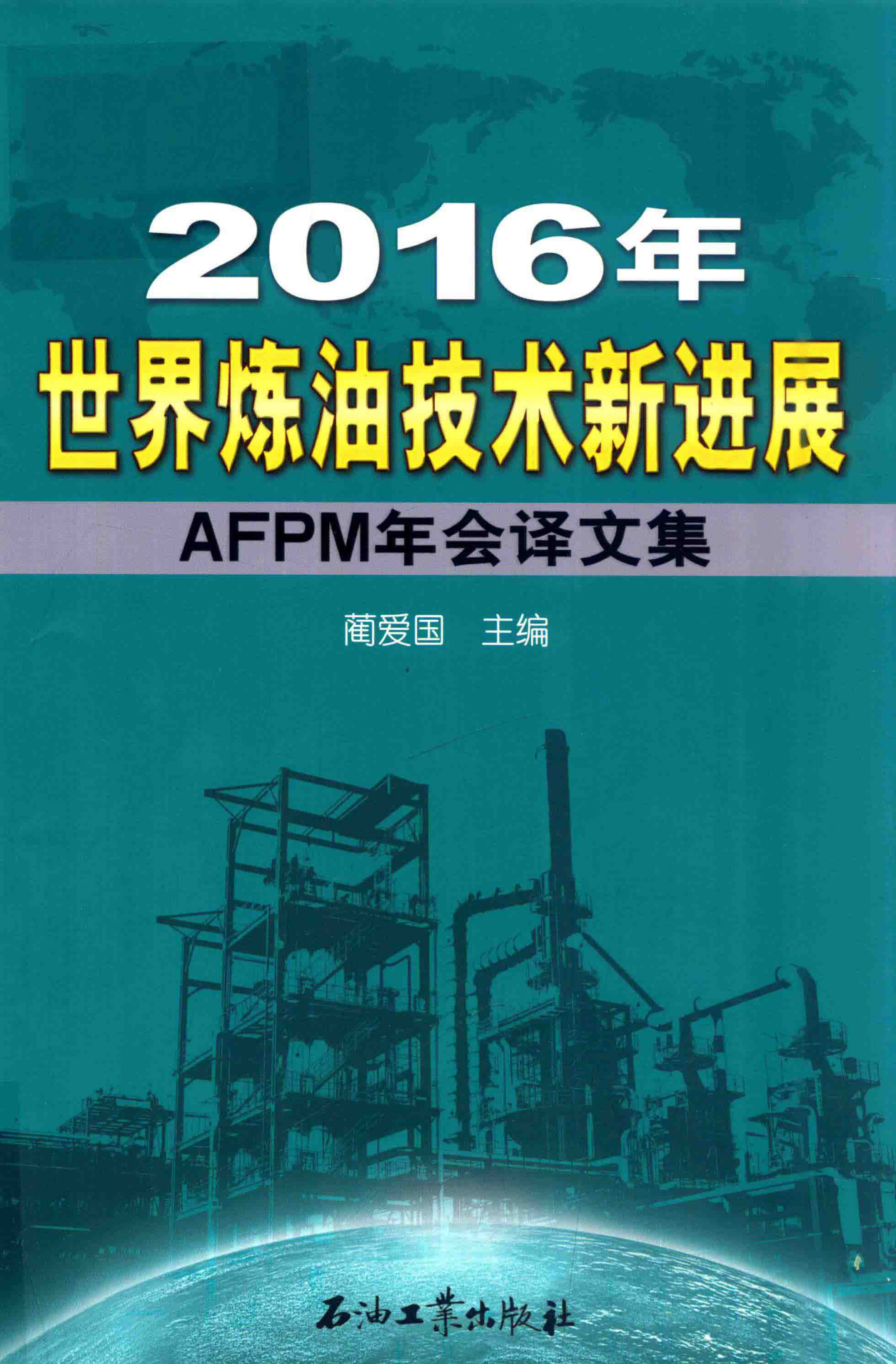




2016年 世界炼油技术新进展

AFPM年会译文集

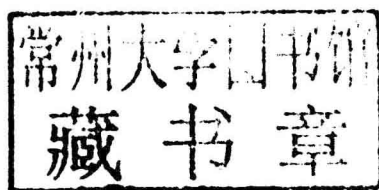
蔺爱国 主编

石油工业出版社

2016 年世界炼油技术新进展

——AFPM 年会译文集

蔺爱国 主编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书结合 2016 年美国燃料与石化生产商协会 (AFPM) 年会发布的技术进展及其他相关研究成果,对当前世界炼油工业发展新动向、炼油技术新进展与新趋势等问题进行了深入分析与研判,对中国炼油行业的持续发展与技术进步提出了相关战略性对策建议;同时,精选编译了 2016 年 AFPM 年会发布的部分论文,内容涵盖原油供应、催化裂化、加氢处理及加氢裂化、渣油转化、清洁生产及炼厂运营等方面,同时作者又撰写了两篇特约述评,全面反映了 2015—2016 年世界炼油行业的最新技术进展与发展态势。

