

文章编号: 0451-0712(2007)02-0038-05

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

# 天山公路地质灾害防治及应用研究

陈野鹰, 石晋旭, 唐红梅, 陈洪凯

(重庆交通大学岩土工程研究所 重庆市 400074)

**摘 要:** 泥石流是天山公路最主要的地质灾害,也是迄今尚未解决的公路病害。基于天山公路泥石流爆发诱因、物源组成、岩性特征、运动规律,遵循高寒地区公路泥石流防治的特殊性,所开发的导流墙网、排导棚架结构、桩板泄流槽、导流弧形挡土墙技术,是该类公路泥石流极其有效的防治技术。根据这些单体技术结合已有公路泥石流的防治技术,构建了包括导流墙网+排导棚架、桩板泄流槽+底埋隧道及导流弧形挡土墙等结构在内的泥石流综合防治体系,有效地解决了天山公路泥石流病害的防治问题,研究结果已用于天山公路泥石流防治方案设计,也为同类型公路泥石流治理提供了重要的技术借鉴。

**关键词:** 公路泥石流; 高寒地区; 综合治理技术

泥石流是天山公路主要的地质灾害,集中分布在国道 G217 线独(山子)库(车)段 80 余 km 的北天山路段<sup>[1]</sup>。受梵风效应的影响,致使喇叭顶段的山坡基本裸露、岩层裂隙发育、破碎严重,随冰川消融后沉积的古冰碛物和寒冻风化物等松散物质是天山泥石流的主要物源<sup>[2~4]</sup>,分布在冰舌前端和流通区两岸的边坡上,没有典型的漏斗型泥石流物源区。泥石流在运动过程中要流经以峡口为界、地形特征差异较大的两个地貌带,即出峡口前的山谷地貌带与出峡口后的陡坡地貌带。当泥石流在山谷里流动时受到沟谷的制约,流路稳定,不易产生沟槽变动;当泥石流冲出峡口后,泥石流体的位置势能迅速降低,使泥石流体携带的动能剧增,流过陡峭的山坡冲向坡脚的道路设施。

由于天山公路泥石流沟谷边坡陡峭,沟槽狭窄,沟槽中能够储存的泥石流体数量非常有限,因而不适宜建造类似于拦渣坝这样的泥石流防治结构。因此,防治工程的重点就集中到了对流出峡口后的泥石流体的控制。泥石流病害防治技术研究成果表明,沟谷型泥石流采用排导结构+底埋隧道的综合防治措施是行之有效的<sup>[5,6]</sup>。但是,对于像天山公路 K630 附近处这样的特大型沟谷泥石流,根据现场泥石流模型试验和对泥石流体土样检测,发现泥石流主要是由粘土、砾质土、碎石等物质组成,遇水饱和后,物

理力学参数劣化显著,当泥石流体在冲沟内流动时,泥石流非常容易冲破沟槽土埂,改变其流路,避开防治结构而直接冲击坡脚道路设施,破坏公路建筑物。本文基于泥石流物源组成、岩性特征和运动规律,开创了导流墙网+钢筋混凝土柱梁板棚架的坡面泥石流防治措施、导流桩板泄流槽+底埋隧道的沟谷泥石流防治措施和弧形导流挡墙的泥石流防治措施等泥石流综合防治技术,有效解决了天山公路泥石流病害的防治,研究结果对治理高寒地区泥石流病害具有指导作用。

## 1 天山泥石流形成机理

北天山在地质上属于依连哈比尔乐复向斜,岩层倾角高达 60°,地质构造复杂,褶皱断裂发育,新构造运动强烈,地震频繁且烈度大。其地表岩层破碎,寒冻风化严重,沟谷两岸松散碎石堆积物丰富,为泥石流的形成提供了物源条件。由于融雪和降雨渗入地下,松散堆积体受水长期浸泡达到饱和,强度参数急剧劣化,整体稳定性降低极易形成泥石流;再借助特殊的地貌条件和重力作用,在坡面上产生蠕滑移动,逐渐汇集到沟谷内,并带动沟谷中的松散物质流动,在流动过程中也不断汇集沟谷内的泥石流物源,集聚能量,最后形成能量巨大、破坏力极强的沟谷型泥石流<sup>[7,8]</sup>。冰川沟谷泥石流的一个非常典型特征是

泥石流的物源区与流通区没有明显的界限,泥石流物源分布于整个带状沟槽两侧的岸坡上。只有当泥石流流出峡口、在坡面上流动的沟槽,才是单一的流通区,在这一区域的流动过程中,泥石流除冲刷沟槽增加少量的岩土体外,没有大量物源汇入沟槽。

