探讨石油石化行业低碳发展路径

专访中石化石油化工科学研究院有限公司董事长兼总经理、中国石油学会碳中和专委会主任李明丰；技服中心（低碳中心）主任、碳专委秘书长吴昊——石化行业是我国国民经济的基础产业和重要支柱，随着“双碳”目标的实施，石化行业将推进产业结构调整，朝着绿色低碳转型方向发展。目前国内石化行业发展面临着哪些挑战？在低碳技术开发和应用方面，有哪些技术进展？中石化石油化工科学研究院有限公司的两位专家接受了《流程工业》的专访，介绍石化行业“双碳”服务平台如何助力企业绿色转型之路。

文 / 本刊记者 胡静

PROCESS: **石化行业的低碳绿色转型发展已成为共识，目前国内石化行业发展面临着哪些挑战？**

李明丰：第一是源头低碳，第二是过程减碳，第三是末端治理。源头低碳是指现在需要更多的低碳或者零碳原料来取代传统化石基原料，中石化石油化工科学研究院有限公司（以下简称“石科院”）正在着力推进源头低碳技术研究，比如利用一些生物质作为原料，这就跟使用原来的石油截然不同。虽然石油也是从生物质转化而来，但其实还是有很大的不同的。从二三十年前石科院就已经开始着手研究如何利用生物质作原料，提到“地沟油”很多人第一反应就是有害健康，但如果可以合理利用，它就可以变成可持续航空燃料，石科院利用“地沟油”提炼出航空燃油，成功开发出具有自主知识产权的生物航煤生产技术，与传统石油基航空煤油相比，生物航煤全生命周期二氧化碳排放，最高可减排 80% 左右。与此同时，镇海炼化分公司油脂加氢（HEFA）路线生物航煤产品通过可持续生物材料圆桌会议（RSB）认证，此次认证是我国生物航煤产品获得的第一张全球可持续性认证证书。可以说关于利用生物质作原料这条路石科院不仅走通了，而且目前已经成功商业化。

此外，我们会采用一些可循环物质替代石油作为石油炼厂的原料，比如废塑料。提起废塑料，大家的印象总是负面的，但其实废塑料是一种放错位置的优质资源，它的氢碳比高，甚至优于原油。通过废塑料化学循环技术，可以将塑料中的高分子碳链转化为小分子，之后既可以“返璞归真”，用于生产燃油、化工产品，实现“从石油中来，再回到石油中去”；又可以“浴火涅槃”，重新用于生产塑料，实现“从塑料到塑料”的闭环循环。石科院重点开发了废塑料热解油的深加工技术、废塑料绿色高效热解技术以及配套的废塑料分选技术，我们希望尽快建成商业运行示范项目，争取早日实现万吨级农膜回收示范项目落地。

这两种方式我们都做过相关测算，可以对石油炼制行业降碳发挥很大的作用。

过程降碳在整个石油炼制行业是一个非常庞杂的工程，可以做的工作很多，比如工艺装置、公用工程、塔内构件等方面都可以进行优化。我们希望通过和其他优秀的科研院所、高校以及企业一起合作，推动整个中国石油炼制行业低碳化发展。

源头低碳和过程减碳都做了之后，还有二氧化碳怎么办？这时候就要进行末端治理了，首先是 CCUS，就是把 CO_2 从工业或相关能源系统中分离出来，输送到一个封存地点，并长期与大气隔绝或对其加以利用。中国石化在这个方面已经做了很多工作，比

如已经全面建成的齐鲁石化 - 胜利油田百万吨级CCUS项目以及正在实施的新疆库车绿氢示范项目。关于绿氢，石科院也一直在做技术研发，比如石科院和燕山石化共同开发的国产化兆瓦级质子交换膜（PEM）电解水制氢装置已经成功开车，并于当日实现全流程贯通，产品质量检测合格。

此外，要实现行业降碳，我认为最重要的前提是需要摸清家底，石科院成立了低碳中心，通过这个中心我们可以给炼厂提供碳排放盘查和碳足迹核算服务，帮助企业把自家碳排放的家底摸清楚，并给他们提供节能降碳和工艺降碳解决方案。

PROCESS: 石化行业作为国民经济重要的支柱行业，石科院突破了哪些“卡脖子技术”，造福国内企业?

