

国内起飞规模最大垂直起降试验箭飞行任务顺利完成 研制可复用火箭迈出关键一步

◎本报记者 华凌 通讯员 李喆

在酒泉卫星发射中心，戈壁滩的风沙见证着无数航天人的汗水与欢呼，记录着中国航天一步一步向前的点滴。日前，蓝箭航天空间科技股份有限公司（以下简称蓝箭航天）自主研发的朱雀三号可重复使用垂直起降回收验证火箭（以下简称试验箭）在这里点火升空。1分钟后，火箭从三百多米的高空垂直返回，着陆平稳，状态良好，国内起飞规模最大垂直起降试验箭试验成功。

沉淀积累可复用火箭研制经验

“如果说可复用火箭的研制是一段长跑，那么对蓝箭航天来说，研制一子级垂直回收试验箭就是我们迈出的第一步。”朱雀三号可复用火箭型号副总师董锴说。

2023年12月，蓝箭航天朱雀二号遥三液氧甲烷运载火箭在酒泉发射中心圆满完成发射任务，将三类商业卫星顺利送入预定轨道。朱雀二号成为全球首款连续、稳定发射成功的液氧甲烷运载火箭。当天，蓝箭航天正式发布了下一代可重复使用液氧甲烷运载火箭——朱雀三号。

“朱雀三号的动力系统采用我们自主研发的天鹊系列液氧甲烷发动机。其中，一子级配备9台海平面推力1000kN的天鹊12B发动机，一子级设计复用次数不少于20次……”在蓝箭航天创始人兼董事长张昌武的介绍下，朱雀三号的“模样”逐渐清晰，并正式进入公众视线。其实，对于蓝箭航天来说，在大型液氧甲烷可重复使用火箭这条道路上，他们早已踏上征程。

2021年底，在外界眼中，蓝箭航天将全部的精力放在朱雀二号的首飞上。但就在这时，董锴接到一个新任务，即开始一子级垂直回收试验箭的研制。董锴回忆道：“试验箭的研制可以被看作蓝箭航天在复用火箭技术工程探索上迈出的关键一步。”

对这样一个具有探索创新性质的项目，蓝箭航天管理层在明确预期目标和预算范围后，给予了研制团队极高的设计自由权限和试错空间。这个项目也一定程度上为日后朱雀三号的研制提供了经验。

“从一开始，试验箭的定位就是跨过小吨位的原理样机，直接采用与最终入轨一样的全尺寸大推力发动机进行火箭垂直返回关键技术的验证。事实上，只有通过这种方式取得的验证结论，才具有实际



的工程应用价值。而彼时的蓝箭航天得益于朱雀二号研制的积累，已经具备扎实的技术基础。80吨级的天鹊液氧甲烷发动机已经完成多次地面试车考核，酒泉自建的发射场系统也已竣工并全面投入使用。”董锴说。

多项创新技术护航试验任务

相较于以往火箭的点火、上升，试验箭需要多完成一个环节——平稳落地。

蓝箭航天火箭研发部控制仿真工程部总监钟友武说：“顺利落地需要考虑到很多方面的问题，包括控制返回过程中燃料的消耗量尽可能少，并控制火箭在落地瞬间的飞行速度、高度和姿态的精度同时满足平稳着陆的要求。这些都是试验箭需要验证的关键技术。”

对于商业航天企业来说，成本可控是火箭高频次发射的基本要求。在控制成本的同时，保证技术方案的可靠性也是试验箭的主攻方向。在箭体结构材料选择上，团队经过多次讨论，最终选择了国内火箭领域尚未涉足的不锈钢材料。

钟友武介绍：“不锈钢是我们生活中常见的材料，具有高强度、耐高温、抗腐蚀的特性。不锈钢的

广泛使用代表了箭体结构材料的工艺体系更为成熟、配套成本更为低廉，能够有效解决火箭结构的产能问题，从而进行更高效的迭代。相比传统箭体结构材料铝合金，不锈钢箭体结构可以大幅降低火箭的制造成本，缩短生产周期。耐高温的特性使它在火箭多次返回、重复使用上具有突出的优势。”

团队立足多年的技术积累，针对可复用火箭需求，开展了多项创新。据介绍，在已实现朱雀二号火箭连续成功入轨验证的天鹊12发动机基础上，试验箭发动机增加了多次起停和深度变推功能，并进一步提升了推力和可靠性；采用具备两级缓冲功能的着陆支腿设计，满足朱雀三号可重复使用一子级40吨级着陆质量的缓冲需求；采用低空制导、调推控制和软着陆策略，可精准控制火箭飞行速度和高度以达到软着陆要求。

