

能源枯竭的告警

丁仁東

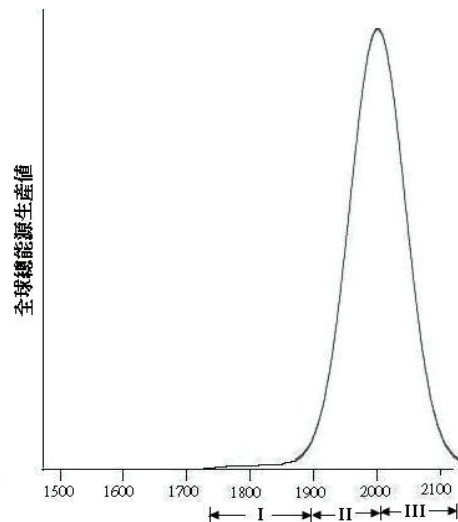
私立崑山科技大學 通識教育中心

壹、能源的使用與枯竭

人類的使用能源，是人類歷史上極重要的一件大事，1712年英國人紐考門（T. Newcomen）發明了可以連續工作的實用蒸汽機，藉蒸汽推動活塞以產生動力。蒸汽機的發明開啓了一個能源時代，它使人類從千萬年來對能源使用的沉睡中覺醒，覺悟到能量是自然的偉大力量，使人類的生活和生產方式發生巨大改變，產生了科技文明，歷史上稱此為工業革命。從使用能源的角度來看，十八世紀以前人類總能源生產值幾近於零，十八世紀初到十九世紀末的二個世紀為初階段的使用能源，所使用主要是煤能源，此時期全球總能源生產值有限，可視為能源使用的發現期，它相當於圖一 I 時期。二十世紀初石油工業興起，石油被發現成為更有效能源，能源因此被加速使用，帶動經濟蓬勃發展，二十世紀因此被稱為石油世紀，此階段可視為能源使用的加速期，全球總能源生產值也大幅增長，此期一直延續到圖一鐘形曲線的峰頂為止，約一個世紀之久，它相當於圖一 II 時期。

然而如同世事好景不常，有件令人擔憂也是眾所不願承認的事實，就是自然界所有非再生能源，都有用竭的一天。這本

是自然界正常現象，但一旦失去了能源，或者說失去了部分能源供給，人類的經濟發展就要停頓或減緩，這可能是二十一世紀人類面臨最嚴肅、也最不願面對的真相。十八世紀初人類發現並使用能源，經過三個世紀的使用，特別是經過二十世紀大量的開採與消耗，今天全球正面臨一個能源枯竭期，它相當於圖一 III 時期。並且如果這個推論屬實，它將必然帶進一些嚴重後果。本文中作者將先提供一些數據，以證實我們可能已經進入了一個能源枯竭期，並由此推論我們可能面臨的一些嚴重的後果。



