

“蜘蛛侠”缘何能“飞檐走壁”？

科学家揭秘细胞核力学密码

■本报记者 杨晨

间充质干细胞，是一种存在于人类骨髓中、具有多种分化潜能的细胞。对于骨修复来说，通过调控间充质干细胞的成骨分化，有助于在受伤部位长出新骨头。

传统观点认为，稳定的细胞黏附和较高的细胞内张力，是促进间充质干细胞成骨分化的关键。如果说间充质干细胞像“手掌”有“黏墙”功夫的“蜘蛛侠”，那么一般认为“手掌”和“四肢骨架”有力，就能“飞檐走壁”——进行成骨分化。

然而，四川大学高分子科学与工程学院特聘研究员魏强团队和复旦大学高分子科学系教授丁建东团队发现，一定条件下，当“手掌”不太黏，“四肢骨架”没劲时，“飞檐走壁”的功力却提升了。通过精准调控增大整合素间距，导致细胞黏附失稳、骨架张力下降，反而能促进细胞的成骨分化。这是因为肌动蛋白核转位通过增加细胞核张力，直接调控了成骨分化。换言之，“蜘蛛侠”的“腰腹核心力量”才是驱动其“爬墙”的关键。

近日，这一成果在线发表于美国《国家科学院院刊》。

破解十年前的发现

细胞黏附，是单个细胞与周围环境中细胞外基质或其他细胞之间发生相互接触、结合和固定的动态过程，在细胞增殖、活性维持、分化和迁移中起着关键作用。

产生黏附的背后“功臣”，是一种存在于细胞表面的分子——整合素，其与细胞的正常生长和分化息息相关。

2015 年，在德国马普医学研究所任博士

后研究员的魏强，读到了丁建东的一篇论文。论文写到，如果利用纳米阵列调节间充质干细胞细胞膜上整合素的空间分布，使整合素间距增加到一定程度，细胞黏附性不那么稳定，更利于成骨分化。

“但领域内专家对此有不同说法，认为只有细胞黏附力强时，才能促成成骨分化。”魏强说，不同的观点引发了他的兴趣。

2019 年，魏强团队与丁建东团队合作攻关，利用嵌段共聚物胶束纳米光刻技术，重复了实验。结果显示，当整合素间距增大至 150 纳米时，尽管细胞黏附稳定性下降，但间充质干细胞的成骨分化能力显著增强。

同时，团队察觉到细胞骨架张力的反常，即肌动蛋白－肌球蛋白产生的牵引力下降。细胞骨架和人类骨架类似，具有形态维持、运动和定位的功能，在细胞信号传导和分裂中发挥作用。

“如果把间充质干细胞形容成‘蜘蛛侠’，这时的情况便是，其手掌的‘黏力’不足，连接的‘四肢骨架’拉力也不够，但‘爬墙’功力不减反增。”魏强解释。

“从细胞力学角度，我们坚信，细胞内有一股‘力’激活了成骨分化基因，只是这股‘力’并不是细胞黏附产生的。”顺着这一思路，魏强团队发现，在这一过程中，细胞核的核张力有了显著提升。

在顺藤摸瓜中，魏强团队和丁建东团队从高分子物理角度观察到细胞骨架的迁移动态，找到了核张力提升的原因——肌动蛋白的核转位。

魏强解释说，在大间距条件下，细胞更容易迁移，因此肌动蛋白加速了其“组装－解

离”动态，并产生大量的 G-actin 单体。这些 G-actin 被转运至细胞核后，又重新聚合，显著提升了核张力。

之后，魏强团队又通过实验，验证了核张力调控成骨分化的关键通路，找到了该现象背后全新的细胞力学感知机制。

回溯整个研究过程，魏强团队成员、在四川大学从事博士后研究的刘晓静认为，跳出既有观点、开辟新思路很关键。“其实相关的实验操作比较简单，核心数据量也不大，但整个过程中，我们作了大量思考。正如爱因斯坦所说，科研工作者的最需要的是 imagination（想象），而不是 knowledge（知识）。 ”

为再生医学开辟新途径

这一细胞核内力学感知机制的发现，不仅改变了领域内传统认知，而且为生物材料的精准设计提供了理论依据——使材料能够调控间充质干细胞纳米尺度的整合素分布，实现对细胞核力学状态的精准调控，从而更有效诱导成骨分化，为骨修复和再生医学开辟新途径。

“我们下一步计划验证能否在不同时间尺度进行调控，先增大细胞整合素的间距至 150 纳米，让细胞核有力，从而促使成骨分化。后续再缩小间距，让黏附性变稳定。”魏强说，他们想借此达成双倍的成骨分化效果。

