

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.01.014

复杂山体削坡爆破控制飞石方向的工程实践^{*}

樊永强,马俊斌,焦卫宁,闫高文,拜晓亮

(中交第二公路工程局有限公司,西安 710065)

摘要: 为了改善209国道恩施谭家坝段边坡削坡爆破时因边坡地质复杂、溶洞较多等而导致爆破时产生较多飞石的问题,根据周边环境特点以及削坡山体部分的具体情况,结合最小抵抗线原理、多向爆破作用控制原理和群药包共同作用原理的优点,提出了将可能的飞石引导向安全地点的方法。先以浅孔小台阶爆破为削坡主爆破创造新的侧向自由面,再进行中深孔台阶爆破。其中,浅孔爆破采取分三个小台阶顺序依次下降,以达到一次深孔台阶爆破的高度。中深孔削坡主爆破采取大间隔延时的逐孔起爆,并整体采用小炸药单耗的松动爆破、长填塞、由里向外的顺序起爆设计。坡面边缘孔依据现场情况做独立设计,严格执行侧向最小抵抗线明显小于坡面最小抵抗线,并根据削坡厚度灵活调整起爆顺序以及孔网参数。这些措施大大降低了爆破飞石的产生,有力保障了边坡下方村庄民房及厂房的安全,同时浅孔爆破也方便新增工作面,提高施工效率,可为同类型工程提供参考。

关键词: 山体削坡爆破;逐孔起爆;最小抵抗线;爆破飞石

中图分类号: TD235 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)01-0095-06

Engineering Practice of Controlling Fly Rock Direction in Complex Mountain Slope Cut Blasting

FAN Yong-qiang, MA Jun-bin, JIAO Wei-ning, YAN Gao-wen, BAI Xiao-liang

(CCCC Second Highway Engineering Company Limited, Xi'an 710065, China)

Abstract: Due to complex geology of the Tanjiaba slope section of Enshi National Highway 209, fly rock was generated during blasting. According to the surrounding environment characteristics and the specific situation of cutting slope mountain section, a method to guide possible fly rock to a safe place was proposed combined with the advantage of the minimum burden principle, the multidirectional blasting action control principle and the group charge interaction principle. First of all, the short-hole and small bench height blasting was used to create a new lateral free surface for the main blasting of slope cutting, and then a deep-hole bench blasting method was carried out. The slope was descended sequentially in three small benches to reach the height of a deep-hole bench blasting. In the main blasting of deep hole slope cutting, a large-interval time delay hole-by-hole blasting method was adopted, and loose blasting with small explosive unit consumption, long packing, and inside-out sequential detonation were used. In order to reduce the generation of fly rock, some necessary measures were taken, such as the slope edge holes were independently designed according to the site conditions, the lateral minimum burden was obviously smaller than the slope minimum burden, and the detonation sequence and blasting parameters were flexibly adjusted according to the slope thickness. These measures greatly reduced the generation of fly rock, and effectively guaranteed the houses and factories safety in the villages below the slope. At the same time, the short-hole blasting also facilitates the addition of new working faces, which improves construction efficiency. It can provide a reference for similar projects.

Key words: mountain slope cut blasting; hole by hole initiation; minimum burden; blasting fly rock

爆破是公路、水利、矿山、隧道等工程的重要施工方法,具有效率高、成本低的优点。但是爆破本身也会产生一定的危害,如爆破振动、爆破飞石、粉尘、噪声、冲击波等,会对周边环境和人员造成负面影响,在爆破作业时需要加强控制和降低这些危害。对于靠近村庄或工厂附近的路堑山体爆破开挖工程,特别需要控制爆破飞石以及爆破振动的影响。从爆破技术和防护等方面对控制爆破振动、爆破飞石及爆破冲击波进行爆破方案的设计和^[1]优化,高边坡的削坡爆破施工,为改善爆破效果以及控制爆破有害效应,相关的学者和技术人员做了大量的探索和实践,如采取预裂爆破、调整爆破自由面方向、逐孔起爆技术、提高钻孔精度等^[2-8],也有采取在炮孔上覆盖防护、清理松动石块、采用柔性网加钢排架的组合式防护等^[9,10],这些措施都能在一定程度上降低爆破有害效应。爆破工程的方案设计需要结合施工环境、工期、施工对象等多种因素考虑,并在实

