

祝俊华, 陈志新, 赵法锁, 等. 延安市不稳定斜坡发育特征研究[J]. 灾害学, 2016, 31(4): 61–64, 109. [ZHU Junhua, CHEN Zhixin, ZHAO Fasuo, et al. Study on the Development Features of Unstable Slopes in Yan'an [J]. Journal of Catastrophology, 2016, 31(4): 61–64, 109. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.011.]

延安市不稳定斜坡发育特征研究^{*}

祝俊华, 陈志新, 赵法锁, 祝艳波

(长安大学 地质工程与测绘学院, 陕西 西安 710054)

摘 要:通过对延安市地质灾害详细调查及统计分析, 总结出区内不稳定斜坡发育类型及特征为: 结构类型包括黄土不稳定斜坡、基岩不稳定斜坡和黄土-基岩不稳定斜坡, 其中以黄土不稳定斜坡为主; 变形破坏模式主要分为滑移(蠕滑)-拉裂模式、滑移-压致拉裂模式和弯曲-拉裂模式三类, 其中以滑移(蠕滑)-拉裂模式最为普遍; 斜坡发展失稳趋势为滑坡和崩塌, 其中受斜坡岩土体结构类型、结构面、坡度、坡高及坡型等多因素控制, 区内不稳定斜坡发展失稳趋势主要表现为崩塌。

关键词:延安市; 不稳定斜坡; 结构类型; 发育特征; 失稳趋势

中图分类号: X43; P64; U65 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2016)04-0061-05

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2016.04.011

延安市地处黄土高原腹地, 属于黄土高原丘陵沟壑区, 地形地貌条件复杂, 脆弱的地质环境和近几十年来频繁的人类工程建设活动导致全市滑坡、崩塌等地质灾害频繁发生。不稳定斜坡是一种潜在的地质灾害类型, 其在现阶段变形微小, 变形迹象不明显, 但在不久的将来在降雨或人工干扰作用下可能产生变形破坏, 从而发展为滑坡或崩塌灾害, 严重威胁着延安地区人民的生命和财产安全^[1-3]。

对于不稳定斜坡国内外都做过很多的调查和研究工作, 1991年 Carlaton L. Ho 等采用计算机技术建立了不稳定斜坡管理系统(USMS), 收集不稳定斜坡的发育特征及稳定性数据, 并对其进行系统的管理^[4]; 2009年 Scott L. Huang 等人对美国华盛顿州、俄勒冈州、纽约州及犹他州等地的不稳定斜坡进行了调查和评价, 并建立了较为完善的不稳定斜坡管理系统^[5]; 1991年乔建平从斜坡的表面变形迹象、斜坡本身内部及外部因素中提取出了12项定性定量判别指标, 以此对不稳定斜坡的危险度进行判别^[6]; 马建青等总结了青海省重大工程区潜在不稳定斜坡调查的总体工作方法和危险性评价技术要点^[7]。

延安市作为黄土高原的重要组成部分率先开展了黄土高原区的地质灾害调查^[8], 目前, 该市1:50 000地质灾害详细调查工作已经完成, 积累

了丰富的地质环境和地质灾害资料成果, 但以前的工作均以县区为单位, 资料分散, 缺少不稳定斜坡发育及分布特征完整性和规律性, 急需进行总结和归纳出延安市不稳定斜坡总体特征和分布规律, 指导延安市地质灾害防治和防灾规划, 因此, 开展该市不稳定斜坡发育类型及特征分析, 同样具有重要的理论意义和重要的应用价值。

1 结构类型及分布特征

根据调查结果统计分析, 可以将延安市不稳定斜坡分为: 黄土不稳定斜坡、基岩不稳定斜坡和黄土-基岩不稳定斜坡。据统计, 延安市内不稳定斜坡共发育503处, 其中黄土不稳定斜坡发育322处, 占不稳定斜坡总数的64%; 基岩不稳定斜坡发育167处, 占总数的33.2%; 黄土-基岩不稳定斜坡发育14处, 占总数的2.8%^[9]。各类型数量和所占总数的百分比如表1所示, 延安市各县区发育不稳定斜坡数量分布如表2所示。

