

多功能现场混装炸药车在花岗岩采石场的应用

张大松

宏大爆破工程集团有限责任公司 广东 广州 511300

【摘要】：爆破大块、爆后根底一直露天矿山大深孔爆破的一个难题，制约了一定工作面上的爆破规模。为了解决后排炮孔底部夹制作用，底部装填高爆速的炸药是一种有效途径，单纯的现场混装乳化炸药在单方面增加其装药密度对解决中深孔爆破根底起到了一定的积极作用，但是现场混装乳化炸药密度超过 $1.25\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ，出现拒爆概率比较大，制约了混装乳化炸药的密度提升。本文通过研究多功能现场混装车生产出不同配比的乳化基质与多孔粒状硝酸铵的混合炸药，通过性能测试寻找出适合矿山深孔爆破的混合炸药。当多孔粒状硝酸：乳化基质=60：40（质量比）形成的混合炸药具有相对高的威力，有利于扩大爆破孔网参数；当多孔粒状硝酸：乳化基质=70：30（质量比）形成的混合炸药具有相对高的爆速，具有较大的猛度，有利于消除炮孔底部夹制作用，解决爆破根底的影响。

【关键词】：现场混装炸药；多功能；爆破

Application of Multi functional On site Mixed Explosive Truck in Granite Quarry

Dasong Zhang

Hongda Blasting Engineering Group Co. Ltd. Guangdong Guangzhou 511300

Abstract: A difficult problem of blasting large blocks and the root after blasting has been a big deep hole blasting in open-pit mines, which restricts the blasting scale in certain working faces. In order to solve the clamping effect at the bottom of the rear row blasthole, it is an effective way to fill the bottom with high detonation velocity explosives. The simple on-site mixed emulsion explosive has played a positive role in solving the problem of medium and deep hole blasting root by unilaterally increasing its charge density. However, the on-site mixed emulsion explosive density exceeds $1.25\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, which has a high probability of misfire, restricting the density increase of mixed emulsion explosive. In this paper, the mixed explosives of emulsion matrix and porous granular ammonium nitrate with different proportions are produced by studying the multi-functional on-site mixed loading truck, and the mixed explosives suitable for mine deep hole blasting are found through performance test. When porous granular nitric acid: emulsion matrix=60: 40 (mass ratio), the mixed explosive has relatively high power, which is conducive to expanding the blasting hole network parameters; When the porous granular nitric acid: emulsion matrix=70:30 (mass ratio), the mixed explosive formed has relatively high detonation velocity and greater brileness, which is conducive to eliminating the clamping effect at the bottom of the blast hole and solving the impact of the blasting root.

Keywords: Mixing explosives on site; Multi-function; Blast

自“十二五”开始，我国大型矿山爆破模式已经快速从传统的成品炸药模式快速向现场混装炸药爆破模式转变，经过“十三五”期间的发展，混装炸药爆破模式的成本低廉、安全、环保等优势，已经得到了广大矿山业主的认可。爆破科技工作者在混装应用方面做了大量研究，譬如，乳胶基质远程配送技术、低温快速敏化技术、以及混装炸药车设备等方面的研究。当前我国混装炸药技术水平与国外矿业发达国家差距较小，但是应用规模少远远落后，主要原因是由于我国传统民爆条块分割体系障碍以及我国矿山资源开采规模特征等因素决定。

当前我国现场混装炸药主要包括铵油炸药、乳化炸药两大类。装药过程大多数都是同一密度直接装到设计标高。多功能现场混装炸药车出现后，爆破工作者可以根据需要调整乳胶基质与多孔粒装硝酸铵的配比实现不同密度装药，将爆破装药进行了细分。本文主要通过多功能现场混装炸药车在花岗岩采石场中的应用，对炮孔分段装药密度、爆破排数进行研究。

