

Preliminary Analysis of Road Selection and Location in Debris Flow Regions

Xueli Wei*, Bin Li, Huaiyi Zhao

Academy of Transportation Planning Surveying and Design, Urumqi Xinjiang
Email: *weixl8115@126.com

Received: Feb. 2nd, 2017; accepted: Feb. 24th, 2017; published: Feb. 27th, 2017

Abstract

Debris flows are distributed extensively, and frequently cause serious damage and losses in highway construction of mountainous region. The characteristics and principles of road selection and location in debris flow regions are summarized, and based on historical experiences of road selection and location, reasonable principles and prevention of technical solutions are addressed and analyzed systematically. The results will provide technical guidance and reference for road selection and construction, and contribute to regional sustainable development and environment protection.

Keywords

Mountain Highway, Debris Flow, Road Selection and Location, Prevention Scheme

泥石流地区公路选定线初步分析

魏学利*, 李 宾, 赵怀义

新疆维吾尔自治区交通规划勘察设计研究院, 新疆 乌鲁木齐
Email: *weixl8115@126.com

收稿日期: 2017年2月2日; 录用日期: 2017年2月24日; 发布日期: 2017年2月27日

摘 要

泥石流分布广泛, 类型多样, 成灾方式多且危害严重, 严重制约了我国山区公路建设与发展。本文在对我国山区泥石流选定线特征总结基础上, 结合以往泥石流地区公路选定线经验, 系统分析了公路跨越泥石流地区合理选定线原则与防治方案。研究成果可为山区公路选线和建设提供技术支撑和依据, 对山区

*通讯作者。

区域可持续发展和环境保护具有重要意义。

关键词

山区公路, 泥石流, 选定线, 防治方案

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

公路泥石流是指发育于公路沿线并对公路构筑物安全与稳定、交通运输有序进行具有破坏作用的泥石流, 是山丘地区公路建设及养护过程中普遍存在且破坏作用极其强烈的公路水毁及病害类型, 也是毁损穿越泥石流沟的公路构筑物的主要外在动力[1]。我国公路每年因泥石流造成的直接经济损失数十亿元, 如中尼公路和沿川藏公路线泥石流防治工程均有上百处, 这些泥石流灾害点呈串珠状分布于山区公路两侧[2] [3]。为此, 在公路新线规划建设过程中必须对泥石流沟进行调查, 做好预防工作。大量事实表明, 如选线恰当, 即使泥石流极其发育集中, 也可以避免或减少泥石流的危害。如选线不当, 轻则可能造成沿线多处受损, 在工程措施上付出相当高的代价, 还可能为以后的养护和运营带来严重的后患; 重则整段线路无法正常使用, 不得不进行整治或改线。因此, 对山区公路泥石流地区的选定线进行总结和分析具有重要的现实意义。然而, 由于泥石流形成运动规律的特殊性和复杂性[4] [5], 以及不同等级公路线型和线位等限制要求, 致使泥石流地区公路选定线理论和方案不成熟不完善, 在公路后期运营与维护中遇到多种问题。故本文在总结以往公路选定线理论和经验基础上, 对泥石流地区公路选定线进行系统总结与和分析, 以期指导公路泥石流选定线与工程防治。

2. 我国山区公路选定线的特点和原则

泥石流对公路线路的危害方式主要有两种, 即冲刷侵蚀作用(包括冲击作用)和堆积淤埋作用, 具体包括冲毁路基路面、冲击公路桥梁、淤埋公路设施和冲刷淘蚀路基等。如果公路选线不当, 轻则冲毁局部路段, 降低公路运行能力, 重则造成车毁人亡, 堵塞甚至阻断交通, 造成极大生命和财产的损失, 因此合理的选取穿越泥石流区的路线和位置具有十分重要的现实意义。

2.1. 我国山区公路泥石流选线特点

我国山区公路, 特别是中西部山区公路, 多采用沿江河主干水道的一级和二级支流展布, 公路溯源依山傍河而上, 在远处翻越(现今多采用隧道通过)不同流域间的分水岭之后, 沿相邻流域的支流顺流而下, 公路沿河线具有良好的线型和合理的纵向展线坡度。从侧向横断面看, 大部分公路的路基多布设于诸河河谷洪水位以上的岸坡, 多选在山麓与河槽之间地段缓斜坡通过, 并在公路摆动区的两侧留有足够的安全地带(隔离带), 既避免主河洪水威胁, 又减少山麓崩塌、滑坡和泥石流等危害。

2.2. 泥石流地区公路选线一般原则

山区公路多沿河谷呈线状延伸, 线路展布多受狭窄河谷廊道限制, 躲避泥石流威胁的余地很小, 致使泥石流对公路破坏形式多样且危害严重[5] [6], 即使规模较小的泥石流, 也将对公路造成严重危害。因

此，泥石流地区公路需要在一定原则下进行选线，结合中巴公路、中尼公路、川藏公路和四川西攀高速等的选线特点和经验[5] [7] [8]，泥石流地区公路的选线应遵从地质选线、地形选线、技术经济、安全可靠和生态环保等原则(图 1)，并重点考虑以下几方面：

