

# 30多年不懈努力 甲醇制烯烃终变产业 煤部分替代石油成现实 国家技术发明一等奖为何花落中科院大连化物所

本报记者 李大庆 通讯员 关佳宁

2015年1月9日。北京。全国科技奖励大会在人民大会堂隆重举行。

党和国家领导人向获得2014年度国家各项科技奖的获奖人员颁发证书。伴随着欢快的乐曲声,中国科学院大连化学物理研究所(下称大连化物所)副所长刘中民研究员走上主席台,代表甲醇制烯烃技术项目组从中共中央总书记、国家主席习近平手中接过国家技术发明一等奖的奖状。此时,人民大会堂里响起了热烈的掌声。

刘中民团队和他的前辈们,经过30多年的努力,终于使煤炭经甲醇制低烯烃技术在中国落地生根,开花结果。

一组数字或许能够说明甲醇制烯烃技术对中国经济发展所起的巨大作用:自这项技术在内蒙古包头成功投产以来,已先后在国内建成或开工建设了十几套大型工业装置,总共解决17000人的就业问题;预计为国家新增产值1200亿元,可拉动上下游投资约2500亿元。而隐藏在这组数字背后的事实更具战略意义:我国已从单纯依靠石油制烯烃的石化工业的单一模式,迈入包括有煤炭经甲醇制烯烃的煤化工、石化并举的工业生产模式。这项成果对我国实施石油替代战略,走经济可持续发展道路和能源安全都具有重大意义。

煤炭经甲醇制烯烃的研究,历经30多年才成功实现技术转化。其艰辛、困苦是常人难以理解的。

## 对于“目前没用”的超前研究,大连化物所给予支持

上世纪70年代,世界爆发了两次石油危机。石油价格的大幅攀升,促使包括美国、日本在内的发达国家考虑以煤炭取代石油和石化产品,并相继启动了以煤代油的科技攻关计划。

处于文革期间的中国,80年代走上改革开放之路的中国科学家们振奋精神,开始寻找科技难题,尝试攻关。大连化物所的研究人员了解到国际上有人在石油危机后研究煤制烯烃,他们认为未来的中国早晚也会碰到相同的问题,就开始研究煤代油的技术环节,这完全属于一种超前研究。而对这一超前研究,中科院和大连化物所领导也给予支持,在当时汇集了以陈国权和刘中民为组长的两个研究组联合进行甲醇制烯烃技术攻关。

刘中民就是在这一时期考上大连化物所研究生的,并跟随着他的导师进入了煤炭经甲醇制烯烃研究领域的。

乙烯、丙烯等低烯烃是生产塑料、含氧化合物、精细化学品等产品的有机化工原料,也是现代化学工业的基石。在传统技术中,烯烃生产严重地依赖石油资源。而科学家们想到的用煤炭替代石油生产烯烃的技术,主要是用煤炭或者天然气首先制成合成气,再将合成气制成甲醇,然后用甲醇制成烯烃。

在这个技术链条中,只有甲醇→烯烃(乙烯丙烯)在国际上没有实现工业生产,其他技

术环节都有比较成熟的生产工艺。中国人要想走通煤制烯烃的技术路线,就必须攻下甲醇制烯烃这一技术链条上缺失的环节。

大连化物所的研究人员就先从实验室开始做起。他们首先要解决的技术难题是催化剂,有了催化剂才能实现甲醇向烯烃的转化。

失败,研究;再失败,再研究。经过无数次的失败,陈国权和刘中民研究小组在国内首先合成了ZSM-5沸石分子筛,并对其合成规律、反应性能调变、改性及表征等进行了系统的研究工作,为实现甲醇制烯烃的战略目标迈出了可喜的第一步。经过几年的努力,研究人员终于研制出了甲醇制烯烃的固定床催化剂,并于1985年完成了实验室小试。

煤制烯烃技术最终也引起了国家有关部门的重视。国家“七五”计划期间,原国家计委科技司和中国科学院决定,在大连化物所建立甲醇制低烯烃的中试基地。当时成立了以王公愚为组长、蔡光宇和应慕良为副组长的中试攻关小组。

到1989年底,大连化物所甲醇制烯烃攻关小组先后完成了3吨/年规模沸石放大合成及4—5吨/年规模的裂解催化剂放大设备,以及日处理量1吨甲醇规模的甲醇制烯烃固定床反应系统和全部外围设备等,并在此基础上于1991年4月完成了中试运转。

