

科技攻关带头人系列报道 

石化“急先锋”孙长庚：敲开乙烯国产化大门

本报记者 李哲 北京报道

“自从进了项目组，压力就一直比较大。”回忆起15年前刚参与首套国产乙烯装置设计工作时，中国寰球工程有限公司(以下简称“寰球公司”)北京分公司工艺部主任孙长庚提到最多的一个词便是压力。

作为现代石化行业的“桥梁”，乙烯的原料广、副产品多，同时性能活泼、衍生产品丰富，可以用于生产衣

时尚“奶奶灰” 通过乙烯可以把整个石油化工产业联系起来。

初见孙长庚，引人注目的除了闪烁着光芒的眼神，还有一头醒目的“奶奶灰”，这与他43岁的年龄似乎并不相符。

“最初参与国产乙烯项目设计的时候，心里没有底，我都不知道自己能不能做出来。”回忆起参与乙烯国产化设计之时，孙长庚感叹道，“感觉特别紧张，压力特别大，睡不着觉。只有一个问题解决以后，才会感觉到困。”

让孙长庚倍感压力的便是乙烯。这个似乎与普通人生活相距很远的物质，与我国化工产业乃至老百姓的日常生活息息相关。

“我们知道做馒头、包子、面条要用面粉。在石化领域，乙烯就好比面粉，它的衍生品覆盖工业、农业、国防、交通和人民生活衣食住行的方方面面，地位和钢铁同样重要。”孙长庚向《中国经营报》记者说道。

如今，现代化工经过长期的发展，乙烯逐渐扮演起桥梁作用。孙长庚表示：“通过乙烯可以把整个石油化工产业联系起来。”这进一步巩固了乙烯在现代化工产业中的核心

食住行的日常生活用品，以及飞机、高铁等零部件。乙烯及其衍生品占全部石化产品的75%以上。因此，国际上将乙烯产量作为衡量一个国家石化工业发展水平的重要标志。

2008年，我国已成为世界第二大乙烯消费国，但60%以上的乙烯产品需要依靠进口。当年，中国石油设立乙烯国产化重大科技专项，作为中国石油全资子公司，这副担子便落在了孙长庚所在的寰球公司。15年后，

地位。据统计，乙烯衍生品在化工产品中的占比可以达到75%。

特别是石脑油制乙烯的过程，其出产的产品非常丰富，包括氢气、乙烯、丙烯、丁二烯、汽油等一系列产品。因此，乙烯可以延伸出很多产业。建设一套乙烯装置，就能形成一个庞大的产业链。

我国的乙烯工业始于1962年。彼时，兰州石化500吨/年乙烯装置建成投产。此后，经过长期发展，我国的乙烯产能不断扩大，2009年前后，我国乙烯产能已经达到世界第二，但大而不强的问题依然存在，核心技术掌握在国外专利商手中。

2008年，中国石油决定打破乙烯技术引进惯例，设立乙烯重大科技专项，以大庆石化新建的60万吨/年乙烯装置为依托，实施乙烯国产化战略。这一设计任务由孙长庚所在的寰球公司承担。

寰球公司在乙烯装置有着深厚的积淀。20世纪60年代参与了早期裂解炉的设计，70年代参与大庆首套乙烯装置的建设，与多家专利商进行

总投资654亿元的中国石油广东石化一体化项目在2023年2月27日实现一次开车成功，进入全面生产阶段。其核心装置120万吨/年乙烯装置同样出自孙长庚的设计团队。

从初出茅庐的“新兵蛋子”，到中国国产大乙烯独当一面的技术专家，15年间，孙长庚亲历了国产乙烯“零的突破”。而这个突破，让我国成为世界上第四个掌握乙烯技术的国家，并逐步让国产乙烯技术同世界接轨。

乙烯装置引进谈判，并派人赴国外考察学习乙烯工艺技术。90年代后期到世纪之交，国内外乙烯工业发展迅速，寰球公司的乙烯设计项目接踵而来，为其积累了大量宝贵经验。在寰球公司发展历程中，逐渐涌现出黄文、张来勇、杨庆兰等探路先锋，一代代寰球人的不断突破，带领我国乙烯产业，走到了国产化的大门前。