(1) 从自然地理环境考虑，全面调查分析泥石流地区公路选线的影响要素

调查分析泥石流沿线分布、形成规律、性质、规模、频率、发展趋势等，预测泥石流目前和未来对公路可能造成的危害；全面分析公路通过泥石流沟的最优位置及可能的迂回展线范围，以及前后桥、隧、路基等工程的衔接技术问题；充分认清泥石流和其它地质灾害之间在整段线路中的关系及其对公路的危害。尽量利用或参照原有防治工程和防治经验，有效防治泥石流对公路的危害，降低工程造价。如四川西攀高速公路线路沿原铁路线上下展布，既利用了原有铁路的防治工程，又根据铁路的防治不足进行必要的绕避、改线或加强防治力度，这样就可极大的降低公路成本，确保公路的安全[8]。

(2) 从技术、经济角度出发，综合拟定选线方案

在充分分析以上各影响要素的基础上，初步拟定所有可能的线路通过方案；通过在技术上采取有效的防治措施，确保所有方案都能确保公路的安全通过；对于在技术上可行的泥石流通过方案，在经济进

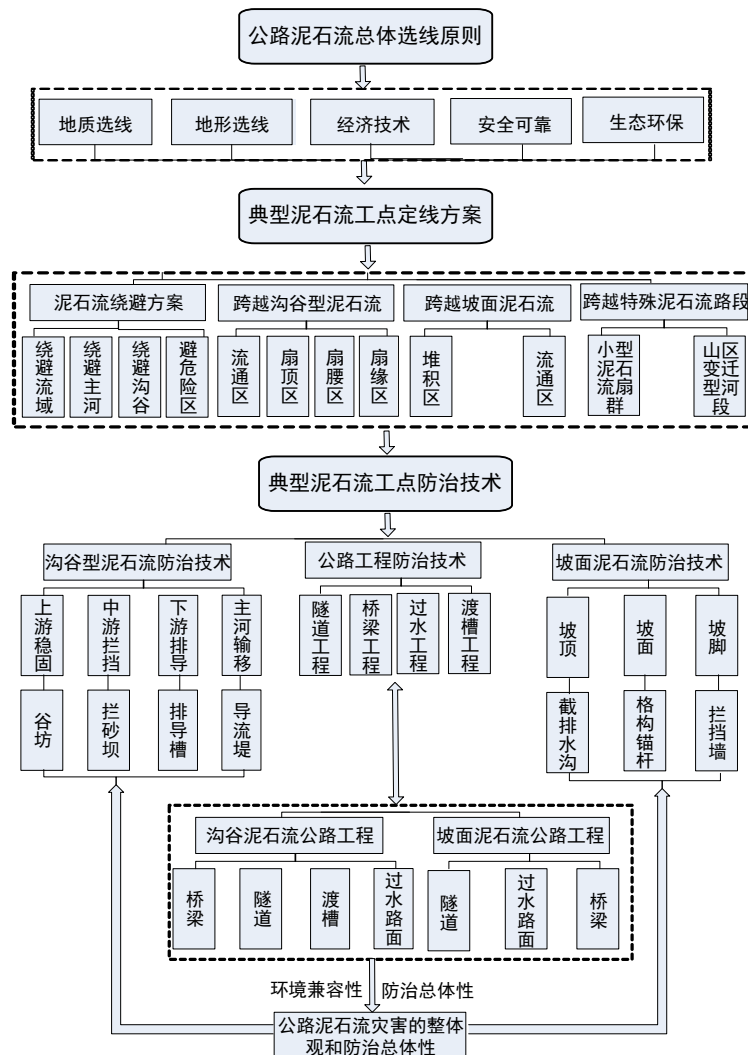


Figure 1. Highway alignment principles and prevention scheme in debris flow region
图 1. 泥石流地区公路选定线原则与防治方案

行分析评价,以综合确定线路方案可行性和经济技术可靠性。

(3) 从整体考虑,选择最经济合理的公路泥石流跨越方案

处理好泥石流防治工点与整段线路的关系,有时从泥石流防治工点看,可以安全通过,但出现工程量或经济不合理的现象,但从整段线路来看却是最经济合理的通过方案,则此时应强调泥石流防治的整体性。处理好公路通过泥石流的方案与地方经济建设的关系,选线时不仅要考虑公路的安全、经济,还要考虑公路与地方经济建设布局的总体性问题;处理好近期与远期的关系,泥石流危害的发展是缓慢的过程,相应的工程处理措施也要根据泥石流的发展趋势作相应的调整,可进行分期实施。

(4) 泥石流危害的整体观和防治总体性

泥石流危害的整体观是从上游到下游,从此岸到彼岸,从天上到地下,从过去到未来四维系统去掌握公路沿线泥石流危害的动态,并预测其变化[9]。泥石流危害的情况比较复杂,公路跨过的泥石流沟不仅会对其产生严重危害,它所在河谷段的上下游的泥石流沟以及对岸的泥石流沟都有可能危害公路,如过去川藏公路泥石流缺乏整体观,泥石流防治缺乏总体性,只是一处病害治理一个工点,公路全线有7667道涵洞,先后被淹埋或冲毁,造成了巨大损失[10]。因此,在各工点、各线段的泥石流防治设计中,应对泥石流危害进行整体考虑,提出多种单项工程不同组合的泥石流防治总体设计方案,在总规划实施计划指导下进行优选,并且根据优化设计结果对总规划的实施计划乃至总规划作出必要的修改,在公路泥石流工程防治中保持总体性。

总之,泥石流地区公路选线,必须从泥石流危害的整体观和防治总体性出发,按照泥石流的特点所决定的特定技术条件,采取特定的工程措施,进行多方案比选,确定最经济合理的线路方案。

