



環境保護

永續能源希望及挑戰： 認識可燃冰



設計者

臺北市立建國高級中學
葉昭松



國際教育課程主題

全球議題—環境與永續—全球暖化
全球議題—環境與永續—自然資源的使用



永續發展目標

7 人人可負擔
的永續能源



13 氣候變遷對策



學習階段

高中一年級



融入領域/類科

高中自然科學領域



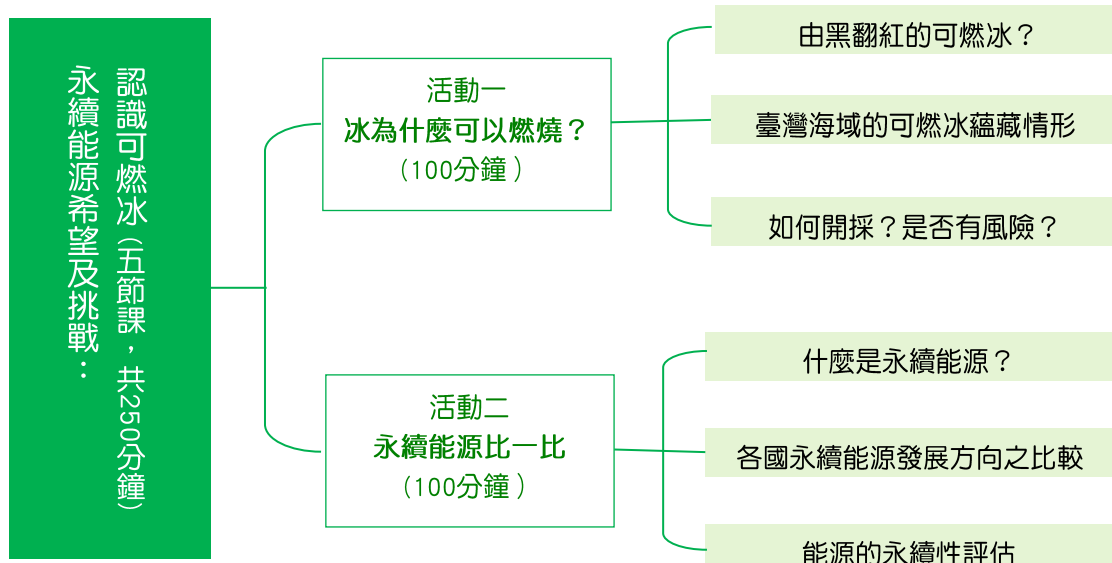
教學時數

4 節課

共 100 分鐘

SDGs目標	<p>目標 7：確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的、永續的，及現代的能源。</p> <p>7.1：在西元 2030 年前，確保所有的人都可取得負擔得起、可靠的，以及現代的能源服務。</p> <p>7.a. 在西元 2030 年以前，改善國際合作，以提高乾淨能源與科技的取得管道，包括再生能源、能源效率、更先進及更乾淨的石化燃料科技，並促進能源基礎建設與乾淨能源科技的投資。</p> <p>目標 13：採取緊急措施以因應氣候變遷及其影響。</p> <p>13.2 將氣候變遷措施納入國家政策、策略與規劃之中。</p>
設計理念	<p>自18世紀工業革命以來，人們對於能源的需求不斷攀升，且最主要的來源一直仰賴著化石燃料。然而屬於非再生能源的化石燃料最終可能匱乏，加上主要蘊藏和開採多集中在部份地區，伴隨著複雜的政治因素，此一重要的能源供應和經濟發展命脈並不十分穩定，20世紀晚期就曾因國際政治因素和戰爭導致三次能源危機，也造成了全球經濟的衝擊。</p> <p>另一方面，使用化石燃料時排放的溫室氣體和污染物，也造成了全球暖化及其他環境問題，日趨嚴峻的氣候異常和愈發頻繁的極端天氣現象迫使人們正視能源使用的習慣，並積極開發綠色能源作為替代化石燃料能源的希望。然而綠色能源目前仍有成本較高、地區條件限制多或供給不穩定等待解決問題，無法完全取代化石燃料。在可能青黃不接的能源供給關口上，科學家們發現了蘊藏在深海的另一類型的化石燃料：「甲烷水合物」（又稱為可燃冰、甲烷冰），初步估計蘊藏量超越傳統化石燃料。更令人振奮的發現則是臺灣西南部的海域下方也蘊藏著不少甲烷水合物，只是在正式開採運用之前，應該要更加了解它的特性和潛在影響，避免重蹈衝擊環境的覆轍。</p> <p>本課程主題延伸自既有課程（如地球科學、化學及生物等）的能源議題，並以臺灣西南海域（南海海域）的能源蘊藏作為起點，探討甲烷水合物在自然環境的生成與蘊藏的關聯性。</p> <p>課程進行過程將透過資料收集閱讀、分析統整，提昇學生的科學素養及探究能力。討論各種能源作為臺灣永續能源的願景，並參考各國永續能源現況及發展趨勢，系統思考全球能源議題，拓展國際觀並達成國際教育課程目標。</p>
