

—《《能源工程技术丛书》》—

煤制天然气技术

肖 钢 侯建国 宋鹏飞 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

能源工程技术丛书

煤制天然气技术

肖 钢 侯建国 宋鹏飞 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

煤制天然气技术/肖钢,侯建国,宋鹏飞编著. —武汉:武汉大学出版社,2017.2

能源工程技术丛书

ISBN 978-7-307-17687-4

I. 煤… II. ①肖… ②侯… ③宋… III. 天然气—生产工艺
IV. TE646

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 056620 号

责任编辑:方竞男 路亚妮 责任校对:杨赛君 装帧设计:张希玉

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷: 武汉市金港彩印有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 10.75 字数: 198 千字

版次: 2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-17687-4 定价: 90.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前言

我国化石资源具有“富煤、贫油、少气”的特点,煤炭长期以来在能源生产和消费结构中占主要比例,造成二氧化碳排放强度高,环境压力大。改革开放 30 多年来,我国经济建设取得了举世瞩目的成就,经济高速发展带来了能源消费量的激增,以煤炭为能源消费主体的环境问题凸显,如大气污染、水污染等越来越严重。

天然气是一种清洁、优质、环保、经济、具有竞争力的能源。从单位平均发热量来看,煤、石油、天然气三大主要化石能源中,在相同质量条件下,天然气的热值最高。天然气主要成分为甲烷(CH_4),燃烧后产生的污染物较少,能有效降低污染物和二氧化碳排放强度。我国天然气在一次能源中占的比例约 5%,大大低于 24% 的世界平均水平,2015 年对外依存度甚至超过 32%。《能源发展战略行动计划(2014—2020 年)》提出,到 2020 年天然气消费比重达到 10% 以上,相当于 3600 亿标准立方米,天然气供应缺口巨大。2014 年中国石油天然气集团公司与俄罗斯天然气工业股份公司签署了“中俄东线供气购销合同”,但每年 380 亿标准立方米的天然气也仅能弥补过半的天然气缺口。中国能源研究会在 2016 年 3 月发布的《中国能源展望 2030》中认为,从发达国家经验规律看,我国天然气市场尚处于早期阶段,未来仍有较大发展潜力;大气污染防治与气候变化将为中国天然气发展创造历史性机遇,天然气在能源革命中将扮演重要角色;预计到 2030 年,我国天然气消费将达到 4800 亿立方米,占能源消费总量的 12%,人均消费量也将升至约 370 立方米。

煤制天然气恰是把煤炭转化为能量密度更高的天然气的化工过程,即把煤经过气化、除尘、变换、脱酸脱碳后,再通过甲烷技术化学合成为清洁的合成天然气。本书主要对煤制天然气整个技术链的各个技术环节进行介绍,并对技术的优缺点、发展趋势等做了分析探讨。

第 1 章介绍了煤制天然气的概念和产业发展背景,分析了我国煤制天然气技术高速发展的原因及该产业的重要意义,列举了我国相关的法律法规,并从正、反两方面看待产业的投资过热现象和其产生的影响。第 2 章对煤制天然气

的原料进行描述,介绍了煤的基本分类与组成,以及煤制天然气备煤过程。第3章对煤制天然气的龙头——煤气化技术的国内外情况进行介绍,对适合煤制天然气的气化技术进行总结、对比、分析,给出煤制天然气中煤气化技术的比选考虑因素、发展方向、新思路等,以供读者参考。第4章对包括煤气除尘、CO变换、脱酸的净化技术进行了介绍,对净化流程的能量利用优化方向、变换与甲烷化双功能、风电制氢与甲烷化结合等进行分析、总结。考虑国内有关甲烷化的书籍较少,第5章较为系统、详细地对国内外同类技术进行了对比,对甲烷化催化剂的制备、升温还原,以及甲烷化反应器的设计方法进行了介绍,总结了新型的甲烷化技术情况,归纳了国产甲烷化技术的竞争力,总结了目前甲烷化技术的研究和发展方向。第6章分别对天然气产品,包括石脑油、硫黄、二氧化碳等副产品进行说明,最后针对煤制天然气的三废与处理方法、水耗和对项目所在地及市场的环境影响进行分析,从客观的角度看待我国煤制天然气产业的发展,表达了对煤制天然气技术发展对环境影响的担忧。第7章简要介绍了我国煤炭资源的分布情况,分析了我国煤制天然气输送管道现状,对煤制天然气项目选址要注意的因素进行分析并提出参考建议。第8章对煤制天然气的经济性、煤制天然气发电与燃煤发电对比,以及国际油价波动对煤制天然气经济性的影响等进行了分析。第9章总结了全书主要内容,并对新建项目提出了七项建议。

