

记者5月18日从西安电子科技大学获悉,中国工程院院士段宝岩带领的“逐日工程”研究团队取得重大进展,突破了空间太阳能电站与微波无线传能的多项关键核心技术,自主研发了一对多目标微波无线传能的空间太阳能电站地面验证系统,在百米级距离实现千瓦功率输出,推动了我国空间太阳能电站及微波无线传能技术迈向工程化应用。

“把发电站建在太空,让清洁能源照亮地球!”——这一曾经只出现在科幻作品里的大胆构想,如今正加速走向现实。随着全球能源转型深入推进,航天发射成本持续下降,空间太阳能电站这一“未来能源”构想,已成为世界主要科技强国竞相布局的新高地。中国正稳步推进空间太阳能电站“逐日工程”,计划于2030年前后开展兆瓦级在轨试验。美国企业家埃隆·马斯克近期表示,计划每年向太空部署1亿千瓦太阳能人工智能卫星能源网络。这项技术之所以吸引全球目光,在于它拥有传统能源难以企及的优势,被视为解决人类能源困境的终极方案之一。

## 我国“逐日工程”研究取得重大进展,实现“一对多”对移动目标供电 为把太阳能电站“搬上天”铺路

### 为太空筑起“无线充电站” 奠定基础

据中国工程院院士段宝岩介绍,建设空间太阳能电站好比是部署在太空预定轨道的空间微波充电桩,可打破传统卫星对自身太阳能帆板的单一依赖,利用先进的微波无线传能技术,在浩瀚太空中为卫星筑起“无线充电站”。

近年来,空间太阳能电站处于从理论探索迈向工程应用的关键阶段。2014年,段宝岩院士团队提出了欧米伽创新设计方案并开展科研攻关。2022年6月,牵头建成了世界首个全链路全系统空间太阳能电站地面验证系统。

近期,这项研究又取得一系列新突破:团队从多学科交叉、多系统耦合与系统可靠性角度出发,提出了分布式欧米伽空间太阳能电站创新设计方案。攻克了远距离、高功率、高效率一对多目标微波无线传能技术,实现一套发射系统为多个移动目标供电,解决了多目标供电的精准控制问题,未来有望为多个太空飞行器或地面移动设备同时供电。

测试数据显示,在百米级距离,直流一直流传输效率达20.8%,输出功率1180瓦、波束收集效率88.0%。无人机微波无线传能系统在时速30公里、距离30米条件下,实现143瓦稳定接收。

在空间发电上,太阳能聚光与光电转换效率显著提升。在发射与接收天线集成化、小型化与轻量化上取得关键进展,为设备的太空部署奠定了基础。

### 太空发电 优势与难点

空间太阳能电站的构想,最早由美国科学家彼得·格拉赛于1968年提出。它的工作原理与通信卫星类似:太阳能板在地球轨道上运行,通过自身旋转始终正对太阳,以最佳角度接收阳光;随后,收集到的能量以微波形式传输到地面的接收站,再转换成电能,并接入现有的电网基础设施。

与地面太阳能发电相比,太空的发电条件堪称完美:无云层遮挡,无昼夜交替,无大气衰减。



“逐日工程”——欧米伽空间太阳能电站地面验证系统。

西安电子科技大学供图

在地球静止轨道或地球太阳同步轨道上,单位太阳能电池板可接收的太阳辐射量为地面的8至10倍,且能实现24小时连续发电,具备成为稳定“基荷电源”(连续稳定运行的基础电源)的潜力。同时,空间太阳能电站的扩展能力极强,通过扩大规模能满足全球能源增长需求。如果在地球静止轨道铺设一周公里宽的太阳能电池带,一年接收的能量相当于地球可开采石油的总量。

空间太阳能电站还能带来多重附加价值:一是给卫星减负,使其摆脱庞大笨重的太阳翼(帆),换上小巧的接收天线,从“太空充电桩”获取电力,显著提升灵活性和续航能力;二是实现能量和信息双传输,让通信、导航卫星的天线同时具备接收电力的功能;三是优化太空信息处理,在太空直接完成数据处理,避免当前“太空压缩、天地传输、地面解压”模式带来的丢包、失真等问题;四是为月球基地、火

星前哨站等深空探测设施提供远程无线供电。

然而,要在太空建造超级电站,并不是一件容易的事。国际上已提出多种空间太阳能电站设计方案,根据太阳光能收集形式的不同,主要分为聚光型与非聚光型两大类。

聚光型空间太阳能电站的核心思路是通过特殊的聚光系统,一方面将太阳光集中汇聚到太阳能电池表面,提高光电转换效率;另一方面将发射天线发出的微波波束精准对准太空飞行器或地面接收站的天线。代表方案包括美国的“阿尔法”、中国的“欧米伽”等,其优势在于结构紧凑、重量较轻,但对热管理与指向精度要求高。

