

自主采样航行器：“看”到更真实的深海

◎本报记者 吴叶凡

从古至今，人类从未停止对深海的探索。近日，我国研究团队在深海装备系统领域取得进展。由我国涉海院校与科研院所等单位组成的项目攻关组，围绕深海微生物原位采样与宏基因组分析核心技术展开攻关，完成首台国产深海微生物原位采样自主水下航行器(以下简称“航行器”)的研制。

“水文化数据和生物样品分析数据不同步是海洋科考面临的一个难题。这影响了调查研究的时效性。航行器及配套系统的研发使我国具备了深海微生物原位探测和核酸样品原位提取保存能力，为深海、远海生物多样性调查，基因资源挖掘以及功能资源利用提供了有力保障，是我国在海洋探测装备领域的一项重要突破。”项目总负责人、中国海洋大学海洋生命学院院长、中国工程院院士包振民说。

传统探测技术有何不足？航行器研制过程中有哪些技术突破？这些技术如何支持深海微生物探索工作？近日，记者就以上问题采访了相关研发人员。

传统采样技术存在不足

深海是地球系统中最大的生境，其高盐、高压、低温、低营养和无光照的独特生态系统中蕴藏着人们未知和开发的微型生物资源。深海微生物适应极端生存环境，形成了特殊的基因类型、生理机制及代谢产物等。因此开展深海微生物的探索研究有助于阐明生命起源与进化、环境适应与生态效应等重大科学前沿问题，同时也是深海资源开发的重要方式。

开展深海微生物基因探索一度受限于采样技术。传统的深海微生物采样技术主要依赖于船舶定

点式大量采水、ROV远程遥控操作采样或深海坐底平台静态采样等，这些技术和设备通常需配合母船开展短时作业，将采集样品带回实验室后进行分析。

然而，传统检测方式要经过“大体积采水器采水、船基过滤、冻存、核酸提取”等过程，许多微生物在取样过程中因环境骤变而导致核酸严重降解，给解析深海原位状态下微生物的群落组成及基因表达规律带来挑战。此外，中国海洋大学海洋生命学院教授王师提到，海洋微生物的分布具有广域性和深度梯度性，对其分布规律及特性的研究需要长周期的连续观测与原位取样。

“深海微生物具有分布范围广、尺寸变化大和演变周期长的特点。如何在海洋高压、高腐蚀、变密度等环境下，实现小型化多通道采样仪器设计，使采样设备同时具备环境适应、长时运动、敏捷航行、原位采样和高保真保存等能力，是深海微生物自主采样设备的研发难点。”课题负责人、天津大学机械工程学院教授刘玉红介绍。

实现自主、原位采样突破

“由于光照度、含氧量、温度和水压等影响，深海微生物群落多聚集在1000米以内浅水域。团队研制的航行器最大采样深度可至1000米，最小取样直径达0.22微米，单次采样水量突破15升，最大采样个数70个，连续工作时间可达15天以上。”刘玉红说。航行器通过配备的深海微生物原位采样仪器和基因分析装置，可以实现深海微生物从采样、制备到保存的无缝衔接，有效避免样本因环境变化导致的污染、降解和核酸结构变化，显著提高样本质量，缩短采样周期，提升研究效率。

航行器如何实现深海微生物长时间、多点位、大深度、高保真保存采样？刘玉红介绍，长时间、大深度

采样主要依靠在航行器设计、优化与研制等方面的技术突破，多点位、高保真保存则是通过微生物多通道原位采样仪器设计、航行器系统集成及运动控制方法等技术的突破实现，进而使得航行器具备深海微生物的自主采样能力。

自主采样是指通过自动化设备或自动化系统，在无人干预的情况下，通过融合实时感知的环境信息，高效、精准、独立地完成样本采集的过程。

海洋广阔且环境复杂多变，深海微生物类型与种群分布随海洋环境的温度、光照、压力、含氧量及地形发生明显变化。因此，自主采样对航行器的极端环境适应性和可靠性、采样精度与样本保真、设备高精度导航与自主决策、能源精益化管理和运动控制等提出多方面挑战。

项目技术骨干、天津大学助理研究员孙通帅介绍，项目组研制的航行器配备了多种传感器，可实时监测深海环境的物理、化学参数，如温度、盐度、压力、溶解氧、浊度、叶绿素浓度等，并通过多源数据融合，实现在环境信息扰动条件下的深海微生物采样区域边界识别与跟踪，进而保证自主采样的实现和品质。此外，航行器还具备组合导航和航位推算能力，能够面向水下预设区域，开展微生物的长期连续采样。

