

文章编号: 1008 - 2786 - (2014) 2 - 187 - 08

# 黄土洼古滑塌体引起的环境效应

岳大鹏 李奎 陈宝群 刘鹏 颜艳

(陕西师范大学 旅游与环境学院 陕西 西安 710062)

**摘 要:** 滑塌是一种复合地质灾害,它改变地貌形态,并引起诸多环境效应。以陕北子洲县庞家沟黄土洼流域内的古滑塌体为研究对象,采用文献记载、野外调查、剖面分析等方法,对古滑塌体的形成原因、形态特征及其环境效应进行了分析。结果表明:黄土洼古滑塌体形成于 1569 年 8 月,是地震的次生灾害;古滑塌阻塞沟道,产生了侵蚀堆积地貌和堆积侵蚀地貌,塑造了平川地形,减轻了侵蚀强度;黄土洼天然坝淤地、后小滩沟和大嘴沟中,泥沙淤积后的沉积物中洪水旋回层具有“二元结构”,其中“细淤泥层”对洪水具有指示作用;黄土洼天然坝淤地经过了 440 多年的淤积,其泥沙淤积最厚度可达 50 m,有效的阻止了水土流失,产生了积极的环境效应。研究结果为黄土洼古滑塌体的综合治理、天然坝系的保护和反演黄土高原近 500 年来沉积环境提供科学依据。

**关键词:** 古滑塌体;黄土洼;环境效应;沉积环境;天然坝系

**中图分类号:** P931.6

**文献标志码:** A

陕北黄土高原位于我国西北黄土高原的腹地,滑坡、崩塌和滑塌等黄土地质灾害频繁发生,日益受到人们关注<sup>[1-3]</sup>。对滑塌造成的堰塞湖及其沉积物的研究,可为人们反演过去沉积环境提供良好的信息源<sup>[4]</sup>。子洲县黄土洼流域位于陕北无定河支流淮宁河与清涧川支流秀延河的分水岭地带,因海拔高、黄土深厚、梁峁沟谷坡度大,是黄土地质灾害的高发区<sup>[2,5-6]</sup>。黄土洼九牛山历史上曾发生滑塌事件(古滑塌),堵塞沟道,形成了天然淤地坝和坝淤地,产生了显著的积极反馈效应。一般的古滑塌及古滑坡灾害经过上百年人为活动和侵蚀后,常难以精确辨认其形态,而黄土洼的古滑塌体因地势较陡峻、滑塌体积较大,人为活动对滑塌后壁影响较小,滑塌形态保留较为完整,为古滑塌体的研究提供了一个典型案例。

有关滑塌的研究一直是学术界的热点。龙翼、张信宝等<sup>[4]</sup>曾对黄土洼古滑塌的区域进行了划定,并利用孢粉资料,分析了当时的沉积环境,但对其形

态特征并未进行深入研究。胡卸文等<sup>[7]</sup>对崩滑灾害与环境因素关系做了研究;Gibo S<sup>[8]</sup>、Shuzui H<sup>[9]</sup>等研究发现,滑塌体坡体的稳定性与粘土层的含量有关;曲永新等<sup>[10]</sup>研究发现,黄土粘粒含量与黄土滑塌灾害的发育程度有关;Pradhan B、Lee S<sup>[11-12]</sup>曾使用二元回归模型与神经网络模型对滑塌体的敏感性进行分析,并使用 SPOT 5 影像和 GIS 技术对滑塌体灾害的面积进行了量算;Riemer W<sup>[13]</sup>、Gong Q<sup>[14]</sup>研究发现,水库水体会使古滑塌体复活。上述研究主要集中在滑塌形成机制、敏感性、不稳定环境引发地质灾害等方面,但对于古滑塌发生后引发的环境效应研究还相对较少。本文以黄土洼古滑塌体为研究对象,结合文献记载、野外调查、剖面分析等方法,对古滑塌体的形成、形态特征及引起的环境效应进行分析,并利用剖面采样及实验数据,佐证和反演滑塌后引起的环境效应,以为黄土洼古滑塌体的治理、天然坝系的保护和反演黄土高原近 500 年来沉积环境提供科学依据。

收稿日期(Received date): 2013 - 07 - 10; 改回日期(Accepted): 2014 - 01 - 06。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(41071012)。[Supported by National Science Foundation(41071012).]

