

范立民, 李勇, 宁奎斌, 等. 黄土沟壑区小型滑坡致大灾及其机理[J]. 灾害学, 2015, 30(3): 067-070. [Fan Limin, Li Yong, Ning Kuibin, et al. Small Landslide and Disaster-Causing Mechanism in Gully Loess Area [J]. Journal of Catastrophology, 2015, 30(3): 067-070.]

黄土沟壑区小型滑坡致大灾及其机理^{*}

范立民¹, 李 勇¹, 宁奎斌², 滕宏泉¹, 王启耀³, 张新宇¹

(1. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054; 2. 陕西省国土资源厅, 陕西 西安 710065;

3. 长安大学 西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘 要: 发生于延安市甘泉县马岔沟的黄延高速公路 14 标段的滑坡灾害, 滑坡体小但灾情严重, 造成 19 人死亡、2 人受伤。滑坡体滑向 285°, 滑动块体长约 12 m, 宽约 10 m、厚约 3 m, 体积约 360 m³, 为一小型黄土滑坡。调查发现, 滑坡体位于黄土沟壑区, 属于地质灾害高易发区, 后缘有一长大裂缝, 为古滑坡体的一部分。形成原因主要是高陡边坡的存在, 加之滑坡体上部储水设施引水管漏水, 长期浸润, 导致滑坡体含水量高达 31% 以上, 最终形成一个规模小、滑距长、速度快的飞跃式滑坡, 滑坡体直接砸在坡脚下的工棚上, 致灾严重。提出了加强黄土沟壑区工棚、建筑工地选址论证和地质灾害监测的建议。

关键词: 地质灾害; 小型黄土滑坡; 致灾机理; 控制因素; 成因分析

中图分类号: P642.13+1; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2015)03-0067-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2015.03.013

据统计, 2001-2014 年陕西境内黄土地区共发生伤亡性地质灾害 63 起, 造成 237 人死亡, 87 人受伤。其中, 延安 41 起, 死亡 143 人, 受伤 51 人; 榆林 22 起, 死亡 94 人, 受伤 36 人。从地质灾害类型来看, 主要以崩塌为主, 滑坡次之, 泥石流较少。其中, 延安市黄土崩塌 27 起, 死亡 75 人, 受伤 11 人, 黄土滑坡 9 起, 死亡 60 人, 受伤 33 人, 泥石流 5 起, 死亡 8 人, 受伤 7 人。榆林市黄土崩塌 19 起, 死亡 85 人, 受伤 36 人, 黄土滑坡 3 起, 死亡 9 人。滑坡多数为一种主滑面发育于黄土层内部的滑坡体, 2014 年 10 月 10 日 21:10 发生在甘泉县黄延高速 14 标段工棚区的马岔沟滑坡(下称马岔沟滑坡), 就属于黄土层内滑坡, 造成了 19 人死亡的重大损失。

为了减轻黄土沟壑区地质灾害, 我国科学家进行了大量科学调查和研究, 提出了黄土地质灾害的形成机理及致灾模式, 取得了重要进展。如许领等^[1]研究了黄土滑坡的工程地质问题; 周耀峰等^[2]、张常亮等^[3]、李秀珍等^[4]、唐亚明等^[5]研究了入渗、侵蚀对黄土滑坡(斜坡)的影响, 尤其是塬边灌溉作用下黄土滑坡的稳定性; 段钊^[6]研究了黄土滑坡的触动机理; 张茂省等研究了黄土滑坡的诱发机理^[7], 彭建兵等^[8]提出了应该重点加强黄土灾害成灾模式、超前预报等关键科学问题的建议, 对今后黄土地区地质灾害研究指明

了方向; 龙建辉等^[9]研究了黄土滑动带的蠕变特征, 研究了黄土滑动带蠕变模型与失稳时间的关系; 黄玉华等^[10-11]研究了 2013 年 7 月延安地区高强度降雨与黄土滑坡等地质灾害发育的规律, 分析了浅表层黄土滑坡、坡面泥流的致灾特点及成因。上述研究, 为防灾减灾提供了科学依据。