际的施工中不断改进和优化,才能总结出最合适的爆破方案。

1 工程概况

中交第二公路工程局有限公司在湖北恩施承接了209国道恩施龙凤坝至谭家坝段改扩建工程任务,其中K18+830~K19+380段设计石方开挖量为24.1万 m^3 ,边坡高度最高处约48.2 m,设置为六级边坡,1~4级台阶10 m,坡率1:0.50,5级及以上台阶根据具体地形高度6~8 m不等,坡率1:0.75~1:1.00。中桩右侧最大开挖宽度水平投影长度58 m。该路段地形复杂、山高坡陡,原有公路宽约9 m,从山脚向上沿山腰修建,中桩左侧有大量厂房和民宅,最近的民房不足10 m,爆破环境十分复杂。这条公路要往山体里拓展加宽,扩建后宽度约为36 m,故需进行大量的山体削坡爆破工程。爆区环境见图1、图2所示。



(a) 路面及右侧待开挖边坡
(a) Road surface and right side slope to be excavated



(b) 坡底路面村庄及厂房
(b) Village and plant in Bottom of slope

图1 爆区环境示意图

Fig. 1 Surrounding environment of blasting area

该地段山体主要为喀斯特地貌的石灰岩,地表层岩体崎岖不平、孤石溶洞很多。在喀斯特地区开展爆破施工时会因为溶洞的存在而产生较大的不确定性,使爆破施工的效果难以提升^[11]。起初采用普通露天深孔爆破方法进行削坡爆破,爆破参数和孔网布置主要以破岩为目的,采用松动爆破、自由面即为山体坡面、各孔由外及里顺序起爆的技术路线。在实际操作中,虽然采用以减小药量的松动爆破来控制飞石,但由于石灰岩的特质决定了表层岩体沟壑溶洞丛生,表面又多被浮土覆盖,使得坡面边缘孔

的设计抵抗线和实际的抵抗线间存在很大差异,致使爆破飞石极难控制,爆破多次造成山脚下的厂房、民宅受到飞石的侵扰(如图3),引发投诉和公司的大量赔付,严重延误了工期。加之部分民房几乎紧靠原有公路,与爆破山体边坡最近水平距离不足50 m,且位于爆破山体下方,更易被飞石击中,爆破难度极大。为此,必须解决这种陡帮削坡爆破的飞石危害问题,同时这类问题在公路和铁路路基开挖的山体爆破中也较为常见。

2 飞石产生原因与对策分析

在最初的方案设计中提出爆破抵抗线方向应平行山体坡面,但由于在削坡岩体上部的爆破工作面很窄,只能布1、2排孔,从有利破岩和操作方便方面,实际作业中采取了顺着山体成排布孔,由外向里

收稿日期:2021-10-19

作者简介:樊永强(1979-),男,高级工程师、学士,从事公路工程方面的工作,(E-mail)190797144@qq.com。

通讯作者:马俊斌(1971-),男,高级工程师、学士,从事公路工程方面的工作,(E-mail)349182066@qq.com。

基金项目:中交第二公路工程局科技研发项目(ES-QT-016)

顺序逐排爆破方式。正是这种操作,即使采用了松动爆破方法,减小了用药量,但由于坡面本身的凹凸不平,岩层又多被表层松土所覆盖,肉眼无法看到山体的实际情况,因此依地表情况计量坡面边缘孔负担的破岩体积十分困难、难以准确,尤其在坡面凹进

