

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

「參訪中國大陸廣州海洋地質調查局及  
青島海洋地質研究所」  
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：陳柏淳、陳松春

參訪期間：104年6月1日至104年6月5日

報告日期：104年6月30日

## 出國報告提要

出國報告名稱：參訪中國大陸廣州海洋地質調查局及青島海洋地質研究所

頁數 68 含附件：■是 □否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

陳松春/經濟部中央地質調查所/資源地質組/技正/02-29462793#532

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他（參訪）

出國期間： 104 年 6 月 1 日至 104 年 6 月 5 日 出國地區：中國大陸（北京）

報告日期：104 年 6 月 30 日

分類號/目

關鍵詞：天然氣水合物

內容摘要：含目的、過程、心得、建議(500 字以上)

本次赴陸參訪廣州海洋地質調查局(簡稱廣海局)及青島海洋地質調查所，目的為了解中國大陸在天然氣水合物調查概況、後續規劃、實驗室研究進展，以及海域金屬礦產資源的調查研究概況，作為我國未來天然氣水合物調查研究及海域金屬礦產資源的調查研究規劃策略參考。

6 月 2 日參訪廣州海洋地質調查局，首先由職陳松春進行我國天然氣水合物、泥貫入體及泥火山調查研究進展之演講，隨後進行雙方交流。雖然中國大陸預計在 2017 年進行天然氣水合物之海域生產測試，據了解還未進行相關的準備，並且海域生產測的場址還未決定，仍繼續進行震測調查研究，尋找適當的場址。

中國大陸海域金屬礦產調查，主要著重在大洋深海錳核、富鈷結核等金屬礦產調查，其所屬 4,650 噸的海洋六號近 2 個多月來，一直在中太平洋進行相關的海洋地質及金屬礦產資源調查，於今年 6 月 15 日在中太平洋水深 1,755 m (采薇平頂山)，使用海洋號六號之深水 4,500 m 級之海馬號 ROV，採取到富鈷結核。

6月2日下午參觀廣海局所屬的探寶號研究船，該船主要是震測船，所配備的多頻道反射震測多達240~480頻道，纜線長度約3,000~6,000 m，空氣槍陣列能量可達3,000立方英尺，另外奮鬥五號也配備淺鑽設備。

6月4日參訪青島海洋地質研究所，首先由職陳柏淳及陳松春進行我國天然氣水合物調查及實驗室研究概況演講，進行雙方討論及經驗交流。下午則參觀天然氣水合物重點實驗室，該實驗室擁有拉曼光譜儀、固體核磁共振及成像系統、X射線繞射儀、X射線斷層掃描儀成像系統、高壓微差掃描式熱卡儀、同位素質譜儀、低溫掃描電子顯徑鏡等最新的現代儀器。此外也另自行研究組裝了10多套天然水合物專業實驗裝置，具備執行各種水合物實驗研究、包括測定水合物的聲速、電阻、飽和度、滲透率、熱導率等物性參數的技術與能力。

中國大陸是否仍依原規劃於2017年進行天然氣水合物的海域生產測試，仍須密切注意其發展動態。中國大陸的海域金屬礦產資源調查策略是以大洋中的錳核及富鈷結核為目標，以目前我國海洋調查研究能量，雖無法往大洋的金屬礦產的目標邁進，但我國東北海域沖繩海槽有許多火山分布，具有豐富的熱液硫化金屬礦產潛能，必須盡速並投入能量進行海域金屬礦產資源調查研究。國內海洋調查研究船嚴重不足，反觀中國大陸持續建造大噸位調查研究船，往大洋金屬礦產目標拓展，建議我國相關海洋科研主管機關，必須長遠積極規劃海洋調查，並盡速籌建大噸位調查研究船及培育海洋科研調查人才，以增進我國海洋調查能量。

中國大陸青島海洋地質研究所對天然氣水合物重點實驗室進行大規模投資，短期內即引進世界上各式尖端的儀器設備，具備能立即分析天然氣水合物標本的能力及技術，其實驗室規模、設備及研究人力，相較美國地質調查所及德國基爾之天然氣水合物實驗室，有過之而無不及。

國內對於天然氣水合物標本的分析技術與設備尚未建立，雖也有相關的合成模擬實驗，但規模較小，又因散布於不同單位及實驗室，研究人員難以彼此支援合作，技術不易傳承。我國不論在實驗室研究人力、設備、技術及投入的經費能量都遠不及青島天然氣水合物重點實驗室。天然氣水合物的開採利用還有些理論基礎及技術需要了解與克服，而「天然氣水合物實驗室」是不可或缺的研究中心，建議未來國家需投入能量建立「天然氣水合物實驗室」。

## 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.....	20
四、我方因應方法及效果.....	20
五、心得及建議.....	20
附件 1、演講簡報資料.....	23

# 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、活動名稱：參訪中國大陸廣州海洋地質調查局及青島海洋地質研究所
- 二、活動日期：104 年 6 月 1 日至 104 年 6 月 5 日
- 三、接待單位：廣州海洋地質調查局及青島海洋地質研究所
- 四、報告撰寫人服務單位：經濟部中央地質調查所

## 貳、活動重點

### 一、活動性質（目的）

中國大陸近年來積極進行天然氣水合物的調查研究，於 2007 進行第 1 次天然氣水合物深海鑽探，並於 2013 年進行第 2 次天然氣水合物深海鑽探，已成功取得天然氣水合物實體標本，證實天然氣水合物的賦存潛能，據了解中國大陸規劃於 2017 年進行天然氣水合物海域生產測試。廣州海洋地質調查局(簡稱廣海局)為中國大陸負責執行天然氣水合物調查研究的單位，另外中國大陸海域礦產資源調查也隸屬於廣海局的職掌業務，因此本次參訪廣海局即了解中國大陸在天然氣水合物的調查研究概況、後續規劃及海域礦產資源調查概況等。

中國大陸青島海洋地質調查所之天然氣水合物實驗室

具國際級水準，相當知名，本次也將參訪青島海洋地質調查所，了解其在天然氣水合物之實驗室研究進展及概況。

預期效益為了解中國大陸在天然氣水合物的海域調查、實驗室研究概況，以及其海域礦產資源調查研究概況等，作為我國未來天然氣水合物調查研究及海域礦產資源的調查研究規劃策略參考。

## 二、活動內容（過程）

### （一）行程

本次「參訪中國大陸廣州海洋地質調查局及青島海洋地質研究所」的行程詳如表 1，赴陸期間為自 104 年 6 月 1 日至 6 月 5 日止，為期 5 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
6 月 1 日	一	去程（臺北搭機至廣州）	臺北-廣州	廣州
6 月 2 日	二	赴廣州海洋地質調查局參訪及學術交流	廣州	廣州
6 月 3 日	三	從廣州搭機至青島	廣州-青島	青島
6 月 4 日	四	赴青島海洋地質研究所參訪及學術交流	青島	青島
6 月 5 日	五	回程（北京搭機回臺北）	青島-臺北	

## (二) 參訪廣州海洋地質調查局及學術交流

6 月 2 日參訪廣州海洋地質調查局，重要與會人員為張光學副局長、鄭濤處長及劉總工程司，首先由職陳松春進行演講，題目為「臺灣西南海域天然氣水合物、泥貫入體及泥火山調查研究進展」(圖 1，演講內容如附件 1)，廣海局也報告在天然氣水合物之震測資料處理及分析結果，演講完後進行雙方交流。雖然中國大陸預計在 2017 年進行天然氣水合物之海域生產測試，但據了解廣海局還未進行相關的準備，並且海域生產測的場址還未決定，仍繼續進行震測調查研究，尋找適當的場址。



圖 1、陳松春在廣州海洋地質調查局演講討論。

另有關於中國大陸海域金屬礦產調查研究概況，廣海局張光學副局長表示，中國大陸沿岸未有火山，因此未進行海域火山硫化金屬礦產資源調查，有關海域金屬礦產調查，主要著重在大洋深海錳核、富鈷結核等金屬礦產調查(圖 2)。中國大陸一直注重大洋礦產調查，尤其如錳核及富鈷結核等，其所屬的海洋六號近 2 個多月來，一直在中太平洋進行相關的海洋地質及金屬礦產資源調查，從廣海局網頁得知，其於今年 6 月 15 日使用海洋號六號之深水 4,500 m 級之海馬號 ROV，在中太平洋(采薇平頂山)水深 1,755 m，採取到富鈷結核(圖 3)及鑽取到玄武岩岩心。

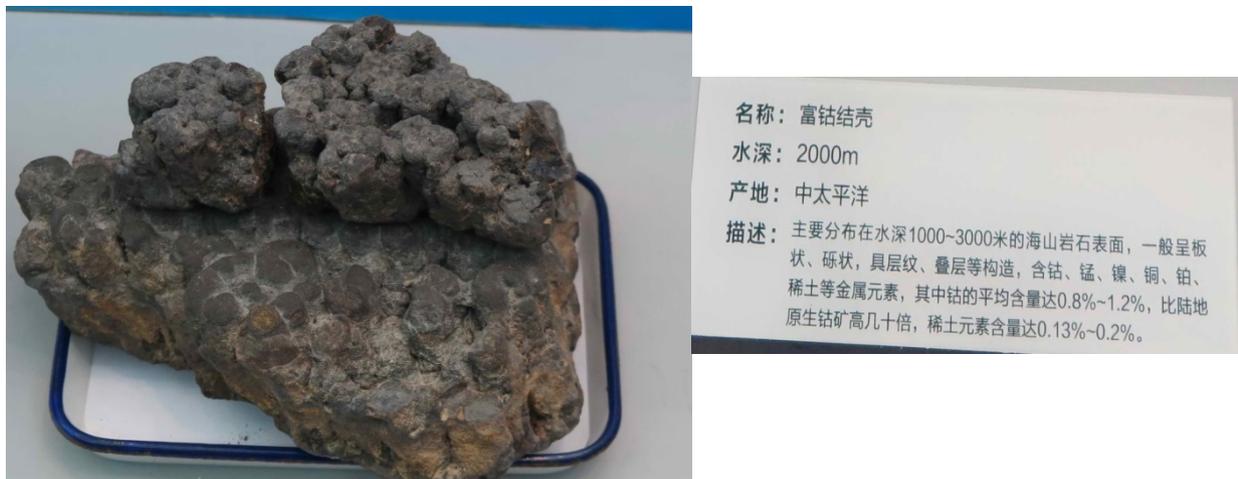
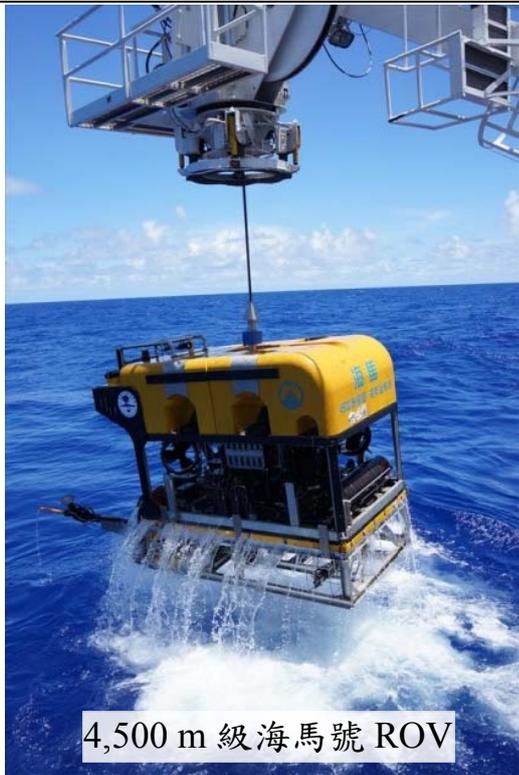


圖 2、廣海局在中太平洋水深約 2,000 m 處採集到的富鈷結核標本。主要分布在 1,000~3,000 m 海山岩石表面，富含鈷、錳、銅、鎳、鉑及稀土元素等，鈷含量平均可達 0.8~1.2%，比陸上鈷礦含量高數十倍，稀土元素含量高達 0.13~0.2%。



4,500 m 級海馬號 ROV



ROV 鑽取富鈷結核樣本



玄武岩岩心(75 cm)

圖 3、中國大陸於本年 6 月 15 日使用海洋六號之海馬號 ROV 在中太平洋(采薇平頂山)水深 1,755 m，採集到的富鈷結核標本及鑽取長度 75 cm 的玄武岩樣本。(資料及圖片來源：<http://www.hydz.cn/showinfo-3605.html> (廣海局網站))

6 月 2 日下午在鄭濤處長引領下，到港口參觀海洋研究船，廣海局目前所屬的研究船共有五艘，分別為奮鬥四號、奮鬥五號、探寶號、海洋四號及海洋六號等，噸位為 1,200~4,650 噸(表 2 及圖 4~6)，目前廣海局還正在建造 2 艘 2,960 及 4,955 噸的探測船。除海洋六號在太平洋作業外，其餘四艘船剛好都停泊在港口，本次參觀了探寶號，該船主要是震測船，所配備的多頻道反射震測多達 240~480 頻道，纜線長度約 3,000~6,000 m，空氣槍陣列能

量可達 3,000 立方英吋(圖 5)。另外奮鬥五號也配備淺鑽設備(圖 4)。

表 2、廣州海洋地質調查局所屬之研究船。

研究船	長度/噸位/船速	建造年代	功能	備註
奮鬥四號	68 m/ 1,200 噸 /14 節	1978 年 10 月廣州造船廠建造。	1. 沿岸調查。 2. 綜合探測船。	
奮鬥五號	68 m/ 1,200 噸 /14 節	1979 年 12 月廣州造船廠建造。	1. 沿岸調查。 2. 鑽探及地球物理探測。	圖 4
探寶號	86 m/ 3,500 噸 /14 節	1978 年 9 月日本建造，1993 年從美國西部地球物理公司購買。	1. 沿岸調查。 2. 專業震測船，震測纜線支距可達 240~480 channel，長度可達 3,000~6,000 公尺。 3. 空氣槍陣列能量可達 3,000 立方英吋。	圖 5
海洋四號	104 m/ 3,300 噸 /18 節	1980 年 11 月廣州造船廠建造。	1. 大洋調查。 2. 1986 年 12 月首航中太平洋，共執行 10 航次。 3. 1990 年 12 月遠航南極。	圖 6
海洋六號	160 m/ 4,650 噸 /16 節	2009 年 10 月廣州造船廠建造。	1. 大洋調查。 2. 天然氣水合物調查、海洋地質、海洋礦產資源調查。 3. 配備 4000 米級深海 ROV「海獅號」。 4. 2011 年首航太平洋進行大洋科學考察。	圖 6
新建船	2,960 噸	建造中	綜合地質調查船。	
新建船	4,955 噸	建造中	綜合地球物理調查船。	



圖 4、奮鬥五號外觀及鑽探架。

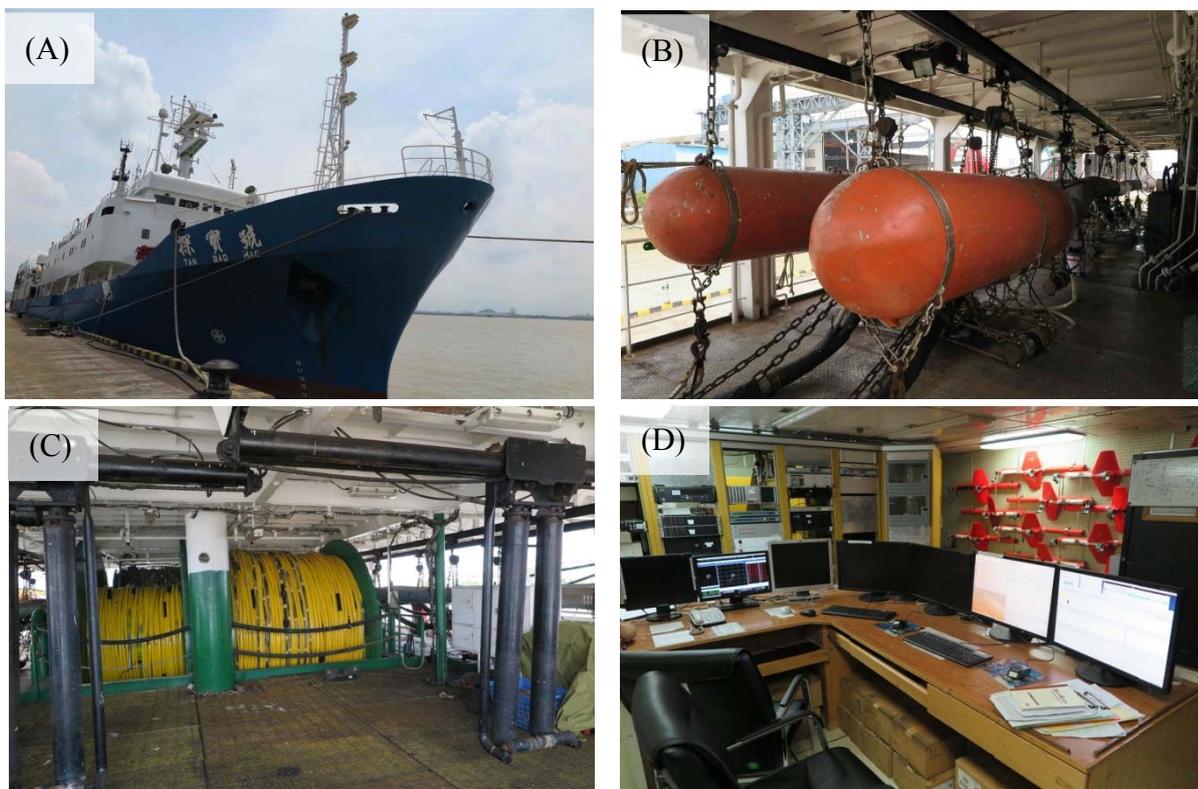


圖 5、(A)探寶號外觀；(B)探寶號配置之震測空氣槍陣列，容量可達 3,000 立方英吋；(C)震測纜線；(D)震測收集系統及纜線控制翼(掛在牆上之橘色物體)。



圖 6、(A)海洋四號外觀；(B) 海洋六號外觀(圖片來源: <http://www.hydz.cn/>)。

### (三) 參訪青島海洋地質研究所及學術交流

青島海洋地質研究所 (Qingdao Institute of Marine Geology-QIMG) 位於山東省青島市，地址為青島市福州南路 62 號，為隸屬於國土資源部 (MLR) 中國地質調查局 (CGS) 的海洋地質專業調查研究機構。該研究所 1964 年始建於南京，1979 年重建於青島。主要承擔中國大陸基礎性、公益性的海洋地質調查研究和戰略性的礦產資源調查研究。

近年來該所極力發展「天然氣水合物重點實驗室」，投入大批資金及研究人力，購入天然氣水合物相關分析設備及建置各式水合物模擬合成系統，進展快速。該實驗室除了發表了 SCI/EI 論文 50 餘篇外，並出版水合物實驗技術的英文專著 (Natural Gas Hydrates, Experimental Techniques and Their Applications, Springer 出版) 一本，值得國內天然氣水合物實驗室發展借鏡，故安排此次參訪行程，重要與會人員為張訓華副所長、蔡峰主任、劉昌齡博士及中國地質調查局趙京濤處長。

#### 1. 簡報討論

2015 年 6 月 4 日 (四)，由職陳柏淳及陳松春先於該

所會議室給予兩場簡報及意見交換討論。簡報題目各為：「醇類蒸氣對水合物生成解離之效應探討」及「臺灣西南海域天然氣水合物、泥貫入體及泥火山調查研究進展」(圖 7，演講內容如附件 1)。



圖 7、陳柏淳 (左圖)及陳松春(右圖)在青島海洋地質研究所演講討論。

## 2.實驗室簡介

中國大陸國土資源部天然氣水合物重點實驗室於 2012 年由國土資源部批准建設，以青島海洋地質研究所為依托單位，所屬學科領域為礦產資源與環境。實驗室主任為業渝光研究員，秦蘊珊院士擔任學術委員會主任。

該實驗室根據研究員自身學科發展的優勢與特色，整合優勢資源，提升研究水平，以水合物測試技術、模擬實驗和理論研究相結合，在多種尺度上開展水合物成藏機理、分布規律、勘查評估、開發利用及環境效應的綜合研

究，目前已克服相關理論與技術難題，有效地為中國大陸天然氣水合物的勘查和開發研究工作提供研究資源及相關工業所需參數。

目前該實驗室的研究方向主要為：

1. 天然氣水合物模擬實驗與測試技術。
2. 天然氣水合物成藏過程與演化。
3. 天然氣水合物資源勘查與評價技術。
4. 天然氣水合物開發利用與環境效應。

該實驗室擁有拉曼光譜儀、固體核磁共振及成像系統、X射線繞射儀、X射線斷層掃描儀成像系統、高壓微差掃描式熱卡儀、同位素質譜儀、低溫掃描電子顯徑鏡等最新的現代儀器。此外也另自行研究組裝了 10 多套天然水合物專業實驗裝置，具備執行各種水合物實驗研究、包括測定水合物的聲速、電阻、飽和度、滲透率、熱導率等物性參數的條件與能力。

