中国科学报
CHINA SCIENCE DAILY

总第 9016 期　2026 年 6 月 17 日　星期三　今日 4 版
中国科学院主管　中国科学报社出版
国内统一连续出版物号 CN 11－0084　代号 1－82
主办：中国科学院　中国工程院　国家自然科学基金委员会　中国科学技术协会

听《中国科学报》　《中国科学报》官微　科学网 App　科学网官微

新浪微博 http://weibo.com/kexuebao　科学网 www.sciencenet.cn

高清连续拍摄 120 小时，找到人类胚胎发育停滞原因

■本报记者 陈彬 朱汉斌

随着辅助生殖技术的发展，很多不孕不育家庭选择试管婴儿技术，期盼借此迎来新生命。然而，该技术目前存在明显短板——从精卵结合形成受精卵，到发育成可供移植的囊胚，需要约 5 天时间。在这段“窗口期”内，超过半数的人类受精卵会停止发育，无法移植至母体子宫着床受孕，这也是试管婴儿成功率难以提升的核心瓶颈。

“要想破解胚胎发育停滞的难题，就必须完整、清晰地观察胚胎这 5 天发育过程的动态变化。”清华大学生物医学交叉研究院助理教授、北京生命科学研究所研究员苏俊说。

为此，苏俊团队与中国科学院院士、广东智慧医学国际研究院院长贺福初团队合作，联合中南大学、中国科学院动物研究所等科研团队，自主研发出全球首台高通量双视野活细胞光片显微镜，搭配全新的细胞标记办法、图像处理技术，借助国际领先的长时程显微拍摄手段，首次完整拍下人类胚胎着床前 5 天发育的高清连续影像。

依托该技术，研究团队成功找到了造成胚胎发育停滞的两大核心原因，为临床找到对应的防治办法打下了坚实的理论基础。近日，相关研究成果在线发表于《细胞》。

打通关键技术路径

胚胎本身通体透明，欠缺对比度，想要看清它内部的细微变化，需要借助荧光标记和激光成像。但胚胎十分脆弱，普通的激光照明会对其造成不可逆的伤害。受此限制，常规的显微成像技术最多只能连续观察胚胎 24~48 个小时。

人类受精卵发育成囊胚的完整周期需要 120 小时，即 5 天时间。在此期间，与发育停滞相关的异常变化可能发生在任一节点，加之传统设备无法拼接不同胚胎、不同阶段的观测数据，长久以来，科研人员始终无法全面摸清人类胚胎发育的真实规律。

为攻克这一技术难点，研究团队于 3 年前在北京生命科学研究所成功搭建出全球首台高通量双视野活细胞光片显微镜。

“这台设备采用低光毒性的双侧光片扫描和高效的双侧检测方式，同时结合新一代的活细胞荧光化学探针和优化的图像反卷积算法，可在不对胚胎造成任何伤害的前提下，实现全过程拍摄。”苏俊告诉《中国科学报》，该设备每 12 分钟拍摄一组影像，并能够实现深度 300 微米的立体观测，可顺利完成人类胚胎着床前发育的高清连续拍摄。

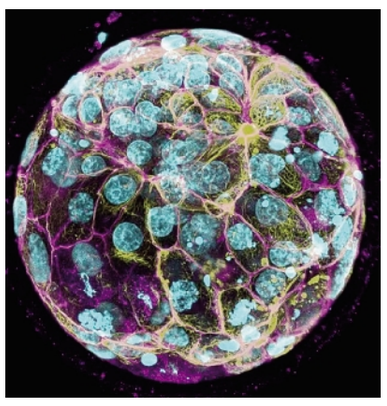
这项核心技术的突破为研究扫清了最大障碍。此外，作为人体蛋白质组导航国际大科学计划（π－HuB 计划）的重要先导成果，广东智慧医学国际研究院研发的“慧眼”设施预研平台对拍摄后的胚胎进行了深度蛋白组检测。通过联合使用这些技术，研究团队最终解开了胚胎发育停滞之谜。

