

从实验室到产线，钙钛矿还要过几关

■本报记者 董梓童

9月22日,显示面板龙头京东方宣布,公司钙钛矿光伏中试线已建成投运并实现多场景出货,组件效率创下四项世界纪录,未来一年内将明确玻璃基钙钛矿器件量产线的投资计划。

今年,钙钛矿站上一个新的发展转折点。一边是资本持续加码,年内投融资总额持续突破,光伏企业接连抛出新产线投资和建设计划;另一边是制度基础设施加速补齐,首个钙钛矿光伏国家标准正式落地。产业内预计,钙钛矿将有望从技术验证走向产业化验证的新阶段。

投资不断升温

过去几年,钙钛矿光伏的产业化进展,常常聚焦于实验室效率纪录。2026年,越来越多企业开始将资源投向中试、量产、装备和产品交付,产业化验证逐渐成为新的关键词。

据不完全统计,今年以来,钙钛矿领域投融资总额超50亿元,多家企业的资金投向也从早期研发逐步延伸至产线建设和应用验证。同时,随着设备企业布局整线装备,电池和组件企业推进中试、量产、材料、检测等配套环节也随之加快完善。

3月,迈为股份公告拟投资35亿元建设钙钛矿叠层电池成套装备项目,聚焦核心装备研发与制造。9月18日,协鑫光电宣布吉瓦级钙钛矿量产线全线贯通,商业组件交付规模逐步提升。公司后续工作的重点,将转向设备连续运行稳定性、整线良率、材料利用率和单位制造成本等指标。

本轮钙钛矿技术发展的背后,是光伏主产业链的深度调整。中国光伏行业协会数据显示,上半年,我国光伏制造业主要环节产量出现不同程度下降,国内光伏新增装机同比下降约66%,产业进入供需调整期。与此同时,截至7月底,我国光伏发电装机达到12.86亿千瓦,首次超过煤电装

机,光伏在能源电力系统中的作用进一步增强。这一背景下,新技术能否从“效率更高”进一步走向“发电更稳、成本更低、产品更可靠”,成为产业关注的重点。

标准接连落地

与晶硅电池相比,钙钛矿器件存在较明显的亚稳态特征,在光照、偏压等条件变化下,器件性能可能发生漂移,导致不同测试条件、不同测量方法下得到的结果存在差异。此前,面积定义、稳定化处理以及正扫反扫等测试环节缺乏统一口径,也给研发评价、产品认证和市场交付带来一定影响。

9月18日,市场监管总局(国家标准委)发布首个钙钛矿光伏领域国家标准《光伏器件 第12部分:钙钛矿光伏电池及组件的电流—电压(I—V)特性测量方法》(GB/T 6495.12—2026),将于2027年3月1日起实施。国家标准信息公共服务平台显示,该标准属于“方法”类标准,重点明确钙钛矿光伏电池及组件I—V特性的测量方法。

具体来看,标准对测试设备、测试前稳定化处理、I—V特性测量、面积计算以及效率计算等环节作出系统规定,并针对不同测试需求设置相应方法。对于日常研发,可以采用相对快速的测量方法。对数据质量要求更高的场景,则可以采用最大功率点追踪等准稳态方法。在需要仲裁时,还设置了十点准稳态拟合方法。

在业内人士看来,这背后对应的是产业化进程中的基础性问题。随着钙钛矿逐渐进入中试、量产和商业交付阶段,实验室效率纪录已经不足以支撑产业链各方判断产品价值。只有让不同企业、不同实验室之间的测试结果具有较好的可重复性和可比性,效率、功率等核心指标才能真正成为产品研发、质量控制、检测认证和市场交易的共同语言。

事实上,2月,由中国华能牵头编制的



《研发用钙钛矿光伏电池测量规范》成功立项,成为我国在钙钛矿光伏领域牵头制定的首个国际标准,重点研究电池稳定性、不同实验室测量一致性以及掩模版、夹具等因素造成的系统误差。从研发测试规范到国家标准,再到国际标准,钙钛矿光伏的“度量衡”正在逐步建立。

政策持续加码

从资本进入产线,到标准体系逐步完善,钙钛矿产业化正在形成积极的发展环境条件。政策层面的变化,也为这一过程

提供了制度支撑。9月10日,工业和信息化部、国家发展改革委印发《电子信息制造业发展“十五五”规划》,明确提出突破钙钛矿叠层电池等先进光伏技术,加快产业化应用,并提出拓展太空光伏、海上光伏等智能应用场景。

