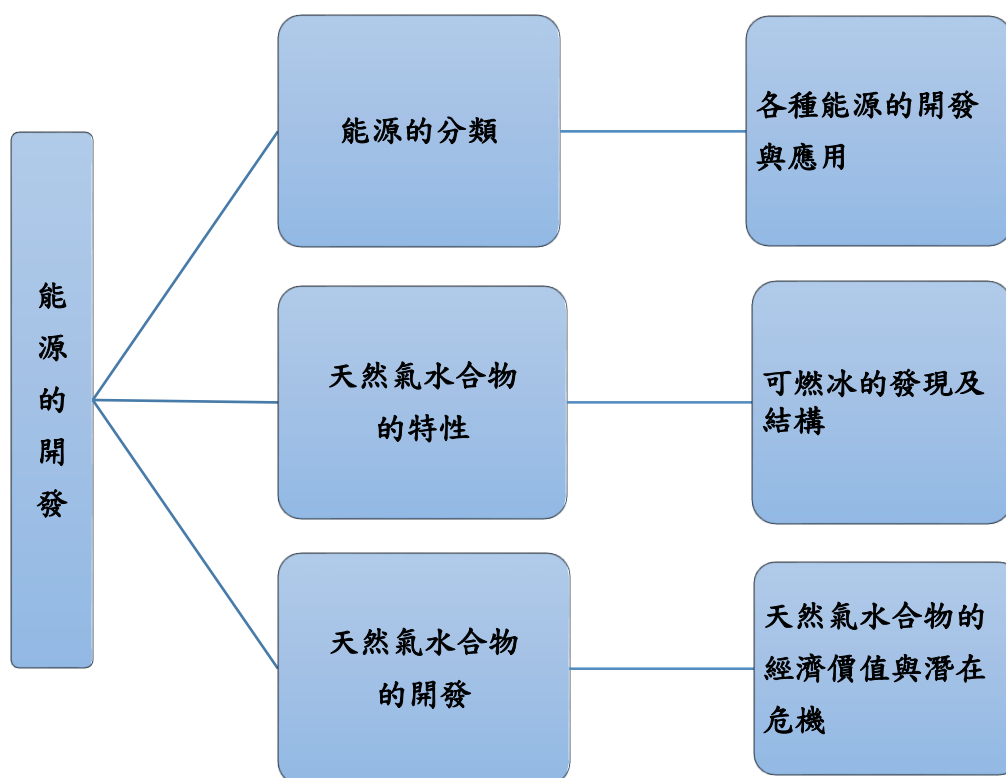


「天然氣水合物」教案設計

壹、教案設計

教學主題	天然氣水合物	適用年級	高二
適用科目	基礎化學(二)、地球科學、基礎物理	使用節數	2 節
設計者	王雅玲	所屬學校	國立臺中文華高級中學

設計理念

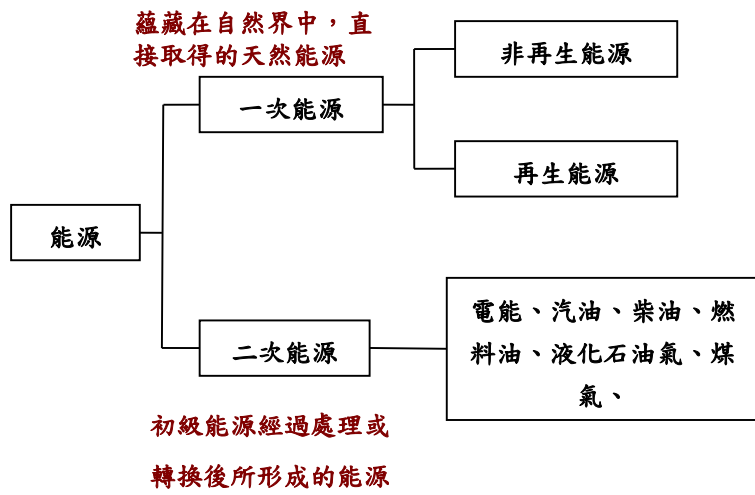
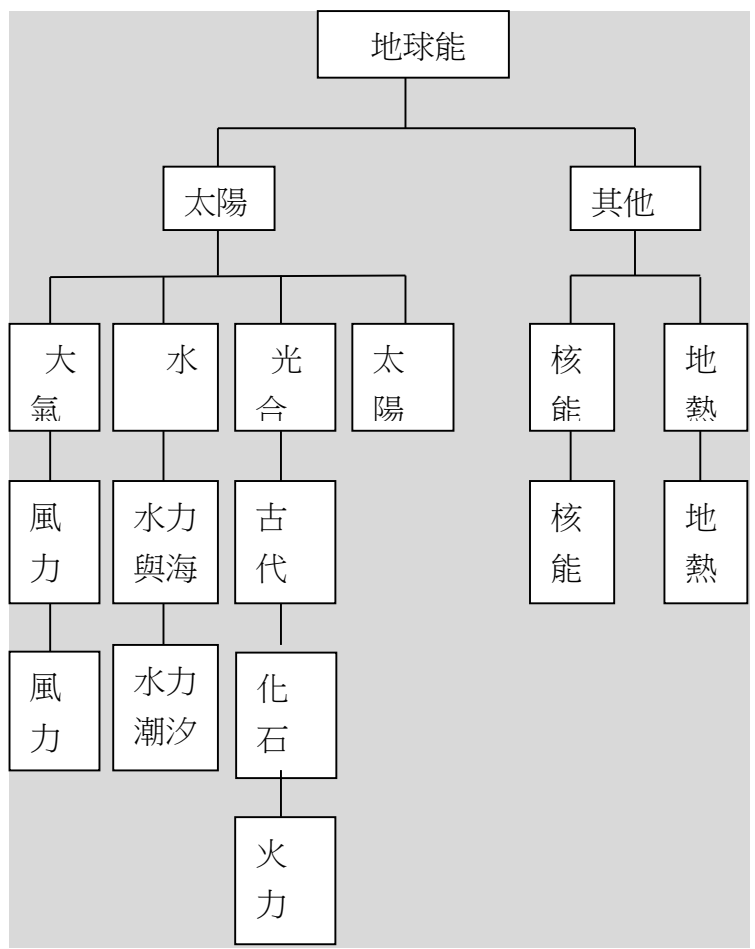


1. 在能源的分類的教學內容部分，首先講解能源的種類，接著說明能源的開發與運用。
2. 在天然氣水合物的發現與特性的教學內容部分，首先給予學生蒐集資料的作業項目，資料蒐集範圍包括可燃冰的發現與分布、及可燃冰的結構與特性等資料，接著教師進行整理，並說明這些資料。
3. 在天然氣水合物的開發的教學內容部分，首先說明臺灣附近海域可燃冰的蘊藏與開發，接著說明天然氣水合物的經濟價值與潛在危機。

建構教學目標		
能力指標		教學目標
普通高級中學 課程綱要	海洋教育能力指標	(由「設計理念」結合「能力指 標」而形成)
1-1 能知道能源中依 形成與來源的分 類做區別 1-2 能知道能源中依 能否循環再生的 分類 1-3 能知道再生能源 的種類 1-4 能瞭解再生能源 的應用與發展潛 力 1-5 能瞭解臺灣再生 能源的開發現況 1-6 能瞭解臺灣海洋 能源的蘊藏潛力 1-7 能瞭解臺灣天然 氣水合物的蘊藏 與潛能	5-5-9 瞭解臺灣海洋能 源的開發及其 成果	1. 認知方面 3-1-1 能瞭解能源的定義 (普1-1) 3-1-2 能瞭解一次能源及二次 能源的分類方法 (普1-2) 3-1-3 能瞭解再生能源與非再 生能源的分類方法 (普1-2、普1-3) 3-1-4 能瞭解能源種類 (普1-2、普1-3) 3-1-5 能瞭解再生能源的發展 現況。(普1-1、 普1-2、普1-3、普1-4、 普1-5) 3-2-1 能瞭解可燃冰的結構及 特性 3-2-2 能瞭解可燃冰的經濟價 值 3-2-3 能瞭解臺灣海域可燃冰 的可能蘊藏地區 (普1-6、普1-7、 海5-5-9) 2. 情意方面 4-1-1 喜歡探討能源的種類及 分類(普1-1、普1-2、普 1-3) 4-1-2 喜歡探討能再生能源的 發展現況(普1-1、 普1-2、普1-3、普1-4、 普1-5) 4-1-3 喜歡探討台灣各種能源 的消耗情況

		<p>4-2-1 喜歡探討可燃冰的發現 (普 1-5、普 1-6、普 1-7)</p> <p>4-2-2 喜歡探討可燃冰的結構 與特性</p> <p>4-2-3 喜歡探討可燃冰的經濟 價值</p> <p>4-2-4 喜歡探討海域可燃冰開 發(普 1-5、普 1-6、普 1-7、海 5-5-9)</p> <p>4-2-5 喜歡探討臺灣海域可燃 冰的蘊藏(普 1-5、普 1- 6、普 1-7、海 5-5-9)</p> <p>4-2-6 喜歡探討海域可燃冰不 當開發可能的危機 (普 1-5、普 1-6、 普 1-7、海 5-5-9)</p> <p>4-3-1 能用心完成學習單並且 和同學討論</p> <p>3.技能方面</p> <p>6-1-1 能運用圖書館及網路查 詢資料</p> <p>6-1-2 面對問題時，能做多方 思 考，並做適當的回應</p> <p>6-1-3 能傾聽別人的報告，並 能清楚的表達自己的意 見</p>
學生能力分析	<p>1.九年級自然與生活科技(三)下-第5章能源與動力科技概況(翰林版)</p> <p>2.高二基礎化學(二)-第2章有機化合物(康熹版)</p> <p>3.學生已瞭解臺灣海域的地形</p> <p>4.學生已瞭解化石能源</p>	
教學準備	<p>教材來源：自編講義、投影片</p> <p>教室資源：布幕、投影機、電腦、麥克風、擴音器、黑板、粉筆</p>	

