

煤制油成本案例分析及产业前景

陈子瞻^{1,2)}, 王高尚^{2)*}

1) 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;
2) 中国地质科学院全球矿产资源战略研究中心, 北京 100037

摘要: 本文基于实际案例, 分析了煤制油的制造成本、销售费用、管理费用、税费成本和财务成本构成, 并核算了当前条件下, 煤制油的制造成本区间。结论是煤制油产业在国际油价高于 50 美元/桶时具有竞争力, 且其成本具备下降空间。利用波特钻石模型分析了煤制油产业的竞争力和发展前景, 指出煤制油产业的成长长期需要给予和常规油气不同的税收政策。

关键词: 煤制油; 成本; 波特钻石理论模型; 产业竞争力

中图分类号: TQ53; F253 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.01.16

An Analysis of Cost Case and Industry Prospect of Coal to Liquids

CHEN Zi-zhan^{1,2)}, WANG Gao-shang^{2)*}

1) School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083;
2) Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037

Abstract: Based on the actual case, the authors analyzed the cost of coal to liquids (CTL), which mainly consists of manufacturing costs, cost of sales, administrative expenses, and tax and financial costs. Then the authors calculated CTL manufacturing cost interval in current conditions. It turns out that the competitiveness of CTL industry can be profitable when the international oil price is higher than 50 US dollars per barrel, and its costs have decreasing space. Moreover, the competitive power and industrial prospect on CTL production were analyzed by using Porter's Diamond Model, which shows that many different revenue policies should be implemented to maintain the growing period of CTL industry.

Key words: CTL; costs; Porter's Diamond Model; industrial competitiveness

据新一轮能源资源保障程度论证结论, 中国能源矿产资源可供储量构成中, 煤炭占 97%, 油气不足 3%。随着能源消费结构的不断调整, 预计到 2030 年, 油气需求占比将超过 30%, 对外依存度将不断增大。以 3% 的能源资源结构支撑油气 30% 的能源消费结构, 既不安全也不可持续。清洁利用煤炭, 发展煤制油气替代, 是中国能源供应保障的战略选择(王高尚, 2015; 杜伟, 2015; 韩雅文等, 2017)。

煤制油是将固态煤转化成液体燃料的工艺, 最早出现于第二次世界大战中石油短缺的德国(舒歌平, 2003)。20 世纪 70 年代发生的石油危机促使各

国再次开始关注煤制油, 后由于成本等问题, 多数搁浅。过去几年由于石油需求的快速增长, 煤制油在中国又一次得到发展。从 2007 年开始, 国家能源局和发改委陆续批准在内蒙古、新疆等省区建立了多个煤制油和煤制气示范性工程, 目前煤制油总产能达到 240 万吨。部分项目已经稳定运行多年, 产生了较好的经济效益和社会效益, 亦为我国大范围推广煤制油提供了丰富的经验(菅青娥和刘虎在, 2015)。

对于要不要在中国大规模发展煤制油, 社会上存在巨大争议(周凤起和周大地, 1999)。争议的焦点是能耗、水耗、排放、产业竞争力以及最为关注的

本文由中国地质调查局地质矿产调查评价项目“全国特种煤资源综合评价与信息系统建设”(编号: DD20160189)和“能源安全综合研究与动态跟踪评价”(编号: DD20160084)联合资助。

收稿日期: 2016-03-20; 改回日期: 2016-05-20。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 陈子瞻, 男, 1985 年生。博士研究生。主要从事资源经济学和矿产资源战略的研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68997436。E-mail: cdesignfl@hotmail.com。

*通讯作者: 王高尚, 男, 1962 年生。研究员。主要从事矿床学、矿产资源经济及矿产资源战略研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。电话: 010-68997436。E-mail: pacificw@sina.com。

与传统石油竞争的成本问题(贾怀东, 2013)。

关于能耗, 支持者认为中国煤炭资源丰富, 煤制油产业在规模化后, 45%~47%的能源转化效率高于传统火电的 40%, 更高于甲醇和二甲醚的能源效率(营青娥和刘虎在, 2015)。而反对者则认为, 煤炭资源也是一种不可再生资源, 以一种稀缺资源代替另一种稀缺资源, 是不经济的(孙自愿等, 2014)。