## 2 天山公路病害特征

天山公路北段是泥石流集中发育路段,受地质构造与地形条件的限制,公路主要是盘山而建或沿河谷行走,当夏季大量冰川消融或天降暴雨时,在裸露的陡坡上雨水或雪水很快渗入松散风化碎石土中,弱化碎石土的物理力学参数,使陡坡上的碎石土稳定性变差,逐渐沿坡向下蠕动、移滑,进而带动松散碎石或浮游块石一起流动形成坡面泥石流冲向公路,毁坏道路挡墙结构,淤埋公路路面,阻断交通运输。沟谷型泥石流对道路的危害,则集中在泥石流冲出峡口后沿山坡流动阶段。由于山坡陡峭,坡率通常在50%~70%之间,且受梵风效应作用,地表裸露,随着泥石流在流动过程中位置势能的急剧减小使动能猛增,有利的地形使气势汹涌的泥石流能够直接冲击坡脚公路,冲毁道路路基、掩埋路面、堵塞涵洞和毁坏桥梁。不仅如此,泥石流挟带的水分渗入主要由蒙脱石组成的坡面松散堆积物后,岩屑很快被软化,堆积物能从坚硬的固体快速变为宾汉体,作为物源补给泥石流,增大泥石流的产出量和破坏作用。同时,当泥石流龙头的运动受到阻碍时,会改变流向,冲撞沟槽,容易冲破沟槽土埂改道流动,形成宽阔的泥石流沉积扇,造成更大范围的道路被淤埋。若道路沿河谷行走,由于存在山高、坡陡、河窄的地形特点,即便泥石流爆发在河对岸,也会借助强大的运动惯性,跨越河流冲毁道路、掩埋路面、堵塞涵洞。天山公路由于泥石流灾害,每年要阻断交通达30余天,严重影响了天山地区的社会稳定、经济发展和国防安全。

## 3 天山公路病害防治技术

公路泥石流防治的根本在于泥石流爆发期间能够利用建造的防治结构物,诱导泥石流按照预定的路径快速、顺利地穿(跨)越道路、桥梁,保护道路设施免遭泥石流破坏,确保公路运输安全有序地开展。为了保证泥石流能够顺利地从排导结构上流过,防止泥石流淤积堵塞排导槽,使得后续泥石流冲出排导槽后,直接冲向坡脚、破坏道路建筑物,泥石流在排导槽内运动时,它的位置势能的改变量必须大于

相应时段内泥石流在运动过程中的能量损失与动能增量之和,即:

$$g\Delta H > \frac{1}{2}(v_t^2 - v_0^2) + q_f \quad (1)$$

式中: $g$ 为重力加速度; $v_0$ 为 $t_0$ 时刻泥石流运动速度; $v_t$ 为 $t$ 时刻泥石流运动速度; $\Delta H$ 为讨论时刻内泥石流位置改变量的绝对值; $q_f$ 为 $t_0$ 时刻至 $t$ 时刻单位质量泥石流的能量损失。

根据天山泥石流形成的特殊性、运动规律以及险恶的地形地貌条件,泥石流防治应坚持导、排、避相结合的原则,合理采用泥石流导流墙网、快速排泄泥石流体的速流结构、泥石流排泄棚架与底埋隧道等措施进行综合防治。

### 3.1 泥石流导流墙网+排泄棚架防治技术

由寒冻风化与冰碛物堆积的松散碎石形成的坡型泥石流,特点是宽度大、纵深浅,泥石流的物源区、流通区和道路同在一个坡面上,边坡堆积物松散,稳定性差,当环境条件发生变化时松散碎石容易产生滑移,流向坡脚,堵塞道路,影响交通。而且,坡型泥石流宽度可及数十米乃至数百米,简单的排导结构已无法控制爆发的泥石流顺利跨越道路,无法保证公路运输安全有序开展。针对天山公路坡面泥石流流动范围宽、爆发频繁等特点,首先应在泥石流的主流路径范围的道路上设置柱梁板棚架(图1)。当泥石流爆发时,大量的松散碎石能够通过棚架顶面被排泄到公路外侧的悬崖下或沟谷里,再由汛期的洪水将其带走。其次在相对较平缓、泥石流流量较小的坡面两侧设置导流墙网(图2),借助导流墙网的导向作用,将坡面两侧少量的泥石流导向中间主流路径上,然后通过棚架安全跨越道路。除此之外,在泥石流坡脚的棚架两端,沿公路还应设置一道拦渣网,拦截细小漂石流向道路,防止飞石伤及路人或车辆。

