

内部资料 注意保存

二〇一〇年

美国石油化工与炼制者协会

年会报告译文集

2010 NPRA ANNUAL MEETING

中国石油化工股份有限公司 科技开发部

二〇一〇年八月

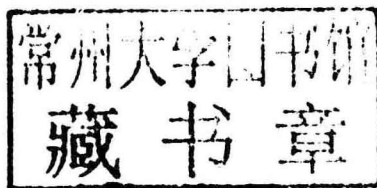
内部资料 注意保存

二〇一〇年

美国石油化工与炼制者协会

年会报告译文集

2010 NPRA ANNUAL MEETING



中国石油化工股份有限公司 科技开发部

二〇一〇年八月

前 言

美国石油化工与炼制者协会（NPRA）年会是世界炼油与石化行业最重要的专业会议之一。第 108 届 NPRA 年会于 2010 年 3 月 21—23 日在美国亚利桑那州首府菲尼克斯举行，与会代表约 1400 位。中国石油化工股份有限公司组成代表团参加了此次会议。

本届年会技术单元共宣讲报告 82 篇，分为 16 个专题，包括关注焦点、环境问题、催化裂化技术、确保安全生产、劳动力、气候变化影响、炼油战略、火炬操作、氢气和加氢裂化、汽油生产技术、柴油加氢处理、第二代生物燃料、渣油转化技术、加氢处理催化剂、催化裂化操作和催化剂、节能技术，其中，环境问题、气候变化影响和火炬操作是新设专题。本届年会对碳排放问题予以了特别关注。大会还对美国炼油工业面临的挑战、机遇和对策，以及炼油工业的技术进步进行了分析和讨论。

石油化工科学研究院受科技开发部委托，组织相关人员对其中的 64 篇主要报告进行了翻译，并按催化裂化、汽油生产、超低硫柴油生产、馏分油加氢、渣油转化、生物燃料、制氢、降低排放与环保法规、节能技术及措施、生产和操作安全等技术专题汇编成本文集。另外，参加本次年会的中国石化代表团成员和石油化工科学研究院情报组就大会报道的主要技术进行了综述，形成“2010 年 NPRA 年会综述”一文，一并收录到本译文集中。

最后，对参与、支持和帮助此项工作的所有人士表示衷心的感谢！希望广大读者对本译文集存在的不足批评指正。

《2010 NPRA 译文集》编译组

2010 年 8 月

目 录

前言	(1)
1 2010 年 NPRA 年会综述	(1)
一、FCC 技术	
2 美国西铁古公司Lemont炼油厂催化裂化烟气选择性脱硝技术的概况 (AM-10-106)	宫 超 译 (21)
3 流化床上面发生了什么?——最大限度提高FCC装置可靠性和运转周期的工具 (AM-10-107)	陈 辉 译 (33)
4 使FCC装置保持正常运行:用新型旋风分离技术赢得竞争(AM-10-108)	程从礼 译 (57)
5 UOP 公司利用先进工程化工具开发的 FCC 新技术(AM-10-109)	吴运发 译 (68)
6 辅助催化剂使炼油厂FCC装置操作更灵活(AM-10-110)	程 薇 译 (87)
7 最大化生产柴油馏分油的新型渣油FCC催化剂在Big West Oil盐湖城炼油厂的应用 (AM-10-171)	陈 辉 译 (95)
8 催化裂化再生器减排优化及故障排除(AM-10-173)	任 飞 译 (107)
9 催化裂化低加工量时的机遇(AM-10-174)	张执刚 译 (119)
10 GO-ULTRA 的商业化:动力学模型优化及催化裂化装置试验评述 (AM-10-175)	周灵萍 译 (126)
二、汽油生产技术	
11 烷基化技术进展(AM-10-146)	许建耘 译 (135)
12 Exxon Mobil研发公司开发出重整油烷基化降低汽油苯含量技术: BenzOUT™ (AM-10-147)	邢恩惠 译 (143)
13 新配方燃料生产中的石脑油加工技术进展(AM-10-148)	江茂修 译 (146)
14 经证明可以有效降低成本的轻汽油异构化方法(AM-10-149)	于中伟 译 (162)
15 HF 酸烷基化工艺改造方案(AM-10-150)	黄丽敏 译 (167)
三、超低硫柴油生产技术	
16 ULSD催化剂的稳定性:决定装置运转周期(AM-10-152)	刘冀一 译 (175)
17 掺炼LCO的加氢处理技术——最大化地增产柴油(AM-10-166)	丁 石 译 (185)
18 发掘超低硫柴油装置的潜力: CENTERA是关键(AM-10-169)	龙湘云 译 (196)
19 ULSD装置性能和经济回报研究的新突破(AM-10-170)	侯 娜 译 (207)
20 超声波辅助氧化脱硫(AM-10-153)	谢 丽 译 (216)
四、馏分油加氢技术	
21 适应市场需求变化和经济最优化的加氢裂化方法(AM-10-144)	陈元君 译 (223)
22 通过先进的工艺设备、催化剂体系和运行设计扩大加氢裂化操作灵活性 (AM-10-145)	杨 波 译 (250)
23 加工焦化蜡油对加氢裂化装置的影响(AM-10-154)	刘冀一 译 (260)
24 增强加氢裂化装置能力应对原料和操作的挑战(AM-10-155)	刘 昶 译 (268)
25 催化原料加氢处理的经济性及进料氮含量对催化剂稳定性的影响 (AM-10-167)	赵 阳 译 (278)
五、渣油转化技术	
26 在延迟焦化炉管内壁应用C3的MIST技术减缓延迟焦化炉结焦 (AM-10-161)	余桂红,杜翔 译 (288)
27 将最佳工业技术集成到新建焦炭塔中(AM-10-162)	刘杨,杜翔 译 (319)
28 浆态床渣油加氢裂化——使液体收率和渣油、重油转换率最大化的 一种卓越技术(AM-10-163)	范传宏 译 (329)
29 为满足北美排放控制区和《国际防止船舶造成污染公约》附则 VI 船用燃料规格的渣油转化方案(AM-10-165)	范传宏 译 (333)

