

文章编号: 1006-9941(2008)03-0262-05

装药车制乳化炸药的试验研究

叶图强¹, 郑旭炳¹, 汪旭光², 吴春平^{2,3}

(1. 广东宏大爆破股份有限公司, 广东 广州 510623;

2. 北京矿冶研究总院, 北京 100044; 3. 北京科技大学土木与环境学院, 北京 100083)

摘要: 针对当前装药车制乳化炸药作功能力偏低、贮存期短、输送压力偏高等问题, 对车制乳化炸药配方进行了优化试验。探讨了敏化剂配比、发泡时间、乳胶基质温度等对炸药密度的影响, 研究了乳胶基质温度对管道输送压力的影响。结果表明: 炸药密度为 $1.10 \sim 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 敏化剂配比为 $1:15 \sim 1:30$, 炸药最佳发泡时间为 15 min, 乳胶基质的温度为 $40 \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ 时, 可以保证管道输送压力正常, 确保车制乳化炸药质量。

关键词: 化学工程; 装药车; 乳化炸药; 作功能力; 炸药密度

中图分类号: TJ55; TQ560

文献标识码: A

1 引言

乳化炸药是一种含水型硝铵类炸药, 它集中了铵油炸药 (ANFO)、浆状炸药和水胶炸药的优点, 爆炸性能良好, 生产和使用安全, 无污染, 抗水性能较强, 是我国民爆行业重点推广的炸药品种^[1-4]。20 世纪 90 年代中期以来, 西方发达国家发展了地面集中制备乳胶基质分散装药体系。在该体系中, 乳胶基质作为一种原材料装在装药车储罐内, 经敏化装填于炮孔中, 或者在敏化前混入粒状 ANFO 和其他干料, 抑或添加液体添加剂后再经敏化装填于炮孔中^[5-6]。

装药车现场制备的散装乳化炸药如同普通袋装乳化炸药, 含有氧无机盐过饱和水溶液和与之不相溶的碳氢化合物, 在乳化剂的乳化作用下, 氧化剂水溶液以微小液滴均匀分散于碳氢化合物构成连续介质, 形成一种油包水型的乳化基质, 再通过物理或化学方法敏化而成。由于装药车机械化装药的需要, 车制乳化炸药通常是可泵送的流体, 不具有雷管感度, 行业标准贮存期 15~30 天。车制乳化炸药虽有许多优点, 但也存在贮存期短、作功能力偏低、输送压力偏高等亟待解决的质量和工艺技术问题^[5-6]。

针对上述问题, 课题组进行了一系列试验, 探讨了影响车制乳化炸药质量的相关因素, 优化了车制乳化炸药配方。

2 装药车制乳化炸药的研究

2.1 装药车制乳化炸药的现状

(1) 乳化炸药的基本配方

组成乳化炸药的组分主要是氧化剂、可燃剂和敏化剂, 另有一定量的水分和少量的添加剂。氧化剂和可燃剂是炸药的主要能量释放者, 其多少直接影响乳化炸药的作功能力^[6-11]。乳化炸药的基本配方见表 1。

表 1 乳化炸药的基本配方

Table 1 The basic formulation of emulsion explosive %

ammonium nitrate	sodium nitrate	organic acid	water	emulsification agent	mineral oil	compound wax
70-82	10-13	0.3-0.5	10-13	2.0-2.4	2.0-3.0	0.5-1.5

(2) 车制乳化炸药的现状及原因

目前装药车制乳化炸药作功能力偏低、贮存期短、输送压力偏高, 其原因是:

① 炸药组分中存在过多的水。水将氧化剂盐溶解于其中, 使氧化剂与可燃剂以近似分子状态紧密接触, 有利于化学反应高速进行, 降低析晶点, 有利于乳化, 但水的化学性质不活泼, 在炸药中是一种钝感剂, 爆炸释放的能量部分消耗于水的加热和蒸发。在装药车的使用过程中, 由于乳胶粘稠, 通常在敏化时加入过量的水, 来降低乳胶输送阻力, 导致炸药组分中存在过多的水。

