

煤炭清洁高效利用接下来的路该怎么走

——访煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室副主任李全生

■本报记者 朱妍

党的二十大报告指出，积极稳妥推进碳达峰碳中和。其中，“深入推进能源革命，加强煤炭清洁高效利用”是重要内容。

推进煤炭清洁高效利用，必然需要科技力量的强支撑。当前，我国已在煤田地质勘查、煤矿灾害防治、矿山智能开采、煤炭高效转化等领域，取得一系列跨越式成果，煤炭行业科技贡献率从近40%提高到60%。但同时，随着绿色低碳发展的要求越来越高，行业亦有短板亟待补齐。

如何进一步提升？来自全球最大的煤基能源企业——国家能源集团的科技部主任、煤炭开采水资源保护与利用国家重点实验室副主任李全生有着独到见解。

科技创新水平走在世界前列

身为行业资深专家，李全生亲身体会到科技进步对煤炭清洁高效利用起着第一生产力、第一动力的根本作用。

“例如，煤电在我国电力供应结构中约占2/3，这正是煤炭较为清洁高效的利用方式。通过创造性研发燃煤发电机组超低排放技术，严格实施高于世界主要发达国家和地区的大气污染物超低排放标准以及大规模超低排放改造，我国已建成全球最大的清洁高效煤电供应体系。”李全生以数据进一步印证：截至2021年底，全国已有10.3亿千瓦煤电机组完成超低排放改造；百万千瓦超超临界燃煤发电机组有160台在运行，超过其他国家的总和，平均供电标准煤耗低



李全生

至280克/千瓦时。

在清洁高效利用的另一主要领域——煤化工，我国同样达到全球规模最大、技术整体领先。当前，我国已形成较为完备的现代煤化工工程技术体系，关键设备国产化水平不断提高，大型煤气化、煤制烯烃、煤制芳烃等多项技术处于国际领先水平，煤直接液化、粉煤中低温热解及焦油轻质化技术属于国际首创。

种种突破，离不开龙头企业的引领示范作用。李全生介绍，作为全球最大的煤基能源企业，国家能源集团聚焦科技价值创造这一主线，充分发挥科技创新主力军作用，持续做好煤炭清洁高效利用这篇文章。不仅在先进高效、灵活、智能燃煤发电和新型电力系统建设技术上取得突破，还开创了煤化工产业高端化、多元化、低碳化发展的新局面。

“全面掌握煤制油品、烯烃等大型现代煤化工成套技术，可以说占领了该领域的国际制高点。”李全生举例，该集团打造了世界首套百万吨级煤直接液化示范工程和世界单体规模最大400万吨/年煤间接液化示范工程，成为全球唯一掌握两种煤制油技术的企业；依托首创的成套技术，建成了世界首个煤化工10万吨级碳捕集与封存工程。

重大技术需求持续旺盛

成绩有目共睹，但仍有提升的潜力与空间。李全生表示，未来相当长时期内，煤炭仍将是我国的主体能源和兜底能源，煤炭行业的科技创新，对保障国家能源安全起到至关重要的作用。

“经过几十年攻坚克难、奋起直追，全行业实现从跟跑、并跑到总体领跑的重大跨越，但部分关键核心技术还有短板和弱项。此外，‘双碳’目标对绿色低碳发展提出了更高要求，煤炭行业对新的重大技术需求旺盛，基础研究及商业化应用均有待提升。”李全生举例，碳捕集封存与利用项目，可实现化石能源大规模低碳利用、有效降低二氧化碳排放，但该技术距离全流程、商业化应用仍有不小差距。以低成本、高效利用技术做支撑，才能真正实现高碳能源低碳利用。

