

微电网正从“孤岛运行”转向“主动支撑”

■本报记者 苏南

在“双碳”目标和新型电力系统建设的背景下，微电网正经历着一场深刻变革。过去，微电网被视为电网末端的“配角”，更多是作为“大电网的备用”或“偏远地区的孤岛”；如今，微电网正成为构建新型电力系统的关键抓手，快速向大容量、与主网深度互动的“主力军”演进。

从“单机控制”向“主配微协同”升维

微电网的“新”，究竟新在哪儿？面对《中国能源报》记者的提问，南瑞新型微网与零碳园区业务特遣队相关人员指出，新型微网已经突破传统微网的定义，首先是微电网构成要素多元化。十年前的微网仅包含光伏、风电、电化学储能及传统负荷的简单连接，如今，新型微网可以全面兼容各类新型能源、新型储能及新兴负荷。其次是供电规模的“不微”。过去，微电网多聚焦于建筑级、台区级，但现在在西藏、新疆等地，已经出现为大型工程或算力中心供电的百兆瓦级大型微网。

更为关键的是运行特征与系统定位的跃升。上述相关人员对《中国能源报》记者表示，传统微电网秉持“重控制轻保护”的理念，由于早期新能源作为主力电源时故障特征不明显，保护极难做，而新型微网必须强调高供电可靠性。“以前大电网对微电网的期望是‘不乱’，尽量内部平衡自给自足；现在要求微电网必须具备‘主动支撑’能力，融入主配微协同体系，提供有功/无功支撑、调频调峰，甚至参与大电网的市场交易。”

在业内人士看来，微电网在技术范式、商业模式、控制逻辑以及应用场景上正发生根本性变革。以控制逻辑为例，过去依赖集中控制，现在结合人工智能，在控制架构体系上，开展分层分区分区的分布式协同控制架构，实现群管群控与精细化控制。

此外，微电网的灵活性还催生了工程思维的创新。上述相关人员举例，在西部修高铁，过去必须先斥巨资延伸主网后才能施工；现在直接部署移动式光伏微电网为临时电源，施工结束后微电网即可撤走，降低了基建成本与周期。

规模化发展仍面临多重挑战

随着国家新型能源体系及主配微协同新型电网平台的建设，微电网正从局部示范向全面应用拓展，但当前仍面临着三大挑战。

一是“过度定制化”带来的高昂成本与漫长周期。微电网项目不尽相同，每个项目均需重新设计图纸、重新编写控制代码，导致成本高、建设周期长、后期运维难。“以大唐海南的一个园区级微网项目为例，除了常规锂电池，还接入了以前只在论文里见过的钠离子电池和液流电池。如果用传统代码编译，光是摸索一个动作延迟从10秒调到15秒，就需要漫长的周期。”一位不愿具名的业内专家对《中国能源报》记者表示。

二是设计与建设的“供需脱节”，导致“建而不用”。上述不愿具名的业内专家举例，新疆某微电网项目技术具备离网黑启动支撑关键负荷2—3小时的能力，但实际运行仅撑了4分钟。原因是前期设计时没有通过仿真跑通策略，导致储能容量配小了。“没有一体化的设计工具链，理论目标与实际建成效果就会严重脱节，后期再加装储能极为麻烦。”

三是极高的运维门槛导致系统闲置。微电网涉及源网荷储各个环节，不少投资方只管建设不管运维，加之缺乏标准化手段，导致大量微电网陷入“建而不用”的尴尬境地。

“当前微电网发展仍然面临一些制度性障碍。虽然国家能源局文件已认可微电网为新型电力资源主体，但在实践操作层面，其平等权益仍需进一步确认。”青岛科技大学气候变迁与能源可持续发展研究院副院长李长胜建议，在政府层面，首先要加快营造微电网发展的制度环境，修改相关上位法，明确微电网作为电力资源主体的法律地位，赋予其与煤电、核电等传统电源同等的身份。其次，要完善调度体系，构建与分布式资源特性相适应的分级协调模式。此外，地方政府应强化统筹规划，将微电网与地方产业发展、电力规划紧密衔接，并加大试点示范支持力度。