关于水耗, 支持者认为通过工艺优化可以降低水耗。坚持“以水定煤”, 水资源可以解决(郝晓红, 2007; 魏思策和石磊, 2015)。

关于煤制油产业竞争力。支持者以南非 SASOL(南非合成油有限公司)煤制油产业的成功作为例证(张瑞滋, 2009)。南非 SASOL 公司从上世纪 50 年代以来持续进行煤制油生产, 2014 年生产油品 460 万吨, 其他化学品 308 万吨, 支撑着南非约 15% 的石油需求(Sasol, 2015)。而美国大平原煤制气厂(Great Plains Synfuels)采用的工艺与萨索尔的相近, 反对者则以其失败的案例作为反对煤制油气的依据(陈丹江, 2014)。

本文在对相关企业实地调研的基础上, 主要围绕煤制油的成本进行分析, 兼顾物料消耗、产品竞争力等因素, 讨论煤制油产业在我国能源市场中的竞争力和发展前景。

1 煤制油技术路线梗概

煤炭液化是把固体状态的煤炭经过一系列化学加工工艺, 使其转化成液体产品的过程。通常所说的液体产品主要是指汽油、柴油和液化石油气等液态烃类燃料, 即通常是由天然原油加工而获得的石油产品, 有时候也把甲醇、乙醇等醇类燃料包括在煤液化的产品范围内(舒歌平, 2003)。

1.1 煤的直接液化

煤制油的主要技术路线可分为煤炭直接液化法和间接液化法。

煤炭直接液化法诞生于 1913 年, 德国 Breslau 工程学院的科学家 Friedrich Bergius 在高温高压条件下进行氢气与煤反应得出油类产品。1936 年, 德国 Scholven 氮厂采用这一工艺生产出了第一批由煤制成的汽油(杨清明, 1997)。

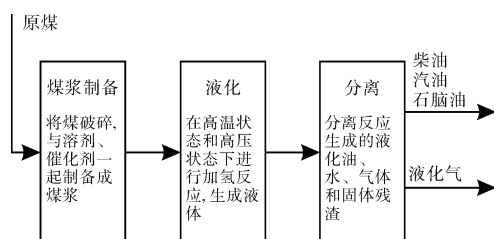


图 1 煤炭直接液化工艺流程图

Fig. 1 Direct coal liquefaction process

直接液化法的工艺流程概述如下(图 1): ①煤浆制备单元: 将煤破碎, 与溶剂、催化剂一起制备成煤浆; ②液化单元: 在高温高压状态下进行加氢反应, 生成液体; ③分离单元: 分离反应生成的液化油、水、气体和固体残渣

直接煤制油工艺目前多采用改进的 HTI 工艺(由美国 Hydrocarbon Technologies, Inc 公司开发, 基于 CTSL 催化两段工艺改进而来)(杨仁俊, 2012), 可以产出 LPG 液化石油气、石脑油、柴油、酚等产品(舒歌平, 2009)。

煤炭间接液化技术的核心为费托合成工艺(Fischer Tropsch Synthesis), 该工艺诞生于 1923 年。煤间接液化的主要过程如下(工艺流程见图 2):

①煤的气化: 将原料煤制备成水煤浆, 进入气化单元在高温条件下与氧气和水蒸气发生一系列化学反应, 长链烃分子裂解并生成 CO、CO₂、H₂、CH₄ 等简单分子(唐宏青, 2001)。

②费托合成: 该步骤为费托合成的核心环节。费托合成的反应主要生成烷烃、烯烃、甲烷、甲醇、乙醇等产物, 同时还生成更高碳数的醇、醛、酮、酸、酯等副反应。

③精炼: 费托合成产生的液体必须经过精炼, 调整油品的分子结构才能获得合格的汽油、柴油产品(舒歌平, 2003)。

1.2 直接液化和间接液化工艺特点

两种煤制油工艺对比如表 1 所示(刘团会, 2007)。直接液化法工艺流程短, 反应温度较低, 产油率高, 投资较低, 成本比间接煤制油低(滕英跃, 2007), 但是对煤质要求比较苛刻, 需要热值较高的优质煤; 间接液化法流程长、投资高、反应过程剧烈, 转化效率稍低, 为 32%~42%(舒歌平, 2009; 营青娥和刘虎在, 2015), 但对原料煤的适应范围较宽广, 为国内多数煤制油企业的选择。煤炭间接液化工艺的优势在还于产品的灵活性强, 部分中间产品, 如液体石蜡、稳定轻烃等可以直接作为终端产品出售, 且最终产品种类和产品的比例都可以调整, 而直接液化工艺的产品结构难以调整, 因而应对市场变化的能力较弱。

