

## 天然气合成油技术

迄今为止，较为实用的天然气运输方法仅有两种：一种为以气态方式直接通过管道运输，另一种方法则将天然气冷冻，以液化天然气（LNG）方式运输。应用天然气合成油技术，通过化学反应将天然气转化为清洁的液态产品，可以很容易地将天然气运至目标市场，这一方法不失为天然气运输的又一选择。



▲位于南非 Secunda 的 Sasol 合成燃料厂。Sasol 拥有两家类似工厂，应用天然气合成油（GTL）技术将煤制气转化成液态燃料。（Sasol 有限公司图片版权所有。）

世界上究竟有多少天然气资源？仅用一个“大”字实在难以详尽描述。据估计，世界探明天然气储量约为5500万亿立方英尺(156万亿米<sup>3</sup>)<sup>[1]</sup>；连同可能储量共计约为13000万亿立方英尺(372万亿米<sup>3</sup>)<sup>[2]</sup>；如果再加上煤层气等非常规资源，以及据推测蕴藏量极为丰富的天然气水合物等的储量，这一数字更是大得惊人，达到700000万亿立方英尺(20000万亿米<sup>3</sup>)<sup>[3]</sup>。

在探明和可能的常规天然气储量中，高达80%的天然气资源远离市场，无法通过管道运输<sup>[4]</sup>。卡塔尔、伊朗、阿联酋、俄罗斯、沙特阿拉伯、加拿大和美国的阿拉斯加等地均有大量的这种天然气资源，有待于开发出新的运输手段后将其运至目标市场。一些边远地区的天然气开采出来以后，先通过管道运至液化天然气（LNG）厂，在此被冷却到-162°C (-259°F)，然后用昂贵

的隔热、加压LNG槽船运至接收终站，液态的LNG在终站被还原成气态后，用于发电或通过管道配送至终端用户，用于厨用、取暖或工业用途。

用LNG这种方法运输天然气的经济性主要依赖于以下几点：较低的天然气进价、液化和冷凝设施的安装及操作成本低、用于运输的特制槽船运费不太高，以及终端市场的售价较高等。



▲位于马来西亚Bintulu的壳牌公司GTL厂于1993年投产。该厂利用壳牌专利工艺技术，将从沙捞越管输而来的天然气转化为清洁柴油、煤油和石脑油，日产能为12500桶（1990立方米/日）。（承蒙壳牌新加坡化学公司提供图片。）

目前，一种名为天然气合成油（GTL），即将气态烃转化为液态烃的技术正悄然兴起，并逐渐改变世界天然气的运输及使用方式。许多大型油气公司正在这一前景广阔的业务领域开发新技术。一些公司已经建立生产厂并投入商业使用；一些公司则已经着手建立中试装置。本文将着重介绍各公司正在使用的GTL工艺，并探讨其潜在的经济效益。

## GTL 工艺溯源

通过化学反应将天然气转化为液态烃的GTL工艺并非一项新发明。第一次世界大战爆发后，由于受到经济制裁，德国科学家开始探索利用本国丰富的煤炭资源合成液态石油的新方法。由位于德国Mulheim的Kaiser-Wilhelm煤研究院的科学家Franz Fischer和Hans Tropsch于1923年开发的费-托工艺便是一个成功的范例。该工艺将从加热的煤得来的甲烷转化为高质量的柴油、润滑油和蜡（请参见“天然气合成油化学”，第34页）。所得柴油可以清洁燃烧，排放物中几乎不含硫和颗粒物。到1945年，德国的化学公司已经建造了九座费-托合成厂，生产合成液态燃料<sup>[5]</sup>。

第二次世界大战以后，一些国家开始就基于费-托技术生产合成燃料进行调查研究。德国的工厂被分拆并移至俄罗斯，并在此奠定了生产蜡和化学品的工业基础<sup>[6]</sup>。考虑到未来油气进口的安全问题，美国和南非开始从多方面评估费-托反应的效率问题，如使用不同的温度和压力、使用铁、钴、镍等不同催化剂、用不同的方法使气、液通过反应器等等。1953年，南非建设的第一个生产厂投入使用，从此以后，主要由于受石油进口限制，南非36%的液态燃料需求通过费-托法生产的燃料来满足<sup>[7]</sup>。

