

马冀, 徐良鑫, 张艺, 等. 冲沟裂点在华山山前断裂古地震研究中的应用[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 61–65. [MA Ji, XU Liangxin, ZHANG Yi, et al. Application of Paleoequakes Based on Knickpoint Distribution of Huashan Front Fault[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 61–65. doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.04.013.]

冲沟裂点在华山山前断裂古地震研究中的应用*

马冀, 徐良鑫, 张艺, 李高阳, 杨晨艺

(陕西省地震局, 陕西 西安 710068)

摘要: 河流水系对外部环境变化的反应非常敏感, 尤其在活动构造区域, 冲沟裂点能够迅速反映河流基准面的下降, 作为记录断层活动的重要标志。由此, 为提供通过冲沟裂点的发育特征来揭露对应断裂的活动历史的机会。该文以位于渭河盆地东南缘的华山山前断裂为例, 利用宇宙成因核素¹⁰Be 暴露测年技术, 和断裂 1 km 范围内由 Lidar 数据获得的高精度 DEM 提取的冲沟裂点信息, 对山前被断裂切割的冲沟中发育的一系列裂点的期次和地形参数进行了厘定。同时, 依据冲沟裂点的¹⁰Be 暴露年龄建立了冲沟裂点序列与华山山前断裂古地震事件之间联系。研究结果表明, 以仙峪为典型代表的华山山前冲沟中普遍发育 4 期裂点, 垂直位移分别为 6.4 m, 4.3 m, 3.5 m 和 5.1 m, 均小于在冲积扇上得到的华山山前断裂的断错位移量。冲沟裂点的¹⁰Be 暴露年龄显示华山山前断裂是一条复发间隔约 4~5 ka 的活动断裂, 在该断裂上曾发生过至少 3 期地震事件, 分别为公元 1556 年、距今 4 439~6 691 a 和距今 9 189~12 407 a。由此可以看出, 冲沟裂点能够作为判断裂活动的地貌证据, 其暴露年龄与古地震事件发生时间大致相当。但受冲沟差异侵蚀作用的影响, 由冲沟裂点记录的垂直断错位移量并不能代表断层实际的垂直位移量。

关键词: 断错地貌标志; 裂点; 古地震序列; 机载激光雷达扫描(LiDAR)测量; ¹⁰Be 暴露定年

中图分类号: P315; X43; X915.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2020)04–0061–05

doi: 10.3969/j.issn.1000–811X.2020.04.013

活动断裂的活动强度是通过厘定地貌体晚更新世以来的位错量及其年龄来量化的^[1]。随着对地貌过程和构造活动耦合关系研究的深入, 构造地貌的解译成为认识活动构造变形的有效途径^[2]。尤其是在活动构造带, 河流水系对外部环境变化反应非常敏感, 当山体发生具有显著快速的垂直位移的断层活动时, 常常超过动态平衡的调整阈值, 在相应尺度上引起河流河道的快速形态变化, 在没有达到新的平衡态的过程中形成新的过渡型地貌。河流微地貌记录的地质构造活动信息通常以裂点的形式保留这种瞬态地貌^[3], 因此, 裂点是地质构造活动在河流地貌中的表现^[3–4]。Whittaker^[5]以详细的河道形态资料确定了河流对正断层活动的地貌响应关系, 说明对河流剖面 and 裂点等地形参数可以为地震活动提供约束。许多研究实例也借助裂点地形特征成功地揭示了断裂古地震事件序列, 由此确定了地震活动性以及区域地震安全性^[6–10]。

1556 年 1 月 23 日, 在渭河盆地东部发生华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震^[11], 记载的死亡人数达 83 万人, 是世界文明史上已知的死亡人数最多的一次地震, 它

给当时的社会带来巨大的人员及经济损失^[12]。这次地震沿着发震构造之一的华山山前断裂产生了长约 40 km 的地表破裂带^[12–14] (图 1)。华山山前断裂为渭河盆地南缘控盆正断裂, 在山前发育的冲洪积扇上保留了 7~8 m 断层陡坎, 证明是 1556 年华县地震事件的垂直同震位移^[15–17]。依照古地震学的传统研究方法, 在具有如此高同震位移的正断层上找寻多期古地震事件难度非常大。恰好垂直于华山山前断裂的一系列冲沟中均发育多期裂点, 本文通过确定保留裂点的时间序列和地形参数, 进一步限定断裂的古地震事件序列和变形特征, 为大震危险性评价提供依据。

