



## OBJECTIVE ANALYSIS. EFFECTIVE SOLUTIONS.

兰德公司是一家致力通过研究与分析来改善政策和决策的非营利性研究机构。

作为兰德公司的一项公共服务，本电子文档可在 [www.rand.org](http://www.rand.org) 下载。

[转至文档](#) ▾

更多信息

请浏览兰德公司网站 [www.rand.org](http://www.rand.org)

浏览 [文件详情](#)（英文）

### 有限电子版发行权

本文件和文中所载商标受后文通知中所提及法律的保护。本电子文档的知识产权归兰德公司所有，不得用于商业用途。未经授权，严禁在非兰德公司所属网站发布兰德公司的电子文档。兰德公司的电子文档受版权法的保护。未经许可，不得复制或以其他形式将兰德公司的任何研究文献用于商业用途。有关翻印和链接授权的信息，请查询兰德公司涉及 [授权许可](#) 的网页。

# 证词

---

## 生产替代燃料 的机遇

JAMES T. BARTIS

CT-360/1

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

2011 年 5 月

本证词于 2011 年 5 月 5 日递呈美国众议院能源和商务委员会  
能源和电力小组委员会

本文系兰德公司证词系列的一部分。兰德公司证词记录了兰德公司合伙人向联邦、州或地方立法委员会、政府委任的委员会和小组委员会、以及私人核查和监督机构所提交的证词。兰德公司是一家非盈利研究机构，致力于提供客观的分析和有效的解决方案，解决全球公营和私营部门所面临的挑战。兰德公司的出版物未必代表其研究客户和赞助商的观点。RAND® 是兰德公司的注册商标。



2012 年 兰德公司出版  
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  
公司网址: <http://www.rand.org/>  
欲订购兰德公司文献或获取其他信息, 请联系分销服务部门:  
电话: (310) 451-7002  
传真: (310) 451-6915  
电子邮箱: [order@rand.org](mailto:order@rand.org)

**James T. Bartis<sup>1</sup>**  
**兰德公司**

**生产替代燃料的机遇<sup>2</sup>**

**致美国众议院  
能源和商务委员会  
能源和电力小组委员会**

**2011年5月5日**

尊敬的主席和各位委员：十分感谢各位邀请我就扩大生产使用运输替代燃料的机遇发表演讲。我是兰德公司的高级政策研究员，在分析和评估能源技术政策问题方面拥有30多年经验。我在兰德公司一直积极投身研究工作，研究方向是了解使用煤炭、油页岩和生物质等国内盛产资源，来减少我国对进口石油依赖所涉及的成本与收益。我今天将要论述的成果，来自于美国能源部国家能源技术实验室、美国空军、联邦航空管理局、国家能源政策委员会、美国商会和国防后勤局所发起和资助的研究项目。

今天，我将会论述替代燃料的战略重要性、我们对短期内生产的最佳候选方案的评估、阻碍替代燃料生产的障碍以及国会为培育具备商业竞争力无补贴的国内替代燃料行业而可以采取的手段。我的主要结论如下：首先，美国成功发展具备竞争力的替代燃料行业，将带来巨大的经济和国家安全效益。但实现这些效益需要该行业能够日产数百万桶燃料。其次，费托法是短期内唯一能大量生产替代燃料的方法，它是一种热化学转化法，利用该方法生产的燃料产量可超过当前玉米制酒精燃料的供应水平。籽油和废油以及动物脂肪等其他短期方法的产生潜力受到极大限制。第三，替代燃料的生产受制于有关全球油价、同类别首个设施的生产成本和监管环境的不确定因素，尤其是温室气体排放管理问题方面的不确定因素。最后，应当减少这些不确定因素，获得高生产潜力替代燃料的早期(虽然不多)商业生产经验。以此为方向的联邦项目有望提供最大的战略效益。不顾能源安全或环境效益，一味支持可再生燃料的联邦政策，应当予以重新审视。

---

<sup>1</sup> 本证词所发表的意见和结论为作者本人的观点，而不应解释为代表兰德公司或其任何研究赞助商的观点。本著作是兰德公司证词系列的一部分。兰德公司证词记录了兰德公司合伙人向联邦、州或地方立法委员会；政府委任的委员会和小组委员会；以及私人审查和监督机构所作的证词。兰德公司是一家非盈利研究机构，致力于提供客观的分析和有效的解决方案，解决全球公营和私营部门所面临的挑战。兰德公司的出版物未必代表其研究客户和赞助商的观点。

