

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)6 - 747 - 07

岷江上游“7·10”泥石流对公路的危害方式及成因

邹强^{1,2}, 郭晓军², 朱兴华², 孔应德²

(1. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所/中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川 成都 610041)

摘 要: 2013-07-10, 岷江上游暴发大型群发性泥石流灾害, 泥石流以淘刷、冲击、淤塞、压顶、磨蚀等方式对地震灾区公路直接造成严重破坏, 其引发的溃决洪水、河床上升增大受灾范围, 加重了灾害损失。分析了泥石流对道路工程的成灾方式: 对桥梁工程破坏包括淤塞、淘蚀基础、冲毁等; 对路面路基工程破坏包括淤埋、淘刷路基、冲毁等; 对隧道工程破坏包括堵塞隧道洞口, 破坏洞口墙体并引起衬砌支护结构破坏, 损毁隧道内附属设施等; 对明洞、棚洞工程破坏包括堵塞洞口、冲毁洞口结构, 磨蚀洞顶, 压顶并引起衬砌支护结构破坏, 损毁排水、通风、电力附属设施等。分析了泥石流造成道路严重损失的原因, 其中, 公路工程选址不当、风险估计不足, 桥涵过流净空不足, 泥石流防灾措施不完善, 泥石流的严重冲刷、冲击作用是主要原因。针对泥石流危害公路的特征和地震区泥石流防治中存在问题, 提出了地震山区公路在灾后重建与道路规划中的减灾措施。

关键词: 泥石流; 道路; 减灾; 岷江上游

中图分类号: P642. 23

文献标志码: A

汶川地震直接触发的 3 万余处崩塌、滑坡、不稳定坡体, 松散堆积物量达 $28 \times 10^8 \text{ m}^3$, 为泥石流提供充足的物源^[1-2]。震后泥石流极为发育, 活动频繁, 规模增大, 在暴雨激发下普遍暴发大规模群发性泥石流。例如, 2008 年北川“9·24”群发性泥石流, 淤埋了作为地震遗址的北川老县城, 对公路和其他基础设施造成严重损毁, 导致了 42 人死亡^[3]; 2009 年汶川、都江堰“7·17”泥石流, 都汶公路多处被堵断; 2010-08-13—14, 绵竹县清平乡 21 条沟谷同时暴发泥石流, 淤埋清平乡场镇; 都江堰龙池镇 43 处沟谷同时暴发泥石流, 冲毁和淤埋龙溪河两岸的灾后重建房屋; 汶川映秀红椿沟泥石流堵断岷江, 使得岷江改道, 洪水冲进映秀镇重建居民区, 造成重大损失^[4]。

2013-07-10—11, 四川盆地西部和北部地区出现罕见特大暴雨过程, 导致岷江上游地区山洪泥

石流灾害集群性发生(图 1)(简称“7·10”泥石流)。其中, 都汶公路沿线地区共造成国道 G213 线、G317 线、都汶高速断道 16 处、草坡三号桥、毛家湾、皂角湾、小麻沟等 4 座桥梁垮塌、草坡 1 号大桥、草坡 2 号大桥、草坡 4 号大桥、羊店大桥等 4 座大桥被淹没, 都汶高速公路断道 2 处(映秀北、福堂隧道)、福堂坝岷江大桥桥面砸断, 从成都通往汶川县的主干线全线断道。“7·10”泥石流给岷江上游地区道路造成严重的危害, 文章重点分析了泥石流各类道路工程体的成灾方式与成因, 并提出减灾建议和防治对策。

1 泥石流成灾方式

以桥梁工程、路面路基、隧道工程、明洞棚洞工程等道路设施为对象分析了“7·10”泥石流对山区

收稿日期 (Received date): 2013-08-31; **修回日期** (Accepted): 2013-11-04。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金重点基金项目(批准号: 41030742), 四川省科技支撑计划项目(批准号: 2013SZ0159, 2012SZ0075)。[This research is supported by the Key Project of National Natural Science Foundation of China(Grant No. 41030742) and the Science and Technology Proram of Sichuan Province(Grant No: 2013SZ0159, 2012SZ0075).]