李明丰：石科院成立于1956年，那个时候中国石油资源其实并不丰富。在大庆、胜利油田被发现之前，石科院的工作主要是为“两弹一机”提供配套润滑油，开发航空燃料。随着大庆、胜利油田的开发，我国的石油资源逐渐丰富起来。20世纪60年代石科院参与开发的流化催化裂化、催化重整、延迟焦化、尿素脱蜡、新型催化剂和添加剂，被誉为中国炼油史上的“五朵金花”，是实现中国现代炼油技术从无到有的标志。从60年代到90年代，我们用了近40年从解决“卡脖子”技术，到现在我们部分技术达到国际先进甚至国际领先水平，很多的海外炼厂也会用到石科院的技术，这令我们感到非常自豪。己内酰胺是尼龙-6纤维和工程塑料的单体，是重要的基本有机化学品，但生产工艺极为复杂，在20世纪80年代，我国花费百亿元引进国外生产技术，为扭转我国己内酰胺行业被动局面，20世纪90年代初，石科院开始进行己内酰胺绿色生产技术研发。石科院研发的己内酰胺绿色生产成套技术简化了工艺流程，成本大幅下降，解决了影响装置“长、稳、安、满、优”的生产技术难题。除了己内酰胺，我们还在芳烃、双氧水、环氧丙烷以及环氧氯丙烷等方面着力布局，开发了一系列成套技术，为化工企业提质增效、搬迁改造提供了强有力的技术保障。同时积极向环氧丙烷等下游功能化材料延伸，力争打造全产业链生产技术。

对于解决“卡脖子”技术我们是非常有信心的，现在正在探索如何更好地研发出领先世界的技术，根据我的经验来看，首先要从最基本的化学原理开始，比如石油炼制用最简单的语言来表达的话：化学分子结构再造的过程。通过化学键分析电子云的分布以及催化材料的创新来实现技术的创新。现阶段还能在加大理论化学计算的同时引进AI技术，这样节约了大量的工作时间，原来可能需要几年才能完成的工作，现在大概只需一两个月即可完成。所以我们不仅是要解决“卡脖子技术”，也要领先于时代，这才是我们奋斗的目标。

PROCESS: 在减碳与高质量发展双驱动转型的路上，石化产业需要如何布局，实现高质量发展?

李明丰：电动汽车给炼油行业带来了较大的冲击，现在汽油需求量已经达峰，各炼油厂积极调整产品结构。近年来，国内炼油能力增速高于消费增速，成品油产能过剩态势加剧，炼化产业一体化、炼油向化工转型发展已经成为行业共识。但是现在很多炼厂转型速度不应过快，因为社会对成品油的低需求是逐步消失的，对化学品的高需求也是逐步积累的，这些都需要一个过程，炼厂需要把握好这个度，而且在这样一个逐步转型发展的过程中，我们始终要非常关心碳排放这个问题。因为碳减排不是哪一天就能突然降下来，需要通过大量艰辛的工作才能逐步实现。在低碳或者零碳原料还没有大面积普及的情况下，无论是我们石科院、其他科研院所或者一些技术研究单位，都应该花费更多的时间和精力在我们现有产业节能降碳工作上。这是我的一个期待，也希望行业

李明丰
中石化石油化工科学研究院有限公司董事长兼总经理
中国石油学会碳中和专委会主任

同仁们一起努力。

PROCESS: 石化行业相比其他行业而言有些传统，如何吸引年轻人一展身手，石科院在这方面有哪些经验可以分享?

李明丰：2006 年海南炼化 800 万 t/a 炼油装置投产，宣告了我国具备依靠自有技术设计、建设国际先进现代化大型炼厂的能力。2008 年，我国批准建设的第一个单系列千万吨级炼油项目——青岛炼化 1 000 万 t/a 炼油项目投产。目前，中国石化已掌握具有自主知识产权的现代化炼厂系列全流程加工技术，具备利用自主技术建设单系列千万吨级炼油厂的能力。在炼油成套技术中，我们现在基本上不会被“卡脖子”，这是令炼油人感到非常自豪的事情。我们取得如此大的成果是因为科研人员经常走到炼厂里面，他们不仅在实验室里面做研究，也会走到项目现场提升能力。正是由于他们积极深入现场了解实际情况，才会产生与实验室工作不同的认知，使自己的研究能够更具针对性和时效性。

