

以“度电价值成本”重构风电逻辑

——访金风科技副董事长兼总裁曹志刚

■本报记者 苏南



■从“度电成本”到“度电价值成本”

“2025年是风电的分水岭，行业正从‘选价格’转向‘选价值’。”日前，金风科技副董事长兼总裁曹志刚接受《中国能源报》记者专访时，作出了这一判断。

随着国家能源局“136号文”落地带来的电力市场化变革，传统“高电量=高收益”的风电发展逻辑已失效，如何在电价波动中锁定收益、在电网高渗透率下保障稳定，在全球化竞争中实现共生，正成为风电行业破局的核心命题。曹志刚与记者深入探讨了“度电价值成本”理念、“系统共生”与“全球共生”战略，为这场风电产品底层逻辑的重构，提供了来自头部企业的实践样本。

■从“度电成本”到“度电价值成本”

“今年我们不再单纯追求更大的叶轮直径或机组容量，而是转向‘度电价值成本’的突破。”曹志刚指出，风电行业正在经历深刻变革。这一转变的背后，是政策与市场双重驱动下的行业进化。

今年，国家能源局“136号文”全面落地，新能源进入“平价+市场化交易”时代。过去依赖固定电价补贴的盈利模式彻底瓦解，取而代之的是电力交易中电价与风资源“错配”的挑战。“在吉林、新疆等地，往往风速大时电价低，风速小时电价高。”曹志刚坦言，传统的“高电量=高收益”逻辑已失效，金风今年的核心任务就是帮助客户在波动中锁定价值。

为此，金风科技提出了“度电价值成本”理念，替代行业沿用了十余年的“度电成本”。度电价值成本的核心是将电价与发电量双重变量纳入时序化评估，通过精准预测电价波动，优化机组发电策略。“比如在低风速高电价时段，我们通过抬升功率曲线低风速段的发电能力，让风机‘择机而发’；在高风速低电价时段，则通过智能

控制减少出力，将寿命‘存’到高价值场景。”曹志刚解释。

这一策略的落地，离不开硬件与软件的协同创新。在硬件层面，金风2025年发布的陆上 GWH204-Ultra 系列机组，通过碳纤维叶片、智能感知系统等设计，在电力交易高价值时段发电量提升3%以上；在软件层面，金风自主研发的“天机云电力交易平台”，融合了电价预测、风功率预测与场群调度算法，实现了“15分钟级”的精准响应。“现在客户对功率预测的考核已从4小时总量精度，细化到每15分钟的准确度，这对风电软硬件平台能力提出了前所未有的要求。”

此外，金风还推动陆上风机寿命从20年延长至25年，海上风机延长至30年。“延寿不是简单增加钢材厚度，而是通过核心部件设计升级与载荷优化实现，这一升级可提升项目年发电小时数129—206小时，每千瓦投资成本降低279—361元。”曹志刚透露，这一技术已获得国际认证，将成为客户应对电价不确定性的“压舱石”。

“2025年是风电的分水岭，从‘选价格’到‘选价值’。”曹志刚的判断，基于对政

策、市场、技术的深刻洞察。当电力交易重构盈利逻辑，当电网消纳倒逼技术升级，当全球化竞争进入深水区，风电行业正从“规模扩张”迈向“价值共生”。“风电的未来，不是让每一度电更便宜，而是让每一度电更有价值。”这或许正是中国风电从“大”到“强”的必由之路。

■从“单机竞争”到“系统共生”

“未来的竞争，不是单机容量的竞争，而是系统解决方案的竞争。”曹志刚强调，金风已成立AI研究院，依托全球145亿千瓦装机数据，挖掘非结构化数据价值，让风机从“设备”变为“能源管理终端”。

