

# 光热发电与风光发电“组团”谋发展

■本报记者 林水静 杨梓

为推动光热发电与风电光伏一体化发展，近日，内蒙古自治区能源局发布《内蒙古自治区光热发电与风电光伏发电一体化系统项目实施细则（征求意见稿）》（以下简称《征求意见稿》）。

业内人士认为，内蒙古推动光热发电与风电光伏一体化系统作为整体接入公用电网，既有助于提高能源资源利用效率、保障电力系统的安全性和供电可靠性，又有助于加快能源绿色低碳转型、构建绿色低碳现代产业体系。光热发电与风电光伏一体化的关键在于发挥光热发电的调峰电源和储能双重功能。

## ■ 前景广阔

“光伏发电和风力发电受气象条件制约，具有间歇性、波动性和随机性等特点。部分特高压外送通道，由于缺少调节电源，输电功率与设计值相差甚远，弃风、弃光现象严重。”厦门大学中国能源经济研究中心教授孙传旺向《中国能源报》记者表示。

推动光热发电与风电光伏一体化，可调节支撑新能源。“光热发电与风电光伏一体化产业链长，可消化提升特种玻璃、钢铁、水泥、熔盐等传统行业，还可带动新材料、智能控制等新兴产业发展。内蒙古发展光热发电与风电光伏一体化，顺应新能源协同发展的客观规律，有力支撑了新型能源体系建设和绿色低碳现代产业体系发展。”孙传旺表示。

内蒙古太阳能行业协会会长温建亮在接受《中国能源报》记者采访时表示，风光大基地项目是内蒙古建设国家重要能源基地的主要战略之一，风光电的波动性、不稳定性及间歇性给电网送出提出了挑战，而风光电站和光热发电站一体化建设，可以发挥光热发电站的储能和调峰优势，为风光电送出提供更友好的电力。“风

光热一体化建设不仅可推动光热发电技术进步和产业化，也使得电力送出更稳定，光热发电的储能优势比电化学储能及其他方式更为显著。”

“内蒙古自治区风光资源丰富，土地资源富集，具备发展光热发电的先天优势，目前已建成中船重工10万千瓦槽式聚光热发电站，并成功运行多年。在建设国家重要能源和战略资源基地的过程中，内蒙古光热发电发展前景广阔。”温建亮进一步表示。

## ■ 政策助力

配套政策的支持为光热发电与风电光伏一体化项目发展创造了有利条件。据了解，2023年4月，国家能源局发布的《关于推动光热发电规模化发展有关事项的通知》提出，结合沙漠、戈壁、荒漠地区新能源基地建设，尽快落地一批光热发电项目。力争“十四五”期间，全国光热发电每年新增开工规模达到300万千瓦左右，光热发电规模化发展提速明显。此外，《关于支持内蒙古绿色低碳高质量发展若干政策措施的通知》等政策也大力支持了内蒙古地区发展光热发电与风电光伏一体化项目。

资料显示，国家能源局2016年启动首批20个光热发电示范项目，装机规模达134.9万千瓦，开启了我国光热发电的产业化进程。国家太阳能光热发电技术创新战略联盟秘书长凤丽公开表示，截至2023年底，我国各省份在建和拟建的太阳能热发电项目超40个，总装机容量约4800兆瓦，预计最晚将于2025年完成建设，其中约有1200兆瓦预计于2024年建成。

业内人士认为，示范项目带动相关企业自主创新，突破多项核心技术，并形成了完整的产业链。



## ■ 打造规模化电站

“我国光热产业链体系覆盖从原材料到具有自主知识产权的核心装备各个环节，包括钢铁、水泥、超白玻璃、高温吸热及传储热材料、保温材料、塔式定日镜、塔式吸热器等。在国家第一批光热发电示范项目中，国产技术及装备的可靠性和先进性在电站投运后得到有效验证。”孙传旺表示。

不过，光热发电与风电光伏一体化项目投资成本和收益的不匹配，制约了相关项目发展。据相关平台统计，目前国内在建或推进中的光热发电项目共计35个，其中光热装机规模达到20万千瓦的仅1个。“由于光热发电与风电光伏一体化项目普遍按照当地燃煤发电的基准电价上网，高价的光热需要通过低价风电和光伏的利润空间来弥补。这导致相关项目大幅削减聚光集热系统，光热发电机组的发电量和灵活调节功能大打折扣。”孙传旺表示。