表1 不稳定斜坡结构类型数量和百分比

结构类型	灾点数/处	主要类型占 总数百分比/%
黄土不稳定斜坡	322	64.0
基岩不稳定斜坡	167	33.2
黄土-基岩不稳定斜坡	14	2.8

^{*} 收稿日期: 2016-04-30 修回日期: 2016-06-01

基金项目: 国家自然科学基金(41502278); 中国博士后科学基金资助项目(2015M582588); 中央高校基本科研业务费资助项目(310826151054)

第一作者简介: 祝俊华(1990-), 男, 江西余江人, 博士研究生, 主要从事地质工程及地质灾害等方面的研究。

E-mail: 675504299@qq.com

表 2 各县区不稳定斜坡数量分布

地名	结构类型		
	黄土不稳定斜坡	基岩不稳定斜坡	黄土-基岩不稳定斜坡
宝塔区	43	6	2
吴起县	10	0	0
志丹县	10	1	0
安塞县	12	6	0
子长县	40	0	0
延川县	27	2	0
延长县	37	69	0
甘泉县	19	4	3
富 县	24	1	2
洛川县	0	0	0
黄陵县	96	77	7
黄龙县	4	1	0
宜川县	0	0	0
总 计	322	167	14

1.1 黄土不稳定斜坡

黄土不稳定斜坡是区内发育最为广泛的不稳定斜坡结构类型,在各县区均有发育,且在黄陵县、宝塔区、子长县、延长县等地集中发育。坡体岩性主要由中-晚更新世黄土(Q_{2+3}^{col})组成,坡高数十米,破面植被稀疏或黄土裸露。该类型斜坡多发育在沟谷的上游地段,沟谷受河流侵蚀切割的程度较小,一般未切穿基岩或只有浅层基岩出露,斜坡坡脚黄土层继续经受流水的侧蚀切割作用。坡体中古土壤层较为发育,其对黄土不稳定斜坡的稳定性具有较大的影响,特别是顺倾的古土壤层,常常成为黄土中的软弱结构面。

1.2 基岩不稳定斜坡

区内基岩不稳定斜坡整体岩土体组成物质主要为砂岩和泥岩。砂岩中顺坡向节理面或风化、卸荷节理裂隙面发育,岩体受节理裂隙切割严重,较为破碎,整体性差。区内主要分布于延长和黄陵两县内河流及其较大一、二级支流下游,在其两岸均有分布,受河流下蚀和侧蚀作用,斜坡近乎直立,表面岩体破碎。由于区内地形条件限制,交通建设活动往往要大量地开挖斜坡坡脚,从而在公路或铁路沿线形成大量的基岩边坡,斜坡内形成大量的卸荷裂隙,又由于坡体表面砂岩和泥岩的差异性风化,从而形成基岩不稳定斜坡。

1.3 黄土-基岩不稳定斜坡

黄土-基岩不稳定斜坡在区内发育较少,坡体上部主要由中、晚更新世黄土组成,下部为基岩,斜坡高度一般在数十米左右,有些达到上百米。其多发育在沟谷的中下游,河流切穿基岩的厚度较大。斜坡下部为陡立的基岩切面,上部为

厚层黄土覆盖,整体坡度较大。受基岩保护,坡脚一般不再受到流水侧向侵蚀,自然滑坡或崩塌较少发生。

1.4 分布特征

根据调查结果统计分析,区内不稳定斜坡结构类型的发育及分布与延安市地貌特征密切相关。延安地区地势总体由西北向东南逐渐降低。黄土梁峁丘陵地貌类型在区内所占的面积最大,组合形态也最复杂,黄土梁峁和丘陵地貌占据了区内地貌的主导地位^[10]。延安市内各个地貌单元上不稳定斜坡发育数量如表 3 所示。

表 3 延安地区地貌类型与不稳定斜坡分区统计^[10]