当前，行业正在经历深刻且积极的转变。这一转变并非偶然，而是经过过去两三年的市场引导和行业共识逐步形成的。一个显著的标志是，行业已从过去单纯追求“更大叶轮直径”的硬件竞赛中走出来。“自去年我们停止发布更大叶轮直径的新品以来，今年的市场趋势也印证了这一点：多数企业开始聚焦于现有产品平台的深度挖掘与价值延伸。”曹志刚表示，这一转变对整个行业，尤其是供应链体系，是重大利好。它有效缓解了设备更新换代给供应链企业带来的巨大压力。过去，供应商刚投入巨资购入的加工设备或模具，可能因机组的快速迭代而在一两年内就被淘汰，造成了巨大的资源浪费。如今，这种更为稳健的发展模式，将有助于行业构建一个更可持续、更健康的生态系统。

另外一个重要转变是，核心竞争力从“硬”向“软”转移。曹志刚分析，过去，企业的核心竞争力更多体现在硬件参数等直观、可量化的指标上。而未来，软性竞争力的重要性将日益凸显。这包括但不限于智能化解决方

案、数据分析能力、全生命周期服务等。与硬件不同，软件和解决方案的价值往往是隐性的。企业可以宣称拥有某套先进的系统，但最终的价值必须通过实际应用效果来检验。如何建立一套公正、有效的评估体系，将“软实力”转化为客户可感知、可衡量的价值，是未来竞争的关键所在。

在曹志刚看来，服务的“最后一公里”将成为新的核心竞争力。与回归制造本质相呼应，服务产业也面临着同样的课题。虽然服务平台的搭建、AI工具和智能装备的应用是必然趋势，但“最后一公里”的落地执行能力，正成为当下最核心的竞争力之一。

最后一个常被提及但实践不足的领域，是对创新基础设施的长期投入。“例如，风洞实验等公共资源目前尚不完善，企业如果要布局，往往需要自行投资。”曹志刚直言，这类投入的特点是，短期内难以见到直接的经济效益，甚至带有一定的概率性。一次实验可能仅用于验证，或对科研有贡献，但很难在短期内形成商业闭环。然而，从更长的时间维度来看，这些看似“不划算”的投入，恰恰是构建未来创新能力的基石。缺少了这些基础，企业可能会在未来的技术竞争中后劲不足。

风电行业正从野蛮生长走向精耕细作。未来的竞争将是多维度的：既要有稳健的产品迭代策略，也要有可量化的软性实力；既要回归工艺制造的坚实根基，也要打通服务落地的“最后一公里”。

■从“中国制造”到“全球共生”

“中国风电出海，不能急功近利。”曹志刚的这句话，道出了金风科技国际化15年的心得。当前，金风出口的风电机组占中国风机出口总量的近50%，但在他看来，出

海的“上半场”是建立信任，“下半场”才是价值共生。

“2008年刚进入智利时，我们拜访开发企业高管，对方连见面的时间都不给。”曹志刚回忆，如今这家开发企业有项目机会，第一时间会找金风科技做方案。这种转变，源于金风科技对“长期主义”的坚持。“在当初进入南非、巴西等新兴市场时，我们曾连续多年没有订单，但仍坚持本地团队运营，与社区、政府建立连接。”

本地化的核心，是产业链的深度融合。在巴西，金风科技不仅设立总装厂，为当地风电大部件制造实现“补链”，更带动当地铸造、减速器等产业复苏。“我们请巴西企业到中国学习效率提升，再结合当地安全标准，实现成本与属地化的平衡。”曹志刚指出，风电产业链不应局限于叶片、齿轮箱等硬件，物流、安装、金融、保险等“软环节”同样关键。“国外一家开发企业曾要求我们负责道路改造，这在国内是EPC的工作，但在海外，客户需要一体化解决方案。”

在曹志刚看来，中国风电企业走向国际市场，背后蕴含着双重动因与深远价值，可从企业自身发展与全球能源转型两个维度进行解读。从企业自身角度看，出海是其突破国内市场增长瓶颈、实现全球化布局和可持续发展的内在需求。通过开拓更广阔的国际市场，企业能够获取新的增长点，提升自身规模与全球竞争力，这是企业发展到一定阶段的必然战略选择。

从国际市场来看，中国企业出海为全球能源转型注入了关键动力。其核心价值在于，中国企业凭借其强大的技术积累、规模化生产能力及供应链优势，能够提供“最适度电价值成本”的解决方案。这意味着能为开发商带来更高的经济效益。因此，从商业逻辑上讲，开发商是欢迎并乐于接纳这样的合作伙伴的。

