

光伏叠层电池迈向产业化验证期

技术成熟度与可靠性考验显现

■本报记者 董梓童

当前,在光伏产业加速迈向高质量发展的背景下,下一代高效电池技术的攻关和验证正成为行业关注的重要方向。其中,钙钛矿与晶硅叠层技术因具备超30%的理论效率潜力,被广泛视为未来具有产业化前景的创新方向。2025年,我国多家企业在叠层电池装备调试、小试线贯通、首片组件下线等方面持续取得阶段性进展,标志着这一技术正从实验室走向产业化验证的关键时期。

专家提醒,钙钛矿材料本身的稳定性、热斑条件下的耐受能力、结构设计的可靠性以及产业化成本,仍是决定其能否真正实现规模化量产的核心因素。晶硅及各主流技术路线仍然保持竞争优势,在较长时间内仍将占据主导地位。行业共识认为,推进叠层电池产业化既需面向长期,坚持科学评估技术成熟度、产业适配度与系统可靠性,进一步夯实技术基础。

稳定性成核心难点

“钙钛矿技术实现规模化量产的核心挑战仍在于稳定性。”澳大利亚新南威尔士大学教授马丁·格林在接受《中国能源报》记者采访时表示。尽管近年来钙钛矿电池效率持续提升,叠层生产工艺可行性不断

得到验证,但材料本征的长期稳定性仍不足以支撑商业化应用。他指出,相较于成熟的晶硅体系,钙钛矿在长期运行条件下仍存在衰减快、环境敏感性强等问题,这也直接影响到其在叠层应用中的综合性能。

马丁·格林认为,目前行业在提升钙钛矿层转换效率、推进工艺优化等方面已有显著进展。但稳定性本身具有复杂性,不可能依靠单一突破快速解决。他预计未来5年内相关研究有望取得实质性进展,但何时能完全满足产业化要求仍具有不确定性。“只有在这一关键瓶颈被真正攻克后,叠层电池的产业化时间表才能变得清晰。”他说。

上海交通大学太阳能研究所所长沈文忠强调:“钙钛矿材料最终必须达到接近晶硅的稳定水平,但要实现这一目标,产业需要付出极高的成本。”他指出,单结钙钛矿技术难以与晶硅直接竞争,而叠层路线是其唯一具备产业化前景的方向,但同样必须面对热斑效应等系统性挑战。他以现有晶硅电池在热斑情况下可达150摄氏度为例,而钙钛矿薄膜耐受温度普遍低于此范围,这意味着稳定性问题即便在常温环境中得到解决,叠层方案仍需重点强化热管理能力。

在结构创新方面,沈文忠特别提到三端叠层结构正在受到行业关注。相比常见的

两端或四端结构,三端结构通过内部并联与串联的集成设计,可在一定程度上分流热斑引发的局部电流,降低系统温度,从而提高组件可靠性。尽管这一方向在国内研究起步不久,但因其为解决热斑问题上的潜力,正在加速受到企业和科研机构重视。

综合来看,叠层技术的长期方向明确,但产业化需要稳扎稳打。沈文忠表示,当前晶硅电池效率约为25%—26%,按照每年约0.5个百分点的提升速度,迈向27.5%—28%,仍需6—8年的时间。在此阶段内,叠层电池将以研发和小规模验证为主,短期内无法直接撼动主流晶硅技术地位。

产业化验证提速

在主流晶硅技术稳步演进的同时,行业对于下一代高效电池的研发与验证正不断加快,叠层技术的产业化路径逐渐清晰。

今年以来,多家企业在叠层电池工艺打通、小规模出片等方面取得实质性进展。9月,通威全球创新研发中心宣布,行业首条全自动兆瓦级钙钛矿—晶硅叠层电池试验线实现全线贯通,并下线首片标准版型叠层组件,从实验室走向量产验证。11月,捷泰科技滁州基地首片产业化TOPCon+钙钛矿叠层电池下线,具备了较稳定的产业化

面积出片和小批量出货能力。

在产业链层面,集邦咨询亦指出,当前叠层技术虽处于市场份额较低的阶段,但随着企业对核心设备、界面材料、封装工艺等环节的深入攻关,试验线与中试线的稳定性与良率正持续改善,产业化进程呈现循序推进状态。与此同时,国内相关企业在钙钛矿涂布、界面工程、光学耦合、封装可靠性等关键点上不断取得进展,部分工艺已具备初步的工程化可复制能力。

不过,业内也强调应理性看待当前试验线进展。叠层产业化不仅取决于电池效率本身,还需综合考量模块封装可靠性、长期户外实证表现、热点管理能力、度电成本等因素。叠层技术若要实现大规模出货,还需在全产业链范围内完成生产体系的成熟化验证,并对量产成本进行充分论证。

