

中国石化工程科技 2035 发展战略研究

曹湘洪¹, 袁晴棠¹, 刘佩成²

(1. 中国工程院, 北京 100088; 2. 中国石油化工集团公司, 北京 100728)

摘要: 本文在把握国内外石化工业和工程科技发展趋势、研判我国 2035 年经济社会发展前景、预测我国重大战略需求的基础上, 提出了 2025 年和 2035 年我国石化工程科技发展的战略思路、战略目标、重点任务和措施建议。

关键词: 石化工业; 工程科技; 战略研究

中图分类号: TE6 **文献标识码:** A

Development Strategy for China's Petrochemical Engineering Science and Technology to 2035

Cao Xianghong¹, Yuan Qingtang¹, Liu Peicheng²

(1. Chinese Academy of Engineering, Beijing 100088, China; 2. China Petrochemical Corporation, Beijing 100728, China)

Abstract: Based on assessments of domestic and international trends in the petrochemical industry and in engineering science and technology development, analyses of China's economic and social development prospects to 2035, and predictions of China's major strategic demands, this article proposes a development strategy, strategic objectives, major tasks, and measures and suggestions for China's petrochemical engineering science and technology development to 2025 and to 2035.

Keywords: petrochemical industry; engineering science and technology; strategic research

一、前言

经过 60 多年的改革和发展, 我国石化工业已建成了完整的工业体系, 生产的石化产品基本能满足国内需求, 并有力支持了相关产业的发展, 产业规模已跻身世界石化大国行列, 具有较强的竞争实力。未来 20 年, 随着新一轮科技革命和产业变革的深入发展, 我国经济结构调整和产业转型升级的不断推进, 将对石化工程科技发展提出新的重大战略需求。

中国工程院“石化工程科技 2035 发展战略研究”课题以“创新驱动、两化融合、重点突破、绿色发展”

为指导方针, 通过对国内外石化工业和石化工程科技发展趋势的梳理, 分析了未来 20 年我国经济社会发展对石化工程科技发展的重大战略需求, 提出了 2025 年和 2035 年我国石化工程科技发展的目标任务。

二、面向 2035 年的世界石化工程科技发展趋势前瞻

(一) 高效炼油石化技术

(1) 重质、劣质原油生产更加清洁化的液体燃料技术不断进步。到 2035 年, 全球电动汽车、燃

收稿日期: 2016-12-12; 修回日期: 2016-12-20

通讯作者: 曹湘洪, 中国工程院, 院士, 中国石化集团公司科技委, 委员, 主要从事炼油和石油化工技术管理; E-mail: pchliu@sinopec.com

资助项目: 中国工程院咨询项目“中国工程科技 2035 发展战略研究”(2015-ZD-14)

本刊网址: www.enginsci.cn

料电池汽车等新能源汽车将会快速增长，但液体燃料仍将是交通运输的主要燃料，品质上会要求更加清洁化。而生产液体燃料的原油总体呈现重质化和劣质化，这将推动劣质、重质原油高效转化技术不断进步，浆态床渣油加氢裂化技术开发和应用将日益广泛。

(2) 有竞争力的油化结合技术更受重视。以降低生产成本、降低能耗、提高经济效益为目标，低碳烷烃脱氢、石脑油或重油催化裂解生产 C3、C4 烯烃等高价值烯烃生产技术，石脑油催化重整、芳烃转化与分离的高效催化剂及工艺等芳烃技术，合理利用炼化装置副产物生产有机化工原料技术等研发活跃。

(3) 基于分子水平的炼油技术平台不断完善。对原油的认知将从混合物水平提升到分子水平，并从分子水平认识炼油反应过程，开发更高效的催化剂和更先进的生产工艺，实现对石油烃类分子的定向转化，充分利用石油烃类中碳、氢原子；开发、实施高选择性精细炼制技术，实现对石油资源的最有效利用，并推动石油炼制技术向本质绿色低碳方向发展。

(二) 绿色低碳生产技术和装备

(1) 采用本质绿色低碳的工艺和装备，实现炼化技术从末端治理向源头消减、过程控制和末端治理全过程控制的转变。包括炼化反应过程和产品分离提纯过程的低能耗、高选择性、清洁化技术，工厂用能优化技术；“三废”资源化利用及高效无害化处理技术；建立创新性的循环经济模式，形成产业间及与社会的生态链接；CO₂ 捕集、利用技术等。

