



## 中国科大实现百公里自由空间高精度时间频率传递



图注：百公里高精度时频传递实验示意图

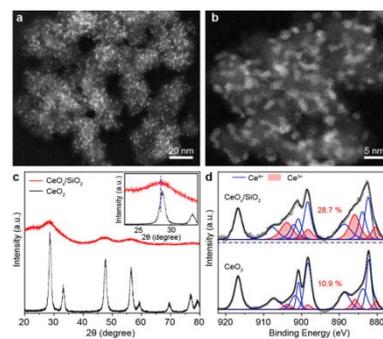
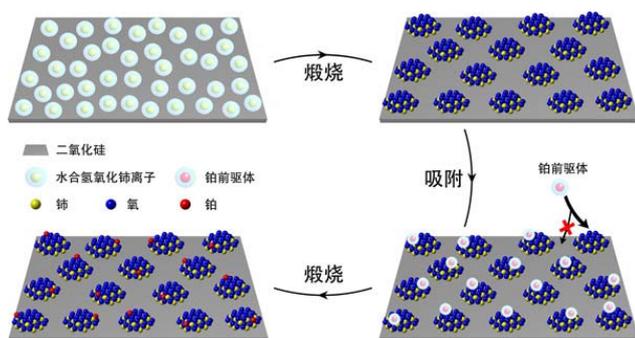
近日，中国科学技术大学潘建伟及其同事张强、姜海峰、彭承志等与上海技物所、新疆天文台、中科院国家授时中心、济南量子技术研究院和宁波大学等单位合作，通过发展大功率低噪声光梳、高灵敏度高精度线性采样、高稳定高效率光传输等技术，首次在国际上实现百公里级的自由空间高精度时间频率传递实验，时间传递稳定度达到飞秒量级，频率传递万秒稳定度优于 $4E-19$ 。实验结果有效验证了星地链路高精度光频标比对的可行性，向建立广域光频标网络迈出重要一步。该成果发表于国际著名学术期刊《自然》杂志。

近年来，基于超冷原子光晶格的光波段原子钟（光钟）的稳定度已进入 $E-19$ 量级，将形成新一代的时间频率标准（光频标），结合广域、高精度的时间频率传递可以构建广域时频网络，将在精密导航定位、全球授时、广域量子通信、物理学基本原理检验等领域发挥重要作用。例如，当全球尺度时频传递的稳定度达到 $E-18$ 量级时，就可形成新一代的“秒”定义，2026年国际计量大会将讨论这种“秒”的重新定义。进一步，高轨空间具有更低的引力场噪声环境，光频标和时频传递的稳定度理论上能够进入 $E-21$ 量级，有望在引力波探测、暗物质搜寻等物理学基本问题的研究方面产生重大应用。然而，传统的基于微波的卫星时频传递稳定度仅有 $E-16$ 量级，不能满足高精度时频网络的需求。基于光频梳和相干探测的自由空间时频传递技术，稳定度可以达到 $E-19$ 量级，是高精度时频传递的发展趋势，但此前国际上的相关工作信噪比低、传输距离近，难以满足星地链路高精度时频传递的需求。

在本工作中，研究团队发展了全保偏光纤飞秒激光技术，实现了瓦级功率输出的高稳定光频梳；基于低噪声平衡探测和集成干涉光纤光路模块，结合高精度相位提取后处理算法，实现了纳瓦量级的高灵敏度线性光学采样探测，单次时间测量精度优于100飞秒；进一步提升了光传输望远镜的稳定性和接收效率。在上述技术突破的基础上，研究团队在新疆乌鲁木齐成功实现了113公里自由空间时频传递，时间传递万秒稳定度达到飞秒量级，频率传递万秒稳定度优于 $4E-19$ ，系统相对偏差为 $6.3E-20 \pm 3.4E-19$ ，系统可容忍最大链路损耗高达89dB，远高于中高轨星地链路损耗的典型预期值（约78dB），充分验证了星地链路高精度光频标比对的可行性。