去的部位,其实际岩层厚度可能远小于设计估值,这就使得爆破的实际最小抵抗线远小于设计的估计取值,也就造成该部位的炸药单耗远大于设计单耗,形成强抛掷爆破效果,则极易在该部位形成大的爆破飞石。

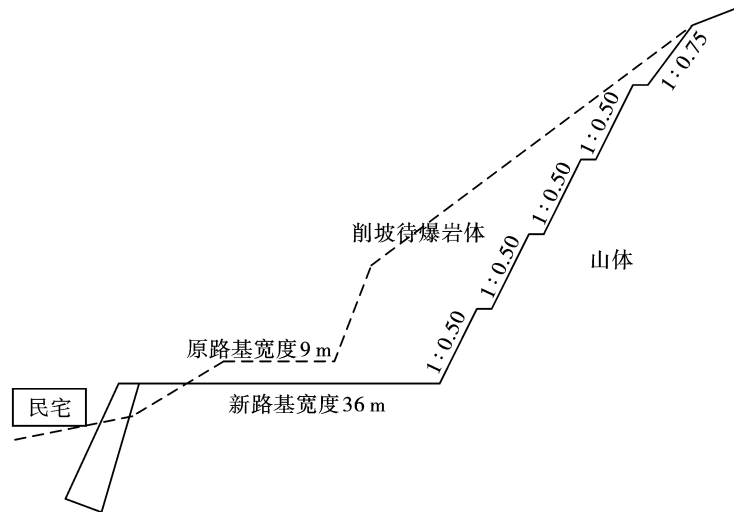


图2 爆区环境剖面示意简图

Fig. 2 Schematic diagram of the blasting area profile



图3 坡底民宅屋顶被爆破飞石击中
Fig. 3 The roof of a house was hit by a flying stone by blasting

由于石灰岩的特质决定了其地表一定厚度岩层的凹凸不平和有表层浮土覆盖,人工无法确定和判断岩体的实际边界,因此实际操作中爆破飞石极难控制。为此,正是这种岩性的表层爆破即使采用松动爆破也可能出现较大爆破飞石的现实,采取按松动爆破设计药量、定向抛掷为预防的孔网布置,引导可能出现的爆破飞石向指定方向抛出,更易满足爆破安全要求。此时,只要飞石抛出方向避开了保护目标,即可实现对爆破飞石的安全控制,避免或减小削坡爆破对山下厂房和民宅的危害。本工程沿山体延伸方向,即原公路的延伸方向均为施工场地,没有保护目标物,因此该方向能安全容纳有较大爆破飞石的产生。这样就将爆破中可能产生飞石引向该方

向,只要其朝平行山体坡面方向飞行,就不会对山下厂房和民宅造成危害。

要控制爆破飞石方向应遵循最小抵抗线原理、多向爆破作用控制原理和群药包共同作用原理来进行爆破设计,这些原理的核心思想:最小抵抗线方向是爆破破碎、抛掷和堆积的主导方向;在多自由面爆破时,最小抵抗线方向是爆破破碎、抛掷、堆积的主导方向;同时起爆的两个以上相邻的且能产生共同作用的药包,其抛掷和堆积主要是沿药包联合作用所决定的方向抛出,即与炮孔连心线垂直方向是爆破联合作用方向、是岩石抛出的主方向。为此,本次爆破要将爆破飞石方向引向山体延伸方向,即与山体坡面平行方向,首先应在待爆岩体侧面开出一个自由面(可采用浅孔爆破方法先予形成,且侧向自由面的高度要大于一个深孔爆破分层的高度),使待爆岩体是处于两个自由面状态,且在侧向有一个相对整齐的边界,即使只能单排布孔也须如此。其次,布孔要确保爆破的最小抵抗线方向是指向侧向自由面的,即山体横向孔间距要明显大于纵向的排间距,即使是单孔也要明显使距侧向自由面距离小于坡面自由面距离,以引导爆破抛掷指向侧面、与坡面平行方向。同时,为减小飞石的飞行距离,采取小孔网参数、大间隔延时的逐孔起爆,这样一方面避免了炮孔间的共同作用,又使得即使出现岩体严重内

