

# 可稳定循环万次的水系锌电池来了

■本报记者 李媛

手机使用一段时间后，“电池健康”数值往往会逐步下降，续航时间变短，最终不得不更换电池。这一日常体验背后，是二次电池长期面临的共性难题——循环寿命有限。如何让电池在反复充放电中保持稳定，一直是材料科学和能源存储领域的重要攻关方向。

西安电子科技大学机电工程学院系统控制与自动化团队同加拿大阿尔伯塔大学团队合作，提出了一种数据驱动的多尺度分析方法，并据此筛选和设计出钠-镁-锌三阳离子电解质体系。实验结果显示，该体系可使钒氧化物基水系锌电池实现上万次稳定循环，刷新了同类电池的循环寿命纪录。近日，相关成果发表于《先进材料》。

## 电池循环寿命不足

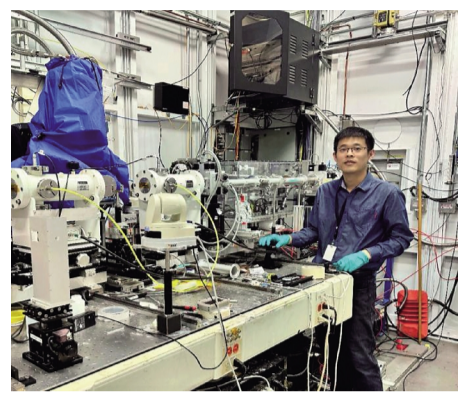
当前，消费电子、交通出行和储能产业高度依赖锂电池。锂电池能量密度高、产业链成熟，长期占据市场主流地位，但其短板不容忽视。一方面，锂资源全球分布不均，开采和提纯成本较高；另一方面，商用锂电池通常采用有机电解液，在外力撞击、异常升温、内部短路等极端情况下，可能引发热失控，存在起火甚至爆炸等安全风险。

相比之下，水系锌电池被认为是极具潜力的下一代储能技术路线之一。其电解液以水为溶剂，不使用易燃有机电解液，安全性更具优势；同时，金属锌资源丰富、成本较低，且锌负极理论比容量较高。

在该研究中，阿尔伯塔大学化学与材料工程系研究员解雪松主要负责电池材料制备与电化学验证工作。据他介绍，受水分解电压限制，水系锌电池的典型工作电压通常低于锂电池，因此其能量密度目前仍难以与锂电池全面竞争。但凭借成本和安全性优势，水系锌电池在用户侧配套储能、大型电网储能电站等规模化场景中具有广阔的应用前景，在对安全性要求较高的特种供电场景中具备推广潜力。

不过，前景可观的水系锌电池，长期受制于循环寿命不足等问题。在反复充放电过程中，钒氧化物类正极材料容易发生结构衰退和活性钒组分溶解流失，导致电池容量快速下降，难以满足长期稳定运行需求。如何缓解正极材料衰败、延长电池循环寿命，成为水系锌电池走向实际应用必须破解的难题。

解雪松解释，水系锌电池与锂电池的容量衰减具有一致性：二者在长期反复充放电过程中，都可能伴随电极微观结构受损、活性材料逐渐失效或流失，最终表现为容量下降和寿命缩短。然而，二者的衰退诱因和



解雪松在加拿大同步辐射光源CLS线站。受访者供图

反应路径并不相同。锂电池通常采用有机电解液，性能衰退往往与电极界面持续生长、活性锂离子损耗、电极结构退化等因素有关；而水系锌电池以水为电解液，虽然安全性更高，却会引起析氢、副产物生成、质子或水合锌离子异常插入等副反应。对于钒氧化物正极而言，这些过程还可能诱发钒组分溶解和晶体结构失稳，进而加速容量衰减。

“我们的思路是在保留水系电解液安全优势的同时，优化其中的阳离子组成和反应路径，尽可能抑制质子、水合锌离子等引发的副反应，从而延缓正极材料衰退。”解雪松说。通过调控不同阳离子在充放电过程中的作用顺序，研究团队希望尽可能减少破坏性副反应，延缓电极材料衰败，从而延长水系锌电池的循环寿命。

