安庆石化采用石科院自主研发的重油高效催化裂解(RTC)技术的全球首套300万吨/年催化裂解装置投产,作为炼油转化工结构调整的项目核心装置能将重质原油进行深度高效转化,生产出苯乙烯、聚丙烯等化工原料

“粗粮细吃”为“油转化”按下加速键

安庆石化300万吨/年重油催化裂解装置。 杨成林 摄

安庆石化重油催化裂解装置一次开车成功。 张莹莹 摄

阅读提示

进入“双碳”时代,“减油增化”已成为炼油产品结构调整的重要方向。这一背景下,中国石化着力推动炼化业务提质升级,坚持做优炼油、做大做强化工,加快“油转化”“油转特”进程,延伸产业链、强化创新链、提升价值链。

“化工型炼厂关键技术及集成技术示范之一重质原料增产低碳烯烃和BTX关键技术”,是中国石化“十条龙”科技攻关项目之一。2023年6月30日,安庆石化炼油转化工结构调整项目核心装置——采用中国石化石油化工科学研究院自主研发的重油高效催化裂解(RTC,别名DCC Pro)技术的全球首套300万吨/年催化裂解装置顺利投产,成为目前国内最大的重油催化裂解装置。7月6日,随着最后一套装置——40万吨/年乙苯-苯乙烯装置产出合格产品,该项目所有装置均实现安全环保一次开车成功。

石科院:推动我国催化裂解技术跨越式进步

□陈子佩 魏晓丽

随着我国新能源快速发展,成品油消费渐近达峰,而市场对丙烯、乙烯的需求持续增长,石化行业面临炼油产品结构调整的重大挑战。

中国石化石油化工科学研究院锚定国家重大需求,开展核心科技攻关。研发团队基于对催化裂解过程反应化学、过程强化及加氢渣油分子水平的新认识,以反应器为突破口,自主研发形成了国际首创的新型高效快速流化床反应器。

依托独特的结构设计,该反应器具备内部“拟液相、拟均温、拟匀速”的特性,解决了现有劣质重油催化裂解技术传质传热效率差、催化反应选择性低等难题,使得以往难加工的劣质重油得以从容加工,有效拓宽了我国石油化工行业生产烯烃的原料来源。

新型高效快速流化床反应器取得突破后,石科院科研团队乘胜追击,在工艺与工程技术大型化等方面接连取得突破,最终整合形成了重油高效催化裂解(RTC)技术,并获中国石化2021年度科技进步一等奖。

2019年11月,石科院、SEI及安庆石化组成产学研一体化攻关团队,利用RTC技术对安庆石化原有65万吨/年催化裂解装置进行改造,开展工业试验。

2020年1月14日,装置一次开车成功。工业试验数据显示,在使用掺50%劣质重油的原料时,产物中的乙烯和丙烯产率比现有工艺分别提高0.5个百分点和2个百分点以上,丙烯产量增幅达18%;焦炭产率则下降0.5个百分点,且汽油产品的烯烃含量明显降低、辛烷值有所提高,可以立竿见影地为炼化企业带来经济收益。同时,碳排放更低,年可减排二氧化碳1.5万吨。

“工业试验数据表明,RTC技术在使用更差品质原料的情况下实现了产物的增产提质,显示出了良好的‘粗粮细吃’工业应用能力。”石科院院长李明丰说。

2020年9月27日,RTC技术顺利通过集团公司组织的技术鉴定。“与国内外重油催化裂解技术相比,RTC技术具有更高的乙烯、丙烯选择性和更低的焦炭选择性,达到国际领先水平。”专家组评价,这标志着我国石油化工领域又一项核心技术诞生。

作为原料适应性更为广泛和灵活的催化裂解技术,RTC技术一经推出便成为国内外同类技术中的“领头羊”,迅速成为炼化企业转型升级的不二之选,在短短两年时间内已技术许可6套工业装置,总加工能力高达1740万吨/年。

2023年6月30日,全球首套300万吨/年催化裂解装置在安庆石化顺利投产,标志着中国石化完全掌握大型化快速流化床催化裂解工程技术,实现了我国催化裂解技术的跨越式进步,带动我国催化裂解技术持续领跑全球,为炼化企业由传统燃料型炼厂向化工型炼厂转型提供了坚实的科技支撑。