1995年,在蔡光宇研究员的带领下,大连化物所采用国际首创的“合成气经二甲醚制低烯烃新工艺方法”,完成了流化床甲醇制烯烃的中试运转,创造了新的世界第一。他们研制的适合两段反应的催化剂及流化反应工艺,被专家们确认为达到了国际先进水平。1996年,这一成果获得了中科院的科技进步奖一等奖,以及原国家计委、国家科委与财政部联合颁发的“八五”重大科技成果奖。

## 他晚上经常睡不着觉。当听到“啜”的一声响时,他会从床上弹起来

上世纪90年代中期,刘中民成为甲醇制烯烃技术研究的学术带头人。他的历史责任就是在小试、中试的基础上,继续改进并推动这项研究成果的工业示范及规模生产。

大背景依然不利,因为每桶原油还在10美元左右。假如企业采用了甲醇制烯烃生产工艺,并且产出了成品,他们根本就挣不到钱。与石油制烯烃相比,煤炭制烯烃的工艺成本太高!国家和企业对煤炭替代石油生产烯烃项目的积极性也不高,这让刘中民深感作为一个团队领导人的艰辛。

更为不幸的是,刘中民团队将甲醇制烯烃技术申请国家“九五”攻关项目时,又被否掉了。他的团队等着他找到项目资金维持“生计”,煤炭替代石油的技术等待着他们来继续发扬光大,导师和前辈们的事业不能断送在他的手里……

美国一家公司在了解情况后希望与大连化物所团队合作,共同开发甲醇制烯烃技



2010年8月神华包头项目开工现场。前排从左至右刘中民(中石化洛阳工程有限公司副总工程师)、陈俊武(中石化洛阳工程有限公司,院士)、刘中民(大连化物所研究员)、袁如中(新兴能源科技公司原董事长)。

术。这在今天看来似乎是一件应当鼓励的、再平常不过的事了,但在当时,对于这样的项目与外国公司合作,没有人敢批准。

国际上的路不通,就重点在国内寻求突破。刘中民在全国范围内找资金。“那时我南海北四处寻找实验经费,盼望与李大的联合开发,只求合作,不求回报。”但是,没有一家企业看得上这项在未来可能领导全球的技术,也没有一位领导“可怜可怜”这位怀揣绝技的中科院的研究员。

无奈,刘中民团队只能蛰伏,等待时机。1998年8月,中科院院长路甬祥到大连化物所视察。借路院长与科研人员座谈之机,刘中民将准备好的报告,递到了路院长手里,希望中科院能够继续支持这项技术的研究。

报告递交上去了,已经“被拒绝”为家常便饭的刘中民本没抱太大希望。但不久,中科院发了通知,由院里资助刘中民团队100万元经费,用于甲醇制烯烃的进一步研究。

犹如雪中送炭。刘中民用这100万元资金,对甲醇制烯烃的技术环节进一步完善,将生产工艺又做了更细致的研究。

刘中民带领团队持续攻关,并取得了重大突破:他们把1995年中试时采用的“合成气经二甲醚制烯烃工艺”改为“合成气经甲醇制烯烃工艺”。虽然两者的原理相近,但甲醇生产工艺更加成熟,能够制烯烃的规模也更大。这为课题组未来“出山”奠定了良好的基础。

2004年,机遇来到了刘中民面前。建设并运行一套甲醇制烯烃的工业化试验装置,少则五六千万元,多则上亿元。面对这种

巨额的投入,陕西省向大连化物所抛来了“橄榄枝”。陕西省矿产资源丰富。多年来,省领导一直想利用先进的煤化工技术,通过发展新型煤化工产业,实现煤的就近转化、高效转化,以期将全省的资源优势转变为经济优势、产业优势。

在得知大连化物所已经开发出具有世界领先水平的甲醇制烯烃的实验室中试技术,并正在寻找风险投资人和合作伙伴的消息后,陕西省决定与大连化物所合作开展工业化试验。随后,陕西省专门成立了新兴煤化工科技发展有限公司,与大连化物所、中石化洛阳石化工程公司合作,开发甲醇制烯烃工业化技术。

