

水文地质环境地质

黑方台地区崩塌灾害发育类型和发育机制分析

韩剑波, 杨飞

(山东科技大学地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590)

摘要:以甘肃省永靖县黑方台地区实地调查为基础,通过野外勘察黄土崩塌变形破坏特征及总结地质现象,并结合数据统计分析进行研究,得出黑方台地区崩塌地质灾害的分布特点,并且发现凸型和阶梯型坡面更容易发生崩塌灾害。崩塌发育因素可分为2方面,一方面是自然因素,包括地形地貌,地层构造和水文地质条件;另一方面是人为因素,主要是人类工程活动。天然条件下,斜坡在自重或其他因素作用下,后缘黄土垂直节理或裂隙受拉张作用力开始破裂,并向深部扩展,随着水流下渗,逐渐形成贯通面,潜在崩塌体中心外移,最终形成崩塌。黑方台地区崩塌灾害按崩塌物质成分分为黄土崩塌和基岩崩塌2类,按崩塌发生的主控因素分为自然型崩塌、人为型崩塌和人为—自然复合型崩塌3类,而大量的节理裂隙发育是发生崩塌灾害的内因因素。通过野外调查,根据动力形成机制分析,在自然因素和人为因素影响下,将黑方台地区崩塌形成方式分为4种,并阐述其发育机制。

关键词:崩塌成因;崩塌类型;发育机制;黑方台;甘肃省

中图分类号:P694

文献标识码:B

引文格式:韩剑波,杨飞.黑方台地区崩塌灾害发育类型和发育机制分析[J].山东国土资源,2018,34(3):45-49.
HAN Jianbo, YANG Fei. Analysis on the Developmental Types and Development Mechanism of Collapse Disasters in Heifangtai Area[J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(3): 45-49.

0 引言

黄土台塬是黄土高原区特有的一种地貌,其形成受河流发育的控制,是黄土在沿河流分布方向上覆盖在河流阶地上的黄土台面,一般向河谷倾斜,黄土台源一般临空空间大,斜坡普遍高陡^[1]。崩塌是黄土高原地区一种较为常见的地质灾害,它的频发性、广泛性对当地工业、农业、交通运输、水利工程等产生巨大的影响及破坏。黄土崩塌的破坏模式不仅受控于陡立的地貌形态、黄土类型与特性和构造特征(垂直节理发育)等内在因素,并且受控于人类活动和自然营力等外在因素^[2-4]。

黑方台地区位于甘肃省西南的永靖县盐锅峡镇,距兰州市约40 km 地处黄河与湟水河交汇处西南部位,湟水河南岸,黄河的北岸,为黄河的Ⅳ级阶地^[5]。调查范围包括以黑台和方台2个台塬为中心的附近地区200 km²。黑方台地区作为刘家峡、盐

锅峡库区移民安置区之一,1968年就开始进行大规模的人工提水灌溉,随着提水量的不断增加,台塬地面上陆续出现了裂缝、空穴、落水洞等,随后大规模的地质灾害相继发生^[6-9]。黑方台地区地层出露好,由老到新为:下白垩统河口群,为紫红色薄层—中厚层细砂岩,粉砂质泥岩,向上与中更新统卵砾石层呈角度不整合;之上为上更新统疏松的风积黄土,顶部表层覆盖有全新统的滑坡堆积体。

1 崩塌发育特点

通过现场调查研究发现,黑方台地区崩塌灾害的分布具有一定特点,全区共调查崩塌有36处(表1),其中黄土崩塌有22处,主要发育在湟水河南岸坡,在京藏高速红古区段路北以山神沟两侧坡体黄土崩塌灾害发育较多。基岩崩塌有14处,主要发育在黑台北侧磨石沟两侧陡坡,另外在京藏高速红古区段路北以麦洞沟两侧坡体基岩崩塌灾害发育较

