

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.03.012

## 隧道掘进水压爆破技术发展新阶段

李广涛,李大春

(中铁十二局集团有限公司,太原 030006)

**摘要:** 隧道掘进爆破中炮眼堵塞材料或装药间隔部分用水取代的施工技术又称为水压爆破。隧道掘进炮眼从基本不堵塞的孔底起爆到孔口用炮泥加水堵塞,发展到现今的孔内多部位用水垫、隔和堵的技术,归纳起来可以分为三个阶段。第一阶段为2002年至2015年,主要装药结构为在常规炮眼的装药结构基础上,在孔底垫水袋和在孔口用水袋加炮泥封堵,并减少炮孔装药;第二阶段为2016年至2020年,主要技术进步是光爆炮眼中的装药段用聚能管装置取代,提高了半眼痕保留率和减少了光爆眼;新阶段是2021年至今,成果以新建梅州至龙川铁路的何公塘隧道掘进爆破为代表,技术标志是在光爆眼底、间隔和孔口封堵全用水袋,光爆炮眼以外的所有炮眼孔口全用水袋封堵,省却了炮泥,并将水袋长度由原来的20 cm改为60 cm,实践证明不但比常规爆破节省炸药25%和减少了光爆孔工作量,还提高了装药作业效率,降尘效果更显著。

**关键词:** 隧道掘进;水压爆破;水封堵;水炮泥;水间隔堵塞;水袋降尘

中图分类号: TD235.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-487X(2022)03-0082-06

## New Development Stage of Water Pressure Blasting Technique in Tunnel Excavation

LI Guang-tao, LI Da-chun

(China Railway 12<sup>th</sup> Bureau Group Co., Ltd., Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** In tunnel driving blasting, the construction technique of replacing the stemming material or charge decks with water is also called water pressure blasting. The development of charge structure in tunnel blasting can be divided into three stages, from basically bottom initiation without stemming to stemming with solids or water at the hole collar, then to the present technique of water cushion, isolation and plugging in multiple parts of the hole. The first stage is from 2002 to 2015, when the main charging structure was based on the conventional charging structure. The hole was stemmed and both bottom and the collar of the hole were padded with a water bag, and the charge of the hole was reduced. The second stage is from 2016 to 2020. The main technological progress was that the charge section in a smooth blasting hole was replaced by a shaped tube device, which improved the half cast factor and reduced the number of smooth blasting holes. The new stage is from 2021 to now, with the new Meizhou to Longchuan railway Hegongtang tunnel as a representative project. In this project, water bags were used for decks and stemming instead of solid stemming materials. And the length of the water bag was increased from 20 cm to 60 cm. Practice proves that compared with conventional blasting technology, this new blast technique not only saves 25% of the explosive and reduces the workload of the smooth blasting holes, but also improves the efficiency of charging operations and the dust removal effect.

**Key words:** tunnel excavation; water pressure blasting; water plugging; water stemming; water decking; dust control by water bag

隧道掘进水压爆破技术自2002年研发成功至今,历经20年两个发展阶段到如今已发展到第三个阶段即新阶段<sup>[1-4]</sup>。

要特别说明的是关于隧道掘进水压爆破基本概念,隧道掘进水压爆破研发历程、隧道掘进水压爆破技术原理,尤其是隧道掘进聚能水压光面爆破中的聚能管装置结构、制作工艺、技术原理和使用方法等,已在《铁道建筑技术》2021年第7期“隧道掘进水压爆破技术发展与创新”一文中详细全面介绍过,不再重复<sup>[1,5]</sup>。主要介绍隧道掘进水压爆破第一、二阶段尤其是新阶段炮眼装药结构,爆破效果及其新阶段与第一、二阶段相比优越所在。

隧道掘进水压爆破第一、二阶段和新阶段的划分是依炮眼装药结构、爆破效果区分的,相应的期限为第一阶段2002年至2015年,第二阶段2016年至2020年,新阶段2021年至今。

