

科技自立自强之路

走进中国科学院大连化学物理研究所(以下简称大连化物所)的展馆,首先映入眼帘的是一排醒目的大字——锐意创新、协力攻坚、严谨治学、追求一流。

在中国科学院成立75周年之际,大连化物所亦迈入第75个春秋。对于“协力攻坚”4个字,大连化物所的每个人都颇有感触,它激励着所内一代代科技工作者,创造出多项具有划时代意义的成果。甲醇制烯烃(DMTO)技术就是其中之一。

烯烃,听起来陌生,但在日常生活中随处可见,其广泛应用于工业、农业等领域。在化学工业领域,生产烯烃的主流方法一直是以石油为原料。然而,我国富煤贫油少气的基本国情,决定了烯烃生产必须另辟蹊径。

为了攻克这一难题,大连化物所勇敢地站了出来,历经三代人,前后40年,在困境中坚守,在逆境中奋进,“协力攻坚”,终于从实验室走向现代化工厂,实现

了世界上煤制烯烃工业化“零”的突破,开创了我国煤制烯烃新兴战略产业并引领其快速发展。

从四处找人投资的“毛头小子”到煤制烯烃技术带头人,大连化物所所长、中国工程院院士刘中民既是见证者,也是亲历者,其间每个细节他都记忆犹新。

“无论什么时候提起DMTO技术,我们团队都是自豪的。能够参与其中,见证技术的发展,以及工业化和产业的兴起,我们倍感荣幸。”刘中民说。

煤制烯烃工业化:从“零”的突破迈向新兴战略产业

■本报见习记者 孙丹宁

1 “两条腿走路”

上世纪70年代,世界舞台风云变幻。国际政治格局从昔日的两极对峙,向多极化方向演变。全球经济体系也连续遭受两次石油危机的沉重打击。

被誉为“工业血液”的石油,价格一路扶摇直上,从每桶1.2美元攀升至近40美元,造成全球范围内的大通胀。

石油产品主要分为两类:一类是用作能源的油品,另一类是塑料等各种有机产品。作为塑料的一个重要类型,聚烯烃的主要单体成分是烯烃,其主要生产技术路线一直以来完全依靠石油化工。

这引发了许多国家对烯烃原料来源可持续性的担忧,并开始逐步探索煤炭替代石油的可行性。许多科学家认为,以煤炭或天然气为原料合成甲醇,再用甲醇制取烯烃是行之有效的方法,并相继启动了以煤代油的科技攻关计划,希望在这场能源变革中抢占先机。

改革开放后,中国科学家也在积极探索,开始攻坚相关科技难题。1981年,甲醇制取烯烃被列为中国科学院的重点课题,大连化物所承担了这一重任。

煤制烯烃一般分“两步走”,第一步是以煤为原料合成甲醇,第二步是通过甲醇制取烯烃。此时,第一步已经有了相对成熟的工业技术,而甲醇制烯烃却停留在探索阶段,在世界范围内都极具挑战。

为了保障国家能源安全,大连化物所下决心迎难而上,并迅速调动以陈国权 and 梁娟两位研究员为组长的两个研究小组进行联合攻关。

1983年,刚刚大学毕业的刘中民怀揣着对科学的憧憬,加入研究团队。他要做的,就是跟随前辈的研究方向,继续甲醇制烯烃反应基础研究。

将甲醇转化为烯烃,首先需要解决的难题是研制适用的催化剂。初期研究主要集中在ZSM-5分子筛催化剂的研制和固定床工艺技术的开发上,大连化物所在上述小组的基础上成立了更大的攻关团队,于1993年完成了中试试验。

随着研究的进展,新催化剂探索取得了突破。采用小孔SAPO-34分子筛催化剂,有可能发展新一代更加高效的技术,并应用于流化床工艺。1991年,在国家科技项目的支持下,大连化物所正式开展该技术的攻关。此时,刘中民刚博士毕业,在新组长蔡光宇研究员的带领下,负责催化剂研制工作。

SAPO-34分子筛催化剂的研究随即驶入“快车道”。试验证明,SAPO-34分子筛催化剂可大幅提高烯烃产率,更具稳定性,在工业应用前景方面相较于ZSM-5更好。高温水蒸气存在条件下SAPO-34分子筛的稳定性是决定性因素。

