

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

西安白鹿塬边黄土滑坡的稳定性 与人类活动^①

雷祥义 屈红军^②

(西北大学地质系黄土研究室, 西安)



本文讨论了西安白鹿塬黄土滑坡形成时代、分布规律以及滑坡形成的地质环境。着重分析了人类生产活动(如在内部结构破碎的滑坡体上大量毁林耕地改变了地下水文地质条件及斜坡力学平衡条件等)对塬边黄土滑坡稳定性的影响。通过研究认为:采取工程措施和生物措施是改善塬边地质环境和恢复滑坡稳定的关键措施。

西安白鹿塬处于黄土高原南缘。它自秦岭北坡向西北延伸于灞、浐两河之间,最大冲沟——鲸鱼沟切穿塬面(图1),长约30km,宽8—10km,塬面高程为700—750m左右,是典型的黄土台塬。塬边分布着一系列滑坡体,它的稳定与否,直接影响着沿线居民的生存安全和经济建设。本文主要探讨人类生产活动对塬边黄土滑坡稳定性的影响,这对减轻滑坡灾害、合理开发土地和保护地质环境具有实际意义。

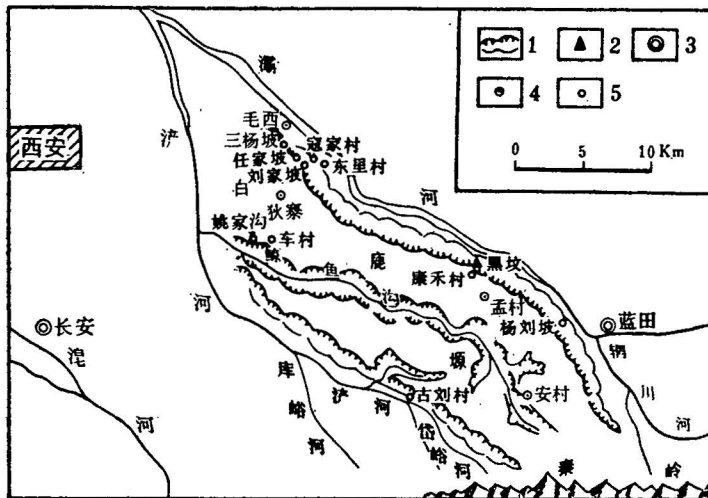


图 1. 白鹿塬的地理位置及滑坡分布略图

Fig. 1 Sketch showing the location of Bailouyuan and distribution of landslides

1—滑坡带(landslide belt); 2—剖面位置(location of section); 3—县(County); 4—乡(township); 5—村(village)

① 国家自然科学基金资助项目——黄土高原西部(六盘山以西)第四纪地层及古环境变化的研究, 编号: 4870142。

② 承蒙李昭淑副教授审阅初稿并提出宝贵修改意见, 王明辉同志参加了部分野外工作, 在此一并致谢。

本文1990年5月收到, 9月改回, 王子国编辑。

一、地质环境概述

(一) 新构造运动及地貌特征

本区第四纪新构造运动继承了第三纪末期以骊山为中心的掀斜式间歇隆起运动，它既控制了区内岩层产状（倾向西南，倾角 $<10^\circ$ ），还控制了区内地貌特征。白鹿塬塬面开阔，微向泾河倾伏，灞河一侧高于泾河一侧。塬东北侧长期受灞河强烈侧蚀，形成高差为300—370m的陡峻斜坡，坡上滑坡发育（图2）；泾河受骊山掀斜隆起的影响，向西侧移较为明显，右岸一、二级阶地连续分布，三级阶地部分残存，塬边地貌可分为阶地和滑坡两类；塬的西端延至西安市东郊纺织城附近逐渐倾伏。高悬于灞、泾两河之间的鲸鱼沟顺塬面倾斜发育，V形谷摆动较大，在上游地



图 2 白鹿塬北麓毛西—东里地段滑坡地貌素描图（据刘东生等 1960，有修改^{〔4〕}）
Fig. 2 Geomorphological sketch of landslide in the Maoxi-Dongli section of the northern piedmont of Bailouyuan (after Liu Dongsheng, et al., 1960)

