

综述与专论

低碳时代石油化工产业资源与能源走势

华 贲

(华南理工大学天然气利用研究中心强化传热与过程节能教育部重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 碳排放约束使世界一次能源构成发生第三次大转型, 石油和煤炭消耗达到顶峰后逐渐减少, 核能和可再生能源逐渐成为主体; 天然气则是向低碳能源过渡历史时期最重要的化石能源; 科技创新将推动从一次能源到终端利用的模式和技术不断变革, 并导致石油化工产业资源与能源的格局在未来 20 年发生重大变化。交通运输燃料和化学品将从完全依赖石油的局面转向石油、煤(电)、生物质并存的新格局。从而要求处理好有机化工产业宏观规划布局与节能减排和能量系统优化的关系, 提供了能量系统在时间和空间多个维度上优化的机遇和挑战, 并催生了新的内涵和潜力。2012—2030 年期间是大转型的关键过渡时期, 改变传统观念和思维定势, 拓宽时间和空间的视野, 依靠科技创新, 必能推进中国有机化工产业顺利转型、快速发展。

关键词: 低碳时代; 石油化工产业; 资源; 能源; 转型

DOI: 10.3969/j.issn.0438-1157.2013.01.010

中图分类号: TK 01

文献标志码: A

文章编号: 0438-1157 (2013) 01-0076-08

Resources and energy trends of petrochemical industry in low carbon era

HUA Ben

(Research Center of Natural Gas, South China University of Technology, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract: The constraint of carbon emission is promoting the third transition of the world primary energy constitution. Fossil energy would gradually decrease after achieving peak consumption, and nuclear and renewable energy would become the main components. Science and technology innovation will push forward the revolution of terminal utilizing model from primary energy, and result in significant change of petrochemical industry up to 2030. Transportation fuel and chemical raw material will shift from solely oil towards a new, multi-source pattern: oil, coal (electricity) and biomass. This situation calls for dealing with the relationship among macroscopic planning, energy saving and carbon emission reduction, providing great potential, opportunity and challenge for energy system optimization. 2012—2030 is the key transition period. Changing traditional idea and thinking, enlarging time and space sight, and emphasizing science and technology progress will guarantee fast development of China's organic chemical industry in the low carbon era.

Key words: low carbon era; petrochemical industry; resources; energy; transition

引 言

人类历史总是在缓慢发展与剧烈变革两类时期

中交替。在缓慢发展时期人们思维局限于较小的空间和时间范围, 习惯于按历史数据外推预测未来。而在剧烈变革时期则须拓展空间和时间的视野, 并

2012-08-29 收到初稿, 2012-10-13 收到修改稿。

联系人: 华贲 (1937—), 男, 教授。

Received date: 2012-08-29.

Corresponding author: Prof. HUA Ben, cehuaben@scut.edu.cn

cn

依靠对科技发展预测判断未来的趋势。

(1) 环境、资源、气候变化要求拓展时间和空间视野

20 世纪和 21 世纪之交,是社会经济发展与资源、环境之间的关系开始发生重大变革的时代。环境压力催生了全生命周期分析 (life cycle analysis, LCA),对产品生产过程的时间视野拓展到了从原料的来源直到产品废弃后整个生命周期对环境的影响。资源压力催生了全局配置评价 (global scope assessment, GSA),产业链各个环节的资源优化配置空间布局从一省、一国拓展到了全球^[1]。气候变化/碳减排的压力,更把规划的时间与空间的视野扩展到整个地球和未来 50~100 年。

(2) 时、空视野的拓展促使思维和工作模式的转变

最近常用的一个词是“倒逼机制”,即以未来若干年可预估的(环境或低碳)目标和科技进展,推断发展的趋势和进程。另一个决策模式改变是充分考虑新的科技和经济条件对影响的成本替代“现时机会成本”来做决策。

(3) 科技进步具有改变人与自然关系的无限潜力

需求促进人对自然的认识,推动科技不断创新。历史上 3 次能源转型都与科技进步紧密相关:第一次,1850 年前后,蒸汽机/工业革命推动了木柴到煤的转型;第二次,1900—1920 年,汽车、飞机、有机化工推动了煤向石油的转型,1970 年前后,环境压力进一步使工业和民用燃料转向天然气;第三次,目前的碳排放引致温室效应迫使人类向低碳、可再生能源回归^[2]。这次转型不仅是一次能源构成改变,更是从一次能源到终端利用的全过程科技新突破。

