

智能系统精准“把脉”大气质量

沙尘暴突袭、野火烟雾飘散、工业污染扩散……这是大气污染物“肆掠”的典型场景。如果能精准预测大气污染物出现和消散的时间，将大大提高人们的生活质量。

然而，此前的观测和预报技术难以满足日益复杂的空气质量监测和预报需求。

如何摆脱困境？一套由中国团队自主研发的“环境气象多要素智能感知及大模型预报系统”，实现了从监测装备到感知方法再到预报模式的全链条创新，为破解复杂大气污染难题提供了中国方案。

不久前，该系统入选中国科协生态环境产学研联合体发布的“2024 年度中国生态环境十大科技进展”。

解决监测预报三大难题

大气，就像一个精密运转的实验室。其中，气溶胶、臭氧、沙尘等成分直接影响着空气质量乃至全球气候。但长期以来，人类对这个“实验室”的监测和预报，始终面临着三重“卡脖子”难题。

首先是“看不清楚”。中国气象科学研究院副院长车慧正解释，过去，观测大气气溶胶的“超级眼睛”——地基遥感装备，几乎全靠进口，而且这些仪器的核心校准技术和数据解读方法从不公开。“这意味着，我们拿着别人的工具做研究，不仅成本高昂，关键数据还可能失真。”车慧正说。

更麻烦的是，我国地面观测站数量有限。在广袤的国土上，很多地区都是监测盲区。虽然卫星遥感能覆盖全局，但是它在夜间或阴天就会“罢工”，根本抓不到那些在暗处“作乱”的气溶胶。

其次是“算不明白”。车慧正说，传统物理模型依赖复杂的公式推演，但污染源排放数据不准、大气运动规律复杂、气溶胶化学反应机制难算清……一堆不确定因素叠加，导致预报结果常常“跑偏”。更棘手的是，一次高精度全球预报需超级计算机耗时数小时计算，难以满足污染快速变化的应急需求。

最后是“用不精准”。车慧正举例，环保部门在知道哪类污染物是“主力”后，才能针对性减排。而且，交通运输、空管等部门高度依赖高精度、实时更新的能见度数据，以此保障道路通行与航班起降安全。然而，传统监测体系提供的数据往往不够全面、更新滞后或精度不足，难以满足这些日益精细化、时效性强的实际管理需求。

当人类活动和气候变化让大气污染变得越来越复杂——沙尘与工业污染“联手”、臭氧污染在夏季“突袭”、野火烟雾跨洲际“旅行”——我国环境治理和空气质量预报面临的挑战也愈发严峻。“必须打造一套属于中国自己的‘大气智能



分布式光纤声波传感系统在运行中。 资料图

感知与预报系统’。车慧正说，这正是团队研发的初衷。

系统“铺设”强大“神经网络”

2018 年，中国气象科学研究院联合清华大学、中国科学院大气物理研究所等机构，组成跨学科研发团队。车慧正作为首席科学家，带领团队从“造装备、建方法、搭模型”三个方向攻坚，为“环境气象多要素智能感知及大模型预报系统”铺设“神经网络”。

团队花了 5 年时间，研制出系统所需的重要装备——“全自动太阳—天空—月亮多波段光度计”。这台国产装备具备 365 天 24 小时连续稳定观测的能力，为全天候监测大气成分提供了坚实基础。

“它的原理很巧妙。”车慧正解释说，就像我们通过看阳光穿过雾霾时的颜色变化，能大致判断污染轻重一样，这台装备能捕捉不同波段的光线在大气中的轨迹。通过分析“光影密码”，它能算出气溶胶 80 多项关键参数，比如颗粒大小、成分、光学特性等。

团队还开发了“智能解码”算法，帮助系统对大气进行精密“成分诊断”，能精准量化不同来源和类型气溶胶对大气污染的“贡献”，解决了传统系统分不清谁是污染“主谋”的难题。

接下来，团队通过深度挖掘国际气

溶胶观测网的历史资料，构建出包含近 30 年全球高精度气溶胶数据的庞大数据库。这相当于给系统准备了“海量习题集”，为后续的智能预报打下坚实基础。

“仅靠单一的地面观测远不够全面。”中国气象科学研究院副研究员桂柯坦言，“过去，来自卫星遥感、地基台站和数值模拟的多源异构数据，因其时空尺度、精度和观测原理的显著差异，如同散落的拼图，难以有效融合利用。”