### **3.市售分析儀器設備：**

(1) 核磁共振及成像系統(圖 8)：

型號：Bruker AVANCE-III

主要參數：主磁場強度 7.05T， $^{13}\text{C}$  核磁共振頻率為 75.5MHz

主要用於天然氣水合物形成和分解的微觀機理、沉積物中水合物賦存和解離特徵，以及水合物開採過程中變化狀態等研究。



圖 8、核磁共振及成像系統。

(2) 雷射顯微拉曼光譜儀(圖 9)：

型號：Reni Shaw in Via

主要參數：  $-196^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$  可變溫

控溫精度為  $\pm 0.1\text{K}$

配有波長為 532nm 和 785nm 激發光源，最大功率 100mW。該系統主要應用於深海大洋鑽探、南海神狐海域及祁連山凍土帶所收集的水合物樣品結構分析及研究。

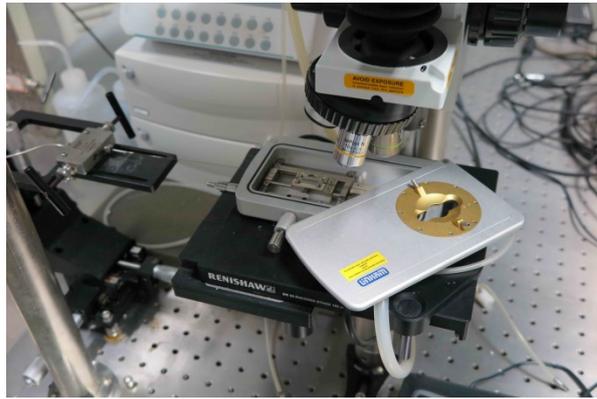


圖 9、雷射顯微拉曼光譜儀。

(3) X 射線斷層掃描成像系統(圖 10)：

型號：Phoenix v|tome|x

主要參數：180kV/15W 高功率奈米焦點 X 射線管，  
240kV/320W 微米焦點射線管，偵頻達到 30fps。

該系統是觀測沉積物中水合物微觀形態的有效工具，能在成像圖片上清楚地觀測到砂粒、游離氣、水合物和水之間的介面變化情形。



圖 10、X 射線斷層掃描成像系統。

(4) 低溫 X 射線繞射儀：

型號：D8 ADVANCE

主要參數：最大輸出功率： $\geq 2.2$  kW

電流電壓輸出穩定性優於 0.005%；

光管功率：2.2 kW

該系統是研究複雜體系下水合物精細結構、提供晶格參數等結構資訊最有效的方式。使用該儀器分析水合物的結構，其結果能和拉曼光譜儀及固體核磁共振譜儀測試水合物的結構的結果相互補充。

(5) 低溫掃描式電子顯微鏡：

型號：S-3400N

主要參數：SE 解析度：3.0 nm (30 kV)；BSE 解析度：  
4.0 nm (30 kV)

高真空模式放大倍數：x5~x300000

低真空範圍：6~270 Pa

應用範圍：主要用於天然氣水合物形態學研究。

(6) 氣相色譜/元素分析-同位素比值質譜儀(GC-IRMS、EA-IRMS)：

儀器型號：Thermo MAT 253

主要參數：測量精度  $\delta^{13}\text{C} < 0.3\%$ ， $\delta^{15}\text{N} < 0.3\%$ ， $\delta$

$$D < 5\text{‰}$$

主要應用於天然氣、沉積物、土壤、植物等樣品中烴類氣體、有機碳氮、正構烷烴、脂肪酸等有機組分的碳、氮、氫穩定同位素比值分析。

(7) 高壓微差掃描式熱卡儀(圖 11)：

儀器型號：Thermo MAT 253

主要參數：測量精度  $\delta^{13}\text{C} < 0.3\text{‰}$ ， $\delta^{15}\text{N} < 0.3\text{‰}$ ， $\delta$

$$D < 5\text{‰}$$

主要應用於天然氣、沉積物、土壤、植物等樣品中烴類氣體、有機碳氮、正構烷烴、脂肪酸等有機組分的碳、氮、氫穩定同位素比值分析。



圖 11、高壓微差掃描式熱卡儀。

(8) 全自動孔隙度分析儀：

儀器型號：PoreMaster-60

主要參數：壓力可達 60000psi，孔隙分析範圍：950  
 $\mu\text{m}\sim 3.6\text{nm}$

主要應用於測量粉末或多孔固體材料的孔徑大小分布、孔隙體積與密度。

#### 4. 自行設計組裝之分析儀器設備：

(1) 天然氣水合物低溫物性實驗室及三級冷凍實驗箱(圖 12)：

低溫實驗室室內面積為 60 平方公尺，能控溫於 0~10 $^{\circ}\text{C}$ 。低溫實驗室配備有 6 臺制冷實驗箱，一臺低溫冰箱(-86 $^{\circ}\text{C}$ )，一臺超低溫冰箱 (-150 $^{\circ}\text{C}$ )。此外還有另一間超低溫實驗室，室內面積為 40 平方公尺，控溫能力為-10~-50 $^{\circ}\text{C}$ 。



圖 12、三級冷凍實驗箱。

(2) 天然氣水合物開採實驗裝置：

裝置配備有水合物飽合度監測系統、控溫系統、供液系統、供氣系統。可進行熱激法（以電偶加熱或注入熱液）、降壓法和注入化學試劑等多種開採方式之模擬實驗。

(3) 天然氣水合物地球物理探測多功能模擬裝置：

本裝置係將特製的微陶瓷板和壓力控制系統結合，以模擬真實海底自下而上的氣體運移方式生成水合物，並進行水合物飽合度及聲學關係之研究。

(4) 含天然氣水合物沉積物層速度探測實驗裝置：

本裝置主要用於天然氣水合物生成、分解過程中含水合物沉積物內部的溫度場、分層速度及剖面結構、剖面含水量和水合物飽和度測定。

(5) 天然氣水合物電學探測實驗裝置：

該裝置合併電阻探測技術及電化學測量技術，量測在高壓低溫環境下沉積物水合物生成與分解過程的電學特性測量。能夠即時測量水合物反應過程中沉積物不同層位的電阻率、電化學交流阻抗變化。

(6) 天然氣水合物力學實驗裝置：

用於含水合物地層力學實驗研究。主要特點是能夠在特定氣體溶解度條件下的水合物現地生成，並進而進行三軸實驗與體變量測。

(7) 天然氣水合物地球化學參數原位探測實驗裝置：

本裝置可在實驗室模擬海域自然環境，利用雷射拉曼光譜即時進行水合物沉積層中孔隙水地球化學參數異常研究，包括了溶解態甲烷、硫化氫、硫酸鹽等化學參數之測定。

(8) 地球物理實驗裝置(圖 13)：

綜合超音波技術與時域反射技術，可同時探測沉積物中水合物生成和解離過程中系統的溫度、壓力、含水量及聲學參數。



圖 13、地球物理實驗裝置。

(9) 二氧化碳開採天然氣水合物實驗模擬裝置(圖 14)：

本裝置用於進行二氧化碳氣體置換甲烷水合物的試開採實驗研究，並基於實驗數據以評估在不同溫度、壓力、水合物飽和度以及混合氣組成等反應條件下甲烷氣體的置換效率。



圖 14、二氧化碳開採天然氣水合物實驗模擬裝置。

(10) 以天然氣水合物淡化海水測試裝置(圖 15)：

利用水合物形成時會排除鹽份的特性，設計能連續不間斷淡化海水的生產設備。



圖 15、以天然氣水合物淡化海水測試裝置。

## 5. 未來展望

目前青島海洋地質研究所新館正分三期建設規劃，計畫總投資 2.6 億元人民幣。主要將建設天然氣水合物開發利用與環境類比實驗基地（預計 2015 年底完工，將整合並大幅改進目前之水合物實驗室之空間配置）。另還將設置海岸帶地質和大陸架地質調查研究中心、海洋油氣資來源資料處理解釋中心、海洋地質實驗檢測中心等。二期計畫 2015 年開工建設，2017 年建成。三期計畫 2018 年開工建設，2020 年建成。本建設為海洋地質研究所整體搬遷案，建成後將具備海洋地質調查、天然氣水合物開發利用、環境模擬實驗等功能。



圖 16、青島海洋地質研究所新館模型。

### 三、 遭遇之問題

本次參訪廣州海洋地質調查局及青島海洋地質研究所未遭遇問題。

### 四、 我方因應方法及效果：無

### 五、 心得及建議

(一) 中國大陸是否仍依原規劃於 2017 年進行天然氣水合物的海域生產測試，仍須密切注意其發展動態。

(二) 中國大陸的海域金屬礦產資源調查策略是以大洋中的錳核及富鈷結核為目標，我國需以為借鏡，畢竟大洋中蘊藏豐富的金屬礦產資源，需有長期的規劃。

(三) 以目前我國海洋調查能量，雖無法往大洋的金屬礦產的目標邁進，但我國東北海域沖繩海槽有許多火山分布，具有

豐富的熱液硫化金屬礦產潛能，必須盡速並投入能量進行海域金屬礦產資源調查研究。

(四) 我國是島國，海洋藍色國土面積是陸地國土面積的 5 倍之多，海洋蘊藏豐富的能源，例如油氣、天然氣水合物、硫化金屬礦產及錳核等。但國內海洋調查研究船嚴重不足，無法全面進行海域資源的調查研究，反觀中國大陸持續建造大噸位調查研究船，往大洋金屬礦產目標拓展，建議我國相關海洋主管單位，必須長遠積極規劃海洋調查，並盡速籌建大噸位調查研究船，及培育海洋科研調查人才，以增進海洋調查能量。

(五) 中國大陸青島海洋地質研究所對天然氣水合物重點實驗室進行大規模投資，短期內即引進世界上各式尖端的，適合天然氣水合物研究的複雜儀器設備，使該實驗室具備能針對各鑽探計畫所獲得的天然氣水合物標本進行立即且綜合性的分析技術，迅速全面地取得天然氣水合物標本之相關重要物理化學參數。另該實驗室也自行設計並組裝 10 餘套研究目的不同的水合物模擬系統，以人工方式模擬天然氣水合物的生成、解離及開採模式，獲取可觀進展。青島之實驗室規模與設備和研究人力與美國地質調查所及德國基爾之天然氣水合物實驗室相較，有過之而無不及。

(六) 國內天然氣水合物計畫較著重西南海域水合物之賦存調查，並取得一定進展，然對於天然氣水合物標本的分析技術與設備則尚未建立。此外雖也有相關的合成模擬實驗，但規模較小，又因散布於不同單位及實驗室，研究人員難以彼此支援合作，這是與青島天然氣水合物重點實驗室相較下的不足之處。

(七) 將中國大陸與臺灣之實驗室與美國、德國相較，則可發現西方較尊重及重視基礎技術人員，相關之實驗設備設計組裝、調整及操作皆由具機械背景之員工負責，而非由地質科學研究人員兼任。由研究人員負責儀器組裝維護之缺點為對機械細節及原理認識不足，無法發揮設備之最佳效果，遇有故障或是操作問題時，也得仰賴代理商或是花費大量時間精神偵錯。雖然利用進口購買方式可以快速跟隨國外研究腳步，缺點卻是無法深耕技術，較無可能達到國際級技術領先或是突破性的發展。

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 陳柏淳

技正 陳松春 謹陳

104 年 6 月 30 日

附件 1、演講簡報資料

1. 「臺灣西南海域天然氣水合物、泥貫入體及泥火山調查研究進展」
2. 「醇類蒸氣對水合物生成解離之效應探討」

# 臺灣西南海域天然氣水合物、泥貫入體及泥火山調查研究進展

陳松春

elephant03687@gmail.com/ songlin@moeacgs.gov.tw

經濟部中央地質調查所 資源地質組 技正

### 研究團隊:

1. 中央地質調查所：王詠絢 組長、鐘三雄 科長、陳柏淳 科長、陳松春
2. 臺灣大學(海洋研究所/地質系)：劉家瑄、徐春田、林曉武、蘇志杰、楊燦堯 教授
3. 中央大學地球科學系：許樹坤、林殿順、林靜怡 教授
4. 成功大學地科系：江威德 教授 / (黃奇瑜 教授)
5. 海洋大學：李昭興、王天楷、鄭文彬 教授
6. 中央研究院地科所：洪崇勝、戚務正 研究員

2015年6月4日

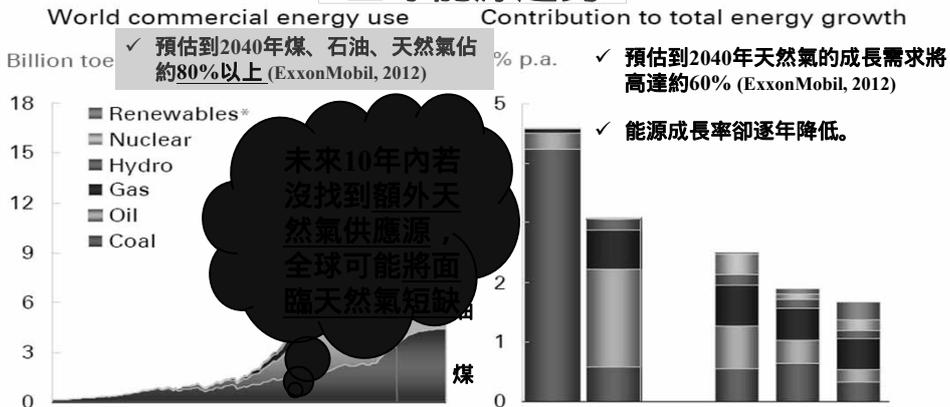
中央地質調查所  
CENTRAL GEOLOGICAL SURVEY

## 「天然氣」是低碳綠能—未來需求量將驟增

The long view: Energy consumption and fuel mix...



### 全球能源趨勢



「天然氣水合物」的發掘，將在能源短缺前刻帶來一道曙光

# 內容

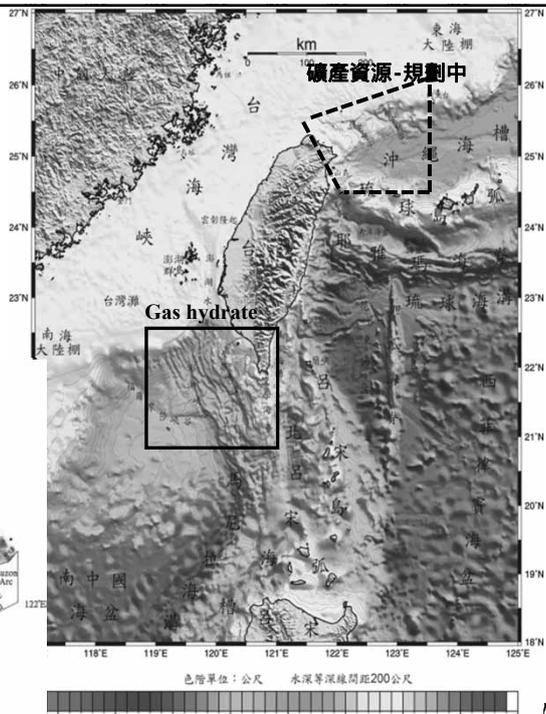
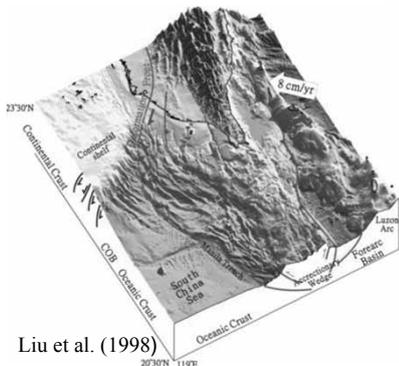
## 壹、臺灣西南海域天然氣水合物調查研究

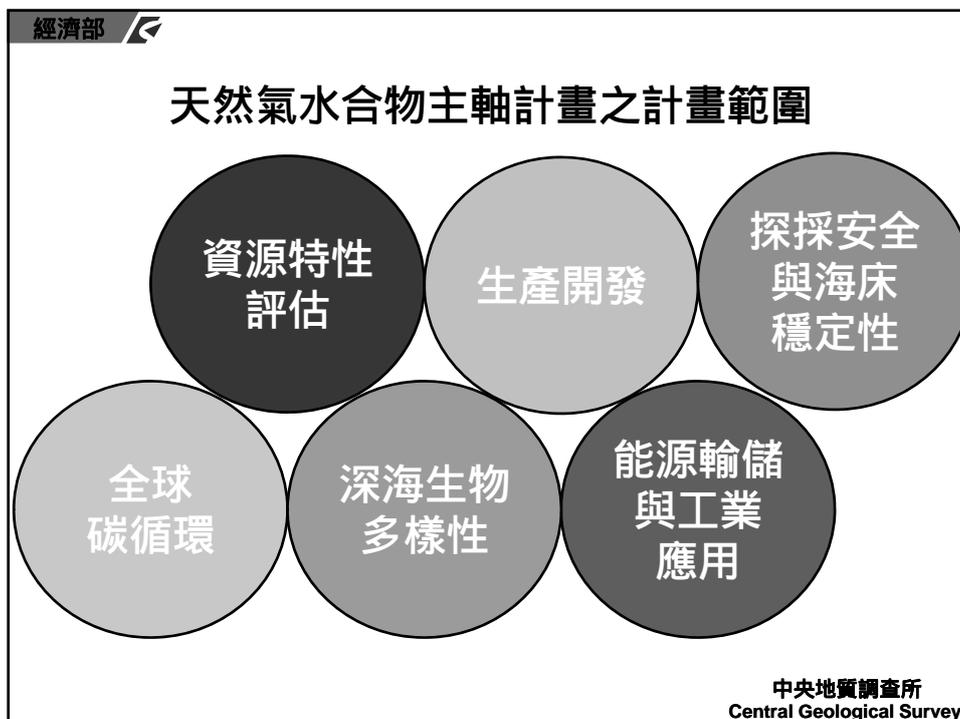
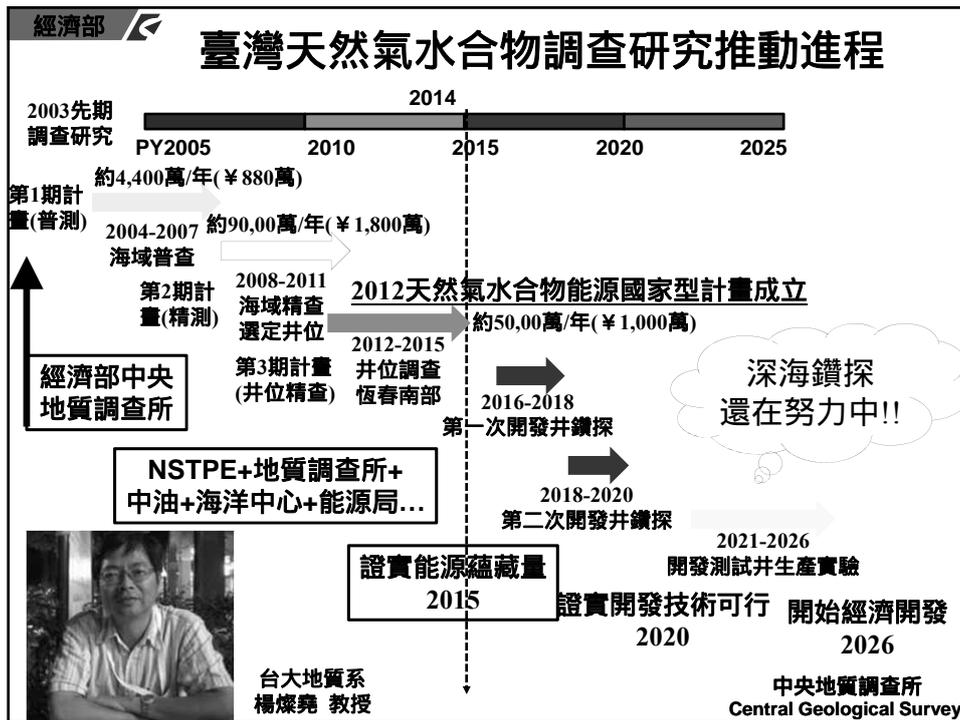
## 貳、泥貫入體及泥火山調查研究

