



地下“拉扯”，造就最大超级火山

■本报记者 冯丽妃

在美国西部广袤的黄石国家公园地下，潜伏着地球上最大的“火药桶”——黄石超级火山。一旦苏醒，它喷发的火山灰足以覆盖半个美国，对全球气候产生影响。

然而，这座超级火山究竟是如何形成的？这一地球科学领域的“悬案”，长期以来困扰着全球科学家。

近日，一项由中国科学家领衔的研究颠覆了人们的认知。中国科学院地质与地球物理研究所(以下简称地质地球所)研究员刘丽军、博士后曹泽斌联合中外合作者，利用高精度“真实地球模型”，绘制出一幅不同于过往认知的画面：数百万年来地球岩石圈与软流层持续相互“拉扯”，驱动了黄石火山喷发。相关研究成果发表于《科学》。

为何中国科学家要研究美国火山？在采访中，刘丽军与曹泽斌讲述了一段跨越山海求学问道，而后相继归国潜心深耕的故事。

瞄准“悬案”

作为地球上现存最大的超级火山，黄石火山在过去 210 万年内曾两次发生超级喷发——208 万年前，一次喷出了 2500 立方千米的固体物质；63 万年前，喷发量达到 1000 立方千米。简言之，其喷发量为曾毁灭庞贝古城的维苏威火山的“数百倍”。

超级火山会对环境、气候和人类社会产生巨大影响，深入理解其运作机制对火山灾害预警有重要意义。过去数十年，主流科学界普遍认为，超级火山的动力来源于地壳内长期积累的“岩浆房”——岩浆在自身浮力作用下逐步聚集到岩浆房内，当压力超过周围岩石可承受的极限时，地壳就会破裂或坍塌，岩浆随之快速涌至地表，形成大规模喷发。

这套推理看似完美，却存在两个打不开的“死结”。“一是形成岩浆房的能量从哪里来？维持超大岩浆房持续高温所需的热量，从地球演化来看无法持续供给。二是形成岩浆房的空间从哪里来？低密度的液态岩浆，物理上并不具备推开坚硬岩石圈的能力。”刘丽军说。

更关键的是，这一模型不符合观测结果。近年来的高精度地球物理成像研究证实，黄石火山下不存在纯液态岩浆房，取而代之的是纵贯整个岩石圈的“岩浆晶粥”，即由来自地幔软流圈的液态岩浆与上覆岩石圈的坚硬岩石形成的



刘丽军(右)与曹泽斌在进行研究。

受访者供图

混合体，黏度是普通岩浆的数十万倍。

同时，不同于传统模型中来自地球深部的上涌地幔柱导致垂直向上的岩浆分布，纵跨整个岩石圈的黄石火山岩浆晶粥系统会随深度增加向西南方向偏移，且仅在喷发前一小段地质时间内才会形成大量液态岩浆。

然而，驱动这一复杂系统的机制尚不清楚，使得相关研究成为地球科学研究中备受争议的“悬案”。

刘丽军希望用团队开发的“真实地球模型”回答这一问题，并把选题交给了学生曹泽斌。

故事要从 2010 年说起。从中国科学技术大学毕业后，刘丽军远赴美国，在约翰斯·霍普金斯大学、加州理工学院、加州大学圣地亚哥分校求学深造，并接触到一项类似天气预报的技术——数据同化。简单来说，就是把海量观测数据按物理规律“喂”给模型，让数值模型能够逐步逼近真实地球。

“传统模型往往把问题简化，但真实地球非常复杂。”刘丽军说，他希望搭建的“真实地球模型”不预设结论、不强行简化，把真实地质、地震、地磁、地球化学、地球动力学数据全部纳入，推导出地球的故事。

从 2012 年到 2022 年，在伊利诺伊大学香槟分校工作的刘丽军带领团队不断深耕，打磨出高精度的北美大陆模型，将板块俯冲、大陆漂移、岩石圈变形等大尺度地质过程摸得一清二楚。他的研究吸引了不少学生，曹泽斌

就是其中之一。2016 年，刘丽军回国到浙江大学作报告。台下，大三学生曹泽斌为他的理念所震撼，报告结束后追着提问。两年后，本科毕业的曹泽斌成了刘丽军的学生。

“我本科做地震波各向异性研究，地球动力学基础几乎为零，而这个方向要求地质、物理、数学、编程样样过硬。”曹泽斌坦言，“头两三年我几乎都在补课，学习曲线很陡。”