本书可供国内油气开发利用、石油炼制、石油化工等行业科研人员、技术人员、管理人员以及相关高等院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

2016 年世界炼油技术新进展: AFPM 年会译文集/蒯爱国主编. —北京:石油工业出版社, 2017.6

ISBN 978-7-5183-1960-2

I. ①2… II. ①蒯… III. ①石油炼制—文集 IV. ①TE62-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 124169 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523738 图书营销中心: (010) 64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 6 月第 1 版 2017 年 6 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14

字数: 340 千字

定价: 120.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《2016 年世界炼油技术新进展 ——AFPM 年会译文集》

编译人员

主 编： 蔺爱国

副 主 编： 何盛宝

参加编译： 于建宁 钱锦华 李雪静 王建明
黄格省 杨延翔 张兰波 朱庆云
任文坡 乔 明 王红秋 金羽豪
魏寿祥 郑丽君 曲静波 师晓玉
任 静 丁文娟 张 博 宋倩倩
王春娇 王景政 杨 英 武爱军
张子鹏 薛 鹏

前 言

美国燃料与石化生产商协会 (American Fuel & Petrochemical Manufacturers, AFPM) 年会, 是全球炼油行业最具影响力的专业技术交流会议之一, 多年来受到全世界炼油行业普遍关注。截至 2016 年 3 月, AFPM 年会已举办 114 届。该年会发布的论文报告集中反映了世界炼油行业各主要技术领域发展的最新动态、重点、热点和难点, 对于中国炼油与石化工业的技术进步和行业发展具有较高的参考借鉴价值。

第 114 届 AFPM 年会于 2016 年 3 月 12—19 日在美国加利福尼亚州旧金山市召开。来自全球近 40 个国家的 200 余家石油石化公司、技术开发商、工程设计单位的 1300 多名代表参加了会议。本届 AFPM 年会的召开正处于国际石油供给宽松、需求减弱、原油价格持续低位震荡、能源结构深入调整、炼油行业竞争加剧的复杂时期, 全球炼油业的宏观环境和产业发展呈现出诸多新特点、新动向。大会共分 15 个专题论坛, 分别是战略决策、政策法规、环境保护、原油供应、汽油生产、加氢处理、催化裂化技术、渣油转化、炼厂操作、石化产品生产、装置自动化、工艺安全、提高收益、装置可靠性和发展方向研讨。

为使中国炼油行业相关技术人员、管理人员及科研人员全面掌握 2016 年 AFPM 年会重要技术信息, 深入了解世界炼油技术的新进展、新趋势, 学习国外先进、适用的技术和经验, 促进中国炼油技术进步与行业发展, 中国石油科技管理部、石油化工研究院共同组织了 2016 年 AFPM 论文的编译出版工作; 同时, 对本届年会的内容进行归纳提炼, 撰写了《能源结构转型形势下国内外炼油工业发展方向》和《炼油技术新进展》两篇特约述评, 全面总结了本届年会的重要技术进展和当前世界炼油行业的最新发展态势, 并对中国炼油行业的发展提出了战略性的建议。

本书收录的 15 篇 AFPM 年会论文的译文, 均获得论文原作者授权。希望本书的出版能够对中国炼油及石化行业技术人员、管理人员开展日常工作有所裨益。

由于编者水平有限, 书中难免存在不足之处, 欢迎批评指正。

编者

2016 年 12 月

目 录

特 约 述 评

能源结构转型形势下国内外炼油工业发展方向	(3)
炼油技术新进展	(27)

原 油 供 应

原油硫化氢脱除剂对炼油过程操作的影响 (AM-16-70)	(45)
北美的原油生产和炼油能力之间仍在寻求平衡 (AM-16-68)	(54)

催 化 裂 化

75 年来流化催化裂化立管操作经验公式的发展 (AM-16-13)	(67)
消除催化裂化过程中铁的负面影响 (AM-16-16)	(89)
用于评价催化裂化催化剂金属中毒的突破性表征方法 (AM-16-18)	(108)

加 氢 处 理 及 加 氢 裂 化

利用加氢裂化催化剂体系生产高值产品 (AM-16-02)	(125)
改造催化裂化原料加氢处理装置提高炼厂产品分布的灵活性 (AM-16-01)	(130)
利用卓越运营原则实现加氢裂化装置最大化利用 (AM-16-64)	(145)
通过加氢裂化技术提高炼厂的生产弹性 (AM-16-03)	(159)
快速应对变化的炼油市场及法规 (AM-16-05)	(167)

渣 油 转 化

劣质减压渣油加氢裂化技术 (AM-16-29)	(177)
焦炭塔气体排放的环境解决方案 (AM-16-30)	(183)

