

石油能源的警鐘

——在產量高峰過後

● 曾鏡濤

中國在二十一世紀的崛起，是世界政治舞台上的頭等大事，也將是世界政治格局重組的最重要因素。令人意想不到的，制約着這崛起以及這崛起所將猛烈衝擊的，不僅僅是國際經濟秩序和軍事力量平衡，而還有石油——它在全球的生產和分配。從中國和日本近數年來對於俄國遠東油管路線的反覆爭奪，以至美國政府和議院強力介入，阻止中國海洋石油公司收購美國優尼科公司 (Unocal Corporation)，到中國石油天然氣集團成功收購在加拿大註冊的哈薩克石油公司，乃至國際石油價格直線攀升等一連串事件，可以清楚見到全球化浪潮所帶來的飛躍經濟發展，使得能源問題更為突出和尖銳——對崛起中的中國特別如此。本文所要探討的，並非當今的國際石油政治，而只是在過去人類發現、開採和應用石油的歷史，特別是石油專家對於石油前景的爭議。這對於我們深入了解石油在今後所會帶來的問題，自然是有幫助，甚至十分必要的。

一 早期歷史

人類對石油的認識已有很長遠的歷史，早在公元前3000年，西亞兩河流域的居民便發現一種又黑又黏的半液體物質從地上裂縫或岩隙中滲出，有些滲出物還混着易燃氣體，引起歷久不滅的火焰，這在裏海南部巴庫 (Baku) 地區導致了拜火教出現，它其後隨着波斯帝國而大肆擴展。古代中東人已經開始利用這些瀝青一類的物質作為防水建築材料，或是造船用的防漏填塞物；還有人以石油作為藥用，據說可以止血療傷，治風濕頭痛、肚痛肚瀉等疾病。由於石油可以燃燒，自然可用於點火照明。在中世紀拜占庭帝國的海軍以石油混合石灰，造成一種遇水便起火燃燒的混合物，稱為希臘火 (naphtha)。它是當時的高科技武器，曾經在與伊斯蘭教徒的海戰中屢立奇功，其配方被視為國家機密。

* 作者蒙陳方正老師的熱心鼓勵與提供寶貴意見，獲益良多，特此表示衷心感謝。

不但在中東，即使在北美大陸，也同樣有天然湧出地面的石油。美國賓夕法尼亞州西部地區向來就有黑色黏稠油液滲出地面，為當地印第安人用作民間藥劑，它的作用和古代中東人的傳統說法差不多。但遲至1850年代，石油的生產還只是靠收集從地面滲出的油液，所以產量不高，用途也只限於醫療方面。此時有一群紐約投資者集資組織公司，計劃以鑿井技術應用於石油生產，希望藉此大幅度提高產量、降低成本，取代當時剛剛開始在北美洲普遍使用在油燈上的煤油。煤油本來源於東歐，當地農民以開採煤礦的形式挖掘地洞，在地下收集原油後，再加提煉成為可供照明的煤油。此後有人發明煤油燈，它解決了燃燒煤油時所產生的煙熏及氣味等問題。經過多次改良後，煤油燈的使用在北美洲日益普及，但是煤油的供應卻追不上市場需求，因此引起上述紐約投資者對於石油的興趣。經過一番努力，世界上第一口油井於1859年8月在美國賓州地區成功鑿開，這就是現代石油工業的起點。從此其他採油商人紛紛仿效，石油產量大增，油價下跌，煤油燈的使用進一步普及，美國生產的煤油不只暢銷新大陸，還遠銷至歐洲。

1865年美國南北戰爭結束，洛克菲勒 (John D. Rockefeller) 的標準石油公司 (Standard Oil Company) 剛好在這一年成立。石油工業在美國的建立，引起了俄羅斯的注意，1873年瑞典人諾貝爾兄弟 (Robert and Ludwig Nobel) 進入巴庫發展當地的石油業，在短短數年間便使俄國的石油產量大增，甚至一度超越美國。在石油產品逐漸普及的大環境下，1876年德國工程師奧托 (Nikolaus Otto) 根據法國人羅查斯 (Beau de Rochas) 的設計成功製成第一台內燃機；1896年另一名德國工程師狄塞耳 (Rudolf Diesel) 發明柴油機。這些以石油為燃料的引擎，由於體積輕巧而輸出功率大，漸漸在車輛和輪船上代替了龐大笨重和效率較低的蒸汽機。從此，石油一步步擺脫了只能作為照明用途的燃料，逐漸取代煤炭成為二十世紀的主要動力能源。

二 石油世紀的來臨

早期的汽車曾用蒸汽機或電動馬達作為動力，但缺點很多，沒法普及。1903年亨利·福特 (Henry Ford) 成立福特汽車公司，他生產的A型汽車以汽油內燃機推動，在車速和車程上都大為進步。福特對於汽車工業的最重要貢獻是引入流水作業程序，使生產成本受到有效控制。到了1913年福特汽車公司的T型汽車降價至每輛僅售500美元，一般家庭均可負擔，汽車於是成為美式文明的代表。在此前十年，即1903年美國的萊特兄弟 (Orville and Wilbur Wright) 已經利用內燃機技術，成功設計及試飛第一架飛機了。倘若不是有了像石油這樣的高能量密度燃料，萊特兄弟是不可能成功的。事實上，很難想像以燒煤蒸汽機為動力引擎的飛機能順利升空。汽車、輪船與飛機使人類能夠輕易跨越空間，為今天的「全球化」奠定基礎。在這個意義上，石油工業可以說是現代文明最根本的物質基礎。

