

首届“中国低碳城市发展论坛”召开，共议城市绿色转型新实践

城市减碳 创新为先

■本报记者 王林



最佳生态环境。今年市委市政府也将积极构筑科技成果转移转化的首选地，构建包括“双碳”领域在内的科技成果的评估、转化、投融资、商业化开发等等概念验证、服务体系，打造科技成果线上线下路演中心和技术交易生态系统，加快建设万亿级的科技大市场。

到今年底，杭州高新技术企业数量从去年初的7710家增至1.2万家，接近北京、上海、深圳等主要城市，对于杭州更好地贯彻落实“双碳”战略将起到积极的推动作用。

话“双碳”目标 能源转型与能源安全不是互悖的

“能源转型与能源安全并不悖行，实际上越转型越安全。”中国工程院院士、原副院长，国家能源咨询专家委员会副主任，中国碳中和五十人论坛主席杜祥琬坦言。为实现碳达峰碳中和，国家在应对气候变化中，应当建立科学的决策基础，认准“气候变化的现实与趋势”以及“可再生能源的成本显著下降”这两个确定性。遵循“双碳”目标的基本路径，一是要降低能源强度（节能、提效），二是要优化能源结构。

“节能提效是中国能源战略之首，是绿色低碳的第一能源，是保障国家能源供需安全和能源环境安全的要素。在目前化石能源为主的能源结构下，节能提效是减排的主力。”杜祥琬称，“在经济高质量增长的同时，进一步降低能源强度，是实现碳达峰的基本路径。2021年，我国能源强度是世界平均水平的1.5倍，远高于美、英、法、德、日等发达国家，是经济合作与发展组织国家的2.7倍。当前消费水平下，能耗降1%，就减0.5亿吨标准煤当量，减排1亿多吨二氧化碳。”

“优化能源结构也是重中之重，这就要求必须重新认识我国的能源资源禀赋，这是一个影响我国能源政策、能源战略的重大问题。事实上，‘富煤、缺油、少气’不能准确描述我国能源资源禀赋，丰富的可再生能源资源也是我国能源资源禀赋的重要组成部分，我国已开发的可再生能源不到技术开发资源量的1/10。”杜祥琬强调。

以兰考县为例，该县可再生能源丰富，2018年7月正式获批全国首个农村能源革命试点建设示范县，几年时间其能源革命示范建设初见成效，目前全县已实现全清洁能源供电，县内项目包括封丘乡寨村光伏项目、三义寨集中式风电项目等。

浙江大学文科领军人才、求是特聘教授、浙江大学公共管理学院城市发展与管理系主任、城市发展与低碳战略研究中心主任石敏俊指出，能源转型是碳达峰碳中和的主战场，碳达峰是促进能源转型、实现碳达峰碳中和的关键公共政策。“未来10年，将进入可再生能源大狂欢时代。”他说，“能源转型面临两大挑战，一是化石能源是否由足够的非化石能源替代，二是能源转型伴随的能源成本上升及其连锁反应如何化解。”

事实上，随着可再生能源比例不断提升，对电力系统的灵活性要求也在不断增强。新能源+智能电网+储能等灵活性资源相集成，使系统具备柔性、平衡功能，达到优质电力输出。“在此过程中，我们需要把握好节奏，积极而稳妥，既要防止‘一刀切’简单化，又要防止转型不力，带来落后和无效投资。”杜祥琬表示，“先立后破，即新房子没有盖好之前不要拆老房子，把好事办好，深刻推动经济、社会的变革和进步。”

事实上，实现“双碳”目标是复杂的系统工程，是一个长达几十年的科学的转型过程。在实现碳达峰的同时，工业、电力、交通、建筑各个方面都要明确走向碳中和的方向和路径。实现碳中和则需要重大创新，即构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统，纵向源、网、荷、储一体化，横向多能互补。

“双碳”目标基于现代气候变化科学和能源低碳转型，其科学基础是坚实的。碳达峰和碳中和是能源革命的两个里程碑，是顺应绿色发展时代潮流，推动经济社会高质量发展、可持续发展的必由之路。“碳中和只是一个里程碑，而不是终点。人类社会还要发展，未来社会要靠未来能源的支撑。从未来能源的角度，可以更好地理解‘双碳’目标的意义和历史地位。”杜祥琬补充称。

论低碳技术

关键技术是实现碳中和核心措施

实现碳中和目标的核心措施是布局零碳能源和低碳技术，“减排开始时间越早，减排压力越低，低碳技术应用越早，边际减排成本越低，所需的总成本越低。”中国工程院院士、生态环境部环境规划院院长、中国碳中和五十人论坛联席主席王金南表示。他总结的实现“双碳”目标10大关键技术分别是气候模式和碳循环模拟预测技术、清洁能源和智慧储能关键技术、碳捕集和封存规划化关键技术、近零排放节能建筑关键技术、绿色低碳交通关键技术、现代农业与粮食减碳关键技术、工业行业零碳工艺变革关键技术、生态固碳增汇关键技术、温室气体排放监测核算关键技术、气候弹性和适应机制关键技术。