Q₁₋₃—Q₁₋₃黄土(Q₁₋₃ loess); N₂¹—上上新统蓝田组红粘土(red clay of Lantian Formation); N₂²—下上新统灞河组灰黄色砂岩夹浅红褐色砂质粘土(greyish yellow sandstone and intercalated reddish-brown sandy clay of Bahe Formation); N₂³—上中新统寇家村组浅红褐色砂质粘土(reddish-brown sandy clay of Koujiacun Formation); P_{g2-3}—渐新一始新统白鹿组灰白色砂岩(greyish-white sandstone of Bailouyuan Formation(E₂²-E₃¹))

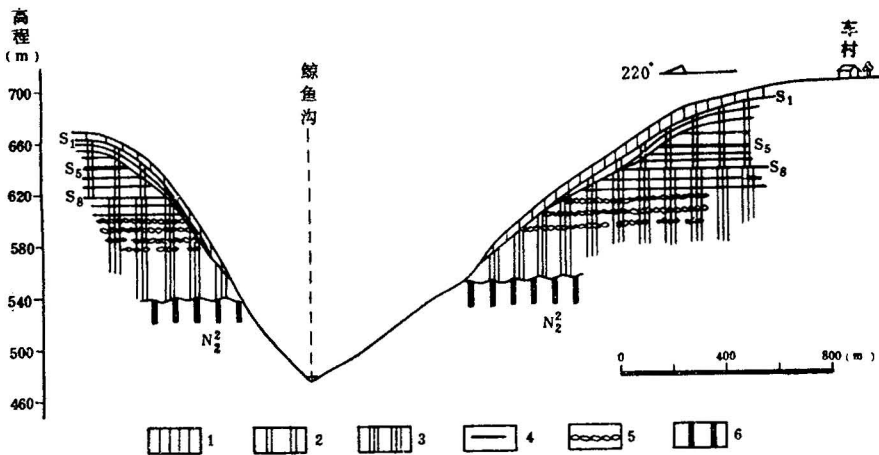


图 3 鲸鱼沟两侧的第一、二、三层古土壤顺谷坡披盖示意图
Fig. 3 Sketch map showing distribution of 1st, 2nd, and 3rd paleosols in loess on the slope of cleuch in the Jingyugou

1—Q₃黄土(Q₃ loess); 2—Q₂黄土(Q₂ loess); 3—Q₁黄土(Q₁ loess); 4—古土壤(paleosol); 5—钙质结核层(calcareous concretion); 6—新第三系红粘土(N₂³ red clay)

段切深为80—100m，向下游迅速增加，到车村—姚家沟地段切深190m左右，谷型不对称，沟的右侧（靠近骊山）较左侧平缓。第一、二、三层古土壤（S₁、S₂、S₃）顺谷坡被覆盖（图3）。S₃

是在大约30万年前形成的^[1]，它标明了鲸鱼沟的形成及稳定历史。但是，近年来两侧谷坡上的滑坡频繁发生。

(二) 地层及岩性

区内出露的地层主要是第三纪河湖相沉积和第四纪黄土堆积。地层划分及岩性特征归纳如表1。

表 1 西安白鹿塬地层划分表
Table 1 Schedule of stratigraphic division in the Bailouyuan, Xi'na