需立足长期主义

业内普遍认为,尽管钙钛矿及其叠层路线受到资本与行业的高度关注,但当前应保持科学、客观、稳健的判断,避免因短期热点而忽略技术发展规律。

沈文忠指出,在已知材料体系中,钙钛矿仍是提升晶硅电池效率极限的最有潜力路径之一,但其产业化时间表将在很大程

度上取决于稳定性、热管理、封装可靠性等关键瓶颈的实质性突破。目前晶硅电池效率仍具备提升空间,叠层技术至少在未来六至八年内主要处于研发和前期探索阶段,规模化出货预计将维持在百兆瓦级水平,短期内难以对晶硅主流技术构成实质性竞争。

从市场视角来看,多家研究机构认为,下一代技术路线的竞争正从效率比拼逐步转向体系竞争,包括材料体系、设备工艺、封装耐久性、成本下降路径等多维度因素。叠层技术尽管效率优势显著,但需要在量产良率、运行稳定性以及系统端度电成本方面实现与主流技术的均衡。若相关环节进展不及预期,产业化节奏可能将进一步延后。

此外,从全球技术演进环境看,新型材料体系也可能成为未来的潜在竞争者。马丁·格林指出,随着人工智能、大数据等研发工具应用加速材料发现进程,未来出现稳定性更高、性能更优的新材料并非没有可能。这也意味着,钙钛矿叠层虽是当前最具前景的方向之一,但行业仍需要保持开放视角,持续追踪全球技术趋势。沈文忠强调,技术路线的竞争最终将回到性能、成本与可靠性的综合权衡。

技术创新与市场完善助推储能产业行稳致远

■本报记者 姚美娇

随着电力市场建设提速,尤其新能源全面入市,我国储能产业正从政策驱动向市场驱动转变,迈入市场化、精细化、高质量规模化发展新阶段。在此过程中,储能产业也面临应用场景拓展、成本回收机制、技术标准建设、商业模式创新等方面挑战。近日,在第四届发电侧储能技术商业化应用论坛上,多位专家聚焦产业发展趋势及瓶颈,围绕当前形势下的新型储能发展机遇、智能运维等话题展开探讨。

“政策驱动”转向“价值驱动”

新型储能是支撑新型电力系统的重要技术和基础装备,是实现“双碳”目标的关键要素。近年来,依托强大的内需市场及完整产业链供应链支撑,我国新型储能产业跑出“加速度”,装机规模稳步增长。

但值得注意的是,今年初,国家发改委、国家能源局联合印发《关于深化新能源上网电价市场化改革 促进新能源高质量发展的通知》(以下简称“136号文”)后,政策导向从强制配储转向独立储能,叠加电力市场化改革深化与高质量需求爆发,产业发展将进入全新阶段。

华能长城证券产业金融研究院研究员陈梓铭表示,我国储能产业已度过技术示范期与商业化探索期,随着136号文的发布,行业发展逻辑从政策驱动逐步转向市场驱动,储能的系统价值和商业价值开始真正显现。

中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司商务部主任付薇指出,2025年储能产业从政策驱动向市场驱动和质量驱动跃迁,装机规模不再是唯一考核指标,真实调用率和全生命周期IRR成为新评价维度。储能作为独立主体在电力市场中实现盈亏平衡,价值兑现通道被打开,未来将见证高质量项目的超额收益兑现。

在业内人士看来,136号文的落地,将为储能灵活运用打开更大空间,并推动储能行业朝着规范有序方向发展。

大容量长时储能技术加速突破

随着强制配储政策的退潮,储能市场驱动逻辑将回归价值驱动,产品质量和技术实力成为企业立足市场的关键。今年9月,国家发展改革委、国家能源局印发《新型储能规模化建设专项行动方案(2025—2027年)》,其中提出,大力推动技术创新。依托国家产业技术工程化中心、国家新兴产业创新中心、国家能源局研发创新平台、新型储能领域国家科技重大项目、能源领域首台(套)重大技术装备、新型储能试点项目等,支持开展新型储能共性关键技术攻关、装备研制和示范验证,促进新型储能技术多元化发展,探索多技术混合式新型储能、长时储能等应用,并积极储备一批前沿新型储能技术。

在储能技术发展迭代浪潮中,长时储能、大容量电芯的研发已成为企业关注重点。据了解,长时储能一般指可以实现持续4小时以上的充放电循环储能系统。相关数据显示,今年三季度新增电站主要为独立储能,新增装机3.84GW、占比超80%;累计投运独立储能电站46.76GW、占比近60%。2h储能系统应用较为广泛,4h及以上长时储能项目逐渐增多,截至2025年9月,储能时长为2h、4h及以上装机占比分别为63%、34%。

