

西部山区交通线路的泥石流灾害及减灾对策

崔 鹏, 杨 坤, 朱颖彦, 马东涛

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘 要:全面总结了西部山区交通线路的泥石流问题,探讨了交通线路泥石流的特点、分布及其危害现状。在掌握了泥石流特征的基础上,进一步探讨了既有线路、在建线路和拟建线路所采取的不同防灾减灾对策,并提出了山区交通线路泥石流防灾工程建设应该进一步深入研究的问题,为西部山区线路建设中的防灾、减灾工作指明了方向。

关键词:西部; 山区; 交通线路; 泥石流; 防治对策

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

西部地区国土辽阔,地形复杂,多山区,自然条件差异大,自然资源丰富,但交通不便,经济较为滞后。目前,西部地区,特别是西部山区交通布局数量少、运能小、不成网,严重制约该区经济的发展^[1]。随着西部大开发战略的实施,国家把铁路和公路(以下统称为交通线路或线路)建设作为实施西部大开发的重要举措,列入国家建设的优先领域。例如兰(州)渝(重庆)铁路、滇藏铁路、万(县)枝(城)铁路、银(川)西(安)铁路、西(宁)成(都)铁路和以昆明为起点经瑞丽或尚勇出境至东南亚的泛亚铁路,已列入铁路路网规划中^[2]。纵横国道公路和连接中心城市之间的高速公路(如成(都)攀(枝花)公路)也在逐段实施中。但西部地区工程地质条件复杂,新构造运动强烈,地形起伏大,气候多变,为泥石流发育创造了条件^[3],造成泥石流发育,危害线路严重,影响运营管理,为选线设计和工程建设带来极大困难,使线路建设举步维艰。同时,交通线路的土建工程又会对本已脆弱的生态环境带来难以恢复与补偿的后果,进而加剧灾害的频度和强度。如何解决这些问题,已成为西部开发中生态环境研究中的重要课题。

1 泥石流灾害现状

1.1 泥石流灾害的特点

西部地区由于其特殊的地理位置和悬殊的地形高差以及独特的气候条件,泥石流类型齐全,包含了除火山泥石流以外的各种类型泥石流^[4],在这种条件下,交通线路必然也遭受到不同类型泥石流的危害。线路泥石流活动具有如下特点。

1.1.1 危害严重

山区线路呈带状延伸,多沿河谷行进,回旋躲避泥石流的余地很小^[5],即使轻微、小规模泥石流,也会对线路造成很严重的危害,轻则毁坏局部路段,使交通运行能力变差,重则导致人员伤亡,堵塞乃至长时间中断交通,造成巨大损失,这也是线路泥石流灾害频度高、灾情严重的主要原因之一。如 1991-07-26 川藏线上索通沟暴发大型泥石流,将桥梁拱脚破坏,使桥面坍塌被冲走,造成数人死亡,断道 20 余天,直接经济损失 50 万元以上^[6]。又如 1987-07-11 成昆线蔡家沟暴发泥石流,在铁路桥上游约 300 m 的弯道处泥石流超高爬坡形成分流,分流流体直泻铁路,先冲刷铁路,造成 1 人死亡和电话设施毁坏,然后淤埋铁路 250 m,中断行车 16.25 h^[7]。

收稿日期(Received date): 2003- 12- 06; 改回日期(Accepted): 2004- 02- 15。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金重大项目(90202007)资助; 中国科学院知识创新项目(KZCX2 306)资助。[Supported by the Key Research Project of the National Natural Science Foundation of China. Supported by the Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Science]

作者简介(Biography): 崔鹏,男,研究员,博士生导师,主要从事泥石流等山地灾害研究。[Cui Peng, male, Ph. D. professor, Specialized in debris flow, mountain hazards]

