

出國報告（出國類別：研習）

經濟部 104 年度臺加技術合作訓練計畫
「傳統及非傳統石化能源探勘
高端技術研習」報告

服務機關：台灣中油公司探採事業部

姓名職稱：林維芝

派赴國家：加拿大

出國期間：104 年 10 月 12 日-10 月 25 日

報告日期：104 年 12 月

目次

	頁次
目次.....	i
摘要.....	1
壹、目的.....	2
貳、研習行程及過程.....	3
一、研習行程.....	3
二、過程.....	5
2.1 加拿大石油地質師協會細顆粒砂岩研討會.....	5
2.2 石油工程師協會非傳統能源研討會.....	15
2.3 參加 IHS Energy 公司 Kingdom 震測資料解釋及 Petra 軟體訓練課程.....	17
2.4 拜訪 Husky Energy 石油公司.....	20
參、心得與建議事項.....	22
肆、致謝.....	23
伍、參考文獻.....	24
附錄：.....	26
一、研習照片記錄.....	26
二、加拿大石油地質師協會(CSPG)，細顆粒砂岩研討會議程.....	32

摘要

最近一年的國際原油價格大跌，國際經濟情勢亦隨之匹變，非傳統石化能源開採技術的掌握與國際經濟密切相關。為使我國在國際石化能源的經濟戰場上，能掌握先機，準確投資，提升傳統及非傳統石化能源探勘評估技術為本次研習的首要目的。現階段探勘油氣藏其蘊藏量之評估主要仍是依據震測資料解釋結果，隨著明顯之儲油氣構造相繼被發現，探勘目標已被迫轉向較小、較深之複雜構造，如鹽下構造，此時震測資料解釋技術更是從事複雜的地下構造解釋最有力的武器。

本次研習內容包含參加加拿大石油地質師協會(CSPG)舉辦之細顆粒砂岩研討會、石油工程師協會(SPE)舉辦之非傳統能源研討會，以及至 IHS Energy 資料庫及軟體公司參加 Kingdom 震測資料解釋軟體進階功能研討及 Petra 軟體訓練課程，為了與國際間油公司保有同步資訊，本次研習期間特別安排至 Husky Energy 石油公司拜訪，資深油層工程師 Dr. Ray S. Wu 分享目前 Husky Energy 石油公司於油氣生產使用的增產技術，及地質地物經理 Mr. Borick Paw 分享 Rainbow Basin 的生產心得，以及目前 Husky Energy 石油公司面對此次低油價所做的因應對策。

藉由參加國際能源相關研討會議之機會，與國外專家學者進行技術與經驗交流，可瞭解目前非傳統能源之增產技術，國外研究發展成果與國際大油公司的生產經驗，有助於提升未來國內外油氣藏探勘評估技術，進而降低探勘投資及開發風險。

壹、目的

面臨美國頁岩油氣的大量開採，石油輸出國組織 OPEC(Organization of Petroleum Exporting Countries)決議維持傳統油氣產量，市場為取得供需平衡，使得最近一年的國際原油價格大跌，國際經濟情勢亦隨之匹變。可見非傳統石化能源開採技術的掌握與國際經濟密切相關。為使我國在國際石化能源的經濟戰場上，能掌握先機，準確投資，增加本國在國際石化能源的擁有權益，故安排本次傳統及非傳統石化能源探勘技術研習。

為了解國際間石化能源探勘動向，提升油氣藏探勘評估技術，本次研習內容包含參加加拿大石油地質師協會(CSPG, Canadian Society of Petroleum Geologists)，細顆粒砂岩研討會(Fine-Grained Rocks: Resources to Reserves Conference)及石油工程師協會(SPE, Society of Petroleum Engineers)，非傳統能源研討會(Unconventional Resources Conference)。藉由參加國際非傳統能源相關研討會議之機會，與國外專家學者進行技術與經驗交流，以瞭解全球非傳統能源之技術最新發展。國外研究發展成果與經驗，將有助於未來投資國內外非傳統能源礦區的評估工作能力提升與進行。

現階段油氣蘊藏量評估主要仍是依據震測資料解釋結果，隨著明顯之儲油氣構造相繼被發現，探勘目標已被迫轉向較小、較深之複雜構造，如鹽下構造，此時震測資料解釋技術更是從事複雜的地下構造解釋最有力的武器。本次研習安排至 IHS Energy 資料庫及軟體公司，進行 Kingdom 震測資料解釋軟體進階功能研討及參加 Petra 軟體訓練課程，期望能靠著新技術的學習，建立本公司探勘解釋技巧的核心技術。

為了與國際間油公司保有同步資訊，積極爭取國外礦區，提高國際競爭力取得優勢與國際油公司合作探勘勢在必行。研習計劃特別安排拜訪 Husky Energy 石油公司，資深油層工程師(Reservoir Engineer specialist) Dr. Ray S. Wu 與筆者分享目前 Husky Energy 石油公司於油氣生產使用的增產技術，及 Rainbow Basin 地區地質及地球物理經理(Manager, Geology & Geophysics Rainbow Development) Mr.

Borick Paw 分享 Rainbow Basin 的生產心得，以及目前 Husky Energy 石油公司面對此次低油價所做的因應對策。

貳、研習行程及過程

一、研習行程

研習期間自 104 年 10 月 12 日起至 104 年 10 月 25 日止，共計 14 天，行程安排如表 1。

表 1 本次研習計畫詳細行程表(中英文對照)

日期 Visiting Time	訓練進修 地點 Location	擬訓練進修機構及訪談對象 Institutions & Persons to be visited	訓練進修目的及討論主題 Purpose of training, and discussion topics
10/12	卡加利、班夫 Calgary、Banff	行程	行程，台灣時間 10/12 從台北出發，抵達卡加利後再前往班夫。
10/13- 10/15	班夫 Banff	加拿大石油地質師協會 CSPG, Canadian Society of Petroleum Geologists	細顆粒砂岩研討會。從探勘及評估油氣潛能的角度探討細顆粒砂岩形成儲集層的演化機制，並以加拿大西部的油氣藏為案例討論。 Fine-Grained Rocks: Resources to Reserves Conference。The conference covered the life cycle of fine-grained reservoirs from the exploration concept to evaluation and exploitation and to booking reserves. Issues were illustrated by case studies of the major fine grained resource plays in Western Canada.
10/16	卡加利 Calgary	IHS Energy 資料庫及軟體 公司 Shady Elkadri Customer Solution Advisor	Kingdom 震測資料解釋軟體進階功能研討。 Using seismic exploration soft, such as Kingdom to evaluate unconventional resources.

10/17-10/18	卡加利 Calgary		週末。整理研討會及訪談資料、撰寫報告。
10/19	卡加利 Calgary	Husky Energy 石油公司 Dr. Ray S. Wu Reservoir Engineer specialist 及 Mr. Borick Paw Manager, Geology & Geophysics Rainbow Development	Husky Energy 石油公司在加拿大的探勘現況，以及近期油價下跌對於 Husky 石油公司的探勘活動造成的影響。 Currently Canada oil and gas industries, conventional oil, heavy oil, and offshore business development. The challenge of hydrocarbon energy exploration due to low oil price.
10/20-10/22	卡加利 Calgary	石油工程師協會 SPE, Society of Petroleum Engineers	非傳統能源研討會提供探勘及開發專業的交流平臺，會中廠商展示新的井測工具及增產技術，並討論北美非常規資源最新的探勘、開發及生產技術。 Unconventional Resources Conference. It offers E&P professionals an arena to discuss and showcase the latest technologies, best practices, challenges and suggested solutions for discovering, developing, and producing unconventional resources in North America.
10/23	卡加利 Calgary	IHS Energy 資料庫及軟體 公司 Shady Elkadri Customer Solution Advisor	參加 IHS Energy 公司 Petra 軟體訓練課程。Petra 為整合油氣生產及油氣藏井下電測資料的分析軟體。主要用於油氣藏描述及管理，為幫助了解油氣田地質而設計的軟體。 Petra is an integrated suite of tools for project and data management as well as production, reservoir and log analysis, helping geologists, engineers, technicians and analysts.

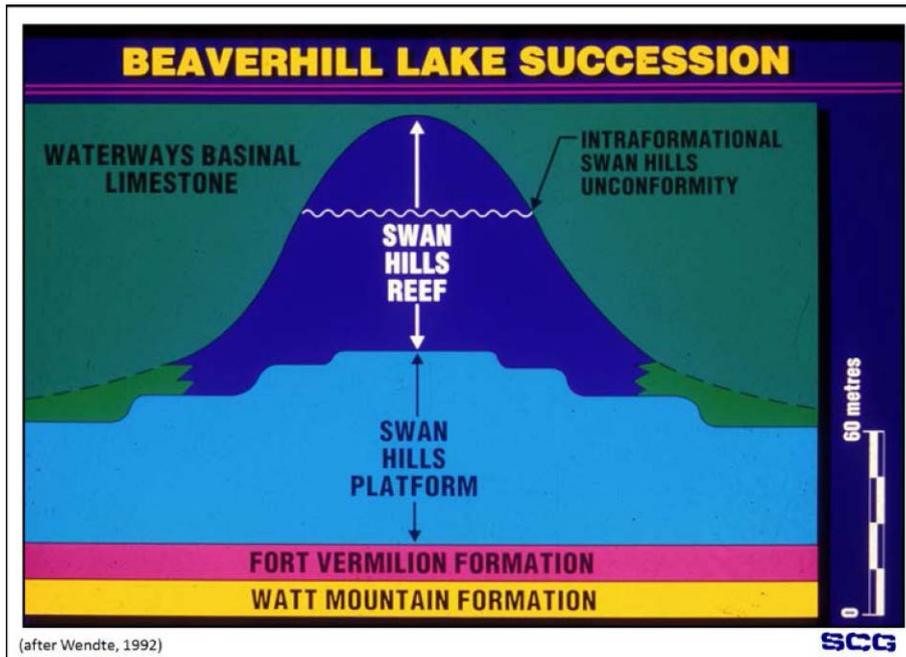
10/24-10/25	卡加利-台北 Calgary	返程	返程，加拿大時間 10/24 日從卡加利出發，抵達台北為台灣時間 10/25。
-------------	-------------------	----	-----------------------------------------

