

出國報告（出國類別：開會）

參加 2016 年美國地質學會年會 出國報告

服務機關：台灣中油公司探採研究所

姓名職稱：林殷田 地球化學探勘師

派赴國家：美國

出國期間：105 年 9 月 24 日至 9 月 30 日

報告日期：105 年 10 月 27 日

摘要

GSA 2016 美國地質學會年會於 9 月 24 日至 9 月 28 日在丹佛市的科羅拉多會議中心舉行，為國際上地球科學最重要的會議之一，本會議內容相當廣泛，總共組織了 230 主題、32 個短期課程、35 個野外實地考察，大會收到超過 5000 篇論文，參加人數超過 7000 人。

議程包含許多領域主題，如地層、構造地質、環境地質、水文學、經濟礦床、沈積環境、古氣候、地震、古生物、考古學、有機地球化學、水文地球化學、頁岩氣在環境上的衝擊、地熱及其他非傳統能源等，不一一列舉。本次參加會議的主要目的藉由大型會議的研討，有系統的編排各項議程，各單位能互相觀摩研討，並蒐集地化前端的研究發展及新技術，如水同位素與微量與探勘的相關性等。

由於發表的論文多且領域廣，也因此大會將會議的議程及摘要整合，並提供手機應用程式（app）提供下載使用，讓持有行動裝置及智慧型手機的與會人員，能更有效率的瀏覽及安排自行的會議行程，也達到無紙化節能減碳的目的。

筆者此次與會的重點在 *When Oil and Water Mix: Understanding the Environmental Impacts of Shale Development*（油水混合：頁岩油氣發展對環境的衝擊）。這與筆者現正發展的技術有高度相關。主要述及頁岩油氣的發展現況及後續對環境的衝擊及保護。其他有興趣的主題，筆者也趁此主題的空堂去聆聽學習，如包括有地熱相關研究、地球化學於油氣源系統中的應用、二氧化碳地質封存等。

研習內容非常豐富，除了聆聽各國學者的最新研究動態之外，也結識了許多地科界的專家，覺得受益良多。然而，像這樣的大型國際性學術研討會，已非單一個人與會可以蒐集完整的前端研究方向，職建議在未來公司可派遣一組人員與會，行前透過論文搜尋系統鎖定主要目標，配合個人專長，在會議期間可大量獲得前端研究的資訊，也對提昇我們的研究水準與國際知名度會有更大的幫助。

目次

摘要	1
目次	2
圖目錄	3
一、目的	4
二、過程	5
(一) 出國行程	5
(二) 專題研討會	6
三、心得及建議	22
四、參考文獻	24

圖目錄

圖一、GSA 2016 會場：Colorado Convention Center	6
圖二、大會秩序冊封面	7
圖三、海報論文之場地之入口	8
圖四、對生產頁岩氣的前 8 個州，頁岩氣井的天然氣年總收回量	9
圖五、1990-2040 年美國各類天然氣產量及預測	10
圖六、設計一說服民眾及政府頁岩油氣其開發時對環境的影響說帖	13
圖七、地表水的監測密度及分析數據（以溴離子為例）	14
圖八、地下水的監測密度及分析數據（以溴離子為例）	14
圖九、各單位協力合作所取得之地表水及地下水分析資料	15
圖十、油氣井周遭地下水井導電度監測	16
圖十一、回流水與地下水中主要離子及微量元素濃度	17
圖十二、環境保護署地下水監測井分布圖	20
圖十三、水利署地下水井分布圖	21
圖十四、利用 App 安排研習場次	23

一、目的

本計畫係配合 105 年「石油基金-國內氣田地層水資料庫建立及增產可行性研究」出國計畫之申請案。中油公司陸上氣田礦區經長期生產後，幾乎已達生產末期瀕臨停產階段，然而，有些氣田因為伴產水量過大而關井停產。其中部分氣井因採共串生產，以致無法釐清出水層位，最終導致關井停產，間接喪失非出水層位之產能。若能釐清其出水層位，阻止地層水流入井內，則可使此井再行復產。本研究將建立地層水分析技術，利用水之氫、氧同位素及微量元素分析方法，協助建置國內氣田地層水之第一手資料庫。

未來欲整合油、氣、水資料，利用此資料庫研究各種地化參數之相關性。儲集層地球化學的研究在近年來逐漸被重視，傳統的有機化學多被用來求取碳氫化合物的可能生油岩，區域的成熟度評估、油岩對比及石油資源的評估。儲集層地球化學則被用於瞭解儲集層中流體（油、水及氣）在垂直及側向上的非均質現象，並用於促進生產及油氣層進一步發展。本次出國研討儲集層中油氣、岩石及地層水的交互作用及其影響，以探求此一方向進一步發展的空間及可行性。

本項出國計畫即規劃參與此類世界性地球科學研討會，以研討地化分析、解釋等新技術，提昇本公司油氣田地球化學之技術能力，並希望藉由參加此類技術會議之機會，蒐集資料快速累積經驗與技術，並應用於本公司未來油氣田之探勘作業。

二、過程

(一) 出國行程

9/24 9:50 出發，當地時間 9/24 11:40 抵達會議地區（圖一）。

9/25~9/28 之 4 天行程如下：

9/25 註冊報到、熟悉會場、領取資料，並與各論文發表人相互交流。

9/26

8:00-11:15 : When Oil and Water Mix: Understanding the Environmental Impacts of Shale Development I

13:30-16:30 : When Oil and Water Mix: Understanding the Environmental Impacts of Shale Development II

16:30-17:30 : When Oil and Water Mix: Understanding the Environmental Impacts of Shale Development - Poster sessions

9/27

8:00-11:20 : Geologic Energy Research I

13:30-16:30 : Geologic Energy Research II

16:30-18:30 : Geologic Energy Research - Poster sessions

9/28

8:00-11:00 : Geochemistry II

13:30-17:10 : In-Situ Technologies for Energy Resource Extraction: The Role of Water

9/29 5:30 出發前往機場候機

9/30 22:40 抵達台灣



圖一、GSA 2016 會場：Colorado Convention Center。

(二) 專題研討會

GSA 2016 會議於 9 月 24 日至 9 月 28 日在丹佛市的科羅拉多會議中心舉行，為國際上地球科學最重要的會議之一，本會議內容相當廣泛，總共組織了 230 主題、32 個短期課程、35 個野外實地考察，大會收到超過 5000 篇論文，參加人數超過 7000 人。