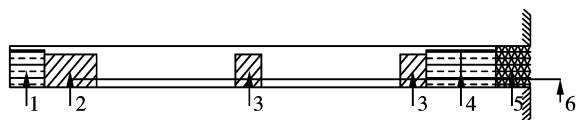
## 1 隧道掘进水压爆破实际推广第一阶段

自2002年12月18日隧道掘进水压爆破通过技术鉴定后便实际推广,并从隧道掘进水压爆破扩展到城市地铁暗挖隧道等<sup>[6]</sup>。

### 1.1 炮眼装药结构

#### 1.1.1 光爆炮眼装药结构

光爆炮眼装药结构如图1所示,第一步往炮眼最底部装1袋水袋,水袋长20 cm(下同),第二步按常规爆破间隔装药,第三步装2袋水袋,第四步即最后一步炮泥回填堵塞到炮眼口。



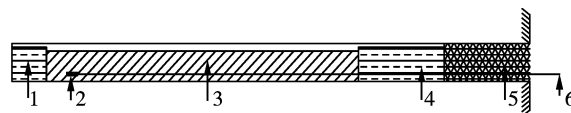
1—1 袋水袋;2—1 卷炸药;3—半卷炸药;  
4—2 袋水袋;5—炮泥;6—导爆索;  
1 - One water bag;2 - One explosive column;3 - Half column of explosive;4 - Two water bags;  
5 - Stemming;6 - Detonating cord

图1 光爆炮眼装药结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of smooth blasting hole charge structure

#### 1.1.2 光爆炮眼以外所有炮眼装药结构

除光爆炮眼外,掌子面所有其他炮眼装药结构如图2所示。



1—1 袋水袋;2—起爆雷管;3—多卷药卷;  
4—多袋水袋;5—炮泥;6—导爆索  
1 - One water bag;2 - Detonator;3 - Multiple explosive columns;4 - Multiple water bags;5 - Stemming;  
6 - Detonating cord

图2 光爆炮眼以外所有炮眼装药结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of charge structure of all blast holes except the smooth blasting holes

光爆炮眼以外所有炮眼与光爆炮眼装药结构一样,也分四步如下:

第一步往炮眼最底部装1袋水袋,必须装到底。

第二步装药卷,其药卷数量比常规爆破少1卷,例如常规爆破掏槽炮眼装8卷,那么水压爆破装7卷,常规爆破辅助炮眼装6卷,水压爆破装5卷。

第三步装水袋,其装多少袋是这样确定的:炮眼第二步装完药卷后,炮眼剩余的长度采取二分之一的计算方法和四舍五入的规则确定水袋的数量,例如第二步装完药卷后炮眼剩余1.2 m长,那么就装3袋水袋,如果剩余长度1.3 m也装3袋水袋,如果剩余长度1.4 m就装4袋水袋。

第四步回填堵炮泥到炮眼口。

### 1.2 隧道掘进水压爆破操作规程

隧道掘进水压爆破与隧道掘进常规爆破相比,在隧道开挖形式、掏槽种类、炮眼分布、炮眼数量与深度,起爆顺序与时间间隔等方面一模一样,但是水压爆破有特有的操作规程,叙述如下:

水袋一定要灌满要挺拔,这样好往炮眼中装填;炮泥要软硬适中,过软捣固时容易挤出,而过硬捣固不碎,影响堵塞质量,要特别说明的是,炮泥当天使用当天加工,以防炮泥失水过硬;往炮眼最底装的一袋水袋必须装填到底,切不得留有空隙;应用木棍捣固炮泥,边回填边捣固;炮眼中的水袋、药卷、水袋和炮泥要紧密相接,不得留有空隙。

