

构造地貌研究创新团队

1. 团队组成

以中国地震局地质所刘静研究员作为带头人的“构造地貌研究创新团队”共 11 位科研人员，其中包括均为正高级职称的带头人和骨干成员 3 人，以及青年后备人才 8 人。该研究团队长期致力于对青藏高原及周缘新构造与地貌演化研究，通过与国际上著名学者及其团队的合作交流，逐渐形成了研究青藏高原周边新构造变形和地表过程的基本科学思路，从新构造、活动构造、古地震、GPS 与 InSAR、构造地貌等不同角度共同开展青藏高原新构造活动与地震地貌研究，在青藏高原地貌特征和形成机制、强震的同震破裂机理、活动断裂的古地震错动机理等方面取得了大量独具特色和国际影响力的成果，为地震预测与孕震机理提供了理论基础和技术保障。

创新团队成员名单

	姓 名	性别	出 生 年 月	职 称	学 历	专 业	工作单位
带头人	刘静	女	1969. 01	正 高 级	研 究 生	构造地质学	中国地震局地 质研究所
研究 骨干	王萍	女	1964. 03	正 高 级	研 究 生	活动构造与年 代学	中国地震局地 质研究所
	张会平	男	1978. 07	正 高 级	研 究 生	构造地貌学	中国地震局地 质研究所
青 年 后 备人才	刘彩彩	女	1984. 03	副 高 级	研 究 生	古地磁与沉积 学	中国地震局地 质研究所
	胡钢	男	1982. 06	副 高 级	研 究 生	构造地貌学	中国地震局地 质研究所
	毕海芸	女	1988. 12	副 高 级	研 究 生	构造地貌学	中国地震局地 质研究所
	王鹏	男	1982. 09	中 级	研 究 生	活动构造与大 地测量学	中国地震局地 质研究所
	张金玉	女	1986. 12	中 级	研 究 生	活动构造与河 流地貌	中国地震局地 质研究所
	王恒	男	1985. 10	中 级	研 究 生	活动构造与古 地磁	中国地震局地 质研究所
	袁兆德	男	1986. 08	中 级	研 究 生	活动构造与古 地震	中国地震局地 质研究所
	王伟	男	1989. 02	中 级	研 究 生	活动构造与河 流地貌	中国地震局地 质研究所

2. 研究方向

创新团队以强震与微地貌研究、新生代构造地貌以及构造地貌过程作为团队的主要研究方向，主要包括：

1) **强震与微地貌研究**。研究现今和史前强震活动相关的地形、地貌和沉积等特征、过程及演化。结合定量地貌学、构造地质学及沉积学，揭示强震及古地震事件序列，开展强震活动的地貌塑造过程和机制等基础性研究，指导防震减灾规划。

2) **新生代构造地貌研究**。研究百万年-千万年尺度 (10^6 - 10^7) 的构造变形、盆地演化与大尺度地貌演变过程。关注地表抬升、侵蚀、沉积的时间、幅度与速率等长时间尺度下构造地貌问题，特别是与青藏高原生长演化过程相关的山脉隆升、盆地消亡、区域地貌重塑。

3) **构造地貌过程研究**。以现代地貌为对象，通过定性-定量地貌分析、沉积学和年代学工作，研究地质构造活动，如块体差异隆升、断层活动等形成的地形地貌，在外营力（如河流、冰川）作用下随时间发生和发展的过程，评估和预测内外力共同作用下灾害性事件对地貌和地理环境的影响，服务于减灾防灾事业。

3. 取得的研究成果

研究团队多年来一直从事青藏高原及周缘地区的隆升历史及构造演化、大型走滑断裂的运动特性及变形特征、构造-地貌-气候相互作用和大地震破裂特征孕震机理方面的研究工作，提出了很多创新性的理念，并在一些具体领域取得了较高水平的研究成果与应用成果。

1. 国内首次对海原活动断裂带进行高精度机载 LiDAR 扫描

激光雷达三维扫描 (LiDAR) 是快速获取高精度地形数据的一种先进有效方法。LiDAR (Light Detection and Ranging) 技术是集激光、GPS 和惯性导航系统 (IMU/INS) 于一体的新型测量系统。其工作原理是由激光器发射一束光脉冲，遇到物体阻碍后反射回来，最终被接收器所接收，鉴于光速已知，可以将传输时间转换为传输距离。再加上 GPS 记录的发射位置和 INS 测得的发射姿态，就可以准确计算出每一激光反射脚点的三维空间坐标。在短时间内实现大范围三维地貌、地物和植被扫描，数据在水平和垂直方向上可达到厘米-毫米级精度，是一种高精度、高效率的三维地形数据获取方式。在因人迹罕至或植被覆盖密等传统方法无法解决的数据匮乏区，机载 LiDAR 技术显示

出其突出的强大优势。2012 年，研究所成功的将机载 LiDAR 技术运用于断裂地貌定量化研究，在我国一条标志性的大型活动断裂——海原断裂带上成功开展了机载激光雷达扫描。研究团队以我国自行设计生产的“运五”飞机为飞行平台，搭载瑞士 Leica 公司生产的 ALS-60 型机载三维激光扫描系统，获取了 WGS84 坐标系下 UTM 投影的激光点云和 0.1m 分辨率航空照片。经 GPS 后校验，LiDAR 数据在高程方向的测量中误差优于 10cm，水平方向的测量中误差优于 20cm。覆盖 128 公里长的区段，获取了高密度的激光点云数据和达 0.5m 分辨率的数字高程模型（DEM），是目前该地区精度最高的地形数据。实现了对海原断裂带的微地貌形态和断层几何的高清晰度三维再现。该项目的顺利实施，不仅可以加深对海原地区断层几何学，地质构造的时空演变过程以及古地震事件序列认识，深化对青藏高原东北缘构造变形机制的理解。同时，也有助于确立研究所在 LiDAR 技术上的先发优势，为今后相关项目积累经验，推动 LiDAR 技术更好地服务于防震减灾事业。目前，该成果已发表在《科学通报》第 58 卷第 1 期上。

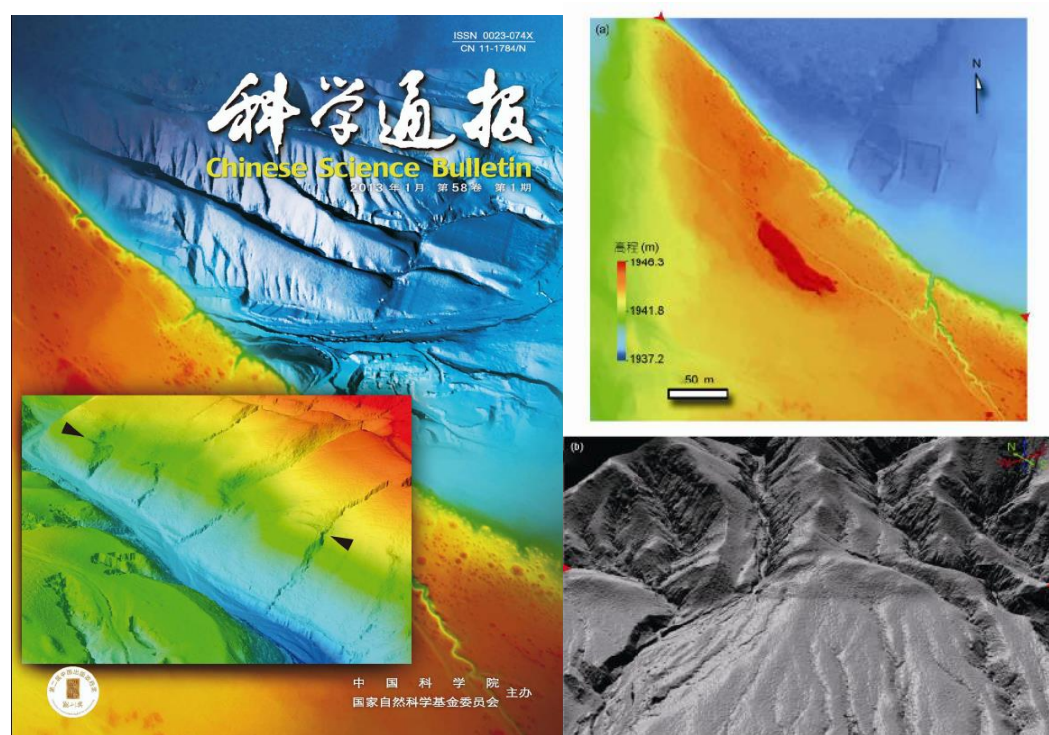


图 1.1 左图：《科学通报》第 58 卷第 1 期以封面形式报道该项科研成果；右图：(a)基于 LiDAR 的 1m 分辨率的 DEM 断裂陡坎的细节清晰可见，(b)甘肃省靖远县哈思山一带三维立体鸟瞰图

中国地震局地质研究所博士陈涛，在刘静和张培震研究员的指导

下，基于 2011 年获得的海原断裂带高分辨率 LiDAR 数据，系统测量了沿老虎山断裂段的位移分布，并进行了深入的分析讨论。

研究团队在高分辨率的地形数据上标识了大量被断层错断的冲沟、山脊等地貌体，测量得到的位移从小于 2 m 到 60 m 不等。联合前人的古地震研究结果，冲沟 2~3 m 的位移有可能是 1888 年景泰地震的同震位移和震后蠕滑共同作用的结果。位移分布峰值之间 4~6 m、5~7 m 的间隔则可能是更早的历史地震导致的同震位移与震间蠕滑的共同累积。从位移分布的特征来看，被认为存在蠕滑现象的老虎山断层与那些以脆性破裂为特征的粘滑型断层没有显著区别。