此次试验任务的圆满完成，验证了蓝箭航天可重复使用液氧甲烷火箭一子级垂直回收总体方案的正确性，大范围变推力液氧甲烷动力系统方案，火箭控制系统与发动机调推特性的匹配性。此外，这次任务同时验证了火箭着陆段制导与控制方案的正确性，火箭软着陆缓冲机构工作性能，以及可重复使用火箭测发、回收和后处理流程的正确性。

在这次试验任务中，研究人员还获取了朱雀三号可重复使用液氧甲烷火箭关键技术的关键试验数据。这些都为后续关键技术验证、实现火箭可重复使用，积累了宝贵的经验。

研究人员构建我国灌溉用水变化估算模型

科技日报（记者陆成宽）记者3月26日获悉，中国科学院空天信息创新研究院（以下简称空天院）等单位的科研人员，构建了一种基于机器学习和遥感观测数据的全国尺度灌溉用水量估算模型，并基于该模型揭示了未来气候变化情景下我国灌溉用水的变化趋势和经济影响。结果表明，基于不同的温室气体排放情景，未来70年，我国约60%省份的灌溉用水量会增加，特别是西北和华北区域。相关研究成果近日发表于美国地球物理学会旗下期刊《未来地球》。

灌溉农田约占全球耕地面积的

20%，贡献了全球40%以上的粮食产量。我国的灌溉农田占全国耕地面积的一半以上。灌溉用水对作物生长和产量至关重要，尤其是在水资源短缺的地区，频繁的干旱和极端气温可能加剧灌溉用水的影响。

“全球气候变化使粮食安全受到挑战。在这种背景下，准确估算灌溉用水变化对于制定最优水资源分配政策非常重要。”论文通讯作者、空天院研究员王树东指出。

然而，现有的灌溉用水估算方法受到数据可用性和模型结构的约束，在全国尺度和未来气候变化情景下适

用性差。

此次，研究团队开发了一个基于机器学习的新模型，通过整合一系列高精度水文要素卫星遥感产品、气象驱动因子、经济统计数据数值模型模拟，在数据驱动框架下估算了全国尺度的灌溉用水量。新模型在估算灌溉用水量方面表现出较高的准确性。11个农田站点的独立观测验证表明，模拟数据与实地观测数据具有显著相关性，新模型的准确率达到90%以上。

研究发现，对比20世纪80年代至2010年的数据，全国灌溉用水量到2050

年预计最高将增加17.1%，因此带来的每年新增成本最高达到39.1亿美元；到2100年，全国灌溉用水量预计最高将增加34.8%，每年新增成本最高达到65亿美元。研究结果突显了水资源可持续利用与管理的迫切性。

王树东表示，这项研究提出了一种有效估算当前和未来灌溉用水的方法，它可应用于其他面临日益增长的灌溉需求的国家。该研究结果也可作为农业用水政策制定和决策提供重要参考，有利于在气候变化和社会经济动态背景下指导水资源的可持续利用与管理。

曾经“华夏第一高楼”重装“智慧芯”

◎本报记者 龙跃梅

近日，中建三局深圳国贸大厦数字运维管理平台正式上线。深圳国贸大厦高160.5米，于1982年4月破土动



深圳国贸大厦数字孪生模型。受访单位供图

工，创造了“三天一层楼”的“深圳速度”。该大厦是我国最早建成的综合性超高层楼宇，建成时被誉为“华夏第一高楼”。

“如今，我们正为深圳国贸大厦量身定制数字改造方案，使其完成一次脱胎换骨的重生。”中建三局项目负责人黄根介绍，团队将聚焦可视化管理，以数据为基础，以算法为支撑，以场景为导向，为大厦重装“智慧芯”。

在深圳国贸大厦施工中，中建三局创新采用当时国内尚无先例的大面积内外筒同步液压滑模施工技术，大大加快了施工进度。从最初7天一个结构层，到6天一层、5天一层、4天一层，再到30天连上10层，深圳国贸大厦“三天一层楼”的建设速度由此诞生。

如今，走在深圳国贸大厦内部，智慧大屏上显示着大楼的实时减碳成果，空调机房在智能调度算法的支持下高效运行，管理人员只需一块平板，就能完成对整座大厦的巡检任务……

为更好地给大厦“巡诊把脉”，提

升数字改造与日常监测的效率，在只有手绘蓝图的情况下，项目团队利用光学文字识别(OCR)+AI画图技术对大厦进行了数字化重构，完成了高精度1:1数字孪生场景搭建，让全息影像的数据模型跃然云端。

