

The Type Characteristics and Cause Analysis of Group Occurring Washout Disaster along G314 Road in 2015

Xueli Wei^{1*}, Wei Li^{1,2}, Bin Li¹

¹Academy of Transportation Planning Surveying and Design in Xinjiang, Urumqi Xinjiang

²Xinjiang University, Urumqi Xinjiang

Email: *weixl8115@126.com

Received: May 7th, 2017; accepted: May 23rd, 2017; published: May 26th, 2017

Abstract

Massive waste washout disasters occurred in the Aobu section of highway G314 in Xinjiang, which led to severe traffic jam and serious road damage during 30th July to 8th August in 2015. The types of washout disasters includes the subgrade water logging, buried damage from debris flow and destruction of the bridge, retaining wall and protection engineering, etc., accompanied with the features of various types, group-occurring, large scale, and strong destructive power, and so on. The glacier melt-water with continuous high temperature and the local heavy rainfall with short duration together promote the occurrence of floods and debris flows along the Gaizi River and its tributaries. More important, due to unreasonable designing and inappropriate construction of the highway, the washout disasters along the highway have happened and caused heavy damage. The research results can provide reference for highway design maintenance and management, and provide the guidance for highway washout prevention.

Keywords

Highway G314, Waste-Watering of Highway, Flood and Debris Flow, Cause Analysis

2015年公路G314群发性水毁灾害类型特征及成因分析

魏学利^{1*}, 李伟^{1,2}, 李宾¹

¹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

²新疆大学, 新疆 乌鲁木齐

*通讯作者。

摘要

2015年7月30日至8月8日, 新疆G314奥布段发生群发性水毁灾害, 致使公路多处阻断且严重毁损。公路水毁灾害具有类型多、群发性、规模大、破坏力强等特点, 主要类型包括路基冲毁破坏、泥石流掩埋破坏、挡墙冲毁破坏、桥涵冲毁破坏、防护工程损坏等。持续高温下冰川融水和局地短历时强降雨径流的叠加, 促使盖孜河及支流暴发群发性洪水泥石流, 公路设计欠合理和施工不恰当导致公路发生水毁灾害。研究成果可为公路设计养护和管理部门提供参考, 为公路水毁防治提供指导。

关键词

公路G314, 公路水毁, 洪水泥石流, 成因分析

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

奥依塔克镇 - 布伦口段(简称奥布段)为公路 G314 洪水泥石流灾害最严重路段, 常常造成公路水毁灾害。奥布段路线沿盖孜河布设, 线路总长度约为 70 km 左右(图 1), 路线起终点高程介于 1750 ~ 3350 m (桩号 K1548 + 600 ~ K1618 + 684.4), 公路沿线分布有著名的海拔为 7649 m 的公格尔山, 终年积雪, 现代冰川广泛发育, 公路两侧山谷沟道侵蚀切割作用强烈, 比降较大, 又加上固体物质来源丰富, 水热条件变化复杂, 局地性降雨强度大, 以洪水泥石流等为主的不良地质现象活动极其频繁。另外, 由于特殊地形地貌条件, 路线多依山傍(盖孜)河而行, 公路难以避让绕行, 又加上短历时突发性强降雨作用, 很难预知



Figure 1. The road map of the Aoyitake-Bulunkou section along Sino-Pakistan highway