收稿日期:2017-10-16;修订日期:2017-10-28;编辑:陶卫卫

基金项目:中国地质调查局工作项目(12120113007700)资助

作者简介:韩剑波(1991—),男,山东德州人,硕士研究生,主要从事工程地质方面的研究;E-mail:hanjianbo0608@163.com

多。在黄河南岸的荣兰国道两侧以变质岩系局部路段也有崩塌灾害存在。36 处崩塌灾害全部在陡崖发育,斜坡坡角均介于 $65^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 之间,说明边坡的稳

定性受斜坡坡度的影响较大,同时斜坡形态和坡体高度的变化与崩塌的发育也有关。

表 1 崩塌点发育特征分析

编号	类型	坡高/m	坡面形态	坡向/ $^{\circ}$	编号	类型	坡高/m	坡面形态	坡向/ $^{\circ}$
B001	黄土崩塌	15	直线型	223	B019	黄土崩塌	50	凸型	20
B002	黄土崩塌	25	凸型	355	B020	黄土崩塌	25	直线型	350
B003	黄土崩塌	10	直线型	260	B021	黄土崩塌	25	直线型	15
B004	黄土崩塌	20	凸型	245	B022	基岩崩塌	50	凸型	355
B005	黄土崩塌	18	阶梯型	85	B023	基岩崩塌	30	凸型	20
B006	黄土崩塌	25	凸型	90	B024	黄土崩塌	40	直线型	190
B007	黄土崩塌	15	直线型	270	B025	黄土崩塌	25	直线型	250
B008	黄土崩塌	25	直线型	120	B026	基岩崩塌	20	阶梯型	205
B009	黄土崩塌	20	阶梯型	150	B027	基岩崩塌	40	阶梯型	120
B010	基岩崩塌	25	阶梯型	110	B028	基岩崩塌	20	阶梯型	190
B011	基岩崩塌	17	阶梯型	275	B029	黄土崩塌	40	凸型	130
B012	基岩崩塌	20	阶梯型	286	B030	黄土崩塌	12	直线型	260
B013	黄土崩塌	30	阶梯型	230	B031	基岩崩塌	15	凸型	255
B014	黄土崩塌	20	阶梯型	266	B032	基岩崩塌	20	凸型	230
B015	黄土崩塌	20	凸型	50	B033	基岩崩塌	30	凸型	250
B016	黄土崩塌	60	凸型	150	B034	基岩崩塌	13	阶梯型	260
B017	黄土崩塌	20	直线型	340	B035	基岩崩塌	120	阶梯型	255
B018	黄土崩塌	100	凹型	235	B036	基岩崩塌	25	凸型	245

(1)坡形与崩塌的关系。根据斜坡坡面形态特征,可将斜坡分为凹型、凸型、阶梯型和直线型。在调查的 36 个崩塌中,有 25 个在凸型或阶梯型中发育,占崩塌总数的 69%,其中阶梯型坡有 12 个,凸型有 13 个;直线型坡有 10 个,占崩塌总数的 28%,凹型坡仅 1 个(图 1)。调查结果表明坡型对斜坡的稳定性和变形破坏过程起到主导作用,凸型、阶梯型比直线型和凹型斜坡更容易发生崩塌灾害。

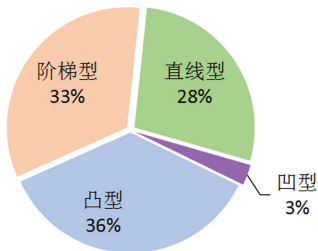


图 1 研究区斜坡坡形与崩塌关系统计图

(2)坡高与崩塌的关系。研究区内崩塌主要发生在坡高 15~25 m 的斜坡地带,占统计崩塌总数的 53%,其次发生在 25~50 m 的斜坡或坡高小于 15 m 的斜坡地带,占统计崩塌灾害的 39%,坡高超过 50 m 的情况下发生崩塌的概率减小(图 2)。由于高斜坡在风化作用下已趋于稳定;反之,低斜坡受