1 气候变化、世界走向低碳能源使石

石油化工面临空前变局

1.1 碳排放约束下一次能源构成的转型

可持续发展目标要求控制地表温升不超过 2℃,相应的全球 CO₂ 排放到 21 世纪中叶须降至 1990 年排放量的一半,即约 10 Gt·a⁻¹。实现的途径是:(1) 节制用能,提高能效;(2) 一次能源构成向低碳转型,其包括发展可再生能源和新能源(最终)、煤的洁净、CCS 利用和高效利用碳排放最少的化石能源——天然气。但有 30 亿人口的新

兴国家正在实现工业化将使 2050 年世界能源需求比 2010 年增加 1 倍以上。2011 年世界碳排放已达 31.6 Gt·a⁻¹,超过了哥本哈根会议上 IEA 提出的 2020 年的数值。因此在 2050 年控制碳排放降到 10 Gt·a⁻¹、地表温升不超过 2℃的目标恐难实现。但是人类朝向低碳发展的大方向是坚定不移的。达标年推迟的情况将由科技进步和各国政治博弈所决定。按照目前世界及中国经济发展和低碳努力所预估的 2010、2030 和 2050 年世界和中国的一次能源构成见表 1、表 2 和图 1、图 2。

表 1 2010—2050 年世界一次能源构成预计

Table 1 Prediction of world energy scenario 2010—2050

年份	项目	总能耗	煤	石油	天然气	新能源
2010	能耗/Gtce	16.8	4.98	5.64	4.00	2.19
	占比/%	100	29.6	33.6	23.8	13.0
2030	能耗/Gtce	26.0	6.0	6.8	6.2	7.0
	占比/%	100	23	26	24	27
2050	能耗/Gtce	36	5.4	3.6	9.0	18.0
	占比/%	100	15	10	25	50

注:tce—吨标准煤当量,后同。

表 2 2010—2050 年中国一次能源构成预计

Table 2 Prediction of China energy scenario 2010—2050

年份	项目	总能耗	煤	石油	天然气	新能源
2010	能耗/Gtce	3.41	2.4	0.6	0.137	0.268
	占比/%	100	70.4	17.6	4.0	7.9
2030	能耗/Gtce	5.0	2.1	0.8	0.9	1.2
	占比/%	100	42	16	18	24
2050	能耗/Gtce	7.0	1.25	0.6	1.75	3.4
	占比/%	100	18	9.0	29	48
占世界/%		20	47.6	16	15.5	15.8

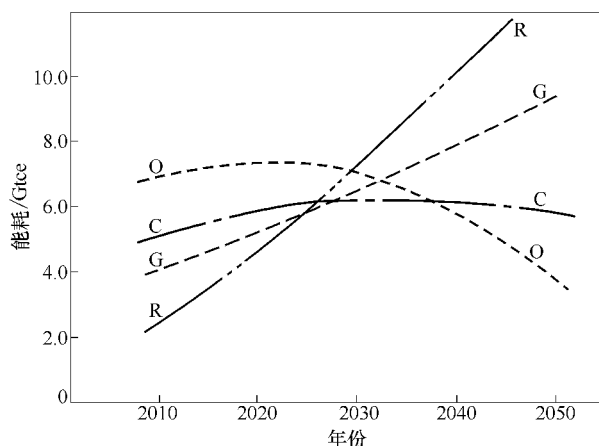


图 1 2010—2050 年世界一次能源构成走势^[2]

Fig 1 Trends of world primary energy profile 2010—2050
O—石油; C—煤; G—天然气; R—核能及可再生能源

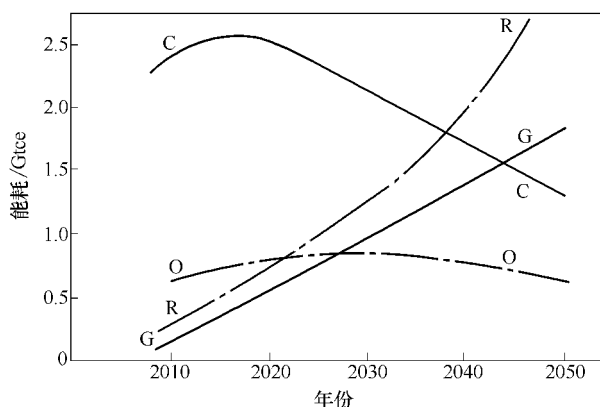
图 2 2010—2050 年中国的一次能源构成走势^[2]

Fig. 2 Trends of China's primary energy profile 2010—2050
O—石油；C—煤；G—天然气；R—核能及可再生能源