揭示两种发育停滞机制

该研究全程在相关临床合作单位的支持及相应伦理委员会的监管下展开。实验中，研究团队使用健康男性捐献的精子，以及非卵巢问题不孕的女性合规捐献的卵子培育出两类受精卵：一类是体外培育成熟的卵子形成的受精卵，一类是在女性体内自然成熟的卵子形成的受精卵。

研究人员先对这两类受精卵的发育差异情况进行了对比，以此排除卵子本身质量对实验结果的干扰；再将人体内自然成熟的受精卵与中国科学院动物研究所提供的猴子受精卵做对比，进一步区分物种差异带来的影响。

借助新显微镜开展大规模连续观测，研究团队累计追踪分析了 150 多枚人类和猴子的胚胎，并记录下 2000 余次细胞分裂过程，最终得出全新结论——人类胚胎前 3 天的早期停滞与第 4 天的晚期停滞，归因于两种截然不同的机制。



研究团队拍摄的着床前胚胎高清照片。　清华大学供图

具体来说，从受精到囊胚形成的 5 天时间里，胚胎会经历多次分裂。每次细胞分裂时，其内部遗传物质都需要依靠一种名为纺锤体的细胞骨架结构，平均分配到两个新细胞中。

“受材料限制，以往研究大多借助非灵长类胚胎、临床废弃的异常胚胎开展。学界普遍认为，受精卵的第一次分裂最容易出问题，但本次针对正常人类受精卵的观测结果却推翻了这一观点。”苏俊说。

他们发现，有超过 70%的早期停滞胚胎，问题都在于第二次细胞分裂阶段的纺锤体明显异常。同时，在胚胎前三次分裂中，唯有第二次分裂是否出现异常，能预判胚胎最终能否正常发育。

经过反复实验，团队证实第二次分裂时的纺锤体异常会直接造成遗传物质分配出现错误，进而让胚胎在三次分裂内彻底停止生长，这是胚胎早期停育的主要诱因。

研究团队同时发现，这类因纺锤体遗传物质出错导致的停滞问题只出现在胚胎发育前 3 天。“到了第 4 天，胚胎的细胞数量增加到几十个，外形像一颗小小的桑葚，因此又被称为‘桑椹胚’阶段。”苏俊说，在此阶段停滞的胚胎，并没有出现遗传物质异常的情况。

通过对顺利发育成囊胚但在“桑椹胚”阶段停滞的胚胎进行蛋白质组分析，研究团队最终找到了此类“晚期停滞”的原因——内质网的应激反应。

“内质网位于胚胎细胞内部，就像胚胎的蛋白质工厂，负责蛋白质的合成。”苏俊表示，一旦内质网出现问题，就会打乱体内蛋白质的正常合成与运转，导致胚胎无法产生囊胚形成所必需的蛋白，最终导致胚胎发育止步不前。

探索临床干预的可能性

发现上述胚胎发育停滞现象的机制后，研究团队并没有停止研究，而是继续探索临床干预的可能性。

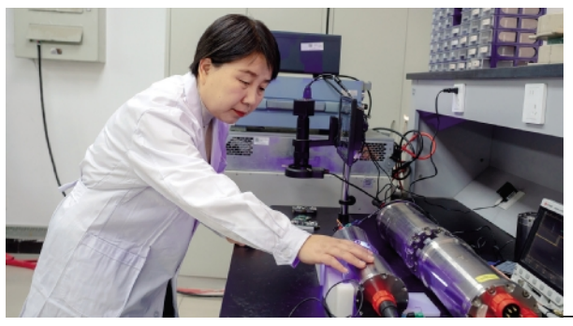
“针对胚胎早期停滞即第二次细胞分裂异常问题，我们通过深挖根源，发现了引起纺锤体异常的罪魁祸首——中心体。”苏俊解释说，该结构在细胞内负责纺锤体的组建，一旦该结构数量失衡，就会直接引起纺锤体畸形。