六、生物燃料		
30	作为燃料生产的主要原料藻类的潜力(AM-10-156).....	李 毅 译 (346)
31	可再生柴油加氢精制翻开新的篇章(AM-10-158).....	渠红亮 译 (352)
32	可再生加氢处理技术及其与炼油厂整合的选择(AM-10-159).....	李 毅 译 (365)
33	促进第二代生物质能源应用于电力、供热和运输燃料的热解技术进展 (AM-10-160).....	朱丙田 译 (374)
七、制氢技术		
34	通过热交换水蒸气转化制氢技术得到更多的氢气(AM-10-141).....	董 凯 译 (383)
35	氧气增强转化技术：一种消除制氢装置生产能力瓶颈的低投资成本改进方案 (AM-10-142).....	刘立军 译 (391)
36	温室气体的立法对制氢装置设计与运行的影响(AM-10-143).....	刘建锟 译 (397)
八、降低排放与环保法规		
37	超低SO ₂ 烟气排放：现实如何？(AM-10-101).....	牟桂芹 译 (403)
38	企业环境安全性能的监督(AM-10-102).....	牟桂芹 译 (412)
39	利用可靠性分析来确定炼油厂工艺装置及公用工程的环境排放(AM-10-103).....	钟永钢 译 (415)
40	炼油厂中废碱湿气氧化处理技术(AM-10-104).....	牟桂芹 译 (426)
41	炼油过程中的汞污染——PURASPEC _{IM} TM 净化技术(AM-10-105).....	牟桂芹 译 (437)
42	对火炬排放的实时监控和报告(AM-10-137).....	于会永 译 (449)
43	关于安全仪表系统对塔器泄压负荷影响的评估(AM-10-138).....	于会永 译 (452)
44	利用低压蒸汽的新火炬技术(AM-10-139).....	于会永 译 (456)
45	温室气体履约：在进行中的目标(AM-10-127).....	王丽新 译 (461)
46	气候变化和二氧化碳减排政策对炼油厂的影响(AM-10-129).....	钟英竹 译 (470)
47	气候变化的大决战：当前温室气体立法、法规和诉讼简要介绍.....	刘鸿洲 译 (479)
48	有关化工安全、有毒物质控制法案、环保条例、燃料和税收的政策.....	刘鸿洲 译 (489)
九、节能技术及措施		
49	降低能源强度——战略规划向碳减排方向发展(AM-10-176).....	黄丽敏 译 (497)
50	蒸馏节能新技术(AM-10-177).....	蒋文军 译 (521)
51	改进的炼厂气利用技术(AM-10-178).....	程 薇 译 (530)
52	实时能耗管理经济学(AM-10-179).....	靳爱民 译 (541)
53	企业能源优化新措施：炼油厂案例(AM-10-180).....	丁 汀 译 (548)
十、生产和操作安全		
54	为什么操作人员总是犯错和DCS必须改变(AM-10-112).....	王 锋 译 (551)
55	建立一种可持续的、自我实现的安全文化(AM-10-113).....	张丽伟 译 (555)
56	改进炼油厂过程安全文化的一些实用措施(AM-10-114).....	张丽伟 译 (560)
57	实时监控危险气体环境中工作人员的独特安全措施(AM-10-116).....	赵 毅 译 (572)
58	石油化工工艺操作工的情景意识——技术层面以外(AM-10-118).....	邱建章 译 (574)
十一、其它		
59	项目投资成本：回顾与展望(AM-10-131).....	曹建军 译 (580)
60	影响未来美国炼油盈利能力的关键因素(AM-10-132).....	张 蕾 译 (586)
61	美国炼油——困难市场环境下的机会(AM-10-134).....	曹建军 译 (598)
62	通过职业培训提高技术人员业务能力(AM-10-120).....	代振宇 译 (605)
63	基于企业文化的转变实现企业的可持续性发展(AM-10-121).....	任 强 译 (615)
64	在班组层面上应对时代的挑战(AM-10-122).....	赵 毅 译 (622)
65	碳限额交易机制下的原油性质质考察(AM-10-128).....	周 祥 译 (630)
附录 1：计量单位换算表.....		(640)
附录 2：炼油厂和炼油装置能力换算表.....		(641)
附录 3：2010 年 NPRA 年会论文英文目录.....		(642)

2010 年 NPRA 年会综述

1 前言

第 108 届 NPRA 年会于 2010 年 3 月 21—23 日在美国亚利桑那州 (AZ) 首府菲尼克斯 (Phoenix) 举行, 与会代表约 1400 位。

本届年会对碳排放问题予以了特别关注。技术单元共宣讲报告 82 篇, 分为 16 个专题, 包括关注焦点、环境问题、催化裂化技术、确保安全生产、劳动力、气候变化影响、炼油战略、火炬操作、氢气和加氢裂化、汽油生产技术、柴油加氢处理、第二代生物燃料、渣油转化技术、加氢处理催化剂、催化裂化操作和催化剂、节能技术, 对美国炼油工业面临的挑战、机遇和对策, 以及炼油工业的技术进步进行了分析和讨论。其中, 环境问题、气候变化影响和火炬操作是新设专题。

2 挑战、机遇和对策

本届年会的关注焦点、气候变化影响以及炼油战略三个单元的报告共 13 篇 (获原文 8 篇), 反映了当前美国炼油工业面临的挑战和机遇, 并提出了应对之策。

2.1 挑战

美国炼油工业面临的挑战主要来自于市场、环境和政策三个方面。

2.1.1 市场挑战

市场方面的挑战主要有以下几点^[1-2]: ①未来美国汽油需求增长主要由乙醇的增长满足, 炼油厂生产的汽油需求变化不大; ②清洁和非清洁产品价差小; ③轻重原油价差小; ④中东和印度洋沿岸地区的出口型炼油厂的产品进入美国市场, 成为强有力的竞争者。

2.1.2 环境挑战

美国炼油工业目前面临多重与环境有关的日益严格的法规, 将导致炼油成本增加^[2]。其中目前最受瞩目的是可能于不久的将来实施的碳排放法规和新的可再生燃料标准 (RFS2)

所谓碳排放法规, 主要是指众议院通过的 2009 年美国清洁能源和安全法案 (ACES, H.R.2454, 即 Waxman-Markey 法案), 要求到 2020 年温室气体排放要比 2005 年减少 17%, 到 2050 年大约减少 80%。总体上来说, 排放超过每年 25 kt CO₂ 当量的设施将受到该项目的监管。对某些领域, 尤其是炼油工业, 所有排放源都受约束, 不管排放程度如何。从 2012 年开始, 炼油商要对所产燃料燃烧的排放负责; 从 2014 年开始, 对内部过程的排放负责。对于排放的管理采取“限额与交易” (Cap & Trade) 的办法。与估算的工艺和燃烧排放量相比, 炼油厂只会获得一小部分免费额度, 需要通过购买额度和补偿, 负责 90% 以上的自身温室气体的排放^[3-4]。

由于运输燃料燃烧产生的温室气体排放占美国全部温室气体排放的 28%^[4], 为了达到减排目标, 美国交通局和环保署 (DOT/EPA) 联合提出关于车辆的新标准, 要求到 2016 年, 燃料经济性从目前的 25 英里/加仑提高到 35.5 英里/加仑 (2010 年 4 月 1 日最终确定轻型车辆燃料经济性要求为 34.1 英里/加仑^[5]), 排气管 CO₂ 排放量不超过 250 g/英里^[6]。

另外, EPA 已将温室气体确定为清洁空气法案(CAA)里的污染物, 要求从 2010 年 1 月 1 日起报告温室气体排放量, 并试图要求超标排放的装置安装最佳可得控制技术(BACT)来减排^[3]。

碳排放法规对美国炼油工业来说将产生以下影响: ①汽车制造商将推出燃料经济性更好的车辆, 使燃料需求显著减少^[1,6]; ②要求炼油商购买炼油厂固定源碳排放的额度, 将使美国相对于其它地区的炼油成本增加^[1], 美国炼油企业的利润和全球竞争力将降低, 甚至导致炼油厂关闭。预计到 2030 年, 美国炼油成本将增加 910~4260 亿美元/年, 美国炼油能力可能减少 11%~45%^[6]。

