

发现·进展

华南师范大学

首次直接验证费曼路径积分两条基本假设

本报讯(记者朱汉斌)华南师范大学团队首次直接验证了费曼路径积分的两条基本假设。该研究填补了路径积分基本假设长期缺乏直接实验检验的空白，并为将更多路径积分模型和量子现象从理论推进到实验探索提供了新方法。相关成果近日发表于《科学进展》。

理查德·费曼于 1948 年提出的路径积分是现代量子物理最具影响力的理论框架之一。费曼提出了两条基本假设：第一，粒子到达终点的概率源于所有可能路径概率幅的复数相干干涉叠加；第二，所有路径贡献的概率幅模长相等，其相位由经典作用量唯一确定。路径积分深刻改变了量子物理的发展轨迹，为描述粒子相互作用、量子涨落和规范场提供了统一而直观的理论语言，推动了量子场论、费曼图方法和粒子物理标准模型的建立，并广泛应用于凝聚态物理、统计物理、宇宙学和量子引力等领域。更重要的是，它通过经典作用量将量子规律与经典物理联系起来，成为连接不同理论领域的重要桥梁。然而，围绕路径积分基本假设的直

中国科学院大连化学物理研究所

新策略可获得系列新型磷酸铝分子筛

本报讯(记者孙丹宁)中国科学院大连化学物理研究所研究员郭鹏和刘中民院士团队提出连续拓扑转变策略，从单一母体分子筛出发，经简单水蒸气处理，获得 3 种新型 ABC-6 家族磷铝分子筛（DNL-18、DNL-19、DNL-20），实现了分子筛孔道从小孔到超微孔的连续调控。相关成果近日发表于《美国化学会志》。

晶态分子筛材料在工业催化、吸附分离等领域应用广泛。目前，经典的水热合成方法通常具有经验性，且一般在给定条件下产生单一亚稳相结构。传统拓扑转变方法大多由一种前驱体得到单一新结构，难以连续获取转变路径上的一系列亚稳态物相。

研究团队以前期合成的小孔磷铝分子筛 DNL-17 为母体材料。在受控水蒸气处理条件下，DNL-17 依次发生结构转变，相继生成 DNL-18、DNL-19、DNL-20。借助三维电子衍射、4D-STEM 叠层成像等手段，团队解析了全部新物相的精细晶体结构，阐明了转变机制。该系列转变主要通过骨架中 d6r 等结构单元发生选择性化学键断裂、骨架片段滑移并重新键合完成。其中 DNL-18 孔径约 4.0 埃，可用于丙烯和丙烷体系的吸附分离；DNL-20 为超微孔结构，在水和二氧化碳分离方面具有潜力。动态多组分竞争吸附实验证实，两种材料均具备实际气体分离应用潜力，且循环使用过程中结构保持稳定。该连续拓扑转变策略仅通过调控水蒸气处理时间，即可依次获得多个亚稳态分子筛，实现孔道结构的定向调控。该研究为发掘更多隐藏亚稳态分子筛、面向分离需求定向设计孔道架构提供了新的可行路径。

西安建筑科技大学

新技术可“无痛”加固千年木构古建

本报讯(记者李媛 通讯员李孟洁)西安建筑科技大学团队在古建筑木结构保护领域取得突破性进展,创新性研发的超弹性形状记忆合金(SMA)丝材榫卯节点无损加固技术,为我国木构古建筑的抗震保护提供了可逆、低干预的智能解决方案,为古建无损加固提供了新的技术路径。相关成果近日发表于《结构工程期刊》。

榫卯作为中国传统木结构的“灵魂关节”，历经数百年风雨侵蚀、重力荷载叠加与地震冲击，现存古建木结构的榫卯节点普遍出现隐蔽性初始损伤。传统加固技术虽能提升结构强度，但存在干预性强、不可逆、破坏文物本体风貌等短板。

针对传统技术的局限，团队将 SMA 引入古建保护领域。这种材料兼具超弹性、自复位、耐腐蚀、可逆修复等优良特性，以无损式卡箍安装在榫卯节点，如同让榫卯节点拥有了“智能肌肉”。当节点受外力发生变形时，合金丝能自动恢复原状，同时通过自身变形消耗地震能量，实现“震后自复位、损伤可修复”。

为验证技术有效性，团队以古建筑典型直榫节点为研究对象开展了系统性试验验证。模拟伤榫卯经 SMA 丝材加固后，单周地

麻醉能否打破失眠治疗僵局

■本报记者 张思玮 通讯员 李春雨

对于长期失眠的人来说，最难熬的或许并不是某一个夜晚睡不着，而是日复一日陷入“越想睡，越睡不着；越睡不着，越焦虑；越焦虑，越依赖药物”的循环。

根据数据估算，全球 30~69 岁的成年人中，约有 9.36 亿人患有重度阻塞性睡眠呼吸暂停，约有 4.25 亿人患有中度至重度阻塞性睡眠呼吸暂停，其中中国患者数量较多。

