



海洋能是构建海上多能互补能源体系的重要组成,是支撑深远海开发的重要能源保障,也是培育海洋新兴产业的重要抓手

当前,全球能源转型加速推进,海洋能正处在由技术探索迈向规模化应用的关键阶段。准确把握发展形势与现实基础,对于我国海洋能发展具有重要意义。

从国际看,海洋能发展已进入竞速布局的新阶段。近年来,多国已将海洋能纳入国家能源战略重点,通过差价合约、电价补贴、示范工程等方式支持,持续完善政策体系。国际能源署预测,到2050年,全球海洋能装机规模将达到30万千瓦,产业规模和减排效应将显著提升。技术层面,潮流能、波浪能

创新谈

发电装置正向大功率、模块化、智能化方向加速迭代,设备可靠性和海洋环境适应性持续增强,部分技术已具备初步商业化条件。同时,各国通过标准化测试验证、数据共享和风险分担机制,有效降低工程化门槛,推动产业加速成熟。

从国内看,我国海洋能发展呈现基础夯实、加快跃升的态势。我国沿海潮流能、波浪能等资源分布广泛,具备较大开发潜力。经过多年技术积累,我国已掌握潮流能、波浪能等领域关键核心技术,兆瓦级发电装置实现稳定并网运行,装备可靠性和能量转换效率总体达到国际先进水平,产业发展正由“单点突破”向“体系推进”转变。近年来,围绕海岛供电、深海养殖、海上风电等领域,国内相关产业逐步形成场景驱动技术、技术适配场景的发展格局。同时,国家相关部门联合出台《关于推动海洋能规模化利用的指导意见》,在用海空间、试点示

在海洋能新赛道上行稳致远

武 贺

范、技术创新等方面作出系统部署。海洋综合试验场等基础设施建设加快推进,装备海试验证、环境适应性评估、并网适配调试等环节,公共服务能力持续提升。

同时也要看到,我国海洋能规模化发展仍面临多重制约。一是经济性约束较为突出。当前海洋能发电成本整体仍高于风电、光伏等成熟可再生能源发电模式,尚未形成规模效应,电价机制和收益预期不够稳定。二是工程可靠性仍需强化,复杂多变的海洋环境对装备结构强度、材料耐久性和运维能力提出更高要求,在极端工况适应性和长期稳定运行方面仍存在不足。三是标准与服务体系尚不完善,行业标准体系有待健全,公共测试评价能力仍存在差距。总体而言,我国海洋能虽具备良好发展基础,但仍处在由示范走向规模化的关键攻坚阶段。

海洋能是构建海上多能互补能源体系的重要组成,是支撑深远海开发的重要能源保障,也是培育海洋新兴产业的重要抓手。推动海洋能发展,关键在于尽快跨越规模应用门槛。夯实资源基础方面,要加强系统调查评估和规划统筹;技术攻关方面,要聚焦关键技术和装备可靠性,提升工程化水平;场景应用方面,要依托典型场景推进示范应用,带动成本下降、模式成熟;政策保障方面,要完善政策环境和市场机制,增强发展预期、凝聚多方合力。

面向未来,要加快推动海洋能从“可行”走向“可用”、“示范”走向“规模”,在新一轮海洋能源竞争中率先实现规模化突破,在未来能源版图中赢得主动。

(作者为自然资源部国家海洋技术中心研究员,本报记者刘诗瑶采访整理)

深度观察

2026年初春,西安电子科技大学长安校区。一座75米高的巨型钢结构支撑塔矗立在实验场上,塔顶的发射天线指向百米外的接收端。塔下,科研人员裹着棉衣,紧盯屏幕上的数据。“亮了!亮了!充上电了!”西安电子科技大学机电工程学院教授李勋看到空中无人机上渐亮的LED(发光二极管)灯,高声呼喊起来。围在设备旁的师生屏息注视,微弱光点逐渐明亮、稳定。

团队攻坚多年的技术难题,终于取得关键突破——攻克远距离、高功率、高效率一对多动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。至此,我国空间太阳能电站建设迈出了关键一步。

