

中国工程院院士孙丽丽：

以多能互补的耦合体系助石化行业减碳

■本报记者 朱妍

石化行业的发展关乎产业链供应链安全稳定、民生福祉改善，但其产业链条长、产品种类多、关联覆盖广，减碳并非易事。统计显示，2020年全行业所排放的二氧化碳大约占到全社会排放总量的5%。在加工转化过程中，约有25%的化石能源用于加热、驱动设备等环节，其余则通过产品将碳排放延伸至终端消费领域。

早前，工信部等六部门联合印发的《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，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。节能降碳怎么做？绿色发展怎么走？在近日举行的2022全球能源转型高层论坛上，中国工程院院士、全国工程勘察设计大师孙丽丽给出了建议。

■减碳面临四大主要挑战

孙丽丽用一组数据展示了行业现状：2021年，我国炼油规模达到9亿吨、位列世界第二，乙烯、PX、合成树脂、合成橡胶、合成纤维等产能均为世界第一，全国规模以上企业数量多达2.69万家。门类齐全、品种配套、技术先进、具有较强竞争力的石化工业体系，为满足人民日益增长的物质生活需要、保障国家能源安全、促进经济发展作出重要贡献。

但同时，高碳排放的现实不可忽视。孙丽丽坦言，其生产就是化石能源通过化学反应和物理分离等复杂过程，转化为清洁油品和化工材料。“这么重要的一个行业，既是能量提供者，也是能源消耗大户。经济社会发展对石化产品的需求仍在不断增长，尤其是高端化工材料保障水平还有欠缺，解决好发展与清洁低碳的矛盾已成为重要任务。”

孙丽丽认为，面对“双碳”目标，石



孙丽丽

化行业面临着四大主要挑战：基于现有工艺技术与工程技术，难以系统性解决节能降碳问题；基于现有加工路线，难以满足“减油增化”的市场发展需要；现有工程装备难以匹配新工艺和新用能系统；废弃物循环高效利用，碳捕捉、封存和利用等技术攻关及工业应用亟待突破。

“多年来，工艺及节能降耗技术的发展，带动行业能耗水平取得了长足进步，但是相关技术也已进入平台期，很难持续解决减碳问题。为满足市场需求，行业自身还在向着中下游产业链及高端化学品的方向延伸，在此过程中又会持续增加碳排放。转型深度越深，产业链越长，碳排放越高，越需要跳出传统思路进行创新。与之相配套的装备也要更新，能够匹配新的工艺过程，并保障用能系统安全稳定可靠。”孙丽丽表示。

■让生产过程耦合多种能源

如何破解难题？孙丽丽提出“构建多能互补的能源耦合体系”的思路——以化石能源作为原料，用于生

产洁净能源及化工品、化工材料，以风能、光能、地热能、生物质能及核能等多种能源作为生产过程的能源提供者。让生产过程耦合利用多种能源，充分发挥不同能源的属性和特征，进而实现能源结构低碳化、资源利用高价值化、废弃物回收资源化并兼具经济性。

“也就是说，按照不同资源条件和用能对象，采取多种类型能源相互补充的方式。石油可以生产碳材料、化工新材料、清洁油品等，那就让它回归原料本色，太阳能、风能、核能等作为能量的提供者，为生产过程供能。由此，满足各自需要、发挥各自特性，更好地保护生态环境。”孙丽丽进一步解释。

对标石化行业绿色低碳高质量发展要求，坚持目标导向、问题导向和体系思维，具体可从三方面展开路径攻关。“首先是对石化行业用能需求和多种能源供应特征的分析。不是所有能源都可以用其他能源来代替，比如有些流程工业属于高危，需要保安保供，我们就得把工艺需求和装备制造能力结合起来进行系统性分析。”孙丽丽称。

其次，分别是能源耦合支撑和耦合体系构建，包括关键技术、能源管控模式的创新，体系目标和耦合规则的建立以及耦合体系效果评估等内容。孙丽丽举例：“太阳能、风能受到环境、时空等因素影响，而流程工业的最大特点是连续生产，保证生产的稳定性和安全性。如何让其与间断性的可再生能源更好结合？这就需要关键技术支撑，并要制定体系目标、耦合有原则，对其效果展开系统评估。”

■四个重大难题亟待解决

新思路的落地需要过程。孙丽丽直言，目前仍有四个重大难题待解决，

即以传统流程的重构再造，解决工艺技术创新和变革问题；以能源系统设备升级，保障能源管理水平持续提升、满足工艺过程需要；保障多种能源供给过程中的安全稳定；建立能源管理机制，制定产业政策和标准规范。

