層序地層模型實例。本次訓練即在完成所有預計課程講授與練習，並於授課講師授予各參訓學員參訓證書後畫下尾聲(圖 21)。

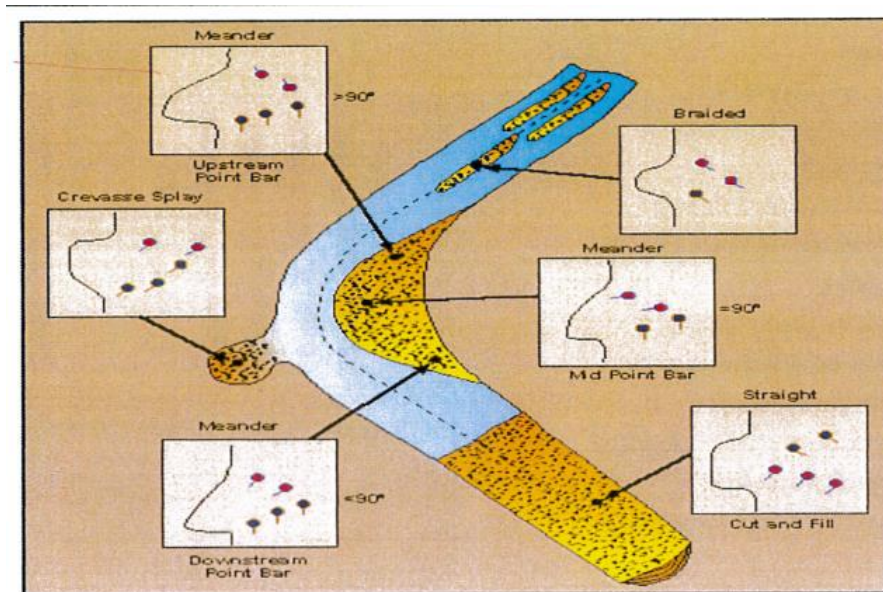


圖 17、曲流河道之電測相與地層沉積傾角特徵。

Preserved Deltaic Features & Associated Dip Patterns

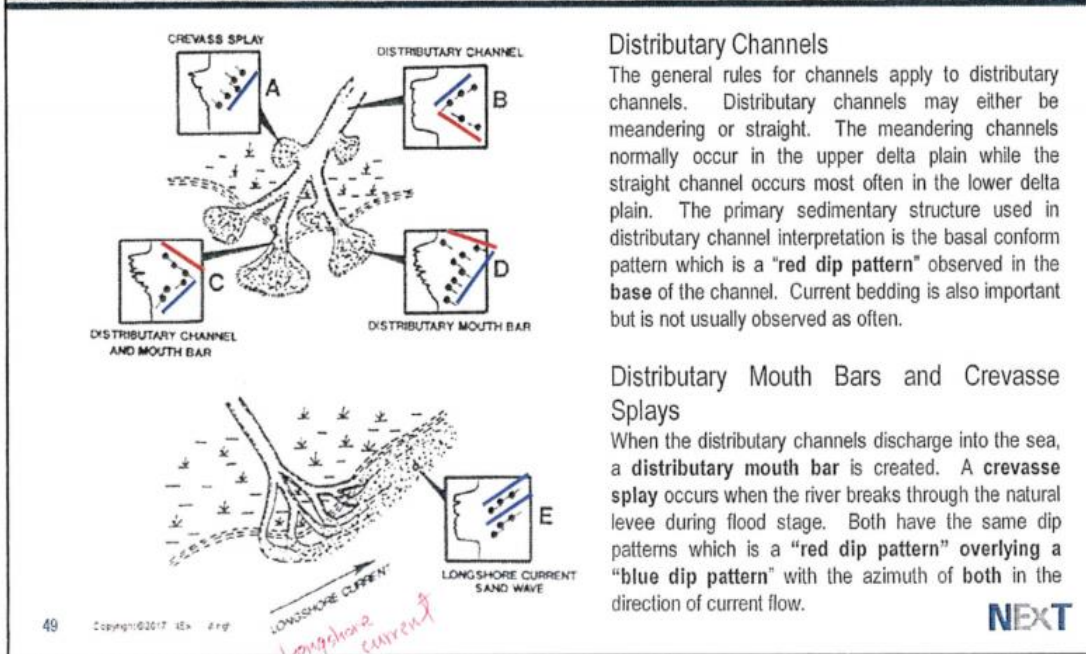


圖 18、三角洲之電測相與地層沉積傾角特徵。

Dip Patterns – Distributary Mouth Bars

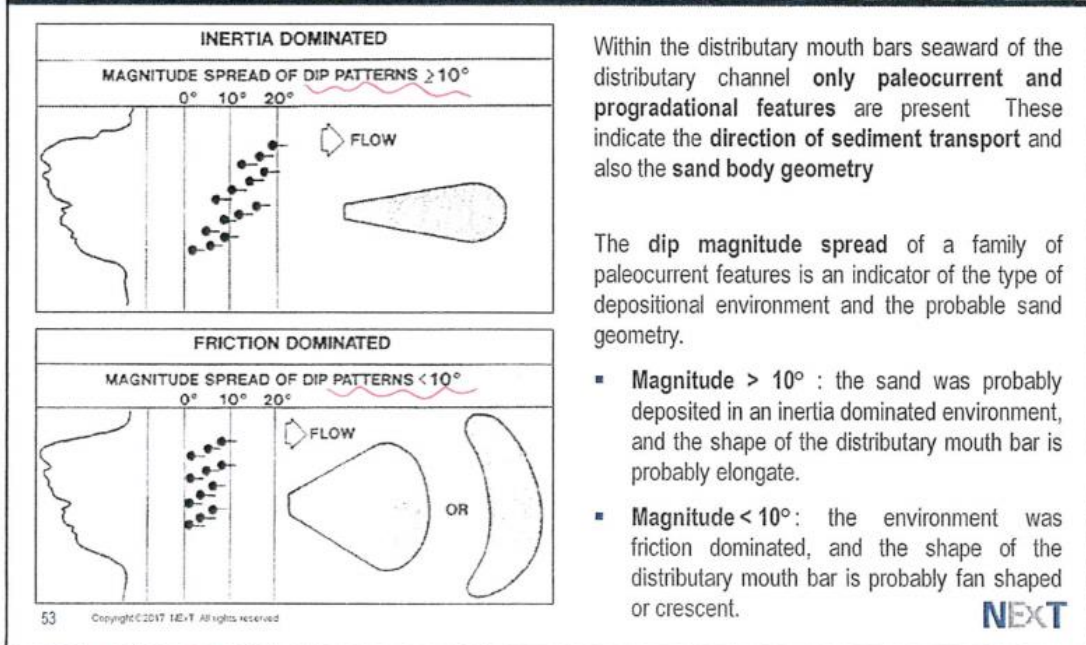


圖 19、河口沙洲之電測相與地層沉積傾角特徵。

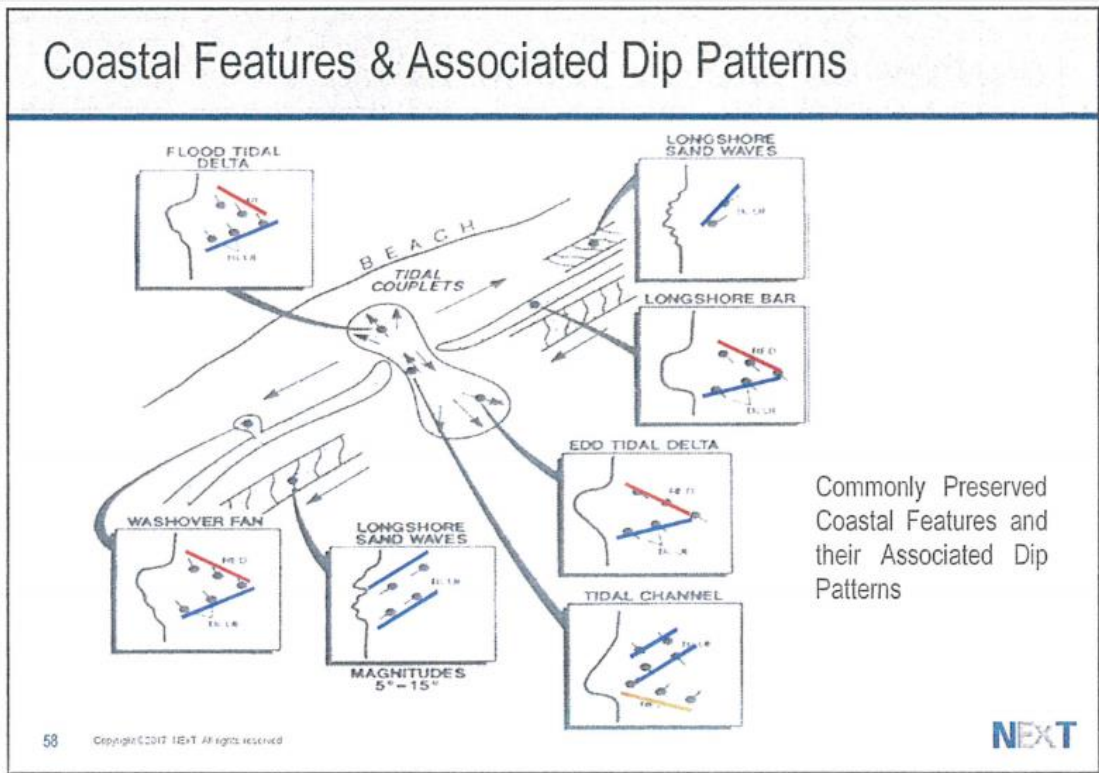


圖 20、海岸環境之電測相與地層沉積傾角特徵。



圖 21、課程結束後講師 Philippe MONTAGGIONI 及學員合照。