图 1. 中巴公路奥依塔格-布伦口段路线走向图

其发生的准确时间和具体位置,至此洪水泥石流对道路产生极为严重的冲毁灾害,不仅阻断交通造成重大损失,还对行车安全造成严重威胁,甚至导致车毁人亡的惨剧。

2015年7月30日至8月8日,G314公路奥布段沿线发生局地强降雨,加之高海拔山区冰雪消融加剧,降雨和融水的时空耦合引发了盖孜河及两侧支沟发生洪水、泥石流、滑坡等重大水毁灾害,造成公路中断,严重阻碍中巴公路的安全建设和正常运行。公路是一种长线型跨越式结构,其作用范围广大,所穿越地区的地质条件复杂多样,常会出现“某段受损,全线阻塞”的情况[1]。公路水毁是指在气候、水文和地质环境因素以及人类活动的综合作用下,公路沿线所发生的一系列对公路工程的破坏现象和破坏过程,雨水是整个事件发生的直接因素[2][3][4][5]。公路水毁及洪水引发的地质灾害是公路最大的自然灾害,现已成为最主要的公路地质灾害表现形式[6],其灾害现象一直是地质灾害领域里的研究热点,相关人员也取得了大量的研究成果[7]-[13],然而不同区域水毁灾害类型特点及影响因素差别较大,当前针对G314公路沿线群发性水毁灾害研究较少,本文在对2015年公路群发性水毁事件调查基础上,重点分析了公路水毁类型特征及主要影响因素,为公路水毁防治提供了参考和指导。

2. 水毁类型及特点

山区公路由于地形起伏较大,地质和气候条件复杂,填挖方数量较大,桥涵密布,排水系统不完善和易发生水毁等不利于交通安全的特点,公路水毁是危害公路使用寿命和安全的主要灾害。公路水毁灾害类型及特点的研究,是进行致灾机理及成灾过程研究的起点。通过对2015年公路群发性水毁灾害详细调查发现,公路水毁灾害具有类型多、群发性、规模大、破坏力强等特点,主要类型包括路基冲毁破坏、泥石流掩埋破坏、挡墙冲毁破坏、桥涵冲毁破坏、防护工程损坏等。

2.1. 路基冲毁破坏

路基冲毁破坏是指路基经过河流冲刷而发生整体或局部破坏,是比较严重的水毁病害,严重损坏了路面通车功能。G314公路奥布段路线依山傍盖孜河而设,由于高山峡谷地形限制,路基常常侵占盖孜河并沿河道布设,而山区河流变迁复杂,水流冲击能量大,又加上半填半挖或高填方路基地质条件差,坡度较陡,在水流长期浸泡或冲刷淘蚀下,极易发生路基冲毁破坏。公路沿线共出现路基水毁灾害6处,影响公路长度约820m,破坏形式有三种:一是由于洪水暴发导致路基被直接冲毁;二是洪水冲毁防护工程后导致路基塌陷、开裂;三是泥石流直接冲毁路基。

如G314公路K1609+700~K1610+100段位于泥石流堆积扇的边缘,公路设置过水混凝土路面,在山洪泥石流冲刷下,公路下边坡及路面被水流切割拉槽出小冲沟(图2(a)),同时,该路段对岸泥石流挤压盖孜河道(图2(b)),致使盖孜河在此处形成弯道,水流强烈淘蚀路基,在公路内侧泥石流沟冲刷和盖孜河水流淘蚀共同作用下,公路边坡发生滑塌形成直立状岸坎,造成路基被冲毁约50米,路面形成40米深冲沟。

2.2. 泥石流掩埋破坏

公路沿线共发育53处泥石流沟,主要以中小型泥石流和群发性中小型泥石流为主,具有暴发频繁、规模大、类型多、危害严重等特点,不仅包括降雨型泥石流,还包括冰川型泥石流及两者混合型泥石流,既有坡面型泥石流,也存在沟谷型泥石流,其中降雨型泥石流26条,冰川型泥石流27条;在“8.1”公路水毁事件中,泥石流堆积掩埋路段12处,分布在公路K1600+300~K1616+200段,以冰川降雨混合型泥石流为主,影响路基长度共计4542m,主要以掩埋灾害为主。如在公路K1600处的艾尔库然沟,每2~3年就暴发一次泥石流,在“8.1”水毁事件中,泥石流堆积体上两冲沟同时暴发泥石流,大量松散物质被冲出而堆积在公路上,致使刚刚完工的过水路面被掩埋(图3),影响长度约为1km,最大堆积厚度为