煤制天然气是新兴产业,技术复杂,产业链长。由于作者水平和学识有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请广大读者批评、指正。

另外,本书引用了国内外大量专家、学者、咨询机构的研究成果和著作,在此致以诚挚谢意。

编著者

2016年4月

目 录

1 绪论	1
1.1 背景	1
1.2 煤制天然气技术链概况	3
1.3 煤制天然气在我国高速发展的原因	5
1.4 我国发展煤制天然气的意义	9
1.5 我国煤制天然气有关的政策法规与标准	11
2 煤的基本知识及煤制天然气备煤	16
2.1 煤的基本分类和化学组成	16
2.2 煤制天然气的备煤	23
3 大型煤炭气化技术	24
3.1 煤气化过程概述	25
3.2 碎煤固定床加压气化	30
3.3 流化床加压气化	37
3.4 气流床气化	41
3.5 其他类型煤气化技术	47
3.6 煤制天然气气化技术分析	51
4 煤气净化	61
4.1 煤气除尘	61
4.2 CO 变换	61
4.3 酸性气体脱除	64
4.4 煤气净化技术分析	69
5 煤制天然气甲烷化	74
5.1 煤制天然气甲烷化过程	74
5.2 国内外煤制天然气甲烷化工艺	77
5.3 煤制天然气甲烷化催化剂	83
5.4 煤制天然气甲烷化反应器	90
5.5 其他甲烷化技术	94
5.6 煤制天然气甲烷化技术分析	100

2 | 煤制天然气技术

6	煤制天然气产品及环境保护	104
6.1	煤制天然气产品	104
6.2	煤制天然气副产品	115
6.3	煤制天然气三废及环境影响分析	120
7	煤制天然气项目建设条件	128
7.1	我国主要煤炭产区的资源概况	128
7.2	煤制天然气产品管输	133
7.3	煤制天然气项目选址条件及分析	135
8	煤制天然气经济性分析	138
8.1	煤制天然气成本估算	138
8.2	煤制天然气发电与燃煤发电	140
8.3	国际油价波动对煤制天然气经济性的影响	146
9	展望与建议	147
9.1	煤制天然气行业发展前景展望	147
9.2	对新建类似项目的建议	148
	参考文献	154

1 绪 论

1.1 背 景

人们对工业迅猛发展带来的负面影响预料不够,措施不力,导致了全球性的三大危机:资源短缺、环境污染和生态破坏。其中,环境污染问题已成为21世纪人类面临的最严重的挑战之一,是世界各国政府面临的巨大难题。中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国。这种以煤为主的能源消费结构给环境带来的严重影响,是近年来造成我国秋冬季节大范围大气污染的主要原因。我国大气污染形势严峻,以可吸入颗粒物(PM10)、细颗粒物(PM2.5)为特征污染物的区域性大气环境问题日益突出,严重损害人民群众身体健康,影响社会和谐稳定。我国北京、天津、河北、山西、内蒙古自治区、山东是我国大气污染最严重的区域。

雾霾的成因和PM2.5的来源尽管比较复杂,但煤炭消费和汽车尾气排放无疑是重要原因。控制PM2.5污染的首要任务是控制煤炭消费总量,开展煤炭的清洁利用。煤炭消费总量控制作为区域雾霾治理的关键政策,具有显著的低碳效应。据中国煤炭工业协会公开资料显示,2013年全国煤炭消费量达36.1亿吨左右,其中约50%被全国约71万台中小锅炉消耗,而这些中小锅炉在净化(脱硫、脱硝、除尘)措施方面的技术并不完善,造成大量污染物被直接排放到空气中。以污染最为严重的京、津、冀地区为例,该地区大气污染主要是因为煤炭的直接燃烧。我国能源资源禀赋特点和以煤为主的能源消费结构,是藏匿在雾霾背后的罪魁祸首。而煤制天然气作为煤炭消费的替代品,在雾霾治理引发的“煤改气”热潮中拔得头筹。