② 氧化剂水溶液含过多硝酸钠。硝酸钠作为富氧源引入乳化炸药中, 它可以降低硝酸铵溶液的析晶点从而增强乳化炸药的稳定性。但硝酸钠在爆轰反应中被分解生成氧化钠, 将消耗一定的炸药能量。每 1% 的硝酸钠损失爆热 $19.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 相当于 0.2% 的液态水消耗的能量。

③ 不合理的发泡作用条件。a. 采用化学发泡, 最适宜的氧化剂水溶液 pH 值为 3~4。使用过程中, 因工艺控制不当, 水溶液呈弱酸性, 或大量加入发泡促进剂

收稿日期: 2007-10-11; 修回日期: 2008-02-19

作者简介: 叶图强 (1965-), 男, 工程师, 博士, 主要研究方向为炸药与爆破技术。e-mail: yetq@163.com

使溶液 pH 值小于 3,此时发泡速率缓慢或过快。b. 乳胶基质温度的高低直接影响发泡的效果,此时发泡速率过快或缓慢。c. 发泡速率缓慢会影响其爆轰性能,甚至造成管道效应,引起拒爆。发泡过快会造成乳胶基质输送阻力过大,影响装药质量,影响炸药的作功能力。

④ 炸药配方设计偏离氧平衡。一般而言,零氧平衡或微负氧平衡有助于充分发挥炸药能量,即炸药中的碳全部或尽可能氧化成二氧化碳,以获得最大的热(爆热)。若正氧平衡,不仅增加毒气生成量,而且因能量物质(碳)的不足使爆热较低;若负氧平衡过多,则使部分碳生成一氧化碳,爆热亦随之下降,严重者生成碳单质,情形更加恶化。

⑤ 炸药破乳。目前,在工业炸药中乳化炸药的爆轰反应是进行最彻底的一类爆轰反应之一,当其破乳后,爆轰性能急剧下降,甚至拒爆。

2.2 装药车制乳化炸药配方的优化研究

通过理论分析和试验研究,选择恰当的含水量,按最优设计配方,选用以硝酸铵为主的氧化剂,配以辅助氧化剂的水相体系,选择价廉的商品型专用蜡为油相,寻找高分子乳化剂代替乳化炸药生产中广泛使用的 Span-80,提高乳化质量及贮存稳定性,寻求一种有效降低水相析晶点的表面活性剂,使乳化在 90~100℃ 范围进行,确保生产过程安全,并顺利实现基质低温敏化。

(1) 水相材料的选择

① 氧化剂的选择

在乳化炸药中,无机氧化剂盐的水溶液组分是制备乳化炸药的基础,为了较好地满足配方能量高、性能好、成本低的要求,应选择那些单位质量的能量贡献大,每摩尔供氧原子数多、来源广且价廉的氧化剂盐作为氧化剂。硝酸铵是工业炸药中价廉、有效、来源广、使用量最大的氧化剂,也是单位质量能量贡献较大的氧化剂,因此,选用硝酸铵作为装药车用乳化炸药的氧化剂。增加乳化炸药中硝酸铵的含量,能提高爆热和比容,但是硝酸铵在水中的溶解度的温度梯度较大,随着温度的降低,其溶解度急剧地减小。当降低到一定温度时便会发生析晶,这对提高乳化炸药性能的稳定性很不利。众所周知,乳化炸药的析晶点越低,则其性能越好,要想使乳化炸药稳定性好,就应尽可能设法降低水相的析晶点。

② 含水量的确定

水是乳化炸药的主要组分之一,水可使氧化剂溶解形成溶液,能够与可燃剂均匀混合,降低氧化剂与可燃剂的接近度,使爆炸效能得到充分发挥。含水量的大小对乳化炸药的稳定性、密度和爆炸性能有显著影

响。在一定的水分含量范围内,乳化炸药的贮存稳定性随水分含量的增加而提高,其密度则随水分的增加而减少。减少水分含量,可使作功能力提高,但含水量太少,分散相溶解温度升高,乳化质量受影响,贮存期短。综合考虑,多次试验表明,含水量在 7%~10% 时,乳化炸药具有较好的贮存稳定性及较高的爆热和爆容。