对此，实践探索已经展开。例如，国家发改委去年10月发布的《石化化工重点行业严格能效约束推动节能降碳行动方案（2021—2025年）》，鼓励石化基地或大型园区开展核能供热、供电示范应用，为核能与石化多能耦合体系构建提供了参考。“小型高温气冷堆技术已取得显著进步，具有安全性好、出口温度高等优点，提供的高品质蒸汽可涵盖石化主要用气需求。从化工行业来讲，自身也需要做绿电、绿氢、供暖、海水淡化等一系列工作，前者正好可以为化工生产提供‘氢、汽、水、热、电’。”孙丽丽表示。

再如，传统石油炼制、加工转化过程复杂，一个炼厂可有多达40种以上工艺技术，难免加剧能耗及碳排放。通过流程再造，开发基于裂解新技术的炼化耦合新工艺，形成短流程最大化生产化学品，综合能耗由此降低。其过程还可加入用能系统再电气化，开发研制大型关键装备电气化替代的关键技术。比如将原有的燃料加热炉改为电加热炉，基于千万吨原油加工规模，替代后每年可节省约134万吨标准燃料，既拓宽了绿电应用场景，又提升了应用效率。

“新型炼化耦合新技术、油煤化一体化等进步，促进不同产业链融合，拓展了化石燃料高效利用途径。新能源快速发展则提供了更好的广阔应用场景，用能替代后，可充分发挥化石能源资源属性，用同样的原油资源生产更多的清洁原料、化工品和化学品，高端新材料、特色油品。”孙丽丽称。

新型电力系统技术创新联盟专栏⑦

电力数字空间为新型电力系统提供数字引擎

——访国网信息通信产业集团有限公司董事长、党委书记黄震

■本报记者 董梓童 苏南

构建新型电力系统，能源转型是目的，数字化是途径，能源技术与数字技术融合是关键。随着电力系统中的能源种类多样化，对发电侧、电网侧、负荷侧等均提出了新要求。因此，要实现新能源最大化消纳的主要任务，就要建设坚强智能电网枢纽平台。国网信息通信产业集团有限公司（以下简称“国网信息通信产业集团”）作为国家电网公司能源互联网建设的中坚力量和数字化转型发展的主力军，如何依托科技创新激活数据要素，又将通过哪些数字技术创新实践支撑新型电力系统构建呢？围绕上述问题，本报记者近日专访了国网信息通信产业集团董事长、党委书记黄震。

■电力数字空间是“神经中枢”

中国能源报：您如何看待数字化转型在新型电力系统构建中发挥的作用？

黄震：新型电力系统将带来电源结构、电网形态、负荷特性、运行特性等方面的深刻变化，呈现为“一个多时空尺度、多层次、多系统耦合的复杂巨系统”。源网荷储各环节均面临诸多技术挑战。新型电力系统要确保在“双高”“双峰”“双随机”（新能源接入比例高、电力电子设备占比高，夏季、冬季均出现负荷高峰，供给侧电源、需求侧负荷具备随机性及波动性）特征下安全稳定运行，亟需以数字技术加强设备运行监测，提高调度运行和有序用电管理水平。同时新型电力系统生产方式的巨大变革，将倒逼电力企业经营管理提质增效，信息化系统、业务流程等面临转型升级挑战。

目前数字技术飞速发展，数据要素全面激活，逐步形成了一个与物理世界融合共生的数字空间。国网信息通信产业集团高度关注这种演化趋势，深入分析数字空间映射、仿真、预测、互动等特性与新型电力系统可观、可测、可控等需求之间的契合关系，创新提出了电力数字空间概念，将数字技术、数据要素融合到电力生产、企业经营等环节，为新型电力系统构建提供数字引擎。

中国能源报：什么是电力数字空



黄震

间？它如何赋能新型电力系统构建？

黄震：电力数字空间是以电力数据为载体，以服务新型电力系统为首要目标，融合能源技术与数字技术，映射电力系统自然属性与社会属性，具有虚实融合、自驱自治、智能交互、开放包容等基本特征的数字空间，由基础设施、智慧中枢、数字主题馆、安全防护、数字生态五部分组成。

电力数字空间作用于电力系统的过程就是具象化的数字经济与实体经济融合的过程，主要体现在两方面：一是数字技术可以发现问题并针对该问题制定解决方法。电力数字空间具备深度感知、广泛互联、协同分析、态势预判、智慧决策等能力，是新型电力系统发输变配用全环节、源网荷储全场景“感”“传”“判”“控”“管”的“神经中枢”与“控制中枢”，保障新型电力系统生产运行稳定、可靠、高效、智能；

