

美丽中国·零碳洞察

建设零碳园区要拥抱“外行创新”

——访北京大学能源研究院副院长杨雷

■本报记者 苏南



首批52个国家级零碳园区名单的出炉，标志着我国零碳园区建设从战略规划迈向落地实施的新阶段。在“双碳”目标引领下，零碳园区被视为“小切口、大文章”的典范，不仅直接关系碳中和未来，更承载着探索能源体系系统性变革的使命。零碳园区发展情况如何？“成长”面临哪些烦恼？破局路径是什么？带着诸多问题，《中国能源报》记者采访了北京大学能源研究院副院长杨雷。

■驶入发展快车道

“当前，新能源上网成本已大幅低于传统能源，科技进步带来的生产红利，为零碳园区奠定了坚实基础。”杨雷指出，在此背景下，零碳园区作为新型能源体系和分布式能源的集成范式，正成为推动能源转型的“试验田”。

近年来，随着我国新能源发展从政策驱动迈向市场驱动，零碳园区作为分布式能源与需求侧低碳转型的核心载体，正从“边缘探索”走向“舞台中央”。从实践来看，我国零碳园区建设已在全国多点开花。如鄂尔多斯零碳产业园，通过“风光氢储车”一体化、智能微网、碳管理平台，实现了高绿电自发自供；重庆AI City园区是全国首个“机器人友好园区”，通过智慧化管理降耗；苏州工业园区不仅是全国首个“隔墙售电”试点，还通过碳普惠让企业出售光伏碳资产增收。北大能源研究院参与建设的零碳油气田园区、零碳矿山园区等试点，均验证了零碳模式在不同场景的可行性。

“这些案例证明，零碳园区不是‘空中楼阁’，而是能落地、可复制的低碳解决方案。”杨雷表示，“零碳园区的核心是‘源网荷储一体化’与‘供需协同’，改变了传统‘重发轻输不管理’的能源发展范式，让负荷侧成为能源系统的重要组成部分，甚至是中心部分。”

■面临“成长的烦恼”

尽管发展势头迅猛，零碳园区在规模化推进中仍面临多重挑战。杨雷直言，当前能源系统的“灵活性不足”是核心瓶颈：“风光天然的波动性给能源系统带来巨大挑战，许多地区分布式光伏已进入‘红区’，同时弃风弃光率不断上升，系统原有的调节能力接近枯竭。传统电网扩容受物理约束，而东部地区‘零电价’现象与西部绿电外送矛盾，暴露了当前价格机制与协同机制的缺陷。”

在技术层面，多能转换与供需协同的精细化程度欠佳，也就是“合理规划”有所不足，极易出现“大马拉小车”的状况，进而导致资源错配，成本高企。杨雷列举了油田建设零碳园区需要攻克的挑战。“例如，在油田开发区，需要50—60摄氏度的低温供热用于供暖和加热管道，同时也需要300摄氏度甚至更高温度的高温蒸汽进行地下驱油采油，那么哪种电热转化方式才是最优选？现有的高温热泵技术是否能满足需求？”

在运行层面，动态平衡的复杂性更是远超预期。“若要实现秒级供需匹配，就需实时处理海量的数据，这对算法和算力都提出极高要求。”杨雷补充说，“需求侧配合波动性供应进行柔性生产用能的动力是什么？问题的答案不在技术，而在市场。”当前，分布式能源用户的电价体系仍电价省级现货市场，多是行政色彩浓厚的分时电价，缺乏有效的价格信号引导，导致“绿电红利”难以在产业链中合理分配，也就无法动员更大的灵活性资源。

此外，标准体系、投融资机制及跨部门协同不足也制约发展。“热、电分属不同部门管理，综合能源服务商的政策支持尚不配套，零碳园区的认证标准与投融资工具仍需完善。”

■要勇于打破思维定势

面对挑战，杨雷提出“技术—机制—认知”三位一体的破局路径，强调零碳园区需从“单点突破”迈向“系统变革”。

从技术角度看，“未来能源系统的核心是灵活性，而多能转换是关键。”杨雷指出，电热、电氢、化学和物理储能，车网融合、工业流程再造、需求侧灵活性等技术的跨界融合将释放巨大潜力。