非聚光型空间太阳能电站则直接铺设大面积柔性光伏阵列,配合独立的微波发射天线。比如日本提出的“绳系结构”方案,中国的“多旋转关节”构型。这类设计更加简洁,但需解决超大柔性结构在轨展开、双轴高精度指向

等难题,就像让一块巨大的“太空帆板”在高速运动中始终瞄准两个不同的目标,挑战很大。

无论采用哪种方案,空间太阳能电站作为一个连接“太空—太空”“太空—地面”的超大型能源供给系统,都需要突破多项关键核心技术。比如,远距离高功率高效率微波无线传能,在轨超大型结构组装,极端热环境控制,长期可靠性运行等。这些技术环环相扣,需系统性突破。

### 太空能源研发 按下“快进键”

近年来,空间太阳能电站从理论探索迈向工程验证的关键阶段,多国加快推进关键技术攻关与原型试验,一系列突破性进展让这项技术的落地前景越来越清晰。

英国将建设空间太阳能电站纳入国家综合能源战略与太空发展战略,给予重点资金和政策支持。欧洲航天局将空间太阳能电站定位为“具备长期可行性的清洁基荷电源选项”,持续投入研发力量,稳步推进相关技术验证。

美国国家航空航天局、国防部等机构不断推进关键部件与技术的空间验证。2023年,加州理工学院发射了一套在轨小型微波传能收发天线,采用分布式槽型聚光设计,两个天线间距仅一英尺,成功向地面传输了微波束,标志着在小型化传能设备上取得重要突破,为后续大型设备研发积累了经验。

日本在场景试验中做出探索。2024年12月,日本宇宙航空研究开发机构联合产业界,在长野县开展商用飞机向地面微波输电试验。一架飞机在7000米高空以700公里/小时巡航,向地面13个接收点传输270瓦微波功率,验证了高速移动平台对地精准微波功率传输技术方面的可行性。

中国在该领域起步虽晚,但进展迅速。2022年6月,西安电子科技大学牵头建成“逐日工程”——这座75米高的测试塔,是世界首个全链路全系统的空间太阳能电站地面验证系统。近期,“逐日工程”取得一系列新突破。

此外,中国航天科技集团五院、重庆大学、四川大学、上海大学、中国科学院电工所、哈尔滨工业大学、上海交通大学等单位也积极参与相关关键技术攻关,形成多学科协同创新格局。

### 未来将有 丰富的应用场景

未来,空间太阳能电站一旦建成运行,将深刻重塑人类社会能源格局,应用场景远超想象。

在地面供电领域,传统电网受地形地貌和经济成本制约,在偏远山区、沙漠、海洋等地区架设输电线路投资大、难度高。空间太阳能电站立足天基,视域可完整覆盖地球所有区域和地形。通过微波无线能量传输,这些地区可获得持续稳定的电力供应,有助于推动全球能源普惠。

在应急救援领域,地震、台风、洪水等灾害发生后,往往会导致大面积停电。空间太阳能电站的微波无线传能可提供灵活的应急电力供应,可以快速为救灾现场的医疗救援、通信保障、临时安置点供电等提供“空中电力支援”,为生命救援争取宝贵时间。

在航天领域,伴随着大航天时代的到来,越来越多卫星、空间站、深空探测器将进入太空,对电力的需求持续增长。空间太阳能电站能为这些空间飞行器提供远距离、高功率的电力支持,让卫星的运行周期更长,功能更强大,让深空探测器可以飞得更远,也可以在空间站开展更多科学实验,极大拓展人类的太空探索范围和时间。未来的“太空互联网”或月球基地,或许都将依赖这种“天基充电宝”。

更具想象力的是,空间太阳能电站或许能成为应对极端气候的新工具。台风等极端天气往往会给沿海地区带来巨大灾难,而利用微波无线能量注入方式,可对台风区域内下沉冷气流中的水汽进行持续加热,当能量足够大时,有望改变区域大气环流,从而改变台风的强度和走向,减少台风灾害带来的损失。

当然,从科学实验转化为具备商业可行性的产业,空间太阳能电站仍有漫长的路要走。除了需要科学家攻克一系列关键技术,还需要各国共享技术成果、共担研发成本、共同应对挑战。同时,商业机构的参与也至关重要,需要形成政府引导、市场驱动、产学研结合的创新生态,降低建设和运营成本,让太空清洁能源走进寻常百姓家,真正成为惠及全人类的可持续能源解决方案。

据新华社、人民日报