团队在合成出纯SAPO-34分子筛后,想到可以使用X光衍射的方法,观察其在脱水过程中骨架结构发生的变化。随后他们惊奇地发现,SAPO-34的骨架结构在脱水后实现了“可逆化”——竟然复原了,这表明了该分子筛的稳定性,证明其具有工业应用的潜力。

1995年,团队采用自主首创的合成气经由二甲醚制烯烃新工艺方法,完成了百吨级中试试验。该成果获得中国科学院科技进步奖特等奖以及国家“八五”重大科技成果奖。

这一年,刘中民成为团队负责人。他对于成果的评价深有感触:“那年我们申请的是中国科学院科技进步奖一等奖,却给我们颁发了特等奖,这在以往的科技评奖中是不多见的,可见评委会对我们成果的高度认可。”

2 降价的石油

正当一切稳步前进时,国际形势发生了翻天覆地的变化。“1997年,国际上每桶原油价格降到了10美元左右。假如还是采用甲醇制烯烃生产工艺,相比之下成本太高。”刘中民回忆道。

找企业合作做工业性试验,是团队当时最迫切的需求。但煤制烯烃面临的局面,让大多数企业对煤炭替代石油生产烯烃项目没有积极性,团队申请的后续科技攻关项目又因相关机构调整失去了申请渠道。

他们已经记不清究竟去了多少个地方,联系了多少家公司,四川、甘肃、黑龙江、上海……只要有希望就全国各地跑,盼望与企业联合开发,只求合作,不求回报,但最终都毫无结果。

和一家大型国企的合作洽谈,是最接近成功的一次。通过补充大量实验数据和可行性报告,双方终于有了合作的目标。但是由于企业管理人员的调整和对技术的不同认知,项目最终夭折了。公司相关技术负责人得知消息后流着泪拍桌子,研究团队的每个人都深感惋惜。

科研资金的短缺,让团队的发展陷入更大的困境。以煤代油的努力,应该继续吗?

刘中民经过深思熟虑,认为合成气制烯烃技术在当时的定位已经从“战略急需”变成“战略储备”,技术推广和工业性试验将是一场持久战,但是无论面临多大困难都绝对不能放弃。“这就像是一场考验耐力的马拉松。”

为了渡过经费捉襟见肘的难关,所里老专家们给刘中民出了个点子——向院里“借”点钱。

刘中民抓住中国科学院领导到大连化物所考察的机会,当面汇报了项目的进展和困境,成功拿到100万元的特别资助经费。1998年,正是靠着这100万元,刘中民带领团队进一步研究了甲醇制烯烃过程的反应机理,完善了催化剂放大和工艺技术,找到了进一步放大试验的机会。



科研团队在神华包头项目开工现场。

3 睡不安稳的700多天

2004年,国际油价回升,甲醇制烯烃的发展再一次迎来机遇。陕西省煤炭资源丰富,适合发展煤代油产业,也一直在积极寻求相关技术合作。当地最开始想找一家国外公司,但这家公司拥有的相关技术还没经过工业性试验,提出的技术使用费却极高。陕西省政府领导了解到大连化物所这一技术路线达到世界领先水平,便当机立断决定由陕西国有企业出资,和大连化物所、洛阳石化工程公司共同完成工业性试验,推进工业化进程。

当年8月,总投资8610万元、年处理甲醇能力1.67万吨的工业性试验装置,在陕西省华县(现渭南市华州区)开工建设。团队在化工厂“安营扎寨”,开始了至关重要的工业性试验。

“说实话,当时心里很忐忑。”对于20年前的场景,刘中民至今仍历历在目,他回忆道,“DMTO的工业化是对技术的首次实践检验,是否成功,关系到中国煤制烯烃新兴战略产业能否顺利健康发展,关系到大连化物所的科研声誉,这必然会产生广泛的国际影响。”

建设地点选择在化肥厂的一个角落里,邻近污水处理池,试验装置建得很好,但周边基础条件比较简陋。宿舍窗户外面的装置上有一个火炬,如果持续燃烧就说明装置运行正常。刘中民总是睡一会儿就起床看看火炬亮不亮,确认没事才敢躺下接着睡,“火炬要是不亮,就说明出问题了,得赶紧解决。另外,附近经常爆破开矿,放炮的声音也令人提心吊胆。”

作为技术总负责人,刘中民最担心的是安全问题。“100多人,36米高的装置,哪一个环节都不能出问题。”

