

他们给夯土长城穿上“生物铠甲”

■本报记者 叶满山

千年夯土，风雨侵蚀；万里长城，亟待守护。在中国西北的广袤大地上，分布着大量战国秦长城、明长城等珍贵夯土遗址，它们是中华文明的重要标志，也是世界文化遗产的杰出代表。然而，长期以来，表层风化剥落、根部酥碱侵蚀、墙体裂隙发育甚至坍塌等问题，持续威胁着夯土长城的安全。

中国科学院西北生态环境资源研究院(以下简称西北研究院)干旱区生态安全与可持续发展国家重点实验室联合敦煌研究院中国—吉尔吉斯斯坦文化遗产保护“一带一路”联合实验室，历经多年野外调查与室内实验，在夯土遗址生物保护领域取得重大突破。研究人员系统揭示了生物结皮对夯土长城的保护机制，提出了基于自然的绿色保护方案，为夯土长城和全球土遗址保护开辟了新路径。近日，相关论文发表于《创新》。

千年长城有“四大威胁” 传统保护遇瓶颈

夯土长城是中国古代建筑的杰出成就，以黄土为主要原料，经分层夯筑而成，历经数百年乃至上千年岁月洗礼，成为见证历史、传承文明的活化石。在全球范围内，土遗址分布广泛，但材质特性决定了它们极易受自然营力破坏。风蚀、水蚀、冻融、盐害，是悬在夯土长城头顶的“四大威胁”。

研究团队在长期野外调查中发现，甘肃、宁夏、陕西等长城沿线的夯土墙体，普遍存在表层风化剥落现象，墙体表面不断“掉土”，厚度逐年变薄；墙体根部因雨水冲刷、盐分聚集，出现严重的酥碱侵蚀，如同被啃噬一般；部分墙体因干湿循环、冻融循环，产生大量裂纹甚至发生局部坍塌。这不仅破坏了长城的历史风貌，更威胁着结构稳定性，部分段落已濒临消失。

“传统保护技术发挥了重要作用，但也暴露出明显局限。”敦煌研究院研究员武发思表示，目前常用的化学加固材料，如有机硅、环氧树脂等，虽然能在短期内提高墙体强度、缓解风化问题，但存在与夯土本体兼容性差、成本高昂、有效期短、易产生二次破坏等问题。部分化学材料固化后会改变墙体透气性，导致内部水分无法排出，反而加剧冻融与盐害；还有的材料老化后会开裂、脱落，与原夯土形成鲜明反差，破坏文物原貌。

近年来，“基于自然的解决方案”成为全球



研究团队在通渭战国秦长城附近进行生物结皮试验。受访者供图

文化遗产保护的主流趋势。绿色、环保、生态、可持续的保护理念，逐渐取代传统化学加固思路。正是在这样的背景下，研究团队将目光投向了一种长期被忽视的“天然材料”——生物结皮。

生物结皮是蓝藻、地衣等微生物和苔藓等低等植物与土壤颗粒胶结形成的地表复合体，被誉为“生态系统工程师”。团队在野外调查中意外发现，生物结皮是夯土长城本体上广泛存在的覆盖物，部分区域覆盖度高达60%以上。它们紧贴墙体表面，与夯土基质天然融合，形成一层薄薄的“皮肤”，默默发挥着固土防风、减蚀保墙的作用。

“在过去的保护修复中，生物结皮常被当作有害生物清除，这是对其功能的严重误读。”西北研究院副研究员段有龙介绍，生物结皮是能够自我维持、自我修复的生态系统，与夯土材质完全兼容，无化学污染，是理想的“绿色保护材料”。从“清除”到“守护”，研究团队开启了一场认知革命，决心破译生物结皮保护长城的科学密码。