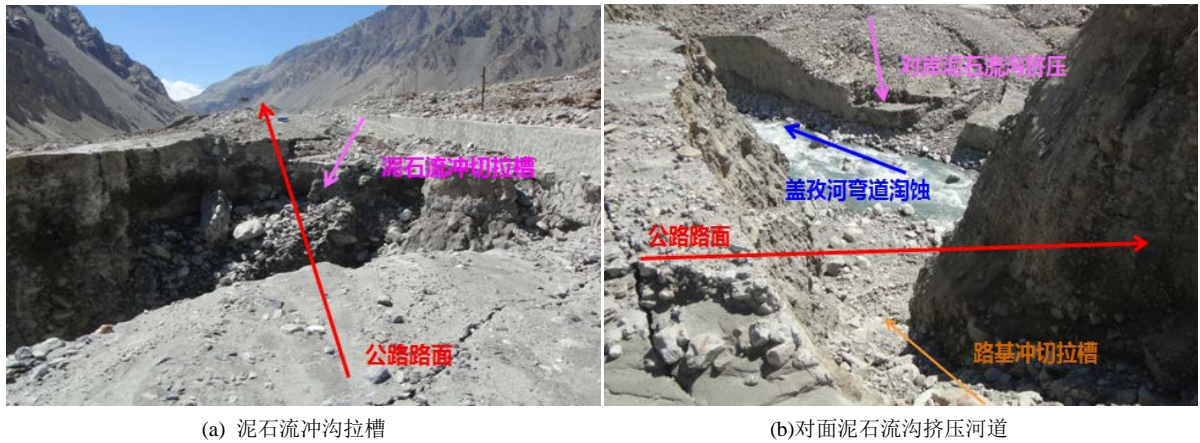


Figure 2. The road in K1609 + 700 ~ K1610 + 100 is destroyed by debris flow and flood
图 2. 公路 K1609 + 700 ~ K1610 + 100 段路基被洪水泥石流冲毁



Figure 3. The road in K1600 is buried by debris flow
图 3. 公路 K1600 处泥石流掩埋路面

4 m，堆积方量至少 10 万 m^3 ，阻断公路达 3 天。

2.3. 挡墙冲毁破坏

在洪水冲刷作用下，沿河公路下边坡挡墙基础被淘蚀，挡墙基础局部被淘空，淘蚀严重时会造成墙体倾覆倒塌，路面开裂变形。在对公路沿线挡墙水毁破坏调查中发现，挡墙冲毁破坏分为挡墙基础冲刷淘蚀和挡墙倾覆倒塌两种。其中挡墙基础受强烈冲刷淘蚀路段主要发生在 K1550 + 270 ~ K1603 + 750 段，共计 14 处，挡墙基础受强烈冲刷淘蚀段(如图 4(b))共计 1769 m，护坡基础受强烈冲刷淘蚀段共计 3079 m；挡墙倾覆倒塌路段主要发生在 K1602 + 890 ~ K1603 + 900 段，高动能水流强烈冲刷导致河道下切严重，挡墙基础被淘空，致使挡墙失稳倒塌或外倾，同时引起路基纵向开裂下沉或塌陷(如图 4(a))，挡墙外倾长度共计 330 m，挡墙倒塌长度共计 288 m。

2.4. 桥涵冲毁破坏

在洪水泥石流作用下，桥梁和涵洞可能遭受水流冲刷和泥石流掩埋而导致损毁，破坏形式包括桥梁墩台被泥石流冲击、桥梁涵洞被堆积物掩埋、桥涵基础被冲刷破坏等，在“8.1”水毁事件中，公路沿线



(a) 挡墙倾倒地路面开裂

(b) 挡墙基础冲刷淘蚀

Figure 4. The retaining wall is washed away along the highway
图 4. 公路挡墙冲毁破坏

桥涵构筑物遭受水毁灾害严重,其中堆积物淤积在涵洞进、出口或桥梁局部堵塞共计 27 处(K1553-K1616)、桥涵完全掩埋 7 处(K1607-K1615)、涵洞基础冲刷淘蚀 6 处(K1571-K1604),泥石流冲击桥墩 1 处(K1613)。如 K1613 + 049 处阿克朗中桥桥墩被左侧泥石流冲毁(如图 5(a)),泥石流掩埋桥墩和墩台,大石块冲击墩身,致使钢筋外露,墩台破损严重,在公路 K1607 + 460 处涵洞(如图 5(b))、K1608 + 621 处小桥被泥石流完全掩埋(如图 5(c));另外,由于沟谷泥石流堆积堵塞桥涵,导致大面积路面过水漫流而产生路面和下边坡水毁破坏,如公路 K1571 + 400 ~ K1571 + 645 段路基左侧被洪水冲刷,新建涵洞和路面被冲刷破坏(如图 5(d))。