近年来，一个过去常常被认为只限于手术室的学科——麻醉学，逐渐走进睡眠医学研究者的视野。从无痛胃肠镜后患者“睡得特别舒服”的临床观察，到利用麻醉相关药物和神经调控技术探索失眠治疗；从麻醉睡眠门诊，到以麻醉科为主导的睡眠病房，一条新的学科交叉路径正在形成。但这条“新路径”并不等于“用麻醉药睡觉”。

近日，《中国科学报》就此采访了国内多位长期从事麻醉睡眠临床实践的专家。他们表示，麻醉学科介入睡眠医学的价值，在于发挥麻醉学科在镇静催眠药物应用、神经调控、快速干预和生命支持等方面的优势，为部分常规治疗效果不佳的失眠患者打破治疗僵局，并与心理行为治疗、药物治疗以及相关专科治疗衔接，让患者重获自主睡眠能力。

从“意外发现”开始

麻醉科医生为什么开始关注睡眠？

在河北省沧州中西医结合医院麻醉睡眠疼痛门诊主任张立民看来，这种关注最初并非来自一个预先设定好的研究方向，而是来自临床实践中的一些观察结果。

在实施无痛胃肠镜的麻醉过程中，张立民发现，一些患者接受短时间麻醉后，不仅当时睡得比较安稳，回家后的睡眠状态也有所改善。这样的临床现象，让他开始思考麻醉过程中产生的镇静、催眠效应与睡眠之间究竟存在怎样的联系。

随着观察深入，另一个现象将张立民引向了睡眠障碍背后的病因。据张立民介绍，在临床使用右美托咪定等药物进行镇静时，部分患者会出现较为明显的体动，尤其是下肢活动增多，还有些患者描述腿部存在“蚁爬感”等不适。进一步询问患者既往病史后发现，其中部分患者长期存在

近日，山西太宽河国家级自然保护区的工作人员在野外巡护中，于海拔 1125 米的栎类阔叶林下发现了几丛形态独特的兰科植物，并采集部分标本用于研究。经太原植物园专家鉴定，确认该植物为兰科叠鞘兰属成员。此次是该属在山西省内的首次发现。这一发现丰富了山西省植物区系的本底资料。

叠鞘兰属是兰科中一类独特的腐生兰，无绿叶，无法进行光合作用，依靠腐殖质及真菌共生获取养分，因其直立茎上密布套叠状鳞片而得名。该属全球约有 5 种，主要分布于中国、日本及亚洲热带地区，此前我国已知有 4 种，见于湖北、四川、云南、西藏等地，分别为唇叠鞘兰、川滇叠鞘兰、齿爪叠鞘兰和叠鞘兰。

图为此次发现的兰科植物。

■本报记者李晨报道
山西太宽河国家级自然保护区供图

为什么负伤后“舔一舔”更好受

■本报记者 杨晨

动物在受伤后常常会舔舐伤口。除了清洁之外，这样做能否直接减轻疼痛？如果能，大脑是通过怎样的通路实现的？

四川大学华西医院麻醉科研究员蒋若天、教授朱涛、副研究员唐皓迪团队首次完整揭示了舔舐镇痛的双通路分离机制，为触觉镇痛领域开辟了全新研究方向。相关成果近日发表于《细胞报告》。

探究触摸镇痛的脑机制

既往关于触摸镇痛的研究主要集中于脊髓层面的机制解析。然而，触觉信号最终会传至大脑，那么大脑是否也参与了触摸镇痛的过程？这一问题此前尚无明确答案。

“关于自发触摸行为镇痛的研究较少，目前有一项研究探讨了头面部振动触觉的镇痛效应。鉴于头面部疼痛与躯体疼痛信号在神经传入通路上存在差异，当前缺乏证据支持其结论可应用于躯体疼痛，亟须开展针对性研究。”唐皓迪告诉《中国科学报》，因此他们希望从躯体疼痛的角度切入，重新探究触摸镇痛的脑机制。

“疼痛是全球最重的医疗负担之一，我们麻醉领域本质上就是关注疼痛本身，

类似症状，随后被诊断为不宁腿综合征。

这让张立民意识到，患者口中的“睡不着”，有时未必是睡眠本身出了问题，而是某种尚未被识别的疾病持续干扰睡眠。如果医生只关注“入睡困难”“睡眠时间短”等表面症状，没有进一步寻找病因，就可能长期在“失眠”治疗上原地打转。