## 壹、台灣天然氣水合物調查研究

### ▶ 西南海域(增積岩體)最具潛能

- ◆ 數千公尺厚沉積物
- ◆ 有機碳含量約0.5%
- ◆ 斷層及背斜構造，氣體移棲及聚集環境。





## 天然氣水合物調查方法

### ※ 遠距調查

#### ❖ 區域性調查

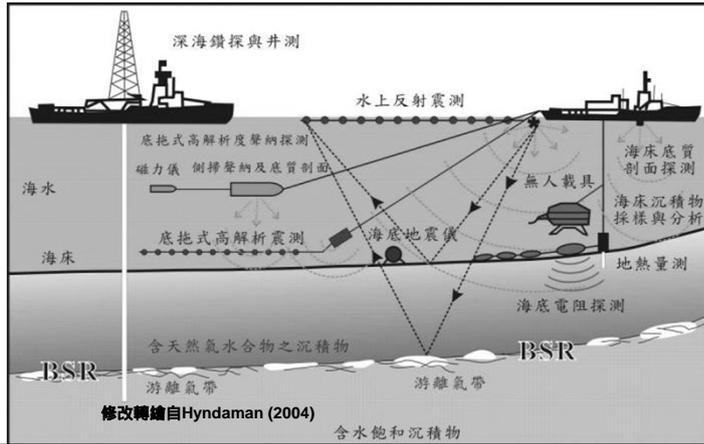
- 2維反射震測、地熱量測、海床近表層沉積物採樣與分析。

#### ❖ 細部調查

- 海底地震儀、底拖側掃聲納、深海照相/攝影、海底地電阻探測、2.5維或3維反射震測、深海無人載具探測 (ROV)及採樣分析

### ※ 現地調查

- 深海鑽探及岩心採集與分析
- 井測(logging)



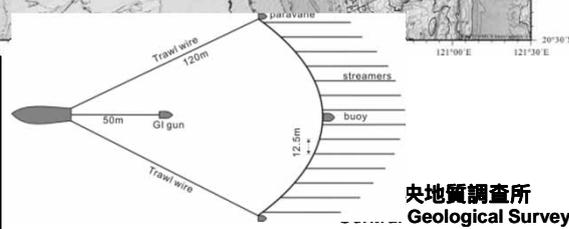
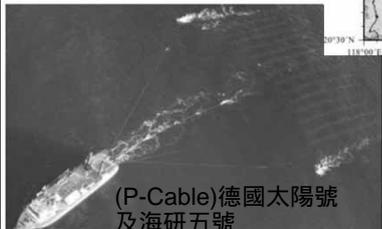
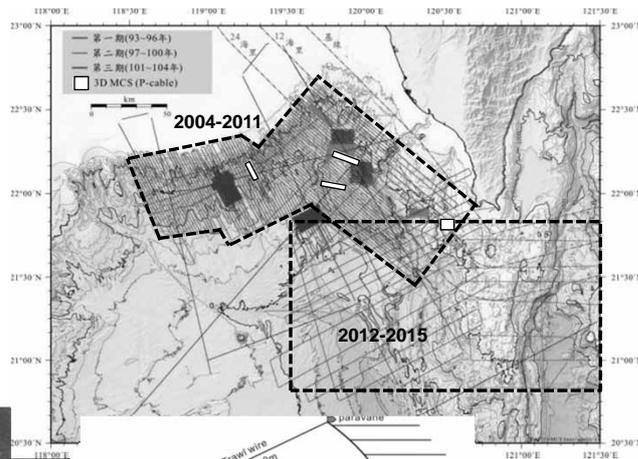
7

## 臺灣西南海域天然氣水合物調查區

### □ 反射震測(22,000公里)

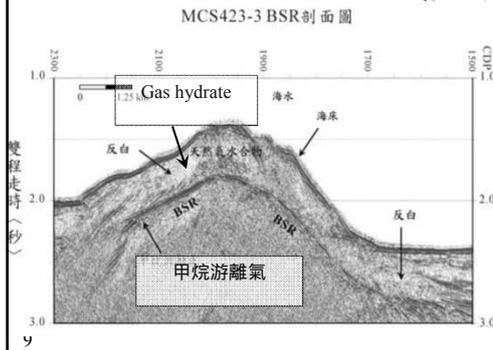
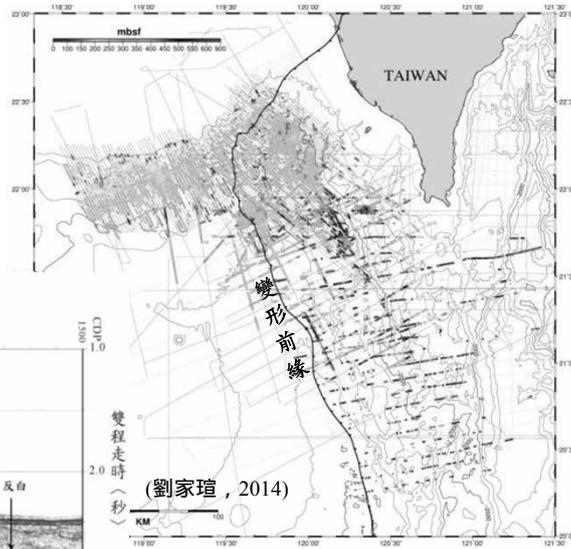
- 二維震測。
- 仿3維測線。
- 3D MCS (P-Cable)。

### □ 海底地震儀(OBS) 146站，大部分位於仿3維震測區域。



### 天然氣水合物賦存指標--海底仿擬反射BSR分布

- 震測線，總長度約22,000公里
- 約有42%之震測線判釋有BSR訊號

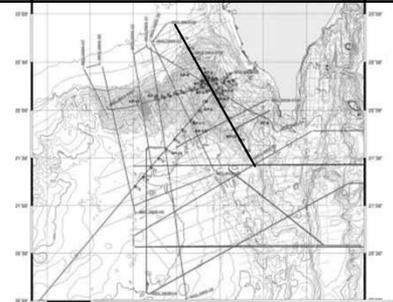


中央地質調查所  
Central Geological Survey

### 二、長支距震測

- 測線總長約1,500公里之長支距(6 km)震測 (2009年)

瞭解區域性地質構造及深部地殼構造、掌握流體移棲可能路徑

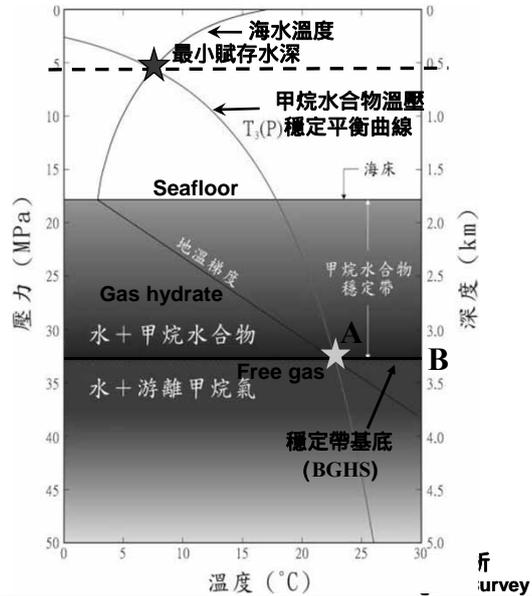


### 三、地熱流量測

□以海水溫度推估天然氣水合物賦存之最小水深

□以地溫梯度估算天然氣水合物穩定基底深度(BGHS)

BGHS: Base of gas hydrate stability



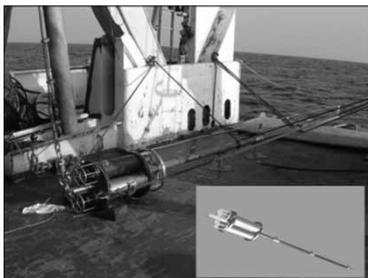
11

### 天然氣水合物穩定基底深度(BGHS)分布圖

Lister-Type地熱探針，最深可穿透深度約4.5~6 m，重量約350公斤

□地熱流量測共175站

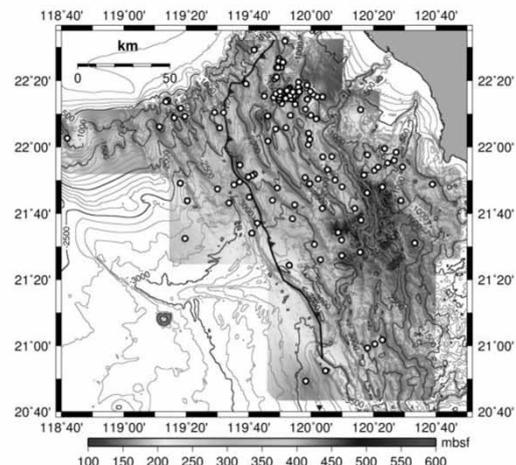
□BGHS約130~600 mbsf (平均約300~500 mbsf)



微小型熱探針(長22cm，直徑2.2cm)



附等式微小型熱探針(長22cm，直徑2.2cm)



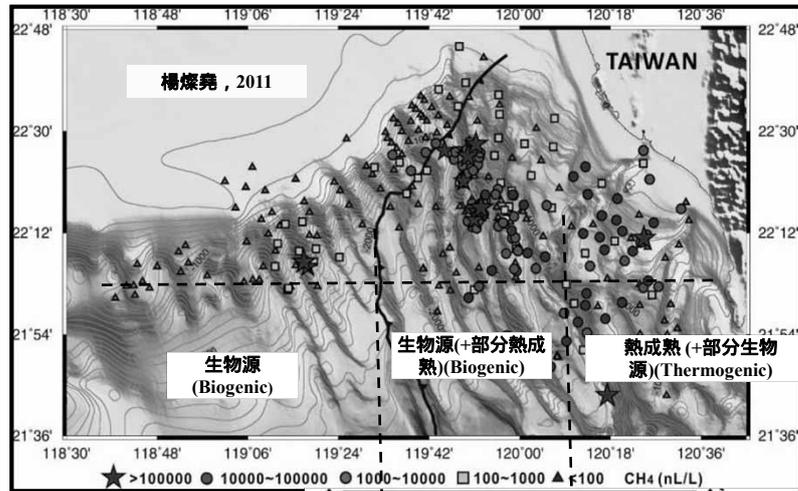
徐春田, 2013

BGHS

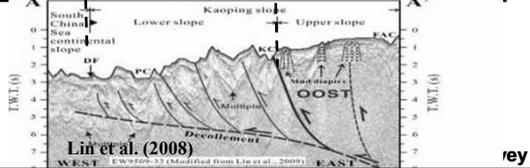
12

### 四、海洋底水甲烷濃度及氣體來源分析

500多  
站岩心



海洋底水之甲烷濃度普遍高於背景值(小於50 nL/L), 顯示具極高之甲烷通量。

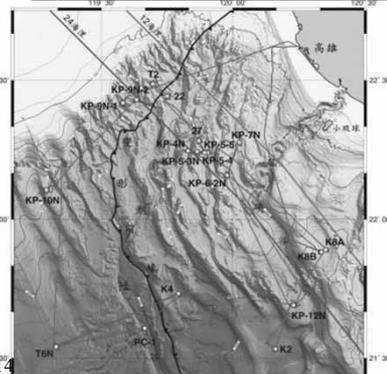


13

### 五、法國MD船長岩心(2005 & 2010)

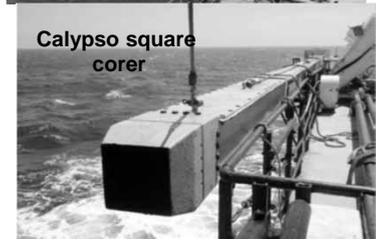


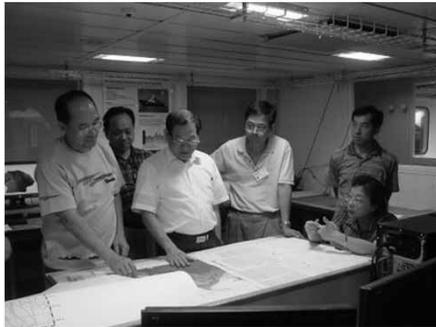
- > 2005年4支(12~35 m), 總長度約102 m
- > 2010年17支(7.2~38.5), 總長度約424 m
- 1. 17站長活塞岩心 (長7.2~ **38.5 m**)
- 2. 4站長箱型岩心 (5~9 m)
- 3. 12站地熱量測



活塞岩心  
30 m 以上 5支  
20 ~30 m 10支  
10~20 m 5支  
<10m 1支

目前為臺灣  
最長的岩心

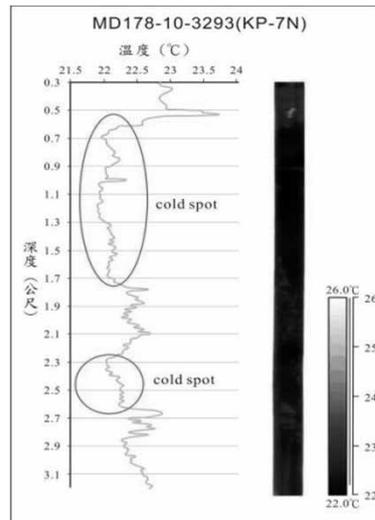
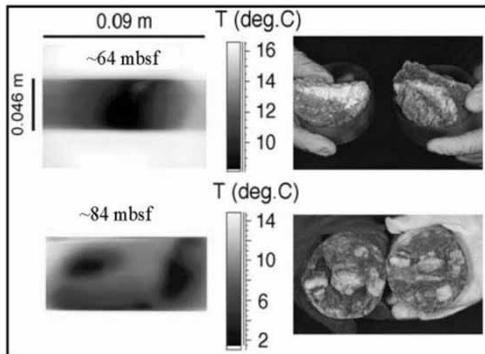




中央地質調查所  
Central Geological Survey

15

### 岩心冷異常 (cold spot)



美國奧勒岡(Oregon)外海ODP鑽井所採取之天然氣水合物，左圖為其對應之紅外線岩心溫度掃描結果，含天然氣水合物位置呈現冷斑點(cold spot)特徵(Tréhu et al., 2004)

臺灣西南海域採取之MD長岩心，紅外線溫度掃描結果，紅色框線為冷斑點(cold spot)之低溫區塊，應是天然氣水合物解離後殘留之低溫特徵(徐春田, 2010)。

中央地質調查所  
Central Geological Survey

16

# 岩心湯化 (soupy)---gas hydrate 解離

KP-5-5

10-3277(KP-5-5) , section 4 ,  
570-590 cm , soupy



10-3277(KP-5-5) , section-5 ,  
720~740 cm , soupy

中央地質調查所  
Central Geological Survey

## 六、高解析探測

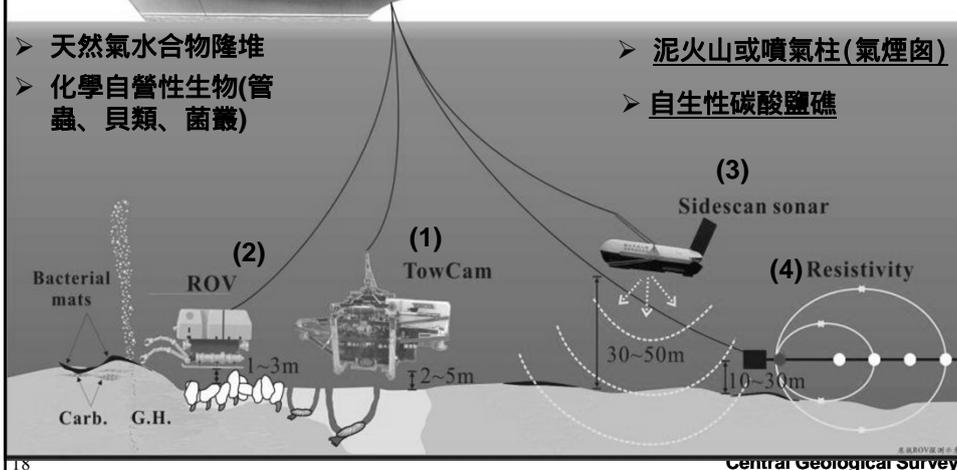
(1)海底照相 (TowCam) , (2)海底泥火山/ROV探測

(3)高解析底拖聲納 (底質剖面及側掃聲納)

(4)海底電阻探測 (Resistivity survey)

- 天然氣水合物隆堆
- 化學自營性生物(管蟲、貝類、菌叢)

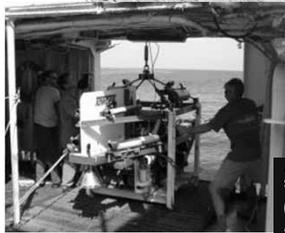
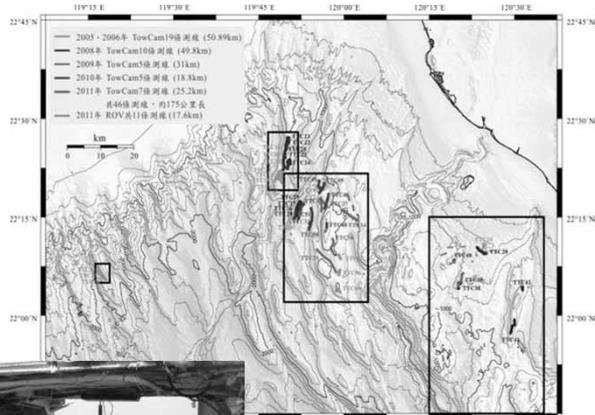
- 泥火山或噴氣柱(氣煙囪)
- 自生性碳酸鹽礁



# 深海數位照相及ROV探測

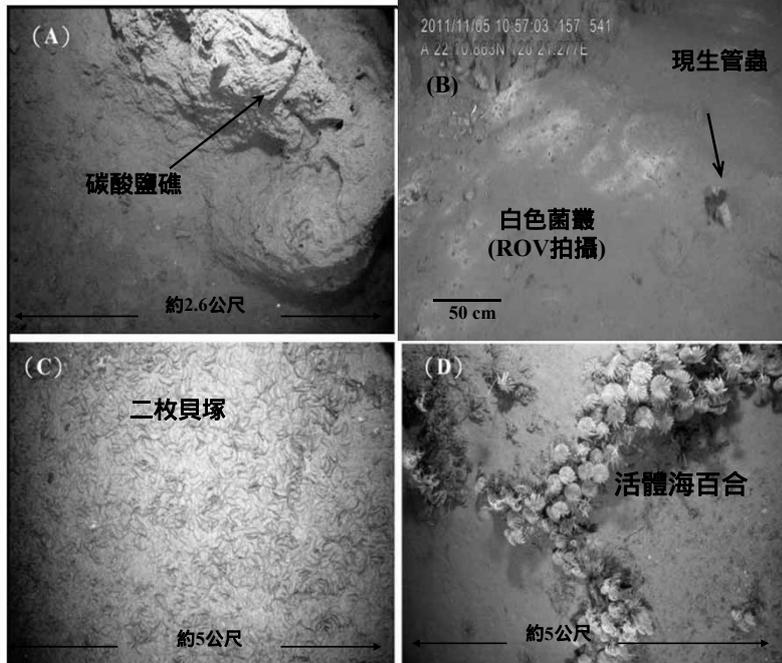
2005~2011年深海數位照相探測(TowCam)

2011年實施ROV探測  
完成5航次，11條測線  
共17.6公里長

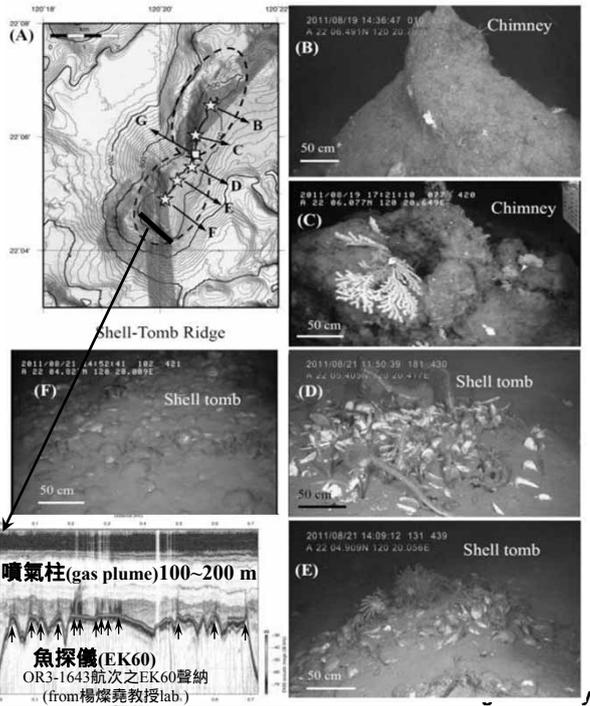
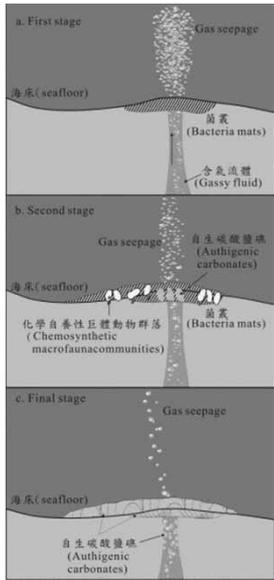


完成46測線、總長約175公里；照片超過10萬張

美國木洞海洋研究中心 (WHOI) TowCam；2005年地質調查所引進

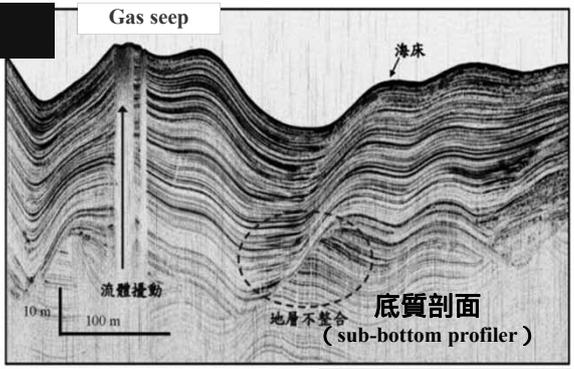
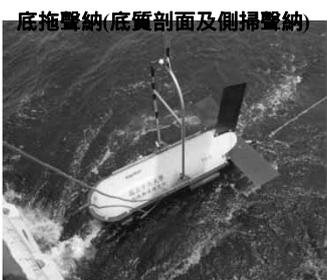


