

评估震后长期环境效应 为汶川可持续发展建言

——写在汶川特大地震八周年之际

■本报记者 张行勇 通讯员 仇天聪

2008年5月12日的汶川地震，是人们心中无法忘却的巨痛。

八年来，金章东领导的研究团队一直在汶川震区从事着地震与环境的研究工作。

近日，国际知名学术期刊——Geology 在线发表了中国科学院地球环境研究所金章东领导的研究团队有关2008年汶川地震前后岷江区域地表腐殖质与河流颗粒有机碳输移和归宿的最新研究结果。

这是2015年以来这个国际研究团队发表在Geology 杂志上的第三篇有关汶川地震环境效应研究论文。

这一系列研究成果是中国科学院地球环境研究所金章东研究团队、联合英国杜伦大学 Robert Hilton 和 Alexander Densmore、美国南加州大学 Joshua West 和 Gen Li、澳大利亚国立大学 Jimin Yu 等人共同获得。这些研究得到科技部全球变化专项、黄土与第四纪地质国家重点实验室、中国和美国国家自然科学基金、英国皇家学会等共同资助。

创新为民 心系震区，克难攻坚

八年来，在各级政府及社会的帮助下，包括房屋、道路、水利等震区的硬件设施已基本重建完成，汶川、映秀、青川、北川等新城区拔地而起！可旧貌换新颜，有些地方甚至成了景区，人民的生活进入了美好“新常态”。

然而，每次进入龙门山区，对中国科学院地球环境研究所研究员金章东及其团队来说，汶川地震的“创伤”还远未抚平，因为他们关注的是震区的滑坡。每一年，这个团队都来到震区进行实地考察和监测，几个个滑坡犹如大山疮口的“痂”，看一次，痛一次。

“任何滑坡就如一个疮口，不知什么时候就可能产生次生灾难。”金章东不无担心地说。龙门山地区本以险峻闻名，那里有因地质灾害闻名的映卧公路，被称为“四川最危险公路”，“蜀道难，难于上青天”是真实的体验。这里的地势落差巨大，海拔从500多米的四川盆地，在几十公里内快速上升到4000-5000米，最高峰超过6000米。2008年汶川特大地震产生的近六万个滑坡更使龙门山一带满目疮痍。在考察的过程中，滑坡造成的堵车年年有，从汶川到镇江关一带的道路常常处于瘫痪状态，一堵就是好几个小时，甚至更长。

据团队成员汪进博士讲，在2014年7月的一个晴天，他们从松潘考察返回时，车前方突然发生山体滑坡，大小滚石掉落在200米范围内的公路上，近30辆车被砸受损，约200人被困，多人遇难……

震区滑坡区域的科考，生死惊险往往就在那一瞬间。汶川地震除了造成大量的山体滑坡及直接灾害以外，包括植被剥离、道路和建筑物损坏、阻断河流形成堰塞湖等，地震产生的泥沙和岩石碎屑可能会诱发各类严重的次生灾害，也将对流域水资源、水利发电等造成影响。

“我们以后每年都还要去，用科学数据去真正了解这片神秘的土地，更深入地认识地震的影响，以及这样的影响将持续多长时间！”金章东语气坚定地表示。过去的八年时间，在金章东的办公室里，团队成员讨论最多的就是2008年汶川地震及滑坡带来的环境影响。他们通过对汶川地震前后河流的物理、化学和生物组成的对比研究，深层次地感受到了汶川地震这一“创伤”的影响，其范围和可能持续的时间远比我们想象的要大得多、长得多。

“剑桥鹰之队” 飞越万里，触摸国际难题脉络

说起开展这项工作的动因，金章东至今还记得有些不好意思提及，谈起来还有点脸红。

汶川地震发生后，虽然通过网络、报纸和电视等媒体，他对灾区的情况进行一些关注，甚至在成都的一次会议后到映秀有过一次会议考察，但是真正让他领悟到相关研究重要性和紧迫性的是一位老朋友的来访。

那是2009年8月份，美国南加州大学的 Joshua West 博士到四川进行野外科考活动，在野外工作后又来西安东访问。金章东和 Joshua 早在2003年即相识，那时金章东在剑桥大学做访问学者，Joshua 还是一名博士研究生，两人的指导教师都是英国皇家学会会士 Mike Bickle。Joshua 在牛津大学做完博士后研究后，应聘到南加州大学工作，他还是2008年北京奥运会的皮划艇项目的亚军得主。Joshua 在北京奥运会期间就开始关注汶川地震对环境的影响问题，这次不远万里来四川开展野外工作就是考察汶川地震后的侵蚀和灾害，并准备申请一项美国自然科学基金项目。

“他来西安，除了老同学见面，其主要目的就是邀请我参加他的项目申请，协助采集样品，合作一些工作，毕竟从美国来一趟汶川并不容易。当他一说明来意，我当时心‘咯噔’了一下。”金章东不无感慨地回忆道。

