

牢记嘱托 再立新功 再创佳绩 喜迎党的二十大

原油蒸汽裂解技术的首次工业化应用成功,使得中国石化成为全球第二家成功实现该技术工业化应用的企业,对石化产业转型升级、助力实现“双碳”目标具有重要意义

# 原油制乙烯:犹如“麦子”直接做“面包”



## 专家观点

## 针对不同成分原油 持续探索应用最优解

□中国石化首席专家 王国清

长期以来,作为炼油产物的石脑油,一直是全球(尤其是原油进口国家和地区)最主要的乙烯原料。随着碳达峰、碳中和政策逐步实施,氢能产业链得到大力发展,炼油产能受到限制甚至缩减,但化工原料供应仍然吃紧。将原油直接化工利用,使其从“能源载体”转向“材料载体”,成为化工行业的发展趋势。

北化院在2010年前后就开始探索原油直接裂解的可能性。多年来,依靠在乙烯裂解技术领域的长期积累,北化院技术人员先后对高不饱和烃含量原料、宽馏分油品和重质油品等非常规原料进行了系统研究,并在此基础上开发出具有自主产权、适用于原油蒸汽裂解的完整工艺技术。此次在天津石化完成的首次工业试验,一方面验证了我们自主开发的工艺路线的可行性,另一方面指出了原油蒸汽裂解技术需要优化改进和努力的方向。

原油与传统的化工原料有本质的区别,成分更为复杂,往往含有盐、水、重金属,以及更容易结焦的胶质等。这些都可能对裂解炉炉区结焦、操作及后系统的加氢催化剂、甲烷催化剂的活性寿命产生严重的不利影响。因此,针对不同成分原油的裂解需要不断形成新的技术,开发出相适应的解决方案和工艺。

同时,作为石油化工的“龙头”,裂解装置直接为下游聚烯烃、合成橡胶等装置提供原料,而这些下游装置对原料杂质成分的兼容是固定的。原油不同于以往的裂解原料,因此我们需要关注不同原油成分的差异、原油裂解产品杂质的成分变化,从而对下游产业工艺的调整提出有价值的指导意见。此外,如何将不同成分原油的应用实现最优解,能不能用、怎么用、用到什么程度、如何充分利用、利用原油直接生产烯烃的效果到底如何,这些都需要进一步深入研究。

科技创新不会一劳永逸,要保持持续前进的状态。初步工业试验的成功,使我国在原油蒸汽裂解道路上迈出了关键的第一步。即便如此,未来依然有很多未知等着我们去探索,有很多困难等着我们去解决。这条路不会一帆风顺,但只要我们按照科学规律坚持走下去,相信原油蒸汽裂解相关技术在未来一定能成为“油转化”发展的选择之一,为中国石化打造技术先导型公司提供重要支撑。

□欧阳素芳

2021年,中国石化“十条龙”重点攻关项目“轻质原油裂解制乙烯技术开发及工业应用”在天津石化顺利完成了工业化试验,实现了原油蒸汽裂解技术国内工业化应用零的突破。

该技术由北京化工研究院和工程建设公司进行研发和工程化开发,在天津石化开展工业试验,实现了以轻质原油作为原料的裂解炉的稳定运行。标定结果显示,基于原油的单程化产品收率近50%,整体技术达到国际先进水平。该技术的工业化应用,标志着原油蒸汽直接裂解制乙烯的“卡脖子”技术取得突破性进展,对我国石化产业转型升级、助力实现“双碳”目标具有重要意义。

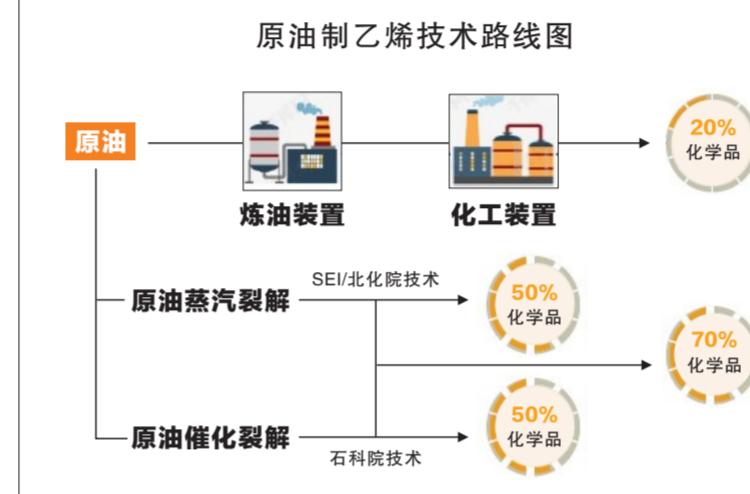
加快攻克核心技术,努力实现  
燃料驱动型向化工产品驱动型转变

近年来,在碳中和与电动革命的双重驱动下,我国能源消费结构发生巨大变化,成品油消费逐渐萎缩,炼油能力呈现结构性过剩。与此同时,与人民生活息息相关的化工产品需求增长强劲。这也促使我国石油化工产业结构开始由燃料驱动型向化工产品驱动型转变。