<sup>2</sup> 本证词可在 <http://www.rand.org/pubs/testimonies/CT360/> 免费下载。

## 替代燃料的重要性和价值

美国每天要消耗约 1,900 万桶液体燃料。要满足这个需求，美国每天需要进口约 1,000 万桶石油，其中大部分为原油。全世界每天消耗约 8,500 万桶石油产品，而美国在消耗和进口总量上均位列第一。目前，进口原油均价每桶超过 105 美元。按此价格计算，美国石油消费者每年须为进口石油花费近 4,000 亿美元。考虑到直接和间接的能源支出，全球油价每上涨 10 美元，美国的普通家庭一年将多花费 550 美元以上。

大量证据显示，美国及其盟友和贸易伙伴对进口石油的依赖会影响国家安全。<sup>3</sup> 当石油出口国减少全球石油市场的供应，所有石油消费国将饱受高油价之苦。最为严重的，要算因冲突或自然灾害导致大范围、长期的全球石油供应中断而对经济产生影响。

利比亚、委内瑞拉和伊朗等部分石油出口国的统治政权，奉行有损美国及其盟友国家安全利益的政策。在油价高企之时，这些国家便会拥有更多资金来购置军备和自行建立制造军火的工业基地。在高油价的推动下，可能有更多资金最终流向哈马斯和真主党等大型恐怖组织。

不少国家已经在生产替代燃料。例子包括美国用玉米炼制乙醇、巴西用糖炼制乙醇、加拿大用油砂生产合成原油、南非用煤生产液体燃料、卡塔尔和马来西亚用天然气生产液体燃料，以及美国和欧洲小量生产生物柴油。在此基础上扩大替代燃料的生产，将为美国带来经济效益和国家安全效益。由于替代燃料可取代原油炼制的产品，提升替代燃料产量有望降低原油需求，压低全球油价，直接惠及所有石油消费国。全球油价回落和供应多元化，还可减少进口石油对国家安全的不良影响。

---

<sup>3</sup> 《进口石油与美国国家安全》，Crane 等人，加利福尼亚州圣莫尼卡：兰德公司，MG-838-USCC，2009 年。

美国约有 45% 的运营炼油产能位于龙卷风多发的德克萨斯州、路易斯安那州和密西西比州。因为替代燃料可在美国不同地区生产，发展国内替代燃料行业能提高石油供应链的抵抗力，特别是对自然灾害的抵抗力。燃料产地的分散化，意味着供应受自然灾害影响的比例会降低。因此，我们预期经济受到的干扰将会减少，因为其余供应仍可分配给使用者。

但如果替代燃料要实现这些经济效益和安全效益，其全球和国内总产量必须能满足全球和国内液体燃料需求的较大部分。具体来说，我们所需要的替代燃料组合，每天能在美国生产数百万桶，并且具备竞争力。替代燃料倡议者在描述生产潜力时常用加仑 / 年作为单位。为了比较，100 万桶 / 天等于 153 亿加仑 / 年。

我们研究替代燃料得到的一项重要发现，聚焦于美国巨大的替代燃料资源基础。全球最大的油页岩资源矿床，主要位于科罗拉多州西部和犹他州东部，潜在产量约为沙特阿拉伯石油储量的三倍。我们的煤炭资源基础也称冠世界。只需把 15% 的可采煤炭储量专门用来生产液体燃料，即可产出大约 1,000 亿桶液体运输燃料，如果日产 300 万桶那么足够持续 90 多年。我们的生物质资源基础也蔚为可观，可日产 200 多万桶液体燃料。而长期来看，替代燃料光合生产法的远景研究，有望进一步提高未来的持续生产水平。

## 替代燃料的评估

《邓肯·亨特 2009 财政年度国防授权法》里有规定要求国防部部长选定一个联邦资助的研发中心，研究替代燃料在军用车辆和飞机上的应用。作为对国会的回应，国防部要求兰德国防研究所（属于联邦资助的研发中心）研究替代燃料的军事应用。我们有关这项研究的报告已在 2011 年 1 月发表并送交国防部部长和国会。<sup>4</sup> 作为这项研究的一部分，兰德公司的研究员研究了以特定方法生产替代燃料的机遇，与生产使用其将取代的石油产品的排放相比，有关方法能减少生命周期的温室气体排放。

---

<sup>4</sup> 《替代燃料的军事应用》，Bartis 和 Van Bibber, 加利福尼亚州圣莫尼卡: 兰德公司, MG969-OSD, 2011 年。