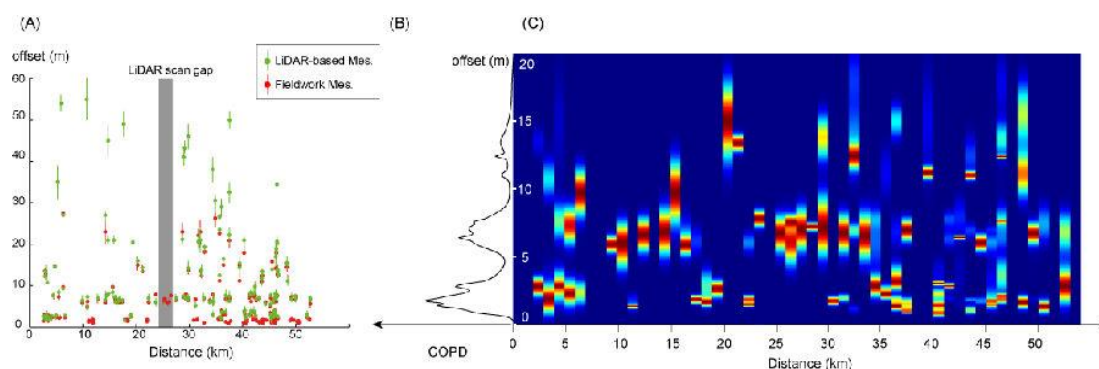


图 1.2.位移分布特征 (A.沿断层分布;B.整个断裂段的位移量总 COPD 值;C.每公里位移分布及其 COPD 值)

利用已发表古地震研究的古地震年代估算得到的长期滑动速率与 InSAR 数据揭示的~5 mm/y 的蠕滑速率相当或稍小。如果 InSAR 数据观测到的断层蠕滑和速率是一种长期连续的行为，那么该断裂的应变累积通过蠕滑释放，不应发生脆性破裂地震。第二种可能性是 InSAR 数据观测到的、大速率蠕滑是 2000 年景泰 5.6 级地震或者 1920 年海原~8 级地震的震后余滑的瞬态效应，不代表断裂的长期行为或长期蠕滑速率小于目前的观测，该断裂仍然有发生大地震的可能性。因此，确认本断裂段在地质历史时期是否有脆性破裂的古地震及其发生频率，是否有蠕滑证据是对理解老虎山断裂段的地震危险性和断裂行为特征等有实际和理论意义。同时，本研究也提出了如何解释活动断裂上冲沟位错成组与同震滑动量的关系等富有挑战性的问题。

2. 埋藏古峡谷揭示出构造隆升对雅鲁藏布江大峡谷的制约作用

雅鲁藏布江大致沿雅鲁藏布江缝合带展布，自西向东流经亚东、加查等南北向裂谷带时河道逐级下降，穿越喜马拉雅东端时河道急速下降达 2000m，形成世界上最大的峡谷；雅鲁藏布江宽谷段和峡谷段

相间分布，宽谷段河道坡降平缓，沉积物深厚；峡谷段，河道深切坡降陡峭，基岩裸露。作为青藏高原东南部地形地貌的主要外动力和侵蚀物质的传输通道，雅鲁藏布江独特的流域地貌特征和深厚的河谷沉积蕴含了青藏高原隆升、气候变化和地表过程的丰富信息。

研究团队王萍、刘静研究员与美国加州理工学院 Dirk Scherler、Jean-Philippe Avouac,德国波茨坦大学 Jürgen Mey,成都勘察设计研究院张运达、石定国等人合作,通过对雅鲁藏布江谷底沉积的钻探结果分析及其底部砂层的 $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ 测年,结合简单的数字模拟,发现了目前埋藏在>500 米沉积层之下的雅鲁藏布江古峡谷,并确认古峡谷的冲刷面存在向上游隆升的反翘现象,认为南迦巴瓦和加拉白垒块体从 2-2.5Ma 开始加速构造隆升,堵塞了古峡谷,形成了分隔上游冲填楔和下游陡峭大峡谷的巨型裂点,大峡谷内的高侵蚀速率是岩石快速抬升的直接反馈。这些发现否定了现有的关于雅鲁藏布江大峡谷起源的假设:认为是第四纪年轻河流袭夺或冰川坝作用形成了大峡谷,并表明喜马拉雅东部最近地质时期开始的构造隆升阻止了奔腾的雅鲁藏布江向上游的侵蚀,相关研究成果发表于 2014 年 11 月 21 日出版的“Science”杂志上。著名地质与地貌学家 Kelin X. Whipple 同期发表评论,认为该篇文章是对“气候驱动的侵蚀控制喜马拉雅构造结加速隆升”的著名的“构造动脉瘤”模型的挑战。此外,美国、德国的多家报刊新闻和科学网站都进行了报道。

3. 龙门山地区构造地貌演化定量研究

3.1 汶川地震同震滑坡的搬运过程

地表侵蚀作用,与活动构造共同塑造着地球表面的地形地貌,是连接地球深部构造与表层气候变化的重要纽带;同震滑坡是活动造山带中的主要侵蚀过程,对滑坡碎屑物在震后运移过程的理解是研究地震侵蚀的基础,同时也是探讨地震对地形地貌演化影响作用以及造山带构造-气候耦合关系的关键。2008 年汶川地震在产生强烈地壳变形的同时引发了巨量的同震滑坡,为量化滑坡物质后期运移过程和研究地震在活动造山带产生的变形-侵蚀作用提供了难得的机会。

通过对比汶川地震前后的河沙 ^{10}Be 浓度分析发现:地震之后,同震滑坡发育区河沙石英 ^{10}Be 浓度明显降低,并且降低程度存在空间上的差异性。对比了流域平均坡度、流域平均地面峰值加速度、流域平均年降雨量以及流域滑坡面积比等后发现,河沙 ^{10}Be 浓度降低

程度与流域内滑坡面积比相关性最好，与流域平均坡度较为相关（图 3.1）。通过进一步分析滑坡体 10Be 浓度对计算震后河沙运移增量的影响，认为河沙 10Be 变化程度可以直接反映地震前后河沙运移量变化大小。在此基础之上，分析认为与河流相连的滑坡体是震后河流运移的主要物源，而流域内滑坡面积比直接控制着震后河流运移增量。

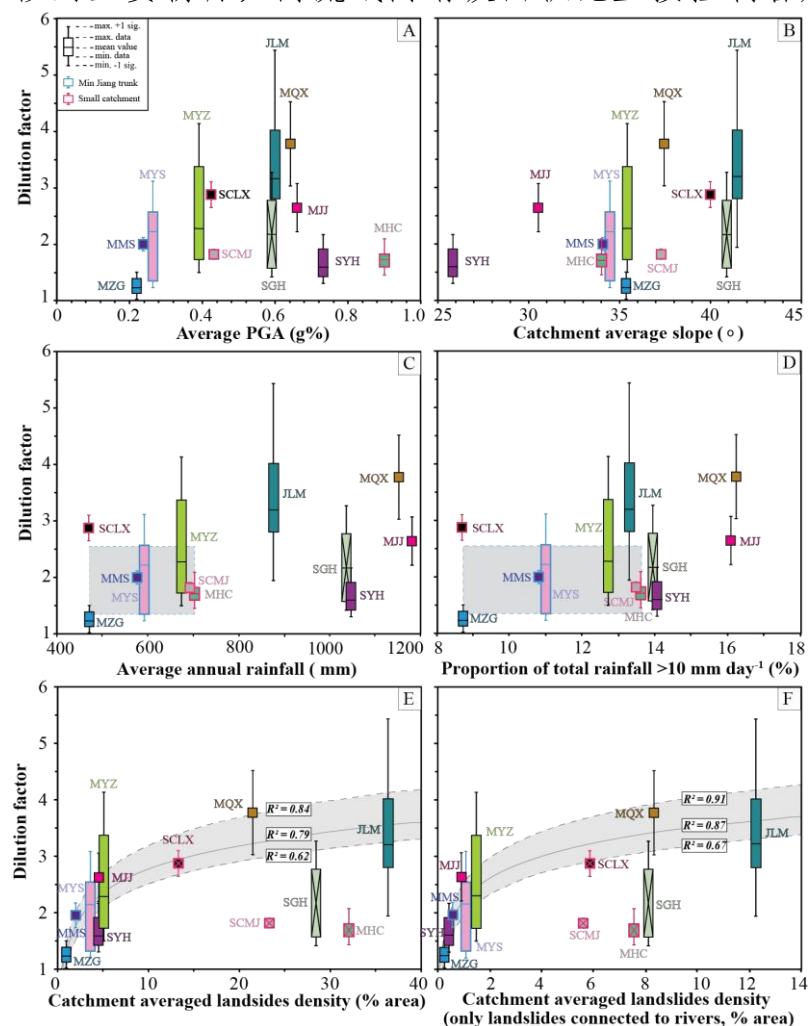


图 3.1 采样流域地震滑坡导致的 Be10 浓度稀释度与各种影响因子的相关性比较。强震动 (A)，地形平均坡度 (B)，年降雨量 (C)，强降雨事件频度 (D)，上游集水面积内滑坡密度 (E) 以及与河网有连接的滑坡密度 (F)

地震前后河沙 10Be 浓度计算得知震后河沙 (0.25-1mm) 运移量增加为震前的 1-6 倍，与水文站点悬浮物 (<0.25mm) 观测结果相似。随着时间的演化，河沙运移量由受河流运移能力控制转变为受物源多少控制，并且逐渐降低向震前水平演化。震后多年的观测结果给出：对于流域内滑坡面积比较小的流域，震后几年内河流运移量就会恢复

到震前水平；而对于滑坡面积比很大的流域则需要几十年或者更长的时间，河流运移量才会逐渐恢复到震前水平。

尽管汶川地震在龙门山地区产生了大量的同震滑坡，但是这些滑坡物质并没有被立即带出造山带。河沙宇宙成因核素 ^{10}Be 显示将滑坡物质全部带离造山带所需要的时间需要几百年至上千年，因此，汶川地震之后的几年，滑坡物质可能大部分并未参与到河流运移过程中，而是停留在坡面，在未来的很长一段时间内影响着流域内的河流物质运移，由于类似汶川地震的大地震在龙门山地区的复发周期大约为一至三千年，因此同震滑坡物质全部被带离造山带的时间尺度与地震复发周期类似或稍小，大地震的滑坡侵蚀是造山带地形演化中有重要作用但也不应夸大其即时效应。

