

# 陕西延安地区黄土滑坡特征及其活跃性分期

刘朋飞<sup>1</sup>, 李 滨<sup>2</sup>, 陈志新<sup>1</sup>

(1. 长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054, 2. 中国地质科学院地质力学所, 北京 100081)

**摘要:**延安地区位于黄土高原中部, 地质灾害频发。本文结合延安地区地质灾害详细调查结果, 从该地区环境变迁分析滑坡分布特征。从以下三个方面进行了分析, 第一方面分析了延安地区滑坡的特点; 第二方面从沉积环境分析控滑面的类型分析滑坡发育规律, 而不同的控滑面形成环境不同, 作用机理不同; 第三方面从冷暖湿热气候变迁对黄土滑坡存在三个活跃期进行了阐述, 滑坡发育期与其环境变迁存在息息相关的联系, 在第四纪以来三个明显湿润期在时间上产生了三个明显阶段的滑坡。

**关键词:**延安; 滑坡; 环境变迁; 分布特征

**文章编号:**1003-8035(2012)04-0016-04

**中图分类号:**P642.22

**文献标识码:**A

## 1 延安地区滑坡地质灾害现状及特点

延安地区位于陕北黄土高原中部, 黄土堆积厚度较大, 黄土结构疏松, 水土流失严重, 沟壑纵横, 地形破碎, 人类工程活动强烈, 滑坡、崩塌等地质灾害频发<sup>[1-4]</sup>。本文以延安市地质灾害详细调查为依托, 结合前人研究成果, 从分析滑坡分布规律, 以期为黄土高原地区灾害研究提供参考, 为进一步减灾防灾提供建议。

结合延川、延长、富县、甘泉、志丹、子长、宝塔、吴起八县地质灾害调查成果, 从滑坡物质组成、滑体厚度、诱发原因、运动形式及滑坡规模等五个方面对延安地区滑坡的特点进行分析。

### 1.1 滑坡的物质组成

延安地区为黄土所覆盖, 基岩出露较深, 地层平缓, 滑坡基本为黄土滑坡, 极少出现岩质滑坡。

### 1.2 滑体厚度

滑坡发育以中层和浅层为主, 深层滑坡较少, 几乎未见超深层滑坡(图1)。

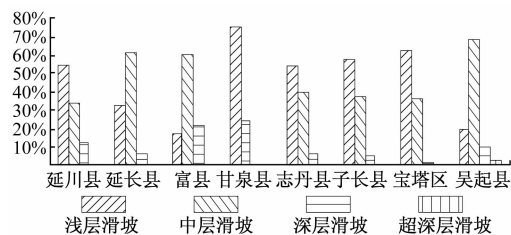


图1 延安不同县区滑坡滑体厚度

Fig.1 Thickness of the landslide in Yanan different countie

### 1.3 诱发原因

诱发原因分为工程滑坡和自然滑坡两个方面

(图2), 滑坡诱发原因以自然滑坡居多, 工程活动占小部分, 随着经济建设的不断加强, 基础建设不断增加, 开挖、卸载等对坡体产生应力路径改变, 会对边坡失稳造成不利的影响, 工程活动所占比例会不断增加。

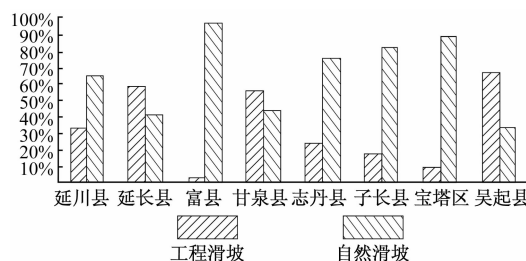


图2 延安不同县区滑坡诱发因素

Fig.2 The factors of inducing landslide in Yanan different countie

### 1.4 滑坡规模

如图3所示, 滑坡规模以中小型为主, 占据60%~90%, 大型所占比例为10%~40%, 特大型极少存在(图3)。

### 1.5 运动形式

黄土滑坡运动形式分为牵引式和推移式两种类型。牵引式滑坡以中小规模为主, 推移式滑坡规模较大, 以大、中型为主。对调查成果进行统计, 调查范围内牵引式滑坡占据90%以上, 而推移式较少。

收稿日期:2012-05-17;修订日期:2012-06-08

基金项目:国家自然科学基金“多级旋转型黄土滑坡形成机理研究”(4110264)

