

熊 炜, 范 文. 秦巴山区浅表层滑坡成灾规律研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 228 – 233. [Xiong Wei and Fan Wen. Disaster Law of Shallow Landslide in Qin-ba Mountain Region[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 228 – 233.]

# 秦巴山区浅表层滑坡成灾规律研究<sup>\*</sup>

熊 炜, 范 文

(长安大学 地质工程系, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**以陕南秦巴山区的紫阳县域为例,通过对全县地质环境与地质灾害的详细调查,总结了浅表层滑坡的时空分布规律,分析了滑坡的各种致滑因素,在此基础上,将滑坡整个发展演化划分为四个阶段,并从破坏形式上将其归纳为两类力学模式和6种表现形式。结果表明,秦巴山区内浅表层滑坡受地形地貌、地层岩性、地质构造、气象水文、人类活动等因素影响非常敏感,尤其表现为滑坡灾害与暴雨同期,但受物源条件限制大规模灾害之间存在9~10年的平静期。浅表层滑坡特有的发展演化可划分为表层卸荷阶段、加速风化阶段、风化堆积阶段、浅表层滑坡发生阶段等四个阶段,根据其变形破坏特征归纳为剧滑—平推和蠕滑—拉裂两种力学模式以及6种表现形式。

**关键词:**地质灾害;秦巴山区;浅表层滑坡;成灾规律;破坏模式

**中图分类号:** P642.22; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)01-0228-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.01.040

秦巴山区经历了长期的构造发展与演化,具有错综复杂的岩性和岩体结构,是一个独具特色的复合型大陆造山带。区内地形地貌复杂,软弱变质岩系广泛发育,降雨强度大、频率高,导致滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害极为发育<sup>[1-4]</sup>。加之区内交通不便,经济文化落后,造成区内工民建筑物质量普遍较差,其承灾能力极为低下<sup>[5]</sup>,成为全国地质灾害多发,且损失大、防治难的典型地区之一。近年来大量工程建设在区内开展,但受到自然条件制约,加上近年来极端气候不断出现<sup>[6]</sup>,区内地质灾害频发不断,表现出频率高、强度大、范围广、数量多,且呈现群发、突发、暴发、灾种转化及链生成灾的特点<sup>[7-8]</sup>,造成人身伤亡和财产损失的案例不计其数<sup>[9]</sup>,既延缓了工程建设工期,还影响了当地人民正常的生产、生活,也给国家造成巨大的经济损失。

陕西省南部的秦巴山区历年来都是地质灾害的高发区。据不完全统计<sup>[2-6]</sup>,1980~2012年期间,陕西省共发生崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害近万起,死亡超过1.2万余人,且多数发生在陕南秦巴山区。

研究依托陕西省紫阳县地质灾害详细调查(1:50 000)项目,得出以下初步结论:全县共调查出791处滑坡灾害,其中尤以中小型的浅

表层土石混合体滑坡灾害最为常见<sup>[7-9]</sup>,比例高达98.1%,共计776处,且危害性最大。故开展秦巴山区浅表层滑坡成灾规律研究对于区内地质灾害防灾减灾工作具有重要的实际意义和实用价值。

## 1 秦巴山区浅表层滑坡时空分布规律

### 1.1 浅表层滑坡的时间分布规律

浅表层滑坡往往与暴雨同期,表现出强烈的时间分布不均匀性,图1为滑坡数量年际分布图,其规律表现如下:

①已查明的滑坡多发生在2010年“7.18”和2000年“7.13”,尤其是2010年,滑坡个数达621个,占滑坡总数的80%,而根据当地气象资料,2010年“7.18”全区普降暴雨,过程降雨量高达175.1 mm,为10年之最。此外,2000年6月2日

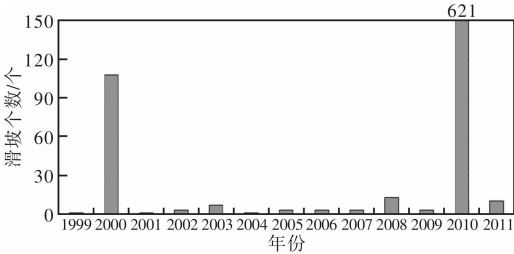


图1 滑坡数量年际分布图

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013-05-22 修回日期: 2013-07-18

基金项目: 国家自然科学基金(41272282); 中国地质调查局地质调查工作项目(1212011220135); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2013G1261061)

