

复杂地段危岩落石处理技术探讨

崔俊涛

(中铁十六局集团 第二工程有限公司, 天津 300162)

摘要: 新建黔张常铁路禾家村车站共 8 股道, 1~4 道为正在运营的焦柳铁路, 5~8 道为新建黔张常铁路, 站场右侧为高陡边坡, 存在落石危险隐患。在保证运营铁路安全的前提下, 如何经济、合理地对该段危岩落石进行处理是关键。文中在不影响行车的情况下, 通过对山体增加开口式帘式网、被动防护网及山体底部增加拦石墙, 形成组合式立体防护体系, 达到拦截落石的目的。

关键词: 边坡; 危岩落石; 组合防护; 处理技术

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)03-0072-05

随着国民经济的发展, 各种基础设施建设越来越多, 特别是高速公路、高速铁路进入大规模建设阶段。中国为多山国家, 高大、美丽的山川在带来美感的同时, 也加大了工程施工难度。针对高陡边坡, 一般采用造价较低的拦石网或防护效果好的棚洞、拦石墙进行防护。但对于铁路车站防护范围广且涉及营业线行车安全的高陡危岩地段, 如何安全、经济、合理地进行危岩落石防护是一大难题。

1 工程概况

1.1 地形地貌

新建黔张常铁路禾家村车站位于湖南张家界市永定区禾家村, 车站左侧为耕种农田且紧邻澧水河, 右侧紧邻高达 100 多 m 的陡峭边坡, 边坡坡度为 80°左右, 坡面基岩裸露, 地形起伏较大。

1.2 地质条件

地表为坡积残积的砂黏土夹碎石, 下伏为寒武系薄层灰岩、白云质灰岩及白云岩, 多处出露。受四都坪区域构造影响, 呈波状褶皱起伏变化, 产状 N40°E/7°E~N52°W/20°W, 节理裂隙发育, 主要有 N25°E/80°W、N55°E/75°W 等, 岩层被切割成块体, 单体最大粒径达 0.3~1 m, 经常发生落石。

1.3 工程设置及特点

禾家村车站全长 1 850 m, 设计共 8 股道, 其中 1~4 道为正在运营的焦柳铁路, 5~8 道为新建黔张常铁路。危岩落石段位于站场填方段, 长度约 400 m, 该段路基面宽度 64 m, 右侧紧邻高达百米的陡峭山坡, 时有落石掉落。其主要特点: 紧邻正在运营的焦柳铁路, 对施工安全的要求高; 右侧山体高达百米且为悬崖峭壁, 施工难度大; 工程位于车站范围

内, 防护范围广。

2 危岩落石处理方案比选

2.1 备选方案

针对以上复杂地段的危岩落石, 前期共提出 3 种防护方案进行比选。

2.1.1 方案一: 主动拦石网防护

在右侧高陡边坡上增加主动拦石网防护。先对整个山坡进行简单修整, 清除表面松动石块, 然后按照 1.5 m 纵、横、上、下间距钻孔, 孔内灌注 M30 水泥浆并植入锚绳。锚固孔达到一定强度后进行拉拔试验, 试验合格后安装主动网片。网片采用高强度钢绞线, 网片外设方格锚绳固定。整个坡面被拦石网包裹, 落石也被固定在网内某个区域不掉落。

2.1.2 方案二: 棚洞防护

在车站可能落石地段增加钢筋砼棚洞防护。根据车站情况, 棚洞基础采用 1 m 直径钢筋砼钻孔灌注桩, 桩上设置钢筋砼柱, 柱顶设置钢筋砼盖板, 整个车站范围顶部用棚洞防护。车站每 2 股道设置一排墩柱支承顶板, 柱中心间距 5 m, 其中 2、3 道与 4、5 道间棚洞施工时利用焦柳铁路天窗点施工。棚洞防护形成后, 山坡上散石直接落于棚洞顶, 而往来列车在棚洞下行驶, 保证其安全。

2.1.3 方案三: 开口式帘式网、被动拦石网、拦石墙组合式防护

在右侧高陡边坡地段增加开口式帘式网、被动拦石网、拦石墙进行防护。坡顶增加 5 m 高被动拦石网, 防止坡顶人或动物扰动导致石块掉落。在坡面增加开口式帘式网, 帘式网顶部设置开口钢柱, 边坡上设置垂幕状防护网, 下部山脚处设开孔。帘式