凹,炮孔装药中心距坡面的实际岩层厚度相对侧面自由面距离可能更小,但这种差异不会特别悬殊,此时虽然爆破体处于多自由面状态,这种不特别悬殊侧面自由面会削弱爆破飞石向坡面方向、相对抵抗线更小方向的抛出。此外,整体采用小炸药单耗的松动爆破、长填塞(填塞长度要达到该孔最小抵抗线的1.1倍以上)、逐孔预判最小抵抗线方向、由里向外的顺序起爆设计。尤其在多排炮孔爆破时,采取先中间,再里边,最后坡面边缘孔的顺序起爆,使最边缘孔承担的破岩体成为其他孔爆破的天然防护墙。

3 爆破方案设计

3.1 浅孔爆破

先进行浅孔爆破,其主要任务是先为削坡主爆破创造出一个新的侧向自由面。根据削坡深孔台阶爆破所取台阶高度8 m,浅孔一次爆破深度3 m,3次9 m,匹配深孔爆破一个台阶的侧向自由面所需高度(见图4所示)。采取40 mm的钻头,配 $\phi 32$ mm药卷,抵抗线和排距0.8~1.2 m,孔距1~1.5 m,炸药单耗0.3~0.35 kg/m³。

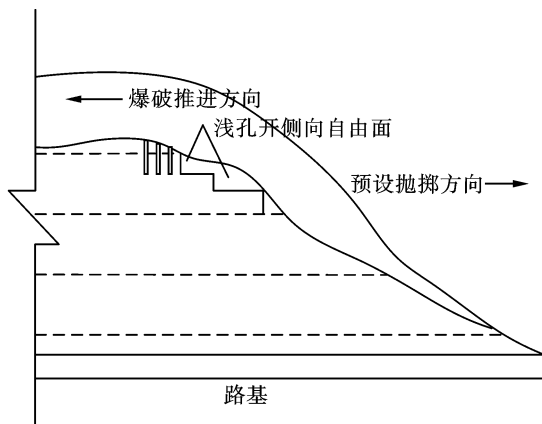


图4 爆破开挖施工方法与顺序

Fig. 4 Construction method and sequence of blasting excavation

爆破参数计算如下:

(1) 炮孔深度

$$L = H + \Delta h \quad (1)$$

式中: L 为炮孔深度,m; H 为台阶高度,m; Δh 为超深,本工程取0.2 m。经计算得 $L = 3.2$ m。

(2) 底盘抵抗线

$$W_1 = kd \quad (2)$$

式中: W_1 为底盘抵抗线,m; k 为系数,一般取32~38; d 为炮孔直径,mm。经计算得 $W_1 = 1.5$ m。

(3) 孔排距的计算

孔距是指同一排跑空中相邻两孔的中心线距

离,孔距按下式计算

$$a = mW_1 \quad (3)$$

式中: a 为孔距,m; m 为炮孔密集系数,对于露天浅孔台阶爆破,一般取1~1.25。实际孔距取值1.2~1.5 m,排距1.0~1.3 m。

(4) 单孔装药量

根据该路段岩性,取浅孔松动爆破的炸药单耗 $q = 0.3 \sim 0.35$ kg/m³计算,炮孔的装药量可按式计算

$$Q = qabH \quad (4)$$

式中: Q 为单孔装药量,kg; a 为孔距, b 为排距, H 为台阶高度,单位均为m。经计算得 $Q = 2.2 \sim 3$ kg。

(5) 炮孔堵塞

按照 $\phi 32$ mm乳化炸药密度,延米装药量为1 kg,采用连续装药结构,堵塞长度必须保证不小于炮孔最小抵抗线。实际堵塞长度控制在1.5~2 m。

(6) 炮孔布置

浅孔台阶松动爆破采用梅花形布置方式,结合现场地形地貌进行局部调整。炮孔布置示意图如图5所示。

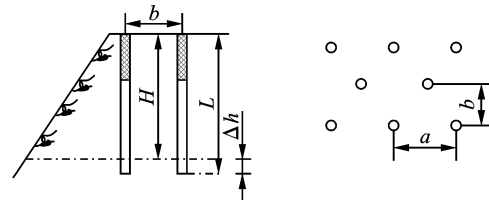


图5 台阶炮孔布置示意图

Fig. 5 Schematic diagram of blasting hole layout of step blasting

(7) 起爆网路

起爆网路采取非电导爆管毫秒微差起爆网路。为有效降低爆破振动及飞石,采取逐孔起爆技术,孔内采用高位19段雷管,孔外采用3段延时。

3.2 深孔削坡爆破

山体削坡的主爆破,根据放坡设计要求分台阶自上而下逐级爆破,台阶高度控制在6~10 m范围。孔径为 $\phi 90$ mm,配 $\phi 70$ mm的乳化炸药卷。确保炮孔装药中心距侧向自由面距离小于距坡面自由面距离,炸药单耗0.3~0.35 kg/m³。相关参数的计算方法与浅孔爆破类似,具体的参数设计如表1所示。

中深孔爆破采取宽孔距、适当减小抵抗线(即增大炮孔密集系数)、弱装药进行布孔作业。在此总设计原则下,对不同布孔条件需采取不同孔网参数和起爆顺序。主要分为了以下情况。

表 1 中深孔台阶爆破参数

Table 1 The Parameters of middle-deep hole bench blasting

台阶高度 H/m	底盘抵抗线 W_1/m	炮孔长度 L/m	炮孔间距 a/m	炮孔排距 b/m	单孔药量 Q/kg
6	2.6	6.6	2.5~3.0	2.0~2.5	12.6~18.9
7	2.8	7.6	2.5~3.0	2.0~2.5	14.7~22.1
8	2.8	8.6	3.0~3.5	2.4~3.0	24.1~35.3
9	3.0	9.6	3.0~3.5	2.4~3.0	27.2~36.7
10	3.0	10.6	3.0~3.5	2.4~3.0	30.2~44.1

(1) 单孔布置。需削坡的岩层较薄, 只能沿设计轮廓线布置一个单孔。此时, 需在现场根据地形条件, 逐孔量测设计布孔, 其基本原则: 每个炮孔距侧向自由面的距离明显小于距坡面自由面距离。再按各孔实际负担的破岩体积计算该孔所用炸药量; 起爆顺序从最靠近侧向自由面的炮孔(1号孔)开始, 沿设计轮廓线逐孔顺序起爆, 见图 6 所示。

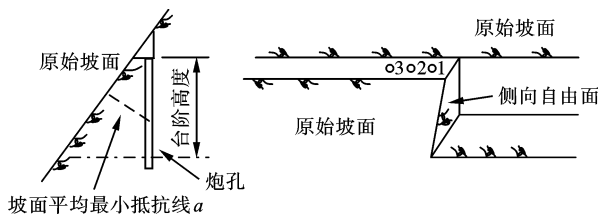


图 6 单孔布置与起爆顺序

Fig. 6 Single hole arrangement and initiation sequence

(2) 两孔一排。此时, 里面孔布置在开挖设计轮廓线上, 另一个孔则为坡面边缘孔, 按前述单孔布置要求布置。起爆顺序: 逐排先里面后外面, 逐孔起爆, 见图 7 所示。

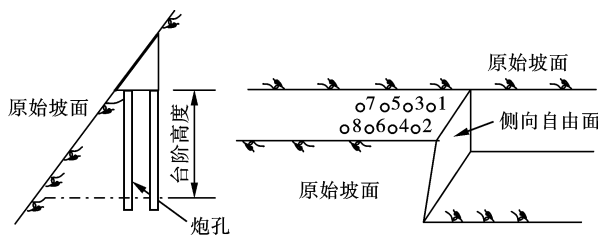


图 7 一排两孔炮孔布置与起爆顺序

Fig. 7 Arrangement and initiation sequence of blast holes in a row with two holes