另外我们这个行业还有一套传承机制，年轻人来了之后我们会让他们增加一点“油味”，比如会安排他们去炼厂亲身体验什么是劣质油，在实验室时大家平时见到的炼化装置规模很小像瓶瓶罐罐一样，但是当到炼厂实地经历时，会发现炼化装置规模是非常的大，甚至很多炼厂是千万吨级别的。这时就会产生不一样的心态变化，一旦产生这种变化，就容易对这个行业产生荣誉感，因为我们石化行业有一个特点就是大。比如研究的一项技术可能每吨可以带来 10 块钱的利润增加，那么百万吨就能有一千万元的增加，这时给人带来的满足感就不是一般行业所能体会到的，无疑会激发工作的自豪感。

PROCESS: 石化行业创新研发应该从哪方面开展?

李明丰：创新其实是非常难的，现在我们讲究崇尚科学、求实创新，科学在我们的工作中占据非常重要的位置，因为你如果不讲科学的话，光靠经验不可能实现从 0 到 1 的创新。

总书记强调要加强基础研究，对此我的体会很深，我们虽然是搞工业化的，但是真要做到从 0 到 1 的创新，需要从基础研究开始，基于 20 多年的工作经验，我能非常明确地感受到在工业行业加强基础研究的重要性。我们目前也在侧重于基础研究，让大家觉得不是坐冷板凳。虽然很多人说基础研究就是要坐冷板凳，但是我觉得一定要把这个凳子先焐热了，让大家觉得坐上去不冷，这样他们才能心无旁骛去做研究。

开展基础研究，并不意味着研究成果很难拿到。因为石化行业的基础研究跟纯基础研究还是有很大的差别，总归来说我们的研究是一个问题导向。比如生产航煤的过程里存在哪些问题？这时需要探究这个问题的根源所在。如果探究不清楚这个问题根源，那么你的解决方案就要产生大量的试错性工作。由于我们这种工作的目标性较强，使得研究成果应用可能性也较大，不会出现做出了基础研究成果却很难转化的情况。基础研究是科技创新的源头，未来石科院将继续加强基础研究，提高基础研究质量和效率，增强原始创新能力。

PROCESS: 和李院长的交流中，我们了解到国内石化行业的低碳发展的趋势和技术进展，石科院目前正在积极推进国内石化行业“双碳”平台建设，建立了完善的低碳体系，主要包含哪些内容?

吴昊：2020 年习近平总书记提出“双碳”目标，2021 年国家工信部发布“重点原材料领域碳达峰碳中和公共服务平台”建设项目，石科院与国检集团等十余家单位合作，共同承担了该平台的建设，包含了建材、石化、化工、钢铁以及有色 5 个行业的“双碳”平台建设，涵盖了国内主要的原材料行业，该平台的建设将极大推动原材料行业的碳达峰碳中和进程。其中石科院承担的是石化行业的“双碳”平台建设。

石科院以服务行业碳达峰碳中和为目标，以碳减排与高质量发展为导向，系统性建设了石化行业“双碳”平台，该平台包含低碳技术评价与验证平台、低碳产品检验检测与评价平台、碳足迹数据库、标准体系建设以及低碳技术服务 5 大体系。

其中低碳技术评价与验证平台，主要是对炼油技术的低碳性能进行评价，为什么要开展这项工作呢？主要是因为碳排放的核算不能以局部为边界，而是要以可比边界为核算范围。也就是说，一项技术是不是低碳的，并不能以技术本身碳排放多少来确定，而是要与其他同类技术，或者是生产同类产品的碳排放来进行确定。该平台就可以实现这个功能，为技术开发商、企业提供了一个基于碳属性的技术评价标准。

