

成本快速下降 应用持续多元

钠离子电池产业化前景可期

■本报记者 董梓童

国际可再生能源机构近日发布最新报告指出,钠离子电池在成本控制方面正展现出明显潜力,当前已降至每千瓦时90美元至125美元区间,正逐步趋近于锂离子电池的75美元至105美元区间水平。预计随着产业链逐步成熟、规模化生产加速推进,钠离子电池成本有望在未来进一步下降,最低可能降至每千瓦时40美元左右。

在全球能源转型持续深化、对绿色低碳与供应链安全要求不断提高的背景下,钠离子电池能否借助成本快速下降的窗口期实现规模化应用拓展,进而在储能和部分电动交通领域形成竞争力,成为业界关注的焦点之一。

■ 成本接近经济性拐点

从资源禀赋看,钠离子电池突出的优势在于其原材料的广泛性与稳定性。据了解,钠元素在地壳中的丰度约为锂元素的1000倍,同时还广泛存在于海水中,获取成本与供应风险相对可控。与之形成鲜明对比的是,锂资源分布相对集中,受地缘政治、资源开发节奏以及市场情绪影响较大,价格波动明显。

2020年至2024年,碳酸钠价格基本维持在每吨100至500美元区间,而碳酸锂价格则在每吨6000美元至83000美元

之间大幅波动,两者差距显著。这种长期存在的原材料价格差异,为钠离子电池在理论成本结构上的“低起点”提供了重要支撑,也成为其被视为低成本技术路线的重要基础。

国际可再生能源机构表示,目前,钠离子电池的系统成本已经逼近主流锂离子电池的水平区间。更为关键的是,调研过程中,多家企业认为,随着产能持续扩大、上游材料体系逐步成熟以及制造工艺不断优化,钠离子电池的成本仍有进一步下降空间,未来具备下探至每千瓦时40美元左右的可能性。

值得一提的是,钠离子电池在正极材料和集流体选择上具有较强的成本优势。其正极可采用锰基、铁基等价格低廉且储量丰富的材料体系,部分钠基正极材料价格约为典型锂基正极材料的1/10左右;同时,在负极集流体中可采用铝箔替代价格更高的铜箔,进一步压缩整体制造成本。

印度钠离子电池公司Macsen Labs首席执行官阿查尔·阿加瓦尔指出,当前正极材料约占电池总成本的50%,而钠基正极材料在价格与供应稳定性方面具备明显优势,这成为钠离子电池具备成本竞争力的重要原因之一。他同时认为,在固定式储能等对能量密度要求相对较低、对经济性要求更高的应用场景中,钠离子电池正在

展现出更为明显的性价比优势。

■ 应用场景加快拓展

除成本优势逐步显现外,钠离子电池在应用场景上的拓展同样受到业界重点关注。国际可再生能源机构在报告中指出,除电动汽车领域外,钠离子电池在固定式、大规模储能方面具备广阔的应用前景,特别是在安全性、宽温域性能以及循环稳定性等方面,表现出一定的技术适应优势。

在储能系统应用中,电池往往需要在高低温差异显著的复杂环境下长期稳定运行。国际可再生能源机构指出,与部分锂离子电池相比,钠离子电池在极端气候环境中的适应性更强,尤其在高温和低温条件下展现出更为稳定的性能,这令钠离子电池更适合在复杂气候条件下承担关键储能角色。这一特性也使其在海上、沙漠、高寒等特殊区域的应用想象空间进一步拓宽。

国际可再生能源机构进一步指出,钠离子电池在中短续航里程的电动交通工具中具备一定的应用潜力。例如,在电动自行车、城市公共交通及部分特定商用车辆中,其成本与安全性优势较为契合实际需求。此外,在叉车、装载机等行业车辆领

域,钠离子电池支持完全放电状态下的安全运输,避免了锂离子电池在深度放电条件下的衰减风险,具备一定的差异化应用价值。

产业端也开始出现积极变化。数据显示,11月,钠离子电池正极材料产量环比提升50%,同比增长54%,呈现明显回升态势。从技术路线来看,聚阴离子型磷酸盐正极材料仍占据主流地位,11月产量占比达到76%,较前一个月进一步提升,显示出该技术路线在当前阶段获得更高的市场认可度,产业集中度亦有所提高。

■ 替代仍存不确定性

尽管钠离子电池在资源禀赋、成本结构和部分应用场景上具备一定优势,但国际可再生能源机构强调,其未来市场渗透率仍存在较大不确定性。从技术层面看,钠离子电池在能量密度、循环寿命等综合性能指标上,目前与主流锂离子电池仍存在一定差距,尤其是在对高能量密度要求较高的长续航电动汽车领域,短期内仍难以实现全面替代。

