

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.05.009

# 一种新型燃爆药剂的研究<sup>\*</sup>

孟丽娟