

出國報告（出國類別：其他(出席國際會議)）

出席「2012 歐洲地質聯合會議」

服務機關：經濟部中央地質調查所

姓名職稱：陳松春／技士

派赴國家：奧地利維也納

出國期間：101 年 4 月 21 日至 4 月 28 日

報告日期：101 年 5 月 23 日

目錄

目錄.....	1
表目錄.....	1
圖目錄.....	1
摘要.....	3
壹、目的.....	4
貳、行程.....	5
參、過程.....	6
肆、心得與建議.....	18

表目錄

表 1 出國計畫行程表.....	5
表 2 德國 SUGAR 第二期計畫(2011~2014)分項計畫內容.....	10
表 3 德國 SUGAR 第二期計畫(2011~2014)國際合作規劃... ..	11

圖目錄

圖 1 德國 SUGAR 計畫規劃圖，利用開發天然氣水合物時將二氧化碳注入海底封存.....	12
圖 2 利用多音束水深探測之高頻及氣泡偵測器(AOD)，來偵測氣泡及噴氣柱，尋找天然氣水合物賦存區.....	12
圖 3 利用高解析之底拖震測設備探測天然氣水合物.....	13
圖 4 利用控源電磁探測(CSEM)探測天然氣水合物.....	13
圖 5 德國自行研發之鑽探設備(MeBo)，可施作水深約 2,000 m，可鑽深約 50 m.....	14
圖 6 地熱發電之示意圖。將冷水注入，將蒸氣或熱水回收，驅動發電設備.....	16
圖 7 瑞士 Basel 地熱田的地質構造環境。是由正斷層造成之地塹環境.....	17
圖 8 瑞士 Basel 地熱田誘發地震之震央及規模分布圖.....	17

附錄目錄

附錄 1 發表研究成果摘要.....	20
--------------------	----

摘要

本出國計畫係執行核定之 101 年出國計畫，出席「2012 歐洲地質聯合會議」及發表天然氣水合物調查研究成果 1 篇。另同行之國內天然氣水合物研究團隊發表 3 篇調查研究成果。

2012 歐洲地質聯合會議關於天然氣水合物之研究主題大部份著重在極地區域，因全球暖化效應，造成極地區域之天然氣水合物解離，甚至原本封存於深部地層之甲烷氣也造成解離釋放出，甲烷氣的重要溫室氣體之一，它的溫室效應是同量二氧化碳在 100 年效應之 25 倍，大量甲烷氣逸散到大氣中更加劇全球暖化，人類必須有所自覺，一旦環境造成大異動，將影響全球之生物鏈，甚至危及人類之生存環境。另外加拿大對於天然氣水合物之研究，已發展到使用海底電纜方式直接觀測天然氣水合物之生長變化、海床自養性群落之改變、以及海床相關物理性質之變化等，期望更進一步瞭解天然氣水合物之特性。

「地熱」是項潔淨的大自然資源，是全球相當重要之研究議題，開發地熱資源，可提供發電廠所需之熱能、民生及日常所需之熱源。歐洲對地熱資源之開發利用已將近有 10 年之歷史，然而近幾年之研究，因注水而誘發許多之地震，目前偵測到誘發之地震最大之規模約 3.7，引起相當大之關注，造成居民之恐慌，甚至部分地熱田被迫停止運轉，例如全球著名的瑞士「Basel」地熱田，另外如法國之 Soultz-sous-forêt 及薩爾瓦多(El Salvador)之柏林(Berlín)地熱田也因誘發之地震逐漸增加，而可能面臨暫停運轉之處境。

壹、目的

經濟部中央地質調查所自 93 起開始規劃執行天然氣水合物的調查研究，至今已有 8 年餘，相較於國際上，國內天然氣水合物的調查研究較先進國家起步晚了至少 10 年以上，但在國內研究團隊的共同努力下，已累積有相當豐碩的成果，然而各項探測技術、設備及經驗仍不足，因此必須要了解國際上天然氣水合物調查的最新進展，及相關探測技術，藉由汲取國際上之探測技術及經驗，以提升國內之探測技術能力，趕上國際之探測腳步。

歐洲地質聯合會議(European Geosciences Union, EGU)每年舉辦一次，它的規模在國際上僅次於美國地球物理聯合會議(American Geophysical Union, AGU)，是歐洲相當重要的地質科學研究之交流平台。本次出席此國際研討會議，除了發表國內天然氣水合物的調查成果，和國際學者進行技術及經驗之交流，另外就是要了解國際上天然氣水合物之調查進展，以及相關之探測技術與經驗，提供國內後續天然氣水合物調查研究之規劃參考。

貳、行程

本出國計畫行程為 101 年 4 月 21 日至 4 月 28 日，行程表如下表所示。

表 1 出國計畫行程表

日期	地點	行程內容	備註
4 月 21 日(星期六)	桃園機場至奧地利維也納	去程	台北時間
4 月 22 日(星期日)	桃園機場至奧地利維也納	去程及研討會議報到	維也納時間
4 月 23 日(星期一)	維也納	研討會議	
4 月 24 日(星期二)	維也納	研討會議	
4 月 25 日(星期三)	維也納	研討會議	
4 月 26 日(星期四)	維也納	研討會議	
4 月 27 日(星期五)	維也納， 奧地利至桃園機場	研討會議及 回程	維也納時間
4 月 28 日(星期六)	奧地利維也納 至桃園機場	回程	台北時間

參、過程

本次參加「2012 歐洲地質聯合會議」過程分為發表國內天然氣水合物調查研究成果及參加研討會等 2 部分，參加研討會部份則擇選有關天然氣水合物調查及開發地熱資源誘發地震調查研究之主題。

3.1 發表國內天然氣水合物調查研究

在研討會中以海報方式發表「台灣西南海域活躍泥火山及天然氣水合物賦存潛能(Active mud volcanoes and potential gas hydrate in the near shore of SW Taiwan)」(摘要如附錄 1)，於海報發表時間進行成果口頭報告，也和許多國家交換及分享調查成果與經驗，其中德國之相關學者對台灣的調查研究最感興趣，有多方之交流，因為在國內能源國家型計畫中，德國將與台灣進行國際合作計畫，預計今年 9 月將德國的 AUV 設備會運抵台灣，使用國內海研五號在台灣西南海域進行天然氣水合物探測，另外 2013 年德國太陽號也將來台進行三維震測(P-cable)及海底電阻探測(CSEM)等。

