

煤炭行业专题报告

以史为鉴：技术成熟+油价高位，布局煤化工正当其时

强于大市（维持）

行情走势图



相关研究报告

《行业半年度策略报告*煤炭*量增价挺主逻辑，产业链中觅良机》 2018-06-22
 《行业专题报告*煤炭*十年磨一剑，现代煤化工终迎投资良机》 2018-5-23
 《行业专题报告*煤炭*供应存空间性时段性紧缺，煤化工需求将成为新增长点》 2018-4-22

证券分析师

陈建文 投资咨询资格编号
 S1060511020001
 0755-22625476
 CHENJIANWEN002@PINGAN.COM.CN

研究助理

樊金璐 一般从业资格编号
 S1060118040069
 FANJINLU749@PINGAN.COM.CN

请通过合法途径获取本公司研究报告，如经由未经许可的渠道获得研究报告，请慎重使用并注意阅读研究报告尾页的声明内容。

- **煤化工的兴衰始终与油价、战争、政治密切相关。**从世界煤化工发展史来看，煤化工的发展经历初创、发展、萧条和复苏四个时期。煤化工的兴衰始终与油价、战争、政治密切相关，在世界石油供应紧张和价格居高不下的压力下，煤化工已经成为替代石油供应的重要选择。
- **初创时期（1763-1934）：冶金用焦和煤气（传统煤化工）。**18 世纪由于工业革命的进展，英国对炼铁用焦炭的需要大幅度地增加，炼焦炉应运而生；同时煤炭用于生产民用煤气供街道照明。
- **发展时期（1923-1945）：发动和维持战争（现代煤化工萌芽）。**二战前夕及期间，煤化工取得了迅速的发展。纳粹德国为了发动和维持战争，大规模开展由煤制取液体燃料的研究工作，煤制油总产能达 480 万吨。
- **萧条时期（1946-1972）：需求下降，石油禁运下南非发展煤制油。**二战后，军用燃料需求大量减少，战争期间的民用燃料需求并没有增加，廉价的石油和天然气大量开发使煤化工进入萧条时期，南非受制于石油禁运，发展煤炭间接液化技术，建成 50 万吨煤制油工厂，后来总产能达到 460 万吨。
- **复苏时期（1973 至今）——石油危机，现代煤化工全面复苏。**三次石油危机（1973 年、1979 年、1986 年），导致国际油价大涨，使由煤生产液体燃料及化学品的的方法又重新受到重视。欧美国家对此又进行了开发研究工作。跨国公司在煤资源产地，积极寻求大型煤化工项目的投资机会。而在这一波煤化工产业化进程中，中国逐渐成为煤化工技术研发和示范应用的领先者。
- **我国现代煤化工技术整体处于世界领先或先进水平。**经过多年发展，我国煤制油、煤制气、煤制烯烃等煤炭深加工示范项目取得成功，关键技术实现整体突破，工艺流程打通，实现长周期稳定运行，产业初具规模、布局初步形成，掌握了具有自主知识产权的煤直接液化、煤间接液化、煤制烯烃、焦油加氢等技术工艺，工艺整体达到世界领先或先进水平。同时煤制芳烃、煤制乙醇、粉煤热解等技术正处于工业示范中，有望取得突破。
- **投资建议：**我们认为在 60 美元/桶及以上油价下，煤化工盈利能力显著改善，将迎来发展机遇。公司方面，关注煤化工龙头和具有现代煤化工新增产能的优质公司，中国神华有 60 万吨煤制烯烃，集团拥有煤炭直接液化核心技术及 500 万吨煤制油产能和烯烃产能 278 万吨，包头烯烃二期、煤炭直接液化二期在开展前期工作；华鲁恒升依托洁净煤气化技术，打造“一头多线”的循环经济，产能包括 180 万吨尿素、30 万吨复合肥等，新建 50 万吨/年乙二醇 2018 年底前有望投产；中煤能源拥有图克化肥、榆林烯烃、蒙大工程塑料项目，产能先进，拥有 60 万吨烯烃、50 万吨工程塑料、

175 万吨尿素等；新奥股份拥有 60 万吨甲醇，年产 20 万吨稳定轻烃项目已经在试运行中；阳煤化工尿素产能 450 万吨，甲醇 80 万吨，乙二醇 20 万吨，公告拟将寿阳 20 万吨产能装入上市公司，集团还拥有平定 20 万吨乙二醇产能。我们看好煤化工行业的投资机会，推荐中国神华、新奥股份，建议关注华鲁恒升、中煤能源、阳煤化工等公司。

- **风险提示：**1) 宏观形势因素影响，可能出现化工产品需求和石油产品需求不及预期，导致石化产品价格下跌，影响公司利润；2) 国际油价下降，煤化工项目的经济性下降，其投资和开工率不及预期，导致公司利润下滑；3) 环保治理等政策下，进一步严格限产或淘汰产能，产能或者产能利用率下降，导致公司煤化工产量下降，对营业收入和利润造成影响；4) 煤化工较好的收益率导致国内外大幅增加煤化工投资，产能供大于求，煤化工产品价格下降，影响公司利润；5) 煤炭供应紧张导致煤炭大幅上涨，煤化工企业成本大幅增加，影响公司利润；6) 煤化工工艺高温高压反应设备较多，其原料和产品具有易燃易爆性质，安全事故也是影响公司稳定运行和业绩的重要因素。

股票名称	股票代码	股票价格	EPS					P/E				评级
		2018-08-07	2017A	2018E	2019E	2020E	2017A	2018E	2019E	2020E		
中国神华	601088	18.13	2.26	2.37	2.47	2.52	8.0	7.6	7.3	7.2	推荐	
新奥股份	600803	13.10	0.51	1.19	1.43	1.56	25.7	11.0	9.2	8.4	推荐	
华鲁恒升	600426	17.93	0.75	1.70	2.01	2.19	23.8	10.5	8.9	8.2	-	
中煤能源	601898	5.09	0.18	0.28	0.30	0.32	28.0	18.4	17.0	15.9	-	
阳煤化工	600691	2.79	0.07	0.28	0.40	0.53	42.2	9.9	6.9	5.3	-	

注：新奥股份采用机械团队的盈利预测，华鲁恒升、中煤能源、阳煤化工采用 wind 一致预期。

正文目录

引言	6
一、 煤化工基本概念	7
二、 煤化工发展历程——与油价、战争、政治密切相关	8
2.1 初创时期（1763-1934）——冶金用焦和煤气（传统煤化工）	8
2.2 发展时期（1923-1945）——发动和维持战争（现代煤化工萌芽）	9
2.3 萧条时期（1946-1972）——需求下降，石油禁运下南非发展煤制油	10
2.4 复苏时期（1973 至今）——石油危机，现代煤化工全面复苏	10
三、 煤炭气化发展	11
3.1 国外煤气化发展	13
3.2 国内煤气化发展	13
四、 煤制天然气发展	15
4.1 国外煤制天然气发展	16
4.2 国内煤制天然气发展	16
五、 煤炭液化发展	17
5.1 国外煤炭液化发展	17
5.2 国内煤炭液化发展	18
六、 煤制烯烃发展	19
6.1 国外煤制烯烃发展	19
6.2 国内煤制烯烃发展	20
七、 煤制乙二醇发展	20
7.1 国外煤制乙二醇发展	21
7.2 国内煤制乙二醇发展	21
八、 其他现代煤化工发展	21
8.1 煤制芳烃发展	21
8.2 煤制乙醇发展	22
8.3 低阶煤分级分质利用发展	23
九、 现代煤化工技术渐成熟、经济性向好、环境低排放	24
9.1 直接液化示范项目——神华百万吨级煤直接液化	24
9.2 间接液化示范项目——伊泰 16 万吨/年煤间接液化	25
9.3 煤制天然气示范项目——新疆庆华 55 亿立方米/年一期项目	26
9.4 煤制烯烃示范项目——神华包头 60 万吨/年 DMTO 项目	26
9.5 煤制乙二醇示范项目	27
9.6 现代煤化工经济性与油价关系	27
9.7 现代煤化工产能初具规模	28

十、	投资建议	28
十一、	风险提示	28

图表目录

图表 1	煤化工发展阶段与油价、战争、政治密切相关（美元/桶）	6
图表 2	煤化工的分类	7
图表 3	煤化工的产业链	8
图表 4	初创时期（1763-1934）——冶金用焦和煤气（传统煤化工）	9
图表 5	发展时期（1923-1945）——发动和维持战争（现代煤化工萌芽）	9
图表 6	萧条时期（1946-1972）——需求下降，南非发展煤制油	10
图表 7	复苏时期（1973 至今）——石油危机，现代煤化工全面复苏	11
图表 8	煤气化及下游产业链	12
图表 9	气化炉按照炉内物料流动方式划分	12
图表 10	多喷嘴对置式水煤浆气化工艺流程	14
图表 11	国内应用的煤气化技术特点	15
图表 12	煤制天然气工艺流程图	16
图表 13	煤炭直接液化工艺流程图	17
图表 14	煤炭间接液化工艺流程图	17
图表 15	煤制烯烃（MTO）工艺流程图	19
图表 16	煤制乙二醇工艺流程图	21
图表 17	煤制芳烃工艺流程图	22
图表 18	煤制乙醇工艺流程图	22
图表 19	低阶煤分质利用工艺流程图	23
图表 20	国内外煤炭热解工艺比较	24
图表 21	神华煤直接液化示范项目主要运行数据	24
图表 22	伊泰 16 万 t/a 煤间接液化示范项目运行情况	25
图表 23	煤化工项目经济竞争力	27

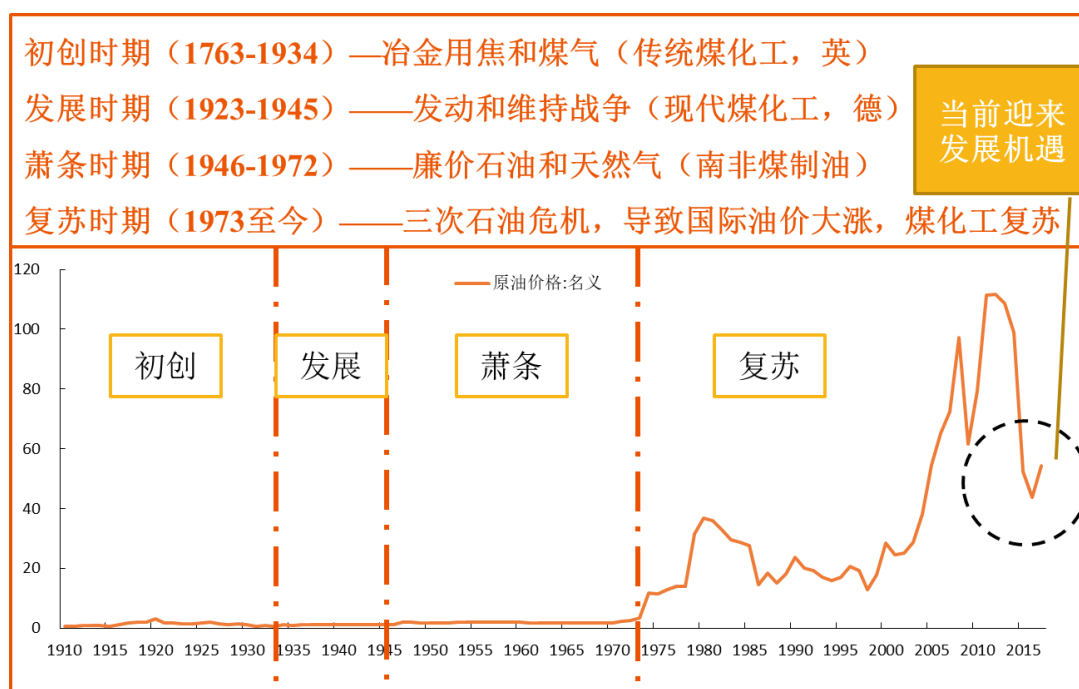
引言

从世界煤化工发展史来看，煤化工的发展经历初创时期、发展时期、萧条时期和复苏时期。传统煤化工的发展主要是因为钢铁行业对焦炭的需求、农业对化肥的需求。现代煤化工的发展主要与石油价格、战争、政治等因素密切相关，石油价格上涨会使煤制燃料和化工品经济性提高；战争对军用燃料的需求促使德国大规模发展煤制油产业；石油禁运使南非不得不发展煤炭间接液化技术解决国内液体燃料供应问题。从世界经验看，在世界油气供应趋紧和价格居高不下的压力下，煤化工就会成为替代石油供应的重要选择。