在二十世紀之初，石油的應用日益廣泛，很快就成為主要的工業能源了。但當時列強中只有美國與帝俄是主要產油國，其餘各國都要依賴石油輸入。1901年得克薩斯州東部大油田 (Spindletop) 發現後，美國一躍而成為全球最大產油國。得州大油田的發現不但使墨西哥灣沿岸地區成為探油活動的焦點，也是旋轉鑽井 (rotary drilling) 技術首次應用在油田上，它克服了以往鑽井技術對油井深度的限制。得州東部大油田的第一口井，深度超過三百米，是以鑽頭敲擊岩層的老技術不能達到的。這種技術沿用至今，大為開拓了藏於地底深處的石油資源。

接着，美國的俄克拉何馬州、墨西哥和委內瑞拉等地先後發現大油田。這些油田的產量都遠遠超過以往，並且不斷在增加中。當然，石油的開採不僅僅限於美國和俄國。事實上，就在發現得克薩斯大油田的同時，英國人也開始在伊朗 (當時還稱為波斯) 西部鑽探。1908年英人達西 (William K. D'Arcy) 在英國海軍部的支持下，於波斯西南部的馬斯吉德蘇萊曼 (Masjid-i-Sulayman) 地方發現石油。在其後三十年間，隨着奧圖曼帝國的瓦解，英、法、美等國家的石油公司紛紛進軍伊拉克、沙特阿拉伯和波斯灣畔等石油產區，以商業、條約、軍事等種種手段將這藏在地下的寶貴能源分割佔有。1938年3月加州標準石油公司 (Standard Oil of California) 在沙特阿拉伯東部成功打出第一口油井，比科威特大油田的發現僅晚了數星期。

由於產油區的不斷勘探和發現，以及開採、提煉技術的進步，油價大幅度下跌，從而導致本來以煤為燃料的火車和輪船，都紛紛改用以石油為燃料的內燃機。由於石油單位重量的含能量遠高於煤，也就是說它的能量密度很高，所以長程火車和遠洋輪船改用石油後不但速度更快，而且可以騰出更多空間裝載客貨。便宜的油價也刺激了對汽車的需求，到1913年在歐美大陸公路上已經有超過一百萬輛汽車和貨車行走。因此，毫不奇怪，世界對石油的消耗量從1900年的每日50萬桶，增至1915年的125萬和1929年的400萬桶。從這些數字可以看出，「石油世紀」的確是來臨了！

三 哈伯特：石油產量高峰的發現

第二次世界大戰後，美國仍是世界最主要的產油區，那時波斯灣畔各國的石油工業還處於初步起飛階段。1950年代美國國力如日中天，它的經濟實力和軍事優勢，與它雄厚的石油工業基礎脫不了關係。人們相信美國像是一塊飄浮在石油海洋上的土地，擁有取之不盡的石油資源。當時絕對沒人相信好日子會有結束的一天。就在這時候，一位先知先覺的地球物理學者哈伯特 (Marion King Hubbert) 卻發出了美國石油產量行將見頂的警告。

哈伯特生於1903年，是得克薩斯州人，芝加哥大學地質學博士，畢業後一度任教於哥倫比亞大學地球物理系，1943年遷至休斯敦殼石油公司 (Shell Oil Company) 研究中心工作，直至1964年退休。退休後，他繼續在美國地質測量局 (US Geological Survey) 當了十二年資深地球物理學者。1956年他不顧公司的反

對，在美國石油學會 (American Petroleum Institute) 的會議上公布他的研究成果，預言美國石油產量將在大約1970年前後達到高峰，以後便會日走下坡。據他說，蜆殼公司管理層在他學術演講前五分鐘，還在電話中要求他取消發言。當時批評他的理論的人很多，各有不同的理由。有些是基於利害關係，不願面對壞消息。更深一層的原因則是在哈伯特的預言出現前有過不少假先知：從二十世紀初開始，每隔若干年便有人以當時美國的已知石油總存量和每年產量推算出存量耗盡的時刻。但是這些推算每一次都錯了，因為新的油田不斷被發現，已知的石油總存量不斷增加，每次「石油即將耗盡」的危機警告，都成為「狼來了」的笑話。在這些假先知所造成的危機聲中，美國石油工業不但沒有萎縮，反而日益蓬勃。

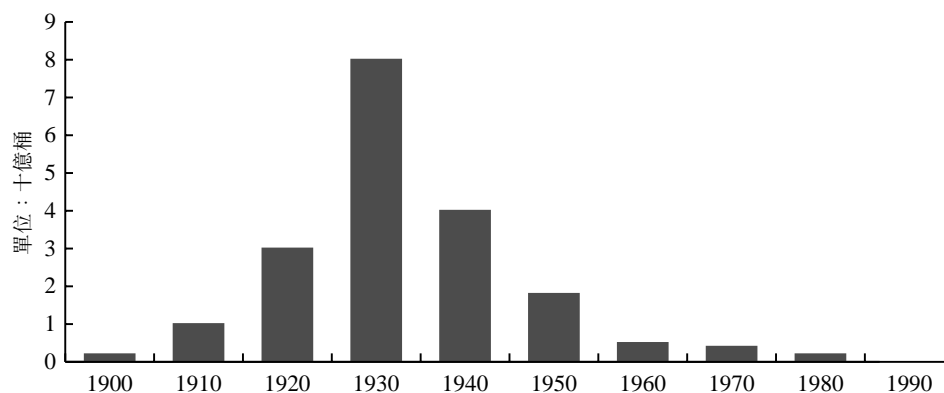
因此，毫不奇怪，在哈伯特發表預言的時候，石油工業界同仁一直與他爭辯，幾乎沒有一個人相信他的分析，都視之為又是「狼來了」的笑話。然而，事實勝於雄辯，意想不到的事情居然發生了。到1970年美國石油產量果然見頂，高峰期的產量高達日產940萬桶。在此之後，擁有先進技術及雄厚資本作為後盾的美國石油業，竟然也回天乏力，產量逐漸下降，至2003年日產量僅稍高於500萬桶。鐵一般的事實擺在眼前，石油界才不得不接受哈伯特的理論。