大唐克什克腾旗煤制天然气项目把劣质的煤炭变为清洁、高效的天然气,投资约260亿元,是我国首个以劣质褐煤为原料生产合成或替代天然气(Synthetic/Substitutive Natural Gas,简称SNG)的工程。该工程通过经内蒙古赤峰、锡林郭勒盟,河北省承德至北京密云的全程359 km的输气管道,最后并入北京燃气管网。2013年12月24日这座工厂成功向北京供应安全、清洁的天然

气,完全建成后供气量可达40亿立方米/年,能够满足北京近1/3的燃气需求,成为北京第二大气源,在一定程度上缓解了气源供应紧张的局面。

近年来,如大唐克什克腾旗项目的煤制天然气产业在我国得到快速发展。在雾霾治理和国家煤炭清洁利用政策导向下,煤制天然气项目成为众多能源企业和地方政府投资建设的热点项目。截至2016年3月,我国已获得国家发展与改革委员会核准的煤制天然气项目有4个,总产能约151亿立方米/年(均为标准立方米,下同)。随着庆华伊犁煤制天然气项目、大唐克什克腾旗煤制天然气项目、汇能鄂尔多斯煤制LNG项目三个示范工程先后成功投产,煤制天然气技术链的可行性已经得到初步验证。2013年9月我国出台《大气污染防治行动计划》,这是煤制天然气项目松绑的转折点,2013年年初至2014年12月,共有15个煤制天然气新项目获国家发展与改革委员会路条。这些项目主要位于新疆、内蒙古、山西和安徽,总产能达771亿立方米/年,是《天然气发展“十二五”规划》中“150亿~180亿立方米”规划目标的5倍左右。煤制天然气技术已成为国内研究和投资的热点,包括神华集团、大唐集团、新汶矿业集团、中海油、内蒙古庆华集团和新疆广汇集团等大型国有和私营企业纷纷投资该领域。但煤制天然气项目已经出现了投资过热的苗头,如果把各地建成、在建或拟建的煤制天然气项目加在一起,截至目前已超过60个项目,年总产能达到2700亿立方米。

作为天然气供给的有效补充,符合我国能源结构现状的煤制合成天然气在一定程度上能够缓解天然气供给压力。而我国煤炭市场供大于求的局面将长期存在,发展煤制天然气有利于消化煤炭行业过剩的产能,对煤炭分散消费过程中产生的污染进行集中处理,可大大缓解大气污染。2014年年初,随着《大气污染防治行动计划》(简称空气“国十条”)的出台,国家对煤制天然气的禁令渐行渐缓。“国十条”要求“制定煤制天然气发展规划,在满足最严格的环保要求和保障水资源供应的前提下,加快煤制天然气产业化和规模化步伐”。2014年3月,国家环保部官员表示,要减少京、津、冀的污染,必须减少京、津、冀煤炭的使用量,鼓励在中西部富煤地区发展煤制天然气,替代中东部地区的燃煤。2014年4月,国家发展与改革委员会在《关于建立保障天然气稳定供应长效机制若干意见》提出:增加天然气供应,有序推进煤制天然气示范项目建设。2014年5月,国家发展与改革委员会发布的《能源行业加强大气污染防治工作方案》要求,在坚持最严格的环保标准和水资源有保障的前提下,推进煤制天然气示范工程建设;建设新疆煤制天然气管道,将西部煤制天然气输往华中、长三角、珠三角等地区。

除了政策导向外,盈利能力是煤制天然气产业高速发展的主要动力。随

着煤炭价格下跌,原油与煤炭价格差比进一步扩大,煤制天然气项目的经济性逐步显现。据上海亚化咨询公司对煤制天然气项目盈利能力分析的公开资料,大唐克什克腾旗项目实现满负荷运行后,原料和燃料褐煤(3500 kcal/kg)价格按照 150 元/吨计算,其送到北京的含税完全成本约为 2.29 元/标准立方米(副产品价值抵扣后约为 1.76 元/标准立方米)。2013 年 12 月,大唐能源化工营销有限公司与中石油天然气销售公司签订了“煤制天然气购销协议”,协议有效期至 2043 年 12 月 31 日。根据协议,初期结算价格约为每标准立方米 2.75 元(含 13% 增值税),2017 年后价格可进行调整。根据上述计算,理论上 2017 年大唐克什克腾旗项目实现满负荷运行(40 亿立方米/年)后,每年将实现约 39.6 亿元税前利润。但考虑北京天然气消费的巨大季节性差异,在夏季必然会要求煤制天然气工厂降低负荷,因此大唐克什克腾旗煤制天然气的实际成本将高于上述估算值。