审稿人高度评价该工作：“该工作是星地自由空间远距离光学时间频率传递领域的一项重大突破，将对暗物质探测、物理学基本常数检验、相对论检验等基础物理学研究产生重要影响（The manuscript describes a major breakthrough into the realization of free-space satellite-based long range optical time and frequency dissemination, with impacts for fundamental physics (search for dark matter, test of fundamental constant, test of relativity...)。”

## 《自然》：“动而不聚”的原子级分散催化剂突破活性和稳定性矛盾



氧化铈“纳米岛”稳定铂原子催化剂的合成过程示意图。

负载在氧化硅上的氧化铈“纳米岛”的结构表征。

中国科学技术大学曾杰课题组、华盛顿州立大学Yong Wang课题组、加利福尼亚大学戴维斯分校Bruce C. Gates课题组和亚利桑那州立大学刘景月课题组合作，在《自然》杂志发表了题为“Functional CeOx nanoglues for robust atomically dispersed catalysts”的文章。该工作报道了一种“纳米岛”限域的原子级分散催化剂，突破了传统催化剂活性和稳定性的矛盾。

在多相催化中，原子级分散的金属催化剂因具有独特的几何和电子特性、最高的原子利用效率和均匀的活性位点，而备受关注。然而，高度分散的金属原子或因高表面能而移动团聚，稳定性差；或因与载体作用过强而固定不动，导致活性位点钝化。因此，如何获取“动而不聚”的金属活性位点，从而打破催化剂活性和稳定性的对立矛盾，一直是催化领域悬而未解的难题之一。

鉴于此，研究人员设计出一种“纳米岛”型催化剂，即活性金属原子被隔离在“岛”上，可在各自的“岛”内移动但跨“岛”迁移受阻，进而实现原子的动态限域稳定。研究人员在设计的模型催化剂中选取和金属作用强的氧化物作为“岛”（例如氧化铈），作用弱的氧化物作为支撑“岛”的载体（例如氧化硅）。

其次，为了高效地分隔金属原子，“岛”需要有足够高的密度和足够小的尺寸。传统的制备方法（例如固液混合浸渍法等）容易造成“岛”的尺寸过大且不均匀。研究人员开发出一种液相静电吸附的合成方法，首先将高密度的铈原子附着在氧化硅表面，随后使其自下而上受控团聚为仅2纳米的孤立“岛”。

随后的难点在于将金属原子准确地放置在“纳米岛”上。为此，研究人员再次借助液相静电吸附法，并巧妙的利用零电点原理，使氧化铈岛和氧化硅载体表面分别带上相反电荷。由于异性电荷相互吸引的作用，负电性的铂前驱体只会被选择性地吸附在带正电的氧化铈“纳米岛”上，而不会在带负电的氧化硅载体上，从而实现了铂原子的择优生长。由于小尺寸“纳米岛”的吸附面积有限，通过控制铂前驱体浓度，就可以实现平均每个“岛”上不超过一个铂原子的目标。

稳定性研究表明，氧化铈“纳米岛”上的铂原子可以抵抗高达600摄氏度的空气煅烧。特别地，铂原子在高温下的氢气氛围中只会限定在“岛”内移动，不会跨“岛”团聚，实现了活性位点的“动而不聚”。经此活化后的催化剂，在催化一氧化碳氧化反应的活性提升两个数量级并兼具高稳定性。

这一工作为突破催化剂活性和稳定性的矛盾提供了新的解决思路。未来，通过选择特定材料的载体、“纳米岛”和活性金属原子，有望将该“纳米岛”类型催化剂应用于不同的催化反应。



## 研究进展

# 全球首个数据智能驱动的全流程机器化学家



图注：全球首个数据智能驱动的全流程机器化学家



图注：移动机器人和智能工作站完成高通量合成、表征、测试的化学实验全流程

在中国科学院“数据驱动的化学、材料和生物科学的机器科学家”青年团队计划和国家自然科学基金委项目（批准号：22025304, 22033007）的资助下，中国科学技术大学罗毅、江俊教授团队与自动化系尚伟伟等合作，通过开发和集成移动机器人、化学工作站、智能操作系统、科学数据库，研制出数据智能驱动的全流程机器化学家。相关研究成果发表在《国家科学评论》（Natl. Sci. Rev.）上。