### 1.3 隧道掘进水压爆破效果

隧道掘进水压爆破经多年实际应用,与隧道掘进常规爆破相比,具有极其显著的“节能环保”作用,具体的是有“三提高一保护”的作用效果。

三提高:一提高炸药有效能量利用率,节省炸药20%以上;二提高施工效率,每循环比常规爆破多掘进30 cm;三提高经济效益,每延米节省成本几百元。

一保护:隧道掘进水压爆破比常规爆破粉尘浓度下降约70%,改善了隧道施工环境,保护隧道施工作业人员身体健康,不但如此,爆破后排险,视野清楚更安

收稿日期:2022-06-21

作者简介:李广涛(1982-),男,梅龙铁路2标项目总工程师,(E-mail)531128016@qq.com。

通讯作者:李大春(1980-),男,梅龙铁路2标项目经理,(E-mail)531128016@qq.com。

全,而且缩短了通风时间,加快了施工进度<sup>[7,8]</sup>。

## 2 隧道掘进水压爆破第二阶段

### 2.1 炮眼装药结构

隧道掘进水压爆破第二阶段炮眼装药结构<sup>[9-11]</sup>,光爆炮眼以外的所有炮眼与第一阶段一模一样,不同的仅是光爆炮眼,第二阶段光爆炮眼用聚能管装置取代第一阶段间隔装药,其光爆炮眼装药结构如图3所示。



1—1 袋水袋;2—聚能管装置;3—水袋 2 袋;

4—炮泥;5—导爆索

1 - One water bag; 2 - Shaped tube device;

3 - Two water bags; 4 - Stemming; 5 - Detonating cord

图3 光爆炮眼装药结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of smooth blasting hole charge structure in the second stage

隧道掘进水压爆破第二阶段光爆炮眼装药结构是:第一步往炮眼最底部装1袋水袋;第二步装聚能管装置,其长度为光爆炮眼长度的70%左右;第三步装2袋水袋;第四步炮泥回填堵塞到炮眼口<sup>[12,13]</sup>。

### 2.2 爆破效果

隧道掘进水压爆破第二阶段除与第一阶段具有

“三提高一保护”的作用效果外,其显著特点是光爆质量甚高,半眼痕保留率达90%以上。另外经济效益高,每延米节省成本上千元。具体说明如下。

隧道掘进采取钻爆方法,打眼费用很高,每个炮眼每打眼深1 m,其费用为12.33元。第二阶段光爆炮眼间距为80~100 cm,而第一阶段为40~50 cm,少打一半光爆炮眼,这是经济效益高的根源<sup>[14-17]</sup>。

## 3 隧道掘进水压爆破新阶段

隧道掘进水压爆破实际推广新阶段仅以新建梅州至龙川铁路(以下简称“梅龙铁路”)何公塘隧道进口为实例予以说明。

新建梅龙高铁,地处广东境内,全长21.18 km,何公塘隧道位于梅州市南口镇南侧,隧道全长4864.75 m,双线隧道内轮廓宽13.3 m,高9.08 m。隧道围岩为石英砂岩、变质岩石、花岗岩,主要为Ⅱ、Ⅲ级围岩。