上述情景，是基于需求增长估计、能源资源潜力、能源利用和碳减排技术进展、碳排放约束四个方面的关联和分析反复估算而得出的^[2-3]。世界最终会走向可再生能源与核能。但在仍需以化石能源为主的向低碳过渡的历史时期，天然气是最具节能减碳竞争力的一次能源^[4-5]。需要指出的是：最近几年我国对天然气，特别是非常规天然气的勘探开发和政策调整，已经打破了中国能源禀赋是“富煤、缺油、少气”的思维定势。国产加上进口的天然气将能够满足中国低碳、可持续发展的需求^[6-10]。

1.2 中国到 2030 年从一次能源到终端利用分布和技术的大变局

表 3 列出了中美两国工业和建筑物两类终端用能分布的比较^[11]。由表 3 可见，两国在经济发展程度、产业结构、一次能源构成上的差异对能源利用效率的巨大影响。可以预期，到 2030 年，随着中国工业化、城镇化的进展，这些差距将显著缩小（表 4）。这在很大程度上依靠从一次能源到终端利用的新模式和技术路线。图 3 给出了走向低碳时代一次能源到终端利用的模式^[12]，显然与目前的模式大不相同。这并不是随意的设想，而是依据“倒逼机制”和科技进展做出的科学预测。

表 3 中美两国工业和建筑物终端用能分布和效率的比较^[11]

Table 3 Terminal energy use scenario & efficiency comparison between China and U. S.

项目	终端用能占 总能耗/%	在终端用能中所占比例/%		能效/%
		电	燃料(其中油气/其中煤)	
美国	40	36.5	63.5(91/9)	77.5
中国	60	23.5	76.5(28.2/71.8)	52.5

表 4 2030 年中国的能源终端利用状况估计

Table 4 Prediction of China's terminal energy use at 2030

年份	项目	总能耗	工业	建筑物	交通	化工原料
2009	能耗/Gt	3.07	1.72	0.83	0.34	0.18
	占比/%	100	56	27	11	6
2030	能耗/Gt	5.0	2.2	1.3	0.9	0.6
	占比/%	100	44	26	18	12
	增加量/Gt	1.93	0.48	0.47	0.56	0.42
	增加比例/%	63	28	57	260	330
	占总增量/%	100	24.8	24.4	29.0	21.8

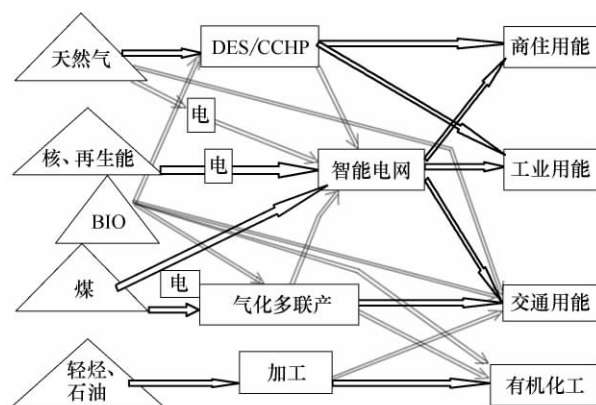
图 3 低碳时代从一次能源到终端利用的新技术路线^[12]

Fig. 3 New energy technological approach from primary to terminal use at low carbon era

1.3 2010—2030 年中国能源终端利用的大致格局

能源终端领域有 4 个主要领域：工业、建筑物、交通运输、有机化工原料。

(1) 工业和建筑物用能占总能耗比率将从 83% 降到 70%；将主要由冷热电联供分布式能源系统+智能电网替代原有的燃煤为主的格局；其核心技术在近 20~40 年是以天然气为主要一次能源的冷热电联供的分布式能源系统 DES/CCHP。到 21 世纪中叶以后，DES 的一次能源逐渐转向核能、地热能和各种可再生能源。图 4 是某典型的区域型 DES/CCHP 流程^[13]。一个 25 平方公里的 DES/CCHP 项目与传统技术的性能比较见表 5^[5]。普遍

表 5 一个 25 平方公里的新工业园区能源利用方案比较^[5]

Table 5 Result comparison of traditional and new energy utilization scheme for a 25 km² industrial campus

项目	能耗/ktce·a ⁻¹	能源效率/%	CO ₂ 排放/kt·a ⁻¹
传统冷热电联供	593	48.8	1567.1
DES/CCHP 联供	362	77.5	660.7
比较	降低 213	提高 28.7	减排 906.4

