

太空光伏，近在眼前？



本报记者 张维佳

广袤宇宙中，数百颗卫星正沿预定轨道运行，它们伸展的“双翅”上，布满了高效太阳能电池；近地轨道上，空间站桁架两侧的巨型“太阳翼”持续转动对准太阳，获取源源不断的能源；而在更远的深空，不同形态的太阳能光伏技术正在被持续探索……

岁末年初之际，太空光伏概念热度持续飙升，给沉寂已久的光伏市场注入一剂“兴奋剂”。美国太空探索技术公司首席执行官埃隆·马斯克抛出每年部署100GW太阳能AI卫星计划；协鑫光电、天合光能、晶科能源等多家光伏企业均释放出积极布局太空光伏的信号。日前，埃隆·马斯克团队调研协鑫集团、TCL中环、晶科能源等中国光伏企业的消息传出，再度引爆市场。太空光伏，似乎已近在眼前。

企业 抢滩布局

太空光伏原指将光伏发电系统部署于太空环境，如卫星、空间站等航天器的技术，其核心应用是为航天器自身供电。如今，这一概念已扩容至在太空部署大型光伏阵列，通过微波或激光形式将捕获的太阳能传输至地面接收站，转化为电能后接入电网供人类使用。

近两个月，多家光伏企业相继披露在太空光伏领域的相关布局，目标直指商业航天与太空算力的增量市场。

天合光能、协鑫光电等正从技术储备迈向工程化验证。天合光能已在晶硅电池、钙钛矿叠层电池、III-V族砷化镓多结电池三大方向完成长期布局。公司董事长高纪凡更明确表态，2026年将加快钙钛矿技术的量产化进程。

协鑫光电10×10cm钙钛矿单结组件已成功发射入轨，完成空间搭载试验。公司计划2026年与航天研究机构合作，在大气稀薄区域测试钙钛矿的耐辐照性能，2027年至2028年实现量产。

晶科能源、钧达股份等则通过技术合作加速卡位。晶科能源与AI研发平台企业晶泰科技达成战略合作，利用人工智能推进高通量钙钛矿叠层电池研发；钧达股份拟斥资3000万元参股星翼芯能，以推进面向太空算力和空间能源应用的柔性钙钛矿技术研发与产业化。

此外，炎和科技、光因科技等一批初创企业也选择钙钛矿技术作为突破口，积极推进太空实证测试，为技术路线提供验证依据。炎和科技自2023年起推进相关部署与地面实证工作，并于2025年完成阶段性地面认证。目前，公司已与多家商业航天企业达成合作，将于今年陆续开展多种钙钛矿相关太阳能电池技术的在轨实验，包括钙钛矿/晶硅异质结(HJT)叠层结构及柔性钙钛矿方案，以获取关键在轨运行数据。

“老技术” 碰上“新需求”

事实上，太空光伏并非新概念。自20世纪50年代起，卫星就已开始使用光伏供电。如今，几乎所有航天器都将光伏电池作为其“标配能源”。

那么这项技术为何在近期备受瞩目、引发高度关注？

协鑫光电创始人兼总经理田清勇向记者表示，商业航天的爆发式增长是其核心推动力。一方面，需求侧

出现井喷，低轨星座卫星进入“千颗-万颗”级别，在国际电信联盟(ITU)“先占先得”规则下，Starlink、星网、Kuiper等必须在2030年前完成部署，卫星数量指数级上升，而能源系统成为“交付瓶颈”。另一方面，供给侧门槛降低，以SPACE X为代表的商业航天企业不断降低成本，使得在太空布局算力成为可能。

在此背景下，太空光伏被视为支撑未来太空算力的关键能源方案。太空光伏可以解决卫星的供电问题，配合一定容量的储能电池，可以利用太空中稳定的太阳辐射，为卫星提供稳定持续的电源；与之相比，化学电池或核电池或者容量有限，性价比差，或者审批复杂且政治敏感，在商业航天领域难以推广。

“‘老技术’碰上‘新需求+低成本发射+高效轻质电池’三重浪潮，使太空光伏从60年前的‘贵族配置’变成今天星座时代的‘刚需标配’。”田清勇总结道。

而与地面相比，太空光伏的核心优势源于“太空环境的独特性”。“在没有大气层遮挡的宇宙空间，太阳能可实现不间断且稳定的发电，其发电效率远高于地面光伏，且不受昼夜、天气影响。”天合光能副总裁陈奕峰向记者指出。据了解，太空光伏年发电小时数、能量密度较地面光伏分别提升7~10倍，破解了间歇性和衰减的瓶颈，原则上可以一直用，一直发电。