近几十年来, 活动构造地貌精细结构研究最显著的进展就是将激光雷达扫描(LiDAR)技术应用到提取断层破裂带的精细地貌结构特征^[18–22]。激光 Lidar 测量不仅能够获得精度高达 0.1 m 的数字高程模型(DEMs), 同时具有能够穿透植被、直接获取真实地表三维信息等优势与特点^[22–25], 能够很好胜任在华山山前这种植被覆盖茂密且地形复杂地区提取高分辨率数据采集任务。

* 收稿日期: 2020–05–01 修回日期: 2020–07–07

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(41502205); 陕西省自然科学基金基础研究计划(2018JM4019); 陕西省地震局“十二五”关中地区大震危险性评价项目

第一作者简介: 马冀(1984–), 女, 陕西西安人, 博士, 工程师, 主要从事活动构造研究. E-mail: maji1013@foxmail.com

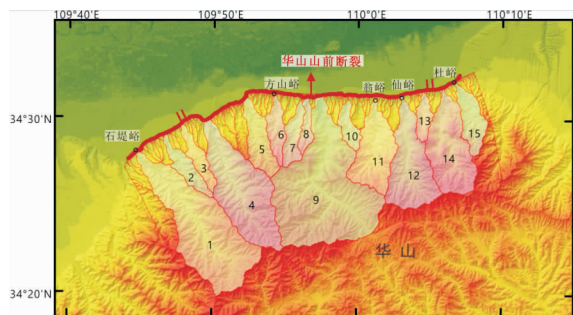


图1 华山山前地貌发育特征

此外,我们利用目前较为成熟的原地生宇宙成因核素 ^{10}Be 暴露定年方法^[26]测得裂点所在基岩面的暴露年龄。本研究区华山基岩岩性以花岗岩和花岗片麻岩为主,富含石英,抗风化侵蚀能力较强,是 ^{10}Be 暴露定年方法的理想目标矿物,由此得到的测年结果能够有效的限定裂点形成时间。

本文通过机载激光雷达探测手段重现了高精度裸露地表的数字高程模型(DEM),并从高精度的河流纵剖面信息中提取了华山山前断裂附近对应冲沟裂点的地形参数。随后,结合 ^{10}Be 测年手段得到各个裂点的年龄。在综合分析上述结果的基础上,建立裂点序列与断裂古地震事件之间联系,初步确定了全新世早期以来华山山前正断裂活动期次和变形强度。

1 河流瞬态特征——裂点

在活动构造发育区域,河道处于一种非均衡状态,活动断裂带差异性的构造抬升会使得的山脉区河流坡度增大,相对于盆地区而言的侵蚀基准逐渐增高,在河流的纵剖面形态上坡度发育不连续的点就是裂点(图2b),是瞬时不平衡地貌系统中典型的特征之一^[27]。而当裂点不断向上游迁移调整河流纵剖面,以达到新的均衡状态。河流纵剖面中的裂点分布是对构造作用随时间发生的空间变化的记录,是理解构造活动对地貌系统演化影响的重要依据^[27-31]。

虽然对裂点的迁移形态如何演化还不是很明确,无法获得随时间变化的数据,但是从已有的野外观测和实验结果来看,裂点迁移取决于几个参数,例如流域面积、岩性和基本水位下降的幅度,而迁移速率和汇水流域之间也存在着相关性^[27, 32-34]。流域的地貌响应过程显示,在基准水位下降后,流域面积的大小对裂点迁移起到了主导作用,即同一基准面下降造成的裂点迁移速率与流域面积呈正比。

因此,经验统计表明,当河流基准面抬升或下降速率稳定、气候条件和基岩强度均一时,在整个流域中表现为通过局部河道坡度与流域面积之间的幂律关系来拟合的形式,表达为:

$$S = K_s \cdot A^{-\theta} \quad (1)$$

式中: S 为河道坡度, A 是流域面积, K_s 是河道陡峭指数, θ 是均衡河道纵剖面的凹度指数,在稳定地貌中通常介于0.35~0.6之间^[35]。在沿河道的坡度分布图中,坡度比降曲线出现拐点的位置为冲沟裂点(如图2c红圈表示)。