作者简介(Biography): 岳大鹏(1964 -),男,陕西省兴平人,硕士生导师,博士,教授,主要从事自然地理、土壤侵蚀、土地资源与环境方面的研究。[Yue Dapeng(1964 -), male, Dr, professor, engaged in the research of physical geography, soil erosion, land resources and environment science.] E-mail: yuedp@snnu.edu.cn

# 1 研究区域概况与数据资料

## 1.1 研究区域概况

黄土洼流域位于陕北子洲县庞家沟上游( $N37^{\circ}19'$ ,  $E109^{\circ}59'$ ), 海拔 990 ~ 1 288 m, 面积为 3.15  $\text{km}^2$ 。该地区位于子洲、子长与清涧三县交界处, 北距子洲县城 50 km, 东距绥德县城与清涧县城分别约 22.5 km 和 50 km(图 1 左图所示)。黄土洼古滑塌体则位于黄土洼小流域主沟南侧、天然淤地坝的西南侧(图 1 右图所示)。

古滑塌体附近的地势东南高西北低, 第四纪黄土物质分布广泛, 主要覆盖于较老岩层之上, 厚度较大(50 ~ 100 m)。据地质调查发现, 黄土覆盖主要以全新世黄土( $Q_4$ ) 和 马 兰 黄 土 ( $Q_3$ )、离石黄土( $Q_2$ )、午城黄土( $Q_1$ ) 与三趾马红土( $N_2$ ) 为主(图 2)。黄土地层中, 尤其是离石黄土中的古土壤丰富。流域内主沟下游局部沟床切入中生代砂岩, 在长时期风化侵蚀和流水侵蚀等作用下, 形成了支离破碎、沟壑纵横、重山秃岭、起伏不平的梁峁丘陵地貌。

## 1.2 数据资料

### 1.2.1 滑塌时间

据清顺治十八年(公元 1661 年)的《清涧县志》记载, “隆庆己巳, 黄土二山崩裂成湫”(隆庆己巳为明隆庆三年, 即公元 1569 年); 据《华北地方·第二

九九号陕西省清涧县志(全)》记载, “隆庆二年二月地震, 三年黄土窟二山崩裂成湫, 相传有龙居, 大旱, 取水即雨”; 据《延绥镇志》和《续文献统考》记载: “明隆庆三年(1569 年)八月, 黄土圪山崩裂成湫”。上述资料均表明, 子洲县黄土洼古滑塌体发生的时间为 1569 年。

### 1.2.2 野外调查

古滑塌体滑塌前隶属九牛山, 九牛山位于黄土洼流域的西南缘, 山体走向 NW - SE, 是一个梁状峁形山体。九牛山第四纪黄土发育较好, 峁顶至河谷底依次被现代黄土、马兰黄土、离石黄土、午城黄土和三趾马红土覆盖(图 2), 而沟谷谷坡和支沟沟底主要发育了三趾马红土。

2011 年, 我们用全站仪在黄土洼流域内采集的 241 个高程点和实测地形数据显示, 九牛山体东北侧半壁残崩坡度在  $41^{\circ} \sim 71^{\circ}$ , 坡度大, 山体陡峻; 而滑塌体表面经数百年的雨水侵蚀和人工耕作影响, 坡度较小, 在  $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ , 平面上呈瓜子型、东西展布、尖端朝西、中间宽而厚、两侧较窄; 同时滑塌体西部黄土覆盖较薄, 东部相对较厚(图 3)。古滑塌体的最高海拔 1 126 m, 最低 1 002 m; 最长处 894.8 m, 最宽处 425.7 m, 面积约 0.21  $\text{km}^2$ 。

主沟内坝淤地原始沟底高程的复原, 是根据坝前坝后高差测量和目前淤积速率综合确定的。滑塌体形成的天然土坝高程比黄土洼沟口王家过洞村高 61.7 m, 比主沟坝淤地最低处高 5.6 m, 相差 56.1 m,