据悉，该数字模型包含建筑外观、项目地形、大楼A座和B座内部结构以及配套设施的场景还原，并支持拆解、分层。通过IOT数据融合打通，该数字模型实现了数字化、信息化管控手段靶向治理。

“细节清晰了，‘对症下药’便有了依据。”黄根说道，“这不仅为我们完成更深层的数字改造打下了坚实的基础，大厦管理人员查询相关信息也更加直观方便。”

项目团队在更新了国贸大厦老旧设备后，还对设备进行了系统集成，为大厦的运维系统增添了预测预警和智能应急管理等功能。从此，大厦运维告别了耗能且不稳定的空调系统，迎来了变频升级和AI节能数控系统，整体效率大幅提升。

针对人工巡检效率低、成本高的

痛点，项目团队以AI无人巡检替代人工巡检，形成了7×24的全天候“守护”。基于大数据的设备故障诊断替代了人工判断，建筑的日常运转从经验维护走向智能维护，系列“智慧管家”的举措让运维效率提升了30%，大幅降低人工成本。

“在智慧能源管理系统开发中，为提高能源监测精准度，我们在平台联动了所有动力设备的动态碳排放因子，对建筑碳排放进行自动采集，并对各项设备设立能耗定额标准。”黄根告诉记者，“这便于精细化控制各楼层动态能源使用，从而实现建筑碳排放监测、核算、报告全过程管理。”

据测算，该平台可让大厦整体综合能源成本降低15%。黄根介绍：“基于对深圳国贸大厦的整体碳排放系统实践，我们正在参编行业内首部团标《建筑低碳施工技术标准》。”

中建三局党委副书记、工会主席陈珍敏表示，企业将传承弘扬“深圳速度”蕴含的精神，进一步创新发展模式，充分发挥全产业链优势，积极抢占建筑科技制高点。

成果播报

国产碳化硅灭磁电阻 完成首次大型机组真机试验

科技日报（记者何亮）3月26日，记者从中国长江电力股份有限公司（以下简称长江电力）获悉，该公司所属白鹤滩电厂顺利完成国产碳化硅灭磁电阻试验，标志着该厂迈出大型机组励磁系统碳化硅灭磁电阻国产化的坚实一步。此次试验也是国产碳化硅灭磁电阻在大型机组的首次真机试验。

灭磁电阻是励磁系统中的关键设备，可以在发电机组或电力系统故障时快速消耗转子磁场能量，保障发电机组安全。此前，国内大型机组励磁系统碳化硅灭磁电阻完全依赖进口。白鹤滩电厂研制的百万机组国产碳化硅灭磁电阻在与进口产品外径、内径、厚度一

致的情况下，单片容量达100千焦，远超进口碳化硅电阻单片容量75千焦的水平，并已通过国内外两家权威机构测试。同时，配套研制的国产灭磁电阻在线监测装置，能够从电压、电流、电容、温度、均流系数、非线性系数等多维度对灭磁电阻进行监测，有效提高对灭磁电阻的故障预测能力。

国产碳化硅灭磁电阻研制、测试及真机试验的成功，将改变目前大型发电机励磁系统碳化硅灭磁电阻完全依赖进口的现状，进一步提高关键设备自主可控能力，对长江电力所辖各大电站的降本提质和安全运行具有重要意义。

线路环境监测装置 大幅降低人工作业强度

科技日报（通讯员冉涌 张建亮 记者韩荣）记者3月27日获悉，国家电网山西信通公司研发的新型线路环境监测装置，可大幅降低人员外出巡视劳动强度和人工运维成本。该装置重量不足1千克，如手机般大小。工作人员将其安装在输电线路后，可轻松完成附近500米范围内的环境状况监测和实时数据传输。

传统输电线路的运维主要靠人工巡视和检查，不仅费时费力，工作效率低，而且在偏远山区或人员无法到达的地方，易出现管理的空缺。即使采用无人机、线路机器人等自动化巡检技术，仍然存在无法实时监测，无人机和线路机器人需要借助高标准通信网络才能进行控制和传输大量数据等问题。

为了实现对输电线路周围环境的实时监测，特别是为了解决偏远地区及城市电缆沟道通信信号难以覆盖、数据传输困难的突出问题，2023年，国家电网山西信通公司组织专家创新团队，开展了5G和LPWAN物联网联合组网技术研究，成功推出了这项输电场景通信新技术。

