

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.03.009

# 露天矿高台阶抛掷爆破炸药配方设计及现场制备<sup>\*</sup>

李玉清 宋 日 李 渊 王建英

神华准格尔能源有限责任公司(内蒙古鄂尔多斯, 010300)

[摘 要] 针对露天高台阶抛掷爆破对炸药品种、性能的技术要求,优化设计了抛掷爆破炸药关键组分乳胶基质的生产工艺和配方。采用低温、低转速、敞口式连续乳化技术,水相温度为 75℃,析晶点为 60℃,pH 值为 3.9,复合油相温度 50℃;乳胶基质中水的质量分数达 22%,密度为 1.42g/cm<sup>3</sup>,粘度为 20~24 Pa·s(温度为 65~72℃),无雷管感度,具有较好的稳定性、流动性和本质安全性。研发了重乳化炸药、重铵油炸药和超低密度炸药的配方。采用多功能混装炸药车生产工艺,可以在同一炮孔中不间断装填多个品种炸药,也可以在同一炮孔中连续装填不同型号的重铵油炸药,生产效率高达 750 kg/min。经过现场抛掷爆破验证,新配方炸药爆炸性能稳定,满足抛掷爆破对炸药性能的要求。

[关键词] 抛掷爆破 配方设计 制备工艺 爆炸性能

[分类号] TD235.2<sup>+1</sup>

## 引言

高台阶抛掷爆破技术起源于上世纪 60 年代初期,在美国的 McCoy Coal 矿进行了尝试,该矿覆盖物厚度为 18~24m,抛掷爆破能把 40% 的覆盖物抛到采空区<sup>[1]</sup>。准格尔黑岱沟露天煤矿平均厚度为 28.8m,为复合煤层,近水平分布,煤层上部覆盖层的岩层平均厚度为 56m,黄土层平均厚度为 45m。随着开采规模的不断扩大和剥采比的不断增加,传统的低台阶松动爆破的剥离开采方法不能满足矿山的生产需要,而高台阶抛掷爆破在炸药品种、爆炸性能、装药结构、生产工艺、单次爆破炸药消耗量等诸多方面与矿山常规松动爆破有较大区别,对炸药的储存期和稳定性也有较高要求<sup>[2-4]</sup>。2007 年 3 月,黑岱沟露天煤矿在已有综合开采工艺的基础上,开始采用抛掷爆破—拉斗铲倒堆剥离工艺,原煤生产能力不断增加。为满足抛掷爆破作业对炸药品种和性能的要求,提高抛掷爆破的有效抛掷率,神华准能公司炸药厂对现有炸药配方进行优化设计,进一步改进炸药制备技术。本文将介绍高台阶抛掷爆破炸药配方设计、制备技术及炸药性能。

## 1 抛掷爆破对炸药性能的技术要求

露天煤矿高台阶抛掷爆破规模大、炮孔深、一次起爆药量大,对炸药各方面提出了以下特殊要求:

1) 炸药起爆感度的控制能满足高台阶深孔装药的要求。抛掷爆破台阶越高,则越有利于抛掷爆

破有效抛掷效率的增加,而随着炮孔深度的增大,孔内连续装药的密度随着药柱的增加逐渐增大。炸药的起爆感度主要受装药密度的影响。一般情况下,随装药密度的增加,炮孔内炸药的起爆感度都会降低,如果装药密度过大,孔底炸药的感度最低,不易起爆或失去起爆感度,造成炮孔内部分炸药拒爆或产生盲炮。

2) 炸药在炮孔内储存稳定性要满足高台阶抛掷爆破装药周期较长的要求。高台阶抛掷爆破一次起爆约 600 个炮孔,每孔装填炸药最长达 4t,一次爆破的炸药量达 1500t,所使用的炸药在炮孔内的储存期应具备 30d 以上,在有效的储存期内,炸药无结块压实现象或因潮湿而大大降低炸药的爆炸威力甚至拒爆现象的发生。

