

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2022.01.011

# 多孔粒状铵油炸药爆炸后有毒气体含量的 常压测试方法<sup>\*</sup>

孙 晨

中煤科工集团淮北爆破技术研究院有限公司检测中心 (安徽淮北, 235100)

[摘 要] 为研究现场混装炸药爆炸产生的有毒气体含量,以多孔粒状铵油炸药为试验对象,将改装后的炸药试样在爆炸箱测试装置内常压下引爆,研究影响有毒气体产生量的因素,建立有毒气体常压测试方法。结果表明:填充石英砂至覆盖住受试药卷后,有毒气体产生量最低且趋于稳定。保证其他条件相同,增加起爆药量或多孔粒状铵油炸药装药量在一定范围内可使有毒气体产生量降低,改变装药直径也会导致有毒气体产生量发生变化。最终确立了该方法下最佳试验条件。

[关键词] 多孔粒状铵油炸药;爆炸箱;常压测试;有毒气体

[分类号] TK421

## Test Method for Volume of Toxic Gas Produced by Explosion of Porous Granular Ammonium Explosive at Atmospheric Pressure

SUN Chen

Testing Center, Huaibei Blasting Technology Research Institute Co., Ltd., China Coal Science and Industry Group  
(Anhui Huaibei, 235100)

[ABSTRACT] In order to study the content of toxic gas produced by explosion of mixed explosives on site, porous granular ammonium explosives were used as the test object. The modified explosive samples were detonated under normal pressure in JC-BN-500G explosion box test device to study the factors affecting the production of toxic gas, and a test method for toxic gases at atmospheric pressure was established. Results show that, after filling quartz sand to cover the test drug volume, the toxic gas content is the lowest and tends to be stable. Under the same other conditions, increase of explosive amount or porous granular ammonium explosive charge could reduce toxic gas content within a certain range. Diameter change of the charge will also lead to the change of toxic gas content. The best test conditons under this method are finally established.

[KEYWORDS] porous granular ammonium explosive; explosion box; atmospheric test; toxic gas

### 引言

作为现场混装炸药的一种,多孔粒状铵油炸药在制造和使用方面具有诸多优点<sup>[1]</sup>,得到迅速发展且用量大幅提升。随着以现场混装炸药<sup>[2]</sup>为主导产品的格局的逐步形成,建立以多孔粒状铵油炸药为代表的现场混装炸药爆炸后有毒气体测试方法,对指导现场混装炸药产品配方调整、控制有毒气体产生量等方面均具有重要的现实意义。

目前,国内工业炸药爆炸产生有毒气体方面的研究,基本上采用传统工业炸药测试标准 GB18098—2000 中规定的方法<sup>[3-6]</sup>。而对现场混装炸药爆炸产生有毒气体方面的研究鲜有报道。南理工的学者针对多孔粒状铵油炸药爆炸后有毒气体含量进行了研究,且取得一定成果,但依然采用传统方法适当改进后进行检测<sup>[7]</sup>。传统工业炸药爆炸后有毒气体测试方法中,装药量一般在 130 g 以下,试验药量较小且限制了炸药装药直径,尤其是后期需对弹筒进行抽真空,导致样品在真空状态下引爆,与

<sup>\*</sup> 收稿日期:2021-06-19

基金项目:天地科技股份有限公司科技创新创业资金专项项目 (2019-TD-QN034)

第一作者:孙晨 (1992 - ),男,硕士,助理工程师,主要从事民用爆破器材安全与性能基础研究及检测。E-mail:117525575@qq.com

实际爆破作业环境不符。

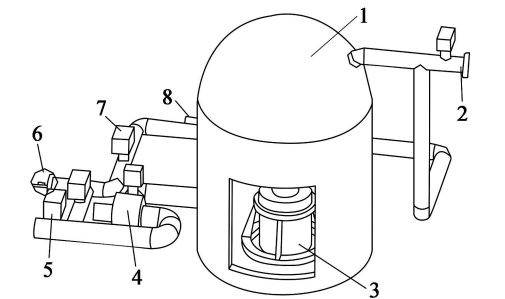
本研究中,将多孔粒状铵油炸药放置在实验室前期建立的有毒气体爆炸箱中,在常压状态下引爆。一方面,可以扩大试验药量,更贴近混装炸药真实爆轰<sup>[8]</sup>;另一方面,可改变装药直径,分析其有毒气体产生量的影响因素,进而建立常压下多孔粒状铵油炸药爆炸后有毒气体的测试方法。