有望迎来指数级增长

面对诸多难题，如何推动微电网走向规模化与商业化？

在行业层面，当务之急是加快标准体系建设。李长胜呼吁，应尽快制定覆盖规划建设、并网运行、计量结算、安全管理的微电网技术标准。同时，完善电网接入机制，建立覆盖新型储能、微电网、虚拟电厂等多类主体的“统一入口、分级管理、全流程透明”的并网管理规范，并鼓励商业和服务模式的创新。在企业层面，必须树立“负荷资源”的核心理念，实施精益运营。特别是要强化人工智能在微电网运行优化、调度规划及电力市场交易中的应用，提升微电网运营能力。

记者从南瑞“5A”技术框架下的“组态化”产品体系与场景化生态共建，看到

了未来微电网的发展模样。“5A”即Ag-gregate(多元聚合)、All-scale(全域覆盖)、Adaptable(灵活敏捷)、Autonomous(自治平衡)、Active(主动支撑)，构建以“一”套核心组网设备为基础，稳态站控和暂态控制网络“双”协同，分层分区分区的“三”维控制架构为主的“1+2+3”技术框架，开创微电网“自平衡、自调节、自安全”全新范式，适用于末端保供、绿电直连、交能融合、海岛离网、光储直柔等场景。

简单地讲，未来微电网在技术上将软件和硬件像“积木”一样模块化。不仅支持图形化拖拽配置，还内置仿真功能，在不停电的情况下用真实数据跑通逻辑；更结合大模型推出智能体，打破专业壁垒。

上述相关人员认为，近期微电网大规模应用主要场景集中在四大领域：一是节能降本的“工业绿色微电网”；二是电网公司主导的“末端保供型微电网”；三是交通

领域碳排放大户的“交能融合微电网”；四是预计2030年将占全社会用电量5%的“绿色算力中心微电网”。

对于行业未来的商业化与规模化发展，前述相关人员表示，一是企业不能“单打独斗”，微电网跨越太多专业领域，必须组建技术联盟或标准联盟，通过统一标准来推动规模化量产；二是要跳出低价同质化竞争，提供别人做不了的高价值技术方案。

微电网要真正创造经济价值，离不开电力市场的机制破冰。业内呼吁，微电网兼具“源网荷储”四重特性，参与市场交易的技术条件早已具备，目前亟待各地出台细化的准入备案细则与价格机制。“随着国家层面将其定位为电力新业态载体，预计近两年内微电网参与电力市场的具体政策将全面落地，届时微电网的商业闭环将真正打通。”上述相关人员预测。

全球碳移除技术部署如火如荼

■本报记者 王林



全球范围内，碳移除正加速从气候转型边缘技术走向主流，目前已处于早期商业化阶段。碳移除是指从大气中移除二氧化碳并永久封存的技术与活动，旨在解决历史排放和残余排放问题。国际能源署指出，应对全球气候变暖，大规模部署碳移除技术至关重要。世界经济论坛日前发布最新《碳移除技术》报告(以下简称“报告”)指出，碳移除市场整体仍处于萌芽阶段，标准不一、核算规则不明、部署成本高等挑战，给大规模部署带来制约。

未来两年规模将扩大

世界经济论坛先行者联盟项目负责人诺姆·布西丹表示，重工业、交通运输、农业等行业每年持续排放数十亿吨二氧化碳，大气中二氧化碳累积存量不断上升。应对气候变化，不仅取决于减少新的排放，还取决于以规模和持久性为目标的对“所有”排放进行移除，碳移除技术可在残余排放方面发挥关键作用。

