

黄土地区公路崩塌危险性简易快速评价方法探讨

马保成¹, 范丽晓², 田伟平²

(1. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 陕西 西安 710054;

2 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:公路黄土崩塌灾害在陕北黄土地区多发、易发, 给当地公路交通建设和运营造成严重危害。结合陕北 S302(榆林至佳县)沿线典型路段黄土边坡的现场调研, 研究公路崩塌灾害简易快速评价方法, 对灾害科学评判及减灾具有重要的工程意义。首先, 分析了影响黄土崩塌灾害的因素, 并通过专家咨询法和相对比较评分法提取了 4 个关键因子作为识别指标, 即破坏阶段、坡度、崩塌规模和坡高; 其次, 给各个识别指标赋以相应权重, 对公路黄土崩塌危险性进行初步综合评价, 并以 K66+100~K66+650 路段为例进行实例检验, 为快速识别评价公路黄土崩塌提供了一种方法。

关键词:公路工程; 黄土边坡; 崩塌; 识别评价

文章编号:1003-8035(2014)02-0019-07

中图分类号:U416.1+4; P642.21

文献标识码:A

崩塌是陡峭斜坡上的岩土体在重力及各种外力作用下, 发生断裂、倾倒, 并沿斜坡翻滚、跳跃、滑移, 最终停积在坡脚的块体运动现象。由于崩塌体崩落往往具有突发性, 下落迅速, 如果发生在人类经济社会活动范围内, 就可能会对人类生命、财产造成严重危害。2004 年 12 月 11 日 22 时许, 甬台温高速公路 K256+065~K256+135 左侧边坡发生山体崩塌, 崩塌体规模约为 $1.5 \times 10^4 \text{ m}^3$, 交通中断近 5 个月。

多年来, 国内外科技工作者已对滑坡崩塌泥石流地质灾害的类型成因、致灾机理、发生规律、风险评价以及防治措施等进行了大量研究^[1-14], 深入探讨了黄土高原及相关地区自然环境条件及其与地质灾害的内在关系; 从研究范围看, 有区域宏观层面的, 也有单体微观层面的; 从适用性看, 有国土资源领域的, 也有公路交通领域的; 并逐步建立了较为完善的灾害风险评价方法、指标和措施体系。对于黄土崩塌灾害, 主要发生在生态环境较脆弱的黄土高原地区。黄土崩塌按破坏类型可分为倾倒式、错落式、垮塌式和剥落式四类^[1]。而垮塌式是陕北黄土地区发生频率最多的一种破坏类型, 它多是在坡脚处首先发生变形、破坏, 并带动上部坡体沿着潜在的节理面下滑形成的崩塌。

根据文献, 国外学者如 Nandi 等以美国 Ohio 州东北部的 Cuyahoga 河流域为研究对象, 得出坡度、土体类型、土侵蚀模数、距水系的距离这 4 个指标对崩塌的影响显著。Suh 等对影响高速公路崩塌灾害的坡高、坡长、坡度、顶坡度、岩性、距断层距离、斜坡倾向 7 个影响因子做了分析。美国的 Pierson 等(1990)

考虑边坡高度、沟渠作用、平均交通风险、刹车反应距离、道路宽度、地质特征、气候和边坡中水的赋存、岩块尺寸及崩塌体积、岩崩历史等人为因子, 建立了一套公路崩塌落石风险评估准则(RHRS)^[13]。在国内, 唐亚明等^[2-3]针对陕北黄土崩塌类型, 从失稳可能性、崩塌强度、承灾体和易损性 4 方面确定了 16 大类 36 个评价指标, 为斜坡单元崩塌灾害风险评价提供基础。张茂省等^[8]分析了影响黄土滑坡发育的因素, 认为沟谷发育期、坡体地质结构、坡体形态等对滑坡的形成、分布、规模和类型具有明显的控制作用, 地下水、植被对滑坡的形成有一定影响, 人类工程活动和降水的双重作用是引发滑坡的最主要因素。

黄土边坡崩塌是一种突发性地质灾害, 对公路工程造成的危害可从直接影响和间接影响两个方面分析。直接影响主要指灾害发生后对人员、公路工程及附属设施造成的伤害。间接影响主要是由于交通阻塞或中断对社会造成的影响。为了减少公路黄土崩塌造成的损失, 及早识别出灾害点并根据其危险程度采取相关的治理措施, 是灾害风险管理中的一项重要