此次 GSA 大會共有 38 個主題，每個主題下又有許多子題，內容包羅萬象：包含如地層、構造地質、環境地質、水文學、經濟礦床、沈積環境、古氣候、地震、古生物、考古學、有機地球化學、水文地球化學、頁岩氣在環境上的衝擊、地熱及其他非傳統能源等，職僅能透過摘要選取相關重要的議題進行學習及研討。

大會秩序冊超過 360 頁（封面影本如圖二），為節能減碳並便於搜尋與自訂個人議程，大會提供電子檔與 App，謹檢附大會電子檔網址，以供參考：

<http://community.geosociety.org/gsa2016/attendeeinfo/dates>

由於大會不允許各種形式之記錄（例如：拍照、錄影、錄音等），因此無影音檔及圖檔可以提供。僅能記錄會場及海報論文之場地之入口（圖三）。



ANNUAL MEETING & EXPOSITION PROGRAM



圖二、大會秩序冊封面。



圖三、海報論文之場地之入口。

職參與此次會議的重點，幾乎集中在油水混合：頁岩油氣發展對環境的衝擊（When Oil and Water Mix: Understanding the Environmental Impacts of Shale Development），這個子題由美國頁岩氣的成功，資源量的估算，現今政策的方向，一直談到對環境及人類的衝擊。而亦有相關的研究內容分散在其他的大主題中（如：Geochemistry II 或 In-Situ Technologies for Energy Resource Extraction: The Role of Water），以及利用水化學探討油氣水之間的相關性。因此，職將此次研討心得分述如下：

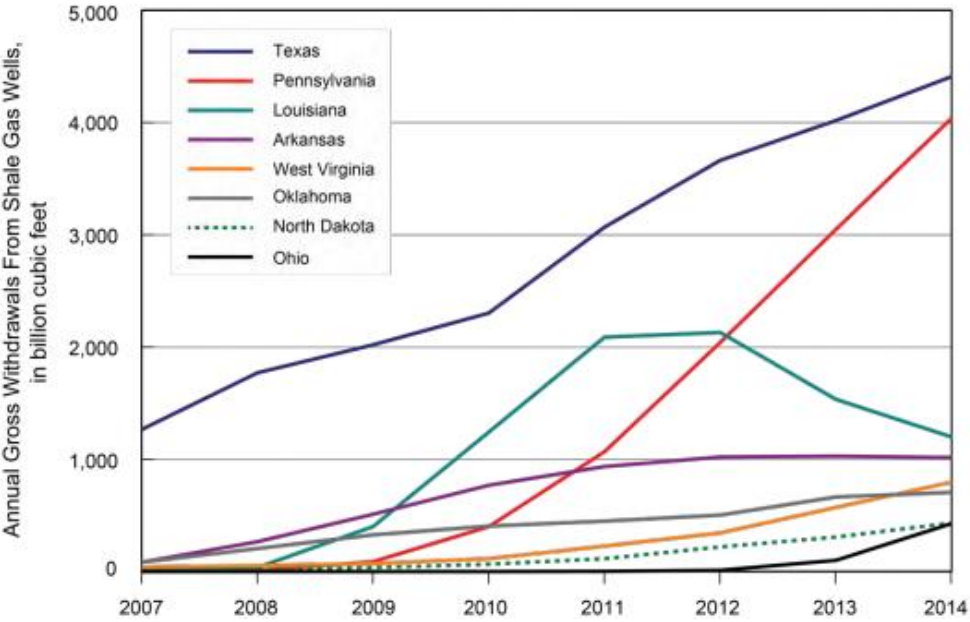
1、頁岩氣發展與環境之相關性

頁岩氣資源的存在，早在幾十年前已為人所知，然而因為處於深層及岩層之低滲透率，而使得頁岩氣的開採過於昂貴，且技術上難以突破，經濟效益不合成本。頁岩氣(油)發展過程中關鍵的里程碑可回溯至 2008 年，美國艾克森美孚（ExxonMobil）石油公司

以 350 億美元併購天然氣公司 XTO Energy Inc.。隨後，其他大石油公司爭先恐後跟進併購，全美許多頁岩氣開發公司因此水漲船高，引發全球開發頁岩氣的熱潮，甚或冠以「頁岩氣革命」之稱，也使得頁岩氣探勘開發技術更上一層樓。其中最有潛力的，包括東北部的馬賽勒斯（Marcellus）頁岩和德州的巴納特（Barnett）頁岩。

液態的頁岩油比頁岩氣不易生產，但也有一些開發十分成功的頁岩油田。例如 2008 年起推動美國西部新的淘（黑）金熱潮的北達科他州巴肯（Bakken）頁岩，如今成為美國除墨西哥灣外最活躍的產油區。

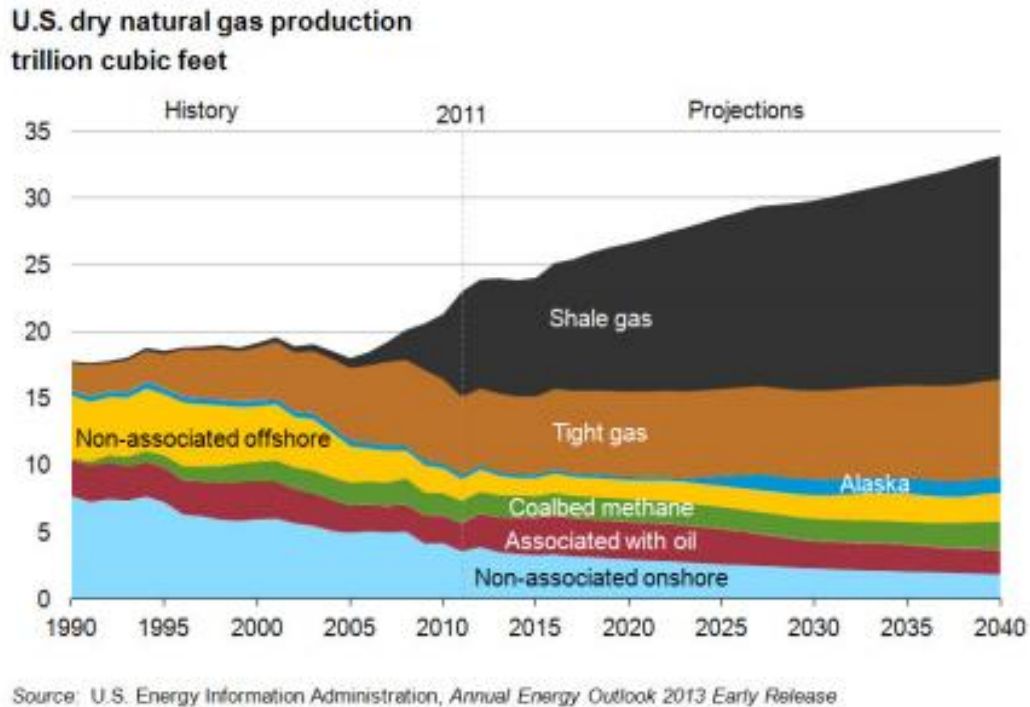
根據美國能源信息管理局 2015 年的資料顯示，因開採技術的進步及頁岩氣探勘的持續投入，美國天然氣產量由 2007 年至 2014 年幾乎都大量成長，特別是賓州及德州(圖四)。



