

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2018.02.10

临夏盆地巴谢河流域典型滑坡多期次活动年代学证据

李 昂¹, 侯圣山¹, 王立朝¹, 陈 亮¹, 李祥龙¹, 连建发¹, 付东林², 何 强³, 金文祥³

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081; 2. 甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730050; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 本文以黄土高原临夏盆地巴谢河流域的上正滑坡为例, 采用¹⁴C 同位素年代学方法, 结合文献查阅和实地走访, 建立了该滑坡的多期次滑动的年代学框架。研究显示, 上正滑坡至少经历了 3 个期次的活动: 约 33 kaB. P., 5 ~ 7 kaB. P. 和距今约 160 年。这一年龄框架与此滑坡的变形破坏特征和成因机理相结合, 对认识滑坡的发展演化规律有着重要的意义。这一地区普遍存在的滑坡多期次的活动, 能够对这一区域的地质构造和气候演化提供科学数据, 对黄土-泥岩滑坡的成因机理和演化规律加深科学认识, 并能对现今的地质灾害防治措施提供借鉴。

关键词: 滑坡; ¹⁴C 测年技术; 多期次活动; 成因机理

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2018)02-0061-05

Chronological evidence for multi-phase activity of a typical landslide in Baxie River catchment, the Linxia Basin, Northwest China

LI Ang¹, HOU Shengshan¹, WANG Lichao¹, CHEN Liang¹, LI Xianglong¹,
LIAN Jianfa¹, FU Donglin², HE Qiang³, JIN Wenxiang³

(1. China Institute of Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China; 2. Gansu Institute of Geo-Environment Monitoring, Lanzhou, Gansu 730050, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Shangzheng landslide locates in the Baxie River catchment in Linxia Basin, northwest Loess Plateau. It is a typical mudstone-loess landslide, representing an ideal research target toward the characteristics and laws of such landslides. Radiocarbon dating technique was applied in this research to establish the chronological framework for the multistage sliding of the landslide. Samples indicating the ages of the sliding processes are collected through detailed field survey and borehole drilling. The results show that Shangzheng landslide have undergone at least three main sliding processes: about 33 kaB. P., 5 ~ 7 kaB. P. and about 160 years ago. These ages provide evidences to the past changes, and can be used to deepen the reorganization of the landslide activities in the geological times.

Keywords: landslide; radiocarbon dating technique; multi-sliding process; formation mechanism

0 引言

自 1983 年 3 月 7 日甘肃省东乡族自治县发生导

致 237 人死亡的洒勒山滑坡灾害以来, 巴谢河流域吸引了国内外大量学者在此开展滑坡研究, 得到本地区灾难性滑坡多为黄土滑坡或黄土-泥岩滑坡, 且大多

收稿日期: 2017-05-22; 修订日期: 2017-07-24

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价项目: 洮河流域下游地质灾害调查 (DD20160280)

第一作者: 李 昂 (1978-), 女, 水工结构专业, 硕士, 高级工程师, 主要从事地质灾害调查监测工作。E-mail: lia@mail.cigem.gov.cn

通讯作者: 侯圣山 (1977-), 男, 第四纪地质专业, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害调查评价及监测预警等方面的工作。E-mail: houss@mail.cigem.gov.cn

数滑坡都有多期次叠加活动的迹象的基本认识。在古(老)滑坡形成的地形之上发生新滑坡,是本区滑坡发育的一个特点。之前的滑坡塑造了这一区域的现今地形,为新发地质灾害提供了物质基础。因此,对古滑坡发育历史的研究能够为当今滑坡的早期识别和发生规律的认识提供基础^[1-2]。

王令占等^[3]通过研究三峡地区的滑坡灾害与新构造运动以及气候期的关系,发现断裂活跃峰期与滑坡活跃峰期相间分布,而且后者明显滞后于前者,提出断裂活跃期的构造活动为其后的滑坡发生提供了松散物质条件,而暖湿气候环境的强降水及地震活动则是触发滑坡大规模发生的主要因素。

杨丽娟等^[4]利用滑带土中残留的树根,对陕西省凤翔县五曲湾滑坡进行了¹⁴C年代学研究,测得滑坡年龄为 462 ± 45 aB. P.,与1556年华县大地震年龄非常接近;吴玮江等^[5]对武都汉林沟流域的滑坡群开展了年代学研究,采集了滑坡掩埋的树木残留,并进行了¹⁴C年龄测定,测得古滑坡发生的事件为42.0~44.8 kaB. P.。

