

## 中国科大发现多能级量子比特操控新方案

**本报讯** 4月19日，中国科大郭光灿院士团队的郭国平教授、李海欧教授和龚明教授等与纽约州立大学布法罗分校胡学东教授以及本源量子计算有限公司合作，对量子点系统中常见的多能级系统的量子调控展开研究，发现一种新的、实用的多能级调控方案。在该方案中，通过调控微波驱动频率、幅值等参数，可以实现任意能级结构，进而实现高速、抗噪声的量子比特操控。这种操控方案为实现高保真度量子比特操作提供了一种新途径。该研究成果发表于《应用物理评论》。

量子态的操控和演化在量子计算领域具有重要应用。所有的量子门操作，本质上都是这种操控的结果。这一原理被广泛用于原子、超导比特、半导体量子点电荷和自旋比特等系统中，并在这些系统中实现了多种高保真度量子比特门。如果有效能级越简单，则操控越容易，精度越高。相反，当量子系统能级结构较为复杂时，对它们的调控就会非常复杂，而且可能出现各种串扰等。目前，相关方面的研究大多局限在各种近似

条件下，这些限制不利于进一步开发与利用微波驱动进行比特操控。

为研究驱动场对多能级系统的影响，以往的工作往往采用数值模拟或将多能级系统约化为二能级系统等。然而，这些方法无法全面清晰地描述实验中表现出的复杂现象。所以，在理论上寻找合适的参考系（或者基矢），可能使问题得到极大的简化。这种方法曾被运用在超导比特中，并在量子模拟方面发挥了重要作用。在量子点比特中，它的调控更加复杂，目前还没有相关工作报道。

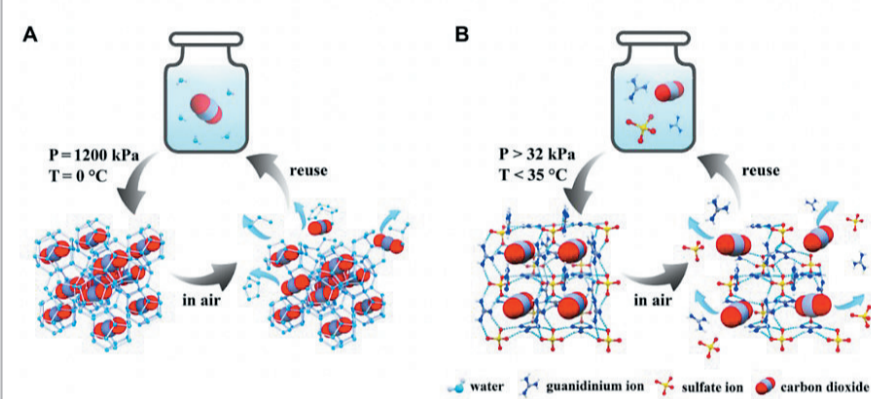
在这个工作中，研究人员通过将一个穿梭态和所有其他能级耦合，并通过控制它的振动幅度和频率，可以选择实现任意两个能级之间的等效耦合。这是因为它们的 Floquet 动力学的有效模型可以通过这些参数实现任意需要的等效模型，从而实现它们的量子门操控。结果证明，在实验参数范围内，这个方案可以在很大范围内实现需要的耦合，并保持很高的操控速度。利用这个方法，研究人员理论证明了任意单比特门和两比特门操控，保真度超过 99%。这个模型甚至可以解

释以前在实验上不能解释的一些新奇的奇偶效应。这种新的方案为对多能级系统中的量子门操作提供了新的实验思路。

在该方案中，穿梭态发挥了关键作用。它不仅可以实现任意两个能级之间的有效耦合，还可以作为探测的手段。通过对穿梭态的测量，可以实现对量子态的非破坏性测量。这个理论方案可能有重要用途，这是因为本文讨论的多能级系统，不仅出现在半导体量子点中，也出现在几乎所有其他的物理体系中，包括原子、离子、超导比特等。结构越复杂，集成度越高，能级就可能越复杂。所以通过将这些方案做合适改进，同时选择合适的参数，可以在其他模型中实现类似的任意门操控——如果可以实现这一点，本文提出来的新的方案可能对量子门操控产生重要的价值，并可能促进多比特量子门操控的实现。

博士生周圆为论文第一作者。龚明教授、李海欧教授为论文共同通讯作者。（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）

## 中国科大开发常温常压超分子化学碳捕获新方法



**本报讯** 近日，中国科大刘波教授、南方科技大学徐强教授与国际研究团队合作，首次用二氧化碳作为客体分子模拟二氧化碳水合物结构，使用廉价的硫酸胍与二氧化碳共结晶形成稳定的包合物，实现了环境温度压力条件下二氧化碳可逆的捕获与释放。这有望成为一种很有潜力的碳捕获和存储方法，