哈伯特透過長期觀察研究石油產量的資料，發現一個有趣的現象：藏在地下的石油與儲水池內的水不一樣，池內的水可以用抽水機以恆定的抽取率抽出，直到最後一滴，然後抽取率就會突然下降至零。石油卻不一樣：它的黏滯性和地下儲油岩層的疏漏性 (porosity) 導致油田產量 (即石油的抽取率) 隨着開採年齡變化的規律成為鐘形曲線 (bell-shaped curve)。這是因為最先開鑿的探索油井產量不高，要經過多番嘗試，地質學家對於油田內的石油分布了解清楚後，產量才可以提高。在油田生命的年青期，產量會迅速提升，因為生產者總是先抽取容易得到的油。但過了一段時日，雖然多鑿油井，油田的總產量卻還是免不了下降：一般來說，在被抽出石油達到儲存量的一半時，產量便已經達到頂峰。為甚麼呢？因為要抽取餘下的另一半儲量，會越來越困難，因此產量不斷下滑。事實上，一個油田所儲存的石油不可能被全部抽取。因為當油田老化至產量過低，收入不足以維持開支的時候，便會因為失去經濟價值而停產。平均而言，能在符合經濟利益的前提下抽取的石油，只不過是油田總儲存量的30%至45%而已。

哈伯特從個別油田的生命周期現象，推廣至整個地區的石油生產周期，因為地區石油產量是該地所有油田的總和，因此他大膽假設：地區石油產量與年齡變化的規律，也同樣是鐘形曲線，即產量在初期可以高速增長，到成熟期它會達到高峰，隨後便是產量日降的衰老期。

但是要能夠從個別油田的現象推論至整個地區，關鍵是該地區每年新發現的石油存量是否一直作高速增長。很明顯的，雖然舊油田不斷枯竭，但只要不斷有新油田投產，那麼整個地區的石油產量還是可以繼續增長。在1956年哈伯特作出驚人預言的時候，他看到的資料已經顯示：美國本土大陸每年新發現的石油存量，在1930年達到高峰後便不斷下降。現在重新看延續至二十世紀末的

圖1 美國國內歷年代新發現的石油存量



同類資料，那就更清楚，走勢更明朗了。圖1所示是美國本土的新發現石油存量隨着年代的變化，它顯然也是一條鐘形曲線，在1930年代達到頂峰後便一直下降。哈伯特對這現象也作了類似於油田產量變化規則的解釋：在某地區勘探石油的早期，因為大部分石油還未被發現，新發現的油田可以持續增長，但是地區總蘊藏量無論如何龐大也必然有限，當容易尋找的油田都被發現以後，新油田便越來越難尋找，因此新發現存量便不斷萎縮。對整個地區來說，當新發現存量不能彌補被抽取的石油時，它的石油產量便離頂峰不遠了。哈伯特在1950年代利用他手上的新增石油存量資料，估計美國本土的至終可生產石油蘊藏量 (ultimately recoverable reserve)，得到兩個答案：樂觀的是2,000億桶，悲觀的是1,500億桶。根據這兩個估計，他推算出美國石油產量高峰將會在1966至1972年間出現。後來他的預言果然應驗，而且，好像是上天對世人的警告，跟着就出現了由於政治原因造成的1973年世界第一趟石油危機。

四 坎貝爾：全球石油高峰的來臨？

哈伯特的預言在1970年得到證實之後，他又進而推算全球石油產量的高峰，並且得到了高峰將在1990至2000年間降臨的估計。由於當時他能掌握的世界石油蘊藏量資料有限，而且不完全準確，事後證明他這一預言太悲觀了。哈伯特在1989年去世，因此無法修正他的預言，這一任務就留給了下一代的地質學者。在1990年前後，少數石油地質學者開始把哈伯特的分析方法應用於全球石油生產上，他們不約而同得到相近的結論：世界石油產量將在2008年前後達到頂峰！這些分析結果分別發表在《自然》(Nature)、《科學》(Science) 及《科學美國人》(Scientific American) ①等重要科學刊物上。雖然這些結論仍然沒有受到應有的重視，但倘若它們是準確的話，則對全球經濟政治的衝擊將會是十分巨大。

在哈伯特的繼承者中以坎貝爾 (Colin J. Campbell) 的影響力最大，他是所謂「石油高峰」(peak-oil) 學派的最重要人物。坎貝爾創立的「石油高峰學會」會員遍布歐洲各大學，他的著述甚豐，以《即將來臨的石油危機》(The Coming Oil Crisis) ②

一書最有名。坎貝爾是地質學者，從1950年代末期便加入石油工業。為了尋找新油田，他在此後三十年間跑遍了全球，從南美的安第斯山脈到挪威海岸的北海。1989年他在挪威政府的資助下進行一項研究：要找出全球的石油總存量。