### 3.2 泥石流排导槽+底埋隧道防治技术

沟谷型泥石流通常具有比较固定的流路,存在明显的物源区、流通区和沉积区。然而天山公路沟谷型泥石流则不具备这种特征,泥石流的物源区与流通区没有明显界线,沉积区中又夹带着部分流通区。以峡口为界,往上至冰舌前缘的较长范围内的沟谷狭窄,坡率为10%~15%,受寒冻风化影响的沟岸上大量堆积第四纪松散碎石,当冰川消融或降雨渗入地下时,松散碎石岩屑就开始不断向下滑移,流入沟谷,补给泥石流流体。但流出峡口后,流通区地形突变,坡面陡峭,坡率猛升至50%~70%,又失去了沟谷对

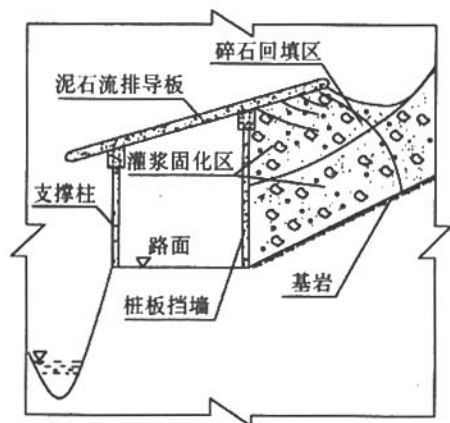


图 1 泥石流棚架示意

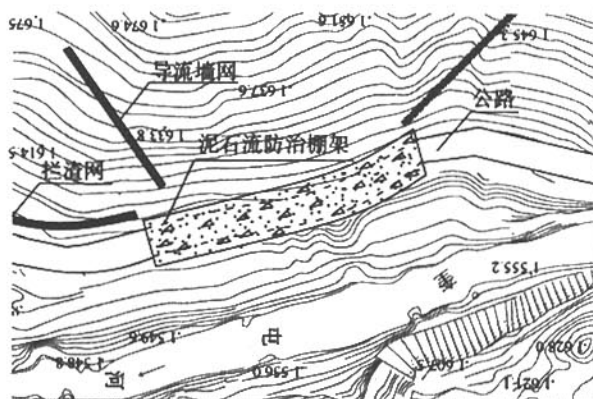


图 2 泥石流导流墙网示意

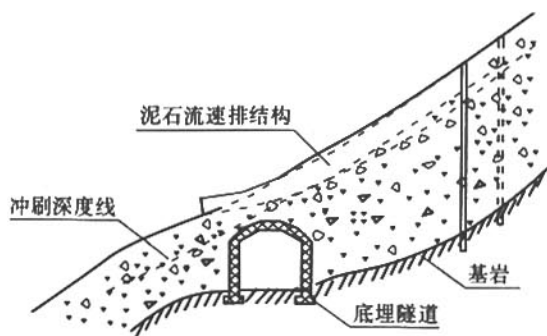


图 3 底埋隧道示意

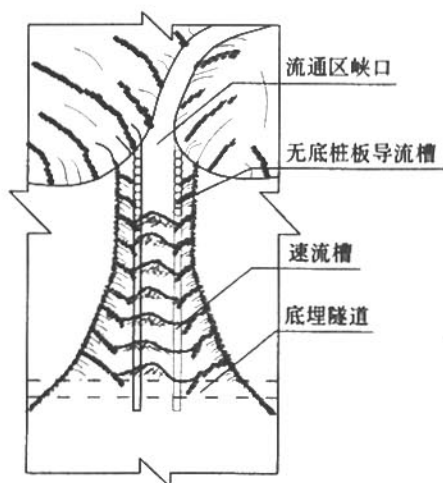


图 4 无底桩板导流槽示意

泥石流流动路径的约束,流通沟槽容易发生改道。相比于坡面泥石流,沟谷型泥石流爆发时会形成能量集中、破坏力强、规模庞大的泥石流龙头。不仅如此,泥石流的产出量也非常巨大,可达数百万立方米甚至上千万立方米。对于这种规模大、破坏力强的沟谷泥石流,应当在泥石流沉积深度较大、沉积物比较稳定的位置修建底埋隧道(图3)。为了控制泥石流体的运动路径、限制沉积宽度,还应在坡顶泥石流容易改变流通过径的区段设置钢筋混凝土桩板无底导流槽,在沉积区下游接近底埋隧道的区段设置泥石流排导结构,以此来约束冲出峡口后的泥石流运动,使其按照设定的路径流动(图4),确保道路运输安全。