2.3. 公路跨越典型泥石流地区选定线原则

公路穿越单条重点泥石流流域时,其横向可能摆动的位置(最大摆动幅度)在泥石流沟形成区以下,在泥石流沟堆积扇和流通区可采取不同的跨越方案(图1)。

首先,选择在沟道流通段下游的稳定部位,该段沟岸稳定,沟床较陡,总的趋势是不冲不淤,常以路沟建筑物立体交叉的方式通过,这是线路通过的最佳地段,其具体立交方案的选用要结合现场地区地形地貌,地层岩性,水文状况,泥石流性状、规模及危害性而定。其交叉组合的方案有:

- (1) 采用上路(桥)下沟方式;
- (2) 采用上路(桥)下(排导)槽方式;
- (3) 采用上路下隧洞方式;
- (4) 采用上路下暗洞方式;
- (5) 采用上渡槽下路方式;

其次,在泥石流堆积扇的不同部位(扇顶、扇中和扇缘),也可采用立交形式跨越,其可能的方案有:

- (1) 从堆积扇上缘(扇顶处),堆积扇顶部一般存在着较高的台地,沟床比较稳定,冲淤变化不大,两岸坡体较稳定,对这样的泥石流沟实施束流稳沟措施后集中建桥(涵)通过,这也是线路通过的理想方案;
- (2) 从堆积扇中部(扇中处),线路在泥石流堆积扇中部通过,这是最不理想的方案,当其它方案均不具备时,亦须在泥石流发展不严重的情况下才考虑此方案;线路主要是从堆积扇中部分散设多桥(涵)通过;
- (3) 从堆积扇扇尾(扇缘处),泥石流堆积扇的下部冲淤淹没危害情况比中部轻微,基本可以实现通过。通过方式为沿公路上侧修纵向防护堤,公路处采用过水路面通过(形成地塹式线路)。

在对线路通过位置的比选时,应对沟谷泥石流规模,爆发频率,堆积扇冲淤变化及危害性,以及主河洪水涨落幅度与变化等进行综合考虑,其对公路走线定位及立交方案的选择有着重要影响。同时,在考虑公路线路选取同时,也要重点考虑公路泥石流治理模式,在分析泥石流性质、泥石流危险度、泥石

流运动特征及公路等级等基础上,综合确定不同类型泥石流防治技术和公路工程防治技术。

3. 公路跨越泥石流地区的选定线分析

3.1. 公路跨越泥石流流通区选定线分析

公路在跨越泥石流流通区存在较大优势:一是穿越流通区的公路一般离主河较远,与主河的高差也较大,一般不会受到主河河水的威胁,并且泥石流沟与公路的接触面积较小,比较容易防治;二是沟岸稳定,沟谷狭窄,不会产生漫流改道,因而跨桥长较短,桥渡布置简单,一般不需做排导工程;三是沟床纵坡陡,总趋势是冲、淤较稳定,因而桥下排泄净空易于掌握,无须为每年的淤涨而抬高展线担心。然而,流通区对跨沟设桥也具有不利因素,主要包括两点:一是当线路通过泥石流沟谷的流通段或形成流通段时,泥石流常以侵蚀方式对路线造成危害;二是当泥石流到达这一地段时,具有最大的动能,其侵蚀能力和冲击能力最强。若线路构造物布置不当,阻碍泥石流前进,它将冲击方式给线路构造物造成危害,也可能产生局部的大冲大淤,对公路造成危害,尤其是粘性泥石流,其搬运能力特别强,可能将沟中的桥墩剪断。总体来说,流通段是公路建桥跨沟的比较理想的部位。

跨越流通区的技术要点:流通区大多位于山口及山口以内,地势较高,要从流通区跨越,线路必须提坡展线,增长线路,加大引线桥隧、路基的工程量,因而,线路定线时常考虑在山口紧接堆积扇顶的地段(即流通区沟口)跨越。因为该区域地形较开阔,高程较低,便于选线利用;但从泥石流灾害的整体观来看,流通区的范围和沟槽不是固定不变的,发展期的泥石流堆积扇将逐渐扩大淤涨,扇顶将向流通区延展,流通区沟口极易转化为淤积速度最快及漫流起点的扇顶;衰退期的泥石流,形成区固体物质供给逐渐减少,洪流沿程侵蚀沟槽,使堆积扇顶部逐渐下移。即使是旺盛期或停歇期的泥石流,虽其固体物质的供给、流通和沉积在较长时期内大致稳定,但其流通区仍可能存在年际间变化。山口或沟口是泥石流流通与沉积的交替变化地带,尤其是在人为因素的影响下变化更为强烈[11]。为此,跨越流通区定线的主要技术条件是:一是在剖面上留足桥下排泄净空;二是在平面上防止布设不当引起淤积或强烈冲击、冲刷桥墩。

中尼公路 K4742 段坡面泥石流沟位于曲水大桥西 42 km,雅鲁藏布江的北岸,地貌上处于雅鲁藏布江中游河谷左岸冻融侵蚀高山区。公路在此处两侧山势陡峻,属于峡谷地貌,该沟属坡面冲沟,坡度较陡,平均坡度 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。由于坡面泥石流没有完整的形成、流通和堆积区域,整个流域仅可分为清水区和形成流通堆积区,无完整独立的堆积区,故本次公路从该泥石流沟的形成流通区的以桥涵形式穿过[12](图 2)。

