

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.04.009

岩粉对混装乳化炸药性能影响的试验分析^{*}

李晓虎^① 彭 立^② 王学进^② 薛延河^② 王玉杰^③

①葛洲坝易普力股份有限公司(重庆,400023)

②河南省前进化工科技集团股份有限公司(河南洛阳,471600)

③武汉理工大学资源与环境工程学院(湖北武汉,430070)

[摘 要] 针对矿山爆破工程中,采用现场混装乳化炸药进行装药,并进行岩粉直接堵塞炮孔,存在岩粉颗粒侵入炸药内部并与炸药相互混合的情况,对堵塞过程中岩粉侵入以及与炸药混合模式进行试验分析,研究岩粉颗粒对炸药的物理性能及起爆性能的影响。试验结果表明,不同的岩粉颗粒密度以及混入炸药内部岩粉质量分数不同,对炸药的影响程度也不同。具体表现为岩粉颗粒密度增大,对炸药的影响程度增大;而对于同一密度岩粉颗粒,随着混入炸药质量分数增大,对炸药影响也逐渐增大。为改善现场混装乳化炸药堵塞方式提供一定的参考依据。

[关键词] 混装乳化炸药 混合 岩粉密度 岩粉的质量分数 起爆

[分类号] TD235.2+1 TQ56

引言

随着炸药混装技术的不断提高,我国矿山、水利等工程对混装乳化炸药的使用越来越广泛。在实际现场混装乳化炸药爆破工程中,使用混装乳化炸药装药完毕后,一般采用炮孔周边岩粉进行堵塞^[1-3]。但是在长期的现场装药爆破实践中发现,充填到炮孔内的岩粉会侵入炸药内部与部分炸药相互混合,导致乳化炸药性能受到不同程度的影响^[4-5],造成孔口炸药能量损失。由于岩粉混入乳化炸药,导致部分乳化炸药爆炸性能受到影响,造成实际有效装药量不足,孔口部分炸药爆破能力利用率下降,爆破大块率增大,影响爆破效果^[6],并造成部分炸药浪费,增大矿山爆破实际生产成本。针对这种情况,不少研究者研究隔离炸药与岩粉的相关设备及措施,以达到保障炸药能量充分利用的目的^[7-9]。为此,利用试验对岩粉与炸药的混合模式进行分析,研究炸药的理化性能的变化。同时,将混入岩粉的炸药进行起爆试验,分析岩粉对混装乳化炸药的影响程度,为改善现场混装乳化炸药堵塞方式提供一定的参考依据。

1 试验条件与方法

试验采用 BCRH-15C 型混装乳化炸药装药车制备的乳化炸药进行装药,该混装装药车输药软管卷

筒内径为 30mm,其装药速度一般控制在 200 kg/min 以内。选取 1kg 现场刚制备出的混装乳化炸药,按照质量分数 5%、10%、15%、20% 称量岩粉并与炸药混合,观察乳化炸药物理性能以及起爆性能。其中,乳化炸药性能参数:密度为 1150kg/m³,温度为 75℃。然后利用一发 8 号雷管对混入岩粉炸药的起爆性能进行测试分析。

2 混装乳化炸药与不同质量分数岩粉混合试验及结果分析

2.1 3 组乳化炸药混合试验

选取 3 组不同密度的岩粉进行混合试验,则将不同质量分数的岩粉与炸药混合试验分为 3 组,即 1[#]、2[#]、3[#]乳化炸药。

1) 1[#]乳化炸药选取的岩粉密度为 1375kg/m³。取 1000g 乳化炸药,按照质量分数不同,分别选取 50g、100g、150g、200g 岩粉,并将岩粉与乳化炸药进行混合。将不同质量的岩粉与乳化炸药混合之后,放置在干燥阴凉地方。经过 4h 之后,观察乳化炸药变化情况。试验结果如图 1 所示。

2) 2[#]乳化炸药选取的岩粉密度为 1435 kg/m³,试验步骤同 1[#]乳化炸药,试验结果如图 2 所示。

3) 3[#]乳化炸药选取的岩粉密度为 1314 kg/m³,试验步骤同 1[#]乳化炸药,试验结果如图 3 所示。

* 收稿日期:2013-01-14

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划重点项目(2011BAB05B03),国家自然科学基金项目(51104112)