作者简介 (Biography): 邹强(1982-), 男, 讲师, 主要从事山地灾害与 GIS 研究。[Qiang Zou (1982-): M, Instructor, Major in mountain hazards and GIS.] E-Mail: zouqiang@swust.edu.cn

道路的成灾方式。

1.1 对桥涵的损毁

都(江堰) - 汶(川)公路沿线道路工程及其附属设施在“7·10”泥石流灾害中受到严重损毁。从公路的损毁程度上看,主要有4种:1. 桥涵净空被淤塞;2. 部分孔跨和桥墩损毁;3. 构件损坏(梁体移位、撞伤、挡块支座破坏、墩柱倾斜开裂、桥台变形、锥坡开裂等);4. 全桥损毁。从泥石流的损毁类型上看,主要包括淤塞、淘蚀、冲击3种。

1.1.1 淤塞桥涵

桥涵是道路通过泥石流沟的最常见的工程类型。泥石流发生后能否顺利通过桥涵,除了与泥石流流量、流速有关外,还与桥涵净空、墩台以及防洪频率有关,此外,桥涵所处的相对位置也至关重要。如果泥石流流速不大,泥石流沟道坡降较小时,在桥涵位置处发生淤积,造成桥涵过流与防洪能力降低,威胁交通安全。此类危害方式在都汶公路沿线较为典型,泥石流流通区、堆积区的沟床坡降10%以下,泥石流在沟道中淤积严重,对沟口的桥涵工程造成严重威胁。如都汶公路沿线的七盘沟泥石流(图2),堆积区平均坡度只有5%,泥石流淤塞沟口桥梁净空6~7 m,导致桥梁过流能力极度丧失,威胁都汶高速公路;位于岷江右岸的簇头沟(图3),泥石流堆积区比降为7%,沟口桥梁净空丧失,泥石流越过都汶高速,近100 m长的公路路面被泥石流堆积物淤埋,一度中断交通,泥石流冲入岷江,形成长约400 m的堰塞湖,导致水位升高约6 m,淹没上游大量耕地与基础设施。

1.1.2 淘蚀桥涵基础

泥石流携带泥沙具有下切侵蚀沟床,侧蚀沟岸的作用,强烈的搬运能力不断淘空桥涵墩(台)基

座,导致桥墩(台)基座悬空,威胁桥梁安全,严重时导致桥涵垮塌损毁。都汶公路毛家湾隧道口约70 m的桥梁,由于泥石流不断淘空桥台基座,致使基座悬空。在重力以及泥石流撞击共同作用下,桥基失稳,桥面垮塌,都汶公路交通被中断(图4)。

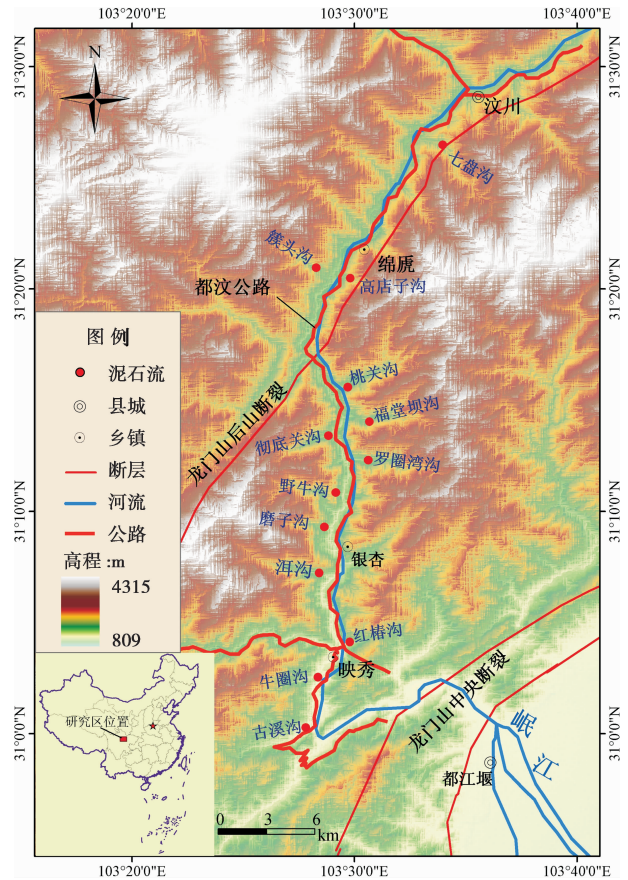


图1 岷江上游都汶公路沿线泥石流分布图

Fig. 1 Debris flows along Duwen highway in the upper reaches of Minjiang River



图2 七盘沟泥石流淤塞沟口桥梁净空6~7 m

Fig. 2 Debris flow in Qipangu gully deposited bridge clearance and threatened the safety of Duwen highway



