

中国科大实现微孔框架离子膜内近似无摩擦的离子传导

本报讯 4月26日，中国科大徐铜文教授、杨正金教授团队与合作者，针对离子膜普遍存在的“传导性-选择性”相互制约关系，提出一类新型三嗹框架聚合物离子膜。基于刚性通道的限域效应和通道内的“离子配位”机制，这类膜材料展示出了近无摩擦的离子传递，实现了水系有机液流电池快充，电池充放电电流密度达到500 mA/cm²，是当前普遍报道值的5倍以上。相关成果发表于《自然》。

离子膜在清洁能源、节能减排、能量转换与储存等方面拥有广阔应用前景。我国科学家设计了一类新型离子膜，首次实现膜内近似无摩擦的离子传导，有望大幅提升液流电池等储能装备的效率。

离子膜是液流电池、燃料电池等电化学器件或装备的关键部件，它既要阻隔正负极间活性物质，防止短路，又要保证离子在充放电过程中高效通过，减少损耗，而传统离子膜普遍存在传导性、选择性相互制约的难题。

“就像用筛子筛沙，最好的筛子是既能阻隔粗沙（选择性），又能使细沙快速通过（传导性）。但是，筛孔小的，细沙流得也慢；筛孔大的，粗沙细沙都能过去。”徐铜文说，离子膜的研究重点，就是在膜内构筑仅允许“细沙”快速通过的高效通道。

此项研究中，团队创新性地设计了一种具有贯通亚纳米离子通道的微孔框架离子膜材料，同时在通道中进行了化学修饰，不仅解决了传统离子膜材料中离子通道老化和吸水

溶胀问题，还兼具高选择性和高传导率。

据介绍，在这种膜内，离子实现了近似无摩擦传导。使用这种膜组装的液流电池，充放电电流密度可达每平方厘米500毫安，是当前同类产品数值的5倍以上。《自然》审稿人认为，这种离子膜在液流电池中展示出了非凡的性能。

“该成果涉及的微孔框架离子膜的设计理念，还可拓展至其他功能化框架聚合物膜，并以此为基础进行高性能膜材料的定向设计。”杨正金说。

中国科大化学与材料科学学院博士后左培培、英国爱丁堡大学叶纯纯和中国科大本科毕业生焦中任为论文共同第一作者。

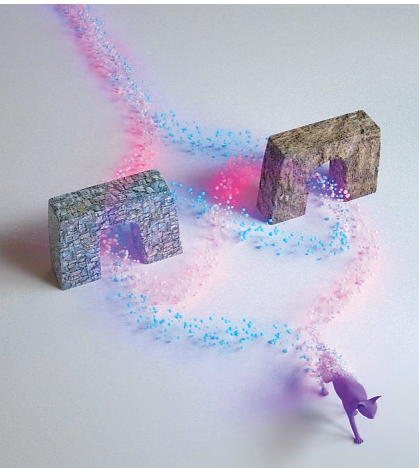
（张泉）

中国科大实现超越海森堡极限精度的量子精密测量

本报讯 5月1日，我校郭光灿院士团队的李传锋、陈耕等人与香港大学同行合作，利用量子不确定因果序实现了超越海森堡极限精度的量子精密测量。研究成果发表于《自然·物理》。

量子精密测量致力于把量子力学原理运用到各种测量任务中以实现超过经典极限的测量精度。海森堡极限被认为是利用量子方法和资源所能达到的最终极限。之前国际上曾有一些工作声称超越了海森堡极限，然而这些工作利用了非线性效应或者包含了含时的哈密顿量，引起了广泛讨论，最终被理论上证明在以能量等作为规范化资源定义的前提下仍然会遵循海森堡极限。

近年来，学术界提出一种新的量子结构，即量子不确定因果序。量子力学的叠加原理不仅允许不同量子本征态之间的叠加，也允许两个事件处于两个相反时序的量子叠加。这样一种新型的量子资源已经被证实可以在特定的量子计算和量子通信任务中提供优势，然而此前工作都是基于离散变量体系，未能直接应用于量子精密测量任务中。