王金南指出，中国既是目前的排放大国，也是气候变化的主要受害国。中国的碳达峰碳中和，是国际上排放压力最大、综合降幅最快、转型任务最重、投入成本最高的复杂系统工程。“到2030年，单位减排成本低于100美元/二氧化碳当量的技术，相较于2019年碳排放水平，能够降低至少一半的二氧化碳排放。我们预计电气化与智慧电网、光伏风能发电、氢能、工业零碳技术、CCUS等负碳技术，将成为全球及中国实现碳中和的优先发展力。”

工业零碳技术是工业部门实现碳中和的重要支撑，需要发挥国家战略科技力量，集中优势科技资源，加快部署一批减碳颠覆性技术攻关。工业零碳技术集合了各项碳中和技术，广泛应用于钢铁、建材、有色、化工等领域。

CCUS则是目前实现化石能源低碳化利用的唯一技术选择，是碳中和目标下保持电力系统灵活性的主要技术手段，是钢铁、水泥等难以减排行业低碳转型的可行技术选择。王金南介绍称，现阶段中国每吨二氧化碳的捕集成本为燃烧前捕集250-430元，燃烧后捕集300-450元，富氧燃烧捕集300-400元。预计到2030年，我国全流程CCUS(按250公里运输)技术成本为301-770元/吨二氧化碳；到2060年，将逐步降至140-410元/吨二氧化碳。

中国科学院院士、南方科技大学讲席教授、碳中和能源研究院院长、中国碳中和五十人论坛成员赵天寿则详细介绍了储能技术对于能源转型的重要意义。赵天寿表示，实现碳中和目标需要规模化、长时间、安全稳定、无地域限制、低成本、长寿命、形式多样的储能技术，储能能够平抑能量波动，实现能量平滑、稳定输出，提高实际利用。“现有储能技术各有优势与局限性，我们需克服其局限性，研发变革性储能技术。”他说，“储能是新能源为主体的新型能源体系的关键环节。”

赵天寿以抽水蓄能、压缩空气、锂离子电池、氢燃料储能、甲醇燃料等为例，详细分析了不同储能技术的应用场景和现状、技术优势和挑战，并由此提出电燃料储能技术。该技术具有独立的充电与放电装置，充电装置可随时随地高效充电，在功率密度和成本上具有优势，为大规模、长时间、不受地域限制的储能提供了思路。

相对于传统燃料储能，电燃料储能技术大幅度扩大了能量载体的选取范围。消除了氧化反应和还原反应对材料、组建和系统设计的相互制约。能量效率及功率密度得到同步大幅提升。充、放电彼此独立，充电装置可以随时随地充电，放电装置则按需放电。

“从电能质量管理、移动能量需求方面来看，短时储能需求基本已经满足，但从可再生能源并网来看，长时储能需求存在巨大缺口。”赵天寿坦言，“因此，探寻变革性的储能技术，且同时具备清洁、可持续、更高效等特性，已经成为当务之急。”

谈创新协同

低碳科技和低碳制度要协同发展

对于如何推进“双碳”目标实现，创新驱动是根本法则，主要是低碳科技创新和低碳制度创新。国家“万人计划”哲学社会科学领军人才、浙江农林大学生态文明研究院院长、碳中和研究院院长沈满洪表示，“创新驱动碳达峰碳中和”才是真正意义上的“积极推进碳达峰碳中和”。

沈满洪围绕“积极”“稳妥”两个关键词，回答“怎么准确理解”“怎么统筹兼顾”“怎么创新驱动”三个问题。他指出，应对气候变化是中国的主动选择，而不是被动选择，中国不仅要履行“双碳”目标的承诺，而且要在国际气候治理当中发挥引领作用。

在目标推进过程中，要坚持五个统筹兼顾，一是要统筹兼顾碳达峰碳中和与经济社会发展目标，二是要统筹兼顾碳达峰与碳中和目标，三是要统筹兼顾碳达峰与增碳汇，四是要统筹兼顾改善能源结构与提升能源效率，五是要统筹兼顾生态碳汇和工程碳汇。“我们要追求在碳达峰碳中和的目标既定之下的经济成本最小化，也要追求在发展目标既定之下的碳排放最小化。”沈满洪强调。