圖四、對生產頁岩氣的前 8 個州，頁岩氣井的天然氣年總收回量（data from U.S. Energy Information Administration, 2015）。

另以比例來看，頁岩氣之生產量在 2011 年佔全國天然氣總生產量之 34%，EIA 預測頁岩氣的重要性將持續提升，預計在 2040 年，頁岩氣產量比重將可達 50%（如圖五

所示)。



圖五、1990-2040 年美國各類天然氣產量及預測。

然而頁岩氣的開發也伴隨著環境保護上的顧慮。反對頁岩氣開採人士列舉出以下三項疑慮。

a. 水力壓裂技術需使用大量淡水

首先在運用水力壓裂解的技術時，必須同時使用大量的水，據估計裂解一口氣井所需的總水量通常是 1,000~9,000 萬公升的水。對於部分國家或地區而言，因為開採頁岩氣而顯著地使用水，將會對水資源的可用性，甚至對於水生動植物的棲息都造成不良的影響。以賓州為例，水來源有 65% 來自河、溪流及湖泊，剩下的 35% 係向地方政府購買。水注入地下後除了回流外其他將存留在地下，所以在缺水的地區會不會排擠到其他用水是一個考量。賓州採頁岩氣業者在 2011 年的用水量，是全州每日用水（9.5 兆公升）之 0.05~0.08% 之間，若換到乾燥的內華達州，此數字升至 0.17~0.27%，所以對缺水地區的衝擊較大。在缺水地區只能儘量少用水以及將回流之水再利用，研究如何將用水減量也

是當務之急。

b. 水力壓裂技術將污染地下水或引發瓦斯外洩

其次在水力壓裂技術操作時，除水之外還打入潤滑劑（減少阻力）、抗蝕劑（保護機具）及抗生物劑（防止生物在機具內滋生），總量少於 1%。量雖然少，但這些化學物品還是有可能污染土地和地下水源。化學液體為潛在的危險物質，若不能謹慎處理，將透過濺出、洩漏、毀壞的氣井、或其他的途徑，污染了周遭的環境。有頁岩氣開發公司估計所使用的化學之壓裂液體，約有 75% 會留在井裡，的確有可能造成地下水的污染。第三方面則是頁岩頁的開採，通常也伴隨產生大量的污水，這些廢水都是應該要加以再處理或回收使用的。美國最近對於如何處理井中的水力壓裂液體有些疑慮，使用後的殘留甚至會有少量重金屬與天然放射性原料，對於直接將液體暫時儲放在開放的煤坑更是令人擔憂，萬一煤坑因豪雨溢流，可能損害當地環境。另外的疑慮是鑽的孔洞可能穿過或接近地下水源（離地表約 30 公尺），目前業者至少使用二到三層鋼管套在一起，鋼管之間灌水泥來增加強度，防止鋼管破裂及氣體滲出。

而且，根據美國地質調查所的報告，水力壓裂常撐出幾百公尺的裂縫及頁岩氣釋出時氣化產生的壓力，都可能引發微地震。雖然業者宣稱這些地震強度並沒有安全的顧慮，但是仍會對部分被注入深井的廢水儲存處造成損壞，進而影響到周遭的環境。亦有文獻指出廢水注入深部地層後有可能引發較大的地震。例如經哥倫比亞大學等地震學家研究，於 2013 年《地質》期刊指出，2011 年美國俄亥俄州規模 4 的地震，以及奧克拉荷馬州規模 5.7 的地震與開發頁岩氣的廢水注入深部地層儲存有關。可能原因是該地附近斷層的孔隙水壓增加後，降低了原來施於斷層面的應力，因此改變斷層面的摩擦力。美國在工業廢水及傳統油田廢水處理上累積很多實際經驗，技術上安全無慮。然而，大量的廢水注入而破壞地質的穩定是前所未有的經驗，難以預料它的後遺症。因此美國國家科學院已開始關注開發頁岩氣與地震的關聯。

c. 回流水（Flowback Water，經過水力壓裂後回到地面上的水）帶來的環境污染

水力壓裂的水約有 10~30% 會隨抽出之氣體返回地面，業者稱之為「回流水」。就環境限制的觀點來看，要將乾淨的水源引進高黏壓裂液裡使用有其限制，目前的處理方法

一般是由附近鑿井再把廢水注入，儲存在遠離地下水的深部地層，或由水車運到廢水處理廠。另外，在缺水地區的最佳選項是廢水經處理後回收，但經濟效益是個重要考量。

而在回流水回收與廢水處理過程中，瞭解到壓裂液不必總是使用乾淨的水。回流水可繼續用於鄰近頁岩氣開採水力壓裂時使用。因此，馬賽勒斯 (Marcellus) 頁岩氣礦區，特別規定「必須確實執行廢水與回流水的回收處理作業」。起因是賓州的环境保護局在 2011 年 4 月所發出的通知單：「賓州 15 座水處理設施中止處理馬賽勒斯的廢水與回流水」。儘管礦區所使用的壓裂液有三分之二回收使用，賓夕法尼亞州仍然禁止將處理過的廢水任意排放至河川。