3.2 龙门山山前隐伏断裂第四纪活动性

龙门山褶皱冲断带新生代或第四纪上地壳缩短量一直未被很好的限定，主要原因是该地区大部分地段新生代地层未被很好的保留下来，同时缺少可靠的近地表地层构架。而龙门山和川西盆地地区油气开发需要，采集了大量高精度的二维、三维地震数据和钻井资料。汶川地震之后，为评估成都平原内主要构造的活动性，采集了 7 条高分辨率浅层地震剖面。龙门山山前的成都平原内沉积第四纪地层，这些沉积地层记录了山前断裂第四纪活动性。

山前隐伏断裂是龙门山山前规模最大的一条活动断裂，该断裂吸收了山前地区大量的活动地壳缩短，同时被认为存在发生大地震的可能性。但是，该断裂为隐伏断裂，仅其分支断层出露于地表，如彭州和大邑断层。因此，我们主要选取彭州断层为研究对象，通过其第四纪活动性和地下构造几何学关系，间接揭示山前隐伏断裂第四纪活动性；对比山前隐伏断裂沿走向上不同位置构造几何学特征和分支断层活动性，总结其活动性规律。

a) 地下构造几何学：利用龙门山山前和川西盆地内主要石油钻井（如龙深 1 井）和高分辨率石油地震剖面进行主要层位的标定和追踪，在确定沉积地层分布的基础上，选取 3 条横跨山前隐伏断裂和彭州断层的地震剖面，运用断层相关褶皱理论对其开展精细构造解析。结合地下和地表构造特征，确定这一地区主要构造样式。

b) 近地表构造变形：利用活动断层相关褶皱理论对 3 条高分辨率的浅层地震剖面中揭示的同构造生长地层进行精细解析，结合成都平原内第四纪钻井和野外第四纪剖面调查的结果，确定山前隐伏断裂

及其分支断层活动对应的沉积地层记录和变形机制。

c) 第四纪活动性：借助高精度遥感影像和地形数据解译、第四纪填图，部分完成的宇宙成因核素 (^{10}Be & ^{27}Al) 测年数据，结合已发表的磁性地层、OSL 和 ^{14}C 测年结果，确定山前隐伏断裂及其分支断层变形时间，缩短量，进一步厘定沉积、隆升和缩短三者之间的定量关系；结合区域地震剖面 and 定量化的断层相关褶皱理论，确定龙门山山前隐伏断层的缩短速率（图 3.2）。

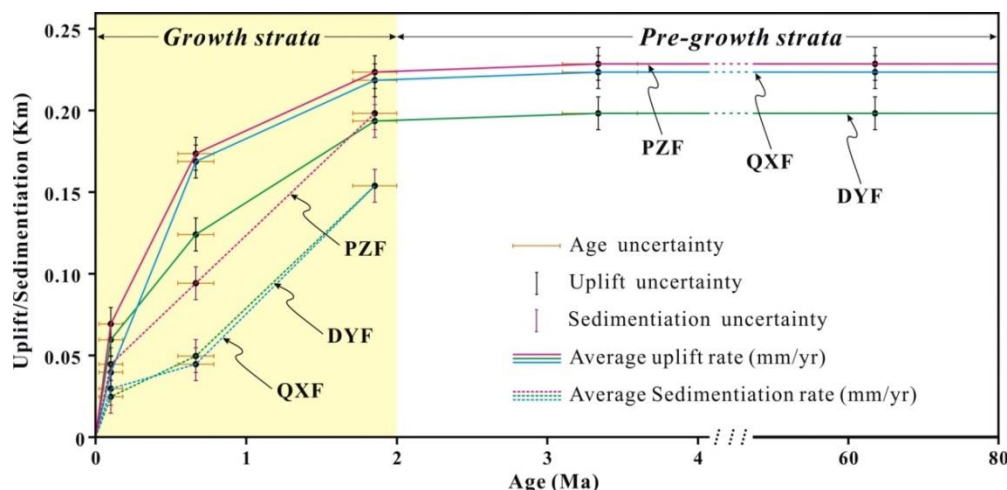


图 3.2 山前隐伏断裂沿走向差异活动性

其他两条主要断裂定量结果 ($<1 \text{ mm/yr}$), 我们得出龙门山褶皱冲断带整体的水平缩短速率为 $1\text{-}3 \text{ mm/yr}$, 这一速率和现今 GPS 速率相当。2 Ma 以来基本不变的水平缩短速率, 暗示龙门山褶皱冲断带可能在 2 Ma 达到稳态的生长过程。

4. 青藏高原东北缘晚新生代构造演化与形成过程

团队以盆山耦合为主线开展研究, 通过低温构造热年代学研究山脉的隆升时代和幅度, 通过磁性地层、沉积演化、物源示踪等方法研究沉积盆地的形成、发展和消亡, 重塑了青藏高原东北缘盆山体系的时空形成过程。

新生代早、中期, 位于昆仑山以北的柴达木、祁连山和宁夏南部等地区的青藏高原东北缘是巨大的内陆沉积盆地, 随着新生代晚期高原向外扩展, 这一盆地系统受构造变形破坏而解体, 形成逆冲断裂控制的狭长山脉和宽阔的压陷型盆地, 并准同期隆升成为青藏高原的最新组成部分。利用低温构造热年代学技术, 发现祁连山、六盘山等分割盆地的山脉在 $10 \pm 2 \text{ Ma}$ 开始加速隆升, 导致沉积盆地裂解并最终

消亡。柴达木和河西走廊盆地碎屑锆石 U-Pb 年龄谱物源示踪也显示, ~12 Ma 之前盆地沉积物分别来自南部的昆仑山和北部的北山, 而其后的碎屑物质主要来源于祁连山, 表明祁连山于~12 Ma 开始在其南、北缘逆冲断裂带控制下快速隆升。

团队利用裂变径迹和 (U-Th) /He 低温构造热年代学方法, 结合盆地内沉积相变、物源示踪等结果, 确定青藏高原周缘不同山脉晚新生代快速冷却时间和冷却历史, 发现 10 ± 2 Ma 左右, 影响气候系统的宏观地貌单元主体开始形成, 如祁连山、秦岭、六盘山、鄂拉山、青海南山等, 这一构造变形事件及其后持续隆升导致统一沉积盆地解体, 逐渐塑造地形高差, 为晚上新世以来气候变化导致侵蚀和沉积速率增加奠定了必要的地貌条件。

5. 2008 年 Mw 7.9 汶川地震中成都平原砂土液化研究

2008 年的 5.12 汶川 Mw 7.9 地震在龙门山山前地区造成大量的砂土液化和喷砂冒水等现象, 给当地造成了大量的人员伤亡和财产损失。由于该次地震发生在下午 2:40 分, 且震中区域人口密集, 所以大量与地震液化有关的现象或被当地人目击到, 或在附近的建筑物上留下痕迹, 这为研究砂土液化, 尤其是转瞬即逝的喷水过程提供了一个很好的机会。地震发生后, 多个小组参与到对汶川地震砂土液化的研究中来, 然而多数研究主要集中于砂土液化的工程意义及建筑物的抗震设计方面, 而对控制汶川地震砂土液化分布的机理研究较少。

团队对 5.12 汶川地震造成的砂土液化和喷砂冒水现象进行了系统地野外实地调查, 共得到 226 个砂土液化点, 同时给出砂土液化点位、野外场地观测结果和目击者的描述等详细信息, 其中的 148 个点 (如果包括前人的研究结果将达到 191 个点) 具有喷水高度数据, 另外在 10 个液化点采集了喷出物样品, 并对其进行了粒径分析。通过对数据的分析得到以下认识:

(1) 砂土液化点大体上位于地下水水位只有几米深的龙门山山前的冲积扇上, 且主要集中于岷江、沱江和涪江三条主要河流的现今河床以及掩埋的古河床。

(2) 约 58% 的液化点位于距北川断层地表破裂带 20-35km 的范围内, 即集中于龙门山山前隐伏断层及其分支断裂带内; 且该带内喷水冒沙高度的异常高值 (>2m) 液化点较多, 点密度是带外的 3-6 倍。

(3) 液化喷出物样品粒径分析显示: 离山前隐伏断层越近的液

化点，其喷出物的粗颗粒配分比越高。

对于上述特点，指出一种可能的解释是地震过程中盆地内隐伏或出露断层等薄弱带活化而产生裂隙，提供了深部含水层中的高孔隙压水向浅部含水层运移的通道，促进了上部含水层中砂土液化的发生（Wang, 2007）。另一种可能的解释是断层等薄弱带周围对地震波加速度的放大效应，从而进一步增大了砂土液化的量级。该项研究表明，发育在松散沉积物中的断裂薄弱带对砂土液化的强度及其破坏性有放大作用，因此在地震灾害评价中应予以重视。

