

百道红光直冲太空！摄影师助科学家解析“闪电烟花”

■本报记者 高雅丽

2022 年 5 月 19 日深夜，青藏高原普莫雍错湖畔，星空摄影师安久和董书畅的镜头捕捉到一场罕见的“天象秀”——上百道红色光柱从云顶直冲太空，如烟花般在高空绽放。

他们拍摄到的是被称为“红色精灵”的中高层大气放电现象，科学家形象地称之为地球大气层的“闪电烟花”。

此次拍到的“红色精灵”从何而来？将对临近空间气象产生哪些影响？近日，中国科学技术大学教授陆高鹏团队在《大气科学进展》发表研究成果，确定了两段观测视频中“红色精灵”的发生时间及诱发它们的母体闪电。审稿专家高度评价了该研究方法的创新性，认为“这一方法为众多公民、科学家参与科学观测提供了可靠的校时手段”。

从“偶然发现”到科学突破

“红色精灵”最早在 1886 年被预言，直到 1989 年 7 月 6 日，时任美国明尼苏达大学物理学教授 John R. Winkler 利用一台低光度摄影机记录了一道夜空中跳跃的火焰，才揭开它的神秘面纱。

陆高鹏解释说，“红色精灵”这种中高层大气中的放电现象，是由雷暴强烈的放电活动引发的。这些现象在稀薄的大气中发生，与低层大气中的闪电不同，它们可以在持续的电场作用下加速并击穿空气，形成壮观的放电现象。

“这种现象在地球的中高层大气中很少出现，因为它们需要特定条件才能发生。”陆高鹏说。

这次的“红色精灵”源于 2022 年 5 月 19 日深夜南亚地区的一个对流云团。对流云团非常浓密，激发了大量雷暴活动。在摄影师

黄渤海海雾综合观测研究开启

本报讯（记者高雅丽）今年首次黄渤海海雾综合观测研究及人工消雾科学试验（以下简称试验）近日在山东青岛开启。试验为期 3 个月，旨在探究海雾生消机理，将通过搭建岸海空天一体化综合观测系统，从海雾的化学、物理、天气、海洋等多个要素开展观测。据悉，试验投入 40 余套新设备。

试验还同步开展首次黄渤海海雾人工消雾试验，通过无人机播撒催化剂及聚能空气炮联合人工消雾作业，定量评估检验人工消雾技术和装备的实际效果，为研究成果实现业务化应用打下基础。

据悉，海雾是黄渤海重要海洋气象灾害，雾季主要集中在 4 月至 7 月，严重影响交通运输、渔业、海上油气勘探开发等，甚至造成船舶海难事故。海雾系列试验将形成一套完备的基础数据集，提升海雾监测预报预警能力，更好地保障经济社会发展。

试验由青岛海洋气象研究院牵头，青岛市气象局、中国气象局气象探测中心等 10 余家单位参与。

数字时代下的博物馆将何去何从

■胡翌霖

刚刚过去的 5 月 18 日是国际博物馆日，今年的主题是“快速变化社会中的博物馆未来”。

当今社会的最大变化就是数字化，人类日常生活和社会关系越来越依赖于数字技术。在这一环境下，博物馆又将何去何从？

何谓“博物馆”

追溯历史，博物馆的概念及其扮演的社会角色并不是一成不变的，而是随社会的变化不断变化。过去如此，未来更是如此，博物馆正在这个快速变化的社会中涌现新的意义。

博物馆(museum)一词源自古希腊时期的亚历山大城，最初是指一座供奉缪斯女神(Muses)的神庙，称之为“缪斯宫”或许更贴切。当时统治这一地区的托勒密王室热爱知识，甚至发出“收集世间所有知识”的宏愿。

为此，在王室的赞助下，围绕缪斯宫建设了一系列学术设施，包括图书馆、解剖室、动物园、植物园、天文台、大讲堂等，并长期供数十名学者在此自由交流、研究。阿基米德、欧几里得等知名学者都曾在缪斯宫访学或常驻。

缪斯宫在体制上更接近后世的大学或研究院，而非博物馆，但它所象征的“求知圣地”确实是“博物馆”的精神来源。在文艺复兴时期，欧洲学者对希腊学者的自由和博爱心向往之，因而沿用 museum 一词命名他们的知识荟萃之所。