在此之前，金章东一直对青藏高原周边流域的地表侵蚀和化学风化过程感兴趣，并从事相关研究，Joshua 的工作和思路，强烈地刺激了他那敏感的神经。“人家大老远从美国过来，还带了各类仪器开展汶川地震后地质灾害的研



究，而我们在家门口，近水楼台，自己的山川土地，怎么就没意识到呢？”那次访问促使双方的合作一拍即合。Joshua 的研究项目在第二年即获得了美国国家科学基金会的资助，随后他们的合作研究还获得了两项中国科学院“外籍青年科学家计划”和一项国家自然科学基金委的“外国青年学者研究基金”的资助。2012年金章东获得国家杰出青年科学基金。

随后，金章东立即根据自己的研究特长，理出了详细的研究思路和方案，将重点放在了滑坡对地表环境的影响，特别是对河水和悬浮物化学组成及碳循环的影响方面。在2009年下半年，金章东带领他的团队即来到龙门山一带开展了系统的野外考察，并在四个水文站开始连续采集河水和悬浮物样品，每周采集一次，一直持续至今。

在此期间，Joshua 又先后四次来到岷江流域，重点选择了十多个滑坡体进行详细的绘制和采样，重点考察滑坡形态和组成的年际变化，以及在震后的搬运。为了考察地震后不同类型、不同位置的滑坡体，并采集实验分析样本，科研人员需要爬到半山腰去采集样品。

据悉，滑坡的碎石非常松散，有些落石随时可能滚下来。晴天的时候，风吹一下，表面的碎石就往下滚，而一下雨就更危险了。

金章东讲述了他们的一次野外经历：记得2010年的一次野外考察，那时候离地震结束还不到两年的时间。Joshua 对一个巨大的滑坡很感兴趣，在底部采集样品后，他还想到滑坡体顶部去看看。站在滑坡底下，就看到大量的碎石往下滚，路边修路的工人们都试图阻止他上去。但是，有着专业运动员经历的他还是决定尝试一下，毫不犹豫地就开始往上爬，每爬一步，脚下就有碎石往下滑，而且山顶上的一落石碎石随时有可能滚下来砸中他。等他爬到半山腰的时候，天突然开始下雨，而且越来越大。

“这时候，Joshua 却在半山腰跟我们打手势，让我们先走到安全地方去。那一次太危险，因为雨水会导致落石和泥石流，所以印象特别深刻。”张飞博士至今想来，依旧心有余悸。

张飞和汪进是金章东培养的两名博士，当时还都是研究生的他们全程参与了Joshua 的四次野外考察。“每次野外考察期间，我们的收获都是满满的，大家的讨论都是开放性的，也深深为他们的科学精神所感染。”两位博士深有同感。目前他们均在中国科学院的研究工作。

在此过程中，英国杜伦大学的 Robert Hilton 博士和澳大利亚国立大学的于际民博士参与了进来，他们也是几乎同一时间毕业于剑桥大学的同学。“在野外时，我们称这个团队为‘剑桥鹰之队’，以前的同学，因汶川地震和共同兴趣成了紧密的合作者。”金章东感慨道。在此过程中，汪进共三次有一年的时间在杜伦大学开展实验和合

作研究，通过与 Robert Hilton 博士的联合指导顺利获得了博士学位。

“通过多年监测及所获得的数据，我们不仅感叹地震滑坡物质的巨大影响，也由此触摸到了大家极为关注的构造运动与碳循环之间的联系这一国际难题。这样的监测和结果是极其令人兴奋的。由此我们将持续监测下去，就是要看看地震的影响是以什么样的形式、什么样的过程和什么样的速率，最后回到地震之前的状态。”金章东研究员兴奋地说道。

地震与环境 复杂又长期，砥砺前行探索仍在路上

通过多年的研究发现，类似汶川地震这类低频率、高强度的突发事件对于地表过程、碳循环等具有重大且深远的影响。那么，这些滑坡物质将会停留多久？会造成哪些方面的影响？影响有多大、有多久？它们的归宿又是受什么因素控制的呢？

汶川特大地震产生了近六万个滑坡，大多数滑坡物质至今还停留在震区的山坡和谷地。金章东研究团队通过对岷江、沱江、涪江三大河流16个站点地震前后悬浮物通量的比较，利用卫星影像图绘制了滑坡地图，计算得到滑坡物质的体积，评估了2008年汶川地震对河流输沙量的控制过程和可能的影响时间。结果表明，相对于地震前，三条河流的输沙量增加了3至7倍。根据2008年至2012年期间三条河流的年平均输沙速率，发现由滑坡产生的泥沙将在面积约七万平方公里的流域内停留数十到数百年，仅仅清空粒径小于25毫米的细颗粒即需要三十多年，粗颗粒可能持续千年以上。