河流以及人类工程活动的影响大,还未达到稳定状态,更易形成陡坡,因而具有较高的发生崩塌的概率。

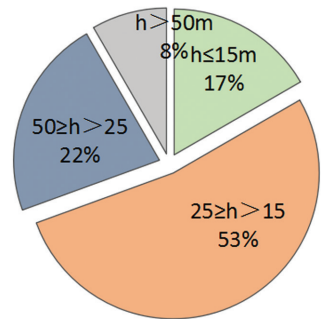


图 2 研究区斜坡坡高与崩塌灾害的关系

2 崩塌发育成因分析

2.1 自然地质条件

(1)地形地貌。黑方台地区的新构造运动以差异性上升为主,其结果使白垩纪地层强烈倾斜,局部褶皱构造发育。下白垩统河口群上段的砂泥岩地层中节理比较发育,同时河流的下蚀作用强烈,形成了多级阶地地貌,黑方台即为黄河的 IV 级基座阶地。位于斜坡高处的黄土垂直节理较发育,势能大,在重

力作用下,重心有向外移动的趋势,倾向临空方向,在其他诱发因素作用下,便会形成崩塌。

(2)地层结构。区内组成台塬边坡的地层岩性主要为黄土和下白垩统河口群上段的砂泥岩。黄土在干燥时具有较高的强度,而遇水后表现出明显的湿陷性,力学性质随含水量的增加而降低^[10]。下白垩统河口群上段的砂泥岩,为粉质粘土,岩石表面呈强风化状,在边坡出露部位,其组织结构已大部分被破坏,风化裂隙十分发育,岩体破碎为碎块状,干时强度低,可用手折断或捏碎,浸水或干湿交替时易软化或崩塌。上部的黄土易崩解,而底部的基岩地层隔水性能强且遇水软化,因而下部形成相对隔水层。当雨水随着裂隙进入到盖层附近时,下渗速度减慢,对裂隙的根部浸润、掏蚀,最终在坡顶拉张应力作用下,在裂隙根部断裂,同时斜坡临空面又高,易形成崩塌灾害。

(3)水文地质条件。黑方台地区受地层组合岩性的控制,在垂直方向上,顶部黄土为疏松多孔的介质,易渗水,其下为相对隔水的致密粉质粘土层,而卵砾石层又渗水,砂泥岩又相对隔水。黑方台地区降水为季节性降水,降水量虽不多,但降雨较为集中,主要集中在每年7—9月,强降雨频发,特大暴雨也时有发生,这样的强降雨对边坡稳定影响显著。

2.2 人为诱发因素

(1)农田灌溉工程。区内黄土台塬顶部,当地人民的农田灌溉以及排水系统设置不合理,使台塬顶部本来的径流发生变化,雨水无法及时排出,便顺着黄土裂隙入渗到边坡内部,从而增加边坡内部含水量,使边坡处于不稳定状态。

(2)修路切坡工程。现代城市的快速发展促进了黑方台地区公路工程的大规模建设,也就产生了大量的边坡工程,工程建设打破了边坡原有的平衡,使得坡体内部重力发生重分布,会使坡体受力不平衡,诱发崩塌。

(3)原地取材工程。现场调查发现有些沟谷地段,坡脚出露厚2~5 m的卵砾石层,有当地村民为各种用途直接在坡脚掏挖卵石,导致坡体顶部地层悬空,易发生崩塌。

3 崩塌发育分类

该次调查研究工作全面分析了黑方台地区崩塌

灾害发育的类型和规律,从不同的研究角度进行分析有不同的分类方案。按照崩塌灾害发生的主控因素不同,区内崩塌灾害可以划分为自然型崩塌、人为型崩塌和人为-自然复合型崩塌。

