

# 中国科大实现最大规模的51比特量子纠缠态制备

**本报讯** 7月12日，中国科大潘建伟、朱晓波、彭承志等组成的研究团队与北京大学袁晓合作，成功实现了51个超导量子比特簇态制备和验证，刷新了所有量子系统中真纠缠比特数目的世界纪录，并首次实现了基于测量的变分量子算法的演示。该工作将各个量子系统中真纠缠比特数目的纪录由原先的24个大幅突破至51个，充分展示了超导量子计算体系优异的可扩展性，对于多体量子纠缠研究、大规模量子算法实现以及基于测量的量子计算具有重要意义。相关研究成果在线发表于《自然》。

量子纠缠是量子力学中最神秘也是最基

础的性质之一，同时也是量子信息处理的核心资源，是量子计算加速效应的根本来源之一。

然而，更大规模的真纠缠态制备要求高连通性的量子系统、高保真的多比特量子门操作以及高效准确的量子态保真度表征手段。这些要求对量子系统的性能、操控能力以及验证手段提出了很高的要求，使此前真纠缠比特的规模停留在约20个量子比特的水平。

研究团队在前期构建的“祖冲之二号”超导量子计算原型机的基础上，进一步将并行多比特量子门的保真度提高到99.05%、读取精度提高到95.09%，并结合研究团队所提出的大规模量子态保真度验证判定方案，成

功实现了51比特簇态制备和验证。最终51比特簇态保真度达到 $0.637 \pm 0.030$ ，超过0.5纠缠判定阈值13个标准差。这一结果将各个量子系统中真纠缠比特数目的纪录由原先的24个大幅突破至51个，充分展示了超导量子计算体系优异的可扩展性。在此基础上，研究团队通过结合基于测量的变分量子本征求解器，开展了对于小规模的扰动平面码的本征能量的求解，首次实现了基于测量的变分量子算法，为基于测量的量子计算方案走向实用奠定了基础。

(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)

# 中国科大揭示地球地幔运转模式的演变

**本报讯** 7月26日，中国科大地球和空间科学学院邓正宾特任教授与多位国际学者合作，实现了钛稳定同位素组成的超高精度测量方法，应用刻画了地球形成早期到现代的地幔来源火成岩的钛同位素记录，揭示了地球地幔的运转模式是呈阶段性演变的，现代板块构造体制下接近全地幔对流的模式只是地球演化近期的过渡状态。相关研究成果在线发表于《自然》。

在地球地质历史中，上、下地幔的物质交换会影响元素在地壳和地幔中的分配，对理解类地行星的动力学和热演化十分重要。

此次研究中，邓正宾同丹麦哥本哈根大学以及多个国际研究机构的合作者，采用最新一代多接收等离子体质谱仪开发超高精度钛稳定同位素分析方法，改进和优化样品处理流程和数据处理方法，将已有钛稳定同位

素分析方法的分析精度提高了3至4倍，以用来限定自然样品中微小的分馏信号。

利用新的分析方法，邓正宾等人首先对24件球粒陨石样品的钛同位素进行了标定，确定全硅酸盐地球的钛稳定同位素组成和现在的上地幔存在显著差别。在此基础上，对比研究了全球从太古代到元古代的地幔来源火成岩以及现代洋岛玄武岩样品。

结合已有大陆地壳生长模型，可推测目前地幔中的钛稳定同位素组成的变化很可能反映：地球太古代上、下地幔的物质交流处于受限的状态；而该格局在现代已被打破，体现在现代洋岛玄武岩的钛稳定同位素组成存在较大范围。对比其锶同位素组成，现代洋岛玄武岩的钛稳定同位素组成变化无法单纯由沉积物或大陆地壳物质的再循环导致，应代表了部分原始地幔物质的参与；该结果

反映了现代地球内部原始地幔储库仍存在，但在逐步被瓦解。

该工作基于同位素分析技术方法的突破，综合研究了地球地幔来源火成岩在地质历史中同位素记录随着时间的变化，发现地球地幔的运转模式不是一成不变的；即现代深俯冲板片可以进入下地幔以及接近全地幔对流的格局只是地球演化近期的过渡状态，不完全代表地球早期的动力学特征。该工作弥合了地球化学和地球物理对地球内部过程约束的矛盾；在此基础上，急需对地球地质历史中地幔物质交换模式及其演化具体控制机制的开展更多研究，才能更好认识类地行星的地质和宜居性演化。

论文第一和通讯作者为中国科大邓正宾特任教授。

(地球和空间科学学院)

# 中国科大研制高抗氨毒化的燃料电池阳极

**本报讯** 近日，中国科大高敏锐教授课题组研制出一种高抗氨毒化的镍基碱性膜燃料电池阳极催化剂，其在阳极含10 ppm氨的膜电极组装中，能保持95%的初始峰值功率密度和88%的初始电流密度，远超商业铂碳催化剂。相关成果发表于《美国化学会志》。