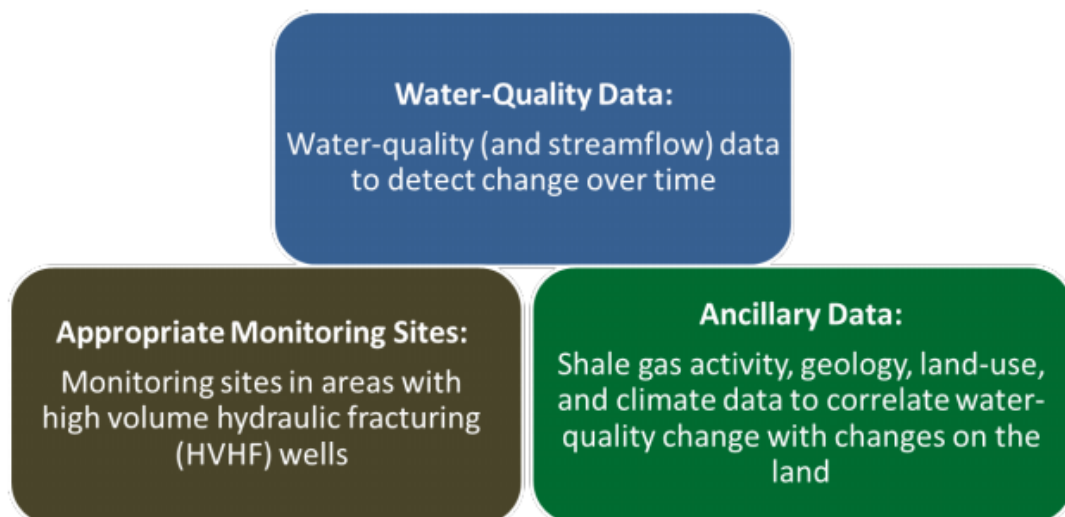
2、因應之道

進行天然氣探勘與生產作業時，原本就潛藏污染淺部的含水層與地表水源的風險。若是在乾旱時節進行作業，也不容易確保鑽井與水力壓裂過程所需的用水。為了降低風險，必須遵守各項規定與檢查，並且與相關機構（美國環保署）、美國議會、產天然氣的州政府聯繫協調。以賓州為例，賓州的环境保護局要求礦區必須公開井坑位置、周邊自治團體、天然氣的生產開發業者及工作人員等相關資訊。而紐約州則制定了暫緩開採新井的規定，期間從 2010 年 8 月至 2011 年 7 月為止，後來又延緩到 2012 年 6 月 1 日。諸如此類，唯有通過各項手續，才能開採頁岩裡的天然氣。話雖如此，仍然很難將污染淺部含水層與地表水源的風險降至零。

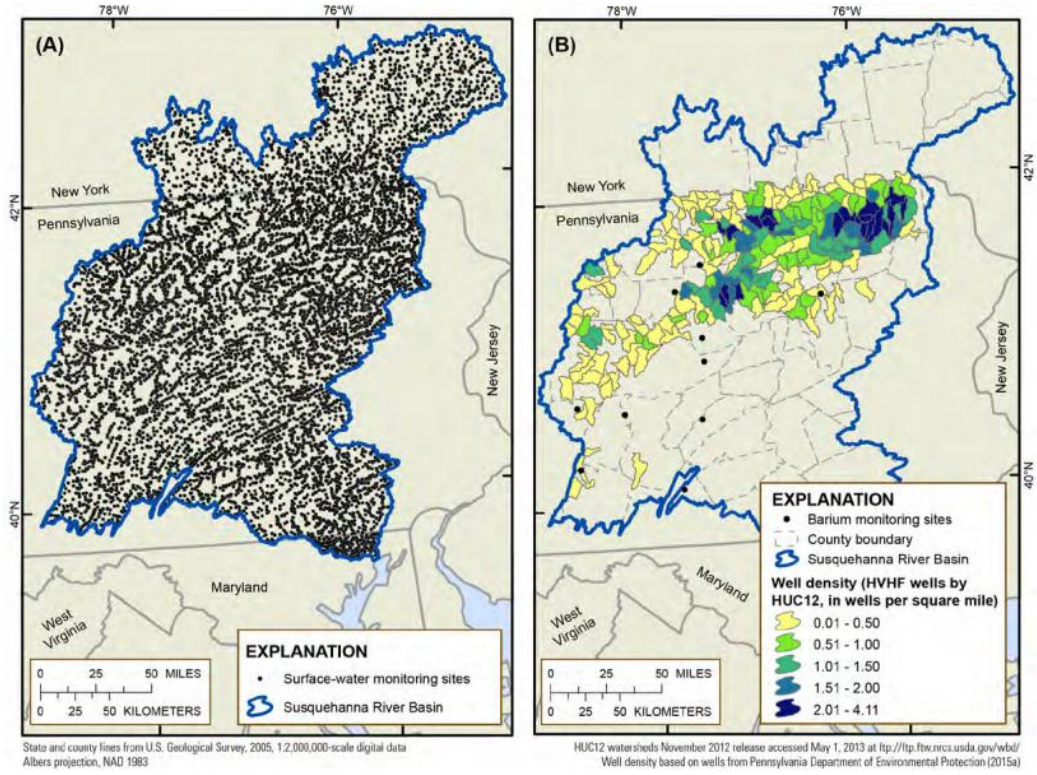
零星事件仍有發生，在路州 Shreveport 一家牧場的乳牛，喝了回流的水而暴斃；在紐約州靠近鑽井附近的住家，打開連通地下水的水龍頭後有氣體噴出，而且點火可燃。居民將事發原因歸咎於頁岩氣井，最可能是甲烷溢出。但業者極力否認，表示若是有也是意外，也就是非普遍也非長久的現象，鑽取頁岩氣的技術及各項措施本身是安全的。儘管零星的外洩事件與地下水污染案例並不會直接影響到供水系統，卻有可能因為水力壓裂技術的關係，降低社會大眾對頁岩氣開發的接受程度。因此要如何另社會大眾更能接受，便是政府與業者需要共同努力的，在本次的會議裡，即呈現出這樣的成果。由於資料繁多，職將其研究方法舉例說明，並學習其成功經驗，於後提出台灣可行之道。大抵為在不同區域，頁岩氣開發前、中、後做地下環境的普查，並將分析資料互相比較，

來說服民眾及政府其開發時的安全性（圖六）。其事前工作是很重要的，例如地表水的監測、分析及地下水井的設置位置及密度（圖七；圖八）。而這些資料的取得及分析是不可能單靠油公司、學術機構或政府單位可獨力完成的。因此彼此的溝通協調，資料整合，以及分析資料結果的解讀都是需要協力合作的（圖九）。