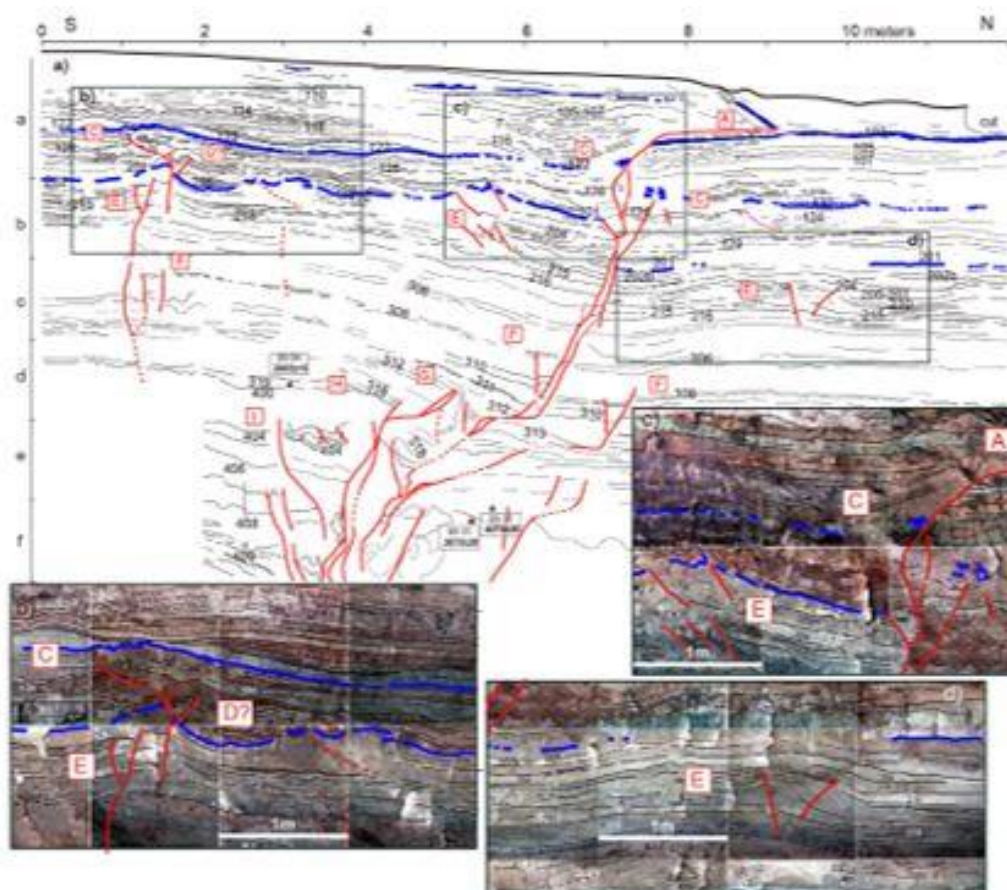
6. 海原断裂干盐池揭示非特征性古地震事件序列

海原断裂是青藏高原东北缘的一条重要的陆内活动左旋走滑断裂。1920 年曾经发生过里氏 8.5 级特大地震，形成约 230 公里的地表破裂带和高达 10.2 米的同震左旋位移。但关于其大地震复发行为特征，现有的认识需要更多以精细沉积地层约束的古地震数据验证。自 20 世纪 90 年代以来国内外研究人员在海原断裂开展了大量的研究工作，获得了该段晚第四纪以来的活动性质、滑动速率和古地震等数据。虽然前人在海原断裂东段开展了许多古地震方面的重要研究工作，甚至是中国古地震领域里的开创性工作，但是由于探槽开深度较浅，沉积地层较薄，不能较好的揭露长时间完整的古地震序列和细节。另外虽然认识到古地震事件并非为同一强度，但是限于当时对古地震事件的解译标志的认识，及其他证据的稀缺等，难于定量限定古地震事件的强度大小。随着近年来古地震学研究方法的发展，以及年代样品测试技术的进步，结合越来越丰富地历史地震史料，有必要对该段的古地震进行进一步的深入研究。

干盐池古地震序列震级的差异性表明海原断裂上能破裂到地表的地震不全是特征地震型事件；说明板内活动断裂与板间活动断裂一样也具有复杂的破裂模式，而非简单特征地震复发模式。同时本研究也表明，中等震级地震也可以产生地表破裂，并且在合适的条件下，如无沉积间断和沉积速率大等环境，能在地层中得到保存。

针对以上难点问题，团队刘静研究员和博士生邵延秀，联合甘肃省地震局袁道阳研究员和雷中生研究员，以及法国巴黎地球物理研究所 Yann Klinger 教授经过长达数年的细致工作，对海原断裂中段的干盐池盆地成功开挖的数个大型三维探槽进行分析，揭露了清晰的韵律性、面状展布地层和丰富的地震破裂现象。探槽中发现丰富的 ^{14}C 样

品， ^{14}C 加速质谱（AMS）测年确定多期次古地震事件的发生时限。尤为突出的是探槽顶部 2.5 米厚的最新细粒沉积层序记录了 A.D.1500 以来的 3 次地震事件。通过对历史地震史料的考证，进一步限定了这 3 次地震事件可能对应于公元 1920, 1760（或 1709）和 1638 年的地震，但这些地震的震级差别很大。除了最新一次地震，即 1920 年海原大地震的震级为 8 级，其他 2 次地震事件的震级较小，均小于 7 级，甚至可能 6 级。



7. 阿尔金断裂索尔库里段 6000 年以来的长序列古地震记录

阿尔金断裂是青藏高原北部的一条巨型陆内活动走滑断裂，其规模可以与北美圣安德烈斯断裂、土耳其北安陀尼亚断裂、新西兰阿尔卑斯断裂等板块边界断裂相当。但是，该断裂在历史地震记录上显示尤为平静，仅在 1924 年发生了 $M7\frac{1}{4}$ 双震。然而，该断裂西段在 2008 年和 2014 年又连续分别发生了 $Mw7.1$ 和 $Mw6.9$ 两次强震。在几何结构上，阿尔金断裂既有长达两百公里的平直段，又有弯曲角度达到 20° 的大型挤压弯曲。平直段上的强震复发特征如何？这些挤压弯曲经常是地震破裂的起始和终止位置。那么这些挤压弯曲对地震破

裂扩展的影响如何？地震破裂能否突破这些弯曲，产生更强地震？

针对以上科学问题，中国地震局地质研究所博士生袁兆德在导师刘静研究员的指导下，与团队其他人员共同在阿尔金断裂中段开展了精细的古地震探槽工作。高分辨率、强韵律的沉积地层在 6000 年以来共记录了 8-9 次古地震事件。高精度碳十四测年较好地限定了事件发生时间，分别为 A.D. 1598 (1491-1741) yr (event A), A.D. 797 (676-926) yr (B), B.C. 668 (732-589) yr (C), B.C. 956 (1206-715) yr (D), B.C. 1301 (1369-1235) yr (E), B.C. 2105 (2233-1987) yr (F, probable), B.C. 2663 (2731-2601) yr (G), B.C. 2818 (2878-2742) yr (H), B.C. 3396 (3522-3205) yr (I)。平均复发间隔为 620 ± 410 ，变异系数 (COV) 为 0.67，显示为弱准周期性。通过与其它探槽数据的对比，发现平直段在最新三次事件中可能均发生了破裂，而且只有部分地震破裂扩展至阿克塞弯曲内部。此外，通过统计分析全球走滑断裂长序列古地震数据 (≥ 5)，发现高滑动速率的断裂往往具有较小的 COV，即强震复发准周期性更强。

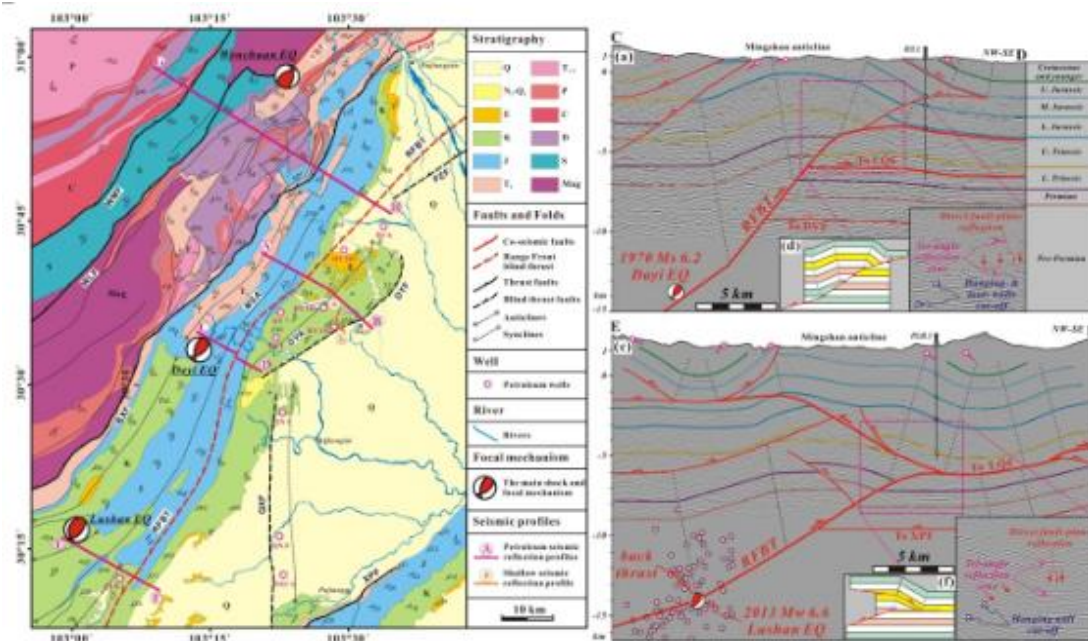
该研究较好地获得了阿尔金断裂中段的强震复发特征，为研究地震破裂在何种条件下可以扩展至大型挤压弯曲内部的数值模拟提供了坚实的古地震数据约束。通过大量数据的统计分析，给出了影响变异系数的可能性因素。