刘丽军的研究思路是，先做好大尺度模型的“骨架”，再往细处“添肉”，做中小尺度验证。黄石火山作为典型中小尺度现象，正适合检验“真实模型”。于是，在刘丽军的指导下，曹泽斌从大尺度地幔流场做起，再一点点把岩石圈结构、岩浆房的“晶粥”结构等观测数据同化进黄石火山模型。

颠覆性“拉扯”

2023 年，刘丽军全职回国，入职地质地球所，把这套世界领先的地球系统模拟体系带回祖国。此时，曹泽斌博士毕业后前往美国普林斯顿大学继续深造。2024 年，他追随导师的脚步，以博士后身份加入刘丽军团队，继续开展黄石火山研究。

这可谓一场算力上的“马拉松”研究，要把北美西部数十年的地震成像、地磁观测、地质演化数据全部注入模型，构建起从地表到核幔边界的高精度三维动态模型。

“常常是超算‘跑’几天，结果不对就全部推倒重来。”曹泽斌回忆。

最终通过试错、迭代、优化，他们得到一个最优模型，而且“跑”出了一个与过往截然不同、极为宏大的动力学机制。从地表来看，整个北美大陆岩石圈板块在自东向西运动；但在现有岩石圈之下，北美大陆东部深处的古老法拉龙板块持续向大西洋下沉，并像一个巨大的“抽水机”，在周围形成强劲的“地幔风”，将西部的软流圈物质向东吸引，在其上方岩石圈的底部产生了强大的东向牵引力。当软流圈物质经过黄石火山下方从薄变厚的岩石圈过渡带时，较轻的热物质与下行的地幔风相互“拉扯”，导致软流圈减压熔融，产生大量幔源岩浆。同时，这一拉扯使得黄石火山下方的地幔聚集了区域性的拉张应力，“撕裂”了该处的岩石圈，形成了一条倾斜向上的贯穿岩石圈的虹吸通道。

“岩浆沿着这个虹吸带，像‘爬楼梯’一样上涌、迁移，并在该过程中不断演化，最终形成了黄石火山下方岩浆系统的形态。”论文第一作者曹泽斌比喻道。

这一发现颠覆了过往对火山“引擎”的认知。“岩浆在这里是结果，而不是原因。”论文通讯作者刘丽军强调，“是先有构造力把岩石圈‘撕开’，岩浆才趁机涌上去的。这就好比先有了裂缝，水才会流出去；而不是水把石头撑开，再流出去。”

这一机制广泛适用于其他活跃的火山，例如位于我国东北的镜泊湖火山、位于东南亚的多巴火山、位于俄罗斯远东的勘察加火山群和位于南美的阿尔蒂普拉诺火山，为未来进一步理解火山动力过程、预测火山活动性和预防火山灾害提供了新的地球动力学视角。

审稿人评价称，研究首次实现了地球物理、地质信息和地球动力学数值模型解释的优雅结合。美国犹他大学专家在同期观点与评论文章中指出：“这一发现对于评估黄石火山系统及全球其他同类火山系统的灾害风险具有重要意义。”

打造地球“天气预报系统”

回顾研究历程，刘丽军表示，黄石火山研究的成功离不开跨学科合作。她在团队聚焦高精度数值模型、地质地球所研究员万博团队主攻构造地质、研究员陈凌团队做地球物理成像，美国伊利诺伊大学教授克雷格·伦德斯特朗则聚焦地球化学和岩石学。(下转第 2 版)

李强主持召开国务院常务会议

研究科技创新有关工作

听取推动海洋经济高质量发展情况汇报

审议通过《行政法规制定程序条例(修订草案)》

新华社北京 4 月 24 日电 国务院总理李强 4 月 24 日主持召开国务院常务会议，研究科技创新有关工作，听取推动海洋经济高质量发展情况汇报，审议通过《行政法规制定程序条例(修订草案)》。

会议指出，近年来我国科技实力持续增强，关键核心技术攻关加快推进，科技创新成果不断涌现，新质生产力稳步发展。要锚定 2035 年建成科技强国的战略目标，充分发挥新型举国体制优势，全面深化科技体制改革，一体推进教育科技人才发展，加快实现高水平科技自立自强。要紧盯全球科技前沿动向，围绕国家战略需求与产业发展需要，加强原创性引领性科技攻关，提升基础研究水平，打造具有全球影响力的创新高地。要支持有条件的企业参与重大科研项目、承担国家重大战略任务，带动产学研协同发展，促进科技创新和产业创新深度融合。