网的主要功能是拦截山坡滚石,不固定落石,只是在水平方向进行拦截,石块由于受到网拦截不作抛物线下落,而是顺着山坡滚落到坡脚。在坡脚增加 8.5

m 拦石墙,拦住滚落下的落石,维护人员可沿着下部拦石墙将落石清理出线路。

2.2 方案比选(见表 1)

表 1 备选方案技术经济对比

备选方案	造价/万元	工期/d	施工安全系数	防护功能及后期维护	比选结果
方案一:主动网防护	1 552	64	低	防护功能差且后期维护困难	从铁路运营安全考虑,否定
方案二:棚洞防护	4 630	180	高,涉及营业线施工	防护功能好,后期维护小	从施工安全、工程造价、工期方面考虑,否定
方案三:组合式防护	2 800	95	低	防护功能好,后期维护小	综合考虑,该方案最优

从经济方面考虑,方案一最节约,一般山坡防护优先采用。但该段山坡陡峭,高度超过 100 m,坡面防护面积大,且位于车站范围内,车辆停驶时间长。坡面采用主动防护形式,山体散落石长期处于应力状态,日久天长,坡面风化,极易造成山体石块崩落,存在较大隐患。且主动网内的松落石块会堆积、停留在某一区域,极难清理,后期维护人员需登山清理,极易造成二次落石危害。从安全和耐久方面考虑,该方案不可取。

方案二对整个车站范围增加棚洞防护,从安全和耐久方面考虑可行。但整个车站 8 股道,防护宽度 64 m,长度 400 m,投资巨大。另外,车站 1~4 道为已开通的焦柳铁路,需进行营业线施工。从造价、工期、施工安全方面考虑,该方案不可取。

方案三在坡面增加开口式帘式网,使坡面散落石处于自由状态,且网的作用只是拦截石块水平抛落,能起到长期防护的效果。山顶的被动网和坡脚的拦石墙分别对上下落石进行拦截,起到安全保障作用,后期落石清理也较方便,不存在安全隐患。只需在右侧山坡处进行施工,对运营中的焦柳线无影响,且造价和工期比棚洞少,经估算,比车站范围全部增加棚洞节约投资约 1 800 万元。综合考虑工程造价、工期、施工安全和后期运营维护,确定选择方案三。

3 组合式防护施工工艺

开口式帘式网、被动拦石网、拦石墙组合式防护系统的设计见图 1、图 2。该组合式防护系统的主要施工顺序为被动拦石网施工→开口式帘式网施工→拦石墙下部工程施工→拦石墙施工→锚索施工→检测设备安装。

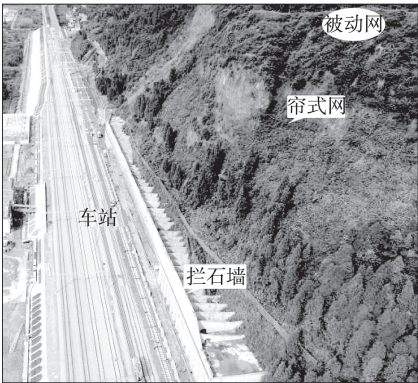


图 1 组合式防护系统平面设计

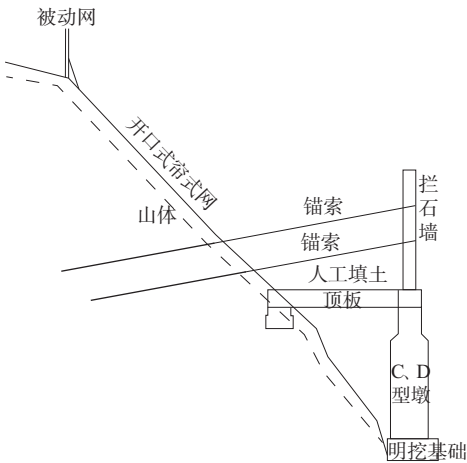


图 2 组合式防护系统断面设计

3.1 被动网施工

被动网采用 SNS 永久被动防护网,防护高度 5 m,每隔 10 m 设置钢柱,用来连接和固定网片(见图 3)。先放出基槽位置,基槽尺寸为 60 cm×60 cm×120 cm,采用 C30 砼浇筑。基槽底部设置锚地锚杆,锚杆采用 22 钢筋,长度为 3 m。基槽顶部设置预埋钢板与螺栓,基槽施工完毕后将钢柱与预埋螺栓连接,然后安装被动网片和上、下连接绳。