清 洁 生 产 及 炼 厂 运 营

对炼厂硫回收装置性能进行优化的尾气硫黄回收方法研究 (AM-16-45)	(193)
炼厂运转周期的优化方案 (AM-16-49)	(201)
高可靠性组织——复杂操作环境中的风险管理 (AM-16-12)	(209)

附 录

附录 1	英文目录	(215)
附录 2	计量单位换算	(216)

特 约 述 评

能源结构转型形势下国内外炼油工业发展方向

蔺爱国 李雪静

进入 21 世纪,尤其是近年来,世界能源结构正在发生显著变化,其中石油在能源结构中的比例逐渐下降,可再生能源正在崛起,能源结构向低碳、清洁化方向转变。综合多个权威机构的预测来看,在未来很长一段时间内,石油作为第一大能源的地位依然保持不变,继续提供全球 90% 以上的交通运输燃料和有机化工产品。在世界经济发展低迷、能源结构转型的新形势下,全球炼油行业的发展呈现出石油供应宽松,油价或长期低位运行,炼油能力增速趋缓,炼油格局持续调整,炼厂开工率上升、毛利增加,油品质量升级速度加快,技术创新驱动作用增强等新动向。在能源结构调整的大背景下,中国炼油工业也步入了一条加快化解过剩产能、增产更高品质清洁燃料、调整汽柴油产品结构、加快技术创新的行业转型升级之路。

1 世界经济形势与能源结构调整

1.1 全球经济低位运行,增长乏力

当前全球经济形势依然疲软,主要经济体的走势继续分化,经济增长不确定性依然存在。据国际货币基金组织(IMF)2016年7月19日发布的《世界经济展望》^[1]中统计的国内生产总值(GDP)增长情况:2015年,世界GDP增长率为3.1%,比2014年的3.4%下降了0.3个百分点;发达经济体为1.9%,与2014年持平;新兴市场和发展中经济体经济增长全面放缓,从2014年的4.6%降低到4.0%;美国经济发展表现抢眼,增长较快,达到2.4%;欧元区经济开始反弹,从2014年的0.9%升高到1.7%,但2016年6月23日的英国脱欧正对英国和欧盟的经济产生负面影响,也增加了全球经济增长的不确定性;日本经济从零增长上升到0.5%;中国由2014年的7.3%下降到6.9%;印度由7.2%增长并保持在7.6%,增速首次超过中国;俄罗斯、巴西等石油资源国经济大幅下滑,陷入低谷,俄罗斯和巴西2014年分别为0.6%和0.1%,2015年则相应下降3.7%和3.8%。

鉴于世界经济发展持续低迷以及英国脱欧为全球经济带来进一步的不确定性和下行风险,IMF^[1]认为全球经济将延续缓慢回升趋势,进入2016年已两次下调2016—2017年世界经济增长预期。预计2016年和2017年的全球GDP增长率分别为3.1%和3.4%,其中发达经济体2016年和2017年的增速均为1.8%。新兴市场和发展中经济体的增长率预计将从2015年的4.0%(2008—2009年金融危机以来的最低水平)微升到2016年的4.1%和2017年的4.6%。

中国经济目前步入新常态发展阶段,正处于转型换挡期,“十三五”期间尽管面临诸多矛盾叠加、风险隐患增多的严峻挑战,但仍处于大有可为的重要战略机遇期。根据中国政府发布的“十三五”规划纲要,中国经济在今后一段时期将保持中高速增长,到2020年GDP要比2010年翻一番,2016—2020年的经济年均增长底线要超过6.5%^[2]。根据国家统计局发

布的数据，2016 年前三季度，尽管面对错综复杂的国内外形势和持续较大的经济下行压力，中国 GDP 增长仍达到 6.7%^[3]，国民经济运行呈现总体平稳、稳中有进、稳中有好的发展态势，预计完全可以实现 6.5%~7.0% 的全年 GDP 增长目标。

1.2 全球能源消费增速放缓，向低碳能源转换

能源是人类社会发展的重要物质基础。当前世界经济持续低迷，政治环境错综复杂，能源格局也在加速调整。据英国石油（BP）公司发布的《2016 年 BP 世界能源统计》^[4]：2015 年全球 GDP 比 2014 年增长了 3.1%，而一次能源消费量仅增长了 1%，约为过去 10 年平均增长率（1.9%）的 50%；2015 年世界能源消费量达到 13147.3×10^6 t 油当量，比上年增长 1%。由表 1 可见，能源结构仍然以石油、煤炭和天然气三大化石能源为主，总比例高达 86%，其中石油继续保持第一大能源的地位，占比 32.9%，天然气占比 23.8%，煤炭占比 29.2%；可再生能源尽管增长较快，但占比仅为 2.8%。能源结构逐渐优化，石油和煤炭在能源结构中的比例逐渐下降，天然气和非化石燃料比例则在提高。2015 年，能源消耗产生的二氧化碳排放量仅比 2014 年增长了 0.1%，是近 10 年来的最低年增长率，这也从另一个侧面反映了世界能源结构向低碳能源转换的趋势。