建議與心得：

個人以往曾參與之計畫工作重點多聚焦於震測解釋、傳統測井資料解釋、數值化構造與屬性模型建立等，而井孔影像資料之解釋與應用過往並無接觸。但近年來，因國際油價低迷，服務公司費用普遍下調，且隨著時代演進，深水探勘與開發技術已有長足進步，所以本公司重新思考已停止探勘活動 20 年以上的西南海域之重要性。而現代的海域探勘、生產鑽井之儲集層識別、構造解析、裂隙分析、鑽井風險預測往往高度依賴於井孔影像的量測及整合解釋(動態資訊、震測資訊...等)結果。台灣西南海域過往已有部分鑽井曾施行過 FMS 井孔影像測井，但是根據現存之 FMS 影像解釋結果，發現仍有全面重新檢視、補強及解釋的可能性。藉由參與本次課程，使我認知到，無論是井孔影像測井資料、傳統井下電測資料、油氣測試結果、震測資料...等，都應朝向整合性研究的方向前進，而且這些資料可完成的結果、能獲得的資訊往往比我們心理所想像的還要來得多。

就西南海域而言，或許能以目標導向的方式，有系統的召集地球物理、地質及地球化學等專門人員，規劃多年期程的研究計畫，以務實的態度進行探勘研究。此外，期望能更進一步的再研究、重解析本區域的構造史、應力變化、沉積環境...等資訊，以作為數值模型、動態模擬、開發規劃的基石。雖然本公司許多曾參與西南海域探勘歷程的資深前輩早已退休，但是相信以本公司探採研究所目前研究人員之素質與研究態度，絕對能為台灣的油氣探勘事業做出貢獻。

藉由本出國報告，期盼本公司，若未來有重啟海域探井之計畫時，除了全井段之 P-sonic/S-sonic、Checkshot、CGR 須列入測井規劃外，應再編排 FMS+UBI(用於水基泥漿)或 FMI/OBMI+UBI(用於油基泥漿)之井孔影像測井項目，並藉由結合 MDT(Modular Formation Dynamic Tester，用於裸孔之地層測試)或者 CHDT(Cased Hole Dynamic Tester，用於套管之地層測試)以增加地下地層紀錄資

訊以及多個目標地層之行油氣測試資料。再者，希望本公司探勘人員都可以牢記前台灣油礦探勘總處處長邱華燈對我們的提醒，務必良好且用心的檢討、研究失利井之失利原因，唯有如此，才能對未來的探勘活動做出貢獻。