技术攻关

◀石科院RTC技术团队在安庆石化工业试验现场。 凤 程 摄

SEI:破解装置超大型化工程难题

□王桂根 段 丹

“产出合格产品了!”操作人员洪亮的声音划破长空,安庆石化300万吨/年重油催化裂解(RTC)装置一次开车成功。

作为目前国内最大的重油催化裂解装置,该装置核心设备反应器和再生器总重4500余吨,直径均超15米,工程量史无前例。

为使RTC技术能最终成功应用,工程建设公司(SEI)攻关团队需要先将安庆石化65万吨/年DCC装置改造为RTC工业试验装置。他们顶住压力,从方案设计到装置开工并进行工业试验仅用了一年半时间。2020年1月,试验装置一次开车成功。工业试验结果显示,在相同原料和催化剂条件下,双烯收率大幅增加,焦炭产率明显降低,工业试验一举成功,为RTC技术更大规模应用提供了有力的数据支撑。

2021年6月,安庆石化300万吨/年重油催化裂解(RTC)装置主体工程建设启动。SEI迅速组建设计团队,继续攻关新反应器结构及装置超大型化等难题。

SEI团队围绕RTC技术特点,大胆构思、谨慎验证,成立CFD模拟工作小组,对沉降器近十种不同型式内构件的气体流场分布情况及颗粒浓度分布规律进行模拟计算,不断验证优化,最终首次提出全新的沉降器设计思路,顺利解决了一个个工程难题。

“超大型化装置不仅增加了设计难度,而且对配套系统产生了较大影响。为尽量削减火炬排放量,项目团队利用动态模拟结果及设计巧思,提高火炬背压,最终显著减少火炬系统的工程量。”集团公司首席专家、SEI催化裂解带头人吴雷说。

RTC装置开车成功后,以劣质重油为原料生产低碳烯烃,进一步拓宽了石油化工行业生产烯烃的来源,实现对重劣质原料的高值化利用,有效助力安庆石化转型升级。

施工设计

▲SEI设计团队在现场指导开车。 段 丹 摄

南京工程:全过程优化打造精品工程

□李 舒

南京工程公司以“打造精品工程”为目标,组建经验丰富的项目团队,深度介入“化工型炼厂关键技术及集成技术示范之一重质原料增产低碳烯烃和BTX关键技术”项目前期策划,多次与设计各专业对接,从施工角度确保设计内容的可行性,并深入材料、设备供货商制造一线,掌握供货方式及供货进度,确保设计、采购、施工各环节无缝衔接。

反应器和再生器(简称“两器”)是装置的核心设备,总重超过4500吨。南京工程公司在策划阶段就把“两器”施工作为关键路径,在总结同类装置成功经验的基础上,编制三级网络计划,细化分解阶段性重点工作,不断优化安装工序和施工工法。

由于该项目施工难度和施工体量前所未有,项目团队确定基础施工、本体模块化施工、内件安装3个课题,组建攻关小组,创新引领项目建设。

2022年11月22日,“两器”封头模块全部吊装就位,成功封顶。但封顶并不意味着结束,大量内件还需要一一就位、组焊,它们的安装质量直接关系装置的生产效率和使用寿命。

“安装难度极高,就像是给‘两器’这个心脏做支架手术。”南京工程公司项目经理苏留良说。为优化工序衔接、缩短工期,“两器”安装同时进行,搭设跳板约8000块,平铺面积逾6000平方米。

工程建设

项目钢结构逾1.7万吨,工艺管道时口超65万时,可以说工艺管道安装决定了整个项目成败。项目团队发挥一体化优势,与设计人员反复对接后,决定采用模块化施工,对19个钢结构节点进行了6轮优化设计,一个工地两个现场,集中预制、统一吊装,仅用194次就全部完成传统方案需要逾1.4万次的吊装任务,为后续施工赢得宝贵时间。

“仅模块化施工一项就节省了上百万元的费用,不仅降低了安全风险,而且焊接效率提升了300%。”南京工程公司技术负责人秦正金表示。该方案获评南京工程公司全面优化案例二等奖。项目建设期间,十余项施工获评样板工程,焊接一次合格率达98%,符合国家优质工程要求。

