



OBJECTIVE ANALYSIS. EFFECTIVE SOLUTIONS.

蘭德公司是一家致力通過研究與分析來改善政策和決策的非營利性研究機構。

作為蘭德公司的一項公共服務，本電子文檔可在 www.rand.org 下載。

[轉至文檔](#) ▾

更多信息

請瀏覽蘭德公司網站 www.rand.org

瀏覽 [文件詳情](#) (英文)

有限電子版發行權

本文件和文中所載商標受後文通知中所提及法律的保護。本電子文檔的知識產權歸蘭德公司所有，不得用於商業用途。未經授權，嚴禁在非蘭德公司所屬網站發佈蘭德公司的電子文檔。蘭德公司的電子文檔受版權法的保護。未經許可，不得複製或以其他形式將蘭德公司的任何研究文獻用於商業用途。有關翻印和鏈接授權的信息，請查詢蘭德公司涉及 [授權許可](#) 的網頁。

證詞

生產替代燃料 的機遇

JAMES T. BARTIS

CT-360/2

This is a Chinese translation (traditional characters) of
"Opportunities for Alternative Fuels Production" (CT-360)

2011 年 5 月

本證詞於 2011 年 5 月 5 日遞呈美國眾議院能源和商務委員會
能源和電力小組委員會

本文係蘭德公司證詞系列的一部分。蘭德公司證詞記錄了蘭德公司合夥人向聯邦、州或地方立法委員會、政府委任的委員會和小組委員會、以及私人核查和監督機構所提交的證詞。蘭德公司是一家非盈利研究機構，致力於提供客觀的分析和有效的解決方案，解決全球公營和私營部門所面臨的挑戰。蘭德公司的出版物未必代表其研究客戶和贊助商的觀點。**RAND®** 是蘭德公司的註冊商標。



2012 年 蘭德公司出版
1776 Main Street, P.O. Box 2138, Santa Monica, CA 90407-2138
1200 South Hayes Street, Arlington, VA 22202-5050
4570 Fifth Avenue, Suite 600, Pittsburgh, PA 15213-2665
公司網址：<http://www.rand.org/>
欲定購蘭德公司文獻或獲取其他信息，請聯繫分銷服務部門：
電話：(310) 451-7002
傳真：(310) 451-6915
電子郵箱：order@rand.org

James T. Bartis¹

蘭德公司

生產替代燃料的機遇²

**致美國眾議院
能源和商務委員會
能源和電力小組委員會**

2011年5月5日

尊敬的主席和各位委員：十分感謝各位邀請我就擴大生產使用運輸替代燃料的機遇發表演講。我是蘭德公司的高級政策研究員，在分析和評估能源技術政策問題方面擁有 30 多年經驗。我在蘭德公司一直積極投身研究工作，研究方向是瞭解使用煤炭、油葉岩和生物質等國內盛產資源，來減少我國對進口石油依賴所涉及的成本與收益。我今天將要論述的成果，來自於美國能源部、國家能源技術實驗室、美國空軍、聯邦航空管理局、國家能源政策委員會、美國商會和國防後動局所發起和資助的研究項目。

今天，我將會論述替代燃料的戰略重要性、我們對短期內生產的最佳候選方案的評估、阻礙替代燃料生產的障礙，以及國會為培育具備商業競爭力、無補貼的國內替代燃料行業而可以採取的手段。我的主要結論如下：首先，美國成功發展具備競爭力的替代燃料行業，將帶來巨大的經濟和國家安全效益。但實現這些效益需要該行業能夠日產數百萬桶燃料。其次，費托法是短期內唯一能大量生產替代燃料的方法，它是一種熱化學轉化法，利用該方法生產的燃料產量可超過當前玉米製酒精燃料的供應水平。籽油和廢油以及動物脂肪等其他短期方法的產生潛力受到極大限制。第三，替代燃料的生產受制於有關全球油價、同類別首個設施的生產成本和監管環境的不確定因素，尤其是溫室氣體排放管理問題方面的不確定因素。最後，應當減少這些不確定因素，獲得高生產潛力替代燃料的早期（雖然不多）商業生產經驗。以此為方向的聯邦項目有望提供最大的戰略效益。不顧能源安全或環境效益，一味支持可再生燃料的聯邦政策，應當予以重新審視。