3) 使用的炸药波阻抗要满足与被爆破岩石的波阻抗相匹配的要求。岩石波阻抗与炸药爆炸释放的总能量及其传递给岩石的能量有直接关系。通常认为,当选用的炸药波阻抗与爆破岩石的波阻抗相匹配(接近一致)时,能取得较好的爆破效果<sup>[5]</sup>。

## 2 炸药品种及配方设计

### 2.1 炸药品种选用

当炸药的波阻抗和岩石(体)的波阻抗接近或相等时,炸药传递给岩石的能量最多,在岩石中引起的应变值就大,可获得很好的爆破效果。因此,在选炸药品种时,必须保证炸药的波阻抗和岩石的

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013-01-10

作者简介: 李玉清(1986~),男,工程师,主要从事现场混装炸药车生产工艺、炸药质量控制和抛掷爆破装药的研究。E-mail: yuqingli2006@sohu.com

波阻抗匹配或接近。根据黑岱沟露天煤矿现场岩体波速测试,砂岩、泥岩和黏土交错岩体波速为 944 m/s,交错岩体波阻抗为 23.2 ~ 26.4MPa/s<sup>[6]</sup>。因此用于抛掷爆破炸药的波阻抗为 23.2 ~ 26.4MPa/s。

黑岱沟露天煤矿高台阶抛掷爆破优化选用的炸药类型为重铵油炸药和重乳化炸药。重铵油炸药是为了增加炮孔中的爆破能量,为实现抛掷爆破有效抛掷率提供必要的条件。首先,重铵油炸药应具有适宜的爆速和爆炸威力,即具有较高的破碎冲击能和较高膨胀能;其次,产品的物理化学性能稳定,无雷管感度,在炮孔内的储存有效期长。重乳化炸药通过采用负氧平衡的乳胶基质与一定比例的多孔粒状硝酸铵混合达到零氧平衡的目的,多孔粒状硝酸铵,不仅是炸药的组分,还起到物理敏化的作用,同时降低了乳化炸药装药的初始密度,与化学发泡剂共同调节密度,提高了深孔乳化炸药的起爆感度,解决了深孔乳化炸药因压死产生拒爆的难题。由于高台阶抛掷爆破装药结构采用多品种炸药混合装药的方式,起抛掷作用的炮孔主要为前 5 排炮孔,因此前 5 排炮孔选用具备一定抗水能力的、高膨胀重的重铵油炸药,后几排孔选择分段使用铵油炸药。炮孔中有大量的水时,选用抗水性能良好的重乳化炸药,预裂孔采用低威力的超低密度炸药。

## 2.2 炸药的关键组分及其作用

生产炸药的关键半成品材料是乳胶基质,它由氧化剂(硝酸铵水相溶液)和可燃剂(油相溶液)经高分子乳化剂乳化而成<sup>[7-8]</sup>。乳胶基质质量直接关系到成品炸药能否满足抛掷爆破对炸药性能的要求,未经敏化的乳胶基质温度保持在 30 ~ 50℃ 之间。适用于抛掷爆破炸药的专用复合油相材料,主要由高分子乳化剂、助剂及配伍基础油组成,其流动性好(40℃、运动粘度在 70mm<sup>2</sup>/s 左右),储存性能稳定,储存期大于 2 年。使用该复合油相材料可以满足常压、低转速、低温、高效的连续乳化技术的要求,生产出稳定性较高的负氧平衡乳胶基质(储存期达 3 个月以上),提高了重铵油炸药、重乳化炸药和超低密度炸药的储存期和爆炸性能。

## 2.3 炸药配方的设计

### 2.3.1 乳胶基质

乳胶基质采用负氧平衡配方设计,主要由硝酸铵水溶液、复合油、新型乳化剂、硫脲和 pH 值调节剂等组成。乳胶基质中水的质量分数达 20% ~ 24%,密度为 1.40 ~ 1.45g/cm<sup>3</sup>,粘度为 20 ~ 24 Pa · s(温度为 65 ~ 72℃),无雷管感度,具有较好的稳定性、流动性和本质安全性。乳胶基质的组分配

