

# Risks in the Coal to Synthesized Natural Gas and the Counterpart Measures Thereof\*

Tiancun Xiao, Shisen Xu, Liang Chen

Huaneng Clean Energy Research Institute, Beijing  
Email: xiao.tiancun@chem.ox.ac.uk, chenliang@hnceri.com

Received: Aug. 14<sup>th</sup>, 2012; revised: Aug. 25<sup>th</sup>, 2012; accepted: Sep. 10<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** To meet the increasing demand of clean energy in China, more than RMB Yuan 400 billion investment has been planned to contract several coal to synthesized natural gas (Coal to SNG) project in the regions of China where there are abundant coal reserve with fewer people. Meanwhile, it has been demonstrated that the successful development of shale gas in USA leads to the excessive supply of natural gas in USA and causes the ratio of oil to gas price continuously increasing. In the 12th “5 year plan”, shale gas development has been one of the main focuses, which is expected to supply more and more natural gas from shale gas reserves. This in return would give rise to the economical risks to the coal to synthetic natural gas projects, which requires intensive invest and long payback period. To mitigate the long term economic risks of coal to SNG project, it is recommended to consider the conversion of coal to SNG project into coal to oil project in the future when the gas demand is less than requirements. Because from the technology view, coal to SNG and coal to oil processes have the similar steps and common features.

**Keywords:** Coal to SNG; Shale Gas

## 煤制气工程项目的风险和对策\*

肖天存, 许世森, 陈亮

中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司, 北京  
Email: xiao.tiancun@chem.ox.ac.uk, chenliang@hnceri.com

收稿日期: 2012年8月14日; 修回日期: 2012年8月25日; 录用日期: 2012年9月10日

**摘要:** 为了满足国内清洁能源的需求, 我国在“十二五”规划里, 计划了4000多亿人民币的煤制气项目, 分布在煤炭储量高而人烟较少的地区。同时作为新兴能源, 继美国页岩气开发成功, 并满足美国国内天然气需求后, 我国页岩气的勘探和开发也在加快步伐。美国页岩气的开发使天然气的价格持续走低, 油气价格比不断上升, 使得美国国内的煤制气项目的经济可行性越来越小。而且煤制气项目的投资强度大, 规模要求高。虽然我国页岩气的开发还处于早期阶段, 但是在可以预期的时间段内, 煤制气项目的必要性和经济可行性是存在的。但是从中长期的角度看, 煤制气项目的经济风险还是比较高的。但是鉴于煤制气和煤制油项目有很相似的工艺和设备, 因此为了防范煤制气项目的风险, 建议在煤制气项目的设计和建设阶段, 就应该考虑工程改造, 一旦煤制气项目的经济性不可行, 可以把煤制气改造为煤制油项目。

**关键词:** 煤制气; 页岩气

### 1. 引言

天然气是较为安全的燃气之一, 在化石能源中氢

碳比最高, 燃烧产生的水汽比二氧化碳多。因此采用天然气作为能源, 可减少煤和石油的用量, 改善环境质量并降低二氧化碳的排放。但是我国能源现状是相

\*资助信息: 中国华能集团公司“千人计划”人才科研专项。

对富煤，少油并缺气。因此经国务院同意，国家发展改革委研究制定的“天然气利用政策”于2007年8月30日正式颁布实施。天然气利用领域归纳为四大类，即城市燃气、工业燃料、天然气发电和天然气化工。综合考虑天然气利用的社会效益、环保效益和经济效益等各方面因素，根据不同用户用气的特点，将天然气利用分为优先类、允许类、限制类和禁止类。城市燃气列为优先类，禁止以天然气为原料生产甲醇；禁止在大型煤炭基地所在地区建设燃气发电站。

而且近年来，我国在油价不断攀升的背景下，“以气代油”的呼声越来越高，作为清洁能源，液化天然气(Liquefied Natural Gas, 下称“LNG”)在汽车上的应用也越来越多。这从另一方面也大大增加了天然气的需求量。图1给出了近年来我国天然气供应和需求以及未来的预测。