支撑深海微生物前沿研究

航行器的成功研制，不仅填补了相关技术空白，也让深海时空交变环境中微生物的长时间、多点位、多尺度和大深度的原位采样与高保真保存成为可能。同时，它还还为发现与探索海洋微生物新物种、揭示海洋微生物多样性格局与演变规律、明晰微生物碳泵与海洋碳汇的影响机理等提供决定性样本与基因数据支撑，促进了新型海洋装备和海洋生命前沿技术的发展。

项目组针对深海微生物鉴定面临原位采样核酸量低、易高度降解及难以实现跨界域生物同步分析等难题，研制了holo-2bRAD技术。该技术可实现对低至0.1纳克的痕量、高度降解样品的分析，动态追踪原核和真核生物的协同变化，定性定量分析准确性可达95%以上。项目组将holo-2bRAD技术与深海原位采样核酸提取等装备系统集成后形成的高效一体化深海原位采样鉴定分析系统，是进行深海生物多样性调查及功能深度解析的有力工具。

项目组还设计开发了具备多维宏基因组学特色、系统分析模块、面向学科交叉的海洋微生物综合资源数据库OceanM。

“与已有类似数据库相比，OceanM具备多元化的微生物功能分析，包含辐射全生境、全水深、多水层的数据资源，覆盖微生物全球分布模式、交互式海洋微生物检索分析、跨圈层互作分析以及海洋天然产物挖掘等11个功能模块。”项目负责人、中国海洋大学海洋生命学院教授张玲珍说，该数据库将为海洋微生物生态调查、地球多层交互作用深度解析以及海洋微生物资源的深度开发提供有效支撑。

成果播报

AEP100 发动机配装

全球最大无人运输机

科技日报讯(记者孙瑜)记者10月25日从中国航空发动机集团(以下简称“中国航发”)获悉，由中国航发完全自主研制、具备国际竞争力的900千瓦级涡桨发动机AEP100，于日前成功配装全球最大无人运输机——白鲸航线W5000大型无人运输机。

AEP100涡桨发动机在1000千瓦级民用涡轴发动机AES100基础上进行“轴改桨”研制，具备安全、可靠、长寿命、低油耗等特征，可显著降低运营成本，计划2025年适航取证。

AEP100涡桨发动机可配装2至6吨级通用飞机或3至10吨级无人机，综合性能达到国际现役同级别先进水平。此次配装白鲸航线W5000大型无人运输机总装下线，是该发动机市场开拓的重要里程碑，表明其已初步获得市场认可。

据介绍，W5000大型无人运输机最大起飞重量10.8吨，载重量近5吨，航程达到2600公里，是全球最大的无人货运飞机，主要用于支线航空物流和应急救援物资投送等领域。

近年来，中国航发以科技创新为指引，加快开发适应低空经济市场需求的通航动力产品，形成了以AES100、AEP100、AEF100、AES20等发动机为代表的多型通航动力产品，为推动低空经济发展、加快建设交通强国提供了有力动力保障。

复合光催化剂

可高效去除水中残留抗生素

科技日报讯(记者王禹涵)记者10月25日从西安建筑科技大学获悉，该校交叉创新研究院教授石辉团队以活化生物炭为载体，通过水热反应联合化学共沉淀法，研发出新型复合光催化剂。

该催化剂对水中高浓度诺氟沙星表现出高效去除效果。相关论文发表于《自然》旗下期刊《npj 清洁水》。

近年来，抗生素作为新兴污染物引发全球学者关注。诺氟沙星是目前最常用的喹诺酮类抗生素药物。由于其无法被人体完全代谢，因此易残留在多种水体中。光催化是目前降解此类污染物最有效的技术之一，但传统光催化剂存在光生载流子快速重组的现象，限制了该技术的推广应用。

为解决这一难题，石辉团队构建了本质上含有纳米级颗粒的硫化银、磷酸银、活化生物炭三元复合光催化剂，在光照120分钟时对高浓度(每升50毫克)诺氟沙星的去除率超过90.42%，降解速率常数为0.0175每分

钟，总有机械去除率达69.67%。在光照60分钟时即可完全去除常见浓度(每升10毫克)的诺氟沙星。

“新型复合光催化剂具有可重复利用性、光稳定性和在复杂环境下的抗干扰性。”论文第一作者兼通讯作者、西安建筑科技大学教师王彤彤介绍，该复合光催化剂具有Z-scheme型光生载流子转移模式。他们的研究采用氮硫共掺杂方式丰富了复合光催化剂的元素组成、表面官能团和缺陷，同时也活化了介孔结构。

“我们还发现了尚未见报道的某个新降解中间体。”王彤彤介绍，该降解中间体是喹诺酮类抗生素共有的官能团，在这类抗生素的降解过程中起到承上启下的关键作用。

石辉说，该研究揭示了非金属元素氮硫共掺杂协同增强磷酸银的光催化作用机制，提供了喹诺酮类抗生素降解过程及新降解中间体的关键数据，有助于推动低成本光催化技术的高效应用。