“可以预见的是，这将是漫长的探索。”但魏强认为，将真正能够服务社会的材料推向市场，是极其有意义的。

在 2015 年前，高分子材料设计是魏强的主要研究方向。虽然 outcomes 快且多，但他总觉

得自己的工作是“盲人摸象”，“知其然，不知其所以然”。

“因为我设计的生物材料要应用于医学领域，对象是生物组织，例如细胞，所以我必须了解相关的生物学知识，明确细胞的行为功能机制以及需求，才能达到事半功倍的效果。”魏强说。

博士毕业后，他决定从零开始，于是花了 5 年时间学习细胞生物学。从德国学成回国后，他开始研究生物材料界面细胞行为机理，从而指导生物材料的设计。

“生物细胞力学是一个交叉学科，我们要从多学科角度思考。”魏强说，团队成员有不同的学科背景，例如机械、生物学、医学、化学等。“大家‘跨界’而来，都是为了解决真正的科学问题，而不仅仅为发文章。”

助力实现“老而不衰”

魏强团队未来工作的重点是从生物力学角度，思考和探究复杂的生理、病理环境，其核心是解读衰老密码。

细胞衰老与人体胚胎发育、损伤再生、癌症和衰老等生理病理过程紧密关联。随着年龄增长，间充质干细胞修复和替代受损、衰退或病变组织的功能会被大大抑制。

“后续工作中，我们将从生物力学角度调控间充质干细胞的衰老进程，并且探究相应的机制。”刘晓静表示，虽然短期内很难在时间尺度上延长人的寿命，但帮助大家健康老去，实现“老而不衰”，是未来努力的方向。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1073/pnas.2501264122>

简讯

国家新标准为冷藏链温度检测提供方案

本报讯（记者朱汉斌）近日，国家标准《GB/T 45358—2025 易腐食品冷藏链温度检测方法》正式发布。该标准将于 2025 年 9 月 1 日起正式实施，为守护百姓餐桌安全贡献科技力量。

针对我国冷链物流长期存在的温度监测手段碎片化、设备性能差异显著、数据追溯体系缺失等“卡脖子”难题，新国标系统构建了覆盖预冷、贮藏、运输、销售全链条的温控技术体系。该标准明确了传感器布局、数据采集频次及异常处理等关键技术问题，同步规范了设施设备和校准规程等技术管理要求，为行业提供了可操作、可追溯的标准化解决方案，为守护百姓“舌尖上的安全”注入新的科技动能。

该标准由广州大学牵头制定，填补了行业技术空白，标志着我国食品冷链温控技术实现从经验管理到科学治理的跨越式升级。

一所一人一事

追光！一场与时间的赛跑

■张晶

光创（GC）系列任务是近年来中国科学院西安光学精密机械研究所（以下简称西安光机所）承担的新型高精度空间载荷研制任务。

负责 GC-2 光机系统装调任务的是一支年轻且充满活力的队伍，团队 5 位成员中有 4 位都是“90 后”。他们不仅个人专业能力出众，而且在关键时刻总能团结一致、互相支持，全力保障项目顺利推进。

精准装调 不断实现技术突破

与传统的“设计先行、工艺跟进”模式不同，GC-2 项目采取了“工艺前置”策略，因此，GC-2 光机装调团队从项目立项之初就深度介入、全流程参与。他们不仅在设计阶段就提出了多项结构优化建议，还在生产策划报告中明确了工艺路线和人员分工。

正是这种深度融合，使团队能够在设计阶段就发现并解决潜在问题，避免后期装配中的返工和延误。

大口径反射镜微应力装配是 GC-2 光机系统装调面临的核心难点之一。面对背部三点柔性支撑高精度碳化硅反射镜微应力装配技术中的重点难点问题，团队负责人王鹏带领团队成员展开攻关，包括碳化硅反射镜锥孔精研、大跨距单点共面性研磨等关键技术。面对紧张的研制周期，他们通过光学装配误差分析，果断采取并行装配策略，前置系统和后光学系统

同期开展装配，有效推进了项目进度。

然而，并行装配又带来了新问题，如何保证每面镜子都能调整到位？要解决这个问题，团队成员需要在多个坐标系之间进行精确耦合。

激光跟踪仪空间定位技术和计算机辅助装调技术是团队实现精确耦合的两大“利器”。工程师杨帆是激光跟踪仪的“操盘手”，以其高精度的空间定位能力，为系统装配提供可靠的测量保障。后光学集成组组长雷昱作为“计算机辅助装调”课题的牵头人，通过实践不断积累经验，让这项技术在 GC-2 项目中实现了新突破。

“技术突破离不开团队的协作和创新，这是我们能够与时间赛跑的最大底气。”王鹏说。

主动控制 为重力卸载提出最优方案

在 GC-2 光机系统的装配过程中，重力卸载是一个不容忽视的问题。次镜组件重达 16 公斤，加上主次镜连接筒，系统的重力分布复杂，稍有差池就会影响成像质量。团队曾尝试使用滑轮－砝码进行重力卸载，但效果不理想。经过多次讨论和实验，他们最终选择采用基于六杆机构的重力卸载补偿方式。