收稿日期:2013-12-20; **修订日期:**2014-01-12

基金项目:西部交通建设科技项目(路基灾害防治技术推广及应用示范, 编号:2006 318 000 07)

作者简介:马保成(1982—), 男, 陕西榆林人, 博士, 讲师, 主要从事公路灾害防治研究。

E-mail:mbc_2002@163.com

通讯作者:范丽晓(1989—), 女, 山东德州人, 硕士, 主要从事公路灾害防治研究工作。

E-mail:fanlixiao2013@163.com

工作。

常规的识别评价方法是将影响崩塌的多个指标进行综合考虑,所耗费的人力和物力都较多,而且评价结果较慢,适用于长期的、精细化的评价。而简易、快速识别评价与其不同,它仅选择几个关键性指标对灾害地质体做出灾害类型、初步危险性等快速评判,及早为公路养护部门提供判断结果,为崩塌治理赢得宝贵时间,并且极大的节省了费用。因此,对公路黄土崩塌进行简易快速识别评价具有重要的现实意义。

从国内外的研究成果可看出,通常提取的边坡灾害评价因子大多是坡度、坡高、坡型、岩性、地下水、地震烈度、人类工程、植被、降雨、河流密度等。这些指标对边坡崩塌灾害的评价影响较大,但是对公路黄土崩塌灾害的评价针对性和适用性较差。本文在已有研究成果的基础上,以公路黄土边坡崩塌灾害为对象,研究其简易快速识别评价方法。

1 公路黄土崩塌灾害影响因素

黄土崩塌灾害危害严重,会造成公路和铁路等线性工程的毁坏,导致交通受阻或中断,给国民经济的正常运转带来巨大损失。2011年8月23日0点46分,由于连日大雨,国道210延安南过境路赵庄隧道北洞口(K588+020)洞顶塌方,致使道路交通全部阻断,清理土方 15000m^3 ,造成了巨大的经济损失。

为了快速识别、评价公路黄土边坡崩塌灾害,首先要对崩塌灾害进行识别,判断此公路边坡要发生的是否为崩塌灾害;确定是崩塌灾害以后,通过对边坡的各个指标进行定性或定量评价,确定边坡的危险程度。为了尽量节约评价时间,提高评价结果的可靠性,选取几个关键性指标进行简易快速识别评价很有必要。

快速识别评价指标的选取,要从灾害影响因素入手。公路黄土崩塌灾害危险性影响指标分为两类,即黄土边坡的自稳能力和外界影响。边坡的自稳能力取决于边坡自身的基本指标。外界影响主要是降雨影响和工程活动的影响。

1.1 黄土边坡自稳能力

1.1.1 粘粒含量

陕北黄土地区的黄土主要为砂黄土和典型黄土。砂黄土粘粒含量小于10%,其土质疏松、水稳性差、抗冲蚀能力弱。由于砂粒和粗砂粒含量高达85%^[4],因此,其粘聚力较低而摩擦强度较高。其较

低的粘聚力,容易受到降雨的影响,在雨水的浸泡下,粘聚力下降,极易发生公路边坡崩塌灾害。而典型黄土的工程稳定性相对砂黄土要好。

1.1.2 灾害历史及现状

(1)崩塌历史。通过对已发生黄土崩塌的边坡进行调查,发现斜坡本身或相邻部位在历史上是否发生过边坡崩塌,以及斜坡发生崩塌的频率对评价该边坡稳定性有一定的参考价值。

(2)崩塌发展阶段

这里主要针对垮塌式崩塌类型而言。对垮塌式崩塌形成过程可分为四个阶段:第一阶段,边坡完整,未出现黄土剥落和裂隙,坡脚强度较高;第二阶段,边坡出现细微的裂缝,并受到轻微的外界风化和侵蚀;第三阶段,边坡垂直裂隙长度 $>100\text{cm}$,宽度 $>0.5\text{cm}$,受风化、降雨和盐类侵蚀较严重,坡脚处已发生了轻微的变形、破坏,整体结构较完整;第四阶段,坡脚处变形、破坏较严重,上部坡体有下滑的趋势,直至在外界条件诱发作用下濒临失稳。

