

# 黄土地区不同类型滑坡的特征及影响因素

刘红玫<sup>1,2</sup>, 石玉成<sup>1,2</sup>

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**在对黄土地区现场考察的基础上,按黄土斜坡的结构特点对其进行了类型划分,阐述了各种类型黄土滑坡的主要特征,初步分析了影响黄土斜坡失稳的主要因素。

**关键词:**黄土; 滑坡; 类型; 影响因素

**中图分类号:** P642.22; P642.13<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2006)04-0360-04

## Characteristics and Influential Factors of Different Types of Landslide in Loess Area

LIU Hong-mei<sup>1,2</sup>, SHI Yu-cheng<sup>1,2</sup>

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:**Based on the field investigation in loess area, the loess landslides are divided into three types, according to their characteristics of structure, cause of formation, and rock type, etc. The main features of each type loess landslide are stated and main influential factor for loess slope destabilizing are preliminarily analyzed.

**Key words:** Loess; Landslide; Type; Influential factors

### 0 引言

我国黄土覆盖面积大,成因类型多,厚度大。滑坡(崩滑、崩塌)是黄土地区的主要灾害之一。据统计全国约有 1/3 的滑坡灾害发生于黄土地区,1949—1990 年仅在陕、甘、青 3 省部分地区至少有 1 025 人直接死于滑坡灾害。陇海线西宝段卧龙寺黄土滑坡、洒勒山黄土滑坡、天水锻压机床厂黄土滑坡、白鹿源滑坡、蒋刘滑坡、黄茨村滑坡等许多著名大型灾害性滑坡均发生于黄土地区。而地震引起的黄土滑坡也是十分严重,如 1718 年甘肃通渭大地震诱发了 337 处规模宏大的黄土滑坡;1920 年海原大地震时发生了几百起黄土滑坡,在Ⅷ度以上的烈度区内滑坡成片分布,其面积达 4 000~5 000 km<sup>2</sup>。甚至 1995 年甘肃永登 5.8 级地震也诱发了 150 多处颇具破坏性的黄土滑坡<sup>[1-2]</sup>,死 10 人,伤 700 余

人。

随着我国西部大开发建设的深入,合理评价黄土斜坡的稳定性尤为重要。本文在现场考察基础上,结合前人研究成果,对黄土地区滑坡的类型按物质组成和滑动面位置进行初步分类,对斜坡稳定性研究提供参考依据。

### 1 黄土斜坡的结构特点分类

黄土斜坡是指分布在黄土地区的主要由黄土及黄土下伏的砾石层和基岩组成的斜坡。按照斜坡的结构类型对其进行分类,有利于对斜坡的稳定性进行分析研究,对预防和预报斜坡失稳事件具有重要的意义。

(1)黄土斜坡:主要由不同时代的黄土和黄土状

收稿日期:2005-08-31

基金项目:地震科学联合基金(103101);中国地震局黄土地震工程开放实验室资助项目;中国地震局兰州地震研究所论著编号:LC20060045

作者简介:刘红玫(1971—),女(汉族),甘肃敦煌人,高级工程师,主要从事黄土地震工程研究。

土组成,剖面上出露的主要是古黄土、老黄土和新黄土。我们将在较平坦的古地面上(夷平面、盆地面、倾斜平原和开阔的阶地面等)上经风积黄土覆盖而成的,所含古土壤层的产状也较平坦的边缘斜坡称为黄土斜坡。此类斜坡在黄土厚度较大的塬、梁、峁的边缘均有分布,平均坡度大都在 $5^{\circ}$ 以下。甘肃六盘山以东的陇东黄土高原在沟谷和塬边多分布有黄土斜坡。