“我们在 0 度和 180 度的状态下分别测定了重力对系统成像质量的影响，并通过六杆机构进行了精确调整。这样能够精

确补偿次镜在不同重力状态下的位移和角度变化，确保主镜和次镜的光轴始终保持一致。”王鹏解释道。

“六杆机构的引入，让我们在重力卸载问题上实现了从‘被动应对’到‘主动控制’的转变。”雷昱补充说。更重要的是，这一次尝试不仅保证了成像质量，还为未来开展复杂系统的装调积累了宝贵经验。

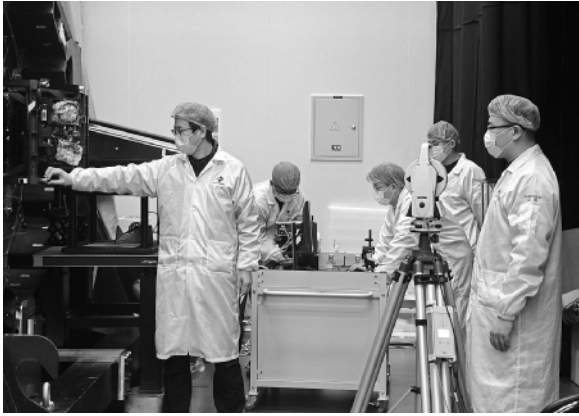
协同攻坚 团队协作彰显精神底色

在 GC-2 光机装调团队中，协作是攻克难关的关键词。

项目初期，团队根据任务需求分为前置系统组和后光学集成组，根据项目进度进行不同组合。但当项目进入关键阶段时，团队迅速从“分组作战”转向“协同攻坚”。

在一次后组镜装调中，测量数据显示面形偏差超出预期，杨帆立即与同事展开联合攻关。经过连续十几个小时的奋战，他们在凌晨 4 点解决了问题。“那一刻，大家觉得所有努力都是值得的。”GC-2 光机装调团队特别研究助理乔文龙感慨道。

西安光机所装校技术研究中心主任付兴曾担心这支年轻的队伍能否完成任务，在高强度、高压下能否顶得住。但随着项目推进，年轻成员的表现彻底打消了他的



GC-2 光机装调团队工作现场。 图片来源：西安光机所

顾虑。“年轻人有活力、有想法，只要引导得当，他们的潜力是无限的。”付兴表示。

经过无数个日夜的奋战，GC-2 光机系统的各项技术指标均达到要求，成像质量方面也远超预期。现阶段已转向焦面箱的集成调试。

在团队新成员吕萌勃看来，虽然项目取得了阶段性胜利，但是“不到最后一刻，绝对不能有丝毫松懈”。项目的成功离不开这支年轻队伍的合力托举，他们用行动彰显了西光人“分可独立作战，聚可合力攻关”的精神底色。正如雷昱所说，“我们不是一个人在战斗，而是一个团队在冲锋”。

在西安光机所的“追光”之旅中，GC-2 光机装调团队是诸多西光团队的缩影。有更多的西光人目标一致、协力攻关，满怀信心、步履铿锵，用行动为抢占科技制高点、加快建设科技强国、实现高水平科技自立自强贡献青春力量。

（作者单位：中国科学院西安光学精密机械研究所）

发现·进展

上海海洋大学

破解鱿鱼“挑食”的秘密

本报讯（见习记者江庆龄）上海海洋大学高级工程师林东明、教授李纲团队，发现鱿鱼在个体水平上有着高度的食性特化，且随着年龄增长，口味变得越来越“挑剔”，并揭示了鱿鱼“挑食”的机制。近日，相关研究成果发表于《英国皇家学会会刊 B：生物科学》。

鱼类的食性特化是指在长期的进化过程中，鱼类逐渐形成的对特定类型食物的高度依赖和适应能力，是自然选择与生态压力共同作用的结果。鱿鱼是海洋生态系统中的重要成员，传统观点认为，鱿鱼是“来者不拒”的捕食者。

为量化鱿鱼的“挑食”程度，研究团队以阿根廷滑柔鱼为主要研究对象，并使用“个体特化指数（ISI）”指标进行衡量。ISI 的范围在 0 到 1 之间，数值越大，说明越“挑食”。鱿鱼的 ISI 值通常大于 0.70，成体鱿鱼的 ISI 值更高，繁殖投入高的个体更“挑食”。

鱿鱼在繁殖期间需要大量能量，为了高效获取能量，这些个体往往会选择能量密度更高的食物。这种“挑食”行为不仅减少了与其他鱿鱼的竞争，还能提高能量获取效率，为繁殖提供更多能量储备。