“归因治疗是睡眠医学的永恒主线。”张立民说，睡眠障碍涉及多个专业领域。焦虑、抑郁等精神心理问题可能影响睡眠，帕金森病等神经系统疾病也可能伴随睡眠障碍，睡眠呼吸障碍、不宁腿综合征等同样可能成为患者夜间睡眠受损的原因。因此，睡眠医学首先需要回答的，并不是“怎么让患者睡着”，而是“患者为什么睡不好”。

正是在这样的临床观察中，张立民所在团队开始探索麻醉学科与睡眠医学之间的联系。

麻醉科凭什么介入睡眠

如果说临床观察让麻醉医生开始重新认识“睡眠障碍”，那么麻醉学科长期积累的技术能力，则为这种跨学科探索奠定了基础。

山东省潍坊市人民医院睡眠管理中心副主任李瑞华认为，麻醉学科介入睡眠医学并不是简单地把麻醉药物“搬到睡眠门诊”，而是建立在麻醉学科长期形成的药物管理、神经调控和安全保障能力上。

首先是对镇静、镇痛等药物的精准管理。麻醉医生长期接触多种作用于中枢神经系统的药物，对作用特点、剂量调整、起效及持续时间以及不良反应有较为系统的认识。这使麻醉医生能够从药物作用和风险控制的角度参与睡眠障碍治疗，尤其是在面对长期用药、药物耐受以及减药需求等复杂情况时，可以发挥专业优势。

其次是自主神经系统调节。睡眠并非单纯“让大脑安静下来”，自主神经功能状态同样可能与睡眠和觉醒状态相关。李瑞华认为，麻醉学科可以依托星状神经节阻滞、神经调控等技术，对部分存在自主神经功能紊乱的患者进行干预，为睡眠重建创造条件。

最后，麻醉学科长期形成的生命监测



和风险处置能力，构成其参与睡眠医学的重要基础。无论是药物干预还是部分微创神经调控，麻醉科医生都能够严密监测下实施治疗并及时识别和处理可能出现的呼吸、循环等不良反应，为相关治疗提供安全保障。

由此，麻醉学科与睡眠医学的交叉逐渐呈现出清晰的逻辑：睡眠医学负责对睡眠障碍进行系统评估和诊疗，麻醉学科则在药物管理、神经调控和安全监测等方面提供新的技术选择。

“快速”不是打一针就睡

“快”是张立民在谈到麻醉学科介入睡眠医学时反复强调的一个词。

这个“快”并不是指用麻醉药物让患者迅速失去意识，而是指在经过规范评估、明确治疗目标后，麻醉学科可以利用自身技术优势，对部分患者实施相对快速的干预，帮助其度过治疗过程中的某些困难阶段。

张立民特别强调，对于部分伴有明显焦虑、情绪紧张的失眠患者，常规治疗往往需要一定时间才能发挥作用。而在经过严格评估的情况下，麻醉相关干预可以针对部分患者发挥短期作用，并与后续精神心理、神经内科等专科的长期治疗衔接。

张立民将这种思路概括为“长短结合”，即麻醉学科发挥快速干预的优势，相关专科则针对导致睡眠障碍的原发问题进行长期管理。

但“快”并不意味着可以绕开病因。在张立民看来，麻醉医生进入睡眠医学领域后，首先需要建立睡眠医学思维。

以不宁腿综合征为例，患者可能把夜间下肢不适简单理解为“睡眠不好”，医生则需要通过病史询问、相关评估和必要检查，判断这种不适是否为影响睡眠的重要因素。如果明确存在相关疾病，就要按照相应诊疗路径进行处理。

因此，麻醉学科并不能替代神经内科、精神科、呼吸科等学科，其优势在于为部分患者提供新的干预手段。

李瑞华对此也有类似判断。在她看来，麻醉相关治疗更适合作为整体治疗中的一个环节，而不是承担失眠治疗的全部

任务。“对于长期失眠患者，麻醉相关干预更像一个破局手段。”

她所在的潍坊市人民医院睡眠管理中心，将认知行为治疗作为长期治疗的重要基础，并在特定患者中利用神经阻滞、短时效镇静等麻醉相关技术打破“失眠—焦虑—药物依赖—进一步失眠”的恶性循环。

“先破循环，再建节律；药物阶梯撤退，心理行为巩固。”李瑞华这样概括其临床思路。

不过，患者是否适合麻醉相关干预，还需要结合睡眠障碍类型、基础疾病、既往治疗情况以及治疗风险进行综合判断。

李瑞华认为，对于原发性睡眠呼吸暂停、不宁腿综合征、发作性睡病等疾病，应当优先由相关专科进行规范诊疗；严重精神疾病急性期、严重器质性脑病、重大脏器疾病等患者，也需要严格评估，并不能简单套用麻醉睡眠治疗。