由于裂点对流域来说标志着坡度更陡峭的地方,式(1)也可以表达为:

$$\log S = -\theta \cdot \log A + \log K_s \quad (2)$$

式中: $-\theta$ 为流域面积与河道坡度之间的斜率(见图2b),裂点在坡度-面积双对数 $\log A/\log S$ 图解中表现为正偏差或者变陡的位置,经陡峭指数归一化(K_{sm})处理,在坡度-流域面积双对数图上出现偏离拟合直线(河道陡度指数计算固定的 θ 值)的点就是河流裂点^[27, 33, 35-36]。

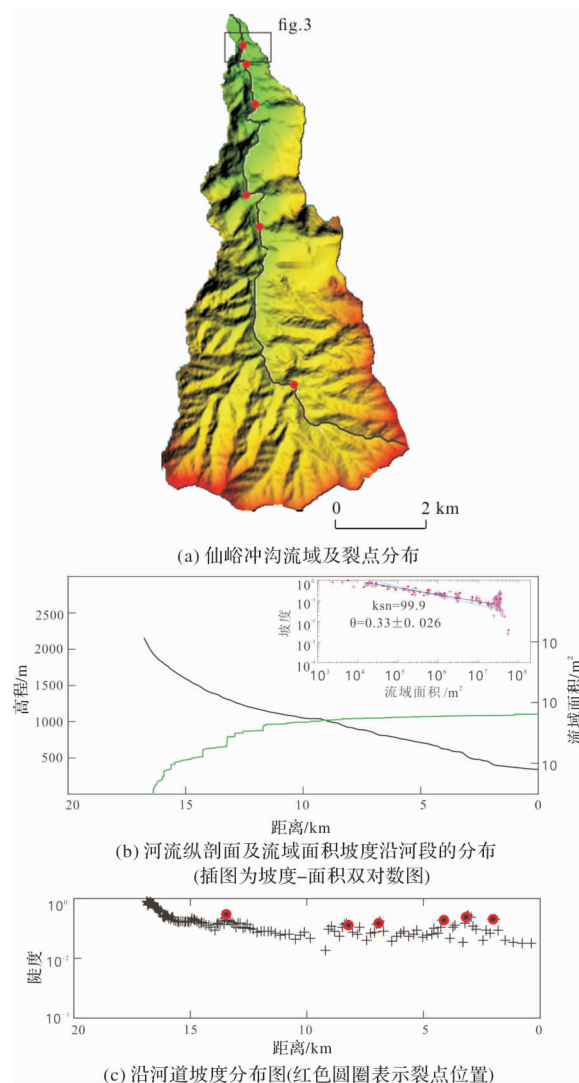


图2 基于12.5 m分辨率DEM提取的仙峪冲沟流域及水系参数

2 高精度分辨率DEM提取裂点

通过上述两种方法,我们基于ArcGIS平台,利用Kirby^[37]开发的Matlab程序,由ALOS卫星的12.5 m分辨率DEM数据中提取河流纵剖面及流域

面积参数, 设置 θ 为 0.45 进行拟合, 对河道陡峭指数变化识别, 获得河道基岩构造抬升的空间分布, 确定裂点位置(见图 2)。从区域上看, 华山山前冲沟的 K_{sn} 值普遍较高^[38], 说明区域构造抬升强烈, 我们从图 2a 中 18 km 长的冲沟纵剖面中识别出 6 期裂点位置, 裂点间距离大于 1 km。

2015 年陕西省地震局实施“关中地区大震危险性项目”中, 对渭河盆地南缘断裂带开展了机载激光雷达扫描测量, 将 LiDAR 技术应用于活断层探测中, 建立基于高密度的激光点云数据得到的 0.5 m 分辨率的断裂带数字高程模型(DEMs)。

将上述 12.5 m 分辨率数据和 0.5 m 分辨率数据分别处理获取 DEM 山影图(图 3), 设置光照方向为西南方向, 与山前近东西向断层走向斜交, 突出地形山脊、河道等信息。对比两幅山影图, 图 3b 更清晰的表达了错综复杂的地形, 能很好的识别出不同地貌形态, 包括山前断层陡坎(红色小三角), 而图 3a 在同等范围的地形地貌表现模糊, 难以分辨。此外, 我们利用 River Tools 软件从 0.5 m 分辨率的 DEM 中提取了冲沟沟道位置^[39], 将之前基于 12.5 m 分辨率数据提取的冲沟位置(黑色虚线)投在图 3b 中, 该数据明显偏离了实际冲沟沟道位置(实线)。综上可见, 基于 LiDAR 数据提取的 DEM 能够探测更细微的构造地貌, 大大提高了河流冲沟位置的精度, 更能反映真实的河流信息。