在机制创新方面，需要构建以用户为中心的市场体系。“要让需求侧成为能源系统的‘主角’，必须建立下沉到‘最后一公里’的价格信号。”杨雷建议，推动分布式能源参与现货市场，通过动态分时电价、实时电价引导用户柔性调节，创造出新的增长点。例如，有些园区通过建立更加细化的分时电价体系，已经证明了市场化机制的有效性。如何更加动态实时将是未来的重点研究方向。虚拟电厂、聚合商等新模式将会发挥越来越大的作用。“现行机制明确了电网与用户的责任划分，下一步需明确分布式能源的市场地位，让绿电红利惠及产业链各环节。”

更重要的是，要勇于打破思维定势，拥抱“外行创新”。“我们最需要改变的是传统认知与思维惯性。以首次太阳能飞机环球飞行为例，这一壮举的实现者瑞典人布兰特·皮卡本职业是心理医生。”杨雷说，零碳园区的发展同样需要跨界思维——政策制定者需打破部门壁垒，企业需跳出“重资产投入”的传统路径，探索“绿电直联+综合能源服务”等新型模式。“零碳园区不仅是实现碳中和的探索，更像是能源未来的预演——它需要技术的跨界融合、机制的市场化创新，更需要认知和思想的解放。”

杨雷同时强调，零碳园区的最终目标是“降碳减污、护绿增长”的协同，发展才是硬道理，也才会得到全社会的支持。“人民群众的汪洋大海是新能源发展的根基，只有让各方共享红利，零碳园区才能行稳致远。真正做到以‘小切口’推动能源系统的‘大变革’。”

■服务自主贡献目标

12项方法学是自愿减排市场方法学体系建设的一次大规模、系统性拓展，将切实增强自愿减排市场服务国家高质量发展的整体效能。其分别涉及海上油田伴生气回收利用、陆上气田试气放喷气回收利用、陆上油田低气量伴生气回收利用、淤地坝碳汇、滨海盐沼植被修复、海草床植被修复、规模化猪粪沼渣气回收利用工程、农业废弃物集中处理工程、既有公共建筑围护结构与供暖通风空调系统能效提升、可再生能源电解水制氢、电气设备六氟化硫回收和净化、中深层地热能井下换热供暖技术应用工程。

生态环境部应对气候变化司相关负责人表示，在推动“双碳”目标与国家自主贡献实现方面，这12项方法学覆盖领域广泛，瞄准我国自主贡献目标落实中的关键缺口和难点，聚焦可再生能源利用、节能提高能效、农业废弃物资源化、生态系统碳汇、非二氧化碳温室气体减排等国家应对气候变化战略方向和碳达峰碳中和重点行动，为我国实现全经济范围、包括所有温室气体的新一轮国家自主贡献目标提供了有效的市场激励机制。

在全面遵循国际通行规则的基础上，结合我国降碳增汇的实践开展原创性设计。如《温室气体自愿减排项目方法学 淤地坝碳汇》在全球首次建立水土保持工程的碳汇核算规则，《温室气体自愿减排项目方法学 陆上气田试气放喷气回收利用》开创性构建此细分领域的监测与核算体系，填补国际空白。这些既在全球应对气候变化行动中彰显了中国的积极贡献，也为国际碳市场的发展和完善提供了切实可行的“中国方案”。

■参与主体日趋多元

《关于推进绿色低碳转型加强全国碳市场建设的意见》对自愿减排市场明确提出新阶段的发展要求——到2027年全国温室气体自愿减排交易市场实现重点领域全覆盖。

“全国温室气体自愿减排交易市场的主体支持领域通过发布温室气体自愿减排项目方法学确定。”生态环境部应对气候变化司相关负责人表示。

2023年起，生态环境部持续向社会公开征集方法学建议，注册登记系统长期开放方法学建议公开征集渠道，迄今累计收到600余项方法学建议，覆盖能源产业、建筑业、交通运输业、燃料逸散性排放、废物处理处置、林业和其他碳汇、农业、碳捕集利用与封存等温室气体自愿减排项目行业领域。

目前，自愿减排交易市场已构建形成“管理制度—技术方法—基础设施”的“四梁八柱”，明确项目与减排量登记、交易、结算等全流程规则，注册登记、交易系统基础设施稳定运行，准入一批审定与核查机构和核查员，实现注册与登记、审定与核查、交易等全链条闭环管理，为市场健康运行奠定了坚实基础。