這項研究使他徹底改變了對石油前景的看法。坎貝爾詳細分析過各產油國的石油資料後，發現結果都與哈伯特的理論相符。1991年他發表的研究成果指出：全球石油高峰約在1995年左右來臨。此後他使用來源不同的資料，多次重複計算，修正他的預言。他比較過官方公布的數字與私人機構資料庫的石油存量資料，發覺其中有很大差異。官方所公布的，特別是石油輸出國組織(OPEC)國家的資料，通常只有總存量；但是私人企業資料庫卻把各油田的資料分列出來，一目了然。從而可以知道總存量的增加，到底是由於新油田的發現，還是舊油田估計儲存量的修正。他由此得出一個結論：官方公布的數字造成一種假像，使人覺得全球石油儲存量在不斷增長，其實大部分的所謂增長，都只不過是在舊油田儲存量上玩弄的數字遊戲，由於新油田發現而帶來的增長只是少數。

坎貝爾的悲觀論調，可以從石油工業界的主流刊物《石油及天然氣期刊》(*Oil and Gas Journal*)的一篇文章中找到根據。這篇題為〈世界石油產量見頂的三個預測〉(“Three Oil Forecasts Predict Peak Oil Production”)的文章^③，由西雅圖能源及人類研究所(Institute on Energy and Man)的鄧肯(Richard C. Duncan)執筆，他指出在全球四十四個重要產油國中，有二十四個已經明顯跨越產量頂峰。換言之，超過半數重要產油國的石油產量已經在下滑，全球石油產量「見頂」已經為期不遠了！不但如此，甚至一些國家科研機構也發出了警告。美國阿爾貢國家實驗室(Argonne National Laboratory)的布朗(Russell Brown)在其報告〈後石油時代的臨界路徑〉(“Critical Path to Post-Petroleum Age”)中有如下的結論^④：

世界石油產量將在未來十年內開始下降。大部分產油國的產量已經越過頂峰期。……美國可以用輸入的石油彌補產量的不足，但對整個世界來說，這不是可行之策。……美國與全球所面對的能源問題遠超於新科技或更多發電廠所能解決的。……我們要盡早預備應變的方案。

在討論這危機的眾多著述中，以德國人齊特爾(Werner Zittel)及申德勒(Jorg Schindler)的〈未來世界石油的供應〉(“Future World Oil Supply”)一文最為詳盡。他們二人曾任德國聯邦議會的科學顧問，在文章中引用了多國產油資料以支持其結論，內容充實而具說服力。文章最後總結的要點如下：

- 全球的新發現石油儲存量早在1960年代已經到頂；
- 新發現石油存量的高峰過後，隨之而來的是石油生產的高峰，因發現必然先於開採；
- 從生產資料看來，每一塊油田都在經歷生產高峰過後轉入衰老減產期，目前世界多數大型油田都已進入衰老減產期；
- 各油田生產歷史的總和決定一個產油區的生產高峰何時來臨，如：奧地利在1955年、德國在1968、美國在1970、印尼在1977；最近加入減產行列的

國家有：加蓬(1997)、英國(1999)、澳大利亞(2000)、阿曼(2000)和挪威(2001)；

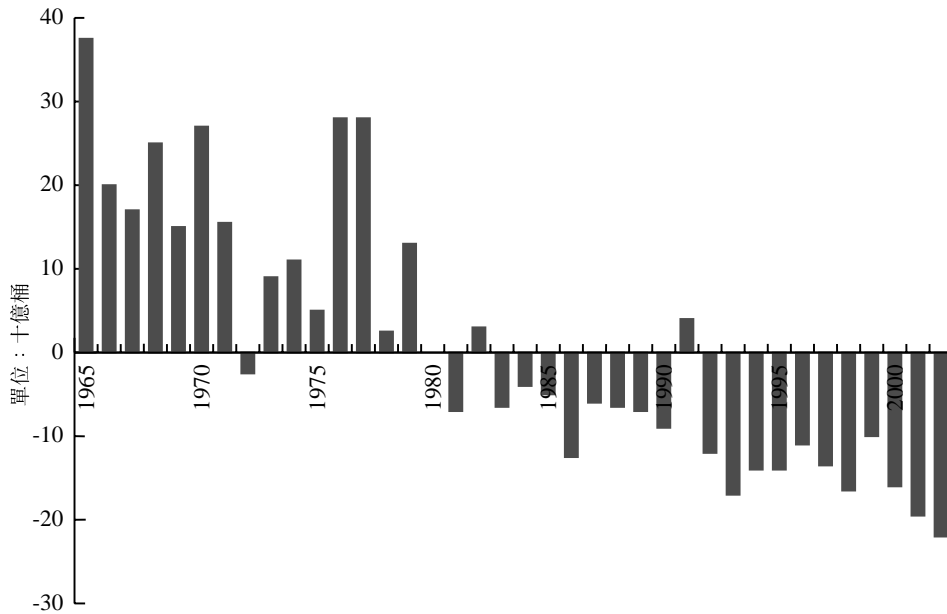
- 隨着更多產油國踏入衰老減產期，越來越少產油國具有增產能力以彌補衰老產油國的不足，結果是：要維持目前世界的產油量，將日益困難；
- 世界產油量的高峰極有可能在2010年以前來臨。