相关企业加速布局液流电池等适用于大规模、长时间储能场合的技术路线,同时积极竞速大电芯赛道。随着技术升级,500Ah以上电芯的推出,已能够显著提升集成效率和容量。例如,今年9月,楚能新能源推出新一代588Ah大容量储能专用电池,该款电池单颗电池容量达到588Ah,能量效率达96.5%。“随着行业对极致效能的追求,储能电池已正式跨入以588Ah为代表的‘5.0时代’。”楚能新能源股份有限公司电芯研究院院长梁颢说。

与会人士指出,从最初的280Ah+,到314Ah的普及,

再到如今500Ah+的蓄势待发,这一过程重塑了行业对技术迭代的认知,也确立了储能规模化应用的新基准。

多层面协同保障电站安全

与会人士认为,储能产业是一条多技术并行、不断迭代演进的赛道。锂电池凭借成熟度和规模化成为主力,固态电池、钠电池、液流电池等逐渐展现潜力,压缩空气、飞轮、融盐储热等则提供差异化补充。理解主流技术路线,既是把握行业趋势的前提,也是判断未来投资机会的重要切入点。

值得注意的是,储能产业高速发展、技术更新提速的同时,企业需更多关注产品质量把控。据了解,储能产品涉及多个学科领域,生产工艺复杂,对质量管理提出更高要求。近年来,全球范围内发生的多起电化学储能电站火灾事故给产业敲响安全警钟。

业内有观点指出,保障储能电站安全是贯穿技术、管理、标准与责任的系统性工作。企业应建立从材料研发、系统设计到智能预警的全链条安全体系。事实上,今年以来已有多家储能企业开展储能电池舱火烧测试,系统性测试可直观展现企业技术研发实力,并为行业技术进步与安全提升提供实践参考。

中电联电动汽车与储能分会储能业务部主任马海伟提到,部分储能电站系统转换效率低、电池性能异常及变流器元器件质量缺陷等问题。他呼吁,建立基于区域政策、电站规模和应用场景的对标体系,推动电站提升运营水平。

总体来看,保障储能电站安全需多层面协同。有分析人士指出,随着相关标准的进一步规范以及储能电站运维安全管理的不断加强,未来3年储能行业有望见证高质量项目的崛起和低质量资产的出清,对企业而言,需把握住质量升级与技术创新的关键窗口期,在产业发展中站稳脚跟。

能监督的深刻转变。”该项目安全专责表示,“它不仅彻底消除了人力监管可能存在的盲区和疲劳疏忽,更让原有的安保与值守人员得以从固定的‘看守’岗位转向流动的‘督查’与‘研判’岗位。”

这种角色的转变,是劳动生产率在安全领域的间接提升。同样的人力投入,创造了更高层次的安全管理价值,减少了对人员的依赖,为三项制度改革中的“能进能出”指标开辟了人员优化与职能升级相结合的可行路径。这种转变,一方面通过提升单人产出,减少对固定值守人员的依赖,直接创造了人员“能出”的空间和必要性;另一方面,它定义了“出”之后向高价值岗位流动的新方向,为“能进能出”机制提供了以职能升级带动人员结构优化的具体操作模型,使改革得以平滑、有效地实施。

同时,阜平公司构建“线上+线下”立体巡检体系,对保电关键设备和线路实施全天候监控,并联动政府、用户等多方建立协同响应机制,及时化解电网运行风险,守住了民生用电的安全底线。

此次保电实践,是阜平公司综合实力与服务能力的一次全面检验,也形成了一套适用于县域电网重大工程的保电管理经验。未来,阜平公司将持续深化保电模式升级,以更优质的电力服务,为地方发展注入持久动能。

(刘明溢)

■王庆文 吴思琦

12月10日早晨,内蒙古呼伦贝尔新巴尔虎左旗甘珠尔苏木30万千瓦光伏治沙项目220千伏送出线路施工现场,寒风呼啸,雪霰翻滚弥漫,气温零下39摄氏度。近40米高的铁塔上,进行导线安装作业的员工棉安全帽的帽檐、面罩和眉毛都被厚厚的冰霜覆盖。

现场施工人员朱延峰自豪地介绍说:“30万千瓦光伏治沙项目是呼伦贝尔市沙地治理与新能源发展的重点工程,是破解沙地生态难题的创新探索。铺设在沙化草原上的光伏板,板上发电、板下固沙,优化新巴尔虎左旗能源结构和草原生态修复一体化,治沙面积3.6万亩。既破解当地沙化治理难题,又为区域补充清洁能源。承建这条30.2千米的送出线路,无疑使我们成为治沙‘绿电’的铺路人。”

