

文章编号: 1006-9941(2014)06-0857-05

高威力三级煤矿许用水胶炸药的试验研究

汪海波, 郭子如, 宗琦

(安徽理工大学土木建筑学院, 安徽淮南 232001)

摘要: 针对煤矿井下岩巷掘进爆破三级煤矿许用炸药爆炸能量低、循环进尺少、炮孔利用率低的问题, 通过实验室试验和工厂中间试验, 研制了提高炸药爆破威力的新配方, 采用煤矿许用炸药抗爆燃性能测试方法及判定(GB/T20061-2006)、煤矿许用炸药可燃性安全度试验方法及判定(GB18097-2000), 对送检水胶炸药样品进行可燃性安全度检验、爆轰速度、做功能力测试, 测试结果表明, 储存6个月后高威力三级煤矿许用水胶炸药的爆速 $3600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、做功能力 239 mL、有毒气体含量 $20 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$, 优于现有的二级煤矿许用水胶炸药, 可燃性安全度、抗爆燃性均达到三级煤矿许用水胶炸药标准。现场岩巷掘进工业试验对循环进尺、炮孔利用率、炮孔深度、矸石块度、抛掷距离、巷道周边成型以及炸药消耗量等的统计和比较结果表明, 在同等条件且爆破材料消耗基本相当的情况下, 高威力三级煤矿许用水胶炸药的破岩能力接近二级煤矿许用水胶炸药, 高于三级煤矿许用水胶炸药。

关键词: 应用化学; 煤矿许用水胶炸药; 爆炸性能; 安全性; 炸药威力; 应用试验

中图分类号: TJ55; O69

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2014.06.028

1 引言

我国“缺油、少气、多煤”, 煤炭占一次能源消费结构的70%左右, 今后相当长时期内煤炭仍将是我国的主要能源^[1]。《煤矿安全规程》规定^[2], 有瓦斯突出危险的矿井的爆破作业, 只容许使用三级煤矿许用炸药。对于软岩和煤, 三级煤矿许用炸药可满足爆破破碎的需求, 但对中硬以上的岩石, 则现有的三级煤矿水胶炸药和三级煤矿乳化炸药的爆破破岩能量不足。大量的生产实践证明^[3-6], 对中硬岩石, 采用三级煤矿许用炸药, 爆破的炮孔利用率低, 岩巷掘进效率低下。因此, 现有煤矿三级许用炸药远不能满足煤矿建设和煤炭高效开采的需要。

我国现有常用的煤矿炸药主要有两大类, 一类是乳化炸药, 另一类是水胶炸药, 水胶炸药在爆轰稳定性、爆轰可靠性以及爆炸能量水平方面比乳化炸药优越。目前, 主要通过向炸药中加入消焰剂、提高炸药的爆轰稳定性、降低炸药的燃烧性、改进装药结构来提高煤矿炸药安全性^[7-9], 国内已有研制作功能力强的新型三级煤矿许用乳化炸药的案例^[10], 而三级煤矿许用

水胶炸药的配方和生产技术自20世纪80年代初从美国杜邦公司引进后^[7], 配方改变较少, 系统研究和改进较少。鉴于水胶炸药中一般含有高能物质(硝酸甲胺), 较易调节爆炸能量和瓦斯安全性的关系, 为此, 本研究选择了以水胶类炸药研制高威力三级煤矿许用水胶炸药, 通过不同配方炸药的性能检测, 选取最优配方进行中试和现场试验, 与现有的三级和二级煤矿许用水胶炸药的爆破效果进行对比分析。

2 新配方的设计与性能

2.1 新配方的设计

炸药的爆炸性能主要包括爆速、猛度和作功能力、合适的殉爆距离, 而作功能力决定了炸药爆炸后造成被爆介质破坏范围的大小。炸药作功能力表达式表明, 增加爆热和比容均可以使作功能力有所提高^[7]。常用的方法主要有^[11-12]: (1) 根据零氧平衡原则设计炸药的配方。因炸药在零氧平衡时, 爆炸反应完全, 放出的热量最大、作功能力也最大; (2) 加入金属粉末。通常加入铝粉、镁粉或铍粉, 来提高爆炸混合药剂体系的爆热, 从而较大幅度提高炸药的作功能力; (3) 采用细化、超细化的原材料和高温下的液液混合, 提高炸药的氧化剂、可燃剂、敏化剂和功能添加剂之间的混合均匀性, 充分发挥氧化剂、可燃剂分子的作用, 提高炸药爆轰的释放能量; (4) 增加炸药的比容。