	教學媒體：投影片、學習單		
教學方法	講述、腦力激盪、問答、小組討論、隨堂測驗		
學習評量	學習單、上課態度、口頭評量		
對應教學目標	教學活動	教學資源	教學評量
3-1-1、 3-1-2、 3-1-3、 3-1-4、 4-1-1	<p>第一節課</p> <p>壹、準備活動</p> <p>準備所需教具(電腦、單槍投影機、相關影片 DVD、講義)</p> <p>貳、引起動機 (5 分鐘)</p> <p>(一) 示範實驗：太陽能電動車</p> <p>(二) 根據英國石油公司 (BP) 於 2010 年之統計報告中指出，2009 年各類初級能源可開採年限統計，全球石油蘊藏量約可維持 45.7 年使用量、天然氣約 62.8 年、而煤則可維持 119 年。除了煤以外，石油及天然氣等化石燃料及鈾礦在未來數十年內將逐漸面臨耗竭的窘境。開發替代能源是重要的課題</p> <p>參、發展活動 (35 分鐘)</p> <p>一、能源的分類</p> <p>(一) 地球能量的來源及種類</p>	<p>小型太陽能電動車、黑板、電腦、投影機、布幕、粉筆、自製教學資料或 PPT</p>	<p>口頭評量 上課態度</p>



(二) 再生能源：不會隨著人類開發利用而減少的能源，如風力、水力、地熱、太陽能、海洋能、生質能等

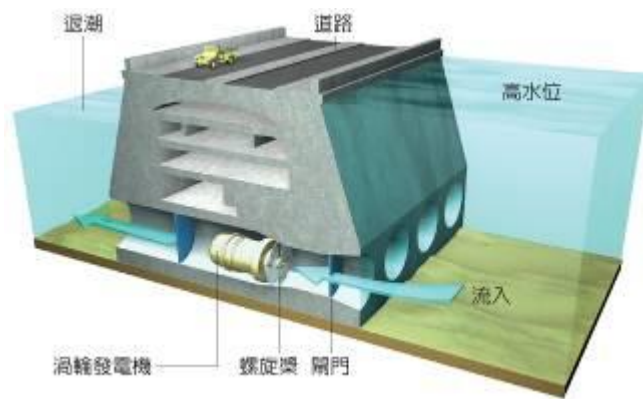
3-1-5
4-1-2

1. 太陽能：太陽可說是地球上一切能源的根本，且是一種取之不盡、用之不竭的能源

口頭
評量

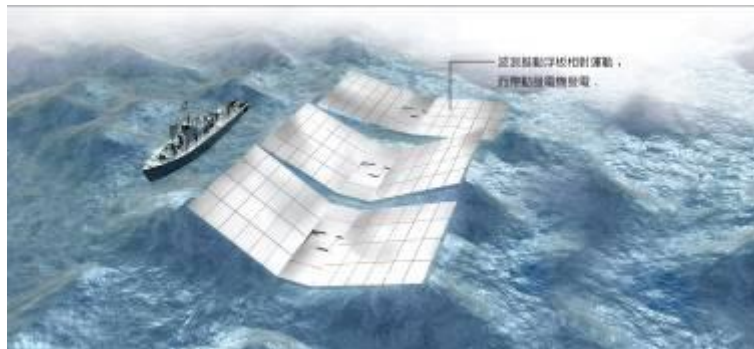
	<p>(1) 光化轉換：將太陽光的光能轉換成化學能，如綠色植物的光合作用。現今使用的化石燃料，即是利用遠古時代植物行光合作用所儲存之能量</p> <p>(2) 光電轉換：將光能轉換成電能來發電，如：太陽能電池。目前台灣太陽能發電面臨的瓶頸：成本高、轉換效率低等</p> <p>(3) 光熱轉換：將來自太陽的輻射能量吸收下來並用以加熱水溫，如太陽能熱水器儲存太陽能為熱能</p> <p>2.水力能：</p> <p>(1) 原理：利用河川、湖泊或水庫水位的位能差，將位能轉變成動能，再推動渦輪發電機來發電</p> <p>(2) 優點：最乾淨的能源，且可循環使用</p> <p>(3) 缺點：水庫淤積與環保問題。臺灣水力發電的條件不佳</p> <p>3.風力能：</p> <p>(1) 原理：靠空氣流動來推動風力發電機的葉片而發電</p> <p>(2) 優點：風力能源不虞匱乏，潔淨且無汙染排放</p> <p>(3) 缺點：風力、風速不穩定，有間歇性的問題</p> <p>(4) 臺灣的風力發電能量密度含量居全球排名第二，特別為桃園～雲林沿海一帶，強勁的夏季西南氣流與冬季東北季風吹襲，為臺灣發展風力發電之最佳地點</p> <p>4.地熱能：</p> <p>(1) 原理：主要是來自地球內部熔漿和放射性物質衰變所釋放的能量。地熱發電的裝置是從地底導出高溫水蒸氣，可推動蒸氣渦輪發電機</p> <p>(2) 優點：相對許多能源，地熱最廉價。</p> <p>(3) 臺灣的地熱利用：中央山脈地區、北部地區和東部外島皆有地熱區；宜蘭縣清水有地熱發電廠，但仍屬試驗階段</p> <p>(4) 臺灣地熱豐富，但水質偏酸及交通問題，發電成本較高</p> <p>5.生質能：</p>	、上課態度
--	---	-------

	<p>(1) 由生物所產生之有機物質，經過自然或人為的化學反應，轉換成可利用之能源。例如：牲畜糞便、農作物殘渣、城市垃圾及工業廢水等廢棄物，可直接燃燒作為能源，或由微生物的厭氧分解反應而產生沼氣後應用</p> <p>(2) 台灣生質能的應用：以大型都市垃圾焚化爐附屬的發電設施為主，發電量為國內再生能源第二位</p> <p>(3) 綠藻生質能的應用：藻類生質柴油。培育藻體作為生質柴油的原料。有些藻類細胞內積蓄油脂質的重量比可超過 20%，因此培養藻類比耕種農作物在土地利用效益上更高</p> <p>(4) 生質能源是綠色的再生能源：大量栽培植物，吸收太陽光行光合作用，將 CO₂ 轉換成生質的原料，維持大氣中 CO₂ 的含量，避免產生溫室效應</p> <p>(5) 隱憂：</p> <p>(a) 元素失調，加劇溫室效應：使用植物為生質能原料時，除保持碳的循環，也應當考慮其他元素（例如氮、氧等）的循環。若造成氮、氧的循環失衡，產生更多 NO_x 氣體（例如 N₂O），可能會加劇溫室效應</p> <p>(b) 糧食危機：為了生產生質能之經濟作物，可能導致糧食作物的減產，糧價上漲，引起糧食危機</p> <p>(c) 焚燒開墾新農地所產生的二氧化碳，可能需要數十年以上的時間才能以生質能源的方式補償</p> <p>6. 海洋能：臺灣四面環海，海洋資源豐富，且海洋能源潔淨無汙染，若能加以開發利用，將可望取代傳統的化石燃料</p> <p>(1) 潮汐發電：利用水的位能變化來產生電能</p> <p>(a) 條件：潮汐落差達 3 公尺以上，始具經濟效益</p> <p>(b) 臺灣沿海潮差過低，又缺乏天然海灣，目前尚難以應用</p>		
--	--	--	--



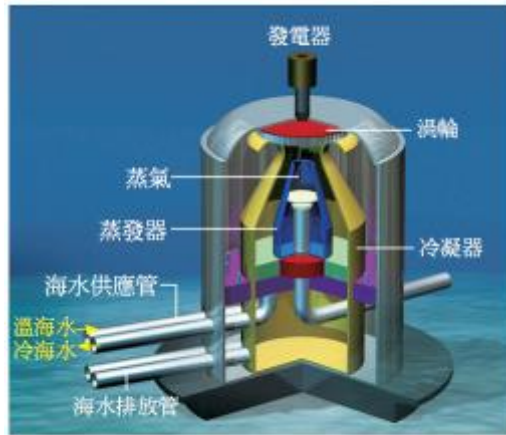
資料來源：翰林版 基礎化學(二)

- (2) 波浪發電：利用波浪上下運動產生的壓力，來壓縮空氣並吸引空氣，以推動空氣渦輪發電。臺灣四面環海，波浪能源蘊藏豐富，波浪發電值得開發



資料來源：翰林版 基礎化學(二)