1.1.2 易导致次生灾害

由于山区线路多沿河谷布设, 当沿线泥石流暴发后容易堵断江河和堵塞湖泊, 进而造成水位上涨, 溯水影响上游线路, 或者发生溃决洪水, 危害下游线路, 导致更大规模的灾害。如 2000-04-09 川藏线帕隆藏布流域易贡藏布支沟扎木弄巴发生特大崩塌-滑坡-碎屑流-泥石流, 在堵断易贡湖 62 d 后溃决, 形成特大规模洪水, 溃决洪水水位高出正常水位约 50 m, 洪峰持续达 6 h 之久, 洪峰沿帕隆藏布直泄雅鲁藏布江, 毁坏下游公路近 30 km^[8]。泥石流的频繁活动将大量泥沙输入主河, 使河流泥沙增多, 造成中、下游河床因泥沙淤积抬升, 对线路影响较大, 由此出现频繁水毁现象。

1.1.3 线路工程诱灾多

山区线路建设要进行边坡开挖、路堤填筑、隧道开凿等活动, 若设计与施工措施不合理, 没有相应的防灾举措, 造成边坡不稳, 或将大量剥离废弃的土石块体弃入沟道, 将成为泥石流形成的物源, 遇到合适的水源条件便诱发泥石流灾害。如 1972-05-14 成昆线汉罗沟暴发泥石流, 淤埋新铁村车站全部股道, 中断行车 91.13 h^[7]。这次泥石流就是由于修筑公路, 开挖边坡, 将约 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的土石弃入沟道, 遭遇到暴雨径流的浸润冲刷而形成泥石流, 并挟裹沟床堆积物, 愈演愈烈, 进而形成大规模的泥石流, 给铁路带来严重的危害。

1.1.4 人为破坏影响大

西部山区人口增长和经济建设的发展, 导致陡坡耕种, 过度垦殖, 破坏森林植被, 盲目采矿弃渣以及采石等不当活动, 致使生态失衡, 水土流失, 诱发泥石流, 加重交通线路灾害。如成昆铁路沿线泥石流中, 人类不合理活动所导致的占 1/3 强^[9]。又如西藏八宿县境内的瓦达沟是昌都地区煤炭生产基地, 大量的爆破和弃渣, 造成该沟崩塌、滑坡和泥石流活动频繁, 多次冲毁公路桥, 堵塞冷曲, 造成上游公路被水淹没^[6]。1973 年成昆线弯丘车站小沟发生泥石流淤埋股道, 中断行车 1 周, 这次泥石流的暴发是流域上部小水库设计不合理, 在暴雨过程中溃决而激发的^[7]。

1.2 泥石流分布规律

西部地区位于我国地势的第一级和第二级阶梯上, 地势高, 相对高差大, 其山区沿线路泥石流非常发育, 受地质、地形和气候条件等因素的控制, 具有显著的分布规律^[10]。

1.2.1 地带性

由于气候分布具有地带性, 导致泥石流类型的分布也具有地带性。西南山区地质构造复杂, 地形破碎, 风化强烈, 松散固体物质丰富, 加之地处热带和亚热带, 降雨十分丰富, 且集中于雨季, 线路沿线发生的泥石流主要为暴雨型泥石流, 且易出现一场暴雨, 多沟并发泥石流的现象^[7]。如成昆铁路四川段沿线有 367 条泥石流沟, 截止 1987 年底, 其中的 77 条泥石流沟共发生泥石流 169 次, 37 次成灾, 7 次淤埋车站, 2 次冲毁桥梁, 3 次颠覆列车, 抢险工程费用达 3 000 万元^[3]。而西北地区干旱少雨, 但局地暴雨较多, 泥石流暴发突然、规模巨大, 线路多雨洪型泥石流, 在高山区有因冰川融化而引发的冰川型泥石流, 黄土区还会出现泥流。青藏高原气候寒冷, 冰川发育, 山区的寒冻风化作用强烈, 因而在高山峡谷区线路沿线冰川型泥石流最为发育, 目前区内的交通干线如川藏线^[11-13]、青藏线^[14-15]、中尼公路^[16]等都深受泥石流的危害。在横断山区, 由于山岭与河谷排列紧密, 相对高度极大, 地形破碎, 自然条件恶劣, 区内线路少、等级低, 沿线多出现暴雨型泥石流, 其中也有冰川型泥石流分布, 危害甚为严重。