二、過程

2.1 加拿大石油地質師協會細顆粒砂岩研討會。

加拿大石油地質師協會為知名之國際性石油地質專業協會，每年定期舉辦研討會邀請石油探勘界各專業領域人員齊聚一堂，共同發表及研討石油探勘之最新研究與未來發展方向。今年於加拿大亞伯達省的班夫舉辦，主要主題編排先從基礎的岩石特性及流體相關論文開始發表，包含探討細顆粒碳酸岩油氣藏(以加拿大西部亞伯達省的 Swan Hills Platform fine grained carbonate play 為例，如圖一)討論其沉積環境及儲集岩品質，雖然其平均孔隙率為 6%，但在高能量的沉積環境下(如平台邊緣)能有較高的孔隙率。隨著水平鑽井技術的發展，細顆粒碳酸岩儲集層的油氣得以生產且能夠加速其開發生產的速度。研究主題之研究區域集中於亞伯達省及英屬哥倫比亞省，屬於西部加拿大沉積盆地(Western Canada Sedimentary Basin)，盆地範圍如圖二，研究地層包含 Montney Formation(Triassic)、Horn River Group(Middle and Upper Devonian)以及 Colorado Group(Cretaceous)，此外也探討美國 Oklahoma 的頁岩氣(Woodford shale)從其古地理及沉積環境尋找 sweet spot 的非傳統能源議題。

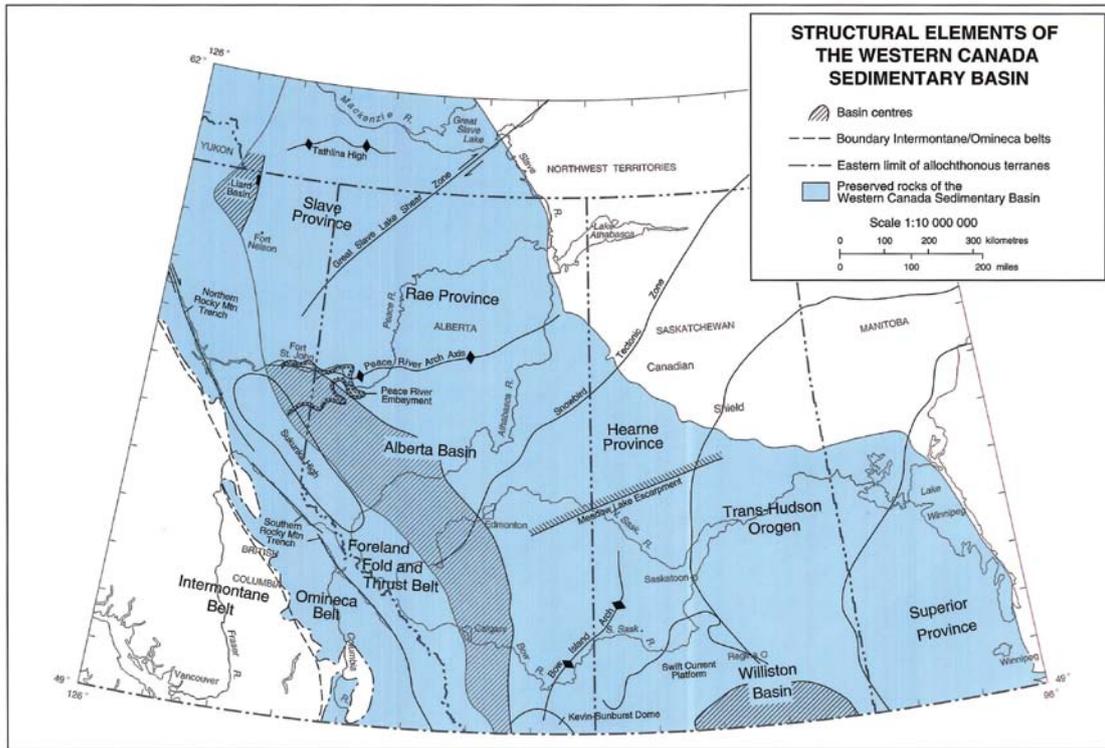
西部加拿大沉積盆地為加拿大重要的油氣生產盆地，盆地位於美洲大陸北部、加拿大西部洛磯山脈帶以東(盆地位置如圖二)，西部加拿大沉積盆地主要由兩個次盆地組成，即西部的 Alberta 盆地及東南部的 Williston 盆地，西部加拿大沉積盆地主要構造單元如圖三。盆地東部為加拿大地盾區(Canadian Shield)，西部為洛磯山脈帶(Cordillera)，洛磯山脈可為五個構造帶(如圖四)，自西而東分別為 Insular 構造帶(Insular Belt)、海岸構造帶(Coast Belt)、山間構造帶(Intermontane Belt)、Omineca 構造帶(Omineca Belt)以及前陸構造帶(Foreland Belt)。



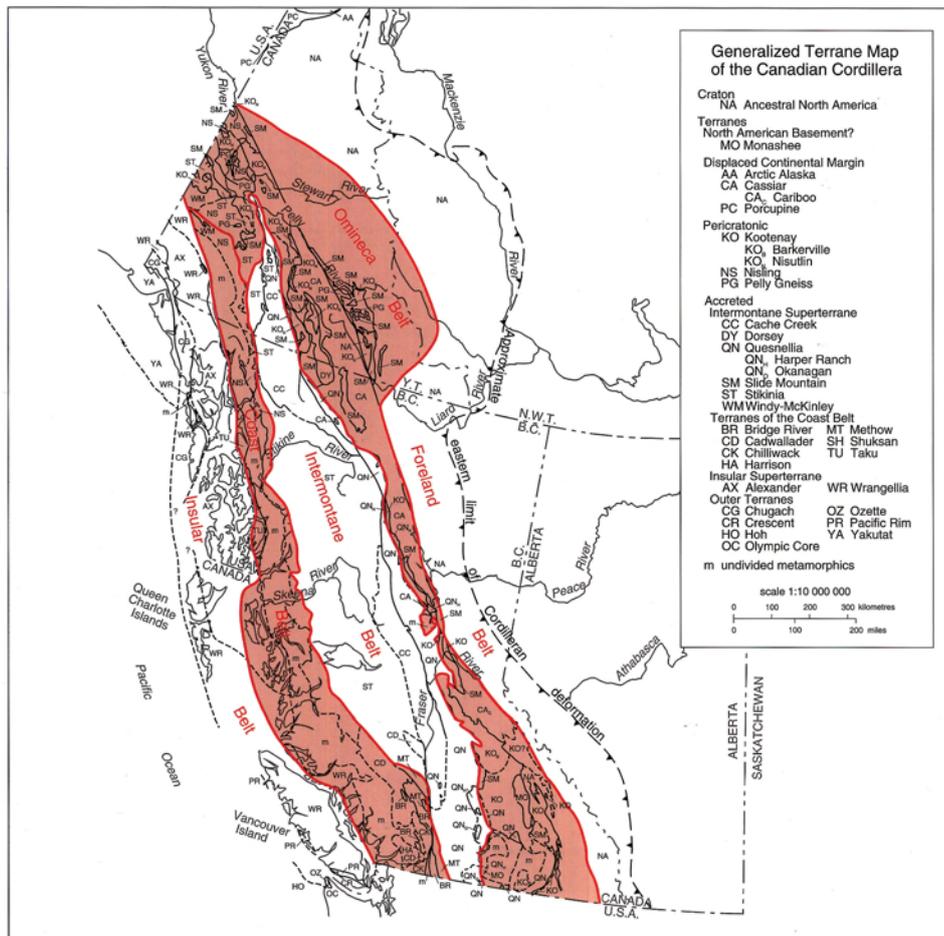
圖一、細顆粒碳酸岩油氣藏範例(Hills Platform fine grained carbonate play)。



圖二、西部加拿大沉積盆地(Western Canada Sedimentary Basin)範圍。(Alberta's Energy Reserves 2013)