相关研究成果发表于《细胞报告物质科学》。碳捕获是碳捕集利用与封存技术的重要环节，对于实现国家“双碳”目标具有重要意义。目前二氧化碳捕获主要通过基于变压变温的物理或化学吸附过程完成。物理吸附剂采用具有高比表面积的多孔材料，二氧化碳分子通过弱相互作用进入吸附剂的孔道。

虽然具有吸附热低和易于再生的优点，但烟道气和环境中的水汽与二氧化碳分子存在竞争吸附，极大降低了吸附剂的选择性、容量和循环性能。化学吸附剂如乙醇胺、有机胍等，虽然具有高的选择性，但其再生过程需要消耗巨大能量。如何降低二氧化碳捕获和释放时的能耗具有重要意义。

在前期工作基础上，研究人员进一步将动态氢键框架结构变换应用于二氧化碳捕获。发现在室温附近从硫酸胍水溶液中得到晶态二氧化碳包合物。进一步结构分析表明，二氧化碳被包裹在胍阳离子和硫酸根之间通过氢键和静电相互作用构筑的框架中。令人惊讶的是，二氧化碳仅与框架中的胍离子存在静电作用，这也是二氧化碳与硫酸胍共结晶形成包合物结晶沉淀的驱动力。强弱适中的相互作用使得碳的捕获和释放均能在温和条件下进行。另外，单位体积的二氧化碳与硫酸胍共结晶形成的包合物，含有相同温度压力条件下 60 倍体积的二氧化碳气体，而相同温度、体积下二氧化碳的压力达到 6 兆帕，揭示其在碳捕获存储和运输方面的巨大潜力。论文第一作者为我校硕士生向志凌和博士研究生刘聪妍。（吴长征）

在病原菌耐药机制研究领域

## 中国科大取得新突破

**本报讯** 4月21日，中国科大孙宝林教授课题组揭示金黄色葡萄球菌一氧化氮合成酶 NOS 及其内源产生的 NO 通过介导靶蛋白的 S-亚硝基化修饰以调控万古霉素耐药性发生的具体分子机制。研究成果在线发表于《自然·通讯》。金黄色葡萄球菌是人类主要致病细菌，由甲氧西林耐药性金黄色葡萄球菌（MRSA）引发的感染正严重威胁公共健康安全。万古霉素被认为是临床上治疗严重 MRSA 感染的最后一道防线，但是，其中度耐药性金黄色葡萄球菌（VISA）的频繁出现，为 MRSA 的感染治疗带来了巨大挑战。因此，深入解析金黄色葡萄球菌万古霉素耐药机制具有重要的临床意义。一氧化氮（NO）可作为信号分子，首先在真核

生物中被发现可由一氧化氮合成酶（NOS）内源产生，参与调节各种生理及免疫功能。研究人员在临床 VISA 菌株 XN108 中，通过构建 NOS 突变菌株以及外源添加 NOS 抑制剂，证实了金黄色葡萄球菌 NOS 在万古霉素等细胞壁靶向抗生素抗性发生过程中的重要作用。接下来，利用蛋白质修饰组学的方法鉴定了金黄色葡萄球菌中被内源 NO 亚硝基化修饰的靶标蛋白及相应位点。一个与抗生素抗性具有重要关联的转录因子 MgrA 上第 12 位的半胱氨酸发生了 S-亚硝基化修饰，通过将半胱氨酸替换为不能被修饰的丝氨酸构建了 mgrAC12S 点突变菌株，发现 NOS 突变菌株类似，mgrAC12S 突变菌株对万古霉素的抗性显

著下降、细胞壁厚度显著下降以及细胞自溶活性增加。通过实时荧光定量 PCR、凝胶阻滞迁移实验、染色质免疫共沉淀实验等方法，揭示了金黄色葡萄球菌 NOS 及其内源产生的 NO 在促进万古霉素抗性中的作用机制：NOS 来源的 NO 通过介导 MgrA 发生 S-亚硝基化修饰，促进 MgrA 对自溶相关靶基因的负调控功能，导致细胞的自溶活性下降，介导细胞壁厚度增加，进而促进金黄色葡萄球菌的万古霉素耐药性。这种由 NO 介导的调控机制在另一个被鉴定到可发生 S-亚硝基化修饰的转录因子 WalR 中得到了进一步的验证，表明金黄色葡萄球菌 NOS 内源产生的 NO 通过 S-亚硝基化修饰介导的转录调控机制在细菌中可能具有普遍性。本研究有望为临床治疗 VISA 及其他细菌病原体的感染提供新的思路与策略。

本论文第一作者为博士研究生舒雪琴，通讯作者为中国科大孙宝林教授和北京儿童医院 的于丹副研究员。（生命科学与医学部）

水分吸附机制，但在老化过程中竹纸内部羟基等亲水基团的相对含量下降，造成纸张表面的有效吸附位点减少，从而影响其单层吸附和多层吸附能力。此外，老化竹纸的物理结构遭受破坏，一定程度上影响了纸张的毛细吸附能力。由于自然老化竹纸的纤维破裂程度较大，产生新的孔隙结构是其毛细吸附能力高于未老化和人工老化样品的重要原因。根据竹纸吸湿-解吸最低速率的湿度范围（40-50% RH），及其单分子层饱和吸附的对应湿度（50% RH），竹纸类文物的存储湿度条件应控制在 50% RH 附近，有助于保持纸张的稳定性。