另外，新型电力系统需要关联电力系统生产者、生产资料与生产关系，这可以通过构建电力数字空间“智慧”实现。通过信息流引领能量流、业务流，促进人财物资源科学高效配置，线上线下业务流程全面融通、多维数据价值充分释放，加强设备运行监测，提高调度运行和有序用电管理水平，支撑电力企业经营管理更优质高效。

■支撑电网向能源互联网升级

中国能源报：国网信息通信产业集团开展了哪些具体工作？

黄震：国网信息通信产业集团在成立之初即确立了“互联·共享，让能源更智慧，让生活更美好”的发展使命，形成了“两全一新”产业布局，即覆盖咨询、信息、通信、数据、集成、运维、安全、位置等信息通信全产业链，以及发电侧、电网侧、负荷侧等全业务场景，在“大—云—物—移—智—边—链—北斗—5G—量子”等新技术领域研发了一批核心自主产品。

基础设施方面，研制覆盖源网荷储各环节的40余款传感器，50余款智能终端；建设覆盖15个省（市）的100G高效能数据传输平台；构建覆盖27个省市的电力北斗精准时空服务网；建设运营500余座边缘数据中心，形成“国网算力”品牌；推出磐石服务器、变电站关口表、思极有容数据库等60余款信创产品；打造统一应用开发平台、国网云、数据中台、物联管理等共性平台，提升电力数字空间“通感算”综合服务能力。

智慧中枢方面，建成“1+4+4+N”人工智能业务产品体系，即1个人工智能能力开放平台，4个数据资源库，智能、智巡、智策、智调4个产品系列，N款人工智能终端产品，形成面向调度、运检、安监、客服等场景的典型解决方案，建设国家级人工智能开放平台；研发电网全时空数字孪生平台，参编IEC（国际电工委员会）数字孪生变电站管理与信息交换国际标准，建设行业领先的“一实验室、一平台、多应用”数字孪生服务体系，提升电力数字空间的智能分析与精准决策能力。

安全防护方面，研发物联安全接入网关、安全态势感知平台等多款自主核心安全产品；构建数据评估和防护机制，实现数据全过程跟踪管理；创建网络安全实战攻防演练基地，联合8家省公司及中国移动等内外部单位，开展跨行业攻防演练。

数字主题馆方面，围绕新型电力系统生产运行，研发覆盖源网荷储全业务场景的数字化系统并获得广泛应用，包括虚拟电厂、应急通信与单兵装备、网上电网、综合能源智慧物联管理系统、新型电力负荷管理系统、储能云网、智慧能源双碳服务平台等16个产品系列。同时，新型电力系统构建也需要高

效的经营管理作为保障，对此，国网信息通信产业集团围绕企业经营管理，研发覆盖信息通信全产业链的数字化系统，服务行业内外用户，包括智慧水电数字化系统、绿色现代数智供应链、i国网、e基建、能源互联网营销服务系统、网上国网、能源大数据中心等34个产品系列。

■将推动构建“产学研用”协同创新生态

中国能源报：国网信息通信产业集团与外部创新主体尤其是新型电力系统技术创新联盟成员单位之间将开展哪些合作？

黄震：按照国家电网公司推进科技创新高水平开放合作的整体部署，我们尝试拓展过多种科研对外合作方式，先后出资1000余万元设立开放合作研究课题，以联合攻关、委托开发、揭榜攻关、成果转化等多种形式与清华大学、西安交通大学、华北电力大学、北京邮电大学、中国科学院等知名高校和科研院所开展深度合作，在5G、大数据、人工智能、区块链等前沿技术领域取得多项领先成果。

在合作载体方面，我们与外部创新主体联合构建了多种科技创新共同体。在国家电网公司与西安交通大学战略合作框架协议下，我们与西安交通大学共建了“能源双碳数智技术联合创新中心”，开展以服务“双碳”为核心的数字化、智能化技术创新深层次合作，在新能源调控领域实现了多项技术突破和成果应用。同时，与北京邮电大学共建“国家特色示范性软件学院”，在新兴平台软件方向开展科研合作和人才培养。

“思极电力数字空间”开放且包容，我们已经梳理出了很多亟需解决的技术问题，未来也会推出一批“揭榜挂帅”联合攻关需求，以此汇聚新型电力系统技术创新联盟各成员单位的力量，共同开展关键技术协同攻关，推进数字技术与能源互联网全环节紧密融合，形成共建、共享、共赢的“思极电力数字空间”数字生态，打造一批“产学研用”合作典范，共同支撑新型电力系统构建，助力“双碳”目标实现，更好地服务国家数字经济、数字化转型。

从工业自动化领域起家，到形成“智能制造”和“新能源汽车”的“双王”战略，再到如今向“数字能源管理”转移，在董事长朱兴明看来，深圳市汇川技术股份有限公司（以下简称“汇川技术”）正在进行的战略转型实质上是一场“战略归一”。“能源的利用和管理，本质上离不开对电机的控制，而电机驱动技术正是汇川始终专注的核心技术平台之一。”