另外，國內天然氣水合物計畫團隊台大海洋研究所劉家瑄也在會議中口頭發表研究成果「Development of an Intra-Slope Basin Offshore Southwestern Taiwan」(摘要如附錄 1)、台大海研所碩士班學生倪錦江及地質科學研究所博士班學生陳麗雯分別以海報發表成果「Sedimentary Processes of a Slope Ridge on the Northern South China Sea Continental Slope」及「Two Dimensional Fluid Flow Models Offshore Southwestern Taiwan」(摘要如附錄 1)。

3.2 國際天然氣水合物調查研究成果

今年在歐洲地質聯合會議發表相關天然氣水合物調查研究，重點為因全球氣候暖化造成在極地區域之天然氣水合物解離，其它如東黑海噴氣構造和天然氣水合物之關係、韓國天然氣水合物之調查成果，

另外值得注意的是加拿大已開始進行在天然氣水合物賦存區進行海底電纜之即時觀測，了解天然氣水合物之生長及海床變化特性。德國進行開採天然氣水合物後將二氧化碳封存海底的 SUGAR 計畫，仍受到相當矚目。整體而言在歐洲國家之天然氣水合物調查偏重於環境之議題，以下將較受矚目之調查研究成果概述如下：

在極地史瓦巴爾(Svalbard)西部海域受到逐漸增溫的大西洋洋流水的影響，造成天然氣水合物解離，有相當大量之噴氣柱，這些都和全球緩化效應有關。在水深約 240 m 處發現有許多噴氣柱，平均高度約 100 m 高，部份噴氣柱更直達海平面，氣泡上升之速率相當快約 45 cm/s，後續將繼續監測調查，量測甲烷氣之逸出量，了解對全球暖化效應之影響。另外針對海水之甲烷濃度分析，發現有時會增加 5-100 nM，偶爾會增加高達大於 100 Nm，甚至在大氣中會增加約 8 ppm，這增加甲烷濃度之原因，可能是因甲烷噴氣柱或是逐漸解凍之冷凍原釋放出有機質之甲烷氣，但值得注意的目前極區的暖化效應可能正加速這些原封存在海底之甲烷氣釋出大大氣中，目前可是正值主要變化階段。這些海水甲烷氣之濃度變化，會受到潮汐、內波(internal wave)及洋流之影響，而內波有可能是將海水中之甲烷氣轉換散出至大氣中之主要媒介。

東西伯利亞北極陸棚是全世界最大的碳氫化合物的儲存地，包含天然氣、甲烷煤層及淺層天然氣水合物。原本這些甲烷氣均被封存在海底下，然而暖化效應，已造成原本冰凍的沉積物，已不再是冰凍狀態，最近在海水溫度-0.6~-1.3 °C 的海床鑽取一支 53 公尺的岩心，發現沉積物已不再是冰凍，這些解凍的沉積物將會是甲烷氣從海底逸出的重要通道，目前已有發現許多噴氣柱構造，顯示有大量甲烷氣從海底逸散出來，經分析這些甲烷氣有來自現代的生物氣、天然氣水合物解離的老生物氣，以及來自深部地層之熱成熟氣體(Thermogenic gas)。這些噴氣柱之噴發都是呈間歇性噴發，未來將估算這些逸出來

的甲烷氣的量，評估對大氣環境的影響，了解原本冷凍原逐漸解凍時之相關變化及對環境之衝擊。

在東黑海發現超過 500 處的噴氣柱，幾乎大部份均位於天然氣水合物賦存深度 700 m 以上，顯示應該是天然氣水合物底部之游離氣向淺水處移棲，在海床噴發出來。但在水深 890 m 也發現噴氣柱，經研究該處有高熱流異常，使得天然氣水合物從正常的厚度 150 m，變淺為僅數公尺厚，造成近表層天然氣水合物生成，並將沉積物上拱成天然氣水合物隆堆，底部之游離氣，部份逃離海床，形成噴氣柱，部份則在隆堆側邊形成天然氣水合物，增長隆堆規模。初估甲烷氣之逸出通量約 $2.2 - 87 \times 10^6$ mol/yr，另 1 處最高之噴氣柱約 350 m，研究發現甲烷氣僅溶於海水中，並未逸散至大氣中。

加拿大天然氣水合物賦存海底電纜觀測系統，由加拿大的 NEPTUNE (North-East Pacific Time-series Undersea Networked Experiments)負責執行，NETPTUNE 是隸屬於加拿大維多利亞大學 (University of Victoria)之加拿大海洋網路(Ocean Networks Canada)計畫項下。目前在北 Cascadia 已完成 2 年的觀測，有 2 處觀測點，分別在 Barkley Hydrates (Barkley 峽谷附近)，另一處是在鑽探井位 ODP 889。觀測系統含有 CTD、流速儀、海底電阻探測系統(CSEM)及偵測甲烷氣泡之聲納設備等。另還有可自走式觀測設備，配備有甲烷偵測器、沉積物取樣設備、攝影及照相設備等。目前有觀測到氣泡柱、天然氣水合物增生情形，以及菌叢(bacterial communitie)隨時間之變化，以及電阻等資料，以能更詳細了解天然氣水合物之各項特性，提供後續科學研究。

德國 SUGAR 計畫，德國對開採天然氣水合物同時封存二氧化碳的研究甚為積極，Dr. Janicki 闡述開發天然氣水合物同時儲存二氧化碳的理念，並說明「SUGAR」計畫，德國已規劃和台灣進行國際合