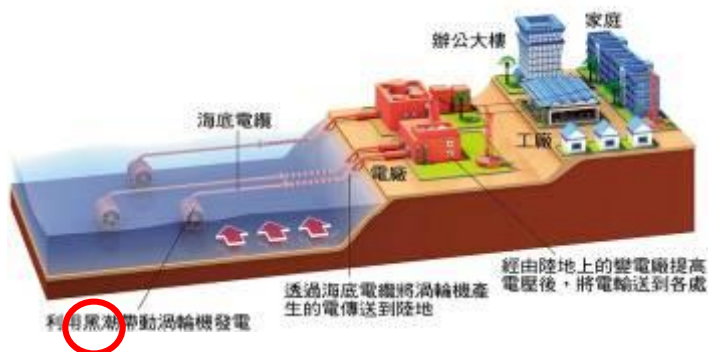
- (3) 海洋溫差發電：
- (a) 海水表層吸收太陽能而溫度升高，抽入蒸發器內使沸點極低之冷媒變成蒸氣，推動渦輪發電機而發電。使用後的蒸氣再以深層海水冷卻成液體，再送回表層海水加熱循環使用
- (b) 條件：臺灣東部海域的海底地形陡峭，離岸不遠處水深即達 800 公尺，水溫約 5°C ，且有黑潮暖流通過，表層水溫達 25°C ，地形及水溫條件佳，具有建置海洋溫差發電的潛力



▲ 圖3-41 海洋溫差發電

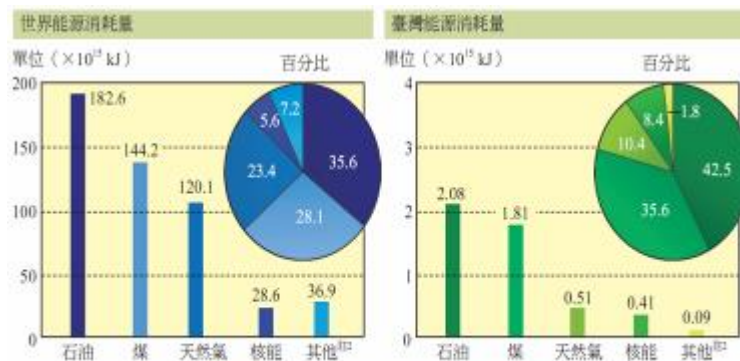
資料來源：康熹版基礎化學(二)

(4) 海洋洋流發電：洋流的動能極大，如能用於發電，必可產生大量的電能



資料來源：南一版基礎化學(二)

(三) 台灣各種能源的消耗



註1：數據來自美國能源部 (<http://onto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm> 2010年3月)。
 註2：包括水力、風力、太陽能、地熱等再生能源。

▲ 圖3-49 2008年全世界和臺灣各種能源的消耗圖

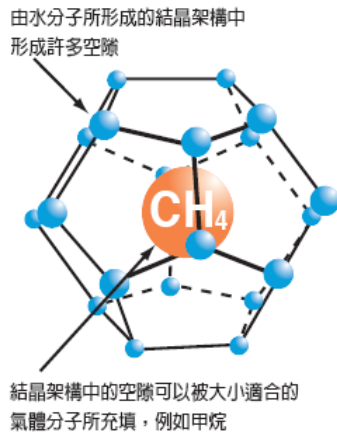
資料來源：康熹版基礎化學(二)

4-1-3

上課
態度

<p>4-2-1</p> <p>4-3-1、 6-1-1、 6-1-2</p> <p>4-2-1、 4-3-1、 6-1-3</p>	<p>目前全球所消耗的能量大多來自化石燃料，臺灣此一資源缺乏，高度仰賴進口，將來為反映溫室氣體排放成本，課徵能源稅和碳稅為世界趨勢，對台灣未來產業競爭力相當不利。因此必須對能源作有效的利用與節約，並積極開發新興的替代能源</p> <p>肆、綜合活動（10分鐘）</p> <p>一、歸納本單元重點，並使學生瞭解能源與我們日常生活相關</p> <p>二、播放「永凍土的甲烷」影片。網站： http://www.youtube.com/watch?v=iLzfcBtl3a8</p> <p>三、發學習單（I），分組每5人為一組，讓各組討論影片內容，並依分組課後彙集有關影片的相關資料</p> <p>第二節課</p> <p>壹、準備活動</p> <p>準備所需教具(電腦、單槍投影機、相關影片 DVD、講義)</p> <p>貳、引起動機（10分鐘）</p> <p>（一）影片回顧：永凍土的甲烷。網站： http://www.youtube.com/watch?v=iLzfcBtl3a8</p> <p>（二）請學生分組報告所彙集到有關影片的相關資料</p> <p>參、發展活動（30分鐘）</p> <p>二、天然氣水合物的發現與特性</p> <p>（一）天然氣水合物的發現</p> <ol style="list-style-type: none"> 18世紀，科學家在實驗室中發現氣體與水分子能以水合物的形態存在 1930年代，在天然氣輸氣管道中，發現輸氣管經常被一種奇怪的「冰塊」堵塞→麻煩的製造者 1934年美國科學家發表了有關天然氣水合物造成輸氣管道堵塞的相關數據，人們開始深入對其進行研究 1960年代，西伯利亞凍原區首度觀察到天然形成的天然氣水合物 	<p>學習單</p> <p>電腦、單槍投影機、相關影片 DVD、講義</p>	<p>口頭評量、上課態度、上課態度、分組討論的態度</p> <p>口頭評量、上課態度、學習單評量、分組討論的態度、聆聽它</p>
--	---	--	--

5. 1970 年代，於黑海海床首次取得天然氣水合物的標本



天然氣水合物的結構
資料來源：經濟部中央地質調查所

(二) 什麼是天然氣水合物

1. 天然氣水合物的結構：天然氣水合物 (methane hydrate) 主要是甲烷氣體分子在高壓及低溫的環境下，被呈籠形架構的水分子包合而形成的一種類似冰晶體的化合物。

2. 天然氣水合物的特性：

(1) 天然形成的天然氣水合物，包含 90% 以上的甲烷氣體，因此天然氣水合物也通稱作「**甲烷水合物**」

(2) 甲烷水合物外觀如純白潔淨之半透明至不透明狀的冰塊，常溫常壓下，可釋放出 150~170 個單位體積的甲烷，若有火源點燃，可持續燃燒直至殆盡，形成冰火或水冰火共存的特異現象，又可稱為「**可燃冰**」

播放「天然氣水合物的燃燒」影片。網站：
<http://www.youtube.com/watch?v=PFZ7ChwyQxg>

(三) 如何形成可燃冰

1. 形成的必要條件：甲烷水合物需要在**高壓及低溫**的環境，並且有**大量的氣體供應**與水分子結合

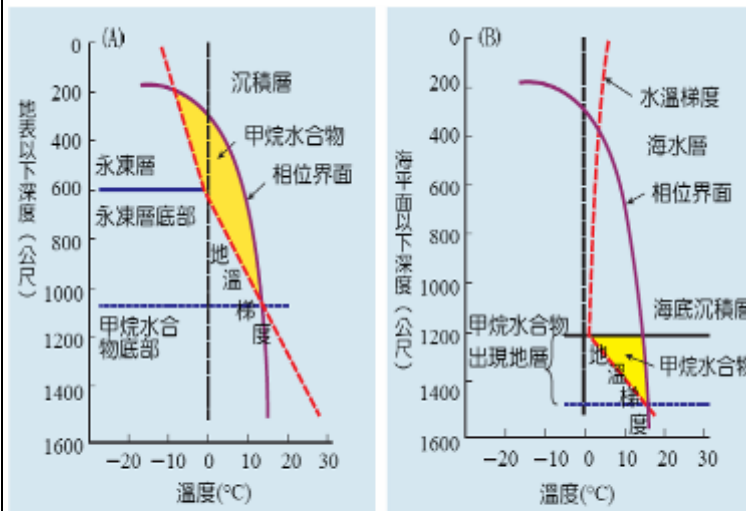
2. 溫度：形成溫度至少要在零度以下

組意見時的態度

3-2-1、
4-2-2

口頭評量、上課態度

3. 深度：高緯區可在約200公尺到1080公尺深度的地層中形成；在陸緣海域至少需要到300 - 500公尺處才會有包合物形成可能；在低緯區則深度則要深到530公尺以下
4. 成分：需要有大量有機質沉積物堆積且沉機速率快的區域。海洋生物和微生物死後，屍沉海底。海底水溫較低，壓力大，經過細菌分解成為甲烷、乙烷等可燃氣體，進入海底的沉積岩，與水結合成可燃冰



甲烷水合物在(A)極區永凍層與(B)海域環境下其相界面和環境溫、壓關係圖。紫色曲線為甲烷水合物相界面，紅色虛線為溫度變化曲線，黃色區域為甲烷水合物穩定範圍

資料來源：劉家瑄 (2004)。可燃燒的冰塊。科學月刊，第33卷，第2期，第156-165

(四) 作為燃料的好處—廿一世紀的理想燃料?