为此，团队开发了智能融合感知方法，成功将卫星的广域覆盖优势、地基站点的高精度连续观测能力以及模式模拟的优势，整合成统一的“大气环境时空演变全景图”。

同时，研究团队收集了高时空分辨率历史数据，清晰记录了过去 20 年我国主要污染物的“迁徙路线”。比如，团队通过分析数据发现，2013~2020 年我国人群 PM_{2.5} 年均暴露水平下降 48%，其中减排是 PM_{2.5} 浓度下降的主导因素。这些数据为“环境气象多要素智能感知及大模型预报系统”打下了坚实基础。

研制“环境气象多要素智能感知及大模型预报系统”过程中最核心的突破，是团队开发的全球首个气溶胶—气象耦合预报 AI 大模型（AI-GAMFS）。这个包含 13 亿个参数的“超级大脑”拥有惊人的计算速度。传统超级计算机进行一次全球气象预报要“埋头苦干”数小时，而它 1 分钟内就能完成，还能精准预测沙尘的

“行进路线”、污染物的“消散时间”。

桂柯表示，与国际顶尖的欧洲中期天气预报中心和美国航空航天局的气溶胶预报系统相比，AI-GAMFS 在东亚地区的沙尘预报误差率降低了 38%~74%。

多地上岗“大气医生”

从西北沙漠到东部城市群，如今“环境气象多要素智能感知及大模型预报系统”已在中央气象台及新疆、宁夏、内蒙古、甘肃、陕西等 14 个省（自治区、直辖市）气象部门“上岗”。

2025 年 4 月，四川盆地发生多起北方强沙尘暴过程远距离传输入侵事件。该系统下的 AI-GAMFS 模型提前 120 小时精准预报了沙尘抵达四川盆地的时间和强度，预报与实际高度吻合，显著提升了沙尘暴精细化预警和应急响应水平。

截至 2024 年底，该系统研发的相关成果已发表 13 篇 SCI 论文，获 4 项国家发明专利，还拿下了中国气象服务协会 AI 气象应用大赛的两项大奖。

在车慧正看来，大气污染防治就像医生看病，首先要“看清病灶”（精准监测），然后“找准病因”（机理研究），最后“对症下药”（精准治理）。而“环境气象多要素智能感知及大模型预报系统”正是一位“大气医生”，旨在让每一次污染过程都“可测、可报、可控”。

代小佩

「亲水」热折射治水成效

夏天的记忆，都藏在那一池碧水里。不少人的童年都有着“山间溪水+冰镇西瓜”的快乐密码。近年来，特别是到了暑期，淡水、河水、江水、海水各种自然水体不仅延续着游泳、嬉水等传统项目，人们还将“玩水”玩出了新高度。

在北京亮马河，河面上不少俊男靓女手持桨竿、脚踏浆板，驭舟而行，与河岸的时尚商铺相映成趣。在曾经的天津狮子林桥上，大爷大妈们时而转体、时而翻腾用一个个精彩的跳水动作引来岸边围观群众的阵阵喝彩，一度成为现象级网红。在广东佛山，伴随着有节奏的鼓点和岸上居民的呐喊，一条条龙舟在 L 型、S 型的狭窄水道里玩起了漂移。在 8 月初的钱塘江上，3000 多名“泳士”身背安全浮具“跟屁虫”集体横渡，如同一道道橘色的潮水扑涌向对岸。在浙江杭州的桐庐古村，村民会定时关上水闸，村里的石板路上便汇起了没过脚踝的山间溪水，大人小孩一出门便能过上村里的泼水节，这种称为“洗街”或“喜街”的活动吸引了周边上万游客。除此之外，皮划艇、无动力水翼板、浮潜徒步等亲水活动也越来越受到追捧。

由此看来，不论古往今来、男女老幼、城市农村，玩水、亲水是人的天性。成年人大可理直气壮地玩水，这背后还有着不同角度的科学解释。比如生命诞生于原始海洋，人类在进化过程中形成了对水的本能需求；婴儿在母体羊水中度过发育关键期，对水的浮力与触感形成了感官记忆；幼儿时倒水、泼洒等行为促进了手眼协调与因果认知，这种“玩水”机制被选择性保留；皮肤接触水时，温度调节机制会触发人的舒适感，水流和水声都能够刺激多巴胺的分泌。