1.2.2 集中性

泥石流沿山区交通线路分布较为广泛, 同时表现出相对的集中性。交通线路中以穿越三大地貌单元过渡带路段沿线的泥石流较发育, 其中尤其以第二阶梯与第三阶梯的过渡带最集中^[10]。据 1992 年的调查, 川藏公路沿线(南线和北线)的成灾泥石流 1 036 条, 主要分布在伯舒拉岭以东的横断山区和西部藏东南地区, 其他地区的泥石流分布相对较少^[11]。又如新藏公路仅新疆境内就有泥石流 149 条, 主要分布在依山傍河段, 如哈拉斯坦河及其支流峡谷、叶尔羌河宽谷、喀拉喀什河宽谷地带以及赛图拉沟等地段, 其他地段只是零星分布^[17]。

1.2.3 条带性

山区线路两侧泥石流的分布受地质构造的影响, 表现出沿着交通线路成串珠状分布。如四川境内成昆铁路沿线共有泥石流沟 367 条, 基本上沿安宁河大断裂等地质构造带发育, 主要分布在峨边、金口河、甘洛、越西、喜德、冕宁、西昌、德昌、米易、攀枝花沿线^[7]。又如川藏线在帕隆藏布沿溪路段泥石流受北西-南东向的构造线控制而沿河流带状分布^[12]。

1.3 泥石流危害及影响

西部山区交通线路泥石流所造成的危害和影响按其影响对象可分为直接危害和间接危害。泥石流对交通线路及其附属建筑物的直接危害主要表现为冲刷、毁坏及淤埋线路;冲毁或掏空路基,破坏线路结构;淤塞或冲走线路的桥涵工程,降低工程的抗灾能力;破坏道班及线路防护工程。泥石流对交通线路的间接危害主要表现在泥石流发生后阻车断道,带来交通运输量和运营经济效益的减少;灾害发生后由于线路长、交通不便、信息不灵等因素的限制,给交通管理和养护造成严重混乱和困难,产生间接的经济损失;灾害的发生对地方经济制约较大,长时间的交通中断,使得内外物资流动困难,进而造成物价等的变化,引起多方面的恶性循环。

总之,认识西部山区交通线路泥石流的这些特征,不难理解沿线泥石流灾害严重性,防灾减灾工作的必要性、艰巨性和紧迫性。

2 泥石流防治对策

2.1 既有线路的减灾对策

既有线路遭受泥石流危害的主要原因是由于线路布置不合理和相应的保护工程设施不完善而导致行车困难或线路中断。如桥涵设计跨度、孔径不足,桥下纵坡不够等造成淤桥堵涵等。对策主要采取以“治”为主的原则,对泥石流进行综合治理。

首先查清道路沿线的环境背景条件,正确评价和判定泥石流沟和非泥石流沟,查清泥石流沟内不良地质情况、泥石流形成的土源条件和水源条件,通过对泥石流发展趋势分析,做出综合评价和预测,确定泥石流类型、性质、规模、灾害范围和泥石流沟的发育阶段。其次在弄清泥石流各种特征的基础上,确定出不同的整治方案。传统上,多采用以排导为主的桥、涵、排导槽等措施,但这些工程只是消极的疏通排导,不能从根本上控制泥石流,不仅会对下游造成危害,还有可能派生出新的泥石流灾害。而且对于沿线大型、特大型的泥石流沟,采用单一的工程措施,不但治理时间长、投资大,而且很难解决根本问题,只能使线路临时保持通畅。因此必须从泥石流形成条件入手,从根本上控制泥石流灾害的发生、发展,通过对泥石流形成区的研究,采取适当的结构工程以及相应的生物工程措施,进行综合整治,减少水土流失,削减地表径流和松散固体物质补给量,恢