然而, 对于诱发因素多样、防不胜防的黄土沟壑区滑坡, 至今没有很好的准确预报方法。本文以马岔沟滑坡为例, 分析了黄土层内滑坡的形成及影响因素, 探讨了防御对策。

1 马岔沟滑坡灾情及成因分析

1.1 马岔沟滑坡概况

马岔沟滑坡位于延安市甘泉县城关镇岳屯村碾渠台芦草沟东侧斜坡上部(黄延高速扩能工程十四标段马岔沟隧道东侧), 滑向 285°, 滑动块体长约 12 m, 宽约 10 m、厚约 3 m, 体积约 360 m³, 为一小型黄土滑坡(图 1)。造成坡体下部 2 排 8 间工人工棚被冲毁, 19 人死亡, 2 人受伤。具有典型的黄土层内滑坡特征。该斜坡坡向 285°, 高约 38 m, 坡度平均 60°, 坡体长约 44 m, 地层岩性为第四系马兰黄土。滑坡分为上中下三个部分: 上部滑块长约 12 m, 宽约 10 m、厚约 3 m, 体积约

^{*} 收稿日期: 2015-01-13 修改日期: 2015-02-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划“973”项目“黄土重大灾害及灾害链的发生、演化机制与防控理论”(2014CB744700)

作者简介: 范立民(1965-), 男, 山西曲沃人, 教授级高级工程师, 主要从事地质灾害研究工作。E-mail: 498518851@qq.com

360 m³; 中下部由于刮铲作用, 形成宽约 17.6 m, 长约 32 m, 厚约 0.5 ~ 1 m 的滑槽; 底部为滑坡堆积物, 长约 23 m, 宽约 22 m, 面积 506 m², 冲毁两排工棚。



图1 马岔沟滑坡体全貌(镜像 160°)

1.2 马岔沟滑坡成因分析

马岔沟滑坡地处地质灾害高易发区, 区内坡陡、林密, 滑坡不易识别, 是一起自然原因形成的滑坡, 主要形成原因如下。

(1) 该滑坡地处陕北黄土丘陵区, 原始坡体地形高陡, 上陡下缓, 下部坡度约 40° ~ 50°, 上部近直立, 坡体岩性为第四系马兰黄土, 土质结构疏松多孔, 地质环境条件脆弱, 属地质灾害高易发区(图 2), 施工场地工人临时宿舍建设选址不合理。

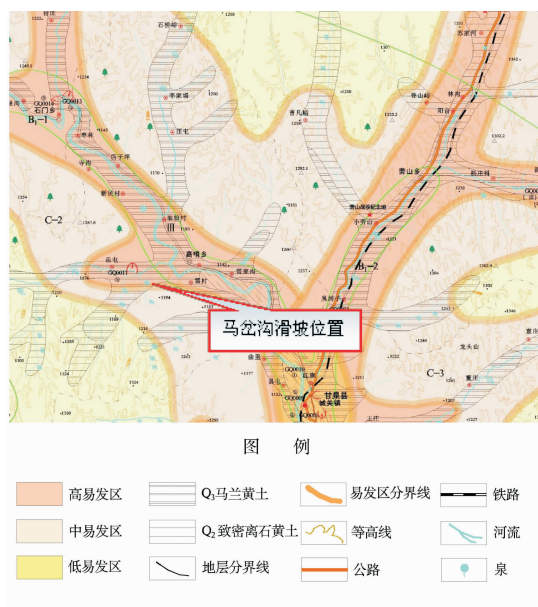


图2 马岔沟滑坡及周边地质灾害易发性分区

(2) 该处为一古滑坡, 后壁残留一变形体, 长约 12 m, 宽约 17.6 m, 厚约 3 m, 体积极 640 m³, 后缘可见拉张裂缝(图 3a), 宽 17 cm, 稳定性差, 此次发生的滑坡是该变形体的一部分, 长约 12 m, 宽约 10 m, 厚约 3 m, 方量约 360 m³。

(3) 据甘泉县石门雨量站监测统计, 该区 2014 年 9 月份以来累计降雨量 121.2 mm, 10 月 1 日至滑坡发生的 10 日 21:10, 未降雨, 前期累计降雨

造成滑坡体黄土含水量达到 21%, 黄土含水量大对此次滑坡的发生有重要影响。

(4) 滑坡体土体含水量系统测试发现, 滑体含水量处于饱和状态(含水量 31.4%), 明显高于滑体周边土体含水量(21%), 调查证实, 马岔沟隧道施工队在滑坡体顶部安置有简易储水罐供下方生活用水, 滑坡发生前 4d 出现供水异常, 可能是引水管渗漏, 造成滑坡部位土体饱和, 重度增加, 力学强度降低, 是发生此次滑坡的诱发因素。