如今，南非已经成为世界上最大的GTL燃料生产国。作为该国的合成燃料生产公司，萨索尔Sasol公司在南非约翰内斯堡附近的两家大型生产厂主要加工煤制气，日产合成油达16万桶（2.54万立方米/日）（前一页）。（有关煤层气更多的信息，请参见“煤层天然气的开采”，第8页）。PetroSA公司利用从莫桑比克通过管道运送的常规天然气在另外一个生产厂日产合成油3万桶/日（4800立方米/日）<sup>[8]</sup>。正是由于GTL技术具有可以将常规天然气转变成易于运输的液态烃这一特点，越来

越多的国际大型油气公司开始对开发天然气合成油技术产生浓厚兴趣。

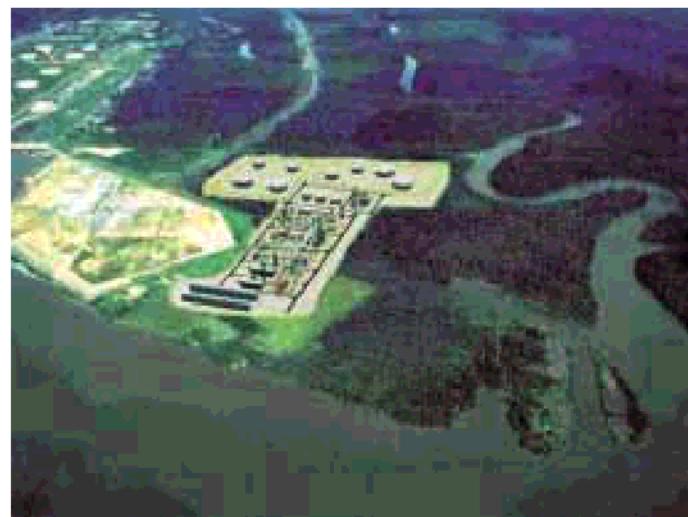
## GTL 技术得到广泛关注

壳牌石油公司是迄今为止除南非公司之外唯一拥有GTL生产厂并投入商业运营的公司。经过近20年的研究，壳牌公司于1993年在马来西亚的Bintulu建设了第一家合成油厂（左图）。该厂的天然气来自沙捞越海上气田，利用壳牌公司的中间馏分合成（Shell Middle Distillate Synthesis, SDMS）专利工艺技术，日产1.25万桶（1990立方米/日）清洁柴油、煤油和石脑油<sup>[9]</sup>。壳牌公司非常清楚在Bintulu的GTL厂可能无利可图，但承诺该厂进行试运转，希望借此确立在GTL技术方面的领先地位。目前，壳牌Bintulu GTL厂生产的合成柴油在泰国曼谷的加油站销售。2003年夏季，大众公司开始在德国柏林进行为期5个月的壳牌GTL合成燃料试验应用，并计划在美国加利福尼亚、英国伦敦和日本东京进行进一步试验应用<sup>[10]</sup>。