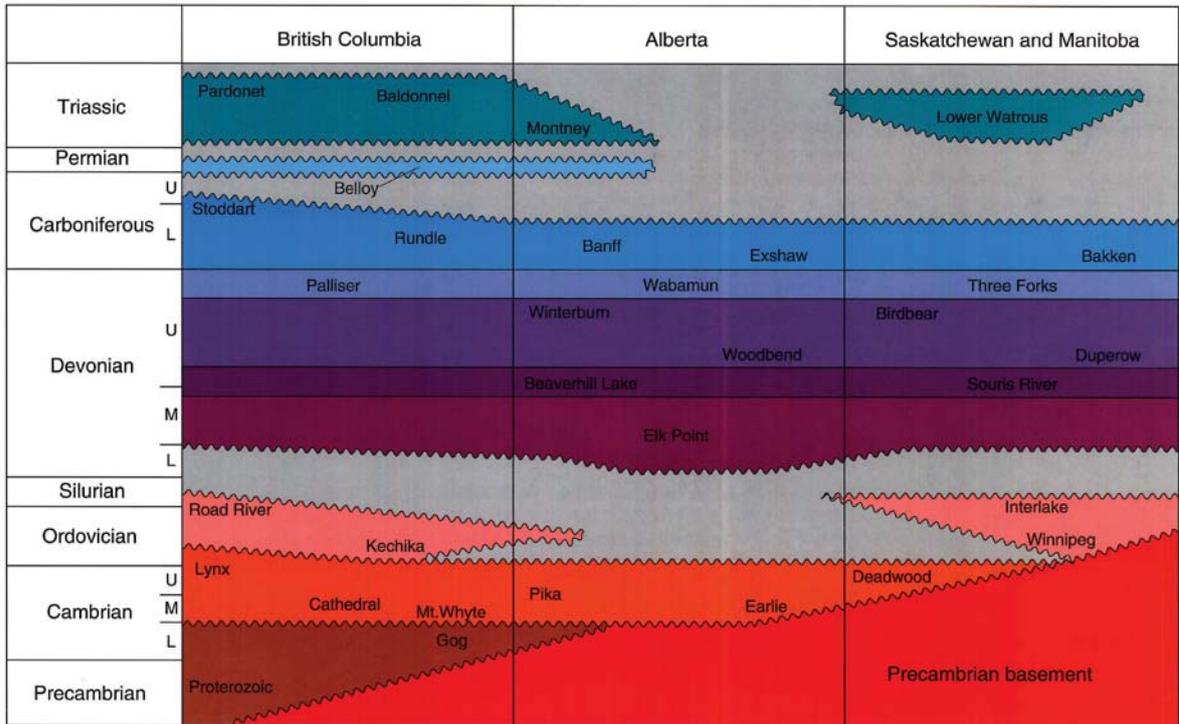
圖三、西部加拿大沉積盆地主要構造單元。



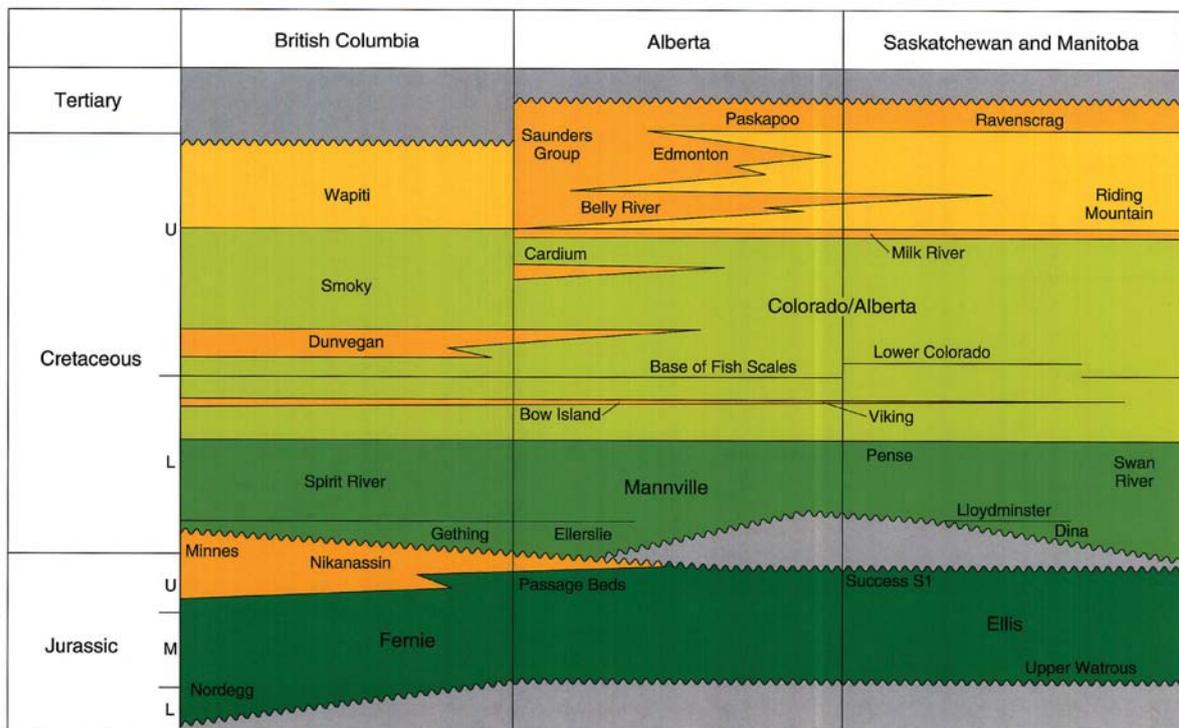
圖四、洛磯山脈構造帶示意圖。

洛磯山脈帶(Cordillera)主要是由加拿大地盾與許多外來岩塊(allochthonous terranes)所組成，除了加拿大地盾原生的岩塊(autochthonous)，其他較大的外來岩塊(如 Quesnellia, Stikinia, Wrangellia 及 Alexander)其構造地層具有側向連續性，主是由海洋火山弧組成(Davis et al., 1978; Monger et al., 1982)，其岩性組成主要為深海盆地沉積岩，玄武質火山岩及超基性火成岩(Monger and Price, 1979)。洛磯山脈帶的側向發育為這些岩塊的碰撞結果，始於早侏羅紀，數個岩塊漂移數百乃至數千公里之後結合在一起的不同岩群(Terrane)，為這些岩群先結合成兩個構造帶(superterranes)之後(Price et al., 1985)，再以陸—陸碰撞的方式加入加拿大穩定地台(Craton)成為加拿大大陸的一部份，Insular 構造帶以及山間構造帶即分別代表二個外來的岩塊，其中海岸構造帶為 Insular 構造帶和山間構造帶之間的縫合帶(suture)，Omineca 構造帶則為山間構造帶和西加拿大大陸板塊之間的縫合帶(Monger et al. 1982)。至於前陸(Foreland)構造帶則代表這些外來構造帶向東加入加拿大大陸板塊之後在大陸板塊前緣引發向東上衝(obduction)的褶皺—逆衝帶(Fold and Thrust Belt)。

西部加拿大沉積盆地的西界，和 Omineca 構造帶之間的邊界為前陸褶皺逆衝帶，東界則為加拿大地盾地表出露的邊界，以及位於美加邊境的 Williston 盆地。以盆地單元來劃分，洛磯山脈帶(Cordillera)東側的前陸褶皺逆衝構造帶也應歸屬前陸盆地之下地層系統的一部分而統稱為西部加拿大沉積盆地。西部加拿大沉積盆地垂向上由兩大套地層組成(如圖五及圖六所示)，下部主要為一套沉積在穩定地臺上的古生代沉積岩，上部為一套前陸中生代至新生代的碎屑岩。盆地沉積地層為向西南增厚的楔形體(Wedge)，此楔形體覆於前寒武紀花崗岩基盤(Precambrian crystalline basement)之上。盆地地層沉積厚度最大，地層保留最完整的部份在西部即洛磯山脈帶的 Omineca 構造帶及前陸構造帶，地層向東逐漸變薄，尖滅在加拿大地盾之上，地層沉積東西向剖面如圖七。盆地的發育主要經歷了被動大陸邊緣和前陸盆地兩階段，沉積兩套碎屑岩沉積物，盆地演化的主要兩個過程便忠實的記錄在此楔形體沉積物之中。