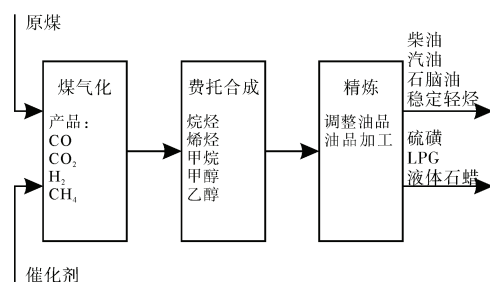


图 2 煤炭间接液化工艺流程图

Fig. 2 Indirect coal liquefaction process

表 1 两种煤制油技术工艺对比

Table 1 Comparison of two CTL processing technologies

	直接液化法	间接液化法
原料煤品质要求	高	较低
工艺	简单	复杂
产出率	较高	较低
能效	43.7%	31% ⁽¹⁾
建设投资	较低	较高
吨油产品水耗	5.87	15.7 ⁽²⁾
产品种类	柴油、石脑油、LPG、酚类	汽油、柴油、石脑油、液体石蜡、稳定轻烃、LPG
产品结构灵活性	低	高

注：(1)新国标要求间接煤制油效率不得低于 42%，新建间接煤制油项目均大于该指标；(2)新建间接煤制油项目多采用风冷技术，水耗大幅下降至吨油品 5 t 水，新国标要求不得高于 9.9 吨水/吨油品(国家发展改革委，2015；国家能源局，2014a, b)。

2 煤制油成本分析

笔者以亲自调研的直接煤制油企业 S 和间接煤制油企业 Y 为案例，详细分析煤制油的成本构成。该两家企业已经稳定达产多年，财务状况良好，可作为煤制油产业竞争力分析的对象。两家企业的产品主要是煤制柴油、汽油、液化石油气、石脑油和轻烃等，文中将吨液体燃料产品统一换算吨油当量分析。

2.1 煤制油的成本构成

煤制油产品的成本构成通常包括制造成本、销售费用、管理费用、税费成本和财务成本等。生产成本包括原料煤、燃料煤、电力消耗、员工工资支出、设备折旧费用等项目。影响成本的因素主要包括：投资(有形和无形资产)、原料品质与价格、生产规模、产品结构等。本文主要分析煤制油企业的生产成本。

S 企业某年度的总成本费用约 54.7 亿元(表 2)。其中生产成本、财务成本、管理费用和销售成本分别占比 81%、5%、13%和 1%。在总成本中，煤炭成本为 13.6 亿元，占总成本的比例为 25%。S 企业煤炭采购成本为 328 元/t，远高于当地煤价 145 元/t。

Y 企业某年度的总成本费用约为 9.7 亿元人民币(表 3)。其中生产成本、管理费用、财务费用和税费成本分别占比为 72%、17%、9%和 2%。Y 企业该年度煤炭(原料煤、燃料煤，含运费)、水、电等原料成本 3.01 亿元，占总成本的 43.0%；煤炭采购费用(包括原料煤和燃料煤，不含运费，下同)占总成本的 13.1%。假设当煤炭价格上涨至 300 元/t，煤炭在生产成本中的占比也仅为 25%，因此，煤炭价格对煤制油产业的成本影响并不大。

表 2 煤制油企业 S 和 Y 的产品成本构成

Table 2 The cost structure of CTL Company S and Company Y

成本类型	S 企业/万元	Y 企业/万元
生产成本	442 070	69 970
管理费用	71 672	16 200
销售费用	5 632	468
财务成本	27 354	8 644
税费成本	129 682*	1 918
年总成本	546 728	97 200