(2) 油相材料的选择

油相材料含量直接影响乳化炸药的氧平衡。油相材料用量越大,氧平衡值越呈负值,影响乳化炸药的爆热和爆容。油相材料的用量满足整体乳化炸药为零氧平衡即可。首先要考虑选用的油相材料的亲水疏水平衡值(HLB,也称水油度)与乳化剂的 HLB 值相匹配,以保证使用最少量的乳化剂获得最佳的乳化效果。考虑药体粘稠度和油相材料与乳化剂匹配,选取了一种廉价的 MF 系列复合蜡作为装药车用乳化炸药的油相材料。该油相的特点是热值高,粘度适中,具有合适的滴点和油含量,与高分子乳化剂具有良好的匹配性,制成的乳胶基质稳定性好,且成本较低。

(3) 乳化剂的选择

乳化炸药的质量-无机氧化剂盐水溶液与碳质燃料的乳化效率主要取决于所选用的乳化剂的种类、活性及其搭配。乳化剂是制备乳化炸药的关键组分,它的种类、质量、含量和粘稠度对乳化工艺、乳胶体的质量、粒子大小、爆炸性能、贮存稳定性等有明显的影响。根据乳化理论和实践,生产乳化炸药,应选择那些与油相材料相容性好、分子量高、乳化能力强、性能良好、来源广泛、价格较低的油包水型乳化剂。

常用于乳化炸药的乳化剂中有 Span-80(失水山梨醇单油酸酯)、PCE(聚乙烯丁二酰亚胺)和聚烯烃酰胺类高分子型乳化剂。Span-80 乳化剂和聚烯烃酰胺类高分子型乳化剂以其原材料来源广泛,乳化能力较强等特点适合装药车用乳化炸药生产。

(4) 优化配方的确定

优化研究的方法是调整水含量、降低硝酸钠的量、解决发泡存在问题、调整炸药氧平衡以及改善油相组分。相对而言,水含量、硝酸钠、氧平衡以及改善油相组分是互相制约的影响炸药性能的主导因素,是配方优化研究的关键。

① 影响发泡作用的根源

在不加发泡促进剂的情况下,测得原配方氧化剂水溶液 pH 值为 5.0 左右,若拘泥于配方规定加入酸量,溶液 pH 值偏小,常温下发泡速度过快,气泡大、不均匀。因

此,有必要减少发泡促进剂的量,对比试验结果见表2。

表2结果表明:在配方其它条件不变的情况下,适当降低水相酸度,减少发泡促进剂的用量,可提高炸药的密度和作功能力,在一定程度上改善了爆破效果,有利于降低爆破成本。

② 以适量硝酸铵取代硝酸钠

由于硝酸钠在水中溶解的温度梯度较大,因此可以减少硝酸铵的用量,增大其在水中溶解度,降低氧化剂水溶液的析晶点,使乳化炸药状态稳定且保持必要的塑性。在不改变原配方供氧量前提下,以适量硝酸铵取代硝酸钠,不会明显改变乳胶基质的贮存期,对提高炸药的爆破效果是十分有利的。

③ 选择优良乳化剂

长期以来,Span-80广泛地应用于乳化炸药中,尽管Span-80具有乳化温度低、易起乳、乳化效果好、价格低

等优点,但是用Span-80作乳化剂制备的乳化炸药基质粘度大、流动性差、贮存期短。聚烯烃酰胺类高分子型乳化剂,是以高活性聚异丁烯基丁二酸酐为原料与不同的胺合成深色粘稠油状物,不溶于水,高温(200℃以上)能燃烧,无毒,无刺激气味、不易分解,具有良好的稳定性和化学分散性,起乳化作用,生产的乳胶基质具有良好的稳定性、流动性,是生产车用乳胶基质的优良乳化剂,其加入量一般为炸药总量的1%~3%。

试验表明:当乳胶基质配方中的组分为硝酸铵、硝酸钠、水、矿物油、乳化剂时,在试验的基础上以及满足车制乳化炸药泵送性的前提下,适当降低炸药含水量,调整溶液的pH值,同时相应增加硝酸铵用量,根据氧平衡原则确定矿物油和乳化剂的比例。通过多次试验,修改配方,最终确定了最佳配比。优化前后炸药的配方见表3。

