深孔爆破乳化炸药工艺参数与敏化技术的优化*

邱小丽,李富田,程彩龙

(包钢(集团)公司白云鄂博铁矿,内蒙古 包头 014080)

摘　要: 在露天矿山开采中,高水位深孔爆破常会出现延米装药量大,堵塞长度过长,炸药单耗偏高,拒爆、半爆,根底、大块等问题,消耗成本较高、爆破现场处理难度较大,安全系数较低,严重影响矿山矿开采效率。通过对现场混装乳化炸药性能、油水相配比调整及化学敏化过程等关键技术进行深入分析,提出相应的改进方法及控制措施,改善了炸药质量,从而保证矿山高水位深孔爆破效果,提了高矿石的挖掘效率。

关键词: 矿山开采; 高水位深孔; 乳化炸药; 爆破效果

中图分类号: TD854　　**文献标识码:** B　　**文章编号:** 1009-5438(2017) SO-0045-05

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.s1.012

Optimization for Technological Parameter and Sensitizing Technology of Emulsion Explosive for High Water Level Deep Hole Blasting

QIU Xiao-li, LI Fu-tian, CHENG Cai-long

(*Baiyunebo Iron Mine of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014080, *Nei Monggol*, *China*)

Abstract: In the open-pit mining, high water level deep hole blasting often appears linear meter with large charge amount, stemming length is too long, unit explosive consumption is high, misfire, half explosion, foundation, chunks and other problems, and the higher cost, blasting site processing being difficult and the safety factor being low, which seriously affect the ore mining efficiency in mine. Through in-depth analysis of the key technologies such as performance of site mixed emulsion explosive, oil-water ratio adjustment and chemical sensitizing process, the corresponding improvement methods and control measures are put forward to improve the quality of explosives, so as to ensure the high water level deep hole blasting effect and to improve the efficiency of ore mining.

Key words: mine mining; high water level deep hole; emulsion explosives; key technologies; blasting effect

包钢白云鄂博铁矿化工厂 2012 年引进现场混装乳化炸药生产技术,该技术集原材料运输、炸药现场混制、机械化装药于一体,具有安全生产效率高、钻孔成本低、使用方便等显著优点,应用于矿山爆破作业效率高、爆破效果良好。但在实际中,白云鄂博铁矿地区矿山采场爆破大多为深孔爆破,一般情况下,孔径为 310 mm,孔深在 16~20 m 不等,随着采场开采部位不断加深,采场含水孔的比例在不断增加,而且含水孔水位也不断上升。面临高水位深孔爆破,经常出现延米装药量大,堵塞长度过长,炸药单耗偏高,拒爆、半爆,根底、大块等爆破不理想的状态等问题,给矿山生产经营带来诸多弊端,消耗成本较高、爆破现场处理难度较大,安全系数较低,严重影响矿山矿开采效率。

为保证矿山高水位深孔爆破效果及便于后续采场采掘与运输,通过对现场混装乳化炸药性能、油水

* **收稿日期:** 2017-06-05

作者简介: 邱小丽(1986-),女,内蒙古包头市人,助理工程师,主要从事民爆化工质量技术管理工作。

相配比调整及化学敏化过程等关键技术进行深入分析，提出相应的改进方法及控制措施。高水位深孔爆破应用现场混装乳化炸药关键技术的改进，对乳化炸药的稳定性能的提升及矿山的深入采掘有着重要的意义。

1 矿山开采深孔爆破存在的问题

1.1 深孔爆破应用现场情况调查

(1) 白云鄂博铁矿地区矿山采场爆破大多为深孔爆破，随着开采年限的增长，采场开采部位不断加深，导致矿山现场高水位深孔爆破经常会出现延米装药量大，半爆、拒爆，炸药单耗偏高，拒爆、半爆，根底、大块等爆破不理想等问题，2015 年 11 月 15 日—2016 年 1 月 20 日，研究小组通过对矿山采场爆破作业的跟踪调查和对用户反馈意见的统计，发现此阶段应用现场爆破存在的主要问题，统计数据见表 1。