1. BP Statistical Review of World Energy 2003. 英国伦敦：BP（2003年6月）：20。
2. 美国能源信息管理署，国际能源展望，报告编号DOE/EIA-0484（2003年5月1日），[http://www.eia.doe.gov/oiaf/leo/nat\\_gas.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/leo/nat_gas.html)
3. Kvienvolden K: “Gas Hydrates-Geological Perspective and Global Change,” *Reviews of Geophysics*, 31卷, 第2期 (1993年5月) : 173-187。
4. 边际天然气资源量估计在探明和潜在天然气储量的30%到80%之间。其中一项估算结果请参见：Thackeray F和Leckie G: “Stranded Gas: A Vital Resource,” *Petroleum Economist*(2002年5月)10。
5. Stranges AN: “Germany’s Synthetic Fuel Industry, 1927-45,” 发表在美国化学工程师学会春季会议上，美国路易斯安那州新奥尔良，2003年4月2日。
6. Jager B: “The Development of Commercial Fischer-Tropsch Reactors,” 发表在美国化学工程师学会春季会议上，美国路易斯安那州新奥尔良，2003年4月2日。
7. “Energy Industry Critical to SA,” [http://www.safrica.info/doing\\_business/economy/key\\_sectors/energy.htm](http://www.safrica.info/doing_business/economy/key_sectors/energy.htm)
8. Cottrell A: “Gas-to-Liquids Makes Move to Step Up a League: World-Scale Proposals Start to Drive Forward,” *Upstream* (2002年3月8日) : 26。
9. “Stepping on the Gas,” 壳牌化学品杂志（2003年春季）[http://shellchemicals.com/chemicals/magazine/article/1,1261,116-gen\\_page\\_id=856,0.html](http://shellchemicals.com/chemicals/magazine/article/1,1261,116-gen_page_id=856,0.html)
10. Watts P: “Building Bridges-Fulfilling the potential for gas in the 21st Century,” 在世界天然气大会上的发言，日本东京，2003年6月3日，[www.shell.com/static/media-en/downloads/speeches/PBW/wgc03062003.pdf](http://www.shell.com/static/media-en/downloads/speeches/PBW/wgc03062003.pdf)

壳牌公司已经通过投资Bintulu GTL厂获得了不少经验，并正考虑在阿根廷、澳大利亚、埃及、印度尼西亚、伊朗、马来西亚、卡塔尔和特立尼达等处选址建造大型GTL厂<sup>[1]</sup>。目前，该公司计划在2007年前建设一座日处理天然气能力为60万立方英尺(17200立方米/日)、生产能力为7.5万桶/日(11900立方米/日)的生产厂，并承诺在2010年前再建设四座类似处理厂，预计每个厂将耗资15亿美元。

其它公司也斥资在天然气合成油技术方面进行了多年的研究，并有望在壳牌公司建设其第二代GTL厂之前建设自己的大型GTL合成厂。雪佛龙德士古公司和Sasol公司已经成立一家合资企业，在尼日利亚的Escravos建设一座合成厂，预计该厂将于2005年投产（右图）<sup>[2]</sup>。最初的生产能力将达3.4万桶/日(5400米<sup>3</sup>/日)，之后将扩能至12万桶/日(1.9万米<sup>3</sup>/日)。该合资企业计划在2010年前，投资50亿美元，在全球建设四个GTL项目。

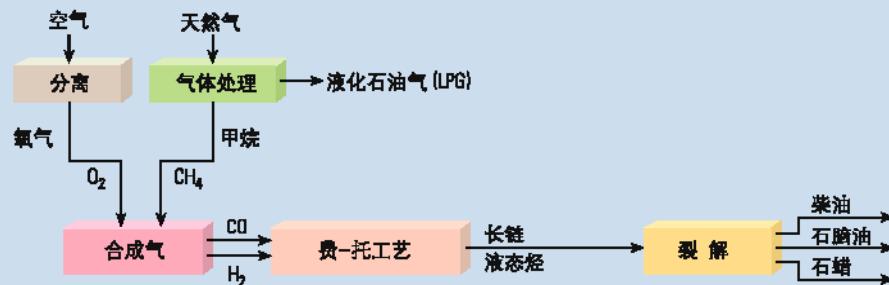


▲计划建设于尼日利亚Escravos，靠近雪佛龙德士古公司油气设施的GTL厂示意图。该厂将由雪佛龙德士古-Sasol合资公司建造，预计于2005年投产，起始生产能力为34000桶/日(5400立方米/日)，其后将扩能至12万桶/日(19000立方米/日)。(Sasol有限公司图片版权所有。)

## 天然气合成油化学

利用费-托方法将天然气转化为合成油是一种多级、耗能的工艺，该工艺主要是先拆分天然气中的甲烷分子，然后将其重排成长链分子。工艺的第一步是从空气中分离出氧气( $O_2$ )，然后将氧气吹扫至反应器中以剥离甲烷( $CH_4$ )中的氢原子，产品为氢气( $H_2$ )和一氧化碳( $CO$ )的混合物，有时候我们也称其为合成气（右图）。