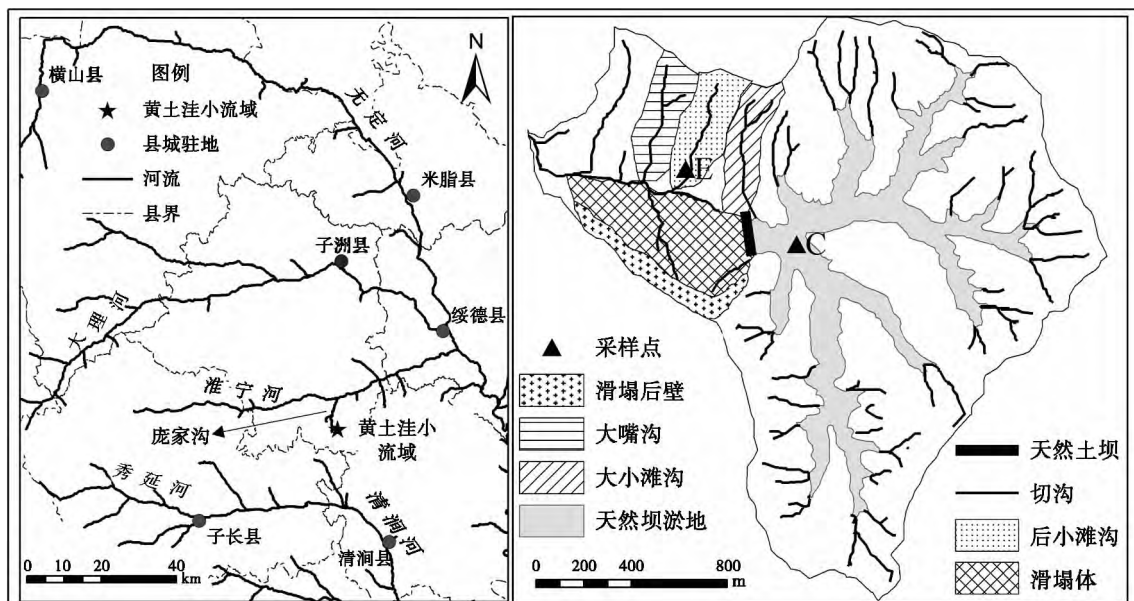


图 1 黄土洼流域位置图

Fig. 1 Location of Huangtuwa watershed

这个结果与龙翼等<sup>[4]</sup>的测量结果基本一致。在主沟坝淤地最低处(C采样点)进行沉积物采样4.1 m,经<sup>137</sup>Cs断代测年和降水资料的修正<sup>[15]</sup>,表明57年来(1954—2011)地面淤高约2.9 m,年均5 cm,可见440多年淤积厚度至少在22 m以上;另外,利用沟谷比降推算沟底高程:据测量,沟口未被掩埋的一段主沟长256 m,高差为2.6 m,计算其比降为0.01;向上游推算998 m(被掩埋处的主沟部分长度的实测值)后至坝淤地最低处,获得其高差为10 m,据此估计坝地比原始主沟高46.1 m。沉积速率下推(越向下淤积面积越小,年淤积厚度越大)与河流比降上推综合比较说明,泥沙淤积厚度应该在40~50 m。

### 1.2.3 样品采集

2011年,在坝地中央(图1中C处),人工开挖直径1.4 m的竖井1口,井深4.5 m,去除表层耕作层30 cm,沿井壁由上到下取样,采集剖面4.1 m。2012年,在后小滩沟台地,选择具有代表性流水切开至沟底的剖面18.5 m(图1中E处),并向沟底人工开挖直径1.4 m的竖井1口,深度1 m,E剖面共计19.5 m,去除表层人工堆积层50 cm,沿剖面由上到下每2 cm采一个样,共计950个样品。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 古滑塌体形成及形变分析

据文献记载,研究区域1568年2月发生了地震<sup>[16]</sup>。震后次年(1569年8月)黄土洼九牛山发生滑塌<sup>[17]</sup>。地震当年未发生滑塌,可能原因是不具备滑塌的足够条件。据王文龙<sup>[18]</sup>的研究表明,在黄土丘陵梁峁边坡,当发生长时间降水时,会伴随发生滑塌事件。据文献记载,研究区域于1568-07-08发生了旱灾。地震后第二年8月遭遇强降雨,九牛山梁峁区汇集水流顺山坡震后的裂缝向下渗透,水流下渗遇到具有隔水作用的三趾马红土,形成临时性潜水面,软化黄土,边坡重力失衡,大块坡体沿地震断裂面和黄土与三趾马红土的不整合面下移(向东北),发生滑动倒塌<sup>[19]</sup>。在实地考察中发现,在九牛山残阶边缘,有较深的裂缝,其可能为地震所致。由此证明,地震使山体产生了裂缝,随后在强降雨作用下发生的以滑坡为主,兼有崩塌的滑塌现象,属于地震的次生灾害。

考察发现,黄土洼流域主沟下游的原始沟底被

滑塌体掩埋,形成天然土坝,经过侵蚀堆积后形成天然坝淤地(图4),在九牛山与滑塌体之间形成了滑塌后壁(图3)。滑塌体变成新沟谷的左岸坡,与原始右岸坡形成了现代的沟底,沟底高程变高(图5),被掩埋的原始沟道距离现代沟道(即滑塌体东北侧边缘)80~100 m,从九牛山顶到滑塌体顶部(也就是滑塌后壁)的高差约80 m。

参照以上测量的参数,利用黄土洼流域2004年的5 m分辨率DEM和GIS的3D分析工具,合成山体阴影图,模拟出滑塌发生前后黄土洼流域的地貌形态图(图6)。对比发现,滑塌前后地貌形态发生了巨大改变。

### 2.2 滑塌引起的流域环境效应

黄土古滑塌体引起的环境效应是多方面的,可引起地貌和水文等环境的变化;同时,滑塌体阻塞沟道,具有拦沙减蚀的效益,泥沙淤积后引起了社会和经济的效益变化,形成了积极效应反馈。