國際教育能力指標	<p>2-3-1 具備探究全球議題之關連性的能力。</p> <p>3-1-1 認識全球競爭與合作的現象</p>
學習目標	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學生知道世界不同地區主要使用哪些能源。 2. 學生能夠評估並瞭解他人/其他國家或地區對可負擔、可靠、永續和乾淨能源的需求。 3. 學生能夠對他們的國家描繪出可靠、永續的能源生產、供應和使用的願景。 4. 學生瞭解溫室效應是溫室氣體所造成的一種自然現象。 5. 學生能夠鼓勵他人保護氣候。
探究與行動	<ol style="list-style-type: none"> 1. 統整過去所學有關化石燃料、綠色能源等知識，並加入新興能源 - 甲烷水合物的認識，綜合分析各種能源對氣候變遷的因應及可能造成的影響。 2. 探討臺灣以至於各國對於能源的開發及使用趨勢，並以永續能源觀點加以闡述，提出能在 2030年成為負擔得起、可靠的、永續的，及現代的能源選項。

壹、教學活動架構



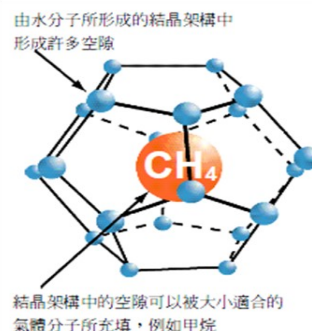
貳、教學活動

活動一：冰為什麼可以燃燒？（共100分鐘）

一、案例討論：由黑翻紅的可燃冰（15分鐘）

（一）引起動機

1. 播放可燃冰燃燒的影片（3分鐘）<https://www.youtube.com/watch?v=PFZ7ChwyQxg>
2. 提問並開放討論：「為什麼冰塊可以燃燒？燃燒的是什麼物質？」（5分鐘）
3. 教師總結並介紹可燃冰的化學組成、特性及最初發現時的棘手問題。（7分鐘）



圖片來源：<http://gashydrate.moeacgs.gov.tw/intro/intro1-2.bmp>

最早的甲烷水合物研究可追溯至18世紀末，但到了20世紀初期的研究仍寥寥可數。直至1934年由海上石油和天然氣的開採輸送管出現了固體堵塞現象，造成技術障礙和經濟損失，甚至在鑽井過程中，水合物堵塞了防爆器而使管線甚至整個油井報廢。1984年Exxon公司也為了避免管線阻塞，耗資近5000萬美元在北海油田安裝絕緣輸油管線。

