

# 炼油化工产业资源与能源的 集成优化配置

华 贲<sup>1,2,3</sup>

(1. 强化传热与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640; 2. 华南理工大学天然气利用研究中心, 广东 广州 510640; 3. 华南理工大学化工与能源学院, 广东 广州 510640)

**摘要:**在我国经济持续快速发展凸显资源和能源短缺的严峻形势下, 剖析了传统观念和机制所导致的石油化工资源配置问题: 宝贵的氢气、轻烃资源用作燃料、液化天然气和煤炭资源未能综合利用; 并且在以石油为唯一原料的传统的“炼化一体化”的概念上提出了以煤、石油、天然气为资源和能源的新的“油气化一体化”概念, 指出要继续加深以石油为原料的炼化一体化的深度, 重视发展 LNG 产业链、碳一化工和煤炭多联产技术, 实现炼化产业资源和能源的优化配置。

**关键词:**炼油化工; 资源; 能源; 优化配置

**中图分类号:** TQ-9

**文献标识码:** C

**文章编号:** 0253-4320(2006)09-0007-05

## Optimized configuration of petrochemical resource and energy in China

HUA Ben

(1. Key Laboratory of Enhanced Heat Transfer and Energy Conservation, The Ministry of Education, Guangzhou 510640, China;

2. Research Center of Natural Gas Utilization, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

3. School of Chemical and Energy Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Because of the rapid and continual economic development, China faces the severe situation of short of resources and energy. Based on such background, the petrochemical resource distribution issue led to by the traditional concepts and system; valuable hydrogen and light hydrocarbon used for fuel; LNG and coal not used integratively, is analyzed in this paper. A new concept of integration of refinery and chemical industry which based on coal, oil and natural gas as resources and energy is proposed. In order to optimize the configuration of petrochemical resource and energy, it is suggested that: (1) oil should be used more sufficiently in petrochemical industry; (2) develop the LNG industry chain; (3) optimize collocation of coal co-production, methane chemical industry.

**Key words:** petrochemical industry; resource; energy sources; configuration optimization

## 1 我国资源与能源的严峻形势与炼化产业面临的挑战

进入 21 世纪以来, 经济全球化和中国拉动内需所引发的汽车、房地产等产业高速发展所推动的钢铁、建材、冶金等重化工业投资迅速膨胀, 使得中国的资源、能源和环境形势极其严峻。中国已经成为世界第二大石油进口国, 铁矿石、铝矾土等资源的第一大进口国, 并引发了这些商品价格的大幅上扬。2001—2005 年中国能源弹性系数为 1.5, 达到历史新高; 中国二氧化硫排放总量多年在 20 Mt/a 左右, 居世界第一位, 大大超过环境自净所能承受的负荷; 环境污染每年给我国造成的损失约占我国 GDP 的

7%~8%。“三高一低”的粗放型发展对人均资源和能源远低于世界平均水平的中国来说, 是不可持续的; 也必将不断削弱中国商品的竞争力。资源和能源对外依存度的不断增加, 也影响到中国的国家战略安全。

几十年来, 我国炼油化工产业担负着保障全国交通燃料、润滑油和大部分化工产品供应需求的任务, 是国民经济的重要支柱产业。在 20 世纪, 世界化学工业经历了由煤化工向石油化工的转变。中国的炼油化工产业, 也不例外地以石油为主要原料。目前, 我国工业能源消费量占总消费量的 60% 以上, 其中化工、石化等高耗能行业的能源消费又占整个工业终端消费的大部分。而且它们所消耗的一次

收稿日期: 2006-07-17

基金项目: 国家重点基础研究规划项目“高效节能的关键科学问题”(G20000263)资助

作者简介: 华贲(1937-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事过程能量综合优化及能源的高效利用方面的研究工作, cehuaben@scut.edu.cn。

能源大多也是石油加工产物。因此,我国经济持续快速发展对石油需求的急剧增加是通过炼油化工产业体现的。到 2004 年我国进口原油已达到 1.27 亿 t,对外依存度比各方预计提前几年达到了 40%。这引起了国内政治、经贸、外交、军事各方面的关注。在目前的形势下,有必要重新审视我国炼油化工产业的资源和能源完全依赖石油的格局,并考虑新的出路了。