作計畫，因此本出國報告特收集相關德國之「SUGAR」之計畫內容，以供參考。德國其自 2008~2011 年推動 SUGAR (Submarine Gas Hydrate Reservoirs) 計畫，是由德國著名的海洋科學研究機構「萊布尼茲海洋科學研究中心 (Leibniz-Institute of Marine Science, 又名 IFM-GEOMAR)」及「布萊梅大學 (University of Bremen)」結合工業界等 30 個單位共同執行，由萊布尼茲海洋科學研究中心負責統整相關研究成果，研究經費來自政府部門及工業界，合計高達 1,300 萬歐元(約 5.2 億新台幣)，目的是要開採海洋中的天然氣水合物(可燃冰)，以獲得天然氣(CH₄)資源，並把發電廠及工業界產生的二氧化碳(CO₂)注入海底，以二氧化碳水合物的方式永久封存於海底深部地層內，示意圖如圖 1。整體計畫分為二大部分執行，第一部分為進行天然氣水合物的探測調查(包含現地調查、鑽探及盆地分析等)，第二部份為進行開採及運送等研究(包含貯存層模擬分析、實驗室試驗分析及氣體運送等)。

目前已進入第二期計畫(2011~2014)，計畫執行仍分為天然氣水合物調查及開採及運送等研究(如表 2)，調查部分，分為多音束水深探測，利用高頻來探測水層之噴氣構造，並配備德國自行研發之氣泡偵測器(Automatic bubble detection,AOD)(如圖 2)；高解析底拖震測(如圖 3)；海底控源電源電磁探測(Controlled Source Electromagnetic (CSEM))(圖 4)；使用 MeBo 進行深海鑽探，可施作水深約 2,000 m，可鑽深約 50 m(如圖 5)及盆地分析等。開採及運送等研究，包含貯存層模擬分析、實驗室試驗分析及鑽探技術研究等。在第二期計畫更加強和國際合作交流(如表 3)，其中規劃於 2013 年和臺灣進行聯合航次探測，實際上德國已預定今年 9 月將 AUV 設備運送來台，使用國內之海研 5 號進行天然氣水合物探測合作。

表 2 德國 SUGAR 第二期計畫(2011~2014)分項計畫內容

分項計畫	負責分工單位
A.現地探測調查	
A1.水層噴氣柱及氣泡偵測	ELAC Nautik, CONTROS, IFM-GEOMAR
A2.地球物理探測及鑽探(底拖震測、海底控源電磁探測(CSEM)、鑽探(MeBo))	TEEC, CORSYDE, CONTROS, IFM-GEOMAR, BGR, MARUM
A3.盆地模擬分析	Schlumberger AaTC, IFM-GEOMAR
B.開發及運送研究	
B1.貯存層模擬分析	Wintershall, EON Ruhrgas, Fraunhofer UMSICHT, GFZ, IFM-GEOMAR
B2.實驗室試驗分析	RWE Dea, BASF, CONTROS, Fraunhofer UMSICHT, GFZ, Univ. Göttingen, IFM-GEOMAR
B3.鑽探技術研究	Bauer, Aker-Wirth, TU Clausthal, TUB Freiberg, Univ. Bochum

資料來源：

http://www.iass-potsdam.de/fileadmin/user_upload/documents/Klaus_Wallmann.pdf

表 3 德國 SUGAR 第二期計畫(2011~2014)國際合作規劃

國家	合作內容	規劃期程
保加利亞、喬治亞共和國、羅馬尼亞、俄羅斯、土耳其、烏克蘭(黑海(Black Sea))	聯合探測航次及研討會	2012 3/27~3/28
紐西蘭	聯合探測航次	2011
美國	阿拉斯加北坡盆地數值模擬分析	2011 - 2014
法國	西非外海聯合探測航次	(2012)
臺灣	聯合探測航次	2013
印度	聯合研討會及 CLIENT proposal	未定
巴西(Petrobras)	聯合探測航次及 CONEGAS project	未定
日本、中國大陸及南韓	聯合研討會及會議	未定
聯合國環境規劃署(UNEP)	Report on gas hydrates	2012
歐盟	Coordinated program on environmental risks of sub-seabed CO2 storage (ECO2)	2011 - 2015
	International off-shore field production test with CO2 injection	~2015

資料來源：

http://www.iass-potsdam.de/fileadmin/user_upload/documents/Klaus_Wallmann.pdf

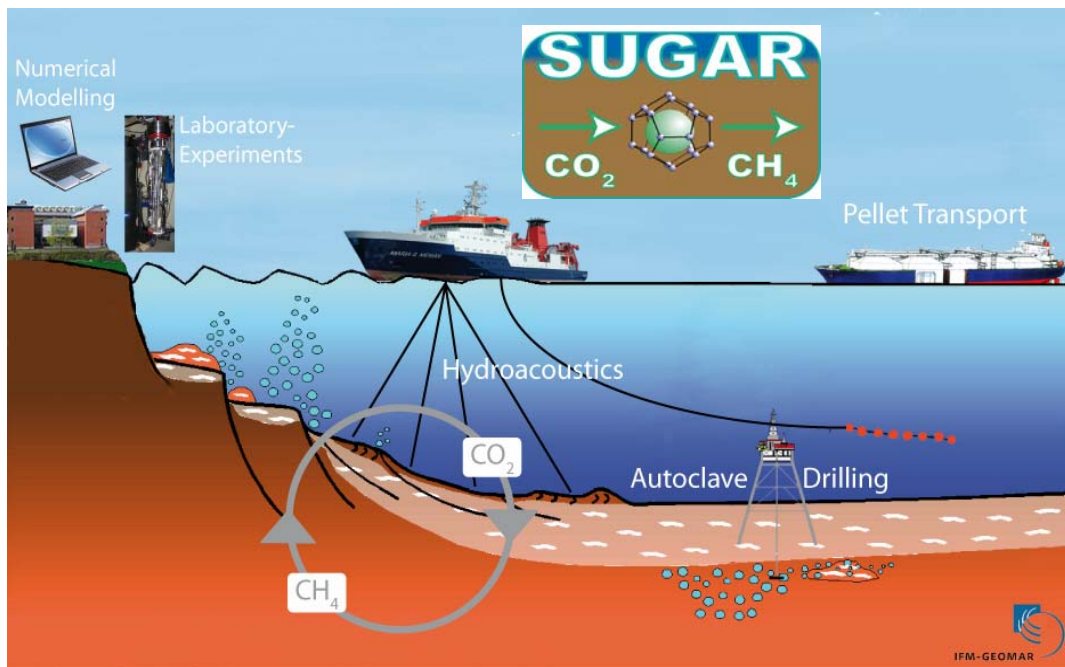


圖 1 德國 SUGAR 計畫規劃圖，利用開發天然氣水合物時將二氧化碳注入海底封存。

圖片及資料來源：

http://www.ifm-geomar.de/fileadmin/ifm-geomar/fb2/fb2_fe1/cutecht/SUGAR/Leitangtrag_A.pdf

