

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.03.011

# 废矿物油在铵油炸药中的应用\*

宋 日

神华准格尔能源有限责任公司炸药厂(内蒙古鄂尔多斯,010300)

[摘要] 针对露天矿大型采矿设备多,润滑油、液压油等消耗量大,相应产生大量的废矿物油的特点,详细介绍了利用废矿物油代替部分柴油生产铵油炸药的配方设计、工艺流程、性能参数,并进行了效益分析。为矿山在符合环保要求的基础上,通过技术手段参与到处置危险物的行列、进行最大可能的资源循环利用提供参考。

[关键词] 铵油炸药;废矿物油;配方;爆炸性能

[分类号] TQ560.4

## 引言

我国是目前世界上工业炸药生产量最大的国家。2015年,尽管受到煤炭、钢铁、水泥等行业产量下滑的影响,但仍然生产了367.18万吨炸药,其中多孔粒状铵油炸药54.15万吨,占总产量的14.68%。铵油炸药是硝酸铵和燃料油混合而成的一种工业炸药,典型配方(质量分数)是:硝酸铵94.5%、轻柴油5.5%。利用炸药现场混装技术生产的现场混装多孔粒状铵油炸药已经广泛地应用于国内外主要大型露天矿山<sup>[1-3]</sup>。在长期的工程爆破实践中,国内外一直认为柴油是现场混装铵油炸药最好的燃料油,因其具有来源丰富、使用方便、黏度适中等特点,易被多孔粒状硝酸铵所吸附,发热值高,易于参加硝酸铵的爆炸反应<sup>[4]</sup>。受传统观念的影响,现场混装铵油炸药的配方一直沿用多孔粒状硝酸铵和轻柴油。因此,采用价格低廉、性能上能够代替部分柴油的可燃剂,一直是现场混装铵油炸药生产企业追求的目标<sup>[5]</sup>。

废矿物油主要来源于露天矿山大型设备检修保养过程中回收的废机油、液压油及齿轮油等,以及少量的油库储油罐底油;这些废弃资源易造成火灾隐患和环境污染,治理需要花费大量费用,被列入《国

家危险废物名录》,编号为HW08<sup>[6]</sup>。神华准格尔能源有限责任公司炸药厂建立了废矿物油储存的场所,综合回收利用的设备与设施<sup>[7]</sup>,通过了环境保护主管部门组织的环境评价验收,办理了废矿物油综合回收利用经营许可证,采用废矿物油代替部分柴油,生产铵油炸药。

本文就如何利用废矿物油代替部分柴油作可燃剂,生产出其原材料来源广泛、无毒无害、价格低廉且工艺简单的含废矿物油的铵油炸药开展研究。

## 1 配方与工艺的设计

### 1.1 能量分析

矿物油的主要成分为烷烃、多环芳烃、烯烃等烃类有机物。在露天矿山大型设备的使用过程中,高温、高压、高转速等机械摩擦、氧化分解使得矿物油中的各种添加剂失去作用,但其本身的润滑基础油的理化性质基本没有变化。以多孔粒状硝酸铵为氧化剂,整理现有资料数据,分别以0#柴油和矿物油作为还原剂,从能量的角度进行分析,具体数据如表1所示。

可燃剂的能量贡献值 $Q_{re}$ 和能量因子 $q_{re}$ 的数值越大,对系统总能量的提高越有利<sup>[8]</sup>。由表1可知,从能量释放的角度考虑,废矿物油代替部分柴油从

表1 柴油与矿物油能量贡献的 $Q_{re}$ 、 $q_{re}$ 对比

Tab.1 Comparison of  $Q_{re}$  and  $q_{re}$  between diesel oil and mineral oil

| 名称  | 分子式                          | 摩尔质量/<br>( $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) | 氧平衡/<br>( $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) | 开口闪点/<br>$^{\circ}\text{C}$ | 密度/<br>( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) | $Q_{re}/$<br>( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-2}$ ) | $q_{re}/$<br>( $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{mol}^{-2}$ ) |
|-----|------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 柴油  | $\text{C}_{16}\text{H}_{32}$ | 224.0                                          | -3.42                                      | 55                          | 0.84                                       | 197.40                                             | 42.30                                                                  |
| 矿物油 | $\text{C}_{16}\text{H}_{36}$ | 170.5                                          | -3.46                                      | 150                         | 0.85                                       | 211.95                                             | 46.13                                                                  |