■着眼负荷侧“最后一公里”

汇川技术的独特优势在哪里？从事数字能源业务的公司数量庞大，汇川技术的市场竞争力源自何处？

记者的疑问也是朱兴明一直以来不断思考的问题。“现在，提起数字能源的发展，大家往往会把大量的关注点集中在电厂的数字化改造、储能应用以及电力传输中的智能化技术等。但更应该看到，能源最终要被使用，如何高效用能其实是数字能源管理的‘最后一公里’，我们要关注源侧、网侧，更要关注负荷侧。”

着力打通数字能源管理“最后一公里”

——访深圳市汇川技术股份有限公司董事长朱兴明

■本报记者 姚金楠



朱兴明

在朱兴明看来，对负荷侧的熟知便是汇川技术的优势所在。“着眼于工业园区和大大小小的工厂，多年来，在自动化领域汇川技术积累了上万家客户。随着碳达峰碳中和目标的提出，这些企业很大的疑惑在于不知道从何处着手进行降碳。”朱兴明表示，类似的应用场景正是汇川技术多年来深耕的市场。“我们对工业生产中的负载、产线连接等环节非常熟悉，所以我们提供的低碳化解决方案通常会把设备、产线以及各个生产车间紧密结合，打造数字化工厂、数字化车间、智能化装备，将源侧与负荷侧联动起来，提出更具有针对性的方案。”

“当然，我们也没有忽视过源侧和网侧。”朱兴明介绍，在电源侧，公司一直在关注火电参与深度调峰的相关技术。在电网侧，随着风电、光伏等可再生能源的高比例接入，如何保障电网的稳定性也成为数字能源管理的重要课题。“如何让一个复杂的、多扰动的电力系统稳定运行，核心还是控制手段。其间最重要的秘诀就是快——调节越快越好，反应越快越好。长久以来在工业自动化领域的发展，让我们在快速性、少延时、安全性相关的技术上都有了一定的积累。比如汇川技术已经把工业自动化中的一百兆总线快速控制技术、毫秒级控制技术成功移植到了电网控制上。”

■搭建数字能源管理“乐高模式”

落实到具体项目，朱兴明告诉记者，汇川技术的另一大优势在于“让客户DIY”，“自定义降碳方案”。

“最初起步时，我们也给一些工业企业做过整套的数字能源管理方案，但那时我们进入了一个误区，就是把交付项目做成了研发项目。这种模式根本不可持续，往往是项目做得火热，年底一算账却是亏损。”总结教训，朱兴明认为，成本过高是这一模式无法延续的重要原因。“一旦客户的需求甚至变化需要升级迭代，就需要进行二次投入，甚至是全盘推翻此前的设计。代价大，投入也大。”

经过大量的案例实践和市场调研，朱兴明提出了一个大胆的想法，要建一个基于底层模型驱动的数字平台。“把数字能源管理做成乐高积木的模式，在一个基础的平台和逻辑上充分发挥用户的自主性。”

目前，汇川技术的基础数字化平台已成功搭建。“在这个平台上，用户可以通过DIY的方式去构建数字化的能源管理系统。还可以根据业务和管理上的变化随时修改模型。汇川技术自己的工厂里应用的正是这个平台。所以，今天，我可以很自豪地说，我们工厂的数字能源管理系统并不是公司的研发和技术人员主导开发的，而是工厂的电工师傅在技术人员的辅助下自己搭建出来的，完全契合业务需要。”

■发力下一代储能架构

进入数字能源管理的市场，需要对能源行业内的热门技术和“风口”领域保持高度关注。在关注的过程中，朱兴明也给公司立下了一条规矩，“汇川技术，拒绝‘内卷’。”

以储能领域为例，朱兴明表示，汇川技术会将重点放在用侧储能上，“这与我们多年来建立起的负荷侧优势息息相关”。“至于发电侧和电网侧储能市场，更适合电池厂家，他们才是技术的主导者，我们只是参与者。”

朱兴明认为，当前，国内储能行业的发展尚处于初级探索阶段，安全性、经济性等关键问题还有待破解。“储能技术和产品的架构体系在未来可能需要经历革命性的变化，如果按部就班地按照现有模式去做，不仅企业难以盈利，还可能衍生出一系列连锁问题。新事物的发展要经历不断地试错升级，这是难以避免的。”朱兴明透露，目前，汇川技术已经在下一代储能的基础架构领域有所发力。“虽然在市场层面尚无明显表现，但在技术研发和解决方案上，我们已经有所行动。”