基于防治大气污染以及我国天然气需求量的持续增长和煤炭行业的持续低迷,煤制合成天然气备受关注,相关项目也密集上马。但在产业热潮的背后,各界有关煤制天然气的质疑也越来越多。虽然煤制天然气在国外已经有 30 多年的发展历史,但我国第一个煤制天然气工业化项目于 2013 年 8 月才建成,同年 12 月投入商业化运行,整个行业还处于示范阶段。据悉,国内已投产的某煤制天然气项目正处于低负荷运行状态,原因是气化炉对煤质不适应,导致气化炉内壁腐蚀及内夹套减薄。一些观点认为虽然煤制天然气的确能部分缓解中国的天然气“气荒”,也能一定程度上推动煤炭清洁利用的步伐,甚至可以说是当前基于中国能源禀赋特点基础上“能源转型最现实的选择”,但是盲目发展、一哄而上的煤制天然气项目建设热潮将给中国带来很大的环境问题。

那么,煤制合成天然气到底是“能源革命”,还是既污染又浪费资源的无意之举,是“利”还是“弊”,是“进”还是“退”? 这些问题值得深思。

1.2 煤制天然气技术链概况

煤制天然气通常是指采用已开采原煤,经过气化、净化、甲烷化等工艺制造合成天然气的工艺过程。采用不同气化工艺的煤制天然气的工艺流程不尽相同,但大体都包括备煤、气化、变换、净化、甲烷化等工序,在备煤阶段根据气化工艺的要求有所不同。

原料煤在煤气化装置中与从空分装置中来的高纯氧气和中压蒸气进行反应制得粗煤气;粗煤气经耐硫耐油变换、冷却、低温甲醇洗装置脱硫脱碳后,制成所需的净煤气;合适比例的 H_2 、 CO 、 CO_2 进入甲烷化装置合成甲烷,再经过

天然气压缩和天然气干燥后即可制得满足要求的合成天然气;从净化装置产生富含硫化氢的酸性气体送至克劳斯硫回收和氨法脱硫装置进行处理,生产出硫黄;煤气水中有害杂质通过酚氨回收装置处理,废水经物化处理、生化处理、深度处理及部分膜处理后,得以回收利用;除主产品天然气外,在工艺装置中同时副产石脑油、焦油、粗酚、硫黄等副产品。煤制天然气主工艺生产装置包括空分、气化炉,耐硫耐油变换,气体净化装置,甲烷化合成装置及废水处理装置;辅助生产装置由硫回收装置,动力、公用工程系统等装置组成。

从单个工艺单元来看,空分、变换及低温甲醇洗是在煤制合成氨、煤制甲醇及煤制油等煤化工项目中已得到广泛应用的成熟技术。对煤制天然气而言,需要重点关注的是煤气化及甲烷化技术。目前我国煤制天然气项目普遍采用碎煤加压气化、粉煤加压气化、水煤浆气化或三者的组合气化方式。典型的采用碎煤加压气化的工艺流程框图见图 1-1。

