
综
合
治
理

天水市北山黄土崩塌灾害特征、成因及防治

辛存林, 杨国林, 赵志鹏, 孙现辉, 马维云, 李鸿儒

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 通过野外调查和分析实验数据,用数理统计法对天水市北山黄土崩塌特征进行了统计分析。通过对研究区黄土崩塌地质灾害的成因的分析,揭示了该区黄土崩塌地质灾害发育的物质基础、力学性质、自然因素和人为因素。结果表明,天水市北山黄土崩塌灾害以中、小型为主,崩落范围为 5~15 m;黄土崩塌的坡高集中在 15~40 m,坡度集中在 58°~90°;潜在黄土崩塌的坡高集中在 10~38 m,坡度集中在 48°~90°。结果认为天水市北山黄土崩塌的促发因素为降水、泉水、地震和人类活动,提出了黄土崩塌灾害的防治原则及其适宜性措施。研究结果可为进一步治理该区黄土崩塌灾害提供理参考。

关键词: 天水市北山; 黄土崩塌; 特征; 成因; 防治

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)01-0120-04

中图分类号: P642.13⁺1

Characteristics, Causes and Controlling of Loess Collapses in Beishan Mountain of Tianshui City

XIN Cun-lin, YANG Guo-lin, ZHAO Zhi-peng, SUN Xian-hui, MA Wei-yun, LI Hong-ru

(College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: By field geo-hazard survey, statistical analysis on the characteristics of loess collapses in the Beishan Mountain of Tianshui City is performed using historical and current experimental data. The analysis and discussion on the formation mechanisms of loess collapses in the study area have revealed the material basis, mechanical properties, natural and artificial conditions of loess collapses. Results show that the geo-hazard is dominated by small or middle type of loess collapses. The results indicate that the geo-hazard of loess landslide is concentrated on small or middle type, the height of slope is from 15 m to 40 m and the gradient slope varies from 58° to 90°. However, the height of slope assigned to potential loess landslide focuses on the range from 10 m to 38 m, correspondingly, the gradient slope is from 48° to 90°. The loess collapses in the Beishan Mountain were caused by precipitation, springs, earthquakes and human activities. Accordingly, some measures can be suggested for controlling the loess collapses. Results from the study may provide guidance for controlling loess collapses in this region in future.

Keywords: Beishan Mountain of Tianshui City; loess collapse; characteristic; cause; controlling

黄土崩塌灾害是黄土高原较常见的地质灾害,包括黄土崩塌和潜在黄土崩塌两类。黄土崩塌就是已经发生了崩塌的地质灾害;潜在黄土崩塌就是还未发生崩塌,但存在巨大隐患的地质灾害,其危险性更大。虽然黄土崩塌的规模较小,但其发生的频率很高,分布极为广泛,每年都造成人员伤亡和重大财产损失。天水市北山为黄土梁峁沟壑地貌,其基本地貌形态主要为河谷、阶地和黄土丘陵^[1]。由于人类工程活动密

集、频繁,黄土崩塌严重,阻碍了当地经济的发展,且对人民群众的生命和财产安全构成了严重威胁。

1 黄土崩塌灾害概况

通过野外调查,天水市北山有黄土崩塌灾害共计 59 处(表 1),其中黄土崩塌 36 处,潜在黄土崩塌 23 处(表 2)。黄土崩塌主要分布在金李村、芦家湾、张家沟、灵山寺一带,其中金李村穆家湾西南沟中的黄

收稿日期:2012-04-04

修回日期:2012-04-17

资助项目:国家自然科学基金“甘肃窑街侏罗纪真蕨植物化石微细构造”(41262001);甘肃省科技支撑基金“甘肃省陇南金矿资源潜力评价与优化开发研究”(1104FKCA116);甘肃省高等学校研究生导师科研项目“甘肃省两当县金厂沟金矿成矿作用及选冶技术研究”(1101-07);兰州市科技计划基金“兰州市矿产资源的成矿潜力评价及可持续发展”(2011-2-89);甘肃省天水市秦城区建设局基金“天水市城区北山生态综合治理与地质灾害危险性评估”(GS0001-C03005-2010-010)

