

中国科大机器化学家用火星陨石创制产氧催化剂

本报讯 近日，中国科大罗毅教授、江俊教授、尚伟伟副教授团队与深空探测实验室张哲研究员等合作，采用中国科大机器化学家“小来”平台，高效融合人工智能和自动化机器实验，利用火星陨石制备出实用的产氧电催化剂，在2个月内就完成了需要穷举2000年才能完成的复杂优化工作。这一具有里程碑意义的研究成果发表在国际期刊《自然·合成》上，并被编辑选为当期热点论文予以专门推荐。

移居火星，是人类的梦想。然而，首先要克服的是缺乏氧气的火星环境。火星上存在水资源的可能，为利用太阳能驱动的电催化析氧反应制备氧气提供了机遇，由于人类无法在无氧的火星环境下长期生存，在火星上就地取材创制催化剂成为一个难以逾越的屏障。

“小来”通过其精准的自动化操作能力，能够执行高通量实验任务，与此同时其“计算大脑”同步进行量子化学仿真模拟，通过融合理论大数据和实验小数据产生具有预测能力的机器学习模型，最终调用贝叶斯优化算法预测并机器验证全局最优的催化剂的配



智能机器人火星探矿制氧假想图

方。这种理实交融的研究范式极大地加速了新材料的发现过程，能够从数百万种可能配方中迅速识别最佳组合。

机器化学家系统利用火星陨石实现产氧催化剂无人化创制的工作流程，系统包括移动机器人、计算大脑、云服务器和多个不同功能的化学工作站。内外双循环的机器自动化过程集成了原料准备、样品合成、性能表征和配方优化步骤。

该工作成功展示了在地外星系上因地制宜创制化学品的智能化全流程，为未来地外文明探索提供了新的技术手段，对我国在未来月球、火星空间站上实现星际资源原位综合利用建立了独特的方案。国际审稿人评价道：“本文报道了通过机器化学家系统在火星上合成OER催化剂的令人兴奋的方法”，“作为人工智能和自动化相结合的典型案例，在充满挑战的环境下设计和制造复杂材料”。

论文第一作者为中国科大朱青博士，共同第一作者为黄炎博士、周东来博士和赵路远博士，通讯作者为尚伟伟副教授、江俊教授和罗毅教授。

（化学与材料科学学院）

中国科大实现基于器件无关量子随机数信标的零知识证明

本报讯 近日，中国科大潘建伟、张强等与上海交通大学郁昱、清华大学马雄峰、南方科技大学范清云等研究者合作，首次实现了一套以器件无关量子随机数产生器作为熵源，以后量子密码作为身份认证的随机数信标公共服务，将其应用到零知识证明(ZKP)领域中，消除了非交互式零知识证明中实现真随机数的困难所带来的安全隐患，提高了非交互式零知识证明的安全性。11月2日，相关成果发表于国际学术期刊《美国国家科学院院刊》。

零知识证明是一种基本的密码学工具，允许互不信任的通信双方之间，一方向另一方证明某个命题的有效性，同时不泄露任何额外信息。非交互式零知识证明是ZKP的一种最重要的变体，其特点是通信双方无需多次信息交

换。由于其简单易行并且互相通信次数少，非交互式零知识证明广泛应用于数字签名、区块链和身份认证等领域。常用的非交互式零知识证明系统的安全性建立在生成可信的真随机数的假设之上，然而，实际应用中，由于真随机数生成器难以实现，通常会使用确定性的伪随机数算法来替代。此前已有研究指出，这种方法会产生潜在的安全隐患。

量子物理学的内禀随机性为解决这一安全隐患提供了全新方案。特别地，基于无漏洞贝尔不等式检验的器件无关量子随机数(DIQRNG)可以提供具有最高安全等级的真随机数，其安全性由量子力学基本原理保证，无需用户对量子设备进行任何先验表征或假设。研究团队于2018年在国际上首次实现可

抵御量子攻击的DIQRNG，随后于2021年提升了随机数产生速度。

在该工作中，研究团队搭建了一个基于器件无关量子随机数的信标公共服务系统，并利用该系统设计并实施了一种不依赖于真随机数假设的非交互式零知识证明方案。该随机数信标服务可以实时向公众广播生成的随机数。此外，为确保随机数在广播过程中的安全性，研究团队采用了可以抵御量子攻击的量子安全签名算法。随后，研究团队利用接收到的来自DIQRNG的随机数代替之前的伪随机数，构建并实验验证了更安全的非交互式零知识证明协议。