作者简介: 熊炜(1984-),男,陕西汉中,博士,讲师,主要从事地质工程与地质灾害方面的研究。E-mail: s06260056@163.com



量与坡度成反比关系，坡度过陡时反而不利于雨水下渗，对陡坡深部的岩土体性质影响较小。图3还能看到，滑坡发生后坡度有所降低，但与大中型滑坡相比，变化并不十分明显，这也是浅表层滑坡规模较小，对地形改变不大的特点。

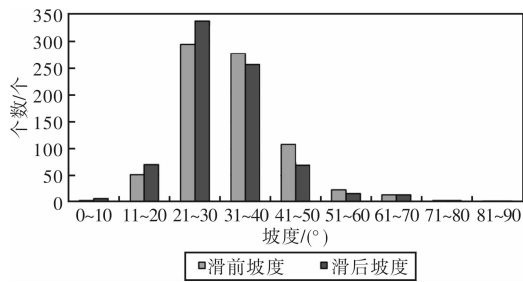


图3 坡度因素区间分布图

从图4看到，滑坡多发育于原始坡高在20~80 m的区间，占全部滑坡的68.3%。调查时发现滑坡多分布在坡度较缓、坡积物较厚的坡体前缘，相应的单级坡高也不会很大，故坡高因素对浅表层滑坡影响较小。

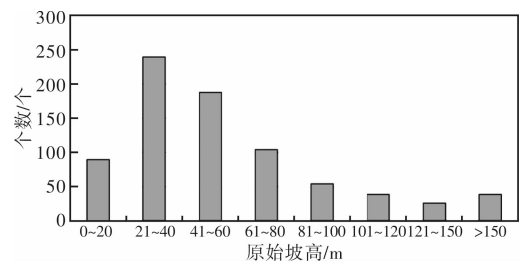


图4 坡高因素区间分布图

2.2 岩性软弱且复杂多变是浅表层滑坡形成的物质基础

秦巴山区以变质岩系为主，岩体片理、劈理发育，岩体物理力学性质较差，尤其在卸荷及风化共同作用下，岩体节理贯通，极易形成由表向里渐进式发展的浅表层滑坡灾害。

(1)岩体风化形成了滑坡物源

区内软弱变质岩发生的风化作用包括常见的物理风化、化学风化和生物风化，且三种风化类型同时或交叉发生，且以物理风化最为重要。

通过对区内浅表层滑坡的统计(图5，射线状代表坡向，圆环代表坡角)，朝南的滑坡数量明显多于朝北的滑坡，而南北坡最大的区别是接受阳光照射的程度不同导致昼夜、季节性温差较大，易产生风化破裂。

(2)软硬岩相间是不利的岩性条件

区内以变质岩为主，但三大岩类在区内均有出露，存在各种复杂的岩性交错情况：一种为变质岩形成时，难于变质的层状砂岩与变质岩形成

交错或互层；另一种为变质岩成岩后，岩浆岩侵入体形成局部岩性突变，而两种岩石硬度和物性差别较大，在接触面上易形成应力集中区，造成侵入岩体周围的变质岩更加易碎易滑；第三种为受构造应力影响，造成硬岩发生断裂、倒转，软岩发生大位移塑性变形，形成岩性不均。

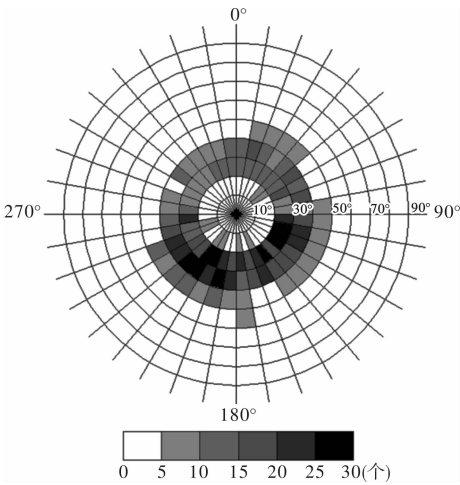


图5 浅表层滑坡坡向、坡度分布图

2.3 构造活动对浅表层滑坡起促进作用

秦巴山区经历了印支、燕山、喜山等多次大规模造山运动，岩体中受到复杂应力作用，变形破坏极为严重，具体表现在形成大量褶皱、断层，造成岩体破碎、松动，极易被风化剥蚀，并且在多因素耦合作用下易发生滑坡破坏，尤其在区域性大断裂的位置，其特征表现更为强烈。