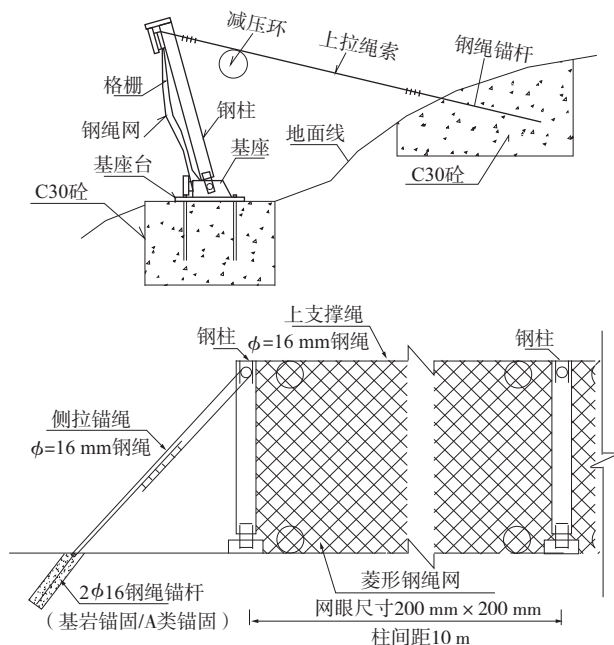


图3 被动防护网设计(单位:mm)

3.2 开口式帘式网施工

开口式帘式网设计见图4、图5。

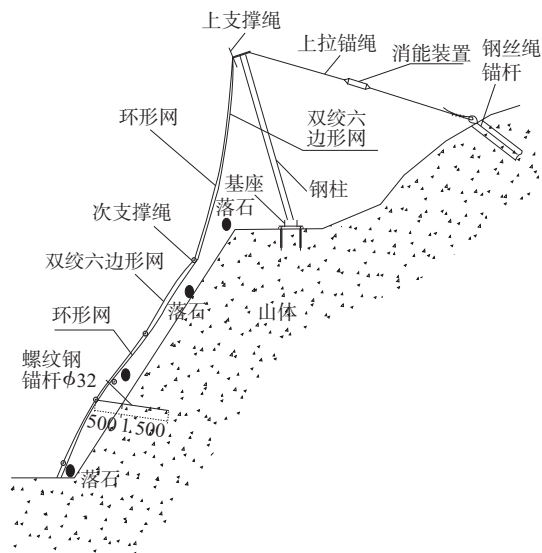


图4 帘式网拦石平面设计(单位:mm)