另外, 为了大幅减少温室气体排放, 并减少对进口原油的依赖, 美国环保署(EPA)还要求进一步扩大可再生燃料用量^[2]。2010 年 2 月发布的联邦可再生燃料标准(RFS2)要求可再生燃料用量从 2009 年的 4.2×10^{10} L 增长到 2022 年的 1.36×10^{11} L, 并对其中的纤维素生物燃料、生物柴油和总的先进生物燃料(包括前述两项和其它先进生物燃料)逐年递增的用量分别进行了明确规定。尽管纤维素乙醇的规定用量目前还较少, 2009 年没有要求, 2010 年仅为 2.46×10^7 L, 但按照该标准推算, 常规乙醇汽油(玉米乙醇)的用量将从 2009 年的 3.97×10^{10} L 增加到 2015 年的 5.68×10^{10} L。在经济衰退、汽油需求总量减少的背景下, 法定的乙醇汽油用量并未减少, 已经导致炼油厂从原油生产的汽油需求量下降。而未来美国汽油需求增长将主要由乙醇的增长满足, 从原油生产的汽油需求变化不大^[1], 炼油厂将不得不调整其产品结构, 如增加柴油和/或生物燃料比例, 来满足市场需求。

2.1.3 政策挑战

奥巴马政府在新提出的预算中废除了一些对油气行业有利的政策和经济激励(LIFO、SECTION 199 和 Superfund 税等), 将增加炼油工业的负担^[2]。

2.2 机遇

随着全球经济复苏, 美国炼油工业面临的挑战也可转化为机遇: ①石油产品需求增加, 将提高裂化产品和原油的差价, 即炼油毛利会提高^[1]; ②原油加工量增加, 将增加全球重质原油的供应, 导致轻重油价差增大, 这有利于能加工重质原油的炼油厂^[1]; ③经济复苏, 柴油需求会增加, 而且欧洲还在继续柴油化。以柴油为主要产品的炼油商将从中获益^[7]; ④重质原油储量巨大, 如加拿大油砂^[1]。美国毗邻加拿大, 又有较多的重油加工能力; ⑤可再生燃料需求增长, 如乙醇^[1]。炼油工业或可介入其中盈利。

2.3 对策

面对这些挑战和机遇, 美国炼油工业可能采取的对策如下: ①保持竞争力: 根据所处地理位置和市场供需情况, 在后勤、资产能力、零售业整合等方面进行优化, 从而保持竞争力^[1]; 提高操作的有效性和装置大型化^[7]; 上游、下游和/或石化的一体化^[7]; 生产有特色的产品(润滑油、沥青、溶剂等), 扩展业务领域^[1]; 提高应对不断增长的波动的灵活性^[1]; ②获得储量丰富的重质原油的供应, 如加拿大油砂^[1]; ③配置后勤设施和营销资产, 从增长的可再生燃料中获益^[1]; ④制定碳战略: 整理公司内部温室气体排放清单^[3]; 根据各种燃料 CO₂ 排放所产生的成本增值来考虑调整公司的产品结构, 例如增加生物燃料比例^[3]; 预先购买有效的补偿或实施减排技改, 权衡二者轻重来做最经济有效的决定^[3]。

减排技改包括提高能效^[3]、改用其它低碳燃料^[3,4]以及碳捕集^[4]；在新建项目时必须考虑碳排放的影响。由于不同的炼油厂结构和不同的原油和产品会有不同的碳排放，因此需要结合碳排放成本来确定最终方案^[4,8]。

3 FCC 技术

本届年会关于 FCC 技术的报告共 11 篇，其中控制装置排放 3 篇，通过工程技术创新提高装置性能和可靠性 3 篇，针对不同原料和目标产品的新催化剂 3 篇，利用混仓技术提高产品结构灵活性 1 篇，提高装置利用率 1 篇。

3.1 控制装置排放

Sunoco 公司报道了一种更精确地测量富含 CO₂ 的 FCC 烟气中氰化物含量的方法^[9]。

Intercat 公司对解决再生器的排放问题和性优化能进行了探讨，还介绍了几种目前先进水平减排助剂的性能，包括低 NO_x 排放 CO 助燃剂（COP-850、Interim、COP-NP）、减少 SO_x 排放助剂（SOXGETTER、Super SOXGETTER、Super NoSO_x、Lo-SO_x PB）、和减少 NO_x 排放助剂（NOXGETTER）^[10]。

CITGO 石油公司介绍了采用 Topsøe 的选择性催化还原（SCR）技术减少烟气 NO_x 排放的经验。目前，美国有 24 家炼油公司同意执行 EPA 的减排要求，约占美国国内炼油能力的 88%，大约 1480 万桶/天，涉及 29 个州的 99 家炼油厂。CITGO 石油公司从 2007 年 12 月开始采用 SCR 技术来处理高 NO_x、SO_x 和颗粒物含量的 FCC 烟气（下游还有一个湿式烟气洗涤塔，脱除颗粒物、SO_x 和氨）。由于反应器和催化剂设计合理，从一开始 NO_x 排放就达标（年均低于 20 μg/g，7 天均值低于 40 μg/g），已经连续运转两年，没有出现任何问题，压降也低（总压降约为 2~2.5 英寸水柱），反应温度在 320℃ 左右^[11]。

3.2 通过工程技术创新提高装置性能和可靠性

Shell Global Solutions 介绍了其改进的旋风分离器技术，带有一个涡流稳定器，可有效提高旋风分离器操作的稳定性，减少因旋分磨损造成的非计划停工^[12]。PSRI 的研究表明，安装涡流稳定器比增加旋分长径比对减少灰斗磨损的效果更显著。

Marathon 石油公司指出，确保好的流化状态、了解真实的夹带速率、以及针对实际情况设计旋分，都会增加 FCC 装置的运转周期^[13]。该公司最长的 FCC 装置运转周期已达 7 年，平均运转周期为 6.3 年。

UOP 公司介绍了如何利用先进的诊断和设计技术加速 FCC 工程技术的开发创新以及近两年的创新成果^[14]。例如，综合利用计算流体力学（CFD）模型、γ 射线扫描、同位素示踪等工具，结合工业数据分析，开发了双环进料分布器、象鼻式燃烧室提升管分离器、以及管式待生剂分布器，有效地解决了大型提升管内油料和催化剂分布的均匀性问题、大型燃烧室再生器的烟气催化剂跑损问题、以及鼓泡床再生器的待生剂分布均匀性问题。另外，UOP 的 RxCat 技术已经成功应用于 4 套装置，经济有效地解决了碳差问题，对于希望多产丙烯的应用减少了所需的 ZSM-5 用量，从而降低了操作费用。

3.3 针对不同原料和目标产品开发的新催化剂

Grace Davison 公司介绍了其最新开发的针对经过加氢预处理原料的 FCC 催化剂 Alcyon^[15]。原料经过加氢处理后氢含量增加，原料裂化性能发生了变化，需重新建立系统的氢平衡，以获得最优化的经济性。该催化剂不但能够提供装置热平衡所需的碳差，