这四种方法对提高三级煤矿许用水胶炸药的爆炸

收稿日期: 2014-01-20; 修回日期: 2014-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51274009, 51374012, 51134012), 安徽省博士后基金项目

作者简介: 汪海波(1983-), 男, 讲师, 主要从事爆破工程方面的教学与研究工作。e-mail: wanghb_aust@163.com

性能存在一定困难,因为三级煤矿许用水胶炸药的配方就是根据零氧平衡原则设计,而后三种方法提高爆热对保证炸药的安全性不利。

现有三级煤矿许用水胶炸药采用惰性物质大理石粉(CaCO_3)作为消焰剂,大理石粉的化学阻化效率低,炸药爆轰反应时,参与爆轰反应分解吸热,要达到相应的安全级别,就需要添加更多的量,造成炸药的爆炸能量大大降低。根据研究,碱金属卤化物是瓦斯燃烧分解反应最有效的化学阻化剂,其消焰机理和大理石粉不同,与大理石粉相比其在含量很少的情况下就能达到相应的安全等级,且炸药的爆炸能量消耗较小。

因此,在对现有二级、三级煤矿许用水胶炸药的配方、制造工艺和爆炸性能全面考查的基础上,通过分析卤化物消焰剂的物理化学性质,研究采用高效碱金属卤化物消焰剂来代替现有三级煤矿许用水胶炸药配方中的大理石粉,并对其它成分(主要为硝酸甲胺

(MMAN)、硝酸铵(AN)、硝酸钠(SN)、田菁胶(TG)、水(H_2O)、铝粉(Al)和膨胀珍珠岩)的配比进行调整,设计了新配方高威力三级煤矿许用水胶炸药,保证了煤矿许用水胶炸药可燃气安全度等级,提高了炸药的爆炸能量。通过不同配方爆炸性能和安全性检测结果对比,得到最优配方;利用安徽舜泰化工有限股份公司的水胶炸药生产线,进行最优配方中试生产。

2.2 高威力三级煤矿许用水胶炸药的性能

中试产品和存储6个月后的产品,送国家安全生产淮北民用爆破器材检验测试中心进行检测,按照煤矿许用炸药抗爆燃性能测试方法及判定(GB/T20061-2006)^[13]、煤矿许用炸药可燃气安全度试验方法及判定(GB18097-2000)^[14],对送检水胶炸药样品进行可燃气安全度检验、爆轰速度、做功能力测试,现有二、三级煤矿许用水胶炸药性能见《水胶炸药》(GB18094-2000)^[15]。检验结果见表1。

表1 高威力三级、二级和三级煤矿许用水胶炸药检测结果

Table 1 Test results of the high power class 3, class 3 and 2 permissible water gel explosive for coalmine

performance	high power class 3 permissible water-gel explosive		class 2 permissible water-gel explosive	class 3 permissible water-gel explosive	conclusion
	pilot-scale	after storage			
density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.11	1.09	0.95 ~ 1.25	0.95 ~ 1.25	accepted
sympathetic detonation distance /cm	3/3	3/3	≥ 2	≥ 2	accepted
detonation velocity/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	3300	3600	≥ 3200	≥ 3000	accepted
brisance/mm	13	14	≥ 10	≥ 10	accepted
power/mL	228	239	≥ 220	≥ 180	accepted
toxic gas composition/ $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$	31	20	≤ 80	≤ 80	accepted
fuel gas safety/g	429	>400	$\geq 180\text{g}$	$\geq 400\text{g}$	accepted
impact sensitivity	0	0	blast probability $\leq 8\%$		accepted
friction sensitivity	0	0	blast probability $\leq 8\%$		accepted
thermal sensitivity	0/3	0/3	combustion or blast frequency 0/3		accepted
anti-deflagration	0/10	0/10	sampling plan: 10, 10/0, 2:1, 2		accepted
coal dust - fuel gas safety/g	>250	>250	sample mean $\geq 150\text{g}$	sample mean $\geq 250\text{g}$	accepted