低碳产品检验检测与评价平台，其中包含了两层含义，一是对生物质属性的液体燃料建立检测方法；二是对化石基液体燃料及基础化工品建立低碳属性判断方法。

我国燃料产品与化工产品绝大部分还是化石基的，因此对于低碳属性的判断还是要以碳足迹为评判标准，为此，碳足迹数据库的建立就非常重要，是低碳产品评价的重要支撑。

碳足迹数据库中，我们已经建立了基于我国生产实际的数据库，也就是本土化的石化产品碳足迹数据库，数据库中包含了200多种中间产品和终端石化产品的碳足迹数据，这些数据都是我们自己核算的，是真正可以代表我国本土化的生产数据，对未来碳配额政策制定、应对碳边境调节机制将发挥重要作用。

在开展前面所说的两个平台、一个数据库的建设过程中，我们同时发现了现有标准无法全面支撑平台的建设，为此，我们联合中石油、中石化、中海油、中化、石油大学等单位联合编制相关标准，其中包含石化装置碳排放核算方法、碳足迹核算方法、数据库建设规范、低碳技术评价导则、低碳产品评价导则等标准。这些标准就可以支撑“双碳”平台的高效运行了。

基于“双碳”平台，我们目前已经为众多企业开展了低碳技术服务，其中包含碳盘查、产品碳足迹核算、企业碳达峰行动方案、节能降碳行动方案、节能降碳技术实施、低碳技术应用等服务，切实为企业碳减排提供了具体技术支持。

PROCESS: 在炼厂生产过程中，进行科学的碳管理和碳排放统计是落实行业低碳转型的关键一步，石科院有哪些解决方法和思路?

吴昊：在“双碳”进程中，碳排放统计与核算是一项非常重要的基础性工作，为科学制定国家政策、参与国际谈判、企业履约、产品低碳性能评价等提供必要的数据依据。在国家碳达峰碳中和1+N政策体系中也多次提出了要建立统一规范的碳排放统计核算体系，这也说明了统计核算工作是实现行业低碳发展的关键环节。

要做好核算工作，首先要做好标准的承接工作，碳排放与碳足迹的核算不是我们想当然出一个方法就可以计算的，我们必须要遵循现有核算体系，比如ISO14064对组织层面碳排放给出了核算方法要求，PAS2050、ISO14067对产品碳足迹给出了核算方法要求，对于石化企业碳排放核算来说，国内也有相关标准做支撑，为此我们首先要吃透这些标准的内涵，这样才能做好统计核算工作。当然，现有标准也不能完全支撑现阶段石化行业高质量低碳发展的需求，比如石化产品的碳足迹核算，虽然用现有国际标准可以作为核算大纲，但在具体实施过程中还有很多细节在现有标准中是没有体现出来的，这时候我们就要基于原标准的要求对核算方法进行细化，做到核算过程可落地，同时也会形成更为详实的核算方法，如果行业都接受了这种新方法，那就可以形成新的标准了。

为了更好地开展碳管理与碳排放统计，石科院在核算工具开发、标准建设上开展了系列工作。为了更好地开展组织层面或装置层面的碳排放核算工作，我们开发了VISPRO系统，该系统不仅具备常规意义的生产优化功能，还具备在能耗约束或碳排放约束下开展生产优化，与企业的能源管理系统连接后，它可以自动开展装置层面的碳排放核算；此外，我们还开发了VISCPRINT系统，该系统主要是针对产品碳足迹核算的智能化系统，该系统可以实现炼厂所有装置的每个物流和每个产品的碳足迹的核算。

在产品开发过程中，我们也发现了现有的标准无法全面支撑石化行业的碳管理要求，为此我们联合国内相关企业与高校，联合研制了石化行业系列“双碳”标准，以此支撑碳排放与碳足迹核算的高效开展。

PROCESS: 数字化和智能化对生产过程的优化带来了哪些帮助，如何帮助生产运营中降低碳排放?