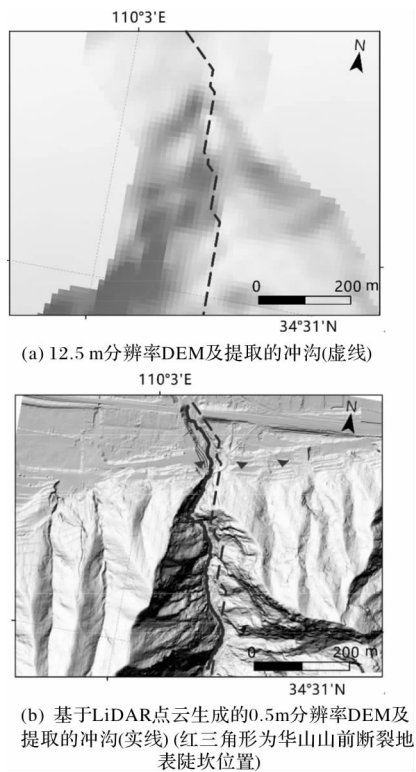


图 3 华山山前仙峪不同分辨率 DEMs 及提取的冲沟位置

因此, 我们在基于 0.5 m 分辨率 DEM 数据提取了更精准的河道纵剖面(图 4a), 通过采取对河流坡度一阶求导得到相对陡度指数(R_d)的方法^[39], 确定裂点的位置(图 4b)。除了在野外进行

裂点位置检验, 我们还仔细分析了冲沟裂点岩性、支流岔口之间的空间关系, 因为这些因素也可能是造成基岩河床中突变的原因。另外, 虽然在本次研究中, 裂点垂直位移量均小于最新地表陡坎 8 m, 但是应该考虑到将经验数据(例如本文研究对象的冲积扇断错陡坎的垂直位移)作为阈值上限, 用来区别陡度变化较大的地方是否为构造成因裂点。

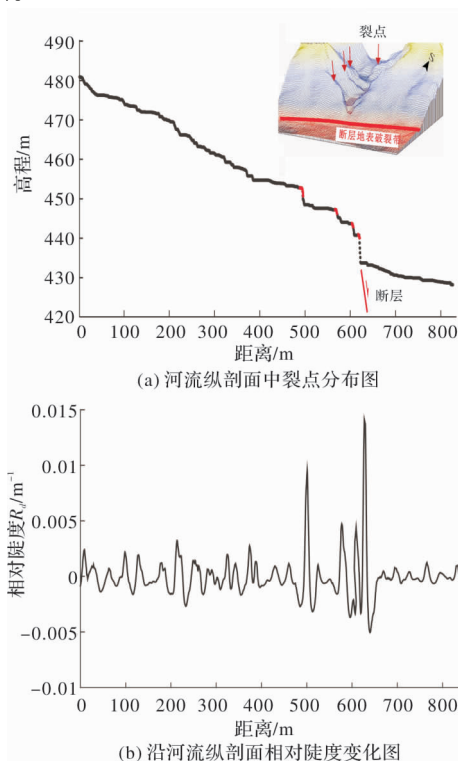


图 4 沿仙峪冲沟提取的河流纵剖面及参数分析

我们在野外验证了 5 条冲沟(图 1 中所示), 自河口向上游 600 m 的基岩河段范围普遍发育了 3~5 期裂点。在山前冲沟流域中, 最新一期裂点距离冲沟口很近, 说明最新一次地震事件(1556 年华县地震)形成的裂点并没有向上游明显迁移, 与侵蚀速率经验相符。结果得到以仙峪为典型代表的华山山前冲沟中发育 4 期裂点, 垂直位移分别为 6.4 m, 4.3 m, 3.5 m 和 5.1 m。

3 裂点形成时代和古地震序列

华山基岩区主体为太华群变质岩, 以变质岩斜长角闪岩、花岗片麻岩、变粒岩和滑石透闪岩为主, 含有石英脉, 为了确保采集样品中石英的含量, 我们尽量选择裂点附近具有石英脉较发育的地方采样。在仙峪冲沟中完整采集到了 4 期裂点样品, 按照从新到老的编号, 分别为 XY-00, XY-01, XY-02, XY-03, 其中 XY-00 年龄为已知的最新一次事件, 即公元 1556 年。其余¹⁰Be 样品在中国科学院地球环境研究所西安加速度质谱中心测试, 根据实验室提供的结果, 我们计算矫正了上述数据, 得到了 2 个¹⁰Be 的有效暴露年龄为