灾害类型	地貌类型										总计
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
不稳定斜坡数量/处	24	55	22	73	78	48	29	3	11	160	503

*注:表中地貌类型依次为:1—黄土覆盖的中山;2—黄土塬地沟壑;3—黄土残塬沟壑;4—黄土塬梁沟壑;5—黄土长梁状丘陵沟壑;6—黄土梁峁状丘陵沟壑;7—黄土梁状丘陵沟壑;8—黄土缓梁宽谷状丘陵;9—薄层黄土覆盖的基岩峡谷丘陵;10—阶地。

由此可以看出,区内不稳定斜坡主要发育在河流阶地、黄土残塬丘陵沟壑区,多形成黄土斜坡,且在這些地貌类型区域内,人类工程活动较为强烈,特别是道路修建使得不稳定斜坡大量发育。

2 变形破坏模式

据调查显示,区内常见的不稳定斜坡变形破坏模式主要分为滑移(蠕滑)-拉裂模式、滑移-压致拉裂模式和弯曲-拉裂模式三类^[11]。

2.1 滑移(蠕滑)-拉裂模式

该变形破坏模式是区内最为常见的类型,且主要发生在黄土不稳定斜坡和黄土-基岩不稳定斜坡内。图 1 为典型的滑移-拉裂破坏模式的不稳定斜坡剖面。天然状态下,斜坡处于基本平衡状态,当应力变化最为敏感的坡脚受到破坏时,临空条件发生变化,临空面的增大使得剪切蠕滑现象在坡体内部产生,此时在斜坡后缘形成拉张裂隙^[12],破坏模式一般形成滑坡。沟谷内河流的侵蚀,人类削坡建窑、修建公路交通等工程活动对斜坡坡脚都会产生一定程度的破坏,从而引起滑移(蠕滑)-拉裂变形破坏,引发滑坡或崩塌。

2.2 滑移-压致拉裂模式

该变形破坏模式形成的不稳定斜坡在区内发育也较为广泛。这种变形模式主要是由坡体内部的软弱结构面控制的,其发展模式不同于前者,是由下往上发展的。出现的情形主要有以下几个

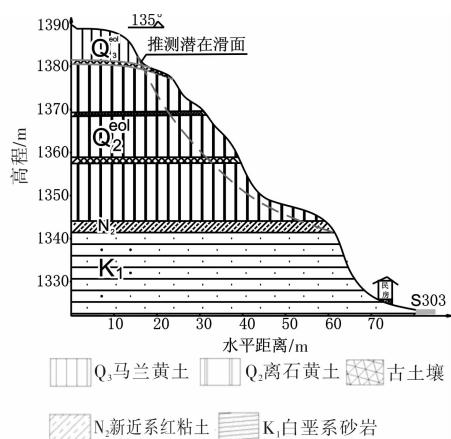


图1 吴起县杏树沟门不稳定斜坡剖面图

方面: 在降雨条件下, 雨水沿着形成的落水洞或宽大的裂缝渗入坡体内部, 汇集在古土壤层或红粘土层等相对隔水层, 使得此处黄土的强度性质降低, 在重力作用下坡体沿此层面产生缓慢的蠕动, 并且在上部坡体中沿竖直节理形成拉裂缝, 从而形成滑坡或崩塌(图2); 库岸黄土边坡, 坡脚受水库的长期浸润, 斜坡土中含水量很高甚至处于饱和状态, 降低土的强度并且增大了坡体重量, 形成滑移—压致拉裂变形破坏模式, 多产生黄土滑坡; 由砂岩和泥岩组成的基岩斜坡, 尤其是人工边坡, 在受开挖后, 由于砂、泥岩的性质差异, 形成差异性的卸荷回弹, 沿着层理面产生变形并形成滑移面, 一般形成基岩崩塌。