“我2004年底来到公司，参与了一个乙烯装置全过程的工程设计、现场设计代表和开车服务，可能我对乙烯技术追根问底、经常提问的工作态度引起了领导的关注，2008年被吸收到乙烯技术开发项目组，那时候我对工艺包一切全都未知。”孙长庚回忆道。

当时，孙长庚作为核心人员参加了乙烷裂解炉、分离工艺技术开发和工程技术开发的全部课题，并担任其中一个课题的副课题长。沿着前辈的足迹，孙长庚走上了他的舞台。

“百万吨乙烯装置加上下游配套装置和公用工程，其投资达到数百亿元。如果乙烯装置出了错，配套的那

从零起步 2008年，孙长庚及其团队接到第一套国产乙烯设计任务。

谈及乙烯装置，业内人士曾将其复杂程度同核电相提并论。

从化学角度来看，乙烯是结构最简单的烯烃。而生产乙烯的装置却并不像其分子结构那样简单。据了解，一套百万吨乙烯装置占地可达10万平方米，面积相当于14个标准足球场。装置由数百台设备构成，连接管线加起来超过200多公里。

乙烯产品线的复杂还不止于此。孙长庚说道：“乙烯装置生产特点之一是原料成分复杂，可以说世界上没有任何两套装置原料是一样的。”

寻找切入点 在被“迷雾”笼罩的时候，孙长庚最终还是在团队的力量中寻找到了支撑。

“起初我的想法是做到尽善尽美，把每一个变量都控制在一个精准的范围内。但我在实际操作过程中发现，这是很困难的。”孙长庚举了一个例子：“比如，过程中某个换热器进出口两侧的温差只有1.5℃。如果将温差调整0.5℃或1℃，那么换热面积可能会改变30%以上。但是在裂解炉炉膛，里面的温度高达一千三四百摄氏度，一两度的温差可能影响没那么大。”

但是，面对如此庞大的体系，如何把握这个度，当时的孙长庚是理解不了的。“这就如同设计一辆车，但不懂原理，这样造出来的车就不知道能否上路，如果出现问题想要解决就更一无所知了。”孙长庚说道。

对于当时没有明确方向的孙长

从40天到1分钟 2016年，大型乙烯装置成套工艺技术获得当年国家科技进步二等奖。

建立了自己体系的孙长庚随后不断完善模型，逐渐加快了设计的步伐。

孙长庚用乙烯装置中的燃烧过程举了一个例子：“燃烧是生活中司空见惯的现象，但是在化工工艺过程中，燃烧是一个过程。如何把这个过程通过模型，用数字的方式体现出来，就是我们需要探寻的。”

“裂解炉炉膛内温度可以达到1400℃。上世纪七八十年代在做反应设计的时候，普遍会把炉膛里面的温度当作唯一的设计出发点，但事实却并非如此。”孙长庚说道。

“炉膛中燃烧实际是一个复杂的过程。我们必须自己编程，把炉膛的燃烧和传热过程描述出来。”孙长庚解释道，“燃料组成、温度、压力、流量等因素决定了燃烧器的火焰高度。火焰高度不同，最高点的温度就不同。此外，传热过程中不同温度下的传热速率也不同。燃烧过程更是辐射传热、对流传热

长期以来，石脑油制乙烯是乙烯生产的主要途径。孙长庚参与设计的第一套乙烯装置同样采用石脑油作为原材料。这种由原油加工生产得到的原材料，因为全球各地的原油成分存在差异，加工路线有所区别，导致其组分差异比较大。