此前,《可再生能源发展“十五五”规划》也已将钙钛矿叠层电池等高效光伏电池制备及产业化生产技术研究列入技术创新重点方向。与此同时,消费税政策也释放出较为明确的产业信号。财政部、海关总署、税务总局发布的相关公告明确,自2026年9月1日至2028年12月31日,对钙钛矿电池、叠

层电池、碲化镉电池免征消费税。公告同时规定,享受相关减免税政策的产品应符合国家标准,对不符合国家标准或者没有国家标准的产品,不得享受相关优惠。

随着政策、资本、标准相继发力,钙钛矿进入多方协同推动的产业化阶段。不过,热度不等于成熟度。当前,钙钛矿量产线、示范项目不断增加,企业也在加快扩大装备、材料和组件布局,但从中试线走到大规模量产,仍要经历良率爬坡、可靠性验证和成本下降等过程。钙钛矿能否真正进入大规模地面电站,最终要接受度电成本和全生命周期收益的检验。

Bentley 软件全球首席运营官李汉麟：

能源基建 AI 必须要可控可信

■本报记者 林水静

在加快构建新型能源体系背景下,大规模风电、光伏及新型电力系统配套工程加快建设,能源领域资产愈发密集,工程建设、运维管理复杂度同步提升,对行业智慧化运行、安全韧性保障、全生命周期管控都提出更高现实要求。数字孪生、可控可信的AI等数字化技术,正在成为破解工程管理痛点、推动能源工业转型升级的重要支撑。围绕基础设施转型、AI技术、本土化布局,《中国能源报》记者采访了Bentley软件全球首席运营官李汉麟。

中国基建高质量发展

当前,我国能源基础设施建设正告别规模化扩张,向智慧化方向转变。在李汉麟看来,这一转型背后是行业发展逻辑的根本切换。“回望过去,从2008年相关政策带动基建发力,到2010至2020年城市建设迎来高速增长,行业规模扩张抵达高峰。时至今日,中国企业的核心诉求已经不再是单纯追求建设速度,而是转向高质量发展,依托技术手段实现更加智能的建设与运营。”

“双碳”目标之下,发电与电网系统迎来系统性升级考验,海上风电、光伏、输电



工程资产集中、服役周期长,项目交付后期运维承受着越来越大的压力。

“极端天气频发,新能源电站、输电网络等能源基础设施的韧性运营压力持续加大,传统分段式、碎片化的管理模式已难以适配行业发展需求,对基础设施的适应与抗灾恢复能力提出更高要求。同时,固定资产投资环境变化,倒逼企业更加注重项目成本管控,追求资金使用效益;国内体量庞大的存量基础设施逐步老化,运维成本持续攀升,行业亟待建立以数据驱动的预测式全生命周期管理模式。”李汉麟表示。

面对行业变革浪潮,互联数据环境与数字孪生成为重要抓手。李汉麟介绍,数字化体系能够打通规划、设计、施工、交付、运维全业务链条,大幅提升工程设计与协同施工效率。通过搭建统一、贯通的工程数据底座,彻底打破项目建设与资产运营的数据壁垒,实现工程数据从建设阶段向长期运营阶段的完整延续。在此基础上,结合AI技术可实现项目风险智能识别、资产状态动态研判、行业知识沉淀复用,持续优化工程建设与低碳运营决策,全方位提升新能源项目的交付水平与全生命周期管控能力,助力能源行业高质量、可持续转型。

应坚守可控可信AI底线

产业数字化不断深入,AI成为基础设施领域转型的重要变量,但通用大模型并不适配基建行业的特殊场景。李汉麟表示,基建AI需要读懂工程数据、项目背景、环境条件,严格遵循行业标准与工程逻辑,落地门槛远高于多数通用应用场景。“依托专属行业场景训练,杜绝脱离实际的模型推演,AI才能具备更强的可控性与专业性,确保输出结果贴合工程实际、有

据可依,从根本上规避‘AI幻觉’带来的工程风险。”

可控可信的AI是基建行业技术落地的底线,这离不开透明完备的数据治理。“数据不仅要透明、可被审计,也要保护数据来源,让企业能够安心使用AI模型。”李汉麟说。

与此同时,AI的价值不能局限于简单替代人工操作,而是帮助工程师提效、沉淀复用行业知识、优化业务决策。“比如,在航空领域,尽管自动驾驶技术已经十分成熟,但机组人员依旧不可或缺。对应到工程领域,企业管理者需要建立全生命周期思维,重视底层数据治理,搭建统一可信数据源,同步推进组织与岗位适配调整。人必须深度参与操作、校验、决策确认的全过程,不能将业务完全交由机器。”李汉麟坦言。