与此同时,市场环境的变化也可能对钠离子电池的商业化节奏形成影响。近一段时间以来,随着产能逐步释放、供需关系调整,碳酸锂价格从历史高点大幅回落,下

跌幅度已超过70%。这在一定程度上削弱了钠离子电池短期内的成本竞争力,也使其“替代逻辑”面临更为复杂的现实考验。

国际可再生能源机构指出,钠离子电池未来能否在规模化、商业化进程中持续保持成本优势,仍需依靠技术进步、产业链协同以及市场选择的共同推动。如果未来锂资源再次出现供应瓶颈、价格大幅波动,或相关关键矿产受限,那么钠离子电池的市场渗透可能会进一步加速;反之,如果锂离子电池成本持续下降,相关技术持续优化,则可能在一定程度上抑制钠离子电池的扩张速度。

在这一背景下,国际可再生能源机构认为,钠离子电池并非要对锂离子电池形成“全面替代”,而更可能作为一种重要补充技术,与锂离子电池在不同应用场景中形成分工协同,共同支撑能源转型进程。这种多元技术路线并行发展的格局,有助于缓解产业链对单一资源的高度依赖,同时增强能源系统的韧性与安全性。

阿查尔·阿加瓦尔也指出,钠离子电池的战略意义不仅体现在技术层面,更在于其对供应链稳定性的支撑作用。锂资源相对稀缺且高度集中,而钠资源储量丰富、分布广泛,发展钠离子电池有助于提升能源技术路线的自主可控水平,这在全球能源转型加速的背景下具有重要意义。

坚持“双碳”引领，
推动全面绿色转型

“十五五”时期我国将处于决胜“碳达峰”和实现绿色低碳转型的关键阶段,碳市场建设涉及面广、涉及要素多,需要统筹处理好各方关系,推进建设更加有效、更有活力、更具国际影响力的碳市场。

国务院发展研究中心相关研究指出,全国碳市场有望激发绿色低碳发展新动能。碳市场一头牵着减碳目标,一头连着经济增长,通过市场机制作用将减排压力转化为动力,激发经营主体和社会各界参与到减碳进程之中并作出贡献,成为协调减排和发展的桥梁,将为经济社会高质量发展提供强大助力。

值得注意的是,会议对实施固体废物综合治理行动,强化新污染物治理提出明确要求。针对我国新污染物治理起步较晚、工作基础薄弱、法规制度不完善等挑战,生态环境部固体废物与化学品司司长郭伊均表示,一方面将严格新化学物质环境管理登记和涉新污染物建设项目环评审批,加快在用化学物质环境风险筛查评估;另一方面,将开展新污染物环境风险现状调查评估,逐步建立全国新污染物环境监测网络;同时,建立新污染物治理工作联动机制,加强新污染物治理基础能力建设。

科技引领绿色转型跑出“加速度”

坚持创新是第一动力,抓住新一轮科技革命和产业变革历史机遇。

会议确定,坚持创新驱动,加紧培育壮大新动能。制定一体推进教育科技人才发展方案。建设北京(京津冀)、上海(长三角)、粤港澳大湾区国际科技创新中心。强化企业创新主体地位,完善新兴领域知识产权保护制度。制定服务业扩能提质行动方案。实施新一轮重点产业链高质量发展行动。深化拓展“人工智能+”,完善人

工智能治理。创新科技金融服务。

“十四五”时期,我国坚持把创新作为引领能源发展的第一动力,统筹推进能源技术装备“补短板”和“锻长板”,推动创新成果不断转化为现实生产力。能源重大技术装备不断取得新突破,产业链自主化现代化水平持续提升。形成具有完全自主知识产权的华龙一号、国和一号等三代核电技术,全球首座高温气冷堆示范工程投入商运。特高压输电技术装备指标连创世界纪录,页岩气实现规模化商业开发,页岩油开发取得显著进展。新能源形成完备的全产业链制造体系,技术装备领跑全球,新能源专利数占全球四成以上,光伏转换效率、海上风电单机容量等不断刷新世界纪录,新型储能规模跃居世界第一,能源新质生产力加快培育壮大。

近期,国家能源局启动“人工智能+”能源试点工作,聚焦八大类场景、37个重点任务、百余项具体应用,探索形成综合解决方案可规模复制、商业模式可参考借鉴的“人工智能+”能源融合发展新范式,推动提升能源行业智能化发展水平。

《中国能源报》记者从国家能源局科技司了解到,下一步将围绕拓展与深化人工智能在能源领域的应用场景,创新大模型的开发应用,在能源生产、输运、储备、消费、调度等环节,加快探索人工智能赋能路径,助力化石能源清洁高效利用,加快培育壮大新能源新产业新模式,为新型能源体系建设提供有力支撑。