何公塘隧道掘进采取三臂凿岩台车打眼全断面开挖,2021年9月前采取隧道掘进常规爆破,之后改为水压爆破新阶段的炮眼装药结构至今。

### 3.1 隧道掘进常规爆破

隧道掘进常规爆破,炮眼布置图如图4所示,布置炮眼216个,设计循环进尺3.8 m。

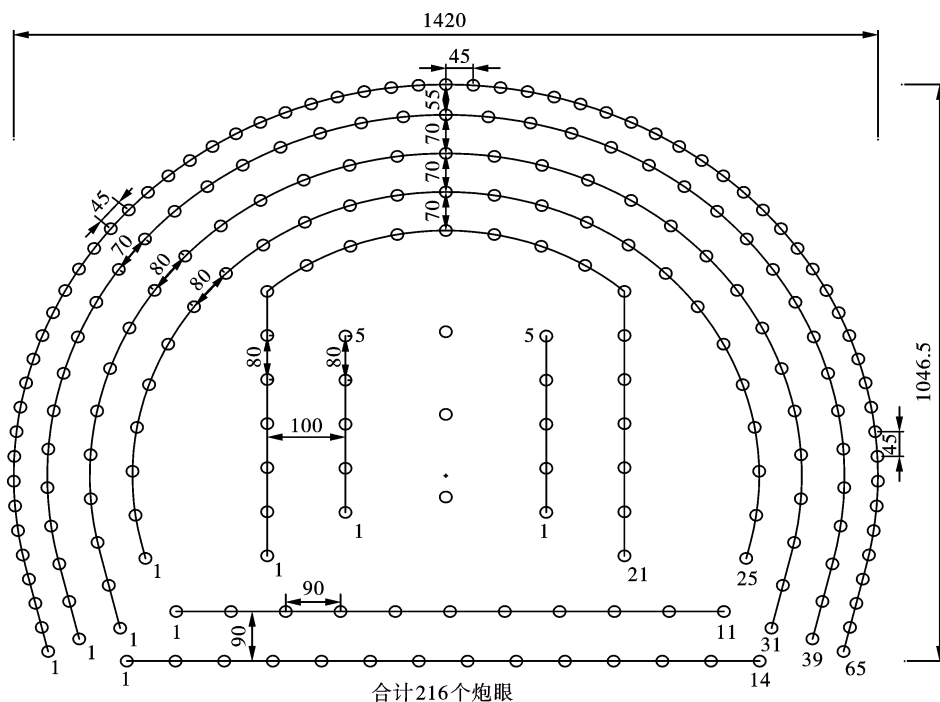


图4 何公塘隧道进口炮眼布置图(单位:cm)

Fig. 4 Layout of blast holes at the inlet of Hegongtang Tunnel(unit:cm)

所谓“隧道掘进常规爆破”,系炮眼仅装药卷和起爆雷管,不回填堵塞。目前还有不少钻爆队伍采取常规爆破,浪费炸药和严重污染环境,是不科学不可取的,与“节能环保”相违。

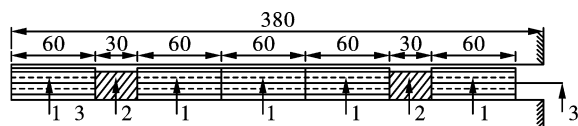
采取常规爆破,216个炮眼合计装药396 kg,光爆炮眼深3.8 m,实际进尺3.5 m,爆破后通风30 min才能进洞装渣。

### 3.2 隧道掘进水压爆破新阶段炮眼装药结构

隧道掘进水压爆破新阶段仍采取图4常规爆破炮眼分布、炮眼数量、深度及设计循环进尺与不变。

#### 3.2.1 光爆炮眼装药结构

设计循环进尺3.8 m,相应的光爆炮眼深也为3.8 m,其炮眼装药结构如图5所示。



1—1 袋水袋;2—1 卷药卷;3—导爆索

1 - One water bag; 2 - One explosive column; 3 - Detonating cord

图5 光爆炮眼深3.8 m装药结构(单位:cm)

Fig. 5 Charging structure of 3.8 m deep smooth blasting hole (unit: cm)

需要特别说明的是,隧道掘进水压爆破第一、二阶段水袋长20 cm,而隧道掘进水压爆破新阶段水袋长60 cm。

往光爆炮眼装填水袋和药卷顺序为:第一步往炮眼最底部装1袋水袋;第二步装1卷炸药;第三步装3袋水袋;第四步装一卷炸药;第五步再装1袋水袋封堵。

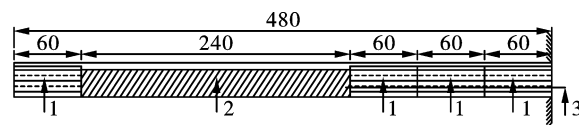
要特别指出的是,光爆炮眼中的两卷炸药用导爆索起爆。理应分别用塑料导爆管非电起爆系统的非电毫秒雷管起爆,比导爆索起爆费用低,而且操作简便快捷,但当地有关管理部门规定不得使用非电雷管必须使用数码雷管。数码雷管价格太高,其起爆费用比导爆索高得多。非电雷管禁止使用而数码雷管又昂贵,那么最好只能采取导爆索起爆。

#### 3.2.2 光爆炮眼以外所有炮眼装药结构

光爆炮眼以外的所有炮眼装填水袋和药卷顺序为:第一步往炮眼最底装1袋水袋;第二步比常规爆破少装1袋炸药;第三步装填水袋到炮眼口。要说明的是当装填水袋到离炮眼口长度小于60 cm时就不继续装水袋了。