由于这项由国会授权的研究项目以军事应用为方向，我们把精力都集中在可代替航空煤油、柴油和船用馏分燃料的替代燃料，因为它们是军用飞机、船舶、陆上车辆和相关作战支援系统所消耗的主要液体燃料。这些燃料通常称为馏分燃料，以将其与火花点火的汽车所用的汽油区分开来，后者更容易挥发和点燃。

作为一个类别，馏分燃料占军用燃料采购量超过 95%，目前平均约为 340,000 桶 / 天。馏分燃料在民用行业也举足轻重，主要用作商业运输燃料，而在美国部分地区是重要的家庭供暖燃料。美国目前的馏分燃料消耗量约为 500 万桶 / 天。作为比较，近期的汽油需求几乎接近 900 万桶 / 天。

尽管我们评估替代燃料的重点在于军事应用，但我们的成果也适用于可取代民用石油馏分燃料的替代燃料。但请注意，作为这项国会授权研究项目的一部分，我们并没有研究酒精燃料等可代替汽油的替代燃料生产方案。出于安全和操作原因，这些较易挥发的燃料不适合用于军事。由于兰德公司并未深入研究酒精燃料，我今天的讲话不会涉及这类燃料。

我还会简单介绍科罗拉多州、犹他州和怀俄明州绿河构造的油页岩资源。我们的发现源自于兰德公司 2005 年的油页岩研究，并有赖我们持续关注这个领域的进展。<sup>5</sup>

**费托燃料是短期内以不昂贵、清洁方式生产中间馏分燃料的最佳方案。**费托法于二十世纪二十年代在德国发明，它可生产能代替民用和军用石油燃料的液体替代燃料，包括民用和军用航空煤油、船用燃料和车用柴油以及家庭供暖燃油。一般来说，汽油是费托燃料生产设施的副产物，从商业角度看，事实证明变量可设置为只生产汽油。这种方法接受不同原料。举例来说，南非运营的一座商业生产设施使用煤炭，卡塔尔的使用天然气，而美国的林产品公司正在研究小型炼油设施使用生物质的可行性。最高 50% 的费托航空煤油与石油制航空煤油的混合物，已获准用于商业飞机。而军方正在进行的相关研究工作充分显示，适当配制的费托燃料混合物可同样安全用于战术军事系统。

---

<sup>5</sup> 《美国油页岩开发：前景与政策问题》，Bartis 等人，加利福尼亚州圣莫尼卡：兰德公司，MG 414-NETL，2005 年。

美国所盛产的煤炭和生物质，合起来足以支撑起一个日产数百万桶费托燃料的替代燃料行业。但是，如要生产费托燃料而不影响国家控制温室气体排放的目标，则必须坚持下列原则：

- 对于**生物质制费托燃料**，生物质原料必须以可持续的方式生产；特别是不应采用会因直接或间接改变土地用途而导致大量排放的生产方式。若能实现这个目标，生命周期的温室气体排放可接近于零。
- 对于**煤制费托燃料**，费托燃料生产设施的二氧化碳排放必须加以收集和封存。若能实现这个目标，生命周期的排放可与石油燃料相符。
- 对于**煤与生物质混合物制成的费托燃料**，必须收集和封存二氧化碳。生物质也必须以可持续的方式生产。若能实现这个目标，生命周期的排放不及石油燃料的一半。具体来说，以 60/40 煤 / 生物质混合（按能量）而成的原料所生产的替代燃料，其生命周期的温室气体排放接近于零。

上述方法所生产的费托燃料，其生命周期的温室气体排放均少于或等于对应的石油燃料，因此根据《2007 年能源独立和安全法》第 526 条符合政府采购的资格。

考虑到经济性、技术成熟度、温室气体排放和人们对环境的普遍关注，以煤与生物质混合物生产费托燃料，是 2030 年前替代燃料的最佳生产方法，而且产量可满足军用和相当部分民用需求。不过，这一技术能否发挥其潜力，主要取决于可否在美国及早取得生产经验，包括在生产的同时进行碳收集和封存。据我们所知，美国政府机构尚未宣布推广提早商用煤与生物质混合物制费托燃料的计划。