(5) 该滑坡体滑动部位距离坡脚高约 28 m, 剪出口高, 滑动速度快, 冲击力强, 滑程远, 属于远程、高速滑坡, 滑坡体直接撞击在工棚上, 瞬间导致工棚高压致灾, 在工棚内工人毫无防备的情况下, 致灾严重。

1.3 马岔沟滑坡的特点

滑坡共有的其他特征在此不再赘述, 此次滑坡清晰地体现出了小型黄土层内滑坡独有的特征, 我们总结了马岔沟滑坡, 具有规模小、滑距长、速度快、难识别、高易发的特点。

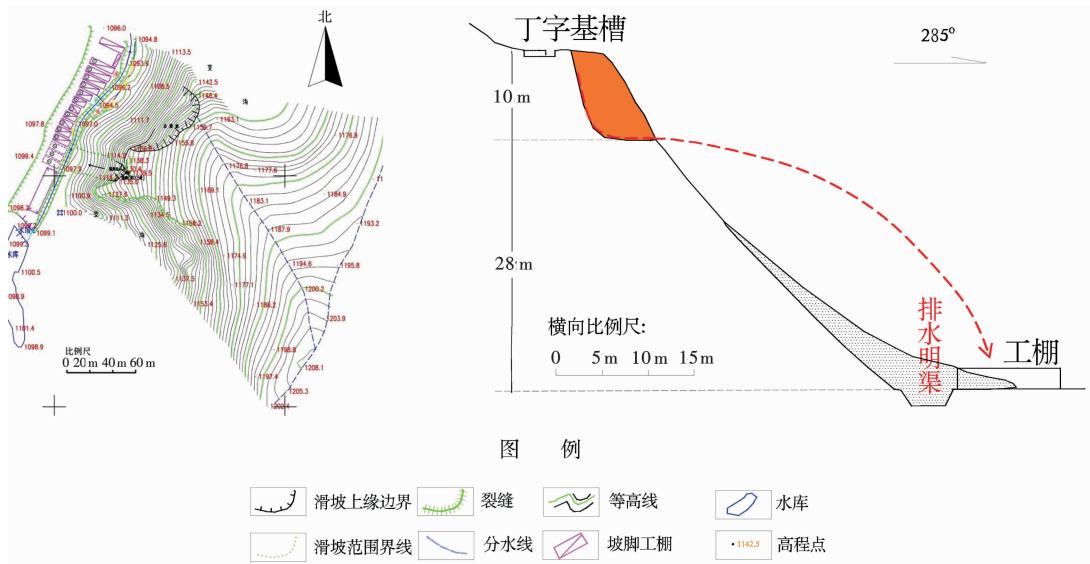
(1) 规模小。马岔沟滑体长约 12 m, 宽约 10 m、厚约 3 m, 体积仅 360 m³, 大体积滑体由于重力过大, 很难形成如图 3 所示的抛物滑床, 也很难向前远距离抛出, 正是本次滑坡体小, 才使致灾严重。

(2) 滑距长、速度快。工棚与马岔沟滑坡滑体坡脚有 7 m 之多, 且中间相隔一道 1.50 m 宽的人工排水渠, 滑坡土体为向前抛出击中工棚(图 3)。大型黄土滑坡多为下错或者垮塌式滑动, 由于多发较陡崖边, 其威胁范围主要集中在坡体顶部、近坡脚下, 而体积较小的黄土层内滑坡(本次马岔沟)在下滑时可能形成弧形滑床, 加速剪出, 我们推测, 滑坡从剪出到落地, 可能只有十几秒或几十秒时间就完成。此类滑体居于较高坡顶时则极有可能增加滑程, 其威胁范围在坡顶小于大型黄土滑坡, 在坡脚大于大型黄土滑坡。

(3) 难识别。近年来, 黄土高原禁牧措施及退耕还林措施的实施, 部分黄土沟壑区丛林茂密, 黄土很少裸露, 即使黄土边坡有裂缝或危险性, 也很难发现。黄土高边坡的坡脚, 又常常成为工棚的选择地点, 工棚往往保持较小距离便以为安全, 忽略了此类小型黄土层内滑坡的远程性, 滑体为抛物剪出(图 4), 相比堆积层蠕滑和大型滑体垮滑距离要远, 往往扩大了滑坡体的威胁范围(图 5)。