(2) 开发新型高效催化材料，促进炼油和化工反应过程的本质节能、环保。根据量子力学的基本原理，从原子尺度出发，直接面向最终的应用需求，通过高通量的计算模拟，结合可靠的实验和计算数据，显著提高先进催化材料的研发和应用速度，预计将会引发催化材料的重大变革，促进炼油和化工反应过程的本质节能、环保。

(3) 创新技术不断开发应用，化工过程技术及工艺流程将更加绿色。重点是提升催化剂的选择性和活性、优化原料配给、创新反应设备、开发反应、反应产物分离和精制耦合新技术，减少副反应发生，

简化产品分离过程和精制流程，针对不同石化产品的绿色一体化生产技术不断得到应用。

(三) 原料多元化技术

(1) 以木质纤维素和藻类为原料的生物燃料技术走向成熟。非石油原料生产液体燃料的技术中，可再生的生物燃料最具发展前景，以可利用的动植物油脂为原料通过醇解或加氢等方法制备生物燃料的技术将继续进步，以木质纤维素、藻类等生物质为原料生产生物燃料技术的水平明显提升并逐步成熟。生物燃料技术将成为减少温室气体排放的实用技术。

(2) 有机化工产品原料多元化技术不断涌现。未来有机化工产品生产原料将呈现石油、煤炭、天然气和生物质多元化格局，并根据原料特性开发最有效利用资源并尽可能减小负面环境影响的加工技术，逐步形成以石油为主，天然气、煤炭、生物质、废旧高分子材料为原料的系列有机化工产品生产技术。

(3) 可生物降解的绿色环保润滑剂。通过作物基因改性，使植物油性能不断改善，产量逐步增加，成本持续降低。通过化学改性利用植物油生产可生物降解润滑油，具有广阔的市场前景，在某些领域可取代矿物基润滑油。

(四) 高端石化产品技术

高端石化产品技术的重点是高档润滑油及润滑脂、高级溶剂油、功能性石蜡生产技术。高端石化产品将根据新型电子电器、交通运输、医疗、食品包装、农业、航天等行业的需求，开发并生产实用的功能化产品，通过研究功能与分子结构的关系进行分子设计，实现单体生产、催化剂、反应工程与工艺、加工应用技术的综合集成。

(五) 智能化生产技术

物联网、大数据、云计算、智能机器人、在线监测分析仪器、过程模拟及在线优化技术广泛应用于石化生产过程，石化生产逐渐进入智能化发展新阶段，逐步实现物质流、能量流、信息流、资金流的集成优化，支持资源、资金的高效利用，过程的低排放、低污染，提高企业的管理水平、市场应变能力和竞争能力。基于供、产、销的决策平台将发挥重要作用，可及时分析市场需求和效益，使大宗

产品生产按照运输距离、产能匹配、原料供给等数据,迅速获得最优的生产方案,并通过该决策平台,实现原料供应、产品生产和销售的低库存[1]。

(六) 本质安全生产技术

基于风险管理、设备可靠性在线检测技术、过程危险因素高灵敏检测、自动报警、智能紧急停车以及自动化修补等技术得到快速发展,进一步为石化生产的本质安全提供保证。

三、我国经济社会发展对石化工程科技的需求分析

(一) 我国石化工业发展趋势分析

1. 我国能源消费结构将发生根本性变化

未来20年我国将处于油气替代煤炭、非化石能源替代化石能源的双重替代期和能源结构优化的攻坚期。我国能源结构将发生根本性改变,化石能源比重将下降,清洁能源比重大幅上升。煤炭的比重将由2015年的65.1%下降至2035年的45.7%,石油的比重将由17.3%下降至16.3%,天然气的比重将由6.0%上升到14.5%,非化石能源的比重将由11.7%上升到23.5%,见图1[2]。

2. 化工原料多元化趋势仍将继续

(1) 石脑油乙烯仍占主要份额,但比重下降。预计到2035年我国乙烯原料将呈现以石脑油为主体,甲醇、乙烷、甲烷、乙醇等多种原料并存的格局。世界页岩气中乙烷产量的持续提高,会使我国