我研究团队首创复杂风场

航空危害综合评估方法

科技日报讯(记者张强)如何找到一把刻度精密的“尺子”来统一衡量复杂风场航空危害，是航空安全保障领域长期面临的挑战。记者10月25日获悉，国防科技大学电子科学学院教授李健兵团队在国际上首创了一种低空风场航空危害综合评估方法，可对复杂风场航空危害进行有效识别与评估。该研究成果发表于国际权威期刊《自然·通讯》。

据介绍，风场是最常见的自然现象，与人们生产生活及军事活动密切相关。如在40%以上的重大航空灾难中，飞机尾流、风切变等复杂风场是导致事故发生的主要因素。因此，风场也被称为空中“隐形杀手”。风场之所以具有复杂性，是因为它受地形地貌、气象条件等多种因素综合影响，在时空分布上具有多尺度、混沌的动力学特性，且其与飞行器气动特性耦合严

重，使得辨识由复杂风场导致的航空危害十分困难。国际现有复杂风场航空危害的评估方法往往针对不同的风场类型、地理位置和气象条件进行定制。这就像是设计不同的尺子去量不同的物体，通用性受限。

针对这一问题，李健兵团队从风场空间非均匀性引发航空危害这一本质出发，结合风场物理先验知识和概率模型，提出了一种可解释半监督聚类的航空危害风场综合评估方法。基于这种方法，他们在大量雷达探测数据和极少量标签数据的条件下，发现了低空风场航空危害的通用高维特征，首次实现了多种类型危害风场的高置信识别和量化评估。相关专家认为，这意味着复杂风场航空危害首次有了统一识别与评估方法，为提高航空安全保障水平提供了基础理论支撑。

上海至南京至合肥高铁

首座转体连续梁成功转体

科技日报讯(记者金凤 通讯员姜玉鹏 许文峰 余剑波)记者10月23日从中铁上海工程局集团第一工程有限公司获悉，上海至南京至合肥高铁启东特大桥跨宁启铁路转体连续梁完成转体。这标志着启东特大桥往崇明方向架梁、铺轨通道正式打通，工程建设取得阶段性进展。

位于江苏省南通市启东市境内的启东特大桥跨宁启铁路转体连续梁采用单T构悬臂浇筑，在272号—273号墩之间跨越既有宁启铁路，连续梁全长145.5米，相当于近6节动车组车厢的长度。转体连续梁重约9000吨，相当于6000辆小汽车重量，转动角度为顺时针55度，最远端转动距离达69.23米。转体后梁体与宁启铁路成124度夹角，是上海至南京至合肥高

铁首个转体连续梁。

为确保此次转体施工顺利完成，建设管理单位沪杭客专公司，会同中铁上海工程局项目部通过沙盘预演，精确计算各工序时间，科学制定完善施工方案。项目部在新长车务段、新长工务段、南京供电段等铁路运输站段的配合下，采用ZLDK智能转体系统进行转体施工。

“我们通过监测和预警系统实时监测转体梁运行状态、转盘转过刻度及转速、风速、应力等关键指标，动态指导转体施工，最终在天窗点内历时2个小时完成转体全部施工工序，将梁体精准旋转至272和274号墩上，转体精度达到毫米级，误差不过3毫米。”中铁上海工程局站前VI标项目经理杨再兴说。



深海微生物宏基因组原位采样水下航行器进行海上试验。 受访单位供图

国产大型核电机组用大容量发电机断路器发布

科技日报讯(记者刘园园)记者10月25日获悉，190千安发电机断路器成套装置日前正式发布。这是我国首台百万千瓦以上核电机组用大容量发电机断路器。

据介绍，该产品由中国电气装备集团有限公司旗下中国西电西开电气有限公司(以下简称“西开电气”)自主研发，主要用于1000—1400兆瓦容量的大型核电机组，实现了大容量核电机组用重大装备的国产化，可解决AP1000、“华龙一号”等大型核电站对发电机断路器的

紧迫需求，为我国大型核电站工程建设和运行服务提供自主可控的安全保障。

在当天举行的“国产大容量发电机断路器、刚性气体绝缘输电线路应用成果研讨会”上，西开电气还聚焦国产大容量发电机断路器、管道母线的技术成果，向业界推介了200—1400兆瓦发电机组用大容量发电机断路器成套装置、电气制动开关成套装置、抽水蓄能机组成套开关设备、燃气机组用发电机断路器成套装置以及252—1100千伏系列刚性气体绝缘输电线路(GIL)解决方案。

作为中国电气装备集团有限公司所属中国西电的核心企业，西开电气自主研发制造的大容量发电机断路器系列产品广泛应用于水电、火电、核电、燃机和抽水蓄能电站。“西开电气聚焦前沿技术，加速成果转化攻克‘卡脖子’技术难题，研发出一系列达到国际顶尖水平的创新产品和技术，填补了多项国内外技术空白，夯实了电气装备‘国家队’的基石。”中国西电党委书记、副总经理谢庆峰说。