会议指出，要提高经略海洋能

力，高效开发利用海洋，推动海洋经济高质量发展，加快建设海洋强国。要强化海洋战略科技力量，加强海洋科技创新，推动海洋领域数字化智能化转型升级。要做优做强做大海洋产业，巩固提升优势产业地位，大力培育海洋生物医药、新材料等新兴产业，有序开发海洋能源资源。要积极拓展海洋经济发展空间，加强主要海湾整体规划和海岛保护利用，着力培育新的经济增长点。要深度参与全球海洋治理，深化海洋领域开放合作，坚决维护国家海洋权益和战略安全。

会议指出，科学制定行政法规是全面依法治国的一项基础性工作。要认真抓好《行政法规制定程序条例》实施，坚持科学立法、民主立法、依法立法，适应经济社会发展变化，及时开展立法研究，做好立项申请、评估论证、组织起草、立法审查等工作，健全完善配套规定，持续提升立法质效，为改革发展提供必要法治保障。会议还研究了其他事项。

中国科学院与重庆市举行科技合作会谈

本报讯 近日，中国科学院与重庆市在渝举行科技合作会谈。重庆市委书记袁家军、中国科学院院长、党组书记侯建国出席会议并讲话。中国科学院副院长、党组成员汪克强、秘书长王华、文亚，重庆市领导刘尚进、马震出席会谈。

袁家军代表重庆市委、市政府欢迎侯建国一行赴渝深化合作，感谢中国科学院在国家级科创平台建设、科技成果转化、高层次人才引育等方面给予重庆的大力支持。他说，重庆拥有国家战略叠加、城市规模、产业基础、交通枢纽、创业成本等优势，经济社会高质量发展态势向上向好。当前，全市上下深入贯彻落实习近平总书记视察重庆重要讲话重要指示精神，聚焦做实“两大定位”、发挥“三个作用”，深入实施科技创新和人才强市首位战略，扎实推动科技创新和产业创新深度融合，着力提升“33618”现代制造业集群体系能级，加快推进“人工智能+”行动，不断提升超大城市发展、服务、安全、治理能力，努力打造西部地区高质量发展增长极动力源，奋力谱写中国式现代化重庆篇章。希望中国科学院充分发挥自身优势，进一步用好重庆科技创新丰富场景，持续深化科创平台建设、产业创新、人工智能发展、人才培养等领域务实合作，携手推动院市合作取得新成效。

侯建国感谢重庆市对中国科学院工作的关心支持。他表示，长期以来，院

市双方持续加强协作，为开展新一轮全面战略合作打下坚实基础。当前，中国科学院正在深入贯彻习近平总书记提出的“四个率先”和“两加快一努力”重要指示要求，锚定科技强国建设目标，聚焦抢占科技制高点核心任务，奋力攻坚、勇攀高峰。希望院市双方围绕国家重大需求和区域经济社会发展高质量发展需要，共同建设高水平重大科技创新平台，共同加强原始创新和关键核心技术攻关，力争产出更多关键性、原创性、引领性重大成果，努力支撑长江上游重要生态屏障建设与绿色低碳产业技术创新和高端制造，推动科技创新和产业创新深度融合；聚焦人才引育，共同打造创新人才高地，更好推动成渝地区区域科技创新中心建设，为实现高水平科技自立自强和建设科技强国作出更大贡献。

会谈后，汪克强、马震代表院市双方签署全面战略合作协议。根据协议，中国科学院将紧密结合国家战略性新兴产业布局，强化科技制高点供给。重庆市将支持中国科学院贯彻落实习近平总书记重要指示精神，加快抢占科技制高点，创新体制机制，支持在院院属单位高质量发展，支持中国科学院科技成果在渝转化和产业化。(柯讯)

巴西高安全级别实验室病毒被盗引发关注



本报讯 据《自然》报道，近日，巴西坎皮纳斯州立大学高级别生物安全实验室的病毒样本被盗。巴西国家卫生监督局日前表示，巴西联邦警察已找回病毒样本，经评估确认，样本不会对人体健康构成威胁。

尽管如此，这一消息仍在巴西病毒学界引起轩然大波。人们质疑，这样的失误为何会发生在一个三级生物安全实验室。该级别属于第二高的安全等级。消息传出之际，巴西正在为建造首个四级生物安全实验室争取支持，而实验室选址就在距离坎皮纳斯州立大学仅几公里的地方。