方(质量分数)如表 1 所示。

表 1 乳胶基质组分配方

Tab.1 Components of emulsion matrix

							%
硝酸铵	水	醋酸	硫脲	碳酸钠	复合油	新型 乳化剂	
71.5 ~ 73.5	19 ~ 21	0.12 ~ 0.14	0.04 ~ 0.06	0.01 ~ 0.03	4.6 ~ 4.8	2.4 ~ 2.6	

### 2.3.2 炸药配方

重铵油炸药、重乳化炸药和超低密度炸药是由乳胶基质、多孔粒状硝酸铵、柴油、敏化液和密度调节剂中的几种原材料和半成品,按照一定的比例关系均匀混合组成的。按照炸药配方设计的零氧平衡的原则和抛掷爆破对炸药性能的特殊要求,设计了几种高台阶抛掷爆破炸药的理論配方(质量分数),见表 2。

表 2 炸药组分配方

Tab.2 Components of explosives

					%
产品名称	多孔粒状 硝酸铵	乳胶基质	柴油	敏化液 (密度调节剂)	
重乳化 炸药	30.0	69.8	—	0.2	
0 <sup>#</sup> 重 铵油炸药	72.3	22.9	4.8	—	
1 <sup>#</sup> 重 铵油炸药	66.0	29.8	4.2	—	
2 <sup>#</sup> 重 铵油炸药	60.5	35.7	3.8	—	
3 <sup>#</sup> 重 铵油炸药	53.6	43.3	3.1	—	
超低 密度炸药	—	95.2	—	4.8	

## 3 抛掷爆破炸药的制备

### 3.1 乳胶基质的制备工艺

乳胶基质是生产重乳化炸药和重铵油炸药的关键组分,乳胶基质产能的大小制约着成品炸药的产量,直接影响抛掷爆破装药的进度。根据生产的需求,乳胶基质生产能力设计为 2 万吨/年,生产能力基于工作日为 300d,每天(或每班)工作时间 8h,设备每天的乳胶基质运输及生产能力为 66.6t。

乳化工艺采用低温、低转速、常压敞口式连续乳化技术,工艺制备主要分为氧化溶液制备区、复合油相准备区、乳胶基质制备区、敏化液制备区和工艺热水区 5 部分。氧化溶液制备区包括 3 t 桥式起重机 1 台,投料漏斗、破碎机、螺旋输送机(500kg/min)1

套,容积为 2000L 的溶解罐 2 个,每批次制备氧化溶液 14t,配制时间约 2h,两溶解罐交替配制,每班可配制 5 批次约 70t 氧化溶液。复合油相准备区主要是将复合油相通过气动隔膜泵输送至 1500L 的复合油相储存罐备用。乳胶基质制备区主要有 2 套敞口式、连续搅拌器、螺杆泵和静态混合器、1 个容积为 2000L 的乳胶基质储存罐。敏化液制备区主要有制备罐和储存罐各 1 个,用以配制浓度为 33.3% 亚硝酸钠溶液,冬季根据气温变化添加适当比例的防冻液。工艺热水区主要有热交换器、循环热水泵各 1 台和 2 个批次热水罐,用以制备 75℃ 的工艺用水和满足循环加热、保温等供热需求。氧化溶液的温度为 70 ~ 75℃,析晶点为 59 ~ 61℃,pH 值为 3.8 ~ 4.0,复合油相的温度为 45 ~ 50℃。氧化溶液与复合油相以 92.5 : 7.5 比例同时进入搅拌器,每台搅拌器一般以 200 ~ 280kg/min 的生产速率进行连续生产,在搅拌器(620 r/min)的作用下形成初乳,经螺杆泵通过静态混合器泵送至储存罐中,以备现场混装炸药车装载,两台乳化器同时生产的最大产能为 33.6t/h。乳胶基质地面制备站生产工艺流程如图 1 所示。