时 代	成因类型	分 布	厚 度 (m)	岩 性	
全新统 (Q ₄)	风积、坡积	塬面、塬边、谷坡	1.5—3.0	由表土(MS)、黄土状土(L ₀)和黑垆土(S ₇) 3个层次构成。疏松，富含大孔隙	
晚更新统 (Q ₃)	风 积	塬面、塬边、谷坡	7—10	由第一层黄土(L ₁)和第一层古土壤(S ₁)组成。粘性重，不具湿陷性	
中更新统 (Q ₂)	上中更新统 (Q ₂ ²)	风 积	塬 区	20—30	包括第2—5层黄土(L ₂₋₅)和第2—4层古土壤(S ₂₋₄)。黄土质地均一，致密，较坚硬；古土壤底部钙质结核往往联结成钙板
	下中更新统 (Q ₂ ¹)	风 积	塬 区	15—25	由第6—8层黄土(L ₆₋₈)和第5—8层古土壤(S ₅₋₈)构成。致密坚硬，古土壤底部钙质结核往往联结成钙板
早更新统 (Q ₁)	上早更新统 (Q ₁ ³)	风 积	塬 区	20—30	由第9—15层黄土(L ₉₋₁₅)和第9—14层古土壤(S ₉₋₁₄)组成。淡肉红色石质黄土，含两层粉砂质黄土，即L ₉ 和L ₁₁ ；古土壤底部钙质结核常常联结成钙板
	中早更新统 (Q ₁ ²)	风 积	塬 区	30—40	包括第15层古土壤(S ₁₅)至底部的黄土和古土壤。肉红色石质黄土；古土壤底部钙质结核往往联结成钙板
	下早更新统 (Q ₁ ¹)	冲积、洪积	秦岭北麓山前地带，厚度由南向北递减，以至尖灭	0—40	为砂砾石堆积，砾石成分复杂，大小混杂，分选、磨圆差，夹有砂泥透镜体
上新统 (N ₂)	上上新统 蓝田组 (N ₂ ²)	冲积、洪积	塬区，厚度由北向南增大	10—60	紫红色粘土，上部含钙质小结核，下部为块状海绵体钙质结核，夹有砂砾石层
	下上新统 灞河组 (N ₂ ¹)	冲积、洪积	塬区，由北向南厚度增大	40—80	淡桔黄色砂岩，夹紫红色砂质泥岩
上中新统寇家村组 (N ₁ ¹)	冲积、洪积	塬北麓的寇家村一带	15—100	紫红色砂质泥岩和泥岩互层，夹砂砾石层	
上始新统一下渐新统白鹿塬组 (E ₂ ³ —E ₃ ¹)	冲积、洪积	塬北麓的三杨坡—毛东村	50—60 (未见底)	灰白色砂岩，含泥球，夹紫红色砂质泥岩	

需要指出的是，西安白鹿塬的黄土颗粒细、胶结好，属显著风化成土的黄土^[2]，黄土的物理力学性质良好^[3]。此外，黄土层中夹有多层钙板，使土体的稳定性增强。

(三) 水文地质条件

本区地下水主要是由宽广的黄土塬面受水下渗后转化而成, 向灃、沔两河排泄。区内黄土渗透系数为0.15—0.36m/日, 属中等透水性土壤。黄土层含水, 属潜水层, 埋深18—60m左右, 黄土底部的第三纪红粘土为隔水层, 它对塬边、谷坡上的黄土滑坡有密切关联。

随着白鹿塬的间歇性上升, 灃、沔两河及鲸鱼沟强烈下切, 加之冲沟比较发育, 泉水露头较多, 故塬边地下水的排泄条件较好(图4), 但局部地段是有差异的。

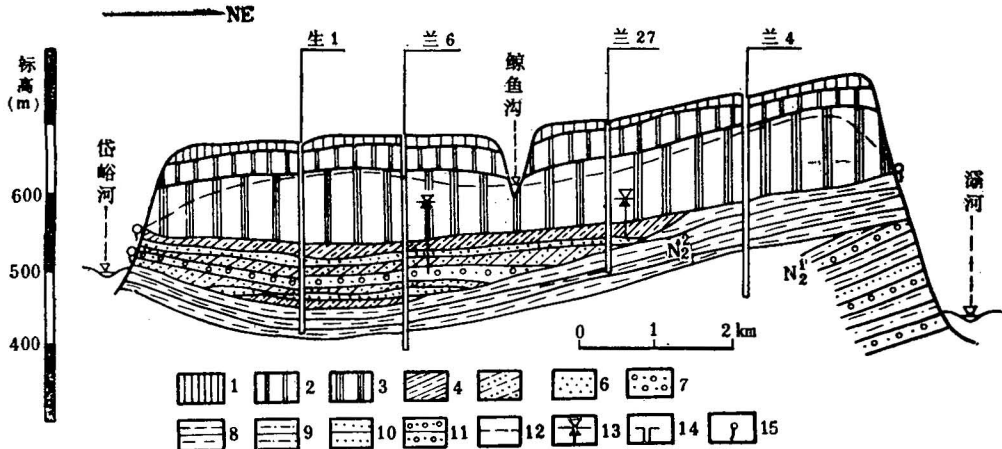


图4 白鹿塬第四系含水岩层剖面图(据陕西省地质矿产局水文二队勘察报告, 1979, 有修改)

