

延安黄土丘陵沟壑区地质灾害易发性浅析^①

蔡怀恩, 张继文, 秦广平, 唐 浩

(机械工业勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710043)

摘要:在详细分析延安黄土丘陵沟壑区的地形地貌类型、斜坡的坡体结构、地质灾害类型的基础上, 利用 1:1000 地形图为底图进行地质灾害的易发区划分分析。结果表明, 对该区居民生命财产安全造成重大威胁且防范困难的地质灾害类型为不稳定斜坡(黄土滑坡、黄土崩塌、基岩崩塌)隐患, 黄土陡坡和基岩陡坎区地质灾害高且易发。

关键词:黄土丘陵沟壑; 地形地貌; 坡体结构; 地质灾害; 易发区

中图分类号: P694

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)增刊 1-0068-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.02.0563

Preliminary Research on Geological Disaster Susceptibility in Loess Hilly Gully Regions of Yan'an

CAI Huai-en, ZHANG Ji-wen, QIN Guang-ping, TANG Hao

(China Jikan Research Institute of Engineering Investigations and Design, Co. Ltd., Xi'an, Shaanxi 710043, China)

Abstract: Based on the analysis of the types of topography, the slope structures, and the geological hazards, within 1:1000-scale topographic maps, geologically disaster-prone areas were identified and divided into study zones. In the examined hilly gully region of the Yan'an Prefecture, the safety for life and property of the local residents were threatened by potential loess landslides, loess collapse, and rocky collapse from an unstable slope. However, the hazard from this unstable slope is difficult to prevent due to the presence of local residents and the steepness of the loess slope and rocky scarps. This study can provide certain reference for similar research in future.

Key words: loess hilly gully region; topography; slope structure; geological disaster; disaster-prone area

0 引言

延安地处陕北黄土高原中南部, 环境地质条件复杂, 地质灾害极为发育, 对当地居民的生命财产安全造成严重威胁。前人对陕北黄土丘陵沟壑区的地质灾害已进行了大量的研究^[1-11], 主要集中在三个方面:

(1) 区域地质灾害的总结或综述^[1-13]

雷祥义^[1]对陕北黄土高原主要人为地质灾害的形成过程与机制、时空分布规律进行了系统的论述; 李侠^[2]对陕北黄土高原类型与特征、形成条件进行

了简述; 黄玉华等^[3]对陕北黄土丘陵区威胁窑洞居民安全的主要地质灾害类型、成因、防治措施等方面进行了探讨。

(2) 某一类地质灾害类型的分析与评价^[4-7]

吴玮江等^[4]对黄土滑坡的基本类型、活动特征以及各类滑坡的复活特征进行了分析及论述; 雷祥义等^[5]对陕北黄土高原既毁窑又伤人的伤亡性黄土崩塌的类型、前兆、时空分布特征及形成原因进行了分析及评价; 黄玉华^[6]对陕北“对滑”型黄土滑坡的发育特征等进行论述; 尚瑾瑜^[7]对延安市宝塔区黄

① 收稿日期: 2015-04-01

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2012KTDZ03-01); 国家科技支撑计划项目(2013BAJ06B00)

作者简介: 蔡怀恩, 男, 甘肃庆阳人, 主要从事地质灾害方面的勘测及研究工作。E-mail: 46578650@qq.com

土滑坡的类型及影响稳定性的因素进行简要分析的基础上,利用极限平衡法、可靠度法、有限元数值模拟等方法以卧虎山滑坡为例进行稳定性分析。

(3) 地质灾害详细调查资料的总结与分析^[8-11]

张茂省等^[8-11]以延安市宝塔区 1:5 万比例尺的地质灾害详细调查项目为依托,总结了延安地质灾害的类型、发育规模、形态、时间和空间分布规律,分析了地形地貌、岩土体及地层、植被、水及人类工程活动对地质灾害的影响,并以 1:5 万比例尺地形图为底图进行了地质灾害易发区及危险区划分。