化学研究的对象日益复杂化、高维化，传统的研究范式主要是依赖于“穷举”、“试错”的手段。面对庞大的化学空间，配方和工艺的搜索常常止步于局部最优，无法进行全局探索。中科大机器化学家平台实现了大数据与智能模型双驱动下的化学合成-表征-测试全流程开发，在软硬件方面已全面超过欧美同类装置，作为唯一搭载了计算大脑、理论模型和开放式操作系统的智能平台，它具有更强的化学智能和广泛的化学品开发能力，目前已涵盖光催化与电催化材料、发光分子、光学薄膜材料等，且适用范围将随平台升级和拓展继续扩大。

该平台可采用机器智能去查找和阅读文献，从海量研究数据中汲取专家经验，在前人知识与数据的基础上提出科学假说并制定实验方案；调度2台移动机器人和15个自主开发的智能化学工作站，完成高通量合成、表征、测试的化学实验全流程；通过配套的后台操作系统，实现了数据的自动采集、处理、分析和可视化，并装载了云端数据库，可实时调用和更新数据库信息；独有的计算大脑通过调用物理模型、理论计算、机器学习和贝叶斯优化，让智能模型融入底层的理论规律与复杂的化学实验演化，使得机器科学家更加理解化学，更加擅长化学创造。

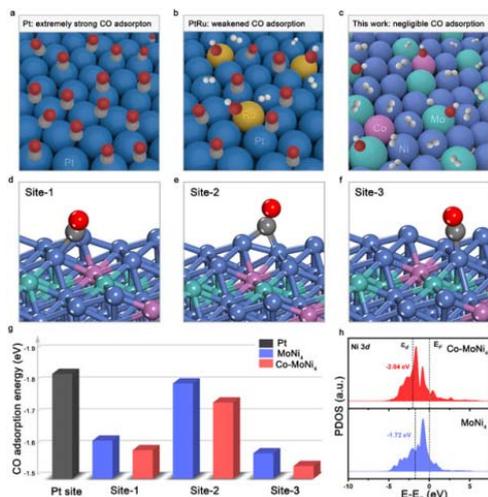
以潜力巨大的高熵化合物催化剂为例，其多种元素的高度无序混合带来了高稳定性，也给人工试验找出最优配比带来了极大挑战。获得最优配方需要遍历测试极其庞大的化学配比组合，目前仅限于对最多3种金属组合进行优化。而机器化学家发挥其数据驱动和智能优化的优势，智能阅读16000篇论文并自主遴选出5种非贵金属元素，融合2万组理论计算数据和207组全流程机器实验数据，建立了理实交融的智能模型，指导贝叶斯优化程序从55万种可能的金属配比中找出最优的高熵催化剂，将传统“炒菜式”遍历搜索所需的1400年缩短为5周。

国际审稿人评价该成果的“机器人系统、工作站和智能化学大脑都是最先进的”，“将对化学科学产生巨大影响”。该工作脱离了传统试错研究范式的限制，展现了“最强化学大脑”指导的智能新范式的巨大优势，引领化学研究朝着知识理解数字化、操作指令化、创制模板化的未来趋势前进，确立了我国在智能化学创新领域的全球领跑地位。



## 研究进展

### 中国科大研制出高抗CO毒化的 燃料电池阳极



图注：理论计算。(a-c) CO吸附示意图；(d-f) Co-MoNi<sub>4</sub>(211)的CO吸附位置示意图；(g) CO吸附能对比图；(h) 镍的3d态密度图。

近日，中国科学技术大学高敏锐教授课题组与杨晴教授课题组合作，通过引入少量钴改良铂镍合金催化剂，创制出一种低成本、CO耐受性好的非贵金属氢氧化催化剂。相关成果发表在《德国应用化学》上。