1. 藏量大，足夠應付將來的需要：科學家們估計目前已知的全球甲烷水合物之甲烷含量大約有20千兆立方公尺，其所能提供的有機碳能源是全球已知所有石油、天然氣等化石燃料能源總量的兩倍。
2. 潔淨低污染：甲烷佔80%–99.9%，可直接點燃，不產生任何殘渣，不產生硫氧化物，且生成的氮化合物為石油的33–50%，二氧化碳則為67%，為一較潔淨的能源

三、天然氣水合物的開發

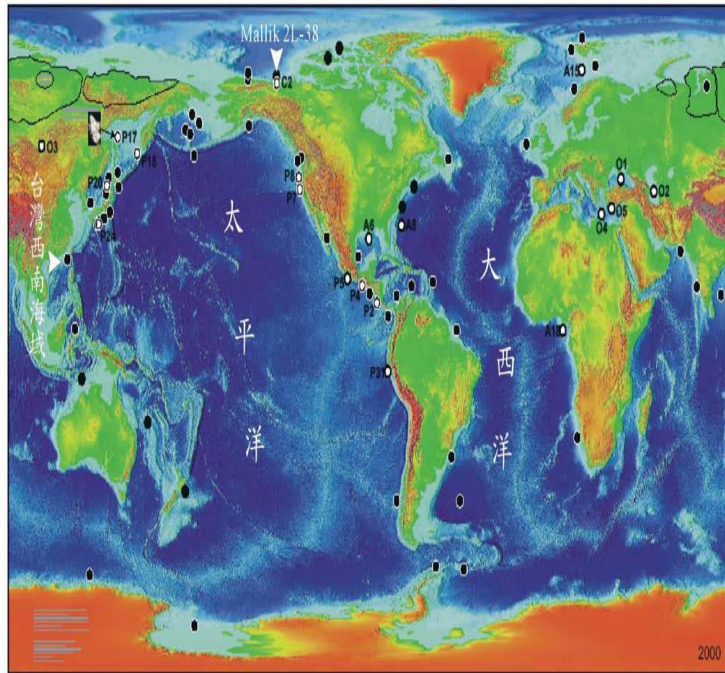
3-2-2
4-2-3

口頭
評量
、上
課態
度

4-2-4

(一) 天然氣水合物的分布：

1. 天然氣水合物存在的地質環境，多侷限在極區永凍層、深水區等有大量沉積物堆積、沉積速率快，且富含有機物的區域。深水區的天然氣水合物大多分布在大陸邊緣，水深 500 至 3000 公尺海域的大陸斜坡、大陸隆堆等地區。少數如大陸內海、湖泊等深水區，也有天然氣水合物的蘊藏



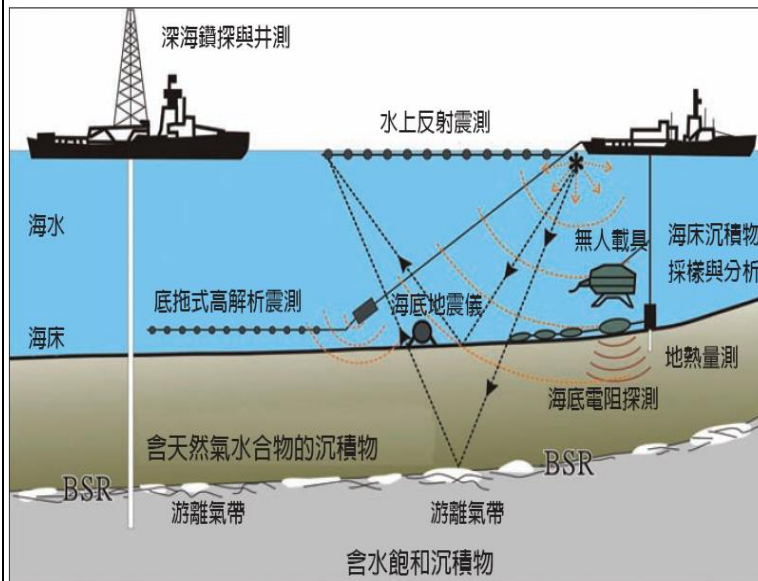
全球已知天然氣水合物分布地點。白色圓圈代表該處已採集到天然氣水合物的標本，黑點代表天然氣水合物的存在是藉由地球物理、地球化學或地質資料的證據（取自K. Kvenvolden，美國地質調查所）

2. 依據Kvenvolden and Lorenson (2001) 的資料彙整顯示，目前全球已探知賦存有甲烷水合物的地區增加到77處，其中35處在太平洋，3處在印度洋，19處在大西洋，3處在北極海，4處在南極洲，5處在大陸內海或湖泊區域，8處在陸域；目前已有19處甲烷水合物賦存區已確實採到甲烷水合物標本

上課
態度

4-2-4

(二) 天然氣水合物的探勘



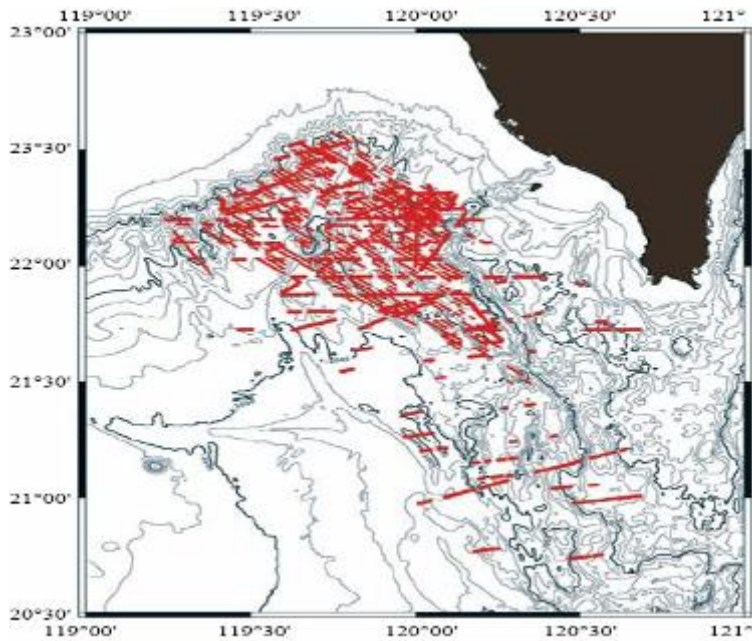
資料來源：陳松春、王詠綸（2007）。天然氣水合物探勘技術。科學發展，412，26-31

(三) 天然氣水合物的開採方式：利用溫度、壓力等效應改變甲烷與水之相界平衡關係，使甲烷氣體先解離出後，將其導引到地面加以儲存與利用。理論開採模式：

1. 熱激發法：將蒸氣或熱水等熱液由地表導引至地表下之天然氣水合物賦存層中，加熱使天然氣水合物溫度高於解離溫度而分離出甲烷與水
2. 化學試劑激發法：將鹽水或海水、甲醇與二氧化碳等溶劑與溶質導引至天然氣水合物賦存層中，降低天然氣水合物的解離平衡溫度，促進解離反應而產生甲烷氣，再將甲烷氣導引至地表
3. 減壓法：利用位於天然氣水合物下方平衡共存的游離氣層，先行以熱激發法或化學試劑激發法促使部份天然氣水合物解離產生甲烷並以連通管引導到地表，引導的過程壓力將會降低，使得氣固相平衡共存的天然氣水合物發生解離而釋出甲烷

上課
態度

4-2-5	<p>(四) 各國的研究</p> <p>迄今至少已有40多個國家，針對可燃冰展開了國家級的研究計畫，目前已調查發現可燃冰的礦點共有100多處</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 美國於1969年開始實施可燃冰調查。1998年，把可燃冰的勘探與開發列入國家級長遠計畫，計畫2015年實現商業開採 2. 1960年，前蘇聯在西伯利亞發現了第一個可燃冰氣藏，並於1969年投入開發。目前俄羅斯已劃出了本土的天然氣水合物穩定帶 3. 1992年，加拿大在北極地區的科學探索井中，成功採集到第一塊永凍土中的可燃冰。1993年則在海域發現可燃冰。2002年加拿大地質調查局和日本國家石油公司合作，進行首次可燃冰現代化生產測試。 4. 日本關注可燃冰是在1992年，目前已基本完成周邊海域的可燃冰調查與評價，鑽探了7口探井，圈定了12塊礦集區，並成功取得可燃冰樣本。目標是在2015~2018年，最終確定海上可燃冰的商業開發計畫 5. 2008年大陸在青海祁連山凍土區發現可燃冰。為挖掘祁連山可燃冰資源，大陸擬訂為期11年的計畫，預計2021年前可開始生產 <p>(五) 台灣的蘊藏與潛能—西南海域藏量豐</p> <p>經濟部中央地質調查所證實台灣西南海域、高雄至恆春外海含有蘊藏豐富的天然氣水合物。賦存潛能高，估算足可供全台使用60年以上。未來如經更詳細的探勘證實，天然氣水合物將成為台灣未來極為重要的替代能源</p>		上課態度
-------	--	--	------



台灣西南海域海底仿擬反射信號分布圖。細線代表反射震測剖面位置，粗線代表分布位置，陰影區域為主要天然氣水合物分布範圍

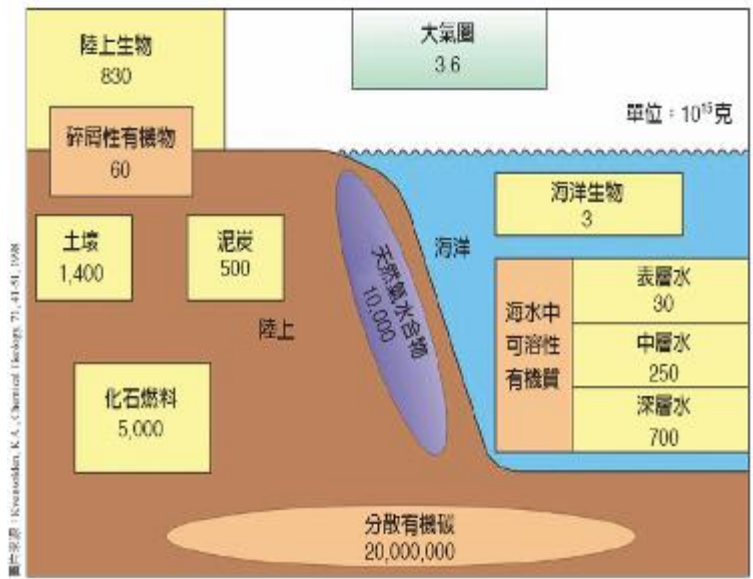
資料來源：劉家瑄（2004）。可燃燒的冰塊。科學月刊，第33卷，第2期，第156-165頁