由图1可以看出，目前国内天然气供应的缺口正逐年加大，对外依存度近两年来更是呈快速上升之势。到2020年，国内天然气缺口将达1000亿立方米。2011年，我国天然气对外依存度达24%，与2010年12.8%相比，呈成倍增长态势。这从客观上加大了对非常规天然气及替代天然气的需求力度，因此国家把煤制天然气列为“十二五”战略产业，而且被寄予厚望。

基于此，2012年4月，由煤炭科学研究院主导编

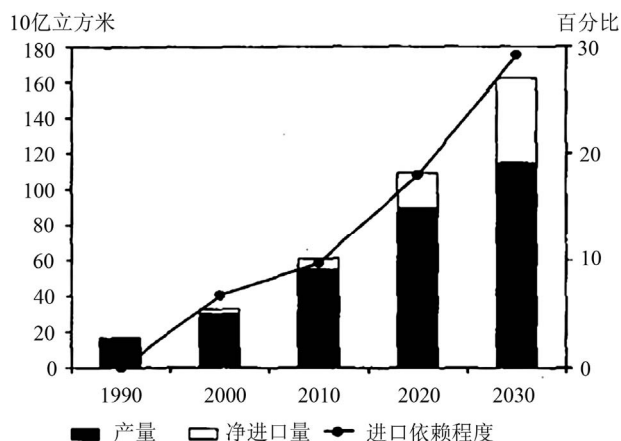


Figure 1. The natural gas output, demand and import dependence of China<sup>[1]</sup>

图1. 我国天然气产出，需求及进口依赖度<sup>[1]</sup>

制的“煤化工“十二五”科技规划”已经编制完成，即将对外公布。根据“规划”，“十二五”期间，国家将重点扶持煤制天然气技术应用，并扩大此方面的试点范围。

## 2. 煤制天然气工艺

所谓煤制天然气是指煤经过气化产生合成气，再经过甲烷化过程，生产人工合成天然气(SNG)。相对于煤制油，煤制天然气目前国际上只有美国大平原公司运行。该过程可以表示如下图2。

