

經濟部幕僚單位及行政機關人員從事兩岸交流活動報告書

參加「第八屆天然氣水合物國際研討會
(ICGH8)」
報 告 書

研提人單位：經濟部中央地質調查所

職稱：科長、技正

姓名：鐘三雄、陳松春（公假自費）

參訪期間：103年7月27日至103年8月2日

報告日期：103年8月18日

目次

壹、交流活動基本資料.....	1
貳、活動(會議)名稱.....	1
一、活動性質(目的).....	1
二、活動內容(過程).....	2
三、遭遇之問題.....	5
四、我方因應方法及效果.....	7
五、心得及建議.....	8
附件 1、「第 8 屆天然氣水合物國際研討會」議程表.....	17
附件 2、會中發表 1 篇論文之摘要.....	18
附件 3、本所委辦計畫團隊發表 7 篇論文之摘要.....	19
附件 4、中國大陸之天然氣水合物調查研究進展.....	26
附件 5、參考資料.....	43

政府機關（構）人員從事兩岸交流活動（參加會議）報告

壹、交流活動基本資料

一、活動（會議）名稱：參加第 8 屆天然氣水合物國際研討會

二、活動（會議）日期：103 年 7 月 27 日至 103 年 8 月 2 日

三、主辦（或接待）單位：大陸地質調查局、大陸科學院

四、報告撰寫人服務單位：經濟部中央地質調查所

貳、活動（會議）重點

一、活動性質（目的）

天然氣水合物國際研討會（International Conference on Gas Hydrate；簡稱 ICGH）是全球最具規模且以天然氣水合物為專題的定期國際研討會議，每三年召開一次。天然氣水合物是一項新興科學研究與工程應用領域，各國的調查與科技研發進展快速，為使各國從事天然氣水合物相關研究的產官學研各界人士能共聚一堂，進行各國天然氣水合物研發技術與經驗的國際交流，促進天然氣水合物科技研發腳步，故定期召開此項研討會。2014 年第 8 屆天然氣水合物國際研討會，由中國大陸取得主辦權，會議地點設在北京國家會議中心。

經濟部中央地質調查所（以下簡稱本所）從 93 年度（2004 年）開始持續推動臺灣西南海域天然氣水合物調查計畫。97 年度（2008）本所即曾派員赴加拿大溫哥華參加第 6 屆天然

氣水合物國際研討會，以瞭解各國對於天然氣水合物調查進展與研發趨勢，並發表計畫成果論文。國際天然氣水合物的調查研發進展快速，為掌握國際天然氣水合物的研發趨勢與進展，故再次派員赴中國大陸北京參加 2014 年第 8 屆天然氣水合物國際研討會，會中發表 1 篇計畫成果論文，並瞭解各國最新調查研究成果與研發進展，期能掌握國際研究潮流與脈動，作為我國推動天然氣水合物調查與科技應用研發等策略規劃參考。

二、活動內容（過程）

（一）行程

參加第 8 屆天然氣水合物國際研討會的行程詳如表 1，赴陸期間自 103 年 7 月 27 日至 103 年 8 月 2 日止，為期 7 日。

表 1、行程安排與活動內容

日期	星期	活動內容	往返地點	夜宿地點
7 月 27 日	日	去程（臺北搭機至北京）	臺北-北京	北京
7 月 28 日	一	報到、晚會、專題演講	北京	北京
7 月 29 日	二	專題演講、論文研討	北京	北京
7 月 30 日	三	論文研討	北京	北京
7 月 31 日	四	論文研討	北京	北京
8 月 1 日	五	論文研討	北京	北京
8 月 2 日	六	回程（北京搭機回臺北）	北京-臺北	

(二) 研討主題

第 8 屆天然氣水合物國際研討會於 103 年 7 月 28 日至 103 年 8 月 1 日在中國大陸北京國家會議中心舉行 (圖 1)，專題為「機遇與挑戰-天然氣水合物開發與利用」，主要研討議題如下：



圖 1、第 8 屆天然氣水合物國際研討會在北京國家會議中心舉辦及專題演講會場。

- 1、基礎理論 (Fundamentals)：微觀與巨觀特性 (Microscopic and Macroscopic characterization)、熱力學與動力學。
- 2、自然系統：區域研究、天然氣水合物飽和度、天然氣水合物與甲烷量 (Hydrate and methane budgets)。
- 3、能源：探勘、開發、新技術。
- 4、環境：氣候影響、災害、碳封存。

5、流動安全 (Flow assurance)：預防、整治、新技術。

(三) 研討會議程

第 8 屆天然氣水合物國際研討會，由中國大陸取得主辦權，會議地點位在北京國家會議中心 (圖 1)。研討會議程主要包括會議報到、晚會、專題演講、論文發表 (簡報宣讀、壁報) 等研討，詳細議程如附件 1。會議期間，大會安排 6 個專題演講、5 個大會報告、簡報與壁報論文約 600 多篇。

(四) 論文發表

本次以共同作者方式在研討會發表的論文 1 篇，摘要如附件 2。該篇論文均安排在 7 月 31 日發表與展示，會中除可展現我國天然氣水合物的調查成果外，也可藉此機會與其他國際人士研討，促進技術與經驗的交流。此外，本所天然氣水合物委辦計畫團隊也發表 7 篇論文，其論文摘要如附件 3。而我國科技部天然氣水合物主軸計畫也在會中發表 4 篇論文。

(五) 2017 年召開第 9 屆天然氣水合物國際研討會

天然氣水合物國際研討會是天然氣水合物領域最高規格的定期學術會議，每三年召開一次，通常由天然氣水合物領

域具有傑出表現或貢獻的國家來主辦。第 9 屆天然氣水合物國際研討會主辦權，共有韓國、美國、澳大利亞等三個代表團提出申請，經過本屆大會國際科學委員會兩輪投票，最後由美國科羅拉多礦業大學（Colorado School of Mines）代表團取得主辦權。故 2017 年第 9 屆天然氣水合物國際研討會，將在美國科羅拉多礦業大學召開。

（六）本屆大會終身成就獎獲獎者為加拿大國家研究委員會約翰·瑞普米斯特博士、韓國科學技術研究院李宣博士和阿姆斯特丹殼牌技術中心阿爾法特·科隆坡博士等 3 人；青年獎則由韓國地球科學與礦產資源研究院李珠永博士獲得。

三、 遭遇之問題

本次國際研討會旨在進行各國調查與研發成果的研討與交流，會中並未遭遇問題。

惟返台後，比對研討會及期刊文獻等圖資發現，中國大陸宣稱 2013 年在南海珠江口盆地東部海域實施的天然氣水合物鑽探調查航次（GMGS2），鑽探調查區係位在東沙群島東北海域之所謂「九龍甲烷礁地區」，東經 118 度 42 分至 118 度 56 分、北緯 21 度 56 分至 22 度 05 分海域範圍內（圖 2、圖 3、附件 4-圖 3），距離高雄港約 100 海浬。

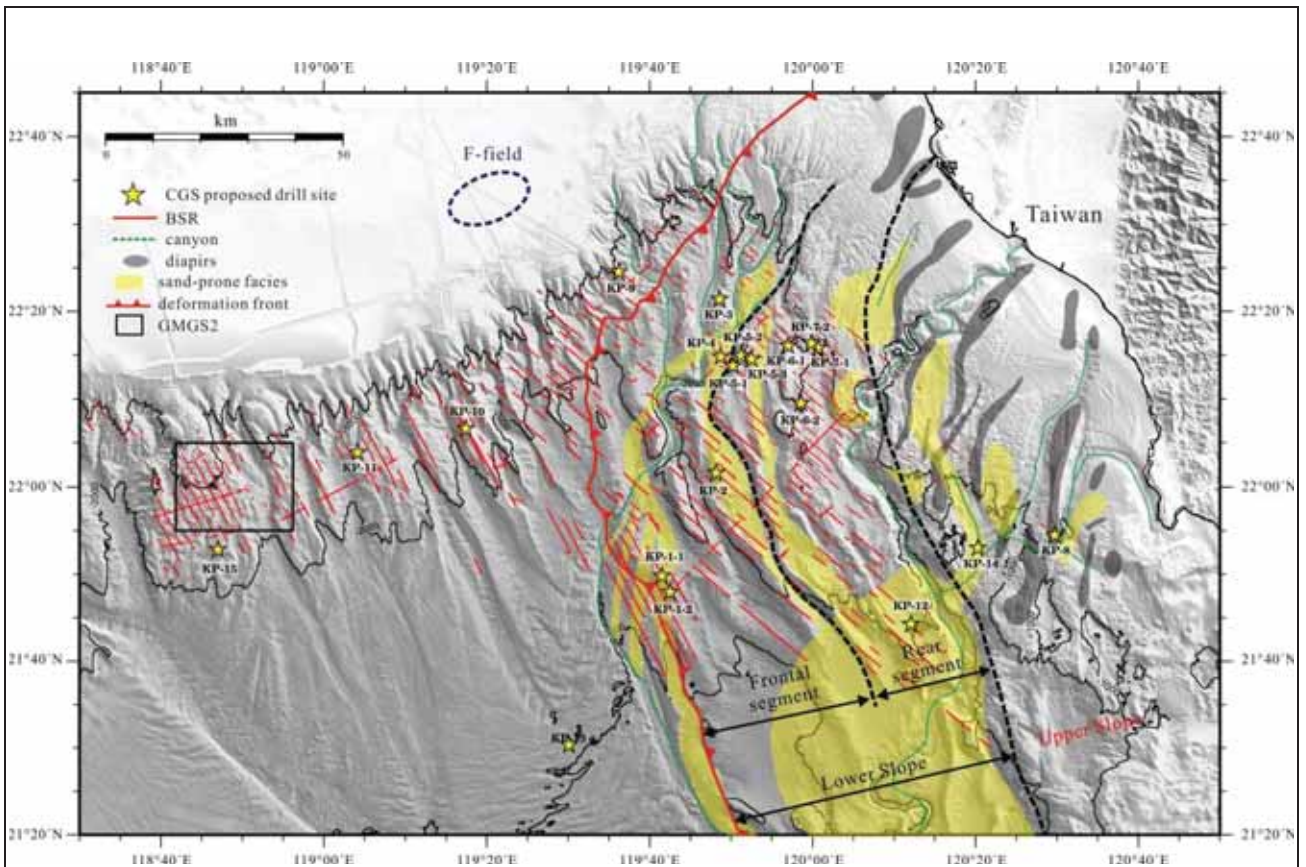


圖 2、臺灣西南海域之海底仿擬反射（紅色線段）分布圖。黑框標示中國大陸 2013 年實施第 2 次海底天然氣水合物鑽探調查航次（GMGS2）的範圍，星號標示本所 100 年度提出之鑽探規劃井位。海底仿擬反射（bottom simulating reflector）係指震測剖面上所呈現高阻抗、幾乎平行海床但相位相反的強反射面，有時會與地層反射面斜交；海底仿擬反射指示該反射面至海床之間的沉積層中，可能有天然氣水合物的賦存，也代表海床下天然氣水合物賦存帶的下界。

因該調查區位在我國專屬經濟海域範圍內，外籍船舶進入我國專屬經濟海域進行科學調查或探勘，理應向我國相關主管單位提出申請。但中國大陸似乎未遵循相關國際法令，逕在 2013 年 5 月 28 日至 9 月 8 日期間，在九龍甲烷礁地區海域實施天然氣水合物鑽探調查，此活動已對我國海域主張與法令的貫徹，產生一定的衝擊。故我國相關單位應密切關注中國