3.1 按主控因素分类

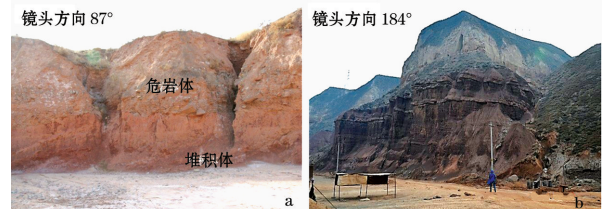
(1)自然型崩塌。自然型崩塌主要分布在节理裂隙较多的黄土斜坡中。水顺着斜坡上的裂隙入渗到坡体内部,坡体内部土体在水的浸泡作用下软化,承载力下降。另外,冻融作用加快裂隙及垂直节理发育,进而加剧了路边斜坡黄土崩塌的发生^[11]。

(2)人为型崩塌。人类工程活动逐渐成为改变边坡形态的重要因素,尤其需要对边坡进行开挖的工程,破坏了边坡原有的受力状态,当坡脚无法对上部坡体形成有效支撑时,在坡脚处首先发生变形、破坏,上部坡体便沿着潜在的节理面形成崩塌^[12-14]。

(3)人为-自然复合型黄土崩塌。由于人工开挖导致边坡原有的稳定性结构被破坏,边坡处于重力重分布状态,坡体前缘临空。加之各种自然因素(降雨、风化和冻融等)的影响,降低了坡体整体强度。崩塌发生后,塌落的岩土体会在与地面的撞击下破裂,在坡脚堆积。

3.2 按物质组成分类

可将区内的崩塌划分为黄土崩塌和基岩崩塌^[15](图3)。



a—黄土崩塌;b—基岩崩塌

图3 黑方台地区崩塌灾害典型类型

(1)黄土崩塌。黄土崩塌主要受黄土地层中发育的垂直节理所控制的,黄土地层常呈均质块裂式,以倾倒式变形破坏为主(图3a)。

(2)基岩崩塌。主要是以早白垩世砂泥岩地层为主,由于多组节理裂隙的切割作用,坡表形成凸出的危岩体,在表生风化作用下,危岩体易失稳而塌落坡脚,呈倒锥形堆积体(图3b)。

4 崩塌发育机制分析

根据动力机制可把黑方台地区的崩塌灾害分为4种类型,分别为拉裂—倾倒式崩塌、拉裂—滑移式崩塌、拉裂—坠落式崩塌和拉裂一下挫式崩塌^[17-18](图4),天然条件下,调查区的崩塌主要以前2种类型,在边坡人工开挖等影响下也有后2种型式。

(1)拉裂—倾倒式崩塌。拉裂—倾倒式崩塌主要发生在降雨、集中径流、潜蚀等作用下,垂直裂隙持续扩展,并继续向深处发展^[16],若张拉裂缝、大孔隙中的地下水未能及时流走,便在裂隙中产生相当大水平力,这种力在水平方向上推动块体重心不断外移,使得黄土斜坡的稳定性降低,后侧裂隙扩大。当支撑面不足以支撑上部的岩土体,或其后侧裂隙充水强度降低时,当转动力矩大于抗倾覆力矩时,也就形成了倾倒型崩塌(图4a)。

(2)拉裂—滑移式崩塌。拉裂—滑移式崩塌主要发生基岩层面缓倾向坡外的斜坡地带,在坡肩附近岩土体被垂直节理或裂缝切割,被切割的块体底部存在顺坡倾伏的软弱层面时,常发生拉裂—滑移式崩塌(图4b)。被切割的块体在降雨作用下,水沿裂缝进入块体内部,一方面产生静水压力和动水压力,另一方面水体会对隔水层接触面起软化作用,在重力作用下,被切割的块体向坡外滑动,当重心滑出坡体支撑范围,就会产生拉裂—滑移式崩塌。