复生态平衡,促使山地生态系统向良性发展,使环境背景向着不利于泥石流发生的方向转化,从而减轻甚至消除泥石流灾害,达到长期防灾减灾要求,保证交通线路的通畅。

2.2 在建和改建线路的减灾对策

在建线路以及改建线路通过泥石流危害区,在线路的设计、施工阶段就可选用合适的布线方案以及相应的防护措施,以确保线路的安全。对策采用“防”、“治”结合的减灾措施。

首先研究线路通行区泥石流的形成机制、主导因素和激发因素,在此基础上深入研究设计频率下灾害暴发的周期、相应规模以及对道路的危害程度,分清泥石流的可治性以及投资额度。其次,在上述研究成果基础上确定需采取的减灾措施,大致可分为3种:①泥石流可治,并且治理投资与改线方案费用相比较小,可采用一般性的疏通、排导、拦挡工程措施;②泥石流虽可治,但治理费用过高,可从泥石流堆积扇边缘通过或线路通过修建桥梁跨河走对岸来避免泥石流;③泥石流不可治,则可在泥石流堆积扇顶部地质条件较稳定的地段采用桥梁通过,或者将线路抬高绕过山坡,经山脊过分水岭的方案来减轻泥石流灾害。若线路通行区环境条件复杂,泥石流活动规律和发展趋势不明确,而上述方案难以实施,在公路设计上,则可采用过水路面、便道和便桥等临时保通工程来维持通行,今后进一步研究,再设法治理灾害。另外在工程建设中要充分考虑建设活动对环境的影响,防止出现大规模毁林、乱弃置废渣、废石等破坏环境的活动发生,以减少泥石流发生的物源,防止人为因素引发的泥石流灾害。

2.3 拟建线路的减灾对策

由于过去人们对泥石流的认识不足,未能识别出泥石流危险区,预留排泄通道,致使许多交通线路布设在泥石流通道上,且对沿线泥石流冲刷和淤积的影响估计不足,导致线位过低,易遭受泥石流侵害,严重影响了道路的安全运营。对于拟建线路的泥石流灾害主要采取以“防”为主的措施。

西部交通建设再不能走过去的老路子,可结合线路的设计采用灵活自由的措施,通过科学评估影响线路的泥石流灾害,考察线路周围泥石流形成环境条件,评估泥石流活动性,确定不同频率下的泥石流的性质以及流量、流速等参数,进行泥石流危险性分区。根据危险性分区结果,指导泥石流影响范围的线路布设,并将防灾减灾规划统一到交通建设规

划中, 将泥石流灾害防治的思想贯彻在线路的勘察、设计、施工、运营各个阶段, 并突出各阶段泥石流防灾重点, 确保线路建设后不遭受重大泥石流危害。作为泥石流灾害预防的最重要环节, 选线是保证线路安全运营的关键。在线路选线时, 尽可能的避让泥石流区, 对于无法避开的泥石流沟要进行深入调查研究, 掌握泥石流活动和危害特征, 从投资规模、运营安全、灾害损失、防治难易、维修养护等方方面面反复比较, 最后确定出最优路线, 以避开泥石流危害, 确保公路、铁路通车后的运营安全。通过线路选择仍不能解决的泥石流问题, 可采取一定的治理工程作为减灾的辅助措施。

3 泥石流防灾应深入研究的问题

3.1 线路工程与环境相互作用机制

线路工程的实施必然会对山地环境产生一定的影响, 而山地环境的恶化也将加剧泥石流灾害的形成和发展。从选线到修建过程中都要重视工程对周边环境的适应和减灾工作。当环境条件恶劣, 泥石流活动频繁, 灾害问题严重时, 可通过线路建设的实施, 对线路通行区进行相应的灾害治理, 加大水土保持工作力度, 加强植被保护, 改善局部生态环境, 使其向良性发展。相反, 如果不注重生态环境的保护, 在线路工程实施过程中, 乱弃废渣, 不恰当的开挖边坡, 则将激活原本已经进入停歇期的泥石流, 或加剧泥石流危害的范围及程度, 不仅破坏了生态平衡, 而且使线路处于泥石流威胁下, 不能安全运营, 起不到内联外通的作用。因此, 在线路工程建设中, 贯穿环境保护的思想非常重要, 应对工程和环境的相互作用机制进行深入研究, 提出有利于生态平衡的线路建设理论极为必要。