而且具有非常好的焦炭选择性。与竞争催化剂相比，达到同样的焦炭产率，所需剂油比较低，而转化率较高，汽油选择性较高。催化剂性能的提高，关键来源于单位比表面积所能吸附的烃分子浓度增加，从而提高了反应速率，增强了反应活性。

BASF 公司介绍了基于 Prox-SMZ 技术平台制造的新渣油 FCC 催化剂 Stamina^[16]。Prox-SMZ 技术平台是为生产高效多产柴油的 FCC 催化剂而开发的，有两大特点：一是基质的稳定性超强、焦炭选择性好；另一个是超低钠含量的沸石和基质的接触非常密切，因为二者是在同一个合成步骤中形成的，没有粘结剂介于二者之间。Stamina 是针对中高金属含量渣油原料开发的，具有更适于处理较重渣油原料的孔结构，并加入了金属钝化技术，使污染金属的影响降到最低。2009 年下半年在一套 UOP 的 MSCC 渣油 FCC 装置中进行的首次工业试验结果表明，与目前 BASF 最先进的多产汽油的渣油 FCC 催化剂 Flex-Tec 相比，应用 Stamina 使油浆产率减少了 50% 以上，转化为轻循环油（LCO）和汽油，LCO 的选择性提高，碳差则改善了 20%。即使在高铁和高钙污染的情况下，Stamina 也展示了极高的基质和沸石比表面积的稳定性。

Albemarle 公司介绍了其于 2009 年推出的针对蜡油原料的新 FCC 催化剂 Go-Ultra^[17]。与常规蜡油 FCC 催化剂相比，Go-Ultra 具有更好的汽油和焦炭选择性，以及优异的塔底油转化能力。Go-Ultra 的优异性能来源于更好的孔分布和经过特别改善的活性中心，使过裂化、过量的氢转移和焦炭的生成得以减少。NMR 研究表明，Go-Ultra 的活性中心有一个具有独特配位结构的铝原子，标记为“ $\text{AlO}_{4/5}$ ”。目前，Go-Ultra 已在 4 套工业装置上应用。工业应用结果表明，Go-Ultra 催化剂使油浆产率减少、汽油产率增加，还可减少催化剂补充速率，即使在原料质量显著下降的情况下也是如此。

3.4 利用混仓技术提高产品结构的灵活性

在利用混仓技术提高产品结构灵活性的过程中，BASF 公司提出了一个新的催化剂类别概念——协同催化剂（Co-Catalysts）。协同催化剂具有催化剂和助剂的双重性能^[18]，加到主催化剂中能改变 FCC 的核心催化性能，其添加量比一般助剂量大。最有利的操作情景是使用一种精心挑选的主催化剂，能够为特定炼油厂提供性能上的平衡。协同催化剂的添加量平均可以占到总添加量的 30% 左右，其余 70% 为主催化剂。这样能够提供最大的 FCC 操作灵活性，有可能在最短的时间内，对产品价格的变化做出快速响应，从而使盈利能力最大化。文中给出的示例是通过使用多产柴油的协同催化剂 HDUltra 或多产汽油的协同催化剂 Converter，来快速调节产品结构。使用 HDUltra，在 15 天之内就能达到协同催化剂所能发挥的最大作用的 80%，而通过催化剂重新配方来达到同样的作用则需要至少 75 天。

3.5 提高装置利用率

Shaw Group 指出，在目前炼油装置利用率较低的形势下，要提高 FCC 装置的利润，可以考虑从外部购买催化原料（如果运输燃料有需求），或者加工更重的原料（如果需求下降）^[19]。FCC 装置可以在较高的苛刻度下运转或者通过改造以后加工一些渣油原料。

3.6 小结

本届年会 FCC 技术主要关注装置的环保和运转情况以及催化剂的选择性。美国炼油工业面临巨大的环保压力。FCC 装置作为炼油厂的主要生产装置和主要污染物排放源，

其环保情况无疑倍受关注。目前美国大部分 FCC 装置已经对 SO_x 、 NO_x 和颗粒物的排放采取了有效的控制措施。在当前美国炼油工业形势低迷的情况下, FCC 装置更加注重运转的可靠性、灵活性和利用率, 从而提高装置的利润。在 FCC 工程技术上的研发和创新提高了装置的性能和稳定性, 确保了装置长周期运转和大型化, 并通过利用先进的诊断和设计技术, 加速了 FCC 工程技术的开发。催化剂混仓技术提高了 FCC 装置调整产品结构的灵活性。新的催化剂更加倾向于“量体裁衣”, 针对不同的原料和市场, 深入研究原料特性, 提高催化剂的活性和选择性, 尤其是将塔底油大分子转化为汽柴油的能力。

4 汽油生产技术

本届年会汽油生产技术共 5 篇文章, 其中烷基化技术 2 篇, 汽油降苯技术 1 篇, 异构化技术 1 篇, 还有 1 篇介绍了 Axens 公司的多种石脑油加工技术。

4.1 烷基化技术

由于发展中国家所用汽车的更新换代, 到 2020 年, 全球烷基化油产能预计将会增加 10 万桶/天。在北美地区, 过去几年几乎都没有新增的烷基化油产能^[20]。不过, 目前要求汽油池中添加更多乙醇的趋势将会导致对烷基化油需求的增长, 以满足对燃料蒸汽压及其它指标的要求^[21]。2020 年乙醇对辛烷值 $[(R+M)/2]$ 的贡献预计将超过 3 个单位, 这意味着对烷基化油辛烷值的需求将会降低。烷基化油更多被看重的是其低蒸汽压及其稀释其它调合料的能力。2008 年, 烷基化油约占北美汽油池的 15%。在北美 120 万桶/天的烷基化油产能中, 氢氟酸和硫酸催化的产能大约各占一半^[20]。

按照酸循环方式和反应热控制手段的区别, 目前全世界安装运行的氢氟酸烷基化装置分为两种基本流程结构: 重力流设计和泵式酸沉降设计, 各占 50%。UOP 正在开发一种烷基化工艺流程, 希望同时具有这两种流程结构的最佳特征^[21]。另外, UOP 正在开发经济性和可靠性能与氢氟酸烷基化工艺技术相媲美的固体催化剂烷基化工艺。

CDTECH 公司针对氢氟酸泄露事件提出了将氢氟酸烷基化工艺改造为硫酸烷基化工艺的方案^[20]。2009 年, 美国有三个不同炼油厂的烷基化装置发生了氢氟酸泄露事件。研究表明, 将氢氟酸装置改造成 CDAlky 低温硫酸烷基化工艺有可能保留一些主要设备, 但仍需要大量资金投入。

4.2 汽油降苯技术

ExxonMobil 公司对满足美国即将于 2011 年开始实行的汽油苯含量法规要求可能采取的方法进行了分析, 并介绍了其专有的重整油烷基化降低汽油苯含量技术 BenzOUTTM^[22]。重整油对汽油池苯含量的贡献高达 50%~75%。降低重整油苯含量是降低汽油苯含量最为经济有效的手段。BenzOUTTM 技术利用重整油富苯馏分与含有轻烯烃的物料 (如 LPG) 在 ExxonMobil 专有的催化剂上发生反应, 将苯转化为高辛烷值的烷基苯化合物。典型情况下, 富苯馏分苯含量 10%~50%。BenzOUT 工艺采用固定床实现苯的转化, 使用可再生的固体酸催化剂, 需要对烯烃物料进行传统的预处理。该工艺的优势在于: 能够降低汽油苯含量、增加汽油收率、增加 2~5 个单位的道路辛烷值、增加氢气产量。该技术已在北美一炼油厂进行了工业示范。