表 1 全球各类型一次能源消费情况

能源类型	消费量，10 ⁶ t 油当量						2015 年	2015 年
	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	增长率,%	占比,%
石油	4040.2	4085.1	4138.9	4185.1	4251.6	4332.3	1.9	32.9
煤炭	3469.1	3630.3	3723.7	3826.7	3911.2	3839.9	-1.8	29.2
天然气	2868.2	2914.7	2986.3	3020.4	3081.5	3135.2	1.7	23.8
水电	783.9	795.8	833.6	855.8	884.3	892.9	1.0	6.8
核电	626.2	600.7	559.9	563.2	575.5	583.1	1.3	4.5
可再生能源	168.0	204.9	240.8	279.3	316.6	364.9	15.3	2.8
合计	11955.6	12231.5	12483.2	12730.5	13020.7	13148.3	1.0	100.0

BP 公司预测^[5]：随着经济的继续增长，2014—2035 年全球能源需求量将增长 34%，年均增长率为 1.4%，能源消费增速减缓（2000—2014 年年均增长率为 2.3%），几乎所有增长都来自非经济合作与发展组织（OECD）国家；能源结构继续转变，向更低碳的能源倾斜。化石能源仍是主导能源，占比保持在约 80%（比 2014 年的 86% 略有降低）。天然气成为增速最快的化石能源，年均增长率为 1.8%。石油保持稳定增长，年均增长率为 0.9%，占比逐渐下降。煤炭增速急剧下跌，到 2035 年占比将降至历史低点，天然气将取代煤炭成为第二大能源。增长最快的能源是可再生能源（主要指用于发电的风能、太阳能等，也包括生物燃料），年均增长率为 6.6%，到 2035 年占比将达到 9%。

石油消费的增长主要来自交通运输业，约占石油增量的 2/3。到 2035 年，石油继续在交通能源中占据主导地位，占比 88%，非石油替代品的占比仅从 7% 增长到 12%。其中，天然气燃料增长最快，年均增长率达到 6.5%，估计占比能上升到 6%；由于技术进步慢于预期，生物燃料的占比依然较低，约为 3.5%；电的占比仍不到 2%，主要应用于铁路轨道和地铁运输。

美国能源信息署（EIA）对未来交通能源结构的预测与 BP 公司的预测基本一致^[6]。

EIA 认为, 2012—2040 年, 石油仍是主要的交通能源, 但其在交通能源中的占比将从 2012 年的 96% 降至 2040 年的 88%。其中, 车用汽油仍然是用量最大的运输燃料, 但其占比将从 39% 降至 33%; 柴油是第二大运输燃料, 其占比将从 36% 降至 33%; 航空燃料的占比将从 12% 提高到 14%。由于具备良好的燃料经济性, 天然气用于交通燃料的比例将不断增加, 其占比将从 3% 上升到 11%。电力在整个交通运输能源中的占比仍然极低, 不到 2%, 但其在客运铁路中的应用将会提高, 到 2040 年, 电力将占到客运铁路能源消费总量的 40%, 随着电动车的发展, 电力在轻型汽车中的能源消费比例将增长到 1%。世界能源理事会在其 2016 年 10 月 12 日发布的《世界能源情景 2016》中对交通能源结构的预测也认为, 未来很长一段时期石油仍将是最主要的交通能源^[7]。在能源转型成功的情景模式下, 如果建立了市场主导的能源转型体系, 到 2060 年在交通能源消费结构中, 石油占 67%, 生物燃料占 16%, 天然气占 7%, 电力占 8%, 氢能占 2%; 如果由政府主导的能源转型体系获得成功, 则石油占 60%, 生物燃料占 20%, 天然气占 7%, 电力占 10%, 氢能占 3%。

1.3 中国能源结构加快转型升级, 石油在交通能源中的绝对主导地位保持不变

中国是世界上最大的能源消费国, 但能源资源极其缺乏, 能源结构极不合理。截至 2015 年底, 世界石油探明储量约为 $2394 \times 10^8 \text{t}$, 可满足全球 50.7 年的生产需求。中国石油探明储量为 $25 \times 10^8 \text{t}$, 居世界第 14 位, 占世界总储量的 1.1%。世界煤炭探明储量约为 $8609 \times 10^8 \text{t}$, 可满足全球 114 年的生产需求。中国煤炭探明储量为 $1145 \times 10^8 \text{t}$, 居世界第 3 位, 占世界总储量的 12.8%。世界天然气探明储量约为 $187 \times 10^{12} \text{m}^3$, 可满足全球 52.8 年的生产需求。中国天然气探明储量为 $3.8 \times 10^{12} \text{m}^3$, 居世界第 13 位, 占世界总储量的 2.1%^[4]。从全球范围来看, 石油、天然气和煤炭储量丰富, 煤炭储采比高达 114, 石油和天然气的储采比也分别达到 50.7 和 52.8, 并无资源“耗尽”压力。而中国的石油、天然气和煤炭的储采比分别为 11.7, 27.8 和 31, 远低于世界平均水平。能源是国家经济发展的动力之源, 能源安全成为国家战略的重要组成部分。