3.2 泥石流发育路段的选线理论

在西部山区交通建设中, 确保交通顺畅的最佳措施就是选一条避开泥石流灾害或泥石流灾害较轻的线路。这不仅减轻后续的防灾工程压力, 而且可以保证交通的安全运营。根据这一目标, 可提出河谷选线、越岭选线、高原面选线和地质选线等原则, 对泥石流危害与防治进行研究, 提出切实可行的选线方法。对于危害严重的大型泥石流沟群, 可以考虑建桥跨越、修明洞隧道或绕到主河对岸三种方案。对于泥石流特别发育的地区, 宁可适当增加线路长

度, 也要做大范围的绕避。在线路的平面布置上, 一般应从地形冲淤变化小的流通区跨越泥石流沟谷。靠近山坡的线路要注意山坡型泥石流危害, 应在山坡与线路之间留出一定的淤积地带, 避免泥石流直接埋压路面。旁侧分布有多条泥石流沟的大河, 其沿河线路的建设, 要在综合预测河床上涨速度的基础上, 按设计使用年限留足高度, 满足跨越泥石流的桥梁、隧道及涵洞的高程要求。同时, 要考虑到泥石流堵江的可能性以及河水淹没范围。在线路的选择上, 不仅要考虑防灾问题, 而且要在投资和造价上长远考虑, 应估计到由于泥石流灾害可能造成的直接和间接经济损失及长期的治理维修费用, 不能单纯为了节省投资给后续线路运营留下后患。

3.3 山区线路泥石流减灾技术体系

山区线路泥石流的减灾与一般性的泥石流防治措施有所不同, 其泥石流防治是以保护线路为目的, 区段性明显, 线路通过区域泥石流防治较多, 未通过区域的泥石流不进行相应整治。其防治技术主要分为硬性措施和软性措施。硬性措施如防灾工程, 较为单一, 一般采用桥涵工程和隧道工程来疏通排导或避开泥石流; 另外对于线路本身, 可通过相应的路线工程、路基工程和路面工程来提高线路自身的抗灾能力。而软性措施如泥石流的预警预报技术等, 可以在无法避开泥石流灾害情况下, 起到保护线路运营中的人身和财产的安全, 减轻泥石流灾害影响的强度。由于西部山区条件差异较大, 不能保证同一种措施能包揽全部, 而需根据当地客观情况, 因地制宜的采取防灾减灾措施。因此必须立足于西部山区具体情况, 展开深入广泛的调查研究, 建立起西部山区线路泥石流减灾技术体系, 为西部山区交通建设中泥石流防灾提供技术上的支持。

3.4 线路管理信息与泥石流减灾决策支持系统

西部山区线路既是山区重要的人流、物流通道, 往往也是重要的国防通道, 确保线路的畅通, 实现线路连续、安全、高效运营, 是建立线路管理信息与泥石流减灾决策支持系统的根本出发点。该系统安全运营在很大程度上取决于对泥石流灾害信息的获取、管理和应用水平。因此必须对沿线泥石流灾害情况继续进行普查, 掌握第一手资料, 研究区域活动规律, 收集详实的泥石流灾害信息, 以泥石流活动、人类活动及其相互作用为研究对象, 充分运用现代高新技术, 如计算机技术、地理信息系统技术、遥感技术、全球定位系统技术, 融自然科学技术和社

会科学技术于一体,建立定量、标准、完备和高效的数据库,并通过网络实现信息共享,在此基础上建立、细化和完善泥石流灾害形成和损失评估的数学物理模型。进而通过动态监测,接收泥石流危险区的天气信息,进行泥石流的预测、预报、临报,在泥石流灾害发生前,就能做一些前瞻性工作,进行主动减灾防灾,把泥石流灾害损失减少到最低限度,以达到线路防灾减灾目的。该系统的建立将为线路防灾减灾工作及其研究提供有力的手段,增强线路运营安全的能力,同时使线路的减灾防灾管理更加有效。