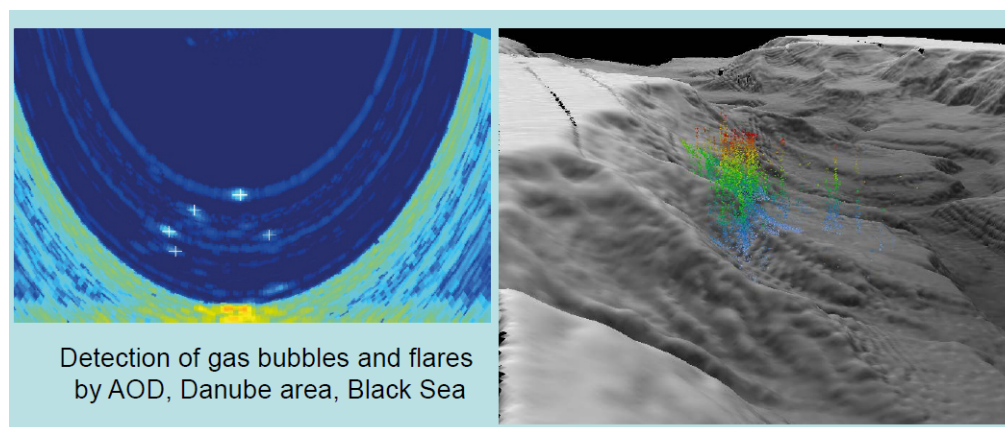


圖 2 利用多音束水深探測之高頻及氣泡偵測器(AOD)，來偵測氣泡及噴氣柱，尋找天然氣水合物賦存區(資料來源：

http://www.iass-potsdam.de/fileadmin/user_upload/documents/Klaus_Wallmann.pdf)

。

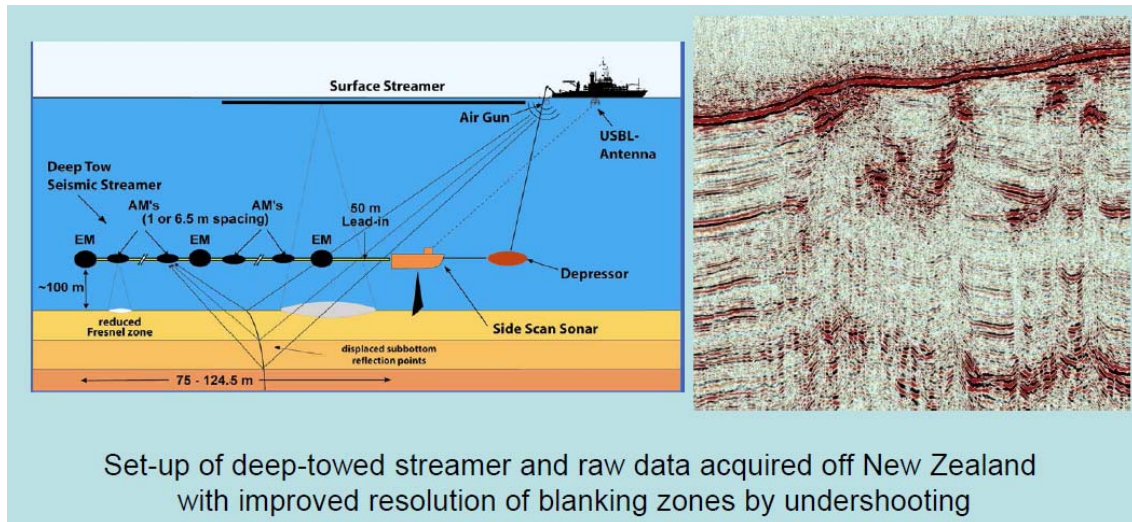


圖 3 利用高解析之底拖震測設備探測天然氣水合物(資料來源：
http://www.iass-potsdam.de/fileadmin/user_upload/documents/Klaus_Wallmann.pdf)

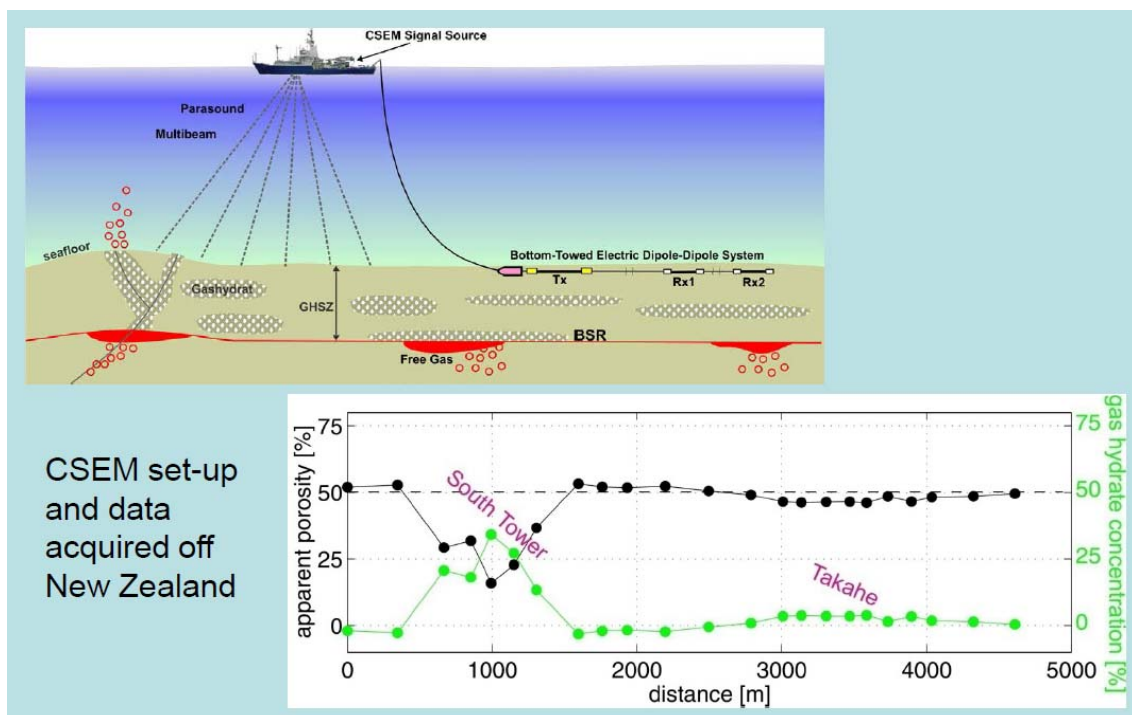


圖 4 利用控源電磁探測(CSEM)探測天然氣水合物(資料來源：
http://www.iass-potsdam.de/fileadmin/user_upload/documents/Klaus_Wallmann.pdf)