巴西圣保罗大学的病毒学家 Paulo Sanches 称，整个学界都对此“感到困惑”，“没有授权，任何样本都不能从这种安全等级的实验室中取出”。

今年 2 月，坎皮纳斯州立大学的一名研究人员发现有几份病毒样本不翼而飞。通过检查监控录像，发现该实验室博士生 Michael Edward Miller 经常在非正常时间离开实验室，通常是在“深夜或凌晨，并且总是提着东西”。于是，实验室成员向校方表达了担忧。

警方接到通知后，在该校进行搜

查，并找到了失踪的样本。其中一些病毒样本是在该校食品工程学院的一个实验室里找到的。该实验室由 Michael Edward Miller 的妻子、该校病毒学家 Soledad Palameta Miller 与其他研究人员共用。而 Soledad Palameta Miller 没有从三级生物安全实验室取用材料的权限。通过调查，警方认定她在首次搜查后试图销毁证据，于是将其逮捕。近日，Soledad Palameta Miller 被保释，但仍面临包括盗窃在内的多项指控。而她的丈夫尚未被捕或受到指控。

警方表示，由于这些“消失”的样本存放在 Soledad Palameta Miller 工作的实验室，因此这一行为应由她负责。至于其丈夫或其他人是否协助了她，将在调查过程中进一步确定。

对于该事件，巴西病毒学会在一份声明中强调，现有的生物安全系统是有效的，因为样本很快被找回，并迅速采取了适当的处置措施。

据当地媒体报道，这些被盗样本可能包括基孔肯雅病毒、登革病毒和 EB 病毒(一种人类疱疹病毒)等。但坎皮纳斯州立大学尚未披露病毒样本清单。

有不少人对坎皮纳斯州立大学迟迟不肯公布样本清单的行为表示疑惑，认为这会加剧人们的恐慌。研究人员担心，在将于该校附近建设四级生物安全实验室这样一个关键时刻，相关信息不透明可能会影响公众对科研机构的信任。(徐锐)

4 月 25 日，厦门科技馆举办“嗨！海怪”化石展，吸引市民游客参观。展览汇集了超百件珍稀化石、复原模型及多种罕见活体生物，生动还原了从埃迪卡拉纪到中生代的海洋生命图景。

图为展品吸引了游客的目光。图片来源：视觉中国

研究揭示由关键“第二信使”介导的全新膜损伤机制

本报讯(记者孟凌霄)中国科学院生物物理研究所研究员高璞团队与北京理工大学教授高昂团队合作，系统解析了 2'3'-cGAMP 在原核生物中的生成方式、特异性激活下游跨膜效应蛋白的过程，以及这一信号最终如何导致新型生物膜损伤和细胞死亡。这项工作不仅拓展了人们对天然免疫进化多样性及其普遍设计原则的认识，也为理解膜蛋白如何重塑并破坏生物膜提供了新视角。相关论文近日发表

于《细胞》。cGAS-cGAMP-STING 通路是动物天然免疫中的经典 DNA 识别通路，在感染、炎症和肿瘤免疫等过程中发挥了重要作用。其中，2'3'-cGAMP 作为关键第二信使，负责把上游 DNA 识别信号传递给下游膜蛋白 STING。2'3'-cGAMP 备受关注，不仅因为它在动物中首次发现的内源性环二核苷酸，还因为其独特的 2'-5' 和 3'-5' 混合磷酸键结构赋予了 STING 更强的激活

能力，并影响了相关激动剂的设计。那么，这种具有混合键型的信号分子，究竟是动物免疫系统中的特化，还是早已在更古老的生命体系中出现？如果 2'3'-cGAMP 并非动物所独有，那么它在自然界中的作用对象是否也不应局限于 STING？除 STING 这一经典下游膜蛋白外，是否还存在其他膜蛋白类受体能够特异性识别 2'3'-cGAMP，并将其转化为不同类型的生物学输出？

这项研究从信号分子、受体机制和效应执行 3 个层面拓展了人们对天然免疫进化多样性的理解：揭示了 2'3'-cGAMP 在原核生物中的保守生成机制，阐明了其特异性驱动跨膜效应蛋白变构与高阶装配的过程，并发现了一种此前未被认识的全新膜损伤模式——纵向膜剪切。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.03.043>