作者简介:刘朋飞(1986—),男,河南襄城人,博士研究生,主要从事地质灾害理论与防治研究工作。

E-mail:liupf616@163.com

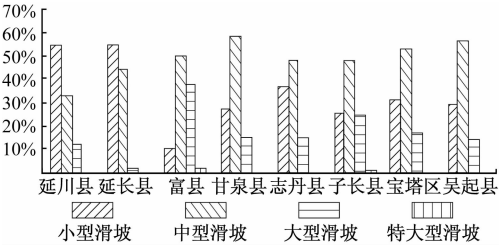


图 3 延安不同县区滑坡规模

Fig. 3 The scale of landslide in Yanan different countie

2 延安滑坡控滑面类型

黄土滑坡根据坡体结构类型可以分为黄土层内滑坡、黄土-基岩滑坡、黄土古土壤滑坡和黄土-红粘土四类。在调查过程中,将黄土古土壤滑坡和黄土层内滑坡合并为一类。在三种控滑面滑坡中,各占一定的比例(表 1),黄土(红粘土)与基岩接触面滑坡所占比例最大,黄土层内滑坡次之,黄土与红色粘土接触面滑坡最小。

表 1 延安地区不同控滑面统计表(部分)

Table 1 The statistical chart of different accused sliding surface in Yanan area

| 县区  | 黄土内部<br>滑坡 | 黄土与红色粘土<br>接触面滑坡 | 黄土(红粘土)与<br>基岩接触面滑坡 |
|-----|------------|------------------|---------------------|
| 吴起县 | 37         | 11               | 3                   |
| 富县  | 54         | 99               | 114                 |
| 甘泉县 | 6          | 32               | 47                  |
| 延川县 | 86         | 8                | 12                  |
| 志丹县 | 7          | 1                | 25                  |
| 子长县 | 36         | 13               | 41                  |
| 宝塔区 | 22         | 1                | 77                  |
| 延长县 | 51         | 18               | 14                  |
| 总计  | 299        | 183              | 333                 |
| 百分比 | 37         | 22               | 41                  |

2.1 黄土层内滑坡

黄土有其特殊的沉积环境,具有岩性较均一,结构疏松,垂直节理发育等特点,土体随含水量的增大而强度急剧减小。斜坡坡体在自重作用下向临空方向产生蠕动,坡体强度逐渐减低,当抗压强度小于剪切应力时逐渐发生变形,坡面逐渐形成拉张裂缝,为降雨入渗等创造了条件,降雨入渗使坡体含水量增大,同时由于节理的作用,导致蠕动变形加剧最终导致滑坡的发生<sup>[5]</sup>。该类滑坡滑动面近似于圆弧形,滑面比较平直光滑,后壁一般较陡,坡度在 60°左右。

2.2 黄土-古土壤层型滑坡及古土壤控滑面

黄土斜坡的稳定性与黄土中发育的倾斜古土壤

有关。古土壤层是夹杂在黄土层中的一种粘性土壤,成因与黄土相似,也为风成。从粘化类型、粘土胶膜、颗粒定向排列和方解石类型上看,古土壤层为后形成。而古土壤层粘粒含量高,结构致密,为不透水层。成为黄土地层中的相对隔水层,当黄土与古土壤接触面易形成饱水带,特别是古土壤层向临空面倾斜时,更易形成滑坡<sup>[6]</sup>。黄土红粘土结构与黄土古土壤层相近。

2.3 黄土-基岩接触面滑坡及基岩控滑面

该类滑坡坡体结构为上部黄土下部基岩组成,基岩的出现,是滑坡发生重要的因素,一方面为地层突变,基岩强度比黄土大的多,稳定性提高,另一方面基岩为不透水层,造成地下水容易在基岩面上富集,使基岩面上黄土含水率增加,强度减小,而容易形成滑带,大多数此类滑坡沿接触带剪出。

3 气候变迁与地质滑坡相关性分析

黄土开始沉积已有 320 万年历史,在其沉积过程中,受构造运动和气候干湿循环的影响,黄土滑坡在时间上分布具有集中性的特点。根据前人研究成果和野外地质调查分析,将滑坡分为三个时期:古滑坡( $Q_3^1$ 、 $Q_4^1$ )、老滑坡( $Q_4^2$ )和新滑坡( $Q_4^3$ )三个活跃期(表 2)。在滑坡分布中,老滑坡居多,占 60% 以上。