“在全球化的背景下，我国电力装备

行业面临着激烈的市场竞争。未来我们应依托工程建设，加强交流合作，带动国内骨干制造厂硬件条件和软实力的大幅提升，形成我国高端电力设备的自主研发和生产能力。”全球能源互联网发展合作组织副主席刘泽洪说，只有在电力建设中更多、更广泛地使用国产先进设备，才能推进电力装备领域高端核心技术和装备的自主可控，从而出现更多类似“大容量发电机断路器”这样技术先进、填补国内空白的产品，实现我国电力设备整体技术水平的突破和超越。

500兆瓦级冲击式水轮机配水环管完成制造

水电装备为“藏电外送”保驾护航

◎本报记者 朱虹 李丽云
通讯员 王学善

10月18日，哈电集团哈尔滨电机厂有限责任公司(以下简称“哈电集团电机公司”)自主研发的扎拉冲击式水轮机配水环管(分流转管)顺利完成加工制造。这是世界上首套单机容量达到500兆瓦的冲击式水轮机配水环管。该成果不仅标志着我国水电装备制造领域取得重大突破，更为全球清洁能源发展注入强劲动力。

超大直径稳定可靠

扎拉水电站坐落于西藏自治区昌都市左贡县。作为国家“藏电外送”的重要骨干电站，该水电站由中国大唐集团投资建设，是藏东南地区清洁能源一体化基地的核心电站。同时，它也是国家能源局能源领域首套(套)重大技术装备项目，承载着我国水电装备制造领域自主创新与技术突破的重要使命。

扎拉水电站500兆瓦冲击式水轮机，是目前国内唯一的500兆瓦级高水头、大容量冲击式水轮机研制及应用示范项目。电站共规划安装两台500兆瓦冲击式水轮机发电机组，这两台机组不仅单机容量大，而且功率高、技术先进，其研制难度堪称世界之最。

配水环管作为冲击式水轮机的核心部件之一，重要性不言而喻。在机组运行过程中，确保配水环管可时刻承受巨大的水压力，是机组稳定运行的关键所在。

“我们从2021年开始，就针对扎拉配水环管开展了自主化研制工作。”哈电集团电机公司产品设计部主任设计员王洪斌介绍，团队经过无数次试验与优化，成功研制出了这一重大装备。

该配水环管由12节环管构成，设计精巧、结构复杂。王洪斌介绍，它水力性能好、设计压力高、尺寸规模大，岔管应力水平适中，结构布置合理。其中，最大单节环管的长度超过10米，管口最大尺寸更是达到了3.7米。这种管径设计，显著增加了进入机组的水流

量，使得水流的流速更低，机组的运行性能更加稳定可靠。

“为了确保配水环管的研制质量，我们采用了高强度钢板和特殊焊接加工技术。”哈电集团电机公司智能制造工艺部经理魏方楷介绍，配水环管总装配后的平面布置面积达到592平方米，总装配重量更是高达370吨，可以承受高达12.6兆帕的试验压力，充分展现了我国水电装备制造行业的卓越实力。

系列技术攻克加工难题

配水环管的精巧结构设计，在一定程度上增大了工件的加工和装配难度。为了确保各环节能够一次性装配验收合格，哈电集团电机公司创新性地融合了多项加工制造技术。该公司针对配水环管钢板强度高、焊接加工难、空间尺寸大等特点，开展了一系列技术攻关行动。

在保证钢板成型质量方面，哈电集团电机公司应用激光跟踪仪进行辅助测量和调整，将精密测量的实际数据与

理论三维模型数据进行对比分析。这一举措显著减少了相邻管口的焊接误差，有效提升了产品焊接和加工质量。同时，通过数字化分析技术，他们对偏差进行精确修正和调整，使得焊接一次交检合格率达97%以上。

为了攻克配水环管的加工难关，哈电集团电机公司集合生产资源，调配高精度测量和数控加工设备。“我们采用人工找正配合设备复验的方法，以及高精度测量联合修正的技术手段，开展24小时不停滞的生产攻关。”该公司项目服务管理部项目经理李晓峰说，这一系列举措不仅保证了配水环管的研制质量，还实现了产品的焊接、加工和装配等生产作业面的直线进度。最终，经过不懈努力，哈电电机成功自主研发出了这一重大装备。

“扎拉水电站的建成投运，将有力推动西藏地区清洁能源的开发利用，为‘藏电外送’的实施提供有力支撑。”李晓峰说，这一项目的成功实施也将为我国水电装备制造领域的技术进步和产业升级提供宝贵经验。