(3) 三孔一排及多孔多排爆破。仍按前述要求先布置最里面的轮廓孔和最外面的坡面边缘孔, 其他孔则布置这两孔之间。此时已趋普通正常台阶爆破, 为了确保预设抛掷向侧面飞行, 且坡面边缘孔承担的破岩体成为其他主炮孔爆破的挡墙, 起爆顺序采取先中间、再里边, 后坡面边缘孔, 再回到后一排的中间, 再次重复。即最后起爆坡面边缘孔的逐孔

逐排顺序起爆, 见图 8 所示。尤其当侧面工作平台宽度较大时, 就和普通台阶爆破一致, 但仍应坚守最边缘孔单独设计, 确保其朝向侧向自由面的距离明显小于坡面方向的自由面距离, 且最后起爆, 使该部分岩体未爆前成为其他主爆破的飞石挡墙。

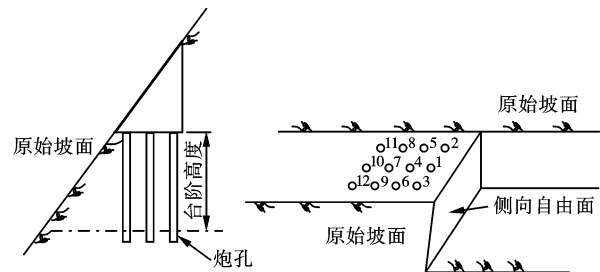


图 8 一排三孔或多孔炮孔布置与起爆顺序

Fig. 8 Arrangement and initiation sequence of a row of three-hole or multi-hole blastholes

4 爆破效果

根据优化的控制飞石方向爆破设计方案, 现场技术人员对削坡爆破的炮孔布置与工人提前交底, 依实际地形做相应变化, 并在连接起爆网路时严格按照方案执行。

采取了上述措施有效地控制了 209 国道恩施龙凤坝至谭家坝段公路扩宽山体削坡爆破飞石对坡面山下厂房和民宅的危害, 大大减少了工程的赔付, 有效地杜绝了民事纠纷。此外, 为加快施工进度, 在边坡沿线布置多个工作面, 使得钻孔、装药、爆破、出渣等作业可相互交叉、互不干扰, 工程得以顺利加速进行, 并提前完成了全部削坡爆破工程。

5 结论

通过本工程的实践探索发现, 对山体削坡岩层较薄的爆破, 存在爆破飞石的危害, 采取相应的措施可以有效的控制爆破飞石向坡面正向的飞行, 主要结论如下:

(1) 喀斯特地貌的石灰岩山体削坡爆破仅采用松动爆破方法来完全控制爆破飞石很难做到, 而预

估爆破可能出现飞石,采取措施将可能的飞石引导向安全地点的方法,更加安全可靠和易于实现。

(2)遵循最小抵抗线原理,在相对安全方向开辟出新的自由面,布孔中使该方向的最小抵抗线相较其他方向更小一些,可将可能出现爆破飞石导向指定方向抛出,以实现保护目标的保护。

(3)多孔爆破应逐孔考虑各孔在爆破中的实际最小抵抗线方向,使其或指向预设方向,或设置能阻断其向保护目标的飞行的屏障。

(4)逐孔起爆有利于减小可能出现爆破飞石的飞行距离。

(5)坡面边缘孔应依据现场情况做独立设计,严格执行侧向最小抵抗线明显小于坡面最小抵抗线。

(6)坡面边缘孔在同排中最后起爆,所负担爆破岩体在未爆前就是其他孔爆破的安全屏障。

参考文献 (References)