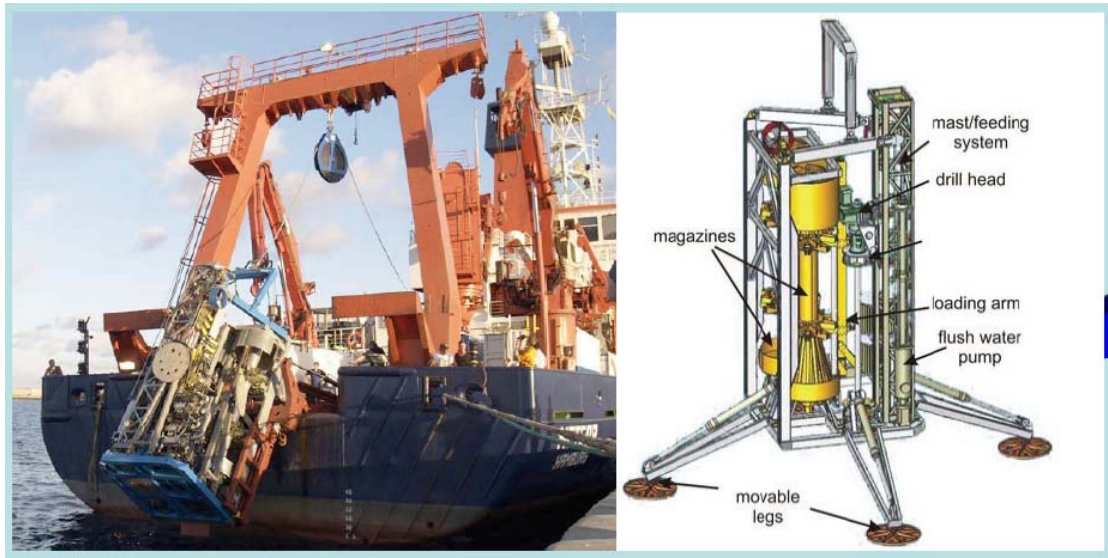


圖 5 德國自行研發之鑽探設備(MeBo)，可施作水深約 2,000 m，可鑽深約 50 m (資料來源：

http://www.iass-potsdam.de/fileadmin/user_upload/documents/Klaus_Wallmann.pdf)

3.3 開發地熱資源誘發地震之調查研究

地熱是項乾淨的能源，利用地底下之高溫岩層，將冷水注入回收熱水或蒸氣進行發電(如圖 6 所示)，然而近年來研究發現當注入水後會將岩層裂隙撐開，並且誘發地震發生，以下將重要案例分述如下：

薩爾瓦多(EI Salvador)的柏林地熱田(Berlín Geothermal Field, BGF)注水試驗，注水速率為 160 l/s，壓力為 130 bar，結果偵測到 581 個地震，規模為-0.5~3.7，最大地震規模 3.7 是發生在注水封閉後 2 周，這也是目前大部份地熱田所偵測到最大的地震規模。

在澳洲南部之 Paralana 地熱田，是因地底下有熱岩石(hot rock)，熱源主要來自放射性元素熱能。從 4,000 m 的深井在 2011 年 7 月進行 5 天的注水試驗，偵測到超過 7,000 個微震，從一開始每小時偵測到 25 個微震，到最後一天每小時發生超過 100 個微震。

在瑞士的 Basel 地熱田，在地質構造上是屬於斷層造成的地塹構造(圖 7)，在 2001 年開始運轉，為全世界大規模開發地熱田之首例，

備受矚目。在 2006 年 12 月 8 日誘發 3.4 規模的地震，從 2006 年 12 月至 2007 年 3 月共引發超過 13,500 地震，其中 200 個較大的地震規模約介於 0.7~3.4，大於規模 2.5 以上的有 9 個，其地震分布深度及規模如圖 8 所示。從地震時間之分布趨勢，可看出地震是沿著注水井往上發生。Basel 是位在活動斷層上，在西元 1356 年發生過規模 6.5 的地震，城市幾乎全毀，因此當 2006 年 12 月 8 日誘發 3.4 規模的地震後造成建築物毀損，引發居民的恐慌，事後電力公司之賠償金額高達約 900 萬美金。瑞士當局於 2007 年 1 月宣布暫停地熱田之運轉，經評估後，於 2009 年 12 月 11 日宣佈停止運轉。地震專家評估未來 30 年內至少會再誘發 200 次以上的地震，規模將可能高達 4.5 以上，預估損失將高達 4,000 萬美金。

地熱田注水誘發地震事件不斷，引起恐慌，在法國的 Soultz-sous-forêt 地熱田及薩爾瓦多(EI Salvador)的柏林地熱田(Berlín Geothermal Field, BGF)都因誘發地震逐漸增加而面臨可能必須停止運轉的命運。雖是如此，仍有部分地熱田並未有地震發生，如在德國 Hannover 的 GeneSys 地熱田，鑽深 3900 公尺，溫度高達 160 °C，並未偵測到地震，而德國北部之 Groß Schönebeck and Horstberg 地熱田也都沒發現微震。