4.3 异构化技术

GTC Technology 公司介绍了一种经济有效的轻汽油异构化方法 IsomAlk 工艺, 主要

用于直馏轻石脑油的异构化,也可用于重整油或直馏轻石脑油与重整油混合物的异构化,在异构化装置设计过程中把苯加氢饱和过程结合进来,可以在一套装置上同时实现提高汽油辛烷值和降低苯含量这两种目标^[23]。IsomAlk 工艺采用的硫酸化混合氧化物催化剂 SI-2 组成为 $\text{Pt/ZrO}_2\text{-M}_x\text{O}_y\text{-SO}_4$, 比其它混合氧化物催化剂具有更高的产品收率,辛烷值提高幅度更大。IsomAlk 有四种工艺流程:①一次通过;②一次通过与预分馏相结合;③低辛烷值的己烷循环;④低辛烷值己烷循环与上游预分馏相结合。目前该技术已在 11 套工业装置上得到应用。

4.4 Axens 的石脑油加工技术

汽油池的组成和规格发生了显著的变化,尤其在北美市场更是如此。变化主要包括:①硫含量小于 $30\text{ }\mu\text{g/g}$;②禁止使用 MTBE 和增加使用乙醇;③汽油中的苯含量不超过 $0.62\text{ v\%}$;④蒸汽压限制更严格;⑤来自非常规和重质原油的焦化石脑油增多等。为了将低辛烷值的石脑油转变成符合现行规格并能灵活应对未来规格的高辛烷值石脑油,Axens 公司提供了多种可利用的加工方案和催化剂改进^[24]。

(1) 对于 FCC 汽油进行选择性的加氢脱硫的 Prime-G+工艺。

(2) 对直馏石脑油、焦化石脑油、馏分油和渣油加氢处理装置的石脑油进行加氢处理,所得产品轻石脑油作为异构化或苯饱和装置原料,重石脑油作为重整装置原料。为减小原料中硅的影响,Axens 公司开发了许多平衡硅捕集效率和加氢催化剂活性的产品。

(3) 经过加氢处理的轻石脑油辛烷值很低,通常需要在 $\text{C}_5\text{-C}_6$ 异构化装置改质。简单的一次通过或脱异己烷(DIH)循环异构化技术,汽油辛烷值 RON 可达 $82\sim 92$ 。当需要高辛烷值时,可选用更先进的利用分子筛的循环技术:Ipsorb 工艺和 Hexorb 工艺。

(4) 经过加氢处理的重石脑油通过催化重整得到高辛烷值汽油和氢气。Axens 新的重整催化剂家族能够满足从低压到中压生产汽油和生产芳烃模式的不同要求。新开发的多助剂催化剂系列包括:Pt 含量为 0.29% 的低密度催化剂 CR 617;Pt 含量为 0.25% 的高密度汽油型催化剂 CR 601、CR 607;Pt 含量为 0.30% 的芳烃型催化剂 AR 701、AR 707。其中有三个催化剂已得到工业应用。高密度催化剂用于 Axens 重整装置,低密度催化剂用于其它重整装置。该系列催化剂具有以下优点:①新的专利催化剂:Pt-Sn+助剂;②改进的氧化铝载体,具有更高水热稳定性和强度;③改进的专利浸渍方法;④优化的 Pt 负载;⑤ C_5^+ 质量收率提高 $1\sim 1.5$ 个百分点;⑥芳烃收率更高;⑦氢气质量收率提高 0.1 个百分点以上;⑧焦炭产率降低 20% ,增加了进料和操作灵活性。

(5) 经过加氢处理的轻石脑油和/或催化重整得到的轻重整油可进入苯饱和装置降苯。重整汽油必须分成轻重两部分,以便富含苯的轻质部分单独处理。Axens 介绍了苯饱和工艺 Benfree 的两种流程结构:Benfree_C 和 Benfree_{RD}。Benfree_C 产物中的苯低于 0.1% 。Benfree_{RD} 利用反应蒸馏的概念,在重整油分馏塔抽侧线进行苯饱和(使用常规固定床),加氢产物返回该塔上部继续分馏。经过工业验证的 Benfree_{RD} 能够达到 $80\%\sim 95\%$ 的苯饱和率,操作简单。要除去重整汽油中约 97% 以上的苯,Benfree_C 通常是最佳选择。目前全世界已有 40 多套 Benfree 装置授权来满足汽油苯含量要求。

4.5 小结

本届年会汽油生产技术主要关注汽油中乙醇含量增加对烷基化技术带来的影响以及

如何满足即将于 2011 年在美国生效的汽油苯含量限制法规的要求。汽油中乙醇含量增加, 辛烷值会提高, 但同时可能导致蒸气压等指标超标。此时, 作为优异的高辛烷值汽油调合组分, 烷基化油的作用更被看重的是其低蒸气压及其稀释其它调合料的能力。液体酸烷基化技术着重提高其安全性, 固体酸烷基化技术还在开发中。美国汽油苯含量法规的生效已迫在眉睫, 通过对轻重整油的烷基化和苯饱和有望达到法规要求; 在异构化技术中也考虑到加入苯饱和过程, 使产品的辛烷值和苯含量同时满足要求。其它方面, 重整原料中硅含量的增加促进了加氢预处理催化剂中捕硅剂的发展; 新型多助剂重整催化剂在催化剂的水热稳定性和强度、高价值产品收率、焦炭产率等方面具有更好的性能。

5 超低硫柴油生产技术

本届年会针对超低硫柴油 (ULSD) 生产技术的论文共 5 篇, 其中有 4 篇是加氢技术, 1 篇超声波氧化脱硫技术。

5.1 生产 ULSD 的加氢技术

Criterion 采用 CENTREA 技术, 通过提高催化剂的 MoS_2 颗粒分散度、最大限度提高催化剂的硫化度和优化活性中心组装, 开发出生产 ULSD 的新一代催化剂: CoMo 型 DC-2618 催化剂和 NiMo 型 DN-3630 催化剂^[25]。新一代 CENTREA 催化剂的 HDS 活性比之前开发的 ASCENT 和 CENTINEL 催化剂高出许多。DC-2618 更适于低压应用, 具有提供直接 HDS 途径的能力, 并有更强的 HDS 和 HDN 能力。HDN 活性的提高使 DC-2618 在低压下的反应温度比最好的 ASCENT CoMo 催化剂低 $3.9\sim 11.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。DN-3630 更适于高压应用, 与之前开发的 NiMo 催化剂相比, DN-3630 具有更好的 HDN 活性和更高的间接脱硫能力。DN-3630 在高压下的反应温度比前一代 ASCENT DN-3531 和 CENTINEL DN-3330 低 $5.6\sim 11.1\text{ }^\circ\text{C}$ 。对工业 ULSD 装置用新一代 CENTREA 催化剂代替原来使用的 CENTINEL 或 ASCENT 催化剂的评估表明: ①在低压下使用 DC-2618, 可加工干点更高的直馏瓦斯油; ②在中压下使用 DN-3630, 可加工更多更重质的 LCO; ③在高压下使用 DN-3630, 可减少催化剂更换频率, 每 5 年大修周期中催化剂更换次数可比 DN-3330 少一次。