### Shell-Tomb Ridge (貝塚海脊)(ROV觀測)

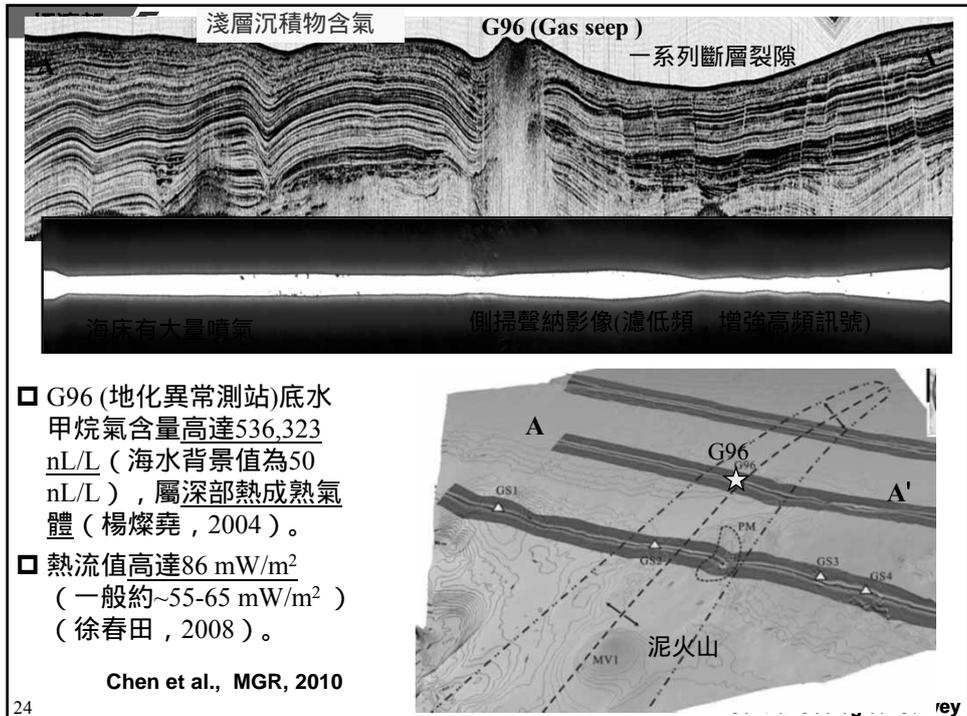
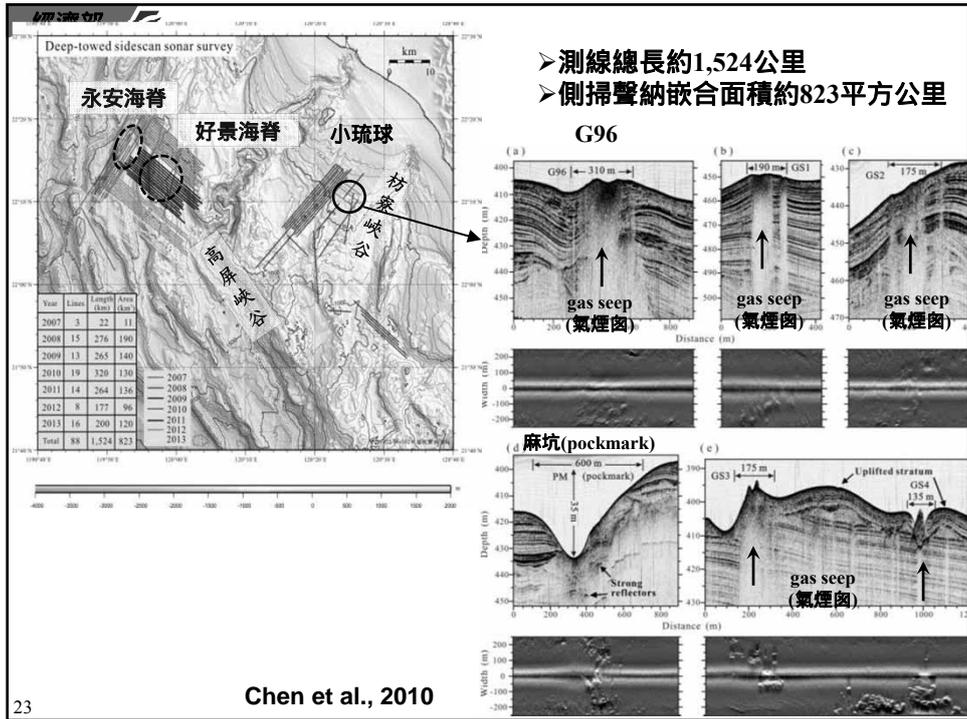


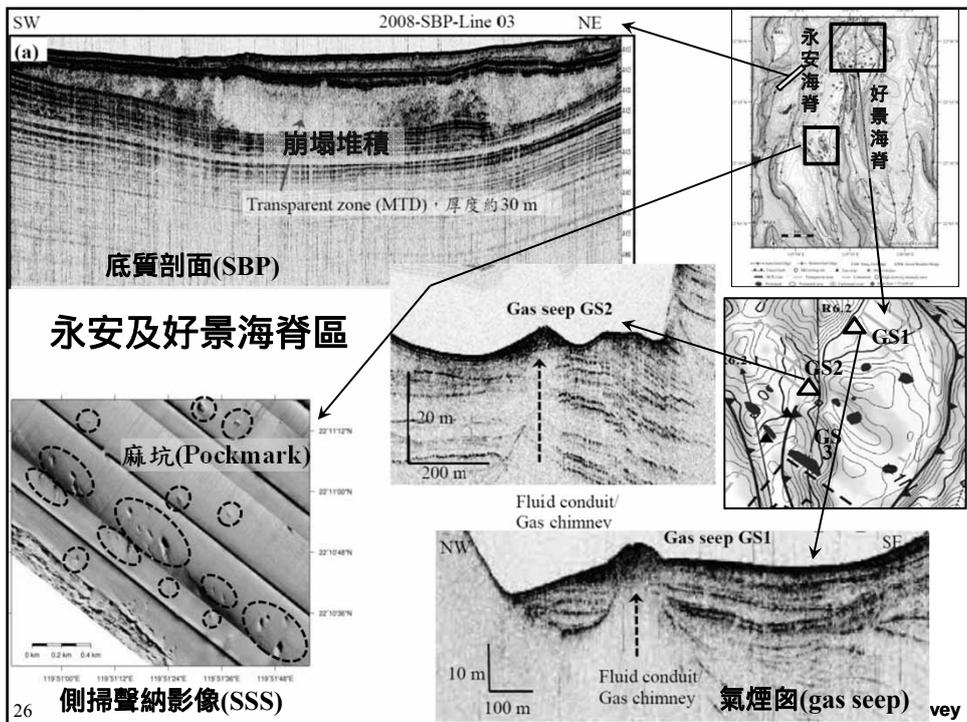
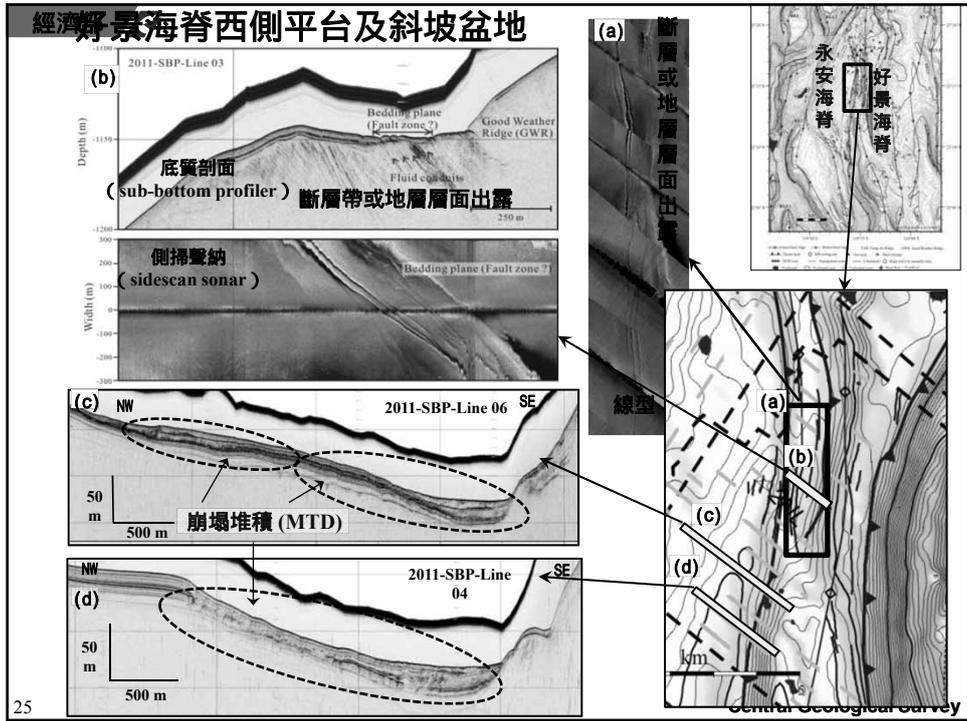
21

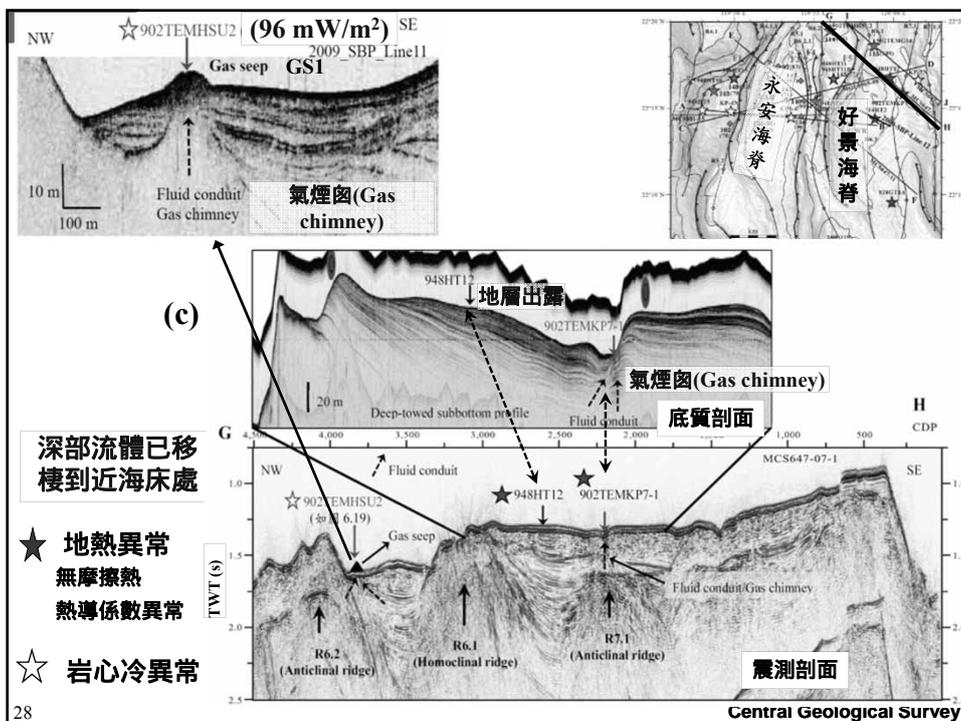
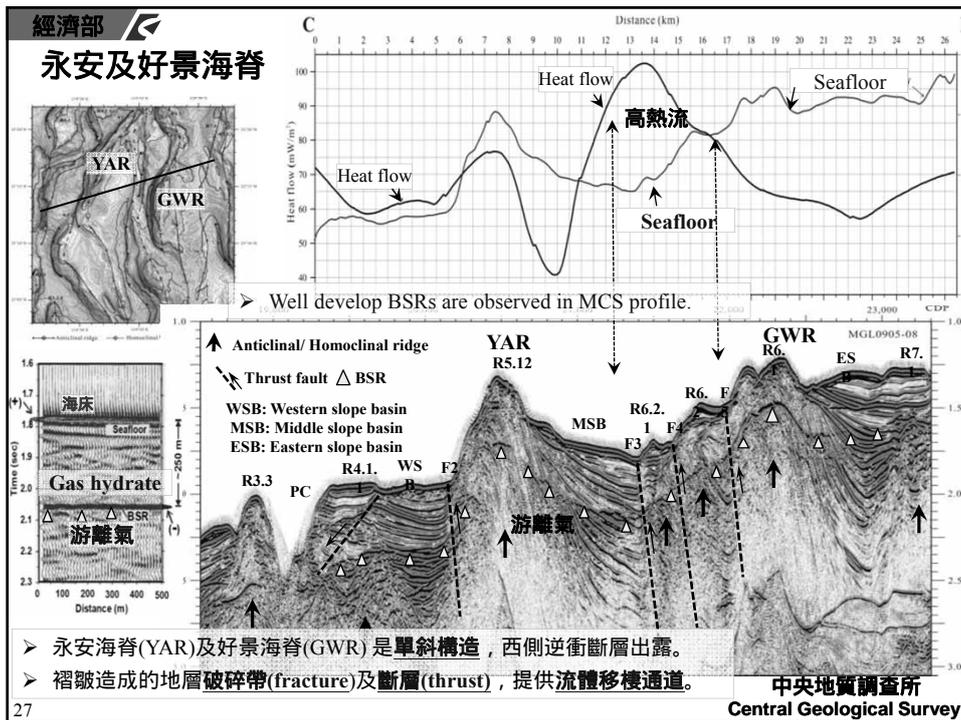
### 高解析底拖聲納探測

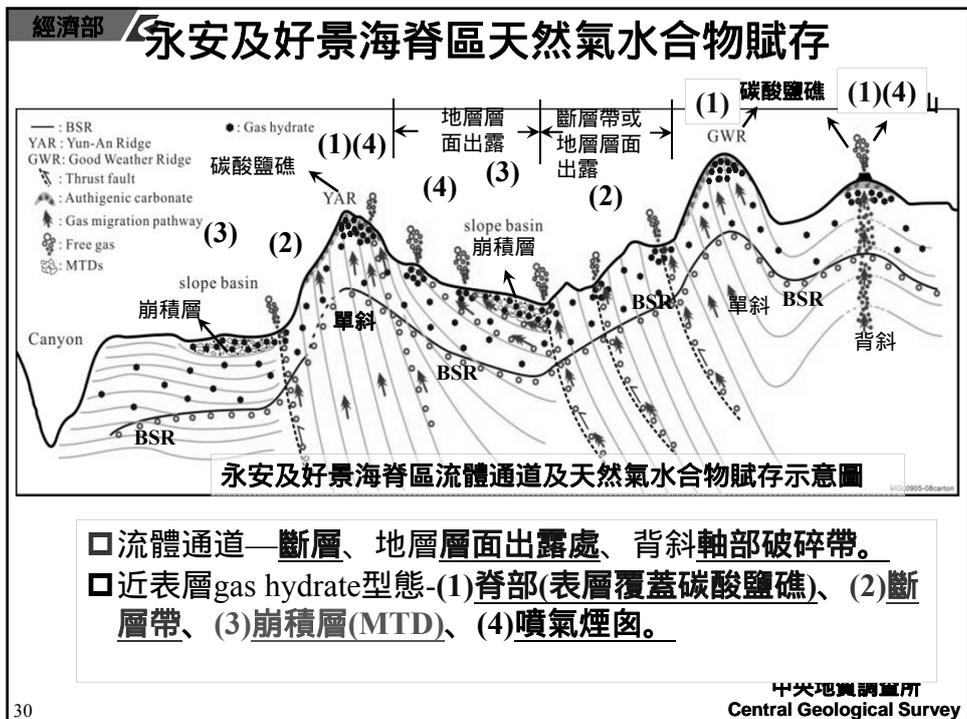
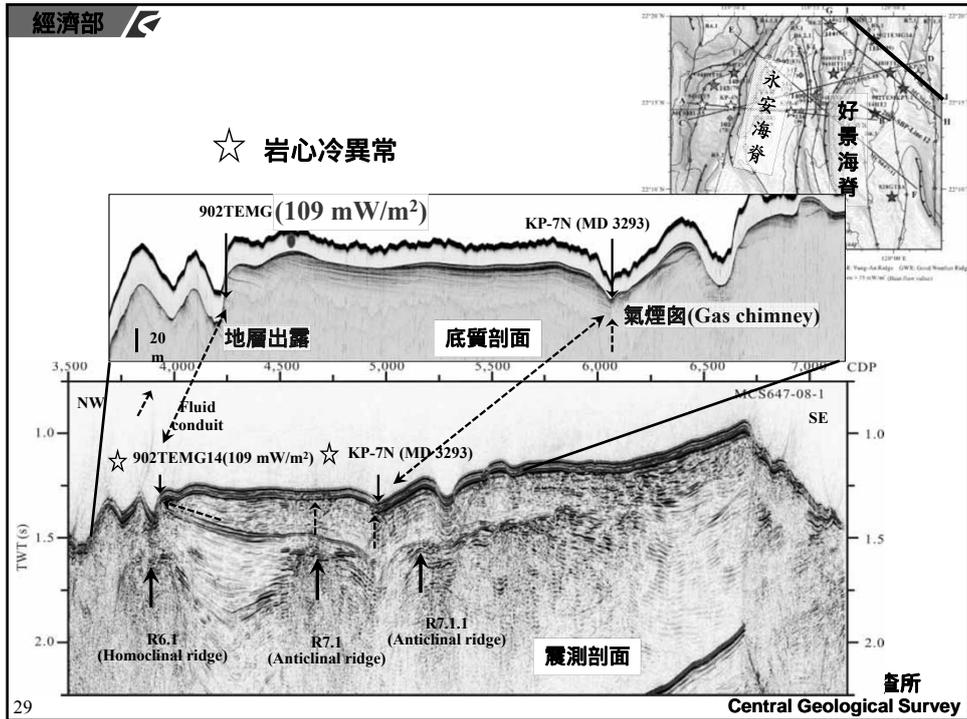


22









## 天然氣水合物地電阻特性

天然氣水合物和冰均是非導體物質，呈高電阻率特性

- 含飽和海水之沉積物電阻率約為1 Ωm左右。
- 含天然氣水合物之沉積物高達數Ωm至數十Ωm。
- 電阻率隨含天然氣水合物之飽和度增加而增加。
- 天然氣水合物之電阻特性具極靈敏效應

加拿大溫哥華外海鑽井井測

- 背景鑽井888電阻率成等值分布約0.9~1.0 Ωm。
- 天然氣水合物鑽井889/890之電阻率隨深度明顯增加，深度130~225 m (BSR深度) 電阻率高達2.1 Ωm。

### Archie's law

$$\rho_f = a\rho_w\phi^{-m}$$

### 飽和度估算

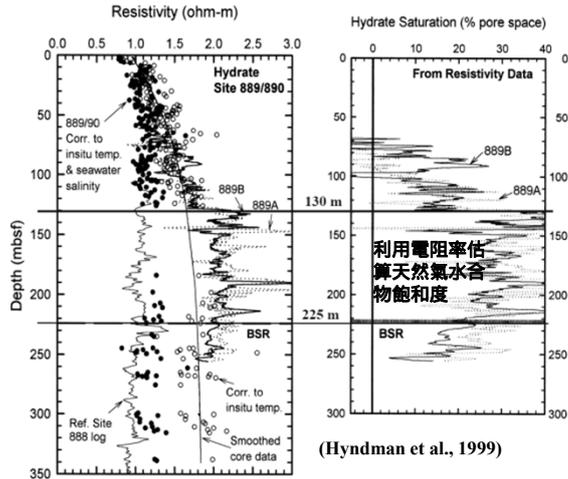
$$\rho_f = a\rho_w\phi^{-m}S^{-n}$$

$\rho_f$  : 實測之電阻率(Ωm)     $\phi$  : 沉積物之孔隙率(%)