3.2. 公路跨越堆积扇区选定线分析

(1) 公路跨越堆积扇选定线技术要点

公路跨越堆积扇取主要存在四种泥石流灾害形式:淤积、漫流、冲击和冲刷。淤积:堆积扇淤积控制桥下净空和线路标高,进而影响线路的平面布置,影响整段线路的选择。而扇面持续淤涨速度及某次泥石流可能在某个部位集中淤积的规律较难掌握,因此淤积是影响整段选线成败的关键。漫流:泥石流在扇上漫流,流向多变且各沟槽流势也多变,影响桥渡布置和工程设施。泥石流的冲击和冲刷力比较大,对公路结构物具有极大的破坏作用。通过以上分析可知,跨越堆积扇选定线的技术条件是:一是在控制部位务须留足标高,保证设计年限内桥下有足够的排洪净空;二是使线路尽可能的与泥石流摆动范围内的流向正交,防止泥石流漫流改道,危害桥梁和桥头路基安全;三是还要防止泥石流冲击和冲刷破坏建筑物。

公路泥石流危害形式随堆积扇部位而异,淤积以扇顶为最快,不易掌握,扇缘最慢,较易掌握。扇

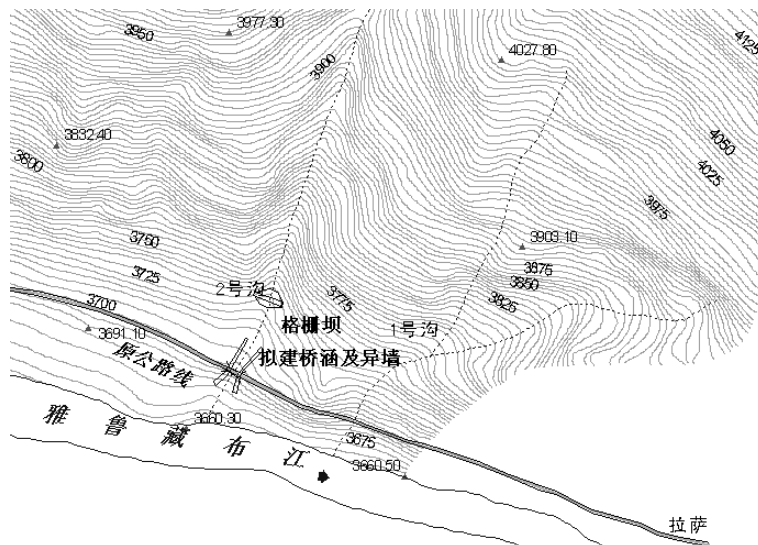


Figure 2. Sketch of debris flow crossing engineering in China-Nepal highway (K4742)

图 2. 中尼公路 K4742 段泥石流沟跨越工程示意图

顶漫流范围最窄，但线路不易与多变的漫流方向都正交，漫流的冲击力很强；扇缘漫流范围最宽，但线路易于沿边缘等高线定线，可与多变的流向垂直布设桥梁，冲击力至此已变得较小，故漫流危害相对较小。扇腰部则处于二者之间。扇上各部位在逐年淤积总趋势中可能出现局部冲刷，一般以清水流冲刷控制设计，山区发育不全的扇缘常是一性大冲大淤交替出现，但其极限情况较易判断掌握。基于以上分析，堆积扇选定线争取在扇缘跨越，在特殊情况下才考虑在扇顶或扇腰部位建桥通过。

(2) 公路跨越泥石流扇缘选定线方案

由于泥石流类型不同，公路跨越扇缘的难易程度也有差异，选定线时应根据其不同的特点，按不同的技术条件区别对待。

1) 跨越坡面型泥石流扇缘选定线

坡面型泥石流的规模小，影响范围有限，比较易于处理。但扇缘逐年逐次延伸，淤涨较快，目前的扇缘实际上已成为下一次泥石流的停淤场。由于泥石流在沟口往往会形成坡度很陡的倒石堆式小冲积扇，堵塞进口而使桥涵不起作用。因此，对于高速公路和高等级公路，不宜选在山坡脚，而选在山坡上，利用高架桥或隧洞穿过，但要注意泥石流淤涨速度，留足足够的净空；而当山坡不稳定时，则宜远离山脚以高路堤通过，使泥石流有一定的堆积余地及缓冲地带。对于低等级公路，则主要采用过水路面的形式通过。

2) 跨越典型沟谷型泥石流扇缘选定线

典型沟谷型泥石流堆积扇发育完整，是历次泥石流的大部分固体物质在扇面上往返摆动淤积的结果。堆积体中大量细粒物质被水流带走而表面粗化，并随着冲切拉槽作用形成一条或多条长长的冲沟，直通下游公路和主河道，变化一般不大。选定线最好在冲沟地段建桥涵跨越，但除应掌握多年的平均淤涨速度外，还应考虑泥石流停淤平衡，确定控制点的最小净空，然后在扇缘沿等高线以曲线或折线通过，使各桥与各桥之间的路堤保持有效防护且直接切扇前缘定线。如中巴公路(G314 线)温泉处，公路桩号 K1618 附近，公路上侧存在多处冰川泥石流灾害，公路沿大型堆积扇扇缘展布，并以桥梁形式跨域通过(图 3)。