目前，全球主流碳移除技术包括基于自然的解决方案，如造林再造林、土壤碳固存、恢复湿地、沿海植被等；基于工程的解决方案，如直接空气捕捉、生物能源碳捕捉与封存；混合解决方案如生物炭、增强岩石风化等。

直接空气捕捉技术利用化学溶剂或者吸附剂直接从空气中捕捉二氧化碳，随后进行地质封存，目前成本约500—1200美元/吨。该技术持久性高、技术成熟，但能源消耗与资本支出极高，严重依赖可再生能源和二氧化碳运输封存基础设施。

生物能源碳捕捉与封存技术利用生物质发电或者产热，并对释放的二氧化碳进行地质封存，目前成本约200—600美元/吨。该技术效率高，且能够与现有能源设施结合，但面临生物质可持续供应、土地利用等挑战。

生物炭是通过生物质在低氧环境下热解产生富碳固体，用于土壤后可以固碳数百年，并改善土壤性质，当前成本约200美元/吨。该技术最成熟、部署最

快，但封存效果受土壤条件影响，且受到生物质原料限制。

增强岩石风化是将硅酸盐岩石粉碎并布置在土地或者海岸，加速其与二氧化碳自然化学反应形成碳酸盐，当前成本约200—500美元/吨。该技术理论潜力大、能耗低，但精确量化效果比较困难。

报告指出，生物炭在部署方面处于领先地位，已交付碳移除规模最大，且全球分布更为广泛；直接空气捕捉项目数量最多，但大多处于试点或者示范阶段，预计到2030年直接空气捕捉部署有望达到每年近6500万吨。世界经济论坛指出，从现在到2028年，上述碳移除技术路径部署规模都将出现显著增长。

主要经济体推进相关部署

全球主要经济体都在推进碳移除技术相关部署。我国目前已构建全球最系统完备的碳减排顶层设计和政策体系，将碳达峰碳中和纳入生态文明建设整体布局和社会发展全局。“十五五”规划纲要指出，加强非二氧化碳温室气体监测管控，提升生态系统碳汇增量，健全碳汇监测核算体系。

2025年，生态环境部发布12项温室气体自愿减排项目方法学，其中淤地坝碳汇方法学在全球首次建立了水土保持工程的碳汇核算规则。《中国能源报》记者从生态环境部了解到，盐沼、海草床与红树林构成我国滨海生态系统碳汇“三大件”，通过科学设计可量化、可监测的碳汇方法学，可以将人为修复产生的碳汇价值转化为经济效益。

中国工程院院士王金南指出，系统推进碳移除工程建设，是我国实现“双碳”目标不可或缺的支撑手段，不仅能为高碳行业提供稳定可行的减碳解决方案，也通过助推碳的资源化利用，实现强化减排、封存与资源系统利用的统筹协同。

美国通过“税收激励+基础设施投资+公私合作”的组合模式推动碳移除技术规模化部署。然而，两党博弈加剧，政策延续性差、气候行动倒退等挑

战，正在拖累其发展脚步。

欧洲方面，2024年11月，欧盟批准首个碳移除、碳农业和产品碳储存认证框架，该自愿性框架将促进和鼓励欧盟高质量的碳移除和土壤减排活动，作为持续减排的补充。2025年7月，英国将碳移除纳入强制碳排放交易体系，为企业提供合规购买清除量的市场化路径，形成价格发现机制，避免过度依赖行政手段。

英国气候变化委员会指出，即使到2050年实现深度脱碳，仍有15%的残余排放无法通过减排技术消除，必须依赖永久性碳移除技术。

政策和行业挑战亟需破解

碳移除已经成为实现《巴黎协定》控制升温目标的支柱技术之一，但仍面临高成本、监管不确定性、需求信号不足等关键挑战。

一方面，监管不确定性抑制企业需求。全球范围内，对于碳移除技术成效存在争议，企业采购动力不足。报告指出，全球近6000家设定科学碳目标的公司中，仅有32家购买了持久性碳移除信用额度，占比仅0.5%。