记者了解到，当前部分风光热一体化项目中风光和光热的配比通常为6:1、9:1。《征求意见稿》提出，光热发电与风电光伏一体化系统中光热发电、风电、光伏发电装机规模按照1:2.0或1:1.5:1或1:1:2三种方案进行配比，项目业主可根据实际自行选择。业内人士认为，光热配比提升可进一步发挥光热发电的调节性能。

值得一提的是，据水电水利规划设计总院发布的《中国可再生能源工程造价管理报告2023年度》，早期光热发电项目造价普遍较高，单位千瓦总投资为2.4—3.5万元。近期项目单位造价明显降低，单位千瓦总投资为1.35—2.3万元。

兴业研究近日发布的研报也指出，光热发电度电成本虽然已从2010年的2.74元/度下降至目前的0.85元/度，但下降的

幅度不敌光伏，度电成本依然较高，使得其前期发展较为缓慢。但随着光热发电作为调峰资源得到认可，在新能源电站逐步提高调峰责任的背景下，“新能源+光热”联营项目逐渐增多，光热电站进入了规模化发展初期。

孙传旺认为，为推进光热发电与风电光伏一体化项目运行，需积极培育新质生产力，降低设备成本。“要推动光热发电与风电光伏一体化项目主要设备实现全面国产化，降低设备价格，减少驱动系统技术成本。同时，积极开展绿色电力交易试点，适时将地方电力交易中心纳入国家绿色电力证书交易平台，完善本地电力市场建设，以市场化方式促进新能源健康发展和高效消纳。此外，调整光热电站功能，降低综合成本。推动一体化项目中光热电站功能由‘能发尽发’的独立电源转变为‘储能调峰’的灵活设备，配套新能源电站吸纳弃电，减小聚光系统规模。”

# 虚拟电厂建设将有章可循

■本报记者 苏南

近日，《虚拟电厂管理规范》（以下简称《规范》）和《虚拟电厂资源配置与评估技术规范》（以下简称《技术规范》）两项国家标准发布，将于2025年2月1日起正式实施。

《规范》除了给出虚拟电厂全生命周期的一般原则，还把具体实施要求及细则空间留给属地，提升了标准的可执行性和可落地性。《技术规范》一方面规定了虚拟电厂的资源配置要求，针对参与电力系统调峰或需求响应、参与电力系统调频、为电力系统提供备用容量、参与电能质量四类应用场景，指导相关单位优化配置各类虚拟电厂资源；另一方面明确了虚拟电厂资源配置评估方法，对虚拟电厂建设规模和应用范围给出指导。

业内人士认为，两项国家标准的发布将使虚拟电厂建设有章可循。不过，虚拟电厂大规模落地还面临顶层缺失、市场机制不够完善、技术标准有待健全等现实挑战，未来需要相关部门不断完善政策管理、技术引导、电力市场等诸多方面。

## ■ 明确统一规范标准 倒逼行业良性竞争

《规范》由国网浙江电力牵头起草，国家电网公司国家电力调度控制中心、南网科学研究院等20家单位共同参与编制。《技术规范》由国网上海电力经研院牵头，中国电力科学研究院、东南大学等20家单位共同起草，先后组织10余次标准讨论会及评审会。

谈及编制《规范》将解决实际中遇到的哪些问题，国网浙江电力有关专家对《中国能源报》记者表示，当前，虚拟电厂技术发展火热，但缺乏顶层设计与统一的规范，故编制《规范》，规定了虚拟电厂规划设计、建设、接入、检测、注册、并网、运行、运营和退出应遵循的一般原则和管理要求。《规范》适用于接入电网管理或参与电力市场化交易的虚拟电厂，其他虚拟电厂也可参照执行。

华南理工大学电力经济与电力市场研究所所长陈皓勇接受《中国能源报》记者采访时表示，两个标准是虚拟电厂领域的首批国家标准，为虚拟电厂建设提供了基础性指导。《技术规范》主要解决了如何合理配置和评估虚拟电厂中的各种资源，例如分布式电源、柔性可调负荷、分布式储能等。同时，还形成了一套评价方法，可以客观评估虚拟电厂资源配置的优劣，对解决当前虚拟电厂建设中遇到的问题，如建设规模、类型和参数整定等，提供了纲领性的指导。

“虚拟电厂行业过去依赖于各个地方和企业的自主探索，存在技术路线不统一、管理模式不规范等问题。两项标准的发布，一方面可解决虚拟电厂行业长期存在的标准缺失问题，推动整个行业朝着规范化、标准化方向发展。另一方面，建立统一的技术和管理标准也会倒逼行业内参与者提升自身的技术能力和管理水平，那些技术