3) 跨越典型沟谷型泥石流扇顶选定线

扇顶区即公路通过泥石流堆积扇的顶部，该类公路泥石流危害方式与泥石流通过流通区的沟道类似，

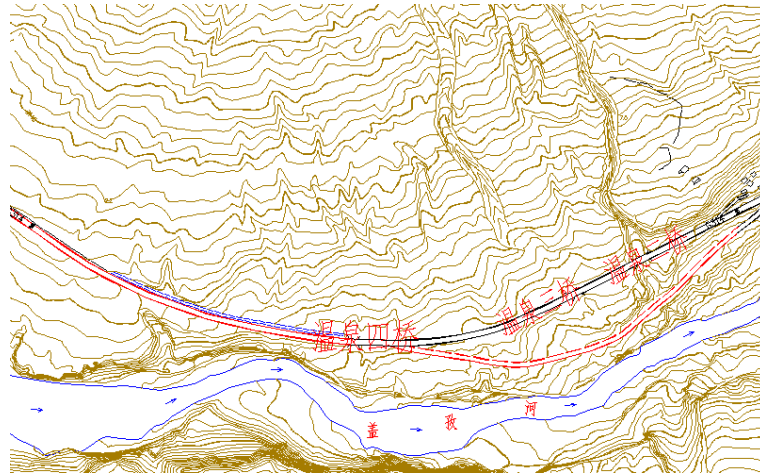


Figure 3. Sketch of road selection and location in Karakoram highway (K1609)

图 3. 中巴公路 K1609 处泥石流选定线示意图

公路距离主河较远,公路不会受到主河洪水的影响,但是泥石流的扇顶区是整个沟道由陡变缓的交界处,泥石流从该处开始淤积停留,所以泥石流对公路的危害主要为淤埋路面、堵塞桥涵等,此类泥石流沟道的防治工程规模相对较小,主要防治工程应着重放在沟内及沟口,保障公路安全跨越泥石流沟。

中尼公路段绒青沟位于错拉山西坡,流域面积 1.2 km^2 ,沟谷形态呈“V”字形,原有公路小型涵洞因排泄能力有限,当年就被泥石流淤塞。公路改线以经济技术条件为前提,选线方案是在原线的基础上进行改建,在现行公路下方 20 处即扇顶处修建高架桥跨越,桥长 20 m,净高 4~5 m,桥地两侧并进行填方防护。在扇顶线路通过均需要进行工程防护,但工程量较小,施工难度不大,工程整体防灾能力较强,并通过充分利用原有线路,减少开辟公路的支出,扇顶架设的公路桥规模较小,成本较低,便于建设[13] (见图 4)。

4) 跨越典型沟谷型泥石流扇腰选定线

扇腰区公路为公路通过泥石流堆积扇的中部地区,该类公路距离主河较近,但是一般还是不会受到主河的影响,泥石流沟道对公路的危害主要表现为直接冲刷和淤埋,由于堆积扇在该地区宽度较大,所以未经过专门防治的泥石流沟道,对公路的危害较大,受危害的公路也较长,该类路段泥石流的防治工程相对扇顶区和流通区的公路防治要复杂的多,既要在沟道内开展专门工程防护,还需要在堆积区进行必要的工程防治措施才能保障公路的安全。

黑沙河位于四川省凉山彝族自治州西昌市和喜德县间,主沟长 12.6 km,流域面积 22.7 km^2 ,流域内最高峰海拔 2920 m,与安宁河汇口处约 1550 m,相对高差约 1370 m。黑沙河流域位于康滇地轴安宁河深大断裂带,受断裂活动影响,流域内有大小泥石流支沟 135 条,崩塌、滑坡 180 处,面积达 1.3 km^2 ,据计算沟内有松散固体物质 2600 万 m^3 。据调查,黑沙河主沟泥石流平均 1~2 年暴发一次,灾害性泥石流($QC > 100 \text{ m}^3/\text{s}$)每 8 年左右暴发一次,毁灭性的特大规模泥石流约 50 年暴发一次,平均每年堆积在沟口的泥砂 $17.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。黑沙河泥石流治理的原则是:上游调节洪水,控制中游泥石流发生;中游拦截泥沙和稳定主支沟道以减少固体物质来源,控制泥石流的形成和规模;下游将山洪泥石流排入安宁河,保证农田、村寨、公路、铁路的安全;成昆铁路和川滇公路(108 国道)从堆积扇的中部通过[14] (图 5)。

3.3. 公路绕避泥石流线路方案

对于泥石流分布集中、规模较大、发生频繁和危害严重的山区地段,通过经济技术条件比选,可以

采取绕避的线路方案。具体有以下五种绕避泥石流线路方案：有时还可利用泥石流地区的特殊地形来绕避不良地质和水文危害，使选线更加合理。

(1) 跨流域绕避方案，重现选择山区公路穿越走廊带，翻越泥石流区分水岭，以避开泥石流频发且危害严重流域；

(2) 跨主河绕避方案，公路在遇到规模大、危害性重的泥石流沟或泥石流群时，大多不能确保正常安全通车，因而公路在选定线时应尽量绕避典型泥石流沟或泥石流沟群。在无法绕避时，应按避重就轻的原则，对于规模大、危害性严重且治理困难的泥石流沟，通过经济和技术的比较，在有条件的情况下，选在危害较轻的一岸或在两岸间迂回穿插；同时，要防止对岸的泥石流堆积扇挤压主河而冲刷本岸的路基、桥梁和隧道；路基桥梁应设在稳定的地层上，傍山隧道外侧应有足够的稳定厚度。