综上,前人对延安黄土丘陵沟壑区地质灾害方面的研究虽较为深入,但当地群众对学术成果的理解有限,其研究成果对当地防灾减灾很难最大化地发挥作用。因此本文以 1:1000 比例尺地形图为底图,对延安市区周边区域的地形地貌、坡体结构及地质灾害调查、工程地质勘测进行研究,分析总结该区域的地形地貌特征、斜坡坡体结构,重点分析该区居民生命财产安全造成重大威胁且防范困难的地质灾害类型,以期为该区域工程建设及防灾减灾提供指导。

1 地形地貌类型分析

自 20 世纪 50 年代以来,众多学者对陕北黄土高原的地貌形态、景观、成因等方面进行了宏观的、全方位的分析与研究^[12-19],但已有的研究成果主要侧重于宏观的、概念性的总结或综述,未考虑具体的坡体结构及地质灾害等因素。本文在考虑上述因素的基础上,将延安黄土丘陵沟壑区地貌类型划分为黄土梁峁区、黄土陡坡区、黄土缓斜坡区、基岩陡坎及沟谷区、冲洪积及淤积平缓区、冲洪积漫滩及高漫滩区六个类型。

(1) 黄土梁峁区

黄土梁是由黄土组成的一种长条形高地,黄土峁是一种由黄土构成的圆顶山丘,梁峁的成因相似,梁和峁混杂在一起称为“梁峁”地形。黄土梁峁构成了延安市周边地形地貌的主体,梁峁呈椭圆形、鞍形或条形展布,坡度一般较缓,约 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。延河两边的梁峁顶部地势略低,梁峁顶部的地势随与延河河谷距离增大逐渐增高,到一定距离后,梁峁顶部的地势达到一个较高的范围,随后梁峁顶部的地势基本变化不大。梁峁顶部的相对高差可达 200 余米,同一梁峁顶部与梁峁边缘区相对高差一般在 30~50 m 之间。黄土梁的宽度一般 100~200 m,最宽约 300 m,最窄不到 15 m。梁峁大多数有一定的名称,

如瓦窑峁、二仙梁等,梁峁的名称也形象反映了黄土梁峁的地形地貌特征,如走马梁,这种梁较窄,梁延伸较长。多条梁与同一峁相连,梁与梁相连,相连部位通常称为崕险,如断桥崕险。黄土梁峁的模式有峁—梁单一型、峁—梁—峁相连型、梁—崕险—梁相间型等。

(2) 黄土陡坡区

该区域可见大量的由黄土组成的高陡边坡,边坡坡度大于 35° , $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 较多。部分区域形成了近直立的陡坎俗称黄土柱,斜坡高度一般 30~60 m,最大者可达 80~100 m。

(3) 黄土缓斜坡区

在沟谷部分区域有风积黄土堆积在基岩上形成的缓坡地形,地形坡度一般 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 。当地居民在这种地形上修建房屋或平整成梯田进行耕种。

(4) 基岩陡坎及沟谷

在沟谷中下游区域,基岩出露,沟谷深切基岩,形成 10~45 m 的近直立陡坎。部分区域陡坎上部外凸下部凹陷,谷底平坦,基岩裸露。

(5) 冲洪积及淤积平缓区

20 世纪 60~70 年代,当地村民在各支沟上游沿沟底阶梯性筑坝淤地,降雨携带泥土在坝内淤积形成的淤积坝。各淤积坝沿沟谷成阶梯状分布,对于单个淤积坝,则较为平缓,坡度一般小于 5° ,呈带状或舌状,向沟谷下游方向,淤积坝宽度逐渐增大。各淤积坝的宽度一般 30~50 m,最大可达 100 m 以上。

(6) 冲洪积漫滩及高漫滩区

各支沟的下游及延河发育宽缓的漫滩及高漫滩,下游的漫滩及高漫滩宽度一般 30~80 m,最宽处可达 200 多米;延河的漫滩及高漫滩宽度一般约 500 m。

2 斜坡坡体结构及稳定性分析

延安黄土丘陵区边坡类型可分为单层、双层及三层结构的边坡。

2.1 单层结构的边坡

(1) 由马兰黄土组成的土质边坡

主要分布于各支沟的上游及沟脑区域,坡面一般上缓下陡,上坡坡脚一般小于 30° ,中下部常形成 5~10 m 的陡坎,坡角大于 45° 。马兰黄土结构疏松,柱状节理及大孔隙发育,雨水冲刷侵蚀易于流失,局部易发生小型的高倾角的崩塌、滑坡。