这项技术装置在山西太原、忻州等地的电缆沟道和城郊偏远地区输电线路安装试用后，取得了显著成效。国家电网山西信通公司相关负责人介绍，该

成果不但可以实现公网信号盲区电力线路温湿度、烟感、覆冰、有害气体等环境数据的实时监测，还可以精准定位500米范围内因火灾、积水、覆冰等灾害导致的线路故障位置。电力线路故障定位时长由1天缩短至3分钟，极大地提高了故障发现和处置速度。

“安装该线路环境监测装置后，电缆和线路运维人员只需通过相关数据监测平台就可以实时掌握各线路附近的环境情况，大大降低了人员去现场检查的劳动强度和外出作业安全风险。”国家电网忻州信通公司副主任胡伟介绍道。记者了解到，该技术装置还解决了无人机和线路机器人等新技术面临的取电难问题。新的技术装置因能耗低，采用重量不到10克的纽扣电池作为工作电源，可连续工作3—5年，电源安装和更换相当简便。

“据不完全测算，该技术装置如果实现量产推广，每个生产成本在1000元左右。按照每300米电缆沟道安装一个该装置计算，每千米沟道的升级成本不到4000元。一座拥有1000千米电缆沟道的城市，投资400万元即可将大多数工作人员从繁重和恶劣的工作环境中解放出来，具有重大的推广应用价值。”胡伟告诉记者。

可视化技术 让植物细胞磷分布“一目了然”

科技日报（记者马爱平）记者3月27日从中国农业科学院获悉，该院农业资源与农业区划研究所土壤植物互作创新团队建立了植物细胞无机磷可视化高效检测技术，并揭示了植物细胞无机磷分布调控新机制。相关成果日前发表在《自然植物》上。

磷是植物生长发育必需的营养元素，植物根系主要吸收无机磷酸盐，这也是植物体内磷循环利用的最主要形态。当磷素充足时，植物体内无机磷含量可占总磷的80%左右。因此，明确植物无机磷的细胞分布模式是研究植物磷素高效利用调控机制的关键。然而，目前研究人员对植物组织细胞间无机磷的分布和储存模式仍不清楚，主要原因是缺乏高效的植物细胞无机磷可视化检测技术。

论文通讯作者、中国农业科学院农业资源与农业区划研究所研究员阮文渊告诉记者，此次研究团队建立了植物细胞无机磷可视化高效检测技术。与现有检测技术相比，该技术具有费用低、耗时短、操作简单、不受植物种类及组织部位限制等诸多优势。利用该技术，研究人员明确了水稻和拟南芥组织细胞无机磷的主要分布模式；发现了已知磷素核心调控因子的新功能，并筛选克隆了新的水稻叶片细胞磷再利用调控因子。

研究建立的高效植物细胞无机磷可视化检测技术，不仅为深入探索磷养分分子调控机制提供了有力的技术支持，还为作物磷高效遗传改良挖掘了新的基因资源，有望为解析磷养分高效利用调控机制开辟一条新的研究路径。

催化剂合成新方法 实现甲醇高效制备

科技日报（记者夏凡 通讯员张青 于乐）记者3月27日从江南大学获悉，该校化学与材料工程学院教授刘小浩团队采用光诱导—邻近沉积方法，通过精确控制双原子位点的距离，产生优异的协同催化效应，实现二氧化碳加氢近100%选择性生成甲醇，且生成甲醇的时空产率突破纪录。相关研究成果日前在线发表于国际化学领域期刊《德国应用化学》。

“近百分之九十的化学工业产业都与催化有关。如何获得好的催化剂，在推动化学工业进步中非常重要。”刘小浩说。近年来，科学家对原子催化剂进行了广泛深入的研究。传统的单原子催化剂金属负载量较低，导致催化活性低，且单一金属原子与载体配合很难实现理想的催化效果。但是，目前的技术难以精确合成结构均匀的双原子催化剂。

刘小浩团队首次采用氧化钨负载的单原子铱作为前驱体，紫外光作为驱动力，激发产生光电子并富集在铱原子周围，实现在埃米尺度上诱导异核金属钨原子定向沉积形成均一双原子铱钨位点。“二氧化碳和氢气在位点上发生吸附和活化。铱位点主要强化二氧化碳的活化以及中间体一氧化碳吸附，钨位点则有利于氢气解离。”刘小浩介绍，通过该策略合成的邻近铱钨位点距离精确，有利于钨上的氢和电子快速转移到铱上，可以最大程度加速二氧化碳吸附、活化以及多步加氢过程，实现高活性、高选择性制备甲醇。

实验结果表明，在光诱导—邻近沉积策略下，双原子位点之间的协同催化作用显著提高了二氧化碳转化率和甲醇选择性，每小时每克金属上可生成187.1克甲醇。同时，利用该技术所得的催化剂具有良好的催化稳定性。