表1结果表明,高威力三级煤矿许用水胶炸药的可燃气安全度满足三级煤矿许用水胶炸药要求,爆速、做功能力、猛度等爆炸性能指标则达到二级煤矿许用水胶炸药标准;且储存6个月后,炸药的安全及爆炸性能没有下降,储存的稳定性也满足要求。

3 现场试验

3.1 工程概况

试验选在淮南矿业集团所属新庄孜煤矿-774 m北一~北部B4底板回风大巷进行。试验前,通过井下实地勘察、查阅资料、交流等方式,对掘进工作面的实际情况进行调研,包括巷道基本情况、穿过的岩石性质、使用

的掘进设备、爆破材料、施工作业方式、施工组织等;在此基础上,进行中深孔掘进爆破方案和参数设计。

试验段巷道为直墙拱形断面,巷道掘进宽度5.5 m、掘进高度4.25 m,其中墙高1.5 m,掘进断面面积20.13 m^2 。巷道穿过岩层主要为中粗砂岩,灰白色,中厚层状,含少量石英成分,整体性好、裂隙少、坚硬难爆,实测岩石的坚固性在 $f=8 \sim 10$ 。

巷道施工采用的主要设备有:CMJ17HT型凿岩台车、P-90B耙矸机、激光定向仪、电机车牵引3.0吨矿车运输。

3.2 试验方案与爆破参数

基本思想:在同一条巷道、同一爆破参数,分别采用二级煤矿许用水胶炸药、三级煤矿许用水胶炸药和

高威力三级煤矿许用水胶炸药进行现场试验,对爆破效果进行统计分析和比较。

(1) 爆破器材: 药卷规格为: $\phi 35\text{ mm}\times 330\text{ mm}\times 330\text{ g}$, 1-5 段 3.5 m 长脚线毫秒延期电雷管。

(2) 掏槽形式与炮孔深度: 采用目前较为高效的新型底部集能掏槽方式^[3,6], 具体为楔形斜眼加中心直眼掏槽方式, 两个一阶中心直眼, 六个二阶主掏槽楔形斜眼, 深度均为 2.6 m, 每组对称两楔形斜眼眼间距 1400 mm, 上下眼距 400 mm, 要求钻眼时满足方向(角度)和深度要求。设计其它炮眼深度 2.3 m。

(3) 崩落眼: 紧挨掏槽眼的第一圈崩落眼(或称为辅助眼)与掏槽眼眼口间距控制在 150~300 mm(设计值 250 mm), 以避免孔底抵抗线太大难以崩落。

崩落眼间距和排距控制在 500~650 mm, 上部布置参数较大、下部相对较小, 炮孔尽可能均匀布置。

(4) 周边眼布置: 周边眼采用光面爆破技术, 炮孔布置在巷道掘进轮廓线上, 钻孔稍微向外偏斜, 孔底落在轮廓线外 50~100 mm, 各炮孔相互平行, 深度基本一致。严格控制周边眼(特别是顶眼)间距, 由于岩石坚硬、整体性好, 周边炮眼间距适当加大, 控制在 450~500 mm, 帮眼眼距 450 mm。

底眼钻孔时, 开孔位置高出巷道底板 150 mm, 适当倾斜下扎, 孔底落在巷道底板下 150~200 mm。

(5) 装药结构: 底眼采用正向装药结构, 其它炮眼采用反向装药结构。药卷用炮棍推至炮孔底部、连续装填, 药卷间不能留有间隙或碎石, 以保证药卷顺利传爆。周边眼上部采用水垫层装药结构, 即装完药卷后填少量炮泥固定药卷, 紧跟着充填 5~6 卷水炮泥, 最后炮泥封堵。