## 从“凭经验”到“有依据”

在很长一段时间里，电解液配方优化主要依赖传统试错模式。科研人员通常根据经验选择不同盐类、添加剂和配比，组装电池后进行性能测试；若效果不理想，再调整组分反复验证。这种研发方式犹如在庞大的组合空间中“摸索前进”，不仅周期长、效率低，而且容易受到经验判断的影响。更重要的是，即便某一配方表现优异，研究人员也未必能够准确判断究竟是哪种离子、哪类相互作用发挥了关键作用。

为打破传统经验试错的局限，研究团队搭建了一套数据驱动的多尺度分析框架，试图将电解液研发从“凭经验配方”推进到“有依据做设计”。负责数据驱动多尺度分析框架构建工作的西安电子科技大学博士研究生吕飞解释，团队先用密度泛函理论

模拟分析不同阳离子与钒氧化物正极的相互作用，再用小波变换对循环伏安测试信号进行多尺度分解，提取稳定性和可逆性特征，最后结合统计指标对不同阳离子及其组合进行量化比较，从而为电解液筛选提供更客观、可解释的依据。

这套方法的意义在于，它在微观离子相互作用和宏观电池性能之间建立了一条可追溯的分析路径。过去，研究人员往往只能从容量保持率、循环曲线等方面判断电池“好不好”，却难以进一步回答“为什么好”或“为什么衰退”。而多尺度分析框架如同一套“诊断工具”，帮助研究人员从复杂信号中识别稳定性变化的细节，进一步追踪性能提升或衰减背后的诱因。

依托这一框架，团队对多种阳离子及其组合进行了筛选和验证，最终确定钠-镁-锌三阳离子共存的水系电解液体系。在该体系中，钠、镁和锌离子能够在不同电位区间协同参与电化学反应，形成有序的梯度离子嵌入过程。电化学测试进一步验证了这一设计思路。搭载钠-镁-锌三阳离子电解液的锌/钒氧化物电池表现出良好的电化学可逆性和循环稳定性：在0.2安每克电流密度下，电池可稳定循环500圈，累计运行约1400小时；在5安每克高电流密度下，仍可完成10000次充放电循环。这一结果表明，通过合理调控电解液中的离子环境，可以在保持水系电池安全优势的同时，显著改善其长周期运行稳定性，为水系锌电池后续面向规模化储能场景的进一步验证提供了实验依据。

西安电子科技大学机电工程学院副教授任荻荣介绍，研究团队搭建的数据驱动多尺度分析框架，不只服务于钠-镁-锌电解液，也为水系锌电池乃至更广泛的电池材料研发提供了一种可复用思路。面对数量庞大的潜在电解液组合，该框架可先通过计算模拟、信号分解和统计分析完成初步筛选，锁定少数更具潜力的候选体系，再开展有针对性的实验验证，从而减少无效试验，提高材料筛选和配方迭代效率。任荻荣表示，相比单一电池材料性能提升，这项研究更重要的意义在于提供了一种方法论的参考。

## 实现研究范式突破

吕飞说，整个研究过程中，最大的难点并不是在于某一项技术细节，而在于跨学科方法的真正融合落地。该研究需要同时打通材料化学、计算建模、信号处理和统计分析等不同学科的研究逻辑。

不同学科研究者的“语言体系”和分析习

惯并不相同：材料研究人员通常习惯根据电化学曲线判断电池性能变化；信号处理研究者则需要将循环伏安曲线拆解为不同尺度的小波分量，从中识别趋势项、波动项和异常特征；密度泛函理论计算能够预判离子嵌入的热力学可能性，但电池实际运行还会受到溶剂化结构、界面副反应、材料结构演化等多重因素影响。

项目推进过程中，团队成员不断在讨论中完成相互“翻译”：既要使数学统计特征对应具体电化学反应，也要使实验现象反过来校准理论模型和数据分析结果。研究团队还结合原位晶体结构表征、X射线吸收谱等手段，对关键机制判断进行验证。“跨学科协作不是简单分工，而是不断校准各自的研究逻辑、术语定义和判断标准，最终形成一套可以相互印证的分析体系。”吕飞说。