作者简介:李晓虎(1986~),男,硕士,主要从事爆破安全技术方面的研究工作。E-mail:lxh19860903@163.com

通信作者:王玉杰(1956~),男,教授、博导,主要从事采矿工程、爆破工程和安全工程的教学、科研和工程工作。E-mail:yjwwhut@163.com

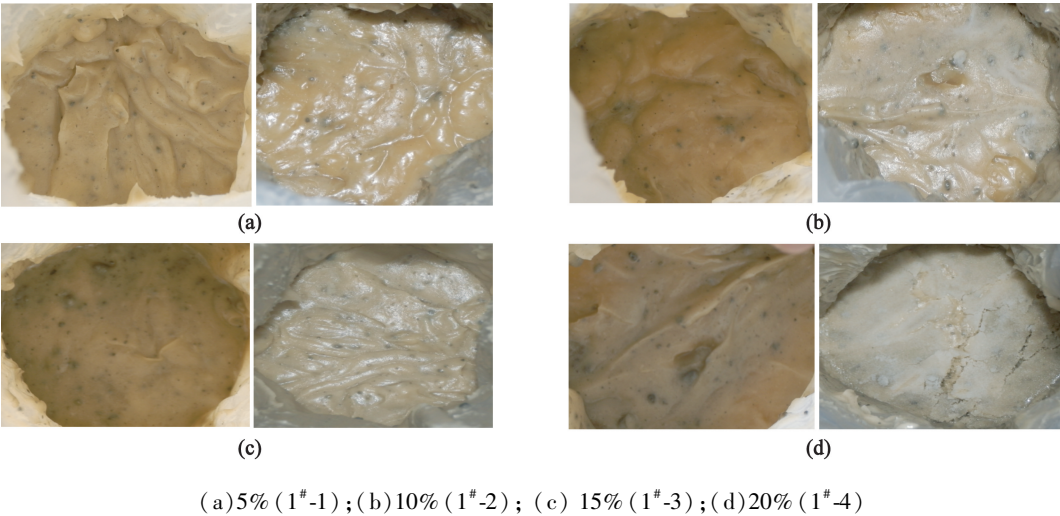


图 1 混入不同质量分数岩粉的 1[#]乳化炸药混合前后变化情况对比

Fig. 1 Comparison of 1[#] emulsified explosive mixed with different mass fraction of rock powder

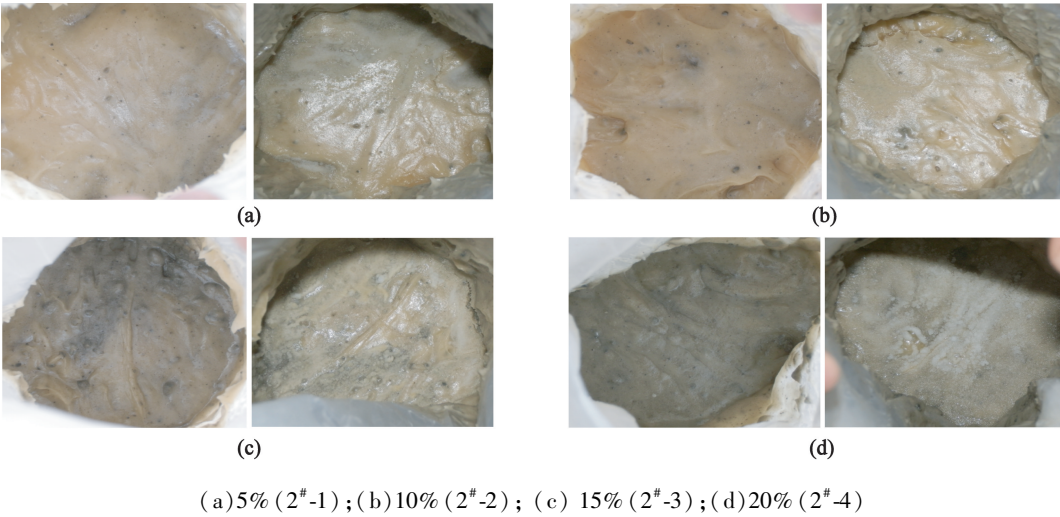


图 2 混入不同质量分数岩粉的 2[#]乳化炸药混合前后变化情况对比

Fig. 2 Comparison of 2[#] emulsified explosive mixed with different mass fraction of rock powder

