



阅读提示

近年来,国际政治经济形势不断变化,全球能源格局持续深刻调整,能源消费结构继续保持化石能源下降、非化石能源上升趋势。面对油品需求达峰、新能源替代和低碳转型大势,炼化行业加速向一体化、集约化、高端化、低碳化、智能化、绿色化发展。5月29日~30日,由中国石油学会联合中国石油、中国石化、中国海油、国家能源、中国中化、延长石油等单位共同主办的“2024中国炼油与化工企业高峰论坛暨新技术与成果展”在山东青岛举行,两院院士、专家学者、业界代表等600余人参加,围绕行业趋势、产业变革、绿色发展、技术进步等展开深入探讨。

本版文字由 本报记者 程强 整理



镇海炼化渣油加氢装置全景。何雯摄



茂名石化乙烯一号裂解炉装置。柯裕清摄

未来炼化:低碳、智慧、高端

CCUS和过程强化是重要降碳途径

中国科学院院士费维扬说,化工对能源、资源、环保、先进材料和国防工业等都发挥了重要作用,对国民经济总产值的贡献约占1/6,但是节能降碳减污的任务非常艰巨,一个加工量为4000万吨/年的石化联合企业,年排放二氧化碳高达4200万吨。

CCUS是化石能源大规模低碳利用的主要途径,是一种战略性新兴产业,难点是成本和放大,构建低成本、低能耗、安全可靠的CCUS技术体系和产业集群极为重要,可以为实现碳中和目标提供技术保障。

IEA(国际能源署)预测,全球利用CCUS减碳在2030、2035和2050年分别达到16亿吨、40亿吨和76亿吨,相当于这些年全球排放总量的4.7%、11.8%和22.4%。但2020年全球利用CCUS减碳仅0.4亿吨,差距非常大,任务非常艰巨。

加拿大边界大坝项目于2014年10月建成,设计捕集能力100万吨二氧化碳/年,但

运行初期开工率较低,经过2015、2017、2019和2021年四次维修和改进,装置利用率得到较大提升,2022年捕集二氧化碳75万吨。该项目总投资太大(约14.67亿美元),总体发电效率损失大(约30%),我国需要研究借鉴。

化工过程强化也是降低碳排放的重要途径,是在化学工程科学理论和实验研究的基础上,创造性地用更小的、更便宜的、更高效的设备和工艺,来代替庞大的、昂贵的、高耗能的设备和工艺,以大幅度地提高效率、节能减排、提质增效。如研发新催化剂、新型塔内件,应用信息技术、耦合技术、超重力技术、微化工技术、超临界技术等。

在国家重点项目支持下,清华大学化工系对二氧化碳捕集新复合溶剂、高效填料、膜吸收复合再生和过程优化等进行了研究,中试、工业示范和工业应用表明,与传统工艺相比,可节能和降低成本约30%。

化工行业的“智慧革命”

中国科学院院士徐春明说,第四次工业革命将互联网、大数据和人工智能等现代信息技术深度融合,全球正在争夺智慧工业制高点。自动化程度高、数据共享程度高、自主规划和优化程度高的“智慧革命”正在重塑各行业格局。化工行业也正在经历系统性变革,“低碳智慧炼化”是时代发展的必然趋势。

化工行业的智慧化要重点解决两个问题:从实验室到工厂的工程化放大问题,从分子到工厂的快速感知、依靠模型精准过程决策和调控。在实验室阶段,建立物料感知系统,通过计算机理解和识别分子结构特征、预测分子性能指标;建立反应机理系统,针对复杂分子反应网络无法手工建模问题,提出一套自动生成反应模型的方法;构建包含催化性质的智能优化模型,通过人工智能加速催化材料制备及筛选,设计制备绿色供电的导电催化材料,实

现催化剂原位供热和诱导活化。绿电替代传统燃料,是通过电磁场作用供电供热,因此要开发与导电催化剂相匹配的绿色供电装备,开发甲烷蒸汽重整、丙烷脱氢等石油加工过程绿色供电装备,基于机理模型与工业数据,将CFD(计算流体力学)和AI(人工智能)融合,开发工业装置模型。

炼油过程是高度复杂的烃类体系加工系统,还要通过智能优化实现低碳生产,如通过炼厂氢气智能优化可以提高高硫劣质原油加工比例、降低氢耗。石油化工装置工艺复杂、流程长,要开发多变量智能控制方案。

