



現場挖掘出來的油砂瀝青是黑褐色固體塊狀物，利用高溫蒸氣可使瀝青原油和砂石分離。

未來的石油資源 油砂

油砂是一種含有瀝青原油的地下砂石礦體，
全球油砂所含的原油約 5.5 兆桶，但不易開採。
近年來，加拿大亞伯達省研發先進開採油砂技術，
估計未來可在該省採出原油總量約 1,730 至 3,150 億桶，
足以供應全世界使用 6 至 11 年。

林再興
王志文

油砂是什麼

油砂 (oil sand) 又稱焦油砂，或稱瀝青砂，是一種含有瀝

青的砂石礦體，它的成分包含砂石、瀝青、礦物質、黏土、水等。瀝青是重質原油，它的密度比傳統原油高出很多。基本上，

在低油價時期，開採油砂並不符合經濟價值，
但當油價處於高檔時，油砂資源就被視為舒緩石油危機的新選擇。

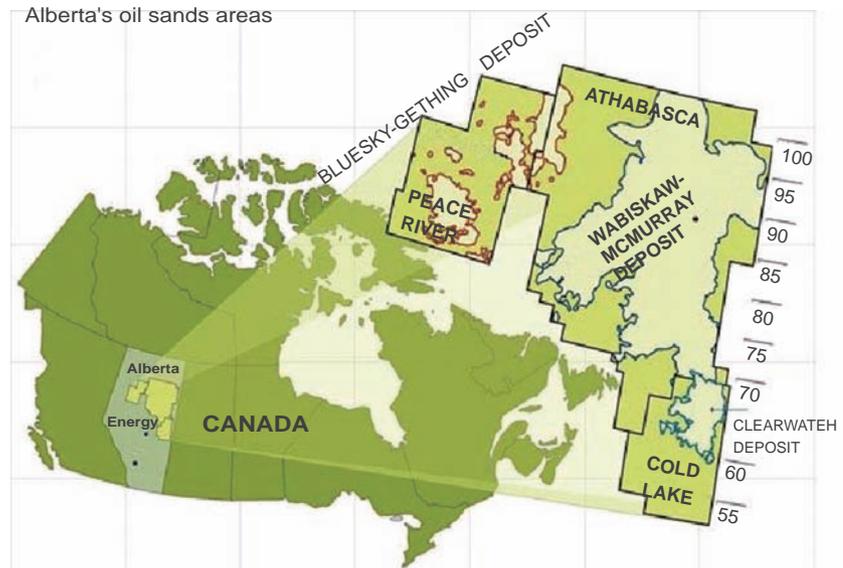
瀝青原油的流動性隨著密度及黏度的增加而減小，但隨溫度的增加會加大。在淺部地層中的瀝青原油（或重油）黏度相當高，流動性很小甚或幾乎不流動。

開採油砂中的瀝青原油時，通常須注入高溫的水蒸氣使地層溫度提高，以降低瀝青原油的黏度，提高流動性以利採收，但這會增加生產成本。在低油價時期，石油每桶在 30 至 40 美元之間，原則上開採油砂並不符合經濟價值。但當油價處於高檔時，開採油砂中的石油資源便有利可圖，而成爲石油公司投資的焦點，油砂資源也被視爲舒緩石油危機的新選擇。

油砂的分布及埋藏量

根據 2007 年美國地質調查所的報告顯示，全世界地層埋藏的油砂總量達 5.5 兆桶。其中，以北美洲，即加拿大、墨西哥與美國的 2.39 兆桶最多，其次是南美洲，如委內瑞拉等的 2.26 兆桶，俄羅斯則有 3,470 億桶，而原屬蘇聯的獨立國協會會員，如哈薩克、喬治亞等有 4,300 億桶。但目前僅加拿大已進行商業性的油砂開採，其餘國家則尚未進行。

北美洲的油砂主要埋藏在加拿大的亞伯達省，它的埋藏量與沙烏地阿拉伯擁有的傳統石油相當。若油砂也能開發生產，加拿



加拿大亞伯達省油砂主要分布於 Peace River、Athabasca 與 Cold Lake 三個礦區，面積廣達 140,000 平方公里，其中的 500 平方公里採用地表挖掘的方式進行開採，其餘礦區使用熱採法。

資料來源：Alberta Energy and Utilities Board，
<http://www.strategywest.com/oilSands.html>

大將成爲僅次於沙烏地阿拉伯的全球第二大石油生產國。以現今的採收技術而言，加拿大亞伯達省預估可開採 1,730 億桶的油砂。若技術持續改進，可開採量將高達 3,150 億桶，若每桶價格以 30 至 40 美元計，它的經濟價值高達 10 兆美元。