注册登记系统正式受理项目和减排量登记申请，严格审核项目审定报告、减排量核算报告、减排量核查报告等材料，并网上海风力发电、并网光伏发电、造林碳汇、红树林营造等领域已公示项目140余个。其中，位于江苏、甘肃等地的33个项目、1776.37万吨核证自愿减排量成功登记，已登记项目预计将在未来实现温室气体自愿减排约1.25亿吨，减排效益正在加速转化为可交易、可支撑绿色发展的优质碳资产。

自愿减排交易市场参与主体日趋多元，项目业主、重点排放单位、投资机构等各类主体累计开立账户超5700个。核证自愿减排量累计成交量达921.94万吨，成交额6.50亿元，成交均价约70元/吨，切实为一批减排机理清晰、降碳效果好但减排成本较高的项目提供资金支持，引导资金与技术要素流向降碳增汇项目的开发。

■加速绿色技术迭代推广

在服务“两山”理念生态价值转化方面，盐沼、海草床与红树林构成我国滨海生态系统碳汇“三大件”，淤地坝工程体现了我国治理黄土高原水土流失的“中国智慧”，通过科学设计可量化、可监测的碳汇方法学，将“绿水青山”转化为“金山银山”，将人为修复产生的碳汇价值转化为经济收益，为生态保护修复工作注入可持续的内生动力。

比如，《温室气体自愿减排项目方法学 滨海盐沼植被修复》将滨海盐沼植被修复产生的碳汇进行量化，形成新的碳汇增长点。《温室气体自愿减排项目方法学 海草床植被修复》为海草床碳汇项目纳入全国碳市场交易体系提供了技术依据。

在培育绿色新质生产力、推动发展方式绿色转型方面，支持绿色前沿新技术、新业态，通过自愿减排市场提供明确的收益预期，降低绿色技术初期应用成本。方法学所涉领域与形成的碳价格信号将成为气候投融资的风向标，有利于撬动金融资源与社会资本流向减排潜力大、综合效益显著的降碳增汇项目，加速绿色低碳技术的迭代推广和规模化应用，通过市场这只“看不见的手”有力推动经济社会全面发展的绿色转型。



图片由AI生成

建设零碳工厂既要“算得准”，又要“管得精”

——访北京绿色交易所有限公司董事长王乃祥

■本报记者 张胜杰



近日，工信部等五部门联合印发《关于开展零碳工厂建设工作的指导意见》（以下简称《意见》），聚焦零碳工厂建设提出一系列政策举措。

《意见》明确要求，零碳工厂的建设目标是让厂区内的碳排放“持续降低、逐步趋向于近零”，同时提出科学算碳、源头减碳、过程脱碳、协同降碳、智能控碳、碳抵消和信息披露等六大建设路径。

那么，具体到操作层面要如何落地？企业该如何算好减碳“这本账”？围绕以上问题，北京绿色交易所有限公司董事长王乃祥近日接受了《中国能源报》记者采访。

■建立碳家底“明白账”

中国能源报：在《意见》提出的零碳工厂建设六大路径中，尤其强调“健全碳排放核算管理体系，实现科学算碳”，并将其排在首要位置，您如何解读这一政策信号？零碳工厂应如何实现科学算碳？

王乃祥：“科学算碳”是建设零碳工厂的基础和前提，其核心在于建立一套系统、规范、透明且可核查的温室气体排放核算体系。

具体而言，应重点把握以下三个层面：第一，遵循规范标准，明确核算边界与方法。核算工作必须依据权威、统一的标准体系展开。《意见》对核算采用的标准进行了具体的规定。需要注意的是，不同标准体系的侧重点有所差异：国内现行标准体系主要聚焦于企业直接排放（范围1）与能源相关间接排放（范围2），旨在夯实基础排放数据的准确性与可比性；而国际先进标准则更加强调对价值链上下游间接排放（范围3）的核算与披露，以推动企业承担更广泛的碳管理责任。企业在实践中，可以

以国内强制规范为基础，并积极对标国际高标准，逐步构建覆盖“范围1+2+3”的完整核算能力，为带动全产业链协同降碳提供数据支撑。

第二，依托数字化工具，提升数据质量与核算效率。充分利用现代信息技术，比如，能耗监测系统、碳管理平台等，实现关键排放数据的自动采集、实时传输与集中管理，不仅能大幅减少人工记录可能产生的误差，提升数据的一致性与时效性，更能为动态监控、深度分析和持续优化提供坚实的数据底座。