绿电-绿氢-绿色化学品生产链条是实现“双碳”目标的重要途径,要研究多时间尺度下的能量-质量耦合系统集成,通过智能优化算法对系统进行智慧决策,设计电-氢-化学品系统匹配的最优调控策略可实现该链条的全生命周期管理。



细分和延伸炼化产业链

中国石化科技部副总经理王皓说,随着成品油消费达峰,应思考炼油产业除能源属性外的其他属性,如作为原料和材料的物质属性,发展循环经济,可持续能源和二氧化碳利用的平台衍生低碳作用属性。

乙烯原料以轻烃为主,可大幅降低能耗和加工成本。炼化企业通过炼化一体化等手段提高轻烃综合利用,形成轻烃精细加工产业链,由燃料能源转型为化工原料趋势明显,并依托轻烃的资源化丰富化工原料的供给路径。按组分形成烯烃烷烃的成套技术方案,成为轻烃产品低成本利用的重要方向。可降解材料、环保溶剂及新型冷冻机油等产品是液化气下游发展的重要产品品类。

中国石化不断拓展低碳烯烃催化裂解技术,所开发的技术呈现出以下特点:原料适应性更广泛,从早期的石蜡基蜡油发展到中间基渣油;产品结构易于调整,从多产丙烯、多产乙烯到多产BTX(轻质芳烃);反应器技术持续进步,包括提升管、流化床、快速床等,研发的快速流化床催化裂解反应器技术,吃“重”能力优异,有效填补劣质重质油生产低碳烯烃的空白。

循环利用技术发展将推动污染物及废弃物减量化、资源化、无害化。废塑料的化学循环具有处理范围广、再生产品质高等优势,源头污染控制与资源高效循环利用技术正在加速突破,二次资源循环利用率将逐步提高。

随着可再生能源发电成本相对下降和技术不断创新,绿氢与绿电协同耦合将重构炼化业务能源供给体系,再造炼化工艺流程。其中,绿氢替代灰氢、绿氢炼化、氢基化工等成为发展重点。

炼化企业实现低成本生产的路径包括加强节能降耗、开发短流程技术、有效利用炼厂资源、加工流程高效衔接等。炼厂总流程加工方案是否具有较强调节弹性已成为影响企业盈利能力的重要因素。在炼油行业整体处于微利的背景下,要思考进一步细分产业链,如相变蜡、润滑油产业链细分,延伸石油基炭材料产业链等。

中国石化研发的重质高碳富芳资源高值化利用新工艺可有效提升炼化企业的经济效益,丰富高端炭材料产品,并实现低值燃料的固碳。聚“焦”发“沥”功能“炭”,促进石墨电极用预焙阳极和阴极、矿热炉用炭/石墨电极等传统炭材料产品做优做强,加快延伸开发高端石墨产业链,提升产业盈利能力。

未来炼化技术发展六大方向

中国石化科技管理部副总经理史君说,我国成品油需求将在2027年前后达峰,而国内石化市场结构性过剩问题更加突出,85%以上的大宗石化产品都将出现产能过剩,必须推进高端化发展。预计“十四五”时期,国内高端化工材料需求年均增速为8%,2025年需求量将达4500万吨,高端材料自给率将从50%左右提高到70%以上,高端聚烯烃、工程塑料、高性能膜材料、关键单体和精细化工中间体等是国内发展的重点领域。

实现碳达峰后,炼化企业持续围绕源头、过程、终端路径深入推进低碳发展,企业生产模式将发生根本性变革。未来,炼化企业实现净零排放将使用多元化的原料,以生物质、废塑料、碳一

等低碳原料替代部分原油;构建高效清洁的生产过程,包括绿电、绿氢等清洁能源逐步规模化替代化石能源,碳捕集及回收利用等;生产高端精细化的产品组合,包括生物航煤、绿氢、绿色合成燃料、化学品、新材料等。

未来技术发展有六大方向:电气化技术,包括电裂解炉、大功率电加热炉、电锅炉、电化学等技术,提高绿电消纳比例,实现炼化终端用能深度电气化;生物制造技术,发展以非粮生物质为原料高效合成/转化生产生物基燃料、生物基化学品、生物基新材料技术,生产生物航煤、生物柴油、生物基聚烯烃、聚酯、丁二烯橡胶、生物基尼龙等;核能技术,探索炼化与小型核堆的耦合集成,可控核聚变技术