在露天矿山台阶爆破中，爆后的破碎情况、爆堆形态、根底情况、爆后眉线的整齐度对后续的矿山运营具有很大影响。

1 项目概况

粤西某年产 800 万方花岗岩采石场，年混装炸药用量约 3200 吨，岩石硬度属于中硬岩石、坚硬岩石，使用潜孔钻机进行钻孔，钻孔直径为 140mm，以往炸药主要采用现场混装乳化炸药，台阶高度为 10m，孔距 6m，排距 4m，采用数码电子雷管，逐孔起爆方式，爆破排数最大为 3 排孔，爆后出现根底较多，爆破效果一般，为了改善爆破效果，公司投入多功能现场混装车，采用多品种炸药组合装药爆破，通过改变炸药性能，提升爆破水平。

2 方案优化路径

工业炸药理论认为，炸药密度、爆速、猛度、做功能力、爆热等是影响炸药爆轰的主要因素。在实践中除了从炸药生产工艺中优化炸药爆轰性能，爆破作业现场一般通过改变装药密

度、调整不同的装药类型来改善爆破效果。矿山深孔台阶爆破中，考虑到炮孔底部的夹制作用，尤其是后排孔，通常希望在炮孔底部装填爆速高、猛度高的炸药，来消除炮孔底部夹制作用的影响。为了解决爆破块度的问题，降低大块率，通常采用保证堵塞长度的情况下，尽可能的延长装药高度。故而针对多功能现场混装炸药车在深孔台阶爆破中的应用提出了整体优化思路是在原有的孔网参数进行调整，改变不同排装药结构，寻求较优的孔网参数，优化爆破设计。

2.1 装药结构调整

众所周知，多功能现场混装炸药车可以灵活调整装药类型，主要包括乳化炸药、铵油炸药、重乳化炸药、重铵油炸药四大类。

首次爆破试验按照以往的孔网参数设计，孔距 6m，排距 4m，炮孔直径 140mm，台阶高度 10m，孔深 11.5m，底盘抵抗线 4m，堵塞 4m。炮孔均为无水孔，炮孔布置形状如下如。

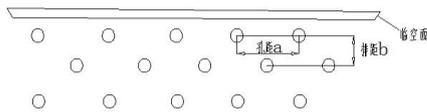


图 1 炮孔布置示意图

为了对比装药调整效果，选取两个平台，其中 310 平台按照调整方案装填，320 平台按照原有装药结构。

因第一排炮孔爆破自由面充分，底部夹制作用小，第一排孔装填重铵油炸药（多孔粒状硝酸铵与乳化基质质量比按照 7:3 配比）；第二排孔底部装填现场混装乳化炸药，中部装填与第一排孔一样的重铵油炸药，上部装填多孔粒状铵油炸药。第三排孔底部装填现场混装乳化炸药，中部装填重乳化炸药（多孔粒状硝酸铵与乳化基质质量比按照 3:7 配比），上部装填多孔粒状铵油炸药。具体装药形式见下表。

表 1 装填炸药类型表

平台	310 (调整方案)	320 (原有方案)
第一排	重铵油炸药	混装乳化炸药 装药密度 $1.15\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
第二排	孔底 2.5m 乳化炸药；中间 1.5m 重铵油炸药；上部 3.5m 铵油炸药	
第三排	孔底 2.5m 乳化炸药；中间 1.5m 重乳化炸药；上部 3.5m 铵油炸药	

2.2 爆破效果

采用逐孔起爆方式，爆破后，320 平台出现了较多的根底，根底主要出现在第二排和第三排。310 平台爆破后，出现少量的根底，主要集中在第三排位置。

为了进一步突破技术难关，需要进一步优化炸药结构，总体思想是底部装填高密度，高爆速、高猛度的炸药，消除底部夹制作用影响。中上部装填做功力大（威力）的炸药，来改善爆破效果。对此我们进行了不同配比的乳化基质与多孔粒状

硝酸铵混合炸药进行了研究。

3 掺和物不同的匹配性能测试

多功能现场混装炸药车在乳化炸药、多孔粒状铵油炸药这种物理掺和物中，乳胶基质的质量比可以从 0%~100%，相应的多孔粒状铵油炸药的比例则相应为 100%~0%。测试药卷直径为 100mm，以下是根据不同的掺和比对其爆炸性能做出统计。