综观世界能源结构的历史演变和未来趋势, 多元、低碳、高效和清洁是能源开发利用的必然趋势。中国更应顺应国际潮流, 加快能源结构转变。2015 年, 中国能源消费总量达到 $43.0 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤, 比 2014 年增长 0.9%, 是自 1998 年以来的最低增长率。但能源利用效率显著提高, 全国万元 GDP 能耗比 2014 年下降 5.6%。能源消费增长放缓主要是由于消费结构逐渐优化, 煤炭比重明显下降, 石油消费增长放缓和清洁能源比重提高。从中国能源结构来看, 随着中国经济的转型, 煤炭在能源结构中的主导地位明显下降, 2015 年煤炭消费量比 2014 年下降 3.7%, 占比 64%, 创历史新低; 作为第二大能源的石油, 其消费量增长 5.6%, 占比 17.9%。天然气消费量增长 3.3%, 占比达到 5.8%, 水电、风电、核电、天然气等清洁能源消费量占能源消费总量的 17.9%^[8]。

为推动能源生产和消费革命, 保障国家能源安全, 中国政府发布了《能源发展战略行动计划 (2014—2020 年)》^[9], 对中国能源结构升级进行了规划, 提出了坚持“节约、清洁、安全”的战略方针, 重点实施“节能优先、绿色低碳、立足国内、创新驱动”四大战略, 加快构建低碳、高效、可持续的现代能源体系。到 2020 年, 一次能源消费总量控制在 $48 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤左右, 煤炭消费总量控制在 $42 \times 10^8 \text{t}$ 左右, 要基本形成比较完善的能源安全保障体系。国内一次能源生产总量达到 $42 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤, 能源自给率保持在 85% 左右, 石

油储采比提高到 14~15，能源储备应急体系基本建成。着力优化能源结构，把发展清洁低碳能源作为调整能源结构的主攻方向。坚持发展非化石能源与化石能源，高效清洁利用并举，逐步降低煤炭消费比重，提高天然气消费比重，大幅增加风电、太阳能、地热能等可再生能源和核电消费比重，大幅减少能源消费排放，促进生态文明建设。到 2020 年，非化石能源占一次能源消费总量比重达到 15%，天然气比重达到 10% 以上，煤炭消费比重控制在 62% 以内。加强能源科技创新体系建设，依托重大工程推进科技自主创新，建设能源科技强国，能源科技总体接近世界先进水平。到 2020 年，基本形成统一开放、竞争有序的现代能源市场体系。预计从 2014 年到 2035 年，中国能源需求增长 48%。能源消费结构持续优化，煤炭份额下降到 47%；天然气份额接近翻番，达到 11%；石油份额基本保持不变，约为 19%。交通行业对能源需求增长 93%，石油在交通能源需求中仍占绝对主导地位，份额从 91% 略降至 86%^[5]。

2 世界炼油工业发展动向

2.1 石油供需基本面持续宽松，原油价格或长期低位运行

伴随着世界经济的缓慢复苏，石油需求增长放缓，世界石油市场供需基本面进一步宽松。据国际能源机构（IEA）2016 年 6 月 14 日发布的数据统计^[10]：2015 年全球石油需求量为 $9480 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，比 2014 年增长 2.2%。其中，非 OECD 国家需求量达到 $4860 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，比 2014 年增长 3.2%；OECD 国家需求量为 $4620 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，比 2014 年增长 1.1%。2016 年，全球石油需求量达到 $9600 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，比 2015 年增长 1.27%，其中亚太国家消费量为 $3300 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，年增速为 1.22%（表 2）。中国 2015 年的石油消费量达到 $1140 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，比 2014 年增长 6.54%；2016 年，石油需求量达到 $1170 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，年增速为 2.63%，中国石油需求增速大大超过全球石油需求的平均增速，仍是世界石油需求增长的主要贡献者。

表 2 IEA 世界石油需求统计和预测（2013—2017 年）

地 区		石油需求量, 10^6 bbl/d				
		2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年（预计值）
OECD 国家	北美	24.1	24.1	24.4	24.5	24.6
	欧洲	13.6	13.5	13.7	13.7	13.7
	亚太	8.3	8.1	8.1	8.1	8.1
	小计	46.0	45.7	46.2	46.3	46.4
非 OECD 国家	原苏联	4.7	4.9	4.9	5.0	5.0
	欧洲	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
	中国	10.4	10.7	11.4	11.7	12.0
	亚洲其他	11.7	12.0	12.5	13.1	13.7
	拉丁美洲	6.6	6.8	6.8	6.7	6.7
	中东	7.9	8.0	8.2	8.2	8.4
	非洲	3.9	4.0	4.1	4.3	4.4
	小计	45.9	47.1	48.6	49.7	50.9
总 计		91.9	92.8	94.8	96.0	97.3