因此，麻醉医生如果真正涉足睡眠医学，就必须补足神经内科、精神医学、呼吸医学等相关知识，了解不同类型睡眠障碍的病因和治疗原则。

“减药”才是治疗终点

“麻醉治疗失眠”是不是失眠了打一针麻醉药就可以？答案显然不是。

在同济大学附属上海市第四人民医院(以下简称上海市第四人民医院)睡眠医学科主任李启芳看来，长期失眠患者真正需要摆脱的不只是某一个夜晚的睡眠障碍，还包括长期依赖药物或者其他外界因素才能入睡的状态。

“睡觉是人的本能。”李启芳说，“我们治疗的目的是希望回归本原，不再依靠药物或者其他外界因素入睡。”

他所在的上海市第四人民医院进行麻醉睡眠治疗的一个重点就是帮助部分长期受到药物困扰的患者逐步停用药物。

“神经内科、精神科主要负责配药、换药、加药，我们负责减药。”李启芳说。

门诊中，不少患者已经长期服用两三种甚至更多镇静催眠或精神科药物。这些患者的失眠原因各不相同，有的与心理因素有关、有的伴随其他疾病，但共同点是长期治疗过程中，患者深受药物困扰，希望逐渐摆脱对药物的依赖。这也成为李启芳所在团队进行患者筛选和制定治疗方案时重点考虑的因素之一。

李启芳表示，失眠人群非常复杂，麻醉睡眠治疗并不是针对所有失眠患者简单套用同一种方案，而是要在明确诊断和综合评估的基础上选择最合适的。

在具体治疗中，减药也并不是简单地把药物停掉。李启芳介绍，其病房采用综合治疗模式，包括神经调控、中西医结合、物理治疗以及睡眠习惯调整等，通过多种方法共同帮助患者逐步恢复相对稳定的睡眠状态。

其中一名患者让李启芳印象深刻。该患者来就诊前已经使用氯硝西泮、唑硫平、唑吡坦以及文拉法辛等多种药物，但依然睡不好，在精神科、心理科、中医科等接受治疗的效果也不理想。团队采用综合治疗模式对患者进行干预，最终使其实现全部停药并恢复了自主睡眠。治疗结束后，患者还会定期回到病房，与新入院患者分享治疗经历。对于长期受到失眠和药物困扰的人来说，这种“患者讲给患者听”的方式，有时比医生单纯告诉患者“你可以好起来”更有说服力。

李启芳说，从这个角度看，“减药”是这一新兴治疗模式值得探索的重要价值之一。

管“疼痛感”和管“情绪”的两条通路

整个研究过程从行为学观察入手。团队发现小鼠在舔舐伤口后，一方面能缓解疼痛，另一方面能缓解疼痛诱发的厌恶情绪，而这两个现象构成了研究的两条主线。

于是，团队开始寻找大脑中接收触觉信号输入的脑区，最终聚焦薄束核这个主要接收来自下躯干的触觉传导信号的脑区。

“实验观察到，在小鼠发生舔舐行为的那一刻，薄束核中的谷氨酸能神经元会出现对应的瞬时放电，兴奋性明显增加。”唐皓迪指出，疼痛感觉本身并不会引起该神经元的兴奋性变化。接着，团队进一步追踪了薄束核神经元的下游投射。结果显示，薄束核会进一步投射到未定带，该脑区参与了睡眠调控、疼痛调节、情绪处理和摄食行为等多方面的生理功能。

未定带会不会再投射到不同的下游区域，从而调控疼痛的不同方面呢？带着这一疑问，团队继续追踪，发现它果然投射到了两个不同的下游脑区：一个是躯体感觉皮层，即调控疼痛感觉的最高级脑区之一；另一个是腹侧被盖区，一个与情绪调控密切相关的脑区。两条通路的分工就此浮现。

团队还用化学遗传学方法分别激活

了薄束核到不同下游核团的投射通路，证实了只有激活薄束核到未定带这一条通路，才能同时缓解小鼠的疼痛感觉和厌恶情绪。

“回顾整个研究，难点之一在于锁定薄束核。”蒋若天表示，团队主攻疼痛研究，对触觉领域不熟悉，关于薄束核做了大量文献查阅工作。“幸运的是，我们找到了这个‘锚点’，尽管后续追踪分析仍有不确定性，但基本可以通过常规的技术路线逐步推进。”

关于研究的应用前景，蒋若天认为，理论上通过电刺激等方式精准调控未定带，可实现镇痛效果。“此前研究已证实，经皮电刺激的镇痛通路同样经过薄束核发挥作用，我们相当于为这类设备的应用提供了更充分的理论支持。”不过，他指出，当前工作更多是搭建一个理论框架，为后续研究和临床应用提供方向性启示。

在蒋若天看来，这项研究的核心价值朴素且温暖：“你疼的时候，让你爱的人多摸摸你，你爱的人疼的时候，多给他一些拥抱和抚摸。”

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.celrep.2026.117363>