1.1.3 斜坡形态

(1)边坡坡形。根据对这一地区的调查,不同坡形对公路边坡崩塌的影响存在较大的差异。凸形坡和直线型坡相比凹形坡和台阶型坡更易发生崩塌灾害,主要是由于这两类坡形更易遭受风化和侵蚀。再加上坡脚容易受到积水的侵蚀,强度降低,进而支撑力下降。为此坡形也可以作为崩塌危险性的评价指标。

(2)坡高。坡高对黄土地区公路边坡崩塌灾害的发生也有一定的影响。尤其是公路工程在修建时往往需要对边坡进行开挖,破坏了边坡原有的结构,应力重分布,所形成的边坡高度对于边坡的稳定性影响更大,总的趋势是,边坡越高,发生边坡崩塌的概率越大。

(3)坡度。坡度是影响坡体应力分布的主要因素之一。坡度越大,坡体内应力也越大,坡体稳定性越差,越容易使坡体发生变形破坏。此外,较陡的斜坡还可以提供临空面使崩塌体获得更大的势能,更易导致崩塌的发生。因此,坡度对边坡崩塌的影响也是非常显著。

1.1.4 黄土体结构

黄土体结构对于评价斜坡稳定性也有一定的意义。常见的黄土体结构主要有散体结构、碎裂结构、层状结构和完整结构^[5]。不同的土体结构,所能承

受的土体内力不同。受到土体内力的影响,散体结构最易发生边坡崩塌灾害,其他结构的稳定性依次增加。

1.1.5 接触面产状

根据接触面产状倾向与斜坡坡角的比较进行分类,其中对崩塌影响最明显的是接触面顺坡外倾并且倾角大于斜坡坡角,为上部黄土体发生崩塌灾害提供了基础。此外,在外界影响因素作用下,接触面土体抗滑性能下降,黄土体易沿着接触面方向下滑而产生崩塌。

1.1.6 黄土地貌

黄土地貌主要指沟谷地貌、沟间地貌和黄土洞穴地貌。

沟谷地貌主要分为幼年期、壮年期、老年期三个阶段^[6]。不同阶段对斜坡稳定性影响各不相同。前两个时期处于沟谷发育阶段,易发生崩塌灾害。主要由于沟谷各方面发育不稳定,再加上受到水流的侵蚀和冲刷等因素的影响,使得边坡出现更多的临空面,为黄土崩塌提供了条件。

沟间地貌主要指黄土塬、黄土梁、黄土峁等。黄土塬、梁由于本身的状态,侵蚀程度较大,故较黄土峁有着更大的斜坡失稳概率。

黄土洞穴主要分为暗穴、冲穴、碟形地及生物洞穴。其中潜蚀成因的暗穴主要由于黄土本身的湿陷性,再加上地下水及地表水的影响,潜藏在边坡内部,由小变大。黄土洞穴是黄土地区特殊的地貌形态,其自身的稳定性一旦被破坏,对边坡的稳定性将产生很大影响。故黄土洞穴也是评判边坡稳定性的一个指标。

1.1.7 崩塌规模

根据对陕北地区的调研发现,已经发生的崩塌大多是中小型崩塌($0 \sim 1000\text{m}^3$),占总数的88.5%^[7-8]。崩塌体的大小直接关系到崩塌灾害对道路及其附属设施的破坏程度、危害范围,也是道路抢通工程量的决定因素之一。为此,崩塌规模是评价黄土崩塌危险性的一个重要指标。

1.1.8 植被覆盖度

植被深根穿透浅层土体至稳定的岩土层,对边坡有锚固作用;浅根使植物的根在土壤中盘旋和土体结合成一体,具有加筋的作用,使得土体强度得到明显提高;另外植被越茂盛,雨滴对坡面的水蚀作用越小。由此可见植被对黄土地区边坡的崩塌

有一定影响。

1.2 外界影响

1.2.1 降雨

黄土高原地区的年平均降水量总量虽不多,但季节变化较明显。降雨主要集中于7~9月份,约占年降雨量的60%^[4]。而1月和12月雨量最少,约占年降雨量的1%。雨季的集中降雨成为黄土崩塌的一个主要触发因素。

1.2.2 气候

黄土地区大多位于中国西北部,属暖温带半干旱大陆性季风气候,冬季相对较长,春季气温回升快且多变,这样的气温变化对边坡的稳定也有一定的影响。主要是春季时早晚温差较大,边坡内水冻融现象较严重,导致边坡裂隙增大,加速了崩塌的发生。