CCUS迈向规模化应用新阶段

■本报记者 王林

近年来，我国碳捕集、封存和利用(CCUS)技术发展从探索起步迈向规模化发展阶段，政策引领持续加强，技术创新不断加速，项目实践逐步深化。

《中国能源报》记者在日前召开的2025国际能源变革论坛CCUS分论坛了解到，CCUS正处于从示范向商业化过渡的“加速期”，技术多元化为产业提供多种可能路径，示范工程规模化验证技术可行性和经济性潜力。

面向未来，推动CCUS全链条协同与产业集群建设成为共识。业内专家普遍认为，未来应通过完善政策体系、持续技术创新和构建成熟商业模式，加快CCUS商业化落地。

■助力能源转型、工业脱碳和负排放的抓手

国家能源局石油天然气司司长刘红表示，CCUS作为能源转型关键支撑技术，是工程碳移除重要组成部分，一头连着传统能源洁清利用，一头通向新能源协同发展，在“稳供应”与“降排放”之间架起不可或缺的桥梁。

中国21世纪议程管理中心正式发布《中国CCUS技术发展路线图(2025)》和《中国CCUS年度报告(2025)》，展现我国在CCUS领域扎实技术积累与创新实践，为全球碳中和进程提供重要参考和实践方案。

《中国CCUS技术发展路线图(2025)》指出，CCUS技术正从验证阶段迈向规模化和商业化应用，技术效率持续提升，覆盖行业日益广泛。尽管高成本仍是当前主要挑战，但应客观看待其未来成本下降潜力与系统减排价值。预测显示，到2060年我国CCUS减排需求巨大，该技术将在能源系统转型、工业深度脱碳和负排放领域发挥关键支撑作用。

中国华能集团有限公司(以下简称“中国华能”)副总经理李启航指出，实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。CCUS作为化石能源大规模深度减碳的最有效途径，是实现“双碳”目标、保障国家能源安全的战略性托底技术，正处于从示范探索迈向规模化应用的新阶段。

中国石油天然气集团有限公司(以下简称“中国石油”)副总经理张道伟表示，当前，全球能源转型和气候治理处于“十字路口”。CCUS作为应对气候变化、推动化石能源低碳利用的重要路径，具有不可替代的作用，其不仅是技术竞赛的前沿阵地，更是携手迈向碳中和未来的重要桥梁。CCUS正迎来加速发展新阶段，从捕集环节吸收剂材料创新、膜分离技术突破，到运输环节管网优化，再到利用封存环节规模应用，产业链建设取得令人鼓舞的进展。

■持续推动示范项目规模化突破和集群建设

我国持续推动示范项目规模化突破和CCUS集群建设，实施“油气田+CCUS”融合发展工程。刘红介绍称，2025年油气行业一共运营CCUS项目超过100个，预计今年二氧化碳注入量已达400万吨。

近期，中国华能牵头建设的全球最大规模150万吨/年燃煤电厂碳捕集示范项目，在华能甘肃正宁电厂完成72小时试

运行，创造多项“全球首次”与“国内首创”。标志着中国CCUS技术百万吨级工业化示范应用迈上新台阶，为煤电实现大规模、工业化、深度减排，提供了可靠技术支撑。

中国石油、中国石化同样持续加大CCUS项目规模化突破和产业集群建设。2025年，中国石油注碳规模将达到260万吨，累积注碳量突破千万吨，未来将持续聚焦松辽、鄂尔多斯、准噶尔三大盆地的“源汇匹配”(排放源与封存场地适配)及配套建设，力争打造三个千万吨级CCUS示范基地。中国石化充分发挥上中下游一体化优势，打造了CCUS全创新技术平台，构建起覆盖全产业链的技术体系。