如甘肃庆阳黄土高原黄土土层深厚,由上到下依次为马兰黄土(厚约10 m)、离石黄土(厚约50~100 m)和午城黄土(厚约90 m)(图1)。

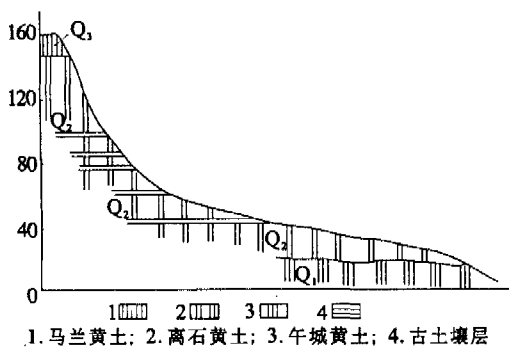


图1 庆阳黄土塬边坡剖面示意图

Fig.1 Profile of loess slope of Yuan in Qingyang.

在上述地区,厚层状的黄土类土经长期经雨水的冲刷和流水的侵蚀切割,形成了切割深度大、天然坡度陡、岩性结构不一、斜坡高度不同的纵横沟壑,为黄土滑坡的形成提供了充足的地形地貌条件和岩性、结构条件。天然坡度大于 $50^{\circ}$ 的斜坡多产生崩塌性滑动,而天然坡度小于 $45^{\circ}$ 的斜坡会出现位移连续的黄土滑坡。

(2)黄土—砾石—基岩斜坡:该类斜坡在坡角处明显可见基岩及夹在黄土和基岩之间的砾石层(有些是第三纪红层)(图2),主要分布于河谷阶地。乌鞘岭以东、六盘山以西基岩上中、新生界红层出露,多以黄土—砾石—基岩斜坡为主。由于第三系红层有一定的隔水作用,易形成软弱面,使土体沿着软弱面产生滑动。

(3)黄土—基岩混合斜坡:在产状为一定角度的基岩上覆盖有薄厚不一的黄土覆盖层。主要分布于黄土山区,黄土丘陵地带。其古地形由基岩和早期黄土堆积而成,黄土坡形随其所在部位而有所不同,凹形斜坡和凸形斜坡均存在。滑动面多为二元体的接触面,“即位于黄土戴帽的坡顶和黄土填脚的坡脚”,多沿其下伏的基岩(砂页岩、泥岩或碎屑岩)倾斜面(与坡向一致)分布。在丘陵区主要是受丘陵间

再生侵蚀沟谷的切割深度所控制,因为再生沟谷是削减斜坡坡脚土体自然支承力的唯一因素。当下伏基岩为粘土岩类和地下水活动时就能使本来较稳定的平缓边坡也处于不稳定状态。

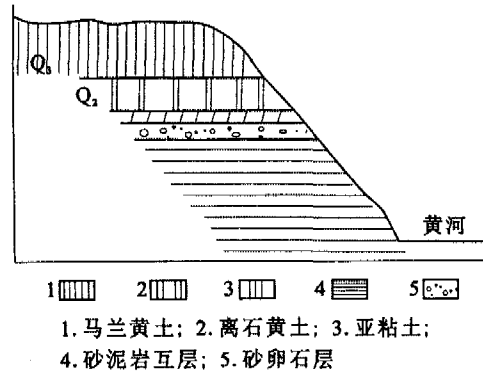


图2 甘肃省黑方台斜坡剖面示意图<sup>[3]</sup>

Fig.2 Profile of loess slope at Heifangtai, Gansu.

(4)滑动过后的复杂斜坡:在有些黄土分布区由于以前产生过黄土滑坡,使得斜坡类型不再是简单的、易于识别的形式,因此将近其单独分成一类,某些老滑坡在满足一定条件下还会重新产生滑动。多分布于河谷、雨水较多、地震活动较强烈的区域。

## 2 黄土滑坡分类及其特征

黄土滑坡按物质组成及滑动面位置可分为:黄土内部滑坡、黄土—砾石(第三纪红层)—基岩层面滑坡和黄土—基岩混合滑坡。

### 2.1 黄土的显微结构及黄土力学性质

前人曾对黄土在天然状态下微观结构进行过研究,笔者也曾对兰州地区的 $Q_4$ 黄土在扫描电子显微镜下进行了孔隙微结构的研究。结果均表明, $Q_4$ 黄土骨架矿物以石英、长石为主,接触胶结,胶结物主要为碳酸盐及粘土; $Q_2$ 黄土亦为接触胶结,胶结物以方解石和粘土为主; $Q_3$ 黄土及 $Q_1$ 黄土结构疏松,以点接触形式的架空孔隙结构为主,有着较好的连通性。但这类孔隙是土体中最不稳定的孔隙,也是影响土体力学性质最为重要的原因之一。