**美国或海外是否能以不昂贵、清洁方式大量生产加氢可再生燃油，这在眼下还难以确定。**加氢可再生燃油是通过加氢精制动物脂肪或植物油（来自大豆、麻疯树或亚麻芥等种子植物）生产的。另外，不少藻类含油量较高，有望成为另一种供加氢精制的油源。在商用航空工业开展的飞行测试中，对半比例的加氢燃油混合物已成功得到验证。实验室分析和测试充分显示，经配制后的加氢可再生燃油可用于国防部的战术武器系统，技术可行性不成问题。

问题在于生产潜力和商业可行性的不确定因素，特别是价格和生命周期的温室气体排放。利用动物脂肪和其他废油来生产加氢可再生燃油，也许其成本可以负担且温室气体排放不高，但这些脂肪和废油在传统上也用于其他非燃料用途，例如动物饲料添加剂和制造肥皂、家用清洁剂、树脂和塑料。由于这些原料供应有限，必须找到可作这些其他用途的替代品。这些替代品可能会产生额外的温室气体排放。动物脂肪和废油的生产潜力显然也是一个问题：这些原料的供应可能会使每日产量限制在不高于 30,000 桶。

植物油原料方面，为了让生命周期温室气体排放水平低于石油燃料，用来生产这些油料的作物不能与粮食作物竞争，且对土地使用的直接和间接不利影响必须最小。麻疯树和亚麻芥常被说成是符合这些要求的理想植物，但是并无多少证据可以证明这些说法。即使可以确立和核实低温室气体排放的生产方法，燃料总产量也可能受到限制。日产仅 200,000 桶（占美国每日石油消耗量约 1%）就需要占用面积等同美国现有耕地的 10% 左右。

通过先进方法（例如以藻类或其他微生物为原料的光合生产法）生产可再生油料，不会像籽油那样受到限制，也不会对土地使用产生不利的变动。但所有这些先进方法均处于开发周期的初步阶段。要有把握地估计生产成本和环境影响，巨额研发投入必不可少。

考虑到 (1) 动物脂肪和废油制燃料的生产潜力受到极大限制, (2) 是否能用种子作物生产价格合理的低排放燃料不甚明确, 以及 (3) 藻类 / 微生物概念仍在开发初期, 就满足未来十年内大部分的民用或军用燃料需求而言, 可再生燃油尚不能作为不会影响气候的可靠方案。由于生产潜力受到限制, 动物脂肪、废油和籽油所炼制的燃料永远不可能在更大的国内商业市场上唱主角。虽然藻类 / 微生物制燃料有发展潜力, 但是技术发展的各项挑战表明, 藻类 / 微生物制燃料在十年之内不会占据商业燃料市场的较大份额。

**美国油页岩的开发前景仍不确定。** 高品位的油页岩大部分位于联邦土地。六年前, 我们发表了一份油页岩研究报告, 当时我们的结论是其开发前景不甚明朗。时至今日, 这个结论依然未变。土地管理局批出了少量土地的使用权, 以便私营企业能在兴建全套商业生产设施前, 开展研发工作和证明技术性能。我们认为, 尽管私企资助的研究工作仍在继续, 但私营企业尚未准备好投入商业生产。同时, 内政部已宣布将检讨有关开发公共土地油页岩资源的商业规定。这项检讨的一部分将审视确保批出油页岩土地使用权可得到公平回报的方针。这部分检讨与兰 公司在 2007 年向国会提供的建议一致。<sup>6</sup> 取得进展的关键在于制定合适的土地使用权和激励政策, 以此奖励愿意承担较高风险、投资先行生产设施的私营企业。在流程表现和环境影响方面取得更多信息前, 制定全面商业开发的详细规定并不可取。

### **替代燃料生产的阻碍因素**

当前, 美国近乎所有的替代燃料生产活动, 均依赖联邦补贴以及《2007 年能源独立和安全法》所实施的可再生燃料标准推动。这两者结合提高了籽油和动物脂肪制柴油的产量, 后者的增幅较低。如前面所述, 这两种方法的生产潜力都受到极大限制, 而且其生命周期温室气体排放可能高于传统石油产品。此外, 将耕地挪作生产能源会对食品价格造成不利影响。从能源政策的角度来看, 这两种方法都成效不大。现行推广以可再生油料生产柴油的法律, 其主要影响是把美国石油消费者的财富转移到农业去。

---

<sup>6</sup> “油页岩开发的政策问题”, 由 James T. Bartis 于 2007 年 4 月 17 日向众议院自然资源委员会能源和矿产资源小组委员会所作的证词。在 <http://www.rand.org/pubs/testimonies/CT279> 可供下载。