¹ 本證詞所發表的意見和結論為作者本人的觀點，而不應解釋為代表蘭德公司或其任何研究贊助商的觀點。本著作是蘭德公司證詞系列的一部分。蘭德公司證詞記錄了蘭德公司合夥人向聯邦、州或地方立法委員會；政府委任的委員會和小組委員會；以及私人審查和監督機構所作的證詞。蘭德公司是一家非盈利研究機構，致力於提供客觀的分析和有效的解決方案，解決全球公營和私營部門所面臨的挑戰。蘭德公司的出版物未必代表其研究客戶和贊助商的觀點。

² 本證詞可在 <http://www.rand.org/pubs/testimonies/CT360/> 免費下載。

替代燃料的重要性和價值

美國每天要消耗約 1,900 萬桶液體燃料。要滿足這個需求，美國每天需要進口約 1,000 萬桶石油，其中大部分為原油。全世界每天消耗約 8,500 萬桶石油產品，而美國在消耗和進口總量上均位列第一。目前，進口原油均價每桶超過 105 美元。按此價格計算，美國石油消費者每年須為進口石油花費近 4,000 億美元。考慮到直接和間接的能源支出，全球油價每上漲 10 美元，美國的一般家庭一年將多花費 550 美元以上。

大量證據顯示，美國及其盟友和貿易夥伴對進口石油的依賴會影響國家安全。³ 當石油出口國減少全球石油市場的供應，所有石油消費國將飽受高油價之苦。最為嚴重的，要算因衝突或自然災害導致大範圍、長期的全球石油供應中斷而對經濟產生影響。

利比亞、委內瑞拉和伊朗等部分石油出口國的統治政權，奉行有損美國及其盟友國家安全利益的政策。在油價高企之時，這些國家便會擁有更多資金來購置軍備和自行建立製造軍火的工業基地。在高油價的推動下，可能有更多資金最終流向哈馬斯和真主黨等大型恐怖組織。

不少國家已經在生產替代燃料。例子包括美國用玉米煉製乙醇、巴西用糖煉製乙醇、加拿大用油砂生產合成原油、南非用煤生產液體燃料、卡塔爾和馬來西亞用天然氣生產液體燃料，以及美國和歐洲少量生產生物柴油。在此基礎上擴大替代燃料的生產，將為美國帶來經濟效益和國家安全效益。由於替代燃料可取代原油煉製的產品，提升替代燃料產量有望降低原油需求，壓低全球油價，直接惠及所有石油消費國。全球油價回落和供應多元化，還可減少進口石油對國家安全的不利影響。

³ 《進口石油與美國國家安全》，Crane 等人，加利福尼亞州聖莫尼卡：蘭德公司，MG-838-USCC，2009 年。

美國約有 45% 的運營煉油產能位於龍捲風多發的德克薩斯州、路易斯安那州和密西西比州。因為替代燃料可在美國不同地區生產，發展國內替代燃料行業能提高石油供應鏈的抵抗力，特別是對自然災害的抵抗力。燃料產地的分散化，意味著供應受自然災害影響的比例會降低。因此，我們預期經濟受到的幹擾將會減少，因為其餘供應仍可分配給使用者。

但如果替代燃料要實現這些經濟效益和安全效益，其全球和國內總產量必須能滿足全球和國內液體燃料需求的較大部分。具體來說，我們所需要的替代燃料組合，每天能在美國生產數百萬桶，並且具備競爭力。替代燃料倡議者在描述生產潛力時常用加侖 / 年作為單位。為了比較，100 萬桶 / 天等於 153 億加侖 / 年。

我們研究替代燃料得到的一項重要發現，聚焦於美國巨大的替代燃料資源基礎。全球最大的油葉岩資源礦床，主要位於科羅拉多州西部和猶他州東部，潛在產量約為沙特阿拉伯石油儲量的三倍。我們的煤炭資源基礎也稱冠世界。只需把 15% 的可採煤炭儲量專門用來生產液體燃料，即可產出大約 1,000 億桶液體運輸燃料，如果日產 300 萬桶那麼足夠持續 90 多年。我們的生物質資源基礎也蔚為可觀，可日產 200 多萬桶液體燃料。而長期來看，替代燃料光合生產法的遠景研究，有望進一步提高未來的持續生產水平。

替代燃料的評估

《鄧肯·亨特 2009 財政年度國防授權法》裏有規定要求國防部部長選定一個聯邦資助的研發中心，研究替代燃料在軍用車輛和飛機上的應用。作為對國會的回應，國防部要求蘭德國防研究所（屬於聯邦資助的研發中心）研究替代燃料的軍事應用。我們有關這項研究的報告已在 2011 年 1 月發表並送交國防部部長和國會。⁴ 作為這項研究的一部分，蘭德公司的研究員研究了以特定方法生產替代燃料的機遇，與生產使用其將取代的石油產品的排放相比，有關方法能減少生命週期的溫室氣體排放。