图3 簇头沟泥石流淤塞桥梁,泥石流翻过公路

Fig. 3 Debris flow deposited culvert bridge clearance on Miansi section of Duwen highway



图4 毛家湾隧道口泥石流淘蚀桥台基础

Fig.4 Debris flow near Maojiawan tunnel scoured the abutment foundation and induced bridge collapse

1.1.3 冲毁桥涵

泥石流运动冲毁桥涵及其辅助减灾工程,其成灾方式主要包括:1. 冲击桥拱、桥面、桥墩,导致构件损坏(墩柱倾斜开裂、桥台变形、锥坡开裂等),严重时直接冲毁桥梁(图5);2. 直接推挤桥基、桥墩,梁体移位,支座破坏,桥梁失稳,威胁交通安全(图6)。

1.2 对路面路基的损毁

1.2.1 淤埋道路

泥石流淤埋路面路基是最为常见的成灾方式。泥石流沿沟谷或者坡面运动至缓坡或沟口后,受地形开阔、坡度变缓的作用,发生淤积,造成路面被泥石流淤埋,中断交通。泥石流淤埋道路主要分为三类:1. 沟谷泥石流停积于沟口堆积扇,淤埋通过扇形地的道路,是最为常见的成灾方式;2. 坡面泥石流缓慢运动,淤积在道路路基,造成交通中断;3. 由于路面标高不足,河床被淤高后,河床物质直接淤积路面,洪水淹没公路。



图5 古溪沟泥石流冲断桥梁

Fig.5 Debris flow in Guxi gully destroyed bridge near Xukou Town, Wenchuan County

1.2.2 淘刷路基

泥石流强烈冲刷,路基不断被淘蚀,致使路面悬空、变形,在重力或泥石流堆压作用下,路面塌陷,阻断交通。此外,泥石流冲入河流后形成壅塞体,挤压河道,使河流中轴线发生变化,形成曲流,对路基形成强烈冲刷^[5]。七盘沟泥石流挤压岷江,迫使河水流向右岸,都汶公路路基遭受强烈冲刷,400 m路基被冲毁,路面垮塌 264 m(图7)。

1.2.3 冲毁路面、路基

泥石流在运动过程中,巨大的冲击力具有极强的破坏性,尤其是其中大石块的冲击破坏,易直接冲断公路(图8)。此外,大量泥石流物质进入河道,淤高河床,导致沿河公路遭受泥石流、洪水的冲击破坏。

1.3 对隧道的损毁

隧道以立体交叉的形式避开泥石流的危害,但由于隧道出口位置及标高偏低、隧道长度短于洞顶泥石流的活动范围、隧道覆盖层的厚度不够等原因,致使隧道遭受泥石流危害。据考察发现,泥石流对隧道的破坏作用主要表现为:1. 洞口上方泥石流破坏、堵塞洞口(图9);2. 洞口墙体受泥石流流体推移和巨石撞击发生破坏,并引起衬砌支护结构破坏(主要包括衬砌开裂变形,二次衬砌掉块、错台,局部垮塌,钢筋扭曲变形等)(图10);3. 隧道内路面变形,排水、通风、电力等附属设施严重受损。

1.4 对明洞、棚洞的损毁

明洞和棚洞在防治泥石流、滑坡灾害方面具有明显的优势:1. 明洞/棚洞具有不易被掩埋,便于泥石流排导的特性;2. 洞顶的土层或其他缓冲层能有效缓解滚石的冲击;3. 对破碎、松散具有推移性的边坡,特殊设计的抗滑明洞能起到抗滑作用,稳定坡脚^[6];4. 傍山明洞和棚洞可以减少对原地质体和自