圖一：人類能源使用的三段時期：I 發現期、II 加速期、III 枯竭期

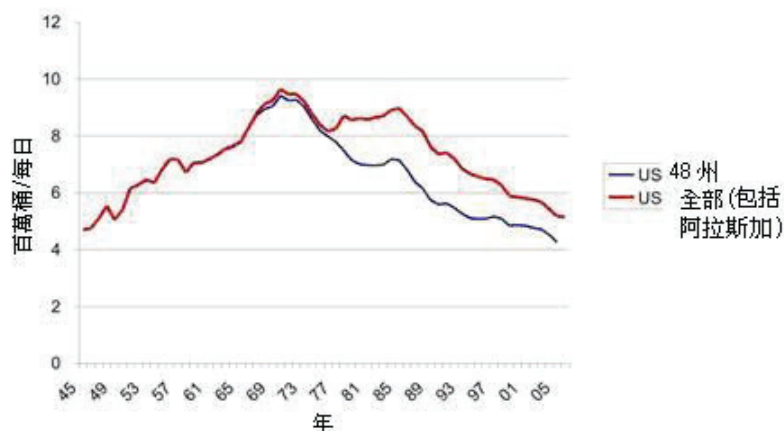
貳、石油產量高峰理論

談到能源枯竭，我們必須連帶提起石油產量高峰理論，因為這個理論與能源枯竭密切關聯。

石油產量高峰理論是由殼牌石油公司研究員哈伯特 (Hubbert, M. K.)於 1956 年首先提出的，他指明油田的產量隨著開採年齡會成鐘形曲綫變化，在鐘型高峰是生產的最高值，以後即必須逐年減產。油田的產量所以會隨著開採年齡長短有此規律性變化，是因為在油田開採初期，所抽取的都是容易開採的石油，其油井多在陸域和接近地表，容易唧出，此外石油的比重較輕、含硫量較低，因此容易煉製，故產量能迅速提升。但隨著油田的老化，當產量達到頂峰後，要再抽取餘剩的儲油會比初期困難，且因油井大多採於海域，開採及運輸費用高且受到環保限制；此外儲油層一般較深不易唧出，採油工程上也要非常小心，須不斷灌水或氣體以維持油田內氣、油、水三者間壓力的平衡，如果不顧一切的汲取石油，會使油田受損或夭

折，故開採、運輸及煉製的費用在過了產量高峰後會越來越高。當生產費用超過市場價值時，這個油田便將因失去經濟價值而停產。

哈伯特曾預測美國的石油產量高峰大約在 1970 年代來到，當哈伯特 1956 年提出石油產量高峰理論時，遭到石油界與學術界羣起反對，當時美國石油事業正如日中天，是全世界最大石油輸出國，此預言無異當頭棒喝，因此很多人都不相信他的論點。然而不幸的是，美國石油產量果如哈伯特所期於 1973-74 年達到高峰，在高峰期的產量日產高達 940 萬桶，以後即大致逐年減產，至 2008 年已經下滑到日產量低於五百萬桶(圖二)。因美國石油產量 1973-1974 已達到高峰，連帶影響造成了 1973-74 年間第一次全球能源危機，當時阿拉伯國家因不滿西方國家支持以色列而採取石油禁運，美國石油業卻祇得受制於人，無法增產以彌補市場需要，這次危機引發了全球性的通貨膨脹及經濟衰退，物價幾乎上漲一倍。

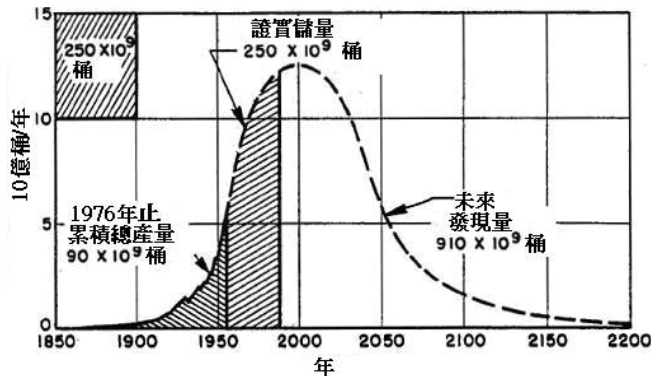


圖二：美國石油產量在 1973-1974 年達到產量高峰，以後便大致逐年減產。

哈伯特 1976 再對全球的石油生產進行研究，重新預測石油產量高峰大約在 1995 年左右來到(圖三，Hubbert, M. K. 1976)，由於哈伯特在世時所能掌握的全球石油蘊藏量資料仍不齊全，因此他對全球產量高峰的預測不完全準確。哈伯特過世後另有一些地質學家繼續對哈伯特理論作修正與驗證。這些學者如哈特非(Hatfield, C.B., 1997)、凱爾(Kerr, R.A., 1998)、坎貝爾(Campbell, C. J., 2001)，坎貝爾和拉和芮(Campbell, C.J. & Jean Laherrere, 1998) 等運用新資料重新驗證哈伯特理論，相繼撰文並不約而同的預測全球產量高峰時間將在 2004 年與 2008 年間到來。

以上所述哈伯特的產量高峰理論，不僅適用於單個油井、油田，也適用於某特定區域、某特定國家或全球，所指的是該地域內所有油井產量的總和。產量高峰的理論也不僅適用於油田，所有的非再生能源，例如煤、天然氣、油頁岩或放射性元素等，都有它們各自的產量高峰，例如拉和芮(Laherrere J., 2006)就預測天然氣將於 2025 年達到產量高峰。

