



唐山大地震 50 周年：

从“不知震中”到“天罗地网”

■本报记者 冯丽妃

1976 年 7 月 28 日凌晨 3 时 42 分，河北唐山发生 7.8 级地震，强震产生的能量相当于 400 颗广岛原子弹爆炸。23 秒内，一座工业城市被夷为平地，24.2 万人罹难，16 万余人重伤。

中国地震台网中心已退休研究员薛峰至今记得，家住北京海淀中关村 28 楼的他，睡梦中被强震晃醒，立刻摸黑下楼骑自行车赶往位于三里河的国家地震局。当时几乎所有办公室的电话都在振铃，人人都紧张地投入地震参数测定与速报中。

然而，直至早晨 7 时许，唐山地震的发展时刻、震中、震级才测定完成，整个速报用了 3 个多小时。

这场旷世灾难如何推动我国地震学变革？50 年后的今天，中国地震科学又走到了哪里？《中国科学报》采访了多位专家，以期梳理我国地震科学半个世纪求索之路，探讨当下挑战与突破方向。

溯源：从“难定震中”起步

“当时连震中都很难定出来。”活动构造学和地震地质学专家、中国地质大学（北京）教授徐锡伟告诉《中国科学报》，唐山地震前，华北首都圈台站密度极低，强震一来仪器直接超限饱和，无法给出有效数据。

中国的地震系统研究始于 1966 年邢台地震。1971 年国家地震局依托当时的中国科学院地球物理研究所、地质研究所等机构成立，但观测体系十分简陋。徐锡伟说，当时观测手段主要分 3 块，少量固定测震台站，加上地磁、地电、水准、形变等流动观测，以及遍布中小学的“群防群测”——基本都是“土仪器”，学生用尺子量井水位升降，靠简易设备记录地倾斜、地电变化。

薛峰表示，经过 10 年努力，唐山地震前北京台网台站已从最初的 8 个发展到 21 个。但面对唐山大地震，以微震仪为主体的台网不堪重负，地震计被强震动打翻，传输线路被震断，后续波形全部限幅，测定参数遇到前所未

有的困难。

事实上，就在唐山地震前一年，1975 年海城地震的成功预报让国内外地震学界为之欣喜。为什么同样的手段，没能防住唐山大地震？

徐锡伟表示，海城地震预报成功是因为前震密集，频率和强度逐渐增加，加密台站捕捉到了大量前震数据，决策层最终拍板。但唐山大地震完全不同，虽然观测到了地电、地磁、地倾斜等异常，甚至华北平原大面积出现地裂缝，国家地震局也曾唐山组织地震商会，但因并未出现类似海城地震的密集前震，学界观点分歧巨大，最终无法下结论。“这说明不同断层的地震孕育、破裂过程天差地别，不能套用单一经验。”

中国科学院成都山地灾害与环境研究所研究员、成都高新减灾研究所所长王瞰表示，当时中国地震监测和预报都处于起步阶段，全国专业监测仪不过百余台。唐山地震中的“青龙奇迹”——青龙县提前做了防范，伤亡很少，只是基层自主避险个案。

“鸡飞狗跳、蛤蟆过街、水井异常之类的前兆现象，都是事后统计才发现的，事前无法明确关联。”王瞰说，此后的汶川、九寨沟地震均未成功预报，至今地震预报仍是世界科学难题。

蝶变：从百台之数到“天罗地网”

半个世纪迭代，我国已经告别人工纸质记录时代，建成全域立体观测网络。徐锡伟表示：“如今我们拥有‘空天地一体化、多层次、多参数’的地震观测体系，全部实现数字化、无人值守自动传输。”

地面上，千余座国家级测震台站、上万台强震观测设备全域覆盖，重力、地磁、地电、地下流体、地球化学观测网密布各地。高空依托卫星干涉雷达、卫星重力遥感，大面积捕捉区域性地形变化。天地数据互补互通。

徐锡伟表示，通过深部探测、卫星

影像识别和探槽开挖，科学家发现，唐山右旋走滑断裂带最初的约 10 公里地表破裂带地下实际长度达几十公里甚至更长。古地震研究表明，该断裂带地质历史上至少发生过 3 至 4 次类似强震，平均复发间隔约 3000 年，这意味着未来仍有可能发生强震。

基于观测，理论方面也取得了一系列突破。例如，科学家厘清了地震应力转移规律——唐山大地震主震 8 小时后触发滦县 7.1 级地震，一年多后触发宁河 6.9 级地震，本质是主震改变区域库仑应力，相邻断层应力突破摩擦阈值发生破裂，这套理论现为震后余震风险研判核心依据。此外，提出的特大地震“级联破裂”机理，解释了汶川等特大地震的成因。