即使是有點名氣的美國智囊機構，也開始接受哈伯特和坎貝爾的理論了。2004年華盛頓的顧問公司「PFC能源」(PFC Energy)發表了一份研究報告，基本上同意坎貝爾的預測，只是結論沒有坎貝爾等人悲觀，而把高峰的來臨推遲到2010至2015年間。負責該報告的PFC董事羅傑斯(Michael Rodgers)同意坎貝爾的說法，即高峰來臨的確實日期比不上高峰肯定要來臨這一結論來得重要。他向《華爾街日報》(*The Wall Street Journal*)的記者透露：PFC能源的高層曾為應否發表這份研究報告，從而把公司名譽押在悲觀論者的一方而辯論；但他們的結論是：由於多年來全球的新發現石油儲存量一直令人失望，已經到了不能光靠科技發展便使人類及時擺脫困境。羅傑斯說：「坎貝爾的問題是在於他二十年來宣揚石油高峰，世人覺得他一直在喊狼來了，因為他說得太多太久，反引起人們的懷疑。」使羅傑斯最擔心的是：「雖然目前油價飆升，但探油活動沒有相應地增加，原因是在全球各處產油區所能發現的只是小型油田，油公司所能獲的回報很微薄。」他指出，在過去十年間石油公司的探油經費平均從總開支的30%下跌到10%，大概是因為他們覺得找到利潤豐厚的大油田的機會已經不高。事實上，石油公司尋找石油的方式在慢慢改變，從地下找不到的石油，可以在華爾街找到^⑥。自80年代中至2000年，美國五家最大的石油公司(雪佛龍[Chevron]、埃克森[Exxon]、海灣[Gulf]、無比[Mobil]、德士古[Texaco])在一陣陣收購合併潮過後，只剩下兩家(雪佛龍、埃克森)；法國三家最大的石油公司也在90年代中合併為一家(Total、Fina及Elf Aquitaine合併成TOTAL)。在往後的日子裏，相信收購合併仍是石油公司尋找石油的捷徑。

五 對於石油前景的爭議

與這些悲觀論調對比，官方的主流意見顯然比較樂觀。美國地質測量局花了一百「人年」的精力，在2000年發表一份有關石油的研究報告，估計世界上可供利用存油共有三萬億桶，由此推算生產高峰還有數十年才來臨，即約在2036年後。聯合國的國際能源署(International Energy Agency)則認為石油高峰約在2020年來臨。但是官方機構在能源預測方面有過不良記錄，在70年代末期美國能源部(Department of Energy)預言2000年的油價將高達每桶150美元，一向謹慎的埃克森石油公司也曾作出油價高達100美元的預言。其實，國際能源署的石油高峰在2020年來臨之說已與齊特爾及申德勒二人的2010年說或者PFC的說法相去不遠了。由於世界石油存量難以準確估計，所有這些預言可以說都是互相印證的。即使是官方機構，也不得不承認在過去二十年全球每年消耗的石油比新增石油

圖2 全球每年新發現的石油存量與消耗量之差



儲存量高。近年來由於亞洲地區的經濟蓬勃發展，刺激石油消耗量不斷上升，使差額越來越大(圖2)。國際能源署預測，在2030年世界石油每日消耗量將從2004年的8,200萬桶增至12,000萬桶。所以，情況可真不容樂觀。

不過，保持樂觀的學者仍佔主流，石油經濟學者林奇 (Michael Lynch) 是其中有名的一位。2003年他在《石油及天然氣期刊》發表論文^⑦反駁悲觀論者。他指出，悲觀論者哈伯特的分析把一個地區的石油總儲量定得太死板，事實上，在地下可供抽取的石油儲量是一個隨着科技發展而增長的變數。目前的科技只能抽取石油總存量的30-35%，林奇相信科技的進步可以把這比率提升至50-60%，這樣便相當於可供利用的石油增加接近一倍。另一方面，他認為1960年以來新發現油田減少的現象不是一種具有實質的趨勢，而只是一種假像。在石油價格飆揚的今天，石油工業界在高利潤的刺激下，一定有辦法找到更多可利用的石油。他批評哈伯特和坎貝爾的分析充滿了馬爾薩斯人口論的灰暗色彩。

同樣，劍橋能源研究社 (Cambridge Energy Research Associates) 的負責人和暢銷書《石油世紀》(The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power) 的作者耶金 (Daniel Yergin) 在2003年4月22日的《舊金山紀事報》(San Francisco Chronicle) 上發表評論，樂觀地指出多個產油國如伊拉克和俄羅斯等地，是因為政治理由妨礙了探油活動，所以潛力尚待發揮；倘若再加上新科技的應用，人類早晚可以找到足夠的新儲存量以滿足未來世界的需求。他的結論是：石油供應並不是一個有限的定量，石油的總存量總不斷在變動。

樂觀論者把希望寄託在科技的進步上，但是，另一位哈伯特分析的信徒德費耶 (Kenneth S. Deffeyes) 卻大不以為然。德費耶是普林斯頓大學的退休地質學教授，曾在蜆殼石油公司研究中心與哈伯特共事，他在其近著《哈伯特的高峰：即將來臨的世界石油短缺》(Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage) ^⑧

中指出：自從1970年代經歷了兩次能源危機後，美國朝野上下痛定思痛之餘，決心要達到能源自足，美國的石油公司在國內投下了上百億美元的開發資金，集中精力於新油田勘探和抽取技術的改良，力求提高油田生產效率，例如以電腦分析三維地震波(3D seismic wave)資料，藉以透視地層結構，增加找到新油田的機會；將化學溶劑灌入油田以清洗難以直接抽出的石油；灌入氣體或液體以增加油井的產油壓力和降低原油的黏滯性；此外還有新發展的水平鑽井技術(horizontal drilling)，顧名思義，它可以在原來的油井下從水平(或任何)方向繼續鑽鑿，把困在岩層中、垂直油井難以抽取的石油抽出來。