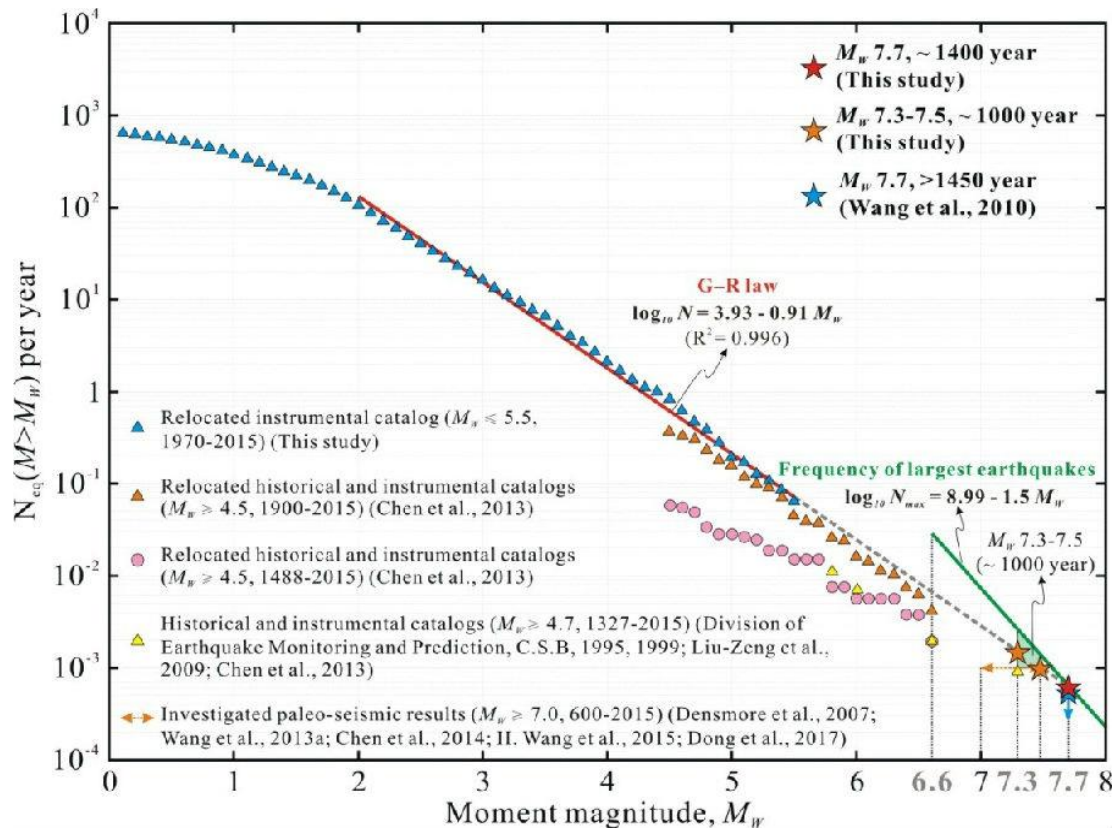
8. 龙门山南段地震危害性评估

2008 年 Mw 7.9 汶川地震破裂了龙门山中段和北段，同时使得南段库仑应力增加；2013 年 Mw 6.6 芦山地震破裂了龙门山南段 35 km。两次地震的破裂次序指示应力向前陆传递的趋势，毗邻的成都平原和龙门山未破裂段的地震危险性问题研究已久。研究者对两次事件之间 ~75 km 的地震空区和整个龙门山南段是否存在 Mw > 7 的地震危害性问题争论不休。目前，对该区可能存在的强震，其发震构造、强度和复发周期等认识依然不足。

中国地震局地质研究所新构造与构造地貌研究室李志刚博士后(已出站)、刘静研究员与合作者基于地震剖面解析和石油钻井分层约束，识别出龙门山山前存在一条长 ~200 km，深 5-18 km 的断坡(山前隐伏断层)，分别连接龙门山腹陆深部和前陆浅部的两个断坪，构成前陆褶皱冲断带常见的坡-坪结构。结合定量断层几何学分析、精定位的震中和震源数据，确定山前隐伏断层为 1970 Ms 6.2 大邑地震和

2013 年 Mw 6.6 芦山地震的发震构造;应用活动断层和褶皱分析方法,进一步限定其第四纪以来的水平缩短速率~ 1 mm/yr。另外,计算了龙门山南段三条主要活动断层地震矩累计速率为 $8.04 (\pm 2.09) \times 10^{17} \text{N}\cdot\text{m/yr}$,并结合历史和工业地震目录限定的 G-R 分布,给出南段最大的 Mw=7.7。因此,我们推断龙门山南段依然存在强震(Mw 7.3-7.7)风险,其平均复发周期 1000-1400 年,特别是隐伏于人口密集的成都平原的山前隐伏断层。





9. 青藏高原东北缘大夏河流域瞬时地貌发育特征

活动造山带地区的地貌发育特征是解开构造隆升、气候演变与地表侵蚀过程之间反馈关系的科学问题的切入点之一，也是模拟地形演化、定量分析地表风化侵蚀以及探讨造山带演化模式的重要参数。长期均衡条件下，活动造山带内部的区域构造隆升与地表侵蚀达到平衡状态，流域盆地内部河流坡度随向下游流域面积的不断增大而逐渐减小，河流纵剖面就表现为相对比较平滑，并呈现为下凹的形态。然而，如果流域盆地内如果存在断裂活动或者气候因素变化将导致差异下切，从而这一均衡状态就会被打破，此时河流纵剖面往往表现为上凸形态，整个地貌系统也会因此进入一种瞬时的不均衡状态。青藏高原东北缘地区是整个高原向外增生和隆升扩展的前缘部位之一（图 9.1），是研究活动造山带构造变形和地貌演化的理想地区。黄河水系及其支流大夏河自 1.8 Ma 发育后形成多级阶地，成为记录黄河流域水系演化历史、高原隆升和气候变化重要的信息载体。

中国地震局地质研究所新构造与地貌研究室张会平研究员、张培震研究员与合作者在早期有关黄河上游水系演化的基础上，通过构造地貌及其年代学研究手段，结合野外地质地貌调查、数值模拟等研究，获得大夏河流域瞬时地貌发育的基本特征。研究发现，第四纪以来大

夏河不断响应高原隆升和侵蚀基准变化快速下切，沿大夏河以裂点方式向上游溯源迁移，控制了流域盆地内的地貌演化进程（图 9.2）。

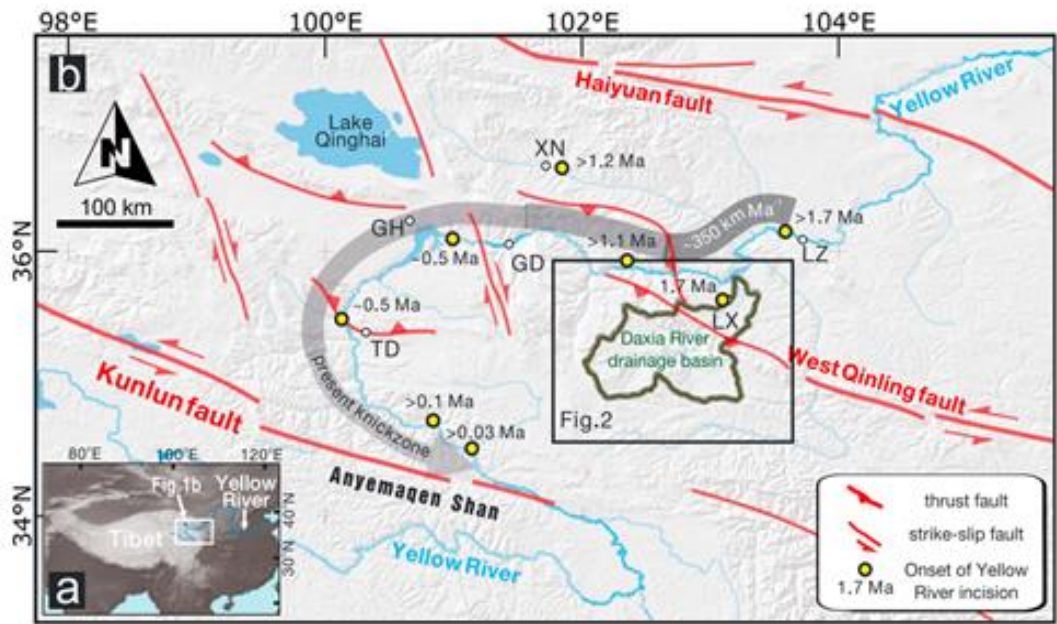


图 9.1 青藏高原东北缘黄河流域溯源侵蚀过程

地貌分析发现，裂点下游地区，地形坡度，起伏及河流陡峭系数较高， ^{10}Be 宇宙成因核素给出的流域侵蚀速率表现出裂点下游地区是上有的 3-10 倍，与基座阶地限定的下切速率相一致。在野外量测河流流量、宽度、深度、河道坡度等基础上，研究估算出的河流侵蚀搬运能力也表明裂点之下的河段具有较强的水动力，进一步证实瞬时地貌发育特征。研究分析河道宽度和流域面积后发现，大夏河流域的河道虽处于瞬时调整阶段，但并未表现出明显的变窄趋势，在综合了全球现有河道宽度与流域面积之间的统计关系后，研究提出 $300\text{-}500\text{m/Ma}$ 的侵蚀/隆升速率似乎代表了河道宽度响应快速下切和构造隆升的临界值——侵蚀/隆升速率小于这一临界值时，河道有足够时间响应沉积物的补给，河道能够展宽不变窄，而当侵蚀/隆升速率超过临界值，河道沉积物供给变少，河道没有足够时间展宽，河道普遍变窄。

上述研究为认识流域盆地及其内部不同级别水系如何响应构造隆升、气候变化等控制因素提供了新的视角；研究认为在活动造山带地区，河流地貌发育特征和演化过程记录了不同尺度构造、气候以及侵蚀基准的变化信息，因此是理解构造-气候相互作用过程及其机制的基础。区，河流地貌发育特征和演化过程记录了不同尺度构造、气

候以及侵蚀基准的变化信息，因此是理解构造气候相互作用过程及其机制的基础。

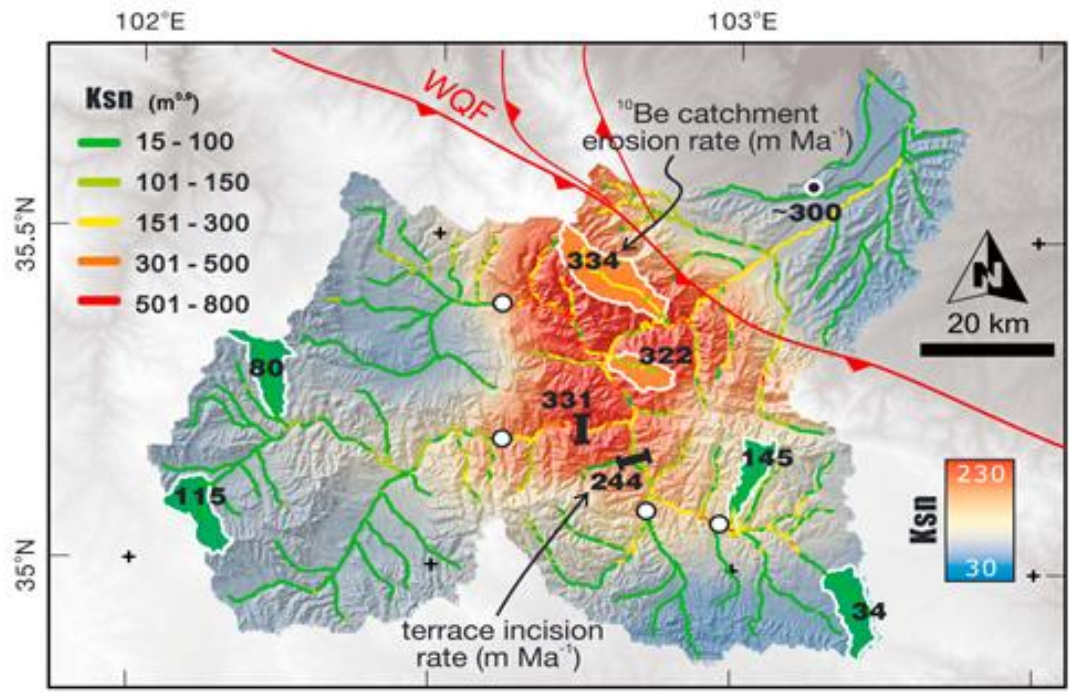


图 9.2 大夏河流域瞬时地貌发育特征

10. 龙门山山前隐伏断裂系统第四纪活动性

青藏高原东缘龙门山边界“年轻高陡地形但低水平缩短速率”的特征引发了对其隆升机制（地形演化）的争论，争论的焦点之一在于晚新生代地壳缩短变形模式。但是，龙门山褶皱冲断带晚新生代或第四纪上地壳缩短变形一直未被很好的限定，主要原因是山前新生代地层未被很好的保留下来，同时缺少可靠的近地表构造—地层格架，而这些基础数据对了解龙门山造山过程、隆升机制和地震危害性极其重要。