## 2 传统观念和机制及其导致的资源配置问题

中国的炼油和石化工业经过几十年的发展,已经形成了相当大的规模和比较全面的产业集群。炼油加工能力达到 3 亿 t/a,乙烯产能近 700 万 t/a。但由于经济体制和管理机制方面的原因,在资源和能源的构成和配置方面一直沿着相对固定的观念和模式。除了上述依赖石油以外,还有:①自给自足,小而全,大而全,企业之间缺乏联合互补和物流与能流的循环;②资源,特别是中间产品资源的价值不是由市场定位,而是人为规定财务结算的方法;③建设和规划受行政区划影响很大,全局市场优化配置不够;④更重视外延的发展,重产量、产值,对质量、品种、节省资源和能源消耗等内涵的集约发展强调不够;⑤在三大国有石化集团公司垄断的格局下,在公司的内部各个企业之间存在着物流和能流的非市场机制的关联交易。

这些传统的观念和模式造成了资源配置不合理以及由其所导致的资源和能源的低效率和非优化使用,甚至浪费。现举例如下:

(1)中国的一次能源构成中,高含氢的石油和天

然气人均资源不到世界平均的 1/10。尽管油气资源非常稀缺,但在中国的化工厂和炼油厂里,大量含氢的副产气体被当作燃料烧掉,而另一方面又用大量的石脑油、饱和 C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub> 轻烃等宝贵的化工原料烃类去制氢。

(2)中国石化工业龙头企业乙烯工业 90%是以石脑油、煤油、柴油、加氢尾油、减压馏分作为裂解原料,乙烯的平均收率只有 32%<sup>[1]</sup>。与此同时,炼油厂每年副产的上千万吨乙烷、丙烷和丁烷等轻烃,包括 1 000 多万 t 液化石油气(LPG),作为工业或民用燃料被烧掉。而用轻烃作为乙烯裂解原料时乙烯收率要比用重组分为裂解原料高一倍以上。

(3)在西部较为分散的油井,在获取石油的同时,每年有上百亿 m<sup>3</sup> 以甲烷为主、含有部分乙烷、丙烷和丁烷等轻烃的伴生气在井口放空烧掉。每年有上百亿 m<sup>3</sup> 焦炉煤气,在获取焦炭的同时,在小炼焦厂放空烧掉。

(4)通过炼油厂生产芳烃,只需要经过原油蒸馏和重整 2 道工序。而通过乙烯装置生产芳烃要经过 3~4 个生产工序,增加了投资、能耗和生产成本。由于中国乙烯原料重质化导致乙烯裂解产物中有大量重整原料的 C<sub>6</sub>~<sub>9</sub> 烃,使得乙烯厂成为芳烃的重要来源。

(5)中国化石能源以煤为主,等热值的燃料油/煤比价一般高于国外 2~3 倍;在西部靠近煤矿的地区目前可达 4 倍以上。这些地区的炼油厂以煤为产生蒸汽的锅炉燃料,顶替出渣油,通过催化、延迟焦化或丙烷脱沥青等二次加工手段生产高附加值产品,是资源优化利用的重要途径。但由于体制的

(上接第 6 页)

境科学出版社,2005.

行。我国化学工业的发展必须改变传统模式,学习自然生态系统的无废物运行规律,才能在 21 世纪实现持续发展。在循环经济理念的指导下发展生态化学工程,尤其需要依赖工程科学进步与技术创新。如果缺少先进的工程科学技术作为支撑,循环经济的理念再美好,也只能是海市蜃楼,难以实现。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴 2005[M].北京:中国统计出版社,2006.
- [2] 赵晏彪,李勇武.行业发展硕果累累 协会工作任重道远:访中国石油和化学工业协会会长李勇武[J].中国石油和化工经济分析,2006(2):6-11.
- [3] 国家环境保护总局.中国环境统计年报 2004[M].北京:中国环