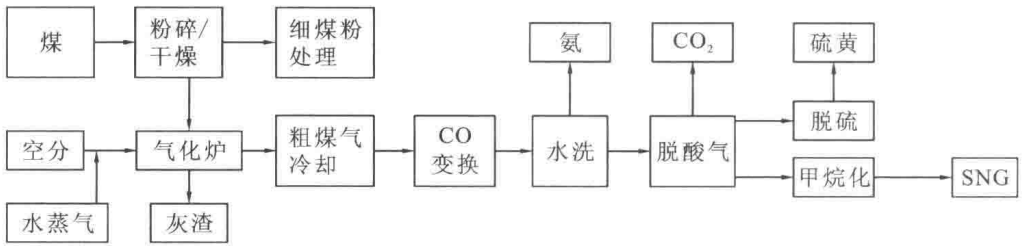


图 1-1 典型的采用碎煤加压气化煤制天然气工艺流程框图

以已经投产的国内某煤制天然气项目的工艺流程为例,煤制天然气主要工艺技术采用碎煤加压气化、粗煤气耐油耐硫变换、冷却、低温甲醇洗净化、低压蒸汽吸收制冷、克劳斯硫回收工艺、甲烷化、废水综合处理利用、残液焚烧工艺。其中,整个技术链的关键特征是采用固定床干法排灰、纯氧碎煤加压气化、低温甲醇洗净化、甲烷化。其主产品为天然气,副产品有石脑油、焦油、粗酚、硫酸铵、硫黄等。天然气品质(表 1-1)满足国家关于管输气的一类天然气标准。合成天然气低热值约 34500 kJ/Nm³。

表 1-1 典型碎煤加压气化煤制天然气项目天然气产品规格

成分	CO	CO ₂	N ₂ + Ar	H ₂	CH ₄
含量/vol%	0	0.05	1.10	0.87	97.98

把几种煤制石化产品路径按照能量利用效率由低到高排列为:间接煤制油<二甲醚<甲醇<煤制天然气。相比于其他煤制石化产品路径,煤制天然气能量效率最高。

1.3 煤制天然气在我国高速发展的原因

在我国,近几年煤制天然气产业快速发展的背后原因很多,主要受我国“富煤、贫油、少气”的资源禀赋现状,以及对清洁能源——天然气的巨大需求驱动,也包括各级政府发展经济的雄心,企业获取煤炭资源的附带条件,高油价带来的良好经济效益,经济刺激政策带来的充沛资金,缓解雾霾锁城困境,以及国内技术和设备国产化等因素影响。这些因素共同构成了煤制天然气投资过热现象背后巨大而又强有力的推手。

(1) 我国“富煤、少气”的资源禀赋特点及对天然气的巨大需求

我国是世界上最大的能源消费国、生产国和进口国,“资源禀赋特征决定了煤炭仍将长期作为我国能源主体,而煤炭的清洁化将是能源利用的主旋律”。根据《BP 世界能源统计年鉴 2016》,截至 2015 年年底我国煤炭探明储量为 1145 亿吨,占世界煤炭探明储量的 12.8%,而天然气探明储量为 3.8 万亿立方米,占世界天然气探明储量的 2.1%。2015 年,我国煤炭产量为 1827 百万吨油当量,占全球煤炭生产总量的 47.7%,在当年我国化石能源生产结构中占 84.36%;天然气产量为 124.4 百万吨油当量(1380 亿立方米),占全球天然气生产总量的 3.9%,在当年我国化石能源生产结构中占 5.7%。2015 年我国煤炭消费量为 1920.4 百万吨油当量(不含香港、台湾地区),占全球煤炭消费总量的 50.0%,在当年我国一次能源消费结构中占 63.12%(图 1-2);天然气消费量为 177.6 百万吨油当量(1973 亿立方米,不含香港、台湾地区),占全球天然气消费量的 5.7%,在当年我国一次能源消费结构中占 5.89%。2015 年我国天然气供需缺口近 600 亿立方米,进口管道天然气有 336 亿立方米,主要来自土库曼斯坦,少量来自缅甸、乌兹别克斯坦和哈萨克斯坦等国;进口液化天然气 262 亿立方米(不含台湾地区),主要来自澳大利亚、卡塔尔、马来西亚和巴布亚新几内亚,少量来自尼日利亚、赤道几内亚等国。“十三五”期间,天然气消费比重将达到 10%,成为我国主体能源之一,天然气供需缺口将进一步扩大,“富煤、少气”的资源禀赋特点与清洁环保的矛盾将加剧。

只有在“富煤”和“少气”同时存在时,才有发展煤制天然气并对天然气进行替代的市场空间和驱动力。20 世纪七八十年代,美国北达科他州经济发展与天然气供应不足矛盾突出,在区域性“富煤、少气”的环境下,凭借当地储量丰富的褐煤资源,催生了全球首个商业化煤制天然气项目——大平原煤制合成天然气工厂。大平原煤制天然气项目也曾规划过二期,并开展可行性研究。但随着美国页岩油气的大发展,美国天然气供应过剩,价格下跌,使得大平原煤制天然气