⁴ 《替代燃料的軍事應用》，Bartis 和 Van Bibber，加利福尼亞州聖莫尼卡：蘭德公司，MG969-OSD，2011 年。

由於這項由國會授權的研究項目以軍事應用為方向，我們把精力都集中在可代替航空煤油、柴油和船用餾分燃料的替代燃料，因為它們是軍用飛機、船舶、陸上車輛和相關作戰支援系統所消耗的主要液體燃料。這些燃料通常稱為餾分燃料，以將其與火花點火的汽車所用的汽油區分開來，後者更容易揮發和點燃。

作為一個類別，餾分燃料佔軍用燃料採購量超過 95%，目前平均約為 340,000 桶／天。餾分燃料在民用行業也舉足輕重，主要用作商業運輸燃料，而在美國部分地區是重要的家庭供暖燃料。美國目前的餾分燃料消耗量約為 500 萬桶／天。作為比較，近期的汽油需求幾乎接近 900 萬桶／天。

儘管我們評估替代燃料的重點在於軍事應用，但我們的成果也適用於可取代民用石油餾分燃料的替代燃料。但請注意，作為這項國會授權研究項目的一部分，我們並沒有研究酒精燃料等可代替汽油的替代燃料生產方案。出於安全和操作原因，這些較易揮發的燃料不適合用於軍事。由於蘭德公司並未深入研究酒精燃料，我今天的講話不會涉及這類燃料。

我還會簡單介紹科羅拉多州、猶他州和懷俄明州綠河構造的油葉岩資源。我們的發現源自於蘭德公司 2005 年的油葉岩研究，並有賴我們持續關注這個領域的進展。⁵

費托燃料是短期內以不昂貴、清潔方式生產中間餾分燃料的最佳方案。費托法於二十世紀二十年代在德國發明，它可生產能代替民用和軍用石油燃料的液體替代燃料，包括民用和軍用航空煤油、船用燃料和車用柴油以及家庭供暖燃油。一般來說，汽油是費托燃料生產設施的副產物，從商業角度看，事實證明變量可設置為只生產汽油。這種方法接受不同原料。舉例來說，南非運營的一座商業生產設施使用煤炭，卡塔爾的使用天然氣，而美國的林產品公司正在研究小型煉油設施使用生物質的可行性。最高 50% 的費托航空煤油與石油製航空煤油的混合物，已獲准用於商業飛機。而軍方正在進行的相關研究工作充分顯示，適當配製的費托燃料混合物可同樣安全用於戰術軍事系統。

⁵ 《美國油葉岩開發：前景與政策問題》Bartis 等人 加利福尼亞州聖莫尼卡：蘭德公司 MG 414-NETL 2005 年。

美國所盛產的煤炭和生物質，合起來足以支撐起一個日產數百萬桶費托燃料的替代燃料行業。但是，如要生產費托燃料而不影響國家控制溫室氣體排放的目標，則必須堅持下列原則：

- 對於**生物質製費托燃料**，生物質原料必須以可持續的方式生產；特別是不應採用會因直接或間接改變土地用途而導致大量排放的生產方式。若能實現這個目標，生命週期的溫室氣體排放可接近於零。
- 對於**煤製費托燃料**，費托燃料生產設施的二氧化碳排放必須加以收集和封存。若能實現這個目標，生命週期的排放可與石油燃料相符。
- 對於**煤與生物質混合物製成的費托燃料**，必須收集和封存二氧化碳。生物質也必須以可持續的方式生產。若能實現這個目標，生命週期的排放不及石油燃料的一半。具體來說，以 60/40 煤／生物質混合（按能量）而成的原料所生產的替代燃料，其生命週期的溫室氣體排放接近於零。

上述方法所生產的費托燃料，其生命週期的溫室氣體排放均少於或等於對應的石油燃料，因此根據《2007 年能源獨立和安全法》第 526 條符合政府採購的資格。

考慮到經濟性、技術成熟度、溫室氣體排放和人們對環境的普遍關注，以煤與生物質混合物生產費托燃料，是 2030 年前替代燃料的最佳生產方法，而且產量可滿足軍用和相當部分民用需求。不過，這一技術能否發揮其潛力，主要取決於可否在美國及早取得生產經驗，包括在生產的同時進行碳收集和封存。據我們所知，美國政府機構尚未宣佈推廣提早商用煤與生物質混合物製費托燃料的計劃。