作者简介:辛存林(1967—),男(汉族),甘肃省秦安县人,教授,博士,主要从事地质矿产与地质灾害治理等方面的科研和教学工作。E-mail: xincunling@163.com。

土崩塌规模最大,长约 38 m,宽约 13 m,坡高 43 m,坡度 $70^{\circ}\sim 88^{\circ}$,体积 $1.06\times 10^4\text{ m}^3$,压埋范围约 40 m;2010 年 9 月在张家沟口发生的黄土崩塌,长 52 m,宽 5 m,坡高 26 m,体积约 $6.80\times 10^3\text{ m}^3$,坡度 $75^{\circ}\sim 90^{\circ}$,压埋房屋 1 间。

潜在黄土崩塌主要分布在雅崖沟、杜家沟、玉泉观一带(表 2),其坡高 10~57 m,坡度 $10^{\circ}\sim 78^{\circ}$,崩塌宽度 1~13 m;由于潜在黄土崩塌形成的黄土崖上

下,通常有居民住宅,据目前统计可知,共涉及居民 1 755 人,财产 2 644 万元。

表 1 地质灾害调查统计结果

地质灾害类型	地质灾害 点数/个	威胁人数/ 人	威胁财产/ 万元
黄土崩塌	36	367	641
潜在黄土崩塌	23	1 755	2 644
合计	59	2 122	3 285

表 2 潜在黄土崩塌特征统计

编号	位置	基本特征				
		坡高/m	坡长/m	坡宽/m	坡度/ $(^{\circ})$	坡向/ $(^{\circ})$
Xg5-01	金李村穆家湾沟中上游支沟处	12~17	96	3~6	50~62	95~105
Xl-01	灵山寺西面沟	17	470	2~6	50~62	95~105
Xg6-01	桥儿沟	15	150	6~7	45	86
Xg6-02	桥儿沟	12	186	5~8	25	150
Xg6-03	桥儿沟	6~19	500	5~8	39~52	85
Xg6-04	桥儿沟	30~45	347	6~8	70~90	220
Xg11-01	桥儿沟	22~30	280	4~8	70~90	30
Xg11-02	桥儿沟	8~21	146	4~8	80~90	210
Xy-01	雅崖沟	44	240	2~3	60~80	70
Xy-02	雅崖沟	20~46	212	5~8	45~60	270
Xy-03	雅崖沟	16	164	5~12	25~34	137
Xy-04	雅崖沟	11	222	13	30~45	165
Xx-02	谢家沟左岸—杜家沟西侧	10~15	156	5~9	80~90	152
Xd2-01	杜家沟西侧	38	136	2~4	50~60	75
Xd2-02	杜家沟西侧	12~36	133	2~5	40~55	231
Xg7-01	杜家沟东南	7	79	2~5	70~85	165
Xg7-02	杜家沟东南	7	75	1~3	60~75	160
Xg8-01	张家沟	45	232	2~9	65~90	45
Xg8-02	张家沟	35	196	2~6	50~85	225
Xg9-01	玉泉观沟左岸、天嘉驾校处	20	165	3~8	60~85	225
Xg9-02	玉泉观沟下游、左岸财神庙处	13	170	3~5	70~85	190
Xg9-03	玉泉观沟下游、左岸沟口	15	150	3~5	60~80	170~240
Xb-01	殡仪馆东南方向	23	195	3~7	40~80	20~40

2 黄土崩塌灾害的特征

天水北山黄土崩塌多发生于第四系中,以马兰黄土为主,陡崖、悬崖下方呈带状分布大片崩积层和阶地掩埋的崩积层就是佐证。其中潜在黄土崩塌主要分布在人类居住区周围,对周围居民的生命和财产安全构成威胁。

天水北山黄土崩塌以倾倒式为主,受风化影响,危险岩土体表面构造裂隙及风化裂缝较发育,大大降低了岩土体的整体性,加剧了岩体的变形破坏,在岩土体后缘形成新的卸荷裂隙,随着变形时间增长,张裂隙逐渐向深部扩展,从而形成整个裂隙面的贯通。因此,山体崩塌具备了倾倒、开裂以致崩塌的地质结构条件^[2]。