- [1] 唐海,易帅,林大能.复杂环境下铁路路堑爆破开挖安全技术研究[J].工程爆破,2019,25(1):24-31.
- [1] TANG Hai, YI Shuai, LIN Da-neng. Study on safety technology of railway cutting blasting excavation under complex environment[J]. Engineering Blasting, 2019, 25(1): 24-31. (in Chinese)
- [2] 范坤.公路路基石方边坡开挖爆破技术与方法[J].四川建材,2021,47(3):80-81.
- [2] FAN Kun. Blasting technology and method for excavation of foundation stone side slope of highway [J]. Sichuan Building Materials, 2021, 47(3): 80-81. (in Chinese)
- [3] 韩振,陈晶晶,张兵兵,等.高低孔爆破处理高陡边坡的技术分析[J].工程爆破,2019,25(3):27-31.
- [3] HAN Zhen, CHEN Jing-jing, ZHANG Bing-bing, et al. Treatment technical analysis of high and low hole blasting in high and steep slope [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(3): 27-31. (in Chinese)
- [4] 郭可伟,宋阿青.双重预裂与定向抛掷爆破相结合在露天煤矿削坡减载工程中的应用[J].爆破器材,2017,46(5):60-64.
- [4] GUO Ke-wei, SONG A-qing. Combination of double pre-splitting blasting and directional throwing blasting in slope cutting and unloading engineering of open pit coal mine [J]. Explosive Materials, 2017, 46(5): 60-64. (in Chinese)
- [5] 张兵兵,陈晶晶,张岗涛,等.最终边坡预裂爆破技术参数及应用效果分析[J].工程爆破,2018,24(6):43-47.
- [5] ZHANG Bing-bing, CHEN Jing-jing, ZHANG Gang-tao, et al. Technical parameters and application effect analysis of final slope pre-splitting blasting [J]. Engineering Blasting, 2018, 24(6): 43-47. (in Chinese)
- [6] 李锡斌,杨江波,王天龙,等.露天矿山斜层状边坡削坡卸载爆破技术[J].现代矿业,2020,36(8):80-82,93.
- [6] LI Xi-bin, YANG Jiang-bo, WANG Tian-long, et al. Slope cutting and unloading blasting technology for inclined layered slope in open-pit mine [J]. Modern Mining, 2020, 36(8): 80-82, 93. (in Chinese)
- [7] 薛里.路堑边坡精准控制爆破技术及应用[J].工程爆破,2018,24(2):34-38.
- [7] XUE Li. Technology and application of precise controlling blasting on cutting slope [J]. Engineering Blasting, 2018, 24(2): 34-38. (in Chinese)
- [8] 张大伟,李国春,赵庆远,等.保通条件下的高速公路改扩建岩质边坡开挖技术研究[J].中外公路,2018,38(4):14-18.
- [8] ZHANG Da-wei, LI Guo-chun, ZHAO Qin-yuan, et al. Study on the excavation technology of rock slope for highway reconstruction and expansion under the condition of retaining passage [J]. Journal of China and Foreign Highway, 2018, 38(4): 14-18. (in Chinese)
- [9] 唐毅,孙飞,李广洲,等.复杂工况下高边坡预裂爆破技术及施工工艺研究[J].爆破,2020,37(1):87-93.
- [9] TANG Yi, SUN Fei, LI Guang-zhou, et al. Research on pre-splitting blasting technology and construction process for high slope under complicated conditions [J]. Blasting, 2020, 37(1): 87-93. (in Chinese)
- [10] 李新继,胡青松.正交临近既有铁路高边坡的高铁路堑爆破[J].工程爆破,2019,25(5):35-40.
- [10] LI Xin-ji, HU Qing-song. Blasting of high-speed railway cutting roads orthogonal adjacent the high slope of existing railway [J]. Engineering Blasting, 2019, 25(5): 35-40. (in Chinese)
- [11] 黄伦胜.溶洞对岩质边坡爆破开挖的影响研究[J].广西水利水电,2021(1):81-84,88.
- [11] HUANG Lun-sheng. Study of influence of karst cave on rock slope blasting excavation [J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2021(1): 81-84, 88. (in Chinese)