2.5. 防护工程损坏

公路防护工程损坏指公路的丁坝、护坦等防护措施在水流冲刷下,其基础淘蚀、坝体冲毁而造成工程破坏,这种破坏现象大大降低公路的使用年限及提高了养护费用。公路沿线为防护挡墙基础设置了丁坝及护坦工程,此次发生的水毁对丁坝和护坦造成了较大的破坏,破坏形式主要有二种:一是河流改道冲刷下切沿河构筑物,洪水掏蚀基础导致构筑物断裂;二是洪水中夹杂的大量卵漂撞击构筑物导致浆砌片石被撞击损坏。根据现场调查,沿线丁坝和护坦水毁路段共计 18 处,大部分为完全冲毁破坏,其中沿线造成丁坝冲毁路段 14 处,共计 175 m,护坦冲毁或基础受强烈冲刷路段 4 处,共计 3400 m。如在公路 K1559 + 160 ~ K1560 + 140 段路基左侧,公路挡墙防护设施(丁坝和护坦)被盖孜河洪水冲刷损毁,造成丁坝淘蚀倒塌、护坦冲刷破损(图 6)。

3. 公路水毁成因分析

3.1. 水文气象因素

3.1.1. 上游异常来水突增水流量

2016 年 3~7 月期间上游布伦口水库输水隧洞塌方,未投产发电,水库在满足下游灌溉需求的情况下不断蓄水,本次公路水毁事件之前水库水位已接近 3290 m 的警戒水位。自 7 月 26 日以来受强对流天气的影响,局地强降雨和高山冰川融水叠加,致使上游来水量急剧增加,为了保证大坝安全,水库开始泄洪。在 8 月 6 日和 8 月 8 日布伦口水库泄洪流量达到 $213 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $213.3 \text{ m}^3/\text{s}$,超过警戒流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$,而且 2015 年同期洪水量超过其它年份流量(图 7);再加上沿线各支沟及坡面汇水,经初步计算下游瞬时洪



Figure 5. The bridges and culverts are washed way and buried by debris flow
图 5. 公路桥涵被泥石流冲毁淤埋

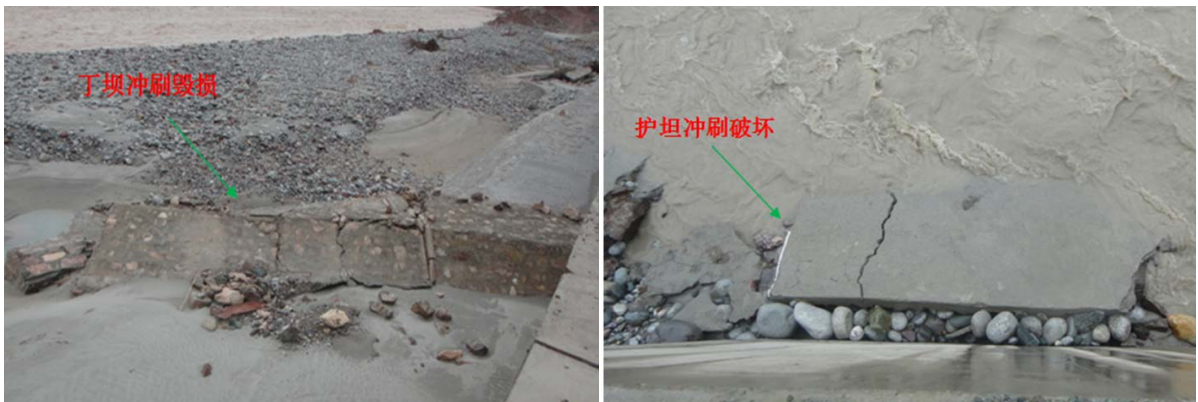


Figure 6. Groin and apron are destroyed in the highway K1559 + 160 ~ K1560 + 140
图 6. 公路 K1559 + 160~K1560 + 140 段丁坝和护坦水毁破坏