该研究工作首次将量子非局域性、量子安全算法和零知识证明三个不同的领域结合起来，大幅提升了零知识证明的安全性，其中构建的面向公众的随机数服务在密码学、彩票业和社会公益等领域有着重要的潜在应用。

（合肥微尺度物质科学国家研究中心 物理学院 中国科学院量子信息与量子科技创新研究院）

中国科大发现细菌游动的鲁棒性新机制

本报讯 中国科大物理学院、合肥微尺度物质科学国家研究中心张格京和袁军华研究组在细菌运动机制的研究中取得重要进展，通过定量测量细菌在自由液体环境下游动时的力学条件及相关马达的构成，澄清了在这一领域长期存在的关于马达高负载假设的误解，并揭示了这种构成如何促进细菌运动的鲁棒性机制。11月3日，相关成果发表在《科学进展》上。

细菌的运动对于其生存和感染宿主至关重要。由细菌鞭毛旋转驱动的游动是细菌最为典型的运动机制。对于大肠杆菌来说，每个细菌身上通常有3至7根鞭毛，每根鞭毛底部由一个转动分子马达(即鞭毛马达)驱动。当细菌身上的所有鞭毛马达逆时针旋转时，鞭毛会成束，从而推动细菌游动。每个鞭毛马达由转动部分(转子)和多个产生力矩的单元(定子)组成。每个马达最多可容纳11个定子，定子数会随它产生的力矩增加而增

加，其稳定性表现出逆锁行为。鞭毛马达对其承受的力学负载非常敏感。在高负载区域，随着马达转速的增加，马达力矩基本保持恒定；而在低负载区域，随着马达转速增加，力矩急剧下降。一直以来，大家普遍认为细菌在自由液体环境游动时，鞭毛马达工作在高负载区域。大量关于细菌游动的研究都是基于这一观点展开的。

研究组设计马达复活实验发现，细菌在自由液体环境游动时，鞭毛马达内定子数平均约为满态的一半，这表明此时马达工作在低负载区域。研究组进一步通过改变环境液体粘度，测量了单个马达的力矩-转速关系曲线，直接证实了马达工作在低负载区域。因此，这一发现推翻了先前的普遍认知，揭示了细菌在自由液体环境游动时，鞭毛马达实际上工作在低负载区域，马达内平均定子数为满态的一半。

这种定子数半满的状态使细菌能够根据

外部条件的改变来动态调节定子数量。为了探索其生理意义，研究组测量了含不同数量鞭毛的鞭毛束的旋转速度，发现当鞭毛数量为3个或更多时，转速随鞭毛数量的变化保持恒定，这表明细菌游动对鞭毛数量的变化具有鲁棒性。

研究组进一步设计了微流控实验，结果发现，当外部环境液体的粘度突然增加时，鞭毛束的转速迅速下降，然后逐渐恢复，这表明细菌的游动对外部负载条件的变化具有鲁棒性。研究组用动态定子数调节的机制定量地解释了这两种鲁棒性。

因此，细菌在自由液体环境游动时，其鞭毛马达实际上在低负载区域工作，马达内的定子数为半满，这使得细菌能根据外部条件动态调节定子数量，从而赋予细菌游动对外界环境变化的鲁棒性。

中国科大博士生牛玉慧是该工作的第一作者。

（物理学院）

中国科大揭示跨膜蛋白SIDT1调控人类核糖核酸摄取的分子机制

本报讯 近日，中国科大生命科学和医学部周从照教授和陈宇星教授课题组，利用单颗粒冷冻电镜技术解析了人类SIDT1结合磷脂酸的复合物以及突变体E555Q的三维结构，整体分辨率分别为2.9埃和2.4埃。基于蛋白质结构分析和一系列生化分析，以及与姚雪彪教授课题组合作开展的细胞生物学实验，作者发现SIDT1是一种跨膜磷脂酶，并揭示其利用磷脂酶活性调控核糖核酸摄取的分子机制。11月6日，相关研究成果在线发表于《细胞研究》。

RNA干扰是指由双链RNA诱导的基因沉默现象，不仅在细胞发育和抗病毒免疫等生物学过程中发挥着重要作用，而且被用作基因功能研究和疾病治疗的遗传工具。安德鲁·法厄与克雷格·梅洛因发现RNA干扰现象而荣获2006年诺贝尔生理及医学奖。