进入 21 世纪，油价的不断攀升促使石油化工原料成本居高不下，煤化工进入了新一轮发展期。中国作为世界最大的煤炭生产和消费国，抓住了这次机遇。经过十年示范，我国现代煤化工技术逐渐成熟。现代煤化工创新发展取得一系列重大突破，攻克了大型先进煤气化、合成气变换新、大型煤制甲醇、煤直接制油、煤间接制油、煤制烯烃、煤制乙二醇等一大批技术难题，一批现代煤化工示范工程项目顺利实施，现代煤化工技术创新和产业化均走在了世界前列，技术和装备自主化率达 85%。

当前，我们认为，经过近十年发展，现代煤化工技术已经渐趋成熟，初具规模。在当前 60 美元/桶的油价下，盈利能力显著改善，迎来发展机遇。

图表1 煤化工发展阶段与油价、战争、政治密切相关（美元/桶）



资料来源: 煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

一、煤化工基本概念

煤化工是指以煤为主要原料经化学加工转化成气体、液体和固体并进一步加工成一系列化工产品的工业过程，泛指煤的气化、液化、焦化、干馏及焦油加工、电石乙炔化工等，也包括利用煤的性质通过氧化制硝基腐殖酸和苯甲酸、通过溶剂处理制膨润炭、无灰焦、多环芳香族化合物等化学品以及以煤为原料制取活性炭、碳薄膜、炭黑及碳纤维等碳素材料和煤基高分子材料等。

按煤炭的一次转化方式不同，可分为煤焦化、煤气化和煤液化；

按加工深度不同，可分为产业链上游的基础煤化工和中下游的精细煤化工；

按发展成熟度不同，可分为传统煤化工和现代煤化工。传统煤化工主要包括煤制化肥、合成氨和焦炭，现代煤化工主要是新型煤基能源和新型煤基材料。

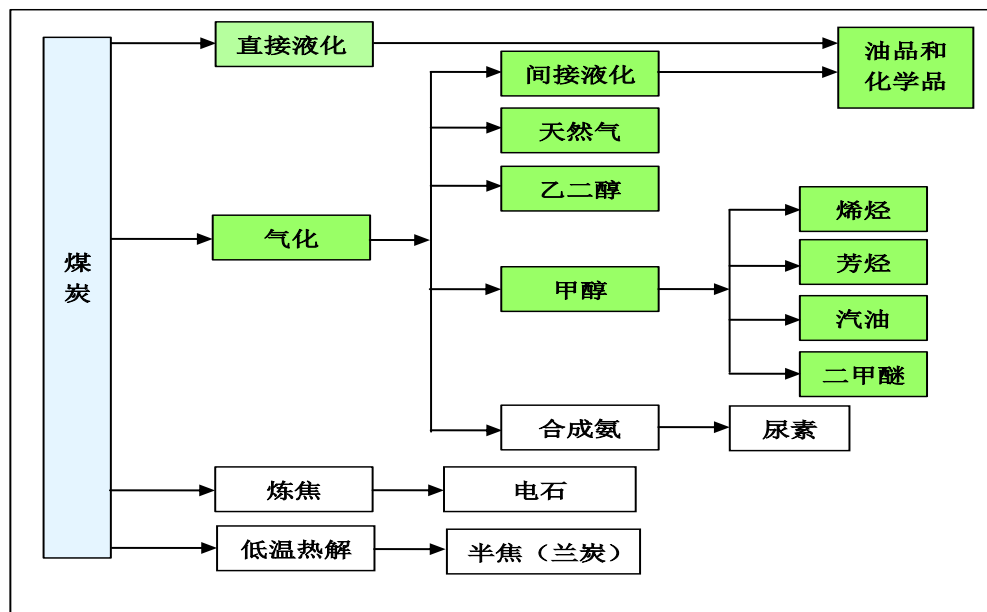
按产品最终用途不同，可分为煤基化学燃料、煤基化工材料、煤制化肥、煤基精细化学品等。煤基化学燃料包括煤基固体、液体和气体燃料；煤基化工材料包括煤制塑料、煤制化纤、煤制橡胶，其中煤制塑料主要是煤制烯烃及其深加工，煤制化纤主要是煤制芳烃和煤制乙二醇及其深加工，煤制橡胶主要是煤制硅橡胶产业链。

图表2 煤化工的分类

分类方式	类别
一次转化方式	煤焦化；煤气化；煤液化
加工深度	基础煤化工
	精细煤化工
发展成熟度	传统煤化工 煤制化肥 合成氨 焦炭
	现代煤化工 新型煤基能源 新型煤基材料
产品最终用途	煤基化学燃料 煤基固、气、液燃料
	煤基化工材料 煤制塑料 煤制化纤 煤制橡胶
	煤制化肥
	煤基精细化学品

资料来源：煤炭科学研究总院，平安证券研究所

图表3 煤化工的产业链



资料来源: 煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

二、煤化工发展历程——与油价、战争、政治密切相关

在煤化工发展初期, 主要生产焦炭用于钢铁行业。后来随着对石油化工产品需求的增加, 煤制燃料(油气)、煤制化工品等才逐渐发展起来, 从世界煤化工发展史来看, 其发展历程与油价、战争和政治具有密切关系。

2.1 初创时期(1763-1934)——冶金用焦和煤气(传统煤化工)

起初主要为冶金用焦和煤气的生产。中国是使用煤最早的国家之一, 早在公元前就用煤冶炼铜矿石、烧陶瓷, 明代已用焦炭冶铁。但是, 煤作为化学工业的原料加以利用并逐步形成工业体系, 则是在近代工业革命之后。18世纪中叶由于工业革命的进展, 英国对炼铁用焦炭的需要量大幅度地增加, 炼焦炉应运而生。1763年发展了将煤用于炼焦的蜂窝式炼焦炉。

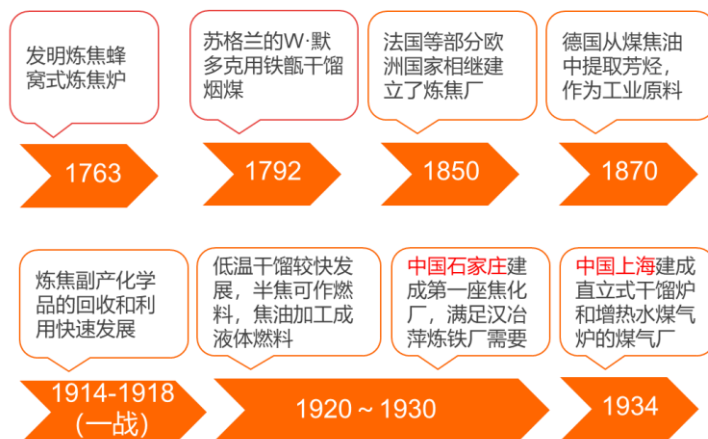
18世纪末, 煤炭用于生产民用煤气。1792年, 苏格兰人W.默多克用铁甑干馏烟煤, 并将所得煤气用于家庭照明。1812年, 这种干馏煤气首先用于伦敦街道照明, 随后世界一些主要城市也相继采用。1816年, 美国巴尔的摩市建立了煤干馏工厂生产煤气。从此, 铁甑干馏煤的工业就逐步得到发展。1840年, 法国用焦炭制取发生炉煤气, 用于炼铁。1875年, 美国生产增热水煤气用作城市煤气。1850-1860年, 法国及欧洲其他国家相继建立了炼焦厂。这时的炼焦炉已开始采用由耐火材料砌成的长方形双侧加热的干馏室。室的每端有封闭铁门, 在推焦时可以开启, 这种炉就是现代炼焦炉的雏形。焦炭虽是炼焦的主要目的产物, 但炼焦化学品的回收, 逐渐引起人们的重视。19世纪70年代德国成功地建成了有化学品回收装置的焦炉, 由煤焦油中提取了大量的芳烃, 作为医药、农药、染料等工业的原料。

第一次世界大战期间, 钢铁工业高速发展, 同时作为火炸药原料的氨、苯及甲苯也很急需, 这促使炼焦工业进一步发展, 并形成炼焦副产化学品的回收和利用工业。同时, 很多国家建立了合成氨厂, 以焦炭、煤为原料生产的氨约占一半以上, 此时一部分氨已经开始用于生产化肥。1925年, 中国在石家庄建成了第一座焦化厂, 满足了汉冶萍炼铁厂对焦炭的需要。

1920-1930 年间，煤低温干馏的研究得到重视并较快发展，所得半焦可作民用无烟燃料，低温干馏焦油则进一步加工成液体燃料。1934 年，在中国上海建成拥有直立式干馏炉和增热水煤气炉的煤气厂，生产城市煤气。

图表4 初创时期（1763-1934）——冶金用焦和煤气（传统煤化工）

初创时期（1763-1934）——冶金用焦和煤气（传统煤化工）

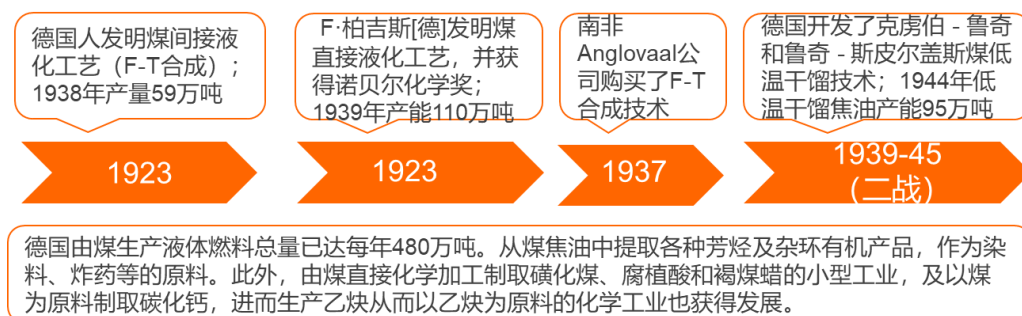


资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

2.2 发展时期（1923-1945）——发动和维持战争（现代煤化工萌芽）

为了发动和维持战争，煤化工进入发展阶段。第二次世界大战前夕及大战期间，煤化工取得了迅速的发展。纳粹德国为了发动和维持战争，大规模开展由煤制取液体燃料的研究工作，加速发展煤制液体燃料的工业生产。1923 年发明由一氧化碳加氢合成液体燃料的费托合成法，1933 年开始工业生产，1938 年产量已达 59 万吨。1931 年，F.柏吉斯由于成功地将煤直接液化制取液体燃料，而获得诺贝尔化学奖。1939 年煤直接液化产能已达 110 万。在此期间，德国还建立了大型的低温干馏工厂，以褐煤为主加入少量烟煤的压型煤砖作为原料，开发了克虏伯-鲁奇外热式干馏炉及鲁奇-斯皮尔盖斯内热式干馏炉。第二次世界大战末期，德国用加氢液化方法由煤及煤焦油年生产的液体燃料达 400 万吨，由煤生产液体燃料总量已达每年 480 万吨。与此同时，工业上还从煤焦油中提取各种芳烃及杂环有机产品，作为染料、炸药等的原料。此外，由煤直接化学加工制取磺化煤、腐植酸和褐煤蜡的小型工业，及以煤为原料制取碳化钙，进而生产乙炔从而以乙炔为原料的化学工业也获得发展。