距今 5565 ± 1126 a (XY-01) 和距今 10627 ± 1619 a (XY-02)。

4 讨论和结论

很大程度上, 构造地貌的发展离不开数字化地形测量, 高精度 DEM 对微地貌的研究起到了关键性推动作用^[37]。能够准确提取河流纵剖面及裂点信息是分析河流对构造响应的基础(例如^[40-41])。我们从 12.5 m 分辨率的数据中, 提取了长 18 km 的河流纵剖面, 识别出 6 期裂点, 最近的裂点间距约 500 m。而基于 LiDAR 点云数据获得地形数据的不仅更清晰的刻画出地貌形态, 同时识别出更细微的地貌变化, 在沟口 600 m 范围内识别出了 4 期裂点。对比相同范围内的两套数据, 图 3a 中 12.5 m 分辨率远大于裂点的垂直位移和水平间距, 仅识别出最新一期事件形成的裂点, 而无法辨识该范围内其余 3 期裂点位置。因此, 从河流纵剖面中提取裂点时, 最理想的选择是裂点的高度和间距大于地形数据的精度, 否则不但导致提取的裂点位置有偏差, 更会造成裂点数量的缺失。

断裂活动在河床中形成裂点后, 随着河床水流溯源侵蚀, 裂点不断向上游方向迁移而远离裂点原先形成的部位, 称为裂点迁移^[42]。裂点向上游溯源的距离与时间的比值即为裂点的平均速率^[28]。本文实测出 3 期古地震对应的裂点迁移量分别为 15.2 m、51.7 m 和 126.0 m, 得到该冲沟裂点迁移速率约为 4.8 ~ 2.7 mm/a。对比全球侵蚀数据, 基岩河道的长期切割率通常在每年从毫米到亚毫米^[43], 与我们研究结果较为一致。然而, 基岩河道的形态变化是各种侵蚀过程的高度复杂组合, 可能反映了局部水力、基岩的岩性、易蚀性以及区域地质结构。但是从裂点的垂直位移来看, 6.4 m、4.3 m、3.5 m 和 5.1 m 远远小于 1556 年事件在山前冲洪积扇体上保留的同震位移量, 即使同期形成的最新裂点, 也仅有 6.4 m, 小于山前最新陡坎的 8 m 垂直位移量, 由此推测水流下切侵蚀作用可能比我们想象的更强烈。此外, 古地震形成的断层陡坎和裂点的原始地形特征很容易在后期的气候作用下被改造。因此, 裂点可以作为一次地震事件的指标, 但实测的裂点的垂直位移量并不能反映真实的同震垂直位移量。

综上所述研究表明: 华山山前断裂活动造成的地表破裂, 在基岩山前冲沟中以裂点序列的方式保留, 利用 LiDAR 数据得到的高分辨率 DEM 能够有效识别华山山前断裂的 4 次古地震事件。通过限定最新一期活动事件为 1556 年华县地震, 结合宇宙成因核素 ^{10}Be 的裂点暴露年龄, 估算上两个古地震事件发生在 5565 ± 1126 a、 10627 ± 1619 a, 推测华山山前断裂地震活动复发周期约为 4 ~ 5 ka。

参考文献:

- [1] 邓起东, 陈立春, 冉勇康. 活动构造定量研究与应用[J]. 地学前缘, 2004(4): 383-392.
- [2] 刘静, 张金玉, 葛玉魁, 等. 构造地貌学: 构造-气候-地表过程相互作用的交叉研究[J]. 科学通报, 2018, 63(30): 3070-3088.
- [3] WHIPPLE K X. Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens[J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2004, 32(1): 151-185.
- [4] KIRBY E, WHIPPLE K X. Quantifying differential rock-uplift rates via stream profile analysis[J]. Geology, 2001, 29(5): 415-418.
- [5] WHITTAKER A C, COWIE P C, ATTAL M, et al. Bedrock channel adjustment to tectonic forcing: Implications for predicting river incision rates [J]. Geology, 2007, 35(2): 103-106.
- [6] 毕丽思, 何宏林, 徐岳仁, 等. 基于高分辨率 DEM 的裂点序列提取和古地震序列的识别——以霍山山前断裂为实验区[J]. 地震地质, 2011, 33(4): 963-977.
- [7] EWIAK O, VICTOR P, ONCKEN O. Investigating multiple fault rupture at the Salar del Carmen segment of the Atacama Fault System (northern Chile): Fault scarp morphology and knickpoint analysis [J]. Tectonics, 2015, 34(2): 187-212.
- [8] 孙昌斌, 谢新生, 江娃利. 河流冲沟裂点展布对全新世断层活动事件的响应——以山西交城断裂为例 [J]. 地震地质, 2012, 34(2): 254-268.
- [9] WEI Z, BI L, XU Y, et al. Evaluating knickpoint recession along an active fault for paleoseismological analysis: The Huoshan Piedmont, Eastern China [J]. Geomorphology, 2015, 235, 63-76.
- [10] SUN C, WAN T, XIE X, et al. Knickpoint series of gullies along the Luoyunshan Piedmont and its relation with fault activity since late Pleistocene[J]. Geomorphology, 2016, 268(S1): 266-274.
- [11] 国家地震局震害防御司. 中国历史强震目录(公元前 23 世纪—公元 1911 年) [M]. 北京: 地震出版社, 1995.
- [12] 原廷宏, 冯希杰. 一五五六年华县特大地震 [M]. 北京: 地震出版社, 2010.
- [13] 李祥根, 冉勇康. 华山北坡及渭南塬前活断层 [J]. 华北地震科学, 1983, 1(2): 10-19.
- [14] 张安良, 米丰收, 种瑾. 1556 年陕西华县大地震形变遗迹及华山山前断裂古地震研究 [J]. 地震地质, 1989(3): 73-81, 100.
- [15] RAO G, LIN A, YAN B, et al. Tectonic activity and structural features of active intracontinental normal faults in the Weihe Graben, central China [J]. Tectonophysics, 2014, 636: 270-285.
- [16] LI D, DU J, MA Y, et al. Active faults and dip slip rates along the northern margins of the Huashan Mountain and Weinan loess tableland in the southeastern Weihe Graben, central China [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2015, 114: 266-278.
- [17] 马冀, 冯希杰, 李高阳, 等. 1556 年华县地震地表破裂带同震垂直位移 [J]. 地震地质, 2016, 38(1): 22-30.
- [18] 刘经南, 张小红. 激光扫描测高技术的发展与现状 [J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 28(2): 132-137.
- [19] BALTSAVIAS, EMMANUEL P. A comparison between photogrammetry and laser scanning [J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 1999, 54(2/3): 83-94.
- [20] CUNINGHAM D, GREBBY S, TANSEY K, et al. Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, southeastern Alps, Slovenia [J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(20): 382-385.
- [21] LIN Z, KANEDA H, MUKOYAMA S, et al. Detection of subtle tectonic-geomorphic features in densely forested mountains by very high-resolution airborne LiDAR survey [J]. Geomorphology, 2013, 182(2): 104-115.
- [22] 陈涛, 张培震, 刘静, 等. 机载激光雷达技术与海原断裂带