“城市里的活动断层就是定时炸弹，哪怕建筑抗震标准再高，跨活动断层修建的房屋也一定会被同震错动撕碎。”徐锡伟说。基于对断层灾害机理的认知，2004 年，他牵头启动全国城市活动断层探测工程和活动断层填图计划，目前已完成约 130 个城市的探测，对 144 条活动断层进行了 1:5 万比例尺的填图。探明断层后落地两项硬性减灾措施：一般建筑必须与断层保持至少 15 米避让距离；搭建断层三维数字模型，模拟强地面运动，提前圈定烈度高风险区，为应急救援提供依据。

如果说断层探测筑牢城市市长远防线，地震预警则给群众争取逃生窗口。“唐山大地震后，我国地震预警实现了从无到有。”王瞰说，唐山大地震时没有任何预警能力。2008 年汶川地震时，震后 13 分钟才确认震中和震级。直到 2013 年芦山 7 级地震，预警系统在震后 5 秒发出信息。2019 年宜宾长宁 6.0 级地震，地震预警跑赢了地震波，对宜宾市提前 10 秒预警，对成都市提前 61 秒预警。

“唐山大地震时全国传统地震仪可能就 100 个左右，现在全国有 3 万台地震仪，手机地震仪超过 500 万个——采用手机内置的 MEMS 加速度传感器组

成分布式监测预警网，提供预警服务。”王瞰说。

汶川地震后，王瞰团队率先在中国突破地震预警技术。2011 年 4 月 25 日发出中国首条预警信息。2014 年 10 月建成全国性大陆地震预警网，如今延伸至我国 31 个省市区、覆盖面积 220 万平方公里、覆盖我国地震区人口的 90%。2024 年，中国地震局主导建成的中国地震预警网通过验收，发挥越来越多减灾实效。王瞰透露：“系统在 15 年服务中仅误报一次，网内地震无漏报，准确率全球领先。”

在此基础上，多灾种预警体系也在发展，通过数字化新型技术实现群测群防。“覆盖地震、滑坡、泥石流、山洪、内涝，整体技术走在全球最前沿。”王瞰说。

“战役”未竟，预报“堡垒”待攻克

尽管监测、预警成果丰硕，但短临地震预报仍是全球难题。

人工智能被寄予厚望。2022 年，中国地震学会成立了地震人工智能专业委员会，推进相关工作。

不过，受访科学家对人工智能目前能发挥的作用仍然持保留态度。徐锡伟表示，当前人工智能只能做一些辅助工作，比如识别别人眼分辨不出的微震、批量求解震源机制、勾画断层结构等，但这些都是震后进行数据分析，如何做到震前短期预报尚需深入探索。

而在地质层面，长期来看预报仍存在两大堵点：一是低成本全覆盖探测技术仍不成熟，全国广表县域仍有大量空白；二是同一条长断层，无法预判是分段破裂产生强震，还是多段串联破裂形成大地震或特大地震，直接限制长期危险性评估。

“人工智能不是万能钥匙。”王瞰说，它擅长总结已有经验，但由于全球成功预报案例寥寥无几，缺少训练样本与必需的底层物理参数，地震预报目前仍然难以实现。（下转第 2 版）

李理：在黑暗中“起舞”

■本报记者 韩扬眉

黑洞内部什么样？在科幻电影《星际穿越》中，主角库珀主动进入黑洞，发现里面是五维空间。他利用摩斯密码，把黑洞内部的信息传递给女儿，最终拯救了人类。

电影中为推进英雄主义剧情而构想的“黑洞内部模样”，只是纯粹的艺术想象。不过，在现实科学界，真的有一群理论物理学家在为揭开黑洞内部的秘密而努力。中国科学院理论物理研究所（以下简称理论物理所）研究员李理就是探秘者之一。

过去几年，李理围绕黑洞内部结构完成了一系列严谨扎实的工作，代表性成果之一便是“黑洞无内视界定理”。这些成果刷新了人类对黑洞的认知，也为他赢得了 2023 年度“杨振宁奖”。

近日，李理获中国科学院青年五四奖章。他称自己的成长经历是“不断找自信的过程”，坦承“没有热爱，是坚持不下去的”。从苏北农村走进心目中理论物理的最高殿堂，这是李理从未想过的。在这里，他把好奇与热情化为探索的动力，最终走向国际舞台。

“钥匙”

每天走进办公室，打开电脑、铺开几份文献，李理的世界便“坍塌”了，只剩下那个充满未知的黑洞世界。

“我仿佛进入了黑洞。”李理笑言。有时同时进入黑洞的还有学生。在这里，时间和空间被无限延展，以更远、更广阔的尺度计算。

对李理来说，最让他着迷的是宇宙最底层的规律。而黑洞，正是他试图打开这扇奥秘之门的“钥匙”。

“黑洞是宇宙里条件最极端的天体。”李理告诉《中国科学报》，黑洞串联起了一系列关乎宇宙底层规律的物理问题，比如物理定律能否统一、引力的本质是什么、时间为什么不同于其他空间维度，等等。在办公室推演逻辑、演算方程、建构模型，极致的专注使李理每次走出办公室、回到现实中都会生出一种“割裂感”。