氢氧燃料电池由于比能量高和零排放等优点，有望在国家“双碳”战略中扮演重要的角色。然而，商业铂碳催化剂极易被氯气氧化反应动力学缓慢，其与氯气中毒协同作

用，加速电池性能的衰退。因此，设计高活性、高抗氯中毒的新型阳极催化剂是碱性膜燃料电池实用化亟须解决的难题。

在此次研究中，研究人员发现，将铬掺杂入钼镍合金，不仅获得镍的富电子态来抑制氯 $\sigma$ 轨道向镍d轨道的电子供给，同时还使d带中心下移阻隔了镍d轨道向氯 $\sigma^*$ 反键轨道的反向电子供给，两者协同作用大大削弱了氯吸附。

旋转圆盘电极测试表明，该催化剂在2 ppm氯存在条件下电化学循环1万次性能几乎没有损失，而铂碳催化剂性能损失严重。

在实际的碱性膜燃料电池中，以该催化剂作为阳极组装的器件在10 ppm氯存在下可保留95%的初始峰值功率密度。相比之下，铂碳催化剂的功率输出则降低至初始值的61%。

衰减全反射-表面增强红外吸收光谱测试表明，没有铬掺杂的钼镍合金与商业铂碳催化剂在不同电位下对氯具有显著的吸附行为。经铬调制的催化剂表面则没有任何氯吸附峰的存在。同时，电子能量损失谱和电子顺磁共振分析也表明，铬的引入使得镍的d带占据数更高，验证了其富电子态催化中心；理论计算发现铬引入降低了镍的d带中心，佐证了氯在其表面吸附被削弱。

论文的通讯作者是合肥微尺度物质科学国家研究中心高敏锐教授，共同第一作者为中国科大博士研究生王业华、博士后高飞跃和张晓隆。

(合肥微尺度物质科学国家研究中心)

# 中国科大揭示核仁腔的组成和调控机制

**本报讯** 近日，中国科大光寿红、冯雪竹团队以模式生物秀丽隐杆线虫为模型，首次揭示了核仁腔中含有大量的核质蛋白以及核糖体RNA中间体参与核仁腔的调控。研究成果发表于《细胞报告》。

1898年，Montgomery等人在用显微镜观察软体动物生发泡时，在核仁里发现一个新的结构，他们将其命名为核仁腔。然而，在随后的一百多年里，研究者对它的组成成分、调控机制和功能的认识仍然十分有限。

核仁是由rDNA、RNA和蛋白质交织的复杂多层次凝聚体，从内到外依次分布着纤维中心、致密纤维成分、致密纤维成分外围和颗粒成分四个亚区室。除此之外，各种动植

物细胞的核仁中还广泛存在一个与上述四个区室迥然不同的保守亚区室——核仁腔。

通过微分干涉相差显微镜和荧光显微镜，课题组在野生型秀丽隐杆线虫的细胞核仁中观察到核仁腔的存在，并发现核仁腔具有组织特异性和发育时期特异性的特点。随后，通过对一系列荧光蛋白标记的细胞核和核仁定位蛋白的观察，发现核仁腔的组分有别于已知的核仁亚区，其并不包含定位于核仁的核糖体RNA转录和加工因子，而是储存了大量的核质定位蛋白。最后，通过大规模的反向遗传学筛选，发现了第一类，而非第二类，核糖体大亚基加工和组装蛋白的异常会诱导核仁腔的形成，而核糖体小亚基

加工和组装的异常则不会导致核仁腔的生成。进一步的实验证明，核仁腔的形成伴随着27SA<sub>2</sub>rRNA的显著富集。而喂食线虫RNA转录抑制剂放线菌素D可以有效地抑制27SA<sub>2</sub>rRNA的富集，同时抑制核仁腔的形成。最后，本研究还解析了27SA<sub>2</sub>rRNA调控核仁腔形成的遗传学通路，发现两个保守的RNA结合蛋白FIB-1和NUCL-1在27SA<sub>2</sub>rRNA的下游，参与核仁腔的形成。

本文的第一作者为博士研究生徐德敏和副研究员陈向阳。中国科大的光寿红教授、冯雪竹研究员和朱成明副研究员为本文的共同通讯作者。

(生命科学与医学部)

这些巨大的气泡正处于从星系爆发性逸出的阶段。该成果在线发表于《科学进展》。

07月17日，中国科大吴东教授团队提出了一种飞秒激光二合一写入多材料的加工策略，制造了由温敏水凝胶和金属纳米颗粒组成的微机械关节，随后开发出具有多种变形模式的多关节人形微机械。该工作发表于《自然·通讯》。