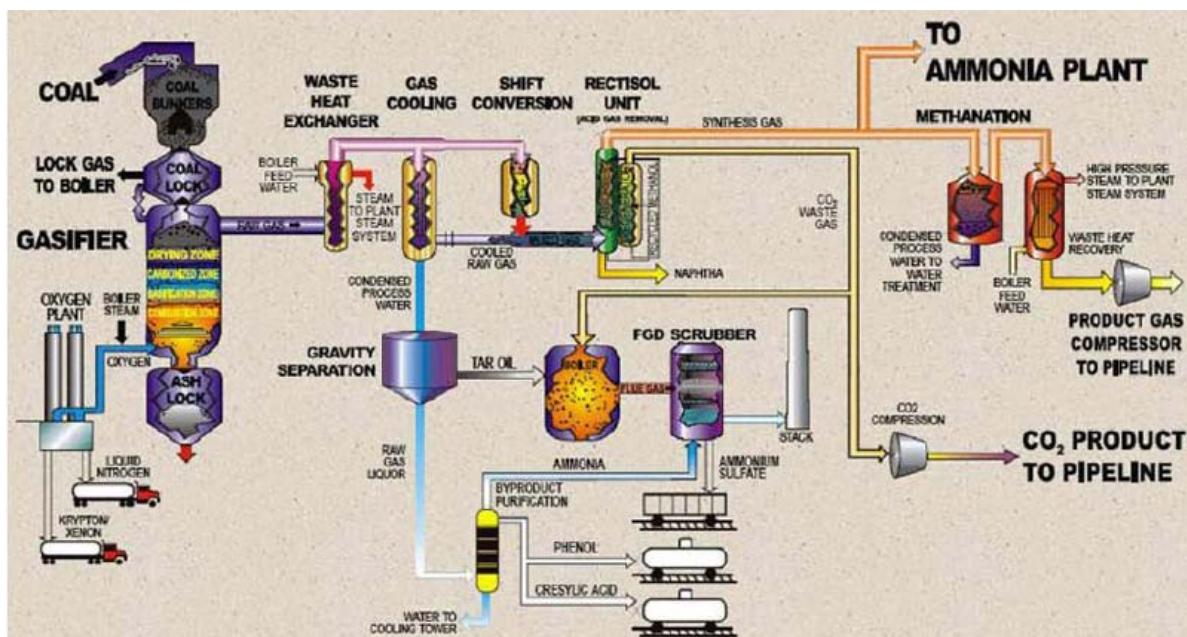


Figure 2. Process map of the great plains synfuels plant in US<sup>[2]</sup>

图2. 美国大平原公司煤制气工艺图<sup>[2]</sup>

目前国内外已经运行和正在设计的煤制气采取的工艺路线基本都是首先是煤炭气化,生成含有杂质和一氧化碳,二氧化碳和氢气,甲烷,水蒸气等的混合气。其中杂质包括硫化氢,氨氮和颗粒物等。根据气化工艺的不同,气化产物的组成有较大的区别。但一般而言,气化过程在 700℃以上进行,热力学的限制使得气化产物中的一氧化碳含量会比较高,而氢气含量相对较低。因此得到的气体产物需要首先经过冷却,在经过不同阶段的水煤气变换,调节使得气体中的  $H_2/CO$  比例接近 3。再经过甲醇洗和胺吸附脱硫,分离其中的二氧化碳和杂质,再精脱硫,经过这些工段调节处理后,气体组成以  $H_2/CO$  为主,也许含有其他惰性气体。这个气体再经过甲烷化催化剂,得到合成天然气和水。因为甲烷化过程是强放热反应,因此甲烷化过程一般分 3 段进行,以便传热和控制反应。这里值得注意的是,和煤制油和煤制化学品相比,其气化,气体调节和水煤气变换基本一致,和煤制气最大的区别在于  $H_2/CO$  比例和甲烷化催化剂。

据报导,煤制天然气能源转化效率可达 50%左右。而煤制油方面,采用 F-T(费托合成)技术,煤间接液化的转化率为 32%,直接液化则为 38%,均比煤制天然气转化效率低出不少。

因此 2012 年 7 月,备受关注的现代煤化工政策即将出台。由国家发改委、能源局编制的“煤炭深加工示范项目规划”以及“煤炭深加工产业发展政策”拟于近期发布实施。其中,共批复气化技术、合成技术、大型设备等 18 项重点示范内容以及内蒙古、新疆等 11 个省区 15 个煤炭深加工示范项目<sup>[3]</sup>。

我国的煤炭大多分布山西、陕西、新疆、宁夏等。为了使制得的天然气运到居民区,为煤制气过程做准备,中石化新粤浙管道(新疆准东至广东、浙江)拟投资 1590 亿元,年输气能力 300 亿立方米。新鲁管道(新疆准东至山东)拟投资 860 亿元,年输气能力同样是 300 亿立方米。两条管道建成后,将把新疆煤炭资源转化成的天然气输往中东部各省,由此成为新疆各大能源企业煤制气项目的外输大动脉。

为了落实气源,中石化将在新疆配套建设 200 亿立方米的煤制气项目。多家国有控股企业也与中石化签订购销协议,将在新疆建立煤制气企业,每年还将为中石化的管道提供 300~400 亿立方米天然气。

据粗略估算,一个 40 亿立方米的煤制气项目的

投资额在 240 亿元,600 亿立方米的煤制气项目总投资将达到 3600 亿元,加上两条管道共 2450 亿元的投资,整体投资规模将超过 6000 亿元。

如果进展顺利,中石化的新粤浙和新鲁煤制气管道将于 2016 年建成。届时,从新疆地区输向内地的天然气管线将达到五条,总输送能力达到 1370 亿立方米。煤制气成本方面,如果按照煤炭价格每吨 150 元计算,成本在 1.28 元/立方米左右,相较于新疆南疆塔里木气田的 0.52 元/立方米的供气价格并无成本优势。但相较于进口哈气超过 2.20 元/立方米的进口完税价仍有一定优势。在未来国内天然气定价机制改革的预期下,优势将得到进一步的加强<sup>[4]</sup>。