ART 公司针对 LCO 作为柴油组分十六烷值低和颜色差的问题, 新近开发了 SRO 选择性开环催化剂技术^[26]。采用 NDXi / SRO 复合催化剂体系, 以含有 25% LCO 的柴油为原料, 在 $LHSV$ 为 1.0 h^{-1} 、压力为 8.55 MPa 、氢油体积比约 500 的条件下进行中试, 可以得到硫含量为 $8\sim 10\text{ }\mu\text{g/g}$ 的 ULSD, 十六烷值提高幅度超过 11 个单位 (注: 采用 NDXi 催化剂柴油十六烷值提高幅度不到 7 个单位), 产品的色度改善 0.5 个单位 (与采用 NDXi 催化剂相比)。主要是增加了芳烃的饱和和转化, 尤其是降低了多环芳烃的含量。

BP 建立了一个试验程序来评价加氢处理催化剂的稳定性, 可以在不到 2 个月内完成。与 Axens 共同进行的研究表明, 这个试验程序具有重复性和再现性。2008 年 BP 在催速中型装置上对 ULSD 催化剂的稳定性进行了测定和排序^[27]。

为了提高 ULSD 装置的性能和回报, Albemarle 采用如下方法^[28]: 一是采用新的催化剂组合和装填方法, 开发了 STAXTM 技术, 可使加氢处理反应器内发生的反应最优化; 二是开发可将出口氢分压和裂化料含量等所有因素都考虑在内的催化剂系列产品, 在过去两年中已推出了两种新牌号产品——KF 770 和 KF 771。KF 770 是一种 CoMo 催化剂,

具有调节得很好的酸性，因此可保持稳定并能在低压 ULSD 装置中提供高性能。KF 770 于一年前推出并已在 15 套以上装置中成功应用。KF 771 是一种具有中等酸性（为了提高脱氮功能）的 CoMo 催化剂，是 ULSD 催化剂 KF 757 和 KF 767 的替代产品。KF 771 的应用范围是低压到中压下加工 LCO 等一些裂化原料的 ULSD 装置；三是降低反应器的装填成本，包括通过降低催化剂密度来减少催化剂重量，以及利用废催化剂。Albemarle 开发了一种再生工艺（REACT），活性恢复可达到 STARS 催化剂水平，从而使再生催化剂性能接近新鲜催化剂；四是通过加工更劣质的原料来提高利润，例如掺炼 LCO。

5.2 生产 ULSD 的超声波氧化脱硫技术

HDS 过程中最难脱除的硫化物几乎都是烷基取代的二苯并噻吩类，但是对氧化脱硫（ODS）过程它们却有很高的反应活性。SulphCo 公司的 Sonocracking™ 技术将高功率超声波应用于加速 ODS 过程^[29]，反应条件温和（室温~100℃；0.14~0.28 MPa），反应迅速（停留时间仅 500 ms 或更短）。ODS 过程包括对含硫化合物的选择性氧化和氧化产物的脱除两个方面。H₂O₂ 是一个较有吸引力的氧化剂，唯一的副产物是水。形成的氧化产物可通过吸附、萃取、蒸馏或水洗等方式脱除。这种技术具有相对简单、高效、应用广泛等特点，可把硫含量 500 μg/g 的柴油脱硫为硫含量 5 μg/g 的超低硫柴油，还可用于混合输送产品脱硫、脱硫醇和凝析油的脱硫。

5.3 小结

从本届 NPRA 年会看，生产 ULSD 主体技术仍然是加氢技术，其中利用新催化剂来改造现有装置仍是生产 ULSD 加氢技术的主要发展方向，约 70% ULSD 装置选用这种方法。新催化剂的开发注重提高脱氮活性，从而获得更高的脱硫活性，并注重提高加工裂化原料的能力。

6 馏分油加氢技术

本届年会除了关于 ULSD 生产技术的 4 篇加氢技术论文之外，还有 6 篇报告涉及到馏分油加氢技术，其中可得原文 5 篇，包括 1 篇 FCC 原料加氢处理技术和 4 篇馏分油加氢裂化技术。

6.1 加氢预处理催化剂

在过去 5 年中，FCC 装置原料中的氮含量增加了 20%，多环芳烃、金属、砷和硅等污染物的含量也在增加。为了应对原料的劣质化，提高 FCC 装置转化率和汽油收率，并使催化汽油不需加氢后处理就能满足严格的超低硫汽油规格要求，Topsøe 公司采用 BRIM™ 技术开发了新一代 FCC 原料加氢预处理催化剂^[30]，包括 CoMo 型 TK-560 和 TK-562 催化剂（适于低到中压下应用）以及 NiMo 型 TK-561 催化剂（适于高压下应用）。这些催化剂在设计时不仅由于载体的进步和活性金属的高分散性而具有非常高的活性，而且提高了直接脱硫活性中心相对于加氢活性中心的比例，对原料中抑制加氢脱硫反应的有机氮和多环芳烃等组分的敏感度低，并具有高孔隙度和大比表面积，其性能特点包括：抗污染性能强（抗氮性好、抗金属和硅污染能力强）；活性高（加氢脱硫、脱氮和芳烃饱和活性）；稳定性好；氢耗低；可延长装置运转周期（与脱金属剂和床层保护剂（脱硅剂）一起使用时）。

随着原油的劣质化和加工更多的裂化原料，全球大多数炼油厂加工原料中的硫、氮

和芳烃含量在逐渐增加。Albemarle 通过几种加氢裂化原料预处理 (HC-PT) 催化剂体系来应对这些问题^[31]：①近期设计了一种新型催化剂 KF 860 STARSTM，用于改善催化剂的抗失活性能。KF 860 催化剂的载体采用了更大的中孔孔径。在其孔径分布中，最小孔径甚至比 VGO HC-PT 催化剂 KF 848 的平均孔径还要大。同时，KF 860 催化剂还具有与 KF 848 催化剂相同的脱氮能力，以及比 KF 848 更好的抗积炭能力，可延长运转周期；②最近推出了新一代 HC-PT 催化剂 KF 868 STARSTM。这种催化剂结合了 KF 860 催化剂载体可接近性高的特性，同时含有一种新的调好酸性的组分以提高脱氮性能。此外，该新型催化剂采用密度更低的新载体，从而减少了给定体积的反应器所用的催化剂重量。当处理 VGO 进料时，新催化剂表现出更好的活性和稳定性。这种独特的催化剂已经在以某些重的裂化原料为进料的中试试验中显示出优势；③面对进料性质波动和操作条件限制，运用 STAX 技术优化 HC-PT 催化剂体系活性和稳定性设计。采用 100%KF 860 和由 KF 860 和 Nebula 催化剂组成的 STAX 系统进行的中试试验结果表明，STAX 系统相对于单独的 KF 860 催化剂显示出 5~10℃ 的活性优势。