(六) 開採可燃冰可能的環境衝擊

1. **對全球碳循環與氣候變遷的衝擊**：甲烷是可燃冰中的主要成分，屬於強效溫室氣體，相同的量對全球氣候的增溫效應是二氧化碳的131倍。在可燃冰開採的過程中對沉積層所造成之壓力變化，極易使得可燃冰迅速解離而釋出大量甲烷氣體，加劇溫室效應，引致地球溫度上升加速

4-2-6

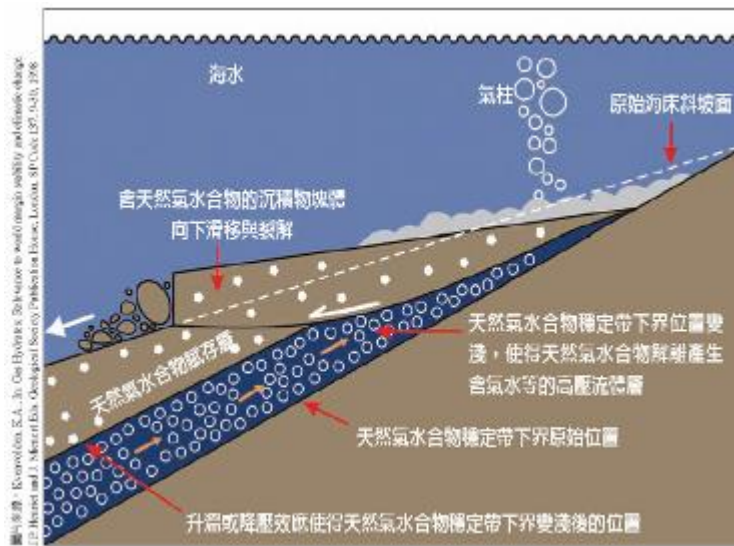
上課
態度



地球碳循環系統中主要貯存庫分布的示意圖

資料來源：鐘三雄、劉家瑄（2007）。新型態潔淨能源-天然氣水合物。科學發展，412，6-

2. **海域地質災害的發生**；地層中若有天然氣水合物的生成，其地層強度會增加。但當地層中的天然氣水合物因外在環境改變解離成水及天然氣時，則往往會形成地層中的弱帶，容易造成海底的崩塌與凹陷，造成海底地層劇烈變動而引起陸上海嘯。

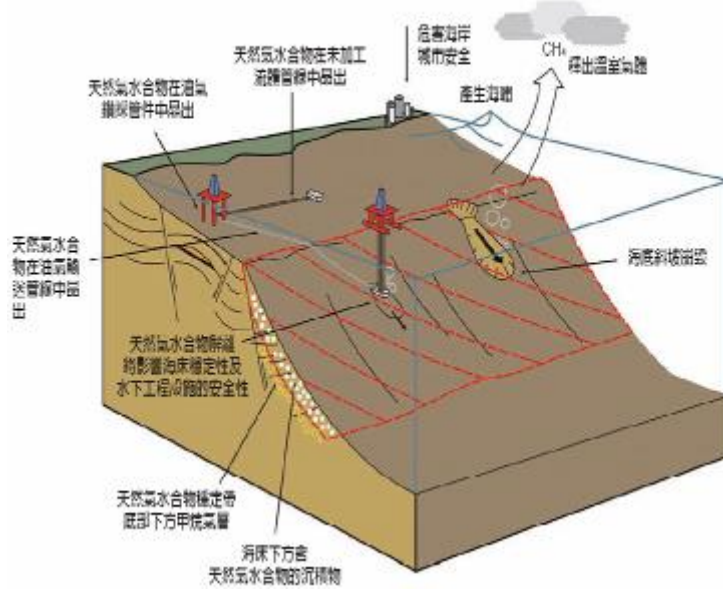


海域天然氣水合物衍生地層弱帶及造成海床崩移的示意圖

資料來源：鐘三雄、劉家瑄（2007）。新型態潔淨能源-天然氣水合物。科學發展，412，6-

3.海底毒化：海底的可燃冰一旦因突發因素而失穩分解，大量的甲烷氣體將進入海水，將使海水被還原，造成缺氧環境，進而引起海洋生物大量死亡，甚至導致生物絕滅事件發生

天然氣水合物對於油氣開發安全與自然環境等可能造成的衝擊示意圖



資料來源：鐘三雄、劉家瑄（2007）。新型態潔淨能源-天然氣水合物。科學發展，412，6-13

(七) 未來展望

1. 天然氣水合物具有分布廣、儲量大、賦存深度淺、能源密度高及潔淨等特點，極可能成為二十一世紀重要的新型態潔淨能源之一
2. 台灣推展天然氣水合物調查研究的起步甚晚，期望未來政府能重視且支持甲烷水合物的基礎與探採開發技術之研究，未來若能達成商業開採，將是台灣能源自主供應上極為重要的資源

肆、綜合活動（10分鐘）

(一) 教師綜合歸納本單元之重點

播放「科學大解碼 62.天然氣水合物」影片。網站：

<http://www.youtube.com/watch?v=bB6Kdp0gAJM>

(二) 瞭解臺灣附近海域可燃冰的蘊藏與其經濟價值

(三) 分發學習單（II），各組完成並評量

3-2-1
4-2-3、
4-2-6、
4-3-1、
6-1-2

學習單

口頭評量、上課態度、上課態度、分組討論的態度

貳、教學簡報

海洋教育



天然氣水合物

國立台中文華高級中學
王雅玲 老師

課程綱要

- 一、能源的分類
 1. 瞭解能源的種類。
 2. 再生能源的開發與應用。
- 二、天然氣水合物的發現與特性
 1. 可燃冰的發現與分布
 2. 可燃冰的結構與特性
- 三、天然氣水合物的開發
 1. 臺灣附近海域可燃冰的蘊藏與開發
 2. 天然氣水合物的經濟價值與潛在危機

2/45



國立台中文華高級中學

引言


全球一次能源蘊藏量

■ 表 2009年各類一次能源可開採年限統計

	蘊藏量	生產量	供應年限
石油	1,333.1 十億桶	7,994.8 萬桶/日	45.7
天然氣	187.492 兆m ³	2.987 兆m ³	62.8
煤炭	826,001 百萬噸	6,940.6 百萬噸	119

資料來源：BP, BP Statistical Review of World Energy, June 2010

3/45



國立台中文華高級中學

引言

沒有電的生活你能想像嗎？

化石燃料逐漸枯竭，
能源需求日益增加

開發替代能源是重要的課題！

4/45



國立台中文華高級中學


能源的分類 (1/18)

(一) 地球能量的來源

```

    graph LR
      Solar[太陽能] --> Atmosphere[大氣]
      Solar --> Water[水]
      Solar --> Photosynthesis[光合作用]
      Solar --> SolarPower[太陽能發電]
      Other[其他能源] --> Nuclear[核能]
      Other --> Geothermal[地熱]
      Atmosphere --> Wind[風力]
      Wind --> WindPower[風力發電]
      Water --> Hydropower[水力與海洋能]
      Hydropower --> HydropowerGen[水力  
潮汐發電]
      Photosynthesis --> Fossil[古代生物]
      Fossil --> FossilFuel[化石燃料]
      FossilFuel --> ThermalPower[火力發電]
      Nuclear --> NuclearPower[核能發電]
      Geothermal --> GeothermalPower[地熱發電]
    
```

5/45




國立台中文華高級中學

能源的分類 (2/18)

```

    graph LR
      Energy[能源] --> Primary[一次能源]
      Energy --> Secondary[二次能源]
      Primary --> NonRenewable[非再生能源]
      Primary --> Renewable[再生能源]
      Secondary --> SecondaryList[電能、汽油、柴油、  
燃料油、液化石油氣、  
煤氣、酒精等]
      Primary --> PrimaryText[蘊藏在自然界中，直接  
取得的天然能源]
      Secondary --> SecondaryText[初級能源經過處理或  
轉換後所形成的能源]
    
```

6/45



國立台中文華高級中學

能源的分類 (3/18)

- **非再生能源:**
隨著人類開發利用而減少的能源。
例如：化石燃料、核能等。
- **再生能源:**
不會隨著人類開發利用而減少的能源。
例如：風力、水力、地熱、太陽能、海洋能、生質能等。

7/45

能源的分類 (4/18)

(二) 再生能源



8/45

能源的分類 (5/18)

1. 太陽能

- 地球上許多能量的來源都源自太陽能，例如風力能、水力能等。
- 常見的太陽能利用方式有以下三種：
光化轉換、光電轉換、光熱轉換。

9/45

能源的分類 (6/18)