- [4] 吴剑之,马隆龙.生物质能现代化利用技术[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [5] 朱瑞兆,祝昌汉,薛桁.中国太阳能·风能资源及其应用[M].北京:气象出版社,1988.
- [6] 张录强.生物质能开发是误区 太阳能开发是方向[J].太阳能,2005(5):13-15.
- [7] 王志伟.2005 年太阳能光伏行业回顾与展望[J].中国建设动态:阳光能源,2006(1):86-87.
- [8] 赵玉文.中国光伏产业的问题和对策[J].可再生能源,2004(2):5-8.
- [9] 李鑫,李安定,李斌,等.太阳能制氢研究现状及展望[J].太阳能学报,2005,26(1):127-133.
- [10] 张济民.夹点技术及其应用[J].化学工程师,2004(6):45-46.
- [11] 沈玉龙,刘长虹,吴树新.2006 年美国总统绿色化学挑战奖项目评述[J].现代化工,2006,26(7):61-64. ■

原因,从20世纪70年代末起在炼油和石化厂附近建立烧煤热电厂,向炼油厂提供蒸汽的“煤代油”项目,很多都没有成功:炼油厂怕发电厂不正常供蒸汽影响装置运行,而发电厂卖给炼油厂的蒸汽要求按照炼油厂烧渣油的成本来定价,导致双方很难达成协议,以致这些炼油厂或者自己再建烧煤锅炉,或者迄今仍烧渣油产汽。

(6)国家能源发展规划中已重视天然气的利用,加大天然气的进口,特别是在沿海地区大力引进LNG。按照目前国际LNG市场的情况和今后发展趋势,可以在LNG终端站利用LNG气化过程中的冷能低成本地把湿LNG中的 $C_{2+}$ 的轻烃分离出来作为乙烯原料,把多余的冷能作为乙烯装置深冷部分的冷公用工程;同时以甲烷作为炼油厂的制氢原料和热电联产的一次能源,把轻烃顶替出来用作化工原料,把燃料渣油顶替出来进一步加工。这是一个极好的资源和能源优势互补、冷量优化利用的方案。但到目前为止的LNG引进项目规划和沿海石化工业发展的规划都是各自分割的,没有统一考虑能源的合理利用和资源的优化配置。

(7)由于以煤为主的能源结构所造成的环境污染,要求洁净煤利用技术在中国要加速推行。洁净煤技术包括 $SO_x$ 、 $NO_x$ 粉尘和 $CO_2$ 的减排,以及煤的液化和气化,煤的热电冷和化工利用多联产技术等。煤的洁净利用与石化工业的发展两者之间缺乏在规划层面上的联系,对资源和能源的协同优化缺乏考虑。

上述问题是由于传统观念、体制和机制方面的因素所造成的。在观念上,是对于我国资源和能源的严峻形势以及节约和循环利用的科学道理认识不足。在体制上,最主要的是国家的能源规划和战略考虑与石油化工资源规划和战略考虑相互脱节,缺乏统筹和集成。在运作机制上,三大公司之间缺乏统筹协调,整个石油化工行业的规划缺乏资源与能源的全局集成优化的战略思考 and 对策。如果能够从资源和能源的协同优化利用的角度科学地统筹规划、密切配合、优势互补,可大大减少原油进口,提高资源的利用效率。

### 3 炼化一体化在配置石化资源上的不足

“炼化一体化”配置的策略之一是炼油厂与乙烯厂的“一体化”或物流互供。BASF和Fina联合建设的90万t/a乙烯装置与炼油厂实行一体化,每年可产生6000万美元的协同效益,新加坡的炼油厂和石化厂一体化和非一体化对比(乙烯装置能力60万