注：终端需求：电力 1.27 GW·h，工业蒸汽 720 kt，生活热水 22.6 Mt，空调冷能 337.6 GW·h。

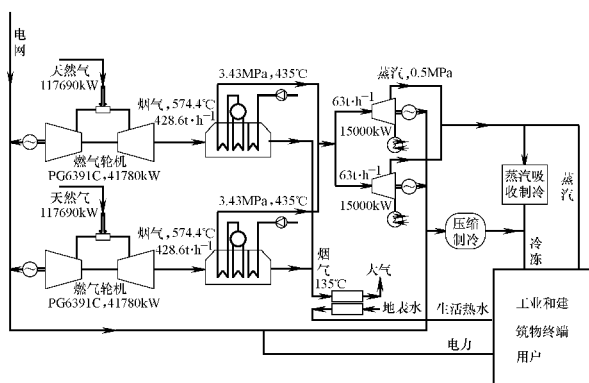
图 4 典型的区域型 DES/CCHP 流程^[13]

Fig 4 Typical regional DES/CCHP flowsheet

推广 DES/CCHP 将使中国的能效显著提高。

(2) 中国交通能耗在总能耗中所占比例将从 11% 提高到 18% 左右, 耗量由 0.34 Gtce 提高到 0.8~0.9 Gtce, 增长 2~3 倍。中国未来交通能源构成的变化趋势见图 5。由图 5 可见, 一次能源分布由目前的 93% 来自石油变为 2030 年的石油占 56%、天然气占 22.5%、电占 12.5%、生物质+煤基燃料占 9%, 初步呈现多元化格局^[14]。

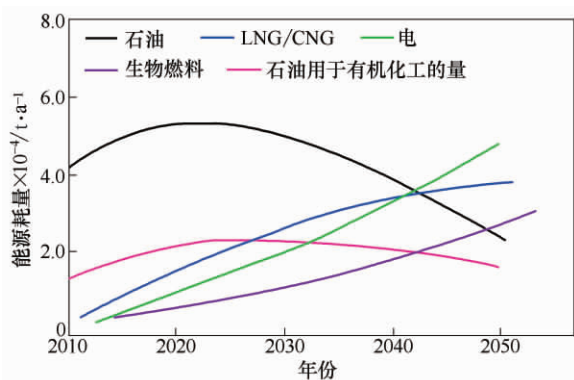


图 5 中国未来交通能源构成的变化趋势

Fig 5 Trends of future transportation energy constitute in China

目前流行的“新能源汽车=插电式或混合动力的小汽车替代汽油”只是交通运输燃料多元化替代的一部分。未来 10 年发展最快的将是 L/CNGV, 特别是 LNG 替代柴油。因为中国柴油/汽油比为 2, 与美国的 1/2 刚好相反。LNG 重型卡车在内蒙古实际运行的数据是 1 m³ 天然气能够替代 0.94 L 柴油。2030 年 NGV 用天然气将达 1400 亿立方米/年, 占天然气消耗总量的 18%~20%。中国将成为 LNGV 的制造基地^[14]。

(3) 有机化工原料将由目前的 0.18 Gtce (占总能耗的 6%, 其中 50% 来自石油、37% 来自煤)

变化到 2030 年的 0.6 Gtce (占总能耗的 12%), 总量增长 3 倍多。大致是石油占 47%, 煤占 33%, 生物质占 25%, 初步呈现“三分天下”的局面。有机化工原料耗能总量增长最快的重要原因是单位产品消耗的煤和生物质原料比石油多得多。图 6 给出了未来有机化工原料及产品多元化变局的概况。

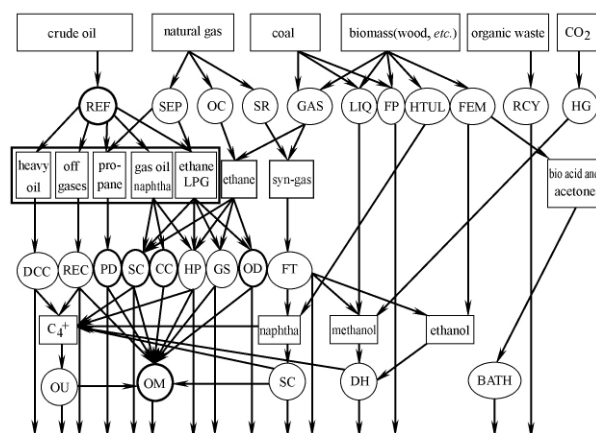


图 6 未来油、煤、生物质生产燃料、化学品 (OCB/FC) 的格局 (引自何鸣元院士 2011-10-18 在西安的讲话)

Fig 6 Future pattern from oil, coal biomass produce fuel and chemicals

REF—精炼; SEP—分离; OC—氧化偶联; SR—蒸汽重整; GAS—气化; LIQ—液化; FP—快速热解; HTUL—临氢热解; FEM—发酵; RCY—回用; HG—加氢; DCC—深度裂化; REC—回收气; PD—丙烷脱氢; SC—蒸汽裂解; CC—催化裂化; HP—临氢热解; GS—震荡波反应器; OD—氧化脱氢; FT—费托合成; OU—烯烃转化; OM—烯烃歧化; DH—醇脱水; BATH—生物质酸酐制烃