另一方面，碳移除技术成本远高于传统减排措施，在一定程度上抑制了部署积极性。报告指出，目前基于工程的解决方案，每吨通常需要数百美元，如果没有财政支持、长期采购承诺或风险分担机制，很难实现有效推广。

此外，强制碳市场和自愿碳市场标准不一、互联互通性较弱，也极大削弱了碳移除技术产生的碳信用的流动性。在自愿碳市场，由于缺乏监督和不一致的碳信用质量验证标准，造成了买方的不信任，进而抑制了投资。在强制碳市场，如欧盟碳排放交易体系，虽然有更严格的问责制，但更侧重于减排信用，对碳移除技术的支持力度十分有限。

报告指出，在一个体系下认证的碳信用可能在另一个体系下不符合条件，这限制了流通性。比如，在自愿碳市场体系下认证的直接空气捕捉项目可能无法吸引强制碳市场的买方。

奥纬咨询美洲区气候风险与可持续金融主管伊利亚·哈金表示，尽管企业采购承诺在增加，但长期投资仍受到监管模糊性、市场碎片化、高成本以及缺乏标准化风险分担机制的限制。要弥合这些差距，需要政策制定者、金融行业、企业和创新者采取协调一致的行动，以创建能够将早期需求转化为持久供应的有利框架。

“从现在到2030年，持久性碳移除技术在脱碳方面的角色定位将从‘可选项’转变为‘支柱技术’，我们要做的，是尽快解决制约其发展的政策壁垒和行业挑战。”伊利亚·哈金强调。

国网高碑店市供电公司：锦旗致谢显真情 高效投运助春灌

本报讯“真是太及时了！如果不是你们加班加点帮我们送电，我这浇地可就耽误了。”4月14日，保定乡村发展振兴有限公司负责人张卫平将一面印有“安全高效保用电 优质服务助发展”的锦旗送至国网高碑店市供电公司酒庄供电所，对供电所快速投运解决春灌燃眉之急表示感谢。

今年年初，保定乡村发展振兴有限公司在酒庄镇承包了1800亩高标准农田。4月初，正值春灌关键时期，酒庄供电所共产党员服务队走访时了解到，该公司正与当地村委会协调农田占地事宜，农田配套变压器投运一事被延误。眼看麦苗“喊渴”，张卫平心急如焚，便紧急向供电所提出请求。

了解情况当天，该供电所立即协助公司与村委会进行协调沟通，同步启动春灌用电绿色通道，主动放弃清明假期休息时间，第一时间进行现场勘察，随后召开项目启动协调会进行分工安排，明确各环节时间节点，同时组织党员骨干分包关键任务，确保项目按期投运。

第二天一早，供电所协调施工队伍进场作业进行变压器高压计量装置的安装。施工现场严格遵循电力施工安全规范，紧张有序地开展互感器安装、集中器布线、通电测试与验收等操作。为保证流程高效，内勤人员随即开展线上系统新装流程，快速完成用户信息录入、参数配置等线上环节。核对流程无误后，工作人员再次赶赴现场对5处机井进行电表安装。

三天后，当清澈的地下水喷涌而出流入麦田，张卫平不由感慨道：“供电所的服务真是送到了我们心坎上，为我们赢得了宝贵时间！”春灌是全年农业生产的“第一仗”，电力保障不容缓。自春灌保电工作开展以来，国网高碑店市供电公司党委积极发挥党建引领作用，紧盯农业用电需求，开辟农业用电报装“绿色通道”，用“红色加速度”保障充足稳定的电力供应。同时，公司党委组织共产党员服务队深入田间地头解决用电难题，广大党员在田间地头亮身份、当先锋、作表率，将服务触角延伸到每一亩农田、每一眼机井，让鲜红旗帜在春灌保电一线高高飘扬，用实干担当书写“人民电业为人民”的红色答卷。

(郝嘉璐)