据了解,由于冬季干燥寒冷、春季少雨多风等自然因素与大规模开垦、过度放牧等人为因素,新巴尔虎左旗境内的沙地总面积约为200万亩。该项目将完成沙化土地综合治理1.2万亩、中重度沙化草原修复2.4万亩。

为治沙“绿电”铺路意义重大,建设难度也难以想象。任务艰巨工期短,从2025年10月8日开工,2025年12月29日前,全线85基铁塔组立和29.245千米导线安装任务必须完成。现场200余名施工人员昼夜奋战,4台吊车、4台反循环钻机、4台挖掘机、4台铲车歇人不歇车,连续作业。极寒环境中高空作业,每隔20分钟人员就要轮换一次,否则就会严重冻伤。运送材料的载重车辆和特种作业车辆、机械无法进入沙漠,只能用管排为车辆机械接续铺路。塔基浇筑需要大量用水,而沙漠中最缺的就是水,只能就近打井后每天用水车往返运水。呼伦贝尔地区冬季夜长昼短,施工人员早晨天刚蒙蒙亮就开工;下午天黑早,就用车灯照明,一直奋战到晚上10点左右。

目前,送出线路全线85基铁塔已全部组立完毕,导线安装已完成19.432千米。年末竣工投运的喜讯也让草原牧民们对未来生活信心满满。

老牧民赛音巴雅尔欣慰地说:“我们世世代代生活在这里,以游牧为生。应对草原退化、沙化,我们用草方格子稳固流沙等方式努力了几十年效果都不理想。现在用光伏治沙,既能逐步恢复草原生态,又能发电亮灯,为我们牧民送来了希望和吉祥。”

巴尔虎草原上的治沙“绿电”铺路人

南方电网超高压公司梧州局:

以智能风险管控新体系筑牢安全数字防线

■麦国浩 祝思标 黄波

安全是电力生产的生命线。南方电网超高压梧州局(以下简称“梧州局”)500kV梧州、贺州变电站创新运用“北斗+三维建模+AI视频识别”技术,构建了一套智能安全风险管控系统,实现从“人防”到“技防”的质的飞跃,为变电站安全生产提供了科技保障,同时也释放了劳动生产力。

如何在变电站复杂的作业环境中,实现无死角安全监督、有效防范人员误入带电间隔等风险,是安全管理工作的核心。为此,梧州与贺州变电站深度融合北斗高精度定位、全站三维建模与AI人脸视频识别技术,共同打造了一套智能安全风险管控系统,为现场作业

筑牢了一道数字化“安全防火墙”。

该系统实现了安全管理的流程化与智能化。在工作开始前,系统可根据电子工作票与人员信息自动识别并划定安全作业范围,实现对变电站“三进门”的智能进出管控。工作中,系统如同一位“永不疲倦的安全哨兵”,通过遍布站区的视频监控,7×24小时自动识别未佩戴安全帽、违章闯入、安全措施不到位等典型违章行为,并立即进行实时告警与记录。

其核心技术在于动态风险的实时干预。当作业人员或设备在移动中接近或超出预设的电子安全围栏时,系统会立即触发声光告警,从技术层面有效拦截误入带电间隔的重大安全风险,将事故扼杀在萌芽状态。“通过这套系统,我们实现了从传统人工监管向现代智

案,通过多轮次、多线路的供电方式优化调整,确保了关键站点供电的无缝衔接。技术层面,团队成功攻克30度角差合环技术难题,分别首次实现了35千伏和10千伏电压等级的30度角差合环,填补了该公司在这一技术应用领域的空白,为工程推进奠定了坚实的电网运行基础,标志着阜平公司在电网灵活调度与供电方式优化上迈出了关键一步,为县域电网重大工程不停电作业提供了全新的技术路径。

国网阜平县供电公司:

智绘保电蓝图 民生用电“零中断”

本报讯 “紧盯电网运行全局、精密规划供电方案、严格执行保电举措,务必以万全之策保障供电万无一失!”近日,国网阜平县供电公司(以下简称“阜平公司”)在黄阜双线迁改工程保电工作中,以系统谋划与技术攻坚为抓手,实现县城6.9万余户居民民生用电“零中断”,工程工期缩短50%,为地方经济社会高质量发展交出了亮眼答卷。

面对工程保电的严峻挑战,该公司统筹各方力量,提前研判电网运行态势,科学制定供电保障方