(6) 起爆网络与顺序: 采用串并联连线方式, 各串联组雷管数目要基本相同(相差不超过三个), 以保证

各路电阻平衡。采用 200 发大功率发爆器, 起爆顺序为: 掏槽眼→崩落眼→周边眼(顶眼、帮眼和底眼)。

现场采用的爆破参数见图 1 和表 2。

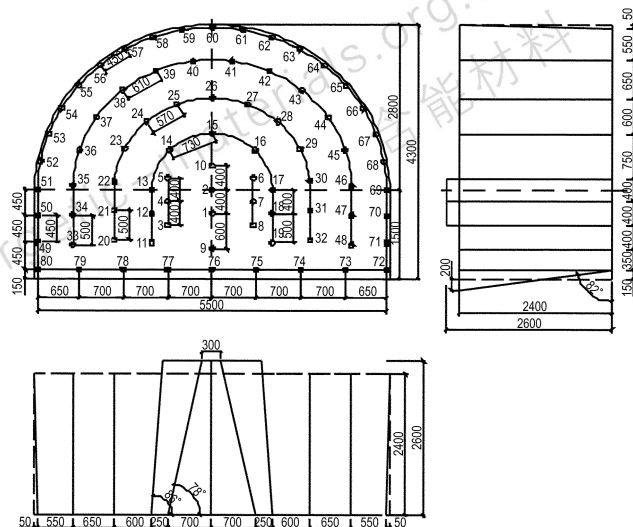


图 1 炮孔布置图

Fig. 1 Layout of blast holes

4 结果与讨论

按设计方案和爆破参数进行现场试验, 其中, 二级煤矿许用水胶炸药试验共进行了 20 个循环, 循环进尺均在 2.0~2.2 m, 总进尺 42.2 m。三级煤矿许用水胶炸药试验共进行了 16 个循环, 平均循环进尺均 1.875 m, 总进尺为 30.0 m。高威力三级煤矿许用水胶炸药试验共进行了 22 个循环, 循环进尺均在 2.0 m 以上, 总进尺 45.0 m。

不同炸药试验期间的原始条件、爆破器材消耗和综合爆破效果如表 3 所示。

表 2 爆破参数

Table 2 Blasting parameters in experimental

blast hole	hole number	hole quantity	depth /m	hole diameter /mm	loop diameter /mm	charge			detonation order
						volume per hole	mass per hole /kg	total mass /kg	
central hole	1~2	2	2.6	400		4.0	1.32	2.64	I
cut hole	3~8	6	2.6	400	1400	5.0	1.65	9.9	I
auxiliary hole	9~19	11	2.6	400,730	250	4.0	1.32	14.52	II
caving hole ¹⁾	20~32	13	2.3	500,570	600	4.0	1.32	17.16	III
caving hole ²⁾	33~48	16	2.3	500,610	650	3.0	0.99	15.84	IV
side hole	49~51,69~71	6	2.3	450	550	3.0	0.99	5.94	V
upper hole	52~68	17	2.3	450	550	2.0	0.66	11.22	V
bottom hole	72~80	9	2.3	600		4.0	1.32	11.88	V
total		80						89.1	

Note: 1) Caving hole close to the auxiliary hole; 2) Caving hole close to side hole and upper hole.

表3 不同炸药爆破试验综合效果比较(平均值)

Table 3 Blasting test results of different explosive(average value)

parameter	class 2 permissible water-gel explosive	class 3 permissible water-gel explosive	high power class 3 permissible water gel explosive	relativity (class 2/ class 3)
basal area of roadway/m ²	20.1	20.1	20.1	—
hole depth/m	2.25	2.25	2.25	—
hole utilization ratio/%	93.8	83.3	91.1	-2.7/7.77
footage/m	2.11	1.875	2.05	-0.06/0.18
rock solid volume/m ³	42.4	37.8	41.2	-1.2/3.4
hole amount	78	78	78	0
total length of hole/m	177.6	177.6	177.6	0/0
explosive consumption/kg	91.9	93.99	92.4	0.5/-0.99
detonator consumption/projectile number	78	78	78	0
explosive consumption of unit volume/kg · m ⁻³	2.18	2.47	2.24	0.06/-0.23
detonator unit consumption of unit volume projectile number · m ⁻³	1.84	2.06	1.89	0.05/-0.17
explosive consumption per meter/kg · m ⁻¹	43.55	49.81	45.07	1.52/-4.73
detonator consumption per meter/projectile number	36.97	41.49	38.05	1.08/-3.44
hole consumption per meter/m · m ⁻¹	84.17	94.72	86.63	2.46/-8.09
recurrent number a day/projectile number	2	2	2	0
lumpiness of rock	Lumpiness of class 3 water gel explosive is larger than class 2 and high power class 3, class 2 and high power class 3 almost the same, lumpiness is about 150~400mm, suitable for load and unload.			
casting	the maximum throw distance is about 0~15 m			
quality of shape	Greater			

Note: During charge, 5 cm stemming material in bottom of hole, actual hole depth is 2.25 m.