美國或海外是否能以不昂貴、清潔方式大量生產加氫可再生燃油，這在眼下還難以確定。加氫可再生燃油是通過加氫精製動物脂肪或植物油（來自大豆、麻瘋樹或亞麻芥等種子植物）生產的。另外，不少藻類含油量較高，有望成為另一種供加氫精製的油源。在商用航空工業開展的飛行測試中，對半比例的加氫燃油混合物已成功得到驗證。實驗室分析和測試充分顯示，經配製後的加氫可再生燃油可用於國防部的戰術武器系統，技術可行性不成問題。

問題在於生產潛力和商業可行性的不確定因素，特別是價格和生命週期的溫室氣體排放。利用動物脂肪和其他廢油來生產加氫可再生燃油，也許其成本可以負擔且溫室氣體排放不高，但這些脂肪和廢油在傳統上也用於其他非燃料用途，例如動物飼料添加劑和製造肥皂、家用清潔劑、樹脂和塑料。由於這些原料供應有限，必須找到可作這些其他用途的替代品。這些替代品可能會產生額外的溫室氣體排放。動物脂肪和廢油的生產潛力顯然也是一個問題：這些原料的供應可能會使每日產量限制在不高於 30,000 桶。

植物油原料方面，為了讓生命週期溫室氣體排放水平低於石油燃料，用來生產這些油料的作物不能與糧食作物競爭，且對土地使用的直接和間接不利影響必須最小。麻瘋樹和亞麻芥常被說成是符合這些要求的理想植物，但是並無多少證據可以證明這些說法。即使可以確立和核實低溫室氣體排放的生產方法，燃料總產量也可能受到限制。日產僅 200,000 桶（佔美國每日石油消耗量約 1%）就需要佔用面積等同美國現有耕地的 10% 左右。

通過先進方法（例如以藻類或其他微生物為原料的光合生產法）生產可再生油料，不會像籽油那樣受到限制，也不會對土地使用產生不利的變動。但所有這些先進方法均處於開發週期的初步階段。要有把握地估計生產成本和環境影響，巨額研發投資必不可少。

考慮到 (1) 動物脂肪和廢油製燃料的生產潛力受到極大限制，(2) 是否能用種子作物生產價格合理的低排放燃料不甚明確，以及 (3) 藻類／微生物概念仍在開發初期，就滿足未來十年內大部分的民用或軍用燃料需求而言，可再生燃油尚不能作為不會影響氣候的可靠方案。由於生產潛力受到限制，動物脂肪、廢油和籽油所煉製的燃料永遠不可能在更大的國內商業市場上唱主角。雖然藻類／微生物製燃料有發展潛力，但是技術發展的各项挑戰表明，藻類／微生物製燃料在十年之內不會佔據商業燃料市場的較大份額。

美國油葉岩的開發前景仍不確定。高品位的油葉岩大部分位於聯邦土地。六年前，我們發表了一份油葉岩研究報告，當時我們的結論是其開發前景不甚明朗。時至今日，這個結論依然未變。土地管理局批出了少量土地的使用權，以便私營企業能在興建全套商業生產設施前，開展研發工作和證明技術性能。我們認為，儘管私企資助的研究工作仍在繼續，但私營企業尚未準備好投入商業生產。同時，內政部已宣佈將檢討有關開發公共土地油葉岩資源的商業規定。這項檢討的一部分將審視確保批出油葉岩土地使用權可得到公平回報的方針。這部分檢討與蘭德公司在 2007 年向國會提供的建議一致。⁶ 取得進展的關鍵在於制定合適的土地使用權和激勵政策，以此獎勵願意承擔較高風險、投資先行生產設施的私營企業。在流程表現和環境影響方面取得更多信息前，制定全面商業開發的詳細規定並不可取。

替代燃料生產的阻礙因素

當前，美國近乎所有的替代燃料生產活動，均依賴聯邦補貼以及《2007 年能源獨立和安全法》所實施的可再生燃料標準推動。這兩者結合提高了籽油和動物脂肪製柴油的產量，後者的增幅較低。如前面所述，這兩種方法的生產潛力都受到極大限制，而且其生命週期溫室氣體排放可能高於傳統石油產品。此外，將耕地挪作生產能源會對食品價格造成不利影響。從能源政策的角度來看，這兩種方法都成效不大。現行推廣以可再生油料生產柴油的法律，其主要影響是把美國石油消費者的財富轉移到農業去。

⁶ 「油葉岩開發的政策問題」，由 James T. Bartis 於 2007 年 4 月 17 日向眾議院自然資源委員會能源和礦產資源小組委員會所作的證詞。在 <http://www.rand.org/pubs/testimonies/CT279> 可供下載。