表 1 主要问题汇总表

序号	问题	频次/次			汇总
		主矿	东矿	巴润	
1	半爆或拒爆	2	1	3	6
2	根底	2	1	2	5
3	大块	1	1	3	5
4	块度不均匀	1	1	2	4
5	炸药单耗高	1	1	3	5
6	前后冲不明显	2	2	3	7

注：此表为东、主及巴润采场 70 次爆破统计数据。

根据研究小组三个月的现场调查，对现场深孔爆破现场出现的问题进行了研究分析，形成主要问题分布图见图 1。

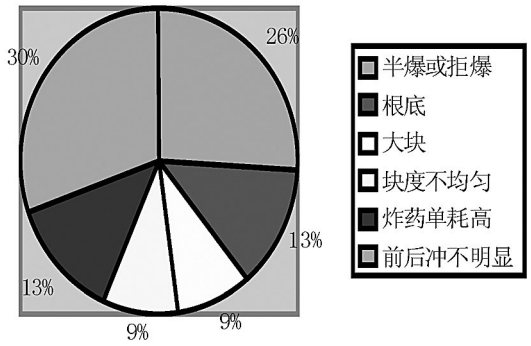


图 1 高水位深孔爆破应用主要问题分布

从图 1 中可以看出，半爆和拒爆、前后冲不明显占较大比例，深孔爆破现场现状见图 2。调查发现上述调查情况基本都出现在深孔高水位的爆区，在浅水位爆区此类问题明显减少。

1.2 影响深孔爆破质量因素问题分析

1.2.1 爆破设计及施工条件影响

研究小组深入爆破现场，与爆破单位协作实验 8 次，在潜孔低水位和深孔高水位爆破中对爆破参数采用相同的严格设计及相同的施工条件，发现高水位深孔爆破出现半爆和拒爆、前后冲不明显区域，而低水位潜孔爆破效果则良好，由此基本可以排除因爆破设计及施工条件导致的半爆、拒爆等问题。



图 2 深孔爆破出现问题

1.2.2 炸药性能的影响

乳化炸药是一种油包水(W/O)乳胶型的抗水工业炸药。它是由水相溶液和油相溶液在乳化机械作用下经敏化剂敏化而形成的[1]，生产中的原材料、生产的工艺过程与配方、敏化技术等因素都对乳化炸药的稳定性具有重要的影响。乳化炸药稳定性受损会发生分层、破乳、变形，造成爆炸性能下降，爆破效率低下，甚至丧失爆破能力，因此这些因素对乳化炸药的性能具有直接影响作用。

(1) 原材料分析。在乳化炸药生产过程中，最

关键的组成部分之一就是乳化剂，它可以起到降低整个体系自由能，提升界面膜强度和致密性的作用，通常占整个体系的2%～3%。研究小组对两厂家乳化剂生出的乳化炸药进行进一步分析，对两种乳化炸药进行爆速测试，测试对比结果见表2。

表2　不同厂家乳化剂生产出乳化炸药爆速对比

m/s

次数	天和乳化剂生产乳化炸药(爆速)	淄博乳化剂生产乳化炸药(爆速)
1	4 895	4 395
2	4 560	4 452
3	4 752	4 511
4	4 468	4 512
5	4 356	4 652
平均值	4 606	4 501

从表2可以看出，使用淄博乳化剂生产出的乳化炸药爆速虽然略低于天和乳化剂生产出的乳化炸药，但是符合国家标准(>4 200 m/s)[2]。在浅水和深水爆破中使用两厂家乳化剂生产的炸药爆破效果均良好，而与高水位炸药爆破质量都有问题出现，可以确定乳化剂不是影响深孔高水位爆破质量的因素。

(2) 现场装药的敏化过程影响。乳胶基质经敏化后有一段时间的发泡反应，气温及孔内水深均会直接影响发泡反应的外界温度，若外界气温低会使发泡反映终止。这是因为当温度降到一定程度后，敏化反应速度会很缓慢，甚至不再继续反应，造成炸药密度较大，形成热点较少，影响炸药爆炸性能。这时，可以适当提高敏化温度或增加敏化剂浓度或用量，以补偿外界环境对发泡效果的损失；若外界温度较高，发泡太快，气泡损失过大，也会影响爆破效果。