產量高峰理論所以如此重要，因為它能預告能源枯竭的真實即將到來。一般人可能以為，能源危機是在人類用完最後的能源，即用完最後一滴石油才發生，然而這個觀念是錯誤的，一旦能源供給過了產量高峰而減產時，能源危機就隨之發生，而且供需差距若愈來愈大，危機也就愈來愈嚴重。產量高峰的理論聽來好像與一般人的觀念相背，因為正當能源逐年增產而達於頂峰，一切遠景看好時，卻突然傳出能源危機，很難令人置信，然而實情卻是如此。例如 1973-74 年第一次全球能源危機，當時產油國不過減產原油 5%，因美國石油產量已達高峰不能增產，市場原油不敷所需，致使油價與物價上漲數倍。再如全球原油供給可能在 2006 年達到峰頂，因市場原油強勁需求，特別是印度與中國經濟發展的需要，使油價一路飆漲到每桶 147 美元，終於導致通貨膨脹並出現金融風暴。這兩個例子都說明能源枯竭與產量高峰有關，產量高峰過後便將出現能源危機，產量高峰就如同能源枯竭的一個警鐘。



圖三：殼牌石油公司研究員 Hubbert, M. K. 1976 年預測全球石油產量高峰約在 1995 年左右到來，後再經其他學者修正約在 2004 年與 2008 年間到來。

因為非再生能源如石油、天然氣與煤等和民生的關係是如此密切，所有現代科技文明幾乎都與它們的使用有關，例如 2008 年全球的能源消耗中石油（36%）、天然氣（24%）與煤（29%）三者仍佔有總消耗的 89%，其中石油與天然氣尤其重要。因為電力、運輸、農業都倚賴石油與天然氣，現代醫藥、有機化合物、生活用品、國防等等也都由來自石油的衍生物，塑膠、計算機及所有高科技產品全取材於石油，建築用的瀝青也來自石油。因為今天科技文明與石油與天然氣關係已經密不可分，而這兩者都正瀕臨產量高峰，因此全球正在進入一個能源的枯竭期。這好比人體中含水 70%，但不須要等到完全失水，只要人體缺水超過 10-15%以上，就可能因脫水而發生休克，因此石油與天然氣的瀕臨產量高峰也敲響了全球能源枯竭的警鐘。

參、實際數據與預測

以上我們簡述了產量高峰理論，並說明產量達於高峰指出能源進入枯竭期的事實，以下我們來看看一些實際的數據。根據美國能源署 2009 年公佈的資料，2006 年全球原油每日供給為 8.453 千萬桶，每日需求為 8.521 千萬桶；2007 年每日供給 8.441 千萬桶，每日需求 8.613 千萬桶；2008 年每日供給 8.541 千萬桶，每日需求 8.574 千萬桶，以上數據說明 2006 年起原油供給可能已經達到產量高峰，雖然市場有需求，供給卻趕不上需求。此外 2004 年起油