2 有机化工走向油煤生物质联产燃料

与化学品的挑战和机遇

2.1 石油、煤、生物质生产燃料和化学品 3 种原料路线的博弈

经济发展、交通运输总量增加对燃料和化学品的需求快速增长, 刺激中国石油化工产业继续扩张。“十二五”原油加工能力将达 600 Mt·a⁻¹。与此同时, 在国际石油价格攀升, 中国石油对外依存度已达 56.5% 的形势下, 现代煤 (制油) 化工迅猛发展。据《中国能源报》2012-03-19 的报道, 煤制天然气已立项总产能达 1600 亿立方米/年, 若其全部投产将耗煤 750 Mt·a⁻¹; 规划和在建的直接和间接煤制油项目产能已达 50 Mt·a⁻¹, 煤制烯烃产能 20 Mt·a⁻¹; 煤制甲醇、二甲醚、乙二醇产能为 13 Mt·a⁻¹。2 月 5 日工信部发布石化产

业“十二五”规划,将在蒙、陕、新、宁、贵等地建成若干大型“煤化工—煤电化热一体化产业集群基地”;煤制丙烯将占总产量的 20%。

OECD 国家生物质能发展很快。据称 2030 年将有 35% 的化学品来自工业生物技术,其中用于工业占 39%、农业占 36%、医药占 25%。我国生物质乙醇,以厨余和植物油为原料的生物柴油,规模化沼气的产能快速增长;但以酶催化、发酵、精炼、代谢工程和合成生物学等新技术生产的生物化学品在中国还很少,在燃料和化学品中的比率还很低。

迄今中国的石油化工基本处于三大公司垄断之下。新兴的煤化工领域则是神华、大唐等煤、电国企先行,石化企业后来介入。而生物质燃料、化工领域则是群雄初起的局面。三者之间的博弈,在相当长的历史时期内都将是随着油、煤等原料价格波动和科技新突破的出现而发生戏剧性的消长变化。

2.2 节能减碳的挑战和能量系统优化的机遇

值得注意的是,对于 3 种原料路线来说,生产同样的燃料或化学品目的产物所消耗的能源和资源以及排放的 CO_2 相差悬殊。1 t 石油可以加工获得 0.6 t 的成品油、0.2 t 左右的合成化学品原料(烯烃和芳烃),以及其他副产品;能源消耗只有 0.1 t 油当量(toe),或能源转化效率可达 90%。但要获得 0.6 t 的成品油和 0.2 t 左右的烯烃,却需要消耗 $3.3+1.4=4.7$ t 的煤;能源转化效率只有 25% (煤制油)到 42% (煤制甲醇)。煤化工的耗水量也远高于石油化工。直接排放的 CO_2 也比石油为原料高 2.4 倍。加上全产业链的碳排放则更多;面临着巨大的 CCS 压力^[15]。

化工原料的多元化是向低碳转型和资源、环境可持续发展的需要。因此不能只考虑具体项目所在地特定经济条件下的现实机会成本;而必须按照 LCA 方法计算包括 CCS 费用或碳税在内的全成本。这会影响 3 种原料路线经济性博弈的结果。文献[15]列出了不同研究者的详细计算数据。

从地缘条件看,3 种原料路线的有机化工产业目前在中国大陆的空间布局各有特色。因为进口石油占比持续增加,新建千万吨级炼化项目大部分都在沿海。“十二五”规划的“煤化工—煤电化热一体化产业集群基地”选址在蒙、陕、新、宁、贵等煤炭产地,但是这些地方的水资源稀少,是产业发展的主要制约。生物质燃料化工自然应靠近生物质

生长地以减少运输成本。但这并不决定三者必须各自独立设厂相互截然分开。因为国内石油资源大量也在西部产煤省(区);沿海也有大量耗煤的工业项目。从能量系统优化的角度,上述经济上相互博弈竞争的 3 种原料路线的有机化工产业之间存在着通过集成互补提高能效和减排 CO_2 的巨大潜力。

2.3 规划建设“石油煤生物质/燃料和化学品”循环经济低碳园区的机遇

2009 年中国化工炼油产业占全国总产值的 12%,但能耗占总能耗的 15.2%。如果煤化工大举扩张,耗能占总能耗的比例更大。突破传统思维,拓展时、空视野,以能量系统优化为核心的“能源循环经济”为目标,构建“石油煤生物质/燃料和化学品”(OCB/FC)循环经济低碳园区,有可能通过资源和能源的集成优化利用,走出低碳时代有机化工产业可持续发展的一条新路。