则有望彻底改变全球能源生产和消费的方式;二氧化碳综合利用技术,包括二氧化碳耦合制碳酸酯新材料、二氧化碳与绿氢制化学品、二氧化碳制备绿色油品等技术;数字化赋能技术,传统的人工智能(AI)只能处理特定任务,被认为是弱人工智能,而通用人工智能(AGI)可以像人类一样学习和推理,解决复杂的问题并独立做出决策,是一种基于大模型开展应用的强人工智能,未来需加强AGI在炼化行业的应用;废塑料化学回收技术,发展低能耗热解法、低成本催化裂解制单体法、耐久性塑料选择性断键或原位功能化技术,将废塑料转化为油品、化工单体及化学品、再生塑料,以提高碳资源循环利用率,实现废塑料高值化利用。

研发可持续发展的新型高分子材料

中国工程院院士王玉忠说,生物基高分子材料、生物降解高分子材料、可回收循环利用的高分子材料,都是可持续发展的新型高分子材料。

可循环,意味着高分子材料易回收利用,要么通过物理循环回收为其聚合物,要么通过化学循环回收为其聚合的单体。

可反复化学循环,既是化学闭环循环(可解聚为其合成单体),又具有高单体回收率(几乎可完全解聚为单体)特点。

PET(聚对苯二甲酸乙二醇酯)是单一品种产量最大的高分子材料,但易燃,全球每年废旧PET达3600万吨,而废旧PET自然降解需要数百年。王玉忠带领四川大学团队,树立聚酯全生命周期绿色设计理念,设计合成分子主链含儿茶酚-M配位结构的PET共聚物,可纺性好,金属离子M均匀分布于纤维表面,改性聚酯面料集成阻燃抑烟、紫外屏蔽、抗菌、抗静电、远红外发射、自修复六大功能。利用配位键溶

剂/温度响应特性,含配位结构共聚酯可实现自催化乙二醇解、甲醇解及水解,以乙二醇解为例,共聚酯转化率近100%,并可高效分离回收单体。

王玉忠团队还利用机器学习辅助设计优化了低烟低热释放本征阻燃聚碳酸酯,可耐受1400摄氏度火焰灼烧,适用于车内耐高温防火场景,如电池外壳;可化学闭环循环回收,且回收成单体再聚合后保持阻燃性能;燃烧测试可满足大飞机内饰材料标准。

此外,王玉忠团队还研发了可吹塑可降解回收高性能PBS(聚丁二酸丁二醇酯)共聚物,加工性能优异,可自然降解,拉伸性能和撕裂强度远优于PBAT(己二酸丁二醇酯和对苯二甲酸丁二醇酯的共聚物)薄膜;研发了可回收耐穿刺高性能生物基聚酯,可3D打印,可反复化学循环,回收得到高纯度单体,单体再聚合成聚酯具备优异性能;研发了集高性能与可化学闭环循环于一体的生物基聚酯材料,可在温和条件下快速高效解聚。

精细化工正从1.0走向2.0

中国科学院院士李孝军说,精细化学品是国际化工及相关应用领域争夺的重要制高点,精细化学品是新兴产业的物质载体,其变革性是产业进步的关键。精细化学品占总化工产品百分比,即精细化率,是国家化工行业发展水平的重要标志。化学工业发展趋势是高端化、绿色化、智能化。

目前,精细化工正从1.0走向2.0。精细化工1.0,研究范式是大量实验优选,通过人力+实验实

现渐进式发展;研究内容是工艺创新+分子模仿;研究目标是从跟跑改进到并跑。而精细化工2.0,研究范式是大数据挖掘,通过智慧+人工智能实现变革式发展;研究内容是分子创造+智能制造;研究目标是功能智能化实现领跑。

靶向药物、探针等智能化学品是精准医疗的保障。电子信息产业急需高端智能化学品,如显示LCD、存储与分子开关、光刻胶与光引发剂等。新能源期待智能化学品大幅提高效率,如人工树叶利

用太阳能将水分解为氢和氧、提高电池能量密度、化石能源的富集分离和回收等。

智能材料是第四代材料,即可自动感知(识别)、执行、恢复。其具有变革性的性能,是人类社会革命性发展的物质基础。智能材料成为先进材料领域的新前沿。

精细化工2.0是智能分子工程,包括分子设计智能化、产品功能智能化、产品制造智能化。化工智能制造将打造无人实验室和黑灯工厂。