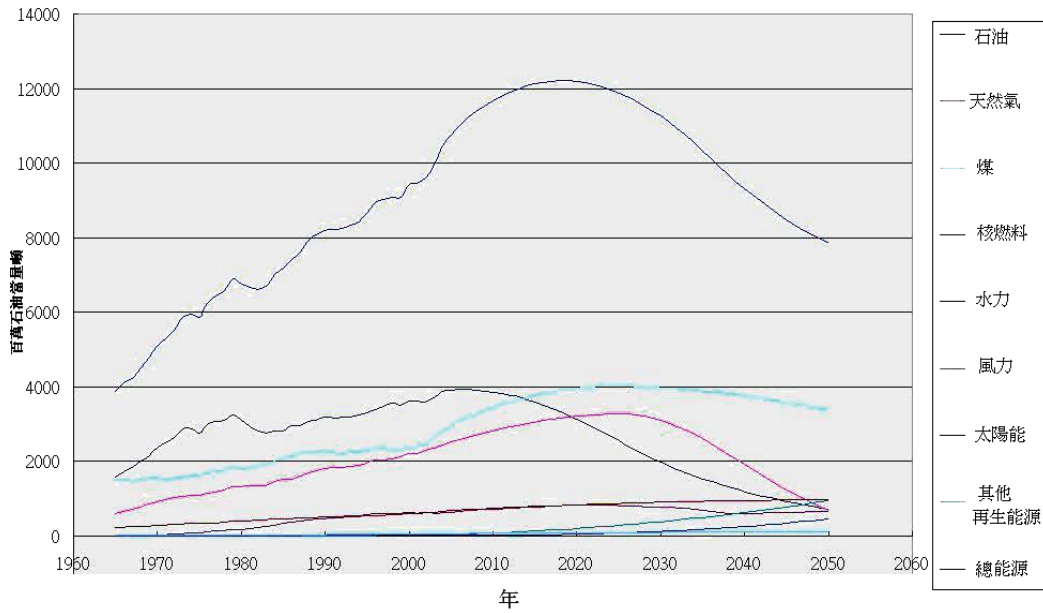
價一路飆漲，2008 年油價甚至漲至每桶 147 美元，也佐證石油的供給不及需求。此外資料也顯示，在全球 65 個石油生產國中，有 58 個國家已經過了石油產量高峰而開始減產，可見關於全球原油達到產量高峰這件事，不是“狼來了”的故事說說而已。

為了加強本文的觀點，我們也蒐集了一些公開的數據並作未來的預測。圖四為 1965 至 2050 年各種能源供給圖，其中 1965 至 2008 年為歷史資料，可在美國能源署 (US Energy Information Agent) 與英國石油公司 (BP) 網站找到資料。2009 至 2050 年資料則為預估資料，參考 Paul Chefurka 所引用資料庫，其中考慮了各種能源達產量高峰後的衰減速率 (depletion rate)，假設全球石油供給於 2006 年達產量高峰，天然氣與煤供給均於 2025 年達產量高峰，並套用了能源觀察小組 (Energy Watch Group) 的預估模式。圖五是 1965 至 2050 年全球能源每人年享值 (World Energy Production Per Capita) 作圖，能源每人年享值為各年全球能源總供給量除以各年全球人口，即 $e = E$ (能源總供給量) / P (全球人口)。圖中關於能源供給量的單位，均採用常用的石油當量噸 (tonne of oil equivalent, toe)，以便各種不同能源之間產能可互相比較。

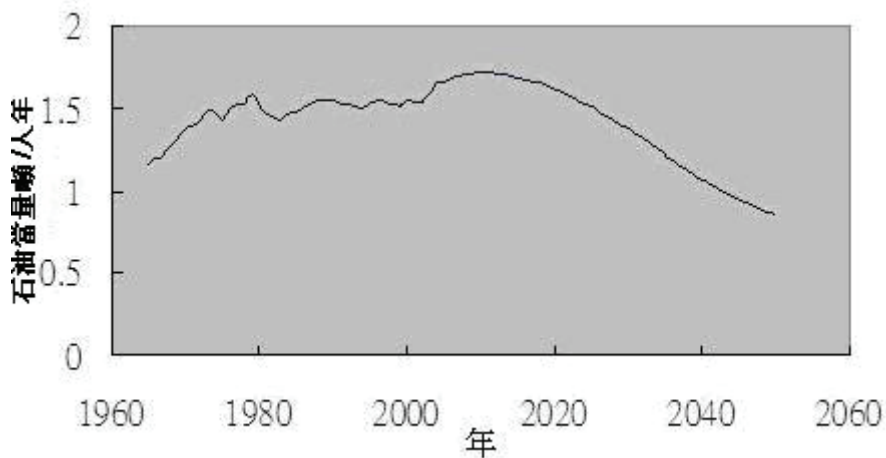
圖四顯示，全球能源總供給量將於 2020 年達於高峰，圖五則顯示，能源每人年享產值比它更早在 2010 年即達於高峰。從圖四中也看出一個未來趨勢，當石油於 2006 年達產量高峰時，天然氣與煤會