(3) 跨泥石流沟绕避方案，在山区线路跨越大型泥石流沟时，须在堆积物上修建路基和桥墩，当公路易受巨石撞击破坏或堆积物受水浸泡而路基软化沉陷时，或线路通过大型稀性泥石流，外侧紧邻大河，跨越不适宜时，或当线路通过泥石流群，难以满足每一条泥石流沟的特定要求，防治工程规模大且投资多时，常需考虑过河绕避或在泥石流沟底部穿过的绕避方案。

(4) 线路通过典型泥石流，其堆积扇高出前后地形很多，跨越有困难，又不利于选在扇缘或冲沟跨越时，常需考虑在堆积扇底部穿过的绕避方案。

(5) 避开泥石流灾害危险区，根据地形地貌特征以及泥石流运动堆积特性，可选择避开泥石流运动的主要危害区域，将公路选在不受泥石流冲击、冲刷、漫溢、淤埋等危险区以外并留够安全距离；除此以外，还应避开山坡和沟岸崩滑体可能引起的塌陷、滚石等次生灾害，以及沿堆积扇边缘产生的主河冲刷

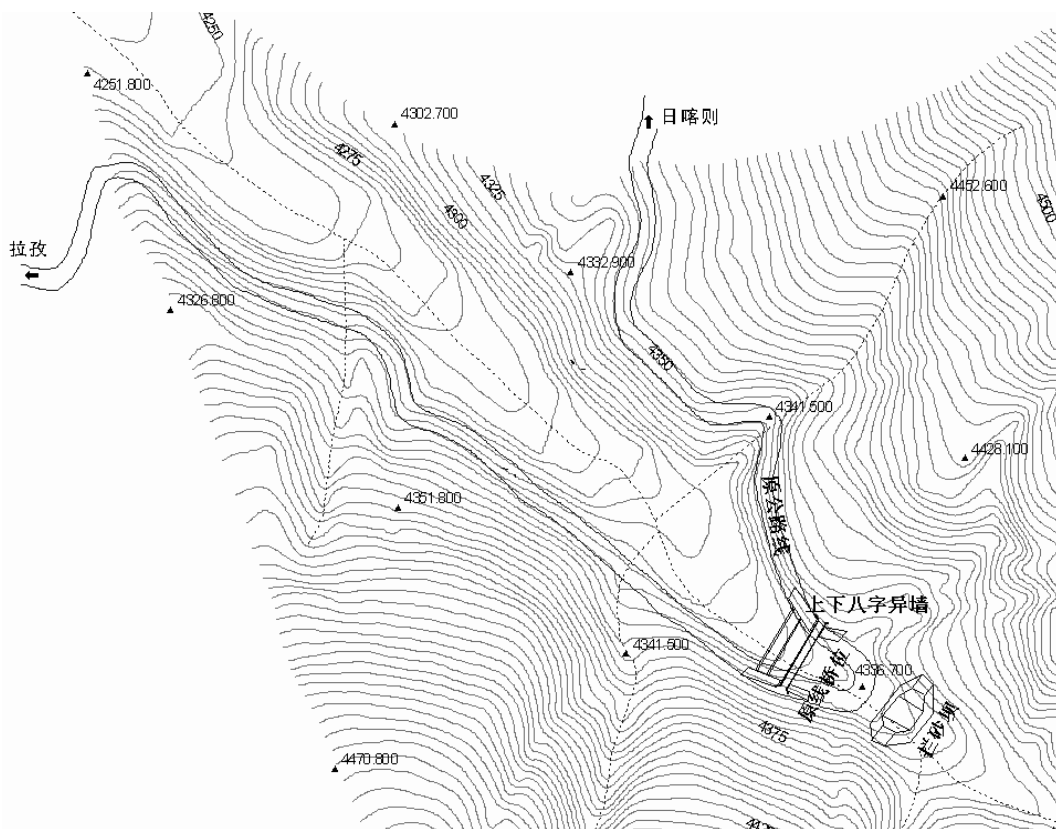


Figure 4. Sketch of road selection and location in Karakoram highway (K1609)