峰流量达 $873 \text{ m}^3/\text{s}$ ，已超出公路路基设计洪水流量 $839 \text{ m}^3/\text{s}$ 的设计标准。洪水流量大，冲击力强，又加上河流比降大，可达 $33\% \sim 87\%$ ，水流侵蚀下切能力强，致使原公路工程基础埋深变浅，同时弯道水流冲刷淘蚀能力增强，水流常以更大交角冲击墙基，一般可达 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，致使公路路基及其防护工

程被冲毁破坏。

3.1.2. 持续高温加速冰川消融

2015年7月中旬以来新疆各地经历了一场持续时间长、影响范围广的高温天气，南疆的气温普遍升至 30°C 以上，部分地区气温达到了 45°C ，如公路沿线7月30日至8月8日期间多出现高于 30°C 高温天气(图8(a))，持续高温导致公格尔高山区冰川持续融化，大量冰川融水导致盖孜河及两侧支沟流量急剧增加。另外，2015年4月公格尔九别峰北脊，冰川发生跃动，估计约 $5\text{亿}\text{m}^3$ 冰川移动约 20km ，大规模冰川滑移至海拔相对较低位置，在持续高温下将加速融化而形成洪水；再加上公路两侧沟道内存在大量冰碛物，公路沿线暴发了群发性泥石流灾害，造成公路多点冲毁和掩埋。据当地公路分局介绍，自2003年公路改建以来从未暴发过水毁灾害的泥石流沟，本次也发生了不同规模的泥石流灾害。

3.1.3. 强降雨诱发洪水泥石流

2015年7月29日~8月8日，由于受到强对流天气的影响，盖孜河流域经历了一次强降雨过程，根据气象资料显示，公路沿线9天累积降雨量达到 57.9mm ，占年均降水量 127.5mm 的45%，其中最大日降雨量出现在8月1日，达到 21.5mm (图8(b))。强降雨造成山区坡面径流急剧增大，由于地面坡度大，地表植被稀少，径流产汇流时间短，洪峰大且冲击力强，又加上沟道堆积体受前期降雨作用接近饱和，在降雨径流冲刷下形成特大洪水和泥石流灾害。

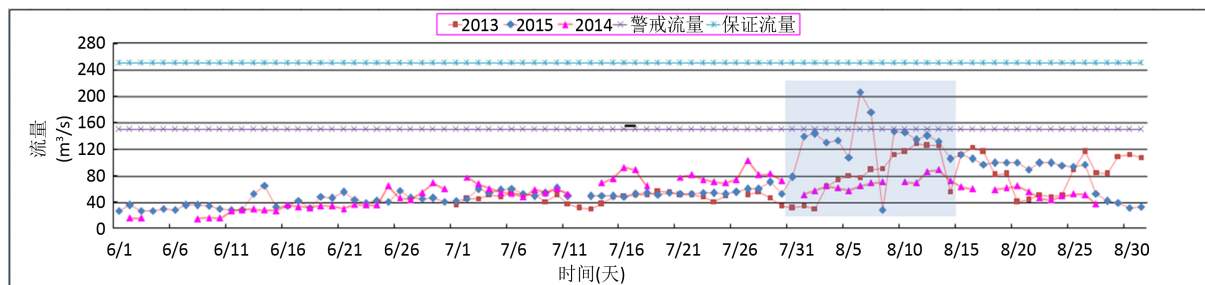
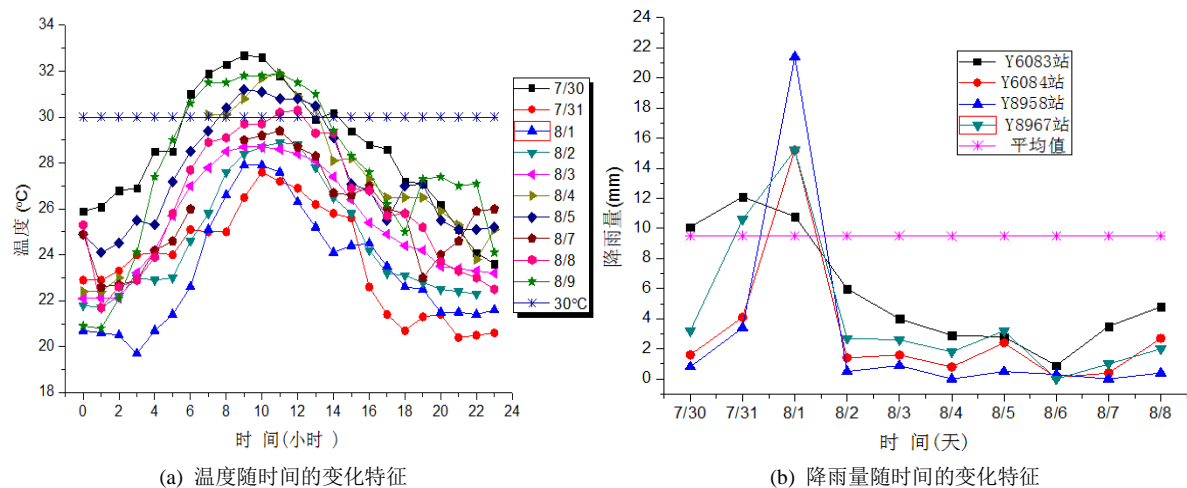