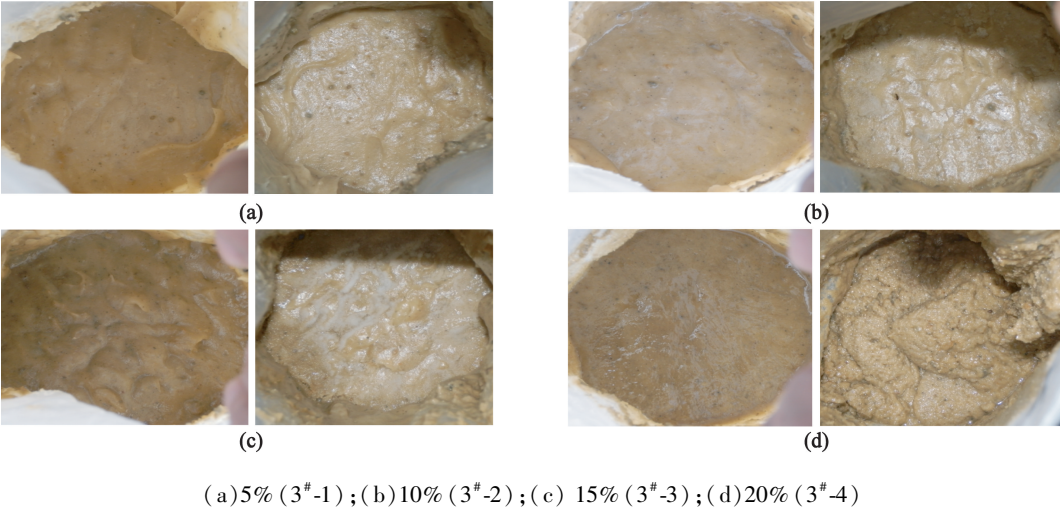


图 3 混入不同质量分数岩粉的 3[#]乳化炸药混合前后变化情况对比

Fig. 3 Comparison of 3[#] emulsified explosive mixed with different mass fraction of rock powder

由上述 3 组试验可知,不同质量分数岩粉与炸药混合初始以及经过 4h 的储存之后发生了明显的变化,具体见表 1。

2.2 混合岩粉颗粒的乳化炸药起爆能力测试试验

根据实际爆破施工时间安排,一般炮孔装药堵塞结束至起爆中间有一定的时间间隔,可以认为这段时间是乳化炸药在炮孔内部的存储时间。为了研究乳化炸药与岩粉混合后炸药的起爆能力,则将岩粉颗粒与乳化炸药按照不同比例混合后储存在干燥阴凉的地方 4h,并利用一发标准的 8 号雷管对试验样品炸药的起爆能力进行试验分析^[10]。试验结果见表 2 和图 4。

2.3 结果分析

现场混装乳化炸药直接输入炮孔后,使用岩粉颗粒直接堵塞炮孔时,岩粉颗粒直接冲击炸药液面形成一定深度的岩粉炸药混合区域,造成该部分区域炸药性能发生变化。根据试验得出:

1)对同一种密度的岩粉,随着乳化炸药中岩粉质量分数增加,乳化炸药混合之后外观颜色逐渐变黑,经过 4h 储存之后,乳化炸药表面有明显的晶体析出,混入岩粉质量分数越高的乳化炸药析晶程度也大,炸药粘性降低并且整体变硬,逐渐失去流体特征。由于岩粉颗粒破坏了乳化炸药内部敏化气泡的分布与结构,使得炸药油包水结构不能够稳定存在,即造成炸药破乳,严重影响其爆炸性能。随着时间的增加,炸药温度降低,其内部硝酸铵就会结晶析出,炸药彻底失去爆炸性能。

2)根据对炸药析出晶体面积以及炸药流体特性观察,对 12 个试验样品进行析出晶体程度排序,从析出晶体最少开始,依次为:3[#]-1、3[#]-2、1[#]-1、1[#]-2、2[#]-1、3[#]-3、3[#]-4、2[#]-2、1[#]-3、1[#]-4、2[#]-3、2[#]-4。可知,乳化炸药与岩粉混合后,炸药性能变化不仅与混入岩粉的质量分数有关,还与岩粉本身的密度有关。