通过费托法用生物质作为原料生产的替代燃料，可符合可再生燃料标准的规定。但是，纯生物质费托燃料的生产成本高昂，特别是与纯煤或煤与生物质混合物原料相比。根据我们的最佳估计，除非全球油价超过每桶 130 美元，否则在无补贴的情况下进行生产并不划算。这高昂的成本来自两个因素。一是生物质的运输成本一般高于煤炭。二是以纯生物质为原料的费托燃料生产设施的规模不能太大（最多日产 5,000 桶燃料），因为设施附近合理范围内可收获的生物质有限。凭借现有技术，此类小型费托燃料生产设施远不及实现规模经济所需要的规模。

我们估计，使用煤或煤与生物质混合物生产费托燃料的成本更低，两者分别在全球油价超过每桶 70 美元和 100 美元时即具备竞争力。然而根据现行法律，这种替代燃料并不符合补贴资格或可再生燃料标准的规定。

有三大不确定因素仍然妨碍私企投资美国的煤制液体燃料以及煤 / 生物质制液体燃料生产设施。

- 有关生产成本的不确定因素
- 有关如何和是否控制温室气体排放的不确定因素
- 有关未来全球油价走势的不确定因素。

其中，最大的阻碍看来是有关未来全球油价走势的不确定因素。如果投资者深信长期原油均价将保持高于每桶 100 美元，煤制液体燃料行业甚至煤 / 生物质制液体燃料行业会自行兴起，而不需要政府政策的支持。但是鉴于中短期内油价可能大跌，投资美国首座费托生产设施的财务风险不可小觑。

## 扩大无补贴替代燃料生产

现行的可再生燃料标准足以推广已经过市场验证的几种替代燃料生产方式，包括玉米制乙醇与籽油和废油生产柴油替代品。继续提供现有补贴所带来的能源安全效益值得商榷。

如先前所述，替代燃料“可以再生”，未必表示它有利于减少石油进口或温室气体排放。多采煤无疑会引起安全、健康和环境问题，而不当生产生物质也可导致环境受到严重的负面影响，包括损失生物多样性、水资源用途转变和水污染。在工人健康安全方面，农业位居危害最大行业之列。有见及此，我们建议国会在制定新的能源法律框架时，避免设立规定资源的目标，而应侧重理想的结果，例如取代传统石油和减少生命周期温室气体排放。

以上论述适用于经过商业验证的技术。对于能在美国首次商业化生产的替代燃料技术，出台联邦激励措施可能是个可取的做法。目前，最佳的先行生产设施方案是费托生产设施，特别是接受煤与生物质混合物原料的设施。未来，使用现场技术的油页岩设施以及先进的生物质生产厂，也可用于先行生产。

在兰德公司，我们研究了联邦政府如何能鼓励有能力的公司及早参与替代燃料生产。<sup>7</sup> 答案是制定一套激励方案，以符合成本效益的方式把部分投资风险转移给联邦政府。特别是，我们发现由价格保底、投资奖励和收入分成协议组成的均衡方案，十分适合这个目标。税收抵免等投资激励是符合成本效益，可提高私企税后内部回报率的手段。保底价格可为将来油价偏低的情况提供保障。而收入分成协议则通过将来油价走高时向政府付款，来补偿政府所承担的成本和风险。

---

<sup>7</sup> 《用煤生产液体燃料：前景与政策问题》，Bartis、Camm 和 Ortiz，加利福尼亚州圣莫尼卡：兰德公司，MG-754-AF/NETL。

我们还发现，贷款担保能大大鼓励私企投资。但是，它们只能通过把实际违约风险从私营贷款人转给政府的方式，鼓励投资者获得早期替代燃料生产经验。基于其性质，贷款担保对私企参与的作用越大，政府为之承担的预期成本就越高。另外，贷款担保鼓励私人投资者提高债务比例，这会增加违约风险，进而提高政府提供担保的预期成本。我们强烈建议政府认识到此类担保可对纳税人造成的成本，以及政府监督担保贷款对于限制有关成本的效果。

最后，国会应不遗余力地支持远景研究，这是很重要的。虽然远景研究的风险较高，但能为通过光合方法持续生产替代燃料打下基础。

在完结前，我要称赞委员会研究替代燃料这一重要课题。美国拥有许多加强能源安全的机遇，包括可再生资源、煤炭、油页岩、改善能效和财政监管措施。但要发掘我国潜能，我们需要出台更注重目标的法律，放松对其实现方式的管制。