落后、管理不善的企业则会被逐步淘汰，市场上存续的企业在技术、管理和运营等方面将更加精细化，从而促进整个行业的良性竞争和发展。”清华四川能源互联网研究院常务副院长鲁宗相对《中国能源报》记者表示，《规范》可以确保虚拟电厂的建设和运营过程更加有序，减少技术路线和管理模式的随意性，为整个行业的健康发展奠定基础。《技术规范》的发布意味着虚拟电厂运营需要更加精细化地管理和配置资源来满足不同市场的需求，减少不必要的能量浪费，提升虚拟电厂的经济性和环保性。

## ■ 正向市场型发展 技术大多处于初级阶段

近年来，以虚拟电厂为代表的资源聚合利用技术受到追捧，其业务点多面广，涉及电气、控制、通信、人工智能、市场营销等多个学科专业的交叉融合。冀北、深圳、上海、浙江的虚拟电厂起步较早，目前呈现百花齐放的态势，已基本形成“管理—运营—技术支持”三方相互关联的生态体系。“尤其是今年，虚拟电厂市场表现出显著的发展势头，目前，山西、山东、广东等地正加速推进虚拟电厂参与电力现货市场。”鲁宗相直言，“但从整体上看，我国虚拟电厂仍处于发展初期，政策机制不健全，项目多以示范为主。从实施模式来看，我国虚拟电厂建设起步较晚，仍处于前期试点的发展阶段，主要采用政府引导、电网实施的模式，且普遍聚焦于需求侧响应模式。”

鲁宗相分析，从发展阶段来看，我国虚拟电厂的发展分为邀约型、市场型和自由调度型三个阶段。第一阶段是邀约型，由各省政府部门牵头组织，各聚合商共同完成邀约、响应和激励流程。虚拟电厂主要聚合可控负荷资源，参与电力辅助服务市场，盈利主要来自响应补贴，市场化程度较低。第二阶段是市场型，虚拟电厂与现货市场、辅助服务市场和容量市场衔接。虚拟电厂作为经营主体被纳入各类电力交易市场，盈利模式更清晰和多样化。第三阶段是自主调度型，虚拟电厂能实现跨空间自主调度，资源聚合进一步扩大，包括微电网和局域能源互联网。“目前我国虚拟电厂处于邀约型向市场型发展的阶段，主要通过政府机构或电力调度机构发出邀约信号，虚拟电厂组织资源进行削峰、填谷等需求响应，主要目的是解决电力供需缺口，一年实施次数有限。”

需要注意的是，虚拟电厂的收益依赖于多种市场模式，如调频、备用、削峰填谷、现货交易等，许多地区的电力市场尚未完全开放或缺乏有效的市场机制来支持虚拟电厂的商业模式，如何确保稳定的收入是一个挑战。“虚拟电厂参与电力市场的机制刚刚起步，如何更好地让虚拟电厂适配多元化的电力市场交易还需要进一步研究。”上述有关专家说。

另外，目前国内虚拟电厂技术大多处于初级阶段，依赖于传统的集中式管理和电力监控系统。这些技术主要聚焦于负荷侧资源的整合和

调度，如楼宇空调、工业负荷、充换电站等。尽管部分项目已经引入了更先进的边缘计算和云端协同技术，但总体来看，虚拟电厂在智能化和自动化方面还有较大提升空间。“特别是在储能技术的应用上，虽然换电站和基站储能系统已被纳入虚拟电厂的运营体系，但其调节能力和规模仍然有限，需要进一步扩大和优化。”鲁宗相表示。

“尤其是海量异构终端的通信连接是虚拟电厂协调控制的关键环节，虚拟电厂是解决用户侧‘最后一公里’通信问题的突破口之一。”陈皓勇表示，虚拟电厂是信息网络与能量网络高度结合的大规模、复杂的高维动态系统。随着传感技术的不断发展，智能交互终端需要采集的数据变得更加多元化、小型化，数据数量更为庞大。但鉴于虚拟电厂系统的高维特性，通常很难有足够的传感器节点，使得系统完全可观测。虚拟电厂需要集成多种不同类型的分布式能源资源、储能系统和负载管理技术，这些技术之间的兼容性和互操作性是一个挑战。此外，管理和控制虚拟电厂中的大量分布式资源需要高度复杂的控制系统，确保稳定和高效运行也是巨大挑战。

## ■ 仍需明确各环节分工 研究并网调度规范

如何解决目前虚拟电厂发展面临的难题？业内人士认为，一是加强顶层设计，政府主管部门需广泛征集多个专业、不同企业的意见，出台有利于虚拟电厂建设、运营、发展、参与市场的指导意见。二是不断完善市场机制，加快虚拟电厂参与电力现货、辅助服务市场进程，以市场机制快速推动虚拟电厂高质量发展。三是加快标准体系的形成，推动虚拟电厂标准化建设，有利于对虚拟电厂的规范化管理。