表面上這些是很大的進步：在過去二十年間，新科技確實大大地降低了發現新石油的成本，從每桶二十美元以上降至大約六美元，生產成本也減半至每桶四美元以下。然而，這些新科技卻絲毫改變不了在其後二十年美國國內找不到更多油田的命運，或者使投產油田的生產量止跌回升。針對林奇的經濟刺激石油存量增長論點，德費耶更指出：1930年代是美國新發現石油存量增長的黃金時代，也剛好是經濟大蕭條的時代，油價曾一度低至每桶0.1美元(與此相比，十九世紀的最低油價是每桶2.4美元)。所以只要地下有油，沒有經濟刺激也可找到，倘若地下沒有油，經濟刺激也無濟於事。因此他堅決認為：地下石油儲量決定於地質學，這不是新科技或是經濟規律所能改變的事實。況且，新科技的代價也並不輕。由於目前世界上很多油田已經進入產量下降的衰老期，國際能源署估計，若要把全球產油高峰推延至2020年以後，那麼在未來十年中，石油公司便得在石油輸出國組織以外的國家投資一萬億美元！

要弄清楚這兩派的爭辯，我們必須先對如何估計石油儲存量有基本的了解。當發現石油之後，新油田的真正蘊藏量是無法測知的，地質學者只能根據油井的壓力、流速，和地下岩層的物理性質來作出一個不十分準確的初步估計。事實上油田的總蘊藏量也不是那麼重要，重要的是可供開採的蘊藏量。倘若油田的儲油黏滯性較高，其地下岩層的疏漏性和可透性(permeability)又偏低，那麼可供抽取的蘊藏量通常不會多於總蘊藏量的5-15%；在相反情況下，即石油黏滯性低，岩層的疏漏性和可透性高，則可供抽取蘊藏量可高達70-80%。由於其間分別是如此之大，石油界對油田的蘊藏量作出了嚴格區分，即「證實存量」(proven reserve)、「極可能存量」(probable reserve)和「可能存量」(possible reserve)。要達到「證實存量」的標準，地質學者對油田內可供開採的蘊藏量估計的準確度要高達90%以上，這是對油田蘊藏量最保守的估計。此外，美國證券交易監管會(US Security and Exchange Commission)還規定「證實存量」必須是石油公司目前有能力抽取的存量。這反映了一種審慎的態度：即石油公司還沒有能力抽取的石油，都不能算是公司資產，而抽油能力決定於技術和經濟因素。所以財經證券分析員對石油公司的估價通常是以「證實存量」為根據。至於「極可能存量」和「可能存量」只是對油田潛力的估計，其所意味的，分別是有50%和10%可能性油田具有該存量而已。

因此，隨着石油工程師及地質學者對油田狀況的了解增加，油田的「證實存量」會被不斷修正，或增或減。特別是，當油價飆升的時候，證實存量也會相應向上

調整，因為更多油田所蘊藏的石油可以合乎經濟效益地抽出。這便是林奇認為高油價可以刺激存量增長的根據。那就是說，在大多數情況下，本來認為只是「極可能存量」的部分，被撥入「證實存量」內，使之增加。在這個確定油田「證實存量」的過程中，石油工程師及地質學者的經驗起了很大作用。這是一門不精確的科學，我們從歷年來公布的沙特阿拉伯石油「證實存量」的變化，可以窺見其中奧妙。

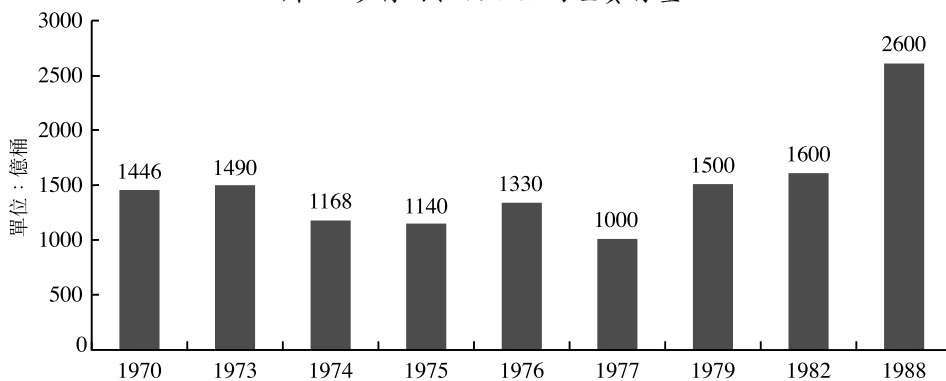
六 沙特阿拉伯石油存量之謎

休斯敦的石油財經專家西蒙斯 (Matthew R. Simmons) 花了三十多年精力於研究石油業的發展上，他在2000年的美國大選中擔任布殊 (George W. Bush) 及切尼 (Dick Cheney) 的能源顧問。西蒙斯追溯分析了二百多篇有關沙特阿拉伯油田的技術論文，使他對該地油田了解之透徹，在沙特國外無人能出其右。他最近出版的《沙漠的黃昏》(*Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy*) ①一書，就揭露了沙特阿拉伯石油存量數字內含的玄機。

在1979年以前，沙特阿拉伯的石油是由七家西方石油公司合股組成的「阿美石油公司」(Aramco) 經營，這七家石油公司俗稱七姊妹，因為受到美國證券交易監管會的監管，每年要把沙特阿拉伯各油田的產量和證實存量等資料向外公布，透明度相當高，證實存量也必須滿足美國證監會的要求。我們根據這些公開的資料，把在1970年代沙特阿拉伯主要油田的總證實存量列於圖3，數字清楚顯示這證實存量的變化相當驚人，差不多達到50%，特別是在1976至1977一年間，證實存量減少了330億桶。阿美石油公司對此沒有解釋，但經西蒙斯的鑽研，在1979年美國參議院一個名為「沙特阿拉伯石油生產前景」聽證會的會後報告的附錄中，找到了一個合理解釋。