第二步是利用催化剂将氢气和一氧化碳重新组合成液态烃<sup>[3]</sup>。最后一步则是将液态烃转化并且分馏成可以直接使用或可与其它产品调和的产品。最有名的产品就是极纯柴油，有时候也称为瓦斯油。与从原油蒸馏得到的柴油不同，通过费-托合成得到的柴油几乎不含硫氧化物和氮氧化物，也几乎不含芳烃，燃烧时很少甚至不排放颗粒物，十



▲将天然气转化为液态燃料。第一步，将从空气中分离出来的氧气( $O_2$ )和甲烷( $CH_4$ )吹扫至反应器，产品为合成气—氢气( $H_2$ )和一氧化碳( $CO$ )。在催化剂的作用下，合成气在费-托反应器中被重整成长链烃分子；长链分子在裂解装置中裂解后，分馏成柴油或其它液态燃料以及石脑油和石蜡等。裂解装置通过调节温度和压力将长链烃分解成短链烃。

六烷值很高<sup>[4]</sup>。该工艺也可生产煤油、乙醇和二甲醚(DME)；另外，GTL工艺还可生产烷烃含量高的石脑油，从GTL工艺得来的石蜡纯度极高，完全可以用作食品包装和化妆品。

目前运转的GTL厂可将10000立方英尺(286立方米)天然气转化成略高于1桶(0.16立方米)液态合成燃料。

1. 催化剂是一种用于提高反应速率的物质，费-托工艺使用的催化剂主要有铁、钴或镍等。
2. 辛烷值是定量测量汽油燃烧性能的一个指标，与之相对应，十六烷值用于衡量柴油点火性能。数值越高，说明其质量越好，燃烧更清洁。GTL柴油的十六烷值约为75，而大多数源于石油蒸馏的柴油十六烷值在42到51之间。

国家	公司	能力, 桶/日
澳大利亚	Sasol, 雪佛龙德士古	50,000
澳大利亚	壳牌	75,000
玻利维亚	玻利维亚GTL公司	10,000
玻利维亚	雷普索尔YPF,合成油公司	103,500
埃及	壳牌, EGPC	75,000
印尼	印尼国家石油公司, Rentech	16,000
印尼	壳牌	75,000
伊朗	壳牌	75,000
伊朗	Sasol	110,000
尼日利亚	雪佛龙德士古, Sasol, 尼日利亚国家石油公司NPC	34,000
马来西亚	壳牌	12,500
秘鲁	合成油公司	40,000
卡塔尔	壳牌,卡塔尔石油公司QPC	75,000
卡塔尔	埃克森美孚公司, QPC	100,000
卡塔尔	Sasol, QPC	34,000
南非	PetroSA	30,000
美国	ANGTL	50,000
委内瑞拉	委内瑞拉国家石油公司	15,000
<b>总计</b>		<b>980,000</b>

▲现有及2010年前可能投入商业运营的GTL厂的位置及估计能力统计, 不包括中试厂和煤制气处理厂。(摘编自液化天然气中心数据, 网址: <http://gmaiso.free.fr/Ing/index.php3?suji=gtl&page=gtlsearch> 以及参考文献 26。)

得益于大陆石油公司的母公司杜邦公司的催化剂和反应器研究, 大陆菲利普斯公司在GTL技术研究方面取得了快速进展。自从1997年以来, 大陆菲利普斯公司已经设计、制造和试验了5000多种用于费-托天然气合成的催化剂。该公司已经于2003年在美国俄克拉何马的Ponca City建造了一个GTL示范厂(右上图)。该厂日处理天然气400万立方英尺(11.46万立方米), 每日生产400桶(64立方米)不含硫的柴油和石脑油<sup>[13]</sup>。