一把“双刃剑”护长城 六大机制显威力

经过系统实验与分析，研究团队首次梳理出生物结皮保护夯土长城的六大核心机制——降低近地表风速、缓冲夯土温度波动、削减雨滴冲击力、降低径流冲刷速度、阻止雨水渗入墙体、提高夯土力学稳定性和抗蚀性。这些机制协同作用，为夯土长城构筑起一

道全方位的生态防护屏障。

其中，最关键的是三大保护作用。第一，减少雨滴溅蚀，给墙体撑起“防护伞”。雨滴的冲击是水蚀起始，生物结皮的藻丝与微结构能缓冲动能，从源头阻止土体颗粒剥离。第二，限制雨水入渗，给墙体穿上“透气雨衣”。水是夯土的“头号敌人”，结皮的菌丝与胶结物质可封堵表层孔隙，减少水分渗入，避免墙体软化、冻融及酥碱病害。第三，提升力学稳定性，给墙体加装“韧性外骨骼”。丝状蓝藻、菌丝与苔藓假根缠绕胶结土体，形成网状结构，显著提高夯土的抗压、抗剪及抗蚀能力，增强抵御风蚀水

蚀的效果。然而，生物结皮并非“完美保护层”，而是一把保护与损害并存的“双刃剑”，这也是该研究最重要的结论之一。

“生物结皮的实际效果取决于保护作用与损害风险的动态平衡，受气候环境、墙体材质、自身演替阶段三大因素共同制约。”西北研究院研究员贾亮指出，在干旱半干旱区，生物结皮的净保护作用占据主导——年降水量少、蒸发强烈，限制水分入渗的保护效应远大于水分滞留风险；风蚀强烈区域，结皮能显著提高起沙风速，增强墙体抗风蚀能力；墙体顶部、迎风面等侵蚀最严重部位，结皮的防护价值尤为突出。

但在半湿润区，如甘肃渭源秦长城段，风险开始显现。苔藓结皮吸水能力强、孔隙连通性好，会为雨水入渗提供优先通道，冬季水分滞留可能加剧冻融破坏；同时，生物结皮可能吸引蚂蚁、鼠类等小型动物筑巢觅食，间接造成墙体机械损伤与化学损伤。此外，藻结皮与苔结皮风险差异明显，藻结皮生物量小、吸水量低，损害风险远低于苔结皮，是夯土长城保护的首选材料。

研究团队通过对比分析证实，气候环境是影响保护效果的最显著因素。在干旱半干旱区，以蓝藻—地衣结皮为主，净保护效应突出；在半湿润区苔结皮比例上升，入渗速率提升，利弊效应需审慎评估。

“生物结皮保护绝不能‘一刀切’，必须因地制宜、精准施策。”武发思强调，这一结论为后续靶向保护提供了核心依据。

人工接种破“时间壁垒” 本土物种筑“保护框架”

自然状态下，生物结皮的形成与演替需要数十年至上百年，漫长的周期无法满足长城抢救性保护的迫切需求。如何快速培育人工生物结皮，成为技术落地的核心难题。

团队目前正构建人工结皮繁育接种技术体系，力争将自然形成周期缩短至1至5年。但贾亮坦言，人工接种仍面临三大核心瓶颈。一是接种体存活率低，实验室培育的结皮生物移植到野外墙体，易因温度骤变、强紫外线、水分亏缺等胁迫而死亡。二是垂直墙体附着难，夯土长城多为垂直墙面，接种体易脱落，难以稳定附着。三是长期稳定性待验证，人工结皮能否持续发挥保护作用，仍需长期跟踪监测。

研究人员认为，蓝藻结皮是人工接种的“先锋物种”。丝状蓝藻抗旱、抗寒、抗热能力极强，能在低水分条件下生存，可快速缠绕胶结土体，率先在贫瘠墙体表面定植，为后续群落发育奠定基础。而苔藓结皮对湿度要求高，更适合半湿润区、墙体阴面等湿润微环境；地衣结皮生长极慢，培育难度大，目前暂不适合野外接种。