炼油转化工结构调整项目吊装现场。 刘安庆 摄

安庆石化:示范引领重油催化裂解应用

□杨益祥 刘安庆 卢 利 程香玲

近年来,随着电动革命、市场革命、数字革命、绿色革命深度推进,炼油产能过剩不断加剧。在集团公司统一部署下,沿江中下游几家炼化企业相继启动转型发展工作。

2017年,安庆石化炼油转化工结构调整项目“化工型炼厂关键技术及集成技术示范之一重质原料增产低碳烯烃和BTX关键技术”成功列入中国石化“十条龙”科技攻关项目。该项目通过“化零为整”“以新带老”,实现厂区集中化、装置规模化,通过优化重油加工路线,拓展加工深度,全面提升环保水平,实现结构调整转型发展产业升级。

该项目核心装置——300万吨/年重油催化裂解装置,采用的RTC技术是中国石化最新自有技术、首次工业化成功应用,标志着安庆石化成为重油催化裂解技术应用的先行者。该项目以300万吨/年重油催化裂解装置为龙头,在维持原油加工量不变的前提下,将重质原油进行深度高效转化,生产苯乙烯、聚丙烯等化工原料,扩大烯烃、芳烃等化工原料的市场供给,提高原油炼化供给结构对需求变化的适应性和灵活性,对中国石化应对炼油产能过剩、探索燃料型炼厂转型升级和高质量发展具有示范作用,有利于促进沿江地区资源优化。

该项目自2021年6月25日主体工程开工建设,于2022年12月31日建成中交。在集团公司党组的坚强领导下,在总部有关部门的指导帮助下,安庆石化与石科院、工程建设公司、南京工程公司、五建公司、十建公司等单位,发扬“一家人,一条心,一个目标,一股劲”的精神,安全、优质、高效推进项目建设,创造了18个月建成的优良纪录。

运行管理

2023年6月30日,核心装置300万吨/年重油催化裂解装置一次投料开车成功,产出合格产品,标志着安庆石化“油转化”项目全流程打通,进入全面试生产阶段。项目投产后,安庆石化最大化减产成品油、增产低碳烯烃和芳烃原料,产品结构更贴近市场需求,可有效提高基础化工原料产品的供给质量,提升企业清洁生产能力和安全环保水平,带动一批中高端合成材料、合成树脂及精细化工企业发展。同时,该装置具有良好的操作弹性,可根据市场需求选择多产化工原料或多产汽柴油。

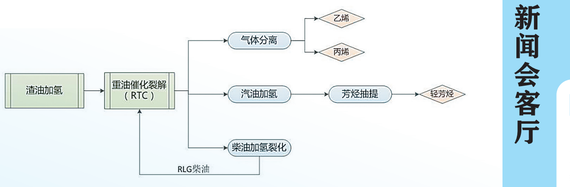
技术链接

·什么是劣质重油?

劣质重油是指密度较大,氢含量低、杂质含量高等性质质量差的原油馏分油。劣质重油通常只能作为生产燃料油(汽油、柴油)的原料,用于生产丙烯、乙烯时,不仅两者的产率较低,而且反应的过程选择性也较差,副产物干气和焦炭的产率较高,同时还会造成大量的碳排放,是业内公认难啃的“硬骨头”。

·劣质重油如何利用?

催化裂解是石化行业的核心工艺之一,通过将重质油进行高温催化裂解生产丙烯、乙烯等低碳烯烃,同时兼顾离辛烷值汽油的生产,可与蒸汽裂解、乙苯等化工装置深度集成,形成极具竞争力的炼化一体化技术。由于劣质重油存量大、成本低,通过催化裂解技术加工劣质重油生产丙烯、乙烯对保障我国石油化工行业产业链安全具有重要战略意义,并可以产生可观的经济效益。



·目前,国内外催化裂解技术存在哪些痛点?

目前,国内外已有的催化裂解技术都不同程度存在“啃不动”劣质重油的问题。我国原油资源普遍偏重、轻烃含量低,且进口的原油也以重质原油为主,劣质重油目前已经占据了我国石油化工行业加工原料的最大份额。现有技术“啃不动”劣质重油导致我国用于生产烯烃的原料短缺,严重阻碍了我国石化行业的高质量发展。

·RTC技术如何消除这些痛点?