逐日之梦

从构建到地面验证

关于建设空间太阳能电站的构想,最早可追溯到1968年。当时有科学家提出,在地球轨道上部署超大型太阳能发电装置,不受昼夜和天气影响,持续收集太阳能,再通过微波或激光无线传输至地面。整个过程经历“太阳能—电能—微波—电能”的转换,一旦实现,人类将获得取之不尽、零碳排放的清洁能源。

然而,这个“太空充电桩”的构想,却被技术困住了半个世纪。直到近年来,空间高效能量转化、无线能量传输、超大型结构构建等关键技术取得突破,才逐步走向现实。

2006年,我国开始相关研究。2014年,西安电子科技大学段宝岩院士团队提出具有自主知识产权的“欧米伽(OMEGA)”空间太阳能电站方案,区别于美国、日本的设计,在结构和效率上更具优势。

2018年12月23日,“逐日工程——空间太阳能电站地面验证系统”在西安电子科技大学启动——“逐日”取自“夸父逐日”,寓意追赶太阳、捕获能量。

经过4年艰苦攻关,2022年,团队建成世界首个全链路、全系统的OMEGA—SSPS(欧米伽聚光式空间太阳能电站系统)地面验证系统。所谓“全链路”,就是从阳光收集、光电转换、微波发射、空间传输到接收整流输出,整个流程全部跑通。“当时的主要指标是,收发天线相距55米,发射功率2081瓦,波束收集效率87.3%,直流一直流传输效率15.05%。”西安电子科技大学机电工程学院副院长段学超介绍,这些数据在当时达到国际领先水平。

但这只是起点。定点输电像在固定位置拉一根“无形电线”,目标一动就会脱靶断电。真实的航天器、无人机、地面移动设备等处于不间断运动中。从“静态”到“动态”,成了团队必须跨越的下一道坎。

逐日之跃

从定点到动目标

一时的成功没有让团队停下脚步。“我们知道,真正的工程应用,必须解决‘动起来’的问题。”李勋说。

2026年5月底,好消息从“逐日工程”研究团队传来:经过又一轮4年攻坚,团队拿出了“逐日工程2.0”——世界首套一对多动目标OMEGA—SSPS微波无线传能地面验证系统。

“一对多”意味着同一套发射系统,通过波束指向精准控制,几乎同时为多个高速移动的目标精准供电。这就像在黑夜里用一束光快速切换射中多个移动的靶心,难度可想而知。

关键难点有3个。第一是高精度测控。发射天线需要实时获取每个接收目标的方位、距离和姿态。团队开发了基于反向波束导引的闭环控制系统——接收端发出导引信号,发射端及时捕获并解算,实现波束的精确指向。“通俗地说,就是‘双向奔赴’,系统边跟踪边修正,让能量不偏不倚地‘发送’到目标上。”李勋说。

第二是收发天线的小型化、轻量化、集成化。地面验证可



以建75米高塔,但上天的设备必须轻、必须小。团队通过一体化设计,把多个功能模块压缩到更小空间,大幅减重。

第三是效率提升。直流一直流传输效率从15%提升到20%,每提高一个百分点,背后都是材料、器件、算法的全方位突破。团队升级了氮化镓二极管等新型器件,提高系统承受大功率波动的能力。

攻关初期,目标丢失、波束打偏是家常便饭。“通信延迟导致数据跟不上,接收天线明明在这个点,波束却打到了那个点上。”段学超回忆。通过将发射天线的机械调整装置开展机电耦合设计,团队从源头上提升其控制带宽,又要通过反复实验,验证在柔索驱动的空中结构基础接触上进行精确指向的控制效果。在项目攻坚阶段,老师和同学们经常从下午忙到深夜一两点,整理完数据才休息。

就是这些“土办法”加“硬功夫”,团队一点点啃下了技术的“硬骨头”。盛夏的测试场上,数据传来:百米级距离,直流一直流传输效率达到20.8%,波束收集效率88%。无人机实验同步成功——时速30公里、距离30米条件下,稳定接收143瓦电力。这意味着,一架小型无人机可以在飞行中持续“隔空充电”,再也不用担心续航问题。

