

# 渭北黄土塬区滑坡发育特征及分布规律研究

李 滨<sup>1,2</sup>, 吴树仁<sup>1,2</sup>, 石菊松<sup>1,2</sup>

(1. 国土资源部 新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

**摘 要:**该文利用野外调查、遥感解译、现场勘查等工作手段,分析了宝鸡渭河北岸黄土塬边滑坡的基本类型、发育特征及分布规律,宝鸡渭北黄土塬边滑坡主要受地质构造、河流侧蚀、地层岩性和人类活动等因素的影响,分布在渭河北岸、干河西岸、金陵河东岸、长寿沟等黄土台塬边斜坡地带,呈现不均衡性、成群成带性以及同一地点继发性与递进性等特点,滑坡发育分布密度最高可达 96.8%。此外,滑坡类型主要有黄土层内滑坡、黄土接触面滑坡、黄土切层滑坡三种类型,以黄土切层滑坡最为发育,占渭北塬区滑坡的 80% 以上,这类滑坡滑动面主要位于阶地黏土层、三趾马红土层和三门组黏土层中或其表面,滑坡规模巨大,威胁严重。

**关键词:**渭北黄土台塬; 滑坡; 基本类型; 发育特征; 分布规律

中图分类号:P642.22

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0212-05

## Research on Development Characteristics and Distribution of Landslides in Weibei Loess Tableland Area

LI Bin<sup>1,2</sup>, WU Shu-ren<sup>1,2</sup>, SHI Ju-song<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Neotectonic and Geohazard, Ministry of Land Resources, Beijing 100081, China;

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

**Abstract:** On the basis of field investigation, remote sensing interpretation and engineering geological survey, the basic types, development characteristics and distribution of landslides in Weibei loess tableland edge are analyzed. Due to the geological structure, the river lateral erosion, lithology, human activities and other factors, the maximum density of landslides is up to 96.8%, and landslides distribution in the Loess Plateau edge of the northern bank of Weihe River, the west bank of Qianhe river, the east bank of Jinlinghe river and Changshou gully. Landslides have the following characteristics: imbalances, group-occurring, secondary and progressive in the same pace and so on. In addition, the Baoji-Weibei landslides consist of three types: loess landslides, loess interface landslides and loess-hardclay cutting layer landslides. The last type of landslides is the most developed which accounts for 80% of the total number of landslides. Their sliding surfaces mainly locates among or between terrace clay, hipparion laterite and Pliocene hard clays. The scale of loess-hardclay cutting layer landslides is always huge and threatens Baoji City.

**Key words:** Weibei loess tableland; landslides; basic types; development characteristics; distribution

陕西省宝鸡市渭河北岸黄土塬边是我国黄土高原地区滑坡灾害的重灾区之一<sup>[1-7]</sup>,仅市区金台区北坡长 22 km,宽 0.5~0.9 km 的黄土塬边地带就分布有大型黄土滑坡体 38 处,占北坡斜坡面积总数的 96.8%,这些滑坡灾害造成过重大人员伤亡及财产损失。例如 1955 年 8 月 18 日渭北塬边卧龙寺滑坡,体积约 3 000 万 m<sup>3</sup>,坡体前缘将陇海铁路线向南推移

110 m,致使铁路中断数日,1971 年 5 月,卧龙寺滑坡后缘再次滑动,造成 28 人死亡,并毁坏宝鸡峡引渭渠<sup>[1]</sup>;1983 年渭北塬边因滑坡灾害造成 110 人死亡;20 世纪 80 年代簸箕山、狄家坡、斗鸡台等大型滑坡体局部重新活动,不仅威胁宝鸡峡引渭工程渠道和陇海铁路的安全,而且危及市区近 10 万人和城市基础设施的安全,严重制约了宝鸡社会经济的发展<sup>[1-9]</sup>。

收稿日期:2011-08-02

修回日期:2011-09-09

资助项目:中国地质科学院地质力学研究所基本科研项目(DZLXJK201010);中国地质科学院基本科研业务费项目(2010-SYS-18);国家“十一五”科技支撑课题“特大型滑坡早期识别及空间预测技术研究”(2006BAC04B02)