1.2.3 人为因素

在公路建设过程中,由于人工开挖边坡,或筑路爆破松动了原本自然稳定的岩土体,使坡体抗剪强度降低而形成崩塌;另外,道路建成后,由于修路时或施工与设计不当而形成后续的崩塌。这些崩塌分布比较广泛,规模一般为几万立方米至几百万立方米。经调查,由于工程活动引起的边坡的崩塌主要发生在陕西、云南等省的公路沿线。如果实施了合理的排水、支挡等措施,则可以降低滑塌的危险性。为此,工程活动对边坡的稳定性的也有着不容忽视的影响。

2 公路黄土崩塌灾害主要危险因子的简易识别

从上文可见,影响黄土边坡崩塌灾害的指标很多,但为了实现简易快速识别评价的目的,就需要选取最有代表性、关键性的指标。现把粘粒含量、崩塌历史、破坏阶段、边坡坡形、坡高、坡度、黄土体结构、接触面产状、沟谷地貌、沟间地貌、黄土洞穴、崩塌规模、植被覆盖度、降雨、气候和人为因素这16个指标分别用符号 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 、 A_7 、 A_8 、 A_9 、 A_{10} 、 A_{11} 、 A_{12} 、 A_{13} 、 A_{14} 、 A_{15} 、 A_{16} 表示。由于这些指标对黄土边坡崩塌的影响程度不同,为达到快速识别的目的,选择若干名公路专家、现场工程师及公路维护人员对这些指标进行讨论,最后选用相对比较评分法来评定黄土崩塌的关键性指标。

首先,为了进行各指标两两对比,由专家根据指标数量、评价目的和精度制定评分规则,认为采用0~4较为合适,可满足简易快速评价要求,具体划分的

档次如下:若 A_1 比 A_2 要重要许多,则 A_1 有 4 分, A_2 有 0 分;若 A_1 比 A_2 重要,则 A_1 有 3 分, A_2 有 1 分;若 A_1 与 A_2 重要性相同,则 A_1 有 2 分, A_2 有 2 分;若 A_1 没有 A_2 重要,则 A_1 有 1 分, A_2 有 3 分;若 A_1 远不如 A_2 重要,则 A_1 有 0 分, A_2 有 4 分。

其次,请多名具有基层工作经历的工程师及公路维护人员根据拟定的评分规则,结合现场工作经验充分讨论后,得出具体指标对比评分如表 1 所示。

从相对比较结果看出,破坏阶段 A_3 、坡度 A_6 、崩塌规模 A_{12} 、坡高 A_5 得分靠近,可看做第一层次,且这 4 个因子得分之和占据总分的 40%;人为因素 A_{16} 、降雨 A_{14} 、边坡坡形 A_4 、崩塌历史 A_2 、黄土洞穴 A_{11} 得分靠近,可看做第二层次;粘粒含量 A_1 、黄土体结构 A_7 、植被覆盖度 A_{13} 、接触面产状 A_8 、沟谷地貌 A_9 、气候 A_{15} 、沟间地貌 A_{10} 得分靠近,可看做第三层

次。第一层次的 4 个因子反映了较多的灾害信息,可以满足简易评价的精度需要。其中,破坏阶段是灾害体变形状态的外在显示,及时捕捉这一直观的动态信息,有利于对灾害体的危险程度做出较为可靠的判断;坡度、崩塌规模、坡高反映的是静态信息,但也是理论研究和工程实践中崩塌灾害评价通常要考虑的 3 个主要指标^[9-13]。由此可见,该评分结果具有一定的可靠性。同时,这 4 个因子在现场能够简易快速观测、获取。而第二层次的 5 个因子则需要相对较多的调研工作,增加了现场评价工作的难度。第三层次的 7 个因子的重要性较低,可以在详细的评价中进一步考虑。