以掏槽炮眼深4.8 m为例,其装药结构如图6所示。掏槽炮眼4.8 m深,常规爆破装9卷炸药,而

水压爆破装8卷炸药。



1—水袋;2—药卷;3—导爆管

1 - Water bag; 2 - Explosive; 3 - Nonel

图6 掏槽炮眼(深度480 cm)装药结构(单位:cm)

Fig. 6 Charge structure of cut hole (depth of 480 cm) (unit: cm)

### 3.3 隧道掘进水压爆破新阶段爆破效果

何公塘隧道掘进水压爆破新阶段单位用药量为 $0.67 \text{ kg/m}^3$ ,而常规爆破为 $0.89 \text{ kg/m}^3$ ,节省炸药25%。

何公塘隧道掘进水压爆破新阶段设计循环进尺3.8 m,实际进尺3.8 m,单个炮眼利用率100%,而常规爆破同样设计循环进尺3.8 m,而实际进尺3.5 m,每循环提高掘进30 cm。光面爆破不欠挖更不超挖,平顺整齐,半眼痕保留率达90%以上,提高了炮眼的利用率。见图7照片。



图7 光爆效果

Fig. 7 Smooth blasting effect

隧道掘进水压爆破新阶段伊始,炮眼最底部装1袋长20 cm水袋,还用炮泥堵塞,其爆破后粉尘浓度下降约90%,而何公塘隧道掘进水压爆破新阶段,炮眼最底装1袋长为60 cm水袋,而且不用炮泥堵塞,粉尘浓度下降会大于90%,有待监测<sup>[18-21]</sup>。

何公塘隧道掘进水压爆破新阶段,由于采取三臂凿岩台车打眼和实施水压爆破新阶段炮眼装药结构,一天两个循环,进尺达7.6 m,一个月(按25 d计算)累计进尺190 m,现今已走向常态作业施工。

## 4 隧道掘进水压爆破新阶段优势

隧道掘进水压爆破新阶段比其第一、二阶段优势体现如下:

一是不用炮泥回填堵塞改用水袋,在山岭地区不要说找黏土,就是找土都困难;加工炮泥费工费时,还要当天加工当天用;炮眼回填炮泥费时。新阶段不要炮泥,减轻了钻爆作业人员的工作量。

二是水袋长 20 cm 改为 60 cm,这样加工水袋和往炮眼装填更方便快捷,再加上不需要炮泥回填堵塞,缩短往炮眼装填水袋和药卷时间。

三是在允许使用非电雷管的前提下,光爆炮眼与导爆索不同,不但降低了起爆器材费用,而且装药快还避免出现哑炮,保证安全施工。

四是由于炮眼底部装 60 cm 长水袋再加上不用炮泥回填堵塞,降尘效果比水压爆破第一、二阶段会更好,有力地改善隧道作业环境,保护作业人员身体健康。

## 5 结束语

隧道掘进水压爆破新阶段的装药结构经实际采用,已取得令人满意的效果,深受施工单位欢迎,增强了持续使用隧道掘进水压爆破的信念。

关于隧道掘进水压爆破新阶段炮眼最底部装 1 袋长 60 cm 水袋,比 20 cm 长水袋更有利于降尘,是不是极限长度?还有光爆炮眼以内的所有炮眼,水压爆破比常规爆破少装 1 卷药卷还可不可以再少装?等等,有待进一步分析研究<sup>[22-24]</sup>。隧道掘进水压爆破新阶段粉尘浓度有待进行监测,以确定粉尘浓度到底下降多少。

(文章撰写得到何广沂教授指点帮助,深表感谢!)