除了人们与生俱来对水的喜爱外，亲水热也离不开近年来水体质量的“硬件”提升。《2024 中国生态环境状况公报》显示，我国地表水Ⅰ~Ⅲ类水质断面比例为 90.4%，重要湖库水质优良数量占 77.1%，长江流域、黄河流域、珠江流域、浙闽片河流、西北诸河和西南诸河水质持续为优。在浙江舟山南沙海水浴场的电子大屏幕上，不仅显示着当天的水温、浪高等信息，还会有水质监测与预报信息。监测指标包括粪大肠菌群、海滩油污和大型藻类等。沙滩上如织的踏浪人留下的串串脚印，印证了大家对水质的放心与认可。

不少地方也紧紧抓住亲水热的契机，做足水文章，将“文化+体育+旅游”融合，加速推动绿水青山到金山银山的转化。三门峡横渡母亲河、南昌横渡赣江、海南桨板邀请赛、千岛湖国际泳渡节、东山岛海游泳泳挑战赛，马拉松的热度还未褪去，全国各地争相举办公开水域活动。一场活动下来，当地可谓名利双收，数以千计的游客带走了山清水秀的美好记忆，留下了交通、住宿、餐饮、旅游上消费的真金白银。地方政府之所以敢于大声吆喝，张开臂膀欢迎全国乃至世界友人“到此一游”，最大底气就是来自于对自家绿水青山的信心。

亲水热还考验着治理水平。最近，有一段游泳爱好者身手矫健翻过一米多高的玻璃隔挡，小心翼翼越过两米多宽的水面铁丝网下水游泳的视频让人哭笑不得。纵然这一池碧水太过诱人，但作为老百姓的饮用水水源地，不可能当作泳池或深堂了。此外，千万牢记水能载舟、亦能覆舟，每个人都要做好自己生命的第一责任人，不能让堵水变成了“祸水”。相关部门在自然水体的管理中，要守住生命底线和水生态环境保护红线，充分听取老百姓的诉求，积极创造良好的亲水环境，营造和谐的亲水氛围，让大家更多地感受到江河湖海共护共建共享的成果。

周斌

全国首个海洋博物馆联盟成立

科学导报讯 8 月 18 日，中国海洋学会海洋遗产保护专业委员会暨海洋博物馆联盟成立及授牌大会在国家海洋博物馆举行。多家国内外海洋文博、遗产保护、文旅机构加入联盟。

大会现场向海洋博物馆联盟授证书；授予国家海洋博物馆“海洋博物馆联盟”牌，授予分支机构铭牌；授予南方科技大学海洋高等研究院院长林间海洋博物馆联盟名誉主任委员聘书。

依托中国海洋学会支持，联盟重点打造三大核心平台：科研攻坚平台聚焦海洋考古、生态保护、遗产数字化等领域设立专项课题，推动多学科交叉融合，为海洋遗产保护提供科学支撑。资源共享平台打破机构壁垒，统筹全国海洋博物馆的藏品、数据及展陈资源，打造海洋遗产库，让文物“活起来”、故事“传开来”。国际交流平台以海上丝绸之路为纽带，深化与沿线国家在文博、科技、教育等领域的合作，提升中国海洋文化的国际影响力，让中国的海洋故事传遍全球。

作为全国首个专注于海洋遗产保护与文博领域的专业联合体，该联盟的成立是加强海洋文明传承保护与创新发展的的重要举措，将为保护传承我国海洋遗产、赓续中华海洋文脉提供有力支撑，标志着我国文化遗产保护模式从文物部门“单兵作战”转变为多部门、多行业“协同合作”。

段春祥

《中国国家公园发展报告》发布

科学导报讯 第三届中国公园论坛 8 月 19 日在四川成都开幕。论坛以“守护自然瑰宝 共绘和合之美”为主题，在开幕式上发布了《中国国家公园发展报告》《国家公园监测体系建设方案》等重要成果。

《中国国家公园发展报告》显示：第一批国家公园整合各类自然保护区 120 余处，统筹实施山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，全面提升国家公园自然生态系统多样性、稳定性、持续性，实现了野生动植物种群数量的稳步增长。三江源国家公园有力维系了“中华水塔”乃至亚洲水生态的安全命脉。大熊猫国家公园实现了我国野生大熊猫集中分布区和主要繁衍栖息地的完整统一、相互贯通。东北虎豹国家公园野生虎豹数量分别从试点之初的 27 只、42 只增长到 70 只、80 只左右。海南热带雨林国家公园内的海南长臂猿种群持续增长。武夷山国家公园保护了世界自然和文化双遗产，成为全球同纬度最完整的中亚热带森林基因库。