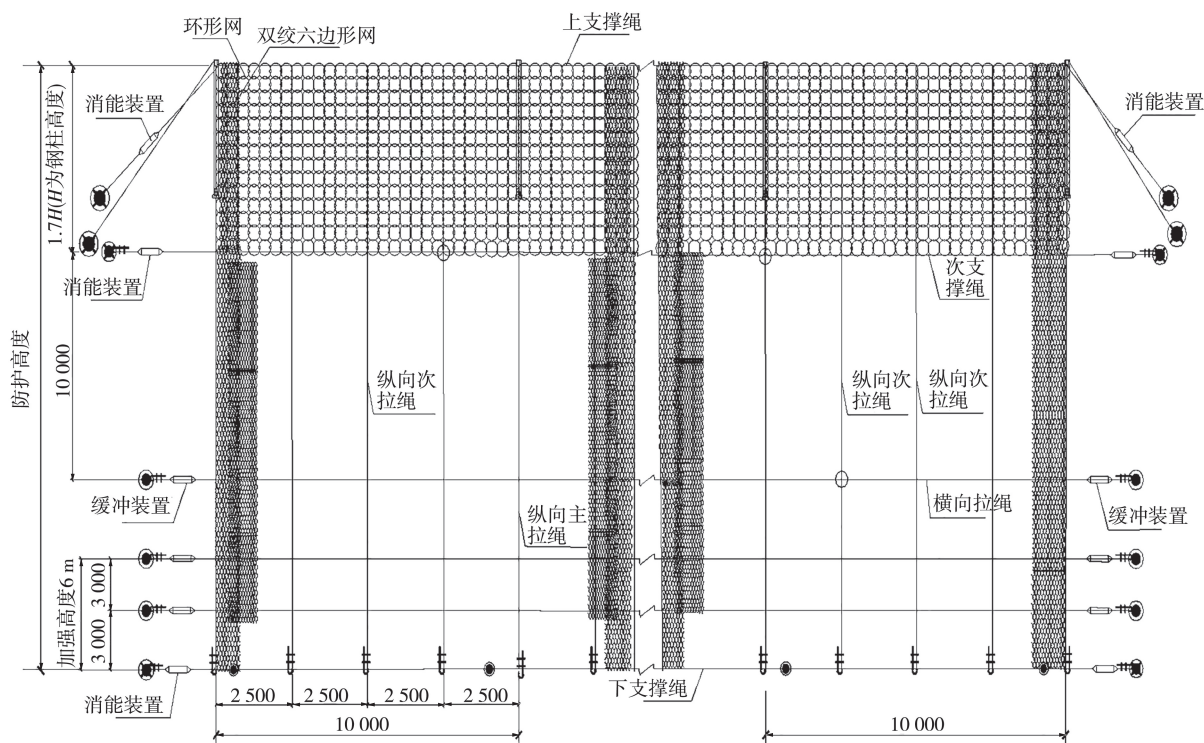


图5 帘式网拦石断面设计(单位:mm)

(1) 基础施工。测量放线后,用凿岩机在基座基础位置钻凿锚孔,钻凿深度为1 m;再放入基座地脚螺杆并用水泥砂浆浇注,浇注面用薄层C20 砼或M20 水泥砂浆抹平至基础面;将基座套入地脚螺杆,用螺母将其紧固。

(2) 安装钢柱、上拉绳、上下支撑绳。基础施工

完成后,将钢柱顺坡向放置并使钢柱柱脚位于基座处,将上拉绳的挂环挂于钢柱柱头挂座上,将上拉绳另一端穿过对应上拉锚杆并用绳卡暂时固定。然后将钢柱缓慢抬起并对准基座,将钢柱柱脚插入基座中,插入连接螺杆并拧紧。通过调整上拉绳长度,将钢柱调整到设计安装倾角后,张紧上拉绳并用绳卡

固定,将上支撑绳平行于系统走向调直并放置于各钢柱柱头滑槽内。两端穿过支撑绳锚杆鸡心环,用绳卡固定。

(3) 铺挂环形网、双绞六边形网。将环形网按编号在钢柱之间按照对应位置展开,采用卸扣连接环形网与上支撑绳。双绞六边形网从上向下铺挂,环形网片每个圆环用一个卸扣与对应支撑绳连接,中部环形网片每个圆环用 2 个卸扣与对应上下 2 个圆环连接。

(4) 安装纵向主、次钢丝绳。将纵向主钢丝绳的挂环挂于钢柱柱头挂座上,钢丝绳另一端穿过系统下部对应锚杆,用张拉力不低于 10 kN 的紧线器或葫芦张紧钢丝绳,用同规格的绳卡将末端固定。纵向次钢丝绳分别与上支撑绳和系统下支撑绳对应并固定。双绞六边形网间用 $\phi 1.5$ 钢丝缝合,与纵向主钢丝绳走向一致;再用 $\phi 1.5$ 钢丝把纵向主钢丝

绳、缝合钢丝、双绞六边形网以 0.3 m 的间隔扎结。

(5) 安装横向固定钢丝绳。横向固定钢丝绳长度宜小于 50 m。安装时,将一定长度钢丝绳的一端用绳卡锁定在端头锚杆上,另一端沿双绞六边形网外侧穿过同排锚杆,用同规格的绳卡将末端固定。

3.3 拦石墙下部工程施工

拦石墙下部结构包括明挖基础、C 形墩柱和门式结构墩柱、顶板结构。明挖基础深度根据下部地质情况确定,保证入岩深度不少于 0.5 m,基础尺寸为 $2.5 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$,采用 C30 砼结构。基础与墩柱依靠墩柱钢筋连接,墩柱钢筋深入基础深度不小于 1 m。采用 C 形墩柱,墩身截面为 $2.4 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 。D 形墩板截面宽度为 1 m,长度为 $3.2 \sim 11.4 \text{ m}$,墩身高 10 m,采用 C35 钢筋砼结构。墩柱上设置顶板,厚度为 0.8 m,采用 C35 钢筋砼结构,顶板上预留与拦石墙连接的竖向钢筋(见图 6)。