2.4 气象水文是浅表层滑坡致滑的导火索

紫阳县滑坡灾害的发生与暴雨天气基本一致，且暴雨强度大，短时间内造成坡体浅表层残坡积物含水量陡增，是形成浅表层滑坡的重要致滑因素。

降雨以地表水和地下水两种形式影响坡体稳定性，一部分雨水渗入残坡积层引起岩土体容重增加，并且使岩土颗粒表面形成水膜，降低摩擦系数，另一部分雨水以地表径流形式排泄，地表水流对坡面造成冲刷，带走细粒物质，大大降低岩土粘聚力，并使坡面形成大大小小的冲刷沟槽，降低坡面稳定性，雨后常能观察到大量的地表径流和地下水排泄点。

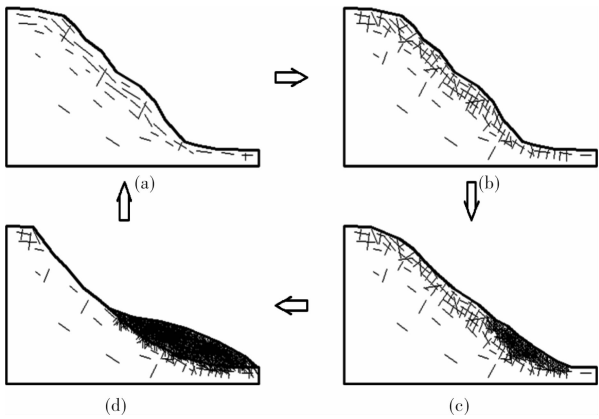
2.5 人类活动加剧了浅表层滑坡

秦巴山区浅表层滑坡与人类活动关系极为密切。通过对紫阳县全县的地质灾害详细调查发现，97.6%以上的浅表层滑坡都是发生在人类生产、生活活动频繁的地区，如公路、铁路沿线，工矿厂区，村镇居民宅基地，大范围的斜坡耕地等，而完全在自然条件下形成的天然斜坡极少发生滑动。

因为自然条件下, 坡体经过长期因素耦合作用, 基本保持稳定状态。人类活动则改变了坡体的原始平衡, 主要是对坡形改变, 比如斩切坡脚、挖断斜坡、填方堆载等, 造成坡体内应力失衡。此外, 人类活动还造成植被破坏, 地下水、地表水的径流方式改变, 岩体风化加速, 使滑坡更易形成, 所以说人类活动加剧了浅表层滑坡。

3 浅表层滑坡的发展演化阶段

秦巴山区滑坡灾害通常以中小规模为主, 滑坡厚度多是 10 m 以内的浅表层滑坡, 主要是因为秦巴山区的浅变质岩岩性软弱, 在长期构造应力作用下, 发生变形、破碎, 岩体内结构面极为发育, 表层岩体在雨水、温度等影响下易发生风化, 边坡内、外岩体的风化程度和岩体力学性质也存在较大差异, 当风化层不能满足自身稳定性时便发生失稳崩滑, 风化一层剥落一层, 故一般崩滑规模都不大。通过对紫阳县大量滑坡的调查, 总结起来将其发展演化划分为四个阶段: 表层卸荷阶段、加速风化阶段、风化堆积阶段、浅表层滑坡发生阶段, 且四个阶段不间断地循环进行(图 6)。