注：*S 企业的税费成本已经包含在年总成本中。

表 3 煤制油单位成本比较

Table 3 Cost comparison of CTL Company S and Company Y

	总成本/万元	产量/万吨	单位成本/元
S 企业	546 727.86	90.10	6 068.01
Y 企业	97 200.61	17.83	5 451.49

表 4 S 企业和 Y 企业的生产成本和设备折旧成本比较

Table 4 Comparison of production cost and equipment depreciation cost between Company S and Company Y

吨产品成本	S 企业	Y 企业
总成本/元	6 087	5 451
生产成本/元	4 713	3 925
设备折旧成本/元+	2 850	2 234
设备维修费/元		
设备维修费和折旧费占比	46.8%	41.0%

2.2 项目投资及折旧成本

煤制油企业的固定资产投资主要是项目投资，包括工程费用、固定产其他费用、无形资产、递延资产、预备费、自备电站。S 企业煤制油项目固定资产原值 413.88 亿元，固定资产残值按 2.66 亿元计，按平均年限法计算，年折旧费用 26.6 亿元，折旧年限为 15.4 年。折算吨油品折旧成本为 2 850 元，在总成本中占比为 46.8%。

Y 企业工程总投资 21.77 亿元，其中固定资产投资 18.49 亿元，折旧年限为 14 年，按平均年限法计算，年折旧费用为 1.27 亿元，残值率按 4%计。折算成吨油品折旧成本为 792 元，吨油品设备维护费用 1 441.86 元。设备折旧和维护费用亦是 Y 企业成本构成中占比最高的部分。

S 企业和 Y 企业的吨产品总成本、生产成本和固定资产折旧成本如表 4 所示。煤制油企业 S 和 Y 成本构成中设备折旧费用和设备维护费用分别占比为 46.8%和 41%，均为成本费用中占比最高的项目。较高的固定资产投资和折旧、维护成本是制约煤制油产业发展、限制更多竞争者加入的一个重要因素。

理论上，直接煤制油投资额要低于间接煤制油，但企业 S 的单位产品固定资产折旧比企业 Y 投入高，主要原因有两点：①无形资本投入较高，企业组织

结构不同导致投资效率有差异; ②产品结构不同, 税费成本差异较大。

2.3 营业收入

煤制油公司 S 在 2014 年产品销售收入合计 55.16 亿元(见表 5), 其中柴油销售了 51.3 万吨, 销售额 32.59 亿元, 占总销售收入的 59.09%; 其次石脑油销售了 25.13 万吨, 销售额为 14.92 亿元, 占总销售收入的 27.04%。

2014 年, 煤制油企业 Y 的产品销售收入合计 11.41 亿元。其中液体石蜡销售 10.77 万吨, 销售额 74 779.62 万元, 占销售额的 65.5%; 其次为稳定轻烃销售了 4.77 万吨, 销售额 25 691 万元, 占销售额的 22.51%; 柴油和液化气销售量分别为 7 309.85 t 和 9 787.06 t, 销售额占比仅为 4.2%和 4%, 见表 6。

从表中可知, 企业 Y 销售额中, 占比最大的是液体石蜡和稳定轻烃, 成品油和液化气等能源产品占比较小。煤制油企业可以通过销售副产品, 如液体石蜡、稳定轻烃和石脑油等高附加值或低税费化工原料分摊成品油的生产成本。根据核算, Y 企业的吨油品成本为 5 451 元, 低于 5 996 元/t 的柴油零售价, 成本上具有一定竞争力。

3 煤制油竞争力与产业前景分析

为分析煤制油产业的竞争力, 利用波特(Michael Porter)的竞争理论构建出煤制油产业的钻石模型, 如图 3 所示。

3.1 企业战略、结构和同业竞争

煤制油企业和石油开采加工企业属于同业竞争, 但煤制油产业和石油开采加工业之间并非取代

表 5 煤制油企业 S 的产品销售情况

Table 5 Product sales of Coal Oil Company S

产品名称	销售量/万吨	销售单价/(元/t)	销售额/万元
柴油	51.30	6 353.09	325 913.35
石脑油	25.13	5 935.57	149 160.82
液化气	9.72	4 536.00	44 091.89
硫酸氨	1.60	23.34	37.34
汽油	0.26	8 370.35	2 176.29
其他			30 186.30
合计			551 565.99