3)混合试验结果表明,不同的岩粉颗粒密度以

表 1 岩粉与炸药混合情况
Tab. 1 Condition of rock powder mixed with the explosive

混合比例		混合初始时混合状态	经过 4h 的储存混合状态
1 [#] 乳化炸药	5% 岩粉 (1 [#] -1)	呈淡黄色透明体,有许多均匀气泡分布在炸药内部,而岩粉颗粒不均匀地分布在乳化炸药内部	颜色稍微有些变化,炸药颜色变淡,部分表面有少量白色晶体析出,乳化炸药稍微变硬,仍呈流体状,有粘性
	10% 岩粉 (1 [#] -2)	呈暗黄色,仍有大量气泡分布在炸药内部,岩粉在炸药内部呈不均匀分布	颜色有明显变化,表面呈淡白色,有白色晶体析出,乳化炸药部分变硬,流体特性变差,粘性差
	15% 岩粉 (1 [#] -3)	呈暗黄色,仍有气泡分布在炸药内部,但是观察不明显,岩粉在炸药内部呈不均匀分布	颜色表面呈淡白色,有大量白色晶体析出,乳化炸药整体较硬,流体特性较差,粘性较差
	20% 岩粉 (1 [#] -4)	呈暗黄色,有少量气泡分布在炸药内部,但是观察不明显,岩粉在炸药内部呈不均匀分布	颜色表面呈淡白色,有大量白色晶体析出,炸药整体变硬,流体特性非常差,呈半固态状,无粘性
2 [#] 乳化炸药	5% 岩粉 (2 [#] -1)	呈淡黄色透明体,局部有呈现淡白色,有许多均匀气泡分布在炸药内部,而岩粉颗粒分布不均匀	颜色稍微有些变化,炸药颜色变淡,表面约 1/3 部分出现析出晶体,乳化炸药稍微变硬,仍呈流体状,有一定粘性
	10% 岩粉 (2 [#] -2)	呈暗黄色,仍有大量气泡分布在炸药内部,但不均匀	颜色有明显变化,呈淡白色,表面约 1/2 部分析出晶体,炸药变硬,流体特性较差,粘性较差
	15% 岩粉 (2 [#] -3)	呈黄黑色,无法观察出炸药内部气泡	颜色表面呈白黄色,表面基本全部析晶,炸药变硬;呈半固态状,基本无粘性
	20% 岩粉 (2 [#] -4)	呈淡黑色,无法观察炸药内部气泡	颜色表面呈黄白色,有大量白色晶体析出,部分晶体呈条状,炸药整体较硬,呈颗粒状,无粘性
3 [#] 乳化炸药	5% 岩粉 (3 [#] -1)	呈暗黄色透明体,有均匀气泡分布在炸药内部,而岩粉颗粒分布不均匀	颜色变淡,部分呈淡白色,部分表面有少量白色晶体析出,仍呈流体状,有粘性
	10% 岩粉 (3 [#] -2)	呈暗黄色,可观察到有气泡分布在炸药内部,但不均匀	颜色有变化,表面呈淡白色,有少量白色晶体析出,炸药呈半流体状,较少部分局部变硬,流体特性变差,粘性差
	15% 岩粉 (3 [#] -3)	呈黄黑色,无法观察出炸药内部气泡分布情况	颜色表面呈淡黄白色,表面有 1/2 部分析出晶体,析出晶体部分呈条形状,炸药整体较硬,有明显晶体颗粒,流体特性较差,呈半固态状,粘性较差
	20% 岩粉 (3 [#] -4)	试验失败	—

表 2 3 组混入不同质量分数岩粉颗粒后
乳化炸药的起爆试验结果统计

Tab.2 Detonation results of three emulsion explosives
mixed with different mass fractions of rock powder

密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	质量分数/%			
	5	10	15	20
1314(3 [#] 乳化炸药)	半爆 (3 [#] -1)	半爆 (3 [#] -2)	拒爆 (3 [#] -3)	拒爆 (3 [#] -4)
1375(1 [#] 乳化炸药)	爆燃 (1 [#] -1)	爆燃 (1 [#] -2)	拒爆 (1 [#] -3)	拒爆 (1 [#] -4)
1435(2 [#] 乳化炸药)	爆燃 (2 [#] -1)	拒爆 (2 [#] -2)	拒爆 (2 [#] -3)	拒爆 (2 [#] -4)