天水北山黄土崩塌以中、小型为主。由图 1 可知,黄土崩塌的坡高集中在 15~40 m,占总数的 86.1%;潜在黄土崩塌的坡高集中在 10~38 m,占总数的 82.6%。由图 2 可知,黄土崩塌的坡度在 $58^{\circ}\sim 90^{\circ}$,占总数的 97.2%;潜在黄土崩塌的坡度在 $48^{\circ}\sim 90^{\circ}$,占总数的 86.9%。

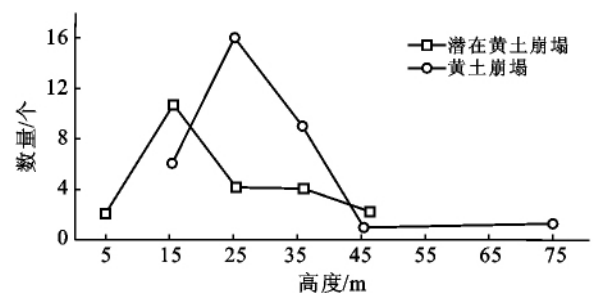


图 1 黄土崩塌灾害高度统计图

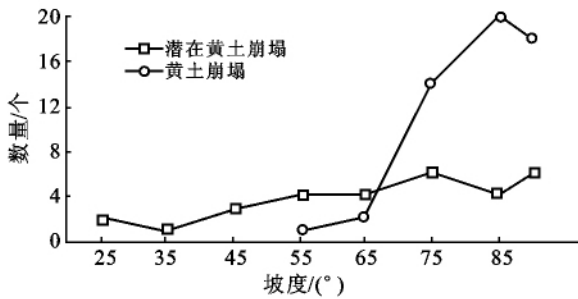


图 2 黄土崩塌灾害坡度统计图

3 黄土崩塌的成因

崩塌的形成必须具备两个基本条件：一是必须具有物质基础，二是具有高陡斜坡的地形条件。天水北山为黄土高原地区，境内沟壑纵横，坡陡谷深，黄土厚度大，力学强度低，具有崩塌的物质基础，又有发生崩塌的有利地形条件，因而黄土崩塌十分发育。

3.1 黄土的物理力学性质

黄土的强度与物质成分相关，天水北山的黄土颗粒较粗，以粉砂为主，而黏粒含量低，在土力学分类中属于黏土质壤土。基本物理特性介于砂与黏土之间，与砂比较，黄土具有塑性，与黏土比较，黄土具有较高的渗透率。由于黏粒含量有限，颗粒之间的黏结力比较弱，因此力学特性属于中等。天水市北山上部的马兰黄土，颗粒粗，孔隙大，结构疏松，容重与塑性指数比较低，具有强湿陷性，内聚力值为 0.27 kg/cm^2 ，而且垂直节理发育，强度低。下部的离石黄土，虽经长期上覆压力作用下，结构密实，孔隙比显著降低，容重增加，次生碳酸钙胶结普遍，强度增大，内聚力值达到 $0.61 \sim 0.76 \text{ kg/cm}^2$ 。然而微隙裂缝、构造节理也很发育，尤其是顺坡向的卸荷节理十分发育，成为形成崩塌的有利条件。

3.2 黄土崩塌的地形条件

天水市北山黄土厚度大，自稳性与直立性好，又处于干旱—半干旱地区，年降雨量大多在 500 mm 左右，而蒸发量高达 $1200 \sim 1800 \text{ mm}$ ，气候干燥，黄土含水量较低。环剪实验也证实，黄土含水量在 $5\% \sim 7\%$ 时，内摩擦角最大，当黄土含水量低时，矿物颗粒周围的水膜很薄，水的吸附力很强，可以达到几百到上万个大气压，在土体骨架中，起到强化结构的作用。因此，在各阶地周围、黄土塬边、河流沟谷的两岸、深切峡谷，均可形成高达数十米到百余米的高陡斜坡，为黄土崩塌提供了有利的地形条件。