吴昊：数字化和智能化技术，

吴昊
中石化石油化工科学研究院有限公司技服中心（低碳中心）主任
中国石油学会碳中和专委会秘书长

可以说是渗透在生产过程优化的各个方面，包括设备管理、智能模拟、工艺优化以及节能降碳等等。

在设备管理层面，运用机器学习和知识图谱信息技术，可以完成对设备故障状态的检查、诊断与定位。以热电机组生产过程监控与运行优化为例，应用数字化和智能化技术，可以对影响机组经济性指标的原始数据进行分析研究，利用计算结果给出优化操作指导，指导运行人员及时进行参数调整，使机组运行处在最佳的工况下，达到优化运行的目的。

在智能模拟层面，石科院技服中心开发了多尺度、多路线、多目标、多技术融合的智能化建模平台。采用基于人工智能驱动的工艺优化算法，将工艺机理模型、数字孪生模型和高效优化算法有机结合，统筹考虑产品收益及能耗成本，在保障模型精确度和收敛性的前提下，提高了模型运算速度，可以对生产工况和优化目标的调整给予及时响应。以千万吨级常减压装置为例，采用该技术优化后，轻收和总拔均可以提高 1 个百分点以上，综合能耗及碳排放减少 10% 以上。

在工艺优化层面，借助数字化和智能化技术，可以实现原料配比的智能优选、产品收率和产品质量的智能优化。石科院自主开发的原油选择技术，可以结合价格体系和资源总量的波动情况，自动优选出最优的原油采购方案。总流程优化技术，可以结合当前的市场需求，对炼厂物料走向进行智能调配，以确保运行在最优生产路线。单元装置优化技术，可以基于加工原料现状、产品质量要求、设备限制条件和能耗碳排指标，智能设计最优操作方案，助力装置安稳长满优运行。

在节能降碳层面，数字化和智能化也是必不可少的高效赋能手段。为深入挖掘及提升企业用能效率，石科院技服中心将工艺装置系统纳入能耗研究的范畴，通过深入分析炼化企业的加工流程、装置工艺、公用工程系统配置和用能特点，构建主要装置的能量产用模型，提出综合提升企业能量介质（包括氢气 / 瓦斯、燃料、电和蒸汽等）利用效率的最优产、用分布，挖掘包括操作优化和投资改造在内的各种技术方案，并结合炼厂短 / 中 / 长期规划制定能效提升发展方案，通过优化生产操作参数和投资回报率高的改造方案，实现能量综合利用效率的提升。通过构建能量系统的智能优化模型，可有效助力企业能耗及碳排放降低 3% 至 10%。

PROCESS: 听说石科院最近发起成立了中国石油学会碳中和专业委员会，您可以给我们介绍一下进展吗?

吴昊：在开展“双碳”工作过程中，我们发现作为复杂流程工业体系的石油石化行业，具有产业体量大、加工流程长、发展惯性大、路径依赖强的特点。在“双碳”背景下，行业面临碳排放基础数据弱、降碳制约因素多、减排任务重等诸多问题，行业科学降碳之路任重道远。在石油石化领域开展“双碳”工作，是一项非常复杂的系统工程，我们需要站在整体性的高度，从层次性的角度认识“双碳”目标。

做好“双碳”工作，我们不仅需要有技术上的专业性，还需要有管理上的专业性。从行业的角度看，石化行业“双碳”目标的实现不仅仅是石油加工环节的任务，更是需要上中下游协同发力，既要包含石油勘探、开采，还要包括石油加工，终端的产品使用也是不能忽视的。我院李明丰院长多年前就告诉我，想做好双碳工作，必须扩大朋友圈，将行业上中下游的企业、研究机构联合起来，才能把双碳工作做得更加深入，才能高质量的推进双碳目标实现。

为此，石科院向中国石油学会申请，联合中国石油、中国石化、中国海油、中国中化、国家管网、北京大学能源研究院以及中国石油大学等单位共同发起成立中国石油学会碳中和专业委员会，非常幸运的是，该提议很快得到了学会的认可，并于 2023 年 2 月通过学会理事会审议批复。