沈满洪还强调了技术创新和制度创新协同的重要性，工业化、绿色化、低碳化“三化并举”，加强整体资源集约高效利用，从而实现“双碳”目标。

对此，石敏俊表示，从能源转型与碳减排的公共政策角度来看，碳达峰和能源转型必须与基于“干中学”机制的内生技术进步相结合，碳达峰有利于诱导内生技术进步，可化解能源成本上升压力，碳税收入则可用于补贴可再生能源，缓解能源转型带来的成本负面冲击。

内生技术进步是经济增长的源泉，而知识的积累是内生技术进步的根本，知识积累的途径一般有两类，分别是研发和“干中学”。事实上，通过制定合理的公共政策，如碳定价，有利于诱导基于“干中学”机制的内生技术进步，在鼓励创新、补贴研发的同时，推动减排、控制成本。

“当清洁产品和污染产品的替代性足够高时，政府可以实施环境税和补贴来定义技术进步向清洁技术方向发展，从而抑制污染，实现可持续发展。”石敏俊表示，“碳定价诱发低碳技术投资，当减排成本低于碳价时，企业和投资者会投资于减排行为，减排成本和碳价之间差额是利润，减排行为变得有利可图。目前，国内碳价低于70-80元/吨，难以对低碳技术投资形成足够的激励。”

评实践应用

将奇思妙想转为应用场景很重要

王国平表示，建设低碳城市必须要有系统论、系统科学的方法。科学系统地解决城市问题，要重视并破除城市管理者和专家学者之间的“信息不对称”问题。城市管理者需要实现“双碳”目标中的技术创新、政策创新、制度创新，专家学者需要在科研攻坚中过成本关、时效关、整合关“三关”，将奇思妙想转化为应用场景。而二者的统筹协调、赋能共赢，就需要依靠政产学研用“六位一体”的平台型智库作为沟通的桥梁和落地的载体。

对此，趣链科技双碳事业部总经理虞博名分享了区块链技术在减排方面的实践应用。他指出，碳排放因为其难以直接准确监测的特性，决定了碳资产是一种基于主体信誉，通过数据统计计算所形成的虚拟资产，强依赖于MRV(监测、报告、核查)机制。而区块链技术具有的多方参与、可追溯、不可篡改的特性，非常适合作为碳资产和碳资产的承载工具，能够有效为碳数据和碳资产增值。

在实践中，趣链团队围绕“双碳”目标实现的三大闭环，成功建设面向政府、企业、个人的服务平台，依托平台开展技术咨询、服务运营等相关业务，形成可复制、可运营的产品生态。“区块链打破边界，实现可信的数据交换。”虞博名表示，“围绕政府治碳、企业管碳、个人低碳的闭环服务，建设面向政府、企业、个人的服务平台，依托平台开展技术咨询、服务运营等相关业务，形成可复制、可运营的产品生态。”

据悉，浙江省减污降碳协同增效平台是全国首个省级减污降碳协同管理平台，旨在为全省污染物管理、碳排放权管理、企业减污降碳服务提供支撑工具。已为浙江省1600余家企业提供碳与排污权的综合管理服务，预计管理碳排放量2亿余吨，并将逐步覆盖全省2万余家污染权许可证企业。

值得一提的是，区块链技术还可应用于碳普惠平台的建设，该平台对接个人减排场景，通过方法学认定与核实现机制，将个人减排行为转化为碳减排量，实现碳资产交易流通管理，普及低碳理念、形成正向激励的同时，促进民众生活领域节能减排，创新低碳社会建设新模式。区块链对碳普惠认定、核查、交易、消纳等过程留痕可溯、交叉验证。

针对碳普惠理念，中国产业发展研究院副秘书长、碳中和技术中心主任、中国碳中和五十人论坛特邀研究员吴宏杰表示：“碳普惠制正迅速走入公众视野，其可以带动个人减排行为，将个人排放量量化固化，从消费侧推动全社会绿色转型升级，但同时其还存在个人隐私泄露、减排意愿不足、制度流程较为复杂等问题。”吴宏杰在本次论坛上发布了“个人碳账户”课题研究成果。该课题团队基于目前国内和国际所有的个人碳账户的实践，科学界定个人碳账户的定义，揭示个人碳账户的设立方法，并对未来的个人碳账户的发展提出建议，线上线下专家高度肯定课题的理论意义和现实价值。

“除了‘政产学研’外，还要重视‘资’和‘用’。”王国平强调，“资”是资本，包括国有资本、社会资本，要设立低碳城市建设专项扶持资金，建设低碳技术风险投资和交易平台。“用”是ToB(面向企业)、ToG(面向政府)、ToC(面向消费者)的全用户概念，要让千家万户的城乡居民家庭成为低碳技术的使用者、低碳城市的获益者，以新业态、新模式引领新消费、新生活。唯有把“政产学研用”6股力量拧在一起，用一个平台来进行交流，才能解决信息不对称的问题，才能够少花钱、多办事、快办事、办好事，才能真正推进低碳城市的高质量发展。