#### 2.2.1 流域局部侵蚀沉积环境变化

九牛山山体滑塌后,阻塞了沟道,形成了主沟和3条支沟(大嘴沟、后小滩沟和大小滩沟)的封闭流域(见图1),改变了沉积环境。大嘴沟和后小滩沟沉积盆地形成了初期的沉积环境,与大小滩沟和主沟聚淤类似。但当坝库淤积到一定程度以后,洪水漫过天然坝顶部,将坝体切开,并深切至原沟底,这种“聚淤”状沉积环境也随之消失,由堆积环境变为侵蚀环境。现代沟谷切开坝库,冲沟两边变成台地,其中,后小滩沟沟口的台地泥沙淤积厚度13.23 m,中心处淤积最厚可达20 m。由于其形成过程类似于黄土破塬地(古沟谷被风成沉积黄土掩埋后,又被现代沟谷切开),但形成条件不同。所以,这种由水成沉积黄土掩埋古沟谷后,又被现代流水切开的冲沟台地状地貌,我们称之为“破涧地”,也称“破聚淤”,其中“涧”表示是水成的黄土掩埋古沟谷。在古滑塌体的影响下,经过440多年的侵蚀与堆积后,逐渐形成了现今黄土洼的天然淤地坝和侵蚀地貌景观。

流域局部侵蚀堆积环境变化可以从洪水沉积层中的“二元结构”现象得到印证。研究发现,后小滩沟剖面由具有“二元结构”的洪水沉积旋回构成,深19 m。单个沉积旋回上部为“细淤泥层”(图7),中下部由粗颗粒物组成。对沉积旋回中细淤泥层进行研究后发现,从剖面下部向上细淤泥层具有变薄的趋势。如深度为14~19 m的地层中(表1)。