中国地震局地质研究所新构造与构造地貌研究室李志刚博士后、刘静研究员与合作者利用大量高精度的二维、三维地震数据和钻井资料，调查了龙门山山前断裂带构造几何学特征和第四纪活动性。研究取得以下主要认识：

(1) 揭示龙门山深部存在一个山前隐伏断裂系统，由山前隐伏断层和次级分支断层组成。基于地震数据和断层相关褶皱理论限定出山前隐伏断层上最大累计滑移量为 $7.5 \pm 0.3 \text{ km}$ 。

(2) 在该系统之上识别的生长地层可用来限定断裂活动性，定

量出山前隐伏断层在更新世以来的倾滑和水平速率分别为 1.1 ± 0.2 和 ~ 1 mm/yr。

(3) 结合新获取的水平速率和其它已发表的数据，确定龙门山褶皱冲断带长期的水平缩短速率为 $1 \sim 3$ mm/yr，相似于现今 GPS 结果。第四纪以来基本恒定的水平缩短速率，暗示龙门山褶皱冲断带可能在 2Ma 达到稳态的生长过程。

(4) 对比青藏高原东缘龙门山第四纪生长特征和其它周缘，如喜马拉雅，西昆仑山，北祁连山，我们发现这些周缘均存在第四纪同生长构造和地层记录，因此，我们推测青藏高原周缘可能存在第四纪相似或者近同期的生长和向外传播的过程。

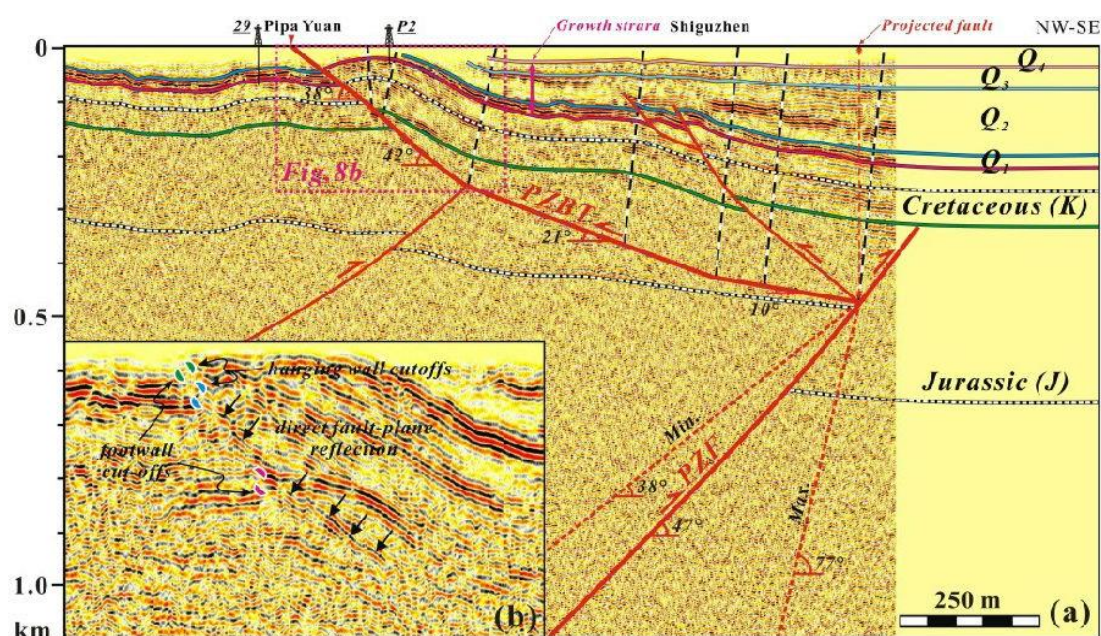


图 10.1 彭州断层近地表构造—沉积格架

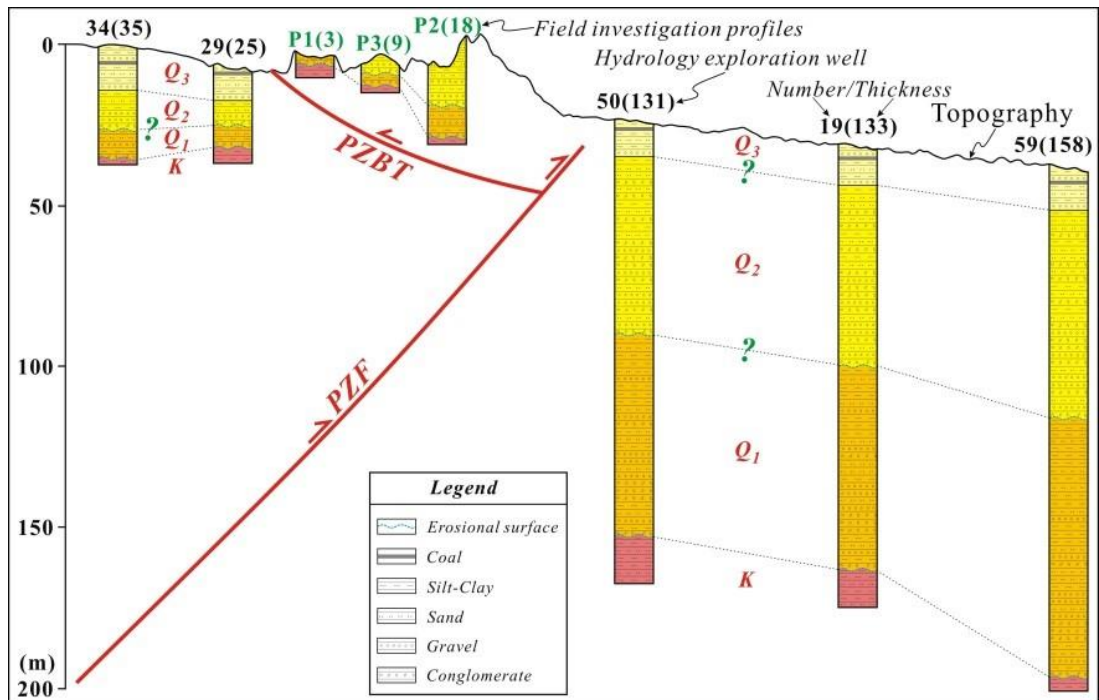


图 10.2 第四系钻井结果及其构造解析

4. 近 5 年项目资助情况

国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目, 大陆型高原边界地形演化的对比研究, 2018.01-2021.12, 199 万, 负责人: 刘静

中国地震局地质研究所基本科研业务专项, 西藏中南部 GPS/InSAR 观测对高原变形机制的约束, 2018.10-2022.10, 180 万, 负责人: 刘静

川滇国家地震监测预报实验场项目, 从板块边界到断裂的动力加载, 2017.07-2018.07, 200 万, 重点方向主要协调人: 刘静

地震动力学国家重点实验室自主研究课题, 老虎山断裂蠕滑段及邻近断裂段的第四纪活动性与几何复杂度研究, 2017.01-2020.01, 145.5 万元, 负责人: 刘静

国家重点研发计划“深地资源勘查开采”子课题“正向碰撞带剥蚀时空分布特征与矿床保存状态的相关性研究”(A1602-4), 2017.01-2020.12, 100 万, 负责人: 刘静

中共中央组织部, 万人计划-科技创新领军人才, 2016.01-2019.01, 80 万, 负责人: 刘静

国家重点研发计划“青藏高原深部过程与碰撞造山成矿作用”专题 5 正向碰撞带剥蚀时空分布特征与矿床保存状态的相关性研究,

2016.01-2020.12, 100 万, 专题负责人: 刘静

国家自然科学基金面上项目, 多时间尺度重建雅鲁藏布江大峡谷河流地貌过程, 2018.01-2021.12, 96 万元, 负责人: 王萍

中国地震局地质研究所基本科研业务专项, 青藏高原东南缘河湖相沉积中地震与洪水事件的时序特征研究, 2017.10-2021.09, 150 万元, 负责人: 王萍

国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目, 上新世-更新世死海断裂和阿尔金断裂地区地貌演化过程、走滑速率及其动力学意义, 2018.01-2020.12, 178 万元, 负责人: 张会平

国家自然科学基金优秀青年基金项目, 构造地貌学, 2017.01-2019.12, 150 万元, 负责人: 张会平

中共中央组织部, “万人计划”青年拔尖人才计划项目, 2016.01-2018.12, 140 万元, 负责人: 张会平

国家自然科学基金面上项目, 青藏高原东北缘大夏河流域瞬时地貌发育特征及其控制因素研究, 2013.01-2016.12, 85 万元, 负责人: 张会平

国家自然科学基金面上项目, 沉积磁组构对青藏高原东北缘地区新生代构造应力场的响应, 2015.1-2018.12, 95 万元, 负责人: 刘彩彩

国家自然科学基金青年基金项目, 喜马拉雅东构造结内朗峰末次冰期以来冰进序列年代学研究, 2016.01-2018.12, 33.4 万元, 负责人: 胡钢

国家自然科学基金青年基金项目, LiDAR 技术与 SfM 摄影测量方法对比及其在活动构造定量研究中的应用, 2016.01-2018.12, 18 万元, 负责人: 毕海芸