理论计算研究发现，将钴引入铂镍合金中，镍位点上的CO吸附能显著降低。这是因为钴引入后会带来缺电子的镍位点，削弱了镍的d轨道对CO的2π\*的电子“反向供给”，有利于降低催化剂对CO的吸附能力。态密度图结合系列电子结构表征揭示Co-MoNi<sub>4</sub>催化剂的d带中心远离费米能级，电子“反向供给”不能有效发生，有望带来高的CO耐受性。

旋转圆盘电极测试表明，当氢气燃料中含有500 ppm CO时，催化剂循环10000次后活性几乎不衰减。研究人员进一步考察了催化剂在膜电极组装下的抗CO毒化性能，发现即使在含有250 ppm CO的氢气燃料中，Co-MoNi<sub>4</sub>催化剂也能提供394 mW cm<sup>-2</sup>的峰值功率密度，超过Pt/C催化剂的209 mW cm<sup>-2</sup>。而在纯氢燃料中，该催化剂的峰值密度可达到525 mW cm<sup>-2</sup>，处在目前非贵金属催化剂前列。

该工作被评选为VIP论文和Frontispiece（卷首插画）论文。

### 中国科大在过渡金属氧化物薄膜室温 反常霍尔效应研究中取得重要进展

中国科学技术大学合肥微尺度物质科学国家研究中心的王凌飞、吴文彬教授课题组与西北大学物理学院的司良教授合作，在钙钛矿结构过渡金属氧化物薄膜的磁输运性质研究中取得重要进展。该研究团队生长了高质量的铁磁半金属性锰氧化物外延薄膜（La<sub>2/3</sub>Sr<sub>1/3</sub>MnO<sub>3</sub>），并通过在薄膜中引入Ru元素掺杂诱导了可观的自旋阻挫效应和室温下3个数量级的反常霍尔电阻增强。相关成果发表在《先进材料》（Advanced Materials）杂志上。

如何在室温条件下增强过渡金属氧化物体系的反常霍尔效应，目前仍然是一个极具挑战的课题。一方面，3d族过渡金属氧化物（如锰氧化物，铁氧体等）具有较强的磁交换作用，居里温度多高于室温，但是本征的自旋-轨道耦合很弱，产生的反常霍尔电阻仅在nΩ·cm量级。另一方面，4d、5d族过渡金属氧化物（如钌氧化物，铱氧化物等）具有较强的自旋-轨道耦合，能观测到μΩ·cm量级甚至更大的反常霍尔电阻，但这些体系的磁交换作用相对较弱，居里温度多在100 K以下，远低于室温。

针对上述挑战，研究团队选取典型铁磁性半金属性锰氧化物La<sub>2/3</sub>Sr<sub>1/3</sub>MnO<sub>3</sub>体系制备高质量外延薄膜，通过引入并优化Mn原子位点的Ru元素掺杂将这一体系室温的反常霍尔电阻提升了3个数量级。研究团队通过多种实验和理论手段配合，进一步揭示了反常霍尔效应增强的物理机制：Ru元素掺杂将会诱导Mn-Mn铁磁交换作用与Mn-Ru反铁磁交换作用的竞争，产生局域的自旋阻挫（spin frustration）并增强自旋极化载流子受到的螺旋散射（skew scattering），进而增大了薄膜的反常霍尔效应。

该工作利用简单的化学掺杂手段巧妙调和了过渡金属氧化物中高铁磁居里温度和强反常霍尔效应之间的矛盾，首次实现了氧化物体系室温下μΩ·cm量级的反常霍尔电阻，大大提升了La<sub>2/3</sub>Sr<sub>1/3</sub>MnO<sub>3</sub>这一经典的室温铁磁半金属体系在自旋电子学领域的实用潜力。更重要的是，考虑到化学掺杂方法的通用性和可行性，这一增强反常霍尔效应的实验手段也可推广到其他磁性和关联电子体系，为提升自旋电子学器件中磁性状态的调控和读取精度提供新的思路。