

《科学》：中国科大揭示海洋转换断层存在“封存-排放”循环新机制

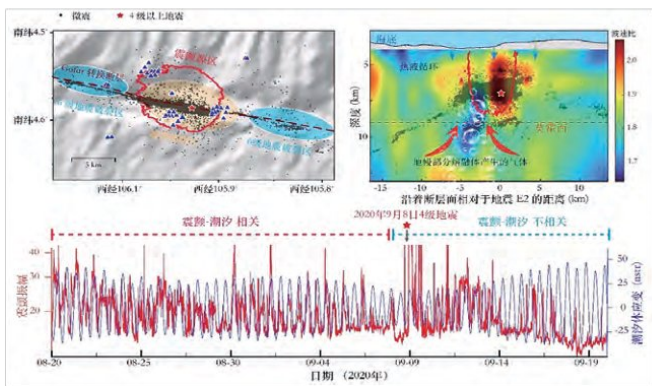
本报讯 近日，中国科大张海江教授研究组在海洋转换断层研究方面取得重要进展。研究团队利用东太平洋海岭Gofar转换断层密集海底地震仪数据，首次发现受半日潮调制的谐波震前信号，并揭示断层存在“封存-增压-破裂-排放”的周期性循环。该成果于北京时间6月26日在《科学》杂志以“首次发布”形式在线发表。

海洋转换断层是连接扩张洋脊的走滑边界，长期被视为简单的“保守型”板块边界。但近年证据显示，这类断层可能受岩浆和热液活动共同作用，具有复杂的三维结构。震前是一种特殊的非脉冲地震信号，对潮汐等微小应力高度敏感，可用于追踪断层内的流体活动。然而，转换断层内是否存在震前信号，此前一直缺乏直接观测证据。

研究团队利用2019—2022年布设的海底地震台阵数据，在Gofar转换断层识别出持续的谐波震前信号，其震源位于海底以下约4.5公里范围内，恰好落在先前推断的“地震隆起区”——该区域能阻止大地震传播，却密集分布着微震活动。

研究发现，2020年9月一次4.6级地震前，震前振幅与半日潮汐高度相关，表明断层处于近临界状态。地震发生后，相关性迅速减弱，微震激增，波速快速反弹——反映破裂打开了封闭裂隙，排出气体并注入液体。数周后，随着矿物沉淀逐步愈合裂隙，相关性缓慢恢复，开启新一轮循环。该模式在后续多次地震中重复出现。

基于此，研究团队提出“阀门式”循环模型：封存阶段，矿物沉淀封闭裂隙，深部岩浆



Gofar转换断层上的震前-潮汐相关性

持续产生挥发气体，孔隙压力升高，系统对潮汐高度敏感，产生震前；破裂阶段，地震打开裂隙，排出气体，削弱潮汐-震前耦合，触发微震；封存恢复阶段，矿物沉淀再次愈合裂隙，系统回到封存状态，循环重启。

该研究首次在海洋转换断层发现潮汐调制震前，表明转换断层并非“保守型”板块边界，而是受流体、潮汐和岩浆共同调控的动态

系统。该成果为认识海洋转换断层力学机制和地震危险性提供了新范式，对深海热液系统和成矿研究也具有启示意义。

中国科大为论文第一单位。杨浩（博士生）为第一作者，张海江教授为通讯作者，南方科技大学尹玲研究员为合作者。

（地球和空间科学学院 精密大地测量与定位全国重点实验室 科研部）

中国科大发表锂离子电池多场耦合建模综述论文

本报讯 锂离子电池的运行涉及电化学、力、热多物理场的复杂耦合。构建多物理场耦合模型，是深入理解电池内部运行机理并进行多场特征预测的关键。近日，中国科大火灾安全全国重点实验室王青松研究员团队在期刊《创新》发表综述论文。



锂离子电池电化学-力-热多物理场模型及应用

论文首先总结了电池电化学-力-热多场耦合特性，从热力学、动力学和衰减机制三方面理解电化学性能，力学特性方面主要考虑了内部应力产生和外部机械加载，热特性方面主要考虑了电池正常工作过程的热和热失控。基于电池的电化学-力-热多场耦合特性，针对性地构建了不同尺度、维度的电池模型。