(2) 由离石黄土组成的土质边坡

主要分布于各支沟的上游,一般坡度大于 70° ,坡高 $20\sim 50\text{ m}$ 。离石黄土黏粒含量较高,钙质结核多,岩性密实坚硬,现状较为稳定,外力诱发下易发生崩塌或滑坡。

(3) 三叠系、侏罗系砾岩、砂岩及泥页岩组成的基岩边坡

主要分布于各支沟的下游及延河两岸,常形成 $10\sim 45\text{ m}$ 的由砂岩、砾岩组成的基岩陡坎。砂岩、砾岩裂隙发育,岩性破碎,易沿垂向的节理发生小型岩质崩塌。

2.2 双层结构的边坡

(1) 由马兰黄土与离石黄土组成的土质边坡

主要分布于冲沟中上游近分水岭地带,这种坡体组合有两种类型。一种以马兰黄土为主,下伏离石黄土,坡体形态呈上缓下陡,中下部形成 $5\sim 10\text{ m}$ 的陡坡,坡度大于 50° ;另一种以离石黄土为主,上覆马兰黄土,坡体常形成 $20\sim 50\text{ m}$ 高、坡度大于 70° 的陡坡。因坡度较陡,易发生小型滑坡或崩塌。

(2) 马兰黄土与新近系红土组成的土质边坡

主要分布于冲沟中上游近分水岭地带,上部多为黄土陡坡,中下部为新近系红黏土形成的陡坡。因红黏土透水性差,在黄土与红黏土接触面间易发生滑坡。

(3) 马兰黄土与侏罗系砾岩、砂岩及泥页岩组成的混合边坡

主要分布于各支沟的中下游及延河河谷边岸,上部黄土构成 $10^\circ\sim 40^\circ$ 的斜坡或坡度大于 50° 的陡坡,下部有 $10\sim 45\text{ m}$ 的基岩陡坎。基岩陡坎中的砾岩、砂岩节理发育,易于崩塌;黄土陡坡易发生黄土崩塌或滑坡。

2.3 三层结构的边坡

(1) 由马兰黄土、离石黄土与新近系红黏土组成的边坡

分布于支沟的中上游或沟脑区域,上部的马兰黄土构成 $10^\circ\sim 40^\circ$ 的斜坡,离石黄土及新近系红黏土多形成 $10\sim 30\text{ m}$ 的陡坡。新近系红黏土位置较低,上覆黄土厚度较大,无地下水作用时边坡较为稳定,否则其稳定性差,易形成滑坡等。

(2) 由马兰黄土、离石黄土与侏罗系砾岩、砂岩、泥岩及三叠系泥页岩组成的边坡

主要分布支沟的中下游及延河河谷边岸,上部黄土一般为陡坡,坡角 $10^\circ\sim 50^\circ$,坡高 $20\sim 50\text{ m}$,基岩为陡坎,高达 $10\sim 45\text{ m}$ 。土与基岩的交接面处有风化壳,易沿接触面上发生滑坡,稳定性较差。

(3) 由黄土、新近系红黏土与侏罗系砾岩、砂泥岩组成的边坡。

主要分布于支沟的中下游及延河河谷边岸,上部黄土构成缓坡坡角 $10^\circ\sim 30^\circ$,局部具有高达 $10\sim 20\text{ m}$ 陡坡,泥岩及砂岩一般为陡坎。在黄土与新近系红黏土或基岩接触面附近易发生滑坡或滑坡。

3 地质灾害类型分析

该区主要地质灾害类型有黄土滑坡及隐患、黄土崩塌及隐患、基岩崩塌及隐患等。张茂省等^[8-11]对延安宝塔区已发生的地质灾害进行了详细的调查和分析,但对该区居民生命财产安全造成重大威胁且防范困难的地质灾害类型为黄土滑坡隐患、黄土崩塌隐患、基岩崩塌隐患,即不稳定斜坡。研究不稳定斜坡对当地的防灾减灾具有一定的指导意义。