替補石油的短缺。事實上圖五能源每人年享值比圖四能源總供給量值更具實質意義，因為它代表平均每個人實際可使用的能源。能源每人年享值更早於 2010 年即達

到高峰，是因全球人口的母數愈來愈大，使全球能源每人年享值相對變小，因此從能源每人年享值來看，從 2010 年起，全球可能已經進入了一個能源供給的枯竭期。



圖四：全球能源總供給量：1965 - 2050



圖五：全球能源每人年享值：1965-2050

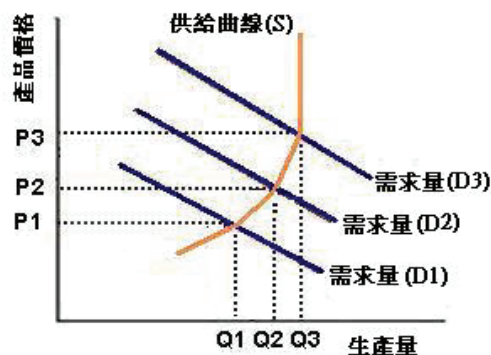
肆、能源枯竭的影響

全球能源枯竭會帶來什麼樣的嚴重後果呢？以下是對未來人類社會可能發生現象的一些臆測。

一、經濟動蕩

在能源枯竭的期間最可能發生的一個現象，就是世界面臨一個動蕩的經濟體制，圖六是這反覆停滯型通貨膨脹經濟模式的一個簡要解釋。假設 S 是市場某產品的供給曲線，S 曲線在右上方是垂直的，表明該產品在特定時間內有生產的極限；當需求由 D1 向上移動到 D2 時，價格與生產量都在增加；由 D2 移動到 D3 時，產品價格上漲的幅度加大，但生產量的增幅卻減少；當需求線從 D3 再往上移動，所增加的需求只會造成產品價格上漲，對生產量毫無影響。如果這個產品是與民生各方面悠關的物質，如糧食、石油或天然氣等，就會造成通貨膨脹。石油的供需就是一例，因目前最倚賴的能源為石油或天然氣，而唯一能抑制石油或天然氣價格的是需求量，所以市場景氣一旦復甦，石油或天然氣就開始漲價，上述從 D3 往上移動造成石油或天然氣價格上漲的通貨膨脹情形就會發生，石油或天然氣漲價又造成經濟衰退或蕭條，需求量與石油或天然氣價格再度下跌，經濟學稱此先通貨膨脹，然後又通貨緊縮的現象為停滯型通貨膨脹。如此週而復始，經濟發展如同波濤般起伏，隨著石油或天然氣價格漲跌而反覆起落於停滯型通貨膨脹間。2008 年金融海嘯就是這種動蕩的經濟體制對經濟造成傷害

的一個明顯實例，因為油價狂漲，造成通貨膨脹，銀行升息以抑制通貨膨脹，結果導致次級房貸問題並引發金融海嘯，可見這種動蕩對經濟傷害很深，未來隨著能源的日漸枯竭，這種經濟的動蕩可能還會反覆發生(丁仁東,2009)。