加拿大是目前世界上唯一已商業化生產油砂的國家，日產量超過 1 百萬桶，相當於北海油田的日產量。以日產 2 百萬桶計，其油砂的生產期可達 240 年。目前全世界石油的日產量約 8 千萬桶，由此估計加拿大的油砂可以供應全世界 6 年的需求。但若未來油砂開採技術提升，因可採蘊藏量增爲 3,150 億桶，供應期更長達 11 年。

南美洲的油砂主要埋藏於委內瑞拉西北部的歐倫諾可礦區，

委內瑞拉稱油砂內的瀝青原油爲超重油。根據世界能源協會 2006 年的報告指出，委內瑞拉的油砂埋藏量約爲 1.2 兆桶，但目前尚未商業開採。

油砂採收技術

開採油砂的原油需要利用先進的採收技術，一般分爲地表挖掘法與現地熱採法兩種。目前加拿大的油砂開採，大約有 80 % 的產量是使用現地熱採法，20 % 利用地表挖掘法。

地表挖掘法 地表挖掘法適用於開採淺層，深度小於 75 公尺的油砂礦區。加拿大亞伯達省所挖掘出來的油砂中，瀝青原油約占 10 至 12 %，礦物質包括砂和黏土約 80 至 85 %，以及 4 至 6 % 的水。挖掘出來的油砂利用可裝載約 400



圖片來源：Sunoco Energy Inc.

地表挖掘法開採油砂包括開挖、分離、改質與煉製。

公噸的大型卡車運送至清洗廠，利用熱水的溫度分離瀝青原油與砂土後，所得的瀝青原油再加入輕質石油混合稀釋成瀝青混合油，或是把瀝青原油直接運送至改質廠進行油品改質後出售。

每2公噸的油砂僅能提煉出一桶原油，因此一輛滿載的大卡車只能產出2百桶原油。此外，由於加拿大政府對於環境保護相當重視，改質後的殘餘油與礦渣還需要做適當處理與循環利用，對於現地挖掘的礦區也要進行復原與綠化。

現地熱採法 地表挖掘法並不



圖片來源：Sunoco Energy Inc.

地表挖掘法開採油砂現場與大型卡車，每一部大型卡車可裝載約4百噸的油砂。

適合開採埋藏在較深地層的油砂，除了不符合經濟效益外，最主要的原因是會對生態環境造成極大的影響。利用現地熱採法採收深層的油砂前，須先鑽井至含油砂的地層，它的深度介於75公尺至500公尺之間。經由鑽鑿的井，注入蒸氣提高地層溫度以降低瀝青原油的黏度，待原油流動性增加後，再利用幫浦把瀝青原油抽至地表，這種藉注入熱蒸氣以生產原油的方法稱作熱採收法。

目前世界上已商業化的現地熱採收油砂主要方法，包括蒸氣

循環激勵法及蒸氣輔助重力驅油法。在瀝青原油黏度較低的地層，適合使用蒸氣循環激勵法，黏度較高的地層則適合採用蒸氣輔助重力驅油法。

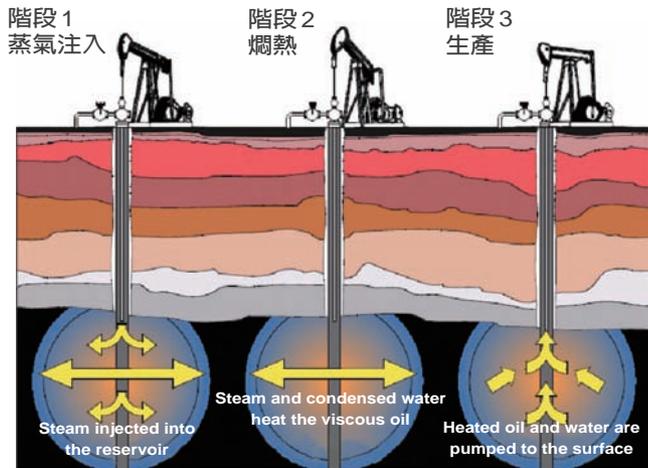
蒸氣循環激勵法又稱作吹氣與吸氣法，這方法包括注氣、燜熱及生產3個階段。第1階段是擠注蒸氣，由井口連續注入高溫蒸氣，所及範圍的地層溫度會升高，因而降低瀝青原油黏度，增加其流動性，期間由幾天到數周。第2階段是關井燜熱，使注入的高溫蒸氣由井孔周圍持續向外擴散，具流動性的瀝青原油範圍會漸漸加大，這階段為期幾天到數周。第3階段是開井生產，抽取具流動性的瀝青原油，期間為幾周到數個月。