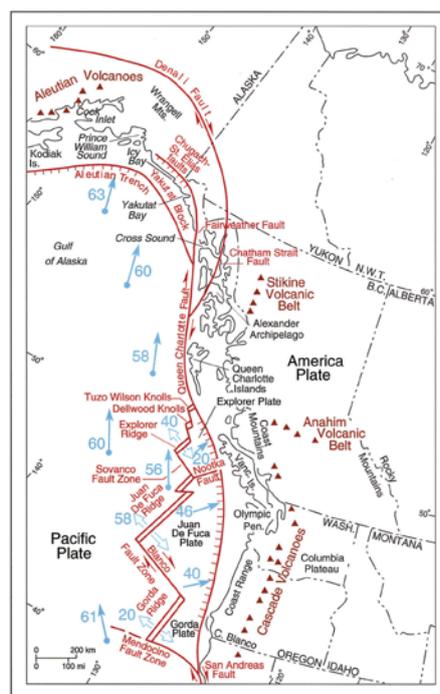


圖五、西部加拿大沉積盆地下套(前寒武紀—三疊紀)地層。

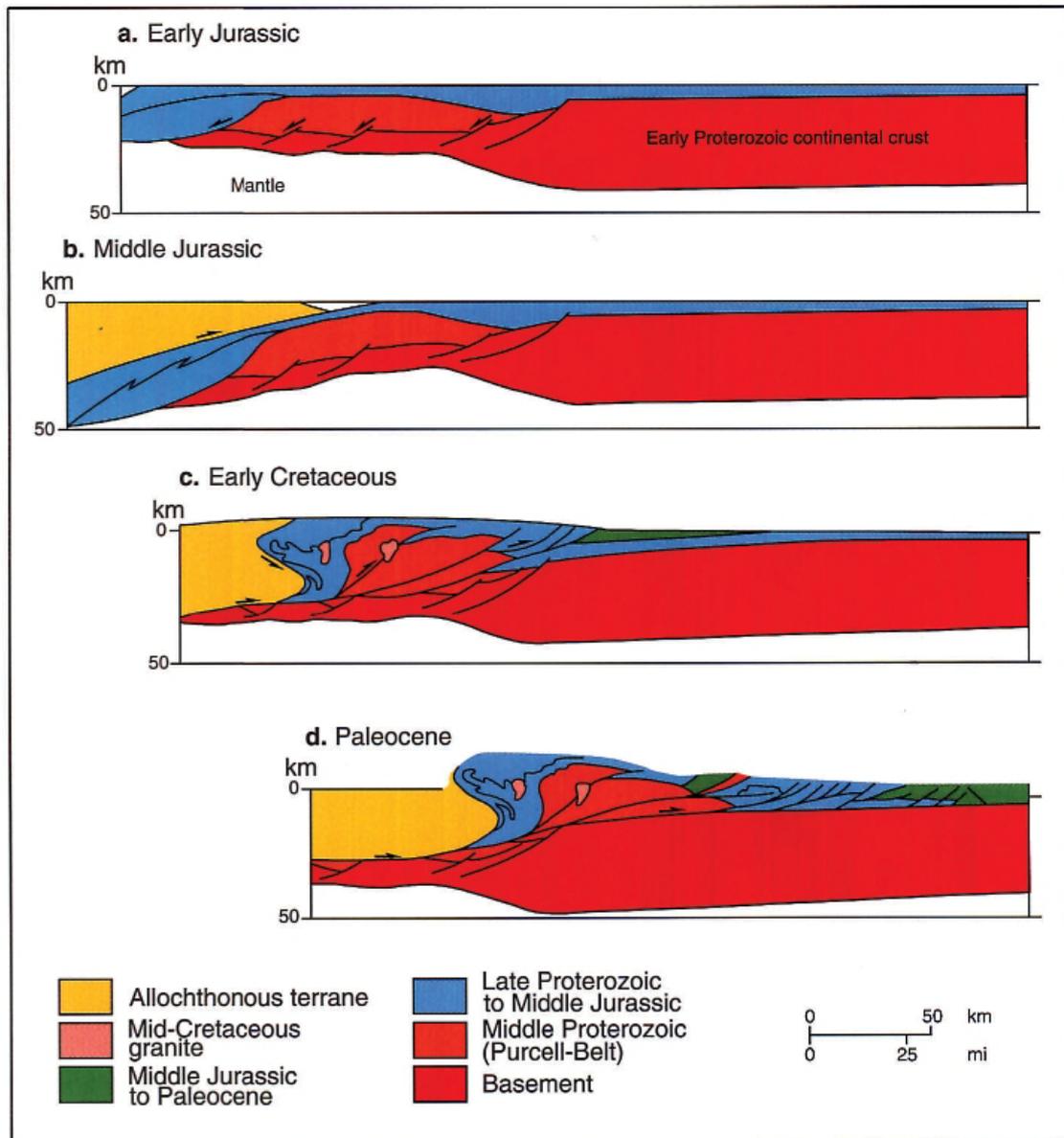


圖六、西部加拿大沉積盆地上套(侏羅紀—第三紀)地層。

西部加拿大沉積盆地演化的第一個階段為晚元古代—侏羅紀次地槽—地台時期 (miogeocline-platform)或稱被動大陸邊緣(Passive margin)時期，加拿大地盾自寒武紀升出海面以後沒有再接受長期連續的海侵影響，主要是受到相對海平面的整體上升與下降，海侵與海退以及較小的局部相對升降從而在地台區形成了自晚寒武紀以來厚度不等的石灰岩、碎屑岩、頁岩及蒸發岩。沉積靠近地盾的地台區沉積物厚度薄，沉積間斷多，而遠離地盾的地台區因沉積重力負荷而致下沉，沉積物厚度大，沉積較連續形成了此向西南增厚的楔形體(Wedge)，如圖七。第二個階段為晚侏羅紀—早始新世前陸盆地時期，因北美板塊與太平洋板塊碰撞而使得岩群(Terrane)與加拿大地盾斜向碰撞(圖八)，被刮除(scraped off)的基盤部份增積(accrete)到山間構造帶(Intermontane Superterrane)，形成了最早期的前陸盆地，即落磯山脈前陸褶皺逆衝帶的最古老的部分。前陸褶皺逆衝帶為一個受到橫移壓縮作用的增積岩體(transpressional accretionary prism)，它包含被刮除的加拿大地盾基盤及與加拿大地盾斜向碰撞的外來岩塊(allochthonous terranes)所拼湊(collage)而組成的(如圖九)。前陸褶皺逆衝發育一系列疊瓦狀逆衝斷層，以加積的形式堆積在古生界地台之上，成為落磯山脈帶的一部分。



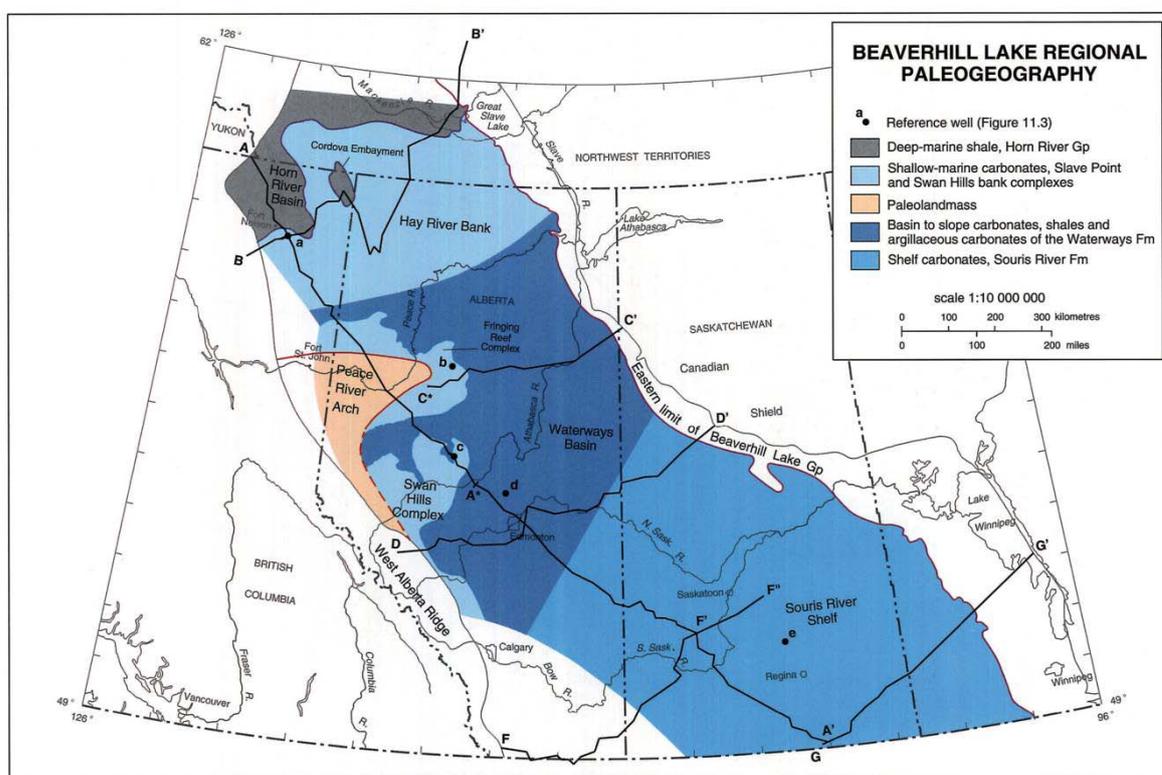
圖八、北美板塊與太平洋板塊相對移動方向。



圖九、前陸褶皺逆衝帶演化示意圖。

本次研討會主要研究的地層 Horn River Group 即為古生代次地槽—地台時期所沉積的碎屑岩，區域性的沉積於西部加拿大沉積盆地北部(如圖十)，研討會一開始提到的 Swan Hills Platform play 即為同時期區域性的發育於盆地中部的 Swan Hills reefs，其地層記錄了五次主要的沉積循環(cycle1-5)(圖十一)。Montney Formation 為西加拿大沉積盆地上部前陸中生代至新生代的碎屑岩，與其上的 Doig Fm(如圖十二)同為傳統及非傳統的油氣探勘目標，傳統油氣的 play type(如濁流岩儲集層)已生產了幾十年，近年來富含有機質的細顆粒沉積物已成為加拿大非傳統能源積極的探勘目

標，因此，結合 Montney-Doig Formations 的層序地層學概念及盆地分析所做的地質建模研究也為本次研討會的重點。而 Cretaceous Colorado Group 是前陸盆地最大海平面階段沉積的一套以海相頁岩為主的地層，由多個次級海進—海退沉積循環組成，岩性為大套泥頁岩夾薄層砂岩、泥質砂岩及粉砂岩，其底部、中部和頂部各發育一套富含有機質的海相泥頁岩，是 Colorado Group 含油氣系統的主要生油岩，因此 Colorado Group 的地層架構及沉積相分佈也為本次的研究重點。Horn River Group、Montney-Doig Formations 及 Colorado Group 三組地層的頁岩為加拿大緻密氣和頁岩氣的主要探勘目標。



圖十、西部加拿大沉積盆地古生代地層區域性沉積分佈圖。

研討會議題安排除了討論各重要儲層的特性及沉積相，再討論其生油到儲油等石油系統要素，大多以西部加拿大各油氣田為案例討論，以盆地模擬的方式進行油氣潛能評估，進而討論如何加入地球物理的方式評估非傳統油氣藏。在鑽井前為了節約探勘經費及降低探勘風險，可使用地球物理的成像方式，除了用以構造解釋、各地層厚度分布(isopach)還可分析儲集層裂隙方位及潛在的應力場變化，定義可能鑽遇的裂隙分布情況。鑽井前地球物理可結合 Lidar，Lidar 用以辨識地質災害，近地表的如冰河河道(channel)，深層的如較鬆散的 Cretaceous channels，在下表層套管前防止泥漿滲漏，以降低鑽井費用。地球物理的方法運用在頁岩氣的評估方面，可使用三維震測資料進行震測逆推方式(seismic inversion)計算儲集層的總有機碳含量(TOC)，得到 TOC 值的分布，本次便以美國 Oklahoma 的頁岩氣(Woodford shale)尋找最佳鑽探位置(Sweet spot)為案例討論。另外亦有主題是從楊氏係數及柏松比的計算而得到儲集層塑性及脆性的分布，利用這些儲集層岩石物理特性建立頁岩氣的分布模型(Shale gas Model)，藉此找出最佳鑽探位置(Sweet spot)，也可使用震測相分類(Facies Classification)了解儲集層特性(Reservoir Characterization)，偵測裂隙的發育方向及分布，可用於斷層追蹤並建立儲集層裂隙模型(fracture modeling)得到多方位角的裂隙或應力分布。更進一步可模擬人工誘發的微地震(Microseismic)評估液裂對儲集層影響的範圍。利用裂隙分布及儲集層岩石物理性質得到的頁岩氣的分布模型藉此找出最佳鑽探位置(Sweet spot)，便可用於作鑽井規劃及井程設計完成評估工作。