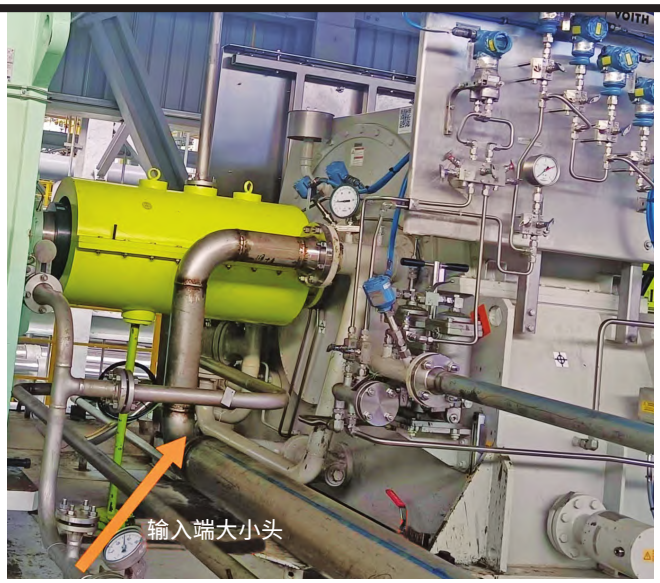
石油石化行业加工流程长、路线复杂的特点导致行业碳排放与碳足迹基础数据薄弱、低碳技术支撑体系复杂。碳中和专委会的成立将充分发挥上中下游各企业力量，建立原油开采、运输、石油炼制、产品使用全生命周期碳足迹数据库，为行业低碳发展提供科学分析支撑。同时也可以发挥上中下游一体化优势，从生命周期的角度最大化降低产业链碳排放。

作为中国石油学会的专业化分支机构，碳专委设立的目标是基于国家“双碳”目标实现的需要，围绕石油石化行业绿色低碳高质量发展需求，打造石油石化“双碳”服务平台，开展行业碳足迹研究、碳达峰碳中和路径研究、碳减排诊断、低碳技术开发与应用等工作，为行业低碳发展提供政策建议、标准支撑、人才培养、数据支撑、低碳技术开发与应用，最终发展成为石油石化领域低碳专业智库。

在此，也诚挚邀请业内相关单位积极参与碳专委的活动，共同推进我国石油石化行业的低碳发展。

流程工业 PROCESS
2023年第05期

巴斯夫 trinamiX 近红外光谱检测解决方案 P11



耦合器工作油入口处偏心变径 DN150×100 P31

业界资讯 Market News

国内新闻 Domestic News

6 总投资 677 亿元，盛虹炼化一体化项目竣工验收报告公示

With a total investment of 67.7 billion yuan, the completion and acceptance report of Shenghong Refining and Chemical integration project was published

国际新闻 World News

7 横河电机为沙特阿拉伯大型海水淡化厂提供控制系统

Yokogawa Electric provides a control system for a large seawater desalination plant in Saudi Arabia

新技术开发 New Technology

8 赢创推出 TEGO® Cycle 添加剂产品组合，助力塑料行业变废为宝

Evonik launched the TEGO® Cycle additive product portfolio to help the plastic industry turn waste into treasure

关注能效 Focus on Efficiency

9 7 月起全国范围实施汽车国六排放标准 6b 阶段

In July, the national six vehicle emission standard phase 6b was implemented nationwide

行业观察 Industry Observation

10 把握塑料回收技术新动向 / 张圣洁

BASF plastic additives help plastic machinery recycling, giving plastic more value

特别策划/工业碳中和 Industrial carbon neutralization

12 探讨石油石化行业低碳发展路径 / 胡静

Interview with Li Mingfeng, president of Sinopec Research Institute of Petroleum processing director of carbon neutral Special Committee of China Petroleum Society, and Wu Hao, director of Technical Service Center (Low carbon Center) and secretary general of carbon Special Committee

18 循环经济的九条路径 /Julia Krauser

Nine paths to the circular economy

22 “氢”启未来，业内共谋能源转型之路 / 张圣洁

The 2023 World Hydrogen Technology Conference（WHTC 2023）was successfully held in Nanhai, Foshan

生产现场 Manufacture Practice

过程技术与工艺 Process Technics

25 连续重整装置碱洗塔腐蚀原因分析及改进措施 / 易顶珍

Analysis of corrosion of continuous reforming device and improvement measures

28 循环流化床锅炉装置优化改造总结 / 于伟然 王明兰 满昌龙

Summary of the optimization and transformation of the circulating fluidized bed boiler unit

30 重载型调速液力耦合器工作油管线振动分析及处理 / 杨纯麟 秦波 杨松

Vibration analysis and treatment of working oil line of heavy load speed hydraulic coupler

通用设备 General Equipment

34 气体分馏装置机泵的选型与应用 / 袁帅 郭丕乐 张年锋 赵立民 王超

Type selection and application of machine pump of gas fractionation unit