比技术调试更难，是研究范式的转变。长期以来，水系锌电池电解液研究很大程度上依赖化学直觉：选择阳离子、调配电解液、组装电池，再通过循环测试判断效果。当团队首次将离散小波变换、稳健统计指标引入电化学曲线分析时也曾面临质疑：用信号处理方法解析电化学曲线，是否会把问题复杂化？

面对争议，研究团队选择用实验结果回答问题。依托这套分析框架，团队在约60小时内完成了14种单一或组合阳离子体系的多尺度特征分析和量化比较，随后开展了针对性实验验证。结果显示，前期数据分析筛选出的钠-镁-锌三阳离子体系，在实际电化学反应中确实表现出更优的循环稳定性和电化学可逆性。可重复、可验证的实验事实，最终成为推动研究范式更新的关键依据。

水系锌电池距离大规模应用还有多远？解雪松表示，这项研究针对钒氧化物正极水系锌电池的循环稳定性瓶颈提出了新的解决思路，并完成了材料体系层面的实验验证。但从实验室成果走向实际产品，仍需跨过多道关口，包括电芯工艺优化、批量制备一致性验证、第三方安全与可靠性测试，以及贴近实际工况的长周期运行评估等。

放眼中长期发展，长寿命、高安全水系锌电池有望在家庭光伏储能、基站备用电源、应急供电、户外便携储能等对安全性和成本较为敏感的场景中发挥作用。若后续工程化和产业链配套逐步成熟，这类电池有望在民用储能和备用供电领域形成差异化竞争优势，并为可再生能源高效利用、安全储能体系建设以及绿色低碳转型提供新的技术选择。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1002/adma.202522059>

## 发现·进展

中国农业科学院特产研究所

# 找到判断人参新鲜度的“标记”



新鲜人参。中国农业科学院供图

本报讯(记者李晨)中国农业科学院特产研究所特种动植物加工团队发现，芦丁和山奈酚可作为判断人参新鲜度的关键标记化合物。近日，相关研究成果发表于《未来食品》。

因水分、糖分含量高，生理代谢活跃，鲜人参采后极易腐烂变质。因此，贮藏保鲜一直是产业发展亟待解决的难题。研究表明，鲜人参在低温贮藏过程中，其脂类、黄酮等的代谢过程会持续调控人参内含物组成，同时动态影响其新鲜度的变化。研究鉴定出994种差异代谢物，并进一步证实芦丁和山奈酚可作为鲜人参新鲜度的关键标记化合物，其含量变化能直观反映鲜人参的新鲜程度。

该研究揭示了鲜人参采后贮藏的代谢调控规律，为鲜人参贮藏保鲜标志物鉴定、高效保鲜技术开发与品质评价提供了重要理论支撑。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1016/j.future.2026.101042>

中国科学院大连化学物理研究所

# 新款“仿棉”气凝胶 防寒调温效果再升级

本报讯(记者孙丹宁)近日，中国科学院大连化学物理研究所研究员史全团队研发出一种具有双重热管理功能的仿棉相变纤维气凝胶。该材料兼具相变调温与高效隔热性能，突破了传统相变调温纤维的局限，为相变材料在人体舒适环境调控中的应用提供了新的技术路径。相关成果发表于《美国化学学会能源快报》。

相变纤维可在接近恒定的温度下吸收或释放大热量，用于可穿戴动态调温。目前，薄膜或单根相变纤维缺乏足够的隔热性，在寒冷环境中难以有效阻止热量散失；现有的蓬松改性策略普遍面临相变材料泄漏、力学性能差、制备工艺复杂等问题。

针对上述挑战，团队选用聚合物体系作为纤维骨架，与相变材料复合，通过静电纺丝结合雾化辅助非溶剂诱导相分离技术，构筑了超高孔隙率的相变纤维气凝胶。该材料具有接近空气的低导热性、稳定高效的相变调温性能，以及良好的柔韧性和力学稳定性，同时具备疏水性、防风性与可水洗性，在可穿戴应用中展现出较强的环境适应能力与日常实用性。

户外模拟应用实验表明，相较于传统相变纤维薄膜和天然棉花，该相变纤维气凝胶具有更好的调温防寒性能，为轻量化、可穿戴、耐久型人体热管理纺织品的设计提供了新途径。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1021/acsenenergylett.6c00363>