### 3. 页岩气开发及其对煤制气的影响

但是就在全国煤制气如火如荼地宣传和工程上马的同时,同样为了满足国内需求日益高涨的天然气需求,页岩气的开发也越来越重视。据悉,正在审批中的天然气“十二五”规划预计,到 2015 年,我国天然气消费量将达到 2600 亿立方米,在一次能源消费中所占比重将从目前的 4%上升至 7%~8%。为此,国家将加大非常规能源资源,尤其是页岩气、煤层气的勘探开采。

所谓页岩气是指赋存于富有机质泥页岩及其夹层中,以吸附或游离状态为主要存在方式的非常规天然气,成分以甲烷为主,是一种清洁、高效的能源资源。我国直到去年把页岩气归类为第 172 个矿种。近几十年来,美国页岩气勘探开发技术取得突破,产量快速增长,对国际天然气市场及世界能源格局产生重大影响,因此世界主要资源国都加大了对页岩气的勘探开发力度。

近年来,美国的页岩气繁荣已导致其碳排放大幅下降,主要因为发电企业纷纷放弃煤炭,改用廉价的天然气。国际能源署(IEA)2012 年的数据显示,美国能源相关的二氧化碳(主要温室气体)排放在过去五年里减少 4.5 亿吨。IEA 首席经济学家法提赫·比罗尔(Fatih Birol)将这一下降归因于运输领域能效提高,以及发电行业从煤炭向天然气的“重大转移”。“这是一个政策与技术相结合的成功故事:政策推动提高效率,而技术使页岩气开采变得可行,”比罗尔表示<sup>[5]</sup>。

根据我国页岩气“十二五”规划,到 2015 年,国内页岩气产量将达 65 亿立方米,2020 年力争实现



产量 600~1000 亿立方米。7 月 13 日，国土部发布页岩气资源/储量计算与评价技术要求征求意见稿，为合理计算与评价页岩气资源储量、推进页岩气的勘探开发铺平技术道路。但是根据最近的报导，仅江西就计划在 2015 年生产页岩气 10 亿立方米，2020 年达到 1000 亿立方米<sup>[6]</sup>，并希望以此来改变江西的能源结构，提高环境质量和提升当地的经济。

据最新报导，我国页岩气资源资源比较丰富，有机质页岩分布于南方地区、华北地区和新疆塔里木盆地，华北地区、准噶尔盆地、吐哈盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地和松辽盆地。这些地质条件具备页岩气成藏条件，资源潜力较大。据专家预测，中国页岩气可采资源量为 25~200 万亿立方米，超过常规天然气资源<sup>[7]</sup>(见图 3)。

美国对页岩气的开发技术大规模研究从上世纪 70 年代开始，政府在页岩气开发过程中，投入了大量的科研和技术支持。1986 年，美国政府和企业合作在阿巴拉契亚盆地打了全世界第一口空气钻探水平井，同时在空气钻探井中使用套管外封隔器。美国也率先同开发了多段水力压裂技术、电磁随钻测量技术、定向空气锤技术等，而这些技术目前正被广泛用于全球的页岩油气以及常规油气生产中。

这些工作使得美国在 06 年后页岩气出现了爆发性增长，占天然气的比重接近翻了 10 倍，至 2011 年已经提升到 18.6%。这也导致天然气价格从 06 年一路下跌，从 14 美元/MMBtu，下跌至 2012 年年初最低的不足 2 美元/MMBtu。

图 4 给出了近年来国际油价以及不同地区的液化天然气价格变化。可以看见，美国近年来随页岩气的成功开发，天然气价格从 2008 变以来一直呈现下降趋势。欧洲天然气价格 2008 年到 2009 年快速下降，但从 2009 年到 2011 年逐渐上升，2012 年则下降。与之相反，亚洲的天然气价格除了 2008 年到 2009 年油短暂时下降后，一直呈现上升趋势。但与石油价格相比，上升速度较低。