一种思路是基于近年来煤粉炉或 CFB 炉逐渐成为炼化企业蒸汽动力系统主要一次能源,和制氢装置采用炼油副产轻烃或天然气为原料的现状,把以 IGCC 理念为基础的煤气化多联产 CGMC 作为炼化企业“蒸汽动力/制氢公用工程系统”的龙头。首先在能量转换环节深度联合。这是炼化企业降低氢气成本,把省出来的轻烃资源进一步优化利用,减少碳排放的重要途径。进一步适当扩大 CGMC 的能力,用多余的合成气制烯烃,充分利用原有的烯烃后加工设施,还能够取得更好的经济效益和更高的能效。

在具备资源条件的地区,更可以规划新的 OCB/FC 循环经济低碳园区。以统筹布局、能源梯级利用为切入点,按照市场对燃料 F 和化学品 C 需求的比率,从石油 O 和煤 C 两种原料(有条件时也考虑生物质 B)出发,规划大型有机化工联合企业。低碳能源循环经济内容包括:(1)富氧煤气化、天然气 CCHP 辅助低碳公用工程(能量转换子系统),向炼化及下游深加工装置提供电、汽、氧、氮、氩、仪表风等公用工程。集约化建设、运营;节省投资,降低成本,提高能效。(2)煤气化生成的高浓或纯 CO_2 回注附近可用地层或油气田,提高采收率 5~6 个百分点,神华煤制油 CO_2 已封存 16 kt。中石油大港从注水巷回注的 CCS 试点也已启动。 CO_2 供应附近农业大棚、藻类培植或能源植物。(3)能量利用和回收子系统:高温煤气化,200~900℃的炼油/化工,100℃左右的轻烃加

工，到近常温的种植业、建筑物用能；中间能流和产品余热，通过热联合或以热媒水为介质的低温热利用大系统，实现热量的科学、梯级、循环利用，系统集成优化匹配；使整个园区能源利用效率达到最高水平。(4) 随着交通运输能源多元化的进展，联合企业加工产品的 F/C 比率与现在的炼油/石油化工企业将越来越不同。(5) 各种固、液、气态副产品内外循环、深加工、优化利用的物流循环经济。(6) 所有装置的各种废弃物统一处理，无排放。(7) 包括水资源节约和循环经济，实现零排放。

3 新格局面临能源与环境的挑战和机遇

3.1 进一步深入节能减排任重道远

有机化工生产的合成材料对资源和环境的耗费远低于金属材料。未来 20 年中国有机化工还将有快速的发展。工信部公布的石油和化学工业“十二五”规划中 2015 年的乙烯需求为 $38 \text{ Mt} \cdot \text{a}^{-1}$ ，比 2010 年消费 $29.6 \text{ Mt} \cdot \text{a}^{-1}$ 增长近 3 成；由于煤和生物质燃料/化工单位产品的原料消耗远高于石油，使化工原料在总能耗中占比率成倍提高，产生的 CO_2 的 CCS 压力加大。化工节能减排任重道远。

3.2 节能减排和宏观规划、能量系统优化的关系

通常理解的节能减排的手段有 3 类。(1) 工艺节能：新原料、工艺、催化剂、流程；(2) 设备节能：单元过程设备创新、强化、优化设计运行；(3) 管理节能：通过管理机制约束在全供应链中管理人的行为，调动其节能的积极性。其实，还有下列两类更重要、潜力更大的节能减排手段。

3.2.1 宏观节能 产业结构和布局的宏观规划优化，包括目的产品总需求规模；全球化时代自产和进口比率；产业路线等。以乙烯、甲醇、化肥等产品为例，多年来，业界一直使用“缺口”和“市场占有率”两个词。潜台词是全部“自给”和全面“占领市场”。其思维定势是“自给自足”的封闭经济理念，和完全没有经济/资源和能源/生态与环境可持续发展观念的极端市场经济理念。在全球化和走向低碳的时代，产业链在全球的优化布局方案是**以其经济/资源和能源/环境与碳排放成本（简称 SDC）最低、资源配置效率最高为判据的。由于石油和天然气国际贸易价格与开发成本远远脱离，上述 3 种产品在油气资源丰富国家生产的 SDC 是很

低的，而在石油和煤都要按国际贸易价格进口的中国生产的 SDC 则成倍提高并远超过中国人工费低廉的因素。所以，做好这 3 种商品或基本原料需求/生产/进口之间关系的规划，不仅牵涉巨大的经济效益，而且对节能减排有很大的影响。