更重要的是，该研究还发现，不同的流域里滑坡泥沙的滞留时间差别很大，从几年到数百

建言

潜在灾害是亟待关注的震后长期隐性环境问题

金章东研究团队除了发表在 Geology 杂志上的这三篇论文外，还有三篇有关汶川地震的研究论文分别发表在 Earth and Planetary Science Letters、Journal of Geophysical Research and Geochemistry Geophysics Geosystems 专业杂志上。这一系列研究是首次对类似汶川这种高强度地质事件对青藏高原地表侵蚀进行定量评价，这对于认识地表物质输移和碳循环具有重要启示意义，也可为震后次生灾害的评估和防治提供科学依据，对重建之中和重建后的震区城市发展与自然环境相协调提供科学规划的支撑。

2008年“5·12”地震沿龙门山断裂带发生，



- ①水深90多米的紫坪铺水库保存了岷江带下来的地震滑坡物质，科研人员艰难地采集到水库沉积物后异常兴奋。
- ②在龙门山区因滑坡造成的堵车天天有，地震后更加严重。
- ③一连数十天划着小皮筏艇在烟雾撩人的紫坪铺库区进行不间断观察和采样。
- ④不时运动变化的近六万个滑坡是科学家的工作场地。
- ⑤2008年汶川地震造成的成片滑坡。



年，离断裂带越近，河流径流越小的流域，泥沙的滞留时间越长。综合其他地区地震产生滑坡物质输移的时间和气候条件表明，滑坡物质在流域的滞留时间，不但取决于流域内滑坡数量，还与每年高强度的径流天数紧密相关。该成果发表于2015年2月出版的 Geology 杂志上，并被选为该期的“亮点论文”(Featured Articles)。

地震滑坡也破坏大量的森林植被和土壤，这个过程造成现代有机碳的侵蚀和破坏，这部分碳由植物通过光合作用所固定，是全球碳循环的重要组成部分。汶川地震造成的山体滑坡破坏的森林储量约为14百万吨碳，相当于亚马逊河一年的颗粒有机碳输运量，约为全球河流颗粒有机碳通量的百分之十。研究数据表明，在汶川地震之后，河流中的有机碳浓度增加了8倍，其变化幅度与悬浮物浓度的变化相当，在其后的4年内，河流中的这种有机碳并没有呈一个明显的降低趋势，这说明地震滑坡侵蚀的有机质供给给河流搬运可能是一个长期而缓慢的过程。

“更重要的是，这些快速进入河流的有机碳大部分会被河流运输出去，它将是一个很重要的碳汇过程。这样的一个重要碳汇过程，可能在调节大气CO₂和全球气候中起到重要的作用。”金章东介绍道。

他们的研究还发现，汶川地震还改变了河水的化学成分，并且这个改变可能也是长期的。该团队通过对2008年汶川地震前后岷江河水化学成分的比较，揭示了地震对河水化学的影响幅度和范围。团队研究认为，汶川地震之后岷江河水中硅酸盐组分和碱度均显著增加，这些组分的增加可能主要与深部地下水的释放和包括滑坡在内的新鲜破碎岩石的快速淋滤风化有关。此类变化也存在于滑坡较少的地震区域，因此深部地下水的释放可能是地震



后多年来河水中硅酸盐组分和碱度系统增加的主导因素。该成果为量化高强度构造事件对流域风化作用的直接影响及其碳消耗提供最直接、可靠的数据，为“构造—风化—气候变化”假说提供有力的证据。

“剑桥鹰之队”正在进行的还有一项十分有意义却较为困难的工作，那就是紫坪铺水库沉积物记录的汶川地震。他们每年在紫坪铺水库进行扫描，并钻取沉积物，计算沉积物厚度和组成的变化。

这也是项艰苦的野外工作。

据悉，他们在水库做扫描时，每天6点就起床，吃完早饭，直接上船开始工作。中午饿了就吃点干粮。不管是烈日暴晒还是大雨淋漓，每个人最多就戴个帽子遮挡，一直工作到天黑了，才行船上岸，身上都是泥水，就连一起工作的开船师傅也颇有怨言。在这样环境下，每次一干就是好几天。张飞博士为记者讲述2010年3月他们的那次考察花絮：在水库扫描的同时，他们划了一条约2米长的小皮筏艇，到稍偏远的地方钻取沉积物岩心。“当时，皮艇上除了我和Joshua外，还有一个几十斤重的手动钻。由于沉积物很松散，我们试了几次都没有成功，这个时候我们俩已经累得筋疲力尽。恰好在这个时候，我们发现皮艇的气漏了快一半。顷刻间，我俩开始着急了，拼命地往岸边划。刚到岸边的时候，水已漫过了皮艇。上岸后，我俩看着对方，都哈哈地大笑起来。”张飞博士回忆着。

就是凭着这股劲，对于紫坪铺水库的研究也积累了一些重要的数据。

地震对环境的影响是多方面的、长期的，研究揭示其内在联系和变化规律也是漫长的、艰辛的。金章东研究团队在这条路上坚韧、不停歇地前行着，有苦也有乐。