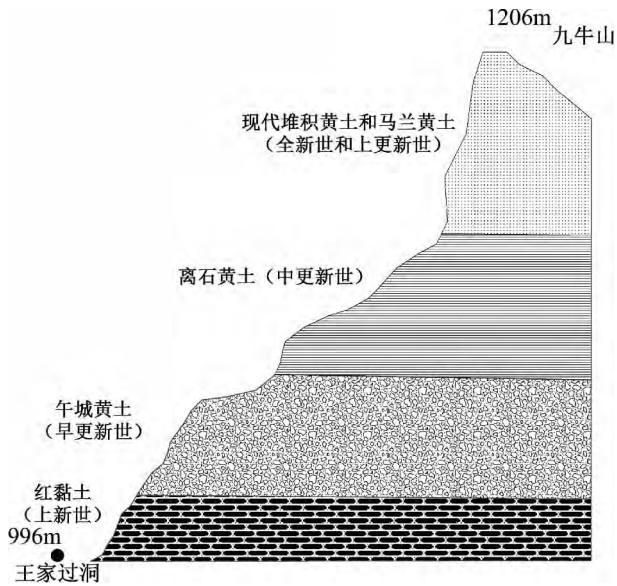


图2 九牛山地层剖面示意图

Fig. 2 Stratum section of Jiuniu Mountain



图3 黄土洼古滑塌体野外照片

Fig. 3 The photo of Huangtuwa palaeo-slump



图4 黄土洼天然坝淤地

Fig. 4 The natural check dam in Huangtuwa

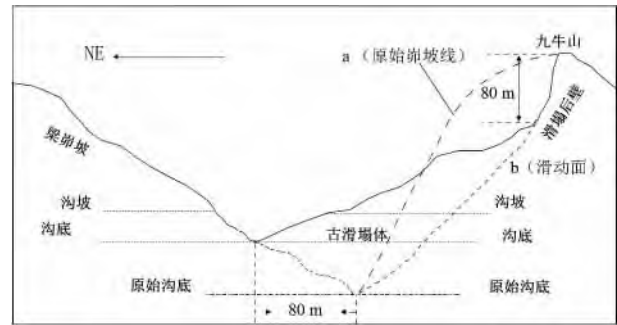


图5 黄土洼古滑塌体剖面图

Fig. 5 Profile map of Huangtuwa palaeo-slump

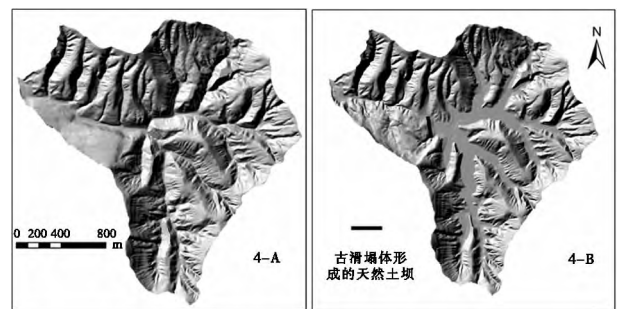


图6 黄土洼古滑塌发生前(4-A)后(4-B)地貌形态变化模拟图

Fig. 6 The morphologic change simulation map of Huangtuwa palaeo-slump

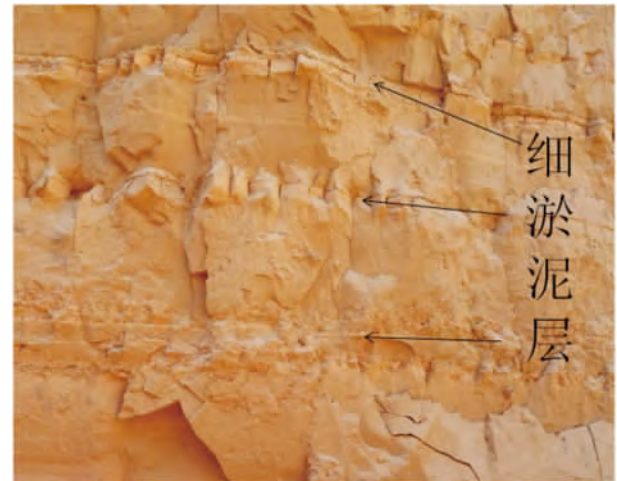


图7 沉积旋回上部细淤泥层

Fig. 7 Fine silt layer on the sedimentary cycle

这种现象是“完整聚淤”(临时性湖泊)的沉积环境所致。当每次较大降雨发生时,沉积盆地不断积水,大量粗泥沙首先沉积在底部,上部为高含沙的泥水聚积,表现为临时性湖泊;当降雨结束后,泥水中的泥沙继续分选沉降,粗颗粒泥沙、粉砂和黏粒先后沉积,在聚淤内形成下粗上细的“二元结构泥沙沉积旋回”;随着聚淤盆地泥沙的不断沉积,盆地积水面



变大,同样降雨量的次洪水沉积层厚度逐渐变小。通过分析发现,“细淤泥层”的结束,表明洪水的结束,可以作为判断洪水沉积旋回的指示层。

对于现在还在封闭着的大小滩沟沉积盆地,现在已多半不能形成临时性积水(即聚淤状态),但对于主坝内的大型天然聚淤,还存在着干涸-积水交替变化的聚淤性沉积现象,这种聚淤侵蚀的物质一般都是全冲全淤型。我们在主沟坝淤地竖井剖面采集土样时发现,泥沙旋回厚度从 0.6~32 cm,越到顶部淤泥层厚度越薄,并且随着淤积年限的增加,坝地增高,同时受到干枯积水交替的影响,其泥沙旋回中的这种二元结构也越来越不明显。据当地农民反映,主沟内一次暴雨的积水可以深达 1 m,至多 3~5 d 就可泄完。调查中也发现主沟内的天然坝地中形成了许多下渗漩涡,深度 0.3~1 m 不等,形成天然泄水系统。而且在主坝最低处生长了大片的芦苇,水分状况良好,说明一直处于“聚淤”状沉积环境。

2.2.2 流域地貌格局变化

如上所述,滑塌体阻塞沟道,形成了一些新的地貌类型,有:新的侵蚀地貌——滑塌体及现代沟谷(岸塌沟、九陷沟);(完整)聚淤——大小滩沟和主沟坝淤地;破涧地——大嘴沟和后小滩沟。加上原有的处于侵蚀处境的沟间地和沟坡地,共同组成多元地貌格局。

表 1 后小滩沟 E 剖面泥沙旋回及细淤泥层厚度表

Table 1 The sediment cycle and thickness of fine silt layer of profile E in Houxiaotan gully /cm

剖面深度	细淤泥层厚度	剖面深度	细淤泥层厚度	剖面深度	细淤泥层厚度
1 404	0.1	1 517	2.5	1 688	6
1 405	0.2	1 536	0.1	1 746	2
1 411	0.1	1 544	2	1 767	3
1 416	0.5	1 584	2.5	1 776	0.1
1 421	1	1 604	0.1	1 824	3
1 430	0.1	1 608	0.1	1 846	1
1 435	0.2	1 613	0.5	1 853	3
1 442	0.2	1 624	0.1	1 868	3
1 454	3	1 660	0.3	1 896	2
1 493	1	1 677	0.5	1 900	1