从原油供应情况来看，全球原油供应过剩量继续增长。2015 年石油供应量达到 $9640 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，较 2014 年增加 $270 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ，增长 2.88%，供应过剩进一步扩大到 $170 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ （2014 年供应过剩 $90 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ ）（表 3）。进入 2016 年，由于美国页岩油减产，原油供应宽松局面有一定缓解。IEA 统计，截至 2016 年 6 月底，原油供应过剩量已减少到 $80 \times 10^4 \text{ bbl/d}$ 。考虑到石油输出国组织（OPEC）发起的减产和冻结产量行动、全球石油需求量有所上升等因素的影响，IEA 认为 2016 年下半年国际石油市场供应宽松局面会继续缓解，缓慢走向供需平衡。但长期来看，未来 5 年世界经济仍处于复苏期，石油需求难以有大幅反弹，2020 年前全球石油供大于需的态势仍将继续。

表 3 IEA 世界石油供应统计和预测（2013—2017 年）

地 区		石油供应量, 10 ⁶ bbl/d				2017（预计值）
		2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	
非 OPEC 国家						
OECD 国家	北美	17.2	19.1	19.9	19.4	19.5
	欧洲	3.3	3.3	3.5	3.4	3.3
	亚太	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
	小计	21.0	22.9	23.9	23.2	23.3
非 OECD 国家	原苏联	13.9	13.9	14.0	14.0	14.0
	欧洲	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	中国	4.2	4.2	4.3	4.1	4.0
	亚洲其他	2.6	2.6	2.7	2.7	2.7
	拉丁美洲	4.2	4.4	4.6	4.5	4.7
	中东	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2
	非洲	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3
	小计	28.6	28.8	29.2	28.8	29.0
其 他		4.2	4.4	4.5	4.7	4.8
非 OPEC 国家合计		53.8	56.3	57.6	56.8	57.0
OPEC 国家合计		37.5	37.4	38.8		
共 计		91.3	93.7	96.4		

石油需求增长趋缓和石油供需面的宽松也直接导致了原油价格的下跌。2015 年，国际原油市场进入了低迷时期，WTI 和 Brent 原油的年均价分别为 48.76 美元/bbl 和 53.60 美元/bbl，同比分别下降 48% 和 46%，全年一直徘徊在 40 ~ 50 美元/bbl 之间，到年底受美联储加息、OPEC 不减产以及伊朗重回原油市场、美国解除原油出口禁令等因素影响，国际油价开始断崖式下跌。WTI 和 Brent 油价一度分别跌至 34.73 美元/bbl 和 36.11 美元/bbl。进入 2016 年，原油价格更是大幅暴跌，1 月 20 日，WTI 和 Brent 油价分别跌至 26.55 美元/bbl 和 27.88 美元/bbl，创近 13 年来新低。随后虽然油价出现反弹，但基本在 50 美元/bbl 以下徘徊。相关机构普遍认为，2016 年国际油价大概率呈现继续震荡行情，总体趋势是前低后高（图 1）。如 EIA 预计，2016 年 Brent 全年平均油价为 43 美元/bbl，2017 年有望上升到 51 美元/bbl。2016 年和 2017 年 WTI 原油价格的预测值分别比 Brent 原油低 1 美元/bbl。高盛表示，油价需跌至 20 美元/bbl 才能真正迫使原油产量出现显著下降，从而推动市场重归均衡；

2016 年的油价保持在 45 ~ 50 美元/bbl 之间。摩根大通预计，在 2016—2017 年 Brent 原油价格将处于 45 ~ 55 美元/bbl 之间。瑞信当时预测，2016 年 Brent 油价将由 38 美元/bbl 上调至 44 美元/bbl，2017 年升至 56 美元/bbl，长期则维持在 70 美元/bbl。