- 的精细地貌定量化研究 [J]. 科学通报, 2014, 59(14): 1293–1304.
- [23] ZIELKE O, ARROWSMITH J R, GRANT LUDWIG L, et al. High-Resolution Topography-Derived Offsets along the 1857 Fort Tejon Earthquake Rupture Trace, San Andreas Fault [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2012, 102(3): 1135–1154.
- [24] 刘静, 陈涛, 张培震, 等. 机载激光雷达扫描揭示海原断裂带微地貌的精细结构 [J]. 科学通报, 2013, 58(1): 41–45.
- [25] 任治坤, 陈涛, 张会平, 等. LiDAR 技术在活动构造研究中的应用 [J]. 地质学报, 2014, 88(6): 1196–1207.
- [26] ROOD D H, BURBANK D W, FINKEL R C. Spatiotemporal patterns of fault slip rates across the Central Sierra Nevada frontal fault zone [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2011, 301(3/4): 457–468.
- [27] BERLIN M M, ANDERSON R S. Modeling of knickpoint retreat on the Roan Plateau, western Colorado [J]. Journal of Geophysical Research Earth Surface, 2007, 112: F03S06.
- [28] 杨景春, 李有利. 地貌学原理 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.
- [29] BURBANK D W, ANDERSON R S. Tectonic Geomorphology, Second Edition [J]. Environmental and Engineering Geoscience, 2013, 19(2): 198–200.
- [30] 张会平, 张培震, 樊祺诚. 河流裂点的发育及其溯源迁移: 以鸭绿江–望天鹅火山区为例 [J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(11): 1627–1635.
- [31] WHITTAKER A C, BOULTON S J. Tectonic and climatic controls on knickpoint retreat rates and landscape response times [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2012, 117: F02024.
- [32] BISHOP P, HOEY T B, JANSEN J D, et al. Knickpoint recession rates and catchment area: The case of uplifted rivers in eastern Scotland [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2005, 30(6): 767–778.
- [33] CROSBY B T, WHIPPLE K X. Knickpoint initiation and distribution within fluvial networks: 236 waterfalls in the Waipaoa River, North Island, New Zealand [J]. Geomorphology, 2006, 82: 16–38.
- [34] LOGET N, VAN DEN DRIESCHE J. Wave train model for knickpoint migration [J]. Geomorphology, 2009, 106(3/4): 376–382.
- [35] KIRBY E, WHIPPLE K X. Expression of active tectonics in erosional landscapes [J]. Journal of Structural Geology, 2012, 44: 54–75.
- [36] HARKINS N, KIRBY E, HEIMSATH A, et al. Transient fluvial incision in the headwaters of the Yellow River, northeastern Tibet, China [J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112: F03S04.
- [37] KIRBY E, WHIPPLE K X, TANG W, et al. Distribution of active rock uplift along the eastern margin of the Tibetan Plateau: Inferences from bedrock channel longitudinal profiles [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(B4): 2217.
- [38] 徐伟, 刘志成, 袁兆德, 等. 华山山前河流地貌参数及其构造意义 [J]. 地震地质, 2017, 39(6): 1316–1335.
- [39] HAYAKAWA Y S, OGUCHI T. DEM-based identification of fluvial knickzones and its application to Japanese mountain rivers [J]. Geomorphology, 2006, 78: 90–106.
- [40] NEELY A B, BOOKHAGEN B, BURBANK D W. An automated knickzone selection algorithm (KZ-Picker) to analyze transient landscapes: Calibration and validation [J]. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 2017, 122(6): 1236–1261.
- [41] GAILLETON B, MUDD S M, CLUBB F J, et al. A segmentation approach for the reproducible extraction and quantification of knickpoints from river long profiles [J]. Earth Surface Dynamics Discussions, 2018: 1–39.
- [42] GOREN L, FOX M, WILLETT S D. Tectonics from fluvial topography using formal linear inversion: Theory and applications to the Inyo Mountains, California [J]. Journal of Geophysical Research Earth Surface, 2015, 119(8): 1651–1681.
- [43] STOCK J D, MONTGOMERY D R, COLLINS B D, et al. Field measurements of incision rates following bedrock exposure: Implications for process controls on the long profiles of valleys cut by rivers and debris flows [J]. Geological Society of America Bulletin, 2005, 117(1/2): 174–194.

Application of Paleoearthquakes Based on Knickpoint Distribution of Huashan Front Fault

MA Ji, XU Liangxin, ZHANG Yi, LI Gaoyang and YANG Chenyi

(Shaanxi Earthquake Agency, Xi'an 710068, China)

Abstract: Stream system is very sensitive to the change of external environment, especially in active tectonics. Knickpoints, as one of geomorphological markers, respond commonly to base-level fall by regional uplift. The Huashan front fault, located at the southeastern margin of Weihe basin, is one of the faults slipped in 1556 Huaxian M8 $\frac{1}{4}$ earthquake with ~8 m surface vertical offset. There're series of knickpoints along the gullies perpendicular to the fault. A light detection and ranging (LiDAR) is conducted to generate a high resolution DEM to get a longitudinal profile of the stream and knickpoints. The resolution is high enough to reveal true topographic description and extract the knickpoints within 1 km from the fault accurately. Terrestrial in situ cosmogenic nuclides (TCNs) dating techniques is used to restrict the exposure age of these knickpoints and help establish paleoearthquake sequence. The study shows that Huashan front fault is an active fault with a recurrence of 4 ~ 5 ka. There are 3 paleoseismic events occurred in A. D 1556, 4439 ~ 6691a and 9189 ~ 12407 a respectively. It also reveals that the knickpoints are the evidence of tectonic activities, which retains part of the seismic offsets, yet not complete.

Key words: faulted geomorphological marker; knickpoint; paleoearthquake; LiDAR; ^{10}Be dating