大陸在南海北部海域之海底天然氣水合物調查探勘活動的後續進展。

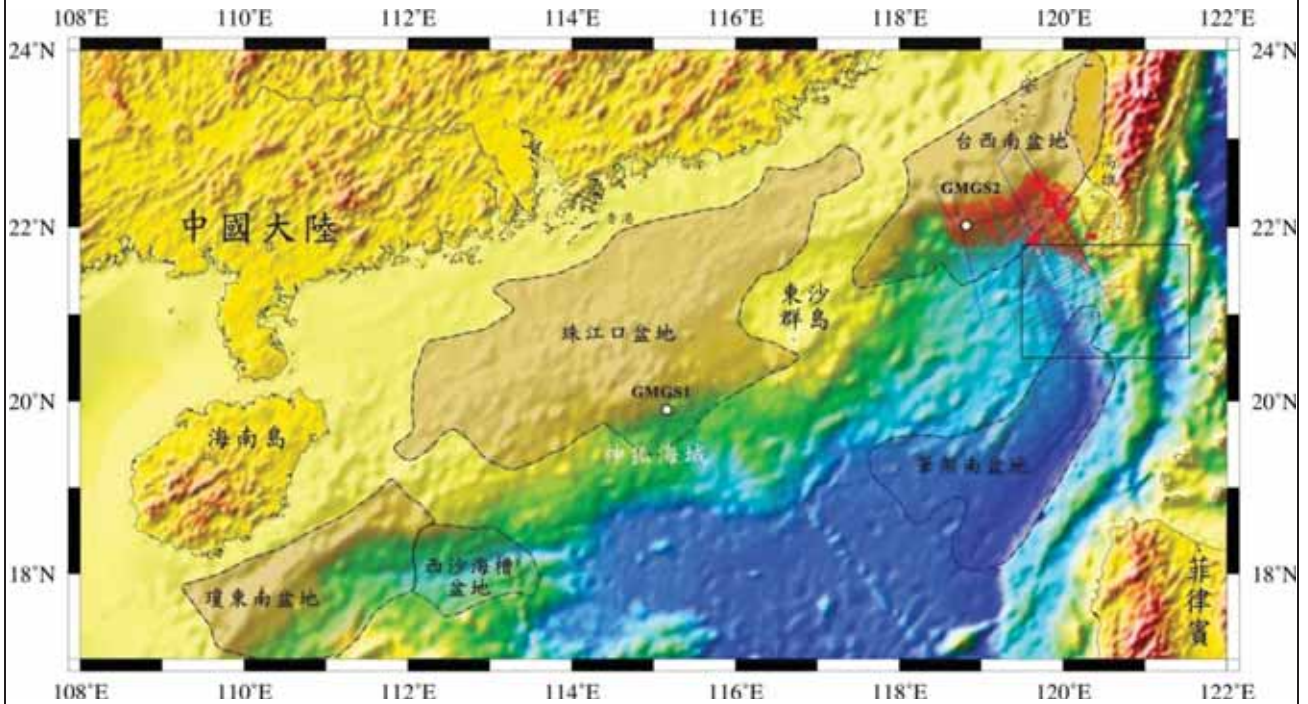


圖 3、中國大陸在南海北部實施 2 次海底天然氣水合物鑽探的地理位置圖。2007 年在神弧海域實施第 1 次海底天然氣水合物鑽探 (GMGS1)，2013 年在南海珠江口盆地東部海域實施第 2 次海底天然氣水合物鑽探 (GMGS2)，GMGS2 位於東沙群島東北海域之所謂「九龍甲烷礁地區」，距離高雄港約 100 海浬。紅色線段標示本所天然氣水合物計畫在臺灣西南海域實施反射震測的測線分布，臺灣南部海域黑框範圍則為普查區。

四、我方因應方法及效果

中國大陸已在南海北部地區實施二次天然氣水合物鑽探調查，調查區的地理位置如圖 3 所示。由於 2013 年中國大陸在九龍甲烷礁地區之鑽探結果證實其天然氣水合物的品質與蘊

藏潛能，明顯優於 2007 年中國大陸在南海神弧海域地區的鑽探結果，故中國大陸正規劃在 2015 年投入海底天然氣水合物生產測試的鑽探作業，2017 年將實施生產測試作業，生產測試的目標區極可能選在九龍甲烷礁地區。針對中國大陸未來在南海實施天然氣水合物鑽探與生產測試的動向，我國相關主管單位應密切注意並及早因應，以維護海域主張權益。

五、心得及建議

(一) 天然氣水合物的研發議題十分廣泛，各國參與天然氣水合物國際研討會的熱潮有增無減；為瞭解各國調查進展與研發動態，建議我國科技部、經濟部能源局與本所等單位，屆時均能組團或派員參加 2017 年在美國柯羅拉多礦業大學召開的第 9 屆天然氣水合物國際研討會，以掌握國際研發進展與趨勢，做為我國推動天然氣水合物能源科技發展計畫的規劃參據。

天然氣水合物是一項跨學門的新興科研領域，研發範疇廣泛包括油氣輸送流動安全、資源探採與生產開發、全球碳循環與氣候變遷、大陸斜坡海床穩定性與災害、天然氣與氫氣輸儲、蓄能與冷凍空調、海水淡化、氣體分離、二氧化碳捕捉與封存等。

表 2、各屆天然氣水合物國際研討會基本資料表

屆數	主辦	日期	地點	論文數/ 參加人數
1	美國	1993 年 6 月 20~24 日	紐約	61/130
2	法國	1996 年 6 月 02~06 日	土魯斯 (Toulouse)	87/195
3	美國	1999 年 7 月 18~22 日	猶他州鹽湖城	104/258
4	日本	2002 年 5 月 19~23 日	橫濱	204/296
5	挪威	2005 年 6 月 12~16 日	特隆赫姆 (Trondheim)	247/330
6	加拿大	2008 年 7 月 06~10 日	溫哥華	417/526
7	英國	2011 年 7 月 17~21 日	愛丁堡 (Edinburgh)	~550/~600
8	中國 大陸	2014 年 7 月 28 日至 8 月 1 日	北京	616/~700

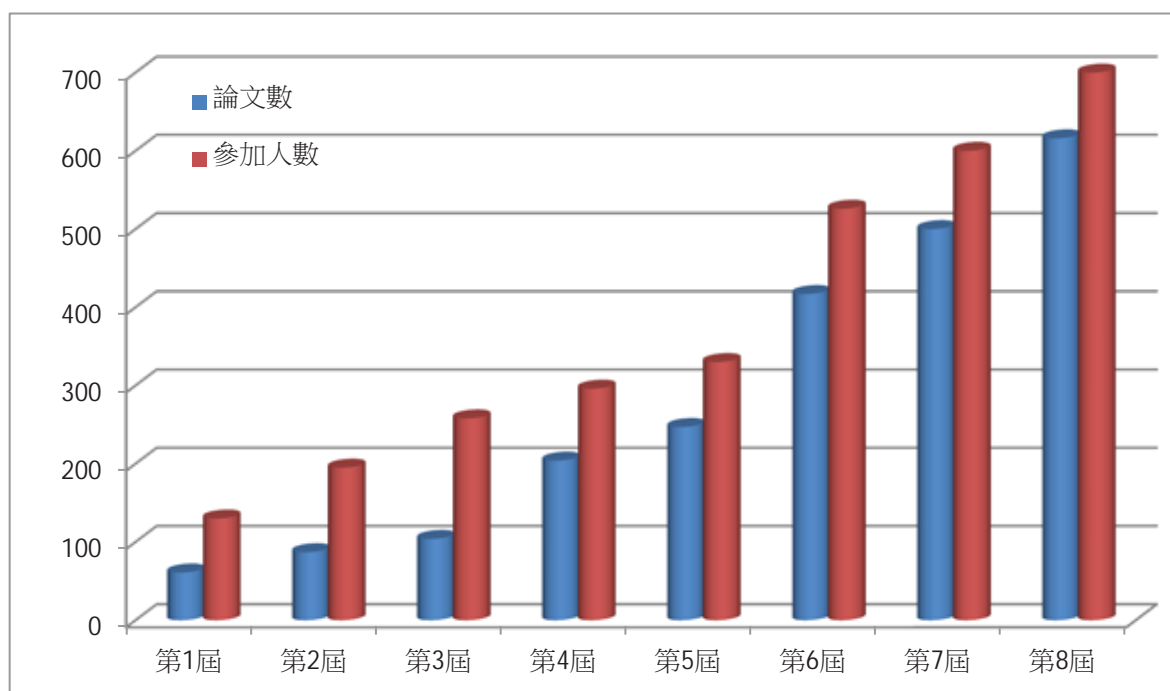


圖 4、歷屆天然氣水合物國際研討會參加人數與論文發表數統計圖。

1993 年第 1 屆天然氣水合物國際研討會是在美國召開，之後，每 3 年舉辦 1 次，分別在歐美日等國家召開，

以促進各國在天然氣水合物研發技術的國際交流，至 2014 年已是第 8 屆。由表 2 與圖 4 可知，參與天然氣水合物國際研討會的人數及論文數呈現有增無減的變化趨勢。本屆共有來自 30 個國家的產官學研人士共 700 多人註冊與會，共發表 616 篇論文，與會人數與發表論文數居歷屆之冠。

若以第一作者所在國家的論文發表數來分析，前 5 名依序為中國大陸、美國、韓國、德國與英國（表 3、圖 5）。由於中國大陸近十年來，大力支持與推展南海海域及高山永凍層之天然氣水合物資源調查、永凍層鑽探與生產技術、熱力學與動力學基礎理論等計畫，同時也是本屆研討會主辦國，故論文發表數與參加人數均是各國之冠。

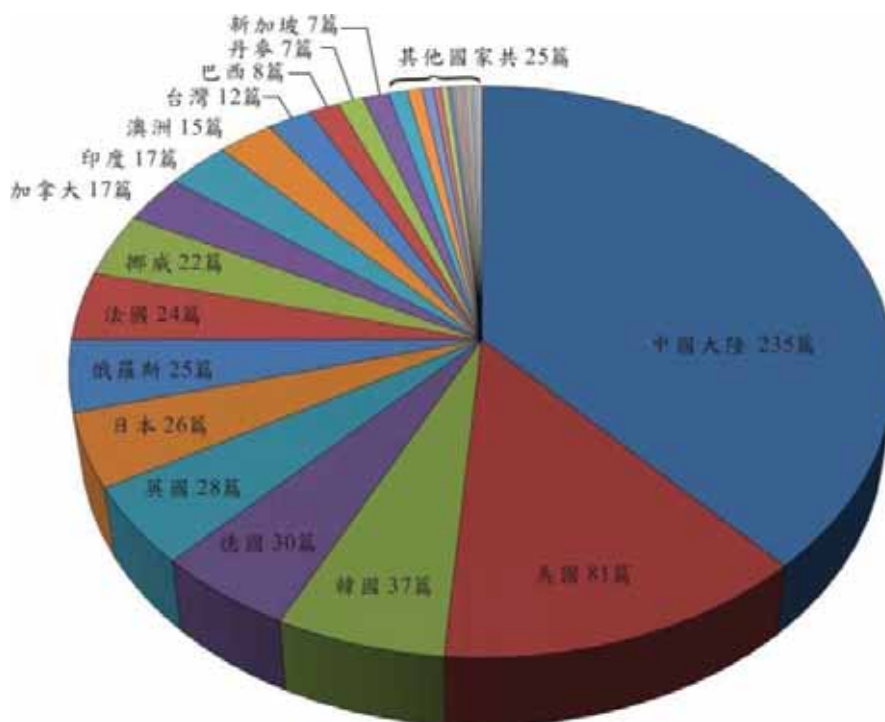


圖 5、第 8 屆天然氣水合物國際研討會第一作者所在國家的論文發表數統計圖。

表 3、第一作者所在國家之論文數統計表

第一作者 所在國家	論文 篇數	百分比 %	第一作者 所在國家	論文 篇數	百分比 %
中國大陸	235	38.15	新加坡	7	1.14
美國	81	13.15	義大利	5	0.81
韓國	37	6.01	伊朗	4	0.65
德國	30	4.87	紐西蘭	3	0.49
英國	28	4.55	希臘	2	0.32
日本	26	4.22	委內瑞拉	2	0.32
俄羅斯	25	4.06	泰國	1	0.16
法國	24	3.90	烏拉圭	1	0.16
挪威	22	3.57	哥倫比亞	1	0.16
加拿大	17	2.76	南非	1	0.16
印度	17	2.76	沙烏地阿拉伯	1	0.16
澳洲	15	2.44	特立尼達多巴哥 (Trinidad Tobago)	1	0.16
中華民國 (台灣)	12	1.95	荷蘭	1	0.16
巴西	8	1.30	孟加拉	1	0.16
丹麥	7	1.14	土庫曼斯坦 (Turkmenistan)	1	0.16

(二) 2013 年日本在愛知-三重縣外海，完成第 1 次 6 天期海底天然氣水合物生產試驗，平均日產量約 20,000 m³，成為全球首度掌握海底天然氣水合物開採技術的國家；此次生產試驗給人類利用天然氣水合物帶來曙光。雖然從生產試驗階段邁入商業開發生產階段，還需假以時日來克服經濟、環境、災害等問題，但海底天然氣水合物已不再只是一種夢

幻能源，極可能繼頁岩氣革命之後，成為非傳統天然氣資源的明日之星。

(三) 依據目前調查結果顯示，臺灣西南海域蘊藏天然氣水合物的地質條件優於其他國家海域，初步估算西南海域（面積約 15,000 km²）天然氣水合物資源量（天然氣水合物所含甲烷在標準溫壓下的體積量），50 %機會可達 2 兆 7 千億 m³；即使只開發其中 10 %，以國內天然氣年平均使用量 100 億 m³ 來換算，可供使用 27 年。惟天然氣水合物是一種新興天然能源，屬於高投資、高風險、高獲利（龐大公共利益）、時程長之前瞻性科技研發項目，建議我國能重視與支持天然氣水合物長程研發計畫的推動，加速實施臺灣西南海域天然氣水合物鑽探驗證工作，厚實我國天然氣水合物科技研發能量，縮短與國際進展的差距，以達成「提高天然氣能源自主比例」目標，確保國家能源安全。