4 结语

全球气候变暖导致灾害活动增强,这是非常明显的事实^[18]。近年来随着全球气候变化,西部山区的泥石流类型和数量增长,危害愈来愈严重,对交通线路的展布和运营构成了严重的威胁。随着西部大开发战略的实施,山区交通将会得到长足发展,大规模线路建设及其他建设活动,对周围环境的压力明显上升,沿线泥石流灾害频繁发生的势头不会削减,因此,西部山区交通线路泥石流灾害及其带来的环境问题应该引起社会的广泛关注。针对线路严峻的泥石流灾害现实和不容乐观的发展趋势,本文仅就沿线泥石流的分布规律和对交通线路的危害进行了探讨,提出了相应的防灾减灾对策,希望能引起交通建设部门的重视,以利于进一步的深入研究。

参考文献(References):

- [1] Duanbiao. The research of layout for communication lines of western China [J]. *Journal of Railway Engineering Society*. 1995, (3): 22~ 28. [段彪. 我国西部路网规划研究[J]. 铁道工程学报, 1995, (3): 22~ 28.]
- [2] Cheng Zhangming, Zhang Xiaoqiang. The research on the developmental layout for railroad in the southwest region [J]. *Journal of Railway Engineering Society*. 2000, (4): 9~ 11. [陈章明, 张小强. 西南地区铁路网发展规划的研究[J]. 铁道工程学报, 2000, (4): 9~ 11.]
- [3] Qi Long, Ma Dongtao. Some problems of debris flow in the construction of roadway of western China [A]. In: The Proceedings of the Symposium on the Communication Construction in Western Region [C]. Beijing: Surveying Press. 1994, 37~ 41. [祁龙, 马东涛. 我国西部地区道路建设中的泥石流问题 [A]. 见: 中国西部交通建设研讨会文集 [C]. 北京: 测绘出版社, 1994, 37~ 41.]
- [4] Xie Hong, Liu Shijiang, Zhong Dunlun. Some problems of debris flow in the exploration of western China [J]. *The Journal of Natural Disasters*. 2000, 10(3): 44~ 50. [谢洪, 刘世建, 钟敦伦. 西部开发中的泥石流问题 [J]. 自然灾害学报, 2000, 10(3): 44~ 50.]
- [5] Jiang Zhongxing. The prevention principle and hazards rules for China roadway in mountains [J]. *Country Economics*. 1995, (3): 11~ 16. [蒋忠信. 中国山区道路灾害规律与防治原则 [J]. 国土经济, 1995, (3): 11~ 16.]
- [6] Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Lanzhou Institute of Glacial and Frozen Earth, CAS, Tibet Institute of Communication Science. The Mountain Disasters and Their Countermeasure along the South Line of Sichuan-Tibet Highway [M]. Beijing: Science Press. 1995, 69~ 72. [中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所, 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 西藏自治区交通科学研究所著. 川藏公路南线(西藏境内)山地灾害及防治对策 [M]. 北京: 科学出版社, 1995, 69~ 72.]
- [7] Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS. Research and Prevention of Debris Flow [M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press. 1989. 6~ 117. [中国科学院成都山地灾害与环境研究所著. 泥石流研究与防治 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989. 6~ 117.]
- [8] He Yipeng, Hu Kaiheng, Wei Fangqiang, et al. Characteristics of debris flow in Polongzangbu Valley of Sichuan-Tibet highway [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(3): 76~ 80. [何易平, 胡凯衡, 韦方强, 等. 川藏公路迫隆藏布流域段泥石流 [J]. 水土保持学报, 2001, 15(3): 76~ 80.]
- [9] Duan Jiaying. The primary study of scientific management for the work of prevention for the debris flow [A]. In: The Prevention Theory and its Application for Debris Flow [C]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 1991. 197~ 203. [段家英. 泥石流防治工作中的科学管理初探 [A]. 见: 泥石流防治理论与实践 [C]. 成都: 西南交通大学出版社, 1991. 197~ 203.]
- [10] Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS. Debris Flow in China [M]. Beijing: The Commercial Press. 2000, 43~ 48. [中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流 [M]. 北京: 商务印书馆, 2000, 43~ 48.]
- [11] Zhao Yongguo. Debris flow disasters and their controlling countermeasures along the highway from Sichuan to Tibet [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, 7(1): 69~ 74. [赵永国. 川藏公路泥石流灾害及其整治对策 [J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 69~ 74.]
- [12] Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Xizang Communication Science Institute. The Typical mountain hazard research on the Highway of Tibet [M]. Chengdu: Chengdu Science and Technology Press, 1999. 1~ 29. [中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所著. 川藏公路典型山地灾害研究 [M]. 成都: 成都科学技术出版社, 1999. 1~ 29.]
- [13] Lu Rureng, Li Deji, Tan Wanpei. Mountain Hazards and Mountain Environment [M]. Chengdu: Sichuan University Press. 2001. 49~ 53. [吕儒仁, 李德基, 谭万沛. 山地灾害与山地环境 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2001. 49~ 53.]
- [14] Zhang Peizong, Wang Xilai. The forming conditions and preventive suggestions for debris flow at Xiling platform in Qinghai-Tibet