乙烯是化工产品的基础原料,被誉为“石化工业之母”,是衡量一个国家石油化工发展水平的重要标志之一。通常,乙烯、丙烯生产所需的原料需要经过炼油厂的原油精炼加工过程,生产流程长。而利用原油蒸汽裂解技术,只需对原油进行必要的原料预处理,就可直接进裂解炉,将适合裂解的馏分经蒸汽裂解生产乙烯、丙烯等产品,相当于麦子可以直接做成面包,省去了磨成面粉的环节。“这将有效缩短生产流程、降低生产成本,同时大幅降低能耗和碳排放。”集团公司副总工程师王子宗介绍。

但是,由于原油具有馏程宽、终馏点高、胶质与不饱和烃含量高等特点,导致原油蒸汽裂解技术在对流段预热、轻重组分分离工艺系统及控制设计、辐射段防结焦和裂解工艺控制优化等方面存在很多难点。一直以来,国际各大乙烯专利商竞相针对此问题展开攻关,但收获寥寥,截至目前,仅埃克森美孚实现该技术的工业化。

“原油蒸汽裂解技术作为‘油转化’的重要路线之一,在国内,仅有以中国石化为代表研发的技术方案接近可工业化实施。”王子宗说,“一旦攻克,将破解我国原油蒸汽裂解应用的难题。”



勇挑重担,中国石化开启原油  
裂解技术研发之路

攻克核心技术,中国石化布局已久。“十三五”期间,“轻质原油蒸汽裂解制乙烯技术方案研究”就已列入科技开发课题。在研发过程中,科研团队以问题为导向,从原油预处理、汽化、裂解反应及产品分离的全过程进行分析,重点针对对流段防结焦、轻重组分分离和宽馏分油品裂解性能展开研究,通过试验与模拟,研发了原油蒸汽裂解全过程中工艺优化,设计了相关模型。针对不同种类的原油,他们通过杂质分布研究、轻重组分分离及各组分裂解性能评价测试,优化得到了原油蒸汽裂解的关键工艺控制点,为整体技术的工程设计提供了数据支撑,同时结合成熟的扭曲片管强化传热等裂解结焦抑制技术,解决了裂解炉长周期运行中的结焦难题。

“十三”期间,“轻质原油蒸汽裂解制乙烯技术方案研究”就已列入科技开发课题。在研发过程中,科研团队以问题为导向,从原油预处理、汽化、裂解反应及产品分离的全过程进行分析,重点针对对流段防结焦、轻重组分分离和宽馏分油品裂解性能展开研究,通过试验与模拟,研发了原油蒸汽裂解全过程中工艺优化,设计了相关模型。针对不同种类的原油,他们通过杂质分布研究、轻重组分分离及各组分裂解性能评价测试,优化得到了原油蒸汽裂解的关键工艺控制点,为整体技术的工程设计提供了数据支撑,同时结合成熟的扭曲片管强化传热等裂解结焦抑制技术,解决了裂解炉长周期运行中的结焦难题。

2020年4月,在集团公司科技部的支持下,北化院、工程建设公司和天津石化等相关部门联合攻关,最终确定以天津石化6号裂解炉为基础,开展原油裂解工业试验。同年12月,“原油直接裂解制乙烯成套技术开发及工业应用”被列入中国石化“十条龙”重点攻关项目。

2021年2月25日,裂解炉装置改造启动,并于6月30日实现中交。随后,在多方努力下,试验进程快速推进:8月11日裂解炉点火升温,进行适应性投料试车;8月24日投入调和原油,裂解炉一次开车成功;9月28日完成全部试验,实现36天稳定运行,取得了工业试验的成功。

独特“中国石化方案”,成就原油  
裂解技术全球第二家

工业试验的数据表明:装置运行稳定,原油裂解工艺流程中的关键工艺参数和设备得到充分验证,不同API度的原油可直接蒸汽裂解,双烯收率明显优于预计值;原油汽化率、原油中的杂质对下游影响及炉管结焦速率可控,裂解炉运行周期控制量变化与设计相吻合。此次试验的成功,不仅获取了原油蒸汽裂解制乙烯技术的工业基础数据,而且验证了中国石化自主开发的原油蒸汽裂解工艺方案的可靠性。

经测算,采用该技术,每加工100万吨原油,可产出化学品近50万吨,其中乙烯、丙烯、轻芳烃和氢气等高附加值产品近40万吨。中国石化成为继埃克森美孚之后,全球第二家成功实现该技术工业化应用的企业。

值得高兴的是,2021年4月,石科院自主研发的原油催化裂解技术——另一条“油转化”技术路线,也在扬州实现了全球首次工业化应用,化学品收率为50%左右,使我国成为世界上原油催化裂解技术路线的领跑者。这两种技术结合,有望把原油生产的化学品总量提高到70%以上,将成为未来“油转化”经济可行的技术路线。

“下一步,中国石化将以此次工业试验为蓝本,继续开展塔河炼化百万吨原油蒸汽裂解制乙烯成套技术开发和工程设计,形成从原油直接到化工品的示范装置,为我国石化工业的转型发展描绘出新的范本。”王子宗介绍。