(3) 乳胶基质密度的影响。乳胶基质生产工序中，基质密度过大，炸药车输药出口压力增大，当进行打药时，高水位水孔中水压与输药出口压力相互冲击，对炸药产生一定的阻力，致使炸药不能顺利沉降至炮孔底部，造成装药不连续，容易发生半爆或拒爆现象；若基质密度过低，敏化液与基质混合发泡时，密度急剧下降[3]，爆破时容易发生炸药威力不够，爆破后出现大块、根底、前冲不明显等诸多不良影响，基质密度偏大时见图3。

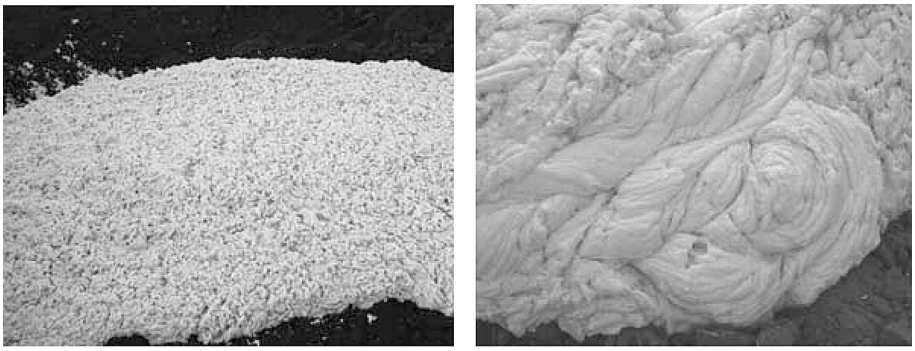


图3　密度偏大的乳化炸药

(4) 油水相溶液配比的影响。水相溶液与油相溶液分别经计量泵泵送至乳化器处剪切乳化形成乳胶基质。水相溶液由原料硝酸铵与水组成，油相溶液由乳化剂、柴油、机油三种组分组成。在油水体系中加入乳化剂后，在降低界面张力的同时，在油水界面上还必然发生活性剂吸附，形成了界面膜。此界面膜强度越大，对分散相液珠的保护作用越强，炸药稳定性就越好。所以油相溶液比例过低，则不足以形成连续的膜将油珠包住，电解质会对较浓的乳胶基质的稳定性发挥较大的影响，从而引发破乳现象，爆破时威力几乎丧失。

1.2.3　人为操作的影响

混装车在现场作业打药过程中，因为炮孔较深，加之水位较高，打药工人一旦插管位置较浅、较深或拔管过快都会导致炮孔中药量不均、装药不连续、炸药中混合泥浆等问题。

乳化炸药混装车的计量方法是以计量泵为工具通过测量泵的转速来推算炸药流量。这种方法随着泵的磨损、工况的变化等使混装车打药时出现计量误差较大时，如不及时调整出现药量过多或过少情况也会导致爆破质量的的下降。研究小组对人为操作者进行严格按章作业，排除其对深水孔爆破的直

接影响。

结合影响乳化炸药质量稳定性的诸多因素的分析，得出现场混装乳化炸药敏化工序、乳化炸药密度及油水相溶液配比的调整为影响乳化炸药质量稳定性的主要因素，对高水位深孔爆破质量产生直接影响，研究小组将进一步对以上关键影响因素做进一步分析，提出改进及控制措施，以改善爆破效果。