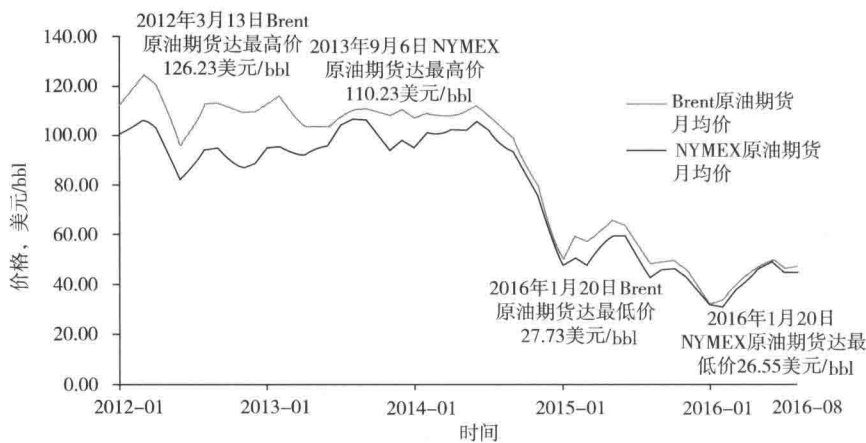


图 1 2012—2016 年原油价格走势

2.2 炼油格局继续调整，产业集中度进一步提高

经济增长的长期低迷和石油需求的增速放缓直接导致全球炼油能力的增速趋于停滞。由图 2 可见，在经历了 2012 年的峰值后炼油能力增长已明显放缓，2015 年达到 $44.74 \times 10^8 \text{ t/a}$ ，比 2014 年略增 1.73%。炼油格局仍在加速调整，北美、欧洲和亚太地区呈现差异化发展态势^[11]。近年来，新增炼油能力绝大部分位于亚洲和中东，美国炼油能力出现明显增长态势，亚太地区发达国家的炼油能力正在下降，新兴经济体的炼油能力增长。分地区来看，亚太地区仍为全球炼油能力最大的地区，产能达到 $13.17 \times 10^8 \text{ t/a}$ ，较 2014 年增长近 $2600 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，世界总产能占比达到 29.4%；北美地区炼油能力达 $10.82 \times 10^8 \text{ t/a}$ ，较 2014 年增长 $300 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，占比 24.2%；西欧地区炼油能力为 $6.75 \times 10^8 \text{ t/a}$ ，较 2014 年增长 $900 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，占比 15.1%。预计未来世界炼油工业的发展重心将加速向具有市场优势和资源优势的地区转移。2015—2020 年底还将有 $3.55 \times 10^8 \text{ t/a}$ 的新增炼油能力投产，将主要集中在中东、中国和其他亚太地区。全球炼油能力已出现过剩，尤其随着中东、亚洲一些大型炼油项目的投产，亚洲地区将面临更加激烈的市场竞争，炼油能力将会严重过剩。但由于低油价的影响，许多项目投资计划并不能如期实现，存在取消和延期的可能性很大。

另外，世界炼油工业继续向规模化发展，产业集中度进一步提高。表 4 列出了世界主要国家和地区的炼油能力与装置构成（表中数据截至 2016 年 1 月 1 日）^[11]。全球共有炼厂 634 座，同比减少 9 座，炼厂平均规模达 $705 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。与 2006 年相比，炼厂数量减少 4.1%，但平均规模提高了 9.5%。炼油企业、生产装置继续向大型化发展。规模在 $2000 \times 10^4 \text{ t/a}$ 以上的炼厂达到了 30 座，其中有 20 座位于亚洲和中东。印度信诚工业公司贾姆纳格尔炼油中心总炼油能力达到 $6200 \times 10^4 \text{ t/a}$ ，是世界最大的炼油基地。中国石化的镇海炼化、茂名石化和中国石油大连石化的炼油能力均已超过 $2000 \times 10^4 \text{ t/a}$ 。

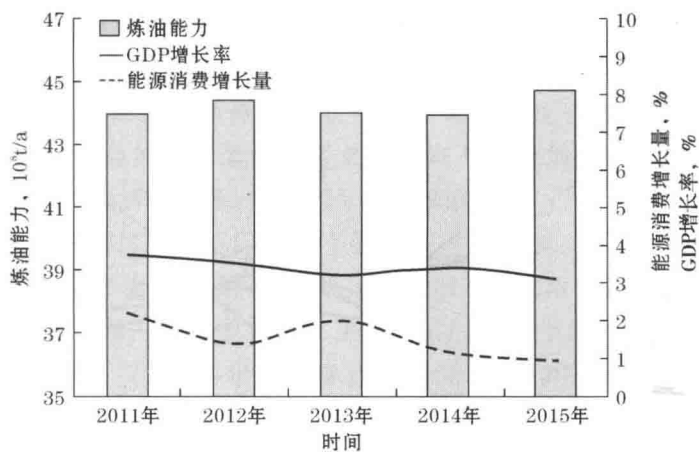


图2 全球炼油能力及 GDP 和能源消费变化情况

表4 世界主要国家和地区的炼油能力与主要装置构成

炼油能力 世界排名	国家名称	炼厂数量 座	炼油能力, 10 ⁴ t/a						
			常压蒸馏	焦化	热加工	催化裂化	催化重整	加氢裂化	加氢处理
1	美国	121	90485	14815	27734	14386	10896	74407	1155
2	中国 ^①	49	41478	2297	5154	1987	2749	6155	95
3	俄罗斯	39	27259	2214	1827	3326	518	10966	419
4	印度	23	23757	1332	2542	222	828	957	44
5	日本	23	19584	528	3866	2579	354	16649	106
6	韩国	5	14795	105	1835	1694	1695	7240	368
7	沙特阿拉伯	9	14535	1051	518	1034	675	2319	0
8	德国	15	10939	1989	1749	1727	959	8957	75
9	意大利	13	10587	1284	1210	1455	1874	5678	127
10	伊朗	14	10195	853	175	581	533	847	49
世界合计		634	447353	44366	72385	48511	32139	214489	4072