2.2 石油工程師協會非傳統能源研討會

有別於加拿大石油地質師協會舉辦之研討會，石油工程師協會舉辦之非傳統能源研討會早上議程為專題演講及開放討論，主題有：全球市場上的競爭，討論加拿大陸續開發大量石化能源，對於各國必定帶來影響，從政府租稅、基礎建設至能源價格，勢必對於各界的能源供應市場帶來許多技術上的挑戰，學界對於非傳統能源開發的技術發展仍然保持樂觀態度持續進行，認為加拿大的石化能源仍具競爭力，並發表目前

加拿大自然資源的研究狀況。在頁岩氣的開發計畫中，「水的管理」是一門重要課題，再來是使用於增加頁岩氣產量的二氧化碳－「氣的管理」，因此在開發計畫中需要充分了解自然資源的分配，以及開發設備與環境的評估。第二天早上開始分兩場主題同時進行，其一為加拿大石化能源的投資優勢，主要探討非傳統能源的部份，大部分的投資者仍然認為加拿大能源極具開發潛能；另一場主題為非傳統能源的開發規劃，主要討論在鑽井及完井後其他相關的生產開發問題該如何規劃，如及二氧化碳的使用、水資源管理、基礎建設及最後的管線運輸市場。第三天的主題為面對非傳統能源大規模的開發，新技術產業未來的走向變化，本議題偏重於新技術研究和開發；另一場為北美非傳統能源的油氣藏，這個主題分為兩個部份，分別以美國及加拿大油氣藏的作為案例討論。

研討會下午開始進行技術論文發表，每天下午分別有四至五個會場同時進行，第一天同時有五個子題，分別為：

1. 非傳統能源油氣藏的產量及預測 1(Production Forecasting for Unconventional Reservoirs 1)。
2. 案例分析(Case Studies)。
3. 裂隙影響的特性(Characterizing Fracture Effects)。
4. 產量最佳化的創新技術(Production Optimization Through Innovation)。
5. 激勵儲集岩岩體體積變化(Stimulated Reservoir Volume)與儲集層特性。(SRV and Reservoir Characterization)

第二天的子題為：

1. 鑽井與完井(Drilling & Completions)。
2. 油氣藏的特性與建模(Reservoir Characterization & Modelling)。
3. Montney Formation的整合研究(The Full Montney)。
4. 液裂技術最佳化 1(Optimizing Hydraulic Fracturing 1)。

第三天的子題為：

1. 非傳統能源油氣藏的產量及預測 2(Production Forecasting for Unconventional Reservoirs 2)。
2. 非傳統能源油氣藏的地質挑戰(Geological Challenges of Unconventional Reservoirs)
3. 西部加拿大盆地的頁岩及緻密砂岩油氣藏(Western Canada Shale and Tight Sand Plays)
4. 液裂技術最佳化 2(Optimizing Hydraulic Fracturing 2)。

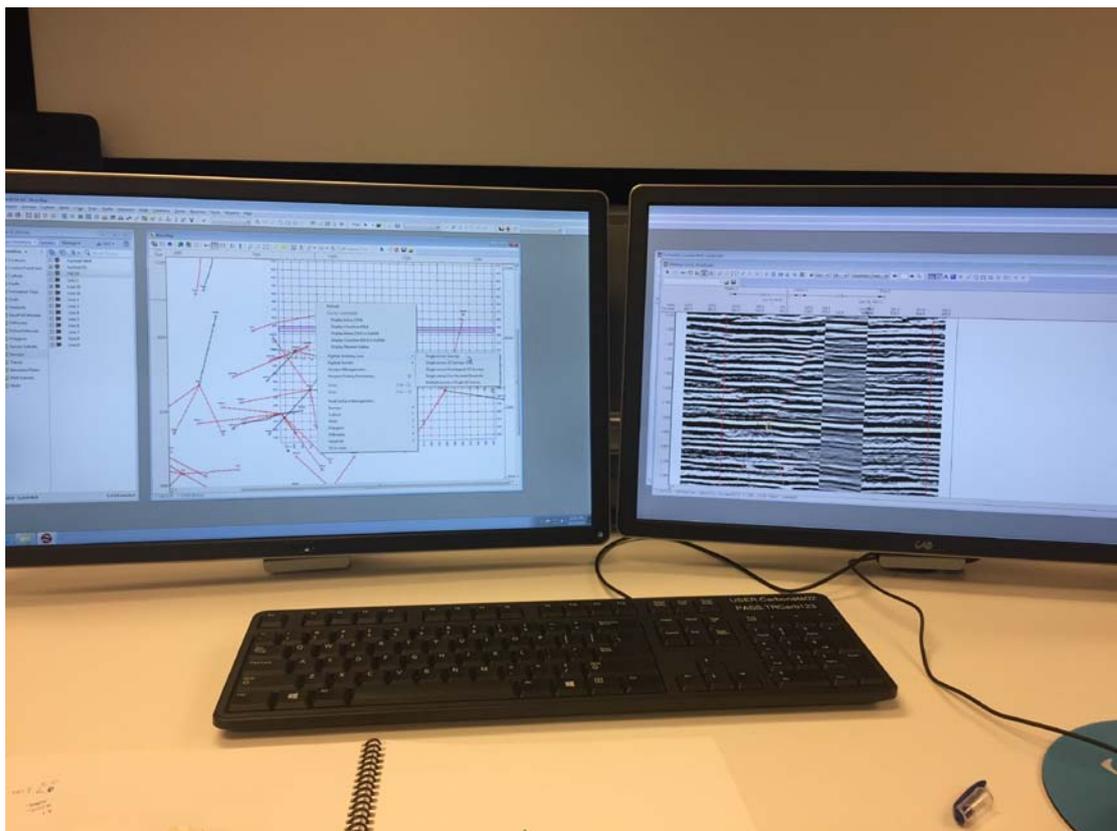
接續加拿大石油地質師研討會初步了解西部加拿大盆地細顆粒岩石特性及各油氣藏的探勘標的(play type)，石油工程師協會研討會主題著重於西加拿大非傳統能源的開發技術，水平鑽井的最佳井程設計以期達到生產量最佳化，以及討論許多提升採收率(EOR, Enhanced Oil Recovery)的技術研究。研究範圍除了西部加拿大盆地 (Alberta 盆地、Horn River 盆地、東南部的 Williston 盆地)也增加許多美國的頁岩氣案例。Montney Formation 仍是本研討會的重點研究地層。Montney 緻密氣和頁岩氣以乾氣為主，緻密氣早期採用直井開發，2006 年開始採用水平井開發，2008 年採用水平井和多級體積壓裂之後大規模開發，同時也帶動了 Montney 頁岩氣的開發。在頁岩氣的液裂模擬過程中，微地震監控(Microseismic Monitoring)已成為最常使用於了解現地岩石特性的方式了，透過受波器陣列(geophone arrays)紀錄人工誘發的微地震而獲得裂隙的分布情況，需要地球物理探勘師解釋微地震數據並結合油層工程師驗證儲集層模型的正確性。

2.3 參加 IHS Energy 公司 Kingdom 震測資料解釋及 Petra 軟體訓練課程

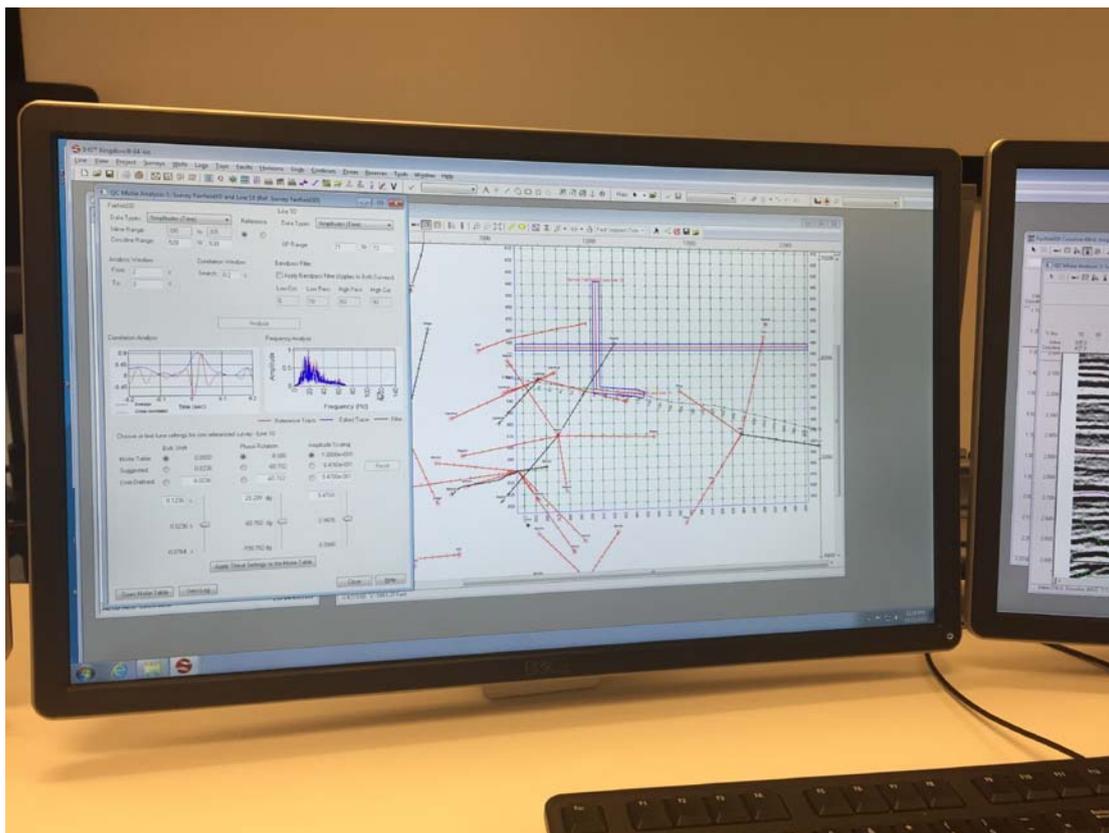
本次研習計畫除安排參加研討會以了解國外研究發展成果，另安排至 IHS Energy 公司參加油氣潛能評估相關軟體訓練課程，練習軟體實作經驗。特別感謝 IHS Energy 公司 Shady Elkadri 顧問幫忙安排兩天一對一教學課程，Petra 軟體為整合油氣生產及油氣藏井下電測資料的分析軟體，主要用於油氣藏描述及管理，為幫助了解