(3)拉裂—坠落式崩塌。拉裂—坠落式崩塌主要发生在调查区基岩斜坡地带,坡体由早白垩世砂泥岩软硬互层构成,抗风化能力较弱的泥岩地层在坡面呈凹形,而泥岩层上部的砂岩地层抗风化能力较强,风化能力差异造成坡面呈突出状悬空。区内砂岩地层在地表长期风化作用下,岩体内节理裂隙较发育,在重力、降雨等作用下,处于悬空的岩体沿垂向节理拉裂张开,逐步形成贯通面,造成岩体坠落(图4c)。

(4)拉裂一下挫式崩塌。拉裂一下挫式崩塌主要发育在受人类工程活动干扰的黄土斜坡地带。近直立的黄土边坡因坡脚开挖,或坡脚发育河流长期冲刷作用,造成边坡前缘土体产生临空面,坡体后缘原有的垂直裂隙在卸荷作用或降雨入渗土体强度降低的因素下发生拉裂,并逐渐向下扩展形成贯通面,不稳定土体沿贯通面产生下挫式塌落(图4d)。

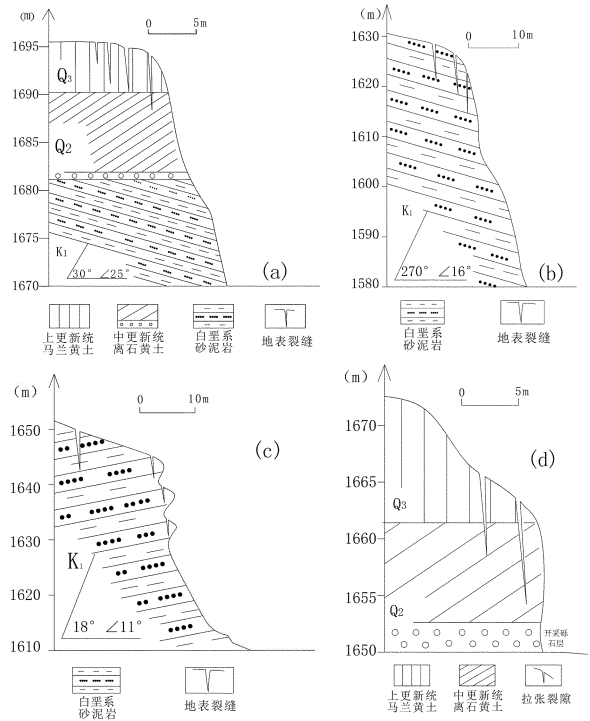


图4 黑方台地区崩塌灾害发育模式

5 结论

通过野外地质灾害调查,采用现场数据统计,理论分析等研究方法,对黑方台地区崩塌地质灾害发育特征及规律性进行了系统研究与分析,总结出以下几点:①黑方台地区崩塌灾害主要发育在湟水河南岸坡;②黑方台地区崩塌发育的主要控制因素为节理裂隙大量的发育,而诱发因素主要为人类的工程活动,其次还有斜坡的地貌特征、坡体的结构等;③按照崩塌灾害发生的主控因素不同,调查区崩塌灾害可以划分为自然型崩塌、人为型崩塌和人为—自然复合型崩塌;按照崩塌的物质组成成分分类,可将区内的崩塌划分为黄土崩塌和基岩崩塌;④根据动力机制可把黑方台地区的崩塌灾害分为4种类型,在自然因素下,主要为拉裂—倾倒式崩塌、拉裂—滑移式崩塌;在人类生产活动影响下,主要为下拉裂—坠落式崩塌和拉裂一下挫式崩塌。

参考文献:

- [1] 成良霞.“5.12”汶川地震后映卧公路边坡崩塌灾害形成机理与危险性评估研究[D].西安:长安大学,2014:1-19.
- [2] 王根龙,张茂省,苏天明,等.黄土崩塌破坏模式及离散元数值模拟分析[J].工程地质学报,2011,19(4):541-549.