借助宏基因组学技术，团队已完成长城沿线生物结皮物种精准鉴定：在干旱半干旱区，优势物种为微鞘藻、细鞘丝藻、内果衣菌等；在半湿润区，优势种则为土生齿菌。这些本土物种经过长期自然筛选，适配当地气候与土壤环境，是人工接种的理想“种源”。

在野外工作中，团队始终坚守“保护优先”原则，采用原位无损测定、微量取样分析，所有调查均在当地长城管理机构监督下完成。武发思对技术应用前景有着清晰判断：“该技术暂不适合年降水量仅40毫米的敦煌极端干旱区，但在‘一带一路’沿线土遗址保护中，极具跨区域应用潜力。”

与化学固沙剂、草方格等传统手段相比，生物结皮的生态兼容性优势明显：它是自我维持、自我修复的“活体保护层”，无需反复投入；100%天然材质，无化学污染、无材料冲突；兼具固碳、固氮、抑尘等生态效益，是真正的“绿色保护方案”。目前，团队已探索出“沙障+乔灌木+生物结皮”一体化修复模式，在西北风沙区成功应用，实现文物保护与生态修复协同增效。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.xinn.2026.101395>

我国核药领域首个 阿尔法核素团体标准发布

本报讯(见习记者江庆龄)近日,《阿尔法核素医学专业术语团体标准》(以下简称《标准》)正式发布,这也是国内放射性核素药物(核药)领域首个医用阿尔法核素的团体标准。《标准》由同济大学核医学研究所教授余飞团队和中国科学院杭州医学研究所研究员黄钢团队共同发起,联合国内众多科研院所和临床机构的专家编写。

核药是肿瘤精准治疗的重要手段,被称为人类治愈肿瘤的“医用核武器”。阿尔法核素药物因具备“更强能量、更短射程、更耐乏氧、更易防护”四大临床应用独特优势,成为核素治疗肿瘤的“未来蓝海”。然而,全球范围内对医用阿尔法核素的应用研究还处在起步阶段,术语使用不统一、概念界定不清晰,导致多元异构的基础研究与应用场景表述呈现交叉错配现象。

《标准》围绕阿尔法核素医学应用的关键科学问题与应用场景,系统梳理并规范了涉及阿尔法核素特性、放射性核素药物、辐射生物效应、微剂量学等多个技术维度的核心术语,并针对长期存在的“概念有交叉、定义不统一、使用不规范”等问题,进行了标准界定与聚类整合。

余飞表示,作为国内首个聚焦阿尔法核素医学应用的基础性标准,其发布填补了该领域术语空白,为后续技术规范、剂量学评价及临床应用标准的建立奠定了标准语义基础,揭示了我国医用阿尔法核素的发展模式由“单点技术突破”向“基础规范建设”延伸。

细胞培养肉产业化 进入关键窗口期



细胞培养猪肉制作的荠菜春卷。南京农业大学供图

本报讯(记者李晨)近日,由南京农业大学主办的2026国际细胞培养肉产业论坛在江苏南京举行。与会者聚焦技术创新、产业转化、安全评估、标准监管等核心议题开展深度交流,共商产业发展蓝图。

当前,细胞培养肉全球产业发展步伐持续加快。自新加坡2020年率先批准细胞培养鸡肉上市以来,新加坡、美国、以色列、澳大利亚、英国已有11家企业产品获批;新加坡、澳大利亚已可正常购买细胞培养猪肉、鸡肉产品。

南京农业大学肉品质量控制与新资源创制国家重点实验室自2009年启动相关研究,2019年成功研制中国第一块细胞培养肉,实现“从0到1”的突破。实验室主任周光宏在会上指出,细胞培养肉是全球肉类蛋白供给领域极具颠覆性的替代技术,依托前沿生物技术,兼具转化效率高、营养价值全面、食用品质优良等优势,能够突破传统畜牧生产资源环境约束,是食品领域新质生产力的重要方向,战略价值与应用前景十分广阔,当前正进入产业化关键窗口期。