图 4. 中巴公路 K1609 处泥石流选定线示意图

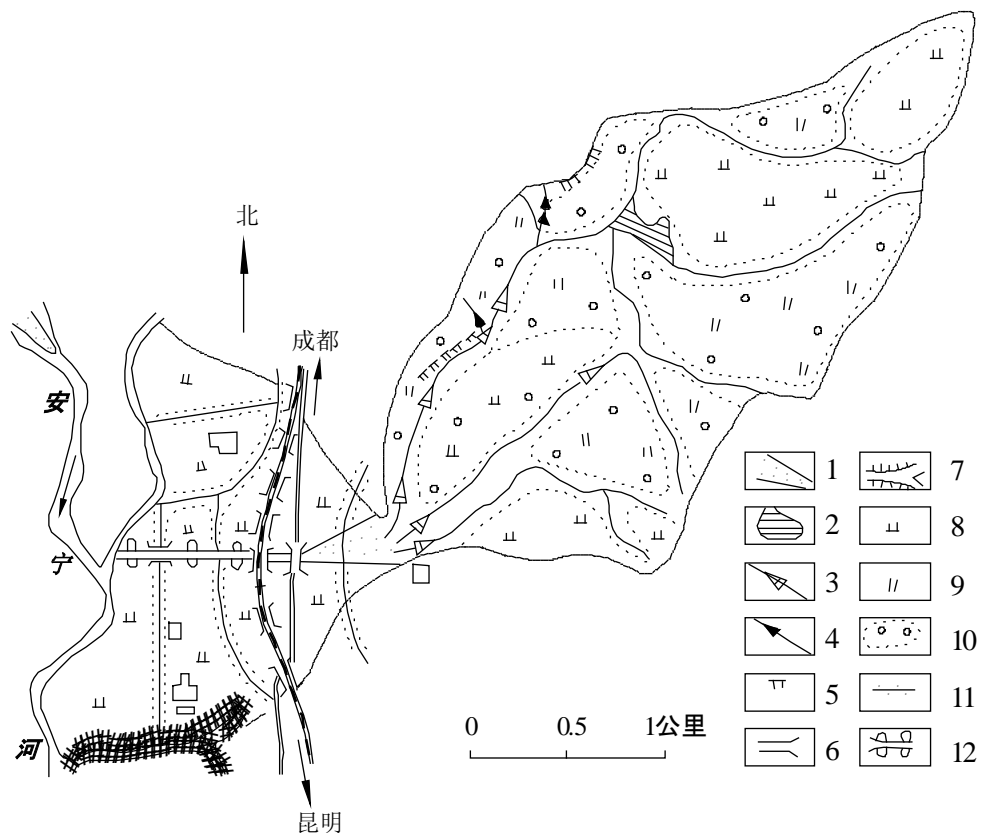


Figure 5. Sketch of road selection and prevention scheme across Heisha River in Xichang
图 5. 四川西昌黑沙河泥石流选线和防治工程示意图

和漫淹等间接灾害。

3.4. 公路跨越其他特殊地段线路方案

(1) 公路跨越小型泥石流堆积扇群选定线分析

坡面型泥石流或小型沟谷型泥石流常常密集成群分布，每条泥石流沟的规模较小，堆积扇不大，但连接在一起时常对公路形成大范围的危害。由于各泥石流沟形成条件、性质、类型和发育阶段大致相同，公路选定线时常把一个扇群作为一个大型灾害点来处理。泥石流扇群具有其独特的特点：① 各条泥石流发育的规模和频度不完全相同，在平面上，各扇的顶部随山坡而凹凸分布，扇缘顺山麓而参差不齐；在剖面上，各扇随淤积厚度和地形高低起伏而起伏不平。② 各条泥石流自成体系而又相互交叉，它们以各自的扇轴为中心左右摆动，两翼相邻的洼地可能成为共同的停淤场或排洪沟。

因此，公路选定线时应力求避开泥石流集中分布地段，在区域(段)选线的规划比较方案中，应将绕避所需增加的线路长度和跨主河架桥增加的费用，纳入方案的工程概算进行经济、技术综合比较，以判断不同方案的优劣。对于无法避开扇群时，则应根据扇群的分布特点，制定因地制宜、因势利导的跨越方案[15]。① 扇群各沟口或扇缘的平面位置较平顺，扇面地势高差不大，线路应力争大致切割扇缘或沟口定线，使跨扇群的线路各段抗灾能力基本一致；② 扇群各沟口或扇缘的平面位置凹凸不顺，扇面地势高差较大者，由于曲线半径及限制坡度的制约，线路不能切各沟口或扇缘而转折，也不能随高程悬殊的扇面而起伏，扇缘最突出，扇面地势最高及沟口凸处的位置成为控制点。

公路选线时应从整体考虑，从个体着手，主要有以下三种可能的通过方式[16]：① 线路外移，切最

凸出的扇缘定线,此方案在扇较大的典型泥石流或小扇群处可行,但受主河影响较大;② 线路提坡,以地势最高的堆积扇为控制点,采用桥梁跨越,但工程量较大;③ 采用隧洞或明洞底部穿过。

西昌(黄联关)至攀枝花高速公路乐跃车站段,原拟定三个方案,分别为D、E、E1线路,D、E线分别跨越对岸的扇腰和扇缘,从选线原则来说这个方案是成立的,但走对岸绕避泥石流群,建桥跨越,则线路绕长很多,引线桥梁和路基工程量大,经济不合理;而且对岸的乐跃沟流域面积较大,爆发频繁,危害严重,建桥跨越需考虑堆积扇的淤积速率和桥下净空。E1线路跨越了5条坡面泥石流沟组成的扇群,各条扇的堆积扇相连大致形成平顺的阶地,为此E1线大致切各扇缘通过,采用连续高架桥形式跨越,由于沿线铁路从该沟公路E1线的上方通过,铁路的泥石流工程防护可减轻泥石流对其下方公路的危害,因此从整段路线经济合理性来看,E1线最为合理,综合效果较好(图6)。

(2) 公路跨越山区变迁型河段河滩选定线分析

对于规模大的泥石流,由于其危害严重、冲淤变化大,线路通过可以采取明洞方案。如在一些地区,支沟泥石流输送物质量大,但是主河的输送能力较小,不能将支沟输入的物质及时向下游输送,导致支沟泥石流堆积扇淤积和扇面抬升,这类情况采取明洞方案较为适合。

山区河流两岸泥石流汇集的河段具有其独特的特征:在一段河谷内,河床在纵向和横向产生持续的或短暂的、迅速的或缓慢的变迁,这种变迁的原因是受两岸泥石流发育的影响,同时它的变迁又影响两岸泥石流发育。两者的相互作用常给公路等造成大规模、大范围的危害。根据山区河流两岸泥石流汇集的河段的独特特征,山区泥石流汇集河段可分为两种类型:山区型和山区变迁型。