表 2 延安地区滑坡年代分布图

Table 2 The profile of landslide age at Yanan area

| 县区  | 古滑坡   | 老滑坡   | 新滑坡   |
|-----|-------|-------|-------|
| 吴旗县 | 0     | 32    | 19    |
| 富县  | 99    | 160   | 8     |
| 甘泉县 | 1     | 34    | 20    |
| 延川县 | 21    | 56    | 29    |
| 志丹县 | 0     | 23    | 10    |
| 子长县 | 5     | 70    | 15    |
| 宝塔区 | 13    | 72    | 15    |
| 延长县 | 51    | 30    | 13    |
| 合计  | 179   | 477   | 129   |
| 百分比 | 22. 8 | 60. 8 | 16. 4 |

3.1 古滑坡( $Q_3^1$ 、 $Q_4^1$ )

(1)晚更新世早期( $Q_3^1$ )

古滑坡有两个集中发育阶段,为晚更新世早期和全新世早期。贾蓉芬等对耀县剖面进行孢粉研究后,将全新世植被演化分为五个阶段,其特征是干、湿草原交替。晚更新世早期( $0.073 \times 10^4$  aB. P. ~  $0.05 \times 10^4$  aB. P.)<sup>[7]</sup>,池沼较为发育。由于本带出现阔叶树

为主的乔木植物,且具有亚热带树种铁杉、化香等作物出现,表明当时水热条件较好,气候温暖湿润<sup>[8]</sup>。在湿热气候下,水力侵蚀作用强烈,有利于黄土边坡破坏,在晚更新世早期滑坡发育,为古滑坡发育的一个活跃期。此类滑坡经过长期演化,外部特征已不明显,古滑坡舌延伸到三级阶地冲积物之中。一般被马兰黄土覆盖,利用<sup>14</sup>C测定古滑坡堆积体年龄为25~37.5Ka。该类滑坡好,目前大部分为人类居住地和田地。

#### (2) 全新世早期( $Q_4^1$ )

蔡茂堂、魏明建<sup>[9]</sup>对黄土高原地区选取不同地貌样本进行试验分析表明全新世环境气候变化分为早、中、晚、三个阶段,早期比现代冷,中期较现代暖,而晚期与现代类似。

全新世早期气候相对湿润,降雨较多,水力作用强烈,形成了普遍分布的二级阶地,斜坡两岸变陡。边坡破坏较强烈,进入滑坡第二个活跃期。滑坡的外部形态较明显,古滑坡厚壁具有冲沟发育,滑舌夹于二级阶地的砂砾卵石层之上。可以确定古滑坡的形成时代与该地区二级阶地形成的时代基本一致。通过对<sup>14</sup>C测定确定古滑坡的形成年代为5~8Ka。

#### 3.2 老滑坡( $Q_4^2$ )

李秉成、孙建中<sup>[10]</sup>对蓝田、富平研究发现,地层剖面禾本科含量较高,表明此阶段该地区湿度比较大,为气候较湿润区。剖面中出现栗、黄连木等亚热带属种,指示这一阶段气候较温暖湿润,判断此时大的气候背景条件应为湿润的疏林草原。

湿润气候增加了水的动力与侵蚀,为滑坡发育提供了条件。滑坡大范围发育,进入了第三个滑坡活跃期,为老滑坡活跃期。该类滑坡形成时代较晚,保存较完整,目前广泛看到的滑坡多为此时期滑坡,大多数分布在一、二阶地和河漫滩上。部分重大滑坡已有简单的文字记载,为研究提供了重要价值。

#### 3.3 新滑坡( $Q_4^3$ )

新滑坡在时代上主要指近百年来发生的滑坡,特别是新中国成立60多年来,历史虽然极为短暂,该时期滑坡发生的影响发生质的变化。由于人口的增加和生产力的发展,山区开始大规模的建设,人类活动已经成为一种强大的特殊地质力,不合理的开挖、加载等,改变坡体应力,促使滑坡的发生。在造成灾害的同时,也开始了滑坡的研究,我国滑坡的研究开始