表2 发泡促进剂对发泡效果的影响对比

Table 2 Foaming effects of different accelerants

conditions					explosive density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) at different foaming times (min)			air bubbles	blasting effect
ammonium nitrate/%	sodium nitrate/%	water /%	foaming agent/%	pH value	10 min	20 min	30 min		
70-82	10-13	10-13	0.3	2-4	1.15	1.1	0.9	lesser and uniformity	common
70-82	10-13	10-13	0.2	3-4	1.26	1.2	1.18	lesser and uniformity	well

表3 乳化炸药配方优化前后的比较

Table 3 The composing of original and optimized formulation

dynamite	ammonium nitrate/%	sodium nitrate/%	organic acid/%	water /%	Span-80 /%	macromolecule emulsification agent/%	mineral oil/%	compound wax/%
original formulation	70-82	10-13	0.3-0.5	10-13	2.0-2.4	0	2-3	0.5-1.5
optimized formulation	72-85	8-10	0.2-0.3	7-10	0	1.8-2.0	3-5	0.1-0.5

3 影响装药车制乳化炸药质量的因素

3.1 敏化剂

(1) 敏化剂的选择

乳胶基质须经过敏化剂敏化,才成为乳化炸药,敏化通常是利用大量的微小气泡来实现的。目前,乳化炸药敏化方法主要有多孔物质截留气泡、机械冲气和化学发泡三种。加入多孔物质产生的敏化气泡能够稳定,比较可靠,控制比较准确,但由于是固态物质,不能很好地运用到装药车上;若装药车采用机械冲气使乳化炸药敏化,原理上可行,但工艺上不可行,因乳化炸药是通过螺杆泵泵送的,乳胶基质粘性较大,采用机械冲气不利于泵送。装药车用乳化炸药是选用亚硝酸钠和助泡剂联合的化学敏化技术。为使气泡分布均匀,

提高贮存期气泡稳定性,在 NaNO_2 溶液中加入少量粘附剂,使乳胶基质迅速发泡敏化,且控制乳化炸药密度在 $1.10 \sim 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,在装药后10~15 min即可达到最佳爆破效果。

(2) 敏化剂配比

试验条件:乳胶基质温度 50°C ,室外温度 $25 \sim 35^\circ\text{C}$,在试验室做乳胶基质敏化试验,敏化剂配比(敏化剂:水)为1:8、1:10、1:15、1:20、1:25、1:30、1:35,每次按敏化剂比例不同分为七组,每组10个样品,共70次密度测试,密度测试时间为发泡15 min,试验结果见表4。

表4结果表明:随着敏化剂的增加,车制乳化炸药的密度呈下降趋势。这是由于敏化剂含量越多,乳化炸药发泡较快,气泡大,因而炸药密度偏低,所以,炮

孔每米装药量降低,并且有可能因发泡过快造成输送管堵塞,造成炸药威力明显下降,从而影响爆破效果;敏化剂浓度小,炸药发泡较慢,密度偏高,炮孔每米装药量增加,这样可以增加泵的输送能力,提高装药效率,但也有可能因炸药发泡过慢造成炸药感度降低甚至使炸药没有起爆感度造成盲炮事故。因此,合适的敏化剂配比可以取得良好的爆破效果,而且又能缩短装药时间,提高装药效率。本课题组对车制乳化炸药的敏化剂配比和密度大小的关系进行70次试验,得出以下结论:乳胶基质温度50℃时,根据现场生产需要,密度一般在 $1.10 \sim 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,敏化剂配比必须控制在 $1:15 \sim 1:30$ 之间,才能确保车制乳化炸药达到高性能状态。

表4 敏化剂配比与乳化炸药密度的关系

Table 4 The relationship between the mixture ratios of sensitization agent and the density of emulsion explosive

mixture ratios of sensitization agent	average density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
1:35	1.30
1:30	1.25
1:25	1.20
1:20	1.15
1:15	1.10
1:10	0.95
1:8	0.85