电化学模型是锂离子电池模型的基础，主要描述电极过程，模型大多为颗粒和电极层级，但维度不限。将电化学模型分为P2D模型、以单颗粒模型为代表的简化P2D模型、电化学衰减模型和3D电极微结构构建模型。根据应用产生机理，力学模型分为扩散应力模型、热应力模型和机械失效模型。热模型分为平均热模型、电-热耦合模型、电化学-热耦合模型和热失控模型。电化学-力-热耦合模型主要用于研究电池的力学相关行为，通常可分为两类：其一为与内部应力演化相关的电化学-力-热耦合过程，该类模型重点关注扩散应力及热应力的产生及其对电池性能退化的影响；其二为考虑外部机械载荷作用下的电化学-力-热耦合过程，主要用于描述机械加载诱发的内部应力及热失控行为。

准确的参数获取和模型验证是建模的基础，论文总结了构建电化学、力、热模型所需的参数，并总结了锂扩散系数、离子电导率、反应速率常数、杨氏模量、开路电压、内阻、焓系数、比热容、导热系数等重要参数的详细获取方法。在模型验证方面，文章还总结了电化学模型、热模型和力学模型所需的模型验证参量以及验证效果，以确保模型准确性。最后，论文展望了获取更精准的电池内部特征、开发基于物理信息的神经网络、推广标准化与通用化的开源模型，以及将建模能力扩展至电池包与系统级层面等研究方向。

中国科学技术大学梅文昕研究员为论文的第一作者，王青松研究员为论文通讯作者。（火灾安全全国重点实验室 科研部）

导数线性组合进行精确计算。更进一步地，团队证明了指数体积满足Mirzakhani型的递归公式这一结构性性质。该递归公式在几何结构上表现为对三角形/梯形/楔子这些基本曲面的剪裁，其中“三角形/楔子”是比传统Mirzakhani剪裁的楔子更小的几何基本元。基本曲面的指数体积引出了一个交换代数E，称之为PL2-2Hecke-Whittaker代数。所有曲面指数体积及其展开式将代数E扩展到了所有曲面。此外，该工作还揭示了指数体积与Kontsevich模空间、指数动机变分周期之间深刻的内在联系。而指数体积函数与镜像对称超势函数的神秘关联，以及指数体积与开弦理论的潜在联系，则进一步彰显了该成果的关键学术价值。（数学科学学院 科研部）

中国科大及合作者引入指数体积形式证明带冠状端双曲曲面模空间体积有限性

本报讯 近日，中国科大数学科学学院孙哲任教授与美国耶鲁大学Alexander B. Goncharov教授在双曲曲面模空间体积研究中通过引入指数体积形式，证明了一般带冠状端双曲曲面模空间指数体积有限并给出指数体积递归公式。相关成果发表于6月26日发表在《数学新进展》上。

菲尔兹奖得主Mirzakhani通过开创性的测地洞洞边界双曲曲面模空间和递归公式，催生了拓朴递归与随机双曲曲面等数学分支的蓬勃

发展。然而，当曲面结构延伸至更具一般性的非紧“冠状端”（crown end）时，经典的模空间体积会不可避免地发散为无穷大。如何在非紧曲面上建立合理的有限体积理论，成为该领域长期难以逾越的障碍。

对此，研究团队创造性地提出了“指数体积”新概念，通过引入典型体积函数的有限性进行修正，首次攻克了体积的有限性难题，证明了指数体积某种拉普拉斯变换（B函数）可以通过第二类修正贝塞尔函数的高阶

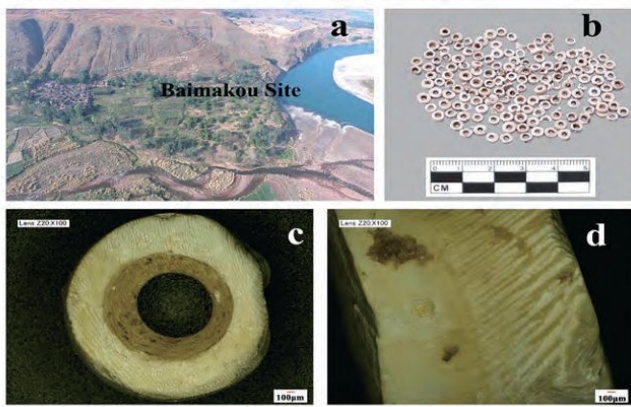
相反。

结构方面，淡水与海洋贝壳在晶体结构和微观层间结构方面存在显著差异。SEM分析显示，海洋贝壳普遍存在由细小纤维状文石构成的棱柱层-珍珠层过渡带，部分腹足类贝壳由于壳层较薄，该结构不明显。珍珠层发育的海洋贝壳棱柱层含方解石，而珍珠层则为文石结构。淡水贝壳的棱柱层和珍珠层均由文石构成，缺乏明显的过渡带。拉曼光谱分析与SEM分析结果相同。