3.1 黄土滑坡及隐患

(1) 黄土滑坡

吴玮江等^[4]对黄土滑坡进行深入研究,将黄土地区的滑坡划分为黄土层内滑坡、黄土接触面滑坡、黄土-泥岩顺层滑坡、黄土-泥岩切层滑坡 4 种基本类型。本文调查发现,近几年对该区造成重大经济损失和人员伤亡且防范难度较大的滑坡类型以黄土层内型为主,本文对其进行详述。

该区黄土层内型滑坡的坡体结构以马兰黄土组成的单层结构边坡及马兰黄土与离石黄土组成的双层结构的边坡为主,坡度陡是该类边坡的主要特征。流水冲蚀坡脚或人类工程经济活动开挖坡脚,逐步增加了坡体的不稳定性,在流水继续冲蚀及降雨入渗等,使坡体的物理力学性质降低,斜坡失稳发生滑坡。这类滑坡主要特征是滑动面倾角较大、滑动速度快,破坏性大,防范难度大,滑动面基本为直线性,规模一般较小,滑坡堆积物堆积于沟谷甚至冲向对面斜坡坡体上,堵塞沟谷(图 1)。

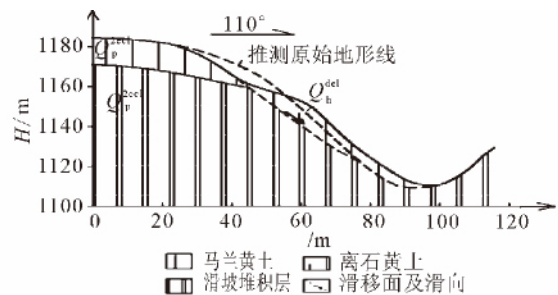


图 1 黄土层内型滑坡剖面示意图

Fig.1 The geologic section of loess landslide

(2)黄土滑坡隐患

黄土滑坡隐患类型有两种。一种为滑动面倾角陡,即一旦滑动则速度快并且具有滑塌性质的小型滑坡隐患,主要分布在黄土陡坡处。如沟谷下游黄土陡坡与基岩陡坎相接触,基岩陡坎下有房屋建筑物,黄土陡坡坡脚有当地居民开挖的窑洞,现状下坡体基本稳定,但在降雨入渗等情况下易发生小型滑坡、崩塌(图 2),威胁窑洞及房屋建筑物的安全。另一种类型为工程建设削坡形成的具有大规模蠕滑变形的滑坡隐患,如延安市东蒿洼沟方塔水库边某工程建设项目,削坡后在各平台及分水岭处出现了平行于斜坡走向的拉张裂缝,坡体中部及底部出现了向前蠕滑迹象(图 3),隐患体体积超过 $110 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

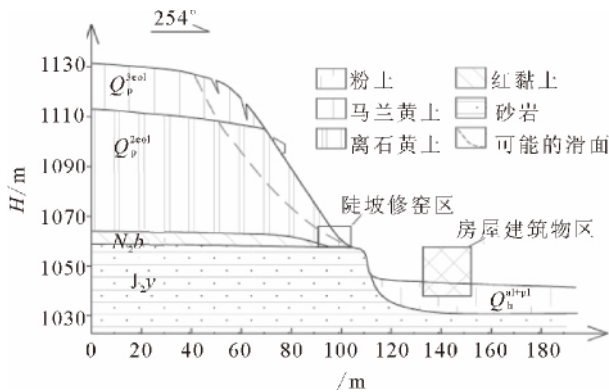


图 2 黄土陡坡小型滑坡隐患剖面示意图

Fig. 2 The geologic section of hidden danger of a small landslide on steep loess slope