在文艺复兴之后，特别是随着大航海时代的发展，欧洲出现了现代博物馆的直接前身，即“奇珍室”。奇珍室叫作“好奇心柜子”，许多奇珍室也会以“缪斯宫”命名。与古代常见的私人藏宝库不同，奇珍室不以财富的数量或华丽取胜，而是追求藏品的多样性和珍奇性。藏品大多借助航海，从世界各地收集



精灵烟花。 安久、董书畅 / 摄

拍摄的 3 个多小时里，“红色精灵”非常密集，每隔一两分钟就会出现一次。不仅有四五个“红色精灵”同框的时刻，还出现了巨大喷流。

长期以来，“红色精灵”研究集中于北美大平原等雷暴高发区。在这种认知框架下，南亚地区并不是具备强雷暴发展条件的典型区域。然而，此次发现颠覆了传统认知。

“大家认为丘陵地貌不利于大尺度雷暴系统的形成，因为对气流的切割作用会引起能量分散。平原则能够有效维持气流的水平输送与能量聚集，从而更易形成大规模雷暴系统。”陆高鹏说。

陆高鹏团队分析发现，本次“红色精灵”母体闪电主要为大峰值电流的正极性地闪，发生在从恒河平原延伸至青藏高原南麓的中尺度对流复合体层状云降水区。

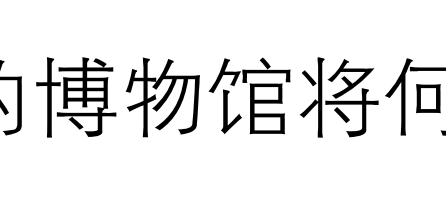
“这次研究观测记录了南亚单次雷暴过程中最多的精灵闪电，表明该地区雷暴具备与美国大平原和欧洲近海雷暴相似的中高层放电能力，甚至能够孕育出更复杂的放电形态，它们产生的物理化学效应对圈层耦合可能有重要影响。”陆高鹏说。

南岳衡山首次拍到“水凤凰”清晰影像

本报讯（记者王昊昊 通讯员周翔宇）记者从南岳衡山国家级自然保护区管理局获悉，该局科研团队近日在野生动物日常监测中首次记录到国家二级重点保护野生动物水雉的清晰影像。

水雉，鸻形目水雉科水雉属，又称水凤凰，其成鸟身长可达 39 至 58 厘米，尾羽长达 25 至 35 厘米，黑白分明的头部与亮黄色颈斑相映成趣，背部至尾部羽毛颜色从黑褐色至浅棕色不等，喜欢单独或成小群活动，因其对栖息地水质要求严苛，常被视为湿地生态系统的“环境质检员”。

“2023 年 7 月，我们启动了南岳衡山国家级自然保护区鸟类专项调查。”南岳衡山国家级自然保护区相关负责人介绍，“半年前，我们首次目击到水雉的疑似踪迹，便持续跟踪，经过多日蹲守，终于拍到了它的照片。”



在南岳衡山拍摄到的水雉。

而来。以好奇心的名义，收藏家和观者更关注藏品蕴含的知识而非价值。

这些奇珍室最初仅向亲朋好友开放，但很快就具有了一定公共性，甚至许多收藏家会印刷小册子宣传自己的展室，吸引公众前来参观和研讨。

有些奇珍室的主人去世时，不舍得自己的藏品被子孙分割和糟蹋，于是把藏品捐赠给大学或其他公共机构，以供学术研究和公开展出。伟大的阿什莫尔博物馆和大英博物馆都是起源于私人捐赠。

奇珍室和博物馆中日益丰富且让人眼花缭乱的藏品，刺激了博物学，特别是分类学的发展。从私人的奇珍室走向公共的博物馆，人们越来越需要一种公共的、科学的分类体系，而不满足于按照颜色或材质胡乱摆放藏品。

最伟大的分类学家林奈正是以收藏品(标本)进行分类学研究的，他认为收藏品乃是“世界博物馆”的微缩版。世界博物馆“分成了三座大厅(植物、动物、矿物)，展出了上帝的杰作”。

到了科学革命时期，科学仪器和实验表演被纳入博物馆。早期的科学实验演示性往往远高于发现性，例如马德堡半球实验之类，都是盛大的公共表演，而博物馆就是进行科学互动的固定场所。荷兰的泰勒博物馆那个著名的椭圆大厅，最初并不是展馆，而是实验台，电学实验是最受欢迎的项目。