圖六：停滯型通貨膨脹經濟模式

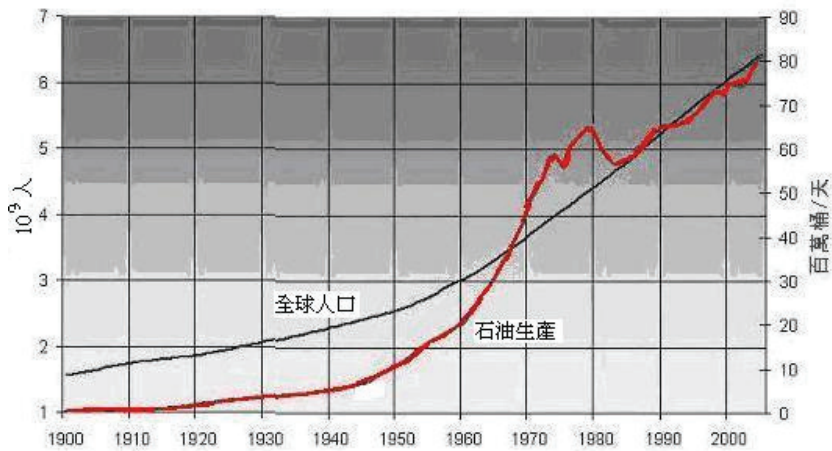
二、人口崩潰

能源枯竭也會產生人口的危機，因為人類所以能維繫龐大人口，完全在於能源的大量使用，一旦能源枯竭，要維持這龐大人口的基本生活需求，就會非常困難。圖七是二十世紀全球人口成長與歷年石油生產量作圖，兩者成比例增長，說明人口的成長與石油的使用有關，二十世紀因此人口快速膨脹，從世紀初的 16 億增加到世紀末的 61 億，增長了 3.8 倍，這完全受惠於廉價石油的使用。

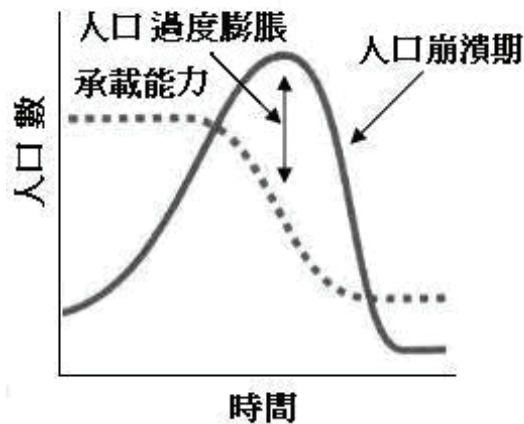
能源枯竭也使人類立即面臨人口的危機，2010 年三月底世界人口已超過 68 億，聯合國估計 2050 年世界人口將超過 90 億，但這一切均基於一個基本假設：能源充份的供給，一旦能源枯竭，人類立刻

面臨一個極大的危機，就是如何維繫這龐大人口的基本生活需求。生物學家在觀察生物物種演化時曾發現一個共同的現象，即所有物種當繁殖過量時，因為生存條件維繫的困難，會發生物種瀕臨崩潰或滅絕現象，例如在實驗室內培養皿中的細菌，如果繁殖過速，一旦養分不能維繫全體生存，就會發生全體崩潰死亡情形。D. H.

Meadows, D. L. Meadows 與 J. Randers(1992)在“Beyond the Limits”這本書中曾對未來人類人口可能遭遇情境作各種的模擬，圖八是未來人類人口過度膨脹而能源枯竭時 (Overshoot) 可能面臨“人口崩潰”的一種情境。在此全球能源逐漸枯竭之際，如何解決沉重的人口包袱，實在是個嚴肅的課題。



圖七：全球人口與石油生產(1900-2005)



圖八：人類人口過度膨脹可能遭遇情境

三、爆發能源爭戰

能源的枯竭也造成國際間緊張的情勢，因為石油與天然氣是人類生活最重要的能源，直接關係著人類生活的每一層面，加上全球石油與天然氣在全球的分佈極其奇特，全球近 2/3 的儲藏都集中在中東地區，而其周圍運輸通道如赫姆茲海峽、曼德海峽、蘇伊士運河與蘇伊士-地中海油管等都極狹窄易被軍事封鎖，更使未來能源爭奪情勢複雜，能源甚至成為未來爆發戰爭的可能原因。90 年代隨著蘇俄共產體制的瓦解，冷戰時期結束，國際間一個全新的國家安全的觀念逐漸構築成形，國家的安全不再僅取決於強大的軍事力量，更在於成功的維持強大經濟體制的運作，特別是能源的取得與保護，因此隨著能源的枯竭，未來國際間情勢可能會非常緊張。

為了保護能源，全球各國在重要地區都佈署重兵，一旦發生動亂，立即軍事干預。例如兩次美伊戰爭說明了美國強烈的決心，以保護其中東原油權益。又如喬治亞(Georgia)軍隊於 2008 年 8 月 7 日，進攻與俄羅斯接鄰的南奧塞提亞，俄羅斯於次日即揮軍入侵喬治亞，以保障其油管經南奧塞提亞的通暢；再如 2009 年 7 月初新疆烏魯木齊發生暴動，中國大陸立即派遣解放軍及武警強力介入，使動亂迅速恢復平靜，這些事件都說明能源的供給深刻影響國家安全。在正常狀況之下，石油與天然氣的分配藉市場自由經濟體制運作都能很