图6 福堂坝大桥桥面被砸断,桥墩被岷江洪水向下游冲移 5 m

Fig.6 Debris flow impacted and the destroyed Futangba bridge of Duwen highway

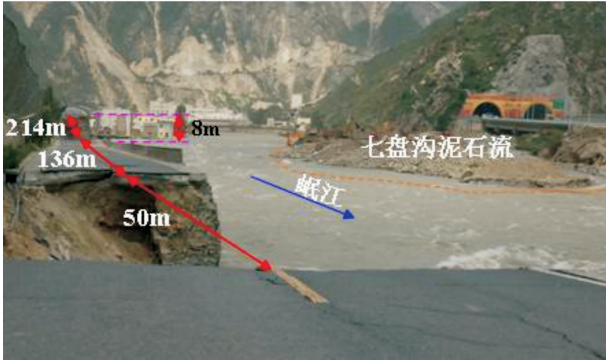


图7 七盘沟泥石流挤压岷江,公路400 m路基被冲毁
Fig. 7 Debris flow in Qipan gully shoved Min River and bended flow scoured 400 m subgrade



图8 桃关段泥石流冲毁路面路基
Fig. 8 Hillslope debris flow destroyed subgrade and pavement of Duwen highway

然植被的破坏。

依据野外考察,明洞和棚洞遭受滑坡泥石流不同程度的危害,主要表现在:1. 洞口上方的坡面泥石流或塌方,直接堵塞洞口,撞毁洞口结构(图11);2.

洞顶被泥石流磨蚀,压顶并引起衬砌支护结构破坏(图12);3. 明洞和棚洞的排水、通风、电力等附属设施严重受损。

2 泥石流特征及成因

2.1 泥石流特征

受暴雨激发,岷江上游地区多处发生泥石流,表现出明显的群发性、坡面泥石流活跃、灾链效应等特点。

2.1.1 群发性

群发性是汶川地震灾区“7·10”泥石流活动最典型的特征。据调查,汶川县映秀镇附近的古溪沟、牛圈沟、毛家湾沟、磨子沟、洱沟、罗圈湾沟等连片成群暴发泥石流,多次堵断都汶公路。群发性泥石流对汶川地震灾区灾后重建乡镇造成重大破坏,尤其是汶川县草坡乡和桃关村,大量重建房屋和道路被完全损毁。

2.1.2 坡面泥石流活跃

岷江上游地处高山峡谷区,受地震影响,陡峻的地形条件导致大量崩塌、滑坡体的堆积坡度为自然休止角,堆积体处于临界稳定状态,在受到降雨及其他外力作用下容易失稳,形成新的滑坡或泥石流^[7]。岷江干流都汶公路映秀至桃关段沿线20 km范围内,暴发坡面泥石流33处。坡面泥石流规模相对于震前或常规条件下明显增大。都汶高速公路福堂隧道口岷江干流右岸暴发坡面泥石流,方量约 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$,泥石流沿坡面飞速而下,冲断都汶高速公路,导致桃关隧道至福堂隧道大桥垮塌,隧道口墙体被冲毁,隧道口被完全堵塞,致使2 000余人被困于桃关1号隧道。



图9 泥石流堵塞 G213 桃关隧道
Fig. 9 Debris flow deposited the Taoguan tunnel and stopped the traffic of G213



图10 皂角湾隧道洞口被泥石流压顶,洞顶衬砌出现裂缝
Fig. 10 Debris flow destroyed lining structure of the cave wall at tunnel entrance of Zhaojiaowan tunnel



图 11 麻柳湾明洞洞口被泥石流掩埋

Fig. 11 Debris flow deposited the mouth of Maliuwan open tunnel engineering of Duwen Highway.



图 12 皂角湾棚洞被泥石流压顶、磨蚀,衬砌支护结构部分被破坏

Fig. 12 Debris flow caused damages to lining supporting structure of Zhaojiaowan shed tunnel.