Figure 7. The variation in discharge of Gaizi River from June to August in different years

图7. 不同年份盖孜河6~8月流量变化图



(a) 温度随时间的变化特征

(b) 降雨量随时间的变化特征

Figure 8. The variation of temperature and rainfall with time from 7.30 to 8.9 in 2015

图8. 2015.7.30~8.9期间温度和降雨量随时间的变化

3.2. 勘察设计因素

3.2.1. 历史水文资料缺乏，水力计算不合理

G314 奥布段位于东帕米尔东部高山峡谷区，沿线最高海拔为 7649 m 的公格尔山，冰川广泛分布，气象水文条件变化复杂，人类活动少，公路沿线气象水文监测站点少，且监测历史短，无法提供长序列水文资料，致使公路工程水力计算参数局限性较大，公路工程设计标准偏低，易在洪水年发生公路水毁灾害。

3.2.2. 河床侵蚀变化大，设计方案未调整

公路勘察设计完成于 2009 年，而工程施工始于 2014 年，由于山区河流冲刷侵蚀能力强，河床横向摆动复杂，致使河床地形变幅大，如 K1597 + 800 ~ K1618 + 684.4 段河床最大冲刷下切深度在 2.5 m~3.5 m，原有公路工程设计尺寸已不满足当前水力计算要求，出现基础埋深变浅或防护工程位置偏低等现象，又加上公路两侧泥石流发育，大量泥石流物质堆积挤压盖孜河，致使河道压缩变窄，高速水流强烈冲刷公路工程，而原有设计方案并未进行相应设计方案调整，以增强公路工程防护设计。

3.2.3. 桥涵构筑物设计不合理

前期对洪水泥石流沟流路径调查不详细，缺少对流速、流量和冲击力等工程设计参数准确预判，造成涵洞位置布设不合理，孔径偏小，进口截水设施不完善，涵洞出现河水倒灌、进出口不均匀沉降、泥石流堵塞淤埋和洪水冲毁等危害；桥梁的破坏原因复杂多样桥墩基础埋置深度不够，处于冲刷线以上，或桥墩强度不足，桥墩基础在河流的洪峰时刻容易遭受强烈的冲刷，或是桥位选择不当，河床变化大，桥墩布设在沟道中间而缺少防护，泥石流大石块直接冲击桥墩，造成桥墩破损而无法使用，还有就是桥梁跨径小且净空高度较小，泥石流整体掩埋桥梁。

3.2.4. 缺少前期灾害风险评价，公路设计不合理

在前期工可阶段，缺少对公路沿线地质灾害危险性评价与风险预测，致使线位总体设计偏低，无法避免洪水泥石流冲刷和掩埋，在泥石流堆积扇上开挖的低线位，常常成为洪水泥石流天然停淤场；另外，对地质灾害发展趋势缺少准确预测，未能绕避潜在灾害点，造成局部线型不合理公路工程设计不合理。

3.3. 施工组织因素

3.3.1. 水电施工沿河取砂、导致河床下切严重

自 2009 年以来，盖孜河沿线水电工程所需的砂石材料均采挖自附近河道，导致河床断面和原地表发生较大变化，使路基距主河床的距离越来越近，公路挡墙基础埋深逐渐变浅，从而使路基及防护工程易受到洪水冲刷危害。