图表5 发展时期（1923-1945）——发动和维持战争（现代煤化工萌芽）



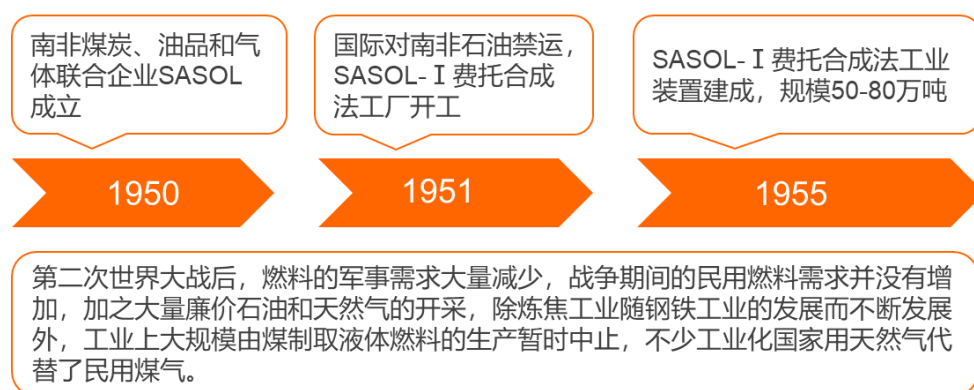
资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

2.3 萧条时期（1946-1972）——需求下降，石油禁运下南非发展煤制油

廉价的石油和天然气大量开发使煤化工进入萧条时期，南非受制于石油禁运，开发煤制油技术。第二次世界大战后，燃料的军事需求大量减少，战争期间的民用燃料需求并没有增加，加之大量廉价石油和天然气的开采，除炼焦工业随钢铁工业的发展而不断发展外，工业上大规模由煤制取液体燃料的生产暂时中止，不少工业化国家用天然气代替了民用煤气。

以石油和天然气为原料的石油化工飞速发展，致使以煤为基础的乙炔化学工业的地位大大降低。值得提出的是南非由于其所处的特殊地理和政治环境以及资源条件，以煤为原料合成液体燃料的工业一直在发展。1955年SASOL-I费托合成法工业装置建成。1977年，又开发了大型流化床反应器，并先后开发SASOL-II、SASOL-III，1982年相继建成两座规模为年产160万吨煤制油工厂。

图表6 萧条时期（1946-1972）——需求下降，南非发展煤制油



资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

2.4 复苏时期（1973至今）——石油危机，现代煤化工全面复苏

三次石油危机，导致国际油价大涨，煤化工复苏。

第一次石油危机（1973-1975）: 1973年10月，中东战争爆发，阿拉伯国家纷纷要求支持以色列的西方国家改变对以色列的庇护态度，决定利用石油武器教训西方大国。石油输出国组织决定提高石油价格，减少石油生产，并对西方发达资本主义国家实行石油禁运。提价以前，石油价格每桶只有3.01美元，两个月后，到1973年底，石油价格达到每桶11.651美元，提价3-4倍。德国和美国等西方国家重新开始煤化工技术的研发，开发了一系列煤气化、煤液化、碳化学等方面的战略性储备技术。同时，天然气化工在甲醇、甲醇制烯烃、合成油等领域的快速进展，也为大型煤化工提供了很多的借鉴经验。

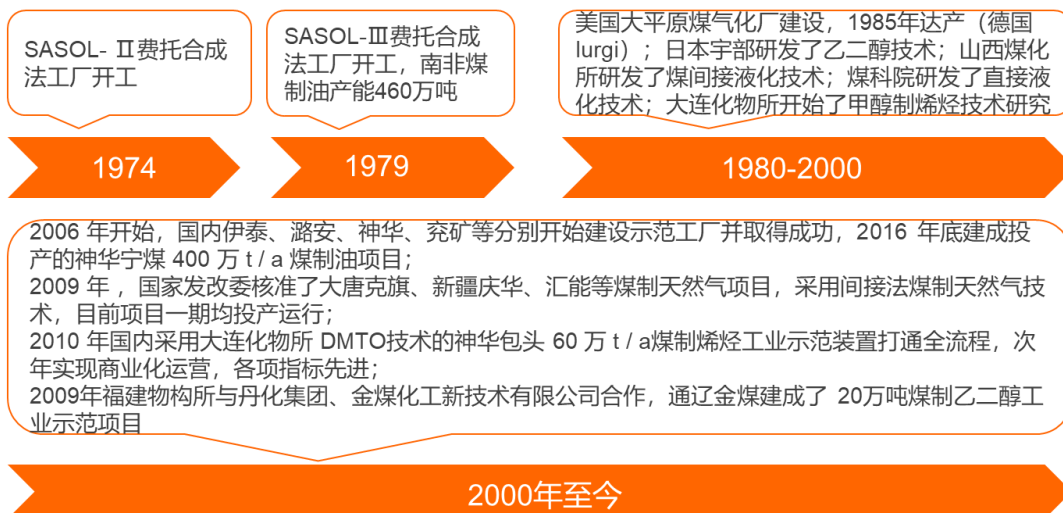
第二次石油危机（1978-1980）: 1978年伊朗发生革命，伊朗停止输出石油60天，使石油市场每天短缺石油500万桶，约占世界总消费量的1/10，致使油价动荡和供应紧张。1980年9月20日伊拉克空军轰炸伊朗，两伊战争爆发。两国石油生产完全停滞，世界石油产量受到严重影响，产量剧减，打破了当时全球原油市场上脆弱的供求关系。油价从每桶13美元猛增至1980年底的41美元。

第三次石油危机（1986-1990）: 1986年，石油价格降到10美元/桶以下，使国际石油市场出现混乱，对世界经济和金融体系产生猛烈冲击，第三次石油危机爆发。中东阿拉伯国家的石油权力几乎完全丧失，西方国家在国际权力争夺战中重新获得主动权。1990年海湾战争爆发，伊拉克攻占科威特之后遭受国际经济制裁，使得伊拉克的原油供应中断，国际油价因而急升至42美元/桶的高点。

三次石油危机（1973 年、1979 年、1986 年），导致国际油价大涨，使由煤生产液体燃料及化学品的的方法又重新受到重视。欧美等国家对此又进行了开发研究工作，并取得了进展。如在煤直接液化的方法中发展了氢煤法、供氢溶剂法(EDS)和溶剂精炼煤法(SRC)等；在煤间接液化法中发展了SASOL 法，将煤气化制得合成气，再经合成制取发动机燃料；亦可将合成甲醇再转化生产优质汽油，或直接作为燃料甲醇使用。

图表7 复苏时期（1973 至今）——石油危机，现代煤化工全面复苏

复苏时期（1973至今）——三次石油危机，现代煤化工迎来发展机遇



资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

进入 21 世纪，油价的不断攀升促使石油化工原料成本居高不下，煤化工进入了新一轮发展期，一方面加快了大型煤气化、煤制烯烃、煤制合成油等石油替代技术的开发和工业化推广进程；以大型煤气化为龙头的现代煤化工产业已成为全球经济发展的热点。煤炭洁净气化技术正朝大型化、清洁化的方向发展，以改进设备结构，提高脱硫、除尘及净化效率为目标。跨国公司在煤资源产地，如中国、印度、南非、澳大利亚等煤资源大国，积极寻求大型煤化工项目的投资机会。而在这一波煤化工产业化进程中，中国逐渐成为煤化工技术研发和示范应用的领先者。

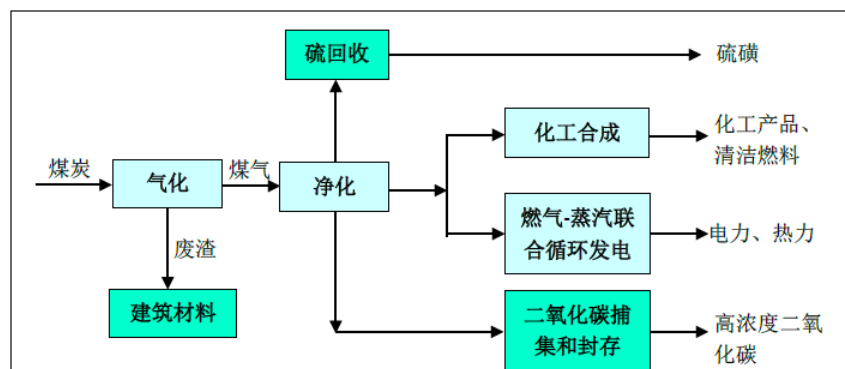
从世界经验看，煤化工的兴衰始终与石油和天然气化工紧密相关，在世界石油供应紧张和价格居高不下的压力下，煤化工已经成为替代石油供应的重要选择。

三、煤炭气化发展

煤气化是一个热化学过程。以煤或煤焦为原料，以氧气（空气、富氧或纯氧）、水蒸气或氢气等作气化剂，在高温条件下通过化学反应将煤或煤焦中的可燃部分转化为气体燃料的过程。煤气化是煤化工的“龙头”，也是煤化工的基础。煤气化工艺是生产合成气产品的主要途径之一，通过气化过程将固态的煤转化成气态的合成气，同时副产蒸汽、焦油、灰渣等副产品。

经过多年发展，大容量 2000–3000t/d、压力等级高（4.0–8.5MPa）的煤气化炉实现了国产化，如多喷嘴对置水煤浆气化炉、航天粉煤加压气化炉逐渐替代进口技术并已大量应用到煤化工项目中。

图表8 煤气化及下游产业链

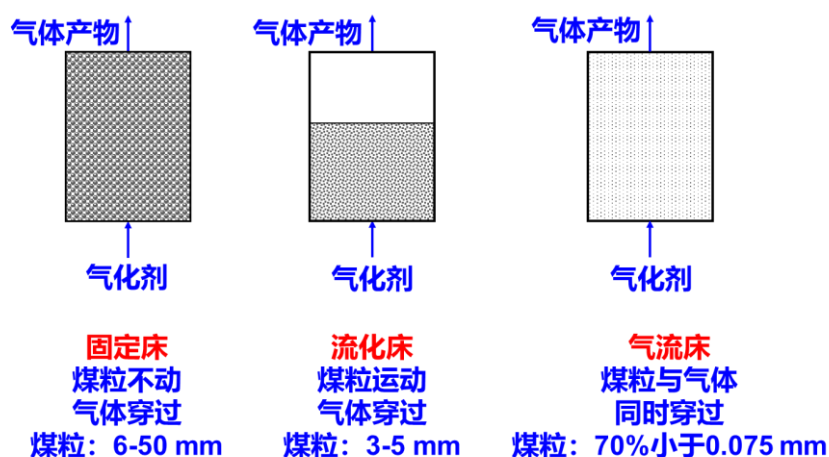


资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

目前以煤为原料生产合成气的煤气化技术按照气化炉内物料流动方式来划分, 主要有三大类: 固定床 (或称为移动床)、流化床和气流床。

固定床是块状的煤 (13~50 毫米) 与气化剂逆向加入, 煤中碳等有机物气化后, 灰渣从炉底固态或液态排出; 在流化床气化中, 煤通常以小于 8 毫米的粒度入炉, 处于连续随机运动的沸腾状态, 混合和燃烧十分迅速, 灰渣和半焦随产品煤气一起在完全处于反应温度下排出, 排出的灰渣与煤气分离后还可返回炉内, 与未完全反应的碳进行气化; 气流床气化是粒度小于 0.13 毫米的煤粉被气化剂夹带进入炉内, 在高温和悬浮状态下进行气化, 煤气和灰渣都在接近反应温度下以液态排出。

图表9 气化炉按照炉内物料流动方式划分



资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

第一代气化技术(1936-1954)包括各种常压固定床煤气发生炉、加压鲁奇炉、K-T 炉和 Winkler 炉等, 其热效率、单炉气化能力较低。

第二代煤气化技术是为适应新一代煤化工发展的需要而开发的高效节能技术, 其特点是采用高压气化以提高设备生产能力和降低合成气压缩费用, 采用高温气化以减少副产物生成、降低净化费用和提高转化率, 采用粉煤气化以降低对煤质要求并符合现代化采煤生产细煤的趋势。

第三代气化技术尚处于小试或中试实验阶段, 如煤的催化气化、煤的加氢气化、煤的地下气化、煤的等离子体气化、煤的太阳能气化和煤的核能余热气化等。

3.1 国外煤气化发展

煤炭气化技术发展至今已有一百多年的历史。1839 年第一台煤气发生炉问世，1880 年产生水煤气发生炉，标志了煤气化工业的开始。上世纪 70 年代 Texaco 水煤浆加压气化技术的工业化，大大推进了大型煤气化技术的发展。经过 40 多年的发展，气流床气化炉已在煤化工及 IGCC 技术中得到应用。