有更多机会从国际市场进口乙烷用于生产乙烯。随着我国纤维素乙醇产量的增长,用乙醇生产乙烯也会得到发展。已经开始中试验证的甲烷高效生产乙烯技术,经过技术可靠性和经济性的工业化验证,将对传统乙烯工业带来革命性影响。乙烷化学环脱氢制乙烯技术一旦取得突破,以乙烷为原料生产乙烯的经济性将进一步提升。

(2) 未来非传统石油路线丙烯产能占据半壁江山。预计到2035年我国丙烯生产能力中非传统石油路线的丙烯产能将保持增长态势,占总产能的比重将会增加至47%左右;传统石油路线生产的丙烯产能占总产能的比重将会持续下降至53%左右。未来,丙烷脱氢制丙烯的发展将受到丙烷原料的制约,煤(甲醇)制烯烃的发展将继续受到减排二氧化碳和石油、天然气价格的制约。

3. 成品油及石化产品需求将明显放缓

(1) 成品油需求。未来20年,随着我国经济发展进入新常态、产业结构转型升级和资源环境的制约,我国成品油需求增速将放缓。同时,由于替代燃料迅速发展,预计我国成品油消费将进入中低速增长阶段,2025年左右会进入平台期,见图2。

(2) 主要石化产品需求。未来20年,随着城镇化进程的加快和全面建成小康社会的实现,我国石化产品需求增长还有一定空间,但消费增速将明显趋缓,见图3。

4. 产能过剩态势仍将比较严重

(1) 炼油能力日渐过剩。“十三五”期间,我国炼油能力将继续增长。按我国石油和化学工业

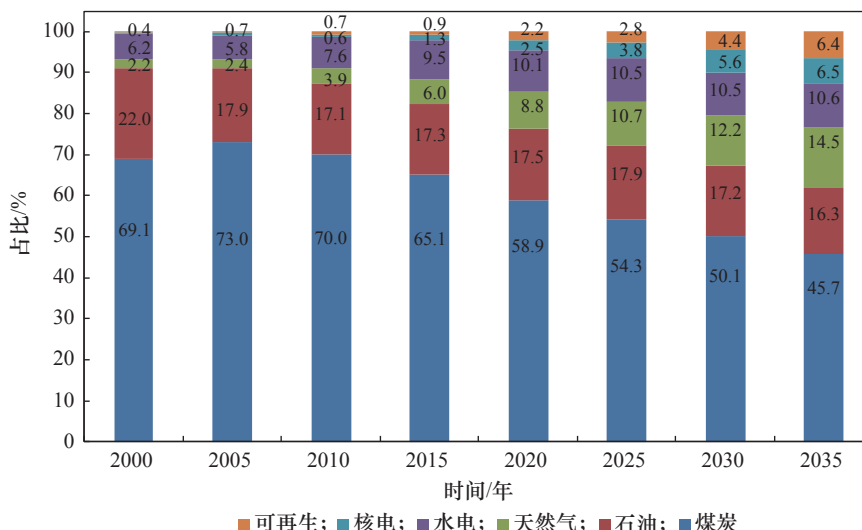


图1 我国一次能源消费结构预测

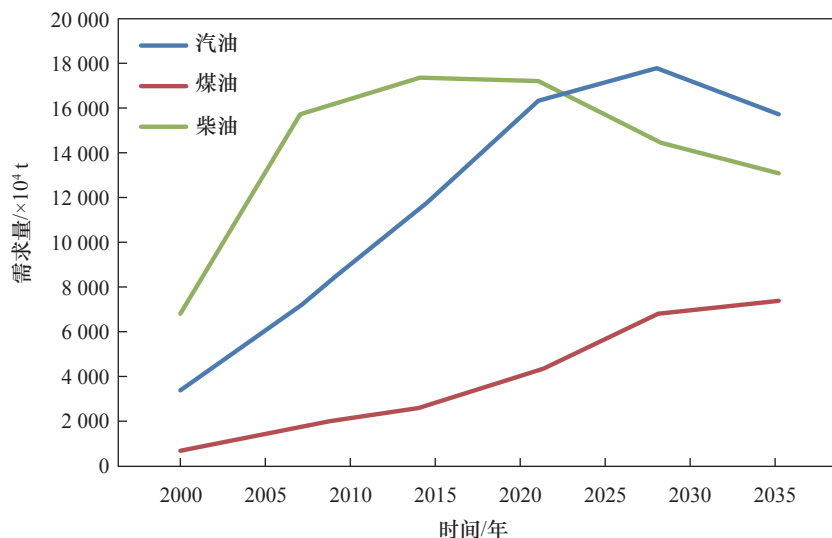


图2 我国成品油需求预测

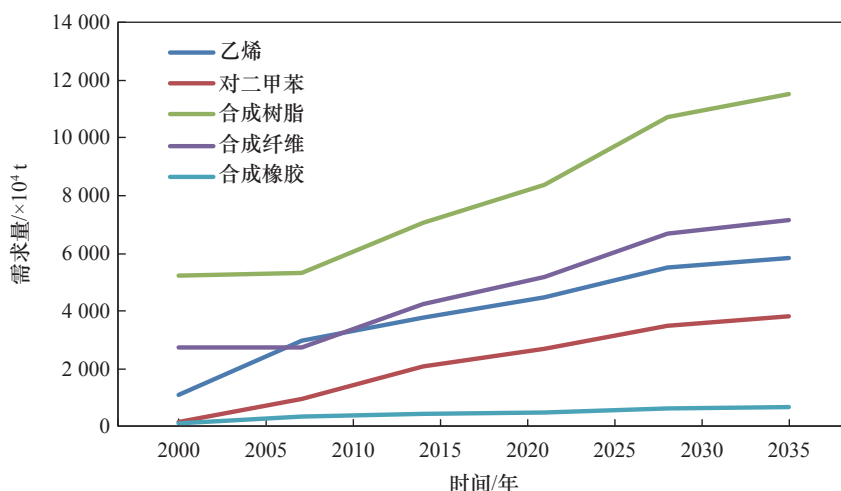


图3 我国主要石化产品需求预测