## 参考文献 (References)

- [1] 王树成,何广沂. 隧道掘进水压爆破技术发展与创新[J]. 铁道建筑技术,2021(7):1-7,38.
- [1] WANG Shu-cheng, HE Guang-yi. Development and innovation of water pressure blasting technology for tunnel boring[J]. Railway Construction Technology, 2021(7):1-7, 38. (in Chinese)
- [2] 何广沂,段昌炎,荆山,等. 节能环保工程水压爆破研究及应用[J]. 中国工程科学,2003,5(9):43-48.
- [2] HE Guang-yi, DUAN Chang-yan, JING Shan, et al. Research and application of hydraulic blasting for energy-saving and environmental protection projects[J]. Strategic Study of CAE, 2003(9):43-48. (in Chinese)
- [3] 金龙哲,郭敬中,李刚,等. 金属矿山采场爆破尘毒防控技术研究进展及展望[J]. 金属矿山,2021(1):120-134.
- [3] JIN Long-zhe, GUO Jing-zhong, LI Gang, et al. Research progress and prospect of blasting dust toxicity prevention and control technology in metal mine[J]. Metal Mine, 2021(1):120-134. (in Chinese)
- [4] 何广沂. 隧道掘进水压爆破技术发展[J]. 工程爆破,2021,27(5):53-58.
- [4] HE Guang-yi. Development of water pressure blasting technology for tunnel boring[J]. Engineering Blasting, 2021,27(5):53-58. (in Chinese)
- [5] 聂红军. 铁路隧道钻爆施工超挖工艺及成本控制效果[J]. 建材与装饰,2021,17(10):271-272.
- [5] NIE Hong-jun. Overexcavation process and cost control effect of railroad tunnel drilling and blasting construction[J]. Building Materials and Decoration, 2021, 17(10):271-272. (in Chinese)
- [6] 陈柱,罗江,杨建超,等. 公路隧道软弱围岩水压爆破效益[J]. 价值工程,2021,40(13):164-166.
- [6] CHEN Zhu, LUO Jiang, YANG Jian-chao, et al. Benefit of hydraulic blasting in soft surrounding rocks of highway tunnels[J]. Value Engineering, 2021, 40(13):164-166. (in Chinese)
- [7] 何广沂,徐凤奎,荆山,等. 节能环保工程爆破[M]. 北京:中国铁道出版社,2007.
- [8] 何广沂,张进增,王树成,等. 隧道聚能水压光面爆破新技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2018.
- [9] 李敬国,杨奎. 第二代聚能管水压光面爆破技术在下归里隧道的应用[J]. 现代隧道技术,2020,57(S1):1035-1041.
- [9] LI Jing-guo, YANG Kui. Application of the second-generation poly-energy tube hydrodynamic light surface blasting technology in the Xia-Guili Tunnel[J]. Modern Tunneling Technology, 2020, 57(S1):1035-1041. (in Chinese)
- [10] 何广沂,刘海波,苏庆国,等. 隧道掘进聚能水压光面爆破装置及爆破方法:中国, CN10691853A[P]. 2016-11009.
- [11] 沈显才. 地铁暗挖隧道聚能水压光面爆破新技术应用分析[J]. 铁道建筑技术,2017(5):102-105.
- [11] SHEN Xian-cai. Analysis of the application of new technology of poly-energy hydro-pressure light surface blasting in subway concealed tunnel[J]. Railway Construction Technology, 2017(5):102-105. (in Chinese)
- [12] 夏彬伟,高玉刚,刘承伟,等. 缝槽水压爆破破岩载荷实验研究[J]. 工程科学学报,2020,42(9):1130-1138.
- [12] XIA Bin-wei, GAO Yu-gang, LIU Cheng-wei, et al. Ex-