论坛上,“细胞培养肉之父”Mark Post等专家分享了前沿成果,美国、新加坡、韩国、加拿大、意大利等国高校和机构的专家围绕开放细胞库、安全评估应用、三维肌肉培养、全球监管路径等研、产、管全链条关键环节作了专题报告。

发现·进展

中国科学院大连化学物理研究所等 开发出『高效制氢加氢一体机』

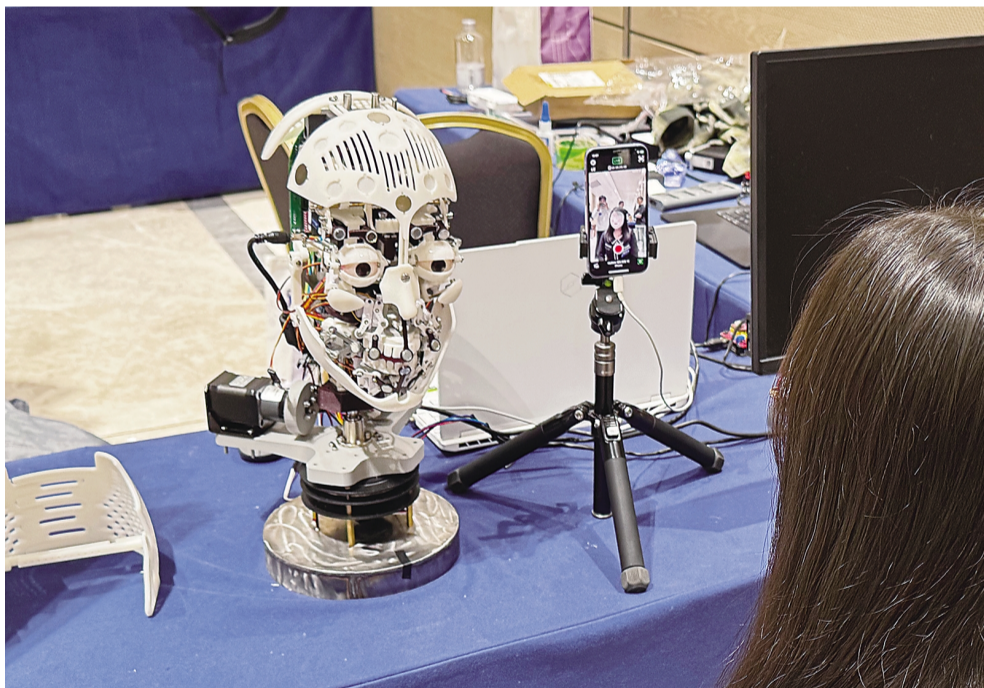
本报讯(记者孙丹宁)近日,中国科学院大连化学物理研究所研究员邓德会、副研究员刘艳廷团队与国科绿氢(大连)科技有限公司合作研发的“高效制氢加氢一体机”技术,通过了中国石油和化学工业联合会组织的科技成果鉴定。

氢能作为国家未来产业,是新兴的经济增长点之一。当前我国氢能供应以集中式制氢、长距离储运为主,但这一模式在实际应用中面临诸多挑战,例如氢气储运成本较高、安全风险大、加注环节复杂,在满足灵活分散的用氢需求方面存在明显不足。相比之下,分布式供氢展现出综合优势:就地制取、即产即用,免去了储运环节,响应速度快,能够更好地适应各类分散、多变的用氢场景,有效规避集中式供氢在储运和加注环节的固有难题。然而,传统分布式应用的关键技术和成本方面长期进展缓慢。

基于此,研究团队与国科绿氢(大连)科技有限公司合作,将电解水制氢、纯化、压缩、储存与加注五大功能集成于一体,开发出制氢加氢一体化技术,并研制出基于非贵金属钨甲催化剂的10千瓦级“高效制氢加氢一体机”,形成了分布式氢能生产与应用的一体化解决方案。