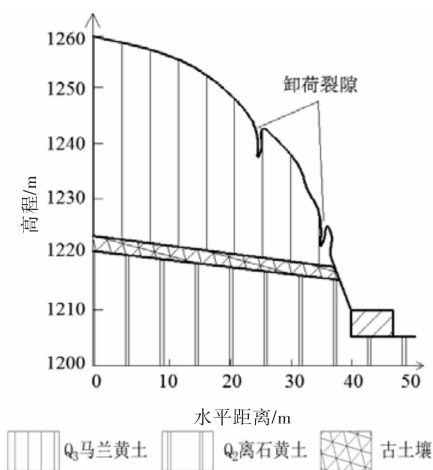


图2 子长县蛇家沟不稳定斜坡剖面图

2.3 弯曲—拉裂模式

区内弯曲—拉裂破坏模式的不稳定斜坡发育较少, 一般集中在坡度大于 60° 的黄土不稳定斜坡和陡立的基岩不稳定斜坡内。

黄土内垂直节理发育, 对于高陡的黄土斜坡, 具有很好的临空面条件, 黄土的这一特性使得斜

坡在风化或降雨作用下, 土体中的垂直节理面逐渐加深扩大, 局部土体沿着此面产生弯曲—拉裂变形, 并逐渐与斜坡分离, 当偏离的变形位移达到一定程度时, 斜坡产生破坏从而形成倾倒式崩塌(图3)。

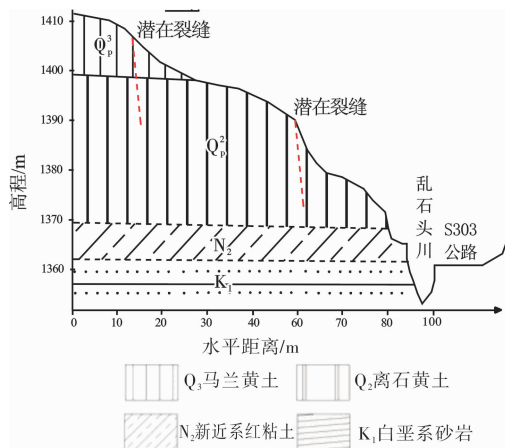


图3 吴起县背台不稳定斜坡剖面图

区内基岩主要由三叠纪或侏罗纪砂岩和泥岩组成(图4), 由于砂岩和泥岩强度差异, 砂岩比泥岩具备更高的抗风化侵蚀能力, 在自然条件下夹在砂岩之间的泥岩率先风化剥落, 砂岩从而失去支撑, 形成悬空状态, 此时砂岩受自身重力作用而产生弯曲—拉裂变形, 从而形成岩质崩塌。

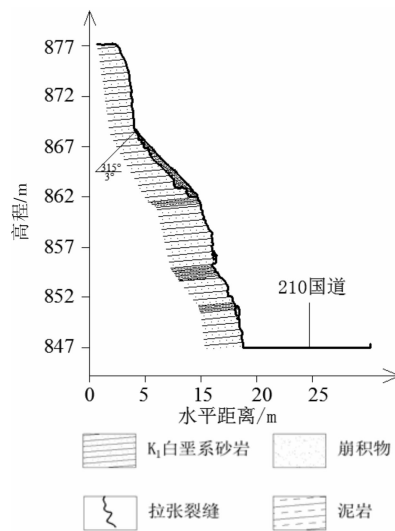


图4 呼家湾不稳定斜坡剖面图

3 发展失稳趋势

不稳定斜坡只是判断出斜坡此时处于不稳定状态, 并不能对每一个不稳定斜坡的变形破坏模式进行准确的判定。由于斜坡的变形和破坏受多因素控制, 因此斜坡发生破坏与否及破坏模式的