生态环境部信息中心党委书记、主任汪海洋表示,数智技术是实现重点行业全面绿色低碳转型的关键路径,是助力全国碳市场治理能力提升的核心驱动,是推动形成全社会绿色生活方式的重要手段。他指出,当前,我国经济正处于转变发展方式和转换增长动能的关键时期,数智化技术对于产业绿色化发展具有放大叠加、聚合倍增效应,成为经济社会全面绿色转型的“催化剂”。

向“新”而行——
新能源新材料持续推动能源结构优化

东营东部海域,数十台风机与蔚蓝的大海共舞。这里是山东能源集团投资开发建设的渤中海上风电A场址项目。2022年10月,该项目首批机组顺利并网,发出山东平价海上风电项目首度绿电,成为海上风电平价时代全国首个核准项目的首度绿电,创出低风速区域机组效率最高、建设速度最快、同期建设造价控制最优等15项行业纪录。

新能源是推动能源转型的主力军、保障能源安全的新支点、经济社会发展的新动能。“十四五”时期,山东能源绿色低碳转型示范区建设成效凸显,全省能源发展逐“绿”前行、向“新”而兴,光伏发电并网装机规模连续8年领跑全国,海上风电装机规模稳居全国第三,非化石能源发电装机在沿海省份率先破亿并历史性超越煤电,达到1.34亿千瓦。

落实能源安全新战略,山东能源集团积极打造“风光火核氢”“源网荷储数”一体发展格局,新能源发展不断迈上新台阶,推动山东省能源发展进入速度最快、质效最好、活力最强的“黄金期”。

向海图强——山东能源集团渤中海上风电A、B场址90万千瓦风电场已累计输送电量近55亿千瓦时;今年5月31日,渤中海上风电G场址一期项目全容量并网,预计年发电量可满足80万户家庭一年清洁用电需求;此外,渤中海上风电B1场址10万千瓦风电场正加紧建设。山东半岛千万千瓦级海上风电基地加速崛起,助力海洋强国建设。

倚陆腾飞——从鲁北盐碱滩涂地千万千瓦级风光储一体化基地,到鲁西南采煤沉陷区光伏发电基地,再到“外电入鲁”可再生能源基地,风机舞动,聚光汇能,山东能源集团新能源板块持续为山东打造绿色低碳电力供应链。

新能源产业持续升级离不开新材料的“加持”。山东省将新材料列入“十强”产业和11条标志性产业链,作为发展的核心产业,山东能源集团积极拓展新能源高端新材料赛道。

2024年12月,山东能源集团全面建成长江以北首条百米瓦钙钛矿太阳能电池中试产线,成功产出首片钙钛矿光伏电池组件,实现“当年设计、当年施工、当年投产”,首片1.2×0.6m单结钙钛矿光伏电池组件转换效率超15%,填补了长江以北平米级钙钛矿光伏电池领域空白。

2024年7月,高性能玻纤产品(高模/超高模)完成风电纱DNV认证,可应用于120米以上超长风电机组叶片,实现从产能扩张向产业链纵深整合,山东能源集团全面进军高端风电装备市场。

“瞄准高端化,我们积极布局新能源新材料,为我国战略性新兴产业发展标注崭新的‘山能刻度’。”山东能源集团新材料公司党委书记、董事长、总经理李庆文表示。

向“绿”转型——
高端化工与零碳园区锻造发展新优势

毛乌素沙漠边缘,百米高塔鳞次栉比,球形储罐星罗棋布……作为国内首套百万吨级工业示范装置关键技术单元,山东能源集团未来能源100万吨/年煤间接液化示范项目全部采用我国自主知识产权技术,单系列规模在国内甚至全球煤间接液化领域均属鲜见。

从“燃料”到“原料”,从“动力之源”到“化工之母”,黑色煤炭实现“绿色蝶变”,“一块煤”化身“一滴油”“一块布”“一根丝”,“上天”可为驱动火箭的煤基航天煤油,“下海”则是深海探测设备的系泊绳。清洁高效利用技术架起煤炭与高端化工之间的桥梁,为统筹发展和安全、推动绿色转型提供新路径。

“我们将以科技创新为引领,锚定‘高端精细、低碳多元’发展方向,在高端化工产品领域持续创新突破,

齐鲁大地绿能澎湃

进一步延长产业链条,优化产品结构,全力建设煤油化电一体高端能源化工基地和特色新材料产业基地。”山东能源集团未来能源党委书记、总经理马洪光介绍。

技术优势持续稳固。山东能源集团高端化工创造多个国内第一、世界领先:建成3000吨级大型水煤浆气化、4000吨级超大型水煤浆气化、3000吨级OMB粉煤气化三个全球首套示范装置,煤气化装置市占率全球第一;建成10万吨高温费托合成中试装置,成为国内唯一同时掌握高低温费托合成技术企业;拥有115℃高熔点费托蜡合成先进技术,产品打破国外技术垄断,填补国内高端费托蜡市场空白……借助先进技术,山东能源集团把煤“吃干榨尽”,实现高碳能源低碳利用,为实现国家“双碳”目标贡献“山东智慧”。