因此,¹⁴C同位素年代学在古滑坡、老滑坡定年方面,有着独特的优势^[4-7]。本研究选择巴谢河流域一处典型多期次活动滑坡,采用利用¹⁴C同位素年代学方法,试图建立本地区滑坡滑动的年代学框架,为更好认识本地区滑坡的发育特征和控制因素提供较为准确的年龄学数据。

1 研究区概况

本研究的研究区为临夏盆地的巴谢河流域(图1)。临夏盆地位于青藏高原东北边缘,青藏高原与黄土高原衔接地带,是由青藏高原东北缘雷积山大断裂、秦岭北深大断裂和祁连山东延马街山所围成的山前拗陷盆地,是高原边缘首当其冲的构造波及区。临夏盆地在上新世沉积了巨厚的陆相沉积物,在本区为临夏组泥岩,颜色多呈桔红色,半呈岩的黏土质夹砾石、砂的陆相沉积物。其上沉积了晚更新世马兰黄土,呈披覆状盖于新近纪泥岩及老阶地沉积物之上,厚度从数米至五六十米不等。

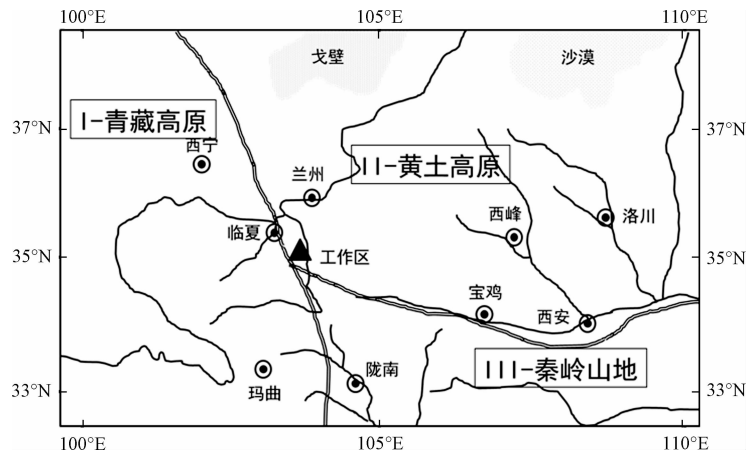


图1 工作区位置及周边地貌示意图

Fig.1 Location of study area

(图中黑色三角形为本项目研究工作区。单线表示了黄河、洮河、渭河、泾河等主要河流,以及南部的长江水系汉水等部分支流;双线为三大地貌单元的分界线)

巴谢河是东乡族自治县境内的一条季节性河流,发源于东乡县城,全长约44 km,流域面积约388 km²,属洮河二级支流,在广河县三甲集上集附近汇入广通河。上游为近南北走向,到巴哈松附近左转,转为近东西走向。巴谢河流域滑坡异常发育,据调查,在约440 km²的区域内分布有滑坡及隐患208处,泥石流及隐患6处^[2,8]。

研究区气候类型属于温带半干旱气候,具有年降雨量极不均匀,日温差极大的特点。降雨量随海拔高

度的增高而增加,多年平均降雨量约519.8 mm;70%以上的降雨量集中在6~9月。

巴谢河流域的地貌有沟谷发育、切割深度大的黄土丘陵地貌特点,总体上西高东低,自西向东,分水岭海拔高度从2423 m降到2321 m。地貌类型可以分为黄土丘陵区 and 河谷谷地区。巴谢河河谷在上游较窄,宽度仅有230~270 m,那勒寺以下较为宽广,宽度超过1 km。

2 上正滑坡特征

上正滑坡主滑方向为 202° , 滑坡后缘一直延伸到东西向展布的山脊, 海拔约 2 350 m, 堆积体展布到巴

谢河河谷, 最低处海拔高度约 1 860 m (图 2)。滑坡平均长度约为 1 260 m, 宽度约为 820 m, 厚度平均约 30 m, 最厚处可达 60 ~ 80 m, 滑坡面积约为 1 km^2 , 总体积约 $3 \times 10^7 \text{ m}^3$, 属特大型滑坡。