博士研究生谭静为论文第一作者，陈彪副教授与丁延伟教授级高级工程师为论文的共同通讯作者。（科技史与科技考古系）

## 我校在竹纸文物保护领域获得新进展

**本报讯** 近日，中国科大手工纸研究组对不同老化模式下传统手工竹纸的吸湿行为特性进行深入研究，研究成果发表于《文化遗产杂志》。纸张作为主要的书写载体在人类文明发展进程中发挥重要的作用，大量保留至今的古籍、手稿和书画等文物具有珍贵的艺术、科学等价值。然目前我国大量的竹纸文物已产生严重的老化糟朽问题，亟待保护。由于纸张纤维含有丰富的亲水基团，对水分等极性溶剂具有较强的亲和力。在长期的自然存放过程中，纸张与空气中的水分不断发生

**本报讯** 近日，中国科大合肥微尺度物质科学国家研究中心和化学物理系曾杰教授研究团队与电子科技大学材料与能源学院夏川教授、郑婷婷研究员团队合作，研发了配位不饱和铜纳米点催化剂，实现了高活性电催化乙炔半加氢制乙烯并用于乙烯纯化。相关成果题发表于《自然·通讯》。

乙烯是重要的化工原料，它代表了一个国家的石化工业水平。通常，工业制取乙烯的过程中会不可避免地产生 0.5%-3% 乙炔，这些少量的乙炔杂质在乙烯聚合时会不可逆地毒化齐格勒-纳塔聚合催化剂，致其失活。因此，对工业乙烯进行纯化、去除乙炔杂质显得尤为重要。虽然传统的热催化乙炔半加氢过程可以将乙炔杂质转化为乙烯，但高温高压的运行条件、价格高昂的钨基催化材料以及转化率低、选择性差等问题限制了其进一步发展。

随着新能源发电技术的迅速发展，电力成本下降，电催化乙炔半加氢技术已经具备与传统能量密集型热催化过程在乙烯纯化方面竞争的潜力。但目前广泛报道的高乙炔电催化活性铜基催化剂仍面临析氢等副反应的竞争，从而导致除杂效果不理想。基于此，研究团队开发了配位不饱和铜纳米点催化剂，实现了在  $1.35 \times 10^5$  毫升每克催化剂每小时的空速下连续生产聚合级乙烯（乙炔浓度低于百万分之一），同时具有优异的长期稳定性。

研究人员通过原位电还原的方法合成了铜纳米点作为电化学乙炔半加氢的催化剂，在纯乙炔气流下评估催化剂活性时发现，在较宽的电流密度范围内，配位不饱和铜纳米点催化剂对乙烯的法拉第效率均超过 90%，并在 -350 毫安每平方厘米的电流密度下达到最高值 95.6%。随着反应电位的增加，乙烯偏电流密度逐渐增加，在 -0.79 伏（相对标准氢电极）时，达到峰值 -452.1 毫安每平方厘米。此外，通过原位电化学微分质谱发现，配位不饱和铜纳米点催化剂具有更正的产乙烯起始电位。

膜电极反应器具电阻低、能耗低、结构紧凑等优点，在实际气相反应中具有广阔的应用前景。因此，研究人员设计一种膜电极反应器用于持续制备聚合级乙烯。在电极面积为 25 平方厘米的膜电极反应器中，在 10 至 50 标准立方厘米每分钟的不同气体流速下，（对应空速  $1.35 \times 10^5$  毫升每克催化剂每小时）配位不饱和铜纳米点催化剂均能将 0.5% 乙炔杂质完全转化为乙烯。此外，随着流速增加，乙烯的选择性呈上升趋势，当流速大于 20 毫升每分钟时，乙烯的选择性保持在 90% 以上；当流速为 50 毫升每分钟时，乙烯的选择性达到 93.6%。值得注意的是，研究人员成功在 50 标准立方厘米每分钟的流速下连续纯化粗乙烯合成聚合级乙烯 130 小时，并且几乎没有性能衰减（剩余乙炔低于百万分之一，全池电压保持在 -1.89 伏特）。

该工作通过催化剂的开发、反应机理的研究以及反应器的设计，实现了高效率乙炔除杂制备聚合级乙烯，为未来电催化乙烯纯化高校催化剂的设计带来了启发。

论文的共同第一作者是中国科大博士研究生薛为清和电子科技大学研究员刘芯言。（合肥微尺度物质科学国家研究中心 化学与材料科学学院）

## 中国科大研发出新型铜纳米点催化剂