此外，太空光伏还能缓解地面能源瓶颈。陈奕峰表示，随着全球数据中心和通信需求的爆发式增长，传统地面电网面临巨大压力。太空光伏能够突破地面电网在负载与能源上的限制，提供长期、稳定的能源支撑。晶科能源董事长李仙德进一步畅想：“太空光伏也是未来建设月球工厂和月球工业体系为数不多的闭环能源路径之一。未来，可在月球工厂生产光伏板，并利用太阳能驱动的电磁轨道炮将成品AI卫星直接抛射入轨。由太空光伏板供电的擎天柱等各种机器人，将成为月球工厂的主要劳动力。”

可以看到，太空光伏正快速演变为覆盖“太空发电-无线传输-地面接收”的全链条能源解决方案，并向“太空算力中心能源供给”等未来场景延伸。这一从“配套技术”到“太空能源基建”的叙事转换，为市场打开了充满潜力的想象空间。

钙钛矿和异质结技术 潜力巨大

从电池的技术路线来看，目前太空光伏的主流电池技术路线包括砷化镓、晶硅、钙钛矿等。其中，钙钛矿和异质结(HJT)路线的发展潜力被

不少机构与企业看好。

田清勇介绍，多结砷化镓转换效率高，组件效率可达30%，实验室效率最高可突破47%；抗辐射能力强，性能衰减远低于晶硅，但价格昂贵。晶硅成本低、产业链成熟，是早期太空光伏的主流选择，但转换效率较低，且抗辐射性能差，衰减快，使用寿命短，难以满足大功率、长使用寿命任务需求。

钙钛矿则展现出综合优势，比重量功率高，单位质量发电能力强，可降低发射成本；材料成本低，且柔性适配性强，可制成超薄、柔性薄膜，适配新一代卷展式太阳翼；此外，理论效率也高，单结钙钛矿效率已超27%，叠层结构已突破35%，具备挑战砷化镓的潜力；目前，其主要挑战在于其太空环境耐候性有待进一步验证、提高，尤其是高温的耐候性。

陈奕峰持有同样的观点，他指出，在太空光伏领域，不同技术路线各具特点，三种技术结合，能够根据不同太空应用场景的需求，提供更具竞争力的多元化能源解决方案。“晶硅电池和钙钛矿电池，特别是叠层结，在成本和效率方面具备潜力，更符合未来大规模、低成本部署的需求。而III-V族砷化镓电池的高效率和优异抗辐射性能，也使其在特殊太空任务中仍具备不可替代的价值。”陈奕峰介绍道。

炎和科技创始人、董事长兼CEO冯凡尤其看好钙钛矿/晶硅异质结叠层技术路线。他解释道，太阳能电池越薄，抗辐射性越强。HJT最薄可以做到40微米以下，具备一定柔性，且双面发电能力高达90%，在太空中，可更好接收地球反射光和深空背景光。而钙钛矿电池作为离子晶体，本身就不怕电子辐照。HJT与钙钛矿叠层结合了两种技术的优点，综合环境适应性更强。

据冯凡介绍，根据发射规划，今年4月即将发射的钙钛矿/晶硅异质结叠层组件及柔性钙钛矿组件，预期使用寿命约为2~3年。今年下半年，还将通过十余次发射，验证多种材料与电池结构方案，持续优化技术路线。“到2028~2029年间，相关电池产品的在轨使用寿命有望延长至8年左右。”冯凡透露道。

是未来 还是泡沫？

多重逻辑共振下，太空光伏市场的想象力进一步打开。

长江证券预计2030年全球低轨卫星太空光伏市场规模达295亿元；中信建投预测2030年中国低轨卫星光伏市场规模超30亿美元，若进入100GW太空数据中心部署阶段，全

球市场规模将达5000亿至10000亿美元；国金证券更是给出“2030年全球太空光伏市场向万亿元规模发展”的判断。

热潮背后，“太空光伏”这个宏大的构想，究竟是开启未来能源的“钥匙”，还是又一个被过度渲染的“故事”？我们真的需要它吗？

对此，冯凡认为，市场对太空光伏的期待，建立在部分确定的需求之上，太空光伏市场有望超过地面光伏。“商业航天催生的能源需求真实且迫切，未来，单颗卫星功率将达到30~60千瓦，20万颗卫星就将形成10吉瓦级的能源需求。此外，太空中没有水、没有风，太阳能将是支撑太空算力基站、深空探测以及未来月球基地最主要、也是最根本的能源。”冯凡说道。