基于这一发现，研究人员在胚胎第二次分裂的关键时期，加入针对中心体的抑制剂进行干预。实验结果显示，干预后，胚胎体内中心体数量正常的细胞比例从原本的 40%提升至 80%，大幅减少了分裂错误情况的发生。

“更重要的是，这种干预方式不会伤害正常的胚胎细胞，未来有很大希望应用于临床，解决胚胎早期停滞问题。”苏俊说。

至于“桑椹胚”阶段的晚期停滞现象，该团队也已搭建相应的小鼠胚胎实验模型。“我们希望通过这个模型筛选出有效抑制内质网应激的药物，力争早日拿出成熟方案，挽救这类中途发育停滞的胚胎。”苏俊说。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.05.037*



王丽芳做深海无线充电系统调试。　受访者供图

王丽芳：人生不设限

■本报记者 张双虎

“成果是大家做出来的，我只是代表团队领了奖。”谈及获得“中国科学院三八红旗手”荣誉称号，中国科学院电工研究所（以下简称电工所）研究员、车用能源系统及控制技术研究部主任王丽芳说。

1997 年，王丽芳博士毕业入职电工所，从此扎根科研一线。近 30 年的科研生涯中，她带领团队始终和国家战略需求同频共振，在电动汽车控制和深海装备供能领域两次实现关键技术突破。

“开疆拓土”启动电动征程

2000 年前后，电动汽车行业蹒跚起步。作为我国电气科学与工程技术领域的国家战略科技力量，电工所长期专注于能源技术与电气科学领域，王丽芳团队选择在电动汽车研发方向“开疆拓土”。

“电动汽车是一个整体，其中电机控制、电池管理、整车控制等需要总线，也就是协调控制系统控制。随着行业发展，各大车企之间必须有统一的总线。”王丽芳说，“当时车企没有总线，也不知道用什么协议进行通信，这个领域基本从零开始。”

2001 年 9 月，我国启动了电动汽车重大科技专项，王丽芳带领团队承担子课题“总线通信协议”的研究。不久，她又出任该专项总体专家组专家，开始为电动汽车发展四处奔走。

为摸清行业真实情况，王丽芳奔波于吉林长春、湖北十堰、安徽芜湖等城市，深入调研考察、积极推动合作，并带领团队开展科研攻关。同时，联合一汽、东风、奇瑞等整车企业，推动总线技术在电动汽车上广泛应用。

此后，王丽芳又带领团队持续攻克新能源汽车动力总成、制动系统、底盘控制等核心技术，多项关键指标达到国际领先水平。相关研究成果在奇瑞、宇通、北汽福田、厦门金龙等自主品牌新能源汽车上得到广泛应用，为我国新能源汽车产业跻身国际第一梯队奠定了坚实基础。

攻坚深海　解除“续航焦虑”

很长一段时间内，我国深海装备发展遭遇能源供给“卡脖子”难题——传统电池续航短、海底无法续能，科学探测装备每次下潜均需返回母船充电……这些问题不仅严重制约了深海探测的深度与时长，而且费电费时，拖累了科研的整体进度。

2018 年，中国科学院启动“深海/深渊智能技术及海底原位科学实验站”战略性先导科技专项（以下简称先导专项），凝聚全院力量攻坚克难。在电动汽车无线充电技术领域已取得不错成绩的王丽芳团队承担起了深海无线充电技术研究的重任。

“当时挑战非常大。”王丽芳说，“虽然我们在电动汽车无线充电方面有示范研究，但深海领域从未涉及。”

王丽芳清晰地记得，先导专项推进期间遭遇了新冠疫情，许多工作被迫按下了暂停键，但团队丝毫没有懈怠，依旧如往常一样工作。

“这是个新领域，我们要学的东西很多，必须付出数倍于别人的努力。”王丽芳说，“中国科学院的立项指标就是‘万米深渊’，其中耐压、密封都是非常艰巨的挑战。”所幸，在中国科学院党组的坚强领导下，先导专项得到了众多研究所的大力支持。