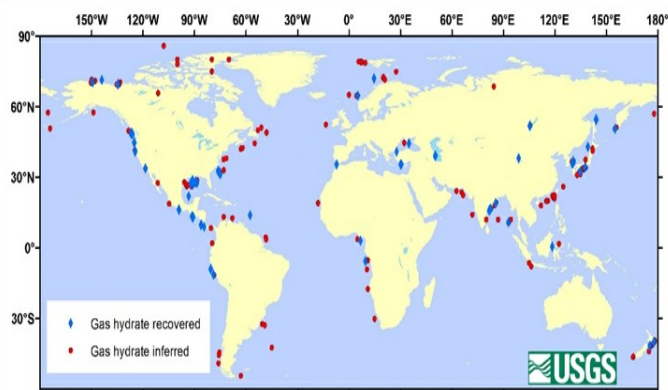
然而，這些使得管線阻塞或爆裂的甲烷水合物後來被發現蘊藏在許多海洋洋底的沉積物下，甚至陸地岩層也有可燃冰的存在，蘊藏量也較為傳統天然氣資源豐富。加上其燃燒後不像傳統化石燃料會產生其他污染物質，因此甲烷氣水合物備受期待能作為新時代的替代能源選項。

教學錦囊

可燃冰是「天然氣水合物（Gas hydrates）」的俗稱，外觀與性質類似冰塊，但在冰（ H_2O ）的結晶格中充填了甲烷（ CH_4 ），等於是具備了儲氣能力的冰塊，而且甲烷所佔體積比例超過80%，可直接點燃且燃燒後幾乎不留下殘渣。

二、案例討論：臺灣海域的可燃冰蘊藏情形

1. 根據目前研究確定與推測中可能有甲烷水合物的全球蘊藏地點分布圖，讓同學討論並歸納蘊藏環境的條件為何？教師可適度引導同學思考海陸分布及海底地形等方向。(15分鐘)



圖片來源：<https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/hydrates/database.html>

2. 分組討論後上台發表，並將蘊藏條件紀錄於教室黑板(或白板)上。(20分鐘)
3. 教師總結並介紹甲烷水合物的生成條件：(5分鐘)
 - (1) 周圍溫度不能太高：一般深水層(水深800公尺以下)的溫度約2~4°C，適合可燃冰的形成。一旦周圍溫度高於20°C就會分解。
 - (2) 環境壓力要夠大：可燃冰的生成需要30個大氣壓(atm)的壓力，換算海水深度約300公尺以下就具備這樣的壓力條件，環境壓力愈大則存在愈穩定。
 - (3) 有甲烷來源：古代海洋生物死亡後埋藏於海下沉積物中，屍體被細菌分解後就會產生甲烷。或是陸地表面物質被風化、侵蝕後，搬運到大陸邊緣的海底沉積，有機物的埋藏累積有會分解產生甲烷。
4. 教師總結並介紹甲烷水合物的蘊藏條件：(5分鐘)
 - (1) 可蘊藏在海面下300~500公尺處的沉積物中，也可蘊藏在寒冷的高緯度永凍區或凍土帶地層中。
 - (2) 一般而言，1 m³可燃冰可釋放出164 m³的天然氣和0.8 m³的水。科學家估計，據估算，光是美國東南海岸外的可燃冰儲量就多達180億公噸，可滿足美國105年的天然氣消耗；日本海及其周圍可燃冰資源也可供日本使用100年以上。
5. 延伸閱讀：「自家門前有能源 - 探勘臺灣海域甲烷水合物」(科學人2015年六月)

重點提要：

臺灣沿海具有甲烷水合物生成的絕佳地質條件，直到1990年代，科學家才意外發現臺灣沿海蘊藏甲烷水合物，並開啟了臺灣研究甲烷水合物的新紀元。

經過中央地質調查所、科技部能源國家型科技計畫持續長年調查，透過地球物理、海底地形、海底噴氣、海床生物等各種跡象研判，台灣的西南外海和南海海域，估計蘊藏甲烷水合物含量高達2.7兆立方公尺，相當於200億到500億噸的石油能源，估計可供50年的天然氣使用，可望為台灣自產的替代能源找到新出路。

三、案例討論：如何開採？是否有風險？(統整活動)

1. 播放臺灣海域的甲烷水合物最新探勘成果新聞報導：「可燃冰計畫將止 學者盼延續 20180627 公視晚間新聞」(3分鐘) <https://www.youtube.com/watch?v=icPdb5qHJlw>