表 6 煤制油企业 Y 的产品销售情况

Table 6 Product sales of CTL Company Y

产品名称	销售量/万吨	销售单价/(元/t)	销售额/万元
液体石蜡	10.77	6 942.54	74 779.62
稳定轻烃	4.77	5 386.43	25 691.00
柴油	0.73	6 585.10	4 813.61
液化气	0.98	4 716.23	4 615.80
其他			4 244.77
合计			114 144.80

的关系, 而是作为石油开采加工业的补充, 填补我国原油供应的缺口。

相关研究表明煤基合成油品质优于传统石油产品, 是柴油较理想的替代和补充(胡志远等, 2012, 2014)。可以满足日益严格的汽车尾气排放标准和燃油经济性指标。尤其在环保压力巨大的当下。

成品油批发价格对煤制燃油的市场竞争力、盈利能力有很大影响。根据前文研究, 间接煤制油吨综合成本为 5 451 元, 直接煤制油的单位吨油综合成本为 6 087 元, 其直接竞争对手为石油制柴油, 全国零售均价为 5 996 元/吨, 其中包含成品油消费税 930 元/吨。经测算, 煤制油产业在国际油价不低于 50 美元/桶(布伦特原油价格)时基本具备竞争力(原料煤价格为 150 元/t)。

3.2 生产要素和技术可行性

费托合成煤制油经过 90 多年的发展, 尤其是南非 SASOL 公司 40 多年的商业化运行和国内几家煤制油示范企业近 10 年的摸索, 在技术上、管理上已经比较成熟, 煤炭转化效率也有明显提高。

前文分析煤制油产业固定资产投资大、设备折旧和维修成本较高, 影响企业的利润率和收益水平。根据规模经济理论, 当企业的生产达到一定规模之后, 设备折旧和维修成本在总成本中的占比将会下降, 同时生产成本也会相应降低。煤制油产业若能在全国范围内推广并形成产业, 也将对降低成本起到积极的作用。

在以上四大要素之外还存在两大变数: 政府与机会。对一个产业而言, 市场机会和政府政策的影响是不可忽视的。煤制油产业的机会主要体现在国际油价的波动, 尤其是国际地缘政治甚至区域性战争导致油价的大幅波动和石油资源开发成本的日益提高。更加严格的汽车尾气排放标准和愈发严格的燃油经济性指标也是煤制油产业的竞争机会。

3.3 市场需求条件

市场需求条件指的是国内的成品油市场。中国成品油市场潜力较大, 目前发达国家交通部门石油

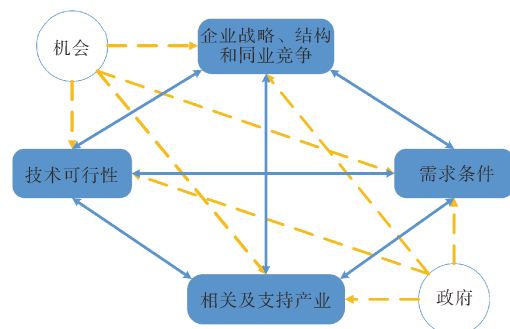


图 3 煤制油产业的“钻石模型”

Fig. 3 Porter's diamond model of CTL Industry

消费占石油消费一半以上(邹愉等, 2010), 中国仍处在快速城镇化发展阶段, 汽车消费市场尚未达到饱和。根据清华大学的预测, 中国汽车保有量到 2030 年将达 3.5~4.8 亿辆。而电动汽车彻底取代内燃机汽车将是一个缓慢而漫长的过程(Wikipedia, 2015)。因此成品油需求仍有巨大的增长空间。

3.4 相关支持产业

通常指煤矿开采、生产设备和成品油销售渠道等相关产业形成的产业集群。煤制油企业多数布局在煤炭产区, 原料丰富, 煤炭价格低廉并长期保持稳定。距离煤炭生产区近, 具有运输成本低的优势。煤炭产区通常布局有大量火电企业、煤化工企业, 煤制油企业可以与当地的煤化工企业乃至火电企业形成多联产项目(王礼等, 2011), 形成新型清洁煤化工产业集群, 降低成本, 提升产业竞争力。