油氣田地質而設計的軟體。本次訓練課程使用 IHS Energy 公司西部加拿大的 Well Database 做為範例練習，從新增專案、輸入井下資料、定義 Formation Top 計算各地層厚度分布(isopach)、展示井下資料(well log data)並做計算，亦可繪製等高線圖(Countour Mapping)及連井線(Cross section)。

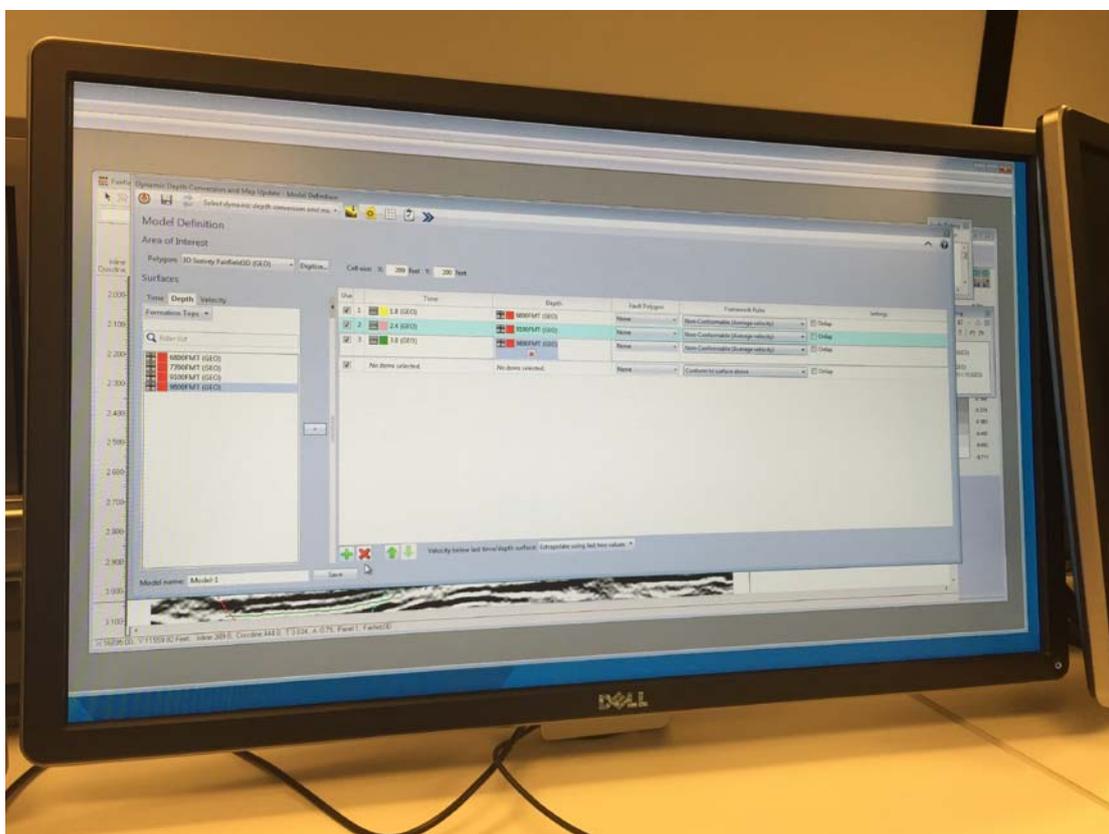
本公司使用 Kingdom 震測資料解釋軟體已有十年歷史，因此本次研習直接針對本年度改版的新功能及使用者常遇到的問題尋求解決方法。圖十三為新版本進行三維震測資料體與二維震測資料作 Mistie 的結果，從 Mistie 分析視窗查看相關性分析，也可用 Bulk Shift 進行微調做進一步修正(如圖十四)。完成 Mistie 修正、斷層及層位解釋，可使用新功能：Dynamic Depth Conversion and Map，從 Formation Top 資料建立時深關係，創建地質模型(如圖十五)。震波屬性分析(Seismic Attribute)亦加入了斷層屬性分析(Fault Attribute)的新項目。



圖十三、使用 Kingdom 軟體計算三維震測資料體與二維震測資料 Mistie 成果。



圖十四、Mistie 分析視窗。



圖十五、從 Formation Top 資料建立時深關係，創建地質模型。

2.4 拜訪 Husky Energy 石油公司

本次研習計劃特別安排拜訪 Husky Energy 石油公司，資深油層工程師 (Reservoir Engineer specialist) Dr. Ray S. Wu 分享目前 Husky Energy 石油公司於油氣生產使用的增產技術，及 Rainbow Basin 地區地質及地球物理經理 (Manager, Geology & Geophysics Rainbow Development) Mr. Borick Paw 分享 Rainbow Basin 的生產心得，以及目前 Husky Energy 石油公司面對此次低油價所做的因應對策。

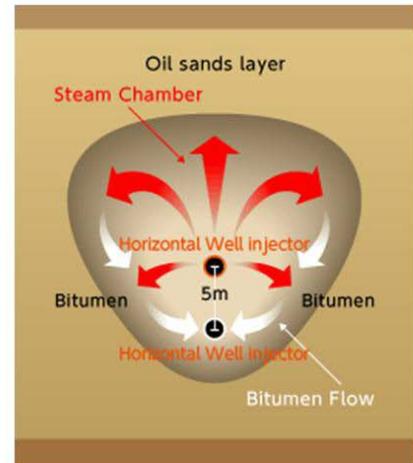
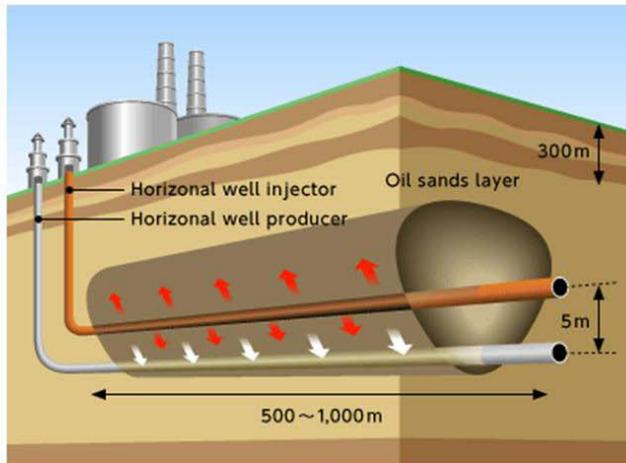
目前 Husky Energy 石油公司的 EOR 技術已進行到三級採油的生產方式，為了產出油田的殘餘油，在人工注水的二級採油增產方式之後，下一個階段改成注入 LPG 及其他化學藥劑即為三級採油的增產方式，這個階段仍屬於傳統的生產方式。

對於氣田的增產，Husky Energy 石油公司使用降壓生產的方式。隨著氣體持續生產，井口壓力會逐漸降低，當井口壓力降到低於管線壓力，氣體即無法再進入管線即無法產出，此時使用升壓機將井口氣升壓到高於管線壓力，氣體便可進入管線，順利產出，隨著氣體繼續產出，井口壓力持續下降，即為降壓生產。

對於重油的生產方式，Husky Energy 石油公司採用 SAGD (Steam Assisted Gravity Drainage)，其生產示意圖如圖十六。SAGD 的生產原理為藉注入蒸汽，以提高油層之溫度來降低重油之黏度，使重油能藉著重力驅排而生產出來。此生產方式必須持續不間斷注入蒸汽，若停止注入蒸氣，儲集層的重油恢復黏度，下次再生產時必須花費更長時間使其降低黏度，因此，雖然油價持續下探，已生產中的油田無法停止注入蒸汽，只能持續生產，期望能盡快渡過油價低迷的期間。

對於其他探勘中礦區，Husky Energy 石油公司仍會持續進行探勘活動，唯鑽井計畫則採取較保守策略。

Steam Assisted Gravity Drainage (SAGD)



Oil Sands Development Utilizing the SAGD Process

Source JAPAN PETROLEUM EXPLORATION CO.,LTD.