## 1 试验部分

### 1.1 试验装置与主要仪器

试验装置如图 1 所示。最大试验药量 500 g TNT 当量;爆炸箱有效容积 15.56 m<sup>3</sup>;内置钢炮的外部尺寸为∅450 mm×600 mm,中心孔尺寸为∅100 mm×420 mm。

试验仪器设备:数字式温湿度计,KDTH-1 型,温度测量精度为±0.5℃,湿度测量精度为±3%;便携式红外一氧化碳分析仪,GXH-3011A1 型,分辨率 0.001%;U 型压力计,量程 0~10 kPa,分度值 0.1 kPa;紫外-可见分光光度计,UV1900 型。



1 - 爆炸箱;2 - 排风机;3 - 钢炮;4 - 循环风机;  
5 - 鼓风机构;6 - 取气口;7 - 气动阀;8 - 排气口。

图 1 有毒气体爆炸箱测试装置

Fig. 1 Toxic gas explosion box test device

### 1.2 试验方法及步骤

雷管均选择 8# 工业电雷管。以煤矿许用乳化炸药作为起爆药,试验用多孔粒状铵油炸药装药密度为 0.94 g/cm<sup>3</sup>,假定起爆药与受试药爆炸后有毒气体具有加和性。试验用牛皮纸长 300 mm、宽 200 mm,并按直径要求制成相应纸筒,底部用裁好的规格一致的牛皮纸密封。试验改装用牛皮纸的质量低至几克,与几百克炸药爆炸相比,其产生的有毒气体量相对很小,因此不考虑牛皮纸对有毒气体含量的影响。

试验前,用温湿度计测试爆炸箱内系统的温度和湿度。将改装后的试验药卷放入爆炸箱内起爆;起爆完毕,开启循环风机至少工作 5 min,使爆炸箱

内的气体混合均匀;打开箱体外壁管路阀门,待压力稳定后,记录 U 型压力计的压差、爆破后爆炸箱内部的温度和湿度、测试时环境的气压;最后,用取样器进行取气测试。

爆炸箱密封性判定:爆炸后,循环加静置 15 min 以上,以箱体侧壁 U 型压力计示数基本保持稳定为准。如压力计示数一直降低,无法稳定读数,则判定为密封不达标。

气体试样中,一氧化碳采用定制量程为 0~1.000% 的便携式红外一氧化碳分析仪测定,氮氧化物采用紫外-可见分光光度计测定。具体的测定方法参照《工业炸药爆炸后有毒气体含量的测定》中规定的方法进行。

### 1.3 试验内容

#### 1.3.1 确定石英砂填充量

工业卷装乳化炸药爆炸性能相对稳定,可以作为研究对象。在不改变原药卷状态下,称取 500 g 卷装乳化炸药,改变石英砂的填充量,分别进行 4 组试验。在常压下大爆炸箱内,研究石英砂填充量对炸药爆炸后有毒气体含量的影响。

#### 1.3.2 确定起爆药量

称取 500 g 左右多孔粒状铵油炸药,用牛皮纸改装为直径 80 mm 的受试药卷,分别在起爆药质量为 50、60、70、80、90、100、110 g 和 120 g 下进行起爆试验。

#### 1.3.3 不同装药量和装药直径试验

在确定起爆药量后,改变多孔粒状铵油炸药的装药量为 300、400 g 和 500 g,分别进行试验,记录有毒气体数据;在最佳起爆药量和装药量下,改变装药直径为 70、80 mm 和 90 mm 分别进行试验。

### 1.4 计算公式

由于测试过程为非真空状态,因此参照原有毒气体计算公式进行调整,得到常压下单位质量多孔粒状铵油炸药爆炸产生的有毒气体体积  $V$  的计算公式:

$$V = \left[ \frac{273 V_{\text{箱}} (p_3 + p_1 - p_2)}{101.3 (273 + t)} (\phi_1 + 6.5 \phi_2) - \frac{m}{1\,000} V_{\text{起}} \right] \frac{1\,000}{m'} \quad (1)$$