3.2 乳化炸药发泡时间对装药车制乳化炸药的影响

为了确定最佳充填时间,确保装药车制乳化炸药的装药质量,达到车制乳化炸药的最佳作功能力,进行了车制乳化炸药发泡时间与炸药密度的试验,试验条件:选择敏化剂配比为 $1:15$,室外温度 $25 \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$,在试验室做乳胶基质敏化试验,乳胶基质 $50 \text{ }^\circ\text{C}$,每隔3 min测试乳化炸药样品的密度,每次取10个样品组成一组同时进行敏化试验,共进行了100次测试。试验结果见表5。

表5 乳化炸药发泡时间与密度的关系

Table 5 The relationship between foaming time and density of emulsion explosive

foaming time/min	average density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
0	1.35
3	1.25
6	1.2
9	1.18
12	1.15
15	1.1
18	1.1
21	1.1

由表5可见,在敏化剂配比和乳胶基质温度一定的情况下,炸药密度随发泡时间的变化而变化,随着敏化剂混合时间的延长,乳化炸药的密度降低,当敏化剂混合时间延长到一定值时,密度趋于稳定,密度趋于稳定的时间为发泡15 min,这时就是装药时充填炮孔的最佳时间,这时的密度也是通常所说的车制乳化炸药的密度。

3.3 乳胶基质温度对输送管道压力的影响

试验条件:敏化剂配比为 $1:15$,发泡时间15 min,乳胶基质温度在 $30 \sim 62 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,环境温度为 $25 \sim 38 \text{ }^\circ\text{C}$,按乳胶基质温度不同分为12组,在矿山进行了120次现场装药试验,试验结果见表6。

表6 乳胶基质温度对输送管道压力的影响

Table 6 The relationship between the temperature of emulsion explosive matrix and the pressure of transporting pipeline

temperature/ $^\circ\text{C}$	density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	pressure range/ MPa	charge status
30	1.25 ~ 1.30	1.7 ~ 2.4	foaming slow outside the pipeline, transportation unfavorable
35	1.20 ~ 1.25	1.4 ~ 1.6	transportation favoring
40	1.15 ~ 1.20	1.2 ~ 1.6	transportation favoring
42	1.1 ~ 1.15	1.4 ~ 1.8	transportation favoring
45	1.1 ~ 1.15	1.2 ~ 1.7	transportation favoring
48	1.05 ~ 1.15	1.4 ~ 1.6	transportation favoring
50	1.05 ~ 1.15	1.4 ~ 1.6	transportation favoring
52	1.00 ~ 1.10	1.5 ~ 1.7	transportation favoring
55	1.00 ~ 1.10	1.5 ~ 2.3	foaming inside the pipeline, transportation elementary
57	0.95 ~ 1.05	1.6 ~ 2.5	foaming inside the pipeline, transportation elementary
60	0.90 ~ 0.95	1.8 ~ 2.6	foaming inside the pipeline, transportation difficulty
62	0.85 ~ 0.90	2.2 ~ 2.6	foaming inside the pipeline, transportation difficulty

表6结果表明:乳胶基质温度为 $35 \sim 57 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,输送管道压力较小,输送乳化炸药顺利。

如果温度过高,乳化炸药发泡加快,在输送过程中迅速膨胀,导致管道压力增加,严重时会造成输送药管堵塞,如果温度过低,乳胶基质的稠度增大,流动性差,乳胶基质输送不利,导致管道压力增加。因此,在敏化剂配比不变的情况下,乳胶基质必须保持适当温度,才能缩短装药时间,提高装药效率,取得良好的爆破效果。我们对车制乳化炸药的乳胶基质温度和管道输送压力的关系进行120次试验,得出以下结论:敏化剂配比一定时($1:15$),根据现场生产需要,密度一般在 $1.10 \sim 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,乳胶基质的温度必须控制在 $35 \sim 57 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间,才能保证输送管道压力正常,也才

能确保车制乳化炸药达到高性能状态。

4 结 论

(1) 适当降低水相酸度,减少发泡促进剂的用量,提高炸药的密度,提高炸药的作功能力;以适量硝酸铵取代硝酸钠,可提高炸药的作功能力;选择优良乳化剂(高分子乳化剂)取代 Span-80,可提高炸药的贮存期。

(2) 乳胶基质温度 50 ℃ 时,根据现场生产需要,密度一般为 $1.10 \sim 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,能确保车制乳化炸药的质量达到较佳状态,这样敏化剂配比必须控制在 1 : 15 ~ 1 : 30 之间。