表 2 不同掺和比下的混装药性能指标

	乳化基质	多孔粒状硝酸铵	密度 $/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	爆速 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	相对体积威力
组分 /% 质量比	0	100	0.85	2500	100
	10	90	1.0	3200	98
	20	80	1.10	3200	97
	30	70	1.22	3850	138
	40	60	1.25	4630	150
	50	50	1.28	4673	140
	60	40	1.30	4762	136
	70	30	1.31	5000	134
	80	20	1.32	4587	130
	90	10	1.33	4545	130
100	0	1.35	-	-	

随着乳胶基质的含量增大，炸药密度随之增大，相对体积威力增加，当乳化基质含量为 40% 时，体积威力最大；当乳化基质含量增加时，爆速也呈线增长，当乳化基质含量在 70% 时，爆速达最高值。

爆速越高不代表做功能力（威力）越大，爆速高，炸药的猛度越大，对与其直接接触的岩体粉碎程度越大。在爆破过程中主要是依靠炸药爆炸产生的冲击波和爆生气体共同作用；炸药爆炸的冲击波首先破碎与其直接接触的岩体，并形成裂缝，在炸药周边的岩体出现过度粉碎，粉碎圈的大小通常也只有装药直径的几倍。岩体的整体破坏主要依靠爆生气体和应力波的反复拉伸，该部分破坏称之为碎裂区，是爆破的主要区域。在结合上述试验情况需要对装药结构进一步调整。

4 装药结构调整及爆后效果

根据表 2 的结果，在今后爆破过程中，底部夹制作用大的选择乳化基质占比为 70% 多孔粒状硝酸铵占比为 30% 的配方，因其爆速越大，猛度越大，对底部岩体形成的破坏越大，有利于解决底部强夹制作用。同时为了获得较好的爆破效果，需要所装填的炸药具备相对体积威力大的炸药，故而选择 40% 的乳化基质和 60% 多孔粒状硝酸铵的配比。

将表 1 中的装药结构重新调整，选择两种配比模式装药，第一种为乳化基质占比为 70% 多孔粒状硝酸铵占比为 30% 的重乳化炸药；第二种为 40% 的乳化基质和 60% 多孔粒状硝酸铵形成的重铵油炸药。第一排孔全部装填重铵油炸药，第二排炮孔底部 2.5m 装填重乳化炸药，其余装填重铵油炸药，第三排炮孔底部 3.5m 装填重乳化炸药，其余装填重铵油炸药。逐孔

起爆后，岩体平均位移达 10m，无根底，爆破效果良好。

5 优化爆破规模

本次优化目的是扩大孔网参数，扩大爆破规模。装药选择上述的重铵油炸药和重乳化炸药。

爆破设计如下：

台阶高度 H：根据本工程特点，H=10m；爆破排数选择 4 排；孔径 d：140mm。

底盘抵抗线 W1：W1=(25~45)d，式中：d—炮孔直径 m；本方案选择 5m。

超深 h：超深是为了克服底盘阻力，使爆破后不留根坎，根据本工程施工条件，采用经验公式： $h_1=(0.1\sim 0.2)H$ 式中：H-台阶高度超深选择 1.5m。