(a) 表层卸荷阶段 (b) 加速风化阶段  
(c) 风化堆积阶段 (d) 滑坡发生阶段

图 6 浅表层滑坡发展演化的各个时期

(1) 表层卸荷阶段

坡体由于开挖或之前发生滑坡, 深层新鲜岩体暴露于地表, 岩体在竖向向上受到的压应力降低, 表层岩体卸荷回弹, 甚至出现张应力, 且越靠近坡面, 张应力值越大, 产生一系列平行于坡面的张裂隙。此时若岩体原生劈理平行于坡面, 或在背斜两翼部位, 则很容易形成贯通的张裂隙。

(2) 加速风化阶段

表层岩体产生大量卸荷裂隙后, 岩体完整性降低, 地表水顺着岩体裂隙渗入, 在水、温度、

CO<sub>2</sub> 等共同作用下, 发生物理风化和化学风化, 岩体进一步破碎, 且破裂面逐渐向深层扩展, 激发深层的岩石出现破裂面。

(3) 风化堆积阶段

表层产生的强风化碎石, 在重力作用下逐渐向坡脚堆积, 使坡脚处角度越来越缓, 堆积层越堆越厚, 而坡体上部则出现后退式剥落, 整个坡体处于自适应微调平衡状态。

(4) 浅表层滑坡发生阶段

当出现强降雨、地震、人工活动等外部因素的影响, 强烈改变坡体自身稳定时, 将发生大规模、突然爆发的破坏, 此阶段对人类危害最为严重。

4 研究区浅表层滑坡变形破坏模式

浅表层滑坡的破坏深度较浅, 是由所处的地质环境条件所决定, 通过对比研究区内滑坡内部受力变形机制, 总结了两种典型的力学破坏模式以及 6 种表现形式。

4.1 浅表层滑坡变形的力学模式

浅表层滑坡的滑带位置及形态受控于岩土结构面的发育程度, 根据滑坡变形破坏特征从力学机制上将其归纳为剧滑—平推和蠕滑—拉裂两种模式。

(1) 剧滑—平推模式

当浅层强风化—全风化残积层岩体内存在顺坡向陡倾结构面时, 滑带形式有两种, 一种是强风化岩体结构面受剪破坏并沿贯通性较好的结构面发生挤压式滑动, 其滑面根据结构面形状呈近直线型, 滑体中往往含有一定数量的大尺寸块石。另一种是坡积物直接覆盖在顺坡向光滑基岩上, 当坡积物堆积到一定程度并有外力促使作用下, 便沿接触面发生滑坡。这种破坏特点是发生阶段时间短、速度快、频率高, 蠕滑阶段不明显或极短暂, 短时间内极速释放能量, 产生较大威力。

(2) 蠕滑—拉裂模式

一般发生在无顺向结构面的坡体中, 滑体物质以坡积物为主, 含有部分全风化残积土石混合体。滑面与土质滑坡类似, 成圆弧状, 但滑面位置受岩土风化强度限制, 越向坡体内部岩体风化程度越弱, 所以滑面位置都较浅, 无固定滑面或滑面不明显。这种破坏模式发展缓慢, 有明显的蠕滑阶段, 很大一部分坡体在降雨条件下发生蠕滑, 表现为后缘裂缝、前缘鼓胀, 随降雨结束蠕滑也逐渐停止, 再次降雨坡体又继续蠕滑, 有的甚至始终为蠕滑变形, 无剧滑阶段。这种破坏模

式的滑坡广泛分布于整个斜坡地带,由于坡体在蠕滑阶段运动缓慢,具有隐蔽性,容易使人麻痹大意,对当地居民危害极大。

#### 4.2 浅表层滑坡变形破坏的表现形式

由于不同坡体所处的地质环境存在较大差别,造成滑坡的规模、形状等表现出多种形式。

##### (1)整体滑出型

这种破坏在区内最为常见,其特点是原始坡度较大(一般 $>34^\circ$ ),滑坡发生时间短、能量大、毁灭性强。滑坡时滑体快速滑动,并完全滑出,滑坡结束后滑体堆积于坡脚,滑面完全出露,局部地形改变,调查时易被发现。该破坏形式多见于两种情况下:①坡体前缘为被开挖或侵蚀的陡坡,坡体物质较均匀,原始地形以凸形坡为主;②上部覆盖层覆盖在顺向基岩上的陡坡,降雨时下滑力在短时间内大大超过抗滑力,而发生整体剧烈的滑动。