RNA干扰现象可在秀丽隐杆线虫全身及其后代中传播，被称为系统性RNA干扰。随后人们发现广泛表达的跨膜蛋白SID-1可作为通道将细胞外的双链RNA被动转运进细胞内，是系统性RNA干扰所必需的。人类SIDT1是SID-1的同源蛋白，同样可以促进细胞对双链RNA，包括小干扰RNA(siRNA)和微小RNA(microRNA)的摄取。然而，不论是SID-1介导的RNA干扰，还是SIDT1调控的双链RNA摄取，分子机制仍然未知。

结构分析显示SIDT1呈现同源二聚体结构，每个亚基包含两个细胞外结构域(ECD1和ECD2)和一个由11股跨膜螺旋组成的跨膜结构域(TMD)。结构比对表明SIDT1属于跨膜水解酶CREST超家族，但与该超家族的其他成员相比，却以同源二聚体形式发挥作用，且具有相反的拓扑结构。SIDT1每个亚基的TMD中存在额外的分支状密度，可容纳一个磷脂酸分子、一个Zn²⁺离子和一个水分子。进一步的酶活实验和质谱分析表明SIDT1可水解磷脂酰胆碱，是一种Zn²⁺依赖的跨膜磷脂酶。随后，作者解析了SIDT1 E555Q突变体(酶活实验表明Glu555参与底物稳定)的结构，每个亚基的TMD外侧都结合一个棕榈酰油酰磷脂酰胆碱分子，暗示了底物的侧向进入路径。最后，一系列的荧光摄取实验表明SIDT1可能通过其磷脂酶活性介导细胞摄取双链RNA、microRNA和双链DNA。该研究不仅丰富人们对CREST和磷脂酶超家族的理解，而且鉴定了跨膜磷脂酶的一个新分支以及一种基于膜磷脂修剪的核糖核酸摄取途径。此外，我们发现SID-1在人类中的另一同源蛋白SIDT2具有与SIDT1相当的磷脂酶活性。

中国科大在读博士生孙彩荣、已毕业博士徐达和博士后杨丰瑞为该论文的共同第一作者。周从照教授、特任副研究员李琼、陈宇星教授和姚雪彪教授为该论文的共同通讯作者。

（生命科学和医学部）

中国科大成功研制一种高光谱仿生变色材料



实现可逆变色的仿生植株

本报讯 近日，中国科大工程科学学院研究团队基于仿生思想，研制了一种新型高

光谱变色材料。该材料能模仿落叶植被在绿色和黄色之间的变色现象，且在两种色态下均能复现植物叶片的太阳光谱反射特征。相关研究成果在线发表在材料领域知名期刊《Small》上。

植被是典型的地面背景，针对植被的高光谱材料一直是工程领域的重点和难点：一方面，植物叶片具有独特的太阳光谱反射特征，材料需要在整个太阳光谱内与叶片光谱特征一致；另一方面，植物叶片的颜色及光谱特征会发生变化，材料需要具备变色能力。

自然界中植物叶片的颜色变化特征与叶肉细胞内的色素含量变化有关。当细胞内的叶绿素含量较高时，会掩盖其他颜色的色素，使植物叶片呈现绿色。当叶绿素因外

界环境改变而分解后，细胞内的胡萝卜素等其他色素的颜色就会显现出来，使植物叶片呈现黄色或红色。研究团队从植物叶片的变色机制中获得灵感，提出一种将绿色动态颜料与黄色静态颜料复合的颜色变化模型。绿色动态颜料具有着色态和褪色态两种色态，当其呈着色态时会掩盖静态颜料的颜色，而当其呈褪色态时静态颜料的颜色就会显现。

基于该仿生思想，研究团队将热致变色微胶囊颜料与钛铬黄颜料复合，利用溶液铸膜法制备了以聚乙烯醇为基材的变色仿生材料。该仿生材料的颜色变化通过施加外部温度刺激来切换，并且具有双稳态特性，两种色态均能在常见的户外环境中稳定存在。

在实现变色现象的基础上，团队进一步通过发展颗粒系辐射传输模型设计材料中的颜料颗粒配比使其模仿叶肉细胞中细胞堆叠结构对入射辐射的散射过程，从而形成与真实叶片一致的近红外高反射特征；借助具有亲水特性的基材使仿生材料吸收空气中的水分，从而模拟植物叶片的水吸收谷特征。

此外，仿生材料还可随环境中湿度波动进行水分吸附和脱附，模仿植物叶片通过水分输运进行温度调控，与天然叶片的红外特征一致。该研究实现了针对落叶植被的高光谱变色仿生，在工程领域具有广阔的应用前景。

我校工程科学学院热科学和能源工程系博士生黄子真为论文第一作者。我校龙林爽特任研究员、叶宏教授和刘明侯教授为共同通讯作者。

（工程科学学院）