BP石油公司已经投资8600万美元在美国阿拉斯加Kenai附近的Nikiski建设了一座GTL试验厂(右图)<sup>[14]</sup>。该厂设计生产能力为250桶/日(40米<sup>3</sup>/日), 使用了一种新的气体重整器, 比Sasol和壳牌目前在南非和马来西亚运转的装置中所使用的气体重整器更紧凑, 大小仅为其它GTL厂中使用的四十分之一。如果试验结果证明这种紧凑的GTL技术是成功的, BP将考虑在全世界范围内用这套技术开发边际天然气资源。

1981年以来, 埃克森美孚公司已经在GTL研究方面投入4亿美元, 并且在美国路易斯安那州有一座商业化的试验厂<sup>[15]</sup>。该公司正在进行技术方面的可行性研究, 拟在卡塔尔建设一座大型GTL



▲位于美国俄克拉何马 Ponca City 的大陆菲利浦斯石油公司 GTL 示范厂。该厂于 2003 年 3 月竣工, 设计日处理天然气能力 400 万立方英尺 (114600 立方米), 日产无硫柴油和石脑油 400 桶 (64 立方米)。(大陆菲利浦斯石油公司图片版权所有。)



▲位于美国阿拉斯加 Kenai 附近 Nikiski 的 BP 公司 GTL 试验厂, 2003 年 7 月投产。BP 公司计划在持续 6 到 12 个月的试验过程中日产液态产品约 250 桶 (40 立方米)。(承蒙 Eagle Eye 直升机公司提供图片。)

厂, 将该国北部气田的天然气转化为合成油, 日产能力为7.5万桶。北部气田是世界上最大的天然气田, 一些公司有兴趣以建GTL厂的方式帮助其开发该气田, 埃克森美孚便是其中之一。预计在不久的将来, 卡塔尔将拥有数个GTL厂, 生产合成燃料能力将超过20万桶/日(3.18万立方米/日)(左上表)。

由于国内缺乏试验资源, 日本很早以前就对合成燃料感兴趣。日本研究合成燃料的历史可以追溯至19世纪20年代, 也就是Fischer和Topsch成功发明费-托合成技术之后仅几年就开始了。日本对费-托合成转化工艺进行了实验室研究, 但欲速则不达, 由于急于建设大型合成燃料装置而没有经过中试阶段, 日本当时未能大规模生产合成燃料<sup>[16]</sup>。

11. Cottrill A: "GTL Seeking Its Big Break into Stardom," *Upstream* (2002年3月8日): 24.
12. Snieckus D: "Shell Considers Gas-to-Liquid Plant in Egypt," *中东时报*, [http://metimes.com/2K/issue2000-41/bus/shell\\_considers\\_gas.htm](http://metimes.com/2K/issue2000-41/bus/shell_considers_gas.htm)
13. "NNPC and Chevron Sign Agreements on Escravos Gas Project-3 and Escravos Gas-to-Liquids Project," [http://www.chevronexaco.com/news/archive/chevron\\_press/2001/2001-08-22.asp](http://www.chevronexaco.com/news/archive/chevron_press/2001/2001-08-22.asp) (2001年8月22日)。
14. Bradner T: "BP's GTL Test Plant Begins Production," *Alaska Oil and Gas Reporter* (2003年8月12日)。Font Freide J., Gamlit T 和 Ashley M: "The Ultimate Clean Fuel-Gas-to-Liquid Products," *Hydrocarbon Processing* (2003年2月): 52-58.
15. "Qatar Petroleum and ExxonMobil Sign Letter of Intent for GTL Project," 2001年6月15日, [http://exxonmobil.com/Corporate/Newsroom/Newsreleases/corp\\_xom\\_nr\\_150601.asp](http://exxonmobil.com/Corporate/Newsroom/Newsreleases/corp_xom_nr_150601.asp) Cottrill, 参考文献 11: 24.
16. Bradner, 参考文献 14.