劣质重油中多环芳烃、胶质等极性大分子较多,在活性位上形成竞争吸附,削弱了饱和烃分子与活性中心的可接近性,是导致重油催化裂解反应选择性差的根源。RTC技术提出在单位体积内提高活性中心数量以促进碳碳键断裂反应的构思,创新性开发新型快速流化床反应器,通过提高单位体积内催化剂浓度为重油裂解反应提供更多的活性位,同时强化气固接触,提高催化反应选择性。

(资料来源:中国石化石油化工科学研究院)

新闻会客厅

嘉宾

安庆石化制总经理 张业金

南京工程公司副总经理 彭付成

集团公司首席专家 吴雷

石油化工科学研究院高级专家 魏晓丽

问:RTC技术未来的发展方向是什么?

魏晓丽:一是将RTC技术的研发成果进一步拓展至其他炼化技术。RTC技术的核心创新点是石科院国际首创的新型高效快速流化床反应器,该反应器通过独特的结构设计实现了化工反应器技术原始创新,推动了传统化工学科技术突破和全球催化裂化领域技术进步。

基于新型高效快速流化床反应器的突出优势,我们也尝试将RTC技术研发的反应器应用于其他炼化技术中,发现同样可以大放异彩。以中国石化济南炼化140万吨/年催化裂化装置为例,原料密度高、残炭高,导致装置的汽油、液化气产率低,焦炭产率高,是困扰企业多年的“老大难”问题。而新型高效快速流化床反应器恰好具备提升高价值产品的产率、降低焦炭产率的特点。因此,我们大胆设想,能不能利用催化裂解技术的“药”来治催化裂化技术的“病”?经过反复研究,我们将RTC技术的反应器从生产化工原料的催化裂解技术“移植”到生产油品的催化裂化技术中,对生产装置进行改造。2021年4月16日,装置改造后一次开车成功,实现了新型高效快速流化床反应器在催化裂化装置上的首次工业化应用,标定结果显示液化气+汽油产率增加逾两个百分点,高价值产品选择性大幅提高。在不同石化技术中殊途同归的应用效果充分证明了RTC技术成果出色的适应性,未来我们将对反应器进行更多研究和升级,不断拓宽RTC技术的应用领域。

二是进一步提升技术的产品选择性。目前我国石化行业炼化一体化已向纵深发展,呈现加速向化工产品链转移的特征。未来,石科院将尝试进一步提升RTC技术产品结构的灵活性。比如,在适度范围内,使炼化企业可以灵活切换化工原料生产与油品生产。同时,我们也会在技术经济性方面开展更多创新。比如,通过改善反应过程中的氢分布,进一步降低低附加值产物产率,降低甲烷和焦炭的产率,增强炼化企业抗风险能力。

三是进一步降低生产过程中的碳排放。催化裂化是石化行业的碳排放大户,以生产化工原料为主的催化裂解装置碳排放更高,降碳潜力较大。与现有技术相比,RTC技术在碳减排方面优势突出,安庆石化原65万吨/年催化裂解装置改造后,生产过程碳减排达1.5万吨/年。未来,石科院将尝试进一步压减生产过程中的碳排放,持续推进RTC技术绿色低碳发展。

问:如何保证装置“超大型化”后的稳定性和安全性?

吴雷:首先,从技术储备看,自2010年起SEI就开始在催化裂化(解)大型化方面进行相关研发工作,包括国家“863”科技攻关项目子课题700万吨/年超大型化重油催化裂化工程等技术开发工作。2015年起,相继投产了陕西延长石油榆能化150万吨/年CPP装置(相当于500万吨/年重油催化裂化装置的设备规模)、中海油大榭石化220万吨/年DCC装置、中海油惠州炼化480万吨/年重油催化裂化装置、大庆龙油230万吨/年DCC装置等,这些装置目前均属于国内最大的流化催化装置,在这些项目中,SEI积累了丰富的工艺与工程设计和开工运行指导经验,为本项目的设计和操作指导打下了坚实的技术基础。

其次,在设备大型化方面,SEI工艺专业从大型流化床的床层稳定、气固两相分布均匀性等方面,在流场数值模拟及工程经验总结方面做了大量工作。

再次,在设备设计与制造方面,SEI采用更成熟的有限元应力分析模拟的方式,对大型化后反应器和再生器超大直径的壳体部分进行合理设计;大型化“两器”内件结构复杂,SEI采用常规设计结合有限元分析的方式,利用不同的结构形式和支撑方式,保证高温下内构件的整体稳定性及长周期操作。

最后,在制造和现场安装方面,SEI也积累了丰富的施工经验。对大直径设备,采用分段预制、现场组对的安装模式,根据需要分阶段组织壳体及内件到现场,把控不同节点,有效缩短整体制造周期,同时保证现场吊装工作的安全可靠。现有的制造单位和施工单位均有较丰富的安装制造经验,能够保证大型设备的安装周期和质量。

问:此次项目的施工设计和协调过程,为今后的工作积累了哪些经验?