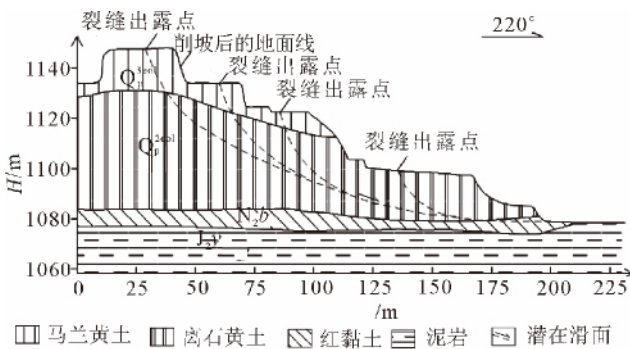


图 3 蠕滑变形滑坡剖面示意图

Fig. 3 The geologic section of creeping deformation landslide

3.2 黄土崩塌及隐患

(1) 黄土崩塌

雷祥义等^[5]对陕北伤亡性黄土崩塌的特征、成因进行了详细分析,本文不再叙述。

(2) 黄土崩塌隐患

黄土崩塌隐患成因主要有两种类型:一种为自然因素形成的黄土崩塌隐患,另一种为人类工程活

动形成的崩塌隐患。

自然因素形成的黄土崩塌隐患主要在黄土陡坡区,黄土陡坡的坡顶黄土垂直节理发育,且坡顶附近陡坡近直立,部分区域发育黄土柱,这些斜坡现状处于稳定状态,但斜坡坡顶附近的黄土随着时间推移在自重作用下或外部因素下沿节理裂隙面破坏,产生崩塌。

人类工程活动如削坡建房、修路形成了大量坡度较大、较高的人工边坡,打破了原有的坡体平衡,使斜坡产生卸荷、拉张和风化裂隙,自重作用下或外部因素下沿节理裂隙面破坏,产生崩塌。

3.3 基岩崩塌及隐患

各沟谷中下游发育有大量的基岩陡坎,大部分坡体近直立或呈上凸下凹形态。坡体上部为厚层的砂岩,竖向裂隙、风化裂隙发育,下部为泥岩,泥岩受风化剥蚀脱落。上部砂岩外凸悬空,随着风化裂隙的不断发育,岩体在拉张力作用下逐步向坡体外侧倾斜,形成了大量的崩塌隐患体。当重力所产生的拉张力超过岩体强度时,岩体发生拉裂破坏,发生崩塌,因基岩陡坎的坡脚处建有居民房屋,崩塌隐患体威胁到居民房屋的安全。

4 地质灾害易发程度分区研究

4.1 分区原则及分区依据

地质灾害易发区指容易产生地质灾害的区域,区划的原理是工程地质类比法,即类似的静态和动态环境条件,产生类似的地质灾害,已发生地质灾害的区域,有些区域趋于稳定,有些区域存在进一步发展的可能,未发生地质灾害的区域但存在地质灾害隐患或具有地质灾害形成的条件。因此对地质灾害易发程度分区是根据已发生地质灾害区域、可能发生地质灾害的区域,综合考虑地形地貌、斜坡坡体结构及稳定性、地质灾害及隐患等因素,采用“区内相似,区际相异”、定性分析为主的原则进行评价。按照地质灾害易发程度分为地质灾害高易发区、中易发区、低易发区,各级又根据地质灾害的类型与特征进一步划分评价。因本文调查范围达 60 km^2 ,且所用地形底图比例尺为 $1:1000$,图形范围大,为说明各易发区的平面分布特征,选取延安市区北的瓷窑沟、高家沟进行示例(图 4)。

4.2 各区特征分析评价

(1) 地质灾害高易发区(A)