华中科技大学附属同济医院等

# 新方法破解质子治疗“验靶”难题

本报讯(记者李思辉 通讯员唐瑞婕)质子治疗能像导弹一样精准爆破肿瘤，极少伤及正常组织。然而，质子束进入人体后便“隐身”了，医生很难确认它究竟有没有打到肿瘤病灶。日前，华中科技大学附属同济医院联合中国科学院深圳先进技术研究院、上海联影医疗等团队，在全球首次验证，利用紧邻治疗室的全身动态PET/CT，可成功捕捉质子治疗产生的超低活度“体内余辉”。这一发表于《核医学杂志》的最新成果，不仅为验证质子治疗是否“打准”提供了独创、及时的体内新工具，也为评估治疗后的生物安全与代谢规律提供了全新的技术平台。

据介绍，质子治疗依靠“布拉格峰”特性，将能量集中释放到肿瘤病灶，大幅减少对周边健康组织的损伤，尤其适用于儿童肿瘤、头颈部肿瘤及毗邻重要脏器肿瘤的患者。但在临床中，患者摆位的微小偏差、呼吸运动或脏器形变，都可能导致能量释放位置偏离靶区。

同济医院核医学科教授朱小华解释，质子束穿过人体时，“体内余辉”信号极其微弱，消失极快，且普通PET/CT视野有限、灵敏度不足，往往还没等患者完成转运，信号就已衰减殆尽，因此始终难以被有效捕捉。

针对这一痛点，团队构建了“近治疗室快速转运+全身动态扫描”的全新流程。患者在治疗结束后几分钟内接受全身动态PET/CT检查，首次清晰捕捉到这些转瞬即逝的“体内余辉”。研究先后在仿体、动物模型中验证了可行性，随后在19例实体肿瘤患者中进一步证实，在脑部、乳腺等相对固定部位，质子束路径与预计划高度吻合；而在肺部、肝脏等随呼吸运动的部位则观测到了一定偏差，这为医生后续动态调整治疗方案提供了精准依据。

朱小华表示，目前该技术已完成可行性验证，团队下一步将攻关剂量计算模型，全力推动该技术从试验研究迈向临床常规应用。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.2967/jnumed.126.272338>

# 这个暑假，上海科技馆“科”好玩了

本报讯(见习记者江庆龄)6月27日，上海科技馆科普品牌活动“科”好玩了——2026暑假“科”好玩了——当天，《粒子奇遇》球幕互动展演公益首映和第242期上海科普大讲坛同步上线。

《粒子奇遇》球幕互动展演结合现场真人讲解、实景舞台表演、原创背景音乐与球幕全景画面，全新打造了融合科学与艺术的沉浸式科普演出。观看过程中，观众跟随舞台叙事，进入微米、纳米、飞米等不同微观尺度场景，直观了解核裂变、核聚变的能量转化过程，认识夸克、中微子等基础粒子，理解阐释物质构成的粒子标准模型。

第242期上海科普大讲坛也是江门中

微子实验(JUNO)首项顶刊物理成果的科普首发专场。6月10日，江门中微子实验团队的研究成果以封面文章的形式发表于《自然》。上海交通大学教授孟月在现场向公众介绍了这项成果，并深度解读了精确测量中微子振荡参数对粒子物理、宇宙探索的深远意义。

“科”好玩了——2026暑假“科”好玩了15大特色科普品牌，覆盖球幕沉浸式多媒体互动秀、科创实践营、VR数字剧场等内容，活动周期从6月底横跨至8月底。

▶《粒子奇遇》球幕互动展演。上海科技馆供图

# 1亿年前的螨虫不仅会“排队”，还系“安全绳”

■本报记者 张楠

在自然界中，“排队”似乎是一种高级的集体智慧，能帮助动物更高效地迁徙、觅食或防御。从热带雨林中首尾相接行进的松毛虫，到海底排成一列迁徙的眼斑龙虾，再到人们熟悉的蚂蚁，都存在排队行为。

然而，这种行为在漫长的地球历史中是如何演化的，目前仍缺乏有力证据。动物行为化石本就极为罕见，其中关于“排队”的证据更是凤毛麟角。此前，科学家仅在寒武纪的海洋甲壳类和奥陶纪的三叶虫中发现过疑似排队的化石，而在陆生生态系统中，这一领域长期处于空白。