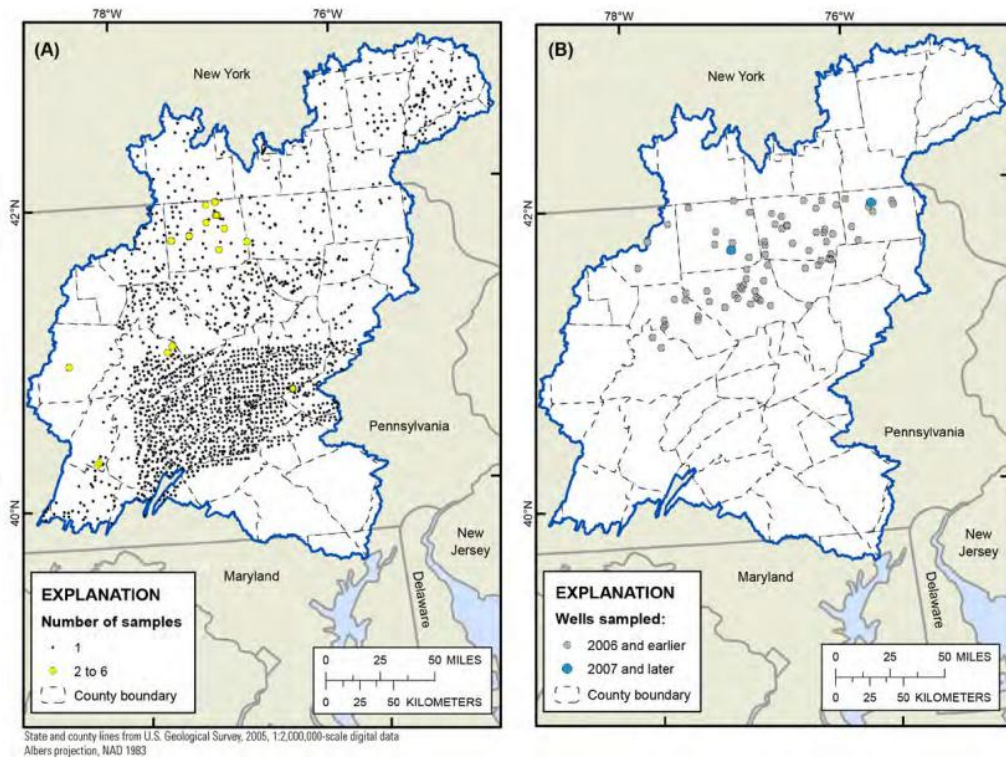
基本上，基礎資料的取得及地化分析是最基本的工作，例如量測地下水中的導電度（圖十；在油氣井周遭地下水井、中放置儀器，隨時監測，長期收取資料）、分析水中主要離子、微量元素、穩定同位素組成及放射性同位素活度變化，藉以監測是否有天然氣或液裂液藉由裂隙、管壁等等洩漏至近地表或飲用地下水層（圖十一）。