(四) 天然氣水合物商業開發的進程，已指日可待。日本、韓國、美國、印度、中國大陸等國家，都已投入巨額經費，爭相展開其轄內及專屬經濟海域之甲烷水合物資源調查與評估工作，同時也積極研發探採新技術及環境監測與環境影響評估等技術。以日本為例，近 12 年來投入天然氣水合物調查研究經費共約日幣 673 億元（以台幣 1 元兌換日幣 3.4

元估算,約台幣 198 億元),平均年度經費約日幣 56.1 億元,折合台幣約 16.5 億元(表 4),預期在 2018 年前,日本將完成海底天然氣水合物商業開發所需之各項技術整備。1990 年代以後之全球天然氣水合物鑽探調查、生產試驗、海底監測等重要活動進展如圖 6 所示。

表 4、日本天然氣水合物年度經費表

會計年度	平成	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	西元	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
預算 (億元)	日幣	30	55	67	40	40	40	25	45	45	89	110	87
	台幣	10	18	22	13	13	13	8	15	15	30	37	29
合計 (億元)	日幣	673 (≒ 56.1 億元/年)											
	台幣	198 (≒ 16.5 億元/年)(匯率 1:3.4)											

日本在 1999-2000 年及 2014 年期間,分別在靜岡縣外海與愛知縣-三重縣外海(日本南海海槽)實施第 1 次與第 2 次海底天然氣水合物鑽探調查,2013 年則在愛知縣外海實施第 1 次海底天然氣水合物短期生產試驗,並規劃 2014-2015 年期間,實施第 2 次較長期的海底天然氣水合物生產試驗。據估算,日本南海海槽東部海域(面積 5,000 km²)

之天然氣水合物資源量 50% 機會可達 1 兆 1,400 億 m^3 。

韓國在 2007 年與 2010 年在韓國東海（日本海）之鬱陵海盆地區，分別實施 2 次海底天然氣水合物鑽探調查航次（UBGH1 和 UBGH2），目前規劃 2015 年實施第 1 次海底天然氣水合物生產試驗。

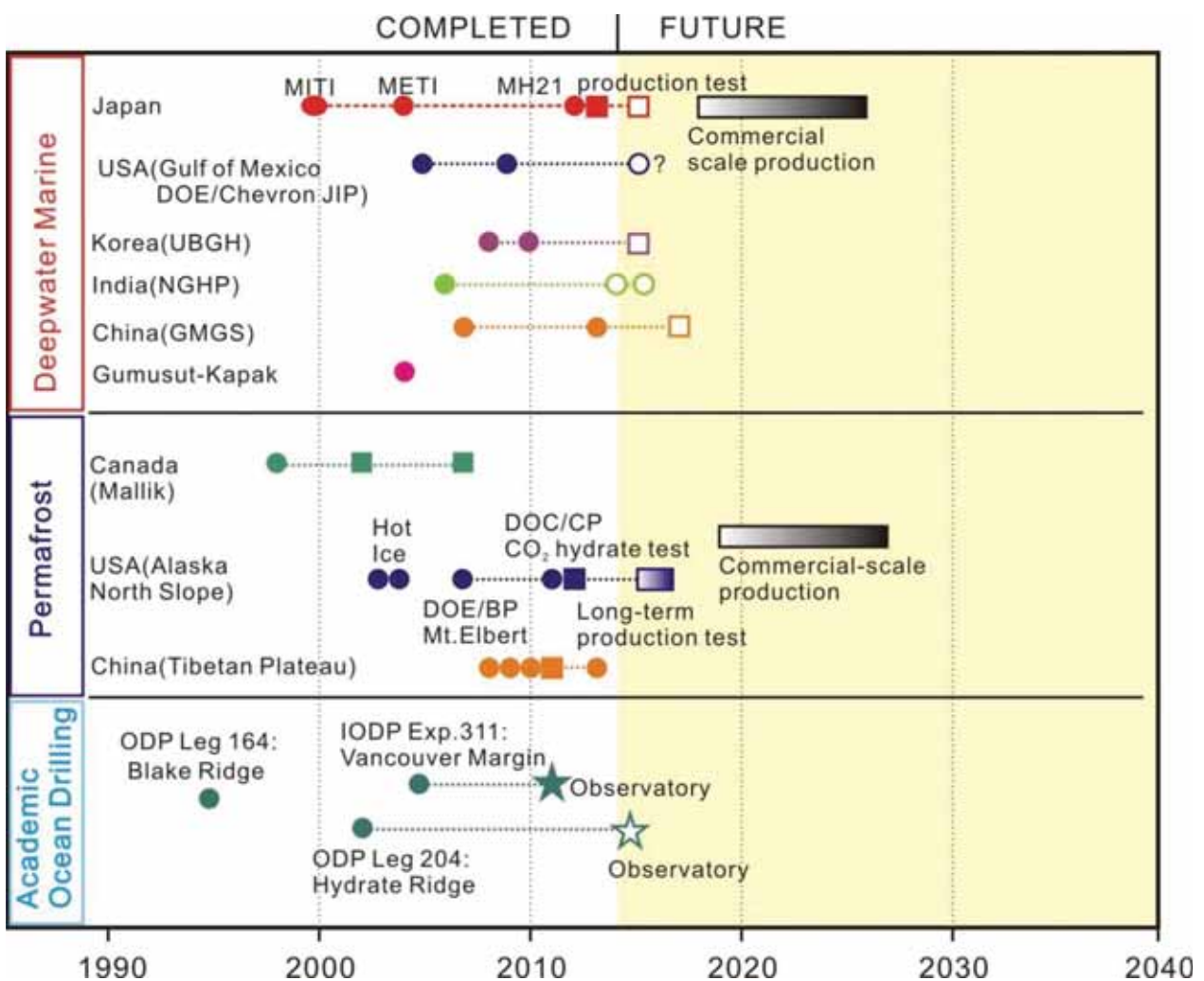


圖 6、1990 年代以後，國際上有關天然氣水合物鑽探調查與生產試驗等重要活動進程與預測示意圖。修改自 Consortium for Ocean Leadership and the Methane Hydrate Project Science Team (2013)。實心與空心圓形符號分別代表已完成與規劃中之鑽探調查活動進程，方形實心與小矩形漸層符號分別代表已完成與規劃實施的生產試驗活動進程，長矩形漸層符號則代表商業開發之預期進程，實心與空心星號分別代表已實施與規劃推動的海底觀測活動進程。

中國大陸廣州海洋地質調查局（隸屬大陸地質調查局），2007 年在南海北部神弧海域地區，實施第 1 次海底天然氣水合物鑽探調查航次（GMGS-1），2013 年在南海北部珠江口盆地東部海域（即九龍甲烷礁地區），實施第 2 次海底天然氣水合物鑽探調查航次（GMGS-2）。目前規劃 2015 年開始著手生產試驗鑽探作業，2017 年實施海底天然氣水合物生產試驗。另外，2008-2010 年期間，中國大陸在青海省祁連山木里地區實施 8 個井位之永凍層天然氣水合物鑽探調查，並於 2008 年首度採得永凍層天然氣水合物岩心標本（DK-1 井位）；2011 年實施永凍層天然氣水合物生產試驗（DK-8 井位），試採累計進行 101 小時，採氣量 95 m³，成功驗證減壓法與加熱法之技術可行性；2013 年在祁連山木里地區再次實施 2 井位永凍層天然氣水合物鑽探調查。

2016 年印度在周邊海域（西部之阿拉伯海、東部之孟加拉灣海域、安達曼海）實施第 1 次海底天然氣水合物鑽探調查航次（NGHP-1）；2014 年將在孟加拉灣海域實施第 2 次海底天然氣水合物隨鑽井測（Logging While Drilling；簡稱 LWD）調查，並預計 2015 年實施 10 個井位的鑽井岩心採集及電纜井測調查。

2010 年代初期，一般預計約在 2020 年左右，永凍層地

區天然氣水合物即可達到商業開發階段，直到 2025 年以後方能有大規模的商業開發；而海底天然氣水合物的商業開發進程，則預計在 2020 年代中後期至 2030 年代前期之間，將比永凍層地區晚 5-10 年 (Boswell, 2011; Ruppel, 2011)。惟日本在 2013 年完成第一次海域甲烷水合物的生產試驗，每日平均產氣量達 20,000 立方公尺，成功證實海域甲烷水合物資源開發的技術可行性，並預計在 2014 年至 2015 年期間實施第二次海域甲烷水合物生產試驗。因此，美國專家推測海域甲烷水合物的商業開發時程可能提早到 2010 年代末期，大致與永凍層甲烷水合物商業開發的時程相近(圖 6)。

參、謹檢附參加本次活動（會議）相關資料如附件，報請 備查。

職 經濟部中央地質調查所

科長 鐘三雄

技正 陳松春 謹陳

103 年 8 月 15 日

附件 1、「第 8 屆天然氣水合物國際研討會」議程表

Scientific Program Summary – ICGH8

	Mon, July 28	Tue, July 29	Wed, July 30	Thu, July 31	Fri, August 1
	Registration Main Lobby 1st Floor 14:00-20:00	Opening Ceremony 09:00-09:30	OS2A OS2B OS2C OS4A OS4B OS4C OS5A OS5B OS5C T1/T5 T2 T3 T5 T1 T2 T3 6 talks 6 talks 6 talks 6 talks 6 talks 6 talks 6 talks 6 talks 6 talks 311A+B 309 A 309 B 309 A 309 B 311A+B 311A+B 309 A 309 A		
08:30-10:30		Plenary Session 1: 2 keynote speeches 09:30-10:30 Plenary Hall B, 4th Floor			
10:30-10:45			Refreshments, L3 North Foyer, 3rd Floor		
10:45-12:15		Plenary Session 2: 3 keynote speeches Plenary Hall A, 4th Floor	Poster 2 T1/T5, T2, T3 L3 North Foyer, 3rd Floor	Poster 4 T2, T3, T5 L3 North Foyer, 3rd Floor	Poster 5 T1, T2, T3, T5 L3 North Foyer, 3rd Floor
12:15-13:30			Lunch, Park View Foyer, 3rd Floor		
13:30-16:10		OS1A OS1B OS1C OS3A OS3B OS3C T1 T2 T4 T1 T3 T5 8 talks 8 talks 8 talks 8 talks 8 talks 8 talks 311A+B 309 A 311A+B 311A+B 309 A 309 B		Free time	OS6A OS 6B OS6C T1 T3 T5 8 talks 8 talks 8 talks 311A+B 309 A 309 B
16:10-16:25		Refreshments, L3 North Foyer, 3rd Floor			Refreshments L3 North Foyer, 3rd Floor
16:25-18:00	Welcome Reception Plenary Hall A 4th Floor 17:00-18:30 Keynote Address Plenary Hall A 4th Floor 19:00-20:00	Poster 1 T1, T2, T4 L3 North Foyer, 3rd Floor	Poster 3 T1, T3, T5 L3 North Foyer, 3rd Floor	Selection for the Host of ICGH9 14:00-17:00	Closing Ceremony 311 A+B, 3rd Floor 16:25-16:45
				Conference Dinner and ICGH Awards Ceremony Plenary Hall A, 4th Floor 18:00-21:00	

附件 2、會中發表 1 篇論文之摘要

DISTRIBUTION OF THE MUD DIAPIRS, MUD VOLCANOES AND RELATED SEAFLOOR FEATURES IN THE OFFSHORE AREA OF SOUTHWEST TAIWAN

Song-Chuen CHEN, **San-Hsiung CHUNG**, Yunshuen WANG, Po-Chun CHEN
Central Geological Survey, MOEA, No. 2, Ln. 109, Huaxin St., Zhonghe Dist., New Taipei
City 23568, TAIWAN

Shu-Kun HSU, Ching-Hui TSAI, Hsiao-Shan LIN
Department of Earth Sciences, National Central University, No. 300, Jhongda Rd., Jhongli City, Taoyuan
County 32001, TAIWAN

Char-Shine LIU
Institute of Oceanography, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617,
TAIWAN

Tsanyao Frank YANG
Department of Geosciences, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617,
TAIWAN

ABSTRACT

Ten mud diapirs and thirteen mud volcanoes are identified in the offshore area of SW Taiwan. Mud volcanoes are situated on tops of the diapiric structures, indicating the formation of the mud volcanoes is directly associated with the mud diapirism. The active mud volcanoes are indicated by the ROV observations and sidescan sonar images show the active eruptions and radial mud flows of mud volcanoes, respectively. The chemosynthetic communities and authigenic carbonates are widely distributed on the seafloor, indicating a high methane flux in the area. The formation of mud diapirs and volcanoes are ascribed to the overpressure in sedimentary layers, compressional tectonic forces and gas-bearing fluids. Because a large amount of gas expulsions is observed, the gas-bearing fluid in fact plays an important role in enhancing the intrusion of the diapirism.