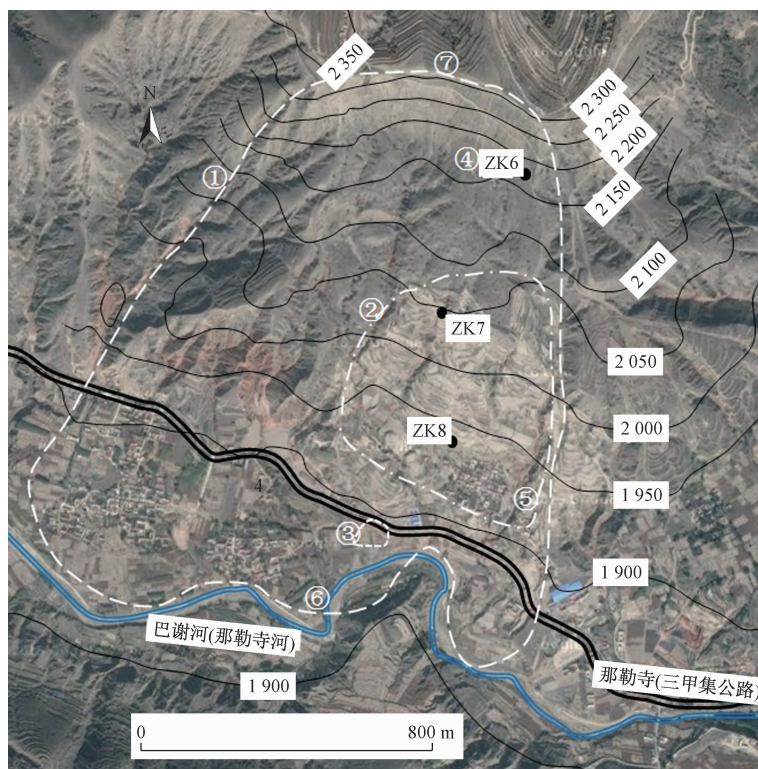


图 2 上正滑坡遥感影像图

Fig. 2 Satellite image of Shangzheng landslide, showing sliding boundaries of different times, the drilling sites and radiocarbon sampling sites

遥感图像来自 GoogleEarth。图中标明了滑坡平面特征、多期次活动迹象、钻孔位置、 ^{14}C 同位素年代学样品的取样位置: ①古滑坡边界; ②新滑坡边界; ③2015 ~ 2016 新出现的局部滑坡边界; ④古滑坡 ^{14}C 样品取样处 (BX042); ⑤新滑坡 ^{14}C 样品取样处 (BX033/034); ⑥新近系泥岩滑动痕迹; ⑦古滑坡后缘一直延伸到山脊, 山脊另一侧为平缓斜坡

上正滑坡有明显的多期次滑坡的迹象, 后缘保留完整的高差约 200 m 的陡壁, 应属古滑坡滑动而形成, 在其上披覆了厚约 5 m 的乌兰黄土。后缘陡壁黄土堆积中开挖的探槽表明, 在约 5 m 厚的均质粉土之下为较为凌乱的粉土堆积, 不同颜色的黄土及弱发育古土壤形成混杂堆积, 深色古土壤形成“泥砾”状混入浅黄色乌兰黄土中, 古土壤“泥砾”呈不规则棱角状, 多在 5 ~ 20 cm。这种混杂堆积可以认为是古滑坡滑动的直接证据。为了研究古滑坡滑动的时间, 我们对滑坡后缘黄土中的钙结核层进行了采样 (图 2 中④)。

滑坡前缘的上正村 7 ~ 8 社坐落在一个长宽均约 200 m 的缓倾平台上。通过对当地居民的走访得知, 该平台为约 160 年前滑坡滑动堆积而成, 当地居民口口相传, 对上正村的建村历史及约 160 年前的滑坡有

比较明确的记忆: 滑动持续三天三夜, 最终停止形成现今地形, 其后逐步迁移至滑坡前缘平台建房居住, 形成了约 20 户居民, 有清真寺和小商店的一个村落 (图 2 中 ZK8 和⑤之间)。

在上正滑坡前缘的公路下方, 可见一处 2015 ~ 2016 年新发生的局部小滑坡, 长度和宽度均约 50 ~ 60 m (图 2 中的③)。新发小滑坡为推移式泥岩滑坡, 后缘裂缝垂直位移超过 1 m, 错断一条小水泥路, 并对一处楼房造成严重威胁。

3 样品采集及测试

通过对上正滑坡区的野外调查和分析, 从宏观角度划定了滑坡区的范围, 确定了滑坡后缘、堆积平台等滑坡要素, 识别了滑坡多期次滑动的范围及特征; 从微

观角度,对滑坡体的物质组成进行了观察。滑坡东部保留了老滑坡堆积体中的破碎的新近纪泥岩及巴谢河二级阶地的残余堆积。滑坡造成岩体下滑,局部解体形成大量裂缝,后期在裂缝中充填进了沙砾质-泥质地的次生堆积物。这些次生堆积物的堆积年代即可被认为是老滑坡的发生时间。有鉴于此,本研究对老滑坡和新滑坡的典型部位采集了 ^{14}C 同位素年代学样品(图2的④和⑤)。