\* 收稿日期:2016-03-03

作者简介:宋日(1964-),男,教授级高工,从事露天炸药生产工艺和爆破工程研究。E-mail:shznzycsr@163.com

系统总能量来看是有益的,矿物油是较好的还原剂。

## 1.2 配方设计

一般地说,当炸药配方为零氧平衡或接近于零氧平衡时,炸药爆炸反应的产物才有可能全部或几乎全部是  $H_2O$ 、 $CO_2$  和  $N_2$ ,此时放出的热量最大,爆破或作功的效果达到最佳<sup>[9]</sup>。废矿物油与柴油一样不会引起多孔粒状硝酸铵的热分解加速,且废矿物油的开口闪点较柴油高,因此,组分之间具有良好的相容性,能够确保使用的安全。

依据配方设计的要求,综合考虑性能和成本、制备和使用的平衡统一,通过试验确定铵油炸药组分,如表 2 所示。该配方适合露天矿山利用废矿物油生产现场混装铵油炸药。

表 2 铵油炸药的组分(质量分数)

Tab. 2 Ingredients of ANFO %

| 多孔粒状硝酸铵 | 柴油   | 矿物油  |
|---------|------|------|
| 94.50   | 2.75 | 2.75 |

用简化计算法计算该配方氧平衡值。氧平衡几乎为零。考虑到炸药在装入炮孔过程中会造成部分油料损失,氧化剂多孔粒状硝酸铵恰好能将柴油和废矿物油的混合可燃剂完全氧化,爆炸释放的能量最大,生成物中的有毒有害气体最少。

## 1.3 工艺设计

在氧平衡设计中要统筹兼顾安全性、爆炸性能、成本和制备工艺。废矿物油的运动黏度较柴油偏大,不利于过滤清除杂质和现场混装铵油炸药车燃油输送。通过大量的现场试验,在废矿物油中加入部分柴油充分混合,解决了单一废矿物油配方的过滤清洁难度大、生产效率低的问题。当柴油与废矿物油按照质量比为 1:1 配制成混合油,其运动黏度系数适宜输送泵输送,多孔硝酸铵吸油率也符合要求。运动黏度和吸油率如表 3。

表 3 不同可燃剂的运动黏度和吸油率

Tab. 3 Kinematic viscosities and oil absorption rates of different combustible agents

| 可燃剂             | 测试温度/<br>℃ | 运动黏度 $\times 10^6$<br>/ $(m^2 \cdot s^{-1})$ | 吸油率/<br>% |
|-----------------|------------|----------------------------------------------|-----------|
| 柴油              | 40         | 2.6 ~ 5.8                                    | 9.6       |
| 废矿物油            | 40         | 31.6 ~ 41.2                                  | 10.2      |
| 柴油与废矿物<br>油的混合油 | 40         | 12.0 ~ 17.7                                  | 9.8       |

运动黏度是流体单位接触面积上的内摩擦力与垂直于运动方向上的流速变化率的比值,是衡量在

一定条件下流体流动的程度值,运动黏度越大,流动性越差。表 3 表明,选择柴油与废矿物油质量比为 1:1 的混合油作为多孔粒状铵油炸药的可燃剂,流动性较好,吸油率符合  $>7\%$  的要求。生产工艺流程如图 1 所示。

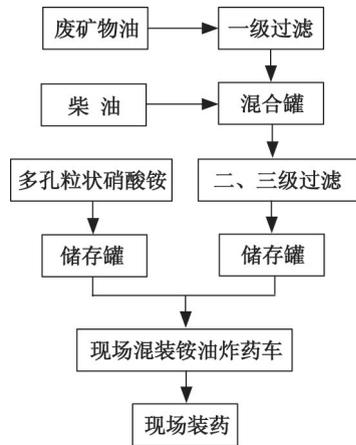


图 1 废矿物油制备铵油炸药生产工艺流程

Fig. 1 Preparation process chart of ANFO using the waste mineral oil

由于废矿物油与柴油的氧平衡值、能量贡献值趋于接近,所以可根据露天矿与铵油炸药地面制备站所处的地理位置和气候条件,适当调节柴油与废矿物油的混合配制比例。夏季废矿物油运动黏度低,可适当增大其比例,冬季适当降低废矿物油的添加比例。冬季也可采用将废矿物油提前放置在有采暖的房屋内预热,保证柴油与废矿物油混合油有一个适合的运动黏度。一般情况下,柴油与废矿物油的混合油的最佳质量比为 1:1。