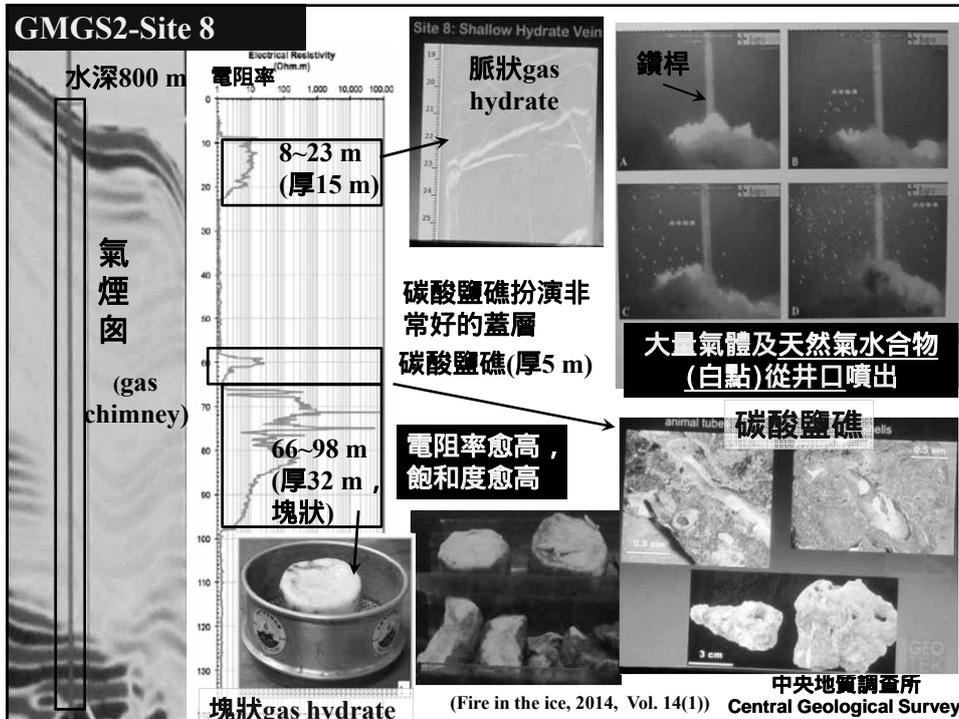
$\rho_w$  : 海水之電阻率(Ωm)，約為 0.33 Ωm

$S_h$  : 天然氣水合物之飽和度， $S_h = 1 - S$

$a, m, n$  為常數



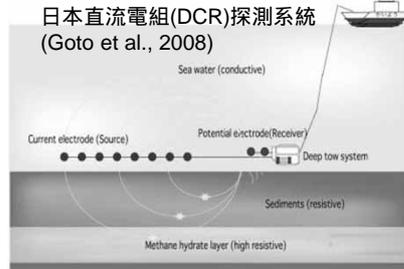
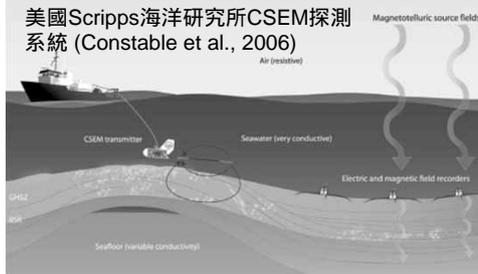
31



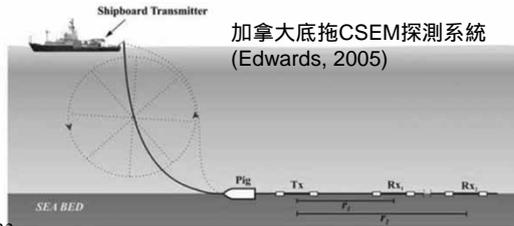
## 海底電阻探測方式

$$\delta = \frac{1}{500} \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

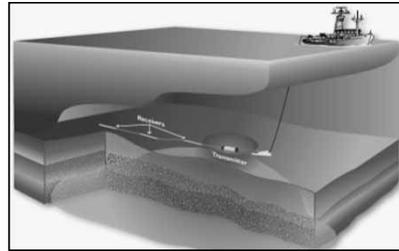
- (1) 頻率測深,  $\delta$ : 集膚深(skin depth),  $\rho$ : 介質之電阻率,  $f$ : 電磁波頻率
- (2) 幾何測深, 展距控制測深  $D = \text{展距}/2$



### CSEM: Controlled-Source ElectroMagnetic (人工控源地電磁探測)



### 美國Woods Hole海洋研究所CSEM探測系統 (Evans, 2007)



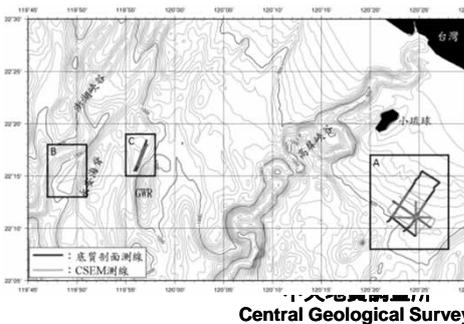
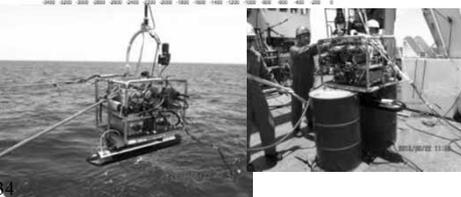
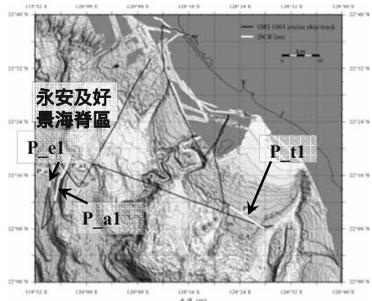
33

## 海底電阻探測

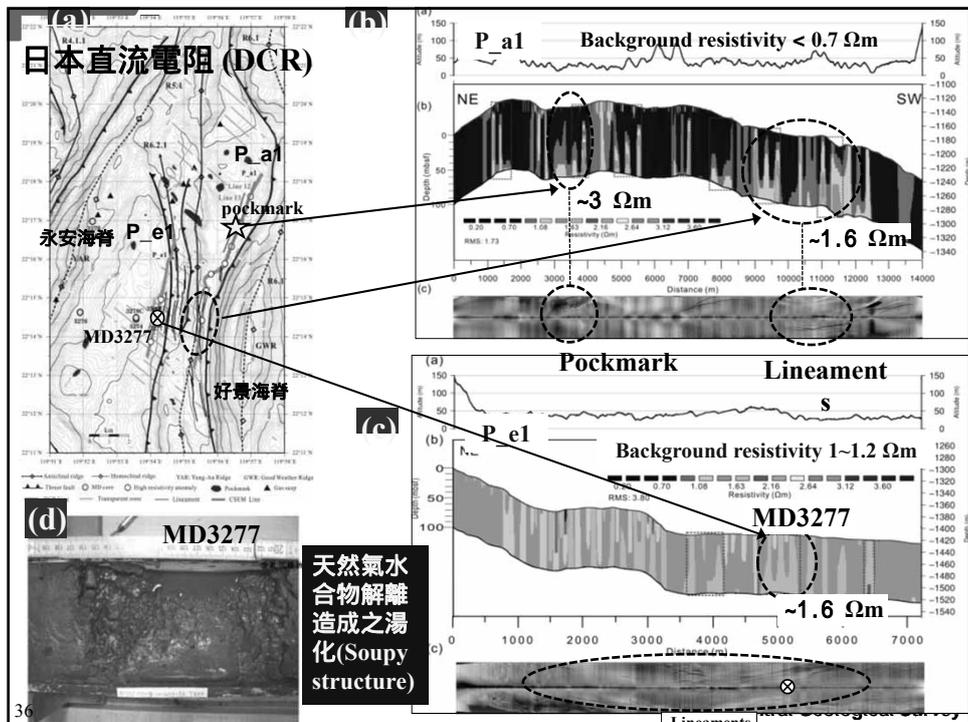
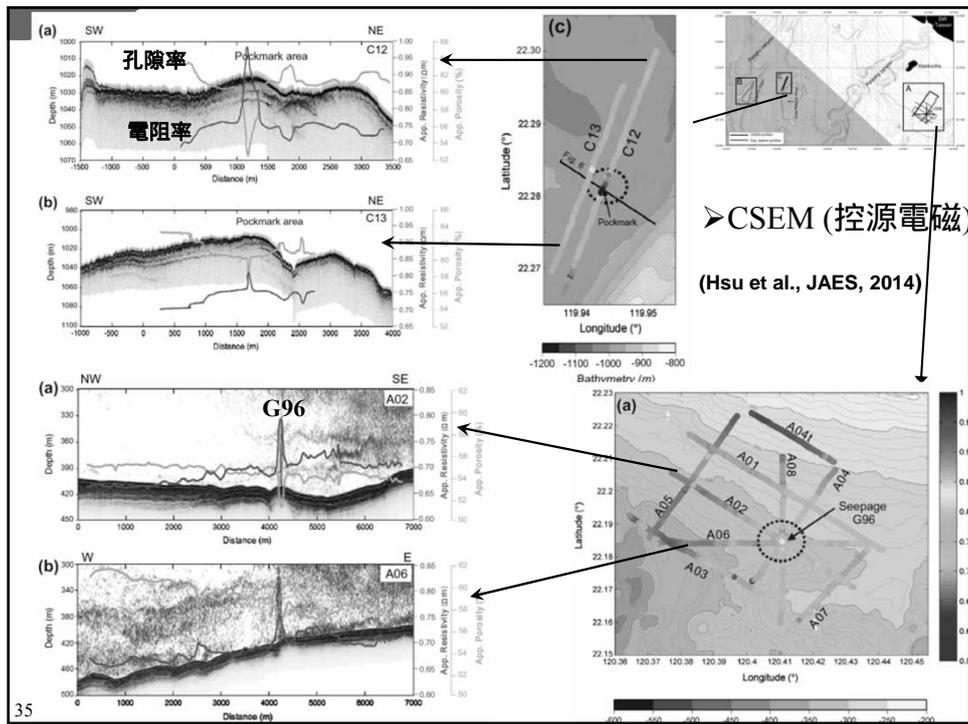
- 日本直流電阻 (DCR) 2012年6月
- 完成3條測線, 總長度約31.3 km

- 美國WHOI (2010)
- CSEM (控源電磁)

- 完成13條測線, 總長度約70 km

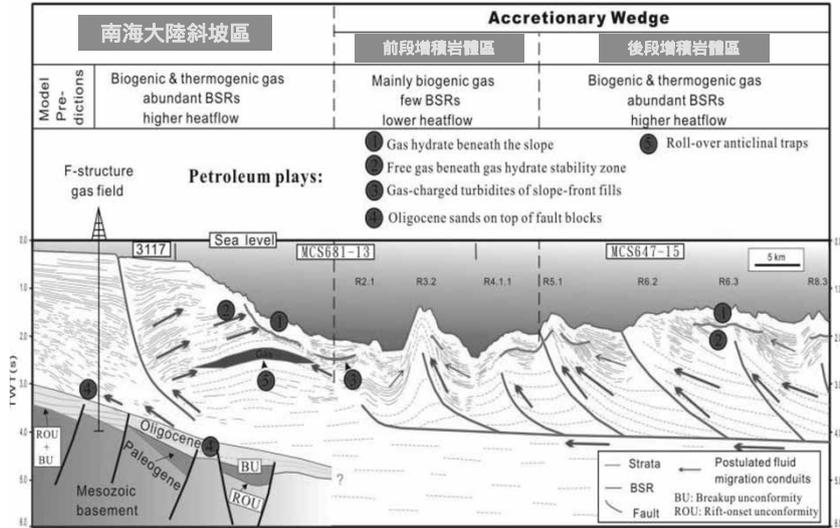


34



## 七、地質分區及儲集系統雛型模式

Eastern Tainan Basin and accretionary wedge: stratigraphy, structures and petroleum plays

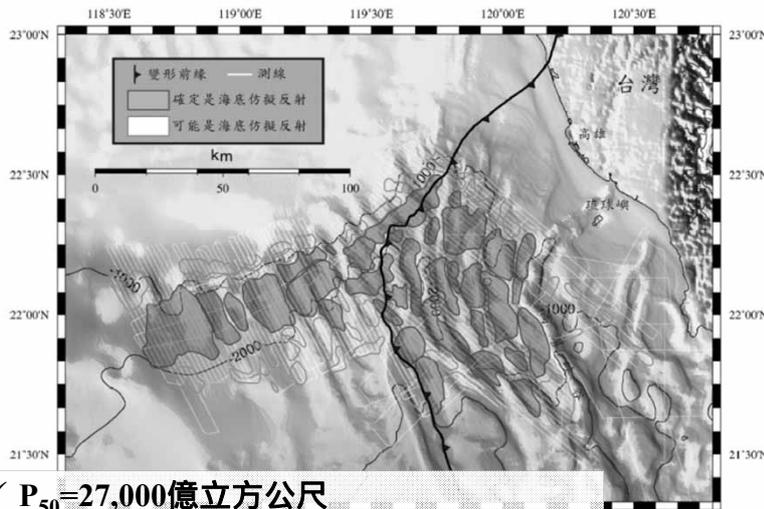


(林殿順, 2006)

中央地質調查所  
Central Geological Survey

37

## BSR分級及儲量估算



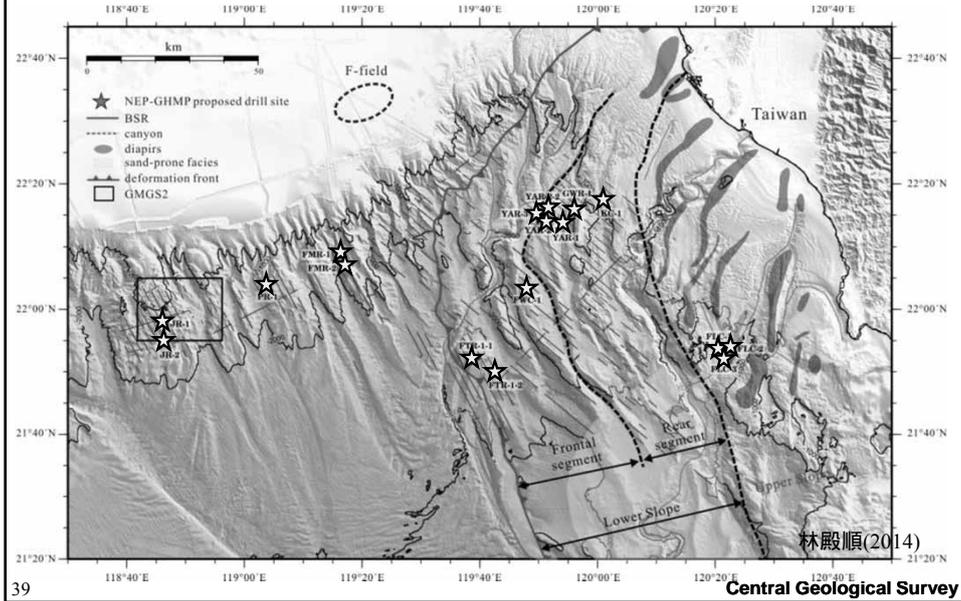
- ✓  $P_{50}$  = 27,000 億立方公尺
- ✓ 假設 10% 可開採，可供台灣使用 27 年  
(台灣平均年耗天然氣約 100 億立方公尺)

中央地質調查所  
Central Geological Survey

38

# 八、規劃鑽井

## ➤ 規劃17處鑽井



39

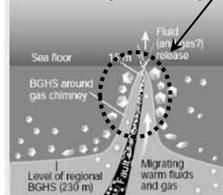
# 氮、泥貫入體及泥火山調查研究

- 深水區有天然氣水合物賦存
- 淺水區有泥貫入體及泥火山
  - 有大量甲烷氣逸出
  - 油氣潛能??
  - 淺層Gas hydrate??

高熱流氣柱  
(大量甲烷氣供應)

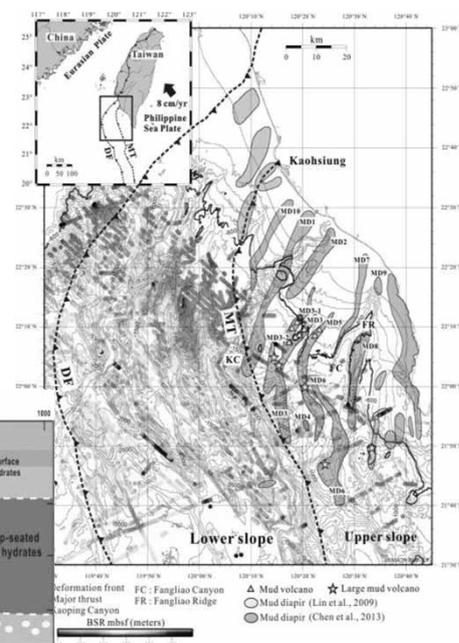
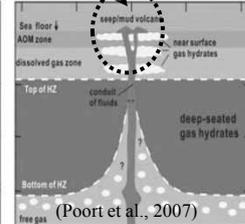
Bottom-water temperature 2.6 °C

噴氣柱(氣煙囪)



淺層gas hydrate

泥火山



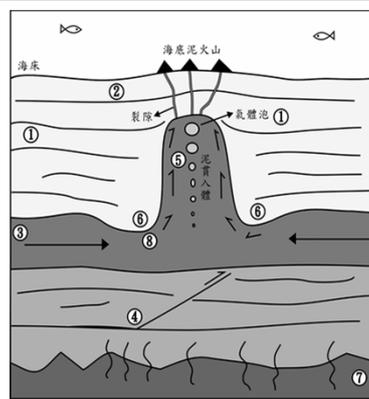
40

# 泥貫入體與泥火山

泥貫入體為高壓泥質流體，三大機制

- 快速沉積，造成地層有過飽和壓力 (overpressure) (Brown, 1990)—西南海域沉積速率高達約0.75-4.5 mm/yr
- 側向擠壓應力(上新世之蓬萊造山運動)
- 氣體排出(浮力) (Brown, 1990; Hovland and Curzi, 1989) (大量噴氣及泥火山)

泥火山大部分是伴隨泥貫入體發育



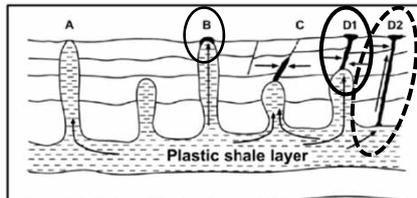
1. 側向擠壓造成孔隙流體排出。  
 2. 生物源甲烷 (Biogenic methane)  
 3. 來自水干地層古斷層之側向流體注入。  
 (Kopf, 2000)

## 泥貫入體外觀



Pérez-Beluz et al., 1997

Central Geological Survey



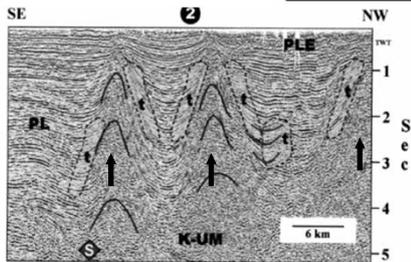
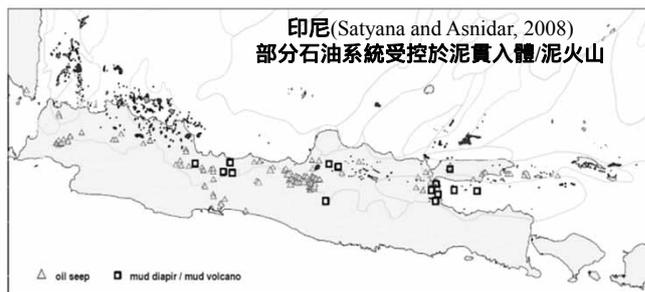
A: seafloor-piercing shale diapir without a mud volcano.  
 B: a mud volcano formed on top of a seafloor-piercing shale diapir.  
 C: a seafloor seepage.  
 D1, D2: mud volcanoes formed due to the rise of fluidized sediments along faults. Arrows show the migration paths of fluids. (Milkov, 2000)

41

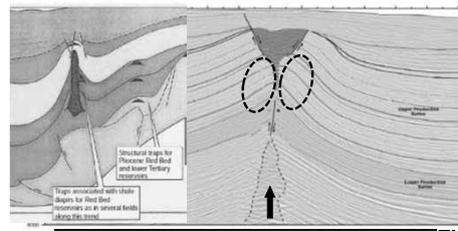
# 21 世紀的石油探勘區(AAPG, 2001)

## Petroleum provinces of the twenty-first century

- 天然氣水合物
- 泥貫入體/泥火山(油氣移棲通道，側翼構造封閉)-
  - 印尼陸上
  - 委內瑞拉海域
  - 亞塞拜然海域(south Caspian basin)



Venezuela(委內瑞拉)(Audemard and Serrano, 2001)



Azerbaijan(亞塞拜然)(Soto et al., 2011)

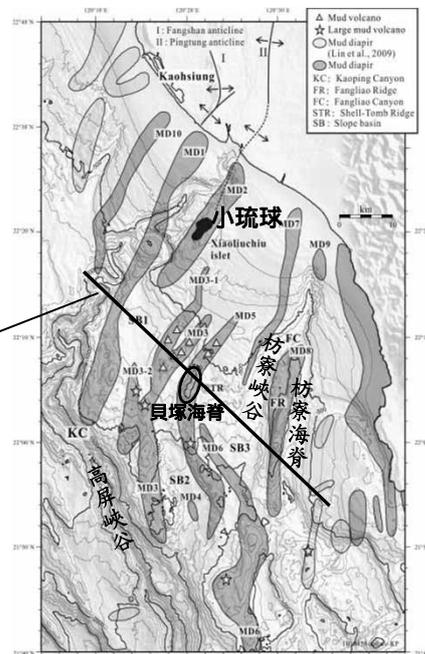
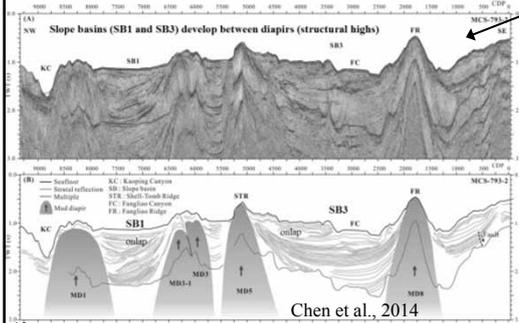
Survey

