

现场混装乳化炸药与岩石爆破匹配浅析

刘 峰

宏大爆破工程集团有限责任公司 广东 广州 511300

【摘要】：传统的成品炸药爆破模式在矿山中的应用已经大幅度被现场混装炸药所替代，成品炸药在出厂时性能已经固定，无法调整，炸药与岩石匹配效果较差，导致炸药的能量利用率低下，从而影响到爆破技术的提升。而现场混装乳化炸药可以根据不同的地质条件调整炸药的爆炸性能，以达到最优的爆破效果。本文从炸药机理出发，根据岩石与炸药波阻抗匹配理论，通过理论计算，优化现场混装乳化炸药配方，通过现场试验验证，得出现场混装乳化炸药与岩石的波阻抗相匹配系数为0.6左右；在中深孔矿山台阶爆破中，底部装药密度稍微增大，且后排底部高密度装药比前一排略高，可有效地改善爆破效果；现场混装乳化炸药推荐装药密度控制在 $1.10\sim 1.25\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

【关键词】：现场混装乳化炸药；波阻抗；爆速；匹配

Analysis of Match Between On-site Mixed Emulsion Explosive and Rock Blasting

Feng Liu

Hongda Blasting Engineering Group Co., Ltd. Guangdong Guangzhou 511300

Abstract: The application of the traditional blasting mode of finished explosives in mines has been largely replaced by on-site mixed explosives. The performance of finished explosives has been fixed and cannot be adjusted when leaving the factory. The matching effect between explosives and rocks is poor, resulting in low energy utilization rate of explosives, thus affecting the improvement of blasting technology. However, mixing emulsion explosives on site can adjust the explosive performance according to different geological conditions to achieve the optimal blasting effect. Based on the mechanism of explosive, according to the wave impedance matching theory of rock and explosive, the formula of on-site mixed emulsion explosive is optimized through theoretical calculation. Through on-site test verification, it is concluded that the wave impedance matching coefficient of on-site mixed emulsion explosive and rock is about 0.6; In bench blasting of medium deep hole mines, the bottom charge density increases slightly, and the bottom charge density of the rear row is slightly higher than that of the previous row, which can effectively improve the blasting effect; The recommended charge density for on-site mixed emulsion explosive is $1.10\sim 1.25\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Keywords: Field mixed emulsion explosive; Wave impedance; Detonation velocity; Matching

在过去30多年里，我国现场混装炸药的技术发展，大致经历了三个阶段，即1990年前的引进消化阶段、1990年代是跟随发展阶段和2000年以后的自主创新阶段。国内现场混装炸药设备制造商有澳瑞凯板桥、深圳金奥博、山西惠丰、湖南金能等。自“十一五”以来，我国民爆行业产业政策引导下，民爆产品结构朝着与国际发展先进方向得到了进一步调整和优化，“现场混装炸药爆破一体化”服务模式逐渐被全行业所认识，全国民爆生产企业中约有40%的企业组建了工程爆破公司，涌现出葛洲坝易普力、贵州久联、宏大爆破、江南化工等一批规模和实力较强的“现场混装炸药爆破服务一体化”企业。与国际先进水平比较，我国目前现场混装炸药占炸药总量的比例还很低，所占比例在30%左右，而国外发达国家在20世纪90年代混装炸药占比已经超过了90%。

现场混装炸药爆破是一种机械化更加安全的作业方式，在现场应用还存在着一些问题。譬如，全耦合装药条件下，单耗增加；乳胶基质发泡控制不太理想等问题导致爆破效果达不到预期。本文主要针对现场混装乳化炸药在花岗岩露天采石场的

应用情况进行探讨。

1 研究方法

爆破效果实质上是炸药释放能量与岩石匹配的问题。例如在深孔爆破中，因为底部岩石受到夹制作用，爆破工作者期望底部炸药能量大，来消除爆后根底；在中上部装药结构上，为了解决破碎块度问题，在同等的装药量的情况下，尽可能提高装药高度。现代爆破理论普遍认为，炸药破岩主要是依靠炸药的冲击波和爆生气体共同作用，炸药爆炸时，首先产生的强烈的冲击波，该能量远远大于岩石的抗压强度，在临近炸药附近的岩石产生过度粉碎形成粉碎圈，粉碎圈直径通常就是炸药直径的几倍。随着应力波传播到自由面反射形成反射拉伸应力波，因岩石的抗拉强度比较低，反射拉伸应力波使岩石从母岩脱落。爆生气体的气楔作用，使应力波产生的裂隙进一步扩大，形成破裂区，这是爆破破岩主要区域。为了改善混装乳化炸药爆破效果，主要从以下三个方面入手：