- [3] 杨全城,王庆兵,董玉龙,等.济南药山崩塌地质灾害治理方法初探[J].山东国土资源,2017,33(2):43-46.
- [4] 张茂省.黄土地质灾害影响因素研究[J].工程地质学报,2007,15:133-140.
- [5] 魏丽娟.黑方台黄土滑坡成因与滑距分析[D].兰州:兰州大学,2012:18-29.
- [6] 王思源.黑方台黄土斜坡变形过程数值模拟[D].兰州:兰州大学,2013:1-20.
- [7] 罗浩,伍法权,常金源,等.黑方台马兰黄土固结条件下孔隙变化特征[J].工程地质学报,2014,22(5):845-850.
- [8] 王家鼎,惠洪河.黑方台台缘灌溉水诱发黄土滑坡群的系统分析[J].水土保持通报,2001(3):10-13.
- [9] 吴宇,裴向军,崔圣华.灌溉型黄土滑坡变形破坏特征的离心机模型研究[J].建筑安全,2015,30(5):40-44.
- [10] 余志山.黄河三峡移民区大规模群发性滑坡灾害成因分析[J].地下水,2010,32(3):149-151.
- [11] 范丽晓,马玉梅,钱璞,等.公路黄土崩塌灾害影响因素分析[J].华东公路,2014(2):56-58.
- [12] 范丽晓.公路黄土边坡崩塌灾害风险性评价及对策研究[D].西安:长安大学,2015:1-10.
- [13] 李守昌,廉德军,周绍智,等.泰山云步桥景区崩塌灾害特征及防治[J].山东国土资源,2014,30(12):46-50.
- [14] 段钊,赵法锁,陈新建.陕北黄土高原区崩塌发育类型及影响因素分析——以吴起县为例[J].自然灾害学报,2012,21(6):142-149.
- [15] 潘懋,李铁锋.灾害地质学[M].北京:北京大学出版社,2002:6-21.
- [16] 叶万军,董西好,杨更社,等.倾倒型黄土崩塌稳定性判据及其影响范围研究[J].岩土力学,2013,34(S2):242-246.
- [17] 程佳.交河古城崖体破坏机理及数值模拟[D].兰州:兰州大学,2009:38-49.
- [18] 李建林.边坡工程[M].重庆:重庆大学出版社,2013:6-20.
- [19] 延延.铜川市耀州区地质灾害分析与防治对策[D].西安:西安科技大学,2008:42-49.
- [20] 邓雄业,易顺民.广东省崩塌地质灾害的时空分布特征[J].工程地球物理学报,2008(3):356-363.

Analysis on the Developmental Types and Development Mechanism of Collapse Disasters in Heifangtai Area

HAN Jianbo, YANG Fei

(Earth Science and Engineering College of Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China)

Abstracts: Based on the field investigation of Heifangtai area, the deformation characteristics of the loess collapse geological phenomena, combining with statistical analysis, the distribution characteristics of geological disasters in Heifangtai area have been introduced. It is found that convex and ladder-type slope are easy to happen collapse disasters. The factors which will cause collapses can be divided into two aspects, one is natural factors, including topography, stratigraphic structure and hydrogeological conditions; the other is human factors, mainly human engineering activities. Under natural conditions and the action of self-weight or other factors, vertical joints or cracks by the tensile force will happen in the trailing edge loess, then widen to the deep part. Accompanying with water infiltration, through plane will be formed gradually. The potential collapse center will migrate to surrounding areas, and form collapses eventually. The collapses in Heifangtai area can be divided into loess collapse and bedrock collapse according to the materials of collapses. According to main controlling factors of collapses, it is divided into natural type collapse, man-made collapse and man-made compound type collapse. A large amount of joint fissures are intrinsic factor of collapse. Through field investigation, according to the analysis of dynamic formation mechanism, under the influence of natural factors and human factors, the formation types of collapses in Heifangtai area can be divided into four kinds, and the development mechanism has been introduced as well.

Key words: Collapse origin; collapse type; development mechanism; Heifangtai; Gansu province