Fig. 4 Section of Quaternary water-bearing strata in Bailouyuan(after Hydrogeologic

Team No. 2, Bureau of Geology and Mineral Resources, Shaansi Province, 1979)

1— Q_3 黄土(Q_3 loess); 2— Q_2 黄土(Q_2 loess); 3— Q_1 黄土(Q_1 loess); 4—亚粘土(mild clay); 5—亚砂土(subsandy soil); 6—砂(sand); 7—砂砾石(gravel); 8—泥岩(mudstone); 9—砂质泥岩(sandy mudstone); 10—砂岩(sandstone); 11—砂砾岩(conglomerate); 12—潜水位(ground water table); 13—承压水头(head of pressure water); 14—钻孔及编号(drill hole and its number); 15—下降泉(gravity spring)

二、塬边黄土滑坡体的特征

(一) 滑坡形成时代

根据斜坡发育历史及后期堆积物分析, 晚更新世(Q_3)初期形成的古滑坡在区内不明显(或有迹像, 我们尚无认识), 暂不讨论。仅对老滑坡和新滑坡给以简述。

1. 老滑坡 产生在全新世(Q_4)初期, 相当于一级阶地河床侵蚀期。集中分布在塬东北侧(即灃河左岸塬边), 靠沔河一侧的塬边也较普遍, 鲸鱼沟谷坡上有零星分布, 总共约150余处。滑坡体表面堆积了厚度不等的全新世黄土状土(图5), 某些老滑坡体前缘堆积了一级阶地。

2. 新滑坡 是在全新世河漫滩侵蚀期以后产生的滑坡, 主要是老滑坡体局部复活而成或其上丛生的新滑坡, 密集分布, 频次很高, 危害严重。据不完全统计, 1983年发生的这类滑坡毁田2400亩, 毁房(窑)1100间(孔), 迫使180户搬迁, 直接经济损失达250万元。近年来, 塬边因遭受这类滑坡蚕食, 平均每年减少耕地200亩左右。

(二) 地貌形态

纵观白鹿塬边黄土滑坡, 具有非常明显的滑坡环谷地形, 沿塬边呈带状展布(如灃河左岸)。

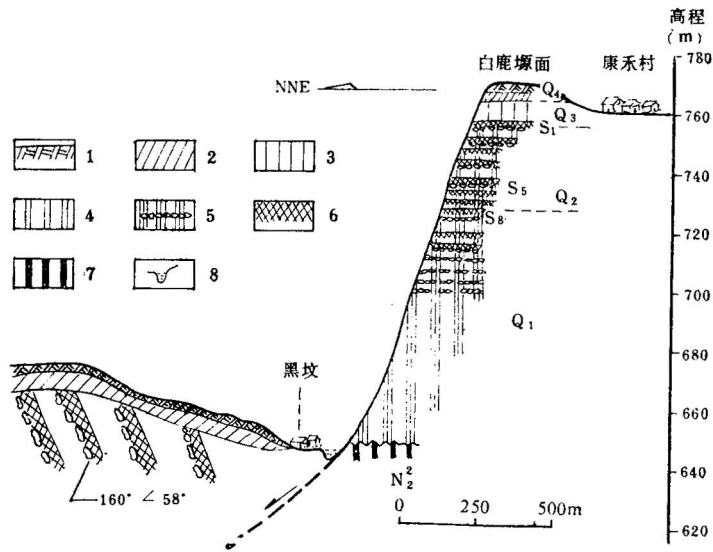


图 5 老滑坡体上覆全新世黄土状土

Fig. 5 Holocene loess-like soil overlying the old landslide mass

1— Q_1 黄土状土(Q_1 loess-like soil); 2—黑垆土(loam); 3— Q_3 黄土(Q_3 loess); 4— Q_2 黄土(Q_2 loess); 5— Q_1 黄土(Q_1 loess); 6—古土壤(paleosol); 7—第三系红粘土(N_2^2 red clay); 8—滑坡湖(landslide lake)