(1) 太陽能的利用-光化轉換

- 將太陽光的光能轉換成化學能，如綠色植物的光合作用。
- 現今使用的化石燃料，即是利用遠古時代植物行光合作用所儲存之能量。



圖片來源：翰林基礎化學(二)

10/45

能源的分類 (7/18)

(2) 太陽能的利用-光電轉換

- **太陽能電池**：將光能轉換成電能來發電。
- 目前台灣太陽能發電面臨的瓶頸：成本高、轉換效率低等。



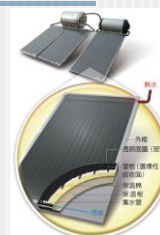
高雄世運主場館屋頂以太陽能光電板構成
圖片來源：<http://taiwanpedia.culture.tw/images/media/environment/20111227094401.jpg>

11/45

能源的分類 (8/18)

(3) 太陽能的利用-光熱轉換

- 將來自太陽的輻射能量吸收下來並用以加熱水溫，如：**太陽能熱水器**儲存太陽能為熱能。



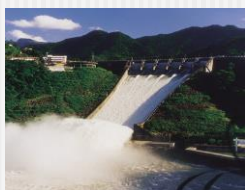
圖片來源：翰林基礎化學(二)

12/45

能源的分類 (9/18)

2.水力能

- 原理：利用水由高處往低處流時，**位能轉化為動能**，推動渦輪發電機來發電。
- 優點：最乾淨的能源，且可循環使用。
- 缺點：水庫淤積與環保問題。
- 臺灣水力發電的條件不佳！



石門水庫
圖片來源：<http://www.pcc.gov.tw/epaper/10004/photo/img11.jpg>



13/45

能源的分類 (10/18)

風力能

- 原理：利用風力的動能來推動發電機的運轉。
- 優點：風力能源不虞匱乏，潔淨且無污染排放。
- 缺點：風力、風速不穩定，有間歇性的問題。
- 臺灣的風力發電能量密度含量居全球排名第二，特別為桃園~雲林沿海一帶，強勁的夏季西南氣流與冬季東北季風吹襲，為臺灣發展風力發電之最佳地點。



圖片來源：翰林基礎化學(二)



14/45

能源的分類 (11/18)

地熱能

- 原理：從地底導出高溫水蒸氣，推動蒸氣渦輪發電機。
- 優點：相對許多能源，地熱最廉價。
- 缺點：臺灣地熱豐富，但水質偏酸及地點偏僻，發電成本較高。



圖片來源：翰林基礎化學(二)



15/45

能源的分類 (12/18)

生質能

- 由生物所產生之有機物質，經過自然或人為的化學反應，轉換成可利用之能源。
- 台灣生質能的應用：以大型都市垃圾焚化爐附屬的發電設施為主，**發電量為國內再生能源第二位**，僅次於水力發電。
- 臺灣加油站添加生質柴油：市售柴油內添加**1% 生質柴油**。部分地區摻配3%酒精的酒精汽油。
- **藻類提煉之生質柴油**：培育**藻類**作為生質柴油的原料。



16/45

能源的分類 (13/18)

- 生質能是**綠色的再生能源**！
- 隱憂：
 - **元素失調，加劇溫室效應**：使用植物為生質能原料時，除維持碳的循環，仍需考量其他元素（例如氮、氧等）的循環。若造成氮、氧的循環失衡，產生更多**NO_x氣體**（例如N₂O），則可能加劇溫室效應。
 - **糧食危機**：為栽培生質能之經濟作物，可能導致糧食作物的減產，使糧價上漲，引起糧食危機。
 - 焚燒開墾新農地所產生的二氧化碳，可能需要數十年以上的時間才能以生質能源的方式補償。

資料引自：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=894>

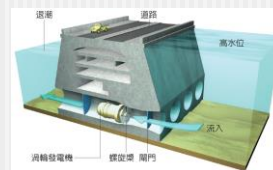


17/45

能源的分類 (14/18)

海洋能：海洋潮汐發電

- 原理：利用每天兩次潮汐漲落發電。
- 缺點：潮汐落差達3公尺以上，方具經濟效益。
- 臺灣沿海潮差過低，又缺乏天然海灣配合，目前尚難以應用。



圖片來源：翰林基礎化學(二)

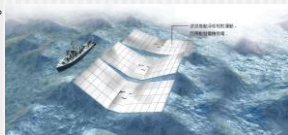


18/45

能源的分類 (15/18)

海洋波浪發電

- 利用波浪上下運動產生的壓力，來壓縮空氣並吸引空氣，以推動空氣渦輪發電。
- 臺灣四面環海，**波浪能源蘊藏豐富**，波浪發電值得開發。



19/45

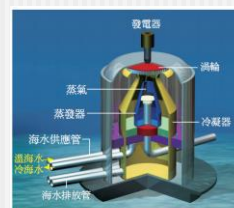
圖片來源：翰林 基礎化學(二)

國立臺中文華高級中學
National Taichung Wen-Pin Senior High School

能源的分類 (16/18)

海洋溫差發電

- 原理：利用海洋表面及海底的溫度差，使沸點極低之冷媒變成蒸氣，推動渦輪發電機而發電，再以深層海水冷卻循環使用。
- 條件：臺灣東部海域的海底地形陡峻，水深達800公尺，水溫約5℃，且有黑潮暖流，表層水溫達25℃，地形及水溫條件佳，有建置海洋溫差發電的潛力。



▲圖3-41 海洋溫差發電

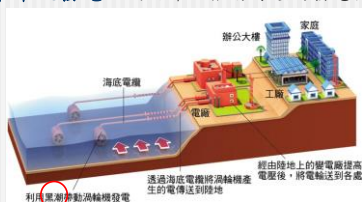
圖片來源：康熾 基礎化學(二)

20/45

國立臺中文華高級中學
National Taichung Wen-Pin Senior High School

能源的分類 (17/18)

海洋洋流發電：利用洋流推動海底的發電機發電。

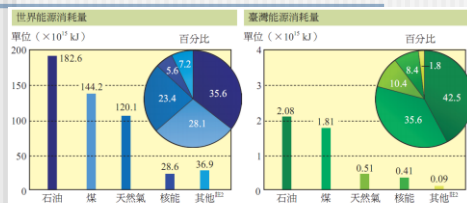


21/45

圖片來源：南一 基礎化學(二)

國立臺中文華高級中學
National Taichung Wen-Pin Senior High School

能源的分類 (18/18)



註 1：數據來自美國能源部 (<http://onto.eia.doe.gov/clapps/ipbproject/IEDIndex3.cfm> 2010 年 3 月)。

註 2：包括水力、風力、太陽能、地熱等再生能源。

▲圖3-49 2008 年全世界和臺灣各種能源的消耗圖

圖片來源：康熾 基礎化學(二)

22/45

國立臺中文華高級中學
National Taichung Wen-Pin Senior High School

類別	裝置容量 (千瓩)	構成比 (%)	較上年增加率 (%)
抽蓄水力發電廠	2,602	6.3	0.0
火力發電廠	30,425	73.5	-1.0
核能發電廠	5,144	12.4	0.0
再生能源發電廠	2,608	6.3	6.5
汽電共生(垃圾、沼氣)	622	1.5	-
合計	4,1401	100.0	1.2

註：再生能源2,608千瓩含慣常水力2,041千瓩、風力523千瓩及太陽能44千瓩。

其中化石燃料比例偏高，且臺灣化石燃料高度仰賴進口，將來為反映溫室氣體排放成本，課徵能源稅和碳稅為世界趨勢，因此節約能源與開發新能源是台灣未來努力的方向。

23/45

國立臺中文華高級中學
National Taichung Wen-Pin Senior High School

影片：永凍土的甲烷

影片來源：<http://www.youtube.com/watch?v=iLzfcBtl3a8>

24/45

國立臺中文華高級中學
National Taichung Wen-Pin Senior High School

天然氣水合物的發現與特性 (1/6)

- 18世紀，科學家在實驗室中發現氣體分子與水分子能以水合物的形態存在。
- 1930年代，在天然氣輸氣管道中，發現輸氣管經常被一種奇怪的「冰塊」堵塞→麻煩的製造者！
- 1960年代，西伯利亞凍原區首度觀察到天然形成的天然氣水合物。
- 1970年代，於黑海海床首次取得天然氣水合物的標本。



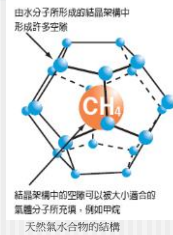
油氣輸送管中的塊狀天然氣水合物
圖片來源：http://www.pet.hw.ac.uk/research/hydrate/hydrates_wbhy.html

25/45

天然氣水合物的發現與特性 (2/6)

什麼是天然氣水合物？

- 天然氣水合物主要是甲烷氣體分子在**高壓**及**低溫**的環境下，被呈籠形架構的水分子包含而形成的一種類似冰晶體的化合物。
- 天然形成的天然氣水合物，包含90%以上的甲烷氣體，因此天然氣水合物也通稱作「**甲烷水合物**」。



天然氣水合物的結構
圖片來源：經濟部中央地質調查所

26/45

天然氣水合物的發現與特性 (3/6)

- 甲烷水合物外觀如純白潔淨之半透明至不透明狀的冰塊，常溫常壓下，可釋放出150~170個單位體積的甲烷氣，若有火源點燃，可持續燃燒直至殆盡，形成冰火或水冰火共存的特異現象，又可稱為「**可燃冰**」(burning ice)。