2 深孔爆破改进方法及控制措施

2.1 现场混装乳化炸药敏化工序优化

2.1.1 敏化液浓度的调整

乳化炸药敏化液的含量高低直接影响着乳胶基质发泡效果，试验表明，当敏化液的含量为 1.29% 时，生产出来的炸药放在常温下急速冷却，炸药密度在 1.30 g/cm^3 左右，多放置几天后加热也难以达到良好的爆炸效果。但发泡剂的含量为 3% 时，炸药在发泡 30 min 后，发泡速度会加快，就会有雷管感度，爆速能达到最佳效果。同时敏化液的敏化效果受外界气温变化影响较大，高水位深孔条件下，水温相对降低 3～4 ℃，所以根据气温的变化，当炸药自身温度下降较快时，应选择敏化液配比浓度较高的方案，我厂将敏化剂水溶液的浓度(夏季)由原来 2.5% 调整为 3.0%，将敏化剂水溶液的浓度(冬季) 3% 调整为 4%，乳胶基质敏化后爆破效果得到明显改善，见表 3。

表 3 不同含量的敏化剂做成样品性能试验

敏化剂配比 /%	敏化温度 /℃	发泡时间 /min	炸药密度 /($g \cdot cm^{-3}$)	炸药爆速 /($m \cdot s^{-1}$)
1.29	55	30	1.30	4 210
1.50	55	30	1.27	4 356
2.0	55	30	1.22	4 293
2.5	55	30	1.15	4 569
3.0	55	30	1.10	5 361
3.5	55	30	1.08	5 210
4.0	55	30	1.05	5 289

2.1.2 敏化液用量的调整

在日常乳化炸药生产中，气温高，敏化液加入量大，发泡速度快，炸药感度好，但后效不明显；气温低，发泡液加入量小，发泡不明显，炸药感度不好，甚至不能起爆；面临高水位深孔爆破，如果敏化液用量不足的话，孔内水将对敏化也起到稀释作用，敏化将会失败[2]，导致半爆和拒爆情况发生。我厂根据混装车输药效率的变化，严格控制敏化液的瞬时流量，乳胶基质输药效率由原来的 180～220 kg/min，调整为 200～280 kg/min；敏化液输出效率由原来的5.4～6.6 kg/min，调整为 6.0～8.4 kg/min。经实验证明，高水位深孔情况下，一定范围内增加敏化液的流量，可以良好改善乳胶基质敏化发泡效果，实验结果见表 4。

表 4 高水位深孔内不同流量的敏化剂制成样品性能试验

乳胶基质输药效率 /($kg \cdot min^{-1}$)	浓度 /%	敏化液流量 /($kg \cdot min^{-1}$)	炸药爆速 /($m \cdot s^{-1}$)
180	3	5.4	4 434
200	3	6.0	4 468
220	3	6.6	4 693
240	3	7.2	5 123
260	3	7.8	5 290
280	3	8.4	5 308

2.1.3 敏化温度的控制

根据乳化炸药的敏化机理，在乳化基质相同条件下，考察高水位环境中不同敏化温度所制取乳化炸药稳定性。在进行一定次数高低温循环后，得到了乳化炸药储存稳定性与敏化温度的关系.结果表明：敏化温度对乳化炸药稳定性有很大影响，温度过低和过高都不利于乳化炸药体系的稳定；在深水位体系中，乳胶基质的最佳敏化温度对比浅水位敏化温度略高出 5～10 ℃，即将敏化温度控由原来 45～50 ℃调整为 50～60 ℃，在此调整温度下敏化的乳化炸药稳定性最优，爆破结果见表 5。

表 5 高水位深孔内不同温度下乳化炸药性能试验

敏化温度 /℃	敏化量 /%	密度/($kg \cdot m^{-1}$) 10min	20min	30min	炸药爆速 /($m \cdot s^{-1}$)
35	3	1.40	1.33	1.27	4 216
40	3	1.30	1.20	1.05	43 263
45	3	1.30	1.19	1.10	44 883
50	3	1.20	1.10	1.00	49 563
55	3	1.14	1.07	1.03	5 316
60	3	1.08	1.05	1.01	53 673

2.2 乳化炸药密度的调整

2.2.1 混装车输药出口压力的调整

根据以上影响因素分析，若想改善乳化炸药密度，必须从水含量、氧化剂、乳化剂三者与油相之间的配比比例关系入手，合理调整炸药配比，以控制乳化炸药的密度。通过理论与实践相结合，在乳化炸