### 西南海域泥貫入體與泥火山分布

□ 13座泥火山(MV1~MV13)

- 主要分布在MD3、MD5、MD6。
- 為典型的伴隨泥貫入體發育的泥火山

□ 10處泥貫入體 (MD1~MD10)

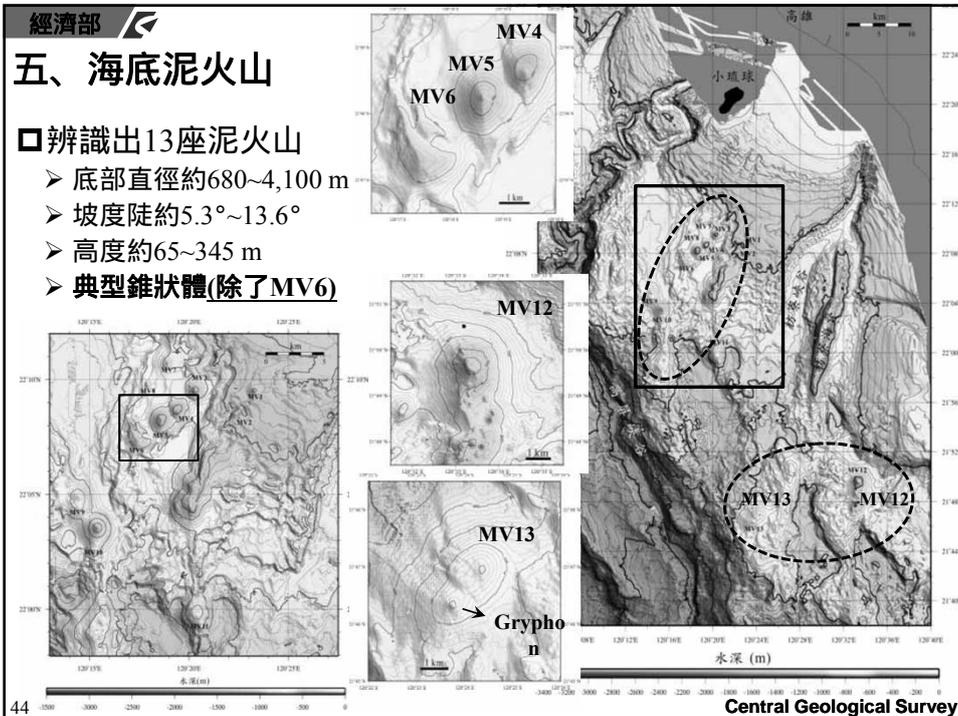


43

### 五、海底泥火山

□ 辨識出13座泥火山

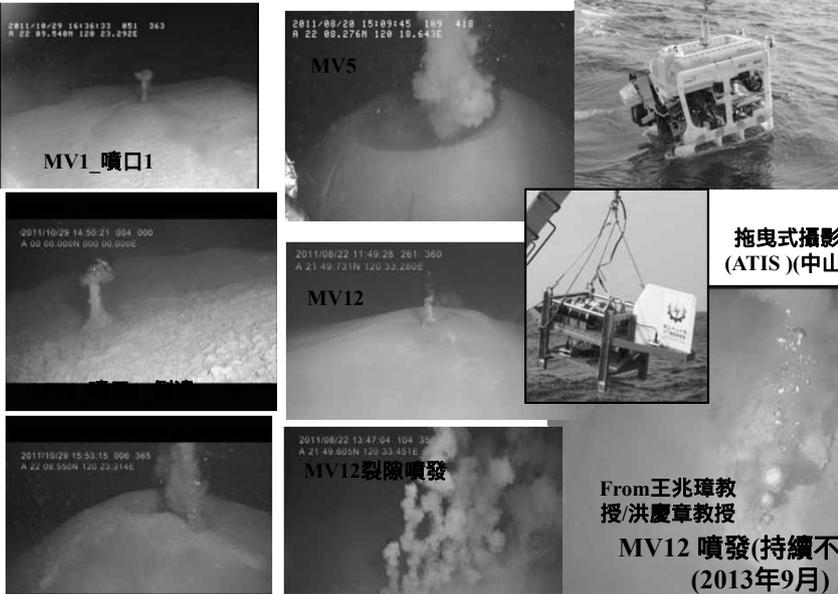
- 底部直徑約680~4,100 m
- 坡度陡約5.3°~13.6°
- 高度約65~345 m
- 典型錐狀體(除了MV6)



44

經濟部  **海底泥火山ROV觀測**

**MV1、MV5及MV12等3座泥火山**  
約每數秒~5分鐘噴發1次 (相當活躍)



ROV

拖曳式攝影系統 (ATIS) (中山大學)

From 王兆璋教授 / 洪慶章教授

**MV12 噴發 (持續不間斷)**  
(2013年9月)

中央地質調查所  
Central Geological Survey

45

經濟部  **MV1泥火山噴發**

2011/10/29 15:53:11 008 365  
A 22 09.547N 120 23.314E



中央地質調查所  
Central Geological Survey

46

2011/08/20 15:09:30 188 418  
A 22 08.279N 120 18.644E

2011/08/22 11:49:19 262 360  
A 21 49.730N 120 33.279E



49

Central Geological Survey

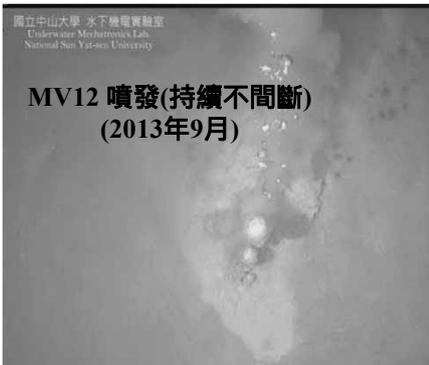
經濟部

## 中山大學研發之拖曳式觀測設備(ATIS)

- 國立中山大學海下科技研究所(王兆璋及陳信宏教授)
- 自主研發，可加載各項設備。用船上既有之CT D cable即可施測。



拖曳式攝影系統(ATIS)(中山大學)



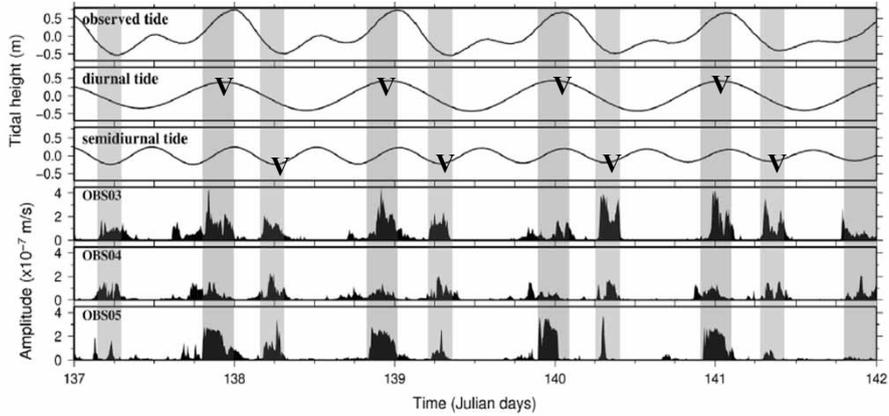
From王兆璋教授/洪慶章教授

**MV12\_Eruption**

中央地質調查所  
Central Geological Survey

50

## MV1泥火山噴發-受控於潮汐變化



- 高潮噴發(紅), 和全日潮相關
- 低潮噴發(藍), 和半日潮相關
- 噴發所造成的海床振動頻率~7 Hz

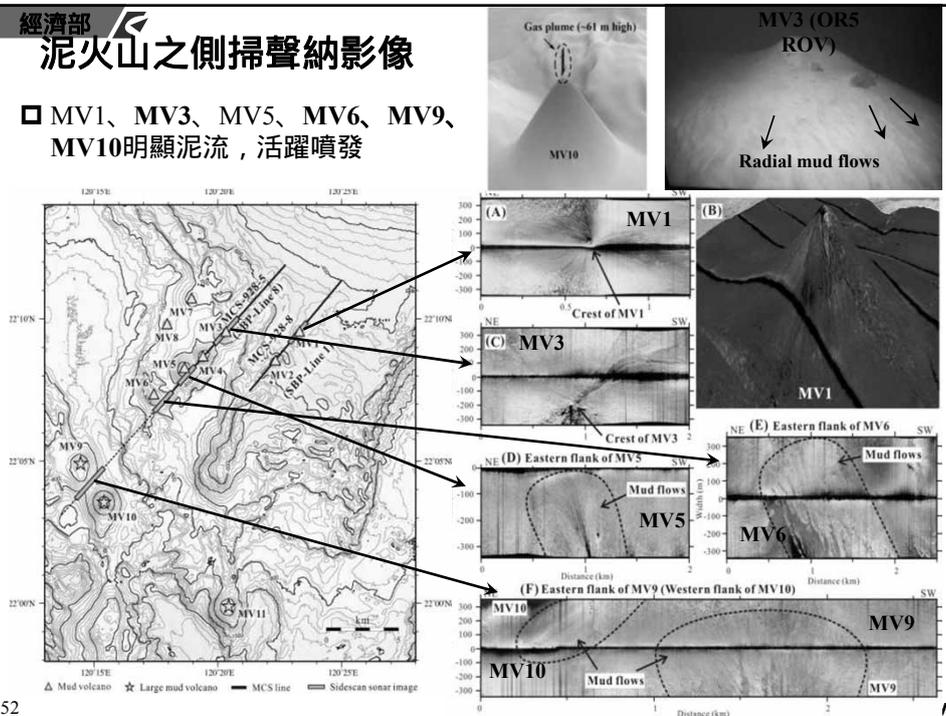
Hsu et al., EPSL, 2013

中央地質調查所  
Central Geological Survey

51

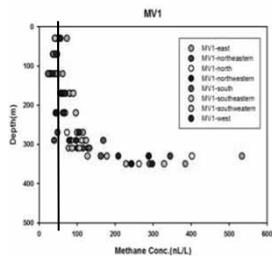
## 泥火山之側掃聲納影像

- MV1、MV3、MV5、MV6、MV9、MV10明顯泥流, 活躍噴發

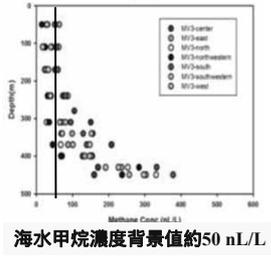


52

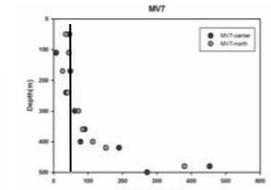
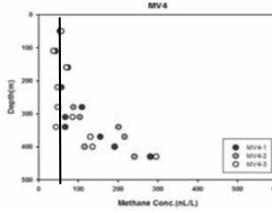
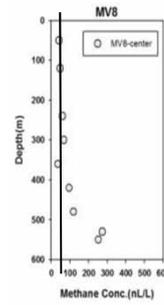
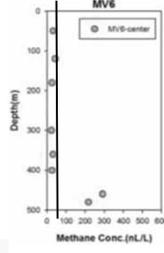
經濟部 **泥火山噴發高濃度甲烷氣**



楊燦堯等, 2011



海水甲烷濃度背景值約50 nL/L



13座泥火山上部海水之  
甲烷濃度高於背景值  
2~20倍(黃愉瑀等, 2013)

MV12岩心之甲烷氣可直接燃燒



濃度2,000萬 nL/L

經濟部 **泥貫入體MD3及MD5---流體活動旺盛**

□ MD3有MD3-1、MD3-2之  
分支演化

➢ 8座泥火山分布

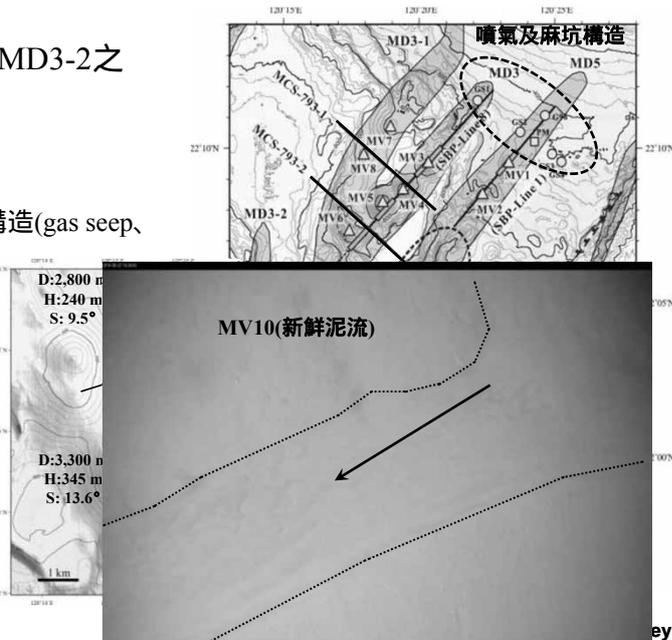
□ MD5

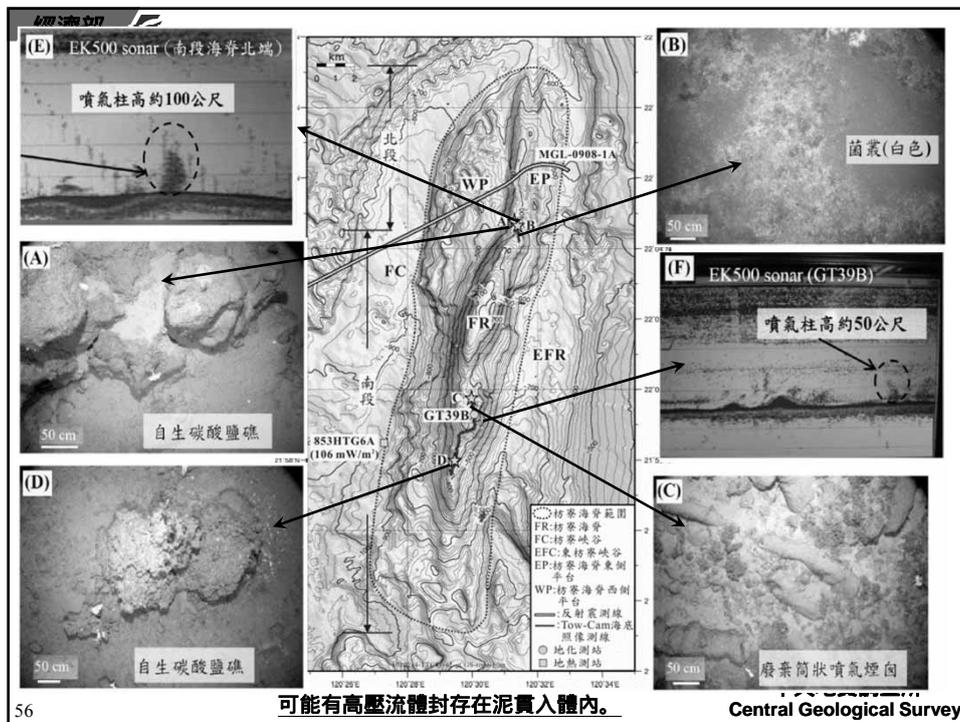
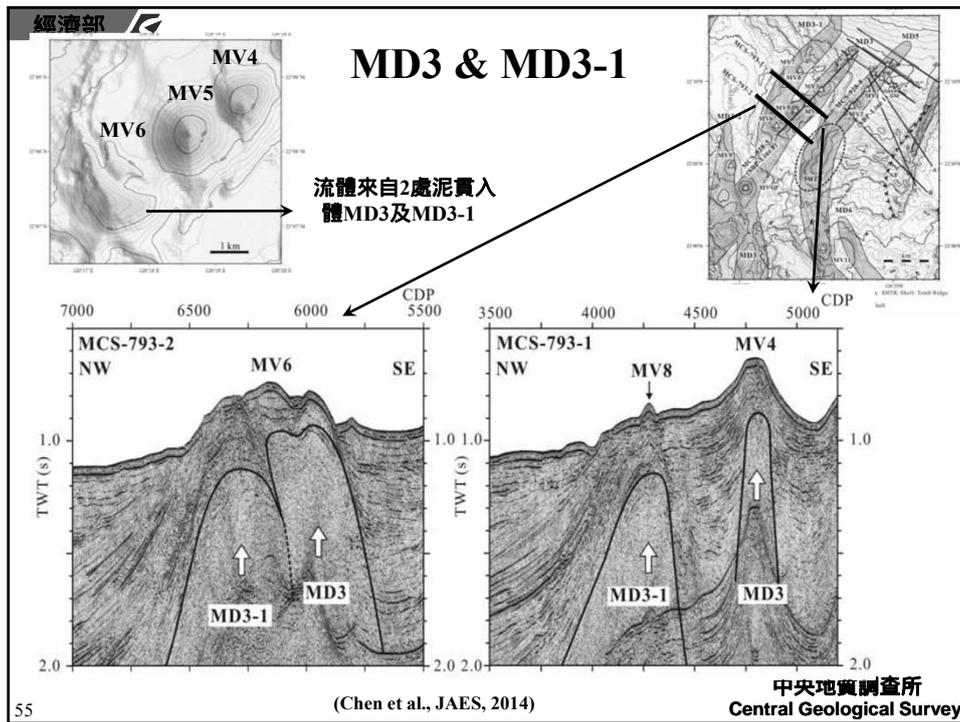
➢ 西北端有噴氣構造(gas seep,  
pockmark)

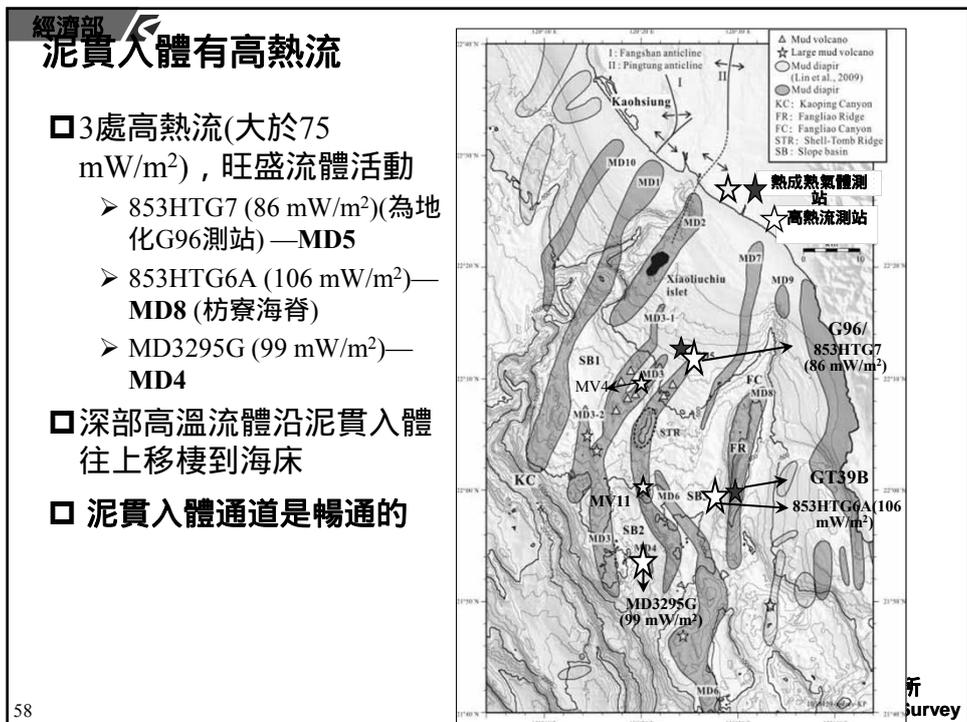
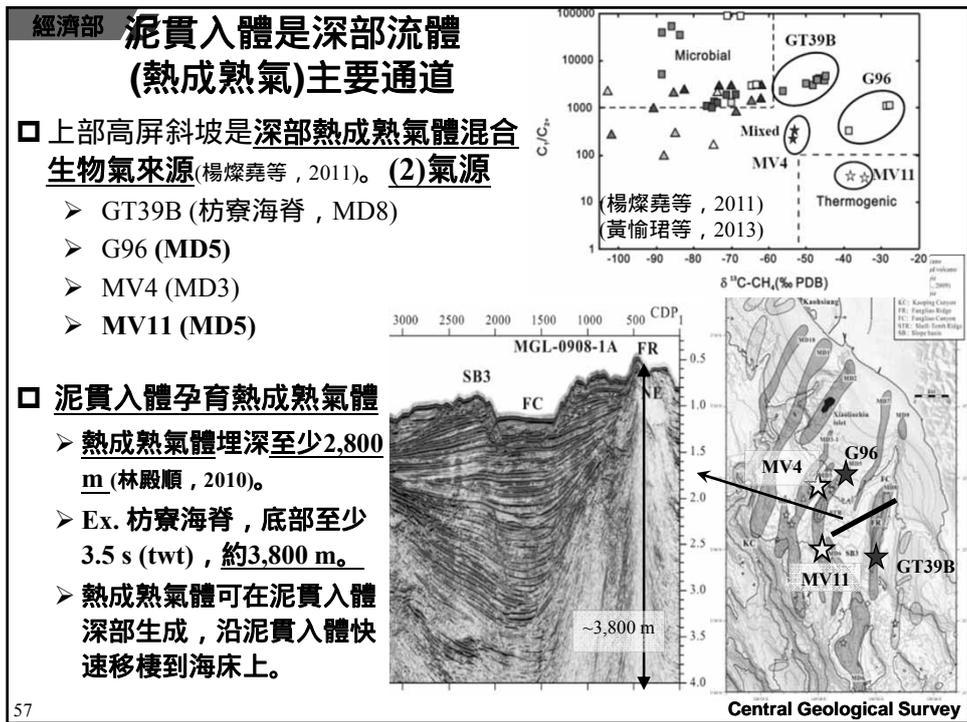
➢ 3座泥火山分布