人工合成的天然氣水合物
圖片來源：經濟部中央地質調查所

影片：天然氣水合物的燃燒

影片來源：

<http://www.youtube.com/watch?v=PFZ7ChwyQxg>

27/45

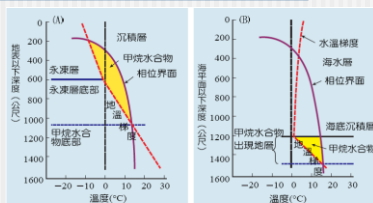
天然氣水合物的發現與特性 (4/6)

如何形成可燃冰？

- 形成的必要條件：甲烷水合物需要在**高壓**及**低溫**的環境，並且有**大量的氣體供應**與水分子結合。
- 溫度：形成溫度至少要在零度以下。
- 深度：高緯區可在約200公尺到1080公尺深度的地層中形成；在陸緣海域至少需要到300-500公尺處才有包含物形成可能；在低緯區則深度則要深到530公尺以下。
- 成分：需要大量有機質沉積物堆積且沉積速率快的區域。海洋生物和微生物死後，屍沉海底。海底水溫較低，壓力大，經過細菌分解成為甲烷、乙烷等可燃氣體，進入海底的沉積岩，與水結合成可燃冰。

28/45

天然氣水合物的發現與特性 (5/6)



甲烷水合物在(A)穩定來源層與(B)海床環境下其相界面和環境溫度、壓強關係。紫色曲線為甲烷水合物相界面，紅色虛線為溫度變化曲線，黃色區域為甲烷水合物穩定範圍
圖片來源：可燃冰的水/科學月刊第33卷第2期/劉家瑋

29/45

天然氣水合物的發現與特性 (6/6)

作為燃料的好處

- 藏量大，足夠應付將來的需要：科學家們估計目前已知的全球甲烷水合物之甲烷含量大約有20千兆立方公尺，其所能提供的有機碳能源是全球已知所有石油、天然氣等化石燃料能源總量的兩倍。海底可燃冰的儲量足夠人類使用**1000年**。→**含量驚人!**
- 甲烷佔80% - 99.9%
- 可直接點燃，不產生任何殘渣，不會產生硫化物，且產生的氮氣化合物為石油的33-50%，二氧化碳則為67%，為一較潔淨的能源。

廿一世紀的理想燃料？

30/45

天然氣水合物的開發 (1/15)

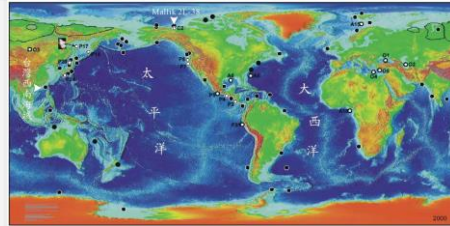
天然氣水合物的分布

- 天然氣水合物存在的地質環境，多侷限在極區永凍層、深水區等有大量沉積物堆積、沉積速率快，而且富含有機物的區域。深水區的天然氣水合物大多分布在大陸邊緣，水深500至3,000公尺海域的大陸斜坡、大陸隆堆等地區。少數如大陸內海、湖泊等深水區，也有天然氣水合物的蘊藏。

31/45



天然氣水合物的開發 (2/15)



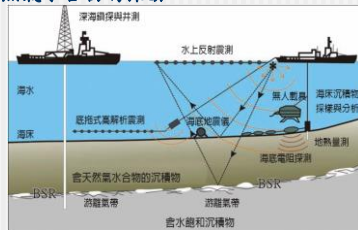
全球已知天然氣水合物分布地點。白色圓圈代表該處已採集到天然氣水合物的標本，黑點代表天然氣水合物的存在是藉由地球物理、地球化學或地質資料的證據（取自K. Kvenvolden，美國地質調查所）

32/45



天然氣水合物的開發 (3/15)

天然氣水合物的探勘



圖片來源：天然氣水合物探勘技術/科學發展，412期，陳松泰、王詠鈞

33/45



天然氣水合物的開發 (4/15)

- 天然氣水合物的開採方式：利用溫度、壓力等效應改變甲烷與水之相界平衡關係，使甲烷氣體先解離出後，將其導引到地面加以儲存與利用。理論開採模式：

- 1.熱激發法
- 2.化學試劑激發法
- 3.減壓法

34/45



天然氣水合物的開發 (5/15)

天然氣水合物-各國的研究

- 迄今至少已有40多個國家，針對可燃冰展開了國家級的研究計畫，目前已調查發現可燃冰的礦點共有100多處。
- **美國**於1969年開始實施可燃冰調查。1998年，把可燃冰的勘探與開發列入國家級長遠計畫，計畫2015年實現商業開採。
- 1960年，**前蘇聯**在西伯利亞發現了第一個可燃冰氣藏，並於1969年投入開發。目前俄羅斯已劃出了本土的天然氣水合物穩定帶。

35/45



天然氣水合物的開發 (6/15)

天然氣水合物-各國的研究

- 1992年，**加拿大**在北極地區的科學探索井中，成功採集到第一塊永凍土中的可燃冰。1993年則在海域發現可燃冰。2002年加拿大地質調查局和日本國家石油公司合作，進行首次可燃冰現代化生產測試。
- **日本**關注可燃冰是在1992年，目前已基本完成周邊海域的可燃冰調查與評價，鑽探了7口探井，圈定了12塊礦集區，並成功取得可燃冰樣本。目標是在2015~2018年，最終確定海上可燃冰的商業開發計畫。
- 2008年大陸在青海祁連山凍土區發現可燃冰。為挖掘祁連山可燃冰資源，大陸擬訂為期11年的計畫，預計2021年前可開始生產。

36/45

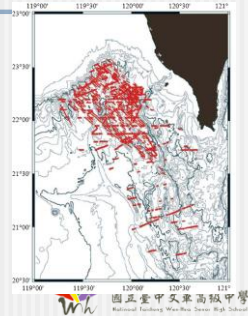


天然氣水合物的開發 (7/15)

台灣有沒有可燃冰？

天然氣水合物
台灣西南海域藏量豐！

台灣西南海域海底反射係數分布圖。細線代表反射係數剖面位置，粗線代表分布位置，陰影區域為主要天然氣水合物分布範圍。
圖片來源：可燃冰的水-21世紀的新能源曾代品，劉家班，2004-11 科學新天地

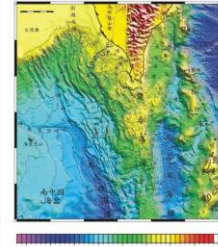


37/45

國立臺中教育大學
National Taichung University

天然氣水合物的開發 (8/15)

台灣南部的高雄-恆春外海海域，地形上以南北走向的海溝、海脊與海槽為主要特徵，海域中的幾個海底峽谷以東北-西南走向切過高屏陸棚，從東至西分別有枋寮峽谷、高屏峽谷、高雄峽谷以及澎湖峽谷。複雜的地形和地質環境，提供了適合天然氣水合物生成的條件。



圖片來源：新型態潔淨能源-天然氣水合物/科學發展 412期/鍾三雄、劉家班

38/45

國立臺中教育大學
National Taichung University

天然氣水合物的開發 (9/15)

天然氣水合物開發對環境的衝擊

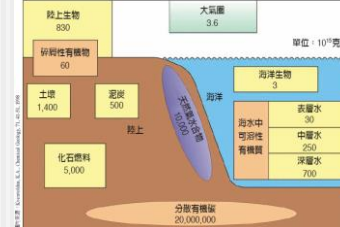
1. 對全球碳循環與氣候變遷的衝擊：甲烷是可燃冰中的主要成分，同時也屬於強效溫室氣體，相同的量對全球氣候的增溫效應是二氧化碳的**131倍**，在可燃冰開採的過程中對沉積層所造成之壓力變化，極容易使得可燃冰迅速解離而釋出大量甲烷氣體，加劇溫室效應，引致地球溫度上升加速。

39/45

國立臺中教育大學
National Taichung University

天然氣水合物的開發 (10/15)

地球碳循環系統中主要貯存庫分布的示意圖



圖片來源：新型態潔淨能源-天然氣水合物/科學發展 412期/鍾三雄、劉家班

40/45

國立臺中教育大學
National Taichung University

天然氣水合物的開發 (11/15)

2. 海域地質災害的發生：地層中若有天然氣水合物的生成，其地層強度會增加。但當地層中的天然氣水合物因外在環境改變解離成水及天然氣時，則往往會形成地層中的弱帶，容易造成海底的崩塌與凹陷，造成海底地層劇烈變動而引起陸上海嘯。

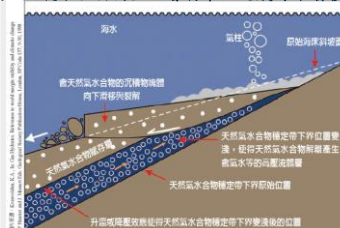
3. 海底毒化：海底的可燃冰一旦因突發因素而失穩分解，大量的甲烷氣體將進入海水，將使海水被還原，造成缺氧環境，進而引起海洋生物大量死亡，甚至導致生物絕滅事件發生。

41/45

國立臺中教育大學
National Taichung University

天然氣水合物的開發 (12/15)