圖六、設計一說服民眾及政府頁岩油氣其開發時對環境的影響說帖。

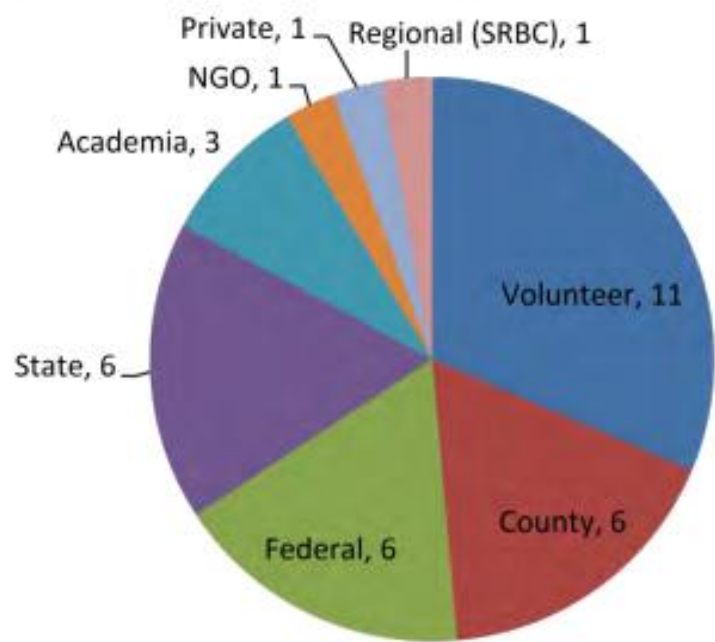


圖七、地表水的監測密度及分析數據（以溴離子為例）。

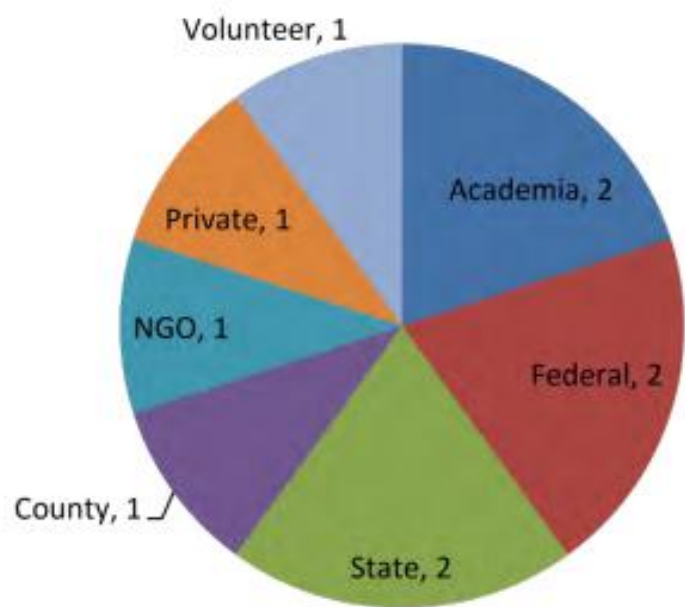


圖八、地下水的監測密度及分析數據（以溴離子為例）。

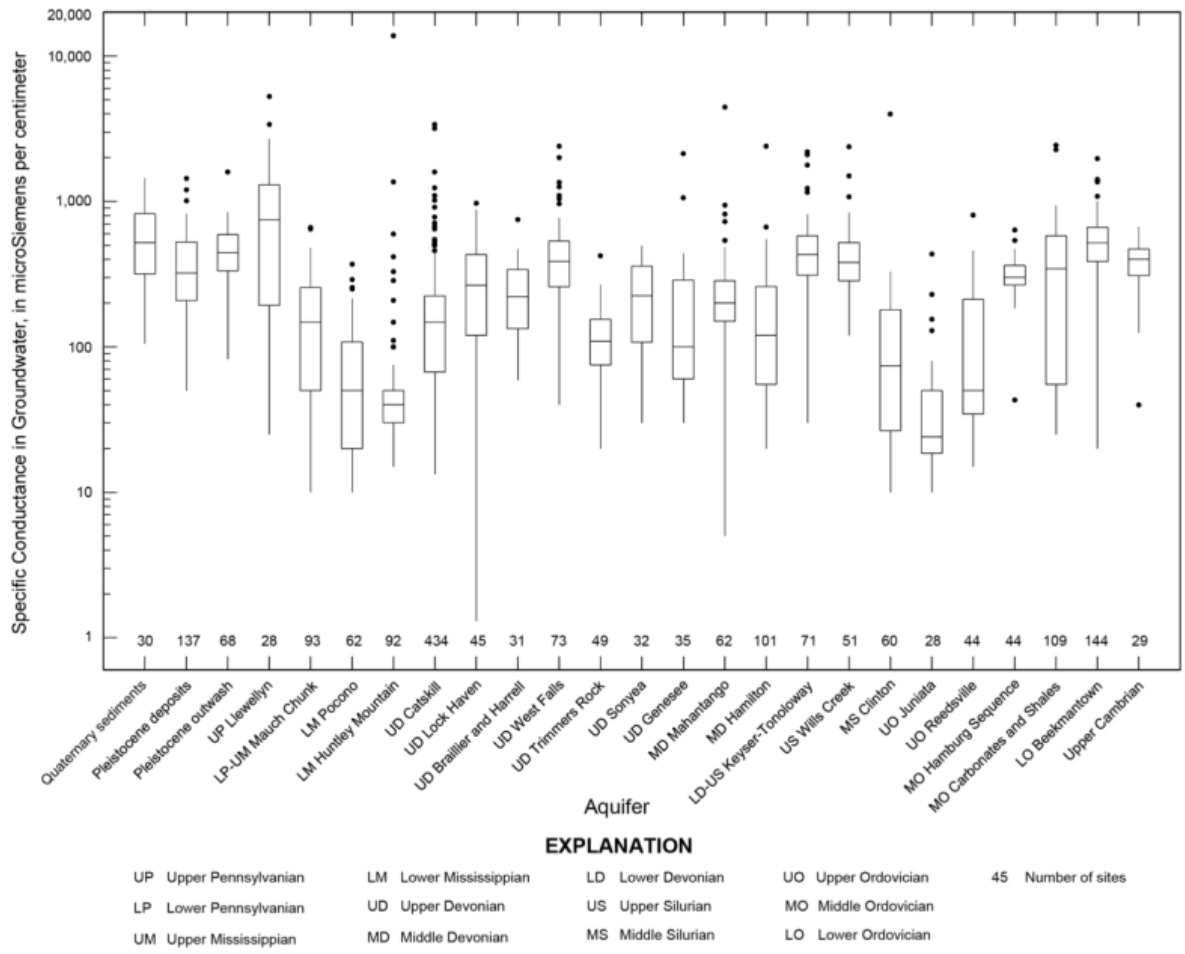
(A) Surface water organizations (n=35)



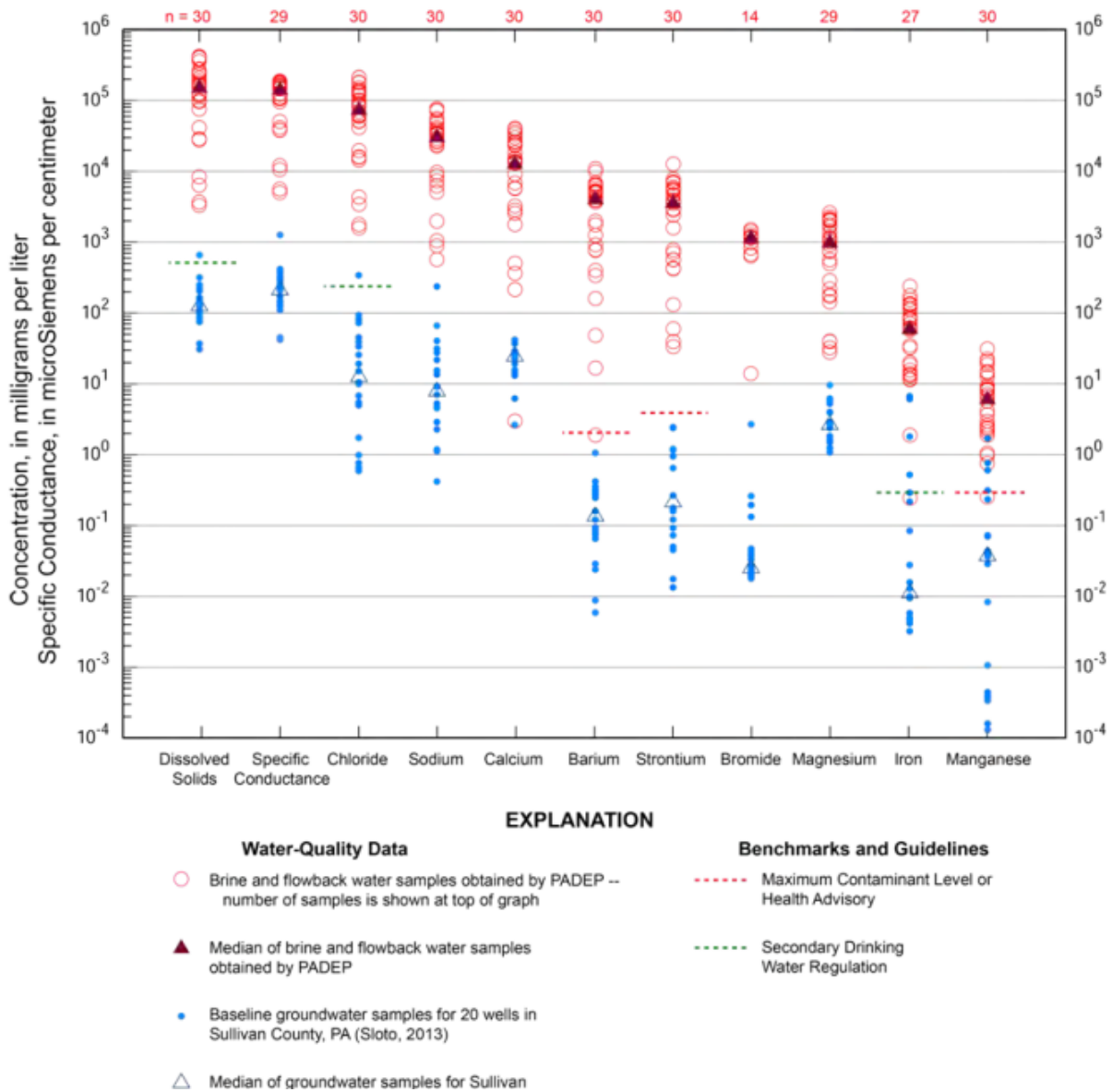
(B) Groundwater organizations (n=10)