乙烯产业诞生之初，国外公司通过逐步探索，一级一级地逐渐放大，经历了从实验室到实验工厂再到产品线的过程。

然而，2008年，孙长庚及其团队在接到第一套国产乙烯设计任务之

庚而言，在和同事的交流过程中则显得更加六神无主。“当时的工作氛围让我印象很深，大家没有专家的架子，特别是一些老同志，大家都是在平等地讨论问题。但是因为我起初并没有建立起自己的认知体系，各种不同的声音交织在一块，我感觉每个人说的似乎都有道理。”

“根据直觉在把模型搭起来以后，我发现已经走进了死胡同。”即便如今，回忆起当时的场景，孙长庚的表情中仍流露出失望的情绪。

在被“迷雾”笼罩的时候，孙长庚最终还是在团队的力量中寻找到了支撑。

“团队人员背对背解决一个问题，各自拿出自己的方案，然后讨论形成最终结果。通过大量反复

等几种传热方式的组合，不同区域它们的贡献比例也在变化。”

因此，计算结果的准确与否，最初基本需要通过经验和已建装置的运行情况来判断。

“通过流程软件，设置不同的参数进行模拟，最初做一次需要40天时间。这个过程漫长而且数据量很大，还需要考虑计算结果的准确性。”孙长庚回忆道，“我们逐渐认识到，炉膛内温度分布更像一个三维立体结构，每个地方都有所不同。为了准确表述温度，我们从影响温度的因素着手逐个分析，比如，烟气流量的影响、炉膛表面反射的影响等。在这个过程中，我们花了大量的时间。”

随着对燃烧过程和工艺过程结合理解的加深，我们找出关键点，并且总结成一套自己的简化模型，现在再算一次，只需要不到1分钟就可以完成。

“我们从最基础入手，先认识

时，无论从时间还是场地方面考虑，都不能再重新经历这一过程。

与此同时，由于石脑油制乙烯下游生产线长的特点，乙烯装置几乎囊括了所有化工过程中的单元操作类型，牵一发而动全身。每一项参数的微小变化，逐级放大后传递到下游，便可能造成很大偏差。

孙长庚举了一个例子：“在设计的过程中，需要预测组分，前面的偏差会影响到后面产品的分离，随着分离流程的进行这些偏差会被放大，这个偏差怎么控制，怎么

的计算、对比、再计算、再对比等重复性工作，最终我们找到最佳解决方案。大庆装置开车前，我总是担心我们的计算准确性，经过装置运行证明，我们集体的智慧还是经受了考验。”孙长庚回忆道。

置身于团队的思想碰撞中，孙长庚的认知渐渐清晰起来。

“这个过程中有的数据偏差特别大，我就思考到底是哪儿出现了问题，前后花了几个月的时间来计算、分析，这相当于理解的过程，对我来说这是一个很大的帮助。”孙长庚回忆道。

这样的每一个切入点，让孙长庚豁然开朗。“这个过程让我逐渐理解了那些内容。在脑子里建立了一个相对完整的体系，对我来说也

一个问题，把这个问题分解，再把问题提炼出来，然后形成公式，通过改变输入条件，得出来的结果跟我们知道现实尽管并非一模一样，但一般不会有较大的偏差。如果模型输出结果和预想的差别很远，或者跟实际差别很远，说明模型还不完善，甚至是错的，需要调整。在整个设计过程中，这样的模型有很多。随着认识的加深，在做设计的时候，逐渐把握住主要因素，对影响因素小的环节进行简化，从而形成规律。”孙长庚解释道。

最终，历经近五年的艰苦攻关，2012年10月，国产乙烯装置在大庆石化开车成功，比原计划提前一年，各项指标均达到国际先进水平，一些指标甚至超过了国外技术。至此，我国一举打破了乙烯国产化壁垒，成为世界上第四个掌握乙烯技术的国家，中国石油也因此成为世界上第六家乙烯专利商。

使用国产专利技术后，每套装



孙长庚所在的中国寰球工程有限公司，为我国打破乙烯国产化壁垒，成为世界上第四个掌握乙烯技术的国家作出了重要贡献。图为孙长庚向团队成员讲解装置流程图。

些装置也白建了。”孙长庚感慨道。

据了解，一套百万吨乙烯由五六百台/套设备构成，每台设备至少也受到近10个关键工艺参数影响，搭建一个物料和热量平衡计算模型就需多达800多个模块，一次计算生成的报告打印出来超过8000页。面对复杂的乙烯装置，压力可想而知。