图 5 给出了美国天然气和石油价格变化。总体而言，石油对天然气的比例在 1986~2008 年间，油气价格平均为 9.9。到 2009~2012 年期间，油气价格比上升到 21.2。到 2012 年 1~4 月份，油气价格比更攀升到 52，表明相对于石油价格的攀升，天然气的价格在快速下降。而且据报导，随着水平井和压裂技术的

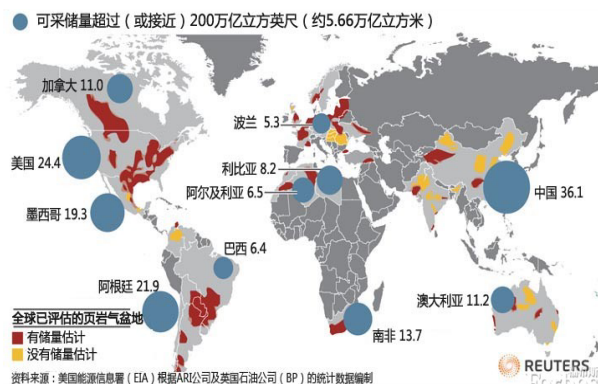


Figure 3. The 11 countries with the largest shale gas basin and reserves in the world<sup>[8]</sup>  
图 3. 全球页岩气盆地及储量最多的 11 个国家<sup>[8]</sup>

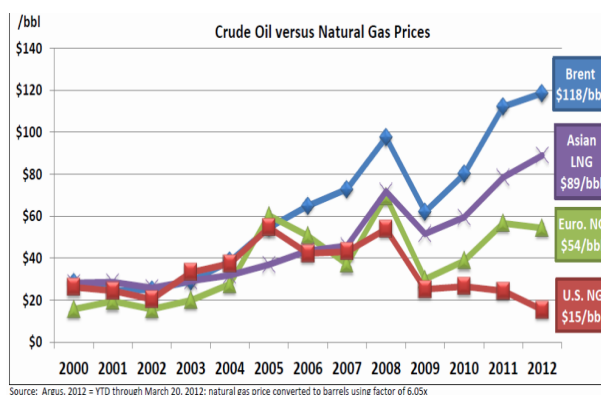


Figure 4. International oil prices and liquefied natural gas prices changes in different parts of world in recent years<sup>[9]</sup>  
图 4. 近年来国际油价以及不同地区的液化天然气价格变化<sup>[9]</sup>

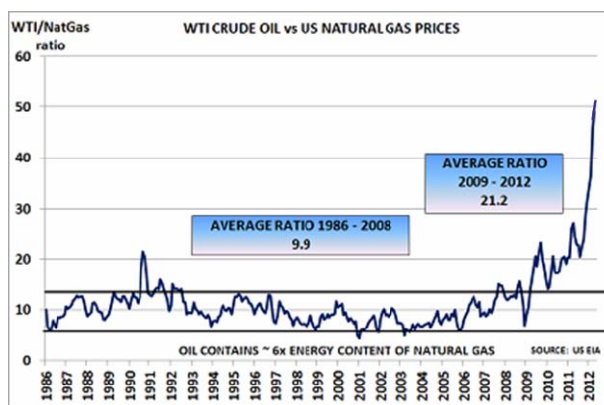


Figure 5. The oil and natural gas price ratio changes in US<sup>[9]</sup>  
图 5. 美国石油和天然气价格比例变化情况<sup>[9]</sup>

进一步发展，未来页岩气单位产量将增至传统天然气的 4 倍，而其成本将降低至 1.8 倍，所以综合成本将有望仅为天然气的 45%<sup>[10]</sup>。

这些综合因素都导致了美国几年来已经从天然气进口国成为天然气出口国。而且由于页岩气的大量

开发以,近年来,美国对页岩气的进一步转化技术也越来越重视。2011年,美国几个大型工程公司和页岩气公司合作,选择和牛津催化剂公司合作,进行页岩气转化为液体石油的技术开发。这里值得指出的是:大型气变油的工艺技术在国际上已经比较成熟,如壳牌在马来西亚的 Bintulu 公司以及和 Sasol 合作的卡塔尔的 Peal 气变油项目都进行的十分顺利,但是因为这些大型的气变油要求投资巨大,因此气田的储量和可采量需要十分高,才能满足天然气而且在 2012 年 3 月,美国页岩气公司开始和牛津催化剂集团公司合作,研究利用牛津催化剂集团公司的过程强化反应器和超高活性催化剂以模块形式,把小型气源转化为液态油品的可行性。