他直言，新兴技术的发展早期大概率会出现一定泡沫，这种泡沫并非坏事，它意味着资本、人才和注意力的加速涌入，为技术发展注入不可或缺活力。一旦技术真正实现突破，其催生的长远价值将远超泡沫规模。“我们对产业早期的泡沫持一定的开放心态，太空光伏场景将成为下一代光伏技术的重要试验场。”冯凡说道。

不过，太空光伏从蓝图构想走向实际落地仍有漫长的路要走。中国光伏行业协会提醒，目前太空光伏技术仍处于探索验证的初期阶段。无论何种技术路线如何演进，真正走向落地，离不开一个前提：成熟、可复制的高效制造能力与长期可靠性验证体系。目前，太空光伏确定明确的技术方向为时尚早。

陈奕峰指出，当前，太空光伏产业发展面临多重挑战：一方面发射成本、地面接收站的建设成本，以及复杂系统带来了高昂的初期投入；另一方面，极端的太空环境，如高真空、剧烈温变、高能粒子辐射等，对电池组件的长期稳定性、可靠性和使用寿命提出苛刻要求；此外，太空光伏发电所需的微波频段资源有限，如何在国际上进行有效协调和分配，也是其大规模发展的重要前提。

同时，在轨稳定性验证周期较长，太空光伏从实验室到工程应用，必须完成从裸电池到完整能源方案，再到在轨验证的完整流程。

“从目前趋势看，从小规模、多卫星的部署起步，逐步扩大规模以降低成本，将是太空光伏发展的主要路径。”陈奕峰预计，超轻型柔性电池技术、先进封装技术以及智能化的电池阵列结构设计将成为技术竞争的关键点。

冯凡预计，随着卫星组网进入提速期，太空光伏技术预计于2028年迎来第一波技术验证高潮；伴随大型太空基建进入规模应用阶段，市场空间有望于2030年进一步释放。

办好代表建议

“金点子”变成“金钥匙”

(上接第1版)

带着这一构想，她马不停蹄地走访产业链上下游企业，辗转参与各种行业研讨会，与公司产业规划、供应链、科技管理等相关部门反复研讨。

调研越深，答案越清晰：“数据不通”只是表象，背后是我国高端装备制造业向高端化、绿色化、智能化转型中的系统性挑战：创新产品落地难、市场认可度低，绿色低碳技术研发应用链条不畅，企业间数据标准不一、安全机制不完善，国产装备还面临标准互认、品牌影响力弱等问题。

“这些问题看似独立，实则相互关联，共同制约着我国装备制造产业整体竞争力的提升。”曹天兰直言，推动高端装备制造业发展，单点技术突破已难奏效，而是要构建起支撑创新落地、协同发展、开放共赢的产业生态。

系统研读了国家能源装备领域系列政策文件，并结合一线调研成果、企业实践经验，曹天兰提出了“关于围绕高端化、智能化、绿色化打造高端装备制造业发展新质生产力的建议”，在2025年全国两会上提交，深入分析了“十四五”时期装备高端化、智能化、绿色化发展情况，提出在基础工业体系支撑、“三化”发展动力、国际竞争力、人才队伍建设等方面尚存在不足，并给出针对性意见建议。

高质量的建议，从来都是用事实和数据说话。作为从车间走出来的代表，广东拓斯达科技股份有限公司董事长兼总裁吴丰礼2023年当选全国人大代表后，持续关注制造业转型升级，仅2024年就奔赴十多个城市，调研30余家制造企业与AI研发团队。

调研中，东莞一家电子企业向吴丰礼反映，传统工业机器人仅能完成简单重复动作，产品换代时需工程师重新编程，增加人力成本且影响生产效率；惠州一家注塑工厂则面临招工难、留人难问题，希望通过智能机器人替代高重复性、艰苦工序的人工。

这些声音让吴丰礼意识到，如今产线上的机器人，已不再是单纯执行重复动作的机械装置，而是能理解生产需求、自主调整操作的“智能工人”。借助人工智能算法的实时优化，生产流程能变得更高效率、更灵活、更智能——这正是中国传统制造业实现转型升级的关键抓手。

由此，吴丰礼在2025年全国两会上提交“关于人工智能与机器人结合赋能工业场景的建议”，呼吁以制造业应用场景为牵引，加快AI与机器人深度融合，并从建设工业数据采集中心、推动企业协同创新、构建复合型人才体系三方面，提出具体政策支持路径。