目前世界上应用较广泛的主要气化炉型有以下几类：

（1）加压固定（移动）床气化

加压固定床气化代表炉型为鲁奇（Lurgi）炉。鲁奇工艺生产的煤气可直接作为城市燃气，也可作为合成原料气生产合成氨或 C1 化学产品。

Lurgi 气化技术是 20 世纪 30 年代由联邦德国鲁奇公司开发的，属第一代煤气化工艺。世界(不包括中国)上由煤生产的合成气中 80% 以上是采用鲁奇加压气化法，迄今有数百台各类型鲁奇炉运行。鲁奇气化工艺自 1936 年实现工业化以来已经历了 4 个发展阶段，第四代鲁奇炉直径为 5 米，单台炉产气量可达 10 万立方米/小时，可气化除强粘结性以外的所有煤种。

1975 年，英国燃气公司与德国 Lurgi 公司合作，将英国的固态排渣鲁奇炉改为液态排渣鲁奇炉（BGL 气化炉），该炉的直径为 1.8 米。液态排渣鲁奇炉与固态排渣鲁奇炉相比，主要是提高了气化温度，炉膛温度可达 1800~1900℃，此时灰渣均成液态从出渣口排入吹淬渣室而排出，其余工艺均与固态排渣相同。BGL 气化炉在英国、德国、我国等地均有应用。

（2）水煤浆气流床气化

德士古水煤浆气流床气化技术是 20 世纪 70 年代推出的第二代煤气化工艺，由美国德士古石油公司开发，是目前气流床气化取得商业运行经验最丰富的工艺之一，于 2004 年转让给美国 GE 能源公司。对于不同压力（2.7、4.0、6.5、8.7 兆帕）皆有工业性生产装置。最大商业装置单炉日处理煤 2000~2400 吨，气化压力为 2.8 兆帕。我国是 GE 水煤浆气化工艺应用的主要国家。

（3）干粉气流床气化

1) Shell 煤气化

Shell 煤气化工艺是由荷兰 Shell 国际石油公司开发的一种加压气流床粉煤气化技术。在荷兰的示范电站之后，在我国逐步成功实现 Shell 煤气化技术工业化推广，在国内厂家的运行经验中不断发展并进一步完善工程化应用。

气化炉用煤量达 2600 吨/天，煤气产量达 18 万立方米/小时，1996 年在西班牙建成整体煤气化联合循环发电（IGCC）示范厂，发电装机容量为 30 万千瓦，净供电效率达 45%，是目前世界上能力最大的加压气流床气化炉，后因多方面原因没有继续发展。

2) GSP 煤气化

GSP 干粉加压气流床气化技术由前东德开发，始于上世纪 70 年代末，主要用于气化低品位褐煤。GSP 煤气化技术在德国已实现工业化应用，最大应用规模为 720 吨/天，在德国、捷克、美国还有三个工业化运行和在建装置，目前该技术属于西门子公司。

3.2 国内煤气化发展

近十几年，我国煤气化技术引进多。我国已成为世界上煤气化类型最多、煤气化经验最丰富的国家。德士古水煤浆气化、壳牌干粉煤气化等技术均在国内首次实现大规模的化工生产应用。随着国内煤

气化领域的经验积累，国产煤气化技术开发速度也在加快，国产技术逐步走向成熟。

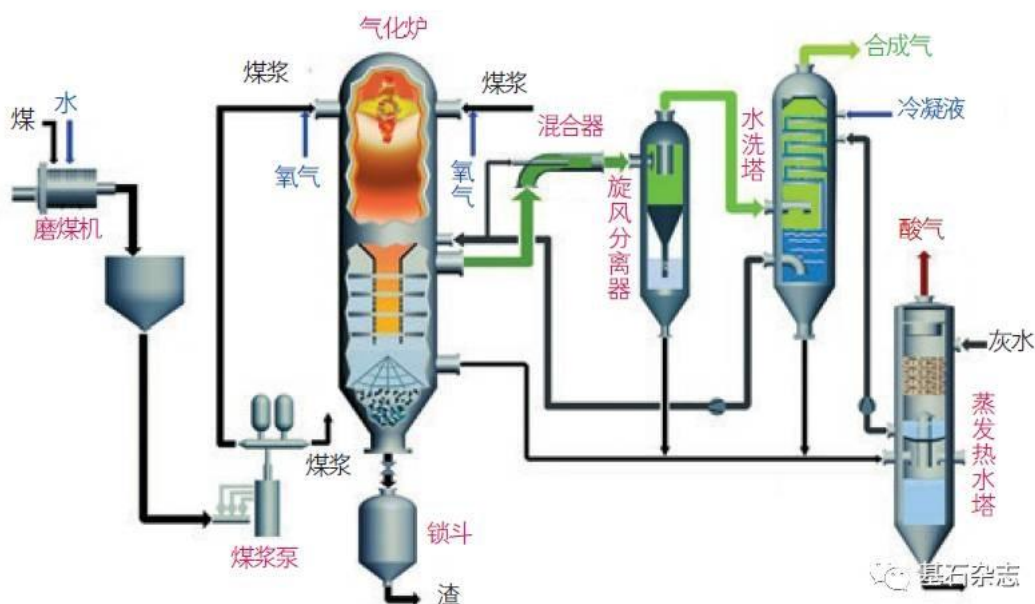
“十五”以来，在引进国外先进技术的基础上，国内厂家通过改进进口装置运行进一步发展了煤炭气化技术，掌握了引进气化技术较为先进的理念及较前沿的工程经验。一批具有自主知识产权的煤气化技术成功研发、示范和推广应用。国家“863”支持了两段式干燥粉加压气化技术研发示范，相继实现了 1000 吨/天和 2000 吨/天的工业示范；2000 吨/天和 3000 吨/天多喷嘴水煤浆气化技术研发和示范；航天炉单台处理煤量约 3000 吨/天装置以实现长周期稳定运行。

（1）多喷嘴对置式水煤浆气化

多喷嘴对置式水煤浆装置在 2000 年中试成功后，由华东理工大学和兖矿集团有限公司共同进行了多喷嘴对置式水煤浆气化技术的产业化研究，在 2004 年年底建成处理 1150 吨煤/天 4 喷嘴对置式水煤浆气化技术的商业工业示范装置，2005 年 7 月 21 日投料成功，工程实践证实完全可行。

2009 年 6 月 15 日江苏灵谷化工有限公司日处理 2000 吨级煤气化炉一次投料成功；2014 年 6 月 24 日，兖州煤业鄂尔多斯能化有限公司年产 180 万吨煤制甲醇及转化烯烃项目一期工程 3000 吨/天水煤浆加压气化炉一次投料成功，是目前国内单台规模最大的气化炉。

图表10 多喷嘴对置式水煤浆气化工艺流程



资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

（2）两段干燥粉加压气化技术干燥粉加压气化

西安热工研究院有限公司依托中国华能集团天津 25 万千瓦 IGCC 项目，开展 2000 吨/天级干燥粉加压气化技术开发与示范，气化装置已完成建设，已投入运转。1000 吨/天级干燥粉加压气化激冷工艺已成功应用于内蒙世林煤化工项目。2009 年，美国未来燃料公司（FutureFuels LLC）与西安热工研究院签署“2300 吨/天干燥粉加压气化技术使用许可协议”，在美国宾州 27 万千瓦 IGCC 电站中采用两段式干燥粉加压气化技术。

（3）北京航天石化技术装备工程公司 HT-L（航天炉）

我国航天科技集团北京动力研究所所属的北京航天石化技术装备工程公司自行研发了一种新型的气化炉 HT-L（航天炉）。单台处理煤量~600 吨/天，热效率达 95%，碳转化率高达 99%，气化温度能达到 1500–1700℃。第一套装置（濮阳市甲醇厂）的合同于 2005 年 12 月签订，卖方垫资 7000 万

元，2006 年 3 月底奠基。第二套装置在安徽临泉化工股份有限公司，也采取同样的运作方式。目前，3000 吨级航天气化炉也已经实现长周期运行。

(4) 东方炉（SE）粉煤气化技术

华东理工大学和中国石化集团公司联合开发了 SE 粉煤加压气化技术。已在中国石化扬子石油化工有限公司建成日处理煤 1000 吨级 SE 气化示范装置，2014 年 1 月首次投料试车，2014 年 10 月通过满负荷运行标定。目前在建和运行的气化炉最大单炉日处理煤量为 1500 吨。

图表11 国内应用的煤气化技术特点

序号	气化技术	类型	技术拥有方	适应煤种	代表企业
1	鲁奇碎煤气化	固定床	德国鲁奇公司	褐煤、不粘结性或弱粘结性的煤	天脊煤化工
2	GE 水煤浆气化	气流床	美国 GE 公司	低灰熔点的煤	渭河化工
3	多元料浆气化	气流床	西北化工研究院	低灰熔点的煤	安徽淮化
4	多喷嘴对置水煤浆气化	气流床	华东理工大学	低灰熔点的煤	江苏灵谷
5	Shell 干煤粉气化	气流床	荷兰壳牌	煤种基本无限制	安庆石化
6	GSP 干煤粉气化	气流床	德国西门子	煤种基本无限制	神华宁煤
7	两段式干煤粉气化	气流床	西安热工研究院	煤种基本无限制	华能天津
8	多喷嘴对置干煤粉气化	气流床	华东理工大学	煤种基本无限制	尚未投运
9	HT-L 粉煤加压气化	气流床	航天长征公司	煤种基本无限制	鲁西化工
10	非熔渣-熔渣分级气化	气流床	清华大学	煤种基本无限制	阳煤丰喜
11	WHG（五环炉）煤气化	气流床	五环工程公司	煤种基本无限制	尚未投运
12	水煤浆水冷壁煤气化	气流床	清华大学	煤种基本无限制	阳煤丰喜
13	BGL 熔渣煤气化	固定床	英国燃气公司	褐煤、不粘结性或弱粘结性煤	云天化金新
14	CCG 干煤粉气化	气流床	德国科林工业集团	煤种基本无限制	兖矿贵州开阳

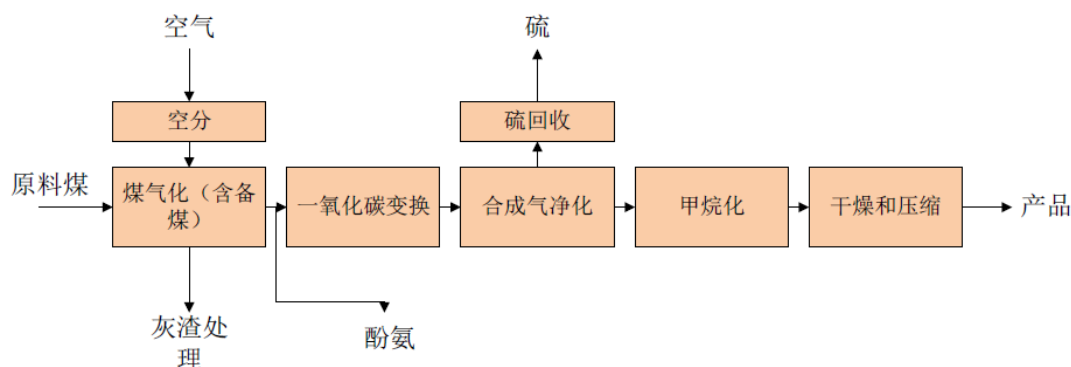
资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

四、煤制天然气发展

煤制天然气是指以煤为原料，制取以甲烷为主要成分、符合天然气热值等标准气体的过程。煤制天然气可以分为“一步法”和“两步法”两种工艺，目前工业化应用的主要是“两步法”。“两步法”工艺是通过煤气化将煤转化为合成气（主要含 CO、H₂），合成气经过变换、净化后进行甲烷化反应，得到甲烷含量大于 94% 的天然气产品。

目前，我国在以生产 SNG 为目的的合成气完全甲烷化催化剂及工艺开发方面起步较晚。目前，国内有煤制天然气项目大都采用国外的技术和核心设备。西南化工研究设计院的甲烷化催化技术主要应用在焦炉煤气至甲烷项目。

图表12 煤制天然气工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

4.1 国外煤制天然气发展

煤制天然气技术研发源于 20 世纪 70 年代初石油危机。70 年代初至 80 年代中期是煤制天然气技术研发的高潮期，20 世纪 80 年代中期至 90 年代中期随着油价下跌，技术开发力度减小；从 90 年代末期开始，油气价格飙升，煤制天然气技术的研发又迅速升温。