联合会的统计，2020年我国炼油能力可能会达到 $9.6 \times 10^8 t/a$ ，而我国石油产品消费增速将继续趋缓，炼油能力过剩状况将进一步加剧，炼油能力利用率将比2015年下降5个百分点，下降至64%左右。

(2) 大部分石化产品产能过剩。未来，随着在建石化项目陆续投产，而下游消费因国内经济减速和出口竞争力下降，仍无法有效消化国内的过剩产能。2018年前后，随着美国超过 $1 \times 10^7 t$ 乙烯产能投产，部分低成本乙烯、丙烯衍生物将流入亚洲市场，对国内市场将进一步造成过剩压力。

5. 石化产品质量将持续升级

为减轻汽车尾气污染，我国将加快成品油质量的升级步伐，计划2019年在全国实施国VI汽柴油

质量标准，北京将于2017年开始实施国VI汽柴油质量标准。同时，随着工业化、城镇化进程的不断加快，我国对石化产品品质的要求将逐步升高，功能化、节能环保型新材料和新型精细化工产品成为石化产品发展的热点和新的增长点。

6. 交通运输替代能源继续保持较快发展势头

预计到2035年，生物燃料、天然气和电动汽车将替代汽柴油消费约 $6.3 \times 10^7 t$ ，如果进一步考虑煤制油可能带来的 $1 \times 10^7 t$ 替代量，届时汽柴油替代量可达 $7.3 \times 10^7 t$ 。

7. 环保法规越来越严格

为了保护环境、减少雾霾影响，国家相继出台了新的《中华人民共和国环境保护法》，其中包含“大气十条”“水十条”“土十条”等强制性政策。这将

进一步要求石化企业减少 SO_2 、 NO_x 、粉尘、化学需氧量(COD)、废渣、挥发性有机化合物(VOC)和 CO_2 的排放,越来越严格的环保法规将给石化企业发展带来巨大压力。