式中: $V_{\text{箱}}$  表示有毒气体爆炸箱测试装置(含管道部分)的实际有效容积,L; $V_{\text{起}}$  为单位质量起爆药爆炸后生成的有毒气体体积,L/kg; $p_3$  为 U 型压力计测定的压力,kPa; $p_2$  为试验前、后水蒸气的分压差,kPa; $p_1$  为测定时的大气压力,kPa; $\phi_1$  和  $\phi_2$  分别为改装药卷(含起爆药)爆炸后气体试样中一氧化碳

和氮氧化物的体积分数, % ;  $m$  为测定用起爆药量, g ;  $m'$  为测试用现场混装炸药量, g ;  $t$  为测定时爆炸箱内室温,  $^{\circ}\text{C}$  ; 101.3 为压力换算系数。

测试在常压条件下进行, 试验环境为非真空且容积较大, 爆炸箱体本身存在空气且空气中带有水蒸气; 因而, 初始状态下存在水蒸气分压。分压差  $p_2$  表示为:

$$p_2 = \theta_1 p' - \theta_2 p''.$$

(2)

式中:  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  分别为试验前、后空气的相对湿度;  $p'$ 、 $p''$  分别为试验前、后对应温度下的饱和水蒸气压力。

2 结果与讨论

2.1 石英砂填充量的影响

称取 500 g 煤矿许用乳化炸药, 加入石英砂后, 在试验装置中引爆。装药情况如图 2 所示; 测试结果如表 1 所示。

由表 1 数据可知, 常压下起爆时, 随着石英砂填充量的增加, 有毒气体含量呈降低趋势。未填充石英砂时, 炸药与钢炮孔之间存在较大间隙。填充石英砂后, 相当于增加了炸药的束缚, 使爆轰效果更好; 同时, 炸药爆炸后, 石英砂起到快速冷却周围气体的作用, 使反应向不利于一氧化碳生成的方向进行。当石英砂刚好覆盖住受试药卷和雷管尾部后, 再增加石英砂量, 有毒气体含量基本保持恒定。因

为在该条件下, 炸药达到稳定爆轰状态, 再增加石英砂量对爆炸反应的影响很小, 导致有毒气体量趋于稳定。因此, 为统一试验条件和便于操作, 后续测试时可选择石英砂填充至刚覆盖住受试药卷。

2.2 起爆药量的影响

以 50 g 起爆药量起爆, 爆炸效果如图 3 所示。观察爆炸效果发现, 试验后装置内无残药, 以此判断 50 g 试验药量可使 500 g 多孔粒状铵油炸药完全起爆。起爆药量对多孔粒状铵油炸药爆炸产生有毒气体的影响见图 4。

由图 4 可知: 随着起爆药量的增加, 多孔粒状铵油炸药爆炸后有毒气体量整体呈下降趋势; 起爆药增加到一定药量, 有毒气体量基本趋于稳定。造成该差异的主要原因: 当起爆药量较小时, 虽能起爆多孔粒状炸药, 但是由于起爆能量较低, 导致爆轰效果不稳定, 因而产生较多的有毒气体; 当继续增大起爆药量, 相当于增加了起爆能量, 500 g 多孔粒状铵油炸药爆轰效果趋于稳定, 从而有毒气体量降低且趋于稳定。为统一变量, 后续试验研究中起爆药量选择 100 g。

2.3 装药直径和装药量的影响

多孔粒状铵油炸药在大爆炸箱内试验的装药示意图见图 5。

确定多孔粒状铵油炸药装药量为 500 g 时, 改变装药直径为 70、80 mm 和 90 mm, 以 100 g 起爆药



图 2 不同石英砂填充量时的装药

Fig. 2 Charge with different filling volume of quartz sand

表 1 石英砂填充量对有毒气体量的影响

石英砂填充量	爆炸后箱体内气体体积/L	$V(\text{CO})/(\text{L} \cdot \text{kg}^{-1})$	$V(\text{NO}_x)/(\text{L} \cdot \text{kg}^{-1})$	$V_{\text{起}}/(\text{L} \cdot \text{kg}^{-1})$
未填充	14 659.5	22.7	0.60	26.6
填充未没过药卷	14 792.7	13.0	0.24	14.6
填充刚没过药卷	14 764.4	10.3	0.21	11.7
没过药卷一定高度	14 760.8	10.3	0.18	11.4