3.3 黄土崩塌的促发因素

崩塌的产生仅靠自身重力和地形条件，发生的数

量很少，而且规模也很小，一般也不会形成灾害。造成规模大、数量多、灾害严重的崩塌都有其促发因素，根据实地考察，天水市北山黄土崩塌的促发因素有：

(1) 降水促发的黄土崩塌。野外观察和实验室结果都得出，水对黄土的强度有极大的影响，原始状态的含水量较小，在土体骨架中起着强化结构的作用，当有水分补充时，导致颗粒间联系力减弱，以致散化，土颗粒接触点起胶结作用的结晶盐，在吸附大量水分后溶解分离，使其联结作用丧失，破坏了土体的原始结构，而且在二粒相对位移时起到润滑作用。天水北山地区属于大陆性季风干旱气候，年降雨量为 $400 \sim 700 \text{ mm}$ ，降雨量集中在 $6 \sim 9$ 月，占全年降雨量 $60\% \sim 80\%$ ，这种降雨的集中性造成大量雨水渗入黄土体中的孔隙、节理、裂缝中，形成孔隙水压力，软化斜坡土体，降低土体强度，同时导致坡体自重增加，增大崩塌力。因此在黄土地区，每年雨季都发生大量的黄土崩塌，具有显著的时间性^[3]。

(2) 滞水、泉水的湿润。天水北山黄土被覆于古地形之上，上部马兰黄土由于颗粒粗、孔隙大、结构疏松，垂直节理发育，降雨和地表水易于渗入黄土层底部，其下伏岩层新近系泥岩，具有不透水性，即在黄土层底部与下伏岩层之间，形成滞水层、潜水层，有些地方还有泉水出露，这些地下水长期对黄土的湿润与浸泡，使其抗剪强度降低。实验证明，当黏土含水量达到 35% 时，抗剪强度降低 60% 以上。尤其在天水北山南北向的各条沟谷底部，这些滞水、潜水以渗水或泉水出露，使上部黄土发生滑塌（图 3），天水北山沟谷中的黄土崩塌占北山黄土崩塌灾害总数的 61% ，这些黄土滑塌虽然规模不大，但由下向上不断进行滑塌，一直可以滑塌到山顶，破坏农民修建的梯田，还威胁村庄的安全，同时也为泥石流提供了丰富的来源。

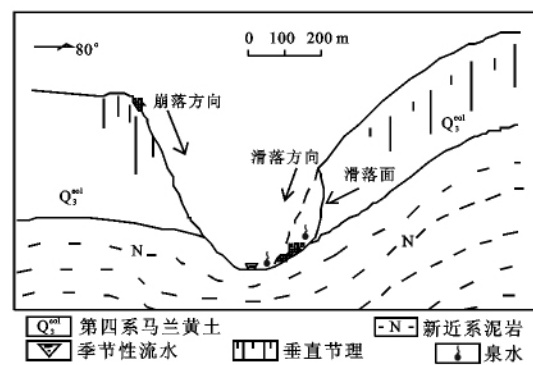


图 3 天水市北山沟谷中黄土崩塌示意图

(3) 地震促发的黄土崩塌。地震从震源出发的弹性震动，向周围介质传递时在斜坡内产生惯性力，

使斜坡产生破坏而发生崩塌,地震作用力及其破坏程度随斜坡高度增大会增大,因而高陡斜坡更易遭到破坏,促发大量的崩塌。尤其黄土结构疏松,易吸收地震能量,可使高陡斜坡发生大量崩塌^[4-5]。

根据冯学才^[6]研究,黄土地区一般 4 级以上的浅源地震即可促发黄土崩塌。6 级以上地震距震中 40~60 km,7 级以上地震距震中 250 km,8 级以上地震距震中 400 km,即可促发黄土崩塌。天水市处于我国著名的南北地震带与近东西向秦岭北麓地震带的交汇部位,地震频繁且强度大,自公元 366—1936 年,已发生 4.5~5 级地震 5 次,6 级地震 3 次,尤其 734 年 3 月 23 日的 7 级地震和 1654 年 7 月 21 日的 8 级地震,促发了大量滑坡和崩塌,2008 年 5 月 12 日汶川 8 级地震,天水震感强烈,民房受损严重,黄土斜坡变形普遍。