也是因为页岩气的大量开采和供应,使得美国煤气化和煤制天然气的项目基本停止<sup>[11]</sup>,尤其是煤制天然气项目,因为低价页岩气的大量供应,使得煤制天然气的经济可行性越来越低。近年来,美国大平原煤制气公司的主要营收已经从过去的人造天然气转化为合成气的其他衍生物,如合成氨,合成油甚至尿素,虽然其主导产品仍然以合成天然气为主,但是在目前天然气的价格情况下,企业的未来面临很多的不确定性。

#### 4. 我国煤制气发展前景

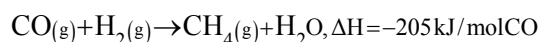
纵观美国的页岩气发展和煤制天然气的历程,可以为我国大规模煤制天然气和页岩气的产业开发提供很多有益的启示。首先美国的煤制气是在天然气价格高涨,油气价格比在较小的情况下上马的。随着页岩气技术的进一步发展和大量页岩气的市场供应,天然气价格快速降低,因此原来计划的煤制气项目大多停止。

我国在十二五期间规划了 4000 多亿元人民币投资的煤制气项目,每个项目的设计寿命在 20~30 年。而多种研究表明,中国的页岩气储量大,但是地质条件复杂,开采难度大。页岩气的十二五规划里,计划在 2020 年,我国的页岩气产量达到 600~1000 亿立方米。但根据最近的报道,江西和湖南等加大了页岩气的开发力度,力争在 2020 年页岩气开采量各达到 600~1000 亿立方米。同时中石油,中石化和中海油也加强了页岩气的探测和开发。因此可以预见在未来的 10 年内,国内页岩气的产量会井喷,加之近来中海油收购加拿大的 Nexen,使得中国国内的天然气供求关

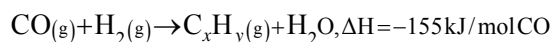
系在可以预见的几年内,达到平衡或过剩,这为煤制气项目的未来,尤其是 10 年后的市场需求提供了很大的不确定性。但是另一方面,根据国际油气价格比的变化,未来石油价格不会因天然气的或页岩气的开发而降低。因此煤制油应该有较大的市场需求。

鉴于近年来,很多的煤制气项目都在规划和建设中。而且如图 2 所示,煤制气一般采用三段工艺,首先煤气化,再就是气化产物净化,变换,调整其中的  $H_2/CO$  比例,达到 3:1,之后再行甲烷化反应。因为甲烷化反应的强放热性质,因此甲烷化过程采用三段甲烷化过程,每段分别分离水气,并方便传热过程。之后的工艺部分气水分离和气体浓缩,升级。

图 6 给出了煤制油的大致路线。首先也是煤气化,生产合成气,之后合成气调节,净化。再就是油的合成过程。对比煤制油和煤制气工艺路线可以看出,两者在煤气化,合成气调节和净化方面都一致,只是煤制气要求合成气的组成为  $H_2/CO = 3:1$ ,而煤制油对合成气组成的要求是  $H_2/CO = 2:1$ ,这个只要求对变换催化剂和变换过程的操作参数进行调整。因此这将为后面的煤制气转化为煤制油提供一个可靠的支持。在合成阶段,煤制气的反应是:



而煤制油的化学过程是:



而且煤制气的反应器多采用固定床反应器,使用温度,尤其是在第一阶段使用温度较高,其整个反应的液态产物主要为水。而煤制油的以液态产物,包括油,合成蜡和水为主,气态产物产率要求尽可能低。