圖十六、SAGD(Steam Assisted Gravity Drainage)生產示意圖。

叁、心得與建議事項

加拿大西部(沉積盆地及洛磯山脈帶)的地質構造演化與台灣相似，同位於聚合型板塊邊界的被動式大陸邊緣部份，加拿大西部的前陸構造帶(Foreland Belt)帶與西部麓山帶屬於前陸盆地類型的褶皺逆衝帶，山間構造帶以及 Insular 構造帶分別代表二個外來的岩塊，則相當於中央山脈(弧陸碰撞前隱沒增積岩體)及海岸山脈(火山島弧體系)。而加拿大西部的構造規模較大，有較寬廣的縫合帶，且其前陸盆地發育時期也較早，為晚侏羅紀一早始新世，台灣則為新第三紀，因此，西部加拿大的地質構造研究亦可對於台灣麓山帶油氣藏模式及山崩機制分析作為參考。

本公司從事油氣探勘活動已持續數十年，近年來積極參與國外非傳統油氣礦區評估工作，特別是油砂及頁岩油氣藏，然因國內較缺乏此類的油氣資源及新技術資訊，建議政府或公司能增加同仁到國外參加相關研討會之機會，一則以取得世界各國在非傳統油氣資源的探勘新技術與發展，二則能增加本國及本公司在國際上的能見度。

現今參加各國際研討會已不再提供紙本摘要論文集，本次參與的兩個研討會也不提供論文集電子檔光碟。加拿大石油地質師協會(CSPG)舉辦之研討會所採取的方式是將各論文摘要上傳至其官方網站，部分論文亦提供簡報檔，而石油工程師協會(SPE)則是提供會員一個密碼(Access codes)，在具會員身份期間可使用 OnePetro 線上資料庫下載研討會摘要論文集，且加入會員即享有研討會及課程報名費會員價，會員價與一般價差與年會會費差不多，此外亦可下載其他研討會之論文集(有篇數限制)，於未來評估非傳統油氣工作時可參考使用，對於提升非傳統能源評估技術相當有幫助，建議參加同仁可評估考慮是否需要加入會員。

本次研習計劃主題安排，從討論幾個較重要的細顆粒砂岩油氣藏及其地層特性開始，接著進行地球物理震測軟體進階功能實作，再進入非傳統能源油氣藏的特性、開採方式及其未來走向等議題，接著實際演練油氣藏井下電測資料的分析及管理，並特別安排參訪國際油公司，吸取其開發生產的寶貴經驗，研習流程循序漸進，期望提升未來對於傳統及非傳統石化能源探勘的評估工作能力。

肆、致謝

感謝經濟部國際合作處提供此次研習經費，並感謝事業部長官給予職申請本案之機會，特別感謝探探研究所丁信修組長、邵勤顧問及 Husky Energy 石油公司 Dr. Ray S. Wu 不吝提供行程安排指導及熱心協助，以及 IHS Energy 公司 Shady Elkadri 顧問多次信件往返，協助幫忙安排兩天一對一教學課程，此次研習計畫得已順利進行，特此致謝。

伍、參考文獻

1. 黃奇瑜，1999。臺灣附近大地構造與新生代造山時空演化。九二一集集大地震，4-42。
2. 李宗和等，2005。赴加拿大拜訪亞伯達省能源官員並查閱 Surmont 油砂開採計畫資料出國報告。
3. Price, R.A. 1992. Chapter 2 Cordilleran Tectonics and the Evolution of the Western Canada Sedimentary Basin, Alberta Geological Survey.
4. Mossop, G.D. 1992. Chapter 1 Introduction to the Geological Atlas of the Western Canada Sedimentary Basin, Alberta Geological Survey.
5. Wright, G.N., McMechan, M.E., and Potter, D.E.G. 1992. Chapter 3 Structure and Architecture of the Western Canada Sedimentary Basin, Alberta Geological Survey.
6. Oldale, H.S. and Munday, R.J. 1992. Chapter 11 Devonian Beaverhill Lake Group of the Western Canada Sedimentary Basin, Alberta Geological Survey.
7. Edwards, D.E. et al. 1992. Chapter 16 Triassic Strata of the Western Canada Sedimentary Basin, Alberta Geological Survey.
8. Davis, G.A., Monger, J.W.H., and Burchfiel, B.C. 1978. Mesozoic construction of the Cordilleran "collage", central British Columbia to central California. In: Mesozoic paleogeography of the western United States. Pacific Coast Paleogeography Symposium 2. Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 1-32.
9. Monger, J.W.H. and Price, R.A. 1979. Geodynamic evolution of the Canadian Cordillera- progress and problems. Canadian Journal of Earth Sciences, v. 16, p. 770-791.

10. Monger, J.W.H., Price, R.A., and Tempelman-Kluit, D.J. 1982. Tectonic accretion and the origin of the two major metamorphic and plutonic belts in the Canadian Cordillera. *Geology*, v. 10, p. 70-75.
11. Price, R.A., Monger, J.W.H., and Roddick, J.A. 1985. Cordilleran cross-section: Calgary to Vancouver. In: *Field Guides to Geology and Mineral Deposits in the Southern Canadian Cordillera: GSA Cordilleran Section Meeting, Vancouver, B. C., May '85*. D.J. Tempelman-Kluit (ed.). Vancouver, Geological Society of America Cordilleran Section, p. 3-1 - 3-85.

相關網站：

1. 亞伯達省地質調查所(Alberta Geological Survey)網站：
http://www.ags.gov.ab.ca/publications/wcsb_atlas/atlas.html
2. 加拿大石油地質師協會(CSPG, Canadian Society of Petroleum Geologists)網站：
http://www.cspg.org/CSPG/Conferences/Gussow_Conference/Technical_Program/Conferences/Gussow/Technical_Program3.aspx?hkey=45b5cd9d-615b-4ee7-83c0-811f4d3300a3
3. 石油工程師協會(SPE, Society of Petroleum Engineers)網站：
<http://www.spe.org/events/urc/2015/pages/schedule/>

附錄：

一、研習照片記錄



加拿大石油地質師協會(CSPG)2015年研討會於被山脈圍繞的班夫中心舉辦。



研討會特別安排到戶外對班夫的山脈帶作地質構造解說。



與 CSPG 研討會與會人員 Jan Nowicki 合影。



與 CSPG 前主席(現職 Nexen Energy 公司)Dale Leckie 合影。



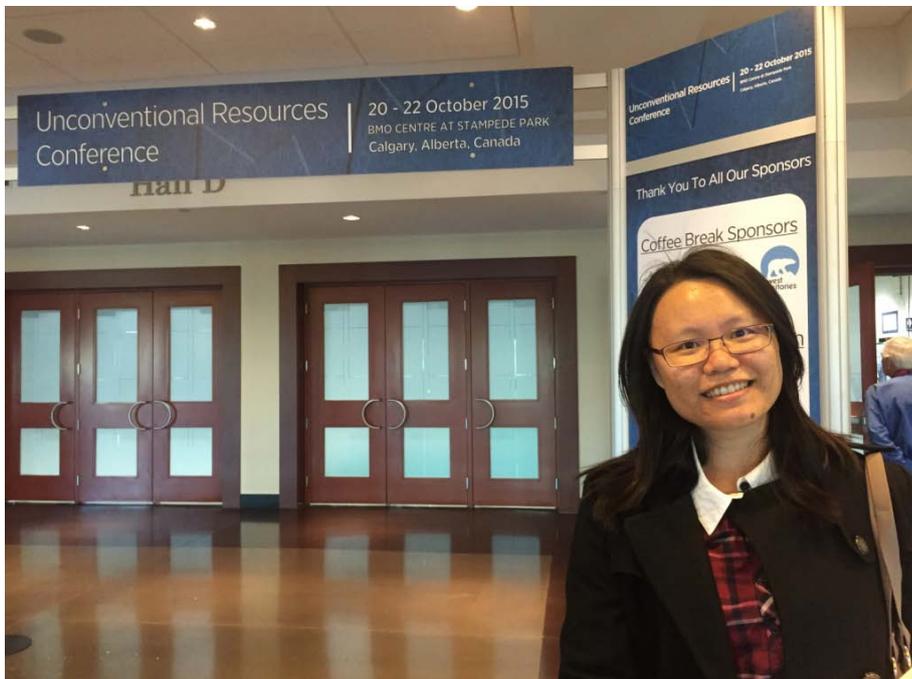
CSPG 研討會第二天舉行晚宴，主席 Rob Galant 一開場特別向與會人員介紹筆者從台灣遠道而來，筆者也向大家介紹台灣及中油公司。