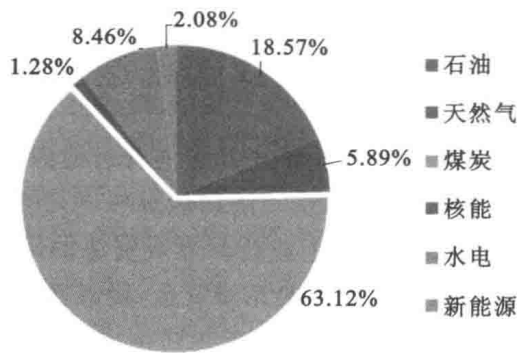


图 1-2 2015 年中国一次能源消费比例

(注:根据《BP 世界能源统计年鉴 2016》整理)

二期项目没有落实的可行性。

中国煤炭资源远景储量为 4 万亿吨。据《BP 世界能源统计年鉴 2016》，截至 2015 年年底，中国煤炭探明储量为 1145 亿吨，占世界总探明储量的 12.8%，其中次烟煤和褐煤探明储量为 523 亿吨，约占我国煤炭总储量的 46%。这些煤种长途运输经济性差，易挥发，易自燃，且大部分分布于运输条件相对困难的新疆和鄂尔多斯盆地地区，而我国能源消费市场主要集中在经济发达的中部和东部地区。发展煤制天然气，通过长输管网实现资源和市场的连接成为合理选择。煤制天然气项目主要集中在新疆和内蒙古地区，两地产能之和占全国总产能的 80%。其中，获得新疆维吾尔自治区企业投资项目登记备案证的煤制天然气项目有 22 个，产能规模近千亿立方米；内蒙古煤制天然气项目有 12 个，产能规模约 740 亿立方米。截至 2016 年 12 月，我国已核准的 5 个煤制天然气项目如表 1-2 所示，已经获得国家发展与改革委员会“路条”的部分煤制天然气项目见表 1-3。

表 1-2 已经核准的煤制天然气项目

公司名称	规模/ (亿立方米/年)	项目所在地	项目进展
大唐国际发电股份有限公司	40	内蒙古克什克腾旗	一期 2013 年 12 月投产
	40	辽宁阜新	正在建设
中国庆华新疆能源有限公司	55	新疆伊犁	一期 2013 年已投产
内蒙古汇能煤化工有限公司	16	内蒙古鄂尔多斯	一期 2014 年 11 月投产
苏新能源和丰有限公司	40	新疆塔城	2016 年 10 月 21 日 获得核准

表 1-3 已经获得“路条”的煤制天然气项目

公司名称	规模/ (亿立方米/年)	项目所在地
中电投新疆能源有限公司	60	新疆伊犁
新汶矿业集团伊犁新天煤化工有限责任公司	40	新疆伊犁
内蒙古国电能源投资有限公司	40	内蒙古兴安盟
中海油、大同煤业集团	40	山西大同
新蒙能源投资股份有限公司、北京控股集团	40	内蒙古鄂尔多斯
中海油	40	内蒙古鄂尔多斯
河北省建设投资集团	40	内蒙古鄂尔多斯
北京控股集团	40	内蒙古鄂尔多斯
中石化新疆能源化工有限公司	80	新疆昌吉
河南煤业新疆龙宇能源有限责任公司	40	新疆昌吉
新疆广汇新能源有限公司	40	新疆阿勒泰
浙江能源集团	100	新疆昌吉
中煤能源新疆煤电化有限公司	40	新疆昌吉
内蒙古华星新能源有限公司	40	内蒙古上海庙能源化工基地
安徽省能源集团有限公司	22	安徽淮南

(2) 各级政府发展经济的雄心与企业获取煤炭资源的附带条件

40 亿立方米/年规模的煤制天然气项目投资额高达 260 亿~300 亿元,不仅给当地带来了 GDP,还能带动和促进周边的经济发展,拉动当地就业,提高当地人均收入。巨大的投资额是吸引当地政府拉拢“大项目”发展当地经济的立竿见影的方式。富煤地区政府为了吸引投资者,推出了吸引投资的在土地、税收、政府服务、煤炭资源等方面的诸多措施,但对企业而言,吸引力巨大的仍然是政府的煤炭资源配置。