彭付成:项目伊始,南京工程公司迅速成立以主要领导为总指挥的项目前期工作小组,组织具有大型装置及催化施工经验丰富的人员组建项目管理团队,为项目执行提供资源保障。

我们系统总结荆门石化280万吨/年催化裂化装置、浙江石化450万吨/年催化裂化装置等催化项目建设经验,在项目可研阶段便主动靠前,通过多轮实地勘察,深入了解项目情况,提前参与前期设计工作和可施工性研究,为项目建设顺利执行打下了基础。

我们强化过程管控,推进项目高效执行。公司前期多次组织召开专题会议,优化施工组织设计、三级进度计划、模块化施工、智慧工地建设等方案,为项目顺利实施奠定基础。执行过程中,按照重点项目联系点制度,公司主管领导、职能部门、技术专家定期到项目现场指导和蹲点服务,专项跟踪项目执行并进行风险分析和进度预警,同时聚焦关键工序、关键环节,积极与业主方、设计方沟通协调,确保设计进度、采购节点与施工要求各环节无缝衔接。

我们强化信息管理,开展技术优化创新。围绕工效提升,以及“六能六不”生产组织要求,项目团队与业主单位、设计单位、制造厂家、供应商等进行深度对接,统筹设计、设备材料到货、组装、运输和吊装等环节,提高项目模块化程度。公司组织结构设计人员以“两器”模块化和钢结构模块化为需求,与本项目的设计单位进行模块化可行性研究和技术方案策划,保证设计深度既符合工艺生产需要,又满足模块化施工要求。对“两器”分段到货、现场组焊、内件安装等进行详细策划,确保工序有效衔接;对全场近两万吨的钢结构开展设计优化,将原计划的1.4万余个散件转化为194个预制模块整体吊装,有效提高施工效率。在智慧工地方面,搭建“两器”框架安装智慧塔吊系统和覆盖全场的视频监控系统,并与公司生产调度指挥中心互联互通,实现远程监督管控。

问:项目投产对安庆石化转型有何意义?今后将如何继续规划布局?

张业金:项目投产,对中国石化应对炼油产能过剩、探索燃料型炼厂向化工型炼厂转型升级具有重要意义,为建设同类型装置提供了建设经验和数据支撑。安庆石化合理布局先进产能、淘汰落后产能,扭转了投产前以汽柴油为主打产品,化工业务规模小、品种单一、竞争力不强等不利局面,在不增加原油加工量的情况下,最大化减产成品油增产低碳烯烃和芳烃,提升炼化供给结构的适应性和灵活性,充分发挥贴近聚丙烯、苯乙烯等大宗化工产品终端市场的优势,通过转型升级,走高质量可持续发展之路。

下一步,安庆石化将围绕集团公司“一基两翼三新”产业格局,积极融入地方产业规划,在“双碳”目标框架下,持续完善并大力实施公司“十四五”发展规划和2035年远景目标纲要。一是以“规划引领”为目标主线,以深化转型、产业链延伸为抓手,积极践行低成本、绿色化、低碳化、高端化、差异化发展要求,坚持优“炼”强“化”,持续深化“油转化”“油转特”和新材料炼化一体化发展格局,压减汽柴油产量,最大限度增产优质化工原料,实现聚烯烃产品的差异化和高端化,丰富高附加值化工产品,不断提升产业链韧性和竞争力。二是进一步扩大安徽及周边区域家电、汽车、电子信息等产业需求市场,承接地方化工新材料产业优势,就地转化加工高端化工新材料,推动产业链提质扩量增效。三是按照“头部企业+中小企业”的生态模式,打造先进制造业集群,强化产业链供应链安全保障,加快建设安庆化工新材料重大新兴产业基地。