t/a),节省投资3510万美元,约占总投资的3.6%,固定操作成本节省14.5%。但如果“炼化一体化”只停留在以石油为唯一原料和能源的传统观念上,那么资源优化的效果是很有限的。以某大型石化炼油一体化项目(1200万t/a炼油和80万t/a乙烯)为例,一体化方案与原基础方案相比,炼厂每年可节省建设投资6.09亿元(3%左右),总成本费用降低6700万元,利税总额提高6671万元,利润总额增加6671万元,单位加工费降低4.76元/t(不含期间费用)或5.77元/t(含期间费用),单位利润提高3.87元/t,平均运用资本回报率(ROACE)提高0.63%,税前投资内部收益率提高0.73%,税后投资内部收益率提高0.55%<sup>[2]</sup>。但是,这个一体化方案并没有与邻近的天然气管道项目集成优化的考虑;可以用作乙烯原料的数10万t/a的饱和轻烃仍然用作炼油厂的制氢原料,并且还有数10万t/a渣油用作公用工程的燃料。如果用天然气来顶替出这些原料资源,所产生的经济效益将不是每年几千万元,而是每年几亿元;并且炼油厂的热电联产的能源利用效率也可以进一步提高,产生另外上亿元的年经济效益。进一步与天然气产业链结合,分离出其中的 $C_{2+}$ 作为乙烯原料,则可节省投资30%,降低能耗30%~40%,降低综合成本10%;资源综合利用效率大大提高。

21世纪的世界正在从石油经济向天然气经济转化。按照资源的勘探和开发进展估计,到21世纪中叶,天然气(目前占25%)将取代石油(目前占40%)成为占世界第一位的一次能源。但由于中国化石能源以煤为主的客观条件,中国还必须从自己的资源条件出发,统筹考虑石油、天然气、煤以及生物质资源作为化工原料和能源的规划和战略,而且这并不是遥远的事。因为国家能源规划已经在实施:我国从俄罗斯和哈萨克斯坦每年进口近千亿 $m^3$ 天然气的政府协议已经签订,沿海多个数百万吨/年LNG进口项目正在陆续实施,内陆和近海大陆架天然气的开发正在加速;煤的高效、洁净利用从基础研究到引进消化吸收攻关项目也都在大力开展。继续把“炼化一体化”局限在以石油为唯一原料和能源的传统观念上,将不利于中国石化工业的健康发展和资源、能源的高效利用,并会造成每年数以百亿元计的经济损失。

### 4 石化工业资源与能源整体集成优化课题

通过从上游油、煤、气到下游炼油和化工,包括

国内外 2 种资源的多个产业链,在资源和能源 2 个方面的集成优化,可使资源和能源的来源多元化,利用效率大幅度提高,从而减少对进口石油的依赖。

#### 4.1 加大以石油为原料的炼化一体化的深度

1997 年,世界石脑油近 60% 用于生产汽油,其余用于生产石油化学品,其中用于生产烯烃和芳烃的各占一半。由于石油化学品的需求比汽油需求增长得快,目前约有一半的石脑油用于生产石油化学品。目前世界乙烯原料中石脑油几乎占一半以上,其比例还将继续增长。通过转化低附加值的中间石油产品,如 AGO 和加氢尾油等,可以提高炼厂的经济效益<sup>[3]</sup>。但是原料越重,乙烯的收率越低,加工成本和能耗越高。中国 90% 的乙烯原料是石脑油和重组分,因而加工成本和能耗都很高<sup>[4]</sup>。目前的一个潜力是把在炼厂用途一般而可以用作乙烯原料的副产轻烃,包括 FCC、RFCC、焦化和减黏等装置产生的含轻质烯烃和烷烃的尾气,加氢精制、加氢裂化等装置产生的  $C_2\sim_6$  烷烃分离出来提供给乙烯厂和/或化工厂。其量依装置组成而异,可达原油的 3% ~ 5%; 相对于占原油 20% 左右的石脑油来说,这也是一个可观的数量。另一方面,乙烯装置的副产品,如裂解汽油、芳烃、氢气等,应当送回炼厂精制成为良好的石油产品。化工厂利用了轻烃中的烯烃或异构烷烃后的其他组分,也应当返回乙烯厂作原料。