6.2 加氢裂化催化剂和反应器内构件

为了适应汽柴油市场变化以获得更好的经济效益，UOP 提出了将现有加氢裂化装置改造为灵活多产柴油或石脑油的方案^[32]。UOP 公司开发的一系列催化剂可有效满足不同馏分油的生产和目标产物的灵活性。工业试验数据表明，催化剂的改变会明显影响柴油的收率。UOP 公司的石脑油型催化剂，HC-185LT 或 HC-175LT，可以应用于在多产柴油和多产石脑油之间切换的灵活性方案中。如果从方案的灵活性和高柴油产率方面考虑，HC-150 值得关注。对于柴油收率最大化的方案，HC-120LT 则是首选。对于改造过的两段加氢裂化工艺，HC-120LT 可用于第一段，UOP 最新开发的柴油型催化剂 HC-205LT 用于低硫的第二段。为了确保催化剂性能得到最有效的利用，UOP 还很重视加氢催化裂化反应器内构件的研发和应用，包括入口分配器、液体预分配盘、D-Plex 气液分配盘、催化剂支承格栅、冷氢箱、出口收集器等。

Shell Deer Park 精炼公司 (DPRC) 的加氢裂化装置为串联单段反应器，加工重质直馏瓦斯油 (SRHGO) 和 LCO，得到高价值的产品。DPRC 2007 年生产周期的目标是突破装置产气量限制提高产能，并应用灵活的催化剂系统根据市场的需求情况最大量地生产石脑油或柴油产品^[33]。为了达到目标，DPRC、Shell Global Solutions 和 Criterion/Zeolyst 团队共同协作，为 DPRC 提出解决方案：①优化加氢裂化预处理催化剂。采用多层床 DN-3300/Z-503 复合预处理催化剂系统，使该装置可加工更多更劣质原料并延长了运转周期；②优化加氢裂化催化剂。采用多层床 Z-863/Z-803 复合催化剂系统，满足了 DPRC 需要的装置运行灵活性和高效性，同时减少了气体的生成，从而使装置在现有气体处理限度下提高了产能；③改造反应器内构件。装置末端裂化床的内构件改为 Shell Global Solutions 的超平急冷(UFQ)组件，包括床层间的预分布 (PD) 盘和高散布 (HD) 盘。UFQ 技术的应用使得装置总催化剂装填体积增大，HD 盘的使用改善了器内物料流动分布状况，提高了催化剂的利用率，很好地解决了底床径向温度梯度问题。通过采用上述方案，并调整操作策略，提高柴油产量，使该装置在 2007 和 2008 年柴油生产利润比汽油高得多的时期增加了数千万美元的收益。

6.3 加氢裂化工艺

为了经济有效地在加氢裂化装置中加工更多更劣质的重质焦化瓦斯油 (HCGO), 获得最大的中间馏分油收率, Chevron Lummus Global 公司 (CLG) 开发了三种创新的 Isocracking 工艺流程: 优化的部分转化 (OPC) 流程, 选择性级配流程, 以及选择性级配和逆向级配组合流程^[34]。HCGO 的劣质化表现在干点一般大于 565℃, 含有更多的多环芳烃和沥青质, 硫、氮含量很高, 还含有金属、硅、烯烃等杂质。HCGO 通常与 VGO 混合加工。采用 OPC 流程的工业装置, 加工 60%~70% HCGO 和 40%~30% HVGO 的混合进料时, 大于 343℃ 馏分的总转化率达到 65 v%~70 v%。

6.3 小结

随着原油的劣质化和重质化, 产品的轻质化和清洁化, 加氢技术在炼油厂的扩能改造和产品升级中起到极其关键和重要的作用。针对近年来 FCC 装置原料中氮含量以及多环芳烃等杂质含量的提高设计的新一代 FCC 原料加氢预处理催化剂具有更好的活性和稳定性, 能更加经济有效地帮助 FCC 装置提高转化率和汽油产率并使催化汽油无需加氢即可满足严格的超低硫汽油标准。加氢裂化技术非常灵活, 根据市场需要可以灵活生产中间馏分油和石脑油。从本届年会报道的内容看, 馏分油加氢技术的发展主要还是通过技术创新 (催化剂、工艺和内构件等创新) 来适应原料变化 (加工更多更劣质的原料, 如 HCGO) 和提高操作灵活性 (在多产柴油和多产汽油之间转换)。

7 渣油转化技术

渣油转化部分共 5 篇报告, 得原文 4 篇, 其中 2 篇是延迟焦化技术, 2 篇浆态床渣油加氢裂化技术。

7.1 延迟焦化

C³ 国际公司介绍了一种解决延迟焦化炉管结焦的 MIST™ 技术 (金属浸渍表面处理技术)^[35]。该技术是用一种溶液对炉管内表面进行加热处理, 形成一层保护膜, 将炉管金属 (铁) 和渣油原料隔离开来, 避免由于硫化铁腐蚀层粘连沥青质形成的管壁结焦, 以及由于铁和氧化铁催化沥青质发生焦化反应形成的结焦。这种表面处理可在装置现场进行, 对炉管内表面进行清理后, 加入溶液, 利用现有的燃烧系统将溶液加热至约 450℃, 在炉管内表面形成一层由 3~8 nm 晶体组成的厚度为 50~80 nm 的氧化膜。该技术已于 2009 年在两套工业装置上得到应用, 其中一套装置的数据表明该技术非常有效, 大幅延长了运行周期, 减少了炉管结焦量和清焦难度, 并降低了加热负荷。

Frontier El Dorado 炼制公司介绍了 2008 年投产的新建焦炭塔在提高装置可靠性和安全方面采用的一些最佳实践技术, 主要包括减少焦炭塔焊缝开裂的垂直板技术、自动开盖装置、远程自动除焦、远程电驱动固定轨道的焦炭输送系统 (进料一破碎机和脱水过滤器) 等^[36]。18 个月的运行情况表明, 这些技术极大地提升了延迟焦化装置的生产操作水平。

7.2 浆态床渣油加氢裂化

BP 披露了改进后的 VCC 工艺的一些特征^[37]: ①把串联式浆态床反应体系和同样温度和压力下的滴流床加氢处理反应器结合在一起, 以热分离器作为中间连接单元; ②通过减压蒸馏进一步回收浆态床加氢裂化未转化油中的馏分油; ③除加氢残渣外的所有产