(1) 根据岩石爆破与炸药匹配原理，选择适合的匹配型炸药及装药方式。

(2) 优化混装炸药配方，根据岩石不同性质，生产相匹配的混装炸药。

(3) 根据爆破岩性，炮孔内装填不同密度的混装乳化炸药，尽可能地提高装药高度，减少孔口大块。

1.1 岩石与炸药波阻抗匹配

岩石波阻抗，顾名思义就是岩石阻碍应力波传播的作用。在爆破过程中，主要考察的是炸药爆炸产生的应力波的纵波。波阻抗是用纵波波速与岩石密度乘积来表征。炸药的波阻抗一般采用爆速与炸药装药密度来表征，理论上认为两者波阻抗相近可以取得较好的效果。曾有学者研究在一般认为两者在0.8~1.7之间是相匹配的较好范围，该项研究成果是基于成品工业炸药作为研究对象。

1.2 现场混装乳化炸药爆炸性能影响因素

现场混装乳化炸药影响其爆炸性能主要影响因素有密度、爆速、猛度、做功能能力、爆热等。炸药理论认为，爆热是炸药爆炸对外做功的动力源；做功能力则是炸药爆炸对外做功的传播介质。在爆破实践中，期待炸药拥有较高的做功能力。一般在配方设计时通常采用提高装药密度和炸药爆热；提高炸药爆速等方式来提升炸药做功能力。通常情况，炸药密度越高、爆热越大，那么炸药做功能力越强。但是炸药的密度有一定的区间范围，密度过高或过低，都有可能导导致炸药不能正常爆轰，甚至出现拒爆现象。根据多年的实践经验，笔者认为较好的现场混装乳化炸药密度在1.05~1.25g·cm⁻³。

1.3 炸药与岩石匹配通用方法

一般情况，在低波阻抗岩石即松软岩石中，选用的低爆速的炸药，爆速越低，猛度越小。猛度在爆破作业过程中，对爆破效果影响较小，猛度主要反映的是与炸药直接接触的岩体粉碎程度。选用低爆速的炸药可以保障岩石的过度粉碎影响到了爆破效果，主要考虑应力波的拉伸破坏以及爆生气体静压破坏来达到理想爆破效果。在中、高波阻抗岩石中，尽可能选择较高的爆速，形成较高应力波峰值，使得岩石破坏形成裂隙，而后爆生气体的楔入及应力波反复拉伸达到理想爆破效果。

2 工程试验

以公司粤中地区花岗岩采石场为工程试验对象，通过测量岩石的波阻抗，选用不同的性能的混装炸药来比较爆破效果。

2.1 岩石波阻抗的测试

分别在640平台和630平台进行钻芯取样，进行岩石性质检查，采用声波检测仪检测纵波传播速度。

表 2-1 岩石性质参数

取样位置	密度 /kg·cm ⁻³	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /GPa	泊松比
640 平台	2.551	41.7	6.15	34.8	0.21
630 平台	2.548	45.5	5.92	34.3	0.19

取样位置	密度/g·cm ⁻³	纵波速度/m·s ⁻¹	岩石波阻抗/MN/m ³ ·m/s
640 平台	2.551	3520	89.8
630 平台	2.548	3060	78.0

表 2-2 岩石波阻抗

位置	岩石波阻抗 /MN/m ³ ·m/s	计算所需炸药 波阻抗值 /MN/m ³ ·m/s	混装乳化炸 药密度区间 /g·cm ⁻³	计算的炸 药爆速 /m·s ⁻¹
640 平台	89.8	71.9	1.05~1.25	5752~ 6848
630 平台	78.0	62.4	1.05~1.25	4992~ 5943

按照以往学者研究的破阻抗匹配系数为0.8~1.7，在计算时，取系数为0.8计算，两平台炸药匹配情况如下：

表 2-3 计算结果的炸药匹配参数

位置	岩石波阻抗 /MN/m ³ ·m/s	计算所需炸药 波阻抗值 /MN/m ³ ·m/s	混装乳化炸 药密度区间 /g·cm ⁻³	计算的炸 药爆速 /m·s ⁻¹
640 平台	89.8	71.9	1.05~1.25	5752~ 6848
630 平台	78.0	62.4	1.05~1.25	4992~ 5943

通过上述计算，所要求的炸药爆速基本在5000m·s⁻¹以上，一般高质量的成品乳化炸药可以达到，而混装乳化炸药爆速基本都在该爆速以下。综合考虑到混装乳化炸药采用的是全耦合装药，将匹配系数调整至0.6，两平台对应的岩石波阻抗值分别为53.88MN/m³·m/s、46.8MN/m³·m/s；对应计算的炸药爆速区间为：640平台为4310~5131m·s⁻¹；630平台3744~4457m·s⁻¹。

2.2 炸药设计及测试

原混装乳化炸药地面站的工艺配方：

表 2-4 原混装乳化炸药配方

配方	硝酸铵	硝酸钠	水	机油	0#柴油	乳化剂
百分比	71.5	5	17	2.0	3.0	1.5

原配方在采用φ90PVC管装药，密度控制在1.15g·cm⁻³，爆速基本在4000m/s，按照2.1中的计算，基本能够满足630平台的使用，不符合640平台爆破要求。