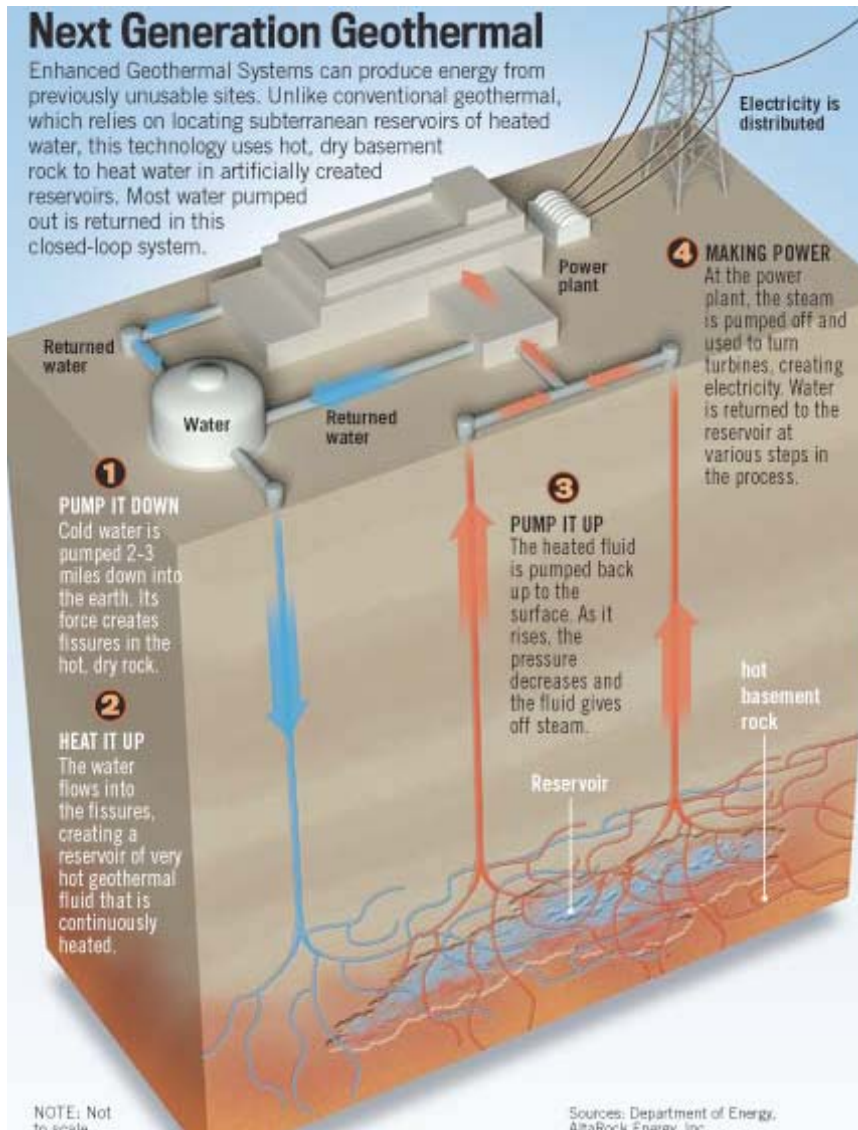
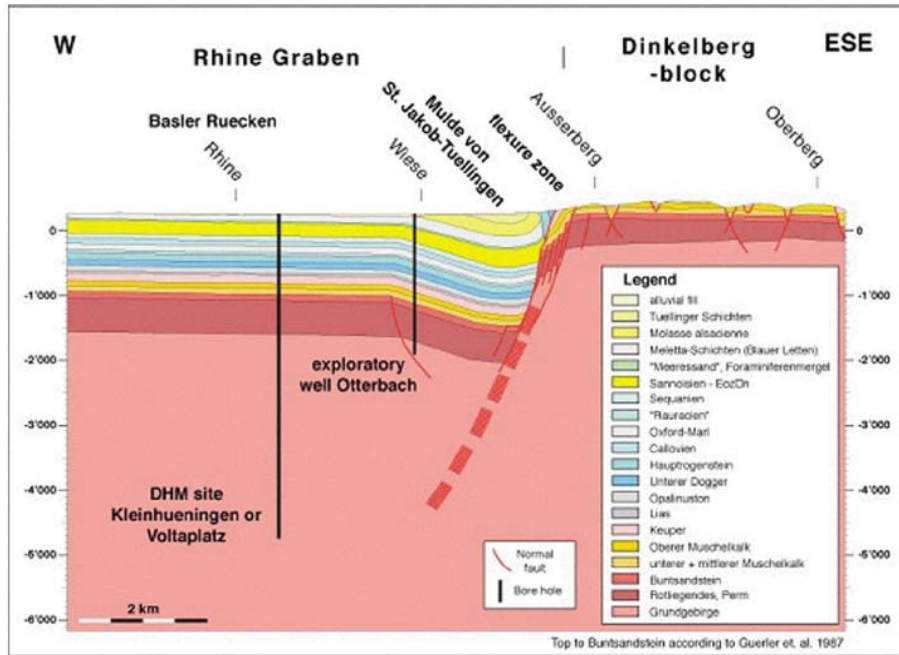


圖 6 地熱發電之示意圖。將冷水注入，將蒸氣或熱水回收，驅動發電設備。
資料來源：

<http://greenenergyreporter.com/renewables/geothermal/geothermal-project-shut-down-because-of-quake-threat/>



Cross Section Across the Rhine Graben Margin at Basel (Häering, 1999).

圖 7 瑞士 Basel 地熱田的地質構造環境。是由正斷層造成之地塹環境。
資料來源：<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull23-1/art7.pdf>。