## 2 现场混装铵油炸药的制备

### 2.1 制备步骤

#### 2.1.1 多孔粒状硝酸铵准备

使用叉车将采用吨袋包装的多孔粒状硝酸铵由储存库或硝酸铵运输车运送至上料塔螺旋输送机进料漏斗,经螺旋输送机运至斗式提升机,再经斗式提升机把硝酸铵运送至上料塔储罐,备用。多孔粒状硝酸铵上料系统如图 2 所示。

#### 2.1.2 柴油与废矿物油的混合油配制

首先将一定量的柴油通过箱式柴油罐或柴油运输车泵送至柴油与矿物油配制槽内,以备稀释运动黏度较大的废矿物油,同时有利于废矿物油中的杂质沉降。然后再将等量的回收在桶中的废矿物油泵送至内置在配制槽的第一级粗过滤网,滤出破布、塑料布等杂物;经过人工搅拌均匀后,再经置于配制槽内的第二级细过滤网、第三级精过滤网泵送至混合



图2 多孔粒状硝酸铵上料系统

Fig. 2 Feeding system of porous granular ammonium nitrate

油储存罐。储存罐安装有电动搅拌装置,搅拌均匀后备用。

### 2.1.3 铵油炸药车现场制药

现场混装铵油炸药车在上料塔硝酸铵储存罐出料口下方,将一定量的多孔硝酸铵加入炸药车硝酸铵料仓中;在柴油、矿物油混配场地,再将混合油储存罐内已配制好的混合油泵送至现场混装铵油炸药车专供制备炸药的工艺用油箱体中;加料完毕后,行驶至爆破作业现场进行装药。

## 2.2 性能测试与爆破试验

### 2.2.1 性能测试

一种新配方炸药的研制,应对该炸药的密度、爆速、作功能力等关键性能指标进行目标控制,进而验证爆炸效果和确定未来使用的方向,以期满足爆破条件的要求。在现场混装铵油炸药地面站,由于受条件限制,日常主要是对炸药的密度、爆速、储存期3项主要技术指标进行测试,作功能力、猛度2项指标由专业检测机构检测,其爆炸性能见表4。

由表4测试数据可见,以柴油和废矿物油质量比1:1的混合油做可燃剂的铵油炸药,与柴油作可燃剂所制备的多孔粒状铵油炸药在密度、爆速、猛度及作功能力4项性能指标参数上没有明显的区别,只是炸药储存有效期略有不同。同时通过分析认为,在可燃剂柴油中加入废矿物油黏度稍有提高,有利于较长时间的储存。

### 2.2.2 爆破试验

为验证含废矿物油的铵油炸药的爆破效果,1998年7月29日,在黑岱沟露天煤矿爆破作业现场,分别填装30t含废矿物油和30t不含废矿物油的铵油炸药,分两片装药,同时起爆。爆破后观察,从爆堆形状、岩石块度、电铲采状效率均无区别。从投入应用至今近16年,在黑岱沟露天煤矿均取得良好的爆破效果。

## 3 经济效益和社会效益

### 3.1 经济效益

1998年7月废矿物油在铵油炸药中应用获得成功,该技术向国家知识产权局递交专利申请,并获发明专利,专利号为98124310.X<sup>[11]</sup>。此项目专利技术在黑岱沟露天煤矿应用中取得了良好的经济效益。

1999年至2015年,16年来共计利用废矿物油7539t,节约成本4618.32万元。其中仅2015年使用废矿物油达1020t,生产铵油炸药3.7万吨,节约成本500多万元,相当于2015年该厂职工工资总额的30%,创造了可观的经济效益。

### 3.2 社会效益

废矿物油的回收利用,降低了准能公司2个露天煤矿资源的消耗,提高了资源利用率,控制了资源成本,同时也改善了露天工业场地的卫生状况。废矿物油的回收利用还改变了传统的“资源—产品—废弃物”的流程,实现了“资源—产品—废弃物—再生资源”的循环经济模式,相当于增加了资源供给。

表4 不同可燃剂的铵油炸药性能及指标对比

Tab. 4 Performance comparison of ANFO with different combustible agents

| 组分(质量分数)                                | 密度/(g·cm <sup>-3</sup> ) | 爆速/(m·s <sup>-1</sup> ) | 猛度/mm | 作功能力/mL | 炸药有效期/d |
|-----------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------|---------|---------|
| 多孔硝酸铵 94.5%; 柴油 5.5%                    | 0.86                     | 2 862                   | 18.6  | 287     | 35      |
| 多孔硝酸铵 94.5%;<br>柴油 2.75%;<br>废矿物油 2.75% | 0.86                     | 2 834                   | 18.2  | 296     | 39      |
| GB17583—1998 标准 <sup>[10]</sup>         | 0.8~0.9                  | ≥2 800                  | ≥15   | ≥278    | ≥30     |