2004年5月2日,总投资8610万元、年处理甲醇能力1.67万吨的大连化物所甲醇制烯烃技术(简称DMTO)工业化试验装置,在陕西省华县开工建设。刘中民团队在华县化工厂安营扎寨,投入了至关重要的大型试验。

甲醇制烯烃,技术上已没有什么问题,工艺上也基本走通了。作为技术总负责人,刘中民最担心的是人员安全、生产安全和环保安全。“几个单位的100多人,36米高的大型装置,哪一个环节出了问题,以后就再没机会做了。”

700多个日日夜夜,刘中民几乎每天晚上都睡不踏实,过一会儿就爬起来看看装置上面的火炬,如果火炬亮着就说明没出事。华县化工厂附近有五个采石场,经常放炮,有时候半夜听到“啜”的一声,刘中民会从床上弹起来,他真怕装置出事啊。

在整个工业化试验期间,刘中民团队先后有20多人在华县试验现场奋战了8个多月,其中10几人长期坚守在那里,每天都到现场和操作人员、技术人员一起观察试验运行情况,发现问题及时解决。

2006年5月,DMTO工业化试验宣告成功,每天可以转化甲醇75吨,而国外类似装置一天转化还不到1吨。

DMTO技术的研发成功,标志着大连化物所等技术研发单位,突破了小孔磷酸铝分子筛合成技术,研制成功甲醇制烯烃流化反应专用催化剂;发明了甲醇制烯烃密相循环流化床反应工艺,在世界首套万吨级工业化试验装置上验证了其先进性和可靠性;发明了DMTO技术大型反应—再生系统及工艺调控方法,形成了成套技术,为建设百万吨级DMTO大型工业化示范装置提供了技术基础。

对于这个全球首套万吨级DMTO工业化试验装置,中国石化和化学工业协会组织了科技成果鉴定。鉴定专家们认为:该工业化试验装置是具有自主知识产权的创新技术,装置运行稳定、安全可靠,技术指标先进,是目前世界上唯一的万吨级甲醇制低烯烃的工业化试验装置,装置规模和技术指标达到了世界领先水平。

150多亿元建设DMTO装置,这是刘中民团队以前想都不敢想的

陕西华县DMTO项目的成功是工业化

试验装置的成功,它引起了国家发改委的关注。2006年12月,国家发改委核准中国神华集团投资150亿元在包头建设DMTO项目。

这里还有一个小故事。当初,神华包头项目在遴选技术方案时,最开始选定的是引进国外某公司的万吨级甲醇制烯烃技术。但在正式投建时,神华又改变了原先的技术方案,换成了采用大连化物所DMTO技术。

2007年9月17日,大连化物所、陕西新兴能源科技有限公司、中石化洛阳石化工程公司三方代表与神华集团在北京签订了60万吨/年甲醇制低烯烃(DMTO)技术许可合同。这是世界首套煤制烯烃技术许可合同,标志着DMTO技术从前期的万吨级工业化试验,向日后的百万吨级工业化生产迈出关键一步。

投资150多亿元,这是刘中民团队以前连想都不敢想的天文数字。一个新的战场开辟出来了。刘中民带领团队转战包头,投入到世界首套DMTO工业化示范装置的建设中。

煤制烯烃60万吨/年,投资150多亿。这个巨大的项目受到政府的高度重视。2009年,由工信部牵头,科技部、财政部、国土资源部、环境保护部等15个部委(单位)联合成立协调指导小组,保障了该项目的顺利实施。

2010年8月8日,DMTO装置项目在包头投产。这次开工非常顺利,DMTO装置运行平稳,甲醇单程转化率100.00%,乙烯+丙烯选择性大于80%,反应结果超过了预期指标。

当包头装置投料试车一次成功时,刘中民团队的研究人员激动得抱头痛哭。多年的艰辛,巨大的压力,成功的喜悦,汇成了激动的泪水。片刻,刘中民向大连化物所所长张涛发去一条短信,告之试车成功。而远在大连的张涛正在所里主持全体研究人员参加的发展战略研讨会。张涛让会议暂停了一会儿,把这一好消息与大家分享。全体与会人员起立,用最热烈的掌声对这项成果表示了祝贺。