Location of the microseismic cloud

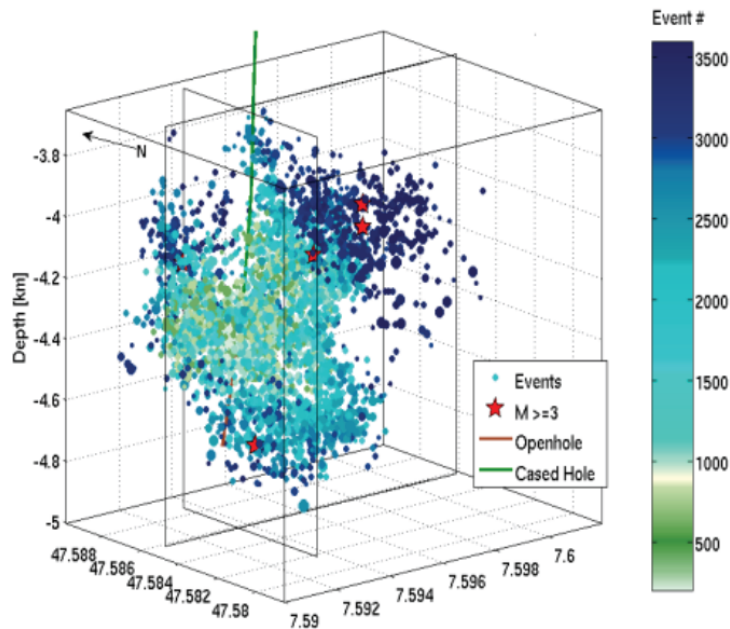


圖 8 瑞士 Basel 地熱田誘發地震之震央及規模分布圖。淺藍色為 2006 年的地震，深藍色是 2007 年的地震，從地震時間分布趨勢可看出地震是沿著注水孔往上誘發產生。資料來源：http://www.ces.ethz.ch/projects/nature/geotherm/meetings/Latsis-Symposium_Nov-2010/Latsis-Symposium_Nov-2010/DeichmannEtAl_Latsis2010_Poster。

肆、心得與建議

天然氣水合物是 21 世紀之新興能源，然而甲烷氣也是重要溫室氣體之一，因全球暖化效應，導致極地冰原融化，使得原本封存於冰層下方的天然氣水合物解離，造成大量甲烷氣逸散到大氣中。目前在極地地區已發現愈來愈多的甲烷噴氣柱，甚至深部之老甲烷氣及熱成熟氣體也都因冰層融化，大量逸散到大氣中，這更加劇溫室效應。歐洲在天然氣水合物之調查研究，其對環境衝擊之關注遠甚於能源資源。然而國內對天然氣水合物之調查研究，因調查研究腳步起步晚，著重在能源資源方面之研究，對環境及海床安全之衝擊議題尚未進行研究，雖然 101 年天然氣水合物之能源國家型計畫已將環境及海床穩定安全列為研究項目，但國內在這方面之研究人力及經驗均不足，仍需加強和國際技術交流，吸取經驗。

天然氣水合物之調查研究已不再局限於遠距調查及深鑽評估調查，加拿大已在 2 年前即開始進行海底電纜之即時觀測研究，觀測記錄天然氣水合物之生長情形、海床自養性生物群落隨時間之變化，以及海床各項物理性質之變化，這些資料將可更進一步了解天然氣水合物之特性，提供科學之研究。國內之調查研究腳步雖然還在探尋天然氣水合物之賦存潛能，但這即時觀測之研究，有助於了解天然氣水合物之各項特性，應密切關注了解這方面之調查研究進展。

隨著全球緩化效應，節能減碳，是國際上之共識，而「地熱資源」是潔淨資源，是國際上熱門開發利用的資源之一。2001 年瑞士 Basel 地熱田進行地熱資源開發發電，備受國際矚目。但接踵而來的注水誘發地震發生，造成建物損害，引起居民恐慌，電力公司因而付出約 900 萬美元之鉅額損害賠償，隨即瑞士當局於 2007 年 1 月宣佈暫停運轉，於 2009 年 12 月宣佈停止運轉。這項國際上開發地熱田資源之著名案例，因誘發地震，而遭受停止運轉之結果，衝擊後續地熱田之

開發，但也喚醒注水對誘發地震之關注，使得後來地熱田之開發利用投入更多安全地震監測機制。目前仍有數個地熱田，因誘發地震有逐漸增加之趨勢，可能面臨暫停運作之命運。

國內從 101 年起也已將「地熱」資源開發列為能源國家型計畫，進行有系統之調查研究，期望進行地熱資源之有效開發利用。國內之地熱資源主要是在宜蘭清水地熱，然而目前地質調查也顯示地底下有數條斷層構造，日後開發注水時是否也會促使斷層再活動，誘發地震?? 國內必須詳加評估，要以歐洲地熱田開發案例引以為戒，於開發過程中須加強地震監測機制，以免誘發災害性地震發生。

附錄 1 發表研究成果摘要

陳松春等人。

Geophysical Research Abstracts
Vol. 14, EGU2012-2582, 2012
EGU General Assembly 2012
© Author(s) 2012



Active mud volcanoes and potential gas hydrate in the near shore of SW Taiwan

S.-C. Chen (1), S.-K. Hsu (2), C.-H. Tsai (3), Y. Wang (4), S.-H. Chung (5), P.-C. Chen (6), and T.F. Yang (7)
(1) Central Geological Survey, MOEA, Taiwan (R.O.C)(songlin@moeacgs.gov.tw), Institute of Geophysics, National Central University, Chung-Li, 32001, Taiwan(R.O.C), (2) Institute of Geophysics, National Central University, Chung-Li, 32001, Taiwan(R.O.C)(hsu@ncu.edu.tw), (3) Institute of Geophysics, National Central University, Chung-Li, 32001, Taiwan(R.O.C)(s0642002@gmail.com), (4) Central Geological Survey, MOEA, Taiwan (R.O.C)(wangys@moeacgs.gov.tw), (5) Central Geological Survey, MOEA, Taiwan (R.O.C)(chung@moeacgs.gov.tw), (6) Central Geological Survey, MOEA, Taiwan (R.O.C)(burt@moeacgs.gov.tw), (7) Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei, 10617, Taiwan(R.O.C)(tyyang@ntu.edu.tw)

Multibeam echo sounder, deep-towed sidescan sonar and sub-bottom profiler surveys are carried out in the near shore area off SW Taiwan. Thirteen mud volcanoes are recognized by using multibeam bathymetry. The high-resolution sub-bottom profiler data show the existence of more than one hundred gas seeps and one pockmark distributed in the study area. These mud volcanoes are situated at the summit of mud diapiric structures identified by multichannel seismic reflection (MCS) profiles. It indicates that the growth of mud volcano is closely related to mud diapiric structure. The fluid source of mud volcanoes come from the diapiric structure and fluid migrates upward along fractures to the seafloor. For the first time, ROV survey for mud volcano observation is applied in the near shore area off SW Taiwan in 2011. The results of ROV observation reveal three active mud volcanoes with eruption from seafloor. The eruption cycle of mud volcanoes MV1 and MV5 are about every 3~5 minutes, and MV12 is about every 3~10 seconds. The high methane concentrations (100~550 nL/L) of seawater have been found in the water column above the mud volcanoes, are much higher than the average seawater value (< 50 nL/L), indicating the high methane fluxes beneath the mud volcanoes area. In addition, obvious BSR distribution has been observed based on MCS profiles in the study area. It infers a wide distribution of gas hydrate within sediments off SW Taiwan region.