注:表中标出的细淤泥层的深度是指野外判断的洪水沉积旋回“二元结构”中细颗粒物质的上限深度;除细淤泥层外的部分是粗颗粒物质,深度之间表示一个旋回。

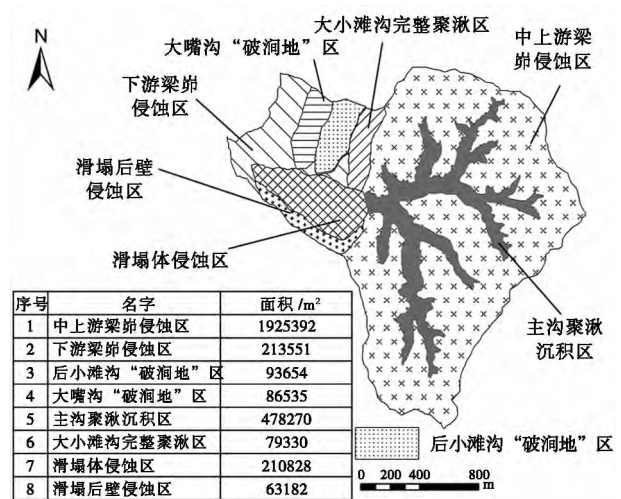


图 8 黄土洼流域地貌组合分区图

Fig. 8 Topographical Partition map of Huangtuwa Watershed

按照多种地貌类型的区域组合特点,黄土洼流域可分为 8 个地貌组合区域(图 8)。中上游梁崩侵蚀区和下游梁崩侵蚀区保留原来以侵蚀地貌为主的特点,在降雨侵蚀作用下,梁崩坡面上形成了面蚀和细沟侵蚀地貌(图 9),沟沿线以下形成浅沟侵蚀地貌,浅沟切开坡面后,形成三趾马红土的出露剖面,局部形成黄土柱(图 10)。滑塌体侵蚀区的位置刚好位于黄土洼流域主支沟的交汇处下部,阻挡了主沟和大小滩沟,形成了天然坝系;滑塌体下部边缘发育了新主沟,发源于大坝下 1.5 m 处,向下深切,并与后小滩沟、大嘴沟的现代沟谷汇合;滑塌体表面还发育了岸塌沟和九陷沟两个现代侵蚀沟。大小滩沟聚淤区是一个封闭小盆地(小流域),既有浅沟侵蚀地貌又有淤积地貌;后小滩沟破涧地区也是一个小流域,有切沟侵蚀地貌,被切开后残留有淤积台地(图 11),与上部为集水区域,都处于侵蚀作用之下。大嘴沟“破涧地”区经过水力侵蚀与重力侵蚀作用,沟口有黄土天生桥及黄土柱的发育,崖壁上还可以清晰的看到超过 10 m 的泥沙淤积及洪水层理(图 12),其沟间地残留的淤积泥沙在干湿和冻融作用下形成泻溜、崩塌、滑塌等重力侵蚀地貌。在大嘴沟和后小滩沟形成了切沟侵蚀地貌,也有淤积层理鲜明的水成黄土沉积与天然切割剖面。滑塌后壁侵蚀区为滑塌的残留部分,坡度大,滑动面清晰,易形成泻溜、崩塌重力侵蚀地貌。这些地貌由原来相对单一沟壑侵蚀地貌变为多元侵蚀堆积地貌,使得黄土洼成为研究黄土地质灾害,展示黄土地貌的天然地质公园和博物馆。



图 9 大嘴沟沿线下的浅沟侵蚀

Fig. 9 Shallow gully erosion in the shoulder line of valley on Dazui Gully



图 10 大嘴沟沟口的黄土柱

Fig. 10 Loess column in the gully head of Dazui Gully



图 11 后小摊沟淤积台地图

Fig. 11 Alluvial terrace of Houxiaotan Gully



图 12 崖壁上残留的泥沙淤积层理

Fig. 12 Sand alluvium in the precipice



图 13 黄土洼天然坝地全景

Fig. 13 Panoramic scans of Huangtuwa natural Dam

### 2.2.3 滑塌形变的拦泥减蚀效应

滑塌体阻塞主沟,形成了控制着  $2.4 \text{ km}^2$  流域面积的泥沙沉积,超过 440 a 的侵蚀堆积,形成  $0.478 \text{ km}^2$  全冲全淤型泥沙沉积区(天然聚淤,见图 13),目前沉积最大厚度可达 50 m,有效地阻止了水土流失,拦沙效益显著。天然淤地坝运行时间大于 440 a,累计拦沙贡献巨大。随着泥沙淤积的增高,坝淤地的基准面增高,抬高了侵蚀的基准面,减弱了

滑坡崩塌泻溜等重力侵蚀,有效减少了流域侵蚀量,同时,淤地坝将原沟道变成平川坝地,从而减少了流域侵蚀量。

### 2.2.4 滑塌淤积的社会经济效益

坝淤地保肥保湿,旱涝保收,提高了可耕作面积,提高粮食产量。坝淤地玉米产量达  $9\,000 \sim 12\,000 \text{ kg/hm}^2$ ,是梯田产量的 2~3 倍,保证了粮食产量安全,提高了当地人民的收入,经济效益较为可观,使黄土