### 3.3 泥石流弧形导流挡墙防治技术

天山地形的根本特点是山高、坡陡、谷深、河窄,沿坡脚河边展开的公路建筑物,常常受到河流对岸沟谷泥石流的危害而阻断公路交通。这种泥石流发源于河流对岸的山谷内,流域面积较小、通常在 $1.0\sim 2.0\text{ km}^2$ ,流通区陡斜,沟谷狭窄,泥石流流动耗时短、流速快、冲击能力极强,泥石流出口进入

沉积区后,位置势能急剧减小而动能则猛增,借助巨大的惯性作用,泥石流能够通过沉积区跨越河流危害对岸公路设施。为防治泥石流跨越河流危及道路或桥梁结构,可在岸边泥石流沉积区的进口部位设置弧形导流重力挡土墙,用此建筑物改变泥石流前进方向,阻断泥石流跨河冲击公路(图5)。

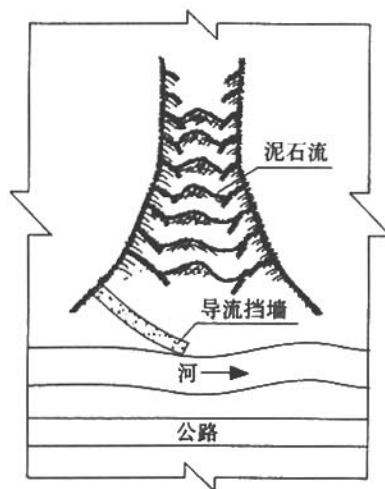


图 5 导流挡墙示意

4 工程应用

4.1 K616 坡面公路泥石流防治措施

位于 G217 线的天山公路 K616 处的坡面泥石流,每年暴雨或冰雪融化季节都要爆发泥石流,危及道路设施,影响交通运输。为了维持道路畅通,交通管理部门需要花费大量人力物力清除障碍,同时也采取了修建公路挡土墙等防治措施。但由于泥石流爆发频繁、规模巨大,泥石流不仅翻越挡墙流向公路,而且还冲毁挡墙,直接冲向公路影响交通(图6)。为了彻底根治公路泥石流病害,针对K616 公路坡面泥石流的特点,采用了导流墙网+棚架的泥石流防治方案(图7)。根据理论计算研究分析结果显示,这种综合防治措施能够有效地避免泥石流的危害,确保公路运输的畅通与安全。



图6 天山公路 K616 坡面泥石流

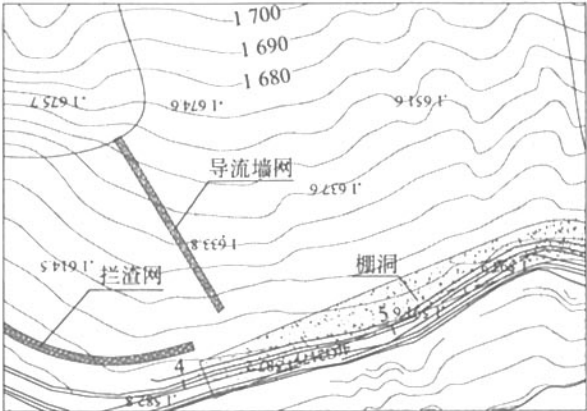


图7 坡面泥石流防治方案

4.2 K630 沟谷型公路泥石流防治措施

K630 沟谷泥石流冲出峡口后,泥石流在多年风化松散堆积物形成的陡沟中间穿过(图8)。接近峡口的沟槽土埂是由泥石流体形成,稳定性非常差,受泥石流的冲击作用后容易发生改道,泥石流通过新路径冲击公路;在堆积扇的下缘,泥石流淤埋了长约

300 m 左右的公路,最大埋深高达 30 余 m。因而,对于如此规模与运动特点的沟谷泥石流,需要采用桩板导流槽控制泥石流路径、速排结构快速引导泥石流通过危及公路区和可让道路安全穿越泥石流沉积扇的底埋隧道等综合防治措施。为了避免泥石流两侧松散堆积物下滑滚到公路上,影响交通,底埋隧道外的一定范围内还应设置拦渣重力挡墙。



图8 天山公路 K630 沟谷泥石流

5 结语

- (1)泥石流是天山公路主要的地质灾害,也是长期以来困扰交通安全运输的难题。
- (2)梵风效应的气象条件、寒冻风化松散碎石土与古冰碛物、高强度的降雨或持续高温的综合作用,是产生泥石流的根本原因。
- (3)导流墙网+排导棚架结构是坡型公路泥石流的有效防治技术。
- (4)对于沉积区宽、坡面沟槽容易改道的泥石流,采用桩板泄流槽能够有效地控制泥石流的运动路径,防止危害道路设施。
- (5)受对岸泥石流病害威胁的谷底沿河公路,可以采用弧形导流挡土墙改变泥石流的流动方向,消除泥石流对公路的危害,保障交通运输安全。

参考文献:

[1] 唐红梅,陈洪凯,李亚训,等. 新疆天山公路泥石流形成环境研究[J]. 公路,2004,(6).