国家自然科学基金青年基金项目, 青藏高原东南缘三江地区瞬时地貌与河流下切速率的时空分布样式, 2016/01-2018/12, 22 万, 负责人: 张金玉

地震动力学国家重点实验室项目, 滇西北地区红河断裂北部尾端第四纪晚期滑动速率与地震危险性, 2016.06-2018.12, 60 万, 负责人: 张金玉

国家自然科学基金青年基金项目, 程海-宾川断裂新构造活动对川滇地块西缘走滑拉张作用的构造响应, 2018.01-2020.12, 24 万, 负责人: 王恒

中国地震局地质研究所基本科研业务专项, 程海-宾川断裂中段滑动速率及其对地震危险性评价的意义, 2017.09-2020.08, 30 万, 负责人: 王恒

5. 近 5 年发表论文情况

2018

- Bi, H., Zheng Wenjun, Ge Weipeng, Zhang Peizhen, Zeng Jiangyuan, Yu Jingxing. 2018, Constraining the vertical displacement distribution along the South Heli Shan fault at the northeastern Tibetan Plateau based on high-resolution topographic data. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, doi: 2017JB014901.
- Chen, T., Liu-Zeng, J.,* Shao, Y.X., Zhang, P.Z., Oskin, M.E., Lei, Q.Y., and Li, Z.F., 2018, Geomorphic offsets along the creeping Laohu Shan section of the Haiyuan fault, northern Tibetan Plateau, *Geosphere*, 14(3): 1165-1186.
- Ge, Y., Li, Y., Wang, X., Qian, X., Zhang, J., Zhou, A., Liu-Zeng, J., 2018. Oligocene-Miocene burial and exhumation of the southernmost Gangdese mountains from sedimentary and thermochronological evidence. *Tectonophysics*, 723: 68-80.
- Liu-Zeng, J., Zhang, J. Y., McPhillips, D., Reiners, P., Wang, W., Pik, R., Zeng, L. S., Hoke, G., Xie, K. J., Xiao, P., Zheng, D. W., Ge, Y. K., 2018, Multiple episodes of fast exhumation since Cretaceous in the ThreeRivers region, SE Tibet, revealed by low-temperature thermochronology, *Earth and Planetary Science Letters*, 490: 62-76.
- Shao, Y., Liu-Zeng, J., Oskin, M. E., Elliott, A. J., Wang, P., 2018, Paleoseismic investigation of the Aksay restraining double-bend, Altyn Tagh fault, and its implication for barrier-breaching ruptures. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 123, 4307–4330, <https://doi.org/10.1029/2017JB015397>.
- Tian, Y., Liu-Zeng, J., Luo, Y., Li, Y. S., Zhang, J. F., 2018. Deformation Related to an $M < 5$ Earthquake Sequence on Xiangyang Lake-Burog Co Fault in Central Xizang, China, Observed by Sentinel-1 Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, <https://doi.org/10.1785/0120180066>.

- Tian, Y., Liu-Zeng, J., Luo, Y., Li, Y. S., Hu, Y. S., Gong, B., Liu, L. Z., Guo, P., Zhang, J. F., 2018. Transient deformation during the Milashan Tunnel construction in northern Sangri-Cuona Rift, southern Tibet, China observed by Sentinel-1 satellites. *Science Bulletin*, 63(21): 1439-1447.
- Yuan, Z., Liu-Zeng, J., Wang, W., Weldon, R., Oskin, M. E., Shao, Y. X., Li, Z. G., Li, Z. F., Wang, P., Zhang, J. Y., 2018. A 6000-Year-Long Paleoseismologic Record of Earthquakes on the Xorkoli Segment of the Central Altyn Tagh Fault, Xinjiang, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 497: 193-203.
- Wang, W., Zeng, L.S., Gao, L.E., Wang, Q., Guo, C.L., Hou, K.J., Liu-Zeng, J., 2018. Eocene-Oligocene potassic high Ba-Sr granitoids in the Southeastern Tibet: Petrogenesis and tectonic implications. *Lithos*, 322: 38-51.
- Wang, Y. , Zheng, D., Pang, J., Zhang, H., Wang, W., Yu, J., Zhang, Z., Zheng, W., Zhang, P., Li, Y., 2018. Using slope-area and apatite fission track analysis to decipher the rock uplift pattern of the Yumu Shan: New insights into the growth of the NE Tibetan Plateau. *Geomorphology* 308, 118-128.
- Zhang, J. Y., Liu-Zeng, J., Scherler, D., Yin, A., Wang, W., Tang, M.Y., Li, Z.F., 2018. Spatiotemporal variation of late Quaternary river incision rates in southeast Tibet, constrained by dating fluvial terraces. *Lithosphere*, 10(5): 662–676.
- 李晓峰, 王萍, 王慧颖, 童康益, 杨光. 2018. 雅鲁藏布江大拐弯地区河流地貌参数揭示的地质构造意义. *第四纪研究*, 38(1): 183-192.
- 刘静, 张金玉, 葛玉魁, 王伟, 曾令森, 李根, 林旭. 2018. 构造地貌学: 构造-气候-地表过程相互作用的交叉研究. *科学通报*, 63, doi: 10.1360/N972018-00498
- 王鹏, 刘静, 张智慧, 李志刚, 张金玉, 王伟, 邢秀臣. 2018. 隐伏断层在强震砂土液化中的作用——以2008年汶川 Mw 7.9地震为例. *地质通报*, 37(5): 747-758.
- 王伟, 刘静, Vincent Godard, 张金玉, 许冲, 李志刚, 徐心悦, 许强, 王鹏, 谢克家. 2018. 汶川地震同震滑坡物质在震区的滞留

和运移及其对龙门山地形演化的影响. 地球物理学报, 61(5): 1970-1983.

张金玉, 刘静, 王伟, 唐茂云, 李占飞. 2018, 活动造山带地区河流阶地与下切速率及其时空分布样式. 第四纪研究, 38(1): 204-219.

张金玉, 刘静, 王恒, 石许华, 姚文倩, 徐晶, 徐心悦. 2018. 基岩断面宇宙成因核素暴露定年: 重建正断层古地震序列. 地震地质, 40(5): 1149-1169.

2017

Bi, H., Zheng Wenjun, Ren Zhikun, Zeng Jiangyuan, Yu Jingxing. Using an unmanned aerial vehicle for topography mapping of the fault zone based on structure from motion photogrammetry. *International Journal of Remote Sensing*, 2017, 38(8-10): 2495-2510.

Bi, H., Zheng Wenjun, Zeng Jiangyuan, Fan Xiwei. Modeling the topography of fault zone based on structure from motion photogrammetry. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2017, 6251-6254.

Hu, G., Yi, C.L., Zhang, J.F., Dong, G.C., Liu, J.H., Xu, X.K., Jiang, T., 2017. Extensive glacier advances during the Last Glacial Maximum near the eastern Himalayan syntaxis. *Quaternary International*, 10: 1-12.

Li, Z. G., Liu-Zeng, J., Almeida, R., Hubbard, J., Sun, C., Yid, G., 2017, Re-evaluating seismic hazard along the southern Longmen Shan, China: Insights from the 1970 Dayi and 2013 Lushan earthquakes, *Tectonophysics*, 717: 519–530.

Shao, Y., Yuan, D., Oskin, M. E. Wang, P., Liu-Zeng, J., Li, C., Wu, Z., 2017. Historical (Yuan Dynasty) Earthquake on the North Danghe Nanshan Thrust, Western Qilian Shan, China. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(2), doi:10.1785/0120160289.

Tang, M. Y., Liu-Zeng, J., Hoke, G. D., Xu, Q., Wang, W. T., Li, Z. F., Zhang, J. Y., Wang, W., 2017, Paleoelevation reconstruction of the Paleocene-Eocene Gonjo basin, SE-central Tibet, *Tectonophysics*, 712-713:170-181.

Wang, H., Liu-Zeng, J., Ng, A. H.-M., Ged, L., Javed, F., Long, F.,

- Aoudia, A., Feng, J., Shao, Z., 2017, Sentinel-1 observations of the 2016 Menyuan earthquake: A buried reverse event linked to the left-lateral Haiyuan fault, *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 61:14-21.
- Wang, W., Godard, V., Liu-Zeng, J., Scherler, D., Xu, C., Zhang, J., Xie, K., Bellier, O., Ansberque, C., de Sigoyer, J., ASTER Team, 2017. Perturbation of fluvial sediment fluxes following the 2008 Wenchuan earthquake, *Earth Surface Processes and Landforms*, doi: 10.1002/esp.4210
- Wang, Y., H. Zhang, D. Zheng, J. Yu, J. Pang, and Y. Ma (2017), Coupling slope–area analysis, integral approach and statistic tests to steady-state bedrock river profile analysis, *Earth Surf. Dynam.*, 5(1), 145-160.
- Wang, Y., H. Zhang, D. Zheng, W. von Dassow, Z. Zhang, J. Yu, and J. Pang (2017), How a stationary knickpoint is sustained: New insights into the formation of the deep Yarlung Tsangpo Gorge, *Geomorphology*, 285, 28-43.
- Zhang, H., Zhang, P., Prush, V., Zheng, D., Zheng, W., Wang, W., Liu, C., Ren, Z., 2017. Tectonic geomorphology of the Qilian Shan in the northeastern Tibetan Plateau: Insights into the plateau formation processes. *Tectonophysics* 706–707, 103-115.
- Zhang, H., Kirby, E., Pitlick, J., Anderson, R.S., Zhang, P., 2017. Characterizing the transient geomorphic response to base-level fall in the northeastern Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122, 546–572
- Zhang, Y., Zhang, G., Hetland, E.A., Shan, X., Zhang, H., Zhao, D., Gong, W., Qu, C., 2018. Source Fault and Slip Distribution of the 2017 Mw 6.5 Jiuzhaigou, China, Earthquake and Its Tectonic Implications. *Seismological Research Letters* 89, 1345-1353.
- 李雪梅, 张会平. 2017. 河流瞬时地貌:特征、过程及其构造-气候相互作用内涵. *第四纪研究*, 37(2):416-430.
- 林旭, 刘静, 彭保发, 李长安, 吴泉源. 2017. 青藏高原周围河流基岩和碎屑矿物低温热年代学研究进展. *地震地质*, 39(6): 1091-1110.