最终按指标的得分,选取总分前 4 位的指标即破坏阶段、坡度、崩塌规模和坡高作为公路黄土崩塌简易快速识别评价的指标。

表 1 指标对比
Table 1 Index scoring

指标	对比结果																得分	权重
	粘粒含量 A_1	崩塌历史 A_2	破坏阶段 A_3	边坡坡形 A_4	坡高 A_5	坡度 A_6	黄土体结构 A_7	接触面产状 A_8	沟谷地貌 A_9	沟间地貌 A_{10}	黄土洞穴 A_{11}	崩塌规模 A_{12}	植被覆盖度 A_{13}	降雨 A_{14}	气候 A_{15}	人为因素 A_{16}		
粘粒含量 A_1	—	1	0	1	1	0	2	3	3	3	2	0	2	1	3	1	23	0.048
崩塌历史 A_2	3	—	0	2	1	0	3	3	3	3	2	1	3	2	3	2	31	0.065
破坏阶段 A_3	4	4	—	4	2	2	4	4	4	4	4	2	4	3	4	3	52	0.108
边坡坡形 A_4	3	2	0	—	1	1	3	3	3	3	2	1	3	2	3	2	32	0.067
坡高 A_5	3	3	2	3	—	1	4	4	4	4	3	2	4	2	4	2	45	0.094
坡度 A_6	4	4	2	3	3	—	4	4	4	4	3	2	4	3	4	3	51	0.106
黄土体结构 A_7	2	1	0	1	0	0	—	2	2	3	0	2	1	1	3	1	19	0.040
接触面产状 A_8	1	1	0	1	0	0	2	—	2	2	1	0	2	1	2	1	16	0.033
沟谷地貌 A_9	1	1	0	1	0	0	2	2	—	2	1	0	2	1	2	1	16	0.033
沟间地貌 A_{10}	1	1	0	1	0	0	1	2	2	—	1	0	1	1	2	1	14	0.029
黄土洞穴 A_{11}	2	2	0	2	1	1	3	3	3	3	—	1	3	1	3	1	29	0.060
崩塌规模 A_{12}	4	3	2	3	2	2	4	4	4	4	3	—	4	3	4	2	48	0.100
植被覆盖度 A_{13}	2	1	0	1	0	0	2	2	2	3	1	0	—	1	2	1	18	0.038
降雨 A_{14}	3	2	1	2	2	1	3	3	3	3	3	1	3	—	3	2	35	0.073
气候 A_{15}	1	1	0	1	0	0	1	2	2	2	1	0	2	1	—	1	15	0.031
人为因素 A_{16}	3	2	1	2	2	1	3	3	3	3	3	2	3	2	3	—	36	0.075
合计																	480	1.000

3 黄土崩塌灾害快速评价方法

为进一步对黄土边坡崩塌危险性有更明确的评价结论,对上述四个指标进行分级和赋值(表 2)。再根据各个指标的对比得分归一化后获得相应权重加

权求和,得到黄土边坡崩塌危险性评分值并进行分级(表 3)。以 0.2 为公差将黄土崩塌的危险性 F 在 0~1.0 取值范围内等分为五级^[9],0~0.2 为忽略危险区,0.2~0.4 为低危险区,0.4~0.6 为中等危险区,0.6~0.8 为高危险区,0.8~1.0 为极高危险区。崩

塌危险性评价结论可以对灾害发展状态评判及选择合理的措施提供决策依据。

表 2 公路崩塌灾害快速识别指标分级

Table 2 Classification of highway collapse hazards rapid identification indexes					
指标	权重	指标分级和赋值			
		1. 0	0. 7	0. 4	0. 1
破坏阶段	0. 264	第四阶段	第三阶段	第二阶段	第一阶段
坡度	0. 260	$\geq 60^{\circ}$	$[45^{\circ}, 60^{\circ})$	$[25^{\circ}, 45^{\circ})$	$< 25^{\circ}$
崩塌规模	0. 245	$> 10000\text{m}^3$	$(1000\text{m}^3, 10000\text{m}^3)$	$(100\text{m}^3, 1000\text{m}^3)$	$< 100\text{m}^3$
坡高	0. 221	$> 60\text{m}$	40 ~ 60m	20 ~ 40m	$< 20\text{m}$

表 3 公路黄土崩塌危险性评分表

Table 3 The grading table of the highway loess collapse hazards					
危险程度	忽略危险区	低危险区	中等危险区	高危险区	极高危险区
F 值	0 ~ 0. 2	0. 2 ~ 0. 4	0. 4 ~ 0. 6	0. 6 ~ 0. 8	0. 8 ~ 1. 0