注:爆速测试使用∅50 mm×5 mm 钢管约束。

用废矿物油代替柴油生产铵油炸药,能够使废矿物油被清洁利用,最大程度地发挥废矿物油的残值。该技术是处理废矿物油最环保、最经济、最有效的技术措施;同时,大量节约柴油,对实现循环经济、节能减排,具有重要意义,也消除了企业随意倾倒或非法转移倒卖给无废矿物油经营资质的个体单位所带来的环保事件风险。随着工业化的发展,废矿物油的产生将持续增长,带来的环境等问题日益严重,本项目选择适当的技术措施进行无害化清洁处理,实现了经济效益、环境效益和社会效益的协调发展。

#### 4 结论

1) 研制的废矿物油代替部分柴油制备铵油炸药的组分配方(质量分数)为:多孔粒状硝酸铵 94.50%,废矿物油 2.75%,柴油 2.75%。该配方根据露天矿现场自有条件,在保证混合油运动黏度不影响泵输送和多孔硝酸铵吸油率的条件下,可适当调整配方。

2) 采用废矿物油替代部分柴油制备的铵油炸药,各项爆破性能良好,符合 GB17583—1998 铵油炸药标准要求。

3) 该技术为露天矿山废矿物油找到一条依法合规、清洁无害化处置的有效途径,具有良好的环境效益、经济效益及社会效益。

#### 参 考 文 献

- [1] 吕春绪. 工业炸药理论[M]. 北京:兵器工业出版社, 2003.  
LÜ C X. Theory of industrial explosive[M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 2003.
- [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, 15(4): 82-85.  
GUO Z J, MA P. Application of site mixing and loading system for explosive to casting blast technique in large

open pit coal mine [J]. Engineering Blasting, 2009, 15(4): 82-85.

- [3] 李玉清, 宋日, 李渊, 等. 露天矿高台阶抛掷爆破炸药配方设计及现场制备[J]. 爆破器材, 2013, 42(3): 37-40.  
LI Y Q, SONG R, LI Y, et al. Design and onsite preparation of explosive used for high step casting blast in open-pit mine [J]. Explosive Materials, 2013, 42(3): 37-40.
- [4] 云庆夏, 杨万根, 雷化南. 国外矿用工业炸药[M]. 北京:冶金出版社, 1975: 29-30.
- [5] 岳中文, 于强, 李玉清, 等. 废食用油在混装多孔粒状铵油炸药中的应用[J]. 工程爆破, 2015, 21(4): 2-3.  
YUE Z W, YU Q, LI Y Q, et al. Application of waste edible oil in mixed porous granular ANFO explosive [J]. Engineering Blasting, 2015, 21(4): 2-3.
- [6] 中华人民共和国环境保护部, 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家危险废物名录[Z]. 2008.
- [7] 薛占山. 废油品在铵油类炸药生产中的综合效益[J]. 露天采矿技术, 2014(10): 82-83.  
XUE Z S. Comprehensive benefits of waste oil in the production of ammonium oil explosive [J]. Opencast Mining Technology, 2014(10): 82-83.
- [8] 陆明. 炸药的分子与配方设计[M]. 北京:兵器工业出版社, 2004: 63-65.
- [9] 汪旭光. 乳化炸药[M]. 2 版. 北京:冶金出版社, 2008: 184-185.
- [10] 冶金工业部长沙矿冶研究院. 多孔粒状铵油炸药: GB17583—1998[S]. 北京:中国标准出版社, 1999.  
Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy, Ministry of Metallurgical Industry. Ammonium nitrate fuel oil explosive: GB17583—1998 [S]. Beijing: China Standard Press, 1999.
- [11] 宋日. 铵油炸药及其制造工艺: 98124310. X [P]. 1998-10-28.

### Application of Waste Mineral Oil in ANFO

SONG Ri

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

[ABSTRACT] In open-pit mine, a lot of large mining deceives are used, and a bunch of waste mineral oil has generated after using lubricating oil and hydraulic oil on a massive scale. The waste mineral oil was introduced here to substitute partially diesel in preparation of ANFO. It involved formulation design, technological process, performance parameters, and processes benefit analysis. Besides, in the addition of meeting the environmental requirements, it also provides a reference work for open-pit mine where a large amount of waste mineral oil is handled to utilize the advanced technology and to attain the purpose of resources recycling as possible.

[KEY WORDS] ANFO; waste mineral oil; formulation; explosion properties