(a)起爆前 (b)起爆后

图 3 起爆药量 50g 时的爆炸效果

Fig. 3 Explosion outcome when detonating charge is 50 g

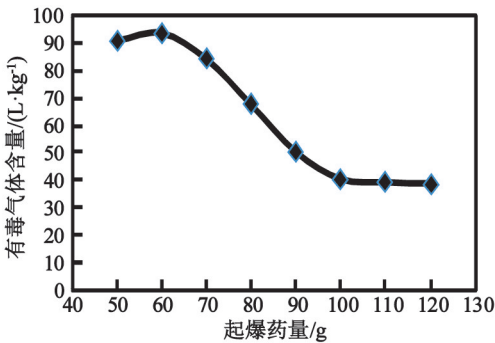
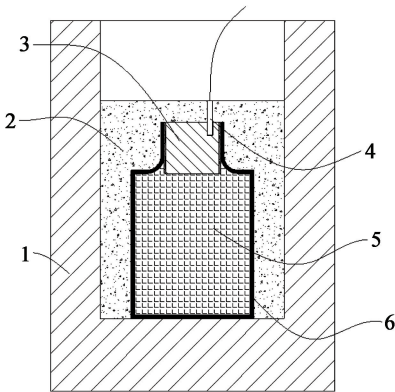


图 4 起爆药量与多孔粒状铵油炸药爆炸产生的有毒气体含量的关系

Fig. 4 Relationship between amount of explosive and content of toxic gas produced by explosion of porous granular ammonium



1 - 钢炮;2 - 石英砂;3 - 起爆药;4 - 雷管;5 - 多孔粒状铵油炸药;6 - 牛皮纸。

图 5 多孔粒状铵油炸药装药图

Fig. 5 Charge diagram of porous granular ammonium explosive

进行起爆。测试结果如表 2 所示。

由表 2 结果可知,装药直径为 80 mm 时,有毒气体含量最少。当装药直径为 70 mm 时,装药长度较长,多孔粒状铵油炸药的装药本身就不具有不稳定性,起爆时药卷传爆效果不理想,爆轰不连续,导致有毒气体含量增加。而药卷直径过大,接近炮孔直径时,有毒气体量也会增加。

表 2 装药直径对有毒气体含量的影响  
Tab.2 Influence of charge diameter on content of toxic gas

装药直径 $d/\text{mm}$	起爆药量 $m/\text{g}$	装药量 $m'/\text{g}$	$V_{\text{起}}/$ ( $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$V/$ ( $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
70	100	500	11.7	74.9
80	100	500	11.7	40.5
90	100	500	11.7	65.4

造成此现象的原因:改装后的多孔粒状炸药在该炮孔内可能已达到炸药极限直径。同时,在同样 500 g 药量下,直径 90 mm 时药卷过短,参照之前研究<sup>[9]</sup>,炸药并不是在起爆后立即达到稳定爆轰状态,而需要传爆一定距离,爆轰反应才达到稳定;药卷过短导致炸药爆轰未达到稳定状态或稳定爆轰段过小,从而有毒气体含量增加。

确定装药直径为 80 mm、起爆药量为 100 g 时,改变多孔粒状铵油炸药的装药量进行测试,测试结果如表 3 所示。

表 3 多孔粒状铵油炸药装药量对有毒气体含量的影响

Tab.3 Influence of charges of porous granular ammonium explosives on content of toxic gas

装药直径 $d/\text{mm}$	起爆药量 $m/\text{g}$	装药量 $m'/\text{g}$	$V_{\text{起}}/$ ( $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$V/$ ( $\text{L} \cdot \text{kg}^{-1}$ )
80	100	500	11.7	40.5
80	100	400	11.7	58.1
80	100	300	11.7	61.8