圓滿的達成，一些糾紛藉國際間政治協商或者得以解決，然而當石油與天然氣的供給嚴重缺乏或自由經濟體制運作混亂時，許多國家必然以自己國家安全作為第一考量，必要時不惜動用武力以保障石油與天然氣的來源，當國際法及國際間彼此制約的力量也無法管制整個混亂的局面時，能源爭奪戰就一觸即發。

四、科技文明崩潰

今天科技文明的發展，完全建立於能源的使用，從十八世紀中葉人類曉得利用能源作為動力，科技文明即開始蓬勃發展，它徹底改變了人類的生活方式。但這一切均架構於一個基本條件，便是能源充分的供給，一旦失去能源，科技文明便將消失，我們可能被迫重拾幾百年前老祖宗日出而作日落而息的簡單生活方式。有一些石油地質學者已經提出警告，例如西蒙斯 (Simmons, M. R. 2005) 認為除非能夠及早訂定一些計畫來減少石油的消耗，人類才可能和平的過渡到後石油時代，不然有可能爆發大規模的能源戰爭。坎貝爾 (Campbell, C. J. 2001) 說：“全球石油產量高峰將是人類歷史的轉戾點”。鄧肯和楊魁士特 (Duncan, R. C. & Youngquist W. 1998) 則根據能源每人均享值數據提出“奧杜瓦伊”理論 (Olduvai Theory)，預測工業文明只能從 1930 年至 2029 年維持 100 年，之後人類將退出工業文明，回到原始生活。

伍、結論

本文中我們介紹了產量高峰理論，說明能源枯竭與產量高峰有關，產量高峰的發生正是敲響了能源枯竭的警鐘，我們從能源總供給值與能源每人均享值，推論全球可能正面臨能源的產量高峰，並且將進入一個長期能源供給的枯竭期。我們也預測因為能源枯竭，可能引發未來經濟動蕩、人口崩潰、能源爭戰爆發、科技文明崩潰等現象。希望經過本文的解說，讀者對能源枯竭這件事有深入的領會。

參考文獻

- 丁仁東(2009)：能源危機。五南圖書出版公司。
- BP Statistical Review of World Energy. from <http://www.bp.com/statistical-review>
- Campbell, C. J. (2001). Peak Oil: A Turning for Mankind, Hubbert Center Newsletter
- Campbell, C.J. & Jean Laherrere (1998). The End of Cheap Oil, Scientific American 278
- Chefurka P. from <http://www.paulchefurka.ca/WEAP/WEAP.html>
- Duncan, R. C. & Youngquist W. (1998). The World Petroleum Life-Cycle, Petroleum Technology Transfer Council
- Energy Watch Group. from <http://www.alternatefuelsworld.com/energy-watch-goup.html>
- Hatfield, C. (1997). Oil Back on the Global Agenda, Nature 387
- Hubbert, M. K. (1956). Nuclear Energy and the Fossil Fuels, American Petroleum Institute Drilling and Production Practice, Proceedings of Spring Meeting, San Antonio
- Hubbert, M. K. (1976). Exponential Growth as a Transient Phenomenon in Human History, Paper presented before World Wildlife Fund, 4th International Congress
- Kerr, R. A. (1998). The Next Oil Crisis Looms Large-And Perhaps Close, Science 281
- Laherrere J. (2006). When will Oil Production Decline Significantly? European Geosciences Union General Assembly
- Meadows, D. H., Meadows, D. L. & Randers, J. (1992). Beyond the Limits, Chelsea Green Publishing Netherlands Environmental Assessment Agency History Database. From <http://www.pbl.nl/en/themasites/hyde/index.html>
- Simmons, M. R. (2005). Twilight in the Desert, John Wiley & Sons, Inc.
- United Nations Population Information Network. from <http://www.un.org/popin/>
- U.S. Census Bureau's. from <http://www.census.gov>
- U.S. Energy Information Agent. from <http://www.eia.doe.gov/>