CSPG 研討會贊助單位。



抵達 Husky Energy 石油公司。



抵達石油工程師協會 (SPE) 2015 年研討會會場。



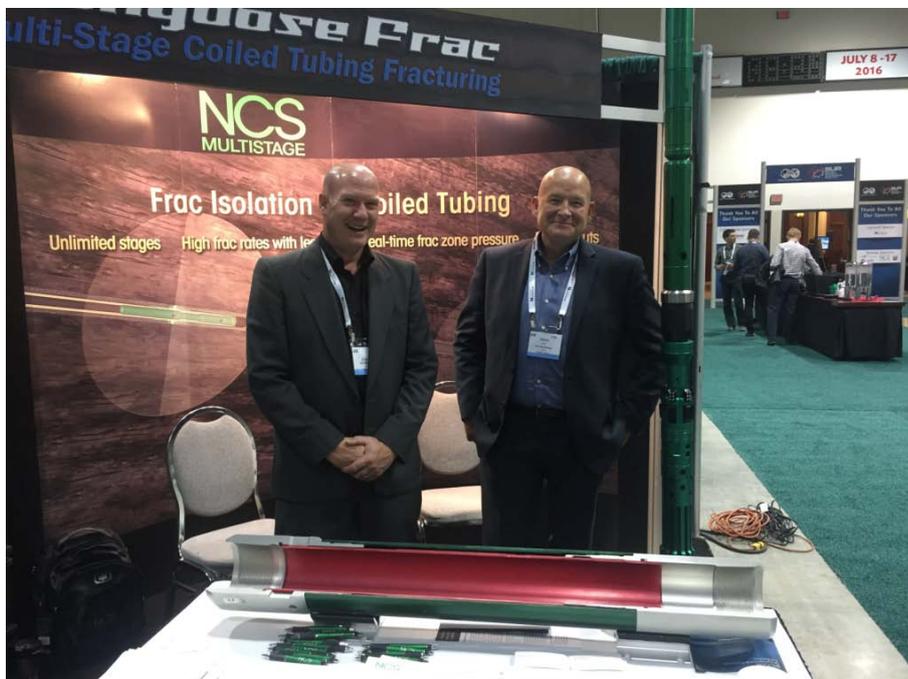
SPE 研討會贊助單位。



第一天早上採專題演講及開放討論的方式，討論全球市場上的競爭。



SPE 研討會參展廠商多為 EOR(Enhanced Oil Recovery)的技術顧問公司。



SPE 研討會展場場商，熱心講解 NCS 公司液裂使用的工具(Multistage Coiled Tubing Fracturing)。

二、加拿大石油地質師協會(CSPG)，細顆粒砂岩研討會議程。

Gussow 2015 Conference - Schedule Of Events		
Tuesday, October 13th, 2015		
10:00am – 12:00pm Conference Registration (Lobby of the Max Bell Building)		
12:00pm – 1:00pm Lunch (Vistas Dining Area)		
Session: The Foundation Rocks & Fluids <i>Co-Chairs: Per Pedersen & JP Zonneveld</i>		
Time	Presentation Name	Speaker
1:00pm - 1:10pm	Opening Remarks	Per Kent Pedersen & Tony Cadrin
1:10pm - 1:35pm	Architecture of a fine grained carbonate play: The Regional Swan Hills Platform in West Central Alberta	Frank Stoakes <i>SCG Consultants</i>
1:35pm - 2:00pm	Regional Controls on, and Characteristics of, the Organic Geochemistry and Paleogeography of the Cretaceous Colorado Group in Western Canada	Dale Leckie <i>University of Calgary</i>
2:00pm - 2:25pm	Stratigraphic architecture of the Montney Formation, Peace district, Alberta and British Columbia	J.P. Zonneveld <i>University of Alberta</i>
2:25pm - 2:35pm	COFFEE BREAK	
2:35pm - 3:00pm	The Montney-Doig fine-grained source-reservoir system – A basin perspective	Tristin Euzen <i>IFP Technologies (Canada) Inc.</i>
3:00pm - 3:25pm	Paleotopographic and depositional environment control on 'sweet spot' locations of siliceous unconventional resource shales: example and analog of the Woodford shale, Oklahoma	Roger M. Slatt <i>University of Oklahoma</i>
3:25pm - 3:50pm	Paleo-environmental interpretations and sequence stratigraphy of the Horn River Group, British Columbia, Canada	Korhan Ayranci <i>University of Alberta</i>
4:00pm – 5:00pm ICEBREAKER RECEPTION (Max Bell Foyer)		
5:30pm – 6:00pm Geology of the Mountain Ranges at the Banff Center Speaker: Paul MacKay, Shale Petroleum		
Posters (Tuesday, Wednesday, Thursday – Max Bell Lobby)		
Abstract	Title	
Stratal Architecture and Facies Distributions of Colorado Group Shales in West-Central Alberta, Canada	Emma Percy <i>University of Calgary</i>	
Facies control on fractures of the Cardium Formation, Southwest Pembina Field, Alberta, Canada	Daniel Hill <i>University of Calgary</i>	
Natural Frature Networks of the Turonian Second White Specks Formation, Highwood River, Southwestern Alberta	Bram A. Komaromi <i>University of Calgary</i>	

Wednesday, October 14th, 2015		
7:00am – 8:00am Breakfast (Vistas Dining Area)		
Building the Play Part I <i>Co-chairs: Paul Mackay, John Duhault</i>		
Time	Presentation Name	Speaker
8:00am - 8:25am	From Petroleum System to the Well: Building Geological Plays for Alberta	Sharleen Overland <i>AGS</i>
8:25am - 8:50am	New Reserves is An Old Field, The Niobrara Resource Play in the Wattenberg Field, Denver Basin, Colorado	Steve Sonnenberg <i>Colorado School of Mines</i>
8:50am - 9:15am	Rock Parameters in a Fine Grained Reservoir; Investigation into the Second White Speckled Shales	Malcolm A. Lamb <i>Shale Petroleum</i>
9:15am - 9:35am	COFFEE BREAK	
9:35am - 10:00am	Current Advances on Basin Models for Petroleum Assessment of Source-Rock Reservoirs	William Sassi <i>IFP Energies nouvelles</i>
10:00am - 10:25am	Stratigraphy or Facies: Which is the More Important Building Block in Exploitation of Unconventional Plays”	Ken Ratcliffe <i>Chemostrat Inc.</i>
10:25am - 10:50am	Application of X-Ray Fluorescence (XRF) Analyses to Rocks from Western Canada	Ron Spencer <i>XRF Solutions</i>
10:50am – 11:15am	Quantifying shale matrix permeability: challenges associated with gas slippage	EA Letham <i>University of British Columbia</i>
11:30am – 1:00pm Lunch (Vistas Dining Area)		
Building the Play Part II <i>Co-chairs: Pat McLellan, David Campagna</i>		
Time	Presentation Name	Speaker
1:00pm - 1:25pm	Myth Busting: Can Geophysics Add Value in Unconventional Resource Plays?	John Duhault <i>Starbird Enterprises</i>
1:25pm - 1:50pm	Microseismic Monitoring and Reservoir Characterization	Dave Eaton <i>University of Calgary</i>
1:50pm - 2:15pm	Improving Completions Design and Efficiency with Microseismic	Paige Mamer <i>Microseismic Inc</i>
2:15pm - 2:35pm	COFFEE BREAK	
2:35pm - 3:00pm	Microdeformation: Combining Direct Fracture Height Measurement with Microseismic Response	Natalia Verkhovtseva <i>Pinnacle</i>
3:00pm - 3:25pm	Hydraulic fracture – Natural fracture interaction in shale reservoirs: controlling factors & implications	William R. Jamison <i>The Upper Crust Inc.</i>
3:25pm - 3:50pm	The Link Between Lithology and Rock Fractures in the Duvernay	Amy Fox <i>Canadian Discovery</i>
3:50pm - 4:15pm	Understanding Induced Fracture Complexity in Different Geological Settings using DFIT Net Fracture Pressure	Dan Potocki <i>EnCana</i>
6:00pm – 8:00pm Formal Dinner (Kinnear Center - Room 205) Speaker: Rafi Tahmazian – Canoe Financial		
Posters (Tuesday, Wednesday, Thursday – Max Bell Lobby)		
Abstract Title		Author
Stratal Architecture and Facies Distributions of Colorado Group Shales in West-Central Alberta, Canada		Emma Percy <i>University of Calgary</i>
Facies control on fractures of the Cardium Formation, Southwest Pembina Field, Alberta, Canada		Daniel Hill <i>University of Calgary</i>
Natural Frature Networks of the Turonian Second White Specks Formation, Highwood River, Southwestern Alberta		Bram A. Komaromi <i>University of Calgary</i>

Thursday, October 15th, 2015		
7:00am – 8:00am		
Breakfast (Vistas Dining Area)		
Evaluating the Concept		
<i>Co-chairs: Sharlene Overland, Chris Clarkson</i>		
Time	Presentation Name	Speaker
8:00am - 8:25am	Screening Unconventional Plays	Dave Campagna <i>Nexen</i>
8:25am - 8:50am	Modelling Risk and Value in Unconventional Plays	Tyler Schlosser <i>GLJ Consultants Ltd</i>
8:50am - 9:15am	Unconventional Resource Project Phases	Bryce Kalynchuk <i>Rose & Associates</i>
9:15am - 9:45am	COFFEE BREAK	
9:45am - 10:10am	Tight Gas, Progression from Resources to Reserves - An Evaluator's Perspective	Mike Verney <i>McDaniels & Associates Consultants</i>
10:10am - 10:35am	Reliable Geophysics for Reserves and Resources	Marian Hanna
10:25am - 10:50am	Alberta's Cardium Oil and the Evolution of Cutoffs and Evaluation Procedures in Response to Horizontal Drilling	Miranda Stoffman <i>GLJ Consultants Ltd.</i>
10:50am – 11:15am	Public Consultation for Infrastructure Projects- What works and what doesn't	Sheila Legget <i>Tower Peak Consulting</i>
11:30am – 1:00pm		
Lunch (Vistas Dining Area)		
Case Studies		
<i>Co-chairs: Dale Leckie, Rob Galant</i>		
Time	Presentation Name	Speaker
1:00pm - 1:25pm	Geological Characterization of the Montney Formation: A Case Study from the Peace River Arch Area, Western Alberta	Patrick Fothergill <i>Schlumberger</i>
1:25pm – 1:50pm	Discovery to Recovery: Alberta's Montney Resource Play – Continued Innovation & Optimization	Glen Nevokshonoff <i>Seven Generations</i>
1:50pm - 2:15pm	COFFEE BREAK	
2:15pm – 2:40pm	Core Analysis of Canadian Tight Oil and Liquid-Rich Gas Reservoirs: Selected Results and Experimental Challenges	Amin Ghanizadeh <i>University of Calgary</i>
2:40pm - 3:05pm	EOR of a tight oil reservoir, Bakken, Viewfield, Saskatchewan	Chris Clarkson <i>University of Calgary</i>
3:05pm – 3:30pm	Closing Remarks	John Duhault
Posters (Tuesday, Wednesday, Thursday – Max Bell Lobby)		
	Abstract Title	Author
	Stratal Architecture and Facies Distributions of Colorado Group Shales in West-Central Alberta, Canada	Emma Percy <i>University of Calgary</i>
	Facies control on fractures of the Cardium Formation, Southwest Pembina Field, Alberta, Canada	Daniel Hill <i>University of Calgary</i>
	Natural Frature Networks of the Turonian Second White Specks Formation, Highwood River, Southwestern Alberta	Bram A. Komaromi <i>University of Calgary</i>