2023 年夏，王丽芳团队奔赴南海开展海试。七八月的南海烈日炎炎，甲板温度高达 40 摄氏度，工作服瞬间湿透。研究人员不仅要顶住高温与颠簸，布放、回收如越野车般庞大的测试设备，更要时刻进行状态监测与参数调试，每日高强度作业长达十余个小时。（下转第 2 版）

科苑星光　巾帼风采

①顾方舟长子顾烈东观看展览。
②顾方舟团队使用过的单目显微镜（右）和病理切片标本。

6 月 16 日，由中国科协主办的“一生一事一方舟——‘人民科学家’顾方舟诞辰 100 周年纪念展”正式面向公众开放，展览将持续至 12 月。

本次展览将全球脊髓灰质炎（以下简称脊灰）防疫史、中国无脊灰奋斗史与顾方舟的百年人生相结合，集中展现以顾方舟为代表的老一辈科学家爱国、奉献、求实、创新、协同、育人的崇高精神，全面诠释其扎根一线、躬身科研、心怀家国、放眼世界的深厚情怀与格局。

脊灰曾肆虐全球、严重危害儿童健康，给无数家庭带来沉重伤痛，长期威胁全球公共卫生安全。顾方舟为我国彻底消灭本土脊灰作出了卓越贡献。　本报记者高雅丽摄影报道

中国“纯硅”获突破
硅基量子芯片核心材料实现自主量产

本报讯（记者韩扬眉）记者从中核集团了解到，6 月 15 日，我国科学家在稳定同位素富集与高纯硅制备领域取得关键性突破，首次成功实现丰度超过 99.99%的硅 －28 同位素自主量产，产品关键指标达到国际先进水平，标志着我国在构建自主可控、协同高效的稳定同位素产业格局方面迈出实质性步伐。该工作由中核集团旗下中国原子能工业有限公司所属核工业理化工程研究院完成。

硅 －28 作为硅的稳定同位素，因原子核自旋为零、可极大减少量子计算中的环境噪声干扰，被誉为“世界上最纯净的硅”，是硅基量子芯片不可或缺的核心材料。

中国科学院院士俞大鹏指出，这一突破彻底解了硅基量子计算“无米下锅”的燃眉之急，为我国硅基量子计算实现规模化比特操控铺平了道路。

中国工程院院士雷增光表示，高丰度硅 －28 同位素制备从开始技术攻关到量产落地，凝聚了科研团队多年的心血，具有里程碑意义。

稳定同位素不仅是支撑前沿科技与国家安全的关键基础材料，在核医学成像、精准放疗、核安保溯源、环境追踪、基础物理研究等领域也具有不可替代的战略价值。长期以来，全球稳定同位素制备技术高度集中、壁垒极高，已成为制约我国量子科技、先进半导体、高端医疗装备等关键产业链实现自主可控的主要瓶颈。

此次突破将为我国硅基量子计算核心材料的自主研制以及先进制程半导体、高端导航、计量基准等前沿科技领域高质量发展提供坚实支撑。

硅 －28 稳定同位素产品。　中核集团供图

加拿大简化基建审批，遭生态学家谴责

寰球眼

本报讯 据《科学》报道，加拿大政府提出了一项旨在简化重大基础设施项目审查流程的提案，但在科学家看来，这些举措“令人深感忧虑”，将削弱环境保护力度并危及濒危物种。

该提案近日以讨论文件形式发布，正值加拿大总理马克·卡尼试图通过大兴基建来增加出口并减少对美国的贸易依赖之际。加拿大政府表示，重大基础设施项目审批流程急需改革，因为其获得联邦批准往往需要 5 年以上时间。该文件指出，这种延误“在竞争激烈的国际环境中阻碍了对加拿大的投资”。