直到最近，科学家发现了1枚1亿年前的琥珀，恰巧封印了一支“微型远征军”的行进瞬间。

## 琥珀里的定格

近日，中国科学院南京地质古生物研究所(以下简称南京古生物所)黄迪颖团队在白垩纪中期的缅甸琥珀中，发现了迄今最早的陆生节肢动物排队行为化石证据。相关成果发表于《英国皇家学会学报B:生物科学》。

在这枚仅有指甲盖大小的琥珀中，封印着一幅奇妙的远古画面：13只体形微小的幼

螨首尾相接，体轴方向高度一致，排列成一条近乎完美的直线。尽管树脂流动让个别个体位置微偏，但整体队形依然整齐。研究人员认为，这并非偶然的聚集，而是一支正在执行集体迁徙任务的队伍。

经鉴定，这些幼螨属于蛛形纲赤螨科，被命名为新属种——原丝列队螨。

它们体长不到1毫米，却长着至少3倍于体长的“大长腿”。在队列中，相邻个体间长长的步足相互接触。科学家推测，这种“腿碰腿”的触觉反馈，是它们在缺乏视觉的情况下维持直线队形的重要方式，犹如盲人借助手杖保持步调一致。

## 首现吐丝互连的“安全绳”

如果仅靠触觉排队，还不足以让学界如此激动。真正令人惊叹的，是化石中发现的“黑科技”——丝线连接。

在高分辨率显微镜下，研究人员发现，幼螨超长的步足上，保存着直径仅1到3微米的细丝。这些细丝并非杂质，而是会精准连接在相邻两只幼螨的腿部。这意味着，这支“远征军”不仅“手拉手”，

还懂得使用“安全绳”。当树脂流动导致腿部接触中断时，柔韧的丝线就像机械牵引索，将个体重新拉紧，防止“掉队”。

黄迪颖向《中国科学报》介绍，更罕见的是，琥珀“定格”了一只幼螨正在吐丝的瞬间。利用激光共聚焦显微成像技术，科研人员清晰地观察到其头部前端(螯肢基部)正在分泌丝线。现生螨虫吐丝器官位置多样，而原丝列队螨的吐丝器位于头部。

这不仅是螨虫利用丝线的首个化石证据，更揭示了螨虫吐丝能力在演化中“多源发生”的现象。

## “排队”竟是为了“脱单”

南京古生物所博士研究生宣强认为，这些微小的螨虫大费周章地排队出行，甚至不惜消耗能量吐丝，背后隐藏着生存与繁衍的智慧。

现生赤螨科幼螨是活跃的体外寄生虫，必须寄生在其他昆虫身上吸取体液才能发育。但幼螨自身运动能力极弱，必须通过“搭便车”(携寄行为)，依赖宿主进行扩散。这就面临一个严峻的“脱单”危机：若只有一只幼螨幸运地爬上宿主被带走，成年后将面临找

不到配偶的绝境，基因传承就此断绝。

为解决这个问题，它们演化出了“超寄生”策略，即多只同种幼螨共同寄生在同一宿主身上，排队迁徙正是实现该策略的完美战术。集体行进能协同感知环境，提高定位宿主的概率；而吐出的丝线“安全绳”，则能在宿主剧烈挣扎时提供物理保护，确保幼螨不被甩飞，牢牢“抱团”寄生。

另一块琥珀标本完美佐证了这一点：3只同种幼螨与1只双翅目昆虫呈直线排列，口器正对着昆虫腿部，生动还原了它们排队“登船”甚至正在实施寄生的瞬间。

有趣的是，这种精妙的行为在现代螨虫中却消失了。团队推测，随着白垩纪以来生态系统的剧变，现代螨虫演化出了更节能的“守株待兔”策略——它们会识别并趴在宿主的背上，等待宿主羽化后直接“拎包入住”，从而省去了排队迁徙的巨大能量消耗。

“这种行为的丢失，恰恰反映了生物演化中没有绝对的‘最优解’，只有适应环境的‘最适解’。”宣强表示，这项发现证明，即便是微小的螨虫，也拥有令人惊叹的行为复杂性。

相关论文信息：  
<https://doi.org/10.1098/rspb.2026.0271>