第三，建立核查与披露机制，确保公信力与透明度。核算结果的真实性与可信度至关重要。企业应主动建立定期第三方核查机制，并在遵守相关法规的前提下，自愿、规范地披露自身的碳排放数据、减排行动与绩效，以此形成有效的外部约束与倒逼机制，将碳排放管理真正纳入核心运营，持续提升管理水平和减排实效。

因此，“科学算碳”绝非简单估算，而是通过标准引领、技术赋能和机制保障，为企业碳排放建立一本清晰、准确、经得起检验的“明白账”。这本账既是企业摸清自身碳家底、规划科学减排路径的起点，也是其履行环境责任、参与绿色市场竞争、最终实现零碳目标的核心基石。

■借助“数字大脑”实现精准管碳

中国能源报：《意见》同时提出“提升数字化智能化水平，实现智能控碳”，其中会涉及哪些关键技术？

王乃祥：智能控碳体系旨在将碳排放的精准核算转化为可执行的减排决策。其核心是运用物联网、大数据、人工智能等技术，实现从“事后核算”向“过程管控”与“前瞻预测”的演进，实现能耗与碳排放的精准计量、精细管控、智能决策与可视呈现。

具体来看，物联网与大数据构成基础，通过实时监测与数据分析，实现碳排放的精细感知、动态优化与闭环管理。人工智能则提供智能决策支持，利用预测模型研判趋势、预警异常，并挖掘潜在的节能降碳空间。

总之，智能控碳通过构建“监测—分析—预警—优化”的智能体系，不仅提升了管理能力，更驱动企业从“精准核算”迈向“高效减排”，是建设零碳工厂的核心路径。

■碳抵消要用好CCER

中国能源报：《意见》针对“碳抵消和信息

披露”作出一系列部署，包括“支持开展绿电绿证交易，进一步提升绿色电力消费比例”，甚至“可以通过跨境碳交易等方式进行抵销”，这为零碳工厂建设提供了哪些新机遇？

王乃祥：《意见》明确了碳抵消和绿电绿证交易机制，这在当前阶段是科学且实际的选择。

工业企业尤其是高耗能行业企业，碳排放基数大，部分环节的脱碳技术还不成熟，成本过高，不可能一步到位实现完全零排放，对于那些通过技术改造、管理优化后已经“应减尽减”的剩余排放量，用抵销方式来对冲，既符合产业发展规律，又能鼓励更多企业主动参与减排。同时，抵销机制的设计，也能让减排效益转化为经济收益，反向推动低碳技术项目的落地和推广，形成良性循环。

但这里要特别提醒，企业在参与跨境碳交易时一定要做好碳信用质量甄别。目前国际上的碳信用机制质量参差不齐，近些年也出现了不少问题，比如英国《卫报》曝光的巴西“幽灵碳汇”项目，看似有减排量，实则没有真实的气候效益，属于“无效碳信用”，不仅没法实现真正减碳，还可能引发“漂绿”风险。

相比之下，我国的核证自愿减排量（CCER）在项目开发、减排量核算、第三方审定核查等环节都有严格标准，质量更有保障，能真正对真实的减排成果。所以，建议企业在进行碳抵消时优先选择CCER，既稳妥又能支持国内低碳产业发展，这也是推动零碳工厂建设走稳走实的重要保障。

总之，建设零碳工厂是一项综合性、系统性工程，涉及能源结构、工艺技术、资金投入、管理服务等多个方面的工作，也是我国工业体系绿色转型与高质量发展的关键举措。它并非简单的排放归零，而是一个依托系统方法论、融合先进技术、兼顾现实可行性的动态演进过程：“科学算碳”是基石，通过建立规范、透明、可核查的核算体系，为企业摸清碳家底、明确管理边界；“智能控碳”是引擎，借助数字化与智能化技术，推动碳管理从事后统计向实时优化与前瞻预测跃升，实现高效减排；“碳抵消与绿电交易”则是当前经济条件下的必要补充，为难以消除的剩余排放提供合规、可靠的冲抵路径。三者环环相扣，共同构成从精准认知到主动管理、最终趋近于零的完整逻辑闭环，为工业企业提供了清晰、务实且具备前瞻性的零碳转型行动框架。