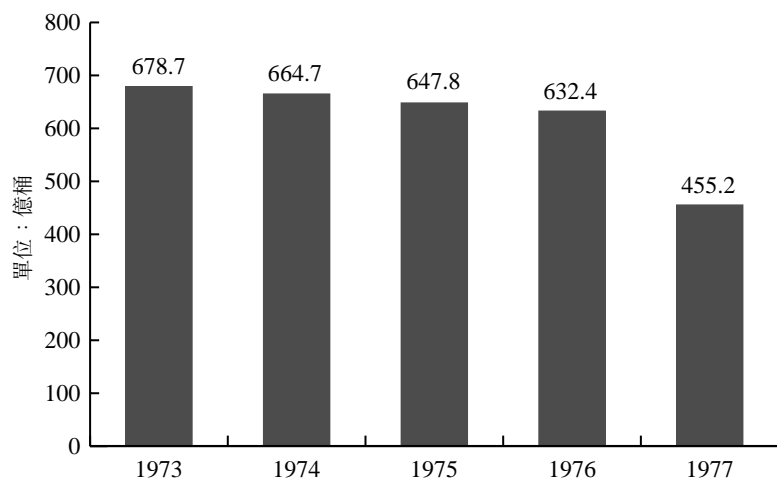
據這份被人遺忘的附錄文件記載：在1973年10月阿拉伯石油禁運前，沙特阿拉伯石油產量大幅度上升。為了保證增產，石油工程師必須把水灌注入油井

圖3 沙特阿拉伯石油的證實存量



資料來源：Matthew R. Simmons, *Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy* (Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2005), 272.

圖4 沙特阿拉伯蓋瓦爾油田的證實存量



以維持油井的壓力。在1972年5月至1973年9月期間，沙特阿拉伯石油日產由540萬桶驚人地增長至830萬桶，但灌水的速率落後於石油生產，使油井的壓力下降，阿美石油公司的專家相信，這樣高速的增長率會傷害油田，影響油田的證實存量。聽證會報告的附錄文件中清楚地說：1973年9月在蓋瓦爾(Ghawar)油田北部平均每日320萬桶的生產量，已經接近對該油田造成傷害的邊緣。報告內又稱沙特阿拉伯的石油部曾指責

阿美石油公司不負責任的過度增產，但為阿美石油公司否認。1948年發現的蓋瓦爾油田是沙特阿拉伯油田中最大的一個，也是世界有史以來最大的油田。它位於沙特阿拉伯東部波斯灣畔(沙特阿拉伯的油田大部分都位於這一帶)，南北長達174英里，東西走向最寬處有31英里。在二十世紀下半期的五十年間，蓋瓦爾油田的產量一直佔沙特阿拉伯總產量的55-65%。它不僅容積巨大，而且原油的黏度低，岩層的疏鬆性和可透度高，是一個極優質的高產油田，高峰期(1981年)日產569萬桶。如圖4所示，它的證實存量在1976至1977一年間也減少了177億桶。蓋瓦爾油田證實存量的減少，是因為石油工程師有鑑於在生產量過份高速增长後，油田的壓力驟降，引起海水倒灌入油田，他們為慎重計，遂把部分證實存量轉移為極可能存量或可能存量。

不過這些在70年代中期出現的證實存量變化與1979年以後的變化相比，便有如小巫見大巫了。1979年西方石油公司全部退出阿美石油公司，沙特阿拉伯的石油成為國有。阿美石油公司改由沙特政府石油部直接經營管理，名稱改為「沙特—阿美石油公司」(Saudi Aramco)。此後有關沙特石油的資料便再沒有以前那樣公開和透明了。從1979年起，沙特—阿美石油公司便不再單獨公布每一油田的資料，只公布沙特全國的總證實存量：它當年躍升至1,500億桶，較1977年增加50%；1982年升至1,600億桶以上；1988年再增加1,000億桶至2,600億桶(圖3)，這數字沿用至今天。從1979年至今，沙特政府沒有再公布發現任何令人鼓舞的大型油田。在過去十七年官方公布的沙特石油證實存量一直都約為2,600億桶，而在這期間它石油生產總額卻在460億桶以上，這使人不禁懷疑它的證實存量為甚麼會如此穩定。但說來奇怪，石油業界的專家學者卻對這2,600億桶的證實存量很少有疑問：他們普遍認為沙特阿拉伯地下有用之不竭的石油，情況就像1950-60年代的美國一樣。

事實上，在1980年代末期，不單是沙特阿拉伯有石油存量大幅躍進的現象，石油輸出國組織十一個國家內的六個都把它們的石油存量大幅提高，增長額有的高達兩倍。總體來說，在這數年間，石油輸出國組織的石油存量增加了

2,870億桶，是歷來在美國發現的石油總額的1.4倍；然而，在此期間卻並沒有任何石油科技的重大突破或者大型油田的發現，足以支持這樣大幅提高存量的做法。

根據坎貝爾的推測^⑩，唯一可能的解釋是：在80年代下半期世界各大產油地區如蘇聯、歐洲北海、美國阿拉斯加等地，其產量都差不多同時達到高峰；另一方面，西方工業國家因為受到80年代初高油價的刺激，都實行節省能源，提高使用效率，因此石油生產國為了競爭市場而使得國際油價大幅下滑。在此情況下，石油輸出國組織為了穩定油價，遂設額限制各成員國的輸出，輸出額根據各國石油存量分配，因此觸發各國紛紛提高官方的存量數字，以求多獲輸出配額。假如這推測屬實，那麼石油存量的官方數字都有相當的誇大成分在內，世界能源的前景恐怕難以樂觀。