圖九、各單位協力合作所取得之地表水及地下水分析資料（賓州 Susquehanna 盆地資料為例）。



圖十、油氣井周遭地下水井導電度監測。



圖十一、回流水與地下水中主要離子及微量元素濃度。

3、如何應用於台灣

2013 年工業研究院邀請了學者、美國化工業者、中油、台電及工研院人員，一起為頁岩氣的崛起出謀劃策，而開了個座談會。與會人士一致認為如果頁岩氣生產國（如美國）增加，原輸出國（如加拿大）必須另謀出路，尋找新主顧，將來我國的天然氣進口國選項也將增加，是一大利多。因此國內目前使用的能源設備也必須配合，迎接這個新時代。這是以能源進口的方向著眼，若是想增加自有能源，頁岩氣存量豐富，幾乎到處

都有，燃燒比石化燃料乾淨，所以是非常具潛力的世界新能源。事實上，台灣西南部許多泥岩層或是台灣西北部的頁岩層都尚有潛力，也是可以考慮開發的選項之一。

現階段，還沒投入在台灣本土頁岩氣的實質開發，但設想若有朝一日政策或內需因素，投入開發，則除了開發技術的門檻之外，最重要的便是環境議題了，從地質的觀點來說，氣體或化學劑漏逸進入地下淡水層（小於 300 米）的機率低，最可能的汙染是來自接近地面的井管壁因施工不良或腐蝕造成的逸漏。因此如何防止在頁岩氣井的生產期時油氣井管的腐蝕，是另一挑戰。

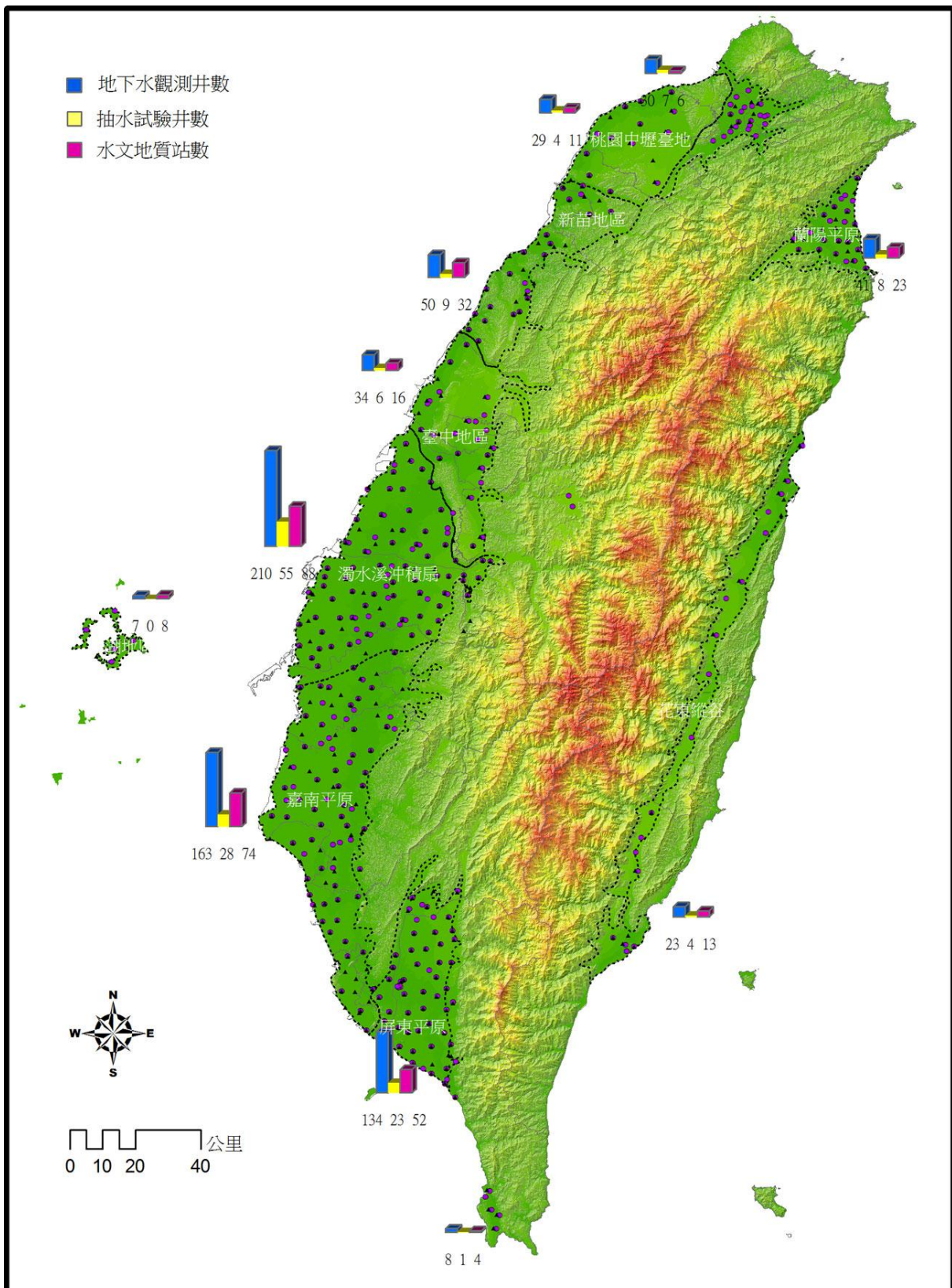
美國能源部前部長朱棣文曾說「我們需要開發它，但我們也需要在對環境負責的前提下開發」。人類對自然環境的保護是能源發展的重要前提，萬萬輕忽不得。開發頁岩氣對生態環境的衝擊也因地而異，接近都會區與偏遠地區不可相提並論。

無論如何，事先做好準備，是開發方責無旁貸的責任。如上節所述，在開發前、中、後要如何說服民眾，使民眾安心，基礎資料是一切的根本。這與職現階段的工作及和職此次石油基金「國內氣田地層水資料庫建立及增產可行性研究」有高度相關-基礎資料的建置。沒有資料可供比對，要如何說服他人，甚或做好控管，在開發期間不影響環境，又可汲取能源，是相當重要的課題。現階段，職已完成了階段性任務，除了將本公司現有油氣井的地層水做好分析及地質分層工作並將過去油、氣資料一併整合，除了可討論就有氣井之出水和增產問題外，這對未來開發頁岩氣時的水質監控有莫大助益。

另外，如美國經驗所示，資料點要夠多，要能在油氣井附近，可供對照。然而，單憑一公司之力，是無法面面俱到，所需花費的精力、人力、財力也都過於龐大。如何解決這個問題，當然是我們該思考的。職所想到的，除了本公司可控因素，意即本公司擁有的氣井資料需要建置外，產、官、學需一併整合。產業界方面，有最多地下水井的產業應該是台糖公司，過去有許多的地下水淺井及資料可供使用；亦有許多的民用、農用井可相互合作。官方面，除了環保署地下水監測井（圖十二），最完整的要屬於水利署建置的全台灣地下水觀測網。水利署（含中央地質調查所），於全省共建置了 349 個觀測站（729 口），而抽水試驗井 67 站（145 口），及水質地質站 327 站，加總起來有 1201 口井（圖十三）並且水利署亦有地表水的監測站，基礎資料完整而充足。而學界則是利