### 2.2 黄土滑坡的特征

(1)黄土内部滑坡:即主滑动面完全产生在黄土层中。黄土分布区一般较干旱,地下水的主要来源是降雨。雨水沿着黄土孔隙渗入,使得黄土坡潜水位升高。众所周知,黄土是大孔隙土,遇水会产生湿陷,在降雨丰富的季节,土体一方面由于水的作用会产生不同程度的湿陷,另一方面由于水的渗入使得土体自重增加,坡体上部会出现一系列的张裂缝,这些裂缝又使得水向下渗流的速度加快。研究表明,

随着含水量不断增加黄土土体的抗剪强度会显著下降(图 3), 容易导致斜坡变形甚至破坏。导致其滑动的主要因素是黄土本身的力学性质, 即黄土遇水抗剪强度急剧降低, 引起斜坡失稳。黄土内部滑坡, 一般不会出现滑坡体的翻转现象。图 4 所示的陕西古刘村黄土滑坡和洛川秦家寨黄土滑坡均为黄土内部滑坡。

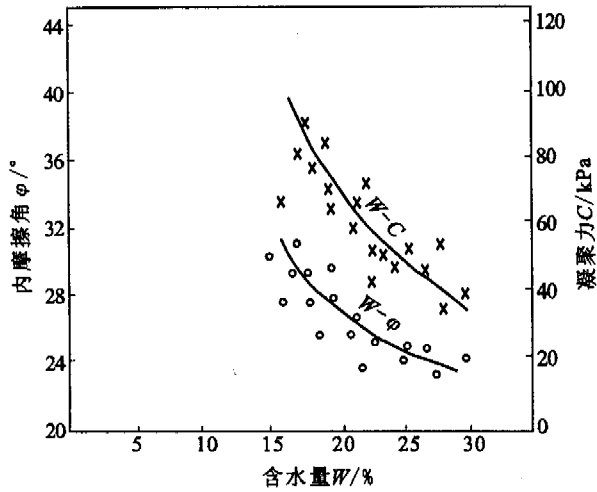


图 3 黄土的抗剪强度与含水量的关系<sup>[4]</sup>

Fig. 3 Relationship between shearing strength and water content of loess.

(2) 黄土—砾石(第三纪红层)—基岩滑坡: 主滑面位于含水量高或饱水的黄土与下伏泥岩、页岩接触面。这种情况下往往形成一厚约 0.5~1.0 m 的滑动带, 下伏泥岩、页岩在滑动面上形成鼓包, 造成基岩凹凸不平的现象。滑体物质由上部黄土与下伏泥岩、页岩、砂岩互层组成, 在滑坡舌部可发现黄土包裹泥岩、页岩的现象, 包体一般直径达数米至 10 余米。滑体的泥岩、砂岩互层往往为强风化层,

而滑动面以下为弱、微风化层。

甘肃永靖黑方台滑坡, 自下而上的地层依次是白垩系砂砾岩互层、砂砾石层、红粘土层、 $Q_2$  黄土、 $Q_3$  黄土和  $Q_4$  黄土(图 5)。红色粘土层致密坚硬, 为隔水层。由于多年的提水灌溉, 在红粘土层以上形成饱水层, 具有架空结构的饱和黄土产生湿陷变形, 在地表形成沉陷裂缝, 逐步发展为上部滑面; 与母体分离的高陡斜坡体在重力作用下产生蠕动变形, 使黄土的粘聚力和内摩擦角降低, 同时也就降低了黄土的抗剪强度, 随着蠕变过程的加剧, 上部土体产生滑动, 推动下面土体急速滑动, 产生滑坡。