##### (2)后缘坐滑型

后缘坐滑型多发生于推移式滑坡中,由于坡体后缘稳定性较差而发生下挫,增加前缘未滑动坡体重量,导致失稳破坏。坐滑型滑坡主要表现在后缘首先出现张拉裂缝,并发生下滑形成台坎,推动前部发生滑动,但前部滑动量明显小于后部,形成凸型滑坡。这种破坏形式多出现坡体下部及坡上上陡下缓的位置,或前缘存在支挡的情况。

##### (3)前缘牵引型

前缘牵引型破坏主要是由于坡体前部失稳滑动,后部失去支撑,滑坡规模不断增大的破坏形式。其受力与后缘坐滑型相反,后部稳定性好,而前部稳定性较差。这类滑坡发生初期,前部坡体出现裂缝并滑动,若不及时治理和防范,很快后部发生再次滑坡,当滑动次数较多时便形成了一级一级的叠瓦状滑坡,且后一级覆盖在前一级之上。

##### (4)破碎分离型

破碎分离型破坏主要出现在坡体形状不规则、组成物质不均匀、表面植被覆盖不平衡的坡体上。这种破坏最主要的特点是整个坡体哪里不稳哪里滑,滑动规模都很小,坡面破坏杂乱。具体表现在,土层坚硬密实的地方不滑、松软的地方滑,局部地形陡的地方滑、缓的地方不滑,植被覆盖良好的地方不滑、无植被覆盖的地方滑。这种破碎分离型破坏本质是多个小型滑坡单元的组合物,往往出现在人为活动比较集中的区域,破坏耕地、房屋。

##### (5)带状长舌型

带状长舌型破坏一般发生在暴雨期的陡坡上,

由于两侧岩土体性质较好,或植被覆盖较好,造成一个窄带内残坡积层失稳破坏,形成带状滑坡,外形类似于坡面泥石流,但其滑体是以固态形式滑落为主。滑坡时由于坡度较陡,滑体聚集了较大的能量,一旦出现失稳迹象很快便发生滑坡,上部滑体对下部滑床形成铲刮作用,滑面清晰可见,滑坡后两翼失去支撑,滑坡极有可能向两翼方向发展。

##### (6)坡面漫流型

这种破坏也极为常见,破坏面很浅,仅几十厘米,属于表层破坏。破坏时由于坡面在自然或人为条件下形成沟、槽、坎、洞等不良微地形,造成坡面不均匀滑动,滑体散碎无固定形状,一次滑动后仍然可以再次滑动,形成类似于流体的漫流式破坏。

## 5 结论

通过对紫阳县地质灾害调查,揭示秦巴山区浅表层滑坡的成灾规律,结论如下。

(1)秦巴山区广泛发育的软弱变质岩,表现出易风化、易剥蚀的特点,是秦巴山区浅表层滑坡的物质基础。浅表层滑坡的空间分布规律表现为在区域性地质构造带和人类活动频繁的地区滑坡密度高,反之密度降低;其时间分布规律表现为在物源充足的情况下,滑坡与暴雨同期,暴雨是浅表层滑坡发育的必要非充分条件。

(2)与普通滑坡存在较大区别,浅表层滑坡的发展是循环往复的,整个演化过程可分为表层卸荷阶段、加速风化阶段、风化堆积阶段和滑坡发生阶段。

(3)秦巴山区浅表层滑坡的变形破坏可归纳为剧滑—平推和蠕滑—拉裂两种力学模式,而滑坡破坏的具体表现形式可分为整体滑出型、后缘坐滑型、前缘牵引型、破碎分离型、带状长舌型、坡面漫流型。

## 参考文献:

- [1] 熊炜,范文,李喜安.竹林关大柴沟大型泥石流的形成机理与发展趋势[J].灾害学,2012,27(4):92-97.
- [2] 陕西省山洪灾害防治规划编写组.陕西省山洪灾害防治规划报告[R].西安:陕西省水利厅,2004.
- [3] 陈勇,谭燕,茆长宝.山地自然灾害、风险管理与避灾扶贫移民搬迁[J].灾害学,2013,28(2):136-142.
- [4] 陕西省减灾协会.秦巴山区山地自然灾害[M].西安:世界图书出版西安公司,1999.
- [5] 文彦君.陕西省自然灾害的社会易损性分析[J].灾害学,

2012, 27(2): 77-81.