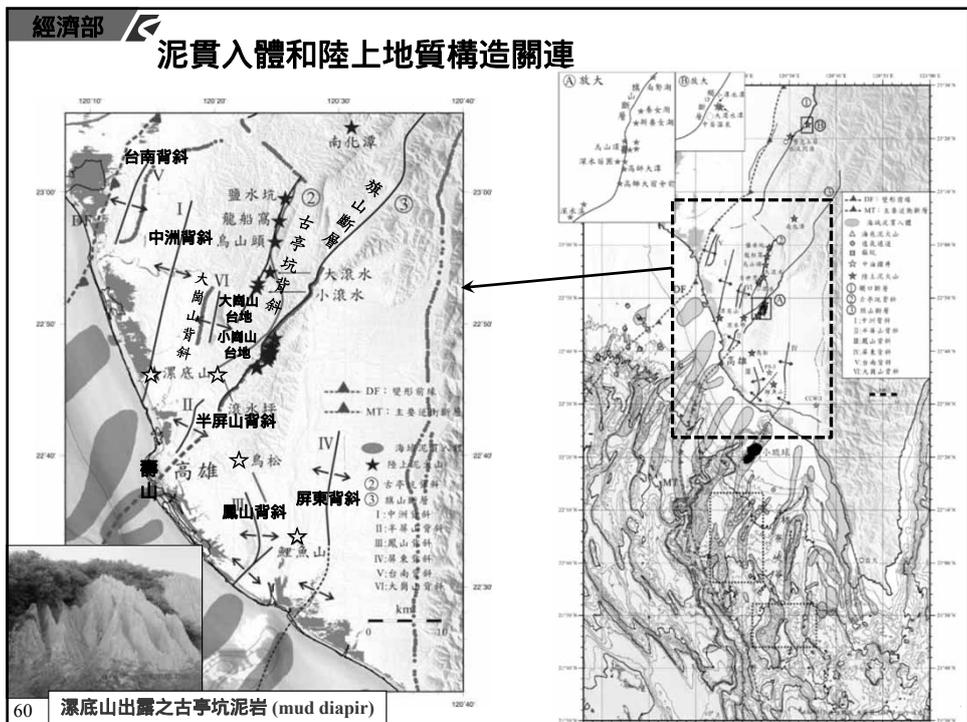
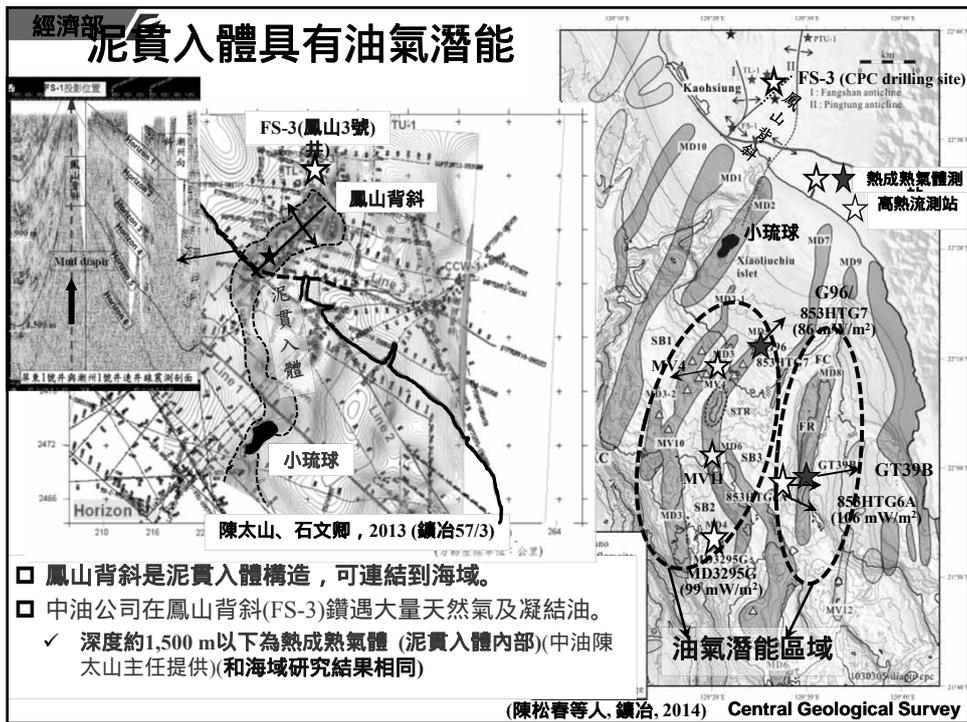
➢ 貝塚海脊(STR)

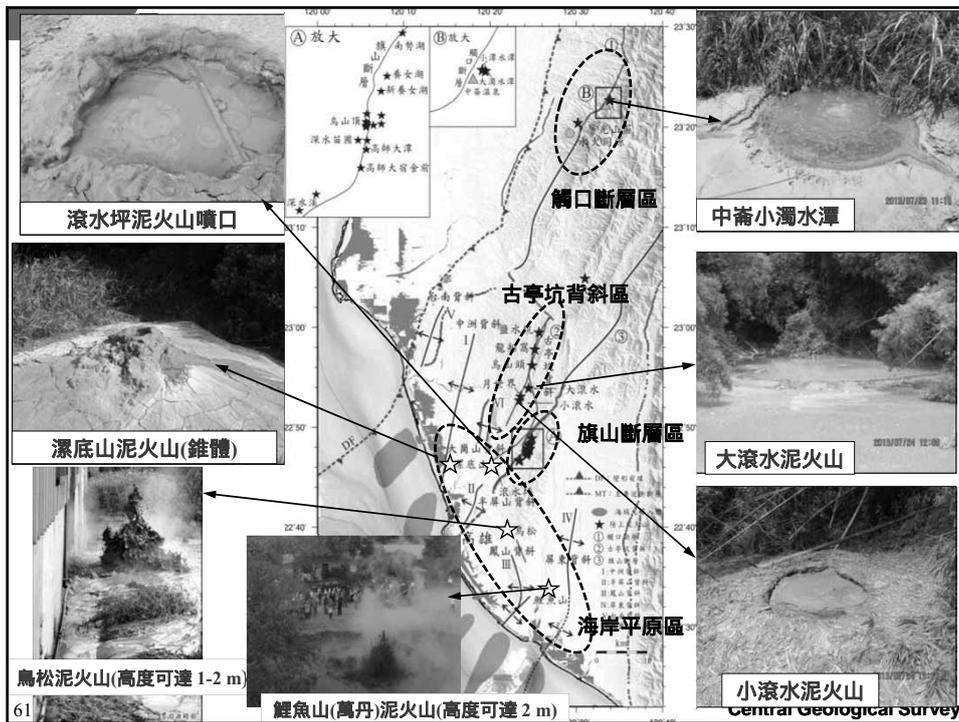
MV10  
➢ 坡度最陡-13.6°  
➢ 高度最高-345 m  
➢ 近海平面海水甲烷  
濃度高達220 nL/L  
(黃愉瑀, 2013)



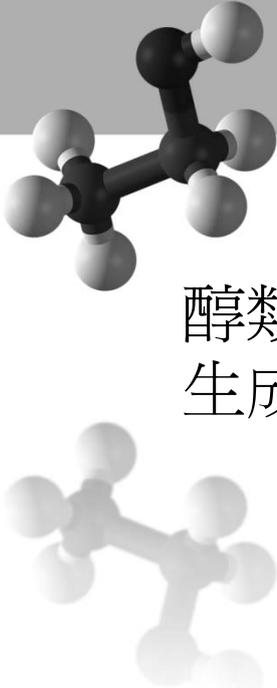








**Thank you for your attention & discussion**



# 醇類蒸氣對水合物 生成解離模式之效應探討

陳柏淳、鐘三雄、陳松春、王詠綸

2015/06/04



醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
地質調查所天然氣水合物計畫 熱力學與動力學研究 1

**熱力學與動力學研究：** 建立高度精確理論模型(狀態方程式)，描述預測天然氣水合物相變化行爲，並結合實驗及分子模擬，從巨觀現象觀察到分子間作用力分析，瞭解天然氣水合物的熱力學性質。

**理論模型**  
(狀態方程式) 結合PRSV狀態方程式與van der Waals and Platteeuw模型，應用於氣體水合物添加抑制劑及促進劑之系統。

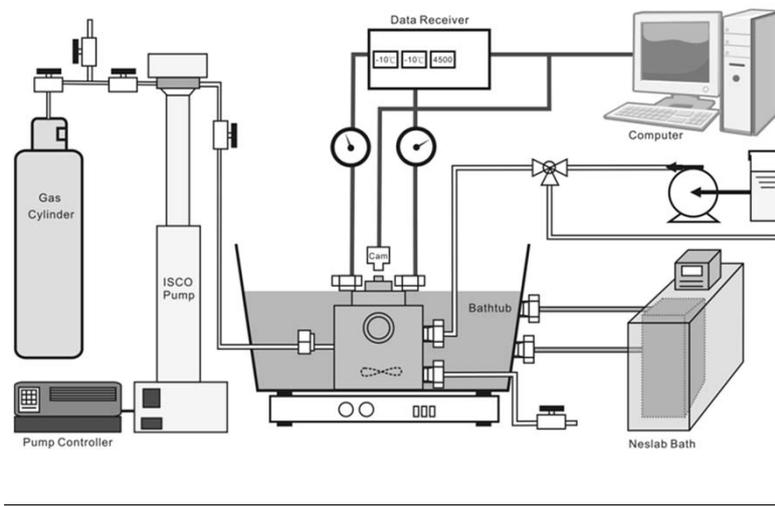
**實驗量測**

- 熱力學 (添加劑)
- 動力學 (添加劑)
- 熱卡計 (添加劑)

**分子模擬**

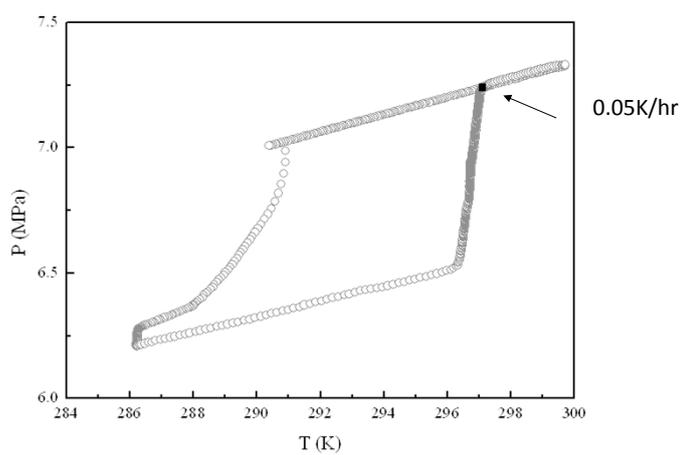
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
實驗設備：攪拌法

2



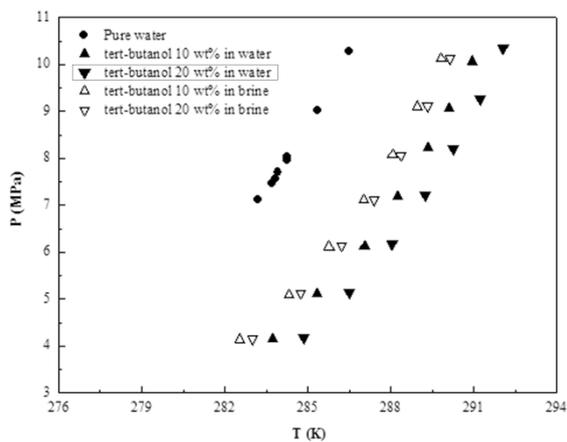
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
實驗設備：攪拌法

3



醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
實驗設備：攪拌法

4



$1/17 = 0.0588$   
5.88 mol %

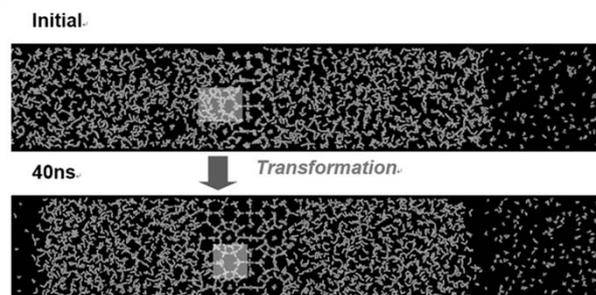
第三丁醇：  
20 wt% = 5.73 mol%

Clausius-Clapeyron equation (Sloan and Fleyfel 1992)  
來大致推斷，以壓力取對數與溫度的倒數做圖，由斜率可以得到水合物分解時所需的熱量。

比較甲烷水合物系統、甲烷+水+第三丁醇水合物系統和甲烷+鹽水+第三丁醇水合物系統之相平衡點

醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
實驗設備：分子模擬

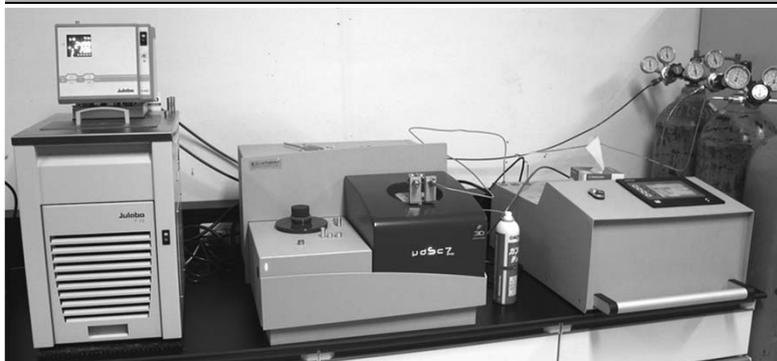
5



甲烷水合物添加第三丁醇系統中，一開始0ns 第三丁醇系統的分子模型圖以及成長過後40ns的分子模型圖。模型圖中紅色代表水分子，藍色代表甲烷分子。

醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
實驗設備：高壓微差掃描式熱卡儀

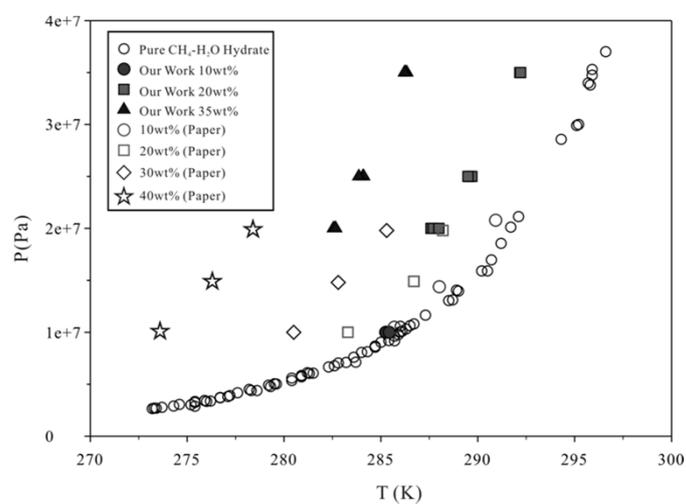
6



1. 加壓裝置 (1000bar)
2. 氣瓶 (氮及甲烷氣)
3. 熱卡儀
4. 冷卻浴槽 (0.01K)
5. 電腦設備

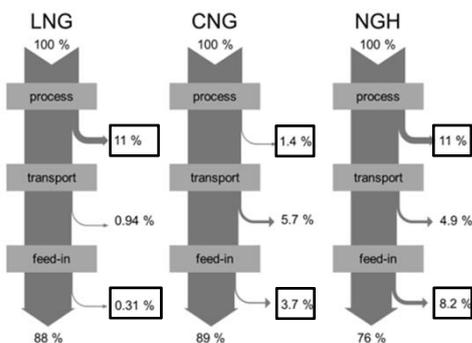
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
實驗設備：高壓微差掃描式熱卡儀

7



醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究緣起：提升水合物運送效益

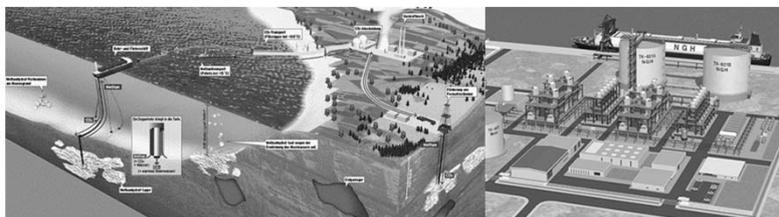
8



Gregor Rehder et al. (2012)

醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究緣起：提升水合物運送效益

9



	NGH (Natural Gas Hydrate)	LGH (Liquefied Natural Gas)
Transport and storage format	Solid body, powder, slurry	Liquid
Storage temperature	approx. -5°C to -20°C	-162°C
Ingredient in 1m <sup>3</sup>	Natural gas: 165Nm <sup>3</sup> Water: 0.8m <sup>3</sup>	Natural gas: 600Nm <sup>3</sup>

醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究緣起：水合物的自保效應

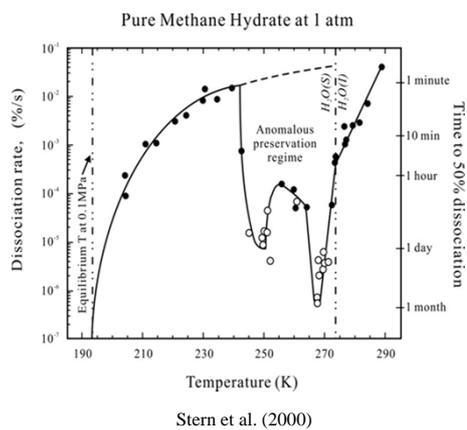
10

2010  
甲烷水合物的特殊性質：

自保效應  
Self-Preservation



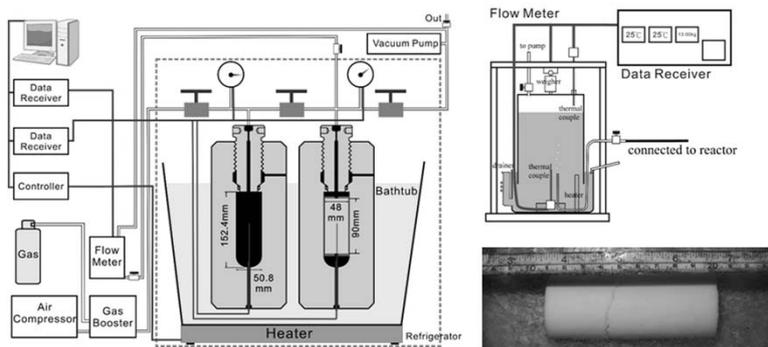
異常保存現象  
Anomalous Preservation



Stern et al. (2000)

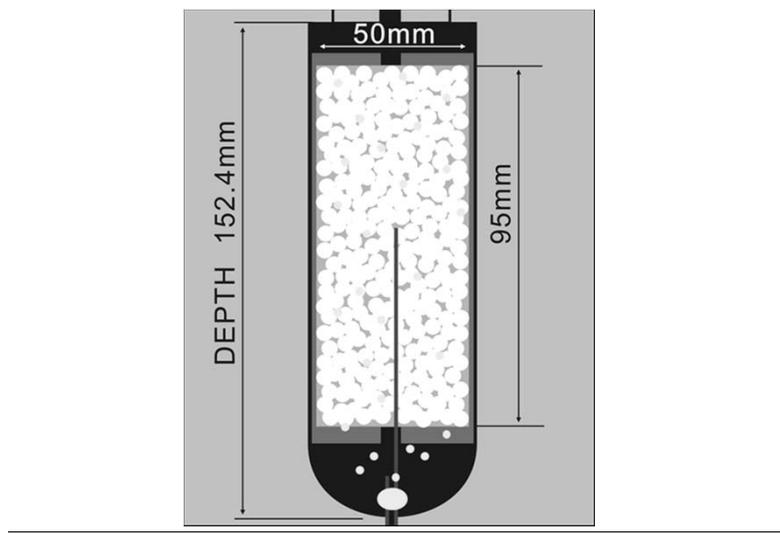
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
設備概圖