3.2 炸药的制备工艺

成品炸药的制备采用炸药车现场混装生产工艺。多功能炸药车箱体结构主要包括:3个4t的多

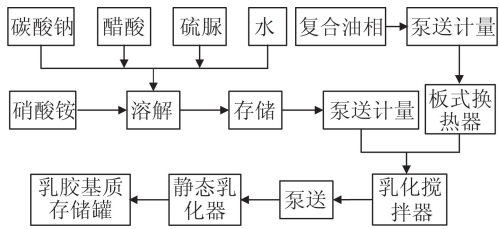


图 1 地面制备站生产工艺流程

Fig. 1 Manufacture process of ground preparation station

孔粒状硝酸铵干料仓,2 个容积为 100L 的敏化液箱,7t 的乳胶基质箱、容积为 1200L 的工艺柴油箱和容积为 600L 的工艺润滑水箱各 1 个。多功能炸药车能够生产铵油炸药、重铵油炸药、重乳化炸药和超低密度炸药,可以在同一炮孔中不间断装填多个品种炸药,也可以在同一炮孔中连续装填不同型号的重铵油炸药。生产时,操作人员首先选择多功能炸药车的生产效率(主要有 200、375、500、750 kg/min 4 种输药效率),根据多功能炸药车校准数据参数表,通过电液比例阀手动开关,调节主螺旋的转速和乳胶基质泵的转速在校准参数要求的范围内,通过相应的浮子流量计调节柴油泵、敏化液泵和润滑水泵的转速,调节完成后,把所需的物料泵送开关调至自动档,在计数器输入装药量即可实现生产。多功能炸药车校准数据参数如表 3 所示。

4 抛掷爆破炸药的性能

表 3 多功能炸药车校准数据参数

Tab. 3 Calibration data for Multi-function explosive car

类型	生产速率/ (kg · min <sup>-1</sup> )	AN 转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	EP 转速/ (r · min <sup>-1</sup> )	柴油流量/ (L · min <sup>-1</sup> )	敏化液流量/ (L · min <sup>-1</sup> )
重乳化炸药	375	25 ~ 30	249 ~ 264	—	1.2 ~ 1.4
0#重铵油炸药	750	173 ~ 189	163 ~ 171	76.2 ~ 79.1	—
1#重铵油炸药	750	157 ~ 170	214 ~ 223	66.9 ~ 69.2	—
2#重铵油炸药	750	142 ~ 156	257 ~ 268	60.6 ~ 62.6	—
3#重铵油炸药	750	124 ~ 138	314 ~ 324	49.6 ~ 51.2	—
超低密度炸药	90	70 ~ 75	80 ~ 85	—	—

表 4 炸药性能及爆轰参数

Tab. 4 Explosive performance and detonation parameters

类型	密度/ (g · cm <sup>-3</sup> )	临界直径/ mm	最大装药长度/ m	爆速/ (m · s <sup>-1</sup> )	相对体积爆力	储存期/ d
重乳化炸药	1.15 ~ 1.25	90	45	≥4500	148 ~ 172	31
0#重铵油炸药	1.00	115	76	≥3200	134 ~ 138	31
1#重铵油炸药	1.10	115	76	≥3500	152 ~ 156	31
2#重铵油炸药	1.20	127	76	≥3800	169 ~ 176	31
3#重铵油炸药	1.30	150	76	≥4200	185 ~ 190	31
超低密度炸药	0.30	120	45	1600 ~ 2200	60 ~ 65	10



衡量抛掷爆破效果的技术指标包括有效抛掷率、爆堆沉降高度、岩石块度、预裂爆破孔痕率等,炸药爆炸性能是实现上述技术指标的重要指标,抛掷爆破炸药的性能及爆轰参数如表 4 所示。其中相对体积爆力,其参照物为铵油炸药。

## 5 结论

1) 抛掷爆破炸药配方采用零氧平衡的原则设计,无雷管感度,符合本质安全型的技术设计要求,具有较高的安全性。

2) 关键半成品材料乳胶基质采用负氧平衡配方设计,具有较好的稳定性、流动性,且存储时间长,显著提高了成品炸药的存储期。

3) 采用多功能炸药混装车现场生产工艺,操作人员通过调节炸药车主螺旋的转速和乳胶基质泵的转速就可以生产新配方的重乳化炸药、重铵油炸药和超低密度炸药,且生产工序简单,易于操作。