作者简介:李滨(1980—),男,山东滨州人,博士,助理研究员,主要从事黄土地质灾害研究。E-mail:libin1102@163.com

通信作者:吴树仁(1955—),男,湖北武汉人,博士,教授,博士生导师,主要从事地质灾害研究。E-mail:shrwu@cags.net.cn

本文在渭河北岸黄土塬区地质灾害详细调查的基础上,研究渭北黄土滑坡的基本类型、发育特征及分布规律,为宝鸡地区滑坡灾害防治和科学论证提供依据。

## 1 环境地质概况

宝鸡市位于陕西省关中平原西部,是“八百里秦川”的西端门户,又是连接我国中原和西南、西北的交通枢纽。研究区属典型的暖温带半湿润大陆季风气候,四季分明,多年平均降水量 675.7 mm,降水量 60%~70%集中在 6—9 月。宝鸡位于中国中部重要的大地构造分界位置上,北东接鄂尔多斯地块,南邻秦岭褶皱带,西为祁连构造带,受大的构造格局影响,研究区处于渭河断陷盆地西端的次一级构造单元宝鸡凸起中,北邻陕甘宁台坳,南、北西邻秦岭褶皱的北秦岭加里东褶皱带及六盘山断陷。区内新构造运动十分活跃,垂直差异性升降运动异常明显。渭河南部秦岭山区及北部塬区相对渭河断陷处大面积抬升,近东西向断裂大体以渭河为界,以北的断裂向南陡倾斜,以南断裂向北陡倾斜,构成了阶梯状下降的复式地堑盆地(图 1)。这些断裂构造活动为孕育地质灾害提供了有利的地质条件。

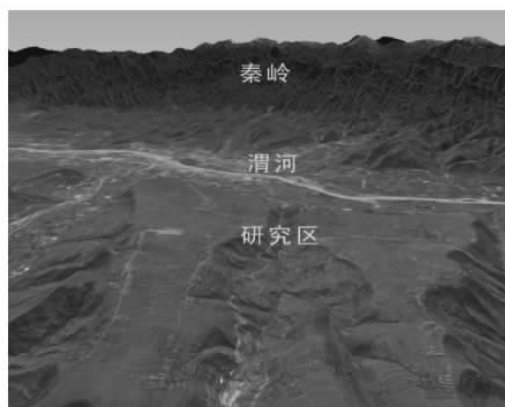


图 1 宝鸡地质环境遥感图

研究区位于渭河北岸断陷构造盆地,中更新世以来,渭河北岸地区间歇性上升,渭河相应下切,不同时期黄土覆盖在各期漫滩上,形成了现在从五级阶地堆积面到现代河川侵蚀基准面,高差达 150~210 m 的河谷斜坡,在渭河多期演变过程中,完整的阶地结构难以找到,在河流侵蚀及地下水作用下,五级阶地前缘斜坡产生了一系列古、老和新滑坡<sup>[10]</sup>。

## 2 渭河北岸黄土滑坡类型及发育特征

按照滑体物质组成及滑面位置,将渭河北岸黄土滑坡分为黄土层内滑坡、黄土接触面滑坡、黄土切层滑坡 3 种类型。

### 2.1 黄土层内滑坡特征

黄土层内滑坡(图 2)一般发育在厚层黄土组成的陡峭斜坡部位,主要分布于渭河北岸黄土塬边后缘高陡斜坡( $>50^\circ$ )地带、切割较深的支沟两岸。这类滑坡滑动面多位于马兰黄土地层内部,滑动面呈圆弧形,剪出口多是马兰黄土与离石黄土的接触部位,滑坡后缘垂直节理发育,有利于降雨入渗,长期的连阴雨及强暴雨是滑坡发生的诱发因素,这类滑坡规模较小,外形呈圈椅状。滑坡前缘剪出口较高且临空时,滑动距离一般较远。渭河北岸塬区黄土层内滑坡较少,典型实例如硖石沟沟口滑坡(图 3)、长寿沟刘家泉北滑坡等。