蒸氣輔助重力驅油法是先鑽鑿兩口水平井，每口水平井長約500~1,000公尺，而兩口井間的垂直間隔大約是5公尺，位於上

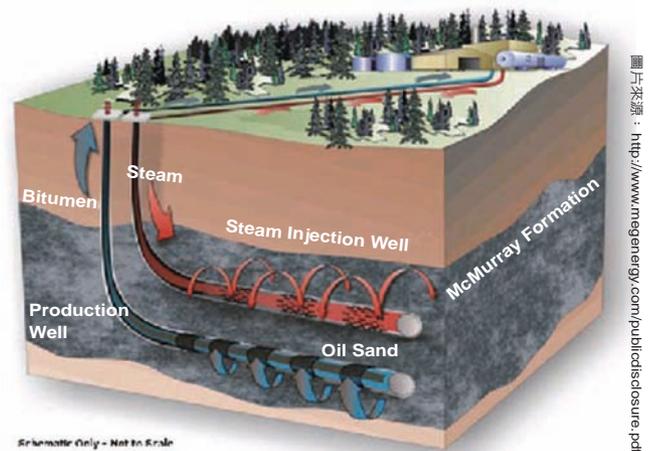


圖片來源：Sunoco Energy Inc.

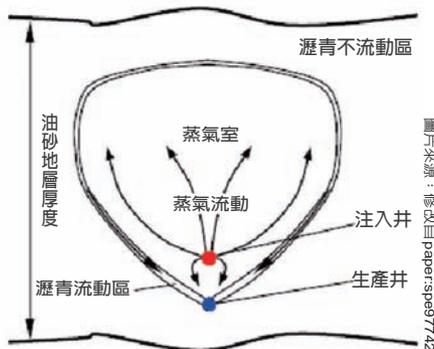
利用熱水與油砂混合成為軟狀油砂，再利用油砂分離槽把油砂中的瀝青原油分離出來。



蒸氣循環激勵法採收油砂示意圖，第 1 階段是把熱蒸氣注入地層中，第 2 階段是關井燻熱使注入的熱量繼續向外擴散而降低油砂黏度，第 3 階段是開井生產原油。



蒸氣輔助重力驅油法採收油砂示意圖，地表設備包括蒸氣機與儲存設備。在油砂地層鑽鑿兩口水平井，蒸氣由上方的注入井（紅色）注入，形成蒸氣室後，重力使瀝青原油往下方生產井（藍色）流動，由生產井採收。



蒸氣室形成示意圖，注入井（紅色）所注入的蒸氣向上流動，熔化的瀝青原油受重力作用而向下流動，再由生產井採收。

方的水平井是蒸氣注入井，下方是生產井。開採油砂時，首先同時自二口水平井注入高溫水蒸氣，逐漸加溫地層，上下兩口井間的瀝青原油會因此漸具流動性，這操作稱為啟動階段。其次是生產階段，這時下方的水平井停止注入水蒸氣，而上方的水平井仍持續注入水蒸氣。

在地層中，因密度較低的水蒸氣會往上方飄移，使得地層上方重質的瀝青原油因升溫而熔化，兩口水平對井周圍的地層因而形成蒸氣室，蒸氣室漸漸向外

擴大。熔化的瀝青原油會因重力作用，沿著蒸氣室邊緣流入下方的生產井而抽取出來。

利用蒸氣循環激勵法或蒸氣輔助重力驅油法採收油砂時，需要用到大量的水，一般大約是 3 至 5 桶的水所生成的蒸氣可以採收 1 桶的瀝青原油。已使用過的熱水可進行初步處理後，再加熱成爲水蒸氣循環利用。另外，已生產的瀝青原油可以直接由管線輸送至附近的改質廠，進行原油的改質或合成原油。

油砂的未來

當國際油價飆漲時，各國都急於尋找各式石油能源或替代能源，由於加拿大政治局勢穩定，而且油砂蘊藏量豐富，因此成爲各國石油公司競相投資的目標。

開採油砂需要特別的技術及程序，利用現地挖掘法開採油砂，大概要 2 噸的油砂才能提煉出 1 桶石油。若利用熱採收法開採，

大約需要注入 3 至 5 桶的水蒸氣，才能生產出 1 桶的瀝青原油。很顯然的，比起從地下直接抽取傳統的石油，生產油砂的價格要高很多。但在 2008 年油價一桶超過 100 美元時，曾有三十多家國際石油公司投入開採加拿大油砂的行列。

爲穩定供應國內能源市場所需，台灣中油公司近年來的轉投資事業是以能源多元化爲目標，包括油砂開採改質、發展生質能源等，也於 2008 年 7 月 17 日與加拿大薩奇萬（Saskatchewan）省印第安自治區的 Indian Oilsands 公司簽署備忘錄，雙方協定未來將研究合作開發油砂的可能性。截至目前爲止，加拿大已開發及生產中的礦區都位於亞伯達省，但相鄰的薩奇萬省也有公司進行探勘，估計蘊藏量達 100 億桶，頗具開發潛力。 □

林再興 王志文

成功大學資源工程學系