(二) 对石化工程科技发展的重大战略需求分析

(1) 为满足我国液体燃料的需求,需要开发重质、劣质油高效转化技术和炼油原料多元化技术。

(2) 为满足我国有机化工原料的需求、提高我国石化产业竞争力,需要开发化工原料多元化技术。

(3) 为适应我国未来的市场趋势,需要开发高端石化产品技术。

(4) 为满足我国石化工业绿色低碳发展要求,需要开发节能环保等绿色技术 [3]。

(5) 为满足石化智能工厂建设要求,需要开发“两化”(信息化和工业化)深度融合技术 [1]。

四、我国石化工程科技的发展战略思路与目标

(一) 发展思路

以“创新驱动、两化融合、重点突破、绿色低碳”为指导方针,加强石化工程科技的创新发展,集中力量在关键领域实现重点突破和跨越式发展,大力推进清洁生产,努力建设资源节约和环境友好型的石化产业,努力促进信息化与石化产业的深度融合,实现我国石化产业的绿色低碳发展,进一步增强石化产业的整体竞争力,推动我国发展成为石化强国。

(二) 战略目标

1. 2025年目标

建成世界一流、具有中国特色的石化工程科技创新体系,突破一批具有国际领先水平的石化工程核心技术和专项技术,石化技术总体达到世界先进水平。智能工厂试点完成,具备全面推广条件。

2. 2035年目标

全面建成以创新引领、智能高效、绿色低碳为核心的石化工程科技创新体系,支撑我国石化产业强国建设。自主创新能力大幅度提升,炼化成套技术、劣质渣油高效转化、绿色低碳等核心关键技术

达到世界领先水平,科技支撑和创新引领作用得到充分发挥。

五、我国石化工程科技 2035 年重点任务

(一) 需突破的关键核心技术

(1) 劣质原油和渣油、重油加工技术,包括原油调和技术和劣质原油加工技术、渣油加氢高效转化技术、化石能源制氢新技术等。

(2) 清洁油品生产技术,包括焦化及催化柴油高效改质技术、大幅度增产航煤技术、优质汽柴油调和组分生产技术等。

(3) 油化结合技术,包括生产化工原料的炼油技术、拓展原料来源的芳烃成套技术、炼油厂干气和液化气高值化利用技术等。

(4) 高性能润滑油/脂、功能性石蜡等高附加值石油产品生产,包括高档润滑油基础油生产技术、润滑油/脂产品配方和添加剂新技术、特种油脂生产技术等其他新产品生产技术。

(5) 低碳烯烃生产技术,包括吸附分离与深冷分离耦合技术、甲烷直接制乙烯技术、乙烷氧化脱氢制乙烯技术等。

(6) 增产芳烃技术,包括催化重整多产芳烃技术、轻烃高选择性制芳烃技术、苯/甲苯和甲醇选择性甲基化制二甲苯技术等。

(7) 聚烯烃可控聚合及先进加工技术,包括单活性中心催化剂生产关键技术、结构可精确控制的烯烃共聚合和接枝聚合技术、合成树脂取向加工技术等。

(8) 生物基工程塑料生产技术,包括具有生物基特征的聚酰胺 10T、聚酰胺 9T 等高性能生物基工程塑料生产技术。

(9) 绿色轮胎用橡胶生产技术,包括溶聚丁苯橡胶、高顺式聚丁二烯橡胶等高性能橡胶生产技术,废旧轮胎制备精细胶粉的回收利用技术等。

(10) 纤维高性能化及功能化技术,包括高强高模碳纤维、低成本碳纤维、抗菌纤维、抗静电纤维、光致变色纤维等技术。

(11) 高性能与功能高分子材料,包括抗菌材料、高隔水和阻燃无毒新型外墙保温材料等。

(12) 石化工程技术,包括适应装置大型化的

工程技术、高效反应工程和过程强化技术、高效精细分离工程技术。

(13) 节能减排技术包括炼化节能新技术, 催化裂化本质减排技术, “三废”处理新技术, CO₂低能耗捕集、封存和资源化利用技术。

(二) 需深入开展基础研究的主要技术领域

要围绕以下技术的重大创新凝练科学问题, 深入开展基础研究。一是低碳高效炼油技术; 二是新型催化材料技术; 三是过程强化技术; 四是适应新型内燃机的油品技术; 五是石油中硫、氮、氧等杂原子非临氢脱除技术; 六是光转化高分子膜材料生产技术; 七是仿生集水材料生产技术; 八是生物燃料生产技术。