不确定性很高^[13]。结合实际调查情况,区内不稳定斜坡的发展失稳趋势一般有两种:滑坡和崩塌。

据调查统计,斜坡原始坡度与区内滑坡和崩塌的形成具有很大的关联性。延安市滑坡与崩塌原始坡度分布对比统计表如表4所示。

表4 滑坡与崩塌原始坡度分布对比统计

坡度划分/(°)	<60	61~70	71~80	81~90
滑坡	5540	190	40	7
崩塌	59	87	117	207

从表4中可以看出,60°以下是滑坡发育的优势坡度,而80°以上是崩塌发育的优势坡度,在60°~80°之间的斜坡上既有滑坡的发生,也有崩塌的发生。

据调查,延安市内不稳定斜坡坡度分布区间较大,在35°~90°之间均有分布,各坡度区间的详细分布数量如表5所示。

表5 不稳定斜坡坡度分布统计

坡度划分/(°)	<50	51~60	61~70	71~80	81~90
数量/处	47	40	69	138	209
所占百分比/%	9.4	7.9	13.8	27.4	41.5

根据表4中滑坡、崩塌原始坡度数量分布和表5中不稳定斜坡在各坡度区间内的数量分布,可以对不稳定斜坡失稳趋势做出初步预测:对于小于60°的不稳定斜坡失稳趋势主要是滑坡;61°~70°的不稳定斜坡失稳趋势以滑坡为主,崩塌数量较少;当不稳定斜坡坡度大于70°时,发展为滑坡的可能性很小,其失稳趋势主要为崩塌。

根据以上所述,结合各不稳定斜坡的坡体岩土结构类型、坡高、坡型等因素进行综合分析,得出:区内不稳定斜坡中有可能失稳发展为滑坡的数量为149处,占不稳定斜坡总数的29.6%;有可能失稳并发展为崩塌的数量为354处,占总数的70.4%(表6)。

表6 不稳定斜坡发展失稳趋势统计

发展趋势	数量/处	占比/%
滑坡	149	29.6
崩塌	354	70.4

4 结论

综合以上分析讨论,可得出以下结论和认识:

(1)区内不稳定斜坡共发育503处,其中黄土不稳定斜坡发育322处,占不稳定斜坡总数的64%;基岩不稳定斜坡发育167处,占总数的33.2%;黄土-基岩不稳定斜坡发育14处,占总

数的2.8%。受区内地貌类型影响,不稳定斜坡主要发育在河流阶地、黄土残塬丘陵沟壑区,多形成黄土不稳定斜坡。

(2)区内不稳定斜坡变形破坏模式表现为滑移(蠕滑)-拉裂、滑移-压致拉裂和弯曲-拉裂3种,其中以滑移(蠕滑)-拉裂模式在区内分布最为广泛。

(3)区内不稳定斜坡发展失稳的趋势分为两种:滑坡和崩塌。据分析,其中有可能失稳并发展为滑坡的不稳定斜坡数量为149处,占不稳定斜坡总数的29.6%;有可能失稳并发展为崩塌的数量为354处,占总数的70.4%。

上述对延安市不稳定斜坡结构类型、变形破坏模式及发展失稳趋势的总结和探讨,对延安市潜在地质灾害的监测和预防提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 张茂省, 校培喜, 魏兴丽, 等. 延安宝塔区滑坡崩塌地质灾害[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [2] 黄玉华, 冯卫, 李政国. 陕北延安地区2013年“7·3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 54-59.
- [3] 强菲, 赵法锁, 段钊. 陕南秦巴山区地质灾害发育及空间分布规律[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 193-198.
- [4] Carlton L Ho. Development of an unstable slope management system[R]. University of Massachusetts Amherst, 1991.
- [5] Scott L Huang, Margerat M Darrow, Peter Calvin. Unstable slope management program(background research and program inception)[R]. Alaska Department of Transportation and Public Facilities, 2009.
- [6] 乔建平. 不稳定斜坡危险度的判别[J]. 山地研究, 1991, 9(2): 117-122.
- [7] 马建青, 谢宗英, 李小林, 等. 青海省重大工程区潜在不稳定斜坡调查与灾害风险评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(2): 91-94.
- [8] 段钊, 赵法锁, 陈新建. 陕北黄土高原区滑坡发育类型与时空分布特征—以吴起县为例[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 52-56.
- [9] 祝俊华. 延安市斜坡几何形态与滑坡、崩塌相关性研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- [10] 王博. 延安市地貌与地质灾害相关性研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [11] 张茂省, 孙传尧, 校培喜, 等. 延安市宝塔区地质灾害详细调查示范[J]. 西北地质, 2007, 40(2): 29-55.
- [12] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [13] 张茂省. 黄土地质灾害影响因素研究[J]. 工程地质学报, 2007, 15(SI): 133-140.