4) 通过对炸药各项爆炸性能实验测试,测得的各项指标值满足抛掷爆破对炸药性能的技术要求;且经过多次抛掷爆破现场验证,爆破效果良好,提高了抛掷爆破的有效抛掷率。

## 参 考 文 献

- [1] 李克民,张幼蒂,傅洪贤. 露天煤矿抛掷爆破参数分析[J]. 采矿与安全工程学报,2006,12(4):423-424.  
Li Kemin, Zhang Youdi, Fu Hongxian. Analysis of casting blast parameters in surface coal mines[J]. Journal of Mining & Safety Engineering, 2006,12(4):423-424.
- [2] 郭占江,马平. 炸药现场混装技术在大型露天煤矿抛掷爆破中的应用[J]. 工程爆破,2009,12(4):82-85.  
Guo Zhanjiang, Ma Ping. Application of site mixing and loading system for explosive to casting blast technique in

large open pit coal mine[J]. Engineering Blasting, 2009,12(4):82-85.

- [3] 马军,李克民. 抛掷爆破与拉斗铲倒堆工艺研究[J]. 中国矿业,2003,12(7):44-45.  
Ma Jun, Li Kemin. Study on throw blasting and pull shovel handling[J]. China Mining Magazine, 2003,12(7):44-45.
- [4] 张平宽,王桂林,王平亮. 拉斗铲倒堆剥离工艺在黑岱沟露天煤矿的应用[J]. 露天采矿技术,2009(5):30-31.  
Zhang Pingkuan, Wang Guilin, Wang Pingliang. Application of dragline to stripping in heidaigou open pit coal mine[J]. Opencast Mining Technology, 2009(5):30-31.
- [5] 郭昭华. 露天煤矿无运输倒堆开采技术及应用研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,2012:111-174.
- [6] 傅洪贤,李克民. 黑岱沟露天矿岩体可爆性及爆破对炸药性能要求的研究[J]. 工程爆破,2006,14(3):24-26.  
Fu Hongxian, Li Kemin. Study on blastability of rock mass and explosive performance for heidaigou open Pit[J]. Engineering Blasting, 2006,14(3):24-26.
- [7] 叶图强,郑炳旭,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):262-263.  
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):262-263.
- [8] 刘桢昊. 关于乳化炸药油相材料的研究[J]. 爆破器材,2006,35(2):8-10.  
Liu Zhenhao. Study on oil phase of emulsion explosive[J]. Explosive Materials, 2006,35(2):8-10.

## Design and Onsite Preparation of Explosives Used for High Step Casting Blast in Open-pit Mine

LI Yuqing, SONG Ri, LI Yuan, WANG Jianying

Shenhua Group Zhungeer Energy Co., Ltd. (Inner Mongolia Ordos, 010300)

[ABSTRACT] The manufacture process and formulation of the critical component-emulsion matrix for the casting blast explosives were optimized according to the technical requirements in species and performance for high-step application in open-pit mine. Using low temperature, low speed and open type continuous emulsification technique which enables water temperature of 75 °C, crystallization point of 60 °C, pH value of 3.9 and the oil phase temperature of 50 °C, the emulsion matrix was fabricated with a water content of 22%, a density of 1.42g/cm<sup>3</sup> and a viscosity of 20 to 24 Pa·s (at 65~72 °C). It shows non detonator sensitivity and good stability, liquidity and safety. The formulations of H-ANFO, heavy emulsion explosive and ultra-low-density explosive were also developed. By multiple-function mixed explosive truck, a varieties of explosives or different types of H-ANFO could be continuous loaded in the same borehole. The production efficiency could be up to 750kg/min. It was proved by onsite casting blast test that the new explosives were stable and could meet the demands for casting blast.

[KEY WORDS] casting blast, formulation design, preparation technology, explosive properties