黄土陡坡地质灾害高易发区(A1):陡坡区边坡高度大、坡度陡,地质灾害主要类型有黄土滑坡及隐

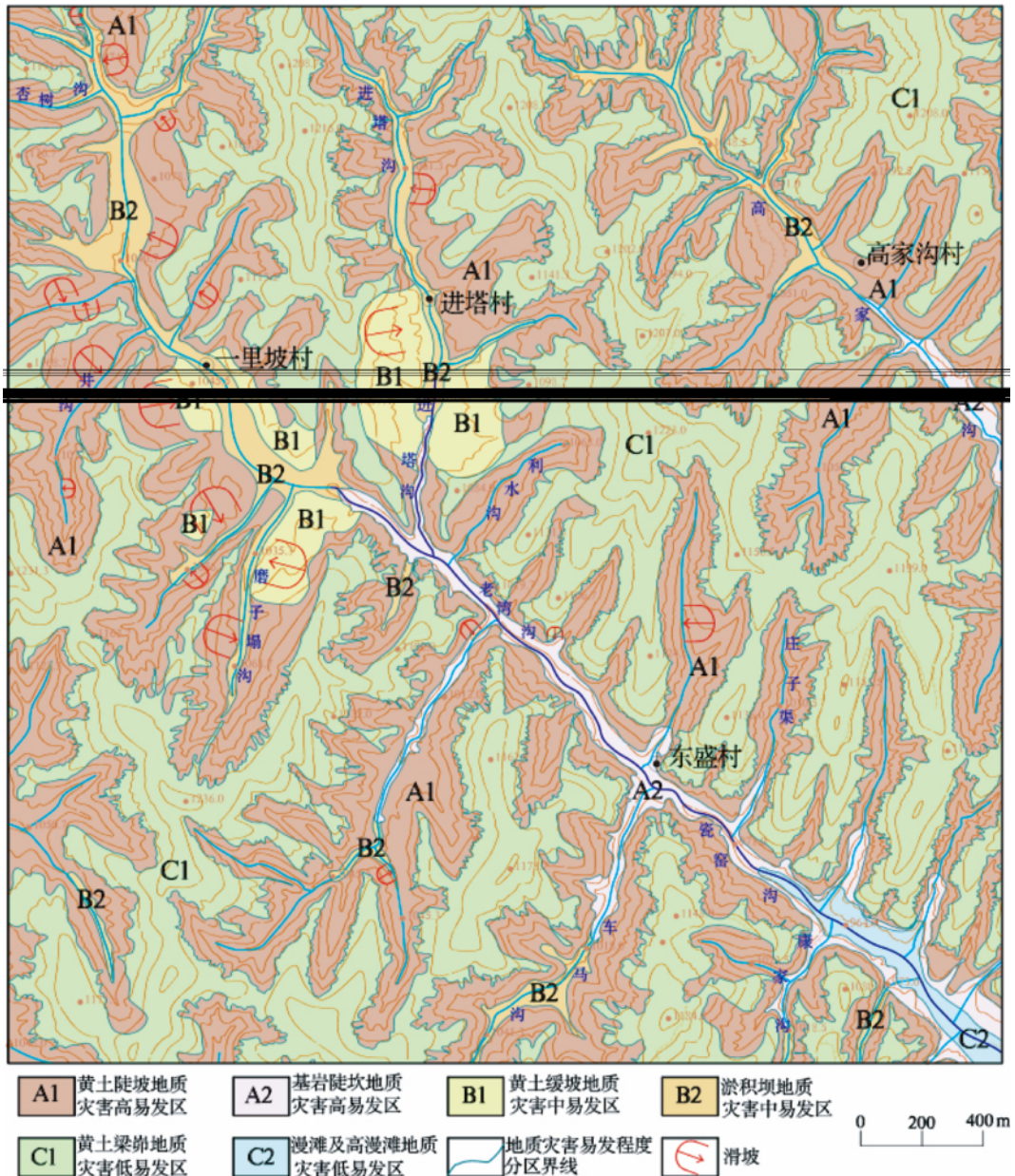


图 4 地质灾害易发程度分区图

Fig. 4 The zoning map of susceptibility of geological hazard in study area

患、黄土崩塌及隐患。黄土陡坡的坡脚往往有窑洞等建筑物,因特定的地形地貌及斜坡坡体结构,在极端降雨等外界因素影响下极易发生黄土层内型滑坡或崩塌。黄土层内型滑坡或崩塌从前兆到发生时间短、滑动面坡度陡、滑动速度快,对当地居民的生命财产安全造成重大威胁。如在 2013 年 7~9 月的极端降雨情况下,在黄土陡坡区发生了大量的中小型崩塌、滑坡。

基岩陡坎地质灾害高易发区(A2):主要有基岩崩塌及隐患,其陡坎的坡脚有居民房屋,威胁陡坎底

部坡脚居民的安全。

(2) 地质灾害中易发区(B)