2.1.3 灾链效应

大型泥石流暴发后,泥石流快速进入并阻断主河,形成堰塞湖。堰塞坝体松散的结构组成、特殊的堆积形态、较低坝体高度,使得堰塞湖迅速漫顶并沿泥石流扇缘发生部分溃决,形成洪水。溃口处河道明显压缩,坡降增大、流速加大,对河岸的冲刷、淘蚀作用大大增加。2013-07-10,受强降雨作用,都汶公路彻底关大桥处发生大型冲沟泥石流,公路被冲断长度超过500 m;泥石流冲入岷江,阻断河流形成堰塞湖(图13)。堰塞湖很快沿泥石流堆积扇前缘溃决,溃决河水不断冲刷、淘蚀右岸坡角,威胁右岸坡体稳定性。

2.2 成因

2.2.1 公路工程选址不当、风险估计不足

公路工程选址不当是造成重大损失的重要原因。“5·12”汶川地震后,灾区泥石流临界激发雨量明显降低,泥石流流量、规模大幅增加,危害程度



图 13 都汶公路彻底关大桥处泥石流堵江形成堰塞湖

Fig. 13 Barrier lake induced by debris flow at Chediguan bridge of Duwen highway

明显增大。由于对泥石流的潜在风险认识不足,强降雨激发的大规模泥石流严重冲刷河岸、淤积抬高河床,对大量灾后重建改建的公路工程(路基、桥梁、隧道)造成严重损毁。都汶公路七盘沟段被泥石流堵江溃决洪水淘空路基400 m,此外,都汶公路路基多处被泥石流直接冲断,部分路段由于路堤不牢,被岷江河水掏空,导致路面悬空。

2.2.2 桥涵过流净空不足

桥涵的过流净空反映了桥涵对泥石流的排泄能力,同时也是泥石流地区桥涵设计的主要控制条件。泥石流地区合理桥下净空可由式(1)^[8]计算:

$$H = H_B + H_{100} + H_N + H_D + H_W + H_Z + C \quad (1)$$

式中 H 为桥梁梁底最低标高(m); H_B 为计算梁底标高时的基准面标高(m); H_{100} 为100 a一遇的泥石流流深(m); H_N 为泥石流在 H_B 以上的总淤积高度(m); H_D 为巨石超出 H_{100} 泥位的数值(m); H_W 为泥石流泥位在弯道外侧的超高值(m); H_Z 为泥石流遇阻冲高(爬高)值(m); C 为桥桥下净空的安全值(m)。

桥涵过流净空不足也是“7·10”泥石流灾害造成重大损失的重要原因。据野外调查,造成震区桥涵过流净空不足主要包括:1. 净空设计不足,由于桥涵净空设计值偏低,超标准、大流量泥石流发生后,由于泥石流流量过大,泥石流一次最大淤积高已接近或超过桥涵净空高度,如七盘沟、簇头沟;2. 由于泥石流常年累计淤积造成净空减小,新发泥石流没有足够的过流空间,导致完全堵塞桥涵净空,严重时甚至漫流桥面,给公路造成严重损害。

2.2.3 泥石流防灾措施不完善

泥石流防护工程是保护公路工程及其附属设施最直接的方式。震区部分泥石流频发公路段根本没有泥石流防护工程,一些泥石流工程还是沿用

震前泥石流的规范及其治理技术,这些防治工程在大规模泥石流面前不堪一击,极易被破坏,未能起到防御泥石流的作用。“5·12”汶川地震后,泥石流的规模、发生频率,较震前均发生了很大变化,在道路恢复重建改建过程中尽量避免开挖边坡,特别是高陡边坡,防止引发滑坡灾害,建议修筑完善的防护工程。

2.2.4 群发性大规模泥石流的严重冲刷、冲击作用

群发性大规模泥石流对震区公路造成严重的冲刷、冲击破坏。都汶高速公路福堂隧道口岷江干流右岸暴发坡面泥石流,方量约 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$,泥石流沿坡面飞速而下,冲断都汶高速公路,导致都汶高速桃关隧道至福堂隧道大桥垮塌,隧道口墙体被冲毁,隧道口被完全堵塞,致使 2 000 余人被困于桃关 1 号隧道。