3.5 机会与政府

政府的政策影响对煤制油产业来说是不可忽视的要素。从某种程度上来说, 煤制油产业属于一种新兴产业, 该产业的发展需要政策支持, 否则在发展初期难以与成熟的石油加工业抗衡。现阶段煤制油企业若生产成品油或石脑油, 将要负担较高的税费, 在国际油价较低的情况下, 严重影响了企业的利润, 甚至暂缓生产煤制成品油转而生产化工原料。处于产业成长期的煤制油, 需要相关部门针对煤制油产业制定更合理的税费政策。当前较高的成品油税负已成为煤制油产业扩大发展的制约, 需要执行和常规油气不同的政策, 例如资源补贴政策、特别的税收政策等。

4 主要结论和认识

(1)在当前煤价下, 煤制油成本区间范围为 5 451~6 087 元/t 油品, 在当前低油价下, 与石油制品柴油 5 996 元/t 相比不具备成本优势。

煤制油本质上属于煤化工, 现阶段产能较小, 设备投资成本大。未来随着煤制油产业形成规模效应, 设备投资成本将下降。

(2)煤制油企业的成本构成包括制造成本、营业成本、管理费用、税费成本和财务成本。其中制造成本可细分为原料成本、辅料成本、运输费用、能源成本、无形资产、设备折旧成本和维修费用。设备折旧成本和维修费用占总成本比例区间为 41%~47%; 其次是煤炭成本, 占比 13%~23%; 管理费用占比 13%~17%。直接煤制油企业 S 的税费成本占比高达 23.7%, 而间接煤制油企业 Y 的税费成本仅占总成本的 2%, 原因在于直接煤制油企业 S 无法改变产品结构; 而间接煤制油企业 Y 在低油价下改变了产品结构, 主要生产化工原料, 仅少量生产柴油, 避开了成品油消费税, 体

现了间接煤制油工艺的灵活性。

(3)煤制油是一种煤炭清洁利用技术, 在中国已有较长的发展和生产历史, 相关企业积累了丰富的生产和运营经验。煤制油产品性能好, 油品清洁。煤制油产业现阶段成本较高, 当国际油价高于 50 美元/桶时可以实现盈利, 但在当前低国际油价下, 不具备竞争力。

(4)中国煤炭资源丰富, 油气资源相对匮乏。较高的油气对外依存度既不安全也不可持续。发展煤制油作为常规油气的补充, 是中国能源供应保障的战略选择。中国煤炭资源丰富, 在主要煤炭产区, 如新疆、内蒙古、山西和陕西已形成大规模的煤化工产业集群, 煤制油与现有煤化工企业形成规模化多联产, 可以进一步降低生产成本, 加强抵御油价下行能力, 同时可以实现劣煤优用。南非 Sasol 公司就是采用煤制油和煤化工多联产的煤炭产业集群, 通过销售煤化工产品平抑波动的油价, 当油价下行的时候, 可以销售更多的化学品保证集团收益。

(5)正确的市场前景判断和政府的支持必不可少。美国的大平原煤制气项目失败, 最主要的原因是对美国天然气市场前景的判断失误。大平原公司在天然气价格最高点开始投资, 并认为天然气价格依然存在上涨的空间, 而美国天然气价格随着市场化推进大幅下降, 最终导致项目巨额亏损而破产。

南非 Sasol 煤制油的成功, 离不开南非政府长期以来对煤制油、煤炭化工产业等支持, 这种支持不限于财政和税负上的支持, 还包括对产业集群的支持和资源支持。

随着中国经济社会的发展, 全社会对优质能源资源的需求日渐提高, 煤制油产业将在中国具有较广阔的发展前景。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (No. DD20160189 and DD20160084).

参考文献:

- 陈丹江. 2014. 美国大平原煤制气: 一个失败的案例[J]. 中国石油和化工, 9: 13-15.
- 杜伟. 2015. 对中国油气行业中长期发展战略的几点思考[J]. 国际石油经济, 23(2): 13-18.
- 国家发展改革委. 2015. 煤炭深加工产业发展政策[Z]. 北京: 国家发展改革委.
- 国家能源局. 2014a. 关于规范煤制油、煤制天然气产业科学有序发展的通知 国能科技 339 号[Z]. 北京: 国家能源局.
- 国家能源局. 2014b. 关于促进煤炭安全绿色开发和清洁高效利用的意见 国能煤炭 571 号[Z]. 北京: 国家能源局.
- 韩雅文, 王安建, 周凤英, 邢万里. 2017. 基于全生命周期的褐煤制气与发电温室气体排放对比研究[J]. 地球学报, 38(1): 54-60.

