

日前,记者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。

## 为卫星筑起“无线充电站”

空间太阳能电站这项宏大的构想,旨在将巨型太阳能电站部署在太空轨道,捕获不受大气和昼夜影响的太阳能,再通过无线方式传回地球或为太空设备供电。这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。

“逐日工程”取得重大进展,使空间太阳能电站再次成为公众关注的焦点。

段宝岩院士说,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。

## 太空发电的优势与难点

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。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到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一公里宽度的太阳能电池带,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。

# 我国“逐日工程”研究取得重大进展

## 太阳能电站上天 还有多远?

## 空间太阳能电站工作原理

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

将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

将转换的电能接入地面现有的电网基础设施

### 观察>>> 多国研发太空能源

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空间太阳能电站关键部件与技术的空间验证。日本在空间太阳能电站场景试验中也做出新的探索。

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,研究团队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。

### “逐日工程”最新突破 从地面验证到一对多供电

团队自主研发了世界首个“一对多”动目标微波无线传能的地面验证系统,即一套发射系统可以为多个移动目标同时进行无线供电。

#### 地面远距离传能

在百米级距离,实现1180瓦功率输出,直流—直流传输效率达到20.8%

验证了远距离高功率无线传输的核心能力

#### 动态无线充电

在时速30公里、距离30米条件下,无人机稳定接收143瓦功率

证明为移动设备(如无人机、卫星)实时充电的可行性