品均进行加氢处理，还可将直馏馏分油一并在该加氢处理反应器中进行加工；④利用加氢处理反应器产物的热量为浆态床反应器的进料预热，提高装置热效率；⑤典型操作压力为 18~23 MPa，典型渣油和沥青质的转化率为 95%。VCC 工艺所得气体、石脑油和馏分油的产率均随渣油转化率的增加而增加，但 VGO 的产率保持不变。VCC 工艺中包含的加氢处理反应器的操作苛刻度对产品分布影响很大。石脑油产率（质量分数，下同）随苛刻度增加而增加，可从 10% 增加到 20%；柴油产率可从 40% 增加到 60%；相应地，VGO 产率可从 50% 降到 20%。对柴油的质量要求通常决定了 VCC 工艺中加氢处理反应器的操作苛刻度。在满足柴油硫含量小于 15 $\mu\text{g/g}$ 、十六烷值为 45 时，所得 VGO 的硫含量小于 300 $\mu\text{g/g}$ ，石脑油的硫含量小于 5 $\mu\text{g/g}$ ，煤油的烟点在 20 mm 以上，浊点低于 -30℃。VCC 工艺的加氢残渣可作为焦化装置的原料或固化后送往厂外使用（水泥、炼焦或气化）。

UOP 针对满足未来最苛刻船用燃料油标准（硫含量 0.1 wt%）提出了一系列解决方案，展示了 Uniflex 工艺在满足市场需求上的优势和灵活性^[38]。Uniflex 工艺的核心是 CANMET 浆态床加氢裂化反应器，产物经汽提和减压蒸馏使未转化沥青中的 HVGO 含量降到最低，并可将其部分 HVGO 循环回反应器进一步转化。Uniflex 工艺的柴油选择性高。在以中东原油的减压渣油为原料时，其柴油产率可达 45.2%；其它产品产率约为：石脑油 19.0%、燃料油 16.8%、沥青 10.5%；其中燃料油产品性质与直馏 VGO 相近，经过低到中等苛刻度的加氢处理就能达到 0.1 wt% 硫含量的船用燃料油要求。Uniflex 工艺本身不包含产品的加氢处理单元，但 UOP 在针对不同需求设计加工流程时，也可将 Uniflex 工艺和其产品的加氢处理整合在一起。Uniflex 工艺还可与炼油厂中已有的渣油加工装置，如焦化、减粘裂化和溶剂脱沥青等，组合在一起，获得更高的渣油转化率和馏分油收率。

7.3 小结

本届年会报告的渣油转化技术中，焦化技术的发展主要是延迟焦化设备方面的进展，目的是为了提高装置操作的可靠性和安全性，与国内相比较为先进；渣油加氢技术的发展是近年来国外重新开始重视的浆态床渣油加氢裂化技术的进展。经过工程上的重新开发和改进，在渣油转化需求增加、柴油需求比例上升的发展趋势下，VCC 和 Uniflex 这两项技术展示了其在满足市场需求上相对于其它渣油改质技术的优势。目前国内外没有运转中的完全工业规模的浆态床渣油加氢裂化装置，但有一些工业示范装置和工业放大试验装置正在运转，较有发展前景。

8 第二代生物燃料

第二代生物燃料专题共有 5 篇报告，得到 4 篇原文。其中，1 篇涉及海藻制油，2 篇涉及生物油脂加氢技术，还有 1 篇涉及生物质热解技术以及热解油作为燃料的应用。

8.1 海藻制油

Nexant 介绍了海藻制油的技术进展、经济性以及与炼油厂结合等内容^[39]。成本估算表明，多数传统的通过光合作用生产的藻油无法与原油和成品油竞争。技术开发者们正在探索非传统技术路线来降低成本。例如，利用光生物反应器（PBR）从蓝藻生产乙醇；以糖为原料养藻（sugar-fed process）制油；将野生藻类生长与污水处理结合在一起，不需注入二氧化碳或化肥，从而节省了主要环节的成本费用。可从藻油获得的生物燃料包

括：传统的生物柴油、通过加氢裂化/异构化生产的可再生柴油、通过相似过程生产的航煤、以藻类厌氧转化得到的甲烷为原料先制得合成气然后再经费托合成等方法加工的衍生物、以及通过藻类残渣发酵制得的乙醇。目前这类技术还处于早期发展阶段，主流的工艺设计尚未出现。在藻类成为主要的生物燃料来源之前还需要做大量的工作。

8.2 生物油加氢技术

Topsøe 公司^[40]针对植物油/动物油加氢工艺在工业操作中出现的许多问题，研发出生物燃料工艺专用的加氢脱氧催化剂 TK-339、TK-341，可确保催化剂的低失活率和高稳定性。这些催化剂可结合 Topsøe 公司的高活性 BRIMTM 催化剂，以确保生产出 ULSD；或者与具有异构脱蜡活性的 TK-928 结合，以获得足够低的浊点。此外，Topsøe 公司还提供与上述催化剂解决方案相配套的工艺技术，使炼油厂能够进行混炼或单炼，或者进行装置改造，或者作为基础装置。

EERC 公司^[41]开发了催化加氢脱氧—异构化（CHI）技术路线，将可再生油转化为航煤级富含异构烷烃的合成烷烃煤油（SPK）。EERC 成功地示范了用植物油和藻油通过 CHI 技术生产可再生 JP-8 规格航煤的可行性，并经过空军研究实验室（AFRL）证实。除了 SPK 以外，CHI 技术还能够调整为最大量生产柴油调合组分。

Ensyn 公司发明的快速热解工艺——RTPTM 技术，能把生物质中的木质纤维材料迅速转化为链长更短的液体产品。2008 年，UOP 公司与 Ensyn 公司联手成立 Envergent 合资企业，共同开发 RTP 技术在燃料方面的应用^[42]。通过 RTP 加工系统利用生物质制备的燃料油在等值能量的基础上比 6 号燃料油大约便宜 25%。实验室规模测试已经证实，热解油可升级为燃料产品。测试结果表明，通过在高压釜中对热解油加氢，可以很容易制得高辛烷值汽油。在临氢条件下，纤维素原料中的环状结构生成芳香族产物。由于这种环状结构往往使馏分油产物的十六烷值很低，有必要开发综合加工过程，以确保采用最有效的途径制备燃料产品。

8.4 小结

综上所述，第二代生物燃料技术正在稳步发展。藻类很可能会成为逐渐增长的燃料供应者，但由于目前成本过高，大规模的商业化应用至少要等到 5 年之后。采用加氢处理工艺，将动物脂肪、植物油、妥尔油、热解油及其它非食用物料等各种原料转化为正构烷烃，进而进行异构化，生产可再生柴油或者喷气燃料，既可以在传统的汽车发动机中大量使用生物燃料，又可以利用现有的炼油基础设施，而且原料来源更加广泛，是一个行之有效的方法，具有比传统生物柴油（脂肪酸甲酯）技术更好的前景。

9 制氢

本届年会有 3 篇报告专门论述制氢技术，都是针对烃类蒸汽转化制氢装置，其中 1 篇是新型换热式转化器，1 篇是氧气增强转化技术，还有 1 篇是降低 CO₂ 排放技术。

9.1 新型换热式转化器

烃类蒸汽转化制氢需要大量的热量输入。传统的烃类蒸汽转化器采用辐射加热法，热效率只有 50% 左右，而在换热式转化器中，主要通过对流换热的方式传热，热效率可以比辐射传热提高 60%~70%。Topsøe 公司根据对流传热原理，开发了对流转化器（HTCR）、热交换转化器（HTER）和回流管转化器（TBR）等换热式转化器^[43]。与传统