于此时期,对滑坡的机理及防治开始系统的研究,取得了一系列的研究成果。

## 4 结论

(1) 本文分析了延安地区整体地质灾害特征,从滑坡物质组成、滑体厚度、诱发原因、运动形式及滑坡规模五个方面分析了延安地区滑坡特征。

(2) 从地层沉积和环境变迁关系方面分析了控滑面的类型,特点及破坏模式。

(3) 根据植被环境,推测黄土沉积过程经历三个大的相对湿润期,其滑坡存在与湿润期对应的活跃期。

(4) 该地区的滑坡分布特征,提出因地制宜的防治对策,为区域减灾防灾提供服务。

#### 参考文献:

- [1] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京:地质出版社,2001.  
LEI Xiangyi. Geo-hazards and human activity at loess plateau[M]. Beijing: Geological Press, 2001.
- [2] 金艳丽, 戴福初. 灌溉诱发黄土滑坡机理研究[J]. 岩土工程学报, 2007, 29(10): 1493-1499.  
JIN Yanli, DAI Fuchu. The mechanism of irrigation induced land-slides of loess[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2007, 29(10): 1493-1499.
- [3] M Zhang, Jie Liu. Controlling factors of loess landslides in western China[J]. Environmental Earth Science, 2009, 59(8): 1671-1680.
- [4] 李滨. 多级旋转型黄土滑坡形成演化机制研究(博士学位论文)[D]. 西安: 长安大学, 2009.  
LI Bin. Research on formation evolution mechanism of multiple rotational loess landslides. Xi'an: Changan University, 2009.
- [5] LIN Z G. Variation in collapsibility and strength of loess with age, genesis and properties of collapsible soils[C]// Proceedings of the NATO advanced research workshop on genesis and properties of collapsible soils. Southborough, UK: Kluwer Academic Publishers, 1994: 247-263.
- [6] 王念秦, 张俤元. 黄土滑坡灾害研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2005.  
WANG Nianqin, ZHANG Zhuoyuan. Study on loess landslide disasters[M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2005.
- [7] 贾蓉芬, 颜备战, 李荣森等. 陕西段家坡黄土剖面中趋磁细菌特征与意义. 中国科学(D辑), 1996, 26(

- 5): 411–416.
- JIA Rongfen, YAN Beizhan, LI Rongsen, et al. Characteristics of the magnetotactic bacteria in Duan jiapo loess section, Shaanxi province and their environmental significance. *Science in China (Series D)*, 1996, 39(5): 478–485.
- [8] 陈峻, 汪永进, 季峻峰, 等. 陕西洛川黄土剖面的 Rb/Sr 值及其气候地层学意义. *第四纪研究*, 1999, (4): 350–356.
- CHEN Jun, WANG Yongjin, JI Junfeng, et al. Rb/Sr variation and its climatic stratigraphical significance of a loess-paleosol profile from Luochuan, Shaanxi Province. *Quaternary Sciences*, 1999(4): 350–356.
- [9] 蔡茂堂, 魏明建. 黄土高原全新世孢粉古植被地方性分异研究[J]. *首都师范大学学报*, 2009, 30(4): 48–53.
- CAI Maotang, WEI Mingjian. The research of holocene vegetation characteristic of different locations in loess plateau[J]. *Journal of Capital Normal University*, 2009, 30(4): 48–53.
- [10] 李秉成, 孙建中. 黄土高原西安地区全新世的植被与气候[J]. *环境海洋地质与第四纪地质*, 2005, 25(3): 125–132.
- LI Bingcheng, SUN Jianzhong. Vegetation and climate environment during holocene in Xi'an region of loess plateau, China[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25(3): 125–132.

## Characteristics and staging of the loess landslide in the Yan'an area, Shaanxi province

LIU Peng-fei<sup>1</sup>, LI Bin<sup>2</sup>, CHEN Zhixin<sup>1</sup>

(1. School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Yanan area is located in the middle of the Loess Plateau and frequent geological disasters. This paper, combining geological disasters detailed survey results analysis Landslide distribution characteristics from the region environment change. Analysis from three aspects, the first, analysis types and functions of sliding surface from sedimentary environment; The second, from the loess sedimentary law, the loess particle size distribution reduce gradually from northwest to southeast, physico-mechanical properties along with the particle size distribution changes, the scale of loess landslides and particle size distribution has certain regularity; The third, in this paper, from the changes in temperature hot and humid climate change in loess landslides are three active period is discussed.

**Key words:** Yanan; landslides; environment change; distribution characteristics