在未来规划的大型乙烯工程中,原油蒸汽裂解技术将被纳入重要技术比选方案,为缓解行业供需矛盾、助力企业转型升级提供有力支撑,为实现“双碳”目标作出重要贡献。



## 攻关故事

## SEI的“超常”速度

半年完成设计任务,一年半实现工业化试验

□王桂根 白飞

2021年8月25日1时,距裂解炉“吃进”原油已过去10余个小时,一项关键工艺指标还未稳定。集团公司高级专家何细藕不顾疲惫,带领现场开车团队将可能出现的各种问题又捋了一遍。“根据现场情况判断,装置稳定运行只是时间问题!”经过仔细分析和冷静判断,他给大家吃下了一颗“定心丸”。

凌晨3时,各项指标终于趋于正常,中控室里响起了一片掌声。但对于试验来说,这仅仅是开始。随后,项目团队在现场又奋战了30多个日夜,顺利完成了天津石化工业试验,取得了原油蒸汽裂解制乙烯这项“卡脖子”技术的重大进展。

早在2019年,中国石化就组织相关部门和科研单位联合攻关,开始探索原油裂解技术工业化应用。SEI(中国石化工程建设有限公司)作为CBL裂解团队的牵头单位与合作开发单位,在前期深入调研及研究基础上开展了一系列开发课题的立项和攻关。2020年,他们充分发挥催化裂化一体化优势,以工程咨询、工程研发、技术开发三者相结合的模式,组建了塔河炼化利用顺北原油100万吨/年乙烯工艺包开发团队。

技术团队将轻质原油裂解方案研究、塔河百万吨级乙烯的可行性研究、工艺包开发深度结合,在关键技术上取得了一系列突破,通过研究、方案对比与优化,确定了裂解原油的裂解炉总体技术路线及工艺流程,并完成了可供研究的100万吨/年乙烯工艺包。2021年4月,他们打破常规,利用塔河炼化原油裂解的研究成果,与天津石化等单位紧密合作,按节点完成了工业试验的可研报告、设计方案等内容。

为攻克“卡脖子”技术,SEI研发团队以问题为导向,围绕原油裂解中的8个难点进行攻关。仅针对原油闪蒸控制这一重点难题,他们就讨论研究了十余次,形成了几十条会议纪要。在试验方案上,SEI与北化院、天津石化等单位紧密配合,多次进行优化调整,尤其是投料切入原油及退出原油的方案、试验取样条件确定等。正是在这样不断推翻论证的过程中,研发团队得到了可工业化应用的最优技术方案,开车方案和试验方案,确保了原油裂解工业试验一次成功。

仅用半年就完成了所有设计工作,不到一年半就完成了原油蒸汽裂解首次工业化应用和相关工业试验任务,这“超常”的速度归功于SEI团队打破常规的创新尝试,得益于集团公司的统一协调、“十条龙”攻关参战单位的紧密协作。他们牢牢把握自主技术创新的主动权,不仅打破了一项项国外技术封锁,而且申请了6项发明专利,还有多项专利正在申请中。

## 工业试验实现“零的突破”

□边俊杰

“得知轻质原油裂解制乙烯项目将在我们的乙烯装置上进行工业试验的那一刻,心里既激动,又深感责任重大。”天津石化烯烃部乙烯车间主任王桥声音低沉却透着坚定,“一定要完成任务!”

此次工业试验首先要做的是,以乙烯解炉为基础进行工艺改造。从项目开始基础施工到完成中交的这段时间内,作为施工监护人,裂解外操苏云天每天蹲守在现场,对所有工序一一检查,巨细无遗。“早一天完成中交,就能为后续的工业试验争取更多时间”。

作为裂解段长,于振清全程参与试验装置的工艺改造。“中交后,真正留给工艺处理的时间只有20天。”他回忆道,“真的很难。”7月的天津,天气变化无常,倾盆大雨常常一下就是两三天,正赶上项目最繁忙的时候。由于原油裂解项目是改造施工,在吹扫过程中既要做到与原管线有效隔离,避免杂质进入,又要保证新、旧管线都要吹扫到位,难度不小。为此,他们根据改造流程科学规划、合理安排,依次对主管线、末端管线、细小分支管线等逐一进行分段吹扫,确保不留死角、一次开车成功。

“内操,现在开始调整温度;外操,继续盯紧外送泵压,随时汇报情况。”2021年8月24日,轻质原油裂解制乙烯项目进入最关键的工业试验阶段,操作室里所有人都屏息等待。尽管专家们对此次试验已多番论证,制定了成熟的方案,但是在具体操作过程中,王桥和同事们还是遇到了很多意想不到的困难。

闪蒸罐的液位计显示不出数字,是开车后他们遇到的最大难点。闪蒸罐是原油进入装置的第一道工序。“结合现场的情况,我们经过分析后判断,读不到液位数是因为液位太高了。液位太高,会冲击下一道工序,最严重甚至会造成试验延期。”王桥说。找到症结后,他马上组织技术人员展开“头脑风暴”,制定应对措施,通过一系列调整,终于使试验装置进入了稳定运行阶段。