08月4日，中国科大纳米科学技术学院2020级硕士研究生高亮在国际学术刊物《科学》上以第一作者发表研究论文。中国科大为该成果参与完成单位。

0近日，中国科大潘建伟、苑震生等与

清华大学翟荟、兰州大学么志远等合作，使用自主开发的超冷原子量子模拟器，研究格点规范场理论中的非平衡态热化过程与量子临界性之间的关系，揭示了具备规范对称性的多体系统处于量子相变临界区域时易于热化到平衡态的规律。这项研究成果以“编辑推荐”的形式发表于《物理评论快报》。

0近日，中国科大李木军副教授联合王柳特任教授以及南方科技大学刘吉副教授，提出一种铁磁液晶弹性体的双向异性可编程3D打印方法，实现液晶取向和磁化强度的独立编程，以及制剂在不同外场刺激下的可控多模式变形。该论文发表于《先进材料》。

**本报讯** 8月21日，中国科大田志刚和彭慧课题组与北京大学张泽民课题组等合作，系统描绘NK细胞在不同癌症类型和组织之间的异质性，发现了肿瘤微环境特异富集、杀伤功能异常的NK细胞亚类，揭示了NK细胞与微环境中其他组分的潜在调控关系。该研究成果在线发表于《细胞》。我校彭慧教授为共同通讯作者。

自然杀伤(NK)细胞是免疫系统重要成员，被誉为肿瘤的天然杀手，以其具备直接杀伤肿瘤细胞的功能而命名。近年来，随着肿瘤免疫治疗的兴起，基于NK细胞的免疫疗法已成为新兴主力军，在血液瘤治疗领域大放异彩，但对实体瘤的治疗却进展缓慢。由于NK细胞是异质性的群体，在不同组织微环境中由表型和功能各异的亚群组成不尽相同。因此，对肿瘤组织NK细胞开展全面系统的研究有利于为NK细胞免疫疗法扫清障碍。

研究者收集整理了大量公开的单细胞转录组数据，涉及24种癌症类型，包括了来自716名患者和47名健康对照的1223个样本的NK细胞单细胞表达谱数据，首次在泛癌水平系统地鉴定到了5类CD56<sup>bright</sup>CD16<sup>lo</sup>和9类CD56<sup>dim</sup>CD16<sup>hi</sup>NK细胞亚群，并详细地刻画了各亚群的表型和功能多样性。

基于整合的数据资源，研究者发现NK细胞的亚群组成在不同癌症类型间表现出了明显的偏好性，肿瘤、癌旁组织和外周血中的NK细胞亚类分布也具有明显的差异。通过生物信息技术筛选，发现RGS1特异高表达在非血液来源的NK细胞上。相比于经典的组织驻留特征基因，RGS1在转录组水平表现出更高的特异性和灵敏度，并且在泛癌水平上都具有优秀的性能。进一步关注肿瘤微环境，研究者发现肿瘤组织中高度富集一群DNAJB1<sup>+</sup>CD56<sup>dim</sup>CD16<sup>hi</sup>NK细胞。数据分析发现该群细胞具有功能失调的表型，包括杀伤性下降、抑制受体上升、高表达应激反应相关蛋白等，因此将其命名为肿瘤相关NK细胞。与经典认知的NK细胞的更高丰度有益于肿瘤患者的生存状态不同，TaNK细胞的富集与多种癌症类型的不良预后及免疫治疗的耐药显著相关。这些发现表明了TaNK细胞具有重要的生物学和临床应用价值，为后续开发NK细胞相关的免疫治疗方法提供了新的思路。此外，研究者发现髓系细胞尤其是LAMP3<sup>+</sup>DCs是NK细胞的重要调控因子。进一步发现，靠近LAMP3<sup>+</sup>DCs的NK细胞表现出更低的杀伤活性，这说明LAMP3<sup>+</sup>DCs在肿瘤免疫微环境中对NK细胞功能有着潜在的异常调节作用。

这一工作创新性地整合利用大规模单细胞数据，揭示NK细胞中的基因表达模式转变，捕捉了肿瘤免疫微环境的NK细胞亚群分变化，为未来通过更全面的整合分析手段探索新的生物标志物和治疗靶点提供了助力，也为药物研发提供更准确、更全面的数据支持。

(生命科学与医学部 基础医学院 中国科学院天然免疫与慢性疾病重点实验室)

0近日，中国科大谢周清教授、乐凡阁博士与国内外学者合作，在国际北极气候研究多学科漂流观测计划实施期间，开展了汞的生物地球化学循环研究，发现边缘冰区是大气汞的重要来源，提出了夏季北极大气汞峰值现象的产生机制。研究成果发表于《自然·通讯》。

08月16日，中国科大徐宁教授研究组与美国宾夕法尼亚大学Andrea J. Liu教授和芝加哥大学Sidney R. Nagel教授合作，在非晶固体稳定性机理研究中取得重要进展，相关成果在线发表于《美国科学院院刊》。