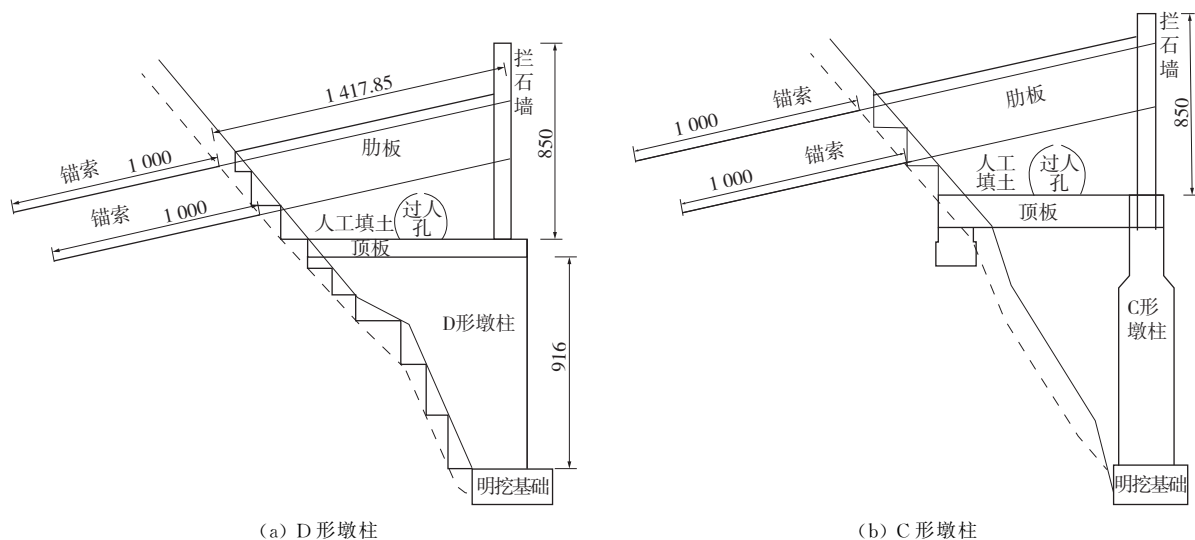


图 6 拦石墙截面示意图(单位:cm)

3.4 拦石墙施工

拦石墙高度为 8.5 m,厚度 0.8 m,墙身每隔 3.5 或 5 m 与山体设置厚 0.6 m 的肋板连接,肋板内设 2 道预应力锚索。肋板与拦石墙均采用 C35 钢筋砼结构,肋板与拦石墙一起浇筑。为防止肋板把各单元隔离,肋板上设置 1.99 m 过人圆孔,供后期养护人员行走。拦石墙与山脚间填筑 0.8 m 厚素填土层,作为落石缓冲层,减缓落石冲击力。

按《铁路工程设计技术手册:隧道》计算落石冲击荷载。计算参数如下:落石最大直径 1 m,重量 2.5 t;不同高度落石速度 $v=16 \sim 28 \text{ m/s}$ (依据设计

图模拟计算),按最大速度 28 m/s 计算;最大落石投影面积 1.178 m^2 ;缓冲层厚度 0.8 m;按最不利荷载考虑,若落石落到底部缓冲层后冲击力直接全部反弹至墙体。设计拦石墙墙体最大承受冲力为 400 kN。

$$c = \sqrt{\frac{(1-\mu)E}{(1+\mu)(1-2\mu)\beta}} = \sqrt{\frac{(1-0.2) \times 5000}{(1+0.2) \times (1-2 \times 0.2) \times 1.63}} = 58.4 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{2h}{c} = \frac{2 \times 0.8}{58.4} = 0.027 \text{ s}$$

$$P = \frac{Qv}{gT} = \frac{2.5 \times 28}{9.8 \times 0.027} = 264.6 \text{ kN} < 400 \text{ kN}$$

式中: c 为压缩波在缓冲层中的往复速度(m/s); μ 为回填土泊松比,素填土取0.2; E 为回填土弹性模量,素填土取5 000 kN/m³; β 为回填土密度,素填土取1.63 kN/m³; h 为缓冲层计算厚度(m); Q 为落石重量(kN); T 为冲击持续时间(s)。

验算得拦石墙抗冲击力满足要求。

3.5 锚索施工

锚索入岩深度不小于10 m,入岩部分为锚固段,采用M40砂浆锚固。锚索通过肋板内的预留孔与拦石墙连接,防止拦石墙受落石冲击破坏。待肋板和拦石墙砼强度达到75%时进行锚索自由段张拉,每单元锚索由8根 $\phi^{15.24}$ mm高强度低松弛无粘结预应力钢绞线组成。张拉完成6~10 d后进行一次补偿张拉,然后锁定并封锚。