量子不确定因果序的示意图

李传锋、陈耕等人设计了一种全新的杂化量子装置，即用一个离散量子比特控制光

子两组连续变量的演化时序，实验实现了不确定因果序，从而实现了演化产生的几何相位的超海森堡极限的精密测量，即测量的不确定度 δA 反比于独立演化过程的次数N的平方（ $\delta A \propto 1/N^2$ ）。实验结果表明，这种新方法在实验演示的范围内获得了对确定因果序方法理论上的最高测量精度，即海森堡极限（ $\delta A \propto 1/N$ ）的绝对优势，实验结果逼近了理论上的超海森堡极限。

该实验使用单个光子作为探针，不存在光子间的相互作用，且单次测量所需要的能量不超过单个光子的能量，从而实现了首个在规范化资源定义下超越海森堡极限的实验工作。实验实现的相对于确定因果序方法的提升可以直接转化为在实际测量任务中的现实优势。

该实验对不确定因果序和量子精密测量的理解均带来了重要影响。中科院量子信息重点实验室已毕业博士研究生殷鹏、香港大学博士生赵晓斌为论文共同第一作者。

（中科院量子信息重点实验室 物理学院 中科院量子信息和量子科技创新研究院）

在丙烯电催化氧化制1,2-丙二醇领域中国科大取得新进展

人通过构筑一种具有可逆动态互变结构的分子催化剂，打破对关键中间物种的线性标度关系，实现对丙烯高效电催化氧化制1,2-丙二醇过程。相关成果发表于《美国化学会》，并被选为当期封面文章（如图）。

1,2-丙二醇是一种理想的化工原料，其广泛应用于生产不饱和聚酯树脂、药品和防冻剂等。

在本工作中，研究人员设计出一种具有可逆动态互变结构的吡啶银分子催化剂。由于N-H和氧物种*OH之间的氢键作用，具有吡咯N-H结构的吡啶银催化剂对氧物种*OH具有较强的吸附，促进水解离生成*OH；吡咯N-H结构易于发生去质子化，形成H空位导致氢键作用消失。具有H空位结构的吡啶银催化剂对氧物种*OH的吸附减弱，进而加速

*OH与丙烯耦合。随后，H空位与质子氢复合，重新形成具有吡咯N-H结构的吡啶银。吡啶银催化剂结构的动态互变使其具有可变的*OH吸附能，进而打破对*OH吸附能的线性标度关系，有效提升丙烯电催化氧化制1,2-丙二醇活性。

性能评估表明，在施加相对于银/氯化银电极为2.0 V的工作电位下，吡啶银催化剂生成1,2-丙二醇的产率高达288.9 mmol gcat⁻¹ h⁻¹，比迄今为止报道的最优电催化剂性能高一个数量级。

耿志刚副教授为该论文的通讯作者，博士生柯景文、迟明芳和特任副研究员赵建康为论文的共同第一作者。

（合肥肥尺度物质科学国家研究中心）



本报讯 近日，中国科大耿志刚副教授等

中国科大揭示太阳爆发的重构过程

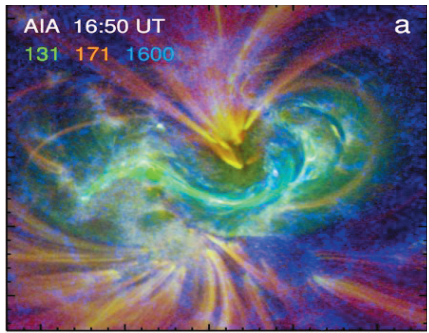
本报讯 5月4日，中国科大日地空间物理研究团队发现爆发结构在早期爆发过程中发生了复杂的重构演化，研究成果发表于《自然·天文学》。

太阳爆发活动的一个主要表现形式是日冕物质抛射，即太阳大气中缓慢积累的磁能在短时间内被剧烈地释放出来，将局部大气加热到上千万度——被称为耀斑，并产生大量高能粒子，同时上亿吨携带着磁场的日冕物质被抛射到行星际空间。在接下来几天内，它将扰动整个太阳系的空间环境，尤其是影响现代社会中的各种高技术系统，包括航天、航空、通讯、电网等。

自上世纪70年代被发现以来，日冕物质抛射一直是太阳和日地空间物理关注的焦点。研究团队对发生在2014年教师节的日冕物质抛射事件进行了深入研究，经过多方探索和仔细分析，发现爆发前形成的磁绳结构在爆发