从 2003—2012 年长达十年的中国煤炭行业黄金期,煤价一路上涨,在煤炭企业获利丰厚的同时,下游用户尤其是电力企业苦不堪言。电力企业为了降低成本,保障原料来源,积极向产业链上游延伸,如中电投、华能、大唐等下游发电企业进军煤炭勘探开发;而煤炭企业为了巩固优势,扩大产能,也在努力获取新的煤炭资源。

对于拥有煤炭资源的地方政府来说,为了发展地方经济,往往会对希望获取煤炭资源的企业提出“就地转化率”的前提条件,就地转化率一般高达 50%,

而且不包括煤电项目。企业只有发展大型煤化工项目,才能够满足就地转化率的条件。

(3)经济刺激政策带来的充沛资金

自2008年金融危机以来,以2009年“四万亿”为代表,中国出台了一系列经济刺激政策,为国内基础设施建设和重化工业带来了充沛的资金。国内银行业本身也有完成贷款任务的指标,如煤制天然气这样的大型煤化工项目一般由信誉良好的央企或大型私营企业投资,并且往往有优质资产——煤矿作为抵押,成为银行业放贷的理想对象。目前煤制天然气的投资方主要有大唐集团、汇能集团、中海油、庆华、伊泰、兖矿、中电投、华能、中国石化等大型企业。

(4)经济效益预期好

从长远来看,我国天然气价格有一定的上涨趋势,这是毋庸置疑的。自2010年以来,国家发展与改革委员会对天然气价格有四次调整,分别是:

① 2010年5月31日印发《关于提高国家陆上天然气出厂基准价通知》。

② 2013年6月28日印发《关于调整天然气价格的通知》,该文件中把天然气分为存量气和增量气调整价格,全国天然气平均门站价格由1.69元/m³提高到1.95元/m³。

③ 2014年8月10日印发《关于调整非居民用存量天然气价格的通知》,该文件提出非居民用存量气最高门站价格每千立方米提高400元。

④ 2015年11月18日印发《关于降低非居民用天然气门站价格并进一步推进价格市场化改革的通知》,自2015年11月20日起,各省份非居民用气最高门站价格每千立方米降低700元。

以目前的煤炭价格来看,煤制天然气的出厂价在1.5元/m³左右,介于国产气和进口气之间,经济效益明显。但是一些专家对煤制天然气的经济性持悲观态度,认为从煤制天然气项目经济性看,煤炭价格上涨10%,内部收益率降低0.62%;天然气价格降低10%,内部收益率降低2.78%^①。目前企业看好煤制天然气项目,在一定程度上与煤炭市场清淡、煤炭价格处于低谷有关,但是,未来煤炭价格走势仍有许多不确定性,可能给煤制天然气产品价格带来影响。

(5)“雾霾围城”的解围利器

使用天然气替代直接燃煤是减轻大城市雾霾,缓解大气污染的重要手段之一。国家发展与改革委员会2014年3月发布的《能源行业加强大气污染防治工作方案》提出,2017年煤制天然气产量达到320亿立方米的发展目标,

① 公开资料来自国务院发展研究中心资源与环境政策研究所的测算。

加之大唐克什克腾旗、庆华新疆伊犁、内蒙古汇能煤制天然气示范项目已经投产,中国政策层面对煤制天然气也放宽了制度,截至 2015 年 12 月,已有至少 18 个煤制天然气项目获得路条,这些项目总产能近 900 亿立方米/年,总投资超过 4000 亿元。

(6) 设备和技术国产化带来的成本降低

煤化工属于资金和技术密集型行业,经济规模的单个项目投资巨大,产品成本结构中财务成本和折旧占比较高。如果完全或大部分依靠进口技术和设备,而缺乏相应国内技术和设备的竞争,煤化工的投资额将会令投资方难以承受。

我国政府特别重视对先进技术的引进、消化和吸收。我国近年来装备工业体系的发展和国产煤化工技术的成熟,使进口技术和设备的价格不断降低,从而压缩了项目投资,提升了经济性。煤制天然气装置投资中,气化单元投资比重最大。煤气化是煤化工发展的龙头,也是煤制天然气中投资最大、最核心的部分。过去十年气流床煤气化技术在中国的发展和完善,对中国煤化工的发展起到了巨大的促进作用。相比固定床气化,气流床可以使用粉煤,大大拓展了煤气化的原料来源。