#### 4.2 充分利用天然气资源,实现“油气化一体化”

我国国家能源政策已经做了重大调整,将加速开发国内外 2 个天然气资源。到 2020 年,我国天然气消费将达 2.2 亿 t/a 油当量。其中,从国外进口部分近半。天然气资源主要来自 3 种类型的矿藏:一种是凝析气田,它们是“湿气”,即除了大量的  $CH_4$  以外,还含有较多的  $C_2\sim_6$  成分;第 2 种类型是油田伴生气,由于形成的地质年代和条件不同,油田伴生气的数量也不一样,越是重质石油的油田伴生气越少;第 3 种就是天然气田,有的几乎不含  $C_2$  以上组分的“干气”,但也有的是湿气<sup>[4]</sup>。“天然气资源”指其主要成分为甲烷,但也包含了“湿”气中的  $C_2+$  轻烃。在一些情况下, $C_2+$  会有相当的比例,如澳大利亚西北大陆架的 LNG 中, $C_2+$  的质量分数达 21%。

“油气化一体化”包含 2 个概念:一是充分利用湿气中的  $C_2+$  资源扩大乙烯工业的原料资源;二是如何合理发展以甲烷为原料的碳一化工。对于前者,国外已有成熟经验,美国 70% 的乙烯都是利用湾区油气藏中的  $C_2+$  生产的。沙特阿拉伯近年来发展了不少利用天然气中的  $C_2+$  裂解制乙烯的项目。

对中国的乙烯生产商来说,需要在天然气资源开发和引进早期,未雨绸缪,做好规划。一方面,投资国内外上游油气田  $C_2+$  分离回收项目;另一方面,把  $C_2+$  资源利用与 LNG 项目规划结合起来。由于国内气田丰度较低,多为较分散的中、小型气田,难以用常规技术开发利用。最近,已经有用深冷工艺小气田天然气净化和液化的专利技术,实现包括  $C_2+$  的 LNG 低成本集输。进口 LNG 项目,则需要从上游产业链着手,力图进口湿气。进口管道湿天然气也可以通过利用压力能制冷,使其中的  $C_2+$  冷凝分离。以全国 2020 年用天然气 2.2 亿 t/a 油当量计,若其中 30% ~ 40% 是湿气,含  $C_2+$  15% (质量分数) 左右,则有可能从中分离出轻质乙烯原料 1 000 万 ~ 1 300 万 t/a,可生产乙烯 800 万 ~ 1 000 万 t/a。大约占全国乙烯产量增加的一半。与完全依赖石油相比,可以减少石油进口近 1 亿 t/a。在统筹规划安排之下,这个目标是完全可以实现的<sup>[5]</sup>。我国的油气资源大部分集中在西部。由于天然气井口价格远低于运到东部终端的价格,所以可以在气田附近利用分离出来的  $C_2+$  轻烃建立经济规模的乙烯厂,和以甲烷为原料的合成氨等各种化工产品的工厂。所获得的乙烯下游和  $C_1$  化工下游的固态或液态的高附加值产品成本很低;用铁路来运输它们比用管道来运输天然气的运费大幅度降低。

“油气化一体化”另一个重要概念是在经济条件适宜的地方,充分利用 LNG 和管道天然气用作炼油厂以及乙烯厂的一次能源和制氢原料;替代出饱和轻烃和渣油去进一步加工。这不仅优化利用了资源,而且有巨大的经济效益;因为其结果就是以相对廉价的天然气产生出乙烯原料和渣油的使用价值。这个策略对于我国沿海大城市附近的许多炼油厂,可能会是同时解决保障制氢原料、提高能源转换效率、改善环境等问题的“一箭三雕”的办法<sup>[6]</sup>。当然,在有廉价的煤可以利用,而且环境条件允许的情况下,用煤通过多联产和清洁利用技术生产炼油厂所需的氢气和蒸汽动力比用天然气更经济。

#### 4.3 煤炭资源和能源用于化工原料和车用燃料的优化配置路线

煤炭资源和能源用于化工原料和车用燃料的优化配置问题,一直众说纷纭,争持不下。笔者就下面 2 点略加论述。

(1) 在西部的煤矿附近建立整体联合循环发电技术(IGCC)、循环流化床(CFB)等用先进、洁净技术通过煤气化发电,同时生产氢气或合成气等化工原

料的热电冷化工多联产的煤转化装置。现在我国在洁净煤方面,主要有高效超临界发电技术、IGCC等发电技术,煤炭直接、间接液化技术,煤富氧水蒸气转化制合成气技术,洁净燃烧及燃烧排放污染治理技术等。关键是把这些技术放在全国炼油化工产业资源与能源的集成优化配置这个大系统格局下来评价和筛选。避免只从局部的利益或非市场机制决定的基础数据出发得出虚假的可行结论。例如,有报道说,2005年各地报建的煤炭直接液化项目总投资已达数千亿元。通过对西部煤资源和能源配置,可以大大节省资金、铁路运力,提高能源效率,优化能源结构,改善环境,并减少和替代部分石油消耗。此外,2004年我国放空焦炉煤气近200亿 $m^3$ 。应当通过产业集约化用好这些宝贵的化工资源、减少对环境的污染。