通過費托法用生物質作為原料生產的替代燃料，可符合可再生燃料標準的規定。但是，純生物質費托燃料的生產成本高昂，特別是與純煤或煤與生物質混合物原料相比。根據我們的最佳估計，除非全球油價超過每桶 130 美元，否則在無補貼的情況下進行生產並不划算。這高昂的成本來自兩個因素。一是生物質的運輸成本一般高於煤炭。二是以純生物質為原料的費托燃料生產設施的規模不能太大（最多日產 5,000 桶燃料），因為設施附近合理範圍內可收穫的生物質有限。憑藉現有技術，此類小型費托燃料生產設施遠不及實現規模經濟所需要的規模。

我們估計，使用煤或煤與生物質混合物生產費托燃料的成本更低，兩者分別在全球油價超過每桶 70 美元和 100 美元時即具備競爭力。然而根據現行法律，這種替代燃料並不符合補貼資格或可再生燃料標準的規定。

有三大不確定因素仍然妨礙私企投資美國的煤製液體燃料以及煤／生物質製液體燃料生產設施。

- 有關生產成本的不確定因素
- 有關如何和是否控制溫室氣體排放的不確定因素
- 有關未來全球油價走勢的不確定因素。

其中，最大的阻礙看來是有關未來全球油價走勢的不確定因素。如果投資者深信長期原油均價將保持高於每桶 100 美元，煤製液體燃料行業甚至煤／生物質製液體燃料行業會自行興起，而不需要政府政策的支持。但是鑒於中短期內油價可能大跌，投資美國首座費托生產設施的財務風險不可小覷。

擴大無補貼替代燃料生產

現行的可再生燃料標準足以推廣已經過市場驗證的幾種替代燃料生產方式，包括玉米製乙醇與籽油和廢油生產柴油替代品。繼續提供現有補貼所帶來的能源安全效益值得商榷。

如先前所述，替代燃料「可以再生」，未必表示它有利於減少石油進口或溫室氣體排放。多採煤無疑會引起安全、健康和環境問題，而不當生產生物質也可導致環境受到嚴重的負面影響，包括損失生物多樣性、水資源用途轉變和水污染。在工人健康安全方面，農業位居危害最大行業之列。有見及此，我們建議國會在制定新的能源法律框架時，避免設立規定資源的目標，而應側重理想的結果，例如取代傳統石油和減少生命週期溫室氣體排放。

以上論述適用於經過商業驗證的技術。對於能在美國首次商業化生產的替代燃料技術，出台聯邦激勵措施可能是個可取的做法。目前，最佳的先行生產設施方案是費托生產設施，特別是接受煤與生物質混合物原料的設施。未來，使用現場技術的油葉岩設施以及先進的生物質生產廠，也可用於先行生產。

在蘭德公司，我們研究了聯邦政府如何能鼓勵有能力的公司及早參與替代燃料生產。⁷ 答案是制定一套激勵方案，以符合成本效益的方式把部分投資風險轉移給聯邦政府。特別是，我們發現由價格保底、投資獎勵和收入分成協議組成的均衡方案，十分適合這個目標。稅收抵免等投資激勵是符合成本效益，可提高私企稅後內部回報率的手段。保底價格可為將來油價偏低的情況提供保障。而收入分成協議則通過將來油價走高時向政府付款，來補償政府所承擔的成本和風險。

⁷ 《用煤生產液體燃料：前景與政策問題》，Bartis、Camm 和 Ortiz，加利福尼亞州聖莫尼卡：蘭德公司，MG-754-AF/NETL。

我們還發現，貸款擔保能大大鼓勵私企投資。但是，它們只能通過把實際違約風險從私營貸款人轉給政府的方式，鼓勵投資者獲得早期替代燃料生產經驗。基於其性質，貸款擔保對私企參與的作用越大，政府為之承擔的預期成本就越高。另外，貸款擔保鼓勵私人投資者提高債務比例，這會增加違約風險，進而提高政府提供擔保的預期成本。我們強烈建議政府認識到此類擔保可對納稅人造成的成本，以及政府監督擔保貸款對於限制有關成本的效果。

最後，國會應不遺餘力地支持遠景研究，這是很重要的。雖然遠景研究的風險較高，但能為通過光合方法持續生產替代燃料打下基礎。

在完結前，我要稱讚委員會研究替代燃料這一重要課題。美國擁有許多加強能源安全的機遇，包括可再生資源、煤炭、油葉岩、改善能效和財政監管措施。但要發掘我國潛能，我們需要出台更注重目標的法律，放鬆對其實現方式的管制。