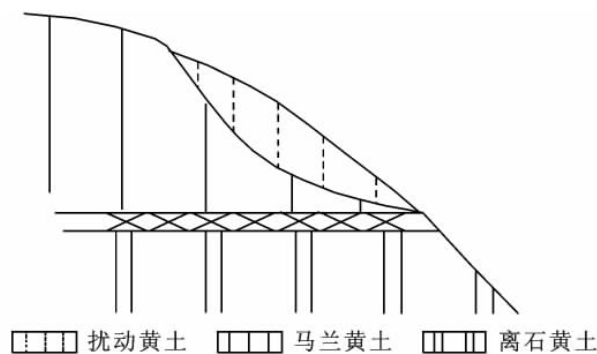


图 2 黄土层内滑坡地质结构示意图



图 3 宝鸡硖石沟沟口黄土层内滑坡

### 2.2 黄土接触面滑坡

黄土接触面滑坡(图 4)主要包括两种类型:一类是黄土—白垩系基岩滑坡,另一类是厚层黄土—三趾马红土滑坡。黄土—白垩系基岩滑坡多是风成马兰黄土披覆在白垩系基岩高低起伏的古地形之上形成的,上部黄土强度差,渗透性强,导致上部黄土在雨季或丰水年沿强度高的基岩面产生缓慢蠕滑变形,这类滑坡主要集中于渭河北岸硖石沟、六川河等区域,如图 5 所示。厚层黄土—三趾马红土滑坡由马兰黄土、离石黄土、午城黄土及三趾马红土构成,滑坡规模属于中—大型,主滑面位于黄土与三趾马红土接触面,在持续降雨或灌溉季节,地表水通过黄土的垂直渗透补给,加之原有地下水的作用,使三趾马红土表层古风化层黏土饱和、孔隙水压力增加,有效应力减小,

从而形成滑动带,引起大中型滑坡的发生,该类滑坡多发生在渭河北岸长寿沟上游、金陵河焦家沟、硖石

沟中上东岸地段,典型实例白头窑滑坡(图 6)、焦家沟滑坡群等。

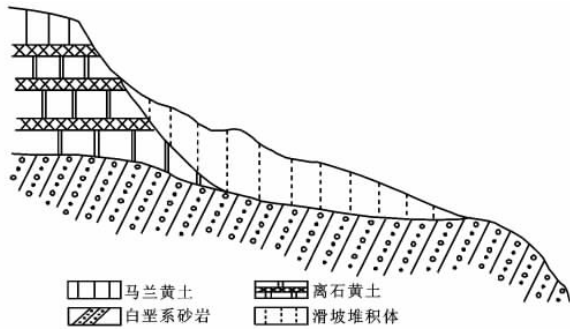


图 4 黄土接触层地质结构示意图

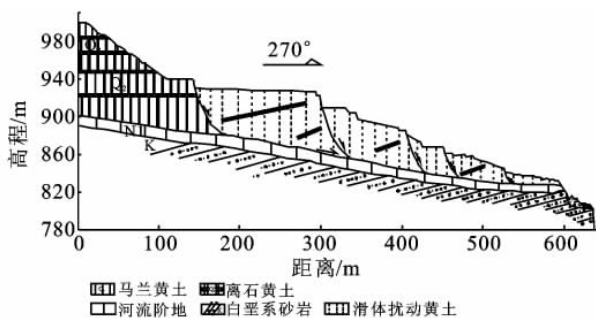


图 6 宝鸡白头窑黄土—三趾马红土接触层滑坡剖面图

### 2.3 黄土切层滑坡

黄土切层滑坡是宝鸡渭北塬区最为主要的灾害类型,根据滑体地层岩性结构不同组合有以下三种类型:厚层黄土—河流阶地—三门系黏土滑坡、厚层黄土—河流阶地滑坡和厚层黄土—三趾马红土—三门系黏土滑坡。

(1)厚层黄土—河流阶地—三门系黏土切层滑坡。该类滑坡主要发生在千河河口以西渭河北岸、金陵河下游东岸、长寿沟中下游地段的黄土台塬塬边,滑体主要由马兰黄土、离石黄土及渭河四五级阶地、上新世三门组砂砾石层及黏土层构成,滑坡一般规模大,厚度深且毗连成群,新老迭置,往往形成大型、特



图 5 宝鸡六川河黄土—白垩系基岩滑坡

大型乃至巨型滑坡,典型的滑坡如渭河北岸的福临堡滑坡、金顶寺滑坡(图 7a)、店子街滑坡、长乐塬滑坡(图 7b)、卧龙寺滑坡、簸箕山滑坡、狄家坡滑坡等。

该类滑坡主滑面深入至河流阶地基座的上新世三门组红棕色或红色砂质硬黏土中或其表面,滑体后缘处滑面最大深度一般超过 90 m,前缘坡脚滑面位置一般在地面 25~35 m 以下。滑坡后缘滑壁较陡,倾角一般为  $60^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ,后缘深部滑面近圆弧形,中部主滑段平缓近水平,前缘滑面呈圆弧状反坡翘起。