Keywords: mud diapir, mud volcano, ROV, sidescan sonar, southwest Taiwan

附件 3、本所委辦計畫團隊發表 7 篇論文之摘要

SITE SELECTION FOR GAS HYDRATE DRILLING OFFSHORE SW TAIWAN

LIN Andrew T¹., LIU Char-Shine², LI Ke-Shu², YANG Kenn-Ming³, LIAO Wei-Zhi¹, LIN Che-Chuan¹, HSU Shu-Kun¹, CHI Wu-Cheng⁴, WANG Tan K⁵., YANG Frank T⁶., LIN Saulwood², SHYU Chuen-Tien², WANG Yunshuen⁷

¹ Department of Earth Sciences, National Central University, TAIWAN, andrewl@ncu.edu.tw

² Institute of Oceanography, National Taiwan University, TAIWAN

³ Department of Earth Sciences, National Cheng Kung University, TAIWAN

⁴ Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, TAIWAN

⁵ Institute of Applied Geosciences, National Taiwan Ocean University, TAIWAN

⁶ Department of Geosciences, National Taiwan University, TAIWAN

⁷ Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, TAIWAN

ABSTRACT

The gas-hydrate studies led by Central Geological Survey, Taiwan, since 2004, have shown the highly likely existence of a huge amount of gas hydrates, offshore SW Taiwan. The gas in-place is estimated to be around 2.7 trillion cubic meters. The National Science Council of Taiwan therefore expects to conduct exploratory drilling and logging campaign both in the Kaoping accretionary wedge and the northern rifted-margin of the South China Sea, off SW Taiwan, to better understand gas hydrate systems and evaluating gas-hydrate resource potential. The site selection team proposes 12 prospects with 16 proposed sites. Main site selection criteria include: (1) there exists high amplitude reflections with the same polarity of seafloor (e.g., fast sands) in the gas hydrate stability zone (GHSZ); (2) strong reflections exhibit polarity reversal across the bottom simulating reflectors (BSRs) with fast sands above and slow sands below the BSRs; (3) those strong reflections usually locate at migration pathways for gas-bearing fluids; (4) strong reflections within the GHSZ cluster beneath structural traps (e.g, fold structures) or on the side of mud diapirs (e.g. flank drags); (5) vertical gas chimney structures with corresponding venting features on the seafloor. According to the above criteria, we categorize the occurrences of gas hydrates into leakage type as well as combined structural and stratigraphic type. The leakage type is usually associated with faults that cut across the seafloor in the accretionary wedge, vertical venting features cutting across sediment waves on the South China Sea margin, and gas seepages on top of active mud diapirs. This type of gas hydrate occurrences is believed to be restricted in areal extents. Gas hydrate may distribute throughout the GHSZ but concentrate especially in the upper GHSZ. Gas hydrates in the combined structural and stratigraphic type are believed to occur in the lower part of GHSZ in widespread, porous turbidite sands or foraminifer oozes. As the drilling campaign is designed to assess the gas-hydrate resource potential, the selected prospects for deep drilling are mainly combined structural and stratigraphic types as this type is of more economic importance.

Keywords: Offshore southwestern Taiwan; accretionary wedge; Continental margin of the South China Sea; Gas hydrates; Deep drilling

METHANE SOURCE AND FLUX IN GAS HYDRATE POTENTIAL AREA

OFFSHORE SOUTHWESTERN TAIWAN

Tsanyao Frank YANG¹, Nai-Chen CHEN¹, Chin-Yi HU¹, Pei-Chuan CHUANG¹,
Hsuan-Wen CHEN¹, Saulwood LIN², **San-Hsiung CHUNG**³, Yunshuen WANG³, Po-Chun CHEN³

¹Department of Geosciences, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617,
Taiwan, tyyang@ntu.edu.tw

²Institute of Oceanography, National Taiwan University, No. 1, Sec. 4, Roosevelt Road, Taipei 10617,
Taiwan, swlin@ntu.edu.tw

³Central Geological Survey, MOEA, No. 2, Ln. 109, Huaxin St., Zhonghe Dist., New Taipei City 23568,
Taiwan, chung@moeacgs.gov.tw

ABSTRACT

The widely distributed BSRs imply the existence of potential gas hydrates in offshore southwestern Taiwan. To better constrain the gas sources in this area, in total 22 cores have been collected from different tectonic environments in offshore SW Taiwan during the r/v Marion Dufresne 178 cruise, including 17 giant piston cores, 4 CASQ box cores, and 1 gravity core. The results show that the major gas is methane with very few ethane and carbon dioxide. It indicates they are mostly biogenic source in origin. However, some gas samples from active margin do also exhibit heavier carbon isotopic compositions, which range from -40 to -60 permil and are similar with the gas composition of inland mud volcanoes of SW Taiwan. It implies that there is also thermogenic gas source in this region. Total changes of the dissolved inorganic carbon (DIC) fluxes can be used to estimate the methane flux quantitatively, and we confirm that the sulfate depletion is mainly controlled by the anaerobic oxidation of methane (AOM) reaction and/or the sedimentary organic matter in this area. Although BSRs are widely distributed both in the active margin and in the passive margin, the methane fluxes in active margin are higher than in passive margin of the coring sites. Therefore, we consider that different tectonic settings in offshore SW Taiwan might strongly control the stability of gas hydrates, and then affect the methane concentrations and fluxes of the cored sediments.

ENTHALPY, ENTROPY, AND FREE ENERGY OF METHANE HYDRATE FROM MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS

YEH Kuan-Yu¹, LIN Shang-Tai¹, CHEN Li-Jen¹

¹Department of Chemical Engineering, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan,
ljchen@ntu.edu.tw

ABSTRACT

We applied two-phase thermodynamic (2PT) method to investigate the stability and phase boundary of structure I methane hydrate from molecular dynamics (MD) simulations. Two-phase thermodynamic method allows us to accurately calculate the entropy, heat capacity, and free energy of solid, liquid, and gas phases from a short MD trajectory. This model is well suitable for determining thermodynamic properties of complex hydrate systems, consisting of crystallized water and encaged gas molecules, over a wide range of temperature and pressure. The entropies as well as free energies of water and methane molecules in the hydrate and their corresponding equilibrium phases are calculated and compared. We find that the higher methane occupancy in the large hydrate cage is driven by the entropic effect. Methane molecules lose more than 70% translational entropy when trapped in the small cage, compared to 50% in the large cage, along hydrate-ice-vapor equilibrium while the rotational entropy is barely affected from the vapor to the hydrate phases. The equilibrium occupancy at relevant temperature and pressure and the phase diagram are also established.

CARBON CYCLING WITHIN THE METHANOGENIC ZONE OFFSHORE SW TAIWAN: AN APPLICATION OF ISOTOPIC MASS BALANCE SIMULATION

Nai-Chen Chen¹, Tsanyao Frank Yang¹, Wei-Li Hong², Pei-Chuan Chuang¹ Hsuan-Wen Chen¹,
Saulwood Lin³, Yunshuen Wang⁴

¹Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

²College of Earth Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State ³University, Corvallis OR 97331, U.S.A.

³Department of Geosciences, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan

⁴Central Geological Survey, MOEA, New Taipei City 23567, Taiwan

ABSTRACT

Data from giant piston cores collected from offshore SW Taiwan in r/v Marion Dufresne 178 cruise indicate significant ¹³C-depletion of methane and dissolved inorganic carbon (DIC) at sulfate methane transition zone (SMTZ). This may infer DIC produced by the process of anaerobic oxidation of methane (AOM) is recycled back to methane through CO₂ reduction (CR). Besides, the ²D of methane and pore water of cored samples may also imply this recycling and indicate some biogeochemistry processes. In order to find out the influence of CO₂ reduction on the carbon cycling, simple box model from Hong (2013) was applied to the obtained geochemical data of pore water samples. Five major processes were considered in the box model, i.e., AOM, CR, carbonate precipitation (CP), methanogenesis (ME) and particulate organic carbon sulfate reduction (POCSR). Simulating results show that the fluxes of solutes among different carbon pools can be successfully balanced and it fit well with the observed carbon isotopic signature in previous study. In this study, we can identify that CR process is essential because the difference of carbon budget between the observed data and modeled result is larger if the CR process is not involved in the model. Meanwhile, the influence of CR process on the carbon budget is much larger than particulate organic carbon degradation. Since the uncertainty of ¹³C-CH₄ and ¹³C- DIC at the core bottom may affect the results of mass balance simulation, the outcome of the box model can roughly fit our data. It is better to quantify some parameters, for instance, rate of AOM, to better constrain this system in the future. We can summarize the concluding remarks as follows: (1) more than 30 % of DIC produced by AOM was consumed by the CR process; (2) the consumption of sulfate due to POCSR can not be ignored even if the profile of decreasing sulfate concentration are linear.

Keywords: carbon cycling, AOM, DIC, methanogenesis

ESTIMATION OF HYDRATE SATURATION AT THE PROPOSED DRILLING SITES OFF SW TAIWAN FROM FOUR-COMPONENT OCEAN-BOTTOM SEISMOMETERS

Tan K. WANG, Ting-Ren CHEN, Jia-Ming DENG, Chao-Shing LEE Institute of Applied
Geosciences, National Taiwan Ocean University, Keelung, 20224,
TAIWAN

Wen-Bin CHENG
Department of Environment and Property Management, Jinwen University of Science of Technology,
Taipei, TAIWAN

Char-Shine LIU
Institute of Oceanography, National Taiwan University, Taipei, 10617, TAIWAN

Song-Chuen CHEN
Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs, Taipei, TAIWAN

ABSTRACT

Travel-time inversion and synthetic seismograms from four-component data of 14 ocean-bottom seismometers (OBS) recorded in 2004-2009 were implemented for imaging P-wave (V_p) and S-wave (V_s) velocities of the hydrate-bearing sediment near 6 proposed drilling sites off SW Taiwan. P-wave and S-wave velocities above the bottom-simulating reflector (BSR) imaged from the four-component OBS data, physical parameters, obtained from the ODP Leg 184 in the northern South China Sea (SCS) for the passive margin and ODP Leg 190 in the Nankai Trough off south Japan for the active margin, and physical modeling of the three-phase effective medium were then used to estimate the hydrate saturation at the proposed drilling sites. In the continental slope of the northernmost SCS, relatively high P-wave velocity of 1.95-2 km/s but relatively low V_p/V_s ratio of 3.27-3.36 above the BSR at proposed drilling site of the Pointer Ridge (PR1) lead to high saturation of the hydrate of 20-24%. High saturation of the hydrate at the PR1 site is similar to those drilled in the Gulf of Mexico and the KG Basin off SE India. However, 25 km east of the Pointer Ridge in the continental slope, hydrate saturation at proposed drilling site of the Formosa Ridge (FMR1) can decrease to 13-15% because low P-wave velocity of 1.9-1.96 km/s but high V_p/V_s ratio of 3.36-3.39 were found above the BSR. Low saturation of the hydrate at the FMR1 site is consistent to those drilled in the Norwegian Margin and the Blake Ridge. On the other hand, in the overriding wedge off SW Taiwan, low P-wave velocity of 1.7-1.98 km/s, low V_p/V_s ratio of 3.09-3.25 and high saturation of the hydrate of 16-20% were estimated above the BSR at the proposed drilling sites in the Yung-An Ridge (YAR1, YAR3). High saturation of the hydrate at the YAR1 and YAR3 sites is consistent to the saturation (15-25%) of the hydrate drilled in the Cascadia Margin. However, at the proposed drilling sites in the Yung-An Ridge (YAR2) and west of the Kao-Ping Canyon (KP6-2), P-wave velocity of 1.85-2.1 km/s and V_p/V_s ratio of 3.28-3.37 are relatively high that low saturation of the hydrate of 10-15%, similar to the Hydrate Ridge, is evaluated. We conclude that the hydrate saturation should be better estimated

Keywords: continental slope, overriding wedge, ridge, seismic velocity, travel-time inversion

**IMAGING SEISMIC VELOCITIES for HYDRATE-BEARING SEDIMENTS
USING CONVERTED WAVES NEAR YUAN-AN RIDGE,
OFF SOUTHWEST TAIWAN**

Cheng, W.B., Shih, T.Y., Lin, W.Y., Wang, T.K., Liu, C.S. and Wang, Y.

ABSTRACT

Data from P-waves and from S-waves generated by P-S conversion on reflection from airgun shots recorded along four lines of ocean bottom seismometers were used to construct 2-D velocity sections near the Yuan-An Ridge, off southwest Taiwan. The locations of the Ocean bottom seismometers were determined to high accuracy by an inversion based on the shot traveltimes. Traveltime inversion and forward modeling of multicomponent wide-angle seismic data result in detailed P-wave (V_p) and S-wave (V_s) velocities of hydrate-bearing sediment layers. The inversion indicates a relatively high P-wave velocity beneath topographic ridges which represent a series of thrust-cored anticlines develop in the accretionary wedge. S-wave velocities of the sediments over the entire section, down to >400 m below seafloor, range from 320 to 570 ms⁻¹. We suggested the lateral variation in V_p/V_s profiles in the hydrate-affected zones may be related to the migration conduit of gas-rich fluid and a characteristic of hydrate content. We model V_p using equations based on a modification of Wood's equation to estimate the gas hydrate saturation. The hydrate saturation varies from 5% at the top ~200 m below the seafloor to 10-15% of pore space close to the BSR in the survey area.