除了煤炭清洁高效利用,近年来,山东还提速产业园区绿色转型,布局建设20家省级零碳园区。

山东能源集团兖矿智慧制造园区便是其中之一。走进园区,道路两旁的微风发电智慧路灯随风旋转,厂房上深蓝色的光伏矩阵泛着粼粼波光。仅园区屋面分布式光伏每年就可发电2282.37万千瓦时,不仅能够满足园区企业的生产用电需求,30%的多余电力还可输送至公共电网进行结算,每年直接发电收益超1300万元,减少碳排放1.87万吨、二氧化硫排放61.2吨、氮氧化物50.4吨。

节能降耗也带动了园区内企业成本下降。“园区的绿电,是我们应对全球绿色贸易壁垒的核心武器之一。它一方面直接提升了我们的成本竞争力,另一方面为我们产品全生命周期打上了绿色烙印。这为我们参与全球市场竞争,提供了不可或缺的绿色动能。”园区入驻企业山东天玛副总经理李重重介绍。

向“智”进化——
乘“数”而上激活高质量发展新动能

牡丹之都菏泽,轻点鼠标,便可通过大屏幕实时看清采煤矿区每个角落。在山东能源集团郭屯煤矿,数字化正重塑煤炭开采模式:“5G+三维地质建模”,实现矿井复杂地质自适应割煤;大数据支撑智慧分析平台,实现生产数据实时处理;数字孪生结合AI摄像头,打造透明化智能采煤工作面……

联合重组五年来,山东能源集团大力实施创新驱动发展战略,不断攻克高水平核心技术,大力培育新质生产力。在人工智能领域,大力推动5G、大数据、人工智能与煤炭开采深度融合,加速从释放数据要素价值到培育数实融合场景升级,不仅实现煤矿安全生产效益的量级提升,更形成了可复制、可推广的数字化转型标杆范式。

2023年7月18日,山东能源集团携手华为发布盘古矿山大模型,成为全球首个面向煤矿行业的商用AI大模型,实现作业数据与设备运行的全流程感知、精准分析与联动控制,推动矿井从“经验管理”向“智能运营”跃升。借助盘古矿山大模型,山东能源集团煤炭产业智能化从“点上突破”跨入“系统进化”,目前已建成46处国家智能化示范煤矿。

不仅在煤矿,山东能源集团在化工和清洁能源领域的数实融合同样走在全国前列。

10月29日,山东能源集团与华为再度携手推出“云鼎伏羲化工大模型”以及六大高价值应用场景。“我们将AI的触角横向深入化工领域,致力于赋能生产运营、安全管理、工艺优化等全流程环节,为化工行业智能化提供强大引擎。”山东能源云鼎科技副总经理曹怀轩表示。

在渤海的风电场,在陕西的煤矿,在内蒙古的化工厂……来自山东的数字技术持续赋能祖国各地经济社会发展。“十四五”时期,山东因地制宜发展新质生产力,聚力推动数字经济跨越发展,数实融合提速突破,培育国家级数字领航企业18家、国家级工业互联网平台46家,均居全国第一。数字技术加速赋能,为高质量发展打开新的空间。

“绿色希冀”:张北的风点亮北京的灯

服务百姓民生传递品牌温度

“感谢你们帮我们检查电采暖设备,这下过冬心里踏实多了!”10月26日,张家口蔚县刘家庄村村民张淑丽对上门服务的供电员工说。随着冬季到来,国网冀北电力把保障群众温暖过冬作为民生服务重点,坚持在服务质量上做“加法”,在办电流程上做“减法”,组织各单位提前行动,扎实开展供暖用电专项检查,全力保障居民温暖过冬。

“绿色希冀”品牌的落脚点是为社会创造实实在在的價值。长期以来,国网冀北电力始终将品牌责任融入日常供电服务,让千家万户安心用电,在多元服务中延伸品牌价值。

国网冀北电力不断拓展农村供电服务,2023年在唐山地区开展“村网共建”试点工作,服务村民“办电不出村”。截至目前,该公司已建成520个电力便民服务点,实现58个县(区)全覆盖。

国网冀北电力主动延伸品牌社会责任边界,常态化开展“绿色用电宣传”等公益活动,组织服



▲国家风光储输工程航拍图。
梁立新/摄



◀张北柔直工程中都换流站年度检修工作全面展开,工作人员对设备进行实验。
李峥/摄

务队进社区、校园、企业,介绍节能知识、传播环保理念,让“绿色希冀”不仅是能源品牌,更成为传递温暖、守护美好生活的公众记忆。