这类滑坡多发生在黄土塬边,由于塬边斜坡高差大,临空好,滑坡沿勺形滑带滑动时往往规模巨大,产生很大动能,在滑体内多组剪切应力和扭转应力作用下,滑坡体沿新构造运动错动面产生多组旋转式滑动面,形成多级滑坡,例如金顶寺滑坡(图 7a)、卧龙寺滑坡等。滑坡滑动后,在水平方向上沿滑动方向具有明显的岩性分带特征,滑坡前缘阶地砂砾石层及红棕色硬黏土层反坡翘起,向后至滑体中部阶地砂砾石变薄逐渐消失,其余部位多以黄土覆盖。目前从滑坡形态结构上看,除新滑坡保存较完整外,古、老滑坡多受后期地质作用的改造,使其原有形态和结构遭受破坏。

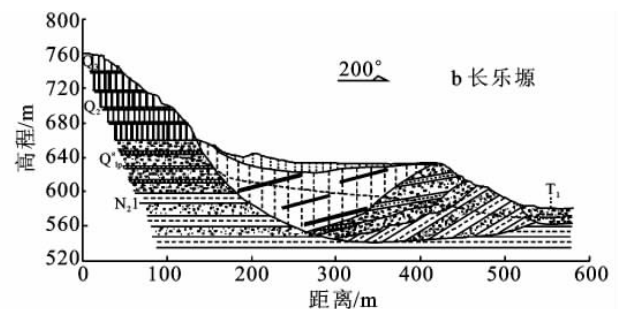
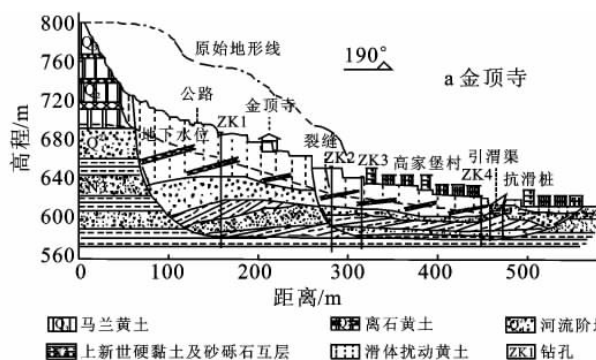


图 7 宝鸡金顶寺、长乐塬厚层黄土—河流阶地—三门系黏土切层滑坡剖面图

(2)厚层黄土—河流阶地滑坡。这类滑坡主要分布在千河以东渭河北岸黄土台塬塬边,滑坡体主要由

马兰黄土、离石黄土和河流阶地组成,滑坡体岩性单一,变化一般不明显。滑坡体的结构比较简单,滑体

滑动时形成多个台阶,台阶高差 5~10 m,节理裂隙发育;滑坡后缘凹槽发育较少,前缘土体臃肿结构缺失,垂直滑动方向上因多级滑动,形成多个滑坡块体。滑坡经后期地质作用改造多呈 15°~25°的缓坡或阶梯状地形,前缘较为平缓。典型的滑坡实例如蔡家坡滑坡、陕棉九厂滑坡、杨家村滑坡(图 8)、魏家堡滑坡等。

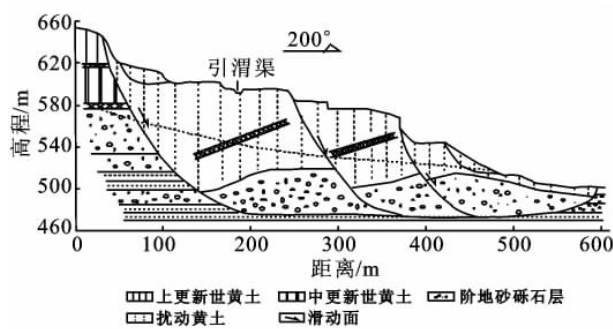


图 8 宝鸡杨家村厚层黄土—河流阶地切层滑坡剖面图

(3)厚层黄土—三趾马红土—三门系黏土滑坡。该类滑坡发生在长寿沟中上游、金陵河中上游西岸黄土塬边,滑体主要由马兰黄土、离石黄土、午城黄土及三趾马红土、三门系黏土层构成,滑坡一般规模大,往往形成大型、特大型滑坡。主滑面位于三门系黏土层中,主滑段较为平缓或近水平,一般具有多个滑动面。例如长寿沟刘家泉滑坡(图 9)、朱院滑坡等。