3.2.2 系统节能 主要指在企业控制、运行、设计三层面上的系统优化，简称“能量系统优化”。其科学内涵可简单概括为下列“三字诀”：(1) 真正理解科学用能的本质和原理并用之于能量系统规划——用；(2) 应用大系统观念、系统工程方法和技术建模求解——大；(3) 用技术经济优化的方法决策优化目标——钱。

关键在于落实到每个具体问题的认识和处理。例如科学用能原理的精辟和通俗阐述是“高热高用，低热低用，温度对口，梯级利用”。但怎样才算“温度对口”？却很少有明确的准则。实际上，由于能源价格/设备价格之比随经济发展而不断上升，它所决定的“温度对口”判据——最优传热温差是不断改变的。按照焓经济学原理导出的最优传热温差计算公式见式(1)；换热器最优传热温差 (ΔT_{opt}) 随技术经济条件而变化的实例见表 6^[16]。

$$\Delta T' = \left\{ \frac{C_{\text{HX}} m \beta \gamma P^{\beta}}{8400 n C_{\text{EX}} Q T_0} \left[\frac{Q}{m U} (T_c + \Delta T)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{\beta+1}} \quad (1)$$

表 6 原油换热器最优传热温差 ΔT_{opt} 变化数据

Table 6 Variation trends of optimal heat exchanger temperature difference ΔT_{opt} for crude oil unit

时间	原油价格/ \$ · 桶 ⁻¹	最优 $\Delta T_{\text{opt}}/ ^\circ\text{C}$
20 世纪 70 年代前	2	80—100
20 世纪 80 年代后	10—30	30
21 世纪初	50—100	10—15
21 世纪中叶	>100	<10

3.3 有机化工企业能量系统的多维优化——更广阔的空间和时间的视野

走向低碳时代有机化工产业多元化的原料和产品格局以及物料和能源循环经济协同发展的大趋势，拓宽了几十年来传统思维把节能和能量系统优化局限在一个装置、最多是在一个工厂企业、降低一次能源消耗目标之内的视野，而把空间的维度大大拓展：(1) 从一个个装置到 OCB/FC 企业全局系统；(2) 从单纯考虑能量利用到资源与能源综合、循环利用的协同优化；(3) 从有机化工企业自身到周边企业和包括居住、商业的整个循环经济园区的大系统优化。时间的维度的拓展：(1) 从给定

工况下的“节能改造”到不断变化条件下的操作、运行和控制的不断的、实时的优化；(2) 规划的时间范围从本企业的现状延伸到今后若干年间、伴随着向低碳转型的进程，企业原料、产品、规模、类型可能的发展、变化，以及 OCB/FC 的融合。在这两个维度上，都必须充分考虑、跟踪、采用全球范围内最新的科技成果，并尽快实现它们的产业化应用。因此，节能减排的空间和潜力是无限的^[17]。

3.4 OCB/FC 能量系统优化的巨大潜力和丰富内涵

有机化工产业，特别是炼油工业，是所有过程工业中能流温位分布最广、热交换条件最好、流程最长、自动化程度最高，因而可以最大限度实现能量系统优化的产业。近年来我国炼油企业以装置间热出料和热联合为切入点，通过热媒体的大系统低温热优化利用，储运系统优化，蒸汽动力系统优化，设备强化——藉提高传热系数 K 而非单纯增加传热面积 A 以降低传热温差 ΔT ，使其趋向最优，来实现能量的梯级利用；并充分考虑可靠性、可操作性、紧急事故处理预案等工程实际因素，结合新装置建设和总流程优化，开展全局规模的能量系统优化改造和运行、控制。这使我国炼油能耗正在逐步接近国际先进水平。从理论和实践相结合的高度，总结这些经验，完全可以因地制宜地应用于煤和生物质为原料的燃料/化工企业和综合集成的 OCB/FC 联合企业，实现经济性最好、能源利用效率最高、二氧化碳排放最低的目标^[10]。

4 2012—2030 年是大转型的关键时期

4.1 改变传统观念、思维定势，认清低碳转型趋势

改变传统观念、思维定势，认清能源转型、变革的大趋势极为重要。长期以来认为中国“富煤、缺油、少气”的思维定势，习惯了一百年的“石油化工”、“石油交通”思维定势，都应当尽快转变。中国交通运输能源、化工原料转向多元化的历史趋势不可逆转；中国丰富的非常规天然气是近 20 年向低碳能源过渡转型的极重要和宝贵的财富。把科技放在第一位，利用全球化机遇，发挥中国人民的创新潜力，做好战略研究、顶层设计，就一定能够稳步走上低碳、可持续发展的大道。