Development of an Intra-Slope Basin Offshore Southwestern Taiwan

C.-S. Liu (1), Y.-T. Chang (1), H.-H. Hsu (1), S.-C. Chen (2), and S.-H. Chung ()

(1) National Taiwan University, Institute of Oceanography, Taipei, Taiwan (csliau@ntu.edu.tw), (2) Central Geological Survey, MOEA, Taipei, Taiwan

Distribution and architecture of intra-slope basins across continental slope vary as a consequence of accommodation forming, sediment dispersal rates, canyon cutting, sediment filling and different sediment transporting mechanisms. The area offshore Southwestern Taiwan is generally recognized as having active tectonics and high sediment deposition rate. In the Gaoping Slope, intra-slope basins are formed by the development of faults, diapiric intrusions and folds. Parts of sediments discharged from the Taiwan mountain belt have been trapped in these basins in the Gaoping Shelf and Gaoping Slope. The rest of those sediments have been transported to deep sea area through submarine canyons which also passed some of basins in the slope area. This complex system of faults, diapirs, folds, basins, canyons, and sediment deposits also readjust morphology of the Gaoping Slope region. This study examines the development of an intra-slope basin in the upper-slope domain of the Gaoping Slope through seismic facies analysis. 2D seismic reflection profiles as well as a 3D seismic volume are used to reveal the complex development of this slope basin. 6 stratigraphic units have been identified in the basin, and 8 diapiric ridges and diapirs are observed either bounded this basin or developed within the basin. The growth relationships between different stratigraphic units and diapirs provide us relative time constraints on the sedimentation and structural developments of this basin. Mass transport deposits (MTDs) are frequently observed within the basin strata, suggesting unstable deposition environment. The source of the orogenic sediments deposited in the basin mostly came from north, but the most recent sediments are brought in from the Fangliao Canyon which lies to the east of the basin. From the detail 3D seismic images, we propose a development model of this slope basin.



Sedimentary Processes of a Slope Ridge on the Northern South China Sea Continental Slope

J.J. Ni (1), C.S. Liu (1), and S.C. Chen (2)

(1) Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, (2) Central Geological Survey, MOEA, Taipei, Taiwan

In the context of source to sink, continental slope is generally regarded as a zone where sediments pass through from shelf to continental rise and deep sea basin. However, in the area offshore of southwestern Taiwan, the passive South China Sea continental margin receives considerable amount of terrigenous sediments that deposited on the continental shelf and lower continental slope. Morphological characters of the continental slope here are numerous short, straight submarine canyons which erode the slope surface to form a series of down-dip trending slope ridges. Most of the slope ridges are narrow, with width < 5 km, and have steep flanks on either side, but a few ridges are relatively wide and present sediment waves on top. BSRs, which may indicate the presence of gas hydrates, are widely observed here. This study analyzed a dense (with 400-m line spacing) seismic reflection data set conducted in a 13-by-23 km area over a wide slope ridge. The width of this slope ridge is about 12 km at water depth below 1500 m. The erosional truncation and slump features observed on seismic sections indicate that ridge flank is erosional. Depositional features are prevailing on top of the ridge with sediment wave and cut-and-fill channel deposits. The shelf-ward dipping strata in the middle of ridge are probably linked to topographic or sediment wave evolution. Clear and continuous BSRs with high amplitude reflections below BSR are common within the sediment wave structures. Seismic images also reveal that the wide ridge consists of two basement highs, named the northeastern hill (NEH) and the southwestern hill (SWH), respectively. We interpret that these two hills could be formed by erosion and deposition processes. From morphology and seismic stratigraphic analyses, we propose two models for the formation of this wide ridge, one is that this ridge was formed by filling up a submarine canyon between two adjacent slope ridges, and the 2nd model is that this wide ridge is part of the continental slope which has not been incised. Further investigation will be conducted to better understand the relationship between erosion and deposition processes which shape the slope ridges in the study area.



Two Dimensional Fluid Flow Models Offshore Southwestern Taiwan

L.W. Chen, S.K. Wu, W.C. Chi, C.S. Liu, C.T. Shyu, and Y.S Wang
Province Of Taiwan (mmammamma@gmail.com)

Fluid migration rates are important parameters for understanding the structural characteristics and evolution of the crustal tectonics and hydrocarbon exploration. However, they are difficult to measure on the seafloor. Dense distribution of bottom-simulating reflectors (BSRs) as the index of fluid existence to shed light on our study of the fluid migration. In this study, We acquired 2D fluid flow patterns in two potential gas hydrate prospect sites offshore southwestern Taiwan, and respectively modeled across Yung-An and Formosa ridge in N-S and E-W direction southwestern Taiwan. Temperature field in the shallow crust is used as a tracer to examine the fluid flow patterns. We use thermal information directly measured by thermal probes and topography data to develop the theoretical 2D temperature field using a thermal conduction model, which was derived from a finite element method.

The discrepancy between the observed temperature data and the conductive model is attributed to advection heat transfer due to fluid migration. For Yung-An Ridge, we found the BSR-based temperatures are about 20C higher than the conduction model in the following zones: (1) near a fault zone, (2) on the eastern flank where there are strong seismic reflectors in a pseudo 3D seismic dataset, (3) a seismic chimney zone. We interpret that there is possible active dewatering inside the accretionary prism to allow fluid to migrate upward here. For Formosa Ridge in the passive margin, the BSR-based temperatures are about 20C colder than the theoretical model, especially on the flanks. We interpret that cold seawater is moving into the ridge from the flanks, cooling the ridge, and then some of the fluid is expelled at the ridge top. The shallow temperature fields are strongly affected by 2D or even 3D bathymetry effects. But we can still gain much information regarding fluid flow patterns through modeling. In the near future, we will extend such study into 3D.

Keywords: fluid migration, geothermal gradient, finite-element, bottom-simulating reflectors