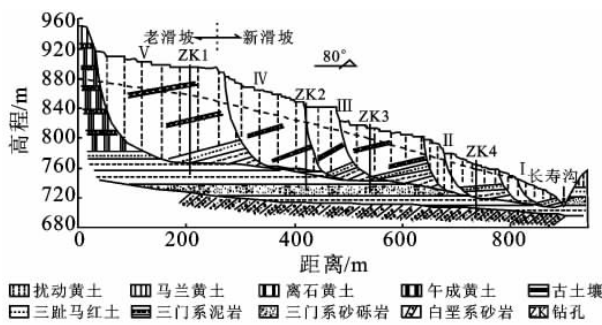


图 9 宝鸡刘家泉厚层黄土—河流阶地切层滑坡剖面图

### 3 渭河北岸黄土滑坡分布规律

受地形地貌、构造和工程岩土体性质的控制和制约,渭河北岸黄土滑坡具有一定的空间、时间发育分布规律。

#### 3.1 滑坡空间分布特征

从渭河北岸黄土塬边滑坡灾害发育分布图(图 10)上可以看出,滑坡发育分布具有区域分布的不均衡性和不对称性、成群成带性以及同一地点继发性与递进性等特点及规律。

(1)滑坡发育不均衡性和不对称性。区域上,研究区滑坡主要分布在渭河北岸,金陵河东岸,长寿沟和千河西岸等区域(图 11)。由于渭河北岸大断裂新

构造运动期强烈上升、河流不断下切,造成河流两岸滑坡发育极不对称和不均衡,如渭河北岸黄土塬边、金陵河左岸黄土塬边、长寿沟两岸黄土塬边和硖石沟左岸黄土塬边地带滑坡发育密度高,而金陵河右岸、硖石沟右岸塬边地带滑坡极少发育。此外,受地层岩性高程和地下水渗流方向的控制,渭河及其一级支流或冲沟交汇处、地下水排泄区的黄土塬边多发育滑坡灾害,千河以西渭北台塬由于上新世的三门组的红棕色硬黏土和三趾马红土易滑地层出露,导致大型滑坡发育密度远大于千河以东黄土塬区。

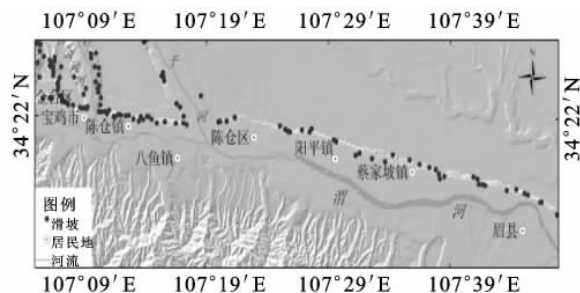


图 10 渭河北岸黄土塬区滑坡灾害分布

(2)滑坡发育成带成群性。渭河北岸黄土塬边滑坡往往在黄土塬边集中、成群成带发育着多个大型滑坡群,滑坡之间相互镶嵌、新老迭置、彼邻相连,如长寿沟滑坡带、焦家沟滑坡群、金陵河左岸滑坡群、渭河北岸福临堡—高升堡—狄家坡—金大堡—卧龙寺滑坡带(图 11),其中在渭河北岸长达 22 km 的黄土塬边地带分布着滑坡 38 个,滑坡占斜坡地带长度的 96.8%,是一个大型的滑坡带,形成了大量的新、老、古滑坡叠置的现象。

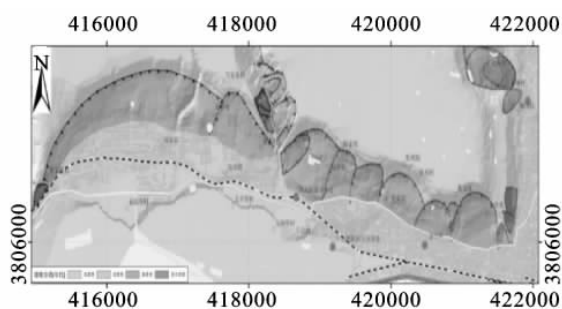


图 11 宝鸡市区渭河北岸福临堡—金台观大型滑坡成群成带分布

(3)同一地点滑坡继发性与递进性。渭河北岸黄土塬边许多滑坡在地质历史上在滑坡后缘或滑坡体多次失稳滑动,滑坡规模逐渐扩大,滑坡破坏范围递进式扩展,出现了在同一地点就形成了古、老、新滑坡全部发育,新老叠加的现象。如卧龙寺滑坡、刘家泉滑坡、朱院滑坡等。卧龙寺滑坡 1955 年、1958 年、1975 年在刘家台老滑坡基础上三次大规模发生滑动,目前在滑坡的后缘平台仍存在多条裂缝;宝鸡市