药稳定性能研发上，适当提升的水的百分含量，将水含量由原来的 14%提升到 17%～18%，调整氧化剂硝酸铵比例由 70%至 70%～80%，选用高分子乳化剂替代 SP－80 乳化剂，微调原配方中油相溶液比例，并进行上百次的试验证明，含水量在 17%～18%，乳化炸药具有良好的稳定性能及流动性能，炸药粘稠度降低，密度值在 1.10～1.30 kg/m^3 之间，实验结果爆轰性能较高。

2.2.2　改造静态敏化装置，增加输药连续性

敏化设备的搅拌作用可以使发泡体系各组分均匀的分散在乳胶基质中，并使其充分混合接触，从而快速、有效地产生气泡。但高水位深孔中水孔多为半孔和满孔水状态，而现有静态敏化装置为三孔输出模式，孔径小，螺杆泵压力大，输出炸药分散性高。进入水孔内被冲击后产生不连续状态，降低乳化炸药密度，导致发生半爆、拒爆等不良爆破效果。经研究小组实验研究，通过改造输送管路静态混合器内部结构，在保证输药连续性炸药稳定性前提下，改变穿孔直径为原直径的 2 倍直径见图 4，可以增加炸药出口密度，增加输药连续性，改善爆破效果。



图 4　改善前后静态敏化装置孔网对比图

2.3　油水相溶液配比调整

科研小组经研究实验，对水相溶液及油相溶液比例进行更改，将原比例水相溶液∶油相溶液＝93.5∶6.5 更改为水相溶液∶油相溶液＝93∶7，比例略微提升，增加油相溶液含量，改善油包水性能，增强乳化效果，增加基质稳定性、抗水性能，存储期限从 15～30 天，爆炸性能稳定，油水相配比调整前后状态见图 5。

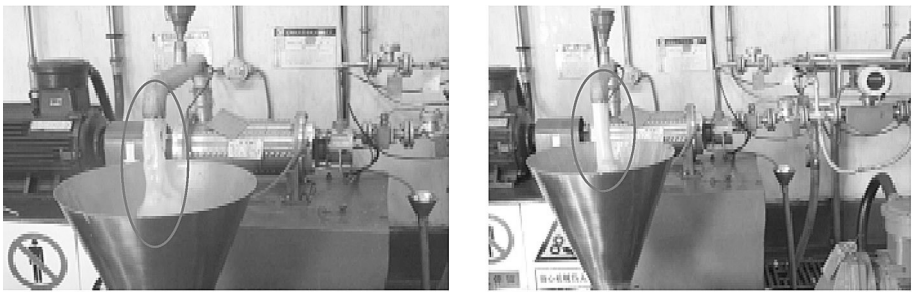


图 5　油水相配比调整前后对比图

3　改善效果

上述实验结果表明，通过对现场混装乳化炸药敏化工序优化、炸药密度的调整及油水相溶液的配比，有效的改善了高水位深孔条件下乳化炸药质量性能，增加高水位深孔内炸药输药连续性，研究小组对课题实施后炸药使用单位进行了跟踪调查。2016 年 5 月至今，采用该配方累计制药 6 000 t 以上用于矿山爆破，爆破效果得到明显改善。

4　结束语

通过对敏化液温度、用量、浓度，基质生产配方，油水相溶液配比三大方面的调整，有效的改善了乳化炸药的质量，提高了乳化炸药在高水位深孔中的稳定性，在实际爆破中有效的解决了高水位深孔中出现频率较高的的拒爆、半爆、前后冲不明显等爆破不理想问题，改进后爆区爆破效果良好，矿山岩石开采效率明显提高。

参　考　文　献

[1]　汪旭光. 乳化炸药(第 2 版) [M] .北京: 冶金工业出版社，2008.

[2]　GB/T 13228—1991，工业炸药测定方法 [S] .

[3]　周康波.乳化炸药生产技术的发展趋势 [J] .煤矿爆破，2012，(2)：12－16.