上世纪 70 年代，英国煤气公司和德国 Lurgi 公司合作，先后开发出 HICOM、改进型 HICOM 甲烷化工艺以及高效甲烷化催化剂，并建立了 2832 立方米/天的煤制天然气装置，此技术现归属英国 Davy 公司。丹麦 Topsoe 公司甲烷化技术主要依托于其开发的高效循环绝热反应器和专用催化剂 MCR-2X（正常操作温度 250-700℃），该催化剂具有使用寿命长（一般为 3 年）和合成气转化效率高等特点。

上世纪 80 至 90 年代，德国 Lurgi 公司结合 BASF 公司的甲烷化催化剂完成了整套工艺技术的开发，并成功应用于美国大平原工厂 16 亿立方米/年的煤制 SNG 工厂。该工厂所采用的催化剂有德国 BASF、美国 UCI、英国 Johnson Matthey 等公司催化剂产品。目前，成熟的高温完全甲烷化技术主要由上述三家掌握。

加氢气和蒸汽催化气化技术均处于研发阶段。加氢气化法和催化蒸汽气化法称为“一步法”，具有较高的热效率，尚处于研发或中试阶段。煤加氢气化技术不需要空气分离单元，能耗少，甲烷化在低温条件下进行，成本较低，CO₂ 排放量相对较低，煤炭转化率高，计算热效率达到 79.6%。这方面的研究始于 20 世纪 70 年代，目前仍处于研究阶段，尚未商用。美国、日本和澳大利亚等均在做大量研究开发工作。催化蒸汽气化技术，引入可以同时催化气化和甲烷化反应碱过渡金属氧化物等作为催化剂，煤与水蒸汽反应生产甲烷，降低了气化温度，计算热效率达到 71.9%。美国 Exxon 公司曾做过研究试验工作，美国 GreatPoint Energy (GPE) 公司成功进行中试试验，为工业化做准备。

4.2 国内煤制天然气发展

我国在完全甲烷化合成天然气技术开发方面，主要是催化剂的开发。相对于国外催化剂的成熟度，我国在以生产 SNG 为目的的合成气完全甲烷化催化剂及工艺开发方面起步较晚。目前，国内有多个煤制天然气项目在建或拟建，大都采用国外的技术和核心设备。

我国新奥、北京低碳能源研究所等单位在催化气化、加氢气化等方面在做研究试验等工作。

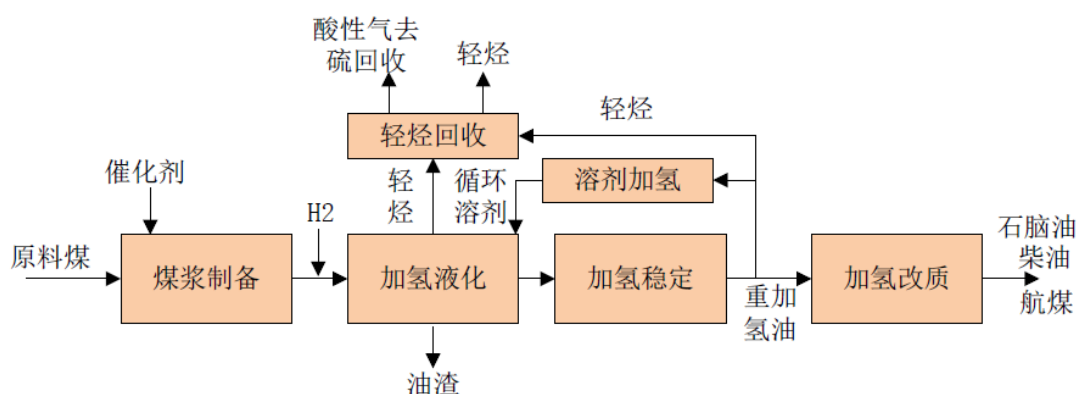
五、 煤炭液化发展

煤制油包括煤直接液化和煤间接液化。煤直接液化，又称煤加氢液化，是指煤炭在高压、高温、加氢的条件下，经催化剂的作用，进行加氢反应，直接转化为液态产物的工艺技术。

煤的间接液化技术是先将煤气化成合成气。然后以煤基合成气(一氧化碳和氢气)为原料，在一定温度和压力下，将其催化合成为烃类燃料油及化工原料和产品的工艺。包括煤炭气化制取合成气、气体净化与交换、催化合成烃类产品以及产品分离和改质加工等过程。分为高温合成与低温合成两类工艺。

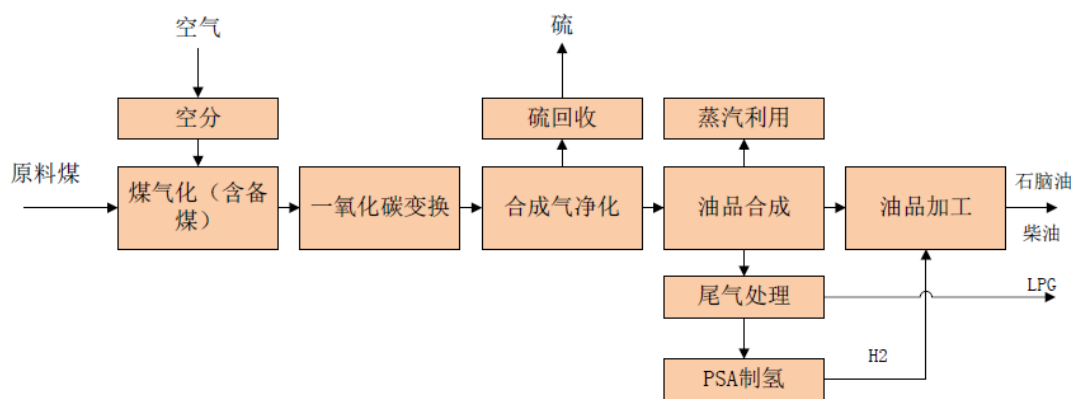
我国已经成为最大的煤制油生产国，煤炭直接液化和间接液化技术均处于世界领先水平。

图表13 煤炭直接液化工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

图表14 煤炭间接液化工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

5.1 国外煤炭液化发展

(1) 直接液化

20 世纪 30 年代,第一代煤炭直接液化技术在德国实现工业化,反应条件较为苛刻,反应温度 470℃,反应压力 70 兆帕。1931 年德国 IG 公司煤直接液化厂投入运转,生产能力为产油 10 万吨/年。第二

次世界大战期间德国一度建立了 12 家煤炭直接液化生产厂，总规模达到 423 万吨/年，为德国在二战中提供了 2/3 的航空燃料和 50% 的汽车和装甲车用油。

二战期间（1939–1945），日本也采用德国技术在我国东北的抚顺和朝鲜建立了 100 吨/天的煤直接液化试验装置。二战结束后，德国的液化厂大部分被破坏或停产，只有东德的一个 Leuna 工厂在苏联控制区内还继续运转到 1959 年。

1973 年开始的世界石油危机，使煤炭液化技术又开始活跃起来。德国、美国、日本等发达国家，在原有基础上相继研究开发了多种煤直接液化工艺。其中大部分研究重点是降低反应条件，从而达到降低煤液化油生产成本的目的。不少国家完成了中间放大试验，为建立大规模工业生产厂打下了基础。

到八十年代中期，各国开发的煤炭直接液化工艺均已日趋成熟，工业化发展势头一度十分显著。

九十年代，德国以 DMT 和鲁尔煤炭公司为主体开发了 IGOR+ 工艺，把液化油的提质加工与液化反应串联在一起，产出的液化油的柴油馏分达到合格标准。日本在 1999 年完成了 150 吨/天装置的试验工作。美国以 HTI（前身为 HRI）为代表，在 H-COAL 工艺的基础上，开发了凝胶状高效铁系催化剂以及两个悬浮床反应器和一个固定床提质加工反应器串联的 HTI 工艺。

（2）间接液化

1923 年，德国 Kaiser Wilhelm 煤炭研究所的 F. Fischer 和 H. Tropsch 两人发明了铁或钴催化剂作用下，在一定温度、压力下将合成气（ $\text{CO} + \text{H}_2$ ）合成为烃类等燃料的方法。人们就将此方法称为费-托（F-T）合成法。二战期间，德国曾建有 9 座合成油生产厂，生产规模合计有 59.1 万吨/年。此外，日本有 4 套，法国有 1 套，中国有 1 套。当时全世界总的合成油年生产能力超过了 100 万吨。

至 50 年代中期，由于廉价石油和天然气大量开发，F-T 合成的研究势头逐渐减弱。只有南非是例外，该国在五十年代初建成的间接液化厂一直运转至今，而且在石油危机后的八十年代初又建成了另外两座规模更大的合成油厂。直至今 SASOL 公司的三个合成油厂还在正常运转，目前三个厂年每年消耗煤炭 4700 万吨，生产油品 460 万吨，化学品 308 万吨。

5.2 国内煤炭液化发展

（1）直接液化

为应对世界石油危机，七十年代末，我国又重新开始煤炭直接液化技术研究。煤炭科学研究总院对我国的上百个煤种进行了煤直接液化试验，选出 15 种适合于液化的中国煤，对其中 4 个煤种进行了煤炭直接液化的工艺条件研究，开发出以廉价国产加氢催化剂，进行了煤液化油的提质加工研究，经加氢精制、加氢裂化和重整等工艺的组合，成功地将煤液化粗油加工成合格的汽油、柴油和航空煤油。

2004 年神华集团有限责任公司在上海闵行区建设了每天投煤 6 吨的煤直接液化工艺开发装置（PDU）。目前 PDU 装置的主要研究成果已经应用于神华年产百万吨油品的煤直接液化示范工程中。

我国成为全球首个完全掌握现代煤炭直接液化工业技术的国家。神华鄂尔多斯 100 万吨/年煤直接液化示范工程于 2004 年 8 月开工建设，2008 年 12 月底建成投运，进入长周期调试运行阶段，每年可转化约 350 万吨煤，生产柴油、液化石油气、石脑油等产品 108 万吨。

（2）间接液化

二战期间，曾在辽宁锦州采用德国技术，启动了煤液化工厂的建设。上世纪 50 年代初，完成该厂的建设（锦州石油六厂），规模为 3 万吨/年液体燃料。1951–1963 年期间，该厂共生产 40 万吨的产

品。随着大庆等油田的发现和开发，该厂在 1963 年停产。

上世纪 50 年代初中国科学院大连石油研究所开展了费托合成煤间接液化技术的研究工作。随着大庆等油田的发现和国家对石油天然气资源的重视，研究工作相继中止。

八十年代初，我国又恢复了间接液化的研究开发工作。经过 20 年的努力，在煤基合成汽油方面，开发出固定床两段法合成工艺（MFT）和浆态床-固定床两段法合成工艺（SMFT）。

在“九五”后期和“十五”期间，中国科学院山西煤炭化学研究所合成油品工程研究中心开展了煤炭间接液化技术-费托合成浆态床合成油技术的研究与开发。先后在山西、内蒙古、宁夏等地建成 2 套 16 万吨/年、1 套 18 万吨/年和 1 套 400 万吨/年装置，均投入运行。同时，成功开发了高温浆态床费托合成技术，将反应温度提高了 20℃ 左右。