(3) 密度趋于稳定的时间即最佳充填时间为发泡 15 min。

(4) 根据矿山爆破需要,乳化炸药密度需要在 $1.10 \sim 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时,当敏化剂配比为 1 : 15 时,乳胶基质温度需要控制在 35 ~ 57 ℃。

参考文献:

- [1] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 北京: 冶金工业出版社,1993.
- [2] WANG Xu-guang, WANG Guo-li, ZHANG Xiao-zhi, et al. Study on powdered emulsified explosive[C]//The Proceedings of the 7th Rock Fragmentation by Blasting. 2002. 47 - 49.
- [3] WANG Xu-guang, ZHOU Jia-han, WANG Zhong-qian, et al. Development of blasting technique in China[C]//The Proceedings of the 7th Rock Fragmentation by Blasting. Beijing China, 2002. 3 - 9.
- [4] 熊代余, 李国仲, 史良文, 等. BCJ 系列乳化炸药现场混装车的研制与应用[J]. 爆破器材, 2004(6): 12 - 16.
XIONG Dai-yu, LI Guo-zhong, SHI Liang-wen, et al. Development and application of BCJ series loading machines for site sensitized emulsion explosive[J]. *Explosive Materials*, 2004(6): 12 - 16.
- [5] 姚桂勋. BCJ 现场混装乳化炸药车的应用[J]. 矿业快报, 2006(12): 65 - 67.
YAO Gui-xun. Application of BCJ loading machines for site sensitized emulsion explosive[J]. *Express Information of Mining Industry*, 2006(12): 65 - 67.
- [6] 王肇中, 汪旭光. 工业炸药作功能力试验方法的探讨[J]. 有色金属, 2005, 57(6): 35 - 36.
WANG Zhao-zhong, WANG Xu-guang. Discussing on testing method of the power for industrial explosives[J]. *Nonferrous Metals*, 2005, 57(6): 35 - 36.
- [7] 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 method of enhancing strength and brisance for explosive[J]. *Explosive Materials*, 2005, 34(2): 16 - 18.
- [8] 龙德权, 张艳梅. ARY1 号岩石乳化炸药研制与生产应用[J]. 爆破器材, 2006(3): 6 - 10.
LONG De-quan, ZHANG Yan-mei. Research and application of the ARY1 rock emulsion explosive[J]. *Explosive Materials*, 2006(3): 6 - 10.
- [9] 叶志文, 吕春绪. 高能乳化炸药的制备及性质[J]. 火炸药学报, 2006(6): 6 - 9.
YE Zhi-wen, Lü Chun-xu. Preparation and properties of high energy emulsion explosive[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2006(6): 6 - 9.
- [10] 刘桢昊. 关于乳化炸药油相材料的研究[J]. 爆破器材, 2006(2): 8 - 10.
LIU Zhen-hao. Study on oil phase of emulsion explosive[J]. *Explosive Materials*, 2006(2): 8 - 10.
- [11] 陆明. 工业炸药配方设计[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.

Experimental Study on Emulsion Explosive Made by Loading Machine

YE Tu-qiang¹, ZHENG Bing-xu¹, WANG Xu-guang², WU Chun-ping^{2,3}

(1. Guangdong Hondar Blasting Co., Ltd., Guangzhou 510623, China;

2. Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100044, China;

3. School of Civil & Environment Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: The formulations of emulsion explosive made by loading machine were optimized to solve the problems such as low power, short storage and high pressure in transporting. The effect of sensitizing agent ratio, foaming time and emulsion matrix temperature on explosive density was studied, and the effect of emulsion matrix temperature on the transporting pressure of the pipeline was also studied. Results show that transporting pressure of the pipeline can be kept in a well-balanced condition and quality of emulsion explosive can be ensured when the explosive density is controlled in the range of $1.10 - 1.25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, the sensitization agent mixture ratio is in the range of 1 : 15 - 1 : 30, the best foaming time is 15 min and the temperature of emulsion matrix must be controlled in the range of 40 - 50 ℃.

Key words: chemical engineering; loading machine; emulsion explosive; power of explosive; explosive density