样品 BX042 采自老滑坡后缘(图2的④),通过开挖简易探槽进行采集。样品为黄土-古土壤的混杂堆积,颜色稍深的弱发育古土壤层呈角砾状混杂在颜色稍浅的马兰黄土中。古土壤“角砾”的成份与周围的马兰黄土一致,但与后者相比,平均粒径稍细,含水量稍高,颜色稍深。由于颗粒间水的作用,混杂堆积中有少量碳酸钙团块,颜色呈白色,硬度较软。代表老滑坡滑动的样品 BX042 即是采集的此层位中的碳酸钙团块,代表老滑坡的滑动时间。

样品 BX033 和 BX034 采自新滑坡的左侧(图2的⑤),为富含有机质的滑坡堆积物。从野外看,此处的有机物形成于新滑坡掩埋的土壤层。样品颜色呈灰黑色,以粉土为主。新滑坡的滑动对富含生物有机质的土壤进行掩埋,这些有机质停止了与外界的碳交换,因此,这两个样品的有机质同位素碳年龄可以代表新滑坡的滑动时间。

^{14}C 同位素年代学测试在美国贝塔实验室进行,测试仪器为加速器质谱(AMS)。

从本次采集的样品中提取了有机质和碳酸盐中的碳进行了 ^{14}C 定年。有机质的前处理方法为“酸-碱-酸”流程;碳酸盐的前处理为“酸腐蚀”流程。

有机物的“酸-碱-酸”处理:将样品浸入去离子水中进行轻柔研磨;用热盐酸溶液浸洗去除碳酸盐;用氢氧化钠溶液浸洗去除次生有机酸;用盐酸进行二次浸洗以中和上一步加入的碱,然后干燥制成上机样品。

碳酸盐的“酸腐蚀”处理:将样品放入去离子水中分散,去除有机物及无关碎屑等杂物,用盐酸溶液进行快速浸洗以去除样品表面的次生碳酸盐,然后干燥制成上机样品。

将处理后的样品放入加速器质谱仪进行测试,测量出样品中的碳元素同位素比值,计算出常规 ^{14}C 同位素年龄。然后利用 Talma 和 Vogel (1993)^[9]的方法,采用 Reimer 等人(2013)^[10]的校正表进行 ^{14}C 年龄校正,得出样品的校正年龄,即为沉积物的年龄。

4 结果

钻探工作揭露了古滑坡和新滑坡的滑动面深度:在滑坡中部的 ZK7 所处位置,老滑坡的滑动面埋深为 61~66.9 m,新滑坡滑动面埋深为 32.7~36.8 m;在滑坡下部的 ZK8 所处位置,新滑坡的活动带埋深约为 32.4 m。

滑坡后缘采集的老滑坡 ^{14}C 年龄样本(BX042)的碳酸钙 AMS ^{14}C 同位素定年结果是:校正年龄 Cal BP 33675 - 33060,采集在滑坡左侧缘的新滑坡代表性样本(BX033 和 BX034)的有机物 AMS ^{14}C 同位素定年结果是:校正年龄 Cal BP 5905 - 5730 (BX033)和 Cal BP 7315 - 7180 (BX034)。

5 结论和讨论

(1) ^{14}C 等年代学证据揭示:上正滑坡至少经历了3个期次的活动:约 33 kaB. P., 5~7 kaB. P. 和距今约 160 年。

(2)33 kaB. P. 的滑坡作用塑造了巴谢河现今的地貌格局。此年龄相当于黄河兰州段的 II 级阶地上风成黄土的底界年龄^[11]。这一时段的古气候从冰期转为间冰期,滑坡、泥石流等地表侵蚀作用强烈,再之后进入较为干冷的气候格局,在阶地平台上沉积了连续的风成黄土。5~7 kaB. P. 的滑坡发育于“全新世暖期”的气候适宜期,温度可能较现代高 1~3℃,地球海平面比现今高 1~3 m,降雨充沛^[12]。距今约 160 年的滑动可能和 1879 年武都文县 8 级大地震有关^[13]。

(3)上正滑坡所处的巴谢河流域,尤其是巴谢河北岸多期次滑坡活动强烈。上正滑坡的滑动模式和多期次的活动在这一地区很有代表意义。对于青藏高原、黄土高原、秦岭山地交界处的滑坡历史重建,将能够对过去环境变化提供科学数据。下一步拟获取更为丰富的滑坡年代学数据,建立更为详细的滑坡时间表,并和区域性环境变迁事件进行对比研究。

致谢:本文为中国地质调查局项目“洮河流域下游地质灾害调查”(编号:DD20160280)资助的成果。感谢周平根、石菊松提供的意见和指导。

参考文献:

- [1] 曹炳兰,陈剑平,王连俊. 巴谢河流域滑坡分布特征及谷坡稳定性分析[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1):44-52.