11



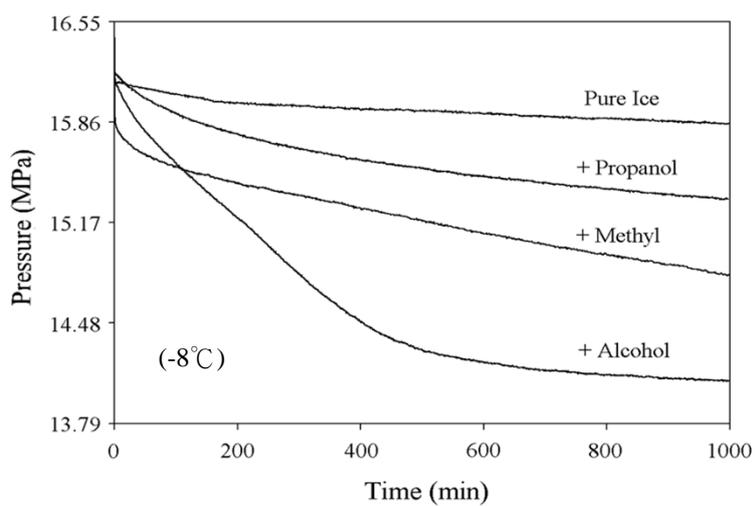
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
添加孔醇蒸氣的方式

12



醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
系統靜置時醇類發揮的促進生成效果

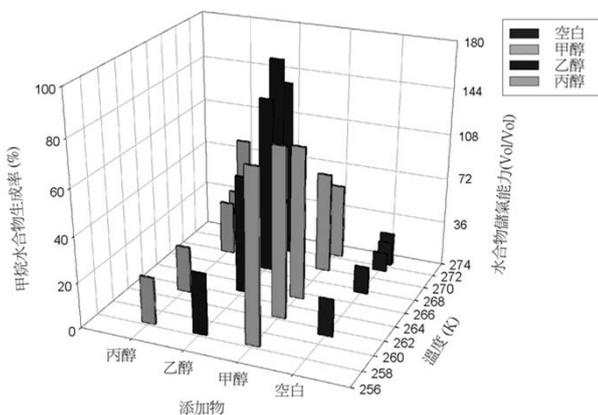
13



醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究流程構思

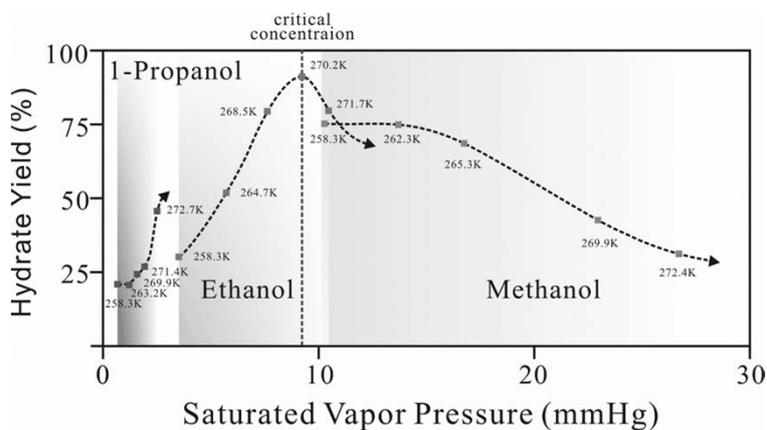
14

醇類添加物對甲烷水合物生成率比較圖



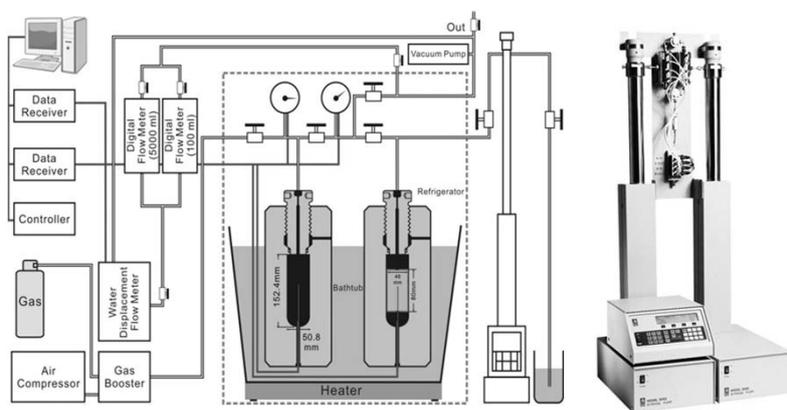
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究流程構思

15



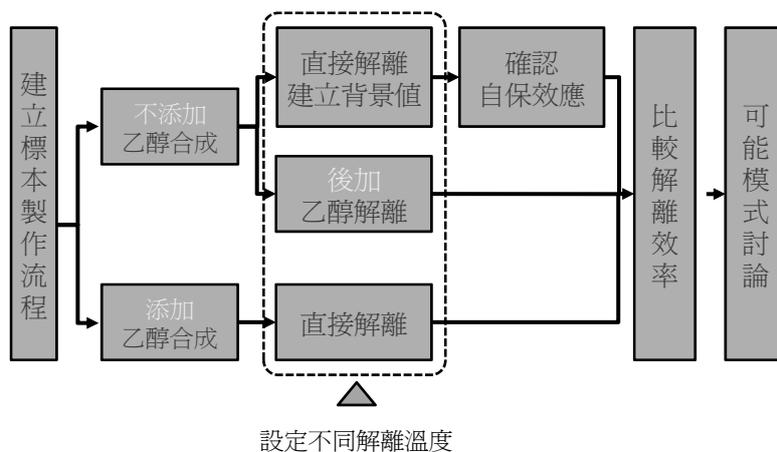
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究設備

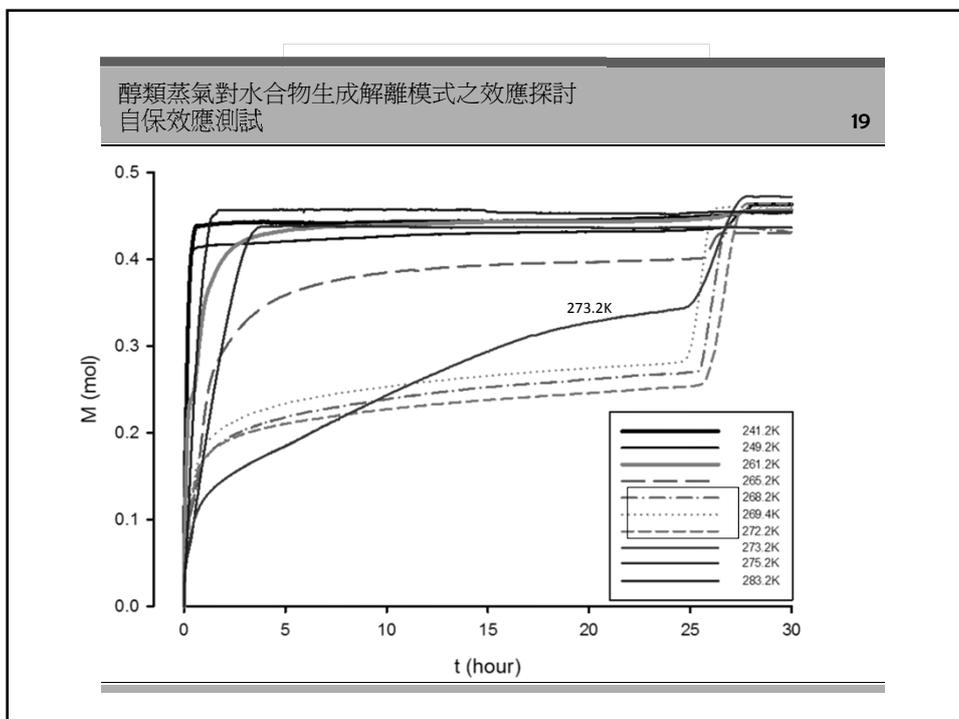
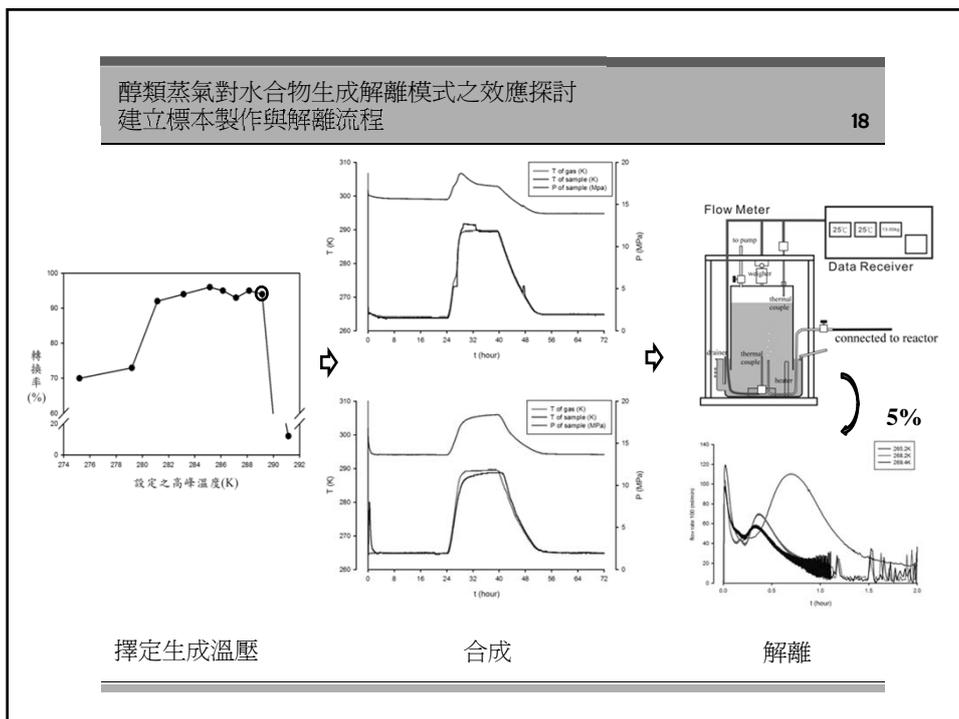
16

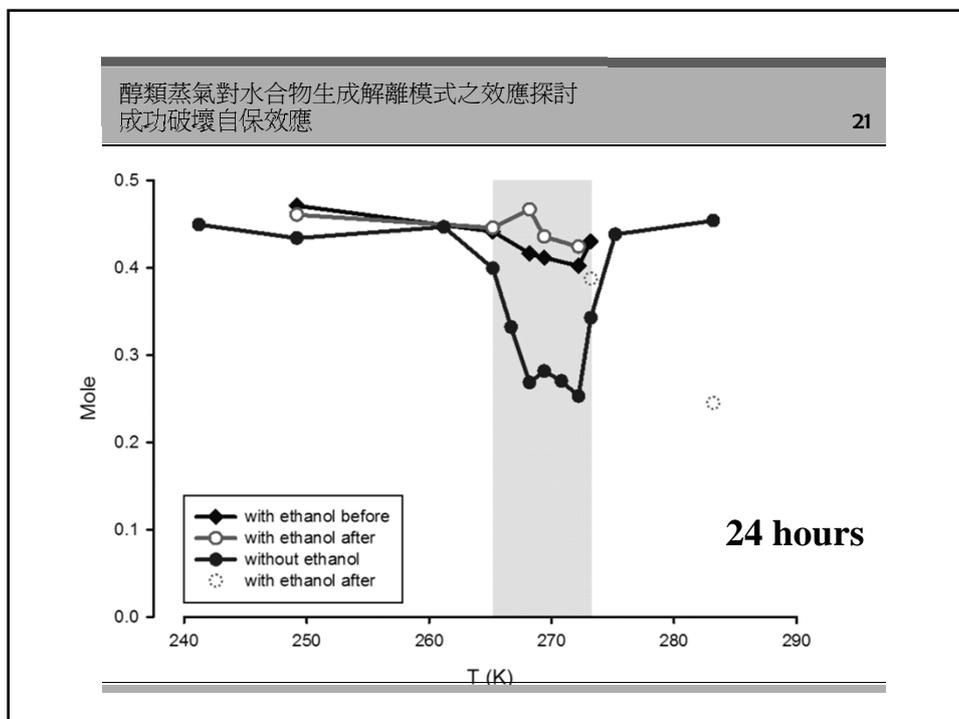
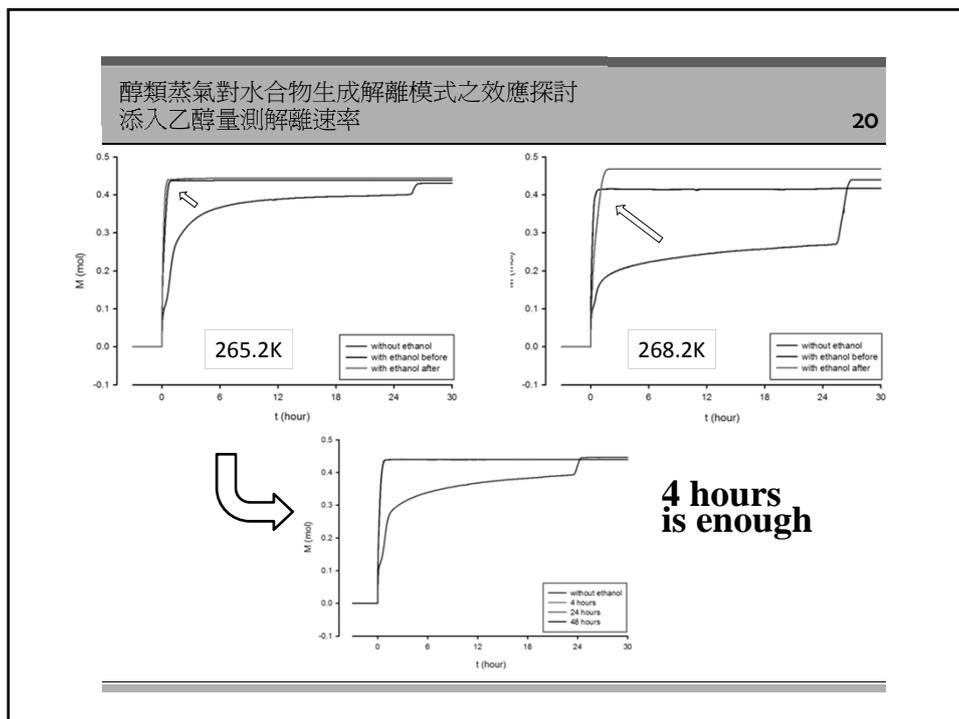


醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
研究流程構思

17

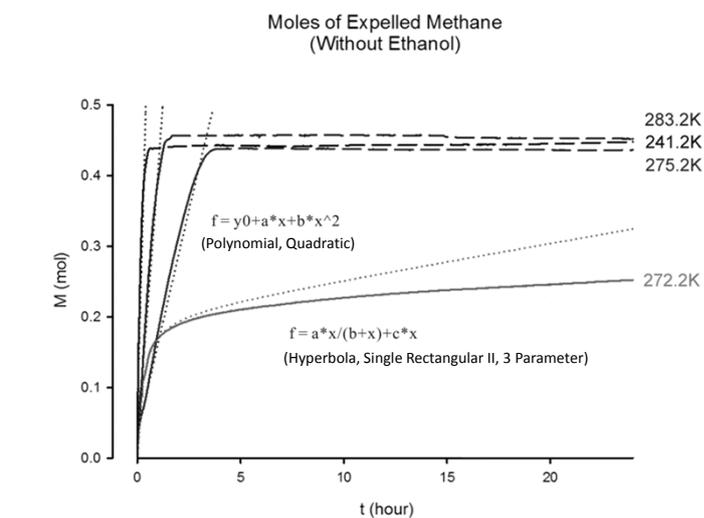






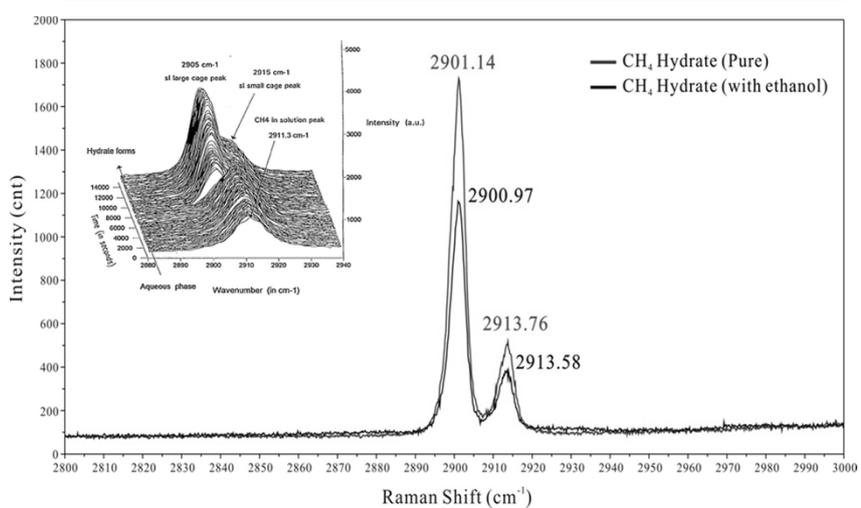
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
不同解離模式

22



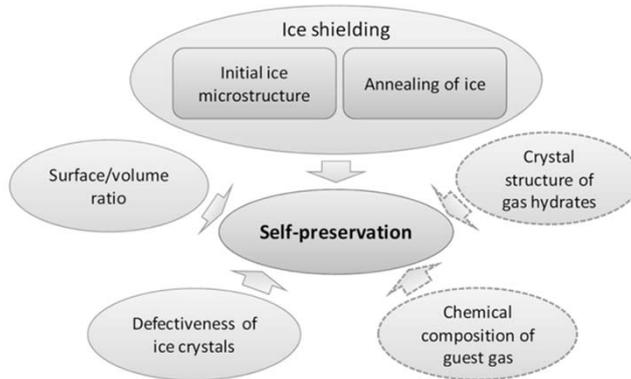
醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
Raman Spectrum

24



醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
自保效應遭破壞

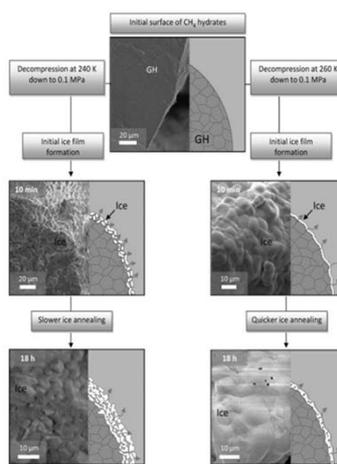
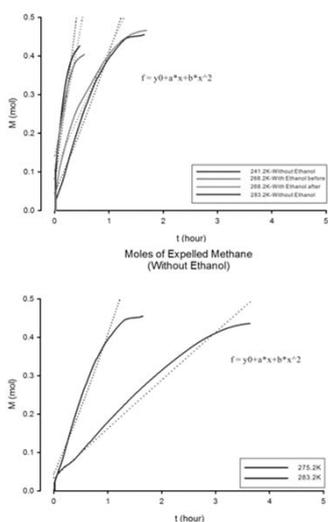
25



Gregor Rehder et al. (2012)

醇類蒸氣對水合物生成解離模式之效應探討  
自保效應遭破壞

26



Gregor Rehder et al. (2012)

## 結論

**2010**、發現醇類分子存在可大幅加速水甲烷水合物生成。

二、發現甲烷水合物之自保效應可因醇類分子存在而遭徹底破壞

⇒ 可能有商業開發價值



三、水合物自保效應該是冰膜存在造成的機制

⇒ 阻礙冰膜形成 即 破壞自保效應

- ⇒
1. 高於冰點
  2. 過冷
  3. 添加乙醇

( High Pressure Differential Scanning Calorimeter, HPDSC )

## Specifications

Temperature range	-45 °C to 120 °C Cooling under 0 °C requires the use of an auxiliary thermostat
Programmable temperature scanning rate (heating and cooling)	0.001 to 2 °C.min <sup>-1</sup>
RMS Noise	0.4 μW
Resolution	0.02 μW / 0.002 μW
Cells	1 ml, made of Hastelloy C - Removable Batch, mixing batch, ampoule and high pressure
Pressure (measured & controlled)	400 bar / 5800 psi or 1000 bar / 14 600 psi requires the use of high pressure cells and gas panel
Weight	37.4 kg (82.5 lbs)
Dimensions	40 / 53 / 58 cm (15.7 / 20.9 / 22.8 in)
Power requirements	230 V / 50/60 Hz