- line[J]. *Roadbed Engineering*. 1997, (2): 34~ 37. [张培众, 王锡来. 青藏线西岭台泥石流形成条件及防治建议[J]. 路基工程, 1997, (2): 34~ 37.]
- [15] Wu Chuncheng. The comprehensive prevention and cure for disasters of wind induced sand and debris flow in railway[J]. *Railway Construction*, 2001, (9): 38~ 40. [吴春成. 铁路风沙害、泥石流灾害的综合治理[J]. 铁道建筑, 2001, (9): 38~ 40.]
- [16] He Yipin, Ma Dongtao, Cui Peng. Debris flow along the China Nepal highway[J]. *Journal of Geographical Science*. 2002, 27(3): 275~ 283. [何易平, 马东涛, 崔鹏. 西藏中尼公路沿线的泥石流[J]. 地理学报, 2002, 27(3): 275~ 283.]
- [17] Yan kun, Ma Dongtao, Cui peng. The hazard along Xingjiang-Tibet highway in Xingjiang [J]. *Journal of Mountain Science*. 2002, 20(1): 53~ 58. [杨坤, 马东涛, 崔鹏. 新藏公路(新疆境内)沿线道路病害[J]. 山地学报, 2002, 20(1): 53~ 58.]
- [18] Shi Yafeng. The developmental trend of natural hazards under the effect of global warming [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1996, 5(2): 102~ 117. [施雅风, 全球变暖影响下自然灾害的发展趋势[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(2): 102~ 117.]

Debris Flow Hazards along the Traffic Lines in Mountain Areas of Western China

CUI Peng, YANG Kun, ZHU Yingyan, MA Dongtao

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041*)

Abstract: with the exploitation of western China, the rapid progress in the constructions of mountain traffic lines result in the frequent occurrence of the disaster of debris flows. The characteristics, distributions and situations of debris flow in western China are discussed comprehensively and the problems of debris flows generally are summarized. Based on the comprehension for the nature of debris flows, the appropriate mitigation countermeasures are proposed for traffic lines which are constructed, under construction and planned. These countermeasures include both civil engineering and bioengineering works. Further, the problems resulted from the prevention engineering for debris flows in traffic lines in mountain are put forward to need to resolve ultimately. As a result, the research achievement of debris flow on traffic line construction in mountainous area would contribute to the reducing disasters, preventing disasters, and finally suggests a new reasonable exploration of research.

Key words: western China; mountain areas; the traffic lines; debris flow; mitigation countermeasures