近日,中国石油和化学工业联合会组织专家组对该一体机进行了连续72小时运行考核。考核结果显示,设备核心电解槽的制氢直流电耗低于4.1千瓦时/标准立方米,系统制氢能力达42标准立方米/天,氢气纯度超过99.9999%,输出压力达到35兆帕,且可在30%至120%的宽负荷范围内稳定运行。

该一体机响应速度快、便于移动,能够灵活适配各类分散用氢场景,已应用于氢能无人车、氢能两轮车等场景,实现了产业化落地,有望为分布式制氢加氢在交通、低空经济、具身智能、精细化工等领域的规模化应用提供切实可行的新方案。



图为PolyFace。本报记者赵宇彤报道 国科大供图

从一场应用对接大会看人工智能赋能千行百业

■新华社记者 陈宇轩 颜之宏

人工智能产业上中下游全链条布局、10个万亿级产业集群提供丰富场景和广阔市场、“热带雨林式”创新生态持续优化……在4月27日举行的广东省人工智能应用对接大会上,近200家企业展示了300多项人工智能最新成果。从中,记者看到前沿技术与应用场景加速碰撞,人工智能“创新雨林”图景正推进人工智能逐步实现全域全时全行业高水平应用。

算力之变:适应“推理”应用需求

把8192张昇腾NPU卡高速互联,为超大规模人工智能训练与海量推理并发场景提供源源不断的算力支撑,大模型训练效率、可靠性与推理性能得到大幅提升。

这是华为公司在应用对接大会上展示的新一代算力底座。华为公司副总裁杨伟军表示,华为充分发挥在计算、网络和存储方面的优势,通过系统性协同,打造超节点集群方案,实现规模算力领先。

从算力到算法,从硬件到软件,2025年我国人工智能产业活力迸发,智能算力规模达1590EFLOPS,人工智能企业数量超过6000家,

核心产业规模预计突破1.2万亿元。

一些与会人士认为,2026年,人工智能产业进入重要转折期,人工智能正从过去以模型训练为主,转向以智能体推理应用为核心的新阶段。

“推理芯片、Token(词元)工厂、智能体将成为人工智能产业发展的三大关键词。”深圳云天励飞技术股份有限公司董事长陈宁说,未来公司将深耕人工智能推理芯片设计,推动大模型与智能体深度融合,持续降低Token成本,让人工智能价值在更多行业释放。

场景之多:逐步像水电煤一样普惠

要在生产生活中真正看到人工智能的成效,找准场景是重中之重。

广东,作为有“世界工厂”之称的经济大省,拥有10个万亿级产业集群,为人工智能的落地应用提供了得天独厚的丰富场景与广阔市场。

记者了解到,2025年,广东人工智能核心产业规模突破3000亿元,同比增长超40%,在制造、教育、医疗、文旅等领域已累计发布3个批

次共计78类应用场景清单。

在大会现场,记者看到多地人工智能应用场景展示,在汕头,超1.2万家玩具企业进行数字化转型,打造全球人工智能玩具产业高地;在广州,公共资源交易领域有了人工智能大模型……

从全国看,当前人工智能应用不断拓展,目前已覆盖钢铁、有色金属、电力、通信等重点行业,逐渐深入产品研发、质量检测、客户服务等重点环节,2025年累计研发布40余项关键国家标准、行业标准。

从对复杂材料进行高精度自动化质量检测,到赋能现代海洋牧场智慧养殖;从销售智能体帮助外贸企业高效“出海”,到人工智能辅助审判系统帮助法官审理案件……人工智能正逐步像水电煤一样,成为生产生活中不可或缺的“数字基础设施”。

政策之实:加快涵养创新生态

这场应用对接大会期间,政府各有关部门代表与企业代表频频沟通,企业代表之间也聚首“互通有无”。