CAO Binglan, CHEN Jianping, WANG Lianjun. The

- distribution characteristics and slope stability classification in the regions with landslides of Baxie River basin in Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1990, 10(1): 44 - 52.
- [2] 刘成渝, 等. 洒勒山滑坡形成机制及巴谢河流域区域滑坡研究(第一、二分册) [R]. 甘肃省地质矿产局第一水文地质工程地质队, 1986.
- LIU Chengyu, et al. Formation mechanism of Saleshan landslide and the study of the landslide in the Baxie River catchment (vols1-2) [R]. No. 1 Team of Hydrological and Engineering Geological Survey, Gansu Bureau of Geology and Mine, 1986.
- [3] 王令占, 牛志军, 赵小明, 等. 三峡地区更新世滑坡与断裂活动、气候变化关系的再认识 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(1): 46 - 50.
- WANG Lingzhan, NIU Zhijun, ZHAO Xiaoming, et al. New view on the relationship of landslide with fault activity and climatic change in Pleistocene in area of Three Gorges on Yangtze River [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2009, 20(1): 46 - 50.
- [4] 杨丽娟, 李华亮, 易顺华. 陕西五曲湾滑坡发育特征和 ^{14}C 测龄 [J]. 灾害学, 2010, 25(3): 49 - 52.
- YANG Lijuan, LI Hualiang, YI Shunhua. Development characteristics and ^{14}C dating of a landslide in Wuquwan in Shaanxi Province [J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(3): 49 - 52.
- [5] 吴玮江, 叶伟林, 孟兴民, 等. 武都汉林沟流域古滑坡年龄的 ^{14}C 厘定 [J]. 地球科学进展, 2011, 26(12): 1276 - 1281.
- WU Weijiang, YE Weilin, MENG Xingmin, et al. The definition of the ancient landslide age with the ^{14}C dating of Hanlingou River Basin in Wudu [J]. Advances in Earth Science, 2011, 26(12): 1276 - 1281.
- [6] 杨银科, 彭建兵, 刘聪. 滑坡年代学研究方法应用进展 [J]. 灾害学, 2015, 30(2): 133 - 137.
- YANG Yinke, PENG Jianbing, LIU Cong. The application progress on research methods of landslide chronology [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(2): 133 - 137.
- [7] Garbacea V, Tantau I, Pop O, et al. First radiocarbon dating of landslides ("glimée") in Romania [J]. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 2015, 10(3): 217 - 222.
- [8] 赵欣, 等. 临夏回族自治州东乡族自治县地质灾害详细调查报告 [R]. 甘肃有色工程勘察设计研究院, 2015.
- ZHAO Xin, et al. Detailed geological hazard survey of Dongxiang County [R]. Gansu Nonferrous Engineering Exploration and Design Research Institute, 2015.
- [9] Talma AS, Vogel JC. A simplified approach to calibrating ^{14}C dates [J]. Radiocarbon, 1993, 35(2): 317 - 322.
- [10] Reimer P J, Bard E, Bayliss A, et al. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves, 0 - 50,000 years cal BP [J]. Radiocarbon, 2013, 55(4): 1869 - 1887.
- [11] 王萍, 蒋汉朝, 袁道阳, 等. 兰州黄河 II 和 III 级阶地的地层结构、年龄及环境意义 [J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 553 - 563.
- WANG Ping, JIANG Hanchao, YUAN Daoyang, et al. Stratigraphic structures and ages of the second and third fluvial terraces along the bank of Huanghe River in Lanzhou Basin, western China, and their environmental implications [J]. Quaternary Science, 2008, 28(4): 553 - 563.
- [12] 温孝胜, 彭子成, 赵焕庭. 中国全新世气候演变研究的进展 [J]. 地球科学进展, 1999, 14(3): 292 - 298.
- WEN Xiaosheng, PENG Zicheng, ZHAO Huanting. Advance in study on the Holocene climate evolution in China [J]. Advances in Earth Science, 1999, 14(3): 292 - 298.
- [13] 张俊玲. 1879 年甘肃武都南 8 级地震新史料 [J]. 西北地震学报, 2007, 29(3): 264 - 266.
- ZHANG Junling. A new historical record about southern Wudu M8.0 great earthquake in 1879 [J]. Northwestern Seismological Journal, 2007, 29(3): 264 - 266.