4 实例验证

陕北地区 S302(榆林至佳县)线公路边坡多以黄土边坡为主,受边坡崩塌影响较大,本文以 K66 + 100 ~ K66 + 650 路段(图 1)为例来检验以上方法的合理性。该处边坡经度 E109. 96028°, 纬度 N38. 27418°, 海拔为 1163. 10m, 坡高 25m, 坡度 80°, 为直线型边坡,黄胶土土质,路线走向为 SE105°,路基形式为路堑。该边坡植被覆盖差,存在危险裂缝,受降雨冲刷坡面、浸润坡脚影响,边坡土体有下滑的趋势,对道路的影响长约为 200m,宽约为 7. 5m,崩塌规模预测为 3000m³。

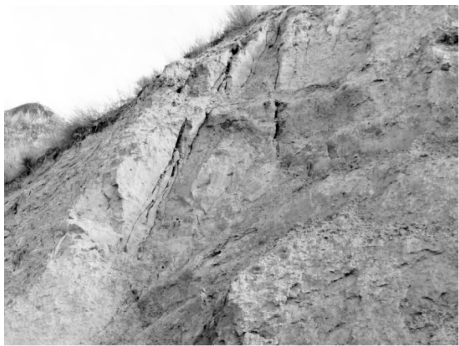


图 1 S302 边坡崩塌实例
Fig. 1 The example of S302 slope collapse

根据前文给定的 4 个关键指标及其权重值进行加权求和。计算得到评价值 $F = 1. 0 \times 0. 264 + 1. 0 \times 0. 260 + 0. 7 \times 0. 245 + 0. 4 \times 0. 221 = 0. 784$, 结果为“高危险”。在该路段两侧设立了交通警示和引导标志,关闭了内侧车道,限速通行。该评价结果与实际

情况吻合。

5 结语

本文以公路黄土边坡崩塌灾害为研究对象,结合陕北地区 S302(榆林至佳县)沿线黄土边坡的调研,分析崩塌的致灾特点及所造成的灾害,重点研究了其简易快速识别评价方法。

(1) 总结归纳了公路黄土崩塌灾害的 16 个影响因素及其作用方式、影响程度,并选用相对比较评分法和专家咨询法确定了 4 个最关键的识别指标,分别是破坏阶段、坡度、崩塌规模和坡高,据此对公路黄土崩塌危险性进行评价分级。

(2) 以 S302 线 K66 + 100 ~ k66 + 650 路段为例,对提出的识别评价方法进行实例验证,结果为“高危险”,据此对该路段进行了交通管制,与实际调查情况相符。

参考文献:

[1] 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.
DUAN Zhao, ZHAO Fasuo, CHEN Xinjian. Types and influencing factors of collapse development in loess plateau region of north Shaanxi: a case study of Wuqi County [J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(6): 142 - 149.
[2] 唐亚明,张茂省,李林,等. 滑坡易发性危险性风险评价例析[J]. 水文地质工程地质,2011, 38(2):