CHAIN LENGTH EFFECT OF IONIC LIQUIDS ON THE INHIBITION OF METHANE HYDRATE FORMATION

Che-Kang CHU¹, Po-Chun CHEN², Yan-Ping CHEN¹, Shiang-Tai LIN¹ and Li-Jen CHEN¹

¹Department of Chemical Engineering, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan
²Central Geological Survey, New Taipei City 235, Taiwan

ABSTRACT

A differential scanning calorimeter was used to determine the dissociation temperature of methane hydrate in the presence of ionic liquid 1-carbonyl-3-methylimidazolium chloride under a constant pressure ranging from 5 to 35 MPa. A homologous series of 1-carbonyl-3-methylimidazolium chloride: 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride, 1-hexyl-3-methylimidazolium chloride and 1-decyl-3-methylimidazolium chloride, with different side chain lengths (2, 6 and 10) were used as methane hydrate inhibitors. All these ionic liquids have inhibition effect on methane hydrate formation. Moreover, the shorter the side chain is, the stronger the inhibition effect is. That is, the order of inhibition effect of these ionic liquids is: 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride > 1-hexyl-3-methylimidazolium chloride > 1-decyl-3-methylimidazolium chloride. The three-phase vapor-liquid-hydrate equilibrium condition of methane hydrate in the presence of 1-carbonyl-3-methylimidazolium chloride was successfully described by a predictive model. The Peng-Robinson-Stryjek-Vera equation of state incorporated with COSMO-SAC activity coefficient model and the first order modified Huron-Vidal mixing rule were applied to evaluate the fugacity of vapor and liquid phase. A modified van der Waals and Platteeuw model was applied to determine the fugacity of hydrate phase.

Keywords: gas hydrates, inhibitors, ionic liquids, differential scanning calorimetry, COSMO-SAC activity coefficient mode

附件 4、中國大陸之天然氣水合物調查研究進展

(資料來源：鐘三雄，2007；樊栓獅等，2009；大陸地質調查局，2014)

中國大陸的天然氣水合物調查研究，起步雖然晚於歐美日等國家，但近期的進展快速，值得我國持續關注。

發展歷程與紀要

萌芽階段

1980 年代，西南石油學院等單位開始進行天然氣水合物的實驗研究。1990 年，大陸科學院蘭州冰川凍土研究所在實驗室成功合成天然氣水合物。1992 年大陸科學院蘭州文獻情報中心出版「國外天然氣水合物研究進展」。在大陸大洋協會和原地質礦產部的支持下，1995 年與 1997 年分別實施「西太平洋天然氣水合物找礦前景與方法的調研」與「大陸海域天然氣水合物勘測研究調研」等研究課題。

先期調查研究階段（第一期）

1995 年之後，開始進入先期調查與研究階段，目的旨在瞭解中國大陸海域及高山永凍層蘊藏天然氣水合物的潛能。1998 年中國大陸正式成為國際大洋鑽探計畫會員國，此後大陸科學院、廣州海洋地質調查局，國家海洋局、中國海洋石油總公司等機構，開始推展天然氣水合物的研究工作。1999 年，廣州海洋地質調查局開始在南海北部海域實施天然氣水合物資源的先期調查，並首次在西沙海槽地區辨識出海底仿擬反射的分布。2001 年，青島海洋地質研究所首度成功合成甲烷水合物。

全面調查研究階段（第二期）

2002 年開始，中國大陸將天然氣水合物調查研究納在「國家高技術發展計畫(863 計畫)」與「國家重大基礎研究發展計畫(973 計畫)」

等國家型研發計畫項下，陸續展開全面調查研究與科技研發，期能劃定天然氣水合物分布，評估其資源潛能，並研究天然氣水合物的生成機制。

在科技發展方面，中國大陸在 2002 年與 2006 年，分別啟動「863 計畫」關於「天然氣水合物資源調查關鍵技術研發計畫」及「天然氣水合物勘探開發關鍵技術」等重大研發項目。2004 年，大陸科學院成立廣州天然氣水合物研究中心，進行跨學科、跨研究所的研究。2005 年啟動永凍層鑽井及岩心採集技術之研究。2007 年，正式啟動「973 計畫」關於「南海天然氣水合物富集規律與開採基礎研究」專項計畫。

在資源調查方面，自 2002 年開始，大陸地質調查局開始在青藏高原永凍層地區，展開地質、地球物理、地球化學和遙測等調查。2004 年，廣州海洋地質調查局與德國基爾（Kiel）大學萊布尼茲（Leibniz）海洋科學研究所的合作，利用德國研究船「太陽號」（R/V Sonne）的海底多音束水深測量系統等先進設備，進行東沙海域和西沙海槽等海域的調查工作。2005 年，廣州海洋地質調查局和德國基爾大學在南海發現天然氣水合物蘊藏的證據。2007 年，在南海北部神弧海域首度鑽獲海底天然氣水合物標本，證實該區天然氣水合物蘊藏潛能。2008 年，在祁連山木里地區首次鑽獲永凍層天然氣水合物標本。

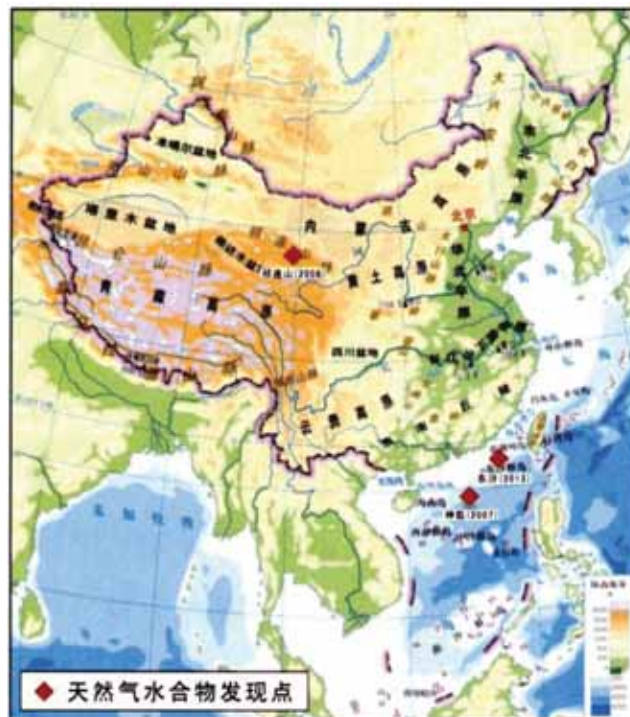
詳細調查研究階段（第三期）

自 2011 年開始，中國大陸持續實施高解析地球物理與地質調查，以及鑽探與岩心分析等詳細調查研究，期能達成天然氣水合物資源潛能評價，並選出天然氣水合物生產測試目標區等階段目標。2011 年，首次在祁連山木里地區實施永凍層天然氣水合物生產試驗。2013 年，在南海北部珠江口盆地東部海域再次鑽獲海底天然氣水合物岩心標本，並估算分布面積約 55 km^2 之天然氣水合物資源量約 1,000 至 1,500 億 m^3 ；同年也在祁連山木里地區 2 個站位，再次鑽獲永凍層天然氣水合

物標本。

天然氣水合物資源調查進展

自 1999 年開始，大陸地質調查局相關單位在南海、東海、和陸上高山永凍層地區，展開一系列天然氣水合物資源調查研究。經由鑽探調查，目前在南海北部神弧海域、珠江口盆地東部海域（九龍甲烷礁地區）、祁連山永凍層地區等區域發現天然氣水合物的蘊藏（附件 4-圖 1）。

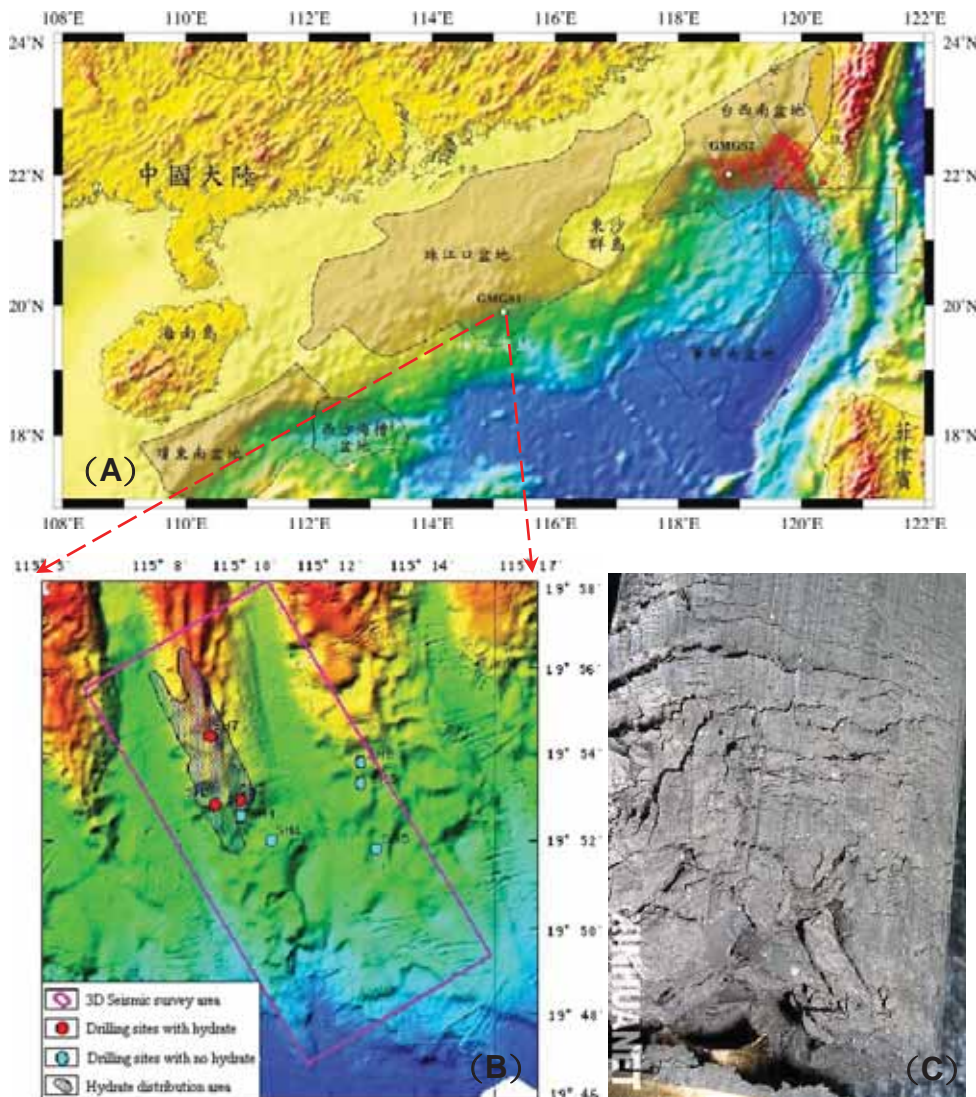


附件 4-圖 1、中國大陸鑽獲含天然氣水合物岩心標本的位置分布圖（大陸地質調查局，2014）。紅色菱形標示鑽獲天然氣水合物地區，一處在祁連山永凍層區，二處位在南海北部大陸斜坡海域。

海域天然氣水合物資源調查進展

中國大陸周圍海域中，南海（南中國海）地區是天然氣水合物成礦條件和探礦前景最好的地區，也是目前調查程度最高的海域。自 1990 年開始至 2013 年，大陸地質調查所在南海北部海域展開 40 多個航次

的天然氣水合物資源綜合調查，完成一系列的高解析多頻道反射震測（測線總長 45,800 km）、多音束聲納測深（測線總長 36,800 km）、海床底質剖面（測線總長 7,100 km）、海底熱流測量（222 個測站）、海床沉積物岩心採樣（1,480 個站位）、鑽探等調查與研究工作。



附件 4-圖 2、(A)2007 年中國大陸在南海北部神弧海域實施鑽探調查(GMGS1)之地理位置圖。(B) 隨鑽井測之鑽探井位分布圖，紅色圓點位代表鑽獲天然氣水合物標本站位。(C) 鑽獲含天然氣水合物岩心標本照片，天然氣水合物呈分散浸染狀產於沉積物孔隙中，肉眼無法辨識。