石脑油制乙烯装置的副产品多，下游延伸空间很大，可覆盖多个方向的需求。因此，一套大乙烯装置落地，可通过多个产品带动当地经济发展。而这些产品的“龙头”便是乙烯装置。

那段时间，身边的人都觉得他“魔怔”了，吃饭的时候经常一个人坐在角落自言自语，走路的时候低着头嘴里念念有词，洗澡经常能洗1个小时……在长时间高压和用脑的情况下，不到半年时间，孙长庚这个技术专家便在那时走起了“时尚路线”，一头乌黑的头发变为花白，“奶奶灰”一直陪伴着他。

认识这些偏差，用什么方法尽量来缩小这些偏差，如果没有经验，这是一个很难想象的过程，特别是对乙烯这个长流程的装置。”

“当时我面临最大的问题是如何整合系统。”孙长庚回忆称，“第一感觉是无从下手。这是一个系统问题，并且是一个多维度的状态，各系统、各参数之间又互相制约。像是一团麻，我必须把这些关系全部理顺。”

孙长庚和他的同事就这样，迈出了乙烯国产化设计的第一步。

增加了不少信心。”

确定了正确方向，为孙长庚后续的工作做了一个很好的铺垫。“我当时建立的模型有50多个组分，还要包括温度、压力、密度等一系列参数。那段时间，我几乎可以全部记住。只要指出流程的某一个环节，我大概都能知道这里面组成是什么，里面的物性是什么，温度压力是多少。”孙长庚回忆道。

孙长庚表示：“通过我的经历，现在我一直和同事说，一定要形成自己的想法和认识，哪怕当时的认识是片面的，也一定要有自己的判断，因为认识可以在讨论中发现和修正。没有一个特别自信或明晰的判断的话，很难把这件事做好，因为你对它是不了解的。”

置(以100万吨/年乙烯为例)能为企业节省2亿~3亿元的投资费用。此外，通过先进技术的应用(如：强化传热炉管和乙烯回收先进技术)，也为企业提供了更强的市场竞争力。

2015年，乙烯成套技术获中国石油科学技术进步特等奖；2016年，大型乙烯装置成套工艺技术获得当年国家科技进步二等奖。

目前，国产自有乙烯成套技术已被推广到中国石油系统内外等9家企业的十几套乙烯装置中应用；乙烯特色节能技术在4家企业使用，装置规模从60万吨/年到140万吨/年乙烯，原料品种覆盖了天然气分离、石油炼制、煤基合成等领域，大庆石化(60万吨/年乙烯装置)、国能宁煤(100万吨/年烯烃)等项目的运行数据表明，国产自有乙烯技术在裂解炉的产品收率、操作周期、热效率以及装置的乙烯收率、综合能耗等各方面指标均达到国际先进水平，部分指标达到了领先水平。

未雨绸缪 乙烷制乙烯技术工艺包，填补了国内纯乙烷裂解制乙烯成套技术的空白。

就在孙长庚和他的同事们完成国产乙烯设计工作同年，大洋彼岸掀起了一场页岩气革命。

2012年，全球以乙烷、丙烷等轻烃为原料的乙烯产量首次超过以石脑油为原料的产量。页岩气革命为北美化工行业提供了大量廉价乙烷，这对全球石油化工行业产生了重大影响。

“乙烷制乙烯投资少，收益高，运营成本低，这个特点特别明显，所以美国、中东新建的装置中，乙烷原料占了相当大的比重。”孙长庚解释道，“当时，塔里木项目还在酝酿期，有一些国外的拥有乙烷原料的业主来找我们咨询，我们认为，虽然国内乙烷原料少，当时用不上，但乙烷制乙烯技术一定有用，于是就开发了乙烷裂解炉，然后塔里木和长庆两套乙烷制乙烯项目开始上马。可以说这一次是未雨绸缪了。”