洼村成为远近闻名的富裕村。另外,滑塌体造成天然大坝的出现,也从某种程度上削弱了当地群众水保意识,有些群众有意将主坝内沟坡坡脚的黄土,人为码平到沟道内,以增加坝淤地的面积,客观上也增加了经济收益。

黄土淤地坝是保持水土的一种行之有效的工程措施,虽然没有直接证据证明人工淤地坝是参照天然坝的淤地原理来修建的,但大部分学者据记载时间的先后顺序推断,认为人工淤地坝是参照黄土洼古滑塌体形成的天然淤地坝的原理修建的。黄土洼天然坝系(天然聚淤)是黄土淤地坝的鼻祖<sup>[20-21]</sup>,记载着从明代至今黄土洼流域侵蚀产沙历史变化过程的重要信息,其科学内涵和许多奥秘仍需要人们进一步挖掘。

### 3 结论

1. 通过野外调查与历史文献考证,确定了黄土洼古滑塌体形成时间为1569年8月;其形成过程为九牛山体1568年受到了地震作用,山体产生裂缝,次年在降雨外力作用下,发生了面积和体积巨大的以滑为主,兼有崩塌的滑塌现象,属于地震后的次生灾害。

2. 在黄土洼天然坝淤地、后小滩沟和大嘴沟,其沉积物中洪水旋回层具有“二元结构”,其中“细淤泥层”作为上层结构,是一次洪水沉积的结束重要标志,对洪水的具有指示作用,可作为反演环境的重要信息源。

3. 黄土洼古滑塌体掩埋沟道,改变了沉积与侵蚀环境,由原来单一的沟壑侵蚀地貌变为侵蚀堆积地貌与堆积侵蚀地貌,形成侵蚀堆积的地貌的多元性,侵蚀堆积地貌重塑了地形,形成“聚淤”和“破涧地”等新地貌类型,减轻了侵蚀强度。其产生的地貌格局,增加地貌的多样性,提高了该地区的科学研究、经济利用与美学观赏价值。

4. 经过440多年的侵蚀,形成了0.478 km<sup>2</sup>全冲全淤型泥沙沉积区(天然聚淤),目前沉积最大厚度可达50 m,有效地阻止了水土流失,拦沙效益显著。

### 参考文献(References)

- [1] Duan Yonghou, Luo Yuanhua, et al. Geological hazards of China [M]. Beijing: Chinese Construction Industry Press, 1993: 428-433
- [段永侯, 罗元华, 等. 中国地质灾害[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993: 428-433]

- 版社, 1993: 428-433]
- [2] Lei Xiangyi, Wei Qingke. Study on the origin and countermeasure of the casualty loess landfalls in the Northern Shaanxi [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1998, 20(1): 64-69 [雷祥义, 魏青珂. 陕北伤亡性黄土崩塌成因与对策研究[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(1): 64-69]
- [3] Liu Yuhai, Zhang Jun, et al. Engineering geology of Yan'an City [M]. Wuhan: Press of Chinese University of Geo-science, 1988: 81-109 [刘玉海, 张骏, 等. 延安城市工程地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1988: 81-109]
- [4] Long Yi, Zhang Xinbao, Li Min, et al. Identification of the deposited layers in landslides reservoir and investigation of the sediment yields during the later sixteenth century on the Hill Loess Plateau, China [J]. Chinese Science Bulletin, 2009, 54(01): 73-78 [龙翼, 张信宝, 李敏, 等. 陕北子洲黄土丘陵区古聚淤洪水沉积层的确定及其产沙模数的研究[J]. 科学通报, 2009, 54(01): 73-78]
- [5] Yang Xiaorong, Hui Dongdong, Chen Xiaowei. Zi Zhou landslide incident investigation [J]. New West, 2010, 33(3): 26-28 [杨晓荣, 惠东东, 陈小玮. 子洲山体滑坡事件调查[J]. 新西部, 2010, 33(3): 26-28]
- [6] Yue Dapeng. Study on rural settlement development and soil erosion in the much and coarse silt area in north Shaanxi loess plateau [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2005: 1-107 [岳大鹏. 陕北黄土高原多沙粗沙区乡村聚落发展与土壤侵蚀研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2005: 1-107]
- [7] Hu Xiewen, Chen Mingdong, Liu Hanchao, et al. Environmental effect on Geological hazard of landslides and rockfalls in Xiangjiaba reservoir area, Jinsha river [J]. Mountain Research, 1996, 14(3): 205-210 [胡卸文, 陈明东, 刘汉超, 等. 金沙江向家坝库区崩滑灾害的环境效应[J]. 山地研究(现山地学报), 1996, 14(3): 205-210]
- [8] Gibo S, Egashira K, Ohtsubo M, et al. Strength recovery from residual state in reactivated landslides [J]. Geotechnique, 2002, 52(9): 683-686
- [9] Shuzui H. Process of slip-surface development and formation of slip-surface clay in landslides in Tertiary volcanic rocks, Japan [J]. Engineering Geology, 2001, 61(4): 199-220
- [10] Huang Runqiu, Li Weile. Fault effect analysis of Geo-hazard triggered by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 19-28 [黄润秋, 李为乐. 汶川大地震触发地质灾害的断层效应分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 19-28]
- [11] Pradhan B, Lee S. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling [J]. Environmental Modelling & Software, 2010, 25(6): 747-759
- [12] Pradhan B, Lee S. Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models [J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 60(5): 1037-1054
- [13] Riemer W. Landslides and reservoirs (keynote paper) [G]//Pro-