同时，水温是影响鱿鱼行为的重要环境因素，水温变化会改变食物资源的分布。鱿鱼会通过“挑食”优化资源利用，减少竞争压力，以适应环境波动变化。

该研究不仅有助于理解鱿鱼的摄食生态学，还为揭示个体食性特化如何影响种内竞争、优化能量获取和提高适应性等提供了新见解。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1098/rspb.2024.2591>

中国科学院青藏高原研究所

揭示青藏高原洛隆盆地隆升历史

本报讯（记者冯丽妃）中国科学院院士、中国科学院青藏高原研究所研究员丁林团队定量重建了青藏高原东部洛隆盆地的隆升历史和环境变化，为探索高原生长过程及环境影响提供了新的有力证据。相关研究成果近日发表于《国家科学评论》。

洛隆盆地位于青藏高原中部与东部的过渡地带，是研究高原隆升和气候响应的关键区域。2020 年至 2024 年，研究团队在该地区进行了多次野外地质考察和系统发掘，采集了大量火山灰、古土壤钙结核、湖相灰岩和泥岩孢粉样品，以及 2000 多件各类化石标本。其中，植物叶片化石最为丰富，指示该地区当时的生物多样性非常丰富。

“湖相灰岩团簇同位素古高度计指示，在 5400 万年前至 4600 万年前，洛隆盆地海拔高度仅 600 米。孢粉分析表明，该盆地分布着以麻黄属为代表的耐旱灌木，指示干旱沙漠环境。”论文第一作者、中国科学院青藏高原研究所博士生赵晨圆介绍，“而在约 4400 万年前，植物化石叶相－热焰法计算出的古高度显示盆地快速抬升至约 2900 米。地表隆升导致降雨量显著增加，出现明显的干湿季交替，结合以漆树科、栎属、旱梅属等为代表的植物化石群落，表明洛隆盆地的气候转变为相对温暖湿润的亚热带地中海式森林环境，孕育了生物多样性丰富的落叶阔叶混交林。”

对此，丁林表示，中央谷地是印度板块与欧亚板块碰撞后长期存在于冈底斯山脉和中央分水岭山脉之间的低海拔地区。洛隆动植物群的发现，表明约 4400 万年前中央谷地向东延伸至以洛隆盆地为代表的广阔的藏东地区。古高度重建表明，中央谷地东部隆升早、西部隆升较晚，4400 万年前呈现出东高西低的地貌特点。

研究认为，6500 万年前以来，受印度大陆持续向北俯冲作用影响，中央谷地吸收了上千公里的地壳缩短，其中高原东部还发生了约 50° 的顺时针旋转，高原东部深部岩石圈地幔在变形最剧烈的区域首先发生撕裂并逐步下沉到软流圈中，同时引发软流圈物质上涌和大规模岩浆活动，最终引起地壳快速隆升。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1093/nsr/nwaf058>

中国科学院大连化学物理研究所

实现高效水全分解反应

本报讯（记者孙丹宁）中国科学院院士、中国科学院大连化学物理研究所（以下简称大连化物所）研究员李灿，大连化物所研究员范峰滔等通过精准调控铁电材料的表面结构，揭示了限制其水分解效率的关键因素，实现了高效水全分解反应，表观量子效率达到 4.08%。近日，相关成果发表于《自然－通讯》。

光催化水分解制氢是一种将太阳能高效转化为化学能的关键技术，同时也是减少化石能源依赖和环境污染的重要途径。然而，在光催化反应过程中，光生电荷从飞秒时间尺度的生成到毫秒时间尺度的利用，会经历体相和表面复合等多重消耗路径，这种电荷复合现象是制约太阳能转换效率提高的主要瓶颈之一。因此，如何高效分离光生电子和空穴以提升催化性能，是该领域亟待解决的核心问题。铁电材料因其非中心对称结构，在体相存在退极化电场，可有效驱动光生电子和空穴向相反的极化表面分离，在电荷分离方面具有重要潜力。

在该研究中，科研人员针对铁电材料光生电荷分离与催化活性不匹配的问题，以单畴钛酸铅（PbTiO₃）为研究模型，系统探讨了其表面结构及电荷动力学特性。研究揭示，PbTiO₃ 正极化面存在 Ti 空位缺陷，这些缺陷作为电子捕获中心，导致电荷复合并限制光催化效率。空间和时分辨光谱分析表明，钛酸锶（SrTiO₃）的生长消除了正极化面与 Ti 缺陷相关的捕获态，降低了光生电子的捕获与复合，使电子寿命从微秒量级延长至毫秒量级，到达反应活性位有效参与反应，从而提高了水分解效率。

该工作为设计高效铁电光催化材料提供了新的理论指导和研究思路。

相关论文信息：

<https://doi.org/10.1038/s41467-025-56359-y>