(下转第109页)

- Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013.
- [7] Gornitz V. Global coastal hazards from future sea level rise [J]. *Global and Planetary Change*, 1991, 3(4): 379–398.
- [8] Raey M, Dewidar K R, El-Hattab M. Adaptation to the impacts of sea level rise in egypt [J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 1999, 4(3/4): 343–361.
- [9] 崔红艳. 基于 GIS 的辽河三角洲潜在海平面上升风险评估 [J]. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 2005, 28(1): 107–111.
- [10] 戴亚南, 彭检贵. 江苏海岸带生态环境脆弱性及其评价体系构建[J]. *海洋学研究*, 2009, 27(1): 11–16.
- [11] 崔利芳, 王宁, 葛振鸣, 等. 海平面上升影响下长江口滨海湿地脆弱性评价[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 553–561.
- [12] 李响, 段晓峰, 刘克修, 等. 津冀沿海地区海平面上升的风险评估研究[J]. *灾害学*, 2014, 29(3): 108–114.
- [13] Bryan B, Harvey N, Belperio T, et al. Distributed process modeling for regional assessment of coastal vulnerability to sea level rise [J]. *Environmental Modeling and Assessment*, 2001, 24(6): 57–65.
- [14] Frihy O E. The Nile Delta-Alexandria coast: vulnerability to sea-level rise, consequences and adaptation[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2003, 8: 115–138.
- [15] 任美镔. 我国海面上升及其对策[J]. *大自然探索*, 1991, 10(35): 7–10.
- [16] 施雅风, 朱季文, 谢志仁. 长江三角洲及毗连地区海平面上升影响预测与防治对策[J]. *中国科学(D 辑)*, 2000, 30(3): 225–232.
- [17] 王静爱, 左伟. *中国地理图集*[M]. 北京: 中国地图出版社, 2009.
- [18] 海洋图集编委会. 渤海、黄海、东海海洋图集——地质和地球物理分册[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.
- [19] 海洋图集编委会. 南海海洋图集——地质和地球物理分册[M]. 北京: 海洋出版社, 2011.

The Vulnerability Zoning Research on the Sea Level Rise of Chinese Coastal

LI Xiang, DUAN Xiaofeng, ZHANG Zengjian, WANG Hui and LIU Kexiu
(National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171, China)

Abstract: In this paper, used the coastal county administrative unit as the assessment unit, assess the vulnerability of coastal areas of China under the sea level rise, respectively from the natural environment and the coastal social economy, and zoning the vulnerability of coastal areas in China. The results show that, Sea Level Rise has great impact on the coastal cities of China, Especially in the Bohai Sea coast; Pearl River Delta and Yangtze River Delta are the typical vulnerable area of sea level rise. Development of coastal areas should fully consider of the impact of sea level rise.

Key words: sea level rise; vulnerability; vulnerable area; zoning; coastal areas; China

+++++
(上接第 64 页)

Study on the Development Features of Unstable Slopes in Yan'an

ZHU Junhua, CHEN Zhixin, ZHAO Fasuo and ZHU Yanbo
(College of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Through the Yan'an geological disasters detailed investigation and statistical analysis, the development types and features of unstable slopes in research area were summarized as follows: Loess unstable slope, rock unstable slope and loess-rock unstable slope were including in the structure types, and the loess unstable slope was in the majority. The deformation failure pattern was divided into three species as like slip (creep)-cracking pattern, slip-compression cracking pattern and bending-cracking pattern, and slip (creep)-cracking pattern was most common. The instability trend of unstable slopes was divided into landslide and collapse. Controlling by the rock-soil structure types, structure plane, slope angle, height and shape of unstable slopes, collapse was the major instability trend.

Key words: Yan'an city; unstable slope; structure type; development feature; instability trend