由表 3 测试结果可得,对于现场混装炸药而言,在装药直径相同的情况下,装药量(即试验药量)增大,有毒气体含量降低。主要因为针对现场混装炸药而言,在条件允许的情况下,大药量更能真实反应炸药爆轰情况,在一定范围内有利于爆炸的稳定性。由于试验装置对试样药量的限制,继续增大试验药量可行性不高;因此,根据炸药爆炸性能,设想当装药量继续增大,装药长度增加,最终由于装药长度过长可能导致爆炸反应过程不稳定,传爆性能下降,有毒气体量增加。

### 3 结论

1) 基于有毒气体爆炸箱测试装置,建立了多孔粒状铵油炸药在常压环境下大药量爆炸时产生的有毒气体含量的测试方法,试验药量达 500 g。该方法同时可为其他现场混装炸药爆炸产生有毒气体含量

的测试提供参考。

2)在常压下测试时,石英砂装填量选择刚覆盖住受试药卷为宜;再增加石英砂用量,有毒气体含量无明显变化。

3)以工业卷装乳化炸药作为起爆药起爆多孔粒状铵油炸药的结果是可行的。选择起爆药量为 100 g、多孔粒状铵油炸药装药量为 500 g、装药直径为 80 mm 时,有毒气体含量最低。以此作为多孔粒状铵油炸药常压下爆炸产生有毒气体含量测试的最佳试验条件。

参 考 文 献

[1] 赵冉. 多孔粒状铵油炸药的抗水性探索研究[D]. 北京:北京理工大学,2015.  
ZHAO R. Research on water resistance of porous prilled ammonium nitrate fuel oil[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology,2015.

[2] 郭靖,石翠,黄应平. 现场混装炸药与传统商品炸药爆破效果对比[J]. 煤矿爆破,2020,38(2):5-8.  
GUO J,SHI C,HUANG Y P. Comparison of blasting effect between on-site mixed explosive and conventional commercial explosive[J]. Coal Mine Blasting, 2020,38(2):5-8.

[3] 高贫,潘峰. 工业炸药有毒气体含量测定的影响因素[J]. 爆破器材,2014,43(6):30-34.  
GAO P,PAN F. Factors affecting the measurement of toxic gases produced by industrial explosives[J]. Explosive Materials, 2014,43(6):30-34.

[4] 刘丽梅,宁平,吕春绪. 工业炸药爆炸后有毒气体含量测定方法标准的讨论[J]. 工程爆破,2010,16(1):74-77.

LIU L M,NING P,LÜ C X. Discussion on determination standard of toxic gas volume formed by detonation of industrial explosive[J]. Engineering Blasting, 2010,16(1):74-77.

[5] 彭云昆. 浅析影响工业炸药爆炸后有毒气体含量的因素[J]. 爆破器材,2010,39(4):35-38.  
PENG Y K. Analysis of factors influencing the content of toxic gases after industrial explosive explosion[J]. Explosive Materials, 2010,39(4):35-38.

[6] 吴国群. 煤矿许用炸药爆炸后有毒气体含量的实验测定[J]. 煤炭技术,2014,33(5):294-295.  
WU G Q. Determination of toxic gases content formed by detonation of permissible explosive[J]. Coal Technology, 2014,33(5):294-295.

[7] 高贫,刘大斌. 多孔粒状铵油炸药爆炸后有毒气体含量测定[J]. 爆破器材,2008,37(6):8-10.  
GAO P,LIU D B. Measurement of the toxic gases produced by ANFO[J]. Explosive Materials, 2008,37(6):8-10.

[8] 胡洋勇,颜事龙,郭子如,等. 工业炸药爆炸后有毒气体含量的测定及结果分析[J]. 火工品,2013(2):25-28.  
HU Y Y,YANG S L,GUO Z R,et al. Analysis and determination of poisonous gas volume generated from industrial explosive detonation[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2013(2):25-28.

[9] 王园园,康强,伞冰冰,等. 现场混装炸药爆速测试技术改进方法探讨[J]. 爆破,2019,36(2):126-130.  
WANG Y Y,KANG Q,SAN B B,et al. Discussion on improvement method of detonation velocity testing technology for site mixed explosives[J]. Blasting, 2019,36(2):126-130.

声 明

- 1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。
- 2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部