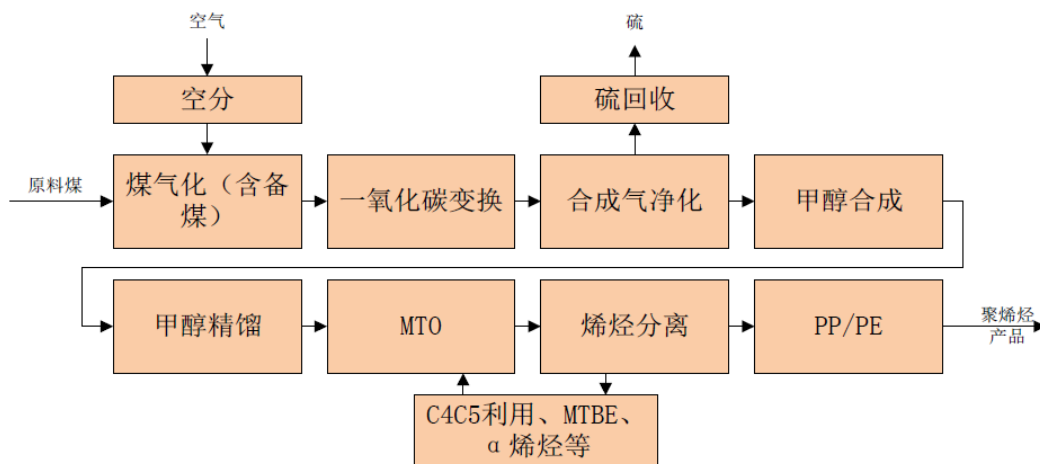
上海兖矿能源科技研发有限公司设计和建设了规模为万吨级费托合成中试装置。成功开发了高温浆态床费托合成技术，进行了中试试验。兖矿集团榆林一期 100 万吨煤间接液化项目已投产。

六、煤制烯烃发展

煤制烯烃及其下游衍生品是指以煤为原料，先把煤炭在高温下与氧气和水蒸气反应，使煤炭全部气化、转化成合成气（一氧化碳和氢气为主的混合物），经变换、净化后的合成气直接转化为烯烃及衍生品，或者将合成气先转化为甲醇，再经甲醇催化转化为烯烃（MTO/MTP）及衍生品的工艺过程。

我国已经掌握了 MTO 和 MTP 主要技术工艺，在工业化方面已经达到世界领先水平。

图表15 煤制烯烃（MTO）工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

6.1 国外煤制烯烃发展

（1）MTO

20 世纪 80 年代初，Mobil 公司在研制甲醇制汽油（MTG）过程时，发现通过改变操作条件，用 ZSM-5 催化剂可以生产烯烃，烯烃的收率为 6% 左右。1980 年，美国国联合碳化物公司（UCC）发现采用 SAPO-34（磷酸硅铝分子筛）可以有效将甲醇转化为低碳烯烃，而后 UCC 将相关技术转让给了美国环球油品公司（UOP）。

1995 年 UOP/HYDRO 公司在挪威建成了一套甲醇加工能力为 0.75 吨/天的中试装置。中试装置连续运转了 90 天，甲醇转化率近 100%，乙烯和丙烯选择性分别在 45%和 37%左右，反应结果非常稳定。UOP 公司完成了商业化催化剂生产试验。

道达尔石化在比利时 Feluy 建设的 10 吨/天的 MTO 示范装置(包括 OCP(烯烃裂解)单元)于 2009 年建成开车。

(2) MTP

德国 Lurgi 公司 MTP 工艺采用改性 ZSM 系列催化剂，具有很高的丙烯选择性，副产少量的乙烯、丁烯和 C5/C6 烯烃。MTP 工艺所用的催化剂由南方化学(Sudchemie)公司提供，采用固定床反应器生产丙烯。Lurgi 公司建设的大型 MTP 装置在特立尼达、加拿大、中国、美国和中东都有分布，能力均为 10 万吨/年。2005 年 11 月，Lurgi 公司与神华宁夏煤业集团签订了我国第一套 MTP 技术转让合同，设计规模为煤制甲醇 167 万吨/年，丙烯 47.4 万吨/年，于 2010 年 9 月试车成功。

6.2 国内煤制烯烃发展

(1) MTO

我国 MTO 工艺及催化剂的开发也有相当长的时间，中科院大连化学物理研究所在 20 世纪 80 年代初开展 MTO 研究工作(该技术现简称为 DMTO)。

2005 年，中科院大连化学物理研究所与陕西新兴煤化工有限责任公司合作建设了 50 吨/天的 DMTO 工业试验装置，达到设计预计的参数和目标，其中乙烯+丙烯收率为 78.71%，超过 UOP/HYDRO 的 77.5%(承诺值)。

2010 年 8 月，采用具有自主知识产权 DMTO 技术的神华包头 60 万吨/年甲醇制烯烃装置投料试车一次成功，进入商业化运行，甲醇转化率 99.9%，乙烯加丙烯选择性达到 80%以上，MTO 最高负荷达到 110%。同时 DMTO-II 技术已经完成示范，煤耗可节省约 20%左右。DMTO-II 的技术关键在于新型高效催化剂以及新工艺。

2007 年，中国石化在燕山石化进行万吨级甲醇制烯烃(SMTO)工业化实验，产出的乙烯、丙烯直接送燕山石化现有装置进行后续处理，实现连续运行。

(2) MTP

中国化学工程集团公司与清华大学合作开发的流化床甲醇制丙烯(FMTP)技术采用自主研发的催化剂，利用独特的湍动流化床分区反应器。该技术具有完全自主知识产权。采用 FMTP 技术在安徽淮南投资建设 1 万吨/年 FMTP 工业试验装置，2009 年 9 月，该试验装置已经正式进行投料试验，主要技术指标和总体技术处于国际领先水平。

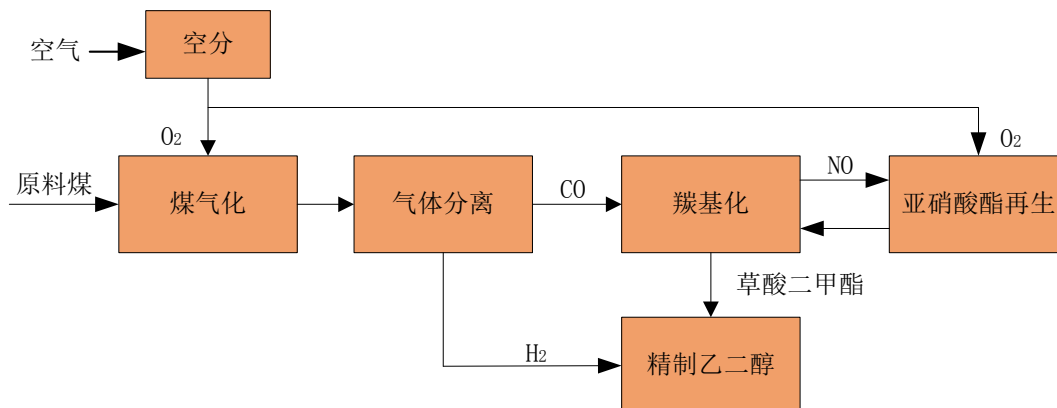
七、煤制乙二醇发展

煤制乙二醇技术即以煤为原料经过一系列反应得到乙二醇的过程。根据中间反应过程的不同，可分为直接法和间接法。直接法合成乙二醇首先通过煤气化技术制取合成气($\text{CO} + \text{H}_2$)，再由合成气一步反应直接制得乙二醇。从原子经济性角度考虑，直接法合成乙二醇原子利用率最高，最简单有效，具有可观的工业开发价值，但直接法原料转化率低，反应条件苛刻，催化剂成本高，距离工业化应用仍有一定距离。间接法即草酸酯法，指通常所说的煤制乙二醇工艺。该方法将煤气化、变换、净化、分离提纯后分别得到 CO 和 H_2 ，CO 经过催化耦联得到草酸酯，经高纯 H_2 加氢后精制，获得聚

酯级乙二醇。

国内乙二醇技术研究的单位较多，普遍较为成熟，总体达到世界先进水平。

图表16 煤制乙二醇工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

7.1 国外煤制乙二醇发展

自 1965 年美国 Fenton 首次提出醇类氧化羰基法制备草酸酯后，各国都在研发以合成气为原料制备草酸酯再加氢成乙二醇的工艺，也就是“煤制乙二醇”技术。1978 年日本宇部兴产公司首先建成了一套年产 6000 吨草酸二丁酯的高压液相试验装置，其后又与美国 UCC 合作开发了常压气相合成草酸酯工艺，完成了中试，但均没有实现工业化生产。2012 年 12 月，新疆天业采用宇部技术制乙二醇项目（5 万吨/年）投产，系统稳定，各项生产工艺参数正常，产品纯度均超过国标优等品标准。

7.2 国内煤制乙二醇发展

2008 年，中科院福建物构所团队攻克了煤制乙二醇的关键技术，与企业合作成功开发了煤制乙二醇成套技术(第一代技术)，并通过了由中科院组织的成果鉴定。

2009 年，上海浦景化工技术有限公司依托华东理工大学在合成气制乙二醇技术领域近 20 年的研究历史，联合华东理工大学和安徽淮化集团展开“合成气制乙二醇技术”的工程化放大研究，于 2011 年 8 月在安徽省淮南市顺利完成了千吨级中试实验，并于 2012 年 6 月启动了 10 万吨/年工业化示范项目。

目前国内宣布掌握煤制乙二醇技术的集合体主要包括：福建物构所、丹化集团、河南煤业集合体；天津大学、惠生工程、华本能源集合体；华东理工大学、上海浦景、淮化集团集合体；华谊集团等，此外还有日本高化学代理的宇部兴产、东华工程集合体。

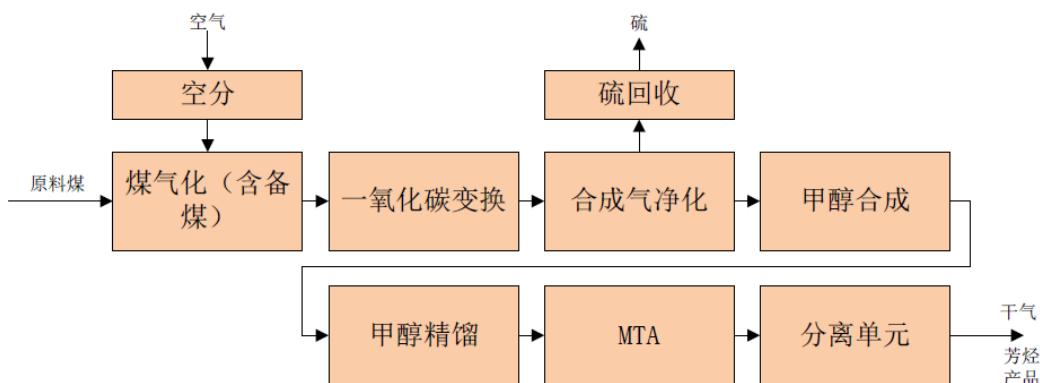
八、其他现代煤化工发展

8.1 煤制芳烃发展

煤制芳烃及其下游衍生品的生产（甲醇之前）的生产工艺与煤制烯烃类似，后端工艺将甲醇转化为芳烃（MTA）及其衍生品。甲醇芳构化技术研究主要集中在催化剂上，目前国内甲醇芳构化技术主要有：清华大学的流化床技术（FMTA）。该工艺反应系统主要由甲醇转芳烃反应器、轻烃转芳烃反

应器、再生反应器构成，可最大限度将甲醇转化为芳烃。该技术已应用在位于陕西榆林甲醇处理量 3 万 t/a 的工业装置，连续运行时间 443h，芳烃总收率 74.47%，催化剂为负载氧化物的复合分子筛催化剂。

图表17 煤制芳烃工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

山西煤化所的两段固定床技术为两级固定床反应器串联，甲醇进入第一级固定床反应器进行芳构化反应，反应后的气体直接进入第二级固定床反应器继续进行芳构化反应。所用催化剂为添加 Ga/Zn/Mo 的 ZSM-5 复合分子筛催化剂。该技术已完成实验室小试和中试，工业示范试验（1-10 万吨/年甲醇）装置的工程设计和建设已经完成。

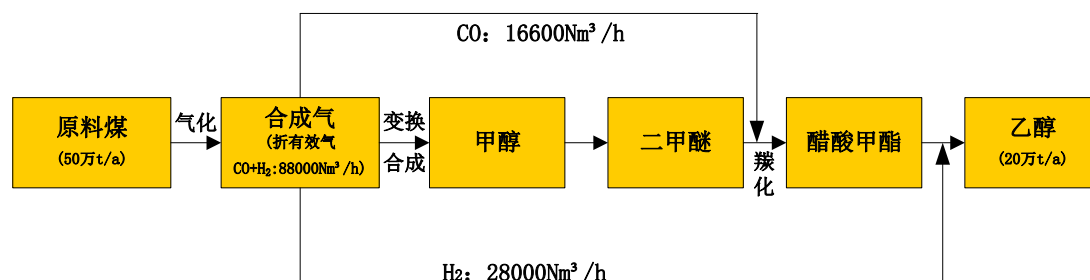
清华大学在国际上首次开发了以流化床甲醇制芳烃(FMTA)工艺技术，已在陕西榆林建成了年处理甲醇 3 万吨的 FMTA 全流程工业化试验装置，工业试验持续运行 443 小时。甲醇到芳烃的烃基总收率 74.47%(折 3.07 吨甲醇/吨芳烃)。