中国科学院院士邹才能表示，去年全球二氧化碳排放超过350亿吨，CCUS规模超过5000万吨，加大CCUS发展将推动多区域实现碳中和目标。

对中国CCUS技术发展，全球碳捕集与封存研究院首席执行官贾里德·丹尼尔斯予以积极评价，强调中国示范项目成熟度越来越高，为大规模、商业化项目奠定基础，在全球起到领导作用。全球碳中和目标背景下，CCUS已成为各国民生转型的关键抓手。中国CCUS技术实践成果全球瞩目，“十五五”时期发展潜力更值得期待。

■完善政策机制并加大创新推动产业化加速

展望未来，CCUS技术规模化、产业化发展仍面临诸多挑战。在邹才能看来，低浓度二氧化碳捕集技术成本偏高，二氧化碳长距离输送管网尚未真正形成、二氧化碳区域提高采收率幅度偏低、二氧化碳长期封存和监测基础尚未大规模形成，是CCUS发展的主要挑战。

值得一提的是，由国资委牵头，中国石油与中国华能正在积极推进“中央企业CCUS创新联合体”建设，旨在突破发展瓶颈，构建开放、协同、共享的创新生态。这一创新联合体将覆盖碳捕集、运输、利用到封存的全产业链建设，通过上下游联动，打通产业化应用的“最后一公里”，共同降低系统成本，提升整体效益和可靠性。

张道伟表示，CCUS发展不仅需要技术突破，更离不开有利的政策环境和市场机制。国家层面，应继续加强政策引导，提供稳定、透明、可预期的激励措施，完善碳排放权交易市场等机制，为CCUS项目创造更好的运营环境和发展空间。企业层面，应主动作为，加大研发投入，勇于进行早期项目示范，积极探索可持续的商业模式。

中国工程院院士李阳强调，下一步研究重点在于将CCUS从一种单纯的减排工具，转化为一项可持续发展的经济活动。为实现这一目标，核心在于实现全链条的系统集成，并通过智能化技术与产业协同这两大手段，最终达成有效的成本控制。

“未来5至10年，是为2030年后深度脱碳奠定基础的重要窗口期。”中国环境科学学会CCUS专委会秘书长张九天表示。“在此期间，需要构建一套前瞻而完善的政策支持体系，以有效协同CCUS技术与产业发展，为CCUS担当深度脱碳重任做好充分准备。”

本报讯 近日，温州港口岸扩大开放(乐清湾港区)顺利通过国家验收，标志着作为其中关键设施的浙能乐电口岸正式拿下“国际通行证”，实现全面提能升级，将更好承担电力保供枢纽重任，为浙南区域经济发展和对外开放提供坚实能原支撑。

浙能乐电码头位于温州港核心区域，共建有1个5万吨级泊位和1个7万吨级泊位，年接卸煤炭能力可达1400万吨，是浙江省重点打造的大宗散货港口物流基地。此次口岸扩大开放的“含金量”，核心体现在电煤供给能力的突破上。它在有效扩大航线范围的同时，能长期稳定拓展进口煤炭业务量。以往外贸煤炭等能源物资需通过其他口岸中转的模式被改变，国际煤炭可以直达浙能乐电码头。这一转变将有效简化通关流程、压缩运输时间、提升煤炭储备与转运效率。

对于煤炭资源匮乏的浙江省来说，通过海运调入优质进口煤炭已经成为电煤安全保障必不可少的渠道之一。立足区位优势，浙能乐电一直致力于构建“安全高效、绿色智能、协同联动”的现代化能源运输枢纽，其煤炭码头自建成运营以来，持续强化煤炭接卸、堆存服务的核心功能，此前已先后通过13次口岸临时开放，实现直达进口煤供给的有力突破，奋力守住能源安全供应的“口粮关”。

据悉，此次验收工作由国家口岸管理办公室牵头组成的国家验收组进行，经过现场查验和集中评审，认为温州港口岸扩大开放的口岸基础设施、查验基础设施、查验单位办公场所及配套设施均已建成，符合《国家口岸查验基础设施建设标准》，一致同意通过国家验收，并签署验收纪要。

作为浙南地区重要的能源支撑点，浙能乐电将坚持聚焦主业，不断强化功能定位，积极探索“内外协同”的发展格局，助力打造高能级开放平台。

(陈清瑜 孙超)

拿下“国际通行证”

扩大开放通过国家验收