3.3.2. 部分防护工程未完工，未形成有效的防护体系

由于天气、施工控制等因素，公路沿线部分段落护坡工程未能施工完成，部分已施工完工后的护坡工程未及时回填压实，河水暴涨后导致路基和未完工防护工程基础冲毁破损。

3.3.3. 水电站引水隧洞施工弃渣随意堆放，改变自然冲沟

公路沿线右侧山坡有多个水电站隧道支洞施工区，隧道弃渣未进行合理规划，随意弃至洞口附近沟道和坡面，改变了原有冲沟流向并堵塞沟道，在雨季松散弃渣极易受雨水冲刷，常常发生溃决型泥石流。

3.3.4. 工期紧张，公路防护工程质量存在缺陷

由于施工工期紧张，局部公路挡墙存在施工质量差、材料用量不足和施工工艺不合理等问题，墙体

局部出现强度较低、基础埋深不足，以及墙体层间滑移和内部断裂，造成墙体倾覆和倒塌等危害。

4. 结论

2015年7.30~8.8日G314公路奥布段发生群发性水毁事件，公路沿线多处被洪水泥石流冲毁、掩埋，公路被阻断并造成巨大经济损失。公路水毁灾害具有类型多、群发性、规模大、破坏力强等特点，主要类型包括路基冲毁破坏、泥石流掩埋破坏、挡墙冲毁破坏、桥涵冲毁破坏、防护工程损坏等。本次公路水毁灾害不仅受水文气象等自然因素影响，还与勘察设计的时效性、合理性和前瞻性、以及施工过程中的施工管理、过程控制和外界工程干扰等因素有关，其中水文气象要素对本次公路水毁灾害具有决定性控制作用。在未来山区的公路建设中，应加强公路水毁灾害的监测预警，充分分析气象水文数据以获取诱发流量、降水等临界预警指标，并研发新型公路水毁防护结构和形式，同时，开展公路沿线地质灾害危险评价和风险识别，科学计算工程设计水力参数，合理确定公路及防护工程设计标准，加强公路工程的水毁风险预测和前瞻性设计，制定科学合理施工组织方案和施工进度计划，以最大程度降低或避免公路水毁灾害。

基金项目

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

参考文献 (References)

- [1] 郑志明, 刘东燕, 侯龙. 重庆地区干线公路水毁机理及防治对策研究[J]. 工业建筑, 2012, 42(增): 590-593.
- [2] 海龙, 梁冰. 考虑降雨入渗条件的土体边坡稳定性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(4): 46-50.
- [3] 刘红岩, 王媛媛, 秦四清. 降雨条件下的基坑边坡渗流场模拟[J]. 工业建筑, 2007, 37(10): 51-53.
- [4] 肖星义. 西部地区公路水毁状况与防治对策[J]. 山西建筑, 2008, 34(29): 291-292.
- [5] 李莉. 浅谈公路水毁的成因与防治[J]. 公路, 2004(5): 179-182.
- [6] 高冬光. 公路与桥梁水毁防治[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [7] 王庆珍, 李田生, 甘林坤. 山区沿河公路路基水毁防治对策探讨[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2008, 27(2): 264-267.
- [8] 凌建明, 官盛飞, 崔伯恩. 重庆市公路水毁环境区划指标的研究[J]. 水土保持通报, 2008, 28(3): 141-147.
- [9] 刘丽, 何光春, 陈洪凯. 新疆315国道公路水毁病害形成机制与治理[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 204-209.
- [10] 靳青. 西北地区公路水毁成因及防治措施浅析[J]. 公路, 2014(12): 222-225.
- [11] 朱平一, 汪阳春. 西藏公路水毁灾害[J]. 自然灾害学报, 2011, 10(4): 148-152.
- [12] 陈洪凯. 公路水毁学[M]. 北京: 科技文献出版社, 2000.
- [13] 陈洪凯, 唐红梅, 白子培. 山区公路水毁路基发育机制研究——以四川境内公路水毁路基为例[J]. 重庆交通大学学报, 1994, 13(4): 34-40.

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：gser@hanspub.org