再如，我国确定了构建新型电力系统的战略路径，但目前系统支撑能力不够，燃煤机组调峰灵活性、煤电电站低负荷工况运行的安全性、经济性和环保性等问题亟

待解决。对此，还需要持续提升灵活高效运行的水平，集中攻关支撑新能源大比例消纳的灵活智能发电技术、煤电与新能源耦合发电技术等，以及高参数超超临界发电技术、超临界CO₂发电技术和整体煤气化燃料电池发电等前瞻性、颠覆性新型燃煤发电系统。

在现代煤化工领域，煤化工产业链短、产品同质化、碳排放等问题摆在面前，能源转化效率和运行稳定性、资源综合利用水平有待提高。对此，需要集中攻关煤基特种燃料、煤基生物可降解材料、煤基碳素新材料、高端润滑油、高端费托蜡等高端化工产品生产技术，探索研究煤化工与新能源、钢铁冶金等产业耦合技术，开发煤化工特种装备，提升煤炭作化工原料的综合利用水平。

李全生进一步阐述道：“在今后较长时间内，推进我国煤炭清洁高效利用是长期且艰巨的任务，需要国家从战略、管理、技术等多个层面高度重视。”

进一步加强产业扶持力度

难题不少，李全生却有信心。“针对以煤为主的能源结构，我国长期将煤炭开发利用技术作为国家科技计划的重点支持方向，形成了一批核心技术和创新平台，培养和汇聚了一批高水平创新人才。”

李全生建议，在此基础上，进一步实施国家层面的煤炭清洁高效利用重大科技攻关计划，建立“顶层目标牵引、重大任务带动、基础能力支撑”的重大科技攻关组织模

式。充分发挥大型能源央企的创新主体和出题者作用，推动企业成为技术创新决策、研发投入、科研组织和成果转化的主体，为重大科技攻关提供资金、人力和应用推广条件等支持。加快构建以国家重点实验室、高水平研究型高校、科技领军型企业为引领的煤炭科技国家战略科技力量，加强复合型、复合型人才培养，特别是加强智能发电、煤炭与新能源耦合、现代煤化工、CCUS等领域人才培养，加大卓越工程师人才培养力度。

“除了行业自身，需要从国家层面科学把握煤炭减量替代节奏，对煤炭清洁高效利用产业加强扶持力度。”李全生提出，“十四五”期间，重点释放一批安全高效绿色煤炭产能，新建一批高效灵活调峰能力强的燃煤发电机组，推动现役机组“三改联动”，开发一批煤油化联产绿色低碳煤化工项目，促进碳捕集利用与封存产业化，为我国能源安全保障和“双碳”目标实现提供支撑。

针对煤化工这一重点方向，李全生还建议，明确煤制油气作为国家能源安全战略储备的定位，将煤基特种燃料列入国家石油收储目录，将煤基生物可降解塑料、煤基高端碳素材料等高端煤化工作为战略性新兴产业进行部署，由限制发展的“两高”项目转为高技术产业项目，支持其有序高质量发展。“建议在国家规划的鄂尔多斯、榆林、哈密等大型煤化工基地建设一批煤油化新能源一体化发展的低碳高端煤化工项目，充分发挥我国煤制油技术与产业优势，将技术储备转化为产能储备。”

新型电力系统技术创新联盟专栏

我国电工装备加速绿色智慧创新发展

——访中国电气装备集团有限公司总经理周群

■本报记者 董梓童 苏南

2022年11月底，国家能源局综合司发布的《关于积极推动新能源发电项目应并尽并、能并早并有关工作的通知》指出，今年以来，我国新能源发电持续快速增长并保持较高利用水平，第四季度新能源投产并网较为集中。保证新能源发电项目及时并网，既有利于增加清洁电力供应，也有利于促进能源清洁低碳转型。

要实现碳达峰碳中和，就要提升可再生能源电力占比。在确保电网安全稳定、电力有序供应的前提下，促进可再生能源发展，提升可再生能源电力消纳能力，给电工装备企业提出了哪些要求？哪些高端技术研究需要？企业如何部署规划？围绕这些问题，本报记者日前采访了我国输配电装备领域唯一的“国家队”——中国电气装备集团有限公司（以下简称“中国电气装备”）党委副书记、总经理周群。