滑壁呈弧形，表面为后期坡积物覆盖或发育有细沟，一般高70—140m左右，坡度30—70°，它的底部往往是黄土的底界，所以它是由黄土地层构成的典型“黄土滑壁”（图2）。滑坡体因受后期改造多呈缓坡状，其前缘常被侵蚀成高陡坡，如灞河左岸的陡坡高达100—200m，形成“滑坡平台”（图2）。滑坡平台前缘因缺乏支撑，且坡度大，加之人类生产活动的影响，变成了“大雨大滑，小雨小滑”的滑坡灾害易发地带。

三、人类活动对塬边滑坡稳定性的影响

（一）老滑坡产生的原因分析

根据我们的调查研究，白鹿塬边滑坡的产生主要与下列因素密切相关：

1. 斜坡的高度和陡度 斜坡的高度和陡度决定了斜坡内部应力状态。产生滑坡的高度：靠灞河一侧为300—370m；靠浐河一侧为100—200m；鲸鱼沟谷坡为80—190m左右。显然，老滑坡形成时期的重力条件是很突出的。

2. 地质结构和岩性 区内黄土地层之下的第三纪红粘土和第四纪黄土地层中所夹的红褐色古土壤常常是滑坡的滑面，由于它们的粘性较重、透水性差、抗软化能力较弱。

3. 河流侵蚀作用 白鹿塬是一个强烈抬升的黄土台塬，从而加剧了灞、浐两河及鲸鱼沟的下切作用，特别是灞河受骊山掀斜式隆起的影响，不断向左岸迁移，强烈侧蚀白鹿塬边，造成了高陡的斜坡。

4. 地下水的作用 塬区的地下水源源不断地向塬边排泄（图4），且水位高，长期浸润软化斜坡土体，使其抗剪强度降低，这对老滑坡以及后期原生黄土切层滑坡的产生起了非常重要的作用。

5. 大气降水 它常是某些滑坡产生的激发因素，尤其对浅层局部土体破坏最为敏感。

(二) 人类活动对塬边滑坡稳定性的影响

老滑坡产生后, 经历了长时期的改造, 斜坡外形与岩性都达到了新的平衡, 亦即处于一个相对长期稳定状态。但是, 近期来, 塬边滑坡的稳定性急剧恶化、日趋严重, 老滑坡局部复活及其上产生的新滑坡增多。其原因除上述诸因素(尤其是地下水和大气降水在继续起作用)外, 人类工程与经济活动起到了促进恶化的作用, 主要表现在下列 3 个方面:

1. 在内部结构破碎的滑坡体上毁林毁草垦田导致滑坡丛生 由于地表粗糙度增高, 加大了地表水入渗量。例如: 沿灞河左岸展布的长约30km的滑坡平台, 是脊贫地区, 维持人口的生活能力很弱。其上居住的2万人, 为生存而大量毁林耕地, 严重破坏了老滑体的稳定性, 导致了新滑坡与日俱增, 造成恶性循环。

2. 人为的改变了地下水地质条件 (1) 鲸鱼沟及其它冲沟内的许多水库(如鹿塬水库、杨家湾水库、车村水库、打虎潭水库、姜寨水库等)以截蓄地下水为主, 不仅堵塞了部分地段自然地下水出口, 加之塬区引水灌溉造成大量地表水入渗, 使地下水位普遍抬升10—15m左右, 塬边泉水排泄量明显增大, 这对老滑坡体局部复活及产生新的原生黄土切层滑坡有着重要的影响。1984年12月15日发生的300万 m^3 的古刘滑坡就是由于其后缘一个水库渗漏形成, 造成的损失极为严重。(2) 在塬边的一些滑坡体上修建的许多截蓄地下水的池塘, 无防渗漏设施, 大量漏水导致滑坡发生。(3) 由于人为弃土堵塞自然地下水出口, 特别是堵塞滑坡体的自然地下水出口而引起的滑坡也为数不少。