(一) 南海北部神弧海域

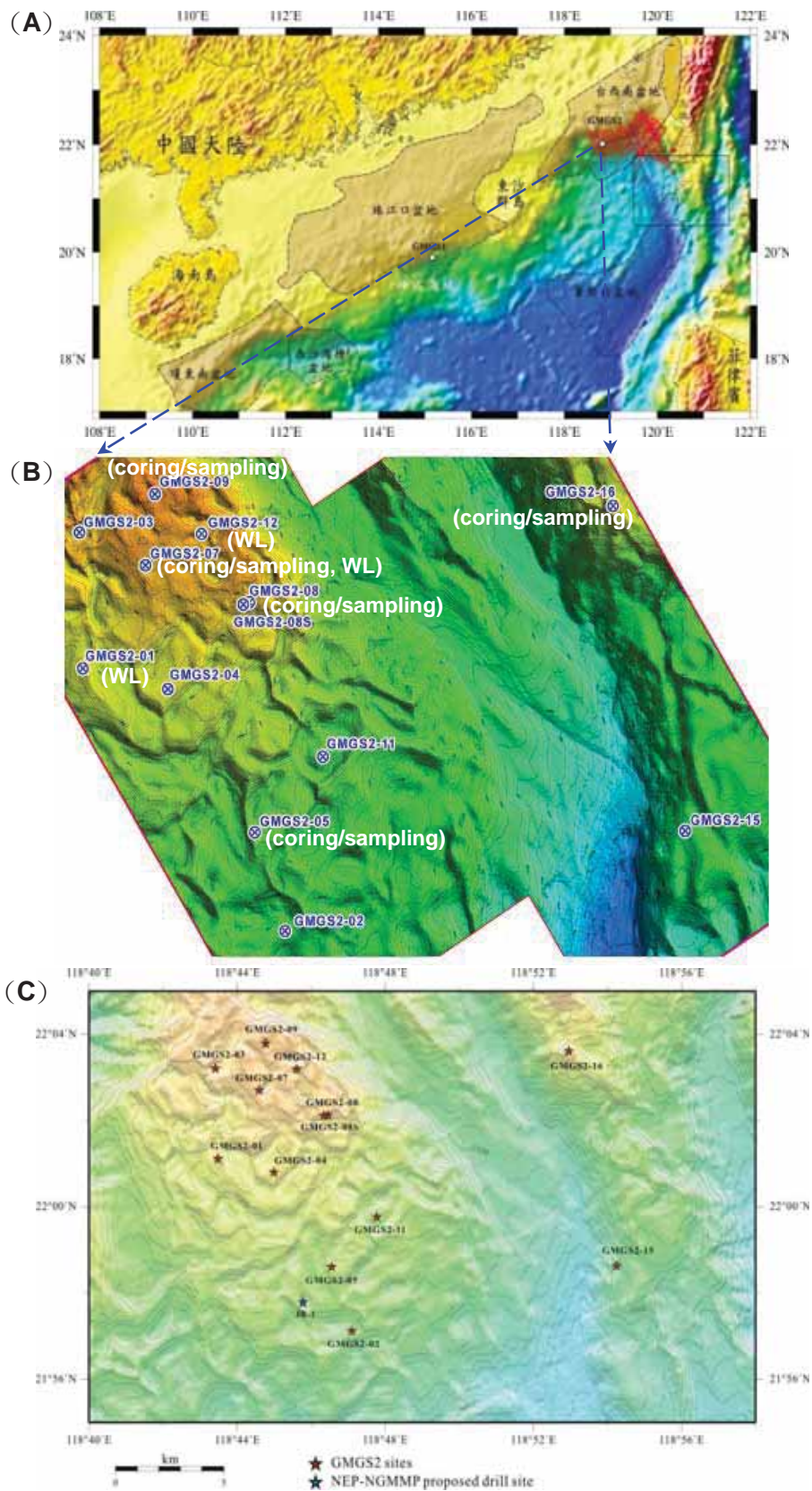
2007 年，廣州海洋地質調查局聯合相關單位，租用輝固公司

Bavenit 號 (Fugro M/V Bavenit) 鑽探船，在南海北部神弧海域地區進行第 1 次海底天然氣水合物鑽探調查 (附件 4-圖 2)，8 個鑽探站位中有 3 個站位鑽獲天然氣水合物標本，其站位水深約 1,230-1,245 m，天然氣水合物產於海床下 183-225 m 處，呈分散浸染狀賦存在沉積層空隙中 (附件 4-圖 2)，含天然氣水合物層厚約 18-34 m，天然氣水合物飽和度約 20-43 %，所包含甲烷的含量達 99.7-99.8 %。

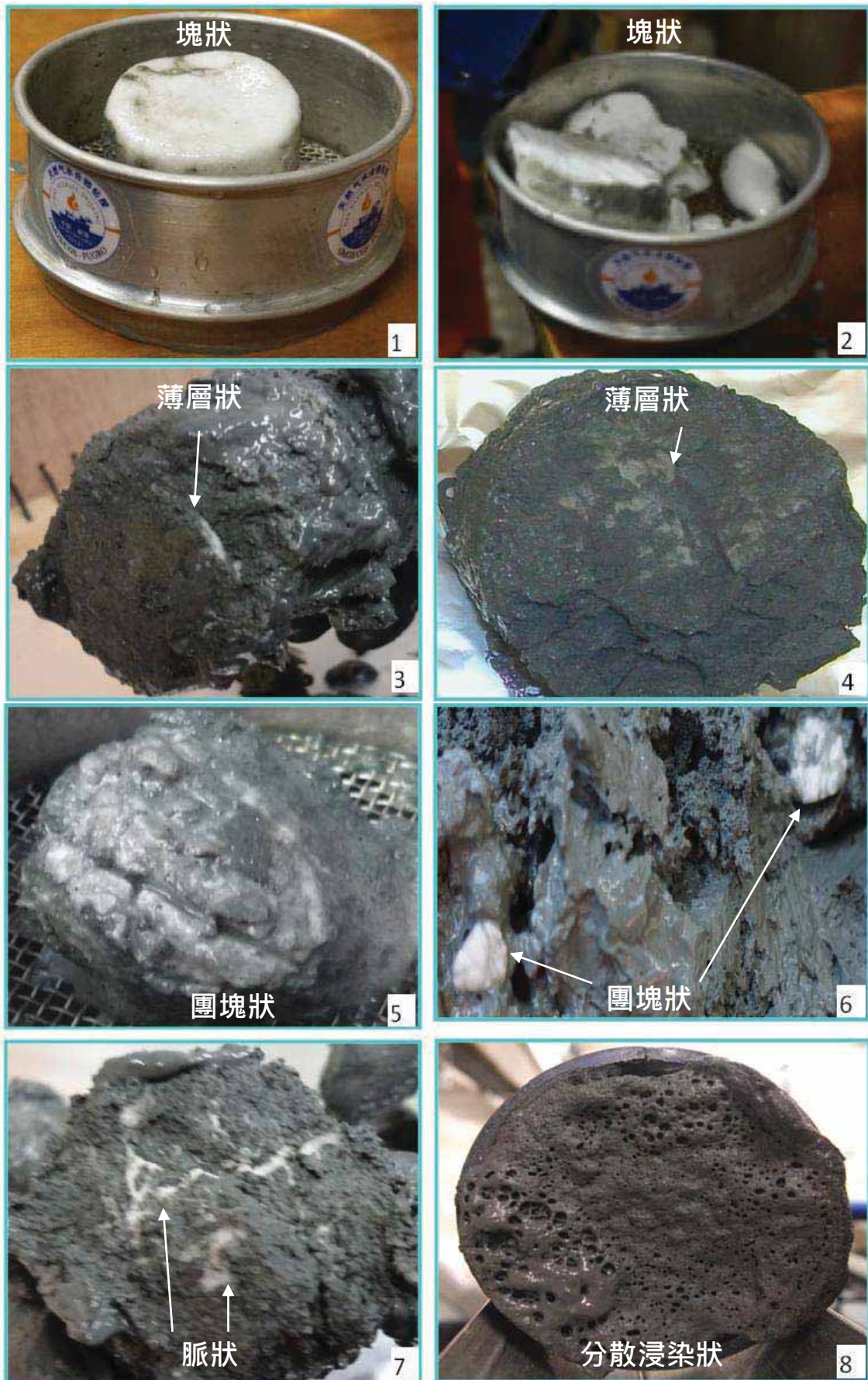
(二) 南海北部珠江口盆地東部海域 (東沙群島東北部海域)

2013 年，廣州海洋地質調查局再次聯合相關單位，租用輝固公司 REM Etive 號鑽探船 (Fugro M/V REM Etive)，在南海北部珠江口盆地東部海域(九龍甲烷礁地區)實施第 2 次海底天然氣水合物鑽探調查，13 個鑽探站位中有 5 個站位鑽獲天然氣水合物標本 (附件 4-圖 3)，另 4 個站位具有天然氣水合物存在的指標。此次鑽獲的天然氣水合物，多呈現層狀、塊狀、結核/團塊狀、脈狀等型態產出 (肉眼可辨識)，部分則呈現分散浸染狀 (肉眼無法辨識) 賦存在沉積層中 (附件 4-圖 4)，具有埋藏淺、厚度大、型態多、含礦率高、所含甲烷純度高等特點。鑽獲天然氣水合物的站位水深約 600-1,000 m，天然氣水合物賦存在海床下 220 m 內的兩個礦層中，其上礦層厚 15 m、下礦層厚 30 m。

經過圖資比對結果，中國大陸在南海北部珠江口盆地東部海域鑽探調查區，係位在東沙群島東北海域之所謂「九龍甲烷礁地區」，約東經 118 度 42 分至 118 度 56 分、北緯 21 度 56 分至 22 度 05 分的海域範圍內，距離高雄約 100 海浬，位在我國專屬經濟海域範圍內 (附件 4-圖 3)。目前中國大陸規劃在 2015 年開始著手海底天然氣水合物試採鑽探作業，2017 年實施海底天然氣水合物生產試驗；依據 2013 年鑽探結果，中國大陸極可能選擇位於我國專屬經濟海域之九龍甲烷礁地區實施試採作業，故我國應密切關注中國大陸的調查進展與動向，及早研擬因應對策，維護我國海域主張權益。



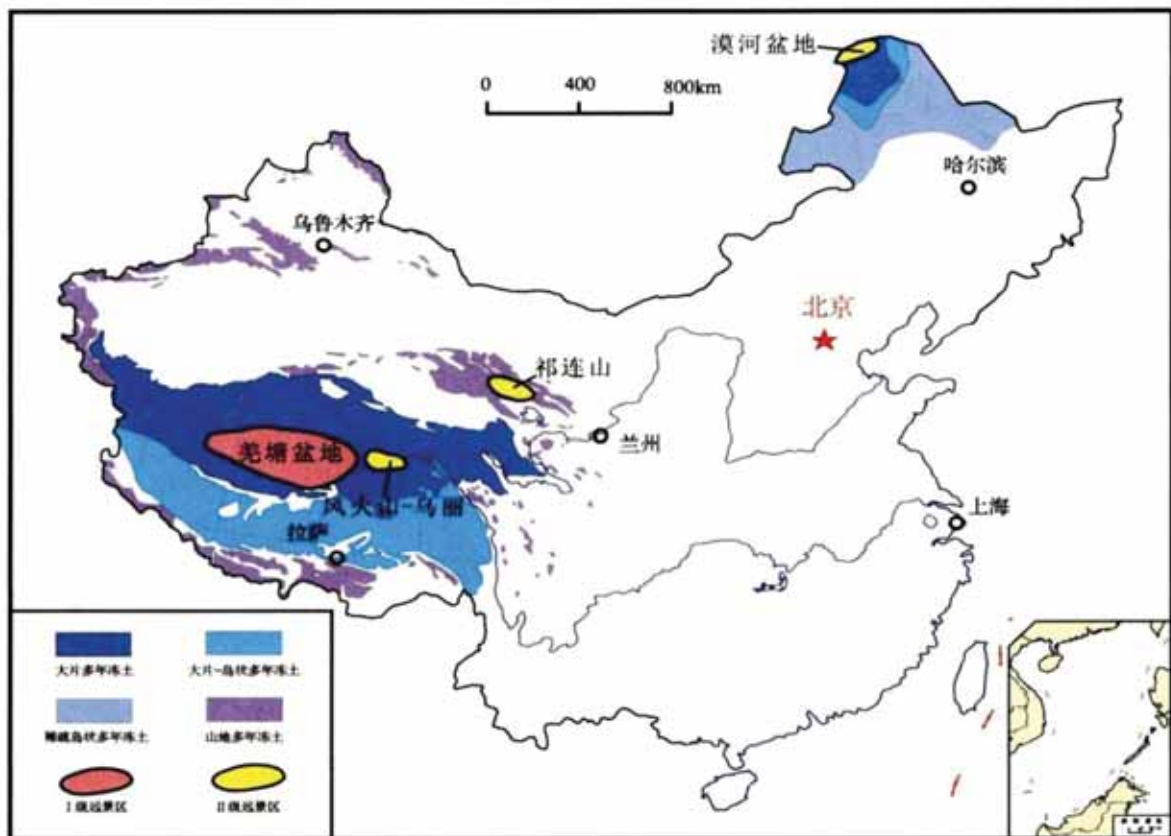
附件 4-圖 3、(A) 2013 年中國大陸在南海北部珠江口盆地東部海域實施第 2 次海底天然氣水合物鑽探調查區 (GMGS2) 之地理位置圖。(B) 隨鑽井測之鑽探井位分布圖 (Zhang et al., 2014)。(C) 依據水深地形圖比對出 GMGS2 鑽探井位 (紅色星號) 分布圖, 範圍位在所謂「九龍甲烷礁地區」, 藍色星號為我國科技部天然氣水合物主軸計畫研提之鑽探規劃井位 JH-1。