- 郝晓红. 2007. 地下水勘查, 冲开鄂尔多斯“煤制油”瓶颈[J]. 地质勘查导报, 5(17): 1.
- 胡志远, 孙鹏举, 谭丕强, 楼狄明. 2012. 柴油轿车燃用煤基费托合成油的排放特性[J]. 环境科学, 33(11): 3733-3738.
- 胡志远, 孙鹏举, 谭丕强, 楼狄明. 2014. 柴油轿车燃用煤基费托合成燃料的瞬态工况排放特性[J]. 汽车工程学报, 4(3): 225-234.
- 贾怀东. 2013. 煤制油: 倍受质疑的环境代价[J]. 生态经济, (3): 14-17.
- 菅青娥, 刘虎在. 2015. 在内蒙古发展间接液化煤制油产业的思考与建议[J]. 现代化工, 35(1): 15-19.
- 刘团会. 2007. 煤间接液化制油的研究[D]. 西安: 西北大学.
- 舒歌平. 2003. 煤炭液化技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社: 239.
- 舒歌平. 2009. 神华煤直接液化工艺开发历程及其意义[J]. 神华科技, 27(1): 78-82.
- 孙自愿, 王晨君, 宋建华, 许若琪. 2014. 关键资源基础、国企扩张与煤炭资源整合价值效应分析[J]. 软科学, 28(11): 35-39.
- 唐宏青. 2001. 煤化工工艺技术评述与展望 I. 煤气化技术[J]. 燃料化学学报, 29(1): 1-5.
- 滕英跃. 2007. 煤转油战略研究[M]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学.
- 王高尚. 2015. 大力推动煤制油气, 再造一个油气生产大国[R]. 北京: 全球矿产资源战略研究中心.
- 王礼, 徐志新, 马芳伟. 2011. 煤间接液化技术分析和前景展望[J]. 内蒙古石油化工, 11: 40-41.
- 魏思策, 石磊. 2015. 基于水足迹理论的煤制油产业布局评价[J]. 生态学报, 35(12): 4203-4214.
- 杨清明. 1997. 德国煤制油技术的发展过程与思考[J]. 山西化工, (4): 54-56.
- 杨仁俊. 2012. 煤制油技术综述与分析[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 28(5): 54-56.
- 张瑞滋. 2009. 内蒙古煤制油项目的引进及其相关问题研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学.
- 周凤起, 周大地. 1999. 中国中长期能源战略[M]. 北京: 中国计划出版社.
- 邹愉, 王高尚, 于汶加, 林建. 2010. 典型国家部门石油消费轨迹及对中国的启示[J]. 地球学报, 31(5): 666-672.
- Development of Indirect Coal Liquefaction Oil Industry in Inner Mongolia[J]. Modern Chemical Industry, 35(1): 15-19(in Chinese with English abstract).
- LIU Tuan-hui. 2007. The Study of Coal Indirectly Fluidities to Oil[D]. Xi'an: Northwest University(in Chinese with English abstract).
- National Development and Reform Commission. 2015. National Development and Reform Commission. Coal deep processing industry development policy[Z]. Beijing: National Development and Reform Commission(in Chinese).
- National Energy Administration. 2014a. Notice about the scientific and orderly development of the standard coal oil and coal gas industry. National Energy Coal No. 339[Z]. Beijing: National Energy Administration(in Chinese).
- National Energy Administration. 2014b. About the Promotion of Coal Mine Safety and Green development, Clean and efficient use. National Energy Coal No. 571 [Z]. Beijing: National Energy Administration(in Chinese).
- Sasol. 2015. Sasol's Historical Milestones [EB/OL]. [2015-12-24]. <http://www.sasol.com/about-sasol/company-profile/historical-milestones>.
- SHU Ge-ping. 2003. The Technology of Coal to Liquid[M]. Beijing: Coal Industry Press: 239(in Chinese).
- SHU Ge-ping. 2009. Development History and Its Significance of Shenhua Coal Direct Liquefaction[J]. Shenhua Technology, 27(1): 78-82(in Chinese).
- SUN Zi-yuan, WANG Chen-jun, SONG Jian-hua, XU Ruo-qi. 2014. Critical Resource-based, State-owned Enterprise Expansion and Wealth Effect of Coal Resource Integration[J]. Soft Science, 28(11): 35-39(in Chinese with English abstract).
- TANG Hong-qing, XIANG Hong-wei. 2001. Perspectives for R&D in Coal Chemical Industry I. Coal Gasification[J]. Journal of Fuel Chemistry and Technology, 29(3): 193-200(in Chinese with English abstract).
- TENG Yue-ying. 2007. Study of Coal-oil Conversion Strategy[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology(in Chinese with English abstract).
- WANG Gao-shang. 2015. Promote the CTL & CTG, Built a Large Oil and Gas Producing Country[R]. Research Center for Strategy of Global Mineral Resources, CGS & CAGS(in Chinese).
- WANG Li, XU Zhi-xin, MA Fang-wei. 2011. Analysis and Prospect of coal indirect liquefaction technology[J]. Inner Mongolia Petroleum Chemical Industrial, 11: 40-41 (in Chinese).
- WEI Si-ce, SHI Lei. 2015. The Coal-Oil industrial layout evaluation based on water footprint theory[J]. Acta Ecologica Sinica, 35(12): 4203-4214(in Chinese with English abstract).
- Wikipedia. 2015. Motor Vehicle [EB/OL]. [2015-12-19]. https://en.wikipedia.org/wiki/Motor_vehicle#Ownership_trends.
- YANG Qing-ming. 1997. The Development Process and Thinking of CTO Technology in Germany[J]. Shanxi Chemical Industry, 4: 54-56(in Chinese).
- YANG Ren-jun. 2012. Review and Analysis of Coal to Oil Technology[J]. Journal of Chifeng University(Natural Science Edition), 28(5): 54-56(in Chinese).
- ZHANG Rui-zi. 2009. A Study on the Introduction of Coal-to-Oil Project and its Relative Problems in Inner Mongolia[D]. Hohhot: Inner Mongol Normal University(in Chinese with English abstract).
- ZHOU Feng-qi, ZHOU Da-di. 1999. Chinese Mid-Long Tern Energy Strategy[M]. Beijing: China Plan Press(in Chinese).
- ZOU Yu, WANG Gao-shang, YU Wen-jia, LIN Jian. 2010. An Analysis of Sectorial Oil Consumption Track in Typical Countries and Its Implications to China's Trend[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(5): 666-672(in Chinese with English abstract).