- ceedings of the 6th International Symposium on Landslides. Oxford: Christchurch, 1992: 1373 – 2004
- [14] Gong Q, Huang G, Zhang J. Research on characteristics and formation mechanism of landslide disaster in red soil hilly region of south China [J]. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2013, 3(2): 110 – 114
- [15] Liu Peng, Yue Dapeng, Li Kui. Study on relationship between coarse particle deposition and rainstorm of Huangtuwa dam in northern Shaanxi [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(1): 1 – 5 [刘鹏, 岳大鹏, 李奎. 陕北黄土洼淤地坝粗颗粒沉积与暴雨关系探究 [J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 1 – 5]
- [16] Zhong Zhangyuan. North place • The number of Tow ninety-nine county annals of Qingjian, Shaanxi Province [M]. Taipei: Press of Chengwen, 1970: 67 – 77 [钟章元. 华北地方 • 第二九九号陕西省清涧县志 [M]. 台北: 成文出版社, 1970: 67 – 77]
- [17] Zizhou County of Compilation Committees. County annals of Zhi Zhou [M]. Xi'an: Press of Shaanxi People's Education, 1993: 12 – 120 [子洲县志编纂委员会. 子洲县志 [M]. 西安: 陕西人民教育出版社, 1993: 12 – 120]
- [18] Yulin Compilation Committees. Annals of Yulin [M]. Xi'an: Three Qins Press, 1996: 112 – 114 [榆林市志编纂委员会. 榆林市志 [M]. 西安: 三秦出版社, 1996: 112 – 114]
- [19] Wang Wenlong, Mo Yixiang, Lei Alin, et al. Simulating experiments of temporal change characteristics of runoff and sediment on slope [J]. Mountain Research, 2003, 10, 21(5): 610 – 640 [王文龙, 莫翼翔, 雷阿林, 等. 坡面侵蚀水沙流时间变化特征的模拟实验 [J]. 山地学报, 2003, 10, 21(5): 610 – 640]
- [20] Chen Xiaomei. The formation and development of check dam in Loess Plateau [J]. Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi, 2006(4): 20 – 21 [陈晓梅. 黄土高原地区淤地坝的形成与发展 [J]. 山西水土保持科技, 2006(4): 20 – 21]
- [21] An Suotang. Natural marsh beach is the earliest ancestor of check dam [J]. Shanxi Water Resources, 2004, (2): 48 – 49 [安锁堂. 淤地坝鼻祖: 天然淤滩 [J]. 陕西水利, 2004, (2): 48 – 49]

## Environmental Effect Caused by Palaeo-Slump of Huangtuwa

YUE Dapeng, LI Kui, CHEN Baoqun, LIU Peng, YAN Yan

(College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** Slump is a compound geological disaster. It can change the topography and cause multiple environmental effects. Taking the palaeo-slump of Huangtuwa watershed in Pangjiagou, Zizhou County of Shanxi Province, China as the study object, applying the methods of literature review, field survey and cross-section analysis, the causes, morphological characteristics and environmental effects of Huangtuwa palaeo-slump are analyzed in this paper. Results show that: Huangtuwa palaeo-slump occurred in August 1569, which was the secondary disaster of an earthquake; this palaeo-slump, by blocking the channel, caused erosive-accumulational and accumulational-erosive landforms, shaped plains and reduced the degree of erosion; the flood cyclothem of sediments consists of the dual structure, in which the fine-grained silt layer seam is an indicator of flood, in the natural check dammed land of Huangtuwa, Houxiaotan gully and Dazui gully; after about 440 years' sediment accumulation in the natural check dam of Huangtuwa, the deepest thickness can reach 50 m, which has effectively prevented water and soil loss and brought positive environmental effects. All these provide scientific bases for the comprehensive treatment of Huangtuwa palaeo-slump, protection of natural check dam system and inverting sedimentary environment in recent 500 years in the Loess Plateau.

**Key words:** palaeo-slump; Huangtuwa; environmental effect; sedimentary environment; natural check dam system