过程中经历了一系列复杂的剥蚀、瓦解和重建。观测证据表明，爆发前具有S形结构的磁绳从小尺度的“种子”发展而来，这一过程也为研究团队前期的研究成果提供了不同角度的重要佐证。爆发开始时，磁绳的足点被低层大气中一个梯形的亮带清晰地勾勒出来；在随后的剧烈爆发过程中，爆发结构的足点由于物质缺失表现为日冕中的暗化区。伴随着太阳色球耀斑带的高度动态变化和日冕暗化区域的随之漂移，爆发结构的足点位置发生了剧烈的迁移，与爆发前磁绳的足点区域几乎没有交集；而根据经典图像，表征爆发结构足点的日冕暗化区本应覆盖原有磁绳的足点。耀斑带末端则呈现极度不规则的形态以及来回拉锯式的运动，揭示磁绳内部以及磁绳与周围磁场间发生着复杂的三维磁场重联。

这些现象表明，爆发过程中的三维磁场重联将原有磁绳的磁通量几乎完全替换。这一研



爆发前磁绳结构的形成

究揭示了以前鲜有报道的复杂三维磁重联的细节过程及其在日冕物质抛射形成中的重要作用，同时为行星际空间复杂抛射结构的产生提供新的物理解释，也为空间天气预报带来启示。

该工作第一作者为地球和空间科学学院原特任副研究员苟廷玉。苟廷玉和刘睿教授为文章共同通讯作者。

（地球和空间科学学院）

我校揭示深地震物理过程的统一规律

本报讯 5月1日，中国科大李泽峰课题组利用机器学习对全球3000余个中大震级地震进行了系统分析，证明了深地震破裂过程和震源参数的差异由地球刚度随深度变化导致，与地震的具体产生机制无关，纠正了该领域长达三十年的错误解释。该研究成果发表于《自然·地球科学》。

深地震是指震源深度超过60公里的地震。由于地球深处高温高压，岩石表现出塑性形变，深地震的产生机制与浅地震的脆性破裂有所不同。关于深地震成因有许多猜想，但至今仍没有定论。

李泽峰课题组创新性地设计了一系列机器学习实验，对全球3000多个中大地震进行了分类和相关性分析。结果证明浅地震和深地震的破裂过程差异都可以被随深度变化的地球刚度所定量解释，而与具体的地震产生机制无关。这一发现挑战了传统的地震应力降不变假设，转而支持了应变降不变，即断层滑移距与断层破裂长度比值对不同深度、不同介质下的地震均保持恒定。该理论预测发生在岩石刚度较低的浅地地震（如海啸地震）会有更长的持续间以及更大的破裂面积，可能造成超出预期的破坏，对地震预警以及地震灾害评估具有重要意义。

研究团队据此提出了新的基于介质刚度校正的地震标度律，将地震学界沿用超过半个世纪的自相似理论拓展到不同深度不同岩石种类的地震。传统地震标度律认为持续时间和破裂面积遵从相同的缩放关系，但这一关系并不适用于不同深度的地震。新的地震标度律考虑到不同深度的地震的持续时间和破裂面积会受其破裂区岩石刚度影响，增加了对岩石刚度的校正，使得不同深度不同介质的地震持续时间和破裂面积都会遵循相同的缩放关系。新的地震标度律深化了我们对地震物理本质的理解。

本文第一作者是中国科大地球和空间科学学院博士研究生崔鑫，李泽峰研究员为通讯作者，合作者包括胡岩研究员。中国科大是本研究的唯一完成单位。

（地球和空间科学学院）

科研简讯

○4月24日，我校高分子科学与工程系梁好均教授课题组针对自组装领域中远离平衡态组装系统出现的亚稳态问题，提出了一种新的解决方法。相关成果在线发表于美国《国家科学院院刊》。

○4月25日，我校徐宁教授研究组与复旦大学物理系谭鹏教授研究组合作，运用分子动力学模拟，细致深入地探讨了“低温”区间的早期成核过程，发现了两个特征温度，这两个温度把整个温度区间划分为三个部分。相关成果在线发表于《物理评论快报》。

○近日，我校龙冬教授课题组发展了针对膜-蛋白二元体系的顺磁弛豫增强分析技术，实现对外周膜蛋白取向图景的高精度刻画。该工作发现并定量解释了常规膜顺磁弛豫增强实验中膜内自旋探针泊松分布对质子顺磁弛豫增强速率的扭曲效应，并对不同定性和定量顺磁弛豫参数的失真程度给出了理论评估和实验验证。相关成果发表于《美国化学会志》。