[2] 杨坤,马东涛,崔鹏. 新疆公路(新疆境内)沿线道路病害[J]. 山地学报,2002,2(1).

[3] 邓养鑫. 天山独(山子)一库(车)公路北段泥石流研究[J]. 干旱区地理,1994,17(1).

[4] 熊黑钢,刘耕年,崔之久,等. 天山泥石流灾害的形成条件和过程特点[J]. 地理科学,1997,17(3).



- [5] 陈洪凯,唐红梅. 速流结构防治泥石流的理论及应用[J]. 中国地质灾害与防治学报,2004,(3).
- [6] 唐红梅,陈洪凯. 公路特大型泥石流治理综合模式及应用[J]. 重庆交通学院学报,2005,12.
- [7] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京:科学出版社,1983.
- [8] 陈洪凯,等. 公路泥石流研究及治理[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

## Research on Pervention and Application of Geological Disaster in Tianshan Highway

CHEN Ye-ying, SHI Jin-xu, TANG Hong-mei, CHEN Hong-kai

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** Debris flow is not only uppermost geological disaster in Tianshan highway, but also unfathomed up to now. On the basis of occasion of debris flow, substance composes of fountainhead, lithology character, athletics rule, and followed prevention particularity of debris flow in high-cold area, exploder lead flow wall-net, evacuate shelf structure, peg-board evacuate launder and camber lead-flow block wall are the most effective prevention technics on highway debris flow. Hereby, integrated prevention technics are established such as lead flow wall-net combined with evacuation shelf, peg-board evacuation launder combined with tunnel burying underground, and camber lead-flow block wall, which effectively solve prevention problems on Tianshan highway disaster. The results are used to prevention project design of Tianshan highway debris flow, and provide the important technical reference on same type highway debris flow.

**Key words:** debris flow in highway; high-cold area; integrative prevention technique

### 投 稿 须 知

《公路》月刊于1956年创刊,由中华人民共和国交通部主管,是中国公路行业出版最早的中央级技术类科学技术期刊,是公路运输类中文核心期刊,是交通部和全国优秀科技期刊。

1. 本刊刊登的内容以实用科学、实用技术为主,兼顾理论研究、科学实验与标准规范,还包括方针、政策、管理等内容,对技术水平领先、有创造性、适用推广价值较高的文章优先刊登。

2. 投寄本刊的稿件,可以是原稿,也可以是打印稿或E-mail文稿(作者必须与原稿核对无误),具体格式请参照本刊近期出版的《公路》杂志。稿件请作、译者自留备份,本刊概不退稿。若文章被采用,本刊即行寄样刊和稿酬,不再另发“用稿通知”。

3. 文稿应有“摘要”和“关键词”。“摘要”为全文的浓缩,以提供文章内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地记述文章重要内容。“关键词”为“摘要”的浓缩,可选3~8个。

4. 文章中科技术语和名词,请用规定的通用词语。文章内容应符合国家标准和各种行业标准要求,应使用法定计量单位。公式、图表应清晰准确,符合国家标准要求。各级标题应明确、清晰。

5. 文章中摘编、引用他人作品,请遵守《著作权法》规定在参考文献中写出。

6. 文章著作权,除《著作权法》另有规定外,属于作者。署名作者的人数和顺序由作者自定。

7. 文章题目、摘要及关键词、作者的姓名和工作单位名称,要求作者翻译成英文。

8. 来稿请注明作者的真实姓名、作者本人的详细信息、工作单位和详细地址、电话。作者本人的详细信息,包括:学历、简历、身份证号码。请作、译者注意:来稿作者信息不详者,稿件一律不采用。

9. 所有来稿文责自负。

10. 投稿方式:

您可直接将稿件寄给本刊,地址见本刊“目次”页;您还可通过E-mail:paper@chn-highway.com投稿。通过E-mail投稿的作者请注意留下详细联系地址及电话,否则本刊不接受投稿。