徐晶, 邵志刚, 刘静, 季灵运. 2017. 基于库仑应力变化分析巴颜喀拉地块东端的强震相互关系. 地球物理学报, 60(10): 4056-4068, doi:10.6038/cjg20171031.

2016

- Bi, H., Ma Jianwen, Zheng Wenjun, Zeng Jiangyuan. Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and in situ observations over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2016, 121(6): 2658-2678.
- Hu, G., Yi, C.L., Zhang, J.F., Liu, J.H., Tao, J., Li, S.H., 2016. Late Quaternary glacial advances in the eastern Qilianshan, north-eastern Tibet, as inferred from luminescence dating of fluvio-glacial sediments. *Journal of Quaternary Science*, 31: 587-597.
- Li, Z., Liu-Zeng, J., D. Jia, C. Sun, W. Wang, Z.Yuan, B. Liu, 2016, Quaternary activity of the range front thrust system in the Longmen Shan piedmont, China, revealed by seismic imaging and growth strata, *Tectonics*, 35, doi:10.1002/2015TC004093.
- Liu, C.C., Wang, Weitao, Zhang, Peizhen, et al., 2016, Magnetostratigraphy and magnetic anisotropy of the Neogene sediments in the Qilian Basin. *Chinese Journal of Geophysics*, 59(8):2965-2978.
- Liu-Zeng, J., P. Wang, Z. Zhang, Z. Li, Z. Cao, J. Zhang, X. Yuan, W. Wang, X. Xing, 2016, Liquefaction in western Sichuan Basin during the 2008 Mw 7.9 Wenchuan earthquake, China, *Tectonophysics*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2016.11.001>
- Zhang, H., M. E. Oskin, Liu-Zeng, J., P. Zhang, P.W. Reiners, P. Xiao, 2016, Pulsed exhumation of interior eastern Tibet: Implications for relief generation mechanisms and the origin of high-elevation planation surfaces, *Earth and Planetary Sci. Lett.*, 449 : 176–185.
- Zhang, H., Oskin, M.E., Liu-Zeng, J., Zhang, P., Reiners, P.W. and Xiao, P., 2016. Pulsed exhumation of interior eastern Tibet: Implications for relief generation mechanisms and the origin of high-elevation planation surfaces. *Earth and Planetary Science Letters*, 449: 176-185.

- 李占飞, 刘静, 邵延秀, 张金玉, 袁兆德, 王鹏, 唐茂云, 王朋涛, 2016, 基于高精度 LiDAR 数据的海原断裂松山段断裂地貌分析与古地震探槽选址实例研究, 地质通报, 35(1):104-116.
- 李志刚, 刘静, 贾东, 孙闯, 王伟, 姚文倩, 2016, 晚上新世龙门山南段斜向逆冲作用和区域应力场转换, 地质通报, 35(11):1829-1844.
- 邵延秀, 刘静, Yann Klinger, 谢克家, 袁道阳, 雷中生, 2016, 海原断裂干盐池探槽揭示非特征性古地震序列, 地质通报, 35(5):711-726.
- 袁兆德, 刘静, 李占飞, 邵延秀, 李志刚, 王鹏, 王伟, 姚文倩, 2016, 走滑断裂古地震探槽选址范例, 地质通报, 35(11):1807-1828.

2015

- Liu-Zeng J., Shao Y., Yann Klinger, Kejia Xie, Daoyuang Yuan, and Zhongsheng Lei, 2015, Variability in magnitude of paleoearthquakes revealed by trenching and historical records, along the Haiyuan Fault, J. Geophys. Res., 120, doi: 10.1002/2015JB012163
- Zhang, H., Yi, G., Zhang, P., Kirby, E., 2015. On the evolution of seismogenic faults in the Longmen Shan, eastern Tibet. Journal of Asian Earth Sciences 111, 624-631.
- 李瑜, 刘静, 梁宏, 张锐, 师宏波, 王鹏, 李建勇, 王坦, 2015, 全球定位系统测定的尼泊尔 Mw7.8 级地震同震位移, 科学通报, doi: 10.1360/N972015-00602
- 刘静, 纪晨, 张金玉, 张培震, 曾令森, 李占飞, 王伟, 2015, 2015 年 4 月 25 日尼泊尔 Mw7.8 地震的孕震构造背景和特征, 科学通报, 60(27), 2640-2655
- 唐茂云, 刘静, 邵延秀, 王鹏, 袁兆德. 2015. 中小震级事件产生地表破裂的震例分析, 地震地质, 37(4), DOI:10.3969/j.issn.0253-4967.2015.18
- 肖萍, 刘静, 王伟, 曾令森, 谢克家, Raphael Pik, 钟宁. 2015, 云南德钦白马雪山岩体热历史及其对青藏高原三江地区构造地貌演化的指示意义, 岩石学报, 31(5):1348-1360.
- 肖萍, 刘静, 王伟, 钟宁, 曾令森, Raphael Pik, 谢克家. 2015, 藏东南缘芒康地区河流地貌演化的磷灰石 U-Th/He 记录, 第四纪研

究,35(2):433-444.

2014 年

- Chen, T., Zhang, P. Z., Liu J., Li, C. Y., Ren, Z. K., Hudnut, K. W. 2014, Quantitative study of tectonic geomorphology along Haiyuan fault based on airborne LiDAR, Chinese Science Bulletin, 59(20): 2396-2409, doi:10.1007/s11434-014-0199-4.
- Hoke G. D., Liu-Zeng, J., Hren, M.T., Wissink, G. K., Garzione, C. N.2014. Stable isotopes reveal high southeast Tibetan Plateau margin since the Paleogene, Earth and Planetary Science Letters, 394: 270–278.
- Wang, P., Scherler D., Liu-Zeng J., Mey J , Avouac J.-P. , Zhang Y. , and Shi D. 2014, A 2.5 Myr-old canyon beneath the Yarlung Tsangpo Valley, Southern Tibet, Science, 346: 978-981, doi: 10.1126/science.1259041.
- Zhang, H., Zhang, P., Champagnac, J.-D., Molnar, P., Anderson, R.S., Kirby, E., Craddock, W.H., Liu, S., 2014. Pleistocene drainage reorganization driven by the isostatic response to deep incision into the northeastern Tibetan Plateau. Geology, 42(4), 303-306.
- Zhang, H., Zhang P-z, Zheng D-W, et al. 2014. Transforming the Miocene Altyn Tagh fault slip into shortening of the northwestern Qilian Shan: insights from the drainage basin geometry. Terra Nova, 26(3), 216-221.
- Zhang, H., Lv Y. 2014. Geomorphometric features of the alluvial fans around the Chaka-Qinghai Lake in the northeastern Tibetan Plateau. Journal of Earth Science, 25(1): 109-116.
- 陈涛, 张会平, 王伟涛. 2014. 海原断裂带中东段地貌差异及其成因探讨. 地震地质, 36(2): 449-463.
- 王鹏, 刘 静. 2014. 断层横向构造在逆冲型地震破裂中的作用——以汶川地震小鱼洞断层为例.地球物理学报, 57(10): 3296-3307, doi:10.6038/cjg20141017.

2013 年

- Liu-Zeng, J., Chen T, Zhang P. Z., Zhang H. P., Zheng W. J., Ren Z K,

- Liang S. M., Shen C. S., Gan W. J. 2013. Illuminating the active Haiyuan fault, China by Airborne Light Detection and Ranging (in Chinese). Chinese Science Bulletin(Chin Ver), 58: 41-45, doi: 10.1360/972012-1526[刘 静, 陈涛, 张培震, 张会平, 郑文俊, 任治坤, 梁诗明, 盛传贞, 甘卫军, 2013. 机载激光雷达扫描揭示海原断裂带微地貌的精细结构. 科学通报, 58(1):41-45]
- 王鹏, 刘 静, 孙杰, 张智慧, 许强, 文力, 孟庆岭. 2013. 2008 年汶川大地震小鱼洞地表破裂带精细填图. 地质通报, 32(4): 538-562(硕士研究生)
- 王伟, 曾令森, 刘 静, 高利娥, 肖萍, 2013, 西藏措勤晚白垩世英安岩的厘定与地球化学特征, 地质科学, 48(2): 484-500. (硕士研究生)

6. 近 5 年获得荣誉称号及奖励情况

刘静, 2018 年, 中国地震局 2017 年度防震减灾科技成果奖, 一等奖, 7/15

刘静, 2016 年, 中共中央组织部“万人计划”领军人才

刘静, 2015 年, 中国地震局防震减灾优秀人才百人计划第一批人选

刘静, 2014 年, 科技部“中青年科技创新领军人才”

刘静, 2013 年, 中国青藏高原研究会青藏高原青年科技奖

刘静, 2013 年, 入选国家百千万人才工程, 授予“有突出贡献中青年专家”荣誉称号

刘静, 2012 年, 国家杰出青年科学基金

张会平, 2018 年, 国家科学技术奖自然科学奖 (二等奖, 4/5), 青藏高原及东北缘晚新生代构造变形与形成过程,

张会平, 2017 年, 中国地质学会第十六届青年地质科技奖银锤奖

张会平, 2016 年, 国家自然科学基金优秀青年基金

张会平, 2016 年, 中国青藏高原研究会青藏高原青年科技奖

张会平, 2015 年, 中央组织部 2014 年“万人计划”青年拔尖人才计划

张会平, 2015 年, 中国地震局防震减灾优秀人才百人计划第一批人选

张会平，2015 年，中国地震局 2014 年度防震减灾科技成果奖，
一等奖，5/15