孔深 L：孔深 $L=(H+h)\sin\alpha$ 式中：H-台阶高度，h-超深， α -钻孔倾角。

堵塞长度 L2：合理的堵塞长度既能控制爆破飞石又能降低炸药爆炸的能量损失，根据经验公式： $L_2=(20\sim 40)d$ 式中：d—炮孔直径

堵塞长度选择 $L_2=(20\sim 40)d$ ； $L_2=4.0m$ 。

孔单孔装药量 Q：Q=q₁L₁，式中：q₁-线装药密度，L₁-装药长度

孔距 a、排距 b：b=w=5.2m；a=m·b=7.0m；其中 m 是炮孔密集系数，一般情况下 m=1.3~1.8，本方案取 1.37。

每排孔装药量情况：重铵油炸药采用乳化基质：多孔粒状硝酸铵=40:60（质量比）；重乳化炸药乳化基质：多孔粒状硝酸铵=70:30（质量比）。

第一排孔：重铵油炸药，144.0kg；第二排孔装药量为：底部 2.5m 装填重乳化炸药，50.5kg，上部装填重铵油炸药，96kg，合计 146.5kg；第三排孔底部 3.5m 装填重乳化炸药，70.7kg，其余装填重铵油炸药 76.8kg，合计 147.5kg；第四排孔底部 4.5m 装填重乳化炸药，90.9kg，其余装填重铵油炸药 57.6kg，合计 148.5kg。平均单耗为 0.40kg/m³。

起爆方式选择，矿山台阶爆破有斜线起爆、排间起爆、“V”形起爆等多种方式，有学者研究认为，爆破对象有 2~3 个自由面采用斜线起爆方式，只有 1 个自由面选择“V”形起爆方式爆破效果较好。因“V”形起爆方式前排中间部位首先起爆，

增加了后续炮孔爆破自由面，可明显改善爆破效果。

本方案选择“V”形起爆方式，因爆破环境较好，一次最大选择 4 个孔同时起爆，起爆间隔为 50ms。

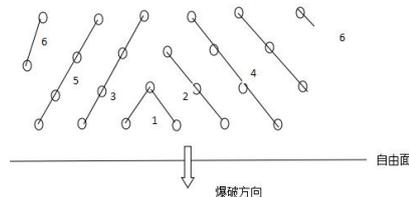


图 2 爆破示意图

爆破效果：爆破后大块率控制在 5%以内，爆后无根底，岩体平均位移达到 8m，后排形成明显的沟槽，孔网参数还有进一步的提升空间，需要进一步进行探索。形成这样的爆破效果主要原因有以下四方面：

(1) 第二排后底部装填高爆速的炸药，炸药猛度较大，对临近岩体粉碎性破坏较大，有效的消除了根底的影响，由于爆破排数增多，越往后排，炮孔底部夹制作用越明显，故而后排高爆速炸药装药高度明显增加。(2) 由于重铵油炸药（乳化基质：多孔粒状硝酸铵=40:60（质量比），具有较高的相对体积威力，高达 150，而混装乳化炸药相对体积威力一般在 100 左右，该类型的重铵油炸药相比混装乳化炸药提升了约 20% 的做功能力。(3) “V”型起爆方式，为后响炮孔增加了爆破自由面，改善了爆破效果。(4) 合理的爆破延期时间，增加了爆破岩体的碰撞，使得岩体充分的碰撞破碎。

6 结论

多功能现场混装炸药车在矿山爆破中解决了多种类型炸药装药与被爆岩体的匹配，通过本次研究形成结论如下：

(1) 乳化基质与多孔粒状硝酸铵的混合，随着乳化基质的含量增多混合炸药密度逐渐增大，相对体积威力出现先增高后衰落，当乳化基质与多孔粒状硝酸铵混合比例按照 40:60（质量比）时，相对体积威力达到最大值，比现场混装乳化炸药相对体积威力增加约 20%，相对多孔粒状铵油炸药相对体积威力增加了约 50%。(2) 中深孔爆破，随着爆破排数的增加，后排炮孔的底部夹制作用越来越明显，这是产生根底的主要原因。(3) 在中深孔爆破中，底部装填高密度炸药是为了获取高爆速、高猛度的炸药，形成对底部岩体的粉碎破坏，解决爆破产生的根底。底部装填重乳化炸药，是一种较好的选择方式。

参考文献：

- [1] 李萍丰,廖新旭,罗国庆,等大型采石场深孔爆破参效试验分析[J].爆破,2004,21
- [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] 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.
- [4] 魏连春.大孔距小排距的孔网参数在中深孔爆破中的应用[J].天津冶金,2003,(4):21~22.