(4) 高易发。马岔沟滑坡为第四系马兰黄土覆盖, 地质环境条件脆弱, 经过测绘周边地形为上微凸形, 并不利于降雨汇流, 但土质结构疏松多孔, 土体极利于水流下渗, 造成土体饱和, 容重增加, 抗剪强度降低, 此类黄土陡坡易形成滑坡。

值得注意的是, 滑坡体滑面上有明显的流水痕迹(图 1), 推测为滑坡发生后, 滑坡体上方储水设施引水管被拉断, 储水设施中的水顺着拉断的位置(滑坡体后缘裂缝附近)泄水所致。



(a) 滑坡体地形及古滑坡体后缘裂缝分布 (b) 滑坡体运动轨迹
图 3 马岔沟滑坡滑坡体及运动轨迹示意图



图 4 马岔沟滑坡体剪出后抛物滑面(镜像 150°)

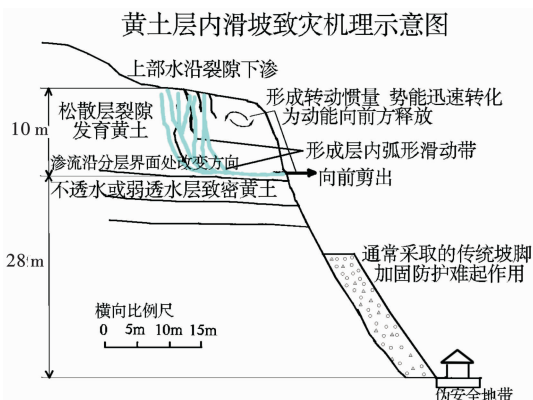


图 5 黄土层内滑坡致灾机理示意

2 马岔沟小型黄土层内滑坡的影响因素

2.1 黄土斜坡自身特征

滑体内部的土质性状, 土体疏松、孔隙较大、裂隙发育尤其是垂向裂隙发育并在黄土内部分层现象明显的陡崖坡体容易出现脱落, 水流往往快

速沿土体裂隙下渗到分层处转而水平或沿此水平方向形成弧形滑动带, 一旦失稳, 就会剪出, 相反, 分层现象不明显, 则易崩落或者滑落, 难以形成顺层剪出面(见图 5)。

2.2 土壤层面的影响

马岔沟滑坡黄土具有明显的分层特征, 斜坡体的黄土由两部分组成, 中间是相对隔水的层面, 上部土壤松散, 易于浸水, 在没有人工原因情况下, 土壤含水量达到 21%, 系大气降水原因形成的。下部则含水量微弱, 之间被一个相对的隔水层分离, 形成滑坡的滑床面。

分层面位于滑体的部位非常重要, 马岔沟滑坡分层面位于坡体中上部, 如分层面位于坡体中下部或下部, 则可能会出现整体蠕滑鼓出或前移式滑动, 所以分层面位于滑体中上部且脱离体方量较小, 成为抛物剪出必要条件。

滑动面高度和坡度也有较大影响, 马岔沟滑坡滑体方量剪出时为抛物形式, 以动能向前, 下方有足够高度为增程的必要条件, 如下方坡缓或有台阶地貌, 则不能抛出。

2.3 滑坡体土壤含水量

土体含水量, 无论是人为用水还是降雨造成, 含水量都是滑坡失稳的决定因素, 当土体饱和失稳时, 滑动带以塑性摩擦滑移, 孔隙水压力不只减少土体有效应力, 还改变了滑带土体性状, 大大降低土体抗剪强度, 同时土体容重加大, 稳定程度降低, 甚至失稳, 导致势能动能迅速转化, 滑体能够加速滑出。

3 黄土沟壑区滑坡防御对策

马岔沟滑坡给我们带来了深刻的教训, 也带

来了深刻的思考。对于陕北地区的此类小型黄土层内滑坡,在工程施工、道路开掘、房屋修建、场地选址时应提前、重点、开展专项排查,一经确定,应采取相应措施进行治理。

(1)坚持“凡建设必评估”、“凡开挖必防护”制度,地质灾害高、中易发区开展工程建设或搭建临时工棚,必须做好地质灾害危险性评估工作,详细查明区内地质环境条件、地质灾害分布及人类工程活动条件下,地质灾害发育规律,并提出防范措施;对于黄土地貌区,开挖工程一律要做好支护工程,确保安全。