牵头高效办，规划同推进

2025年4月，全国人大常委会委员长会议将“实施‘人工智能+制造’行动，做大做强先进制造业”审议确定为重点督办建议。吴丰礼、曹天兰、张帆等代表提出的10件相关建议，被列入重点督办建议选题，交由工业和信息化部牵头办理，由全国人大常委会财政经济委员会负责督办。

为将代表的“金点子”转化为推动制造业高质量发展的“金钥匙”，全国人大与工业和信息化部不断完善工作机制，创新工作举措，与代表面对面沟通、肩并肩调研，将“办理沟通”拓展为“常态沟通”。

“没想到我的建议刚提交，就接到了全国人大工作人员的电话，就‘关于围绕高端化、智能化、绿色化打造高端装备制造业发展新质生产力的建议’这份建议的办理单位征求我的意见。”曹天兰回忆道。

很快，她又接到了建议承办单位工业和信息化部的沟通电话，工作人员与她详细交流建议内容、认真倾听诉求；8月，工

业和信息化部与全国人大常委会代表工委的同志奔赴四川，来到她的工作单位座谈，调研数字化车间和全国重点实验室，深入了解建议背后的故事，了解政策执行的实际情况。

“我们把建议办理与‘十五五’规划编制、产业政策制定有效结合、同向发力。”工业和信息化部相关司局负责同志介绍。为摸清人工智能和人形机器人技术研发、制造业应用现状及面临的困难挑战，他们先后赴国家地方共建具身智能机器人创新中心、“模速空间”创新生态社区、浦江实验室、京东方等“前沿阵地”调研，与企业负责人、技术专家深入交流。

代表们的建议涉及面广、交叉性强，为此工业和信息化部与国家发展改革委、教育部等协办单位建立高效会商机制，采取“线上+线下”多样化沟通形式，形成共同推动建议落地的工作合力，确保“件件有回音、事事有着落”。

收到答复后，曹天兰在工作文档写下：办理单位以“上门调研、当面征求意见”的方式推进建议办理工作，形成“群众诉求-代表建议-政府调研-制定举措-解决问题”的闭环，我对工业和信息化部答复非常满意。

“我深深感受到自己提出的建议被看见、被重视！”她向记者感慨道，“这让我亲身体会到，群众的意见不仅能‘传上去’，还能被政府部门‘听进去、落下去’，让人民群众切实感受到自身的意愿被尊重、诉求被回应，充分彰显了全过程人民民主的实践价值。”

“良策”变“良方”，落地有实效

代表建议办结不是终点，成果转化落地、释放实际效能才是关键，正所谓“办理一件、满意一件、带动一片”。

结合吴丰礼代表的建议，2025年11月，工业和信息化部启动2025年人工智能产业及赋能新型工业化创新任务揭榜挂帅工作，聚焦人工智能产业发展底座、“人工智能+制造”、智能产品装备、共性基础支撑等方向，发掘培育一批“快落地、强示范、可复制”的关键技术与产品。

近期，拓斯达“拓星舰AI柔性分拣工作站”成功落地。该工作站基于自研的AI算法，在识别和抓取时，快速自适应生成视觉模型，可在毫秒级精准定位并获取抓点。在放置与定位时，无须任何人工示教，算法可智能推算最优放置位置，普通操作人员也能轻松上手复杂操作，将传统模式下1~4小时的换产时间，大幅压缩至最快5分钟，实现生产效率的跨越式提升。在实际生产中，该工作站工段作业周期仅为2.5~3.2秒，产能突破1000件/小时，让柔性生产实现质的飞跃。

为进一步推动“人工智能+制造”规模化、深度发展，工业和信息化部在吸纳中国电气装备集团有限公司党委常委、副总经理张帆代表的相关建议后，联合有关部门编制并正式印发了《“人工智能+制造”专项行动实施意见》，细化制定了21项具体实施措施，为产业融合发展划定清晰路径、提供政策支撑。

曹天兰向记者表示，得益于利好政策的持续加持，公司自主知识产权的G50燃机，在去年年底成功斩获海外订单，实现了海外市场订单零的突破，彰显了中国装备制造的硬实力。

“我的建议不仅被采纳，更催生了一整套支持新质生产力的政策体系。”她说，“这让我真切感受到：全过程人民民主，不是口号，而是看得见、摸得着的制度力量。”

记者了解到，截至目前，工业和信息化部累计结合代表建议出台政策措施74项，在出台的政策文件中采纳代表建议相关意见177条，将代表智慧转化为产业发展实招。