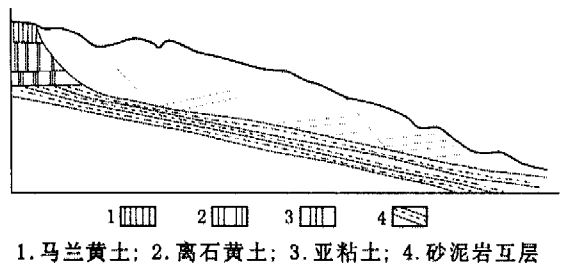


图 5 黑方台黄土—红粘土—基岩滑坡<sup>[6]</sup>

Fig. 5 Landslide of loess-red clay-bedrock at Heifangtai.

(3) 黄土—基岩混合滑坡: 主滑面一般位于黄土与基岩接触面上, 由于下伏基岩有一定的倾斜角度, 在地下水较充分的情况下, 若遇外力作用(如地震), 则易沿着下伏岩石的接触面产生滑动。当基岩倾向与地形坡角一致时, 易形成较大规模滑坡, 在地震作用下, 甚至于会产生超大规模黄土切层滑坡, 危害较大。此类滑坡主要与断裂构造有关。

### 3 影响黄土斜坡失稳的主要因素

黄土斜坡是否会产生滑动变形, 首先决定其滑

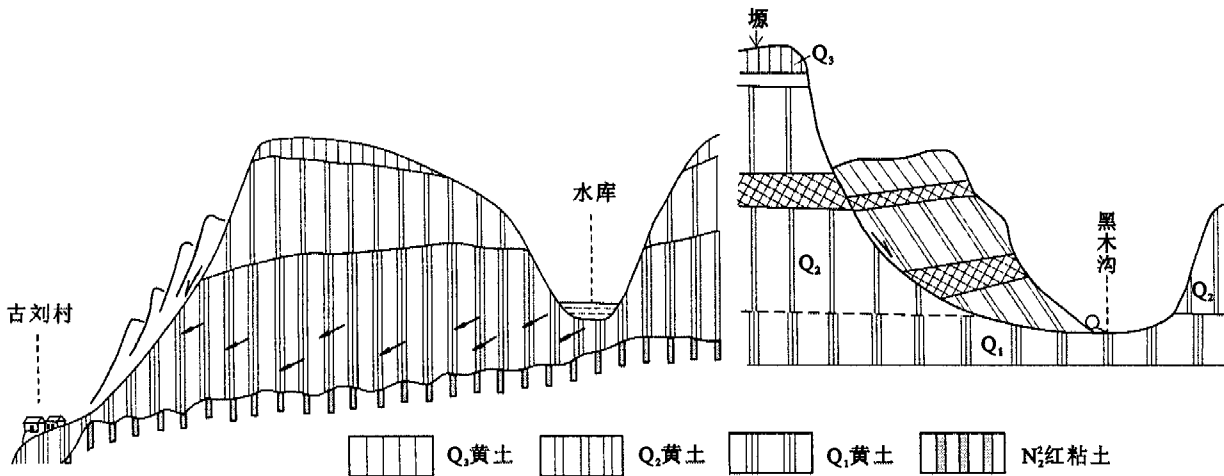


图 4 陕西古刘村、洛川秦家寨黄土内部滑坡<sup>[4,5]</sup>

Fig. 4 Landslide of loess at Guliu and Qinjiazhai, Shaanxi province.