重點提要：

2018年6月，台灣中大、台大與法國海洋研究船 Marion Dufresne 組成聯合團隊，合作執行「渴望(EAGER)」探勘航次，在台灣西南海域永安海脊及好景海脊，海床下25公尺及15公尺處，採集到高純度的塊狀天然氣水合物。此為台灣首次鑽獲天然氣水合物固態冰晶實體，鑽獲的成果意義重大。

2. 教師介紹目前較為可行的可燃冰開採方式：(7分鐘)
 - (1) 熱激化法、減壓法：利用可燃冰升溫或減壓就會分解的特性，由固態釋放出甲烷氣後加以收集。但由於蘊藏位置通常較為分散遍佈，而非如同原油蘊藏的集中特性，必須克服管道佈設問題才能有效收集。
 - (2) 置換法：將CO₂注入海底的甲烷水合物蘊藏區域，因CO₂較甲烷容易形成水合物，因此可以擠出甲烷水合物中的甲烷分子，再收集置換出來的甲烷氣體。

3.開採甲烷水合物的潛在風險 (10 分鐘)

(1)介紹法蘭克薛慶 (Frank Schätzing) 著作的科幻小說：「群 (The Swarm) 」，並鼓勵同學於課後自行閱讀。書中描述人類對大海的污染和生態破壞，導致穩定的冰原和沉積物發生變動，進而遭受甲烷冰蟲 (Methane ice worm) 噬食成為空洞，環境的快速減壓導致甲烷從水合物中釋放出來，體積也瞬間膨脹成為 164 倍。如同爆炸一般衝破了百公里範圍的海下裂縫，並抬起整個大陸棚造成崩落及滑動。好幾立方公里大的岩石大規模崩坍而撼動整個海床，也造成北海油井、輸油管和鑽油平台的連鎖破壞。



(2)可採用分組方式，讓同學針對不當開採甲烷水合物可能導致的風險進行資料收集和討論。參考如下：(20 分鐘)

甲烷也是一種溫室氣體，且溫室能力比二氧化碳強 20 多倍。如果在開採過程不慎使得甲烷氣體大量洩漏至大氣之中，造成的溫室效應恐怕比現在人們擔憂二氧化碳造成的全球暖化程度更加嚴重。

甲烷同時是一種易燃、對人體有毒性的氣體，不當開採的過程可能毒害人類及其他生物。

甲烷水合物埋藏於海底沉積物時，可以維持該處的穩定性。一旦因開採破壞了低溫、高壓的蘊藏條件，甲烷氣體離解同時可能會造成地質災害。現今海上油氣井開採時，偶也會引起海下環境的壓力、溫度變化，使得甲烷水合物層產生破裂，而造成油井爆發、海底塌陷和沿岸滑坡等災害。

活動二：永續能源比一比

一、什麼是永續能源？(60分鐘)

(一)引起動機 (10 分鐘)

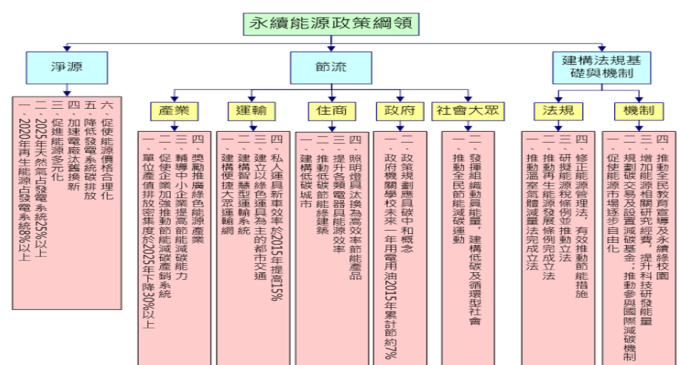
- 1.觀看聯合國基金會影片：「Sustainable Energy for All」(<https://www.youtube.com/watch?v=kh5KzBQBGcE>) (3 分鐘)
- 2.介紹聯合國永續能源具體指標。(7 分鐘)