对于我国而言，乙烯的需求量连年提升，带动产能迅速增长，面对轻烃资源优势 and 日益严峻的竞争形势，降低乙烯原料成本势在必行。

同时，随着世界能源消费结构的逐渐变化，大部分炼厂都在考虑由生产汽柴油为主向多生产化工原料方向转型，石油轻蒸汽裂解制乙烯技术作为“减油增化”最重要的桥梁技术，成为相关企业转型升级的首选。

为顺应乙烯工业发展新趋势，增强炼化企业竞争力，巩固中国石油在大乙烯技术方面的优势，中国石油于2016年启动二期乙烯重大专项“大型乙烯关键技术升级与工业应用”的立项工作，并于2016年底正式立项。这副担子最终又落在了寰球公司和孙长庚所在的团队肩上。

“做乙烷制乙烯的时候，压力就小多了，从某种程度上来说，可以说是一个简化版。”孙长庚说道，“这个简化不是说把部分内容简单删掉了以后的简

添一抹绿色 “乙烯技术是一个面，我们正从其中一点逐渐外扩，不断去接近这个面。”

当时代的脚步走进2023年，现代化工的步伐与碳中和频频成为未来发展的重要方向。作为碳减排大户，石化行业正在经历新一轮的转型升级。

2021年5月，中央层面成立了碳达峰碳中和工作领导小组，随后，围绕碳达峰、碳中和的“1+N”政策体系逐渐形成，把碳达峰、碳中和逐渐纳入我国经济社会发展全局之中。

2022年8月，工业和信息化部、国家发展改革委等多部委联合发布的《关于“十四五”推动石化行业高质量发展的指导意见》提出，到2025年，石化行业基本形成自主创新能力强、结构布局合理、绿色安全低碳的高质量发展格局，高端产品保障能力大幅提高，核心竞争能力明显增强，高水平自立自强迈出坚实步伐。该文件还重点提到，发展清洁生产，构建全生命周期绿色

化，而是通过新的工艺路线的开发，缩短了工艺流程，减少了设备数量。”

孙长庚口中的轻松，更多的是一种心态上的变化。“就像我们此前设计轿车，现在要设计一辆卡车，那么我们只需要根据卡车的特点做出相应的设计，而汽车的原理我们已经有了一相应的体系。”孙长庚说道，“我们当时想，肯定能做出来。做乙烷制乙烯项目的时候，我的角色发生了一些变化，从做模型转变为校审和乙烷裂解的开发，同上一次几乎无法入睡相比，我更多的时间和精力是校审和问题讨论，可以说轻松了很多。”

2019年，中国石油上马兰州石化长庆、独山子石化塔里木两个乙烷制乙烯工程。寰球公司采用总承包模式进行项目设计建设。2021年8月，经过两年的设计与建设，两个项目先后提前投产。

孙长庚和同事们开发的乙烷制乙烯技术工艺包，使得乙烯收率由液体原料的30%左右提高到80%，成本降低约30%，在关键技术上达到世界先进水平，填补了国内纯乙烷裂解制乙烯成套技术的空白。

对于如今的孙长庚来说，其思考的已经不局限于项目本身。

“乙烷制乙烯虽然有着诸多优点，但其短板同样明显。由于国内开采的天然气中乙烷资源较少，如果乙烷来源无法解决，那么乙烷制乙烯项目发展可能还是受限。同时，与石脑油制乙烯不同，乙烷制乙烯的产品组成相对简单，下游除了氢气以外，可以延伸加工的只有乙烷，这就造成其产业链单一。”孙长庚说。

但纵观全球乙烯市场，乙烷制乙烯工艺包仍有其用武之地。“乙烷制乙烯有其明显的优点。这个工艺包也许会成为中国石油未来走向海外的一个‘敲门砖’，去打开一些海外市场。”孙长庚说道。