①表中统计数据偏小，实际炼油能力约为7.1×10⁸ t/a。

2.3 全球炼厂开工率上升，炼油利润回升

受益于油品需求上升，炼厂开工率出现明显上升。由图3可见，2015年炼厂平均开工率达到82.1%，比2014年上升了1个百分点，是近5年来上升最快的一年，在2005年炼油业黄金期最高达86%^[4]。近几年，美国炼厂开工率一直表现优异，接近89%；亚太地区炼厂开工率自2014年降至近10年来的谷底后开始反弹，2015年上升至82%；2015年欧盟地区的炼厂开工率也开始上升，达到83%；2015年中国炼厂开工率为75.4%，明显低于全球平均水平（82.1%），结构性过剩比较严重^[12]。进入2016年以来，由于油价继续在低位运行，开工率仍有小幅上升，与2015年相比，全球炼厂停工检修期缩短了40%。

原油价格的大跌也直接导致炼油毛利的上升（图4）。2015年，美国墨西哥湾加工中质含硫原油的焦化型炼厂利润接近近10年来的峰值，达到12.6美元/bbl；欧洲典型炼厂利润达到近10年来的最高值，为7.2美元/bbl；亚太地区典型炼厂的利润相比前两个地区低一些，但2015年也开始回升，平均为4.5美元/bbl^[10]。进入2016年以后，炼油利润仍保持在较高水平，

如 2016 年 8 月美国中部加工 WTI 原油的裂化型炼厂炼油毛利高达 14.26 美元/bbl。

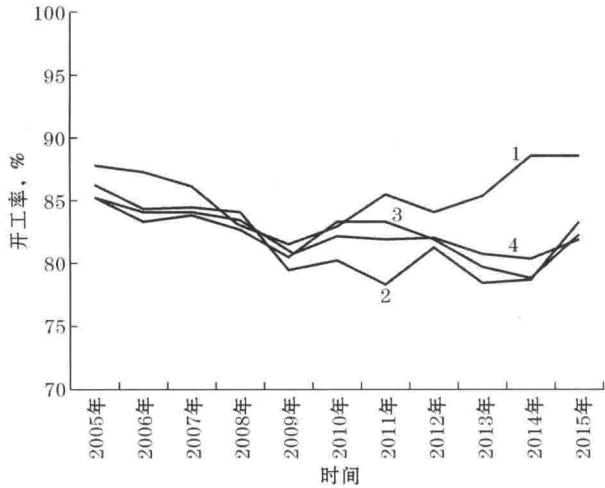


图 3 2005—2015 年全球炼厂开工率

1—美国；2—欧盟；3—亚太；4—世界平均

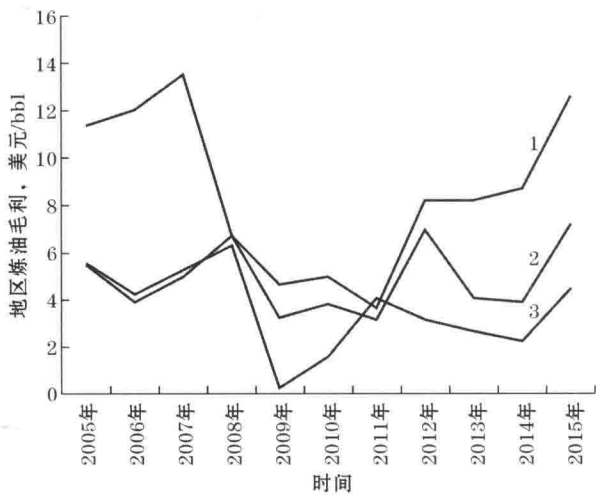


图 4 2005—2015 年世界主要地区炼油毛利

1—美国墨西哥湾加工中质含硫原油的焦化型炼厂；2—西北欧加工轻质低硫原油的裂化型炼厂；
3—新加坡加工中质含硫原油的加氢裂化型炼厂

影响炼油利润的因素比较复杂，包括所加工原油的价格、原油类型、装置结构、地理位置等。业界认为，虽然短期内的低油价可以使炼油行业提高开工率，利润增加，但从中长期来看，由于全球经济复苏疲弱，油品需求增速放缓，炼油能力过剩加剧，在世界多数地区，炼厂不可能持续出现 2005 年炼油业黄金时期的 86% 开工率和超过 10 美元/bbl 的高额利润。特别是美国以外的其他地区炼厂，短期受益于低油价，但中长期前景并不明朗。可以确定的是，未来 3~5 年油价仍将维持在低水平，这对炼厂而言是利好因素。但随着中国经济增速放缓，中东