随着神华包头项目正式进入商业化运营,我国率先实现了甲醇制烯烃的核心技术及工业应用“零”的突破。

犹如一场春雨,DMTO技术催生了我国煤化工产业的迅速发展。目前,在DMTO技术的推广方面,已累计实现技术实施许可20套大型工业装置(包括采用DMTO第二代技术,其甲醇制烯烃的转化效率比第一代技术又提高了10%以上),烯烃总产能为1126万吨/年。这些装置的建设预计可拉动上下游投资约2500亿元,新增产值1200亿元,实现新增就业约17000人。除神华包头项目外,2013年1月宁波不元年产60万吨烯烃DMTO装置也成功投产。

DMTO技术为企业带来的利润是丰厚的。神华包头煤制烯烃装置运行到2014年底,新增销售额235亿元,新增利润43.4亿元,新增税收18.4亿元;宁波不元装置在运行不到10个月时,全厂净利润就达到4.3亿元。DMTO的技术开发方获得直接经济效益超过8亿元。

2014年,DMTO工业装置进入开工的高

## 大连化物所两项成果获2014年度国家自然科学二等奖

态一态分子反应动力学研究

该项目主要由中科院大连化物所张东辉、杨学明、戴东旭、肖春雷、孙志刚等人完成,属于分子反应动力学研究前沿领域,是物理化学学科的基础前沿课题。该项目利用自行研制的具有世界领先水平的高分辨交叉分子束仪器,理论上发展量子反应动力学新理论方法和构造高精度势能面,并通过实验与理论的密切结合,在态一态反应动力学研究方面取得了系列性的重要研究成果:首次观测到化学反应中的分波共振;发现玻恩-奥本海默近似在氟加氧反应中完全失效;揭示出氧原子与氢分子反应中玻恩-奥本海默近似的适用性;系统研究了水分子光解过程中非绝热效应;发现了O+O<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>O反应中的非统计现象等。相关成果发表在Science(3篇)、PNAS和JACS等杂志上。项目研究不仅提升了对化学反应本质机理的认识,也使我国在该领域研究中处于国际领先地位。

## 直接醇类燃料电池电催化剂材料应用基础研究

该项目主要由中科院大连化物所孙公权、辛勤、姜鲁华、王素力、李焕巧等人完成,属于材料、化学交叉学科领域。项目围绕醇类燃料电池电催化剂毒化、甲醇渗透等国际难题,建立了高负载、高分散纳米电催化剂粒径、合金度、晶面等的控制制备方法;提出Pt与Me-Ox(Me=Sn,Ru)协同催化乙醚电催化机理;发现Pt纳米合金电催化剂对阴极氧还原反应的电子效应和耐醇行为本质;构筑了以碳纳米管为载体新型表面功能电催化材料体系。上述发现有力促进了醇类燃料电池的应用研究,丰富了纳米材料、化学、催化化学等学科的理论体系,引领和带动了我国相关行业的发展。该项目8篇代表论文共被他引1766次,单篇最高他引631次。该课题研究成果曾获2013年度辽宁省自然科学一等奖。

潮期,全年已有5套工业装置相继投产运行,分别是延长靖边、中煤榆林、宁夏宝丰、山东神达DMTO,以及蒲城能化(第二代技术)等工业装置,新增烯烃产能280万吨/年,新增经济效益超过60亿元。已投产的7套DMTO装置的烯烃总产能已达到400万吨/年,带动了我国甲醇制烯烃战略性新兴产业的快速形成。

DMTO项目还形成了一系列具有我国自主知识产权的专利技术,目前已授权的发明专利有63件,其中国内34件,国外29件。有11件核心专利分别进入到10个国家和地区。

正是由于DMTO技术的先进性和实用性,工业和信息化部在总结“原材料工业‘十二五’发展成就”中指出,大连化物所DMTO技术在世界煤化工领域处于技术领先地位;胡锦涛总书记在2012年两院院士大会讲话中,也将“甲醇制烯烃实现工业化应用”列为两年来我国科技发展新的成就。

## 转化一代,开发一代,前瞻一代。故事刚刚开始

已经初战告捷的刘中民团队并没有停歇。如今他们正积极组织DMTO第三代技术,拟使DMTO单套装置处理能力从现有的180万吨/年的水平提高到300万吨/年以上,并且单程甲醇转化率和烯烃选择性不低于第二代技术。目前催化剂研制工作、反应工艺的实验室中试放大工作均已完成。