2020 年，认识黑洞的第六年，李理找到了最让他兴奋的研究。

这一诺贝尔物理学奖授予了在黑洞领域取得突破性发现的科学家。对此，李理像许多同行一样感到振奋，但真正触动他的是诺贝尔物理学委员会主席大卫·哈维兰的评论：“今年获奖者的发现为致密和超大质量物体的研究开辟了新天地。但是，这些奇异天体仍有许多待解之谜。不仅有关于它们内部结构的问题，还有如何在黑洞附近的极端条件下检验我们的引力理论。”

“内部结构问题”，李理敏锐地捕捉到这个关键词，这也是他一直思考的问题。黑洞如甜甜圈般的外部样貌已被观测到，但内部那片时空，仍然是一个未被打开的盒子。打开它，或许是理解黑洞本质的关键一步。但这是天文学家不太关心的事情，因为以现有的观测技术和条件，人类无法直接观测黑洞内部，只能依靠理论物理学家的假设和推演。

黑洞是否存在“内视界”，是理解其内部结构的关键。李理表示，如果内视界存在，就会破坏广义相对论的可预言性，即使给定一个初始条件，科学家也无法预言黑洞内部会发生什么。“可预言性是物理理论帮助人类认识自然、改造自然的前提，否则理论便失去了意义。”

因此，2020 年诺贝尔物理学奖得主罗杰·彭罗斯提出了“强宇宙监督



受访者供图

假设”。他猜想，在一般情况下，黑洞的内视界并不稳定存在；即便在某些特殊解中允许其存在，一个小的微扰也会使其坍塌为奇点。如何证明它，是黑洞研究中的核心难题之一，至今悬而未决。

与过去科学家如盲人摸象般零散举例、碎片求证不同，李理和合作者想要跳出这种局限，找出一套通用、普适的完整证明。

在那些看似混乱的符号与逻辑间，李理基于积累和物理直觉，发现了运动方程和系统对称性之间的深层联系，并由此构造出了一个关键的“守恒荷”。这个抽象的物理量就像一把钥匙，成为整个证明的转折点。

李理的学生、理论物理所博士段美凝在他的指导下从事相关研究。她对李理在理论上的直觉判断感到钦佩，“李老师很擅长抓本质，这个守恒荷成了帮助我们证明内视界不存在的關鍵。”

最终，李理和合作者证明，在一类满足基本条件的黑洞体系中，内视界必然不存在。他们还从更一般的考虑出发，对黑洞内部视界数目作出了严格限制。这些结果表明，物理规律在促成黑洞形成的同时，也为其内部结构的复杂度划定了一个边界——内视界的数量，至多只能有一个。

乐趣

在受访过程中，李理谈起研究，总是有说不完的话题，科学史上有哪些人、已经做了什么工作、还有哪些未知……他的眼神和表达中，尽显兴奋。但随后他却说，“我们这儿挺没意思的，没有很多故事可以讲”。

李理所说的“没意思”，是指研究道路上鲜有灵光一闪的“尤里卡时刻”、没有跌宕起伏的热闹剧情，大多数时候是独自一人的“思想实验”。由于理论探索过于超前，甚至在有生之年都不一定能得到“实验验证”。

“整个过程如同在黑暗的大海中航，只有日复一日的计算、推演和思考，以及无数次的失败和坚持。”李理说。

那么，乐趣在哪里？“好奇和热爱。”李理脱口而出，“没有热爱，不可能做得下去。”

他把黑洞的外部简单、内部复杂的构造形容为一对“天使和魔鬼”。这种冲突让李理感受到宇宙中的奇妙，“自然永远超出人类预想，看似简单的表象下，往往隐藏着极度复杂的底层规律，太神奇、太美了。”

（下转第 2 版）



科学家找到水稻抗旱“孤儿基因”

本报讯（记者李思辉 通讯员李赛）干旱是威胁全球作物生产和粮食安全的重要因素。在全球气候变化背景下，干旱灾害频发，抗旱稳产育种成为保障粮食安全的重要攻关方向。华中农业大学教授熊立仲团队历时 20 多年，鉴定出一个稻属特异抗旱“孤儿基因”，并发现其在多种受试植物中具有改善抗旱相关表型的作用。相关研究近日在线发表于《细胞》。