4.2 “十二五”到 2030 年是向低碳能源转型的关键起步和过渡期

如上所述，在这段历史时期，中国将经历一次

能源构成比率的大转折：煤 70%~40%、天然气 4%~18%、新能源和可再生能源 8%~26%。同时也经历能源终端利用分布的大转折：工业 56%~42%、交通 11%~18%、化工 6%~12%。到 2030 年，中国将达到 OECD 国家历史上一次能源—终端领域模式转折中期的水平。除了上述有机化工原料和交通运输一次能源多元化转型之外，天然气替代煤用作工业和建筑物燃料，同时拉动整个能源利用效率大幅度提高是低碳转型的关键。这不仅要求紧跟科技进步潮流，而且需要体制、机制创新——生产关系适应生产力、上层建筑适应基础的发展。

4.3 现在就开始组织研究开发的重大课题

大变革、大转型带来一系列新的、需要认真研究和对待的重大课题。下面是若干举例，如应对石油资源重质化开发各种新的、低能耗加工工艺；加速开发轻烃深加工低能耗、新产品、新工艺；采用新原料、生产新产品的各类有机化工装置的低能耗工艺、流程，节能新技术的研究开发；在不同地域、具有不同特点的现有企业向低碳时代交通燃料/有机化工企业转型途径的战略研究；不同地域、不同时期中国炼油/有机化工企业典型一次能源技术路线的战略研究；燃气轮机在石油、化工企业推广应用的研究开发；化工企业能量系统优化通用技术的研究开发和推广应用及在以煤、生物质为主要原料的燃料/有机化工企业的移植、开发和推广；煤气化多联产用于石油、化工企业氢气、蒸汽、动力系统集成优化的技术攻关和推广应用；在交通燃料和有机化工领域石油资源的份额降低到占一半左右时的优化利用路线的研究开发；能量和物料集成优化互补，采用油、煤、生物质多种原料，同时生产交通燃料和化学品的综合型企业（OTB/FC）模式的开发和构建；综合性炼油/有机化工企业为龙头（之一）的资源节约、环境友好型循环经济区低碳发展模式研究与构建等。

References

- [1] 华贵. 经济与资源、环境协调的全方位评价法 [J]. 华北电力大学学报, 2004, 31 (6): 1-4
- [2] 华贵. 低碳时代的世界和中国能源结构 [J]. 世界石油工业, 2010, 17 (2): 16-21
- [3] Robert A Hefner. 能源的气体时代 [J]. 能源思考, 2010, 1 (2): 37-45
- [4] 陈俊武, 陈香生. 中国中长期碳减排战略目标初探 (IV): 天然气能源在中国的应用前景和碳减排分析 [J]. 中外能

- 源, 2011, 16 (6): 1-11
- [5] 华贲. 天然气在向低碳能源转型中的关键作用 [J]. 天然气工业, 2011, 31 (12): 1-5
- [6] 徐博. 2020年前中国多气源供应格局展望 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (8): 1-5
- [7] 康建国. 全球天然气市场变化与中国天然气发展策略思考 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (2): 5-10
- [8] 邱中建, 邓松涛. 中国非常规天然气的战略地位 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (1): 1-5
- [9] 张大伟. 《页岩气发展规划 (2011—2015年)》解读 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (4): 6-8
- [10] 李玉喜, 张大伟, 张金川. 页岩气新矿种的确立依据及其意义 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (7): 93-98
- [11] 华贲. “十二五”节能减碳任务如何完成? [J]. 沈阳工程学院学报, 2012 (2): 97-100, 121
- [12] 华贲, 王小伍. 低碳时代中国有机化工走势探讨 [J]. 化工学报, 2010, 61 (9): 1-6
- [13] 华贲. 区域冷热电联供能源利用效率计算方法及影响因素分析 [J]. 中外能源, 2012, 17 (3): 18-23
- [14] 华贲, 李亚军. 从战略高度认识和推进天然气替代交通运输燃料 [J]. 天然气工业, 2012, 32 (4): 83-88, 127
- [15] 陈俊武, 陈香生. 中国中长期碳减排战略目标初探 (VI): 碳捕集与封存排放目标讨论 [J]. 中外能源, 2011, 16 (9): 1-11
- [16] 华贲, 仵浩, 刘二恒. 基于焓经济评价的换热器最优传热温差 [J]. 化工进展, 2009, 7 (28): 1142-1146
- [17] 华贲. 中国炼油企业节能降耗——从装置到全局能量系统优化 [J]. 石油学报: 石油加工, 2009, 23 (4): 463-471