“转化一代,开发一代,前瞻一代。”这是大连化物所对DMTO研究的具体要求。

近年来,中科院组织各研究所分别制定了“一三五规划”,即“一个定位,三个重大突破,五个重点培育方向”。

大连化物所将“一个定位确立为:以能源研究为主导。在三个重大突破中,DMTO等煤代油新技术被列为第一个突破。目标是:以DMTO技术为龙头,转化一代,开发一代,前瞻一代;突破一批煤代油关键技术,完成煤制丙烯、乙醇、高碳醇以及天然气等一批工业性试验,推向产业化;初步形成以甲醇制烯烃为龙头的煤代油新兴战略产业。

DMTO的故事刚刚开始。

## 专家对甲醇制烯烃技术的评价

胡廷林(中国石油和化学工业联合会副秘书长、煤化工专委会秘书长):

我国能源结构以煤为主,煤炭长期作为我国基础能源和重要化工原料的地位难以改变。目前煤炭主要用于直接燃烧,能量利用率不高,烟尘、二氧化硫、氮氧化物等排放量大,是引起雾霾和PM2.5的主要因素。现代煤化工以洁净煤技术为基础,是煤炭高效清洁转化利用的重要方向。以DMTO项目为代表的现代煤化工无疑可为国民经济和社会发展提供重要支撑,也是保障国家能源安全的需要。甲醇制低烯烃技术的突破及其产业化,标志着我国在该领域已进入世界领先水平。

杨柏龄(中科院原副院长):

一直以来,生产乙烯、丙烯需要消耗大量石油。中科院大连化物所研究开发了甲醇制低烯烃的工业化新技术,是以煤或天然气为原料,经由甲醇生产乙烯、丙烯的大型化工过程,是新型煤化工的重大突破。利用我国相对优势的煤资源部分替代石油资源,既符合我国贫油、少气、富煤的资源禀赋特

点,也成为我国实现能源多元化,保障能源战略安全的重要举措。

大连化物所历来重视面向经济建设重大科技项目,承担国家重大科技攻关任务,促进高技术产业发展。经过几代研究人员的共同努力,几十年的科学技术积累,克服了许多困难和障碍,最终与洛阳设计院、神华集团合作完成了世界第一个甲醇制烯烃的工业化项目,是我国具有自主知识产权的大型化工过程,无疑是我国科技界、高技术产业界的骄傲。

张国宝(国家发改委副主任、国家能源局原局长):

2006年3月10日,温家宝总理到全国人大辽宁代表团听取代表的意见。我作为国家发改委的部门负责人陪同前往。会上,大连化物所所长包信和谈到该所已完成了煤制烯烃的研究。会后我请他到办公室做详细介绍。

后来,我联合大连化物所和我国最有实力的煤炭公司——神华公司合作。很快,煤制烯烃技术在包头落户,由神华公司投资建

成了年产60万吨烯烃规模的工业化生产装置,成为世界上第一套工业化煤制烯烃的装置。建成以来一直运行正常,取得了良好的经济效益。包头60万吨烯烃项目做了很好的示范。大连化物所已向若干家企业转让了技术,其中已有三到四套建成投产,也同样取得了良好的经济效益。我国具有自主知识产权的煤制烯烃技术开拓了一个新的乙烯原料路线,已经对传统的石油制烯烃形成了挑战,对石油替代工作做出了贡献,有利于国家的能源安全。

王贤清(中油集团咨询中心专家委员会国内著名石化专家):

作为现场考核的专家组长,我先后受托,于2006年6月参加了陕西新兴煤化工公司1.5万吨/年DMTO工业化试验装置72小时现场考核,后又对神华包头煤制烯烃示范工程进行全过程72小时现场考核。考核结果证明,DMTO工艺科学合理,工程放大可靠,运行安全、平稳,技术指标先进,经济效益显著。后经鉴定确认,该技术处于国际领先水平。

DMTO工业上的成功应用开启了“甲醇化工”的新时代,不仅为新型煤化工开创了新的一页,而且也是对传统以石油为主要原料的石化产业的一场革命。



神华包头180万吨煤基甲醇制60万吨烯烃项目



宁波不元180万吨甲醇制40万吨聚丙烯、50万吨乙二醇项目



延长靖边DMTO装置180万吨甲醇制60万吨烯烃项目



中煤榆林180万吨甲醇制60万吨烯烃项目