(4) 人类活动因素。主要包括坡脚开挖、坡顶载荷、灌溉及村庄所在山坡地的不适当修筑梯田活动。由于大规模的劈山修路,开挖坡脚,形成了大量的切坡,进而加剧了地质灾害的发生;人口的增长及山顶村庄的修建,增加了坡顶载荷和坡体自身重力,增大了滑坡崩塌灾害发生的可能性;山坡梯田的修筑改变了坡体的天然状态,减缓了大气降水的地表径流,促进了降水的入渗,加上农田灌溉,使黄土斜坡的含水量增加,提高了黄土潜水水位,影响滑坡体和不稳定斜坡的稳定性,增大了滑坡崩塌灾害的危险性^[7],对沟谷突发泥石流地质灾害也有较大影响^[8]。另外,近年来国家持续实施的退耕还林还草和封山育林政策及天水市实施的南北两山绿化工程,使黄土丘陵区生态环境有了较大改观,植被恢复速度快,覆盖率逐年增长,这在一定程度上抑制了黄土崩塌的发生。

农村居民建筑一般缺少统一规划和环境保护意识,更缺少地质灾害防治知识,不当地削坡取土,邻崖建房,邻沟建房,沟槽堆填,没有统一完善的排水系统、边坡加固、泥石流防治等基础设施,加重了地质灾害的危险性^[9]。较为严重的是城镇摩擦区及城乡结合部,这些地方不适当削坡及开挖坡脚,非法建房情况严重,往往将缓坡或陡坡削成直壁,然后靠壁建房,或在排洪沟沟道乃至沟底建房堵塞河道,有的甚至在陡壁的边缘建房,这些不仅严重破坏了地质环境,而且将自身处于危险的境地。

4 黄土崩塌的防治建议

(1) 避免在高 10 m 以上,坡度 70°~90°的黄土崖上、下修建居民住宅,今后崖上修建居民住宅,应远离崖边 10 m 以上,崖下建房应考虑坡高因素,坡越高距崖下越远,一般应距坡高的 1/2 距离。

(2) 现已建黄土崖上边且已开裂的房屋,应立即进行搬迁。处于黄土崩塌危险点的居民,应逐步进行搬迁。

(3) 对处于黄土危险点的居民但无法搬迁的,应对黄土崖上部(坡高上部 1/3 处)进行削坡,使上部坡度降为 60°以下。

致谢:本文得到了甘肃省科学院地质自然灾害防治研究所冯学才老师的悉心指导,谨在此表示衷心的感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 叶浩,裴丽欣,刘长礼,等. 甘肃省天水市罗玉沟泥石流灾害风险评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(4): 13-17.
- [2] 旷镇国. 重庆市中区危岩崩塌特征、形成机制及防治研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(3): 51-56.
- [3] 王亚军,王亚民,朱宏斌. 河北省平山县大柳树村崩塌地质灾害治理设计[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(4): 8-12.
- [4] 黄润秋,李为乐. “5·12”汶川大地震触发地质灾害的发育分布规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(12): 2585-2592.
- [5] 南金生,刘松玉,谢瑞征. 南京地区滑坡与崩塌特征分析及地震可能引起的崩塌危险区预测[J]. 地震学刊, 1998(2): 52-56.
- [6] 冯学才. 永登 5.8 级地震的震害与环境工程地质[J]. 甘肃科学学报, 1996, 8(2): 60-63.
- [7] 冯学才,陈瑾,白晓华,等. 天水市居民聚居区活动滑坡特征及防灾减灾对策[J]. 甘肃科学学报, 1992, 4(3): 60-68.
- [8] 程尊兰,崔鹏,李泳,等. 滑坡、泥石流堰塞湖灾害主要的成灾特点与减灾对策[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 733-738.
- [9] 王德耀,杜忠潮,张满社. 陕西省泾阳南塬崩塌、滑坡地质灾害及成因分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(4): 34-37.