附件 4-圖 4、2013 年中國大陸 GMGS2 鑽探航次所鑽獲含白色天然氣水合物岩心標本，多呈塊狀、薄層狀、團塊狀、脈狀、分散浸染狀等型態產於沉積物中。

二、陸域高山永凍層天然氣水合物資源調查進展

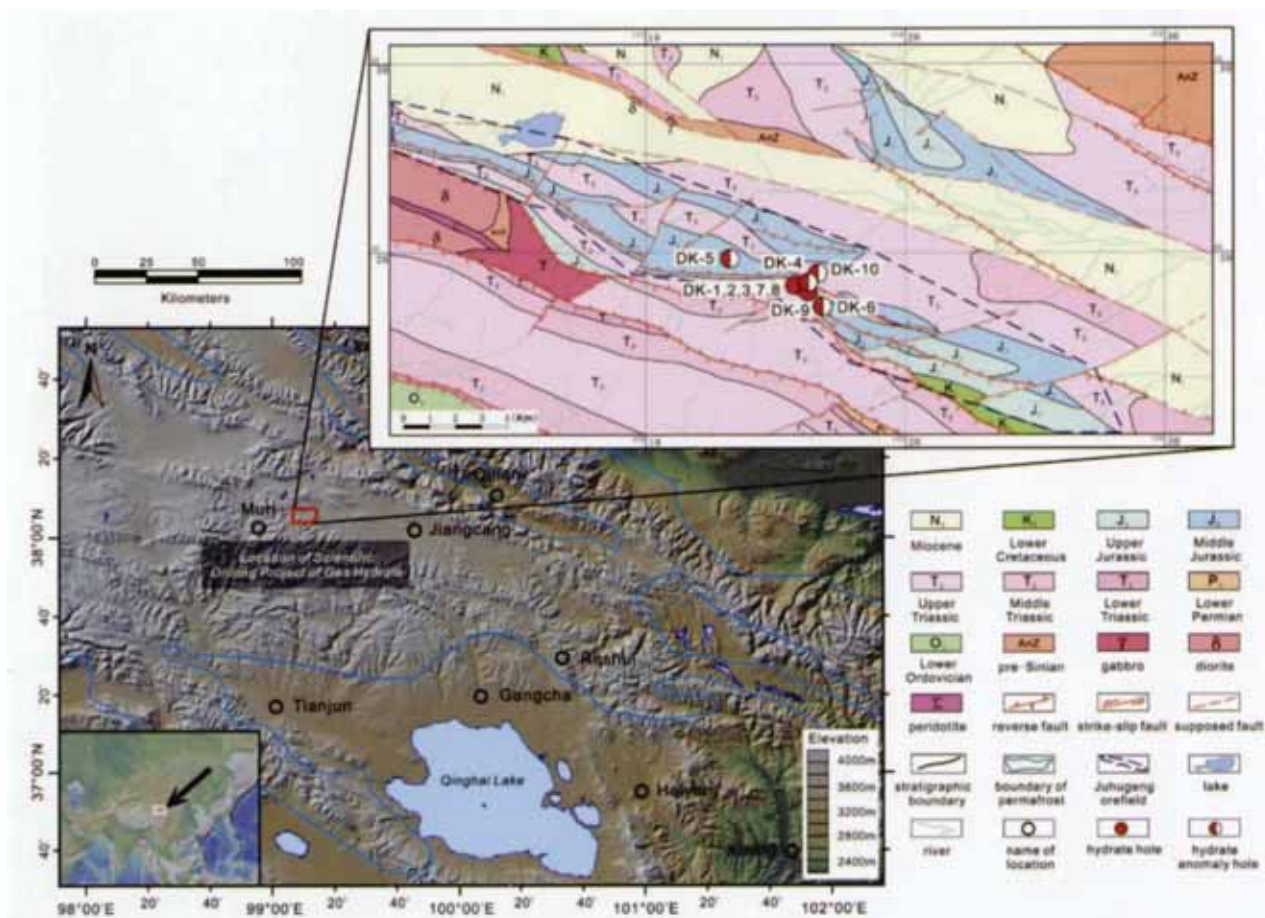
中國大陸的高山永凍層主要分布在青藏高原與大興安嶺地區，總面積 215 萬 km²，佔大陸總面積 22.4%，是世界第三永凍層大國。自 2002 年開始，大陸地質調查局對於西部青藏高原與東北部大興安嶺等高山永凍層地區展開地質、地球物理、地球化學、遙測等調查。初步結果顯示，中國大陸高山永凍層具備良好的天然氣水合物成礦條件和探礦前景，其中青藏高原羌塘盆地為 I 級遠景區，青藏高原北緣祁連山和青南藏北高原風火山-烏麗地區及大興安嶺漠河盆地為 II 級遠景區（附件 4-圖 5）。



附件 4-圖 5、中國大陸的高山永凍層區域分布圖與永凍層天然氣水合物探礦遠景區預測圖。

（一）青藏高原北緣祁連山永凍層

2008-2010 年期間，大陸地質調查局聯合大陸科學院等單位，選擇祁連山木里地區實施永凍層天然氣水合物鑽探試驗工程，先後完成 8 個鑽井，鑽探總進尺 3,434.73 m，其中 5 個井位 (DK-1、DK-2、DK-3、DK-7、DK-8) 鑽獲天然氣水合物實物標本，其餘 3 個井位 (DK-4、DK-5、DK-6) 發現具有天然氣水合物存在的異常指標 (附件 4 圖 6)。整體而言，天然氣水合物埋深約在地表下 133-396 m，呈薄層狀、片狀、脈狀等型態，充填在砂岩、粉砂岩、泥岩的裂隙或破裂面中 (附件 4 圖 7)，部分則呈分散浸染狀賦存於細粉砂岩的孔隙中。天然氣水合物所含的氣體組成，以甲烷 (C_1) 為主 (約 55-76%)，同時含有乙烷 (C_2) 與丙烷 (C_3) 等組成，部分樣品中還含有一定量的 CO_2 (附件 4-表 1)。這些天然氣成因主要源自熱裂解作用，屬於熱成熟氣來源。



附件 4-圖 6、中國大陸在祁連山木里地區實施永凍層天然氣水合物鑽探調查的地理位置與鑽探井位分布圖。

附件 4-表 1、祁連山永凍層天然氣水合物之氣體組成分析

取樣深度 (m)	C ₁	C ₂	C ₃	i-C ₄	n-C ₄	n-C ₅	O ₂	N ₂	CO ₂
224	54.64	7.78	4.43	0.26	1.64	0.37	0.35	12.99	17.56
230	55.36	14.62	16.11	1.56	3.70	1.05	1.66	3.24	2.70
231	66.14	10.77	8.53	0.82	3.25	0.91	0.86	7.01	1.69
232	66.05	10.16	6.02	0.57	2.45	0.86	1.43	11.48	0.98
235	72.81	10.35	7.08	0.66	2.11	0.82	1.27	3.91	0.98
250	56.67	7.75	10.68	1.14	1.67	0.00	4.20	12.00	5.88
253	68.13	9.60	18.25	1.69	1.53	0.35	0.00	0.00	0.45
266	66.54	8.93	20.97	1.93	1.02	0.18	0.21	0.00	0.23
275	65.45	9.98	6.50	0.58	3.22	1.18	0.00	6.52	6.58
288	54.51	12.21	16.14	1.43	4.25	1.39	1.64	4.77	3.67
290	75.76	9.81	7.55	0.75	2.53	0.78	0.48	0.00	2.34
290	65.63	9.01	21.04	2.10	1.14	0.00	0.06	0.00	1.02



附件 4-圖 7、祁連山木里地區鑽獲永凍層天然氣水合物岩心標本及點火燃燒情形。手指處指向充填在泥岩裂隙中之煙灰色薄片狀天然氣水合物。

2013年，根據祁連山永凍層天然氣水合物成礦因素研究，結合地球物理與地球化探勘結果，大陸地質調查局再次實施2個井位的鑽探調查。其中井位DK-9位在DK-1井東南方約450 m處，在188.20-367.59 m井段發現4段含天然氣水合物岩層，並在227.70-507.83 m井段發現3層與天然氣水合物相關的異常指標；另外，在DK-9井的362.79-370.58 m井段發現近8 m厚的含油層（附件4-圖8）。井位DK-10位於DK-1井的東北方，在地表下50多公尺處，鑽遇淺部高壓含氣層（shallow gas）日產量達4,800 m³，在放噴10,000 m³後封井。



附件4-圖8、中國大陸祁連山永凍層地區DK-9井位在362-370 m井段的岩心標本照片（下圖），此段岩心屬於侏羅紀砂岩。上圖為所含原油滲到岩心表面的照片。

中國大陸在祁連山永凍層地區首次發現天然氣水合物的蘊藏，是世界上首次在中緯度高山永凍層地區鑽獲天然氣水合物標本。祁連山永凍層天然氣水合物具有埋藏淺、永凍層薄、所含氣體組成複雜（熱成熟氣為主）等特徵（如附件 4-表 2），是世界上較為罕見的新類型天然氣水合物。

附件 4-表 2、祁連山與其他極區永凍層之天然氣水合物資源特性比較

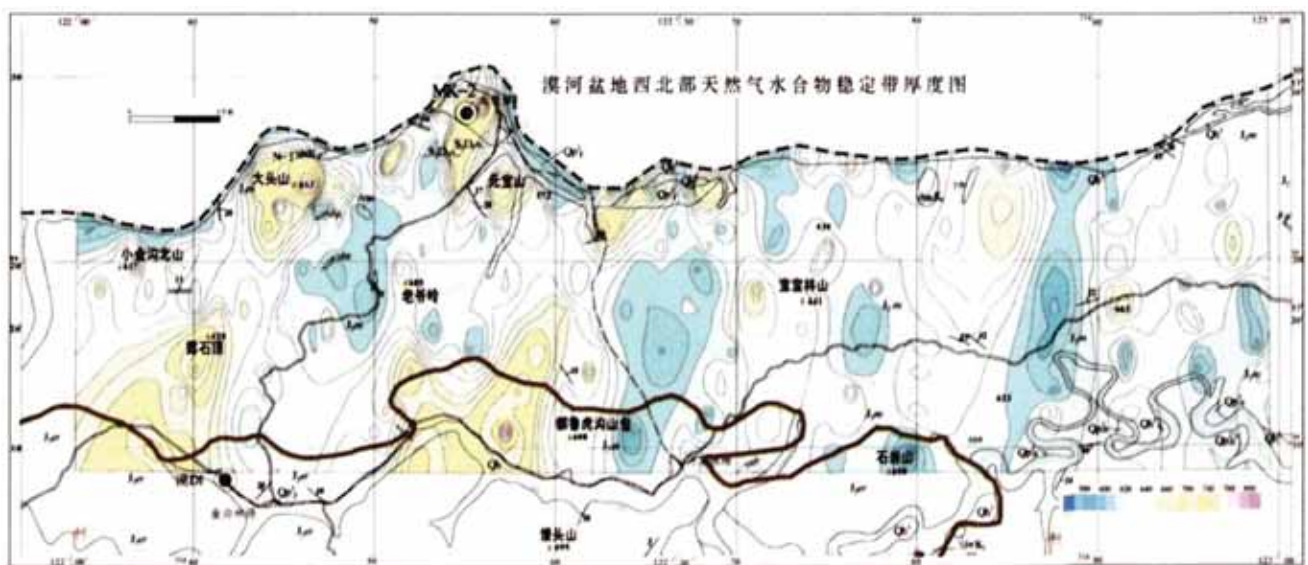
永凍層地區	極區/高緯度	祁連山
天然氣水合物 氣體組成	簡單。甲烷為主，乙烷與丙烷含量低	複雜。甲烷為主，乙烷與丙烷含量較高
結晶構造	I 型 (sI)	II 型 (sII)
賦存層的地層年代	新生代 (Cenozoic) 沉積物，膠結較疏鬆	中生代侏羅紀 (Jurassic) 沉積物，已岩化，膠結緊密
永凍層類型	極區型	阿爾卑斯山型 (Alpine)
永凍層厚度	數百公尺厚	較薄，常小於 100 公尺
天然氣水合物 產出帶	永凍層下方	