(2)有自主知识产权的甲醇脱水制二甲醚(DME)的新工艺技术,即汽化甲醇在固体酸催化剂上脱水生成二甲醚和水、精馏制得二甲醚的技术,已经首先在我国实现工业化生产<sup>[7]</sup>。这项DME生产工艺的最大特点是工艺流程经过工业实践反复优化,自动化程度较高,操作简单,投资少,消耗低,可靠性高。DME是柴油和LPG的优质替代燃料。实

践证明,DME可以任何比例掺混到柴油或LPG中,用作车用或民用燃料。在世界石油价格持续高涨的情况下,以煤为原料的DME具有很低的成本和很强的竞争力。在西部的煤矿附近建立通过合成气生产甲醇的工厂。然后,把液态的甲醇运到发达地区,进一步生产DME,这将是我国避免过度进口石油的重要路线。应当认真规划,积极推广。

(研究生郭慧协助整理有关资料,特此致谢。)

### 参考文献

- [1] 袁晴棠.解决乙烯原料制约,加快乙烯工业发展[J].当代石油石化,2004,12(9):1-5.
- [2] 李志强.炼化一体化:未来石油化工发展的方向[J].当代石油石化,2005,13(5):8-11.
- [3] 华贲.中国炼油企业能源构成和转换技术的发展趋势[J].炼油技术与工程,2005,35(11):1-5.
- [4] 华贲,郭慧,李亚军,等.用好轻烃资源优化我国乙烯工业原料路线[J].石油化工,2005,34(8):705-709.
- [5] 华贲.利用海外LNG资源的战略思考[J].天然气工业,2005,25(5):124-127.
- [6] 华贲.中国LNG产业链的发展策略探讨[J].石油工程建设,2005(Z1):17-23.
- [7] 王立华,等.二甲醚的生产技术现状及前景展望[J].江苏化工,2005,33(6):25-27. ■

## AnalyticaChina 2006 慕尼黑上海分析生化展展示 先进环保分析技术

继成功举办 IFAT 中国环博会后,德国慕尼黑展览集团又继续在 AnalyticaChina 2006 慕尼黑上海分析生化展上为观众带来关于环境保护与可持续发展的相关技术和解决方案。本届展会已于2006年9月19—21日在上海新国际博览中心举办,展会吸引了来自18个国家超过250家展商,以及德国、英国、西班牙、比利时等4国展团的加入,展示面积超过10 000  $m^2$ 。

在展会期间,该领域世界知名企业热电公司、美国珀金埃尔默公司、德国耶拿公司、上海精科集团等都展示了自己的新产品及设计制造实力。与展会同期举办的第3届国际分析化学研讨会上设有“环境分析”专场,包括5场主题报告,内容涉及环境污染与检测、大气分析等,其中

还特别邀请来自香港城市大学的 Lam Kwan-sing 进行关于“珠江三角洲长效性污染的测试与评估”报告。

慕尼黑国际博览集团(MMI)是世界十大、德国六大展览公司之一,每年在资本、高科技和高级消费品三大领域中举办40多个国际性展览会,其中高科技类展会涵盖电子、光电、信息技术、分析仪器和产品工程。每年有90多个国家的3万多家企业来到慕尼黑参展,观众遍及全球180多个国家和地区,总人数超过200万。该集团在全球89个国家拥有5家子公司和75个代表处,也在亚洲、南北美洲举办各类专业博览会。

更多信息,欢迎访问: [www.a-c.cn](http://www.a-c.cn)。

(慕尼黑展览(上海)有限公司供稿)