团队里有细致的分工,有人负责分析、调试仪器,确保分析数据及时、准确;有人负责工艺,每天要在几十米高的装置上爬几个来回,检查设备、管理流程。正值隆冬时节,加之装置耸立在开阔地带,负责工艺的同志攀上爬下,对凛冽的寒风有了切身体会,但他们很快对反应器、操作阀等成百上千个控制点形成了刻印式的记忆,对下一步的试验也更加充满信心。

就这样,经过700多个日日夜夜的奋战操劳,他们终于迎来了激动人心的时刻。2006年5月,甲醇制烯烃工业性试验宣告成功,取得了设计建设大型装置的可靠数据。

随后,团队和神华集团达成合作意向,在包头建设一个百万吨级的工业装置,成为煤制烯烃工业化的首个“实践者”。

2010年,神华包头180万吨/年甲醇制烯烃工业装置投料试车一次成功,在世界上首次实现煤制烯烃工业化。

成功的消息立刻传到了时任大连化物所所长张涛那里,他临时中断正在举行的大连化物所战略研讨会,当场宣读这一喜讯,全场响起了热烈的掌声。

在随后召开的庆祝会上,团队许多同志眼含泪花,从工业性试验现场转战工业化现场,历经6年的风雨洗礼,背后的辛酸苦辣,每个人都深知其味……

2011年1月,大连化物所的DMTO技术正式进入商业化运营阶段。由此,我国率先实现了甲醇制烯烃核心技术和工业应用“零”的突破。



▲世界首套万吨级甲醇制烯烃技术工业性试验装置。
▶神华包头180万吨煤基甲醇制60万吨烯烃项目。
大连化物所供图

4 “接力棒”还在传递

“这是国家对煤化工方向的认可,对我们取得技术进展的认可,国家需要的事情,我们必须坚持做下去。”刘中民难掩激动。

2020年,DMTO第三代技术研发取得重大突破,由于采用了新一代催化剂,以及对反应器和工艺过程的创新设计,单套工业装置处理甲醇数量翻倍,达到每年360万吨。随后,该成果在内蒙古鄂尔多斯、宁夏宁东成功转化,推动煤炭资源由“燃料型”向“原料型”转变,产品由“一般加工”向“高端制造”转变,促进了区域产业结构优化。

回想起DMTO团队走过的历程,刘中民感慨万千。四十年弹指一挥间,漫长而艰辛的研发和应用历程,融入了大连化物所三代科技人员的不懈追求。

DMTO技术的成功,是大连化物所内

外联合攻关的结果,体现了政产学研结合的优势。伴随DMTO的发展,大连化物所也在探索科研组织的新模式——成立了所内第一个建制化的“组群”。组群这样的“大团队”着重于承担国家重大科技任务,目的是推动基础研究和应用研究的“精诚合作”、“无缝衔接”与技术的可持续发展,集中力量办大事。这种全新的探索促进了基础研究向技术研究和产业化阶段的快速迈进,也培养了一批着眼于“应用”的基础性研究人才和工程技术人员。

一批年轻的研究人员也加入了刘中民团队。他们认为,团队最大的特点是发挥各自专长拧成一股绳。作为开发第三代DMTO技术的“年青一代”,他们始终坚信技术只有持续进步,才能引领行业发展,而他们需要做的,除了传承,还有创新。

许多企业与大连化物所因DMTO

“结缘”,陕西延长石油集团就是其中之一。自合作以来,两家单位联合取得了一系列科技成果,建成了一批工业示范项目,实现了科研成果高效转化。企业提需求—研究所研发技术—合作进行成果转化的产学研合作模式,真正实现了人、财、物等创新要素的集聚。

截至目前,大连化物所甲醇制烯烃系列技术已签订32套装置的技术实施许可合同,烯烃产能达每年2160万吨,占全国当前烯烃产能的三分之一;已投产17套工业装置,烯烃产能每年超过1000万吨。

在刘中民看来,DMTO的发展前景远不止于此。他相信,随着经济社会的发展,国家对烯烃的需求会进一步扩大。团队年轻成员接过“接力棒”后,将会持续优化技术路线,开展大规模工业化应用,进一步实现煤炭资源清洁高效利用,缓解石油资源供应紧张局面,推动我国煤化工产业向高端化、多元化、低碳化发展,为我国能源化工产业升级及“双碳”目标实现贡献更大力量。