（二）大興安嶺地區漠河盆地永凍層

中國大陸在東北漠河盆地（大興安嶺地區）進行永凍層天然氣水合物調查始於 2003 年。漠河盆地的永凍層厚度一般約 30-100 m，最厚則超過 140 m，地溫梯度約 1.6-2.38 °C/100m，且在地表常可發現烴類氣體含量異常的現象，此異常多分布在正斷層發育密集的地區，可能是深部烴類氣體沿著張裂面向上運移所致。故漠河盆地永凍層地區具有形成天然氣水合物所需的溫壓與地質條件。

綜合地質、地球物理、地球化學調查成果，中國大陸已編製完成

首張漠河盆地西北部永凍層天然氣水合物穩定帶厚度圖(附件4-圖9)。目前已在漠河盆地實施2口天然氣水合物鑽探試驗井MK-1和MK-2，但並未鑽獲天然氣水合物實體標本；其中MK-2井的鑽探進尺為2303.3 m，是迄今漠河盆地最深的鑽井。漠河組是漠河盆地最重要的生烱層系，鑽探結果顯示，此生烱層系的厚度超過2,000 m，且在700 m以下井段發現多層烱類氣體含量異常的現象，這為天然氣水合物形成提供了充足氣源。



附件4-圖9、中國大陸東北漠河盆地永凍層調查區之天然氣水合物穩定帶的預測分布圖。

(三) 青南-藏北高原永凍層

青北-藏南永凍層是青藏高原永凍層的主體，面積約60.7萬 km²，海拔約4,500-5,000 m。自2010年起，大陸地質調查局全面啟動青南-藏北永凍層的天然氣水合物資源調查工作。

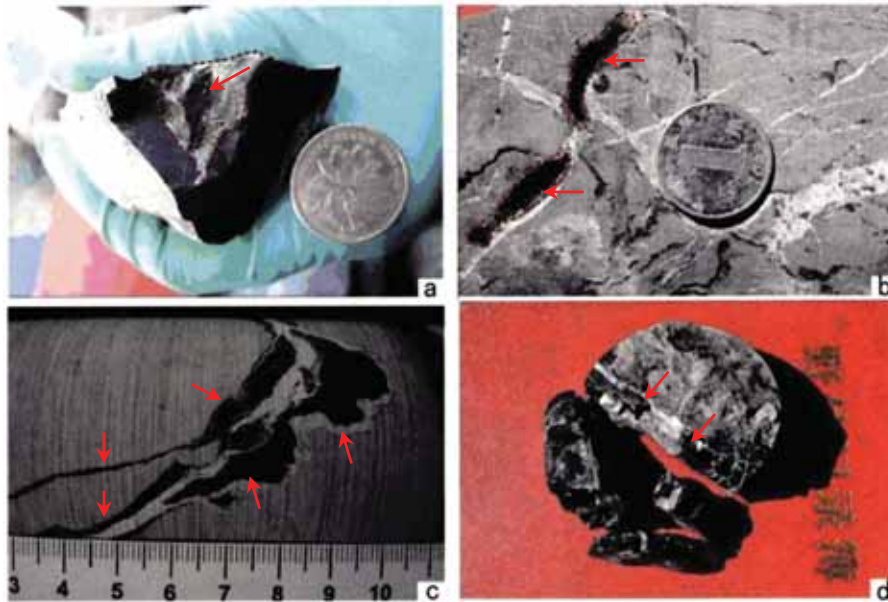
目前已完成勝利河、托納木、噴納湖和土門地區的1:5萬天然氣水合物資源地質調查。在戈木錯、噴納湖地區發現泥火山群(附件4-圖10)，其中噴納湖地區的現生泥火山還有冒氣活動現象，顯示該地

區有豐富的氣體，有利於形成天然氣水合物。



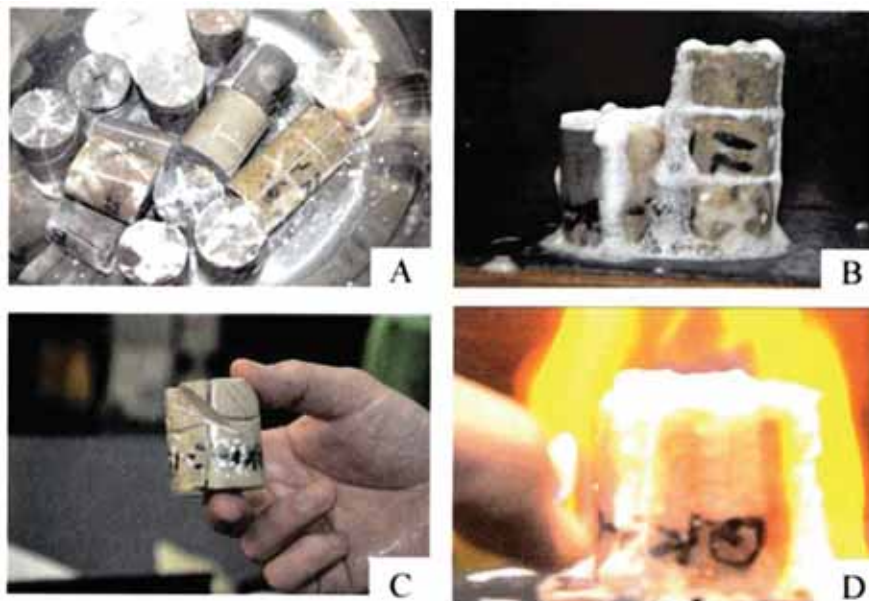
附件 4-圖 10、中國大陸西藏高原羌塘盆地戈木錯和噴納湖地區所發現的泥火山及遙測影像圖。

在羌塘盆地重點區完成面積 $1,500 \text{ km}^2$ 的地球化學調查、測線總長 836.1 km 的音頻大地電磁探測、測線總長 259 km 的二維反射震測調查，以瞭解調查區永凍層天然氣水合物生成的溫壓和地質條件。目前也完成 QK-1、QK-2、QK-3、QK-4、QK 等 5 口試驗井的鑽探調查，探明永凍層厚度、地層岩性、地溫梯度、氣源和岩層物性等特徵。其中 QK-3 井發現三處液態油苗，QK-5 井則發現多處瀝青脈（附件 4-圖 11），顯示這些地區具有較好的油氣生成、運移、聚集條件，有利於天然氣水合物生成。



附件 4-圖 11、中國大陸青南藏北高原羌塘盆地永凍層鑽井岩心含有液態油苗 (a 與 b) 和黑色瀝清脈 (c 與 d)。

此外，利用羌塘盆地鑽井岩心樣品，模擬原位 (in situ) 溫壓條件進行天然氣水合物人工合成試驗結果，發現在岩心裂隙中充填著白色天然氣水合物合成樣品(附件 4 圖)，由此證明，在氣源充足的條件下，羌塘盆地永凍層地區就能形成天然氣水合物。

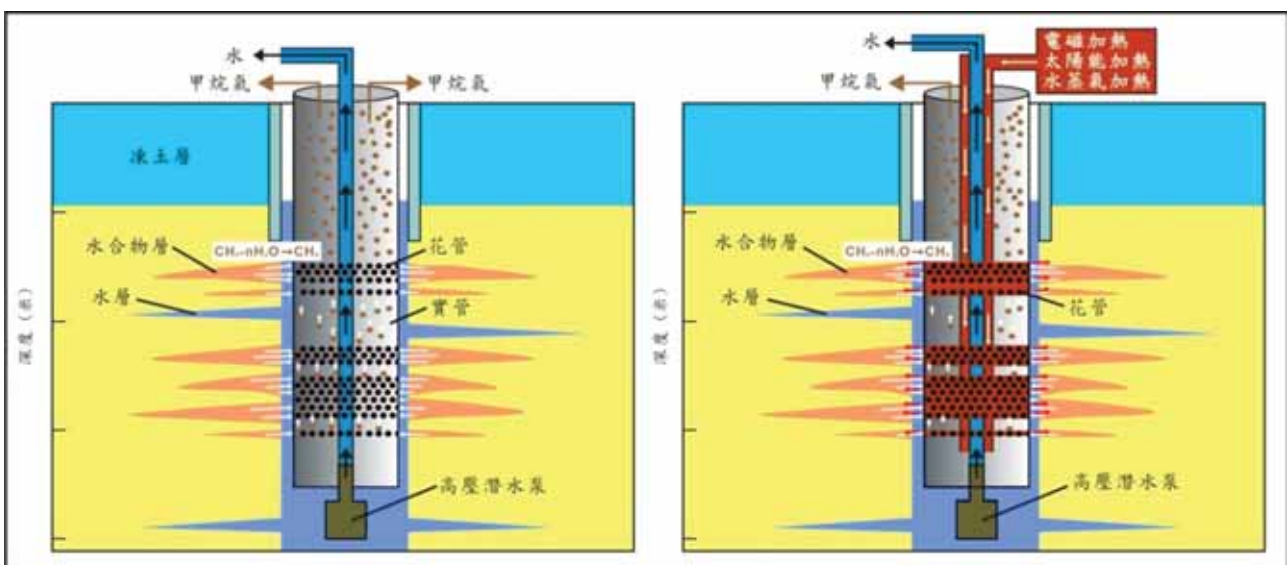


附件 4-圖 12、羌塘盆地鑽井岩心實驗合成的裂隙填充狀白色天然氣水合物標本 (A 與 C) 及解離作用產生水與氣的冒泡現象 (B) 和點火燃燒的情形 (D)。

三、高山永凍層天然氣水合物試採進展

2011年9-10月期間，大陸地質調查局聯合大陸地質科學院礦產資源研究所、勘探技術研究所、吉林大學等單位，在祁連山木里地區進行永凍層天然氣水合物生產試驗。生產試驗分兩個階段進行，分別測試降壓法和加熱法的生產技術可行性。

本次生產試驗採用單井生產方案，在完成 DK-8 試採井（鑽探進尺 401 m）鑽探並確認天然氣水合物賦存層確切層位後，安裝開採套管並固井止水，再將高壓潛水泵放置井底預定位置。啟動井底前水泵抽出鑽孔內的水體，隨著水位的下降，天然氣水合物賦存層圍壓隨之降低，促使天然氣水合物發生分解並釋放出甲烷氣，甲烷氣通過開採套管上升到地表而被採收；降壓法生產試驗結束後，則採用電磁加熱、太陽能加熱和水蒸氣加熱等三種加熱法進行試採實驗(附件4-圖 13)。9月28日至10月1日進行第一階段的降壓法生產試驗，10月14日至10月18日則進行第二階段的加熱法生產試驗，試採時數累計 101 小時，成功採收天然氣量 95 m^3 ，試採作業現場如附件 4-圖 14 所示。



附件 4-圖 13、中國大陸在祁連山木里地區採用降壓法（左圖）和加熱法（右圖）進行天然氣水合物試採的工程概念示意圖。



附件 4-圖 14、祁連山永凍層地區 DK-8 井之天然氣水合物試採現場與成功採出甲烷的試氣燃燒情形。

附件 5、參考資料

- 大陸地質調查局(2014)天然氣水合物調查研究進展(2013)。大陸地質調查局，共 37 頁。
- 樊栓獅、陳玉娟、郎雪梅、王燕鴻(2009)韓國天然氣水合物研究開發思路及對我國的啟示。中外能源(中國大陸期刊)，第 14 卷，第 10 期，第 20-25 頁。
- 鐘三雄(2008)第六屆天然氣水合物國際研討會議。經濟部中央地質調查所出國報告，共 51 頁。
- Boswell, R. (2011) Topic Paper: Gas Hydrates: Research Status and Potential as Future energy Supply for the United States. Working Document of the North American Resource Development Study, In: Paper #1-11 Methane Hydrates, Prepared for the Resource & Supply Task Group, 4-26. (http://www.npc.org/prudent_development-topic_papers/1-11_methane_hydrates_paper.pdf)
- Collett, T.S. (2014) International gas hydrate research. USGS, March 2014. (http://energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f14/International_Review_USGS_Collett%5B1%5D.pdf)
- Consortium for Ocean Leadership and the Methane Hydrate Project Science Team (2013) Marine Methane Hydrate Field Research Plan. Topical Report, United States Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 60p.
- Ruppel, C. (2011) Supplementary Paper 4 Methane Hydrates and the Future of Natural Gas. In: The Future of Natural Gas, MIT Energy Initiative study, 25p.
- Zhang , G., Yang, S., Zhang, M., Liang, J., Lu, J., Holland, M., Schultheiss, P. and the the GMGS2 ScienceTeam (2014) GMGS2 Expedition Investigates Rich and Complex Gas Hydrate Environment in the South China Sea. Fire in the Ice, Methane Hydrate Newsletter, Vol. 14, Issue 1, 1-5.
- Zhang, Y., Liang, J., Li, K., Wan, H., Li, X. and Wu, J. (2014) Research progress of drilling coring and mining on the permafrost natural gas hydrates in China. Procedia Engineering, 73, 362-367.