基于上述分析结果，研究团队建立了涵盖14个种属的贝壳判别参数表，为考古贝壳制品来源分析提供了新路径，亦为探讨古代云南及周边地区的物质文化交流提供了新线索。

中国科大科技史与科技考古系博士研究生王弘毅为本文第一作者，范安川副教授为共同第一作者，王娟副教授为通讯作者。本研究的合作者还包括福建省考古研究院吕锦燕副研究员、云南省文物考古研究所阮锐研究员、中山大学社会学与人类学学院余翀副教授，以及中国科大博士研究生张媛和蒙柳汶。

（科技史与科技考古系 科技考古实验室）



研究涉及遗址位置及白马口遗址出土微型贝壳

为机器人装上“中国脑”

【人物名片】

陈锋，中国科学技术大学博士、研究员，合肥中科深谷科技发展有限公司董事长、首席科学家，人机协作智能机器人安徽省重点实验室主任，荣获安徽省科技进步奖一等奖等多项科创奖项，2026年获评安徽省最美科技工作者。

【人物寄语】

核心技术买不来、讨不来，唯有自主攻坚，才能让“中国智造”机器人核心部件站稳世界舞台。

6月23日，人机协作智能机器人安徽省重点实验室内，合肥中科深谷科技发展有限公司董事长陈锋在机器人“田螺”身边，调试机器人“大小脑”协同运行参数。随着指令下发，这台安徽本土人形机器人平稳迈步、精准抓取工件，整套动作流畅利落。

“走得稳、抓得准，靠的是小脑；能看懂环境、知道下一步干啥，靠的是大脑。”陈锋告诉记者，这套“敏捷小脑+聪明大脑”的双技术架构，正是他和团队2025年推出的BrainCSPACE通用具身智能系统的核心。

八年前，陈锋还是合肥大学的一名教授。常年奔波于高校实验室、各类制造企业之间，进口仿真设备价格高昂，底层算法封闭的行业痛点，一直萦绕在他心头。陈锋说：“核心技术买不来，讨不来，唯有靠自己拼出来。”

2017年，他毅然告别三尺讲台，创办合肥中科深谷科技发展有限公司，一头扎进长期被国外垄断的实时仿真赛道。创业初期团队人手紧缺、试验条件有限，一遍遍逻辑只能从零拆解。陈锋回忆，团队一遍遍对标进口设备性能，推翻、重构、再测试，终于自主研发CSPACE实时仿真控制系统，核心指标对标国际产品，顺利实现国产化替代。

攻克仿真装备只是起点，陈锋很快瞄准具身智能新赛道。研发中他发现行业普遍短板：多数机器人动作灵敏，但自主感知、决策能力薄弱，存在“小脑灵、大脑钝”的先天缺陷。2025年，他牵头创新“敏捷小脑+聪明大脑”双架构，推出BrainCSPACE通用智能系统。

“小脑负责高精度步态与运动控制，大脑融合视觉、语言大模型，自主识别环境、规划作业路径。”陈锋通俗拆解这套自研体系，依仗技术诞生的机器人“田螺”，成为省内首台套人形机器人，兼容机械臂、移动巡检设备等多类智能体，把本土具身智能研发推向行业前列。

从核心算法到一体化关节、伺服驱动等关键零部件，从单点突破到全链条布局，陈锋带领中科深谷成长为国家专精特新“小巨人”企业，产品服务于雅迪集团、电科集团、奇瑞等700余家工业企业及600余所高校科研院所，主持智能机器人相关科技项目10余项，获授权发明专利20余项，发表SCI论文近20篇。

陈锋深知，人工智能与机器人技术的普惠化，不仅关乎产业未来，更关乎国家创新生态的构建。依托中科深谷获批的“安徽省科普教育基地”，他主动向社会开放实验室，让中小学生、普通市民与智能机器人零距离互动，感受具身智能的独特魅力。

在科普之外，陈锋主动出任宣城科技服务站站长，常年带队下沉企业车间，针对产线精度优化、厂区智能化升级等实际问题定制解决方案，不少企业负责人称赞他是能扎根一线、解决真问题的实干专家。

面向未来，陈锋并未停下攻坚脚步，BrainCSPACE4.0迭代研发已全面启动。“只有核心部件站稳脚跟，‘中国智造’的机器人才能在世界的舞台上赢得真正的尊重与话语权。”陈锋坦言，接下来团队将全力推动系统升级，强化机器人自主感知决策能力，同时不断深化产学研协同联动，集中力量攻坚减速器、传感器等“卡脖子”核心零部件，夯实国产机器人全产业链自主根基。（原载于《安徽日报》2026年6月25日 记者 刘静文）