目標七：確保所有的人都可取得負擔的起、可靠的、永續的，以及現代的能源

 - 7.1 在西元 2030 年前，確保所有的人都可取得負擔的起、可靠的，以及現代的能源服務。
 - 7.2 在西元 2030 年以前，大幅提高全球再生能源的共享。
 - 7.3 在西元 2030 年以前，將全球能源效率的改善度提高一倍。
 - 7.a. 在西元 2030 年以前，改善國際合作，以提高乾淨能源與科技的取得管道，包括再生能源、能源效率、更先進及更乾淨的石化燃料科技，並促進能源基礎建設與乾淨能源科技的投資。
 - 7.b. 在西元 2030 年以前，擴大基礎建設並改善科技，以為所有開發中國家提供現代及永續的能源服務，尤其是 LDCs 與 SIDS。

(二)各國永續能源發展方向之比較(統整活動)

- 1.了解我國「永續能源政策綱領」。提供閱讀資料 <https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/6f0faa1c-9406-48d0-97aa-78ccea4f3f02>，讓同學知道我國的發展目標為兼顧「能源安全」、「經濟發展」與「環境保護」，進而了解能源政策的推動需同時考慮「潔淨能源的發展」、「有效率的節流使用」及相關法規配套支持等面向。(10 分鐘)



圖片來源：

http://estc10.estc.tw/ghgrule/organization/division_4.asp

2.認識各國能源發展現況，同學分組各自挑選一個國家，收集相關資料了解該國現況和未來發展規劃，進行分組報告。(40分鐘)

(1)教師可列舉下列歐洲國家永續能源發展經驗作為引導：

「瑞典」：1972年首次於瑞典斯德哥爾摩召開人類環境會議之後，瑞典就就一直身為環保政策領先國家，例如「歐洲生態學校計畫」(Eco-Schools Program)、推動「綠色學校獎計畫」，該國計畫要在2030年以前全面停止使用化石燃料，改用再生能源而成為「綠色瑞典」。

「丹麥」：丹麥是北歐斯堪地納維亞半島上能源技術發展最早的國家，雖然他們擁有小部分的北海油田，但從未忘記確保能源安全自足的重要。建有熱電聯產廠並透過輸送管道互相聯結社區及城市，推動替代能源的成效也名列歐洲國家前茅。能源自給度超過50%，且石油的使用已經低於50%，能源政策重點為「生產與節約並重」。

「挪威」：挪威的二氧化碳廢氣排放量低於全世界總量的0.1%，同時也是歐美國家中，汽車擁有比例最低的國家，這樣的成績除了與該國的高汽車稅有關，更重要的是雖然擁有北海油田，也是世界重要石油輸出國之一，卻不讓國民隨意浪費，非常落實節約能源。

(2)各國相關法案參考

亞洲：http://estc10.estc.tw/ghgrule/Foreign/Foreign_2.asp

歐洲：http://estc10.estc.tw/ghgrule/Foreign/Foreign_1.asp

美洲：http://estc10.estc.tw/ghgrule/Foreign/Foreign_4.asp

大洋洲：http://estc10.estc.tw/ghgrule/Foreign/Foreign_3.asp

(3)其他參考資料：

財團法人台灣永續能源研究基金會https://taise.org.tw/active_area.php

(三) 能源的永續性評估 (開展活動)

1.了解各國能源政策後，讓同學分組討論「什麼樣的能源符合永續能源」。各組認領1種能源進行生產、供應和使用等面向之探討，再透過上台報告方式互相觀摩，最後以投票或評比方式列出學生對於臺灣未來可靠、永續的能源類型願景。

(40分鐘)

2.教師可提供下列相關資料，讓同學閱讀：

(1)聯合國永續發展目標 (SDGs) 目標 7

(2)行政院國家永續發展委員會「我國永續發展目標草案」[https://nsdn.epa.gov.tw/Files/Annual/%E6%88%91%E5%9C%8B%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E7%9B%AE%E6%A8%99%E8%8D%89%E6%A1%88\(1130%E5%BE%8C%E7%89%88%E6%9C%AC\).pdf](https://nsdn.epa.gov.tw/Files/Annual/%E6%88%91%E5%9C%8B%E6%B0%B8%E7%BA%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E7%9B%AE%E6%A8%99%E8%8D%89%E6%A1%88(1130%E5%BE%8C%E7%89%88%E6%9C%AC).pdf)