区北坡簸箕山滑坡属大型老滑坡,20 世纪 80 年代起滑坡中部出现数条裂缝并逐年扩张,后经治理目前稳定,因此渭河北岸黄土塬边滑坡具备在同一地点多发、继发及递进的特点。

### 3.2 滑坡时间分布特征

渭河北岸黄土塬边滑坡的发育演化受区域新构造运动、气候及河流下切等内外动力地质作用周期性变化的控制 and 影响<sup>[1-2,5-6]</sup>,地质历史中呈现出与其相关联的相对活跃和平静的周期性变化,大致可以分为 4 个周期,即古滑坡活跃期、老滑坡活跃期、新滑坡活跃期和现代滑坡活跃期。胡广韬<sup>[1]</sup>曾就此问题提出了“滑坡营力因素和原因的历史转化性”的观点。进入第四纪以来,受鄂尔多斯地块处于北仰南俯的不均衡上升状态的影响,渭河北岸黄土塬边长期处于新构造运动上升、河流向东南汇流下切的环境中,加之研究区斜坡结构中软弱地层的广泛分布,因此区内发育了大量不同时期的滑坡。

此外,滑坡在一年之内同样具有一定的规律性,这主要是受某些外界因素的影响,如研究区年降雨量多集中在汛期,以暴雨和连阴雨相继降落,而这期间恰是区内滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害最主要的发生期。因此外界自然条件的影响和控制也是滑坡年内分布不同的一个重要因素。

## 4 结 论

(1)宝鸡渭北黄土塬边受地质构造、河流侧蚀、地层岩性和人类活动等因素影响,滑坡灾害点多面广,发育密度极高,在区域上分布具有不平衡性、成群成带性以及同一地点继发性与递进性等特点,重点分布在渭河北岸、千河西岸、金陵河东岸、长寿沟等黄土台塬塬边斜坡地带;其中,在渭河北岸黄土塬边为新构造运动活动区域,大型滑坡发育分布密度最高可达 96.8%。

(2)渭北黄土塬边主要发育有黄土层内滑坡、黄土接触面滑坡、黄土切层滑坡三种类型,其中,主要以黄土切层滑坡最为发育。

(3)黄土切层滑坡根据地层岩性的不同组合又可分为厚层黄土—河流阶地—三门系黏土滑坡、厚层黄土—河流阶地滑坡和厚层黄土—三趾马红土—三门系黏土滑坡三种类型,这些类型滑坡主要由马兰黄土、离石黄土及渭河四五级阶地、三趾马红土、上新世三门组砂砾石层及黏土层构成,滑动面主要位于阶地黏土层、三趾马红土层和三门组黏土层中或其表面,滑坡一般规模大,厚度深且毗连成群,新老迭置,往往形成大型、特大型乃至巨型滑坡,对宝鸡市区构成威胁。

### 参考文献:

- [1] 胡广韬. 滑坡动力学[M]. 北京:地质出版社,1995.
- [2] 胡海涛,项式均,王肇芬,等. 关中西部滑坡的结构、构造特征及稳定性分析[J]. 地质学报,1965,45(4):435-465.
- [3] 孙广忠. 西北黄土的工程地质力学特性及地质工程问题研究[M]. 兰州:兰州大学出版社,1989.
- [4] 刘传正,张明霞,邹正盛,等. 宝鸡市狄家坡滑坡稳定性研究[J]. 工程地质学报,1998,6(2):93-103.
- [5] 王景明. 渭河裂谷区活断层对地质灾害的制约[J]. 水土保持学报,1988,2(3):29-36.
- [6] 程谦恭. 论渭河盆地现代山崩滑坡和地裂隙灾害的活动周期[J]. 水土保持学报,1989,3(3):71-83.
- [7] 李滨. 多级旋转型黄土滑坡形成演化机制研究[D]. 西安:长安大学,2009.
- [8] 刘哲民,张永翔. 宝鸡城区北坡土壤侵蚀及其防治[J]. 水土保持通报,2005,25(5):75-77.
- [9] 毕令娴,邱本仁. 宝鸡黄土塬区马兰黄土湿陷特性探讨[J]. 陕西地质,2004,22(2):94-100.
- [10] 陈云,童国榜,曹家栋,等. 渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应[J]. 地质力学学报,1999,5(4):49-55.