3 防治建议

针对岷江上游地区“7·10”泥石流对道路设施的淘刷、冲击、淤塞、压顶、磨蚀破坏及成因分析,在地震灾区灾后重建与道路规划中拟从如下几方面考虑泥石流的防灾减灾。

3.1 严密勘察灾害隐患,判识灾害发展趋势

受震断裂影响,岷江上游地区滑坡、崩塌极为发育,部分崩滑体在此次强降雨作用下已发生坡面泥石流,但仍有大量松散坡体处于临界状态,存在直接发育为泥石流的潜在威胁,应严密勘察。同时,对有崩塌、滑坡发生或存在大量松散物质的沟谷,也应严密勘察,进一步判识潜在泥石流灾害,增强减灾措施的针对性。

3.2 科学评估,合理选线

针对研究区部分公路路段由于标高不足被泥石流或河水淘蚀,一些桥涵路基由于无法避让泥石流而遭遇直接被冲毁的问题,需要分析泥石流灾点的分布位置、规模、活动特征以及未来的发展趋势,在灾害风险分析的基础上,依据地区实际,实现重建道路的科学规划。对大型泥石流灾害点和隐患点进行重点治理,重新规划线路,可采取绕避方案或特殊的综合公路工程设计^[9]。

3.3 公路工程匹配相应防灾措施,完善公路防护体系

在道路恢复重建中,提高道路修建标准,尽量避免开挖边坡,特别是高陡边坡,防止引发泥石流、滑坡

灾害;依据公路工程承灾特点与泥石流活动特征,对各类公路工程匹配相应的泥石流防灾工程,完善公路防护体系,保证在遇到重大自然灾害时道路的畅通。

3.4 加强泥石流灾害监测和预警,提高灾害风险管理水平

对已经查明的灾害隐患点,尤其是对具有重要危害对象的泥石流点,加强监测和预警,做好群测群防工作,随时掌握灾害可能发生的动态,以便有效地采取应对措施。对存在隐患的地区,及时划定安全区,并制定出详细的撤离路线,以备灾害发生时安全撤离。加强防灾减灾宣传和培训,增强民众的自我保护意识,最大限度保护人民群众的生命财产安全。

4 结语

受强降雨影响,岷江上游地区“7·10”泥石流表现出明显的群发性特征,坡面泥石流、冲沟泥石流、沟谷泥石流在同一地区数沟齐发的现象较为普遍;公路沿线大量发育坡面泥石流,且坡面泥石流规模相对于震前或常规条件下明显增大;泥石流暴发后,泥石流灾链效应表现明显,对交通干线工程危害巨大。

以桥梁工程、路面路基、隧道工程、明洞棚洞工程等道路设施对象分析“7·10”泥石流对山区道路工程的成灾方式。泥石流对桥梁工程的损毁主要包括:1. 淤塞,2. 淘蚀基础,3. 冲毁;对路面路基的损毁主要包括:1. 淤埋,2. 淘刷,3. 冲毁路面、路基;对隧道工程的损毁主要表现在:1. 堵塞洞口;2. 破坏洞口墙体并引起衬砌支护结构破坏;3. 隧道内路面变形,附属设施严重受损;对明洞/棚洞工程的损毁主要表现在:1. 堵塞洞口,损毁洞口结构;2. 磨蚀洞顶,压顶并引起衬砌支护结构破坏;3. 损毁排水、通风、电力等附属设施。

根据“7·10”泥石流危害公路的成灾模式,初步分析了其成因,主要体现在如下 4 个方面:公路工程选址不当、风险估计不足,桥涵过流净空不足,泥石流防灾措施不完善,泥石流的严重冲刷、冲击作用。针对泥石流危害公路的特征和震区泥石流防治中存在问题,提出:严密勘察灾害隐患,判识灾害发展趋势;以泥石流风险分析为基础,合理规划建设灾区道路;公路工程匹配相应防灾措施,完善公路防护体系;加强泥石流灾害监测和预警,提高泥石流灾害风险管理水平。

参考文献 (References)