根据工业炸药理论，在配方设计中尽可能提高炸药的爆热，按照配方组分需要提高配方材料热值含量高的物质占比，即将标准摩尔焓高的物质占比提高。水相中，由于硝酸铵含量增加，炸药的做功能力增大。考虑到公司地面站设备固有因素，以往在取消硝酸钠的情况下，生产出来的乳胶基质冷却后出现析晶，故而，水相维持原样。本次调整仅涉及油相，根据增加热值高的物质含量进行调整。油相材料中标准摩尔焓的如下：

表 2-5 标准摩尔焓表

物质名称	机油	0#柴油	乳化剂 (SP-80)
准摩尔焓/ $\text{KJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	392.88	661.55	1470.68

综合考虑到成本问题,因乳化剂价格比较高,故而配方调整中,在满足现场混装乳胶基质的稳定性情况下,将柴油量加大。优化配方后如下。

表 2-6 原混装乳化炸药配方

配方	硝酸铵	硝酸钠	水	机油	0#柴油	乳化剂
百分比	71.5	5	17	1.0	4.0	1.5

通过上述调整,生产出的乳胶基质黏度比原配方要略低,通过储存期试验,可以满足现场7天储存要求,经过爆速测试,在上述同等条件下,按照现场混装乳化炸药装药实际需求做了如下不同密度测试,计算其波阻抗值。

表 2-7 炸药性能表

密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	爆速/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	波阻抗/ $\text{MN}/\text{m}^3 \cdot \text{m/s}$
1.05	3521	37.0
1.10	3623	39.9
1.15	4098	47.1
1.20	4237	50.8
1.25	4464	55.8

按照上表计算结果,在640平台比较适合的装药密度为 $1.20\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,630平台比较适合的装药密度为 $1.15\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

2.3 现场作业情况

两个平台同时采用孔径为140mm,孔距6.0m,排距4.0m,孔深11.5m,底盘抵抗线4.0m,炮孔排数四排。堵塞4.2m。

参考文献:

- [1] 赵明生,黄胜松,周建敏,陶明.混装乳化炸药配方对炸药-岩石匹配效果影响研究[J].爆破,2021(12).
- [2] 卢军,马元军.现场混装乳化炸药爆破破岩机理分析及其工程应用[J].矿业工程研究,2020,35(4):1-5.
- [3] 郭子庭,吴从师.炸药与岩石的全过程匹配[J].矿冶工程,1993(3):11-15.
- [4] 冷振东,卢文波,严鹏,等.基于粉碎区控制的钻孔爆破岩石-炸药匹配方法[J].中国工程科学,2014,16(11):28-35,47.
- [5] 章磊,姚普华,耿忠宝等.远程配送现场混装乳化炸药性能的研究[J].现代矿业,2021(01).

640平台按照1现场混装乳化炸药装药密度为 $1.20\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,630平台为现场混装乳化炸药装药密度为 $1.15\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,装药高度为7.5m。640、630平台单孔药量分别为138.7kg、132.8kg。采用V型起爆方式。

现场爆破后,爆破效果较好,大块率较低,主要是孔口堵塞段大块,但630平台都出现少量根底,产生的部位在后排炮孔处。

考虑到后排炮孔底部夹制作用大,后排炮孔底部需要适当增加装药量,同时考虑到经济成本,底部装高密度炸药,中上部装低密度,且后排底部装药密度比前一排略高。试验方案修改为:将两个平台前三排底部1/3处装密度为 $1.20\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 现场混装乳化炸药,最后一排2/3处装密度为 $1.20\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 现场混装乳化炸药,其余装药密度为 $1.15\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。减少了总体装药量。从爆破效果上看达到预期效果,块度均匀,爆堆形态较好,无根底。

3 结语

现场混装乳化炸药的装药密度现场可调控性,根据岩性情况合理的调配不同密度不同爆速的装药,使其与岩性可爆性匹配达到相适应,有利于爆破技术水平不断提高。工程地质情况的多变性和不确定性,需要爆破工作者采用先进的地质测量技术,了解地质情况,建立矿山地质数据库有利于进一步优化爆破设计。通过本项研究总结如下:

- (1) 现场混装乳化炸药与岩石的波阻抗相匹配系数为0.6左右比较适合工程应用情况。
- (2) 在中深孔矿山台阶爆破中,由于底部岩石夹制作用较大,为了充分利用炸药能量,底部装药密度稍微增大,且后排底部高密度装药比前一排略高,可有效改善爆破效果。
- (3) 现场混装乳化炸药推荐装药密度控制在 $1.10 \sim 1.25\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,可以有效使混装乳化炸药形成稳定爆轰,避免出现爆轰压死现象。