需从设备状态感知等四个方面开展研究

中国能源报：新型电力系统建设中，电网调度模式的转变对相关技术、装备开发升级提出哪些新的要求？

周群：在新型电力系统建设背景下，电网调度将转变为源网荷储协调控制、输配微网多级协同，企业需要从设备状态全面感知、数据处理、协同运行、多元服务四个方面开展新技术、新装备、新系统的研究工作。

在全面感知上，新型电力系统源网荷储各环节紧密衔接、协调互动，涉及的控制对象范围更广、规模更大，且需多级高效协同。由于海量协同对象数量巨大、位置分散、时序要求高，这就需要电气装备深度融合新一代信息技术，通过智能传感和智能测量装置采集全网数据，实现源网荷储多元泛在接入。

在数据处理上，新型电力系统业务开展需要全环节海量数据实时汇聚和高效处理，对数据采、传、存、用提出更高的时效性要求，需要构建“数据+算法”与“算力”紧密结合的能源大数据平台，支撑海量并发、实时共享、开放服务的应用需求。

在协同运行上，新型电力系统源、荷均呈现强随机性，对电力系统安全稳定运行提出更高要求，需全时序策略推演、态势研判，建立多尺度控制策略和控制渠道，并利用人工智能等先进技术，构建源网荷储协同控制系统，满足电网安全高效运行控制需求，实现最大新能源就近消纳。

在多元服务上，随着复杂多变的产消形式和多元异构新型市场主体不断涌现，新型电力系统衍生出多元化的市场服务，需构建碳统一市场，并通过辅助市场机制及支撑技术，服务国家“双碳”目标落地。

围绕科研攻关等三方面开展规划

中国能源报：围绕新型电力系统构建，中国电气装备将如何规划发展布局？

周群：构建新型电力系统是一项复杂而巨大的系统工程，需要源、网、荷、储、用全链条共同发力，推动电力电子、数字化智能化、储能与



周群

需求侧管理等新技术创新发展，加快颠覆性技术突破，促进新技术、新装备加速裂变、演变。中国电气装备集团以“建设世界一流智慧电气装备集团”战略目标为统领，聚焦“智慧电气、系统服务、高效能源”三大总体布局，加大科研攻关力度，加快整合融合聚合，加速产业规划布局，推动公司实现高质量发展。

首先，加大科技创新力度。新型电力系统建设背景下，电力产业将迎来新一轮技术变革和创新高潮。因此，应不断加大研发投入，建立以成果产业化为目标的链条协同创新机制，聚焦“卡脖子”攻关方向，突破“卡脖子”核心技术，深化基础技术与高端材料研究，推进关键材料与核心部件国产替代，强化电力装备领域基础开发平台的支撑能力，打造原创技术的策源地。

其次，加快推动内外重组整合。一方面，要尽快理顺集团内部业务情况，消除同质化竞争，按照专业化整合、产业化经营、扁平化管理、资本化运作的总体原则，制定时间表和作战图，发挥合力，有节奏、有力度地持续推进产业资源整合，打造高标准、高质量、高效益的产业平台，促进集团快速发展；另一方面，积极寻求优势企业和优势产业，补强已有产业链，延伸新兴产业链，积极开展重组并购。

第三，加速推动新兴产业布局落地，促进集团转型升级。加快推进新能源、综合能源、储能、电动汽车充换电等新兴业务布局，积极拓展新的效益增长点，支持集团持续健康发展。

攻坚柔性负荷等四个技术方向

中国能源报：在电工技术装备领域，中国电气装备重点关注哪些高端技术研究？

周群：绿色低碳、智能互动是未来电气装备的主要特点和发展趋势，中国电气装备聚焦绿色电源、弹性电网、柔性负荷、新型储能四个方向，开展智能装备和成套系统研究，支撑新型电力系统安全稳定高效运行。