动面能否形成。在上述三类滑坡中,滑动面的形成各有其不同的特点,黄土层内滑坡的滑动面位于黄土层中,而黄土—砾石—基岩滑坡的滑动面一般位于不透水的砾石层或红粘土层中,黄土—基岩混合滑坡的滑动面一般在黄土与基岩的不整合接触面上。

水在滑坡形成的过程中是不可缺少的基本条件,也是重要的触发因素之一。由于黄土具有特殊的架空孔隙结构,在遇水时力学性质发生很大变化,抗剪强度随着含水量的增大会显著下降,产生滑移。位于坡体结构面的地下水既软化结构面降低其强度,也是边坡失稳启动后加速滑动的润滑剂,这可能是地下水动水压力和浮托力在起作用。当黄土边坡处于极限平衡状态时,由拉张裂缝和土体渗入的水(降水、灌溉水等),对结构面的静水压力作用和加荷作用诱发边坡失稳。

黄土层内滑坡的主要影响因素是黄土的水解性。边坡地带黄土的天然含水量一般小于10%。当降水沿裂隙渗入或地下水排泄浸润后,使之达到饱和时崩解泥化,变为流塑体,内摩擦变为零,抗滑阻力只剩下粘聚力。而由于黄土为粉质土,粘聚力很低,是难以抗阻边坡土体滑动的。另外在斜坡的形成和发展过程中,由于河谷或沟谷不断深向侵蚀,斜坡临空面也随之扩大,斜坡地带的岩体或土体在自重压力作用下发生形变,向无侧压力的自由空间舒展,于是产生拉力,引起斜坡土体的拉张变形,形成减荷裂隙带,为斜坡的滑动形变奠定了基础。因此,其主要的影响因素为降雨、地下水位的变化以及由于水流对黄土斜坡的侵蚀作用。

黄土—砾石—基岩滑坡的主要影响因素,一个是水的作用,另一个是其特殊的地层结构。红色粘土层的粘性强,较密实,透水性差,具隔水的作用。在地下水的浸润下粘土膨胀、软化,容易形成滑动面,而且往往是产生大型黄土滑坡的初始条件。

黄土—基岩混合滑坡的滑动还与新构造活动有关,由于新构造运动是斜坡变形破坏的重要因素,常造成差异性升降而形成陡峭的斜坡,提供了有利

于滑塌的地形;新构造应力场对滑坡有一定的控制作用,构造节理常成为滑坡的软弱面;新构造运动中常形成地层倾斜、断层、褶皱、裂缝、裂隙、原生和次生节理等。各种原生结构(层理及垂直节理)、后生结构(构造、重力节理、裂缝等)与结构面的存在不仅破坏了黄土的完整性,而且为地表水的入渗,地下水的活动提供通道,既增加了土体边坡的静动水压力,又使黄土的可溶盐被溶滤,黄土湿陷且强度降低。

需强调的是,不合理的人为活动对黄土边坡的滑动起到了推波助澜的作用,这样的例子屡见不鲜。如提水灌溉能够引发黄土滑坡、不合理开挖也会引起黄土斜坡失稳等。人类应尽量避免由于自己的不合理活动给自身带来的灾害损失。

#### 4 结语

中国黄土主要分布在中西部地区,随着西部大开发,加强对黄土斜坡结构特点地分析,提示黄土滑坡的机理及开展相应的防灾对策研究,无疑会对黄土地区的经济资源开发和工程建设产生积极作用。本文仅对黄土斜坡的结构特点、各种不同类型滑坡的特征以及影响斜坡失稳的因素进行了初步探讨,但黄土滑坡是个多因素、综合作用的结果,今后应进一步对其进行详尽、系统地研究,以求最大限度地减轻黄土滑坡灾害损失。

#### [参考文献]

- [1] 张振中,段汝文,孙崇绍,等. 黄土地震灾害预测[M]. 北京:地震出版社,1999.
- [2] 王兰民,石玉成,刘旭,等. 黄土动力学[M]. 北京:地震出版社,2003.
- [3] 王家鼎,惠洪河. 黑方台台塬灌溉水诱发黄土滑坡群的系统分析[J]. 水土保持通报,2001,21(3):11-13.
- [4] 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.
- [5] 陕西省地质矿产局第二水文地质队. 黄河中游区域工程地质[M]. 北京:地质出版社,1986.
- [6] 吴玮江,王念秦. 黄土滑坡的基本类型与活动特征[J]. 中国地质灾害与防治学报,2002,13(2):36-40.