3. 人为改变了斜坡形态使边坡失稳 在塬边谷坡上, 由于削坡建房(窑)、坡脚切层开挖等活动破坏了坡体力学平衡而导致的滑坡越来越多。三杨坡附近的一处采砂场, 近5年来因采空引起滑塌致使边坡后退了20m左右。白鹿塬北麓1990年4月11日凌晨发生了体积达30万 m^3 的大滑坡, 使位于塬北麓的西安市新型墙体材料厂的3个生产车间遭受严重破坏。其中二车间是新引进的国外生产线, 1/3厂房被压坏, 其内的机器设备全部被毁, 并使一人致死, 造成的直接经济损失达400余万元, 是继1987年10月发生的大滑坡之后的又一次特大滑坡。这两次滑坡主要是由于塬坡取土造成高达80m左右的临空面所致。类似的事例多不胜数。

四、防治措施

鉴于上述原因, 为恢复白鹿塬边滑坡的稳定性, 应采取工程措施和生物措施对塬边地质环境从根本上加以综合治理。

1. 工程措施 主要是改善排水条件: (1) 截排地表水, 修建各种类型的沟渠, 排除大气降水、地表流水与生活用水等, 尽量减少其渗入地下; (2) 截排地下水, 修建各种形式的排水洞、排水沟与排水钻孔(主要是水平钻孔), 排除滑体后缘和滑坡体内的地下水, 以及土层中的地下水。

2. 生物措施 这是保持水土、稳固滑坡体、防止浅层滑坡的关键措施。建议如下:

(1) 塬东北侧30km老滑坡集中分布地带可采取“槐戴帽, 果缠腰, 粮穿靴”的方案加以治理。槐戴帽即在黄土滑壁上种植刺槐, 形成林带, 锁住陡坡; 果缠腰即在滑坡平台上发展各种果林, 稳固滑坡体; 粮穿靴即在坡脚平地(一级阶地)上发展粮食生产。地处塬北麓的灞陵(毛西)乡从1986年按照这个方案治理塬坡以来, 有计划的退耕还林, 封沟育林, 大力发展樱桃、杏、桃等经济林, 已初见成效, 既保护了坡体, 还带来很大经济效益。

(2) 充分利用鲸鱼沟内地下水源丰富的有利条件, 以发展竹林为主, 兼营其它经济林和用

材林。

(3) 其它塬边、谷坡地段也可发展各种果林、用材林和牧草等。

通过治理,白鹿塬边将会很快恢复昔日丰茂的植被,坡体重新得以稳固,从而送走滑坡“瘟神”,迎来致富财源,造福子孙后代。

参 考 文 献

- [1] 岳乐平, 1989, 蓝田段家坡黄土剖面磁性地层学研究。地质论评, 第35卷, 第5期, 第478—488页。
 [2] 雷祥义, 1989, 黄土的显微结构与古气候的关系。地质论评, 第35卷, 第4期, 第333—341页。
 [3] 雷祥义, 1989, 黄土的显微结构类型与物理力学性质指标之间的关系。地质学报, 第62卷, 第2期, 第182—190页。
 [4] 刘东生、丁梦林、高福清, 1960, 西安蓝田间新生界地层剖面。地质科学, 第4期, 第199—208页。

THE STABILITY OF LOESS LANDSLIDES ON THE EDGES OF THE BAILU TABLELAND, XI' AN AND THEIR RELATIONSHIP WITH HUMAN ACTIVITIES

Lei Xiangyi and Qu Hongjun

(Loess Research Section, Department of Geology, Northwest University, Xi'an)

Abstract

The Bailu tableland is located on the southern margin of the Loess Plateau. It is made up of Tertiary sediments and Quaternary loess deposits. Landslides often occur along the slopes of the tableland and valleys, causing serious disasters. In this region, landslides are mainly rejuvenated old landslides and new ones produced on them. Because of their wide distribution and repeated occurrence, landslides cause serious economic losses. Landslides are not only produced by natural factors, such as structure, geomorphology, lithology and climate, but also by human activities. According to field investigations, human engineering-economic activities are a dominant factor in causing landslides in the Bailu tableland. Among these human activities, damage of vegetation and cultivation accelerate the rejuvenation of old landslides and formation of new landslides. Therefore, the restoration of vegetation is a key measure to control the environment on the slopes of the Bailu tableland.

作 者 简 介

雷祥义, 生于1942年7月。1982年毕业于西安大学第四纪地质学研究生班, 获硕士学位。现任西北大学地质系黄土研究室讲师。