(2)在黄土沟壑区搭建工棚或修筑住宅区(厂矿),应该选取距离坡脚足够的安全距离,以保证施工人员和场地安全。

(3)在黄土沟壑区的工地,要严格控制坡体水浸方式,对可能发生小型黄土层滑坡的区域予以局部防水、导水防护,并开展巡查,发现后缘拉裂缝应及时预警,或请专业人员勘查处置。

(4)传统滑坡防治尤其是临时性防护一般都只针对滑坡底部进行支护加固,这可以防止整个坡体整体滑动失稳,却忽略了坡体上部裸露的自由土体可能产生的小型黄土层内滑坡,对可能发生小型黄土层内滑坡的较陡坡面应予以全面拉网防护,避免土体剪出后抛落。

4 结束语

小型黄土层内滑坡具有易发性、隐蔽性和危害性,往往使人防不胜防,不加重视也会造成严重后果,马岔沟滑坡就是惨痛的案例。因此,在黄土地区建设,无论是永久工程、临时性工程(工

棚)或居住选址,都要认真、严肃地对待,做好地质灾害危险性评估,提出切实可行的措施,在工程运营、居住过程中,做好监测预防预警工作,绝不能掉以轻心、治大而放小,只有这样,才能确保工程安全、施工人员安全和居住人员安全。

致谢: 陕西省地质调查院王双明教授、长安大学彭建兵教授、中国地质调查局西安地质调查中心张茂省研究员参加了野外调查和滑坡成因分析,特此致谢!

参考文献:

- [1] 许领,戴福初,邱国麟,等. 黄土滑坡典型工程地质问题分析[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(2): 287-293.
- [2] 周跃峰,谭国焕,甄伟文,等. 入渗诱发黄土滑坡的力学机制[J]. 岩土力学, 2013, 34(11): 3173-3179+3186.
- [3] 张常亮,王阿丹,邢鲜丽,等. 侵蚀作用诱发黄土滑坡的机制研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(5): 1585-1592.
- [4] 李秀珍,何思明,王震宇,等. 降雨入渗诱发斜坡失稳的物理模型适用性分析[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 34-38.
- [5] 唐亚明,薛强,毕俊攀,等. 降雨入渗诱发黄土滑塌的模式及临界值初探[J]. 地质论评, 2013, 59(1): 97-106.
- [6] 段钊. 黄土滑坡触发机理研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [7] 张茂省,李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540.
- [8] 彭建兵,林鸿州,王启耀,等. 黄土地质灾害研究中的关键问题与创新思路[J]. 工程地质学报, 2014, 22(4): 684-691.
- [9] 龙建辉,郭文斌,李萍,等. 黄土滑坡滑带土的蠕变特性[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(10): 1023-1028.
- [10] 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.
- [11] 黄玉华,武文英,薛强,等. 陕北子长县阎家沟黄土滑坡特征及其变形机制[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 64-67.

Small Landslide and Disaster-Causing Mechanism in Gully Loess Area

Fan Limin¹, Li Yong¹, Ning Kuibin², Teng Hongquan¹, Wang Qiyao³ and Zhang Xinyu¹

(1. Shan'anxi Institute of Geo-Environment Monitoring, Xi'an 710045, China; 2. Department of Land and Resources of Shaanxi Province, Xi'an 710065, China; 3. Key Laboratory of Western China's Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Chang'an University, Xian 710054, China)

Abstract: At 21: 10 on October 10, 2014, a landslide hazard occurred to the 14th section of the Huangyan Express Way located at Machagou, Ganquan County, Yanan City. It caused 19 deaths and 2 injuries. The slip mass in 12m long, 10m wide, 3m thick with a volume about 360 m³ sliding 270°. It is a small landslide of loess. According to the investigation, the slip mass is located in the gully loess area which is an easy occurrence area of geological disaster. There is a large and long gap at the back edge which a part of the ancient slip mass. It is formed mainly for the existence of the high and steep slopes. Besides, the long term infiltration of pipe leakage of water storage facilities at the upper side of the slip mass causes the water content as high as over 31%, thus finally causes the formation of a leap type landslide of small scale, long distance and rapid speed. The slip mass directly hit on the word sheds at the foot of the slope and cause serious disasters. Arguments on strengthening work sheds and selection of constructions as well as suggestions on geological disaster monitoring are proposed.

Key words: geological disaster; small loess landslide; disaster-causing mechanism; controlling factors; cause analysis