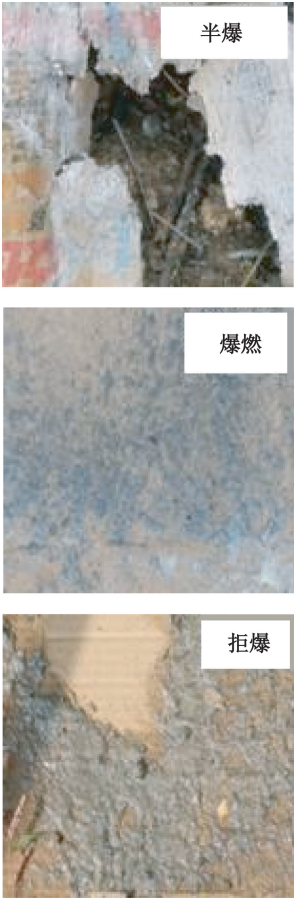


图 4 炸药半爆、爆燃、拒爆试验结果图

Fig.4 Experiment results of explosive undergoing
incomplete explosion, deflagration and misfiring

及混入炸药内部岩粉质量分数不同,对炸药的影响程度也不同。混入炸药中的岩粉密度越大,质量分数越大,对炸药的起爆性能影响越大。

3 爆破工程实例及采取的措施

为了验证岩粉混入炸药对矿山爆破的影响,则对 1345 台阶两次爆破数据进行收集对比。1345 台阶北部由于在爆破堵塞过程中,岩粉颗粒直接冲击炸药液面,并沉入炸药内部与炸药相互混合,导致混合部分区域炸药爆炸性能变差,最终导致孔口上部炸药能量不足造成爆破效果差、局部大块率较大等情况。而 1345 台阶中部区域由于采取相关措施,最后爆破效果相对较好。对两次爆破大块率数据进行收集得到两次爆破质量数据,见表 3。

由表 3 可知,堵塞过程中岩粉颗粒直接与炸药接触混合,最终的爆破相关数据显示,孔口上部爆破效果明显较差,大块率统计数据为 6.82%。而在堵塞炮孔前采取将炸药与岩粉颗粒隔离措施,爆破效果与北部爆破结果对比具有明显的优势,其大块率统计为 4.03%。

为此,在实际的现场施工过程中为了减少岩粉对炸药性能的影响,主要采取以下两种措施:

1)设计了一款混装乳化炸药下药器,下药器上部呈漏斗状,可以卡住空口,四周有轴承固定软管位置,下部延伸部分竖直深入炮孔,并预留导爆管位置。确保输药软管垂直下料,不与孔口及孔口壁摩擦,隔离输药管与孔口岩粉,避免了输药管在炮孔输药过程中以及输药完毕后的提升过程中破坏孔口,造成孔口塌陷,岩粉落入孔内并侵入炸药内部,在实际操作过程中取得很好的效果。

2)在进行堵塞炮孔前,采用隔离袋将炸药与堵塞岩粉隔开,有效地减少在堵塞过程中岩粉侵入炸药的质量以及深度。

4 结语

采用了岩粉与炸药的混合试验以及实际的爆破工程实例进行验证,对混入岩粉的炸药的性能进行分析,得出以下几点结论:

1)岩粉对炸药的影响是不可忽视的,在装药过

表 3 1345 台阶爆破质量统计数据

Tab.3 Statistical data for the quality of 1345-bench blasting

爆区位置	爆破时间	孔网参数/ m	乳化炸药密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	岩粉颗粒密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	孔口大块率/ %	后冲距离/ m
1345 台阶北部	2012-05-01	6.5 × 5.0	1150	2632	6.82	3.5
1345 台阶中部	2012-05-19	6.5 × 5.0	1130	1964	4.03	4.2

程中,混入岩粉的炸药性能与岩粉的物理性能及混入质量分数等有关。

2)混入岩粉后的炸药不仅储存性能变差,而且其爆炸性能也受到不同程度的影响。混入岩粉越多,储存性能越差,其爆炸性能也逐渐变差,甚至失去爆炸性能。

3)通过对同一矿山同一台阶的两次工程爆破实践进行对比分析可知,在实际爆破工程中,若岩粉与炸药直接接触,岩粉颗粒会沉入炸药中,并以不同形式和炸药相互混合,对炸药的爆炸性能存在一定的影响,造成孔口上部炸药能力利用率降低,甚至拒爆,影响爆破效果。