① 跨越山区型河段的公路选定线

山区型河段,由于主河水深流急,输沙能力很强,虽两岸分布众多泥石流且常造成短暂的河道堵塞,但其未改变山区河流的特性,纵向稳定,横向变迁微弱,仅在少数巨型泥石流汇入处,洪水被堆积扇挤压,并持续向对岸变迁,冲刷对岸山体,威胁公路的安全。

② 跨越山区变迁型河段的公路选定线

山区变迁型河段在若干年前是典型的山区河流,后来由于两岸泥石流发育,每年向河床补给沙多水小,河流上游来水量不大,洪水无法将全部泥石流固体物质输移走,河床逐渐淤高,形成现在的山区变迁型河段的特殊河相:河床宽、主槽窄,流量小、洪水浅、河床质粗、沉积层厚。

沿山区变迁型河段的选线,常考虑利用泥石流固体物质形成的宽阔河滩布设路基和桥梁等,以降低工程造价。但要注意两个要点:一是应根据河滩上涨速度确定线路标高与桥下净空,保证在设计年限内不被淹没,并考虑今后加高线路的可能性;二是根据主流横向变迁规律确定压缩河床的幅度,保证公

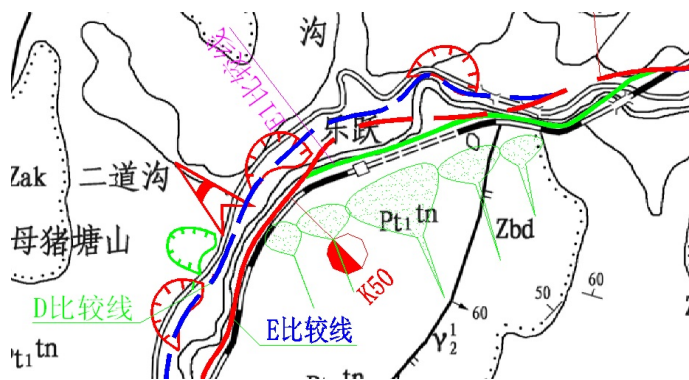


Figure 6. Sketch of road selection across debris flow fans along Xichang-Panzhuhua highway

图6. 西攀高速公路跨越泥石流扇群的选线示意图

路建筑物不被冲毁。

4. 结论

随着国家“一带一路”战略和西部大开发实施，西部山区公路建设将得到突破性迅猛发展，然而，西部地区自然条件复杂，地质灾害种类多且分布广，特别是随着近年来全球变暖和极端气候事件频现，山区降雨和冰雪融水形成山洪泥石流灾害频发，严重威胁山区公路建设和正常运行，制约区域间互联互通和可持续发展。

综上所述，在穿越泥石流地区的公路选线时，要强调综合选定线原则，除充分考虑泥石流对公路工程的危害，以及经济技术可行性，还应从长远的角度和可持续发展的角度出发，在安全通过泥石流地区的基础之上，结合环境保护因素，重视公路建设与环境保护的协调发展，使公路建设与周围环境和諧一致，不仅可以达到减轻沿线泥石流灾害威胁、保护环境和美化行车条件的目的，还可以使人为工程与周围自然环境融为一体。

基金项目

国家自然科学基金(41602331); 中国沙漠气象科学研究基金(Sqj2015015); 中国博士后基金(2016 M602951XB); 新疆交通厅科技项目(2015-2017)。

参考文献 (References)

- [1] 陈洪凯, 唐红梅, 马永泰, 等. 公路泥石流研究及治理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004: 140-200.
- [2] 崔鹏, 林勇明, 蒋忠信. 山区道路泥石流滑坡活动特征与分布规律[J]. 公路, 2007, 6: 77-82.
- [3] 邹强, 崔鹏, 杨伟. G318 川藏公路段泥石流危险性评价[J]. 山地学报, 2013, 32(3): 342-348.
- [4] 马东涛, 崔鹏, 祁龙, 等. 西部地区交通建设中的泥石流灾害与防治对策[J]. 工程地质学报, 2003, 11(2): 181-185.
- [5] 梁光模. 川藏公路南线(西藏境内)泥石流灾害及防治对策[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2007.
- [6] 陈宁生, 崔鹏, 姚令侃, 何杰, 李战鲁. 山区道路泥石流工程防治原则与模式[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2009, 20(1): 1-5.
- [7] 陈宁生, 崔鹏, 陈瑞, 等. 中尼公路泥石流的分布规律与基本特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(1): 44-48.
- [8] 陈光曦, 王继康. 泥石流防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983: 30-48.
- [9] 陈光曦. 泥石流的整体观和铁路泥石流防治的整体性[J]. 水土保持通报, 1985(1): 5-8.
- [10] 甘肃省交通科学研究所. 冰川冻土研究所. 泥石流地区公路工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1981: 25-40.
- [11] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 西藏自治区交通科学研究所. 川藏公路典型山地灾害研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1999: 25-30.
- [12] 中国科学院成都山地灾害与环境研究所. 泥石流研究与防治[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989: 12-62.
- [13] 陈瑞, 陈宁生, 周麟, 等. 中尼公路国境内(曲水大桥—友谊桥段)整治改建工程“工可”阶段代表性泥石流沟勘察报告[A]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 2001.
- [14] 吴积善, 李德基, 等. 四川西昌黑沙河泥石流综合治理报告[A]. 成都: 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 1980.
- [15] 林辉. 泥石流地区的铁路选线[J]. 铁道工程学报, 1992(9): 129-135.
- [16] 甘肃省交通科学研究所. 泥石流地区公路工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1981: 58-60.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org