七 石油的前景

目前石油業界對全球的「石油高峰」何時來臨還沒定論，但多數人的共識是這個高峰早晚要來，不過它來臨的時候，並不會有任何特殊現象向世人宣示它的來臨。正如我們只是在事後才從資料中證實1970年是美國石油生產的高峰，同樣我們只能在全球石油高峰過去之後，才會確切知道它來臨的正確時刻。

從1859年第一口油井開鑿至今，人類已經耗用了大約9,500億桶石油，這數字是石油業界的共識。悲觀論者如坎貝爾和德費耶等人認為，地下可供人類利用的存油總共大約二萬億桶，但目前已經耗用了9,500億桶，所以，以目前每年約300億桶的耗量計算，石油產量高峰的出現只是一兩年間的事。但是樂觀派估計地下可供利用的存油約達三萬億桶，其中除了11,500億桶是目前全球的證實存量外，另外的9,000億桶是他們相信雖然還沒有被發現但最終會被發現的。所以，雙方估計有9,000億桶的存量差額。但這差額是非常巨大的，它相當於目前中東及亞非兩洲證實存量的總和。即使地質學者和石油工程師能夠及時找到它們，以目前的耗油量來算，這也只能把石油頂峰的出現往後推延十五年。鑑於過去二十多年的石油勘探經驗，要在十五年內找到9,000億桶新存量的機會恐怕不是很高。

當然，世界石油產量達到頂峰，並不代表所有的石油已經消耗殆盡，事實上，它只不過標誌全球石油蘊藏量的一半被消耗掉。不過，從地下抽取另一半的石油，要比抽取已經用掉的前一半困難得多。所以，石油產量頂峰的來臨雖然並不意味石油時代的終結，卻肯定意味着廉價石油時代的結束。頂峰過後，倘若消耗率沒有大幅度的改變，那麼人類大概還有五十至一百年的石油可用——不過石油價格不斷攀升是無可避免的了。問題在於，目前世界的經濟運作規律是：經濟增長必定伴隨着能耗增加，這樣，在石油高峰過後，全球經濟增長便會受到雙重制約：其一，是經濟增長意味着油耗加速，石油枯竭時期提早來臨；其二，是油價本身就會構成增長的沉重包袱，因而打擊增長。所以，在

高油價環境下，要維持經濟增長就必須大幅度提高能耗效率，以及大量利用石油以外的另類(或可再生)能源，如太陽能、風力和核能等。但是，即使是世界頭號經濟大國如美國和日本，對開發另類能源和提高能耗效率的投資，還是遠遠落後於70年代末的計劃進度。難怪美國首任能源部長施萊辛格 (James R. Schlesinger) 最近感慨地總結說：「我們(對能源問題)只抱着兩種態度，要麼是漠不關心，要麼是極端驚恐。」

假如哈伯特、坎貝爾和他們在地質學界那些因面對現實而顯得悲觀的追隨者對石油高峰來臨的預測不幸而言中，那麼世界在不久的將來便要面對一個比二十世紀70和80年代更大得多的石油危機，而我們不能排除，屆時文明社會將可能陷入嚴重恐慌之中。

註釋

① Craig B. Hatfield, "Oil Back on the Global Agenda", *Nature* 387 (8 May 1997): 121; Richard A. Kerr, "The Next Oil Crisis Looms Large—And Perhaps Close", *Science* 281 (21 August 1998): 1128-31; Colin J. Campbell and Jean H. Laherrère, "The End of Cheap Oil", *Scientific American* (March 1998).

②⑩ Craig J. Campbell, *The Coming Oil Crisis* (Essex, England: Multi-Science Publishing Company and Petroconsultants, 1997).

③ Richard Duncan, "Three Oil Forecasts Predict Peak Oil Production", *The Oil and Gas Journal* (26 May 2003).

④ Russell Brown, "Critical Path to the Post-Petroleum Age", cited in *ASPO News*, no. 35 (November 2003): 9 (www.peakoil.ie/newsletter/asp035).

⑤ Werner Zittel and Jorg Schindler, "Future World Oil Supply", International Summer School On the Politics and Economics of Renewable Energy at the University Salzburg, 15 July 2002.

⑥ "As Prices Soar, Doomsayers Provoke Debate on Oil's Future", *The Wall Street Journal*, 21 September 2004.

⑦ Michael C. Lynch, "The New Pessimism about Petroleum Resources: Debunking the Hubbert Model (and Hubbert Modelers)", *The Oil and Gas Journal* (14 July 2003).

⑧ Kenneth S. Deffeyes, *Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2001); *Beyond Oil: The View From Hubbert's Peak* (New York: Hill and Wang, 2005).

⑨ Matthew R. Simmons, *Twilight in the Desert: The Coming Saudi Oil Shock and the World Economy* (Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2005).

曾鏡濤 1970年中文大學物理系畢業後，赴美專攻太空及等離子物理學，1974年獲普林斯頓大學博士。從事聚變能源及應用物理研究三十年，現專業寫作，以能源及中東問題為重心，近著有《石油、伊斯蘭與戰爭——波斯灣風雲內幕》(以筆名曾靖韜由香港天地圖書公司出版)。