- perimental study on rock-breaking load by hydraulic blasting in seam channels[J]. Chinese Journal of Engineering, 2020, 42(9): 1130-1138. (in Chinese)
- [13] 宋鹏伟,杨新安,李淮,等. 基于聚能水压光爆技术的周边眼装药结构优化研究[J]. 隧道建设(中英文), 2022, 42(1): 103-112.
- [13] SONG Peng-wei, YANG Xin-an, LI Huai, et al. Research on the optimization of perimeter eye charge structure based on concentrated energy hydrodynamic light explosion technology[J]. Tunnel Construction, 2022, 42(1): 103-112. (in Chinese)
- [14] 刘运泽. 聚能水压爆破在水平薄层围岩隧道中的应用[J]. 施工技术, 2020, 49(8): 110-113.
- [14] LIU Yun-ze. Application of poly-energy hydraulic blasting in horizontal thin-layered surrounding rock tunnels[J]. Construction Technology, 2020, 49(8): 110-113. (in Chinese)
- [15] 苏黎明. 聚能水压爆破在水平薄层围岩隧道中的应用价值研究[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(2): 55-57.
- [15] SU Li-ming. Research on the application value of poly-energy hydraulic blasting in horizontal thin-layered surrounding rock tunnel[J]. Building Technique Development, 2021, 48(2): 55-57. (in Chinese)
- [16] 刘海波. 聚能水压光面爆破新技术在成兰铁路隧道施工中的应用[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(2): 182-187.
- [16] LIU Hai-bo. Application of new technology of poly-energy hydraulic light surface blasting in the construction of Chenglan railroad tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2019, 56(2): 182-187. (in Chinese)
- [17] 董小强,冀畔俊,董喜明. 聚能水压+双掏槽光面爆破技术应用探析[J]. 技术与市场, 2021, 28(4): 81-82.
- [17] DONG Xiao-qiang, JI Xian-jun, DONG Xi-ming. Analysis of the application of poly-energy hydraulic + double hollowing light surface blasting technology[J]. Technology and Market, 2021, 28(4): 81-82. (in Chinese)
- [18] 杜翠凤,赵 囡,胡星灿. 掘进爆破水炮泥烟尘抑制剂的试验研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2016, 68(1): 61-65.
- [18] DU Cui-feng, ZHAO Nan, HU Xing-chan. Experimental study on the soot inhibitor of water cannon slurry for excavation blasting[J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 2016, 68(1): 61-65. (in Chinese)
- [19] 郭 尧,刘殿书. 露天深孔爆破自由面前水袋爆炸降尘关键参数研究[J]. 矿业科学学报, 2021, 6(6): 703-710.
- [19] GUO Yao, LIU Dian-shu. Study on the key parameters of dust reduction by blasting water bags in front of deep hole blasting in open pit[J]. Journal of Mining Science, 2021, 6(6): 703-710. (in Chinese)
- [20] 冯 永,邹常富,杨昉昉,等. 炮掘工作面粉尘防治技术研究[J]. 矿业安全与环保, 2018, 45(4): 41-43, 48.
- [20] FENG Yong, ZOU Chang-fu, YANG Fang-fang, et al. Research on dust control technology of artillery excavation working face[J]. Mining Safety and Environmental Protection, 2018, 45(4): 41-43, 48. (in Chinese)
- [21] 来弘鹏,周冬辉,宋竹兵,等. 山岭隧道水压爆破降尘剂试验研究[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(2): 188-194.
- [21] LAI Hong-peng, ZHOU Dong-hui, SONG Zhu-bing, et al. Experimental study on dust reduction agent for hydraulic blasting in mountainous tunnel[J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(2): 188-194. (in Chinese)
- [22] 乔力伟,蒋葛夫,桑琮辉. 水炮泥降尘施工隧道粉尘粒度分布演化的非稳态分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(9): 2281-2289.
- [22] QIAO Li-wei, JIANG Ge-fu, SANG Cong-hui. Non-stationary analysis of the evolution of dust particle size distribution in water cannon clay dust reduction construction tunnel[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2019, 16(9): 2281-2289. (in Chinese)
- [23] 王 飞,王 庆,焦卫宁,等. 隧道钻爆施工降尘技术的试验研究[J]. 现代隧道技术, 2021, 58(5): 196-203.
- [23] WANG Fei, WANG Qing, JIAO Wei-ning, et al. Experimental study of dust reduction technology for tunnel drilling and blasting construction[J]. Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(5): 196-203. (in Chinese)
- [24] 杨海涛,仪海豹. 水力降低爆破尘毒试验研究[J]. 金属矿山, 2016(8): 148-151.
- [24] YANG Hai-tao, YI Hai-bao. Experimental study on hydraulic reduction of blasting dust toxicity[J]. Metal Mine, 2016(8): 148-151. (in Chinese)