现代科学博物馆的诞生

在法国大革命之后，现代教育制度逐渐确立，博物馆开始在教育体系中扮演角色。例如，法国国立工艺学院一方面收集大量科学院的仪器和藏品，另一方面承担教育职能，至今保持着大学与博物馆的联体运作。

当爱好者成为“精灵捕手”

这次摄影师拍摄到了上百个“红色精灵”，其中不少是跃动的“舞蹈精灵”，还有罕见的“次生喷流”，以及亚洲首例夜间电离层底部绿色发光现象“鬼火精灵”。

这些丰富的记录，为陆高鹏团队的后续研究提供了完整素材。不过，获取视频后，团队遇到了一个难题——普通相机没有精准的时间标记，加之相机没有放平，对于后续的数据分析十分不利。

对此，团队提出基于卫星轨迹与星场推断视频时间的方法。通过分析照片中的卫星轨迹和恒星位置，将爱好者拍摄的无时间标记视频精确校准至毫秒级，实现了“红色精灵”与母体闪电的精准匹配。

“我们相当于用星空当钟表重建了闪电事件的时间坐标系。”陆高鹏表示。

他告诉记者，研究中超过 80% 的观测数据都是由民间摄影爱好者提供的。他们在一个名为“精灵闪电观测”的微信群里分享拍摄到的影像，构成了科研团队的“分布式观测网”。

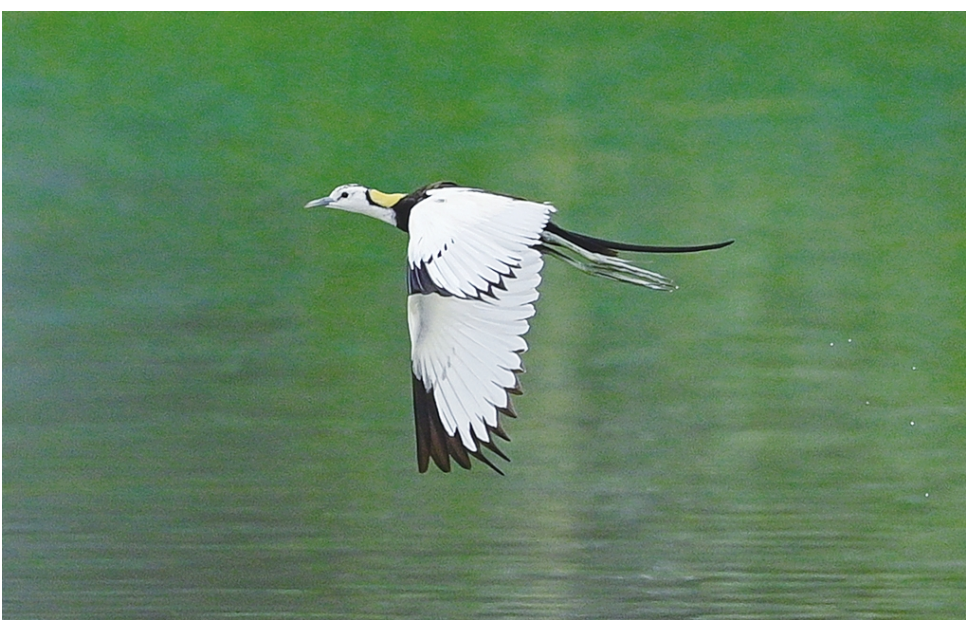
同时，陆高鹏在科研中不仅进行了雷电知识科学普及，还探索出一条特色路径，将公众的非结构化数据转化为科研资产。

摄影师凭借此次拍摄的作品获得英国格林尼治皇家天文台主办的 2023 年度天文摄影师大赛星野组世界冠军。这一作品不仅展现了精灵放电的壮观，也进一步引发了公众对极端天气现象的关注。

促进临近空间气象发展

“红色精灵”不仅是壮丽的自然奇观，还可

南岳衡山首次拍到“水凤凰”清晰影像



在南岳衡山拍摄到的水雉。

种职能，包括研究、收藏、展示、社交、科普、教育、旅游、娱乐等，都不是固定不变的，而是随着社会的变化不断更新。同时，博物馆的一些特征，如研究与展陈分离、科学与美术分离、与公民教育结合、对儿童友好等，也都是适应社会变化的产物。因此，在迎接社会的新变化之际，博物馆不会故步自封，而是有可能发展出崭新的姿态。