- 125 – 128.
- TANG Yaming, ZHANG Maosheng, LI Lin, et al. Discrimination to the landslide susceptibility, hazard and risk assessment [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2011, 38 (2):125 – 128.
- [3] 唐亚明, 薛强, 毕俊擘, 等. 陕北黄土崩塌灾害风险评价指标体系构建 [J]. *地质通报*, 2012, 31 (6): 979 – 988.
- TANG Yaming, XUE Qiang, BI Junbo, et al. The construction of factors for assessing the risk of collapse at loess slopes in northern Shaanxi province [J]. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31 (6):979 – 988.
- [4] 钱璞. 陕北黄土地区公路排水型式研究 [D]. 西安: 长安大学硕士论文, 2011.
- QIAN Pu. Study of types for highway drainage system in loess areas in Northern Shaanxi province [D]. Xi'an: Chang'an University, 2011.
- [5] 卢全中, 彭建兵. 黄土体工程地质的研究体系及若干问题探讨 [J]. *吉林大学学报 (地球科学版)*, 2006, 36 (3):404 – 409.
- LU Quanzhong, PENG Jianbing. Research on systematic frame and some problems of engineering geology of loess mass [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2006, 36(3):404 – 409.
- [6] 曾磊, 黄玉华. 黄土高原河谷演变与地质灾害发育规律研究——以陕西省子长县为例 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2010, 21(3):67 – 72
- ZENG Lei, HUANG Yuhua. Valley evolution and geologic hazard occurrences in the Loess Plateau of China—a case study: Zichang county in the northern loess plateau of Shaanxi province [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2010, 21(3): 67 – 72.
- [7] 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*, 1988, 20(1): 64 – 69.
- LEI Xiangyi, WEI Qingke. Study on the origin and countermeasure of the casualty loess landfalls in the Northern Shaanxi [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1988, 20(1):64 – 69.
- [8] 张茂省, 等. 延安宝塔区滑坡崩塌地质灾害 [M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- ZHANG Maosheng, et al. Landslide and collapse geological disaster in Baota District, Yan'an City [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- [9] 刘希林. 区域泥石流风险评价研究 [J]. *自然灾害学报*, 2000, 9(1): 54 – 61.
- LIU Xilin. Regional risk assessment on debris flow [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2000, 9(1):54 – 61.
- [10] 王文俊, 向喜琼, 黄润秋, 等. 区域崩塌滑坡的易发性评价——以四川省珙县为例 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2003, 14 (2):31 – 34.
- WANG Wenjun, XIANG Xiqiong, HUANG Runqiu, et al. Areal landslides susceptibility analysis—a case study in Hong county, Sichuan province [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2003, 14 (2):31 – 34.
- [11] 张劲松, 杨红. 四川青川县碾子崩塌风险性评价 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2012, 23 (1):33 – 38.
- ZHANG Jinsong, YANG Hong. Risk assessment for Nianzi rockfall in Qingchuan county, Sichuan province [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2012, 23 (1):33 – 38.
- [12] 黄丽珍, 李家春, 万利. 公路崩塌灾害等级划分初步研究 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2009, 20 (3): 44 – 46.
- HUANG Lizhen, LI Jiachun, WAN Li. Preliminary study on classification for highway avalanche hazards [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2009, 20 (3):44 – 46.
- [13] 苏天明, 王根龙, 叶剑渊, 等. 山区公路崩塌地质灾害危险性分级系统 (RFRS) [J]. *公路交通科技*, 2012, 29 (3): 51 – 57.
- SU Tianming, WANG Genlong, YE Jianyuan, et al. Rock fall rating system for highway in mountain area [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2012, 29 (3):51 – 57.
- [14] 徐开祥, 黄学斌, 付小林, 等. 滑坡及危岩 (崩塌) 防治工程措施选择与工程设置 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2005, 16 (4): 130 – 134.
- XU Kaixiang, HUANG Xuebin, FU Xiaolin, et al. Selection of control engineering measures and installation for landslide and dangerous rockbody [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2005, 16 (4): 130 – 134.

Study on quick and easy hazard evaluation method for highway slope collapse in loess area

MA Bao-cheng¹, FAN Li-xiao², TIAN Wei-ping²

(1. School of Civil and Architecture Engineering Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Highway slope collapse occurs frequently in loess area of Northern Shaanxi Province, causing serious harm to the local highway traffic construction and operation. Based on field investigation of loess slopes of S302 (Yulin to Jiaxian) typical sections, the study on quick and easy identification and evaluation method for highway slope collapse has important engineering significance. First of all, the factors that influence collapse disasters are analyzed; and through the expert consultation method and relatively ratings method, the four key factors like destruction phase, slope angle, the collapse size and slope height are considered as identification indexes; Secondly, with each identification index multiplied by the corresponding weight, the comprehensive evaluation of highway loess collapse hazard is conducted, taking K66 + 100 ~ K66 + 650 section as an example, which provides a way for the quick and easy identification and evaluation of highway loess collapse.

Key words: highway engineering; loess slopes; collapse; identification and evaluation

(上接第 18 页)

The Shuigoudun debris flow cause of formation and dynamic characteristics for railway engineering hazard assessment

QI Xin^{1,2}

(1. Wuhan Center, China Geological Survey, Hubei Wuhan 430205; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract: Debris flow is one of the frequency geologic hazard in the mountains, with quick movement, sudden outbreak, tremendous energy and so on. Based on the field investigation in the Shuigoudun debris flow, authors analyzed the causes of formation and basin characteristics, then calculated the dynamic parameters such as bulk density, velocity, discharge, transported sediment scale and deposition thickness, and the risk of debris flow was evaluated, summary the Shuigoudun debris flow hazard model for Railway Engineering "first impulse-and silt-and then washed". Proposed to the Shuigoudun debris flow adopt relevant measures for disaster prevention and reduction, for the railway departments to formulate the corresponding debris flow preventing countermeasures, are beneficial to the long-term safe operation and service of ChengLan railway providing a scientific guarantee.

Key words: debris flow; dynamic character; hazard assessment; Shuigoudun gully