References:

- CHEN Dan-jiang. 2014. A failed case - Great Plains Synfuels in United State[J]. China Petroleum and Chemical Industry, 9: 13-15.
- DU Wei. 2015. Several thoughts for China's Mid-Long Term Oil Industry Development Strategy[J]. International Petroleum Economics, 23(2): 13-18(in Chinese).
- HAN Ya-wen, WANG An-jian, ZHOU Feng-ying, XING Wan-li. 2017. A Comparative Analysis of Life-cycle Greenhouse Gas Emission between Lignite-based Synthetic Natural Gas Production and Power Generation [J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(1): 54-60(in Chinese with English abstract).
- HAO Xiao-hong. 2007. Break the bottleneck of Coal to Oil in Erdos by Groundwater exploration[J]. Geological Exploration Report, 5(17): 1(in Chinese).
- HU Zhi-yuan, CHENG Liang, TAN Pi-qiang, LOU Di-ming. 2012. Emission Characteristics of a Diesel Car Fueled with Coal Based Fischer-Tropsch (F-T) Diesel and Fossil Diesel Blends[J]. Environmental Science, 33(11): 3733-3738(in Chinese with English abstract).
- HU Zhi-yuan, SUN Peng-ju, TAN Pi-qiang, LOU Di-ming. 2014. Research on NEDC Real-Time Continuous Emission Properties of a Diesel Car Fueled with Coal Based F-T Synthetic Diesel[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 4(3): 225-234(in Chinese with English abstract).
- JIA Hua-dong. 2013. Coal to Liquid: Environmental Costs of Being Questioned[J]. Ecological Economy. No.3: 14-17(in Chinese).
- JIAN Qing-e, LIU Hu-zai. 2015. Thoughts and Suggestions on The