海域天然氣水合物衍生地層弱帶及造成海床崩落的示意圖

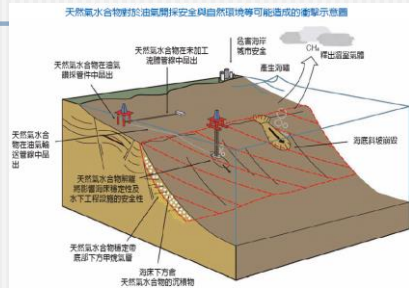


圖片來源：新型態潔淨能源-天然氣水合物/科學發展 412期/鍾三雄、劉家班

42/45

國立臺中教育大學
National Taichung University

天然氣水合物的開發 (13/15)



43/45 圖片來源：新型態潔淨能源-天然氣水合物/科學/鍾三雄、劉家琄
國立臺中文化高級中學
National Taichung Wen-Chieh Senior High School

天然氣水合物的開發 (14/15)

未來展望

- 天然氣水合物具有分布廣、儲量大、賦存深度淺、能源密度高及潔淨等特點，極可能成為二十一世紀重要的新型態潔淨能源之一。
- 台灣推展天然氣水合物調查研究的起步甚晚，期望未來政府能重視且支持甲烷水合物的基礎與探採開發技術之研究，未來若能達成商業開採，將是台灣能源自主供應上極為重要的資源。

44/45

國立臺中文化高級中學
National Taichung Wen-Chieh Senior High School

天然氣水合物的開發 (15/15)

影片：科學大解碼-天然氣水合物

影片來源：<http://www.youtube.com/watch?v=bB6Kdp0gAJM>

45/45

國立臺中文化高級中學
National Taichung Wen-Chieh Senior High School

參、學生學習單

單元學習單 (I)：影片：永凍土的甲烷－新型態能源			
班級		組別	
組長	號姓名：	組員	號姓名：
組員	號姓名：	組員	號姓名：
組員	號姓名：	組員	號姓名：

1. 根據影片內容，你認為為何冰會燃燒？請討論並說明原因！

2. 依據你所學過的化學知識，影片中的燃燒現象有可能是哪些物質所造成？

3. 請利用網路搜尋或至圖書館彙集有關影片所引發的燃燒現象之相關資料！

完成時間：_____年_____月_____日

單元學習單（II）：可燃冰的特性與台灣海域的蘊藏

班級		組別	
組長	號姓名：	組員	號姓名：
組員	號姓名：	組員	號姓名：
組員	號姓名：	組員	號姓名：

1. 可燃冰裡以何種化合物為主要成分？
2. 可燃冰形成的溫度、壓力條件為何？（高溫 or 低溫，高壓 or 低壓）
3. 可燃冰主要的地質環境分布為何？
4. 臺灣有可燃冰的蘊藏嗎？如果有，分布的區域位置為何？
5. 開採可燃冰會面臨許多問題與瓶頸，你認為是否該開發可燃冰呢？請寫出您的看法！

完成時間：_____年_____月_____日

肆、學習評量

一、學生學習自評表

班級：_____ 座號：_____ 姓名：_____ 授課教師：_____。

評量項目	學生自評統計				
	很滿意	滿意	普通	一般	待改進
1. 我能用心完成學習單並且和同學討論					
2. 我能說出能源的種類					
3. 我能區分哪些能源屬於可再生能源					
4. 我知道再生能源與非再生能源的分類方法					
5. 我知道再生能源的種類					
6. 我知道海洋再生能源的發展					
7. 我知道天然氣水合物的結構及特性					
8. 我知道天然氣水合物的經濟價值					
9. 我知道臺灣附近海域哪裡有天然氣水合物					
10. 我知道天然氣水合物的開採對環境的衝擊					
11. 我能夠運用圖書館及網路查詢資料					
12. 我能面對問題時，能做多方思考，並做適當的回應					

二、教師檢核能力指標達成狀況表

評量項目	非常符合	大多符合	符合	大多不符合	非常不符合
1. 學生是否能知道能源中依形成與來源的分類做區別					
2. 學生是否能知道再生能源的種類與應用原理。					
3. 學生是否能知道台灣再生能源的應用。					
4. 學生是否能知道天然氣水合物的主要成份。					
5. 學生是否能知道天然氣水合物是如何形成。					
6. 學生是否能知道臺灣附近海域哪裡有天然氣水合物。					
7. 學生是否能知道天然氣水合物的經濟價值。					
8. 學生是否能知道天然氣水合物的開採對環境可能造成的衝擊。					
9. 用心完成學習單並且和同學討論					
10. 學生是否能傾聽同學報告，並能從中提出問題或見解。					
11. 學生是否能針對教師所提問題審慎思考並踴躍回答。					
12. 學生是否能運用圖書館及網路查詢資料					
13. 學生是否能在日常生活中實踐節約能源，並使地球永續發展的行動。					

三、教學反思



這次在因緣際會下，有幸參與海洋教育融入化學課程的教案編寫，也藉此了解到台灣目前對於海洋教育的重視與推廣。本篇教案編寫能順利完成，要特別感謝指導教授鄭政峯教授、國家教育研究院葉家棟研究員、專案助理許碧如小姐以及教學伙伴梁玉龍老師，在整個過程中的關心、指導與協助。

化石燃料蘊藏有限，能源短缺問題日益嚴重，而全球暖化的危機，除了影響生態，暖化讓氣候異常不依四季運轉、極端氣候逐漸變成常態，這些都是二十一世紀全球所面臨的最大課題！有鑑於此，我們更應該讓下一代了解到節約能源以及開發潔淨能源的重要性。

目前高級中學 99 課綱基礎化學（二）的課程內容中「能源的開發」介紹了能源的種類與開發，正可以此融入海洋能源，讓學生得以瞭解海洋蘊藏的能源種類，以及台灣附近海洋資源的蘊藏與開發。除了課程中有關海洋再生能源的介紹以及簡介台灣在海洋能的應用與潛能，在課堂上也以影片切入介紹目前各國都積極研究的「天然氣水合物」相關內容，學生透過課後的資料彙集、分組討論等，能更深入瞭解可燃冰的開發與現況，甚至能夠延伸至了解到更多有關海洋能源的開發，如：海洋深層水、綠藻生質能、海底礦藏等。在編寫教案的過程中，發現可燃冰的相關內容亦可從地球科學學科的觀點來切入，未來在海洋教育的推廣上，若是能夠利用各科之間的協同教學來建立海洋能源教學檔案，藉以相輔相成，相信將能使教學方式更加多元化！

台灣位處太平洋與歐亞大陸交界處，西有台灣海峽廣大的大陸棚，東有太平洋豐富的海洋資源，這是上天賦予我們的天然資源。在海洋能源的發展上，台灣起步晚於許多國家，期待政府在此方面能夠更加多方投入研究，使我國的海洋能源能夠有更好的發展，若能有效開發純淨的海洋能源，對於因應能源危機、減緩溫室效應、建立低碳社會將有相當大的助益，也能得以留給我們的下一代更好的未來！

伍、教學活動照片



王雅玲老師在講解課程內容



學生在聽課的情形



學生在觀賞影片的情形



學生在聽課的情形



王雅玲老師在講解課程內容



學生在聽課的情形

陸、參考資料

參考文獻

- 王孟平 (2008)。海底新能源—天然氣水合物。科技發展政策報導，3，104-107
- 陳松春、王詠絢 (2007)。天然氣水合物探勘技術。科學發展，412，26-31
- 陳竹亭等(2011修訂)。基礎化學(二)。臺北。泰宇出版社
- 陳建添等(2011 修訂)。基礎化學(二)。臺北。康熹出版社
- 陳秋炳等(2011 修訂)。基礎化學(二)。臺北。翰林出版社
- 陳得時等(2011 修訂)。基礎化學(二)。臺北。龍騰文化事業股份有限公司
- 葉名倉等(2011 修訂)。普通高級中學基礎化學(二)。臺北。南一書局
- 劉家瑄 (2002)。可燃燒的冰塊。科學月刊，第33卷，第2期，156-165
- 劉家瑄 (2004)。可燃燒的冰—21世紀的新能源替代品。科學新天地，9，46-50
- 鐘三雄、張碩芳 (2001)。海域新資源-甲烷氣水包合物。地質，第 21 卷，第 1 期，77-102
- 鐘三雄、張碩芳 (2001)。甲烷氣水包合物的研究調查回顧與展望。經濟部中央地質調查所彙刊，第 14 號，35-82
- 鐘三雄、劉家瑄 (2007)。新型態潔淨能源—天然氣水合物。科學發展，412，6-13

相關網站

經濟部中央地質調查所天然氣水合物資訊網。

網站：

<http://datawarehouse.moeacgs.gov.tw/Geo2006/ReferenceSearch/GasHydrate/index.htm>

永凍土的甲烷。

網站：<http://www.youtube.com/watch?v=iLzfcBtl3a8>

天然氣水合物的燃燒。

網站：<http://www.youtube.com/watch?v=PFZ7ChwyQxg>

科學大解碼 62.天然氣水合物。

網站：<http://www.youtube.com/watch?v=bB6Kdp0gAJM>

國科會高瞻自然科學教學資源平台。

網站：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=31580>

經濟部能源局-能源報導。

網站：

<http://energymonthly.tier.org.tw/outdatecontent.asp?ReportIssue=201008&Page=5>

國科會海洋學門資料庫。

網站：<http://www.odt.ntu.edu.tw>