参 考 文 献

- [1] 叶海旺,康强,赵明生,等. 节理裂隙岩体空气间隔装药爆破试验研究[J]. 爆破,2012,29(2):26-30,37.
Ye Haiwang, Kang Qiang, Zhao Mingsheng, et al. Experimental study on air-decking charging explosion in jointed and fractured rock mass [J]. Blasting, 2012, 29(2): 26-30, 37.
- [2] 胡燕武,林文勇. 现场混装乳化炸药在华润红水河公司露天矿山的应用[J]. 爆破,2011,28(4):53-56.
Hu Yanwu, Lin Wenyong. Application of on-site mixed emulsion explosive in China resources Hongshuihe Cement open mine[J]. Blasting, 2011, 28(4): 53-56.
- [3] 秦院波. 混装乳化炸药在拉拉铜矿露天深孔爆破的应用与探讨[J]. 采矿技术,2008,8(4):133-134,143.
- [4] 叶海旺,吴凯,王洋,等. 多孔粒状混装铵油炸药爆炸性能试验研究[J]. 爆破,2011,28(1):100-103.
Ye Haiwang, Wu Kai, Wang Yang, et al. Experiment research on explosion performance of mixed ANFO explosive

sive[J]. Blasting, 2011, 28(1): 100-103.

- [5] 叶图强,郑旭炳,汪旭光,等. 装药车制乳化炸药的试验研究[J]. 含能材料,2008,16(3):262-266.
Ye Tuqiang, Zheng Bingxu, Wang Xuguang, et al. Experimental study on emulsion explosive made by loading machine[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(3): 262-266.
- [6] 荣光富,汪兴国,张道振,等. 现场混装乳化炸药不耦合装药技术及工程实践[J]. 爆破器材,2010,39(6):22-25.
Rong Guangfu, Wang Xingguo, Zhang Daozhen, et al. Research and application of decouple charge blasting for site mixing emulsion explosive[J]. Explosive Materials, 2010, 39(6): 22-25.
- [7] 黄泽斌. 德兴铜矿露天爆破隔离塞的研制与应用[J]. 金属矿山,2008(1):151-152.
- [8] 仲峰,苗涛,刘侃. 混装乳化炸药车装药控制系统关键问题的研究[J]. 爆破,2011,28(4):90-92,96.
Zhong Feng, Miao Tao, Liu Kan. Research of key problems on charging control system of site mixed truck for emulsion explosive[J]. Blasting, 2011, 28(4): 90-92, 96.
- [9] 王清华,宋领,付军,等. 改进层次分析法分析现场混装乳化炸药爆破成本影响因素[J]. 爆破器材,2009,38(5):14-18.
Wang Qinghua, Song Ling, Fu Jun, et al. Analysis of cost factors for site mixed emulsion explosive blasting by improved analytic hierarchy process[J]. Explosive Materials, 2009, 38(5): 14-18.
- [10] 王玉杰. 爆破工程[M]. 武汉:武汉理工大学出版社,2007.

Experimental Analysis on the Performance of Mixed Emulsion Explosive Due to the Addition of Rock Powder

LI Xiaohu^①, PENG Li^②, WANG Xuejin^②, XUE Yanhe^②, WANG Yujie^③

^①Gezhouba Explosive Co., Ltd. (Chongqing, 400023)

^②He'nan Qianjin Chemical Technology Group Co., Ltd. (He'nan Luoyang, 471600)

^③School of Resources and Environment Engineering, Wuhan University of Technology (Hubei Wuhan, 430070)

[ABSTRACT] In mine blasting projects, onsite mixed emulsion explosives filling and direct blast hole clogging by rock powders are used, which may result in the rock powder particles intrusive into the explosives' internal structure and mixing with each other when charging with. To this ends, the rock powder intrusion during the clogging process as well as explosives mixed mode was analyzed to examine the effects of rock powder particles on the physical properties and initiation behaviors of explosives. Test results show that the density of rock powder particle and the mass fractions of rock powder increase when mixed into explosives at constant density, that will bring significant influence to the performance of the explosives. It provides a reference for the improvement of the onsite mixed emulsion explosives clogging.

[KEY WORDS] mixed emulsion explosive, mixed, rock powder density, mass fraction of rock powder, blasting