黄土缓坡地质灾害中易发区(B1):虽坡度较缓,一些区域已发生滑坡,为滑坡的堆积体,现状较为稳定,但在人类工程活动下会使滑坡发生复活。

淤积坝地质灾害中易发区(B2):淤积坝截断沟谷,坝体由人工夯筑而成,在极端降雨情况下,淤积坝内汇集大量的洪水,冲毁部分坝体,形成溃坝及泥石流,严重者危及下游群众的安全。如 1978 年秋的极端降雨情况下,各支沟大量的淤积坝溃坝,泥石流沿沟

谷而下,汇集于延河,淹没延安市区及飞机场,造成重大损失。

(3) 地质灾害低易发区(C)

黄土梁峁地质灾害低易发区(C1):该区地形坡度较缓,但人类工程活动如修路、油井平整场地形成了一定的人工边坡,边坡坡体由马兰黄土组成,易发生小型崩塌。

漫滩及高漫滩地质灾害低易发区(C2):该区一般不发生地质灾害,但在极端降雨情况下,易受洪水或泥石流威胁,部分区域为滑坡、崩塌堆积物的前缘。

5 结论

(1) 本文对延安黄土丘陵沟壑区的地形地貌、斜坡坡体结构、地质灾害类型进行了详细分析,利用 1:1000 地形图为底图进行了地质灾害易发区划分。对该区居民生命财产安全造成重大威胁且防范困难的地质灾害类型为黄土滑坡隐患、黄土崩塌隐患、基岩崩塌隐患,即不稳定斜坡,黄土陡坡和基岩陡坎区地质灾害高易发。

(2) 地质灾害高易发区的居民应采取搬迁避让、消除隐患等措施,从长远及可持续发展角度考虑,“削山填沟”造地可长期地消除地质灾害隐患。

(3) 本文以地形地貌类型特征为主要因素划分的地质灾害高易发区容易被政府管理人员和当地居民识别,可为该区域工程建设及防灾减灾提供指导。

参考文献 (References)

[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.

- [2] 李侠. 陕北黄土高原区地质灾害发育特征及防治对策[J]. 安徽农业科学,2010,38(20):10889-10890.
- [3] 黄玉华,张睿,王佳运,等. 陕北黄土丘陵区威胁窑洞民居的地质灾害问题[J]. 地质通报,2008,27(8):1223-1229.
- [4] 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.
- [5] 雷祥义,魏青珂. 陕北伤亡性黄土崩塌成因与对策研究[J]. 岩土工程学报,1998,20(1):64-69.
- [6] 黄玉华. 陕北“对滑”型黄土滑坡发育特征及其整治对策探讨[J]. 西北地震学报,2009,31(2):152-156.
- [7] 尚瑾瑜. 延安市宝塔区黄土滑坡稳定性研究[D]. 西安:长安大学,2011.
- [8] 张茂省,校培喜,魏兴丽,等. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质,2006(6):73-74.
- [9] 张茂省. 黄土地质灾害影响因素研究[J]. 工程地质学报,2007,15(8):132-140.
- [10] 张茂省,校培喜,魏兴丽,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):29-54.
- [11] 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,2008.
- [12] 孙建中. 黄土学(上篇)[M]. 香港:香港考古学会出版,2005:29-45.
- [13] 罗来兴. 划分晋西、陕北、陇东黄土区域沟间地与沟谷的地貌类型[J]. 地理学报,1956,22(3):201-222.
- [14] 吴伯甫,陈明荣,陈宗兴,等. 中国的黄土高原[M]. 西安:陕西人民出版社,1991.
- [15] 龙毅,周侗,汤国安,等. 典型黄土地貌类型区的地形复杂度分形研究[J]. 山地学报,2007,25(4):385-392.
- [16] 张磊,汤国安,李发源,等. 黄土地貌沟沿研究综述[J]. 地理与地理信息科学,2012,28(6):44-48.
- [17] 张寅. 黄土丘陵地貌景观定量研究[D]. 西安:西北大学,2012.
- [18] 陈永宗. 黄河中游黄土丘陵区沟谷类型[J]. 地理科学,1984,4(4):322-327.