上海石油化工研究院技术。该工艺采用的催化剂为负载金属/非金属氧化物的复合分子筛催化剂，目前正在对催化剂的结构的设计，并确定了适宜的工艺条件。

8.2 煤制乙醇发展

乙醇是重要的化工原料，其中燃料乙醇是重要的清洁能源。2010 年，大连化物所刘中民院士领导的科研团队开始“煤基乙醇技术关键催化剂”的研究开发工作。该技术以“二甲醚羰基化制乙酸甲酯”为核心，是一条全新的煤基乙醇合成新路线。

图表18 煤制乙醇工艺流程图



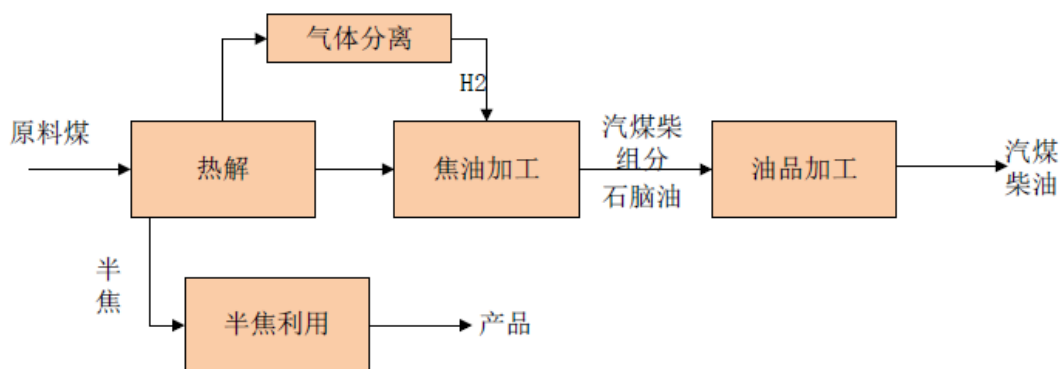
资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

2012 年，大连化物所联合延长集团开展了“煤基乙醇整套工艺技术的开发”项目研发工作。2014 年双方启动“10 万吨/年乙醇工业示范”项目建设。2015 年 6 月，该项目中试结果通过了中国石油和化工联合会的鉴定。2016 年 12 月，全球首套煤基乙醇工业示范装置建成试车。2017 年 1 月 11 日生产出合格的无水乙醇。目前在陕西兴平建有 10 万吨/年示范装置，另外拟在陕西建设的 50 万吨/年乙醇项目设计已完成。

8.3 低阶煤分级分质利用发展

低阶煤分质分级利用是指以成煤时期较早、挥发分含量高、反应活性高的煤为原料，以大型热解技术为龙头，以焦油加工、半焦利用技术为核心，以提高煤炭利用效率为目的，以油品、天然气、化学品和电力的联产为手段，生产清洁的气、液、固燃料的工艺过程。富油低阶煤主要分布在我国陕北、新疆哈密等地。

图表19 低阶煤分质利用工艺流程图



资料来源:煤炭科学研究总院，平安证券研究所

煤热解技术最早产生于 19 世纪，起源于德国。二战前，煤炭低温热解主要以制取液体燃料为目的，重点进行焦油轻质化的研究。二战期间，德国、美国、前苏联等国竞相发展煤热解工艺，尤其是德国，建立了大型低温干馏厂，用褐煤为原料生产低温干馏煤焦油，再高压加氢制取汽油和柴油。二战后，随着世界石油资源大规模的开发，煤热解工业的发展又陷入低潮。国外代表性的煤热解技术包括美国的托斯克（Toscoal）工艺和 LFC 工艺、德国的鲁奇鲁尔煤气（Lurgi-Ruhrgas，简写 LR 工艺）工艺等。

我国从 20 世纪 50 年代开始对煤热解工艺进行开发和研究。北京石油学院、上海电业局的研究人员开发了流化床快速热解工艺，并进行了 10t/d 规模的中间试验。20 世纪 60 年代中期，大连工学院研究开发了辐射炉快速热解工艺，经实验室研究和放大规模试验，于 1979 年建立了 15t/d 规模的工业示范厂，1983 年以吉林的舒兰褐煤为原料进行了连续运转试验，并对该工艺所产焦油和焦渣的组成及性质进行了分析研究。20 世纪 80 年代，大连工学院又研究开发了固体热载体新法干馏工艺。试验室规模为 10kg/h，对平庄、大雁、黄县等多种褐煤和油页岩进行了大量的实验研究，于 90 年代初在内蒙古平庄建立了 5.5 万 t/a 规模的褐煤新法干馏工业示范厂。20 世纪 90 年代，北京煤化所开发了 MRF 工艺，先后建立了 1kg/h、10kg/h、100kg/h 规模的一系列实验室热解装置，并对先锋、大雁、东胜等煤进行了大量的热解试验，系统分析了半焦、煤气和焦油的性质，于 20 世纪 90 年代初在内蒙古海拉尔建起了 2 万 t/a 规模的褐煤 MRF 热解工业示范厂。国内代表性的热解工艺技术包括煤炭科学研究总院的多段回转炉（MRF）热解工艺、北京柯林斯达的带式炉工艺、大连理工大学的固体热载体法干馏（DG）工艺、浙江大学和清华大学开发的以流化床热解为基础的循环流化床热电多联产工艺、中科院山西煤化所开发的“煤拔头”（BT）工艺等。

图表20 国内外煤炭热解工艺比较

技术类型	代表工艺	测试煤种	粒度/mm	最大规模(t/d)	存在问题	应用情况
气体热载体	LFC/LCC	褐煤、低阶烟煤	6~50	1000	半焦粉化严重, 焦油灰含量高	30万 t/a 工业示范
	带式炉工艺	褐煤、低阶烟煤	13~25	1600	炉底粉煤堆积, 存在过烧情况	50万 t/a 工业示范
	SJ 低温干馏工艺	低阶烟煤	>20	450	仅能利用块煤, 煤气热解低, 单炉规模小	产业化推广
固体热载体	LR 工艺	褐煤、油页岩	0~5	800	焦油固含量高达40~50%, 存在机械设备磨损	工业化应用
	托斯考工艺	褐煤、油页岩	<12.7	25	系统热效率低, 设备复杂	25t/d 中试装置
	DG 工艺	褐煤、低阶烟煤	<6	2000	焦油除尘不彻底, 易堵塞	60万 t/a 工业示范
	循环流化床煤分级转化多联产工艺	褐煤、低阶烟煤	<8	960	半焦输送阀磨损、管路堵塞	75t/h 多联产示范装置
	BT 工艺	褐煤	<0.28	10	循环灰输送不稳定, 煤气没回收	10t/d 的中试装置
间接加热	MRF 工艺	褐煤	6~30	60	仅能利用块煤, 煤粉化严重, 易堵塞	2万 t/a 中试
	蓄热式无热载体旋转床干馏新技术	褐煤、低阶烟煤	10~100	100	尚需工业化检验	3万 t/a 中试
	低阶煤旋转床热解技术	褐煤、低阶烟煤	—	2400	尚需工业化检验	1000万 t/a 工业化生产装置

资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

九、现代煤化工技术渐成熟、经济性向好、环境低排放

9.1 直接液化示范项目——神华百万吨级煤直接液化

神华百万吨级煤直接液化项目是我国也是世界范围内的第一个煤炭直接液化工业化建设项目, 项目采用神华自主知识产权的煤直接液化工艺技术。2004年10月现场开工建设, 经过3年多的建设, 于2008年底投料试车。

(1) 实现长周期稳定运行, 达到世界先进水平

项目已经可以实现长周期稳定运行, 投产至2014年底累计运行1482天, 其中最长连续稳定运行251天, 2013年运行时间315天已超过设计值。该技术达到世界领先水平的成套技术, 填补了国内外空白。标定结果认为“工艺技术先进, 装置设计合理, 设备选择恰当, 装置运行稳定、安全可靠, 产品质量特点明显, 能源转化效率高, 三废排放达到国家标准要求, 已取得了明显的社会效益, 具有较好的经济效益。”

图表21 神华煤直接液化示范项目主要运行数据

指标	2011年	2012年	2013年	2014年
全年运行时间(天)	280	302	315	302

指标	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
生产油品量 (万 t)	79.26	86.5	86.6	90.18
柴油 (万 t)	48.5	52.8	50.5	52.65
石脑油 (万 t)	21.48	24.3	26.9	27.51
液化气 (万 t)	9.28	9.4	9.2	10.02

资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

(2) 经济性在高油价下 (60 美元/桶以上) 较好

示范装置 2011-2014 年实现营业收入 228 亿元, 上缴税费 46 亿元, 利润 12 亿元。

(3) 环保方面满足排放标准

煤直接液化环保设施原设计投资为 8.9 亿元, 占总投资的 7%。项目自 2009 年试运行以来, 通过新增环保设施、技术改造增加环保投资 4.5 亿元, 环保投资所占比例提高至 10%。中国环境监测总站“神华煤直接液化项目一期先期工程竣工环境保护验收监测报告”数据显示三废排放均满足排放标准。

9.2 间接液化示范项目——伊泰 16 万吨/年煤间接液化

(1) 实现“安稳长满优”运行, 技术指标全面超过设计值

项目于 2006 年 5 月开工, 2009 年 3 月 27 日顺利产出我国第一桶煤间接液化工业化合格成品油, 2010 年 6 月 30 日正式实现满负荷生产。标定结果如下: “该项目为国内首套煤间接液化工业化示范装置, 是我国煤炭间接液化技术发展的里程碑。装置自 2009 年 3 月正式投入运行以来, 稳定运行超过 5 年, 运行技术指标全面超过设计值。标定结果表明, 工艺技术先进, 装置设计合理, 设备选择恰当, 装置运行稳定、安全可靠, 产品质量特点明显, 能源转化效率较高, 三废排放达到国家标准要求, 已取得了明显的社会效益, 具有较好的经济效益。”

图表22 伊泰 16 万 t/a 煤间接液化示范项目运行情况

年份	运行天数 (天)	油品总量 (万 t)	负荷 (%)
2010	—	9.9	61.9
2011	329	15.4	96.3
2012	349	17.2	107.5
2013	352	18.2	113.8
2014	337	17.9	111.9

资料来源:煤炭科学研究总院, 平安证券研究所

(2) 经济性在高油价下 (60 美元/桶以上) 较好

示范项目 2013 年全年营业收入达到 12.9 亿元,实现净利润 1.9 亿元,并向国家上缴税金 2.65 亿元。

(3) 工厂 SO₂排放满足国家标准, 车用能耗、排放均优于柴油

根据 2014 年 4 月标定期间 SO₂监测数据核算,SO₂总排放量小于环评批复量,浓度也小于国家标准。2014 年中国环境科学研究院和北京市环保局在北京市怀柔区对使用伊泰集团的煤制柴油代替普通柴油的示范车辆进行了系统性检测。结果证明,煤制油不仅可以替代柴油作为车用能源,而且能耗和排放指标均好于柴油。

9.3 煤制天然气示范项目——新疆庆华 55 亿立方米/年一期项目

(1) 实现商业化运行

新疆庆华55亿m³/a煤制气一期规模为年产13.75亿立方米。项目建成后生产的主产品——煤制天然气经霍尔果斯首站输入西气东输管线。一期工程已于2013年12月正式投产,向西气东输二线供气。从2014年12月26日至2015年6月19日,装置生产运行基本稳定,平均有效运行负荷66.59%,系统最长连续运行65天,累计外输成品天然气4.66亿立方米。项目通过国家能源局预标定,能源转化效率53.82%。