- [1] Cui Peng, Zhuang Jianqi, Chen Xingzhang, et al. Characteristics and countermeasures of debris flow in Wenchuan area after the earthquake[J]. Journal of Sichuan University :Engineering Science Edition, 2010, 42(5): 10-19 [崔鹏, 庄建琦, 陈兴长, 等. 汶川地震震后泥石流活动特征与防治对策[J]. 四川大学学报:工程科学版, 2010, 42(5): 10-19]
- [2] Cui Peng, Chen Xiaoqing, Zhu Yingyan, et al. The Wenchuan Earthquake (May 12, 2008), Sichuan Province, China, and resulting geohazards [J]. Nat Hazards. 2011, 56:19-36
- [3] Tang Chuan, Liang Jingtao. Characteristics of debris flows in Beichuan epicenter of the Wenchuan earthquake triggered by rainstorm on september 24, 2008 [J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 751-758 [唐川, 梁京涛. 汶川震区北川9·24暴雨泥石流特征研究[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 751-758]
- [4] Cui Peng, Zou Qiang, Xiang Lingzhi, et al. Risk assessment of simultaneous debris flows in mountain townships [J]. Progress in Physical Geography. 2013, 37(4): 516-542
- [5] Cui Peng, Xiang Lingzhi, Zou Qiang. Risk assessment of highways affected by debris flows in Wenchuan earthquake area [J]. Journal of Mountain Science, 2013, 10(2): 173-189
- [6] Wang Quancai, Wang Lansheng, Li Zongyou, et al. Open Tunnel Engineering and Secondary Disasters of Earthquake in the Post-earthquake Reconstruction Projects along Du - Wen Road [J]. Mountain Research, 2011, 29(3): 356-361 [王全才, 王兰生, 李宗有, 等. 都汶路恢复重建中的主要地震次生山地灾害与明洞工程[J]. 山地学报, 2011, 29(3): 356-361]
- [7] Zou Qiang, Su Zhiman, and Zhu Xinghua. Mechanism of landslide-debris flow-barrier lake disaster chain after the Wenchuan Earthquake [G]//Ugai K, Yagi H, Wakai A. Earthquake-induced landslides. Springer - Verlag Berlin Heidelberg, 2013: 917-924
- [8] Chen Guangxi, Wang Jikang, Wang Linhai. Debris flow prevention [M]. Beijing: Chinese Railway Press, 1983. [陈光曦, 王继康, 王林海. 泥石流防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.]
- [9] Cui Peng, Yang Kun, Zhu Yingyan, et al. Debris flow hazards along the traffic lines in mountain areas of western China [J]. Mountain Research, 2004, 22(3): 326-331 [崔鹏, 杨坤, 朱颖彦, 等. 西部山区交通线路的泥石流灾害及减灾对策[J]. 山地学报, 2004, 22(3): 326-331]

Hazard Characteristics and Causes of “7·10” Debris Flow along Highways in the Upper Reaches of Minjiang River

ZOU Qiang^{1, 2}, GUO Xiaojun², ZHU Xinghua², KONG Yingde^{2, 3}

(1. College of Environmental and Resource, SWUST, Mianyang, 621010, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment / Key lab. of Mountain Hazards and Earth Surface Process, CAS, Chengdu, 610041, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: On July 10, 2013, debris flows with large-scale simultaneously occurred and directly caused serious damages for highways in the upper reaches of Minjiang River. That debris flow deposited riverbed and induced dam-breaking flood increases the affected range and aggravated the loss of highways. This article analyzed the debris-flow damage modes to highway engineering, including: 1) depositing bridge clearance, scouring bridge foundation and directly destroying bridges; 2) burying pavement and subgrade, scouring subgrade, and washing out roads; 3) blocking tunnel entrance, destroying tunnel lining structure of the cave wall at tunnel entrance, damage to tunnel's ancillary facilities; 4) blocking the mouth of open tunnel or shed tunnel engineering, impacting tunnel entrance structure of, destroying drainage, ventilation and power ancillary facilities of open tunnel or shed tunnel engineering. Furthermore, according to field observation, a preliminary analysis was used to discuss the causes of serious losses of highways in the upper reaches of Minjiang River. And the major causes induced the improper location and insufficient risk estimates for highway engineering, insufficient clearance of bridge and culvert, an uncompetitive system of debris flow disaster prevention and mitigation, and serious scouring and impacting capability of debris flow. Through analyzing the hazard characteristics of debris flows along highway and the problems of debris flow prevention and control, this study proposed countermeasures for disaster mitigation in post-disaster reconstruction and highway planning.

Key words: debris flow; highway; disaster mitigation; upper reaches of Minjiang River