▲ 墨西哥湾一口发现井试井过程中所点火炬（插图）。在全球范围内，石油业界每年要点火炬或直接放空高达 2 万亿立方英尺（570 亿立方米）天然气。GTL 技术将为利用目前这些点火炬或放空的天然气提供一条解决途径。（承蒙 Energy Data Solutions 和 LLC 公司提供图片，[www.ocsbbs.com](http://www.ocsbbs.com)）

失败乃成功之母，2002 年，日本国家石油公司 (JNOC) 宣布，其与五家日本私营公司组成的合资企业成功地在北海道的试验厂首次生产出 GTL 产品<sup>[17]</sup>。该试验厂于 2001 年开工建设，2002 年 3 月建成，并于同年 11 月生产出 GTL 产品。该厂最大生产能力为 1.3 立方米/日 (6.9 桶/日)，整个试验将持续至 2003 年底，以使工程技术人员对商业化生产的基础设计进行评估。JNOC 还与印尼国家石油公司 (Pertamina) 正就将日本的 GTL 技术用于开发印尼气田合作进行可行性研究。

俄罗斯已发现的天然气储量约 48.5 万亿米<sup>3</sup> (1690 万亿立方英尺)<sup>[18]</sup>。不过，该国大型气田的天然气产量正逐渐下降，剩下的 90% 的储量位于东、西西伯利亚、北极大陆架和远东地区，这些地区均远离俄罗斯现有的天然气储运网络。

经过近 10 多年来对天然气管道运输替代方案的深入研究，世界上最大的天然气公司—俄罗斯天然气公司 (Gazprom) 于 2003 年 3 月宣布：公司将就建设 GTL 工业进行初步研究<sup>[19]</sup>。Gazprom 的研发子公司 VNIIGAZ 已经与



化工原料和特种润滑油。用合成油公司技术设计的生产厂年处理能力介于 10 亿立方米 (349 亿立方英尺) 和 100 亿立方米 (3490 亿立方英尺)。

最近，美国能源部 (DOE) 宣布将利用合成油公司的技术建设一个项目，处理阿拉斯加北坡的边际天然气资源<sup>[20]</sup>。经过转化的天然气将通过目前利用率不足的泛阿拉斯加管道系统来运输。目前，产自北坡普拉德霍湾巨型油田的原油通过该管道运至阿拉斯加的 Valdez，然后用油轮转运。普拉德霍湾油田的产量正以每年 10~12% 的速度递减，即使加上新油田所开采的原油，该管道的运量也将最终跌至经济运行所要求的最低水平之下。

DOE 此举主要是为了验证利用紧凑 GTL 技术将天然气转化为适合于汽车使用的超清洁柴油的可行性。该项目组由多方专家组成，包括合成油公司、马拉松公司、阿拉斯加大学、戴姆勒-克莱斯勒公司、麻省理工学院、Sloan 汽车实验室以及 A.D. Little 公司等。在建设和运营一座足够大的 GTL 厂以从商业规模角度证实该技术后，项目组将对其产品在现有及下一代柴油发动机上的使用情况进行评价，并在实验室内就未来的发动机及排放控制技术进行评估。

位于美国俄克拉何马州图尔萨的合成油公司 (Syntroleum Corporation) 达成了一项协议，拟在俄罗斯全境 12 个地方选址建设 GTL 厂的可能性进行研究。这些 GTL 厂将用合成油公司的技术生产低粘度的、适合在北极区使用的柴油及石油