(2) 管道气销售价格低影响盈利

进中石油管网按照 1.15 元/立方米结算价,低于庆华煤制气生产成本 1.54 元/立方米,需政府补贴才能盈亏平衡。新疆庆华集团与中国能源集团有限公司拟在一期煤制气项目的基础上,利用煤制气耦合聚烯烃的技改方案来解决企业目前面临的困难。

(3) 实现污染物达标排放

项目投产后废气达标排放,固体废物全部合理处置,废水处理达到一级标准后进入回用水装置循环使用,不外排。各类污染物均可达标排放。环境影响和环境风险均在可接受范围内。

9.4 煤制烯烃示范项目——神华包头 60 万吨/年 DMT0 项目

(1) 实现长周期稳定运行

神华包头煤制烯烃项目是“十一五”国家唯一核准的大型煤制烯烃工业化示范项目,于2007年9月23日开始施工,2010年5月31日建成。该项目采用DMTO技术,2010年8月15日产出合格聚丙烯产品,2010年8月21日生产出合格聚乙烯产品。主要产品为聚乙烯树脂、聚丙烯树脂、混合碳四和混合碳五,产品质量稳定,出厂产品合格率为100%。2011年至2016年聚烯烃产品产量分别为49.49万吨、54.44万吨、54.5万吨、52.34万吨和63.2万吨。装置可以在设计负荷的70%–110%工况下稳定运行;产品综合能耗为约4.83吨标煤、吨产品水耗约为27.18吨。

(2) 经济性在中高油价(45 美元/桶以上)下较好

2011年至2014年,煤制烯烃示范项目实现利润分别为9.93亿元、9.00亿元、12.62亿元和11.50亿元;四年实现营业收入235亿元,缴税24亿元。2017年,营业收入56.8亿元,经营收益5.61亿元。

(3) 实现达标排放,通过国家验收

主要排放指标可实现达标排放,其中吨烯烃废水排放量为6.4吨、吨烯烃COD排放量为0.32kg、吨烯烃氨氮排放量为0.064kg、吨烯烃SO₂排放量为4.7kg、吨烯烃NO_x排放量为7.0kg;吨烯烃CO₂排放量10.8吨(含电厂CO₂排放)。2013年3月18日,包头煤制烯烃项目竣工获国家环境保护部环境保护验收。

9.5 煤制乙二醇示范项目

(1) 通辽金煤项目（中科院福建物构所技术）

通辽金煤化工有限公司于2009年12月建成全球首个20万t/a煤制乙二醇项目，并顺利打通全流程、产出合格产品。试车成功后，设备及工艺上存在的问题逐步显现，系统运行并不稳定，但为确保装置不被冻坏，整套装置一直维持在较低负荷运行。自2010年5月起，通辽金煤进行了几次大规模的停车消缺，产量逐步得到提升，通辽金煤对该项目产品方案进行优化调整为年产15万吨乙二醇和10万吨草酸。经过近年来的不断整改，运行负荷已逐渐提高，乙二醇优等品产出率稳定在90%以上。

(2) 阳泉平定项目（浦景煤化工技术）

对千吨级合成气制乙二醇中试装置进行了标定认为：该千吨级合成气制乙二醇中间试验装置是具有自主知识产权的创新技术，装置运行稳定、安全可靠，运行指标基本达到设计值，具备合成气制乙二醇工业示范的条件。

阳煤集团平定化工2*20万吨/年乙二醇项目，位于阳泉市平定县龙川产业聚集区现代化工产业园区，于2014年9月开工。该装置采用上海浦景化工技术股份有限公司第二代合成气制乙二醇技术。2017年4月30日，经过一个月的投料试车，一期装置打通全流程，生产出合格的乙二醇产品。

(3) 阳泉深州项目（华烁科技技术）

深州化工年产20万吨乙二醇项目工程采用**华烁科技技术**，该工程是技术提供方的首套大型工业化装置，经过公司与设计方共同努力解决技术问题，2016年12月26日至2017年1月25日期间实现装置运行稳定。全套系统生产负荷率达到92.15%，优等品乙二醇合格率达到93.32%，能耗达到技术指标。2017年产量15.8万吨，营业额9.3亿元，毛利润2.46亿元，毛利率26.41%。

(4) 阳煤寿阳化工（高化学技术）

2016年11月16日，阳煤集团寿阳化工40万吨（一期20万吨）煤制乙二醇项目顺利、稳定产出优等品乙二醇（聚酯级），同时硫磺、硫铵等副产品也顺利产出。2017年9月1日，阳煤集团寿阳化工20万吨/年乙二醇装置顺利通过满负荷72小时性能考核验收，实现单日乙二醇产量675.89吨，其中优等品619.76吨，超出项目设计产量近20吨。

9.6 现代煤化工经济性与油价关系

以当前煤价为基准（参考神华2017年煤化工用煤价格），煤液化项目盈亏平衡点分别在国际布伦特油价55-65美元/桶之间，低于其他非常规石油开发成本。当国际原油价格高于50美元/桶时，煤制烯烃项目具备成本竞争力；原油价格高于60美元/桶时，煤制芳烃项目具备成本竞争力；原油价格高于55美元/桶时，煤制乙二醇项目具备成本竞争力。当煤价低于200元/吨（坑口）时，煤制天然气成本与进口中亚管道天然气相比具有一定竞争力；当煤价低于370元/吨（坑口）时，煤制天然气送至东南沿海地区与最新引进的LNG项目相比具有一定的竞争力。国际油价60美元/桶以上时，现代煤化工具有较好的经济性。

图表23 煤化工项目经济竞争力

煤化工项目		保持盈亏平衡油价 (美元/桶, 布伦特)	达到基准收益油价 (美元/桶, 布伦特)
煤制油	煤直接液化	55-60	75-80
	煤间接液化	60-65	80-85
	煤焦油加氢	60-65	75-80

煤化工项目		保持盈亏平衡油价 (美元/桶, 布伦特)	达到基准收益油价 (美元/桶, 布伦特)
煤制化学品	煤制烯烃	45-50	70-75
	煤制乙二醇	50-55	75-80
	煤制芳烃	55-60	80-85

资料来源: 学术论文《中国现代煤化工产业发展竞争力探讨》, 平安证券研究所

9.7 现代煤化工产能初具规模

截至 2017 年底, 我国煤制油产能达到 843 万吨, 在建 584 万吨; 煤制烯烃产能达到 886 万吨, 在建 515 万吨; 煤制乙二醇产能达到 383 万吨, 在建 639 万吨; 煤制天然气产能达到 65 亿立方米, 在建 178 亿立方米。项目主要布局在能源“金三角”煤化工产业基地和新疆煤化工产业基地。

十、投资建议

从世界煤化工发展史来看, 现代煤化工的发展主要与石油价格、战争、政治等因素密切相关, 在世界油气供应趋紧和价格居高不下的压力下, 煤化工就会成为替代石油供应的重要选择。进入 21 世纪, 油价的不断攀升促使石油化工原料成本居高不下, 煤化工进入了新一轮发展期。中国作为世界最大的煤炭生产和消费国, 抓住了这次机遇。经过十年示范, 现代煤化工创新发展取得一系列重大突破, 技术创新和产业化均走在了世界前列, 技术和装备自主化率达 85%。当前, 我们认为在 60 美元/桶及以上油价下, 煤化工盈利能力显著改善, 将迎来发展机遇。

公司方面, 关注煤化工龙头和具有现代煤化工新增产能的优质公司, 中国神华有 60 万吨煤制烯烃, 集团拥有煤炭直接液化核心技术及 500 万吨煤制油产能和烯烃产能 278 万吨, 包头烯烃二期、煤炭直接液化二期在开展前期工作; 华鲁恒升依托洁净煤气化技术, 打造“一头多线”的循环经济, 产能包括 180 万吨尿素、30 万吨复合肥等, 新建 50 万吨/年乙二醇 2018 年底有望投产; 中煤能源拥有图克化肥、榆林烯烃、蒙大工程塑料项目, 产能先进, 拥有 60 万吨烯烃、50 万吨工程塑料、175 万吨尿素等; 新奥股份拥有 60 万吨甲醇, 年产 20 万吨稳定轻烃项目已经在试运行中; 阳煤化工尿素产能 450 万吨, 甲醇 80 万吨, 乙二醇 20 万吨, 公告拟将寿阳 20 万吨产能装入上市公司, 集团旗下还拥有平定 20 万吨乙二醇产能。我们看好煤化工行业的投资机会, 建议关注中国神华、华鲁恒升、中煤能源、新奥股份、阳煤化工等公司。

十一、风险提示

- 1、宏观形势因素影响, 可能出现化工产品需求和石油产品需求不及预期, 导致化工产品及油价下跌, 影响公司利润;
- 2、国际油价下降, 煤化工产业的经济性下降, 其投资和开工率不及预期, 导致公司利润下滑;
- 3、环保治理等政策下, 进一步严格限产区或淘汰产能, 产能或者产能利用率下降, 导致公司煤化工产量下降, 对营业收入和利润造成影响;
- 4、煤化工较好的收益率导致国内外大幅增加煤化工投资, 产能供大于求, 煤化工产品价格下降, 影响公司利润;

- 5、煤炭供应紧张导致煤炭大幅上涨，煤化工企业成本大幅增加，影响公司利润；
- 6、煤化工工艺高温高压反应设备较多，其原料和产品具有易燃易爆性质，安全事故也是影响公司稳定运行和业绩的重要因素。

平安证券综合研究所投资评级：

股票投资评级：

强烈推荐（预计 6 个月内，股价表现强于沪深 300 指数 20%以上）
推 荐（预计 6 个月内，股价表现强于沪深 300 指数 10%至 20%之间）
中 性（预计 6 个月内，股价表现相对沪深 300 指数在 $\pm 10\%$ 之间）
回 避（预计 6 个月内，股价表现弱于沪深 300 指数 10%以上）

行业投资评级：

强于大市（预计 6 个月内，行业指数表现强于沪深 300 指数 5%以上）
中 性（预计 6 个月内，行业指数表现相对沪深 300 指数在 $\pm 5\%$ 之间）
弱于大市（预计 6 个月内，行业指数表现弱于沪深 300 指数 5%以上）

公司声明及风险提示：

负责撰写此报告的分析师（一人或多人）就本研究报告确认：本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格。

平安证券股份有限公司具备证券投资咨询业务资格。本公司研究报告是针对与公司签署服务协议的签约客户的专属研究产品，为该类客户进行投资决策时提供辅助和参考，双方对权利与义务均有严格约定。本公司研究报告仅提供给上述特定客户，并不面向公众发布。未经书面授权刊载或者转发的，本公司将采取维权措施追究其侵权责任。

证券市场是一个风险无时不在的市场。您在进行证券交易时存在赢利的可能，也存在亏损的风险。请您务必对此有清醒的认识，认真考虑是否进行证券交易。

市场有风险，投资需谨慎。

免责条款：

此报告旨在发给平安证券股份有限公司（以下简称“平安证券”）的特定客户及其他专业人士。未经平安证券事先书面明文批准，不得更改或以任何方式传送、复印或派发此报告的材料、内容及其复印本予任何其他人。

此报告所载资料的来源及观点的出处皆被平安证券认为可靠，但平安证券不能担保其准确性或完整性，报告中的信息或所表达观点不构成所述证券买卖的出价或询价，报告内容仅供参考。平安证券不对因使用此报告的材料而引致的损失而负上任何责任，除非法律法规有明确规定。客户并不能仅依靠此报告而取代行使独立判断。

平安证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告反映编写分析员的不同设想、见解及分析方法。报告所载资料、意见及推测仅反映分析员于发出此报告日期当日的判断，可随时更改。此报告所指的证券价格、价值及收入可跌可升。为免生疑问，此报告所载观点并不代表平安证券的立场。

平安证券在法律许可的情况下可能参与此报告所提及的发行商的投资银行业务或投资其发行的证券。

平安证券股份有限公司 2018 版权所有。保留一切权利。



平安证券
PING AN SECURITIES

平安证券综合研究所

电话：4008866338

深圳

深圳市福田区益田路 5033 号平安金融
中心 62 楼
邮编：518033

上海

上海市陆家嘴环路 1333 号平安金融
大厦 25 楼
邮编：200120
传真：(021) 33830395

北京

北京市西城区金融大街甲 9 号金融街
中心北楼 15 层
邮编：100033