因此为了防范煤制气项目因为页岩气开发引起

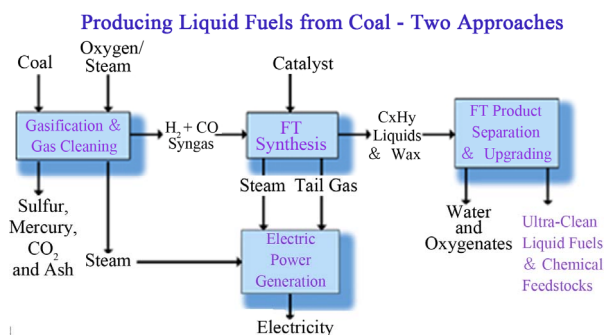


Figure 6. Process map of coal to oil<sup>[12]</sup>  
图 6. 煤制油工艺过程<sup>[12]</sup>

的潜在的经济风险，在煤制气项目设计阶段，应当考虑在水煤气变换和甲烷化阶段，研究催化剂的和工艺参数的最佳转化范围，在甲烷化阶段，留出油水分离设施，这不仅可以确保我国的天然气供应，也将减少因为页岩气的开发引起的煤制气过程的经济不确定性。

## 5. 结论

我国现阶段甚至在未来的 10 年内，天然气可能还处于供不应求的状态，因此煤制气在未来十年内，应该有较大的发展空间。

煤制气项目投资大，运行周期长，但是随着页岩气的开采技术的开发，和天然气供应的增加，价格会下降，煤制气项目会面临很多经济不确定性。

但是煤制气和煤制油的许多工艺段有相同之处，因此在煤制气项目开始阶段，应该考虑到未来大量页岩气开采成功后，在把煤制气过程改为煤制油的可行性，并留出改造空间。

## 参考文献 (References)

[1] 中国信息网[URL].  
<http://www.cio360.net/h/2177/301123-14394.html>

- [2] NETL. Gasifipedia: Applications of gasification—coal-to-SNG and hydrogen.  
[http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/6-apps/6-4-4-1\\_great-plains.html](http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/6-apps/6-4-4-1_great-plains.html)
- [3] 中国证券网 - 上海证券报. 现代煤化工规划即将发布十二五共批 15 个示范项目[URL], 2012.  
<http://finance.sina.com.cn/stock/y/20120703/013812459423.shtml>
- [4] 中银国际证券有限责任公司. “新疆 6000 亿元煤制气或近期获批”点评[URL], 2012.  
[http://vip.stock.finance.sina.com.cn/q/go.php/vReport\\_Show/kin/industry/rptid/1452139/index.phtml](http://vip.stock.finance.sina.com.cn/q/go.php/vReport_Show/kin/industry/rptid/1452139/index.phtml)
- [5] 英国金融时报. 页岩气帮助美国大幅减排[URL], 2012.  
<http://www.ftchinese.com/story/001044706>
- [6] 中国经济周刊. 页岩气“华东第一井”年底点火[URL], 2012.  
<http://news.hexun.com/2012-07-24/143886573.html>
- [7] 国家能源局. 页岩气发展规划(2011~2015 年)[URL], 2012.  
<http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2012tz/W020120316370486643634.pdf>
- [8] 福布斯中文网. 中国准备向开采页岩气大跃进[URL], 2012.  
<http://www.forbeschina.com/review/201202/0015194.shtml>
- [9] ICIS. Valero Corp. conference presentation, 2012.
- [10] 东方证券研究所. 化工行业: 页岩气成本低于传统天然气原因何在[URL], 2012.  
[http://www.cs.com.cn/gppd/hyyj/201207/t20120719\\_3417137.html](http://www.cs.com.cn/gppd/hyyj/201207/t20120719_3417137.html)
- [11] Emerson Process Experts. Impact of shale gas on coal conversion technologies, 2012.  
<http://www.emersonprocessxperts.com/2012/01/impact-of-shash-gas-on-coal-conversion-technologies>
- [12] GreenCar.com. Five fuels driving the future, 2008.  
<http://www.greencar.com/articles/five-fuels-driving-future.php>