熊立仲带领团队成员以 240 份水稻种质资源为材料，成功发现一个稻属特有的“孤儿基因”——ROAD1。据介绍，“孤儿基因”亦称“孤独基因”，是指在已知基因中找不到同源关系，也没有明确演化历史的基因。进化分析表明，ROAD1 可追溯至南方野生稻 *Oryza meridionalis* 的祖先序列。在后继演化过程中，其逐步形成功能位点基因 ROAD1^c。

研究发现，携带功能位点基因 ROAD1^c 的水稻在干旱胁迫下叶片卷曲程度较轻，产量损失更小。群体遗传分析进一步显示，ROAD1^c 在梗稻驯化过程中受到选择，并在来源于降水量相对较少地区的梗稻材料中呈现较高频率。

“孤儿基因”ROAD1 是如何在不影响水稻正常生长的情况下发挥抗旱作用的？研究发现，在水稻的抗旱信号通路中，OsPP2C68 蛋白发挥着

“刹车”作用，当植物在水分供应充足条件下生长时，会抑制抗旱反应。而在干旱来临时，ROAD1 蛋白会大量积累并与 OsPP2C68 结合，削弱其对下游抗旱信号的抑制，进而增强水稻的抗旱响应。

ROAD1 蛋白如同一种“胁迫依赖型增强因子”，在水分充足时，其蛋白水平极低，在干旱胁迫下大量积累并发挥作用。这种“按需启动”的机制，完美兼顾了水稻的抗旱性与稳产性。

为验证 ROAD1 的实际应用价值，研究团队将功能位点基因 ROAD1^c 导入优良水稻品种中进行田间测试。结果显示，在干旱条件下，携带 ROAD1^c 的近等基因系的水稻产量较对照提高了 21% 至 35%，而在正常供水条件下，未观察到明显的生长和产量方面的不利变化。

由于抗旱信号的核心模块在植物界高度保守，研究团队将 ROAD1^c 基因导入拟南芥、油菜、玉米、小麦和杨树中，发现这些植物均表现出更好的抗旱性。这意味着，这一源自水稻的基因有望成为多种农作物的“跨物种抗旱利器”。该研究不仅回答了植物如何通过新基因适应环境这一科学问题，更为未来的农业抗旱育种提供了宝贵的基因资源和研究思路。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.07.005>



国际学生在美停留时间将面临严格限制



本报讯 据《自然》报道，美国政府即将推翻一项实施了几十年的政策。目前的政策允许学生在完成其整个学业项目期间留在美国。但根据美国国土安全部(DHS)近日公布的将于今年 9 月生效的新规，国际学生在美停留时间不得超过 4 年，除非获得美国政府的延期批准，而延期停留“仅能通过严格审查获得”，包括背景调查和安全核查。

此外，国际学生在美学习所持有的 F-1 签证也将设定固定时限，以防止那

些为了合法留在美国而不断注册课程的“永久学生”利用相关制度。

DHS 表示，该新规旨在“打击猖獗的签证滥用行为”并“恢复国家移民体系诚信”。

新规公布后，引发了不少研究人员的担忧。在美国，科学与工程领域的博士生平均需要 5.6 年才能完成学业，强加 4 年限制可能导致美国博士项目的严谨度降低，并阻碍国际学生流入美国。这项新规还禁止持有 F-1 签证的研究生转换项目或院校。在 2024—2025 学年，美国约有 48.8 万名国际研究生。

一些专家预计，新规将使学生望而却步。美国西北大学的物理学家 Ben-nett Goldberg 表示，上述政策将导致美

国学术机构失去那些可能为国家科学事业作出贡献的优秀学生。

收紧国际学生相关规定的不仅是美国。澳大利亚也在限制留学生数量，英国已禁止部分学生携带家属。4 年内完成博士学业，在许多国家很常见，但在美国却很少见。据美国物理联合会统计，2022—2023 和 2023—2024 学年，超过 95% 的在美攻读物理学和天文学博士的国际学生，完成学业的时间超过了 4 年。一些本科项目和双学位项目在新规下也岌岌可危。

新规还可能大幅削减参加选择性实习训练(OPT)项目的学生数量。该项目允许持临时签证的学生在与所学专业直接相关的领域工作。美国波士顿

学院的高等教育研究员 Chris Glass 说，许多学生就是因为 OPT 项目才选择来美留学。该项目已为亚马逊、谷歌等美国顶尖科技公司输送了成千上万的学生。如今，那些希望在大学 4 年之外再参加 OPT 项目的学生，将不得不申请延期停留。

美国加州大学圣地亚哥分校的细胞与发育生物学家 Kimberly Cooper 说，这项新政策不仅会影响国际学生，由于重新设计博士项目以加快学位授予速度，因此可能需要砍掉一些重要环节，比如第一年的入门课程。“这便是我看到的真正问题所在，我们最终会改变研究生教育的格局，导致学生准备不足、选择更少。”（徐锐）