鲁宗相也表示，虚拟电厂的管理体系尚不完善。国家和地方层面对虚拟电厂的规划、设计、建设、运行、监管等管理职能尚无统一部署。建议由国家层面统一规划与部署，制定虚拟电厂的总体规划和指导性政策，明确虚拟电厂各环节的分工。鼓励地方政府在国家框架下因地制宜制定实施细则，以适应不同地区的具体情况。

“促进虚拟电厂高质量发展，需要制定完善的法律法规，明确虚拟电厂的法律地位、市场准入、运营规则等，将虚拟电厂发展纳入国家能源战略和规划，制定中长期发展目标。”陈皓勇认为，此外，可以通过提供利好，支持虚拟电厂研发、示范项目建设和运营，降低虚拟电厂的投资成本和运营成本。另外，要支持虚拟电厂相关技术的研发，鼓励技术创新和成果转化，通过建立技术研发平台，促进产学研用各方协同融合发展。

在鲁宗相看来，未来需要建立涵盖资源聚合控制、通信接口等方面的虚拟电厂建设运行标准体系，打破各类资源主体、虚拟电厂运营商、电网企业间的数据交互壁垒。此外，要研究出台适用于虚拟电厂的并网调度规范，促进虚拟电厂与电网友好互动。

本报讯 8月12日22时50分，合闸成功，1台2500千伏安变压器发出“嗡嗡”规律且轻快的声响，标志着中越友谊关—友谊货运通道智慧口岸项目（以下简称“友谊智慧口岸项目”）首个配电房送电成功，为项目建设按下“加速键”。

位于“祖国南大门”广西壮族自治区崇左凭祥市的友谊关口岸，是我国面向东盟最便捷的陆路通道之一，也是最大陆路水果进出口口岸。友谊智慧口岸项目是我国首个跨境智慧口岸项目，是中国—东盟深化数字经济、绿色经济合作的新探索。项目建成后，将率先实现无人驾驶运输试运行，进而实现“24小时全天候、无接触、无人化、智能化”通关不间断运行，友谊关—友谊口岸最大通关能力将翻倍。

电力是口岸运行的“生命线”“动力源”，可靠电能供应的重要性不言而喻。中越智慧口岸供配电工程是控制性节点工程之一，从规划之初就受到高度重视。

“中越智慧口岸供配电工程负责为智慧口岸集装箱起重机、冷链集装箱充电机等关键设备设施运行提供‘动能’，它的工程质量决定友谊智慧口岸项目的运行质量。”南方电网广西崇左供电局供电服务中心经理秦德勇说。

据了解，友谊智慧口岸项目自2023年9月15日正式开工建设以来，南方电网广西崇左供电局落实重大项目“首席客户经理”负责制，成立接电服务专班，联动政府相关部门建立定期会商机制，多次现场勘察，研讨项目供电方案，在最短时间内制定出最优供电方案。同时，全程跟进项目的建设用电需求，为智慧口岸项目无人驾驶运输车辆、智慧调度系统进场调试等后续工作提供了坚强的电力保障，确保项目建到哪里，电就供到哪里。

中越智慧口岸供配电工程由广西交科集团有限公司（以下简称“广西交科集团”）牵头承建。“在供电局的指导下，我们采用双电源供电模式，在集装箱接驳区和专用查验处理区分别建设10千伏/0.4千伏配电房，以实现双路电源互投功能。”该公司项目副经理盘龙说，“如果出现主用回路10千伏电源故障，可以快速切换到10千伏备用电源回路，为确保供电的可靠性与稳定性上了‘双保险’。”

在多方努力下，友谊智慧口岸项目首个配电房提前4天接火送电。

广西凭祥综合保税区智慧口岸建设项目工程部主管甘以敬说：“项目开工建设以来，供电局的技术人员对我们来说是亦师亦友，给了我们很多建设性的意见，指出了安全隐患，可以说是得益于供电局的大力支持和帮助，我们的项目进度稳步推进。”

据悉，中越智慧口岸预计今年年底将实现中方段试运行。南方电网广西崇左供电局副总经理陶凯说：“接下来，我们将加强政企联动，全力以赴做好二期工程的接火送电工作，为项目各项工作的有序推进提供可靠的电力支撑。”

（韦露 胡仁艳）

# 我国首个跨境智慧口岸项目配电房送电成功