[6] 杜继稳. 降雨型地质灾害预报预警[M]. 北京: 科学出版社, 2010.

[7] 范文, 曹琰波, 邓龙胜, 等. 陕西省紫阳县地质灾害详细调查报告[R]. 西安: 长安大学, 2012.

[8] 范文, 熊炜, 杨志华, 等. 秦巴山区浅表层滑坡变形破坏机理年度总结报告[R]. 西安: 长安大学, 2011/2012.

[9] 熊炜. 秦巴山区软弱变质岩浅表层滑坡成因机理研究[D]. 西安: 长安大学, 2012.

[10] 紫阳县志编委会. 紫阳县志[M]. 西安: 三秦出版社, 1989.

Disaster Law of Shallow Landslide in Qin-ba Mountain Region

Xiong Wei and Fan Wen

(Department of Geology Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on detailed investigation on geological environment and hazards of Ziyang County in Qin-ba mountain region of south Shaanxi province, spatial and temporal distribution of shallow landslide is summed up and the various factors of landslide induced slip are analyzed. On this basis, the whole landslide evolution is divided into four stages and summarized into two mechanical modes and six kinds of manifestations from the destruction form. The results show that shallow landslides in the area are quite sensitive to factors as topography, lithology, geological structure, meteorology, hydrology, human activities and so on. Especially, the landslides are often performed with heavy rain, large-scale disaster is also controlled by provenance conditions, and the quiet period would be about 9-10 years between two disasters. The peculiar evolution of shallow landslide can be divided into four stages as surface unload stage, accelerated weather stage, weather and accumulation stage, and shallow landslide-occurring stage. According to deformation and failure characteristics, shallow landslides are summarized into two kinds of mechanical models that are dramatic slide-horizontal push and creep-pull split, as well as six kinds of manifestations.

**Key words:** geological disaster; Qin-ba mountain region; shallow landslide; disaster law; failure mode

《灾害学》杂志 2014 年征订启事

作为被北京大学图书馆《中文核心期刊要目总览 2011 版》收录, 2013-2014 年度中国科学引文数据库(CSCD)来源期刊及 2013-2014 年度 RCCSE 中国权威学术期刊的《灾害学》杂志是在知名学者和社会名流(钱学森、于光远等)的关注下, 把灾害问题作为一门科学的我国最早(1986 年)创办的灾害类科技期刊。《灾害学》杂志旨在对各种灾害(自然灾害和人文灾害)进行综合系统地探讨研究; 通过对各种灾害事件的分析讨论, 总结经验, 吸取教训; 广泛交流灾害科学的学术思想、研究方法、研究成果; 报导国内外关于灾害问题的研究动态和防灾抗灾对策; 揭示和探索各种灾害发生演化的客观规律; 目的是提高人类抗御灾害的科技水平和能力, 最大限度地减少灾害损失。

2014 年《灾害学》杂志仍为季刊, 每季初月 20 日出版, 铜版纸印刷, 大 16 开, 220 页码, 彩色插页, 国内统一刊号: CN 61-1097/P。

《灾害学》杂志 2014 年定价每期为 50 元, 全年 200 元(含邮费)。另外, 编辑部还存有少量 2005-2013 年的精装合订本, 每册定价 150 元。

《灾害学》杂志编辑部热忱欢迎广大读者和作者订阅本刊。订阅方式有:

(1)通过邮局直接汇款至编辑部, 即: 西安市碑林区边家村水文巷 4 号《灾害学》编辑部, 邮编: 710068, 联系电话(传真): 029 88465341。

(2)通过银行转帐, 单位: 《灾害学》编辑部; 帐号: 3700023109014486285; 开户行: 工行西安市含光路支行。

(3)也可通过全国非邮发报刊联合征订服务部征订。地址: 天津市大寺泉集北里别墅 17 号; 邮编: 300385; 订阅代号: 9875。

《灾害学》编辑部