16. Stranges AN: "Synthetic Fuel Production in Prewar and World War II Japan: A Case Study in Technological Failure," 发表在美国化学工程师学会春季会议上，美国路易斯安那州新奥尔良，2003 年 4 月 2 日。
17. "Japan National Oil Corporation Succeeded in Producing First GTL Products in Japan," 2002 年 11 月 29 日新闻发布资料，<http://www.jnoc.go.jp/english/news/pdf/2002/021129.pdf>
18. 美国能源信息管理署，国际能源展望 (2003 年 5 月 1 日)，[http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat\\_gas.html](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/nat_gas.html)
19. "Syntroleum to Support Effort to Build GTL Industry in Russia," 2003 年 3 月 27 日新闻发布资料，[www.syntroleum.com](http://www.syntroleum.com)
20. "ICRC Leads Gas-to-Liquid Ultra-Clean Fuels Project Team," 2001 年 6 月 1 日，<http://www.icrc-hq.com/prnet.htm>
21. Freerks R: "Early Efforts to Upgrade Fischer-Tropsch Reaction Products into Fuels, Lubricants, and Useful Materials," 发表在美国化学工程师学会春季会议上，美国路易斯安那州新奥尔良，2003 年 4 月 2 日。
22. 有关温室效应更多的信息，请参见：Cannell M, Filas J, Harries J, Jenkins G, Parry M, Rutter P, Sonnenland L 和 Walker J: "全球变暖与勘探和生产工业，《油田新技术》，13 卷，第 3 期 (2001 年秋季刊): 44~59。
23. 美国环境保护机构新闻发布资料 (2001 年 2 月 28 日)，<http://www.epa.gov/otaq/regs/hd2007/fm/final-pr.pdf>
24. Browne J: "The Strategic Role of Gas," 在世界天然气大会上的发言，日本东京，2003 年 6 月 2 日，<http://www.bp.com>
25. "Global Gas Flaring Reduction," [http://www.worldbank.org/ogmc/global\\_gas.htm](http://www.worldbank.org/ogmc/global_gas.htm)
26. Thackeray F: "GTL in 2007," *Petroleum Review* (2003 年 1 月): 18~19。
27. Thackeray, 参考文献 26: 18~19。
28. Bradner T: "BP to Produce Its First Barrels of GTL by April," *Alaska Oil & Gas Reporter* (2002 年 3 月 6 日)，[http://www.oilandgasreporter.com/stories/030602/nat\\_gtl\\_april.shtml](http://www.oilandgasreporter.com/stories/030602/nat_gtl_april.shtml)

月 2 日。

## GTL 技术将造福于环境

将天然气转化为合成油将从两个方面造福于环境，其一，其液态烃产品无色、无味、挥发性低，是一种洁净产品，能清洁燃烧；其二，将天然气转化为液态烃将使伴生气可以运输至市场进行销售，而不是以点火炬的方式直接排放到大气中。

当 Fischer 和 Topsch 对其合成液态燃料进行测试的时候，就认识到由天然气转化而来的柴油具有清洁燃烧的特性。这种合成燃料燃烧时几乎可以达到零排放，比从原油炼制而得到的柴油更适合于地下交通工具使用<sup>[21]</sup>。从原油提炼而来的液态燃料一般含有硫、氮、芳烃以及其它杂质，这些燃料燃烧时会排放一氧化碳、硫氧化物、氮氧化物以及颗粒物，带来空气污染，并且导致温室效应<sup>[22]</sup>。

燃烧化石燃料给环境带来的影响已经引起人们的普遍关注，一些全球性组织开始鼓励降低工业及运输业等的污染物排放并为此进行努力。部分国家已经从法律的角度为提高运输业所使用的燃料质量制订了长远目标，例如，美国环保署要求炼油厂将柴油中的含硫量降低 97%（从 500ppm 降至 15ppm）<sup>[23]</sup>。这一规定将从 2006 年开始逐步实施，并于 2009 年全面实施。日本、澳大利亚和欧盟也将从 2006 年开始执行更严格的排放标准。

高纯度和低硫含量的 GTL 合成燃料已经超越了将要达到的更严格的含硫量标准，GTL 合成燃料可以调和到含硫量较高的原油炼制产品中，得到满足目前和将来环保标准的产品。

GTL 技术还使得开采和运输过程中所生产的伴生气得以回收利用而不是像以往那样点火炬，从而保护环境（[前一页](#)）。从世界范围看，石油工业点火炬和直接排空的这部分天然气每年达 2 万亿立方英尺（570 亿立方米）<sup>[24]</sup>。如果油田地面装备和设施仅仅设计用于开采石油，或者这部分气体不能回注到地下，作业者一般在经过允许后将这