由表3统计结果可明显看出不同炸药爆破效果的差别:

(1) 与二级煤矿许用水胶炸药相比,高威力三级煤矿许用水胶炸药的爆破效果非常接近,平均循环进尺少0.06 m;在爆破材料和炮眼消耗方面,循环炮眼消耗持平,平均循环炸药消耗增加0.5 kg,炸药单耗增加0.06 kg · m³,雷管单耗增加0.05发/m³。可见,高威力三级煤矿许用水胶炸药的爆破效果基本达到二级煤矿水胶炸药的水平,而且爆破材料和炮眼消耗差别很小。

(2) 与三级煤矿许用水胶炸药相比,高威力三级煤矿许用水胶炸药爆破效果显著提高,平均循环进尺提高了0.18 m,循环破岩实体体积增大了3.4 m³。在爆破材料和炮眼消耗方面,平均循环炸药消耗减少0.99 kg,炸药单耗降低0.23 kg · m³,雷管单耗降低了0.17发/m³;掘进每米巷道的炸药消耗减少4.73 kg、雷管消耗减少3.44发、炮眼消耗减少8.09 m,节省比例分别为5.06%、4.41%、4.55%,爆破效果显著。

(3) 由于岩石坚硬、整体性好,三种炸药试验过程中巷道周边光面爆破效果良好,岩石破碎块度均匀,大

块率低,块径一般都在150~400 mm;仅三级煤矿许用水胶炸药试验时块度稍大,有少数达500 mm。爆堆也较为集中、抛掷距离无明显差别,大量岩石的抛掷距离集中距工作面在0~15 m的范围内,最大抛掷距离控制在25 m以内。

5 结论

(1) 高威力三级煤矿许用水胶炸药的爆速3300 m · s⁻¹、作功能力228 mL、猛度13 mm,达到二级煤矿许用水胶炸药标准,可燃气体安全度429 g、满足三级煤矿水胶炸药的要求;且储存6个月后,炸药的安全及爆炸性能没有下降,爆速3600 m · s⁻¹、做功能力239 mL、猛度14 mm、可燃气体安全度>400 g,储存稳定性满足要求。

(2) 经国家安全生产淮北民用爆破器材检验测试中心,高威力三级煤矿许用水胶炸药的摩擦感度、撞击感度、热感度及抗爆燃性能等安全性能满足三级煤矿许用水胶炸药的安全性能标准要求。

(3) 在相同的试验条件下,三级高威力煤矿许用水胶炸药的爆破效果接近二级煤矿水胶炸药,表明高威力三级煤矿许用水胶炸药的爆破威力基本上接近于

二级炸药的爆破威力。

(4) 在相同的试验条件下,高威力三级煤矿许用水胶炸药的爆破效果明显优于现有的三级煤矿水胶炸药,同时在每米巷道材料消耗方面高威力三级煤矿许用水胶炸药也要低 4%~5%,充分证明了此种水胶炸药的优越性。

参考文献:

- [1] 钱鸣高. 煤炭的科学开采[J]. 煤炭学报, 2010, 35(4): 529-534.
QIAN Ming-gao. On sustainable coalmining in China[J]. *Journal of China Coal Society*, 2010, 35(4): 529-534.
- [2] 国家安全生产监督管理局, 国家煤矿安全监察局. 煤矿安全规程[S]. 北京: 煤炭工业出版社, 2011.
State Administration of Work Safety, State Administration of Coal Mine Safety. Safety regulations in coal mine[S]. Beijing: China Coal Industry Press, 2011.
- [3] 宗琦, 刘菁华. 煤矿岩石巷道中深孔爆破掏槽技术应用研究[J]. 爆破, 2010, 27(4): 35-39.
ZONG Qi, LIU Jing-hua. Application research on cutting technology of mid-deep hole blasting in coalmine rock tunnel[J]. *Blasting*, 2010, 27(4): 35-39.
- [4] 陈士海, 魏海霞, 薛爱芝. 坚硬岩石巷道中深孔掏槽爆破试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(S1): 3498-3502.
CHEN Shi-hai, WEI Hai-xia, XUE Ai-zhi. Testing study on middle deep cut-hole blasting in hard rock tunnel[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2007, 26(S1): 3498-3502.
- [5] 程真富. 刘店煤矿坚硬岩石巷道中深孔爆破技术[J]. 煤炭科学技术, 2010, 38(6): 44-46.
CHENG Zhen-fu. Deep borehole blasting technology for hard rock roadway in Liudian Mine[J]. *Coal Science and Technology*, 2010, 38(6): 44-46.
- [6] 杨仁树. 我国煤矿岩巷安全高效掘进技术现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(90): 18-23.
YANG Ren-shu. Present status and outlook on safety and high efficient heading technology of mine rock roadway in China [J]. *Coal Science and Technology*, 2013, 41(90): 18-23.
- [7] 黄文尧, 颜事龙. 炸药化学与制造[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
HUANG Wen-yao, YAN Shi-long. Explosives chemistry and production[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2009.
- [8] 孙玉华. 消焰剂对提高煤矿乳化炸药安全性的研究[J]. 煤矿爆破, 2011, 95(4): 15-18.
SUN Yu-hua. Study on the flame inhibitors used to improve the safety of coalmine permissible emulsion explosive[J]. *Coal Mine Blasting*, 2011, 95(4): 15-18.
- [9] 陈友民. 二、三级煤矿许用乳化炸药消焰剂加入方式探讨[J]. 爆破器材, 2010, 39(4): 10-12
CHEN You-min. Discussion on the addition of flame-depressant in the class two and three permissible emulsion explosive[J]. *Explosive Materials*, 2010, 39(4): 10-12.
- [10] 唐友生, 孙德勇, 罗比武, 等. 一种新型三级煤矿许用乳化炸药的研制[J]. 爆破器材, 2008, 37(1): 9-11.
TANG You-sheng, SUN De-yong, LUO Bi-wu, et al. Research on a new class 3 coal mine permissible emulsion explosive[J]. *Explosive Materials*, 2008, 37(1): 9-11.
- [11] 陆明. 提高硝酸铵炸药威力的途径研究[J]. 爆破器材, 2011, 40(5): 1-4.
LU Ming. Study on the improving strength for ammonium nitrate explosive[J]. *Explosive Materials*, 2011, 40(5): 1-4.
- [12] 王军. 提高炸药威力和猛度的方法研究[J]. 爆破器材, 2005, 34(2): 16-18.
WANG Jun. Study on the means of improve the strength and brisance of explosive[J]. *Explosive Materials*, 2005, 34(2): 16-18.
- [13] GB20061-2006. 煤矿许用炸药抗爆燃性能测试方法及判定[S].
GB20061-2006. Test method and judgment of anti-deflagration property of permissible explosive[S].
- [14] GB18097-2000. 煤矿许用炸药可燃性安全度试验方法及判定[S].
GB18097-2000. Test method and judgment of safety of permissible explosive in inflammable gas[S].
- [15] GB18094-2000. 水胶炸药[S].
GB18094-2000. Water gel explosive[S].

Experimental Study on High Power Class 3 Permissible Water Gel Explosive

WANG Hai-bo, GUO Zi-ruo, ZONG Qi

(School of Civil Engineering and Architecture, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to solve the problems of class 3 permissible explosive for rock roadway excavation in coalmine, such as low explosion energy, short footage and low utilization rate of blast hole, through a large number of laboratory test and plant test, a new explosive composition, the high power class 3 coal mine water gel explosive to improve blasting power was developed, and detected by the authority department. Results show that after 6 months storage, detonation velocity of new explosive is $3600 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, power 239 mL, toxic gas composition $20 \text{ L} \cdot \text{kg}^{-1}$, which is better than class 2 coal mine water gel explosive. And its fuel gas safety, sensitiveness, anti-deflagration reach standard of class 3 coal mine water gel explosive. On-site rock roadway test was carried out for study the validation of explosive blasting power from the parameters including the footage, utilization rate of blast hole, hole depth, waste rock fragmentation, thrown distance, around forming and explosive consumption. Results show that under the same conditions and blasting material consumption, the rock breakage capability of new high power class 3 coal mine water gel explosive is near that of the class 2 coal mine water gel explosive, higher than that of class 3 coal mine water gel explosive.

Key words: applied chemistry; permissible water gel explosive; blasting effect; safety; power of explosive; application experiment

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2014.06.028