事实上,相较于头部企业,对于数字化基础薄弱、预算有限、专业人才不足的中小企业而言,落地AI仍有现实难点,大规模成套数字化项目的投入门槛令不少企业望而却步。“AI是类似互联网的长期颠覆性趋势,但也切忌‘为了AI而AI’。中小企业不必盲目上马大型项目,可从小场景试点切入,鼓励一线探索创新,最终以

业务提升、投资回报率作为核心评判标尺。”李汉麟说。

深耕本土适配中国市场需求

在李汉麟看来,中国企业适应力强,对新技术接纳程度高,擅长结合本土实际完成技术迭代,这是国内数字化快速发展的重要基础。

从政策导向来看,中国高度重视人工智能产业发展。根据国务院2025年印发的《关于深入实施“人工智能+”行动的意见》,到2030年,中国人工智能全面赋能高质量发展,新一代智能终端、智能体等应用普及率超90%。

立足中国市场,Bentley软件持续推进全球技术与本土需求深度融合。例如,中国宝武钢铁应用Bentley软件开展数字孪生实践,为老厂房及高铝锌铝镁热镀锌机组搭建可迭代的数字孪生模型,打通数据孤岛,实现全周期数据连贯流转,在预算管控、作业效率、建设周期方面取得实际成效。

“一方面,公司具备覆盖工程全生命周期的端到端数字化解决方案;另一方面,通过多年国内外项目实践,积累了海量、真实、贴合场景的工程背景数据与行业经验,能够精准适配中国基础设施行业的本土化需求。”李汉麟表示,依托全球研发团队与中国本土团队的深度协同,Bentley软件持续打磨本土化AI产品与服务,助力国内能源、基建产业实现安全、可控、可信的智能化升级。“未来,我们将持续整合全球产品资源,联动本土研发团队,并携手国内合作伙伴开展深度协作。”

南网储能公司惠州中洞抽水蓄能电站机组混凝土全部浇筑完成

本报讯 9月18日,南网储能公司惠州中洞抽水蓄能电站项目地下厂房主机间3号变速机组混凝土顺利浇筑至发电机层。至此,电站3台机组结构混凝土全部浇筑完成,加上此前厂用电系统第一阶段送电一次成功,电站机电安装工程取得多个重大节点突破。

地下厂房主机间结构混凝土共计3.6万余立方,结构钢筋重约5千吨,各楼层的机墩、边墙、柱子全面采用免装修清水混凝土。面对工期紧、任务重、协调难度大的“硬骨头”,惠州中洞抽水蓄能电站业主项目部成立了机电安装厂房浇筑党员突击队,团结带领各参建单位不断优化施工工艺、提升浇筑质量,历时20个月顺利完成此项攻坚任务。

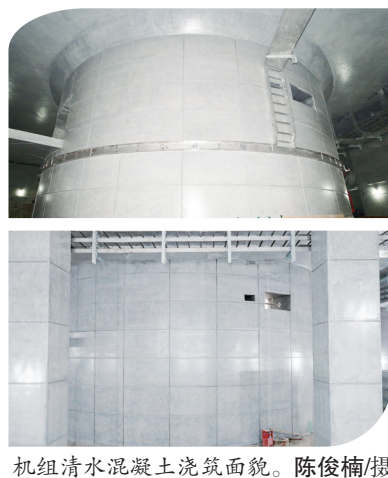
惠州中洞抽水蓄能电站项目深化“党建+基建”攻坚模式,紧盯机组结构混凝土浇筑关键节

点,项目机电安装厂房浇筑党员突击队主动靠前、攻坚一线,党员骨干值守安全监管、质量技术、现场指挥等关键岗位;牵头开展专项方案多轮评审,严格落实全过程安全旁站监督;全面开展安全技术交底,强化人员、设备双重安全保障,护航浇筑作业安全有序推进;现场严格遵照专项方案执行标准化作业,确保了3台机组结构混凝土顺利浇筑完成。

3台机组结构混凝土全部浇筑完成是惠州中洞抽水蓄能电站项目深化“党建+基建”融合、推动党员力量向建设一线聚合的生动实践。惠州中洞抽水蓄能电站业主项目部将持续发挥党支部战斗堡垒和党员先锋模范作用,严守安全质量底线,有序推进机组设备安装、调试试验各项工作。(朱锴宇 王睿)



惠州中洞抽水蓄能电站地下厂房发电层。陈俊楠/摄



机组清水混凝土浇筑面貌。陈俊楠/摄