在绿色能源友好并网方面，重点开展新能源主动支撑技术研究，研制具备新型拓扑结构的构网型变流器和智能协同控制平台，解决新能源发电故障穿越、宽频带振荡抑制、新能源集群并网及协同运行等关键技术，重点攻克海上风电送出系统集成方案研究和适海型轻量化海工装备研制，大幅降低海上风电送出平台

的重量和造价。

在弹性电网协同调控方面，重点开展柔性直流输电技术研究，实现换流器轻量化、紧凑型，攻克柔性直流送出系统的振荡抑制技术、故障联合穿越技术等先进控制技术。同时，研发源网荷储协同控制系统，攻克新型电力系统建设下的多元设备状态全息感知、源网荷储实时动态电力电量平衡与安全稳定控制等多项关键技术，通过全景监控、融合预测、控制决策、故障恢复等实时调度控制功能，提升新能源的消纳水平与电网的主动防御能力。

在柔性负荷供需互动方面，重点开展负荷侧海量的分布式资源、灵活多变的新型负荷模式研究，攻克分布式光伏安全接入与管控技术、电动汽车有序充电与电网互动技术、分布式能源与新型负荷互动技术、用户侧负荷聚合及虚拟电厂技术。同时，研发具备多源融合与分布式资源广域聚合的新型负荷管理智能装备，提升负荷侧供需互动能力。

在新型储能技术提升方面，率先开展非步入式液冷电池舱、高压级联直挂式大容量储能并网、三级安全防护体系等新技术应用，积极推动以钠离子电池、液流电池等为代表的下一代新型电池技术研究，同时推进氢储能及变换等相关技术攻关。

打造智慧电气装备科技创新链条

中国能源报：在解决行业痛点上，中国电气装备取得哪些重大成果，在助力全球碳中和方面有哪些战略部署？

周群：中国电气装备作为我国输配电装备领域唯一的“国家队”，拥有自主知识产权的交直流、全系列、全电压等级输变电装备研发制造体系，公司坚持科技自立自强，优化创新体制机制，集聚优质创新资源，强化“卡脖子”技术攻关，推进关键核心部件国产化替代，持续聚焦行业痛点，着力提升固链、补链、强链、塑链能力，积极培育原创技术策源地，着力打造智慧电气装备产业链“链长”，在重要领域和关键环节取得多项决定性成果，保障国家能源安全。成功研制“±800kV 换流变压器阀侧套管和穿墙套管”“170kA 大容量发电机断路器”等关键设备，彻底打破国外技术垄断。完成“燃气轮机发电机断路器”“大电流电流互感器的屏蔽技术”等央企攻坚工程。126kV 无氟环保型气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)、海上风电柔性直流输电 IGBT 换流阀等 20 余项产品列入国家能源局能源领域首台(套)重大技术装备目录。在国产化替代方面，完成 ESP820 嵌入式软硬件平台技术攻关，实现了芯片、操作系统及软件全部国产化；220kV 国产绝缘料电缆实现国内首次应用，产业链韧性和自主化水平极大提高。

在助力全球碳中和战略部署方面，公司深入贯彻落实新发展理念，将国内能源转型和高质量发展经验，将国内新型电力系统新装备、新技术推广到国际市场，特别是“一带一路”发展中国家，形成具有国际影响力的自主品牌和“拳头”产品，助力世界各国早日实现碳中和目标，服务全球能源转型。

关注

■梁智毅

南方电网数字电网集团有限公司自2020年入选“科改示范行动”企业以来，着力锻造企业核心竞争力。作为全球首家数字电网研究院，相继发布系列行动方案、发展规划和白皮书，系统谋划推动数字电网建设蓝图落地。同时，数字集团不断完善现代企业精细化管理，打造“形至神备”的公司治理体系和授权体系，持续提升现代企业管理数字化水平，实现精细化企业管理，深化实施企业数字化转型。