数字技术笼罩中的博物馆

当前，在数字化这一环境下，博物馆又将何去何从？

也许博物馆正面临新的分化，例如分为实体和数字部分。博物馆的大众科普职能或许将在很大程度上由数字平台所取代，但传统实体藏品不会完全过时，相反，在数字时代，许多人陷入浮躁和空虚，而这些凝聚着厚重历史的实物更能激发观者的真实感和敬畏心。就知识获取而言，观看一个虚拟藏品也比许观看实物更加有效，但就情感共鸣而言，实物藏品及其展陈空间仍是不可取代的。

因此，数字时代的实物展馆或许会朝着更加侧重情感激发和氛围营造的方向发展。也许博物馆将迎来新的整合，例如历史博物馆、科学博物馆与艺术馆可能会重新融合起来。一方面，现代人的历史很大程度上就是科技发展的历史；另一方面，诸如人工智能等前沿科技展现出对艺术和文化领域的冲击。在新环境下，关注科技也是关注历史和艺术，所以打通边界的展陈方式或许会成为新的趋势。

除了迎接变化，我们也需要守住遗产。回顾博物馆在历史中形成的诸多特性，许多表象不断变迁，但许多精神内核是一脉相承的。缪斯宫“自由求知”的精神、奇珍室的“好奇心”、现代博物馆的公益性、科学中心的互动性……这些精神内涵不会过时。

未来，博物馆在坚持上述传统精神之外，也许还会有新的使命，例如弥合社会撕裂、彰显多元文化等。无论如何，在不断变化的未来，博物馆始终能找到独特的社会角色。

能对中高层大气化学环境产生深远影响，为应对气候变化、保障航天安全提供全新视角。

“我们关注的不仅仅是这些现象本身，还在于它们对大气环境的影响，以及与极端天气事件产生的关联。”陆高鹏说。

陆高鹏解释说，中高层大气放电会产生臭氧，而臭氧在平流层中有益，但在对流层中有害。研究团队正在探索这些现象是否会导致局域性气候效应，甚至可能引发灾害性天气。“我们希望通过研究这些现象，为气象预测和气候研究提供新视角。”

此外，“红色精灵”等中高层大气放电现象还会影响临近空间气象环境。伴随新一代航空器、浮空器和亚轨道航天器的发展，临近空间正在成为开展高新技术应用和国防安全活动的新领域，运载火箭、人造卫星、载人飞船等航天器以及导弹武器的研究、试验和应用，都需要临近空间气象保障。

陆高鹏告诉记者，临近空间观测一直是科学界难题，“浮空气球飞不上去、卫星沉不下来”使得 50 至 80 公里高度上的地球大气成为人类观测的盲区。

因此，除了原位测量方法，陆高鹏团队还提出“光电遥感”解决方案——利用“红色精灵”的光谱特征，反演高空大气成分。他们还计划协同安徽省内其他高校在长江沿岸建成联合观测站，利用天文望远镜与气象雷达协同观测，捕捉“红色精灵”引发的氮氧化物波动信号。

“我们希望通过光电遥感技术，突破观测盲区，更好地理解临近空间的物理和化学过程。”陆高鹏说。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1007/s00376-024-4143-5>

发现·进展

天津大学

科研人员开发全新 DNA 存储系统

本报讯（记者陈彬 通讯员赵晖）近日，天津大学应用数学中心教授吴华明团队开发一种全新的 DNA 存储系统——HELIX，专门用于存储生物医学数据，并成功实现了 60MB 的时空组学图像的存储与恢复。相关研究论文发表于《自然－计算科学》。

随着信息技术的飞速发展，传统存储方式已无法满足大数据时代的需求。在此背景下，DNA 信息存储技术应运而生，利用 DNA 分子存储数据被视为未来大规模数据存储的潜力介质。每克 DNA 能够存储数百万字节数据，并且在无需电力的情况下保存数千年。尤其在生物医学数据领域，DNA 存储的潜力尤为显著——其图片数据分辨率高、存储周期长、相似度高，具有广阔的应用前景。

研究团队开发的 HELIX 系统包含 3 个核心模块——图像压缩、图像纠错编码和图像复原。针对 DNA 存储过程中可能出现的碱基错误，HELIX 对现有压缩算法进行优化，大幅增强了系统的容错能力。同时，为进一步提高图像解码成功率，团队还引入深度学习技术，在图像修复过程中显著增强了信息恢复能力。实验中，团队将两张 60MB 的时空组学图像编码为 13 万条、每条 183 个碱基的 DNA 序列，并通过 DNA 合成与测序技术恢复了图像数据。实验结果表明，HELIX 系统具备强大的鲁棒性，只需要约 5.8 倍的测序深度，即可恢复图像的绝大部分信息。