然而，加拿大生态与进化学会（CSEE）近日发表声明称，若豁免项目接受现行级别的审查，“将对加拿大的濒危物种、生物多样性和生态系统造成严重后果”。

这份由加拿大动物学家协会和加拿大鸟类学家协会联名支持的声明，对拟议改革的若干内容表示担忧。其中最值得关注的是，政府计划设立新的联邦经济特区，以便在实施输油管道等重大基础设施项目时绕过该国影响评估法规定的环境审查程序。

“由此带来的社会和环境负面影响可能极其严重。”加拿大维多利亚大学生态学家、CSEE 主席 Julia Baum 表示，如果允许在环境评估完成前就动工，那将背离评估的初衷。

另一项重大调整是，该国政府将允许某些项目不必遵守“不得伤害濒危物种”的相关法规。CSEE 重点强调了几个可能因审查放宽而面临风险的物种。例如，濒危的北方居留型虎鲸可能会受到拟建的液化天然气终端的影响；而安大略省计划建设的一座镍矿可能会破坏驯鹿的栖息地。

CSEE 还对一项内容表示担忧，即在其他地方重建或恢复鱼类栖息地的情况下，允许开发商破坏现有鱼类栖息地。过去，在取得加拿大渔业与海洋部颁发的许可证后，这种情况是被允许的，但 CSEE 表示该方法效果不佳。例如，一项分析发现，在 2012 年获批的 78 个项目中，鱼类栖息地净减少近 3 平方公里。

加拿大政府计划在公众意见征询期结束后提交立法草案。由于“迄今收到了大量反馈”以及公众要求延长意见征询时间，征询期已延长 6 周，截至 7 月 22 日。　（文乐乐）

科学家揭秘 4 万座海底山峰从何而来

本报讯（记者冯丽妃）全球大洋底部散落着超过 4 万座海底山峰，它们从何而来？中国科学院地质与地球物理研究所研究员刘丽军团队与合作者，借助自主开发的高分辨率全球数据同化模型，再现了 2.7 亿年以来的地球深部动力过程，并对全球地幔柱的时空演化进行了模拟分析。研究发现，无论是线状延伸、排列整齐的海山链，还是零散分布的孤立海山，其形成和演化均与核幔边界形成的地幔柱上涌所带来的软流圈热物质活动密切相关，为全球海山的成因提供了统一的深部动力来源。近日，相关研究成果在线发表于《自然－地球科学》。

最新探测数据表明，全球大洋板块内散布着 4 万余座海山，几乎遍及各个海域。按照传统的热点假说，来自地核顶部的高温地幔柱会在移动的板块下方引发岩石的熔融，从而形成诸如夏威夷群岛的海底火山长链。然而，满足这些特征的海山链数量有限，仅有 50 多个。热点模型与海山的数量规模、空间分布特征显著不匹配，进而衍生出关键的科学问题：全球众多海山是否均由热点与地幔柱活动造就？若存在成因关联，数量有限的热点又如何解释全球海山的广泛分布？

研究团队利用全球数据同化模型，复现了大部分现今观测到的全球地幔柱热点位置和软流圈的热结构，并预测了夏威夷等关键热点及其所对应的深部地幔柱的时空演化。该四维模型揭示，海山链和孤立海山的形成和演化均与核幔边界形成的地幔柱上涌所带来的软流圈热物质活动密切相关。

以太平洋区域为例，在地幔柱上涌的早期，大量的地幔柱热物质积蓄在年轻的太平洋板块下方，形成大范围的软流圈热异常，这与被称为西太平洋海山省的零散海山出现有明确的时空对应关系。在随后的演化过程中，地幔柱可以从下地幔的根部或地幔过渡带的中部分裂出更多的地幔柱，从而形成次级地幔柱。这进一步增加了浅部热点的数量，也为形成更多的海山链提供了条件。这类热物质长期留存于软流圈内部，并随着地幔对流逐渐运移和扩散，该残余热异常的模拟温度与同位置观测到的 4 万余座海山的高度呈显著的线性关联，从而揭示了这些软流圈热异常能够孕育出大量零散分布的小型海山，证明这些热异常区域代表着海山孕育区。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1038/s41561-026-02006-0*