本次论坛期间举办 1 场主论坛和 3 场分论坛。论坛还举办主题成果展，通过视频、图片、实物等形式，全景展示国家公园生态保护、科研监测、自然教育、社区发展等方面成效。

董丝雨 宋豪新

太原武宿机场迈出“零碳”步伐

一进天地，一轴一山河，建筑风格尽显三晋风骨。即将落成的太原武宿机场 T3 航站楼，既是彰显晋风晋韵的地标建筑，又是年旅客吞吐量达 4000 万人次的国际性现代化交通枢纽。

日前，国家发展改革委公布《绿色低碳先进技术示范项目清单（第二批）》，山西太原武宿零碳机场项目名列其中。什么是零碳机场？背后有何技术支撑？带着这些问题，笔者采访了相关专家。

用能方式全面绿色转型

“零碳机场”是指机场实现一年内二氧化碳净零排放。具体而言，机场运行需以可再生能源为基础，所排放的二氧化碳可通过碳去除技术来平衡或抵消，并达成“零废弃物”目标。长期以来，机场在减少和降低航空业的环境影响方面发挥了引领作用，零碳机场是民航业整体碳中和实现的第一步。

作为全国首个区域枢纽及省会级零碳机场建设项目，武宿零碳机场项目具体如何实施？

山西航产新能源有限公司副总经理白文静说：“太原武宿零碳机场是综合性系统工程。”他表示，该项目以光伏、中深层地热、空气能等可再生能源综合利用为基石，



太原武宿国际机场 T3 航站楼 资料图

通过“两源一储一终端”技术路径，驱动用能方式全面绿色转型。

具体来说，项目主要包括零碳电力工程、零碳供冷供热工程、光储直柔建筑示范工程、近零碳建筑试点工程、低碳市政建设工程、智慧运营管控工程 6 个部分。

其中，在近零碳建筑试点工程方面，该项目航站区工程（包括 T3 航站楼、综合交通中心及停车楼）以国家绿色建筑最高等级“绿建三星”为标准，通过“被动式节能设计+主动式技术措施+再生能源”提升建筑品质；通过优化能源结构，广泛使用清洁和循环资源，采用智能控制系统与能源管理系统等精细化管控方式，实现机场的节能

高效运行。

“武宿零碳机场项目聚焦过程降碳，开创了国内机场在能源、建筑、设施领域全面低碳化改造的先河，是山西省首批通过十部委联合评审的‘国家绿色低碳技术示范工程’。”白文静说。

技术研究筑牢安全根基

作为国内首家在飞行区、航站区全域“能装尽装”光伏的机场项目，太原武宿机场项目在光伏敷设过程中积极开展多项关键技术介绍。

白文静介绍，项目组通过科研立项，系

统研究了光伏板在机场特殊环境下的安全性，重点评估了其对电磁干扰防护、防眩光措施等的影响，以及空侧光伏对飞机起降安全影响、飞行区调蓄水池光伏板的防鸟需求等关键问题。

值得一提的是，项目组进行的“飞机运行关键区域光伏抗尾流冲击”专项试验，为项目安全推进提供了有力支撑。该试验通过建立发动机尾流模型、风洞刚性试验和实景风速测试，最终确定了能抵御最大尾流冲击的光伏板结构固定方案，确保了机场光伏应用的安全可靠。

据了解，武宿零碳机场项目规划建设 108.5 兆瓦光伏发电系统、17 兆瓦储能电站、200 个车网互动充电桩、中深层地热供热系统，以及基于冰浆—热水转换的跨季节冷热调蓄储能池，并配备智慧能碳管理平台，实现能源高效调配，推动机场能源结构向深度低碳化转型。

山西航产集团党委书记、董事长陈阳说，项目建成达产后，将承接太原机场红线范围内航站区、飞行区的供冷、供热及供电业务，未来还可向周边区域辐射。

据统计，该项目预计年均光伏发电量 1.2 亿千瓦时，集中供热面积约 98.9 万平方米、集中供冷面积约 69.4 万平方米，年总降碳量达 11.82 万吨，相当于种植 657 万棵树木的固碳效果。

陈阳表示，通过技术创新整合，项目将助力山西交通强省建设，并推动我国民航业实现向“双碳”目标的关键跨越。

韩荣