专家组评价:“‘逐日工程2.0’实现了从静态原理验证到动态多目标工程应用的关键跨越,总体达到国际领先水平。”

放眼全球,美国、日本、韩国都在推进空间太阳能电站计划,但截至目前,中国是唯一跑通全链路并实现一对多动目标传能的国家。

逐日之远

从地面到太空的星辰大海

地面验证成功,只是征途的第一步。按照国家规划的“两大步三小步”路线图:2030年建成兆瓦级在轨试验电站,2050年建成吉瓦级空间太阳能电站。

“假设在地球静止轨道上每0.1度(间距约73千米)布置一个空间太阳能电站,整个轨道可以部署约3600个电站。按

我国空间太阳能电站建设迈出关键一步

“逐日”蹄疾,电从太空来

本报记者 贾丰丰



图①:段宝岩(左二)指导学生开展空间太阳能电站地面验证系统综合实践。

西安电子科技大学供图

图②:夜空下的空间太阳能电站地面验证系统支撑塔。

本报记者 贾丰丰摄

本版责编:谷业凯 版式设计:蔡华伟

②

我身边的最强大脑

给炙热的钢卷“贴标签”

周 磊

热轧板带作为工业原材料,广泛应用于建筑、汽车、家电及机械制造等领域。为了方便产品质量把控和溯源,每个热轧钢卷成品都需要贴上产品标签。通过扫描标签二维码可查询带钢尺寸规格、钢种成分牌号、生产质量曲线等信息。

贴标签听起来很简单,但在钢铁厂,给刚从生产线上下来、温度高达350到750摄氏度的钢卷贴标签,可是个难题。因为无法人工干预,给钢卷物理降温。以前,工人师傅们得等这些“大铁饼”在库房里放上至少3天,完全冷却到室温,再手工把一张不干胶标签贴上去。生产线每天产出上万吨钢卷,若所有钢卷都需经过3天“降温等待”,将带来高昂的库存成本。

能不能利用全自动设备,给炙热的钢卷贴标签?我们买来工业机器人的机械臂,给它装上摄像头,希望它能精确地把

标签贴上去。可当机械臂靠近那只“大铁饼”时,问题就来了。热空气会让光线发生扭曲,就像夏天看远方的柏油马路,总觉得有光波在晃。这350到750摄氏度的钢卷,产生的热浪让摄像头拍到的画面也扭曲、模糊,机械臂基本很难准确定位。

我们试了很多办法。给摄像头加装风冷、水冷,在机械臂上裹上隔热材料……效果都不好,不是摄像头被烤“晕”了,就是机械臂本体的关节因为高温而磨损。

有一天,我盯着电脑屏幕上不断“跑偏”的模拟演示,忽然想到:我们为什么非要跟热浪“硬刚”呢?不如“顺着”它来,为机械臂建立一套“热轨正模型”!

具体来说,我们不再试图让机械臂“看见”一个钢卷,而是先通过反复试验,记录在不同温度、不同距离下,热浪造成

的视觉误差规律。这就像给机械臂喂了一本“错题集”。

这样,当机械臂靠近钢卷时,它会根据实时测得的温度,自动在脑海中“算”出一张修正后的图像。摄像头告诉它“钢卷在A点”,但系统会根据温度模型,精准地告诉它:“不,它的实际位置其实是B点!”

我们用了8个月的时间,在滚烫的生产线旁一遍遍地做实验,一次次地调整算法。从成千上万次测试数据中提炼出了一套可靠的温度补偿算法。

2025年初,拥有完全自主知识产权的全自动高温钢卷内圈贴标系统,在柳钢投入正常运行,其一次性贴标成功率超过98%。目前该系统已全面替代人工贴标作业。现在,钢卷刚从轧机里出来,我们的机械臂“贴标手”就能把产品标签贴



周磊近照,AI修饰生成素描画

得稳稳当当,效率提升了数倍,年创效益超百万元。现在,我和我的团队正专注于“人工智能+钢铁”的新课题。我相信,只要肯动脑筋,到处都隐藏着等待我们去发现的“金点子”。

(作者为广西柳州钢铁集团有限公司电工技能专家,本报记者祝佳祺采访整理)