用這些地表水監測站及地下水井的樣品分析了比較特殊組成，例如穩定同位素組成及放射性同位素活度變化。

並不是每個地區都值得開發，應視該地區是否有完善的天然氣基礎設施以及生態環境控管能力而定。換言之，頁岩氣的開發必須在生產層深遠離地下水層或生活水源，但又接近有工業用水的地區，而且不與其他用途爭水，並有適當安全的廢水注入地層，而非有蘊藏量就可開採。開發操作上是否確實遵循法規，以及意外發生時如何做危機處理以降低衝擊是重要關鍵。但能學習國外經驗並整合這些資料，我們即是做好準備，隨時可以因應挑戰的到來。



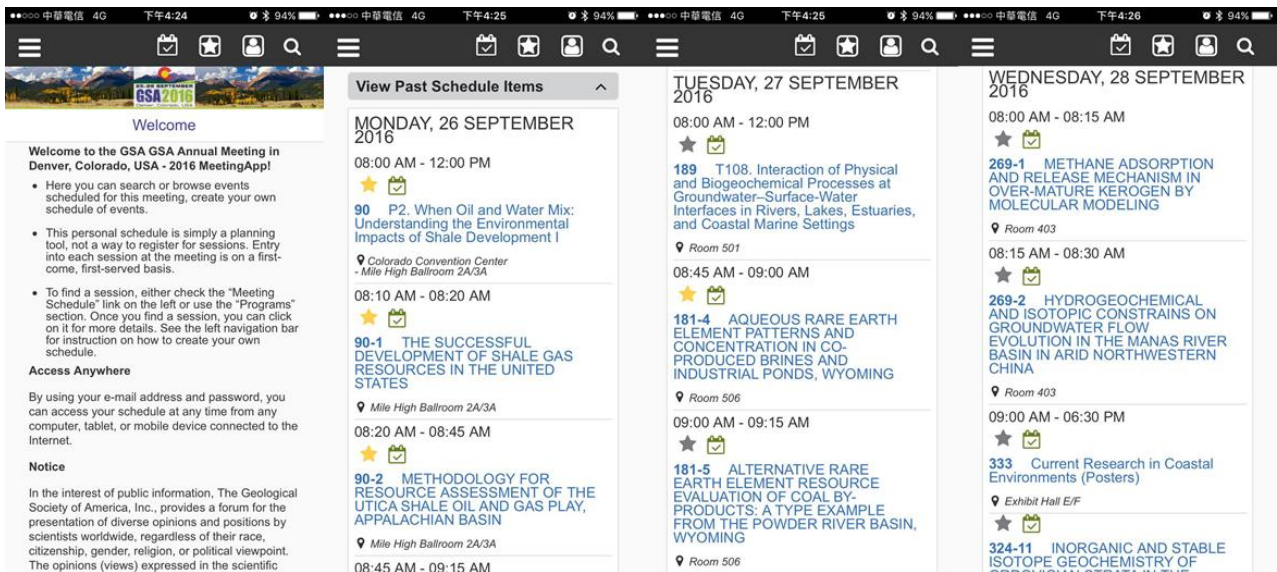
圖十三、水利署地下水井分布圖。

三、心得及建議

職很榮幸能代表中油探採研究所參加 2016 年美國地質學會年會，內容非常豐富，除了聆聽各國學者的最新研究動態之外，也結識了許多地科界的專家，覺得受益良多。然而，像這樣的大型國際性學術研討會，已非單一個人與會可以蒐集完整的前端研究方向，職建議在未來公司可派遣一小組人員與會，行前透過論文搜尋系統鎖定主要目標，配合個人專長，在會議期間可大量獲得前端研究的資訊，也對提昇我們的研究水準與國際知名度會有更大的幫助。

此次參與，最自豪的莫過於在研究的方向及想法上和國際的大油公司以及一級學術單位一致，且已有成果。這樣新穎的方向，在國內可能都無法得到太多的掌聲與支持。可惜的是，投入的人力太少，即使起步得早，未來要超英趕美，可能不太容易。即使在研究過程中受到不少阻力及質疑，但職秉持實務與研究不能偏廢的精神，繼續積極向前。現今所做之事，對於要立即達成目標以獲利為導向的目標，雖不能立竿見影，但思考未來方向，並做好準備仍是職認為研究所方面需要盡的一份心力。而不是全部人力投入單一方向，若政策轉向時，落入來不及因應，或沒有資料可用的窘境。另外，建置這些資料，並非只能用於探勘，眼光若再放遠，還可協助並應用於公司其他事業部。例如加油站（油銷部）、煉油廠等等地下水油污入滲擴散的範圍走向，防堵是否成功，均可藉由基礎資料與污染後、整治後做一比較，協助解決問題等。

此外，近來參與的國際會議從會前的通知、註冊、繳費幾乎採用全電子化模式，也有手機的 App 提供下載，並提供最新的訊息。而會議摘要也是線上下載，可以直接用手機（或筆電）讀取論文摘要，選擇需要的議程參與，可事先安排想要聆聽的場次，由 App 提醒與會者，真正達到節能減碳，且可以更精準地控制本身的行程。國內許多研討會仍然沒有進入到電子化，這是值得學習得方向（圖十四）。



圖十四、利用 App 安排研習場次。

四、參考文獻

1. Betanzo, E. A., E. R. Hagen, J. T. Wilson, K. H. Reckhow, L. Hayes, D. M. Argue, and A. A. Cangelosi, 2016, Water data to answer urgent water policy questions: Monitoring design, available data and filling data gaps for determining whether shale gas development activities contaminate surface water or groundwater in the Susquehanna River Basin, Northeast-Midwest Institute Report, p. 238.
2. 甘魯生，“全球新能源的展望—頁岩氣”，科學月刊，2014年3月27日。
3. 地下水觀測網 <http://140.112.190.183/gwater/>。
4. 黃武良、劉淑蓉，“巧奪下一代資源的科學—頁岩氣的開發”，科學發展，2015年6月第510期。
5. 駐美代表處 趙衛武副組長，“美國頁岩氣開發之過去、現在與未來展望”，2013年3月6日，http://www.aec.gov.tw/webpage/info/files/index_04_3-18.pdf。