3.6 智能检测设备安装

危岩落石及拦石墙动态监测系统由监测服务器、监测终端、光交换机、监测单元、反射板等组成。监测服务器利用既有通信专业漏缆监测系统,监测设备天线方向朝向被监测边坡区域,在被监测的拦石墙和边坡区域安装反射板。监测单元实时监测边坡状态信息,这些信息通过短光缆接入信息机房,再通过通信系统传到监测服务器。

监测精度:水平位移监测的点位中误差为12 mm(6.0 mm);垂直位移监测的高程中误差为10 mm(3.0 mm);天线照射角为 $\pm 5^\circ$ 。

4 拦石效果验证

2019年7月,整个防护系统完成后,通过运营单位验收,被动网、帘式网对落石的拦截和消能与拦石墙刚性防护相结合,拦石效果良好,未发现任何安全隐患。智能检测设备数据显示拦石墙结构稳定,一切均在安全可控状态。

参考文献:

- [1] 杨涛,周德培.柔性防护边坡的稳定性分析[J].岩土力学与工程学报,2016,25(2).
- [2] 艾树波,焦海峰,吕汉川.帘式网在边坡防护工程中的应用[J].路基工程,2015(6).
- [3] 铁建设[010]41号,铁路混凝土工程施工技术指南[S].
- [4] 乔金丽,李文秀.柔性防护条件下高陡岩质边坡破坏过程的大变形有限元分析[J].河北农业大学学报,2009,32(4).

- [5] 章照宏.斜坡落石灾害及其SNS柔性防护[J].公路与汽运,2005(6).
- [6] 苏胜忠.边坡工程勘察中崩塌落石运动模式及轨迹分析[J].工程地质学报,2011,19(4).
- [7] 倪振强,孔纪名,阿发友,等.碎石土古滑坡的开挖扰动效应及稳定性研究[J].工程勘察,2012(5).
- [8] 叶四桥,陈洪凯.公路高切坡施工过程及防治技术体系[J].公路,2009(12).
- [9] 何彬,蒋攀.浅谈混合花岗岩地段边坡防护形式与施工[J].经营管理者,2009(11).
- [10] 唐晓玲,史文兵,续建科.柔性防护系统在城市公路高边坡中的应用研究[J].贵州大学学报:自然科学版,2011,28(3).
- [11] 路林海,刘正银,张明晶.某公路衡重式高挡墙病害分析与处治[J].工程勘察,2012(12).
- [12] 孟庆文,冷伍明.山区高速铁路高陡边坡稳定性与变形分析[J].铁道科学与工程学报,2012,9(6).
- [13] 刘克玲.山区高速铁路岩质边坡变形分析[J].铁道科学与工程学报,2013,10(3).
- [14] 林新,李海平,王俊杰.顺向岩质边坡加固工程实例[J].工程勘察,2010(9).
- [15] 贺咏梅,阳友奎.SNS边坡柔性防护系统的标准化问题[J].路基工程,2002(3).
- [16] 郑卫锋,魏锋先,李星.大连某高边坡工程的变形与稳定研究[J].工程勘察,2011(1).
- [17] 侯信.山区高路堤边坡防护方案优化探讨[J].公路与汽运,2019(5).
- [18] 王娜.SNS柔性主动防护网在道安高速边坡防护中的应用[J].公路与汽运,2015(4).
- [19] 郭永兴.基于光纤光栅的高陡边坡及危岩落石监测技术与应用研究[D].武汉:武汉理工大学,2014.
- [20] 王延平.崩塌灾害变形破坏机理与监测预警研究[D].成都:成都理工大学,2016.
- [21] 尹平保,贾文文,罗忠涛,等.震区岩质边坡动力特性及影响因素数值模拟研究[J].公路与汽运,2017(6).
- [22] 蔡敏.某省道边坡稳定性分析与防护设计[J].公路与汽运,2019(6).
- [23] 李祥龙.层状节理岩体高边坡地震动力破坏机理研究[D].北京:中国地质大学,2013.
- [24] 倪卫达.基于岩土体动态劣化的边坡时变稳定性研究[D].北京:中国地质大学,2014.
- [25] 彭宁波.锚固岩质边坡地震动力响应及锚固机理研究[D].兰州:兰州大学,2014.

收稿日期:2019-10-07