(三) 需实施的石化重大工程

(1) 智能石化厂工程。2035 年物联网、云计算、工业无线、智能传感器、机器视觉、在线优化等技术在石化厂广泛应用, 结合商务智能等信息技术, 数字化、智能化贯穿整个石化厂, 从设计、建设、生产运维、经营管理, 直至新产品开发全过程。

(2) 甲烷制乙烯工程, 包括甲烷制乙烯催化剂工业化制备, 专用反应器开发, 分离精制工艺及工程放大技术开发, 流程集成和大型工业化装置建设。

(3) 高性能聚合物工程, 包括基于性能要求的聚合物分子结构设计、单体生产技术、聚合催化剂及工艺、反应器及生产流程开发, 加工应用技术与装备开发, 实现上述技术的综合集成, 形成多种高性能聚合物的商业化生产。

(4) 设施农业专用高分子材料工程, 包括制备长寿命、防雾滴、选择性透光棚膜和可降解地膜的高分子材料生产、开发及加工技术, 实现大面积推广应用。

(四) 需开展的重大工程科技专项

(1) 生物质利用技术, 包括大型纤维素乙醇生产技术与专用设备开发、城市有机垃圾生产生物燃气技术与专用设备开发、生物基化学品生产技术开发、生物基材料生产及加工应用技术开发, 实现纤维素乙醇、生物基化学品、生物基材料的普及应用。

(2) 新型制氢与储氢技术, 包括开发低成本电

解水制氢技术、生物催化制氢技术、光催化制氢技术等, 开发多孔材料储氢、芳香烃化学储氢等技术, 实现上述制氢、储氢技术的应用, 支持国家发展氢燃料电池的战略目标。

(3) 石化产业“两化”融合技术, 包括开发炼油过程物质流、能量流综合优化技术, 流程模拟和在线自动优化技术, 原料与产品性能的在线检测调控技术, 设备可靠性在线检测及预警技术, 生产过程安全性预警及自动紧急停止技术, 全面支持石化智能工厂的建设。

(4) 废旧高分子材料回收利用技术, 包括开发基于“力化学”的废弃高分子材料回收利用技术、废旧高分子材料自动检测分类及选择性催化裂解技术、废旧高分子材料回收利用过程污染物处理技术, 全面支持废旧高分子材料高附加值回收利用。

六、对策建议

(1) 持续完善以石化企业为主体的科技创新体制, 构建合理享受创新成果的知识产权保护制度, 加强“产学研”合作, 推进创新联盟建设。

(2) 加强石化领域科技人才队伍建设, 培育多层次人才队伍, 营造鼓励创新、宽容失败的良好氛围, 完善科技人员分类考核机制, 构建既有激励又有约束的分配机制, 充分调动科技人员的积极性。

(3) 加大科技投入, 不断完善研究设施, 尤其要不断完善功能化高性能、高分子材料加工应用研究设施, 持续推进“产学研用”紧密结合的协同创新。

(4) 从国家层面支持石化领域面向 2035 年的关键核心技术开发, 设立石化重大工程科技专项, 提供科技经费支持, 提供税收优惠支持重大工程的实施。

(5) 制定支持石化产业创新发展的财税政策, 鼓励石化企业加大研发投入力度。

(6) 加强国际合作, 鼓励创新主体“引进来”和“走出去”。在重视引进高端人才的同时, 按“不求所有, 但求所用”的原则重视和支持高端智力引进, 将我国石化领域建设成为高水平科技合作的重要基地。制定相关政策, 支持国有企业到国外设立研究机构, 收购国外专利技术和小型科技公司, 努力建设中国石化工业国际化创新平台。

参考文献

- [1] 单洪青. 新时代下传统工业企业的转型发展探讨 [J]. 当代石油石化, 2015, 23 (7): 6-10.
Shan H Q. Research on the transformation and development of traditional industrial enterprises in the new era [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2015, 23 (7): 6-10.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国能源统计年鉴 2015 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China energy statistics yearbook 2015 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [3] 刘芬. 炼油化工技术进展研究 [J]. 化工管理, 2014 (30): 75.
Liu F. Research of refining and chemical technology progress [J]. Chemical Enterprise Management, 2014 (30): 75.