甲烷化也是煤制天然气的核心技术之一,目前仍被国外少数几家公司垄断。国内有多家科研院所及高校在进行研发,并取得了一定成绩,在焦炉煤气甲烷化项目上已有工程业绩。由中海石油气电集团与西南化工研究设计院历经 3 年,共同开发的煤制天然气甲烷化成套技术已经通过 $48000 \text{ Nm}^3/\text{d}$ 四级全流程工业示范验证,所开发的甲烷化技术经中国石油和化学工业联合会鉴定。目前,该技术正在进行工业化推广应用。

1.4 我国发展煤制天然气的意义

(1) 天然气供需缺口的有效补充

目前国内天然气供应的缺口逐年增大,对外依存度近两年呈快速上涨之势。2014 年我国天然气表观消费量达 1855 亿立方米,比 2013 年增长 18.6%。2014 年,随着大气污染防治方案等环保政策的出台,以及各地煤改气和油改气项目的推进,天然气需求量增长迅猛。国家能源行动计划设定“十三五”末(即 2020 年)天然气的消费量将达到 3000 亿~4000 亿立方米。虽然 2014 年 5 月中俄签署了天然气供气大合同,但俄气最快要到 2018 年以后才能来到我国,供气量占当时预测我国天然气需求量的 20%左右。这从客观上加大了我国对开发非常规天然气及合成天然气的需求。

(2) 消化煤炭的过剩产能,助力环境保护

2016年11月4日,《巴黎协定》正式生效。我国承诺2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现,2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%,非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。这将加快高燃煤消耗企业的改革步伐。除了计划2020年努力将煤炭消费总量控制在42亿吨左右外,以煤制天然气取代中小锅炉对煤炭的散烧,在煤制天然气过程中采用现代化的气化、净化技术,集中进行除尘、脱硫、脱硝等处理,大幅度减少煤炭直接燃烧过程向大气中排放的污染物也是重要的改革手段。煤制天然气产品同常规天然气组成类似,是一种洁净、优质的燃料,污染相对较小,能有效地缓解环保压力,也可以缓解煤炭产能过剩的局面。

对比石油、煤炭、天然气、液化天然气等燃料的价格,煤炭目前是亚洲最便宜的燃料。煤炭价格相比石油和天然气极具竞争力,且与其他燃料相比波动幅度较小。煤制天然气的能源转化效率较高,能量转化效率(能效)约为56%,而煤间接液化的能量效率约为34%,直接液化则约为38%,煤制二甲醚能量效率约为37%。从能源消费特征上讲,天然气较煤炭能源密度更高且污染物排放更低,具有明显的清洁、高效、便捷等特征。我国煤炭储量丰富,产能过剩严重,通过转化为相对稀缺、供不应求的天然气产品,可实现从一般能源向稀缺能源、低级能源向高级能源的转化。

(3) 保障国家能源安全

从能源流通角度看,解决我国资源分布和能源消费市场不匹配这一矛盾的有效手段即是发展煤制天然气,在我国煤炭资源丰富的西北部发展煤制天然气,从偏远的富煤产地用天然气长输管线送到全国消费市场,既能实现清洁能源生产的新途径,相比煤炭直接运输降低了能源流通成本,减少了运输过程的能源消耗和污染排放,优化了煤炭深加工产业结构;又具有能源利用率高的特点,符合国内外煤炭加工利用的发展方向,对于缓解国内天然气短缺,保障我国能源安全、节能减排方面具有重要战略意义。

但是对于煤制天然气不是所有专家都持乐观态度,目前我国煤制天然气产业尚处于初期阶段,煤制天然气过程自身可能带来的污染风险和其盈利能力还不够清晰,有待于长期运行的结果验证。目前国内煤制天然气项目为了在粗合成气中获得尽量多的甲烷,普遍采用鲁齐炉,然而该工艺的最大问题是易产生含苯、酚废水,且污水处理成本较高。但是煤制天然气作为符合我国能源结构现状的、对于保障能源安全和消除雾霾有重要作用的现代煤化工代表性技术之一,适当开展示范性项目和培养整个技术链的国产技术及装备有重大意义。