(3)經濟部能源局的年報資料 (https://www.moeaboe.gov.tw/ecw/populace/content/ContentLink.aspx?menu_id=137)。可了解臺灣目前使用的能源類型及各類占比。

(4)未來能源願景下我國面臨的挑戰及因應對策 <https://portal.stpi.narl.org.tw/index/article/43>

(5)「臺灣永續能源發展指標」(節錄自臺灣綜合研究院 <http://www.tri.org.tw/research/impdf/579.pdf>)，可作為能源永續性評估參考指標。

指標層級		指標項目
經濟面	間接驅動力	1. 人口 2. 人均 GDP 3. 人均運具旅程距離 4. 貨運量 5. 人均樓地板面積 6. 能密集產業之製造業附加價值
	能源部門間接驅動力	1. 能源密集產品之最終能源密集度 2. 能源搭配 (最終能源、電力生產及初級能源供給) 3. 能源供給效率
	直接驅動力	1. 整體能源密集度
	狀態指標	1. 人均能源消費量 2. 國產能源量 3. 能源進口依賴度
社會面	驅動力	1. 所得不均度
環境面	狀態指標	1. 溫室氣體排放量 2. 都市地區污染物濃度 (PM ₁₀ 、SO ₂ 、NO ₂ 、CO、O ₃ 及 NMHC) 3. 固體廢棄物產量 4. 放射性廢棄物產量

參、學習評量

學習目標	形成性評量	總結性評量
1. 學生知道世界不同地區主要使用哪些能源。	課堂筆記、口頭報告	書面報告 (分組繳交)
2. 學生能夠評估並瞭解他人/其他國家或地區對可負擔、可靠、永續和乾淨能源的需求。		
3. 學生能夠對他們的國家描繪出可靠、永續的能源生產、供應和使用的願景。		
4. 學生瞭解溫室效應是溫室氣體所造成的一種自然現象。		
5. 學生能夠鼓勵他人保護氣候。		

肆、教學資源

一、參考書籍

- Lisa Margonelli 撰。張雨青譯 (2015 年 6 月)。解開可燃冰封印。科學人。50-57。
- Mikko Halonen, Åsa Persson, Susanna Sepponen, Clarisse Kehler Siebert, Mari-ka Bröckl, Anu Vaahtera, Shane Quinn, Caspar Trimmer and Antti Isokangas。2017。Sustainable Development Action – the Nordic Way。Nordic Council of Ministers。172p。
- 呂怡貞 (2015 年 6 月)。自家門前有能源—探勘台灣海域甲烷水合物。科學人。58-61。
- 姚宇澄、殷福珊 (1997 年 9 月)。天氣水合物研究進展。化學進展。9。319-326。
- 黃富文、陳逸軒 (2013 年 10 月)。冰與火的傳奇—天然氣水合物。科學發展。490。36-41。
- 劉家瑄、徐春田 (2002 年 2 月)。甲烷水合物研究—探索未來的新能源及其對環境的衝擊。自然科學簡訊。14。18-22。

二、網路資源

- Nordic Council of Ministers(2017)。
Sustainable Development Action – the Nordic Way (永續發展行動：北歐之推動策略)。摘要取自 <https://outlook.stpi.narl.org.tw/index/detail?id=69995>。電子全文取自 <http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:1092868/FULLTEXT01.pdf>
- USGS (2014)。Climate-Hydrate Interactions。取自 <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/hydrates/climate.html>
- USGS (2014)。Database of Worldwide Gas Hydrates。取自 <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/hydrates/database.html>
- 王俊凱、李堅明。台灣永續能源指標。台灣綜合研究院。取自 <http://www.tri.org.tw/research/impdf/748.pdf>
- 可燃冰計畫將止，學者盼延續 (2018年06月27日) 公視晚間新聞。取自 <https://www.youtube.com/watch?v=icPdb5qHJlw>
- 關鍵評論 (2018年6月)。存量可當50年天然氣使用，台灣西南海域首度發現替代能源「可燃冰」。取自 <https://www.thenewslens.com/article/98451>