部分天然气点火炬放空，不过，这种作法既浪费天然气资源，也造成环境污染。

降低火炬气量就要求控制伴生气产量，而这是与石油产量相关联的。对于许多有伴生气的油田来说，严格控制伴生气产量就意味着限制油田产量，其结果是使得油田的开采不经济。

世界银行已经成立了一个全球降低火炬气联盟（GGFR）倡议降低火炬气排放<sup>[25]</sup>。该联盟由世界银行、石油公司和政府机构组成，其中包括壳牌、BP、雪佛龙德士古、道达尔、阿尔及利亚的 Sonatrach 公司以及安哥拉、喀麦隆、厄瓜多尔、尼日利亚、挪威和美国等政府机构，其它一些组织也正在考虑加入这一组织。GGFR 正与有关国家和公司商讨如何解决目前降低火炬气投资的问题。

要降低火炬气排放量而又不降低原油产量，就要求解决从边远地区，通常是海上油田，运输这些伴生气的问题，一旦建造出小到可以安装在浮式平台和槽船上的 GTL 装置，GTL 技术将在这一领域发挥重大作用。

## GTL 面临规模和成本的挑战

要广泛应用 GTL 转化技术，诸如 GTL 厂的规模、成本、效率等一些问题还有待于进一步解决。目前在运转的几个 GTL 厂设备繁多，占地面积大，为了保证装置经济可行运转 20 年，进料天然气储量至少必须达到 1.3 万亿立方英尺（372 亿立方米）。作为 GTL 厂的核心部分，重整装置设备庞大，并且必须在现场建设。为了开发边际气田和海上伴生气资源，石油公司正在就建设更小规模 GTL 厂进行试验，以期开发出可以在边远地区和海上平台上安装使用的紧凑装置，Rentech 公司便是其中之一。目前该公司正集中力量开发新技术，旨在建设产能介于 5000 ~ 16000 桶/日（800 ~ 2500 立方米/日）的小型 GTL 项目。正在研究中的项目有两个，一个在玻利维亚，能力为 10000 桶/日（1580 立方米/日）；另一个是印尼国家石油公司

(Pertamina) 建设的，装置能力为 16000 桶/日<sup>[26]</sup>。Rentech 还宣布，有意开发制造可用于浮式生产系统的技术，但迄今为止尚无结果。部分石油公司甚至在研究产量低至 25 桶/日（4 立方米/日）的更紧凑 GTL 系统。

装置的实际尺寸大小并非限制新建 GTL 项目的唯一因素，与南非正在运转的大型 GTL 厂同类型的新厂投资非常高，介于 27000 ~ 50000 美元/桶液态产品之间。规模较小的 GTL 厂投资成本相对较低，Sasol 公司计划为卡塔尔建造的产能为 34000 桶/日的 GTL 厂估计成本为 20000 ~ 25000 桶/日<sup>[27]</sup>。BP 公司则希望其在阿拉斯加试验的更紧凑重器装置的成本可以降低到约 20000 美元/桶/日，并且进一步降至 17000 美元/桶/日，达到足以与新建 LNG 项目投资相媲美的程度。如果能降至 11000 美元/桶/日，GTL 项目就可以与新建炼油厂抗衡。

紧凑重整器可能是降低 GTL 成本的一条途径，但研究人员也正在研究通过其它途径提高转化效率。目前的 GTL 工艺第一步是氧气与天然气反应，从空气中分离氧气是成本很高的一个环节。科学家们正在开发分离空气 - 氧气的新途径，包括新型陶瓷膜等。初步研究结果表明，某些陶瓷膜可以有选择性地允许氧离子通过，其它空气组分则被排斥在外。据分析，对于不同构型的转化厂而言，运用陶瓷膜分离技术可使 GTL 转化成本降低 25%。

对费 - 托工艺本身进行改进也是 GTL 技术研究的一个重点。在多级费 - 托工艺中，首先将甲烷转化成合成气，然后将合成气转化成液态烃。隶属于加利福尼亚 Pasadena 的加利福尼亚技术学院 (CalTech) 的石油能源和环境研究中心 (PEER) 以及分子处理和模拟中心 (MSC) 的科学家们正试图开发一种将天然气直接转化成液态烃的一步法工艺。他们建议将理论、模拟和试验三者相结合，开发直接转化工艺，一旦这种工艺得以实现，目前制约 GTL 工艺经济性的许多问题将迎刃而解。 — LS