专注国家战略，聚焦强链补链

南网数字集团围绕“四个数字”，推进数字化转型业务布局，打造六大专业作战军团，主动服务“数字中国”建设。打造数字电网系统及工程集成“王牌军”，全力打造数字电网技术产品，支撑新型电力系统建设，推动实现“双碳”目标；打造企业管理信息化软件龙头企业和网络安全运维保障专业支撑主体，全面提升数字化运营水平，支撑“网络强国”战略落地；打造数字基础平台运营、大数据领域“冠军”企业，建成云数一体数据中心，聚焦大数据、数据中心、5G、北斗卫星服务等产业，承接“东数西算”等国家重大战略工程；集中高端研发力量打造人工智能、芯片、传感领域“独角兽”，攻克“卡脖子”关键技术，前瞻布局新一代信息技术重点产业，全力推动智能技术赋能一二次设备融合，助力能源数字产品产业化。

专注数字建设 精细企业管理

南网数字集团的“专精”之路

南网数字集团聚焦核心技术攻关，打造数字电网技术装备现代产业核心力量。以掌握产业关键环节核心技术为突破口，以“数字化、智能化、自主可控”为要求，实现关键软硬件自主可控。完善产业配套，打造完整的网架、传感设备的网架、传感设备的中试生产线，建设新技术、新产品推广应用平台；设立技术研发中心，承担科技成果孵化器和加速器阶段工作；牵头建设数字能源技术重大创新平台，持续加速推动数字产业落地。以点带面推动能源生态建设，在产业上游联合原材料、元器件供应商和设计、测试软件商，打造与芯片元器件、设计软件厂家的合作生态圈；中游深入推进产—学—研—用创新合作，与科研机构共建联合实验室与创新联合体，形成关键装备研发、生产、推广应用的生态圈；下游以电力数据运营为纽带，面向政府、企业、金融机构、个人用户挖掘应用价值，引领建立能源数据生态。

发挥深耕优势，精细公司治理

南网数字集团着力打造数研特色公司治理体系，以“治理地图”实现信息化支撑。试点开展“科技领军人才进董事会”，充分发挥科技领军人才在开拓新技术、新领域、新产品的引领作用和专业能力和领航作用。率先打造党支部治理范本，推动党支部参照党委运作，并以支部议事清单形式落实行权履职的方式，进一步促进党支部参与基层治理工作，推进党建与经营业务融合。创新设计可视化“治理地图”，规划治理体系演进路径，将行权流程固化到业务信息系统，将授权责任主体及管控节点要素融入业务信息系统，以可视化形式展示公司治理决策事项的明细和进展情况。

依托信息软件领域深耕优势，勾勒数智化企业管理图景。建立完善公司数字运营管理系统，搭建纵横一体化管理体系，统一管理口径实现标准化，全力支撑公司管理变革和业务变革。横向加强项目全生命周期管控体系建设，将精益化管理理念渗透到项目管理流程的各个环节，动态开展项目分层管控，实施监管和评价分析，推动项目全成本归集。纵向贯彻“用数据说话、用数据管理、用数据决策、用数据评价”理念，集合多端对经营数据的全面管控，从0到1形成经营数据全局掌控、执行一贯到底、监督一览无余的可视化协同工作场景，确保经营数据既能看到全部、看到宏观，又能看到局部、看到微观。

入选“科改”以来，数字集团发力突破“卡脖子”技术，推进关键核心技术攻关，承担国家级、省部级关键核心技术攻关项目近30项，编制17项国际、国家及行业标准，形成专利授权895件，自主研发的“伏羲”芯片入选2021年度央企十大“国之重器”，自主研发的科技成果先后获得中国专利金奖、中国工业互联网大赛全国总决赛一等奖、广东省科技进步奖、中国电力科技进步奖、中国电子学会技术发明奖、中国机械工业联合会科技进步奖等省部级、行业级科技奖励一等奖20余项。