该研究表明，针对特定数据类型量身定制的 DNA 存储系统，不仅在存储效率上表现卓越，还在可靠性方面展现出优势，为 DNA 信息存储技术的广泛应用奠定了基础。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1038/s43588-025-00793-x>

四川大学

固体力学应变概念简化剪纸超材料设计方法

本报讯（记者杨晨）近日，四川大学建筑与环境学院教授王清远和蒋文涛团队等在剪纸超材料领域取得新进展。相关成果发表于《物理评论快报》。

剪纸是中国最古老的传统民间艺术之一。受剪纸艺术启发形成的剪纸超材料，具有超常的平面与三维曲面变形能力，在可展开结构领域应用潜力极大。然而，剪纸超材料内部包含的大量旋转单元与几何约束，使其分析与设计十分困难，目前只能通过复杂的计算方法才能实现针对给定任意目标形状的逆向设计。如何揭示剪纸变形的物理机制，进而简化剪纸超材料的设计方法，是该领域重要的基础科学问题。

针对这一难题，该研究开创性地将固体力学中应变的概念引入剪纸超材料设计，发现了剪纸单元形状与剪纸超材料展开变形的内在关系，直观揭示了超常变形能力背后的物理机制，并以此提出了一种纯几何的设计方法，无需进行复杂的数值计算，仅需对剪纸单元形状进行编程，即可直接实现任意给定目标形状的变形设计。

研究团队利用该几何设计方法，成功实现了剪纸超材料的收缩形状、展开形状以及内部运动轨迹的逆向设计，充分展示了该几何设计方法对于不同类型变形目标的通用性。该研究成果通过传承千年的剪纸艺术思想与前沿的复杂变形结构的有机结合，摆脱了现有剪纸超材料设计方法对复杂数值计算的依赖，为软体机器人、智能可变形建筑、航天可展结构、下一代可穿戴设备等战略新兴领域开辟了新的设计路径。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.176103>

中国科学院动物研究所等

新研究填补羽毛演化史关键空白

本报讯（记者王兆昱）中国科学院动物研究所研究员白明团队联合国家自然博物馆等多家单位，在羽毛演化研究中取得重要进展。研究人员通过创新的微纳结构原位暴露和三维成像技术，填补了羽毛演化史关键空白，为重建早期鸟类飞行能力的演化路径提供了实证。近日，相关论文在线发表于《科学通报》。

羽毛是鸟类飞行的利器，其演化经历了从恐龙简单的单根细丝状羽毛，逐渐变成复杂的羽片状羽毛。近年来，在我国发现的一系列带羽毛恐龙化石为探究羽毛的宏观演化提供了诸多证据，但鸟类飞羽的钩槽联锁机制与级联滑锁系统如何从更原始的羽毛演化而来，始终缺乏直接证据，且如何可靠地获得羽小枝微纳尺度三维超微结构是长期存在的技术难题。

研究团队构建了一套微纳结构原位暴露和三维形态获取分析技术体系，对 5 块晚白垩世的缅甸羽毛琥珀进行研究。结果表明，中生代羽毛的羽小枝存在两种新类型。类型 I 羽毛具有近乎对称的羽片和极细羽轴，羽小枝基部的横截面呈现独特的“L”形弯曲，羽小枝中段保留级羽典型的结节结构，这证明羽毛从绒羽向飞羽的演化是通过“基部形态改造”与“末端功能强化”的分阶段创新实现的。类型 II 羽毛具有不对称羽片和增厚的羽轴，近端羽小枝背侧首次发现明确凹槽，与远端小钩形成原始互锁机制，近端羽小枝腹侧呈“J”形弯曲，暗示早期飞行羽毛的空气动力学效率较低。研究团队还在一件无羽毛的游离羽枝标本中发现了迄今最古老的羽毛级联滑锁系统实证。

研究团队丰富了羽毛演化模型理论中的第 3 至 5 阶段。此外，研究团队还发现了大量在羽小枝中呈原位保存的黑素体，首次揭示这些羽毛可能的原始色彩：类型 I 羽毛因特殊黑素体层状排列可能呈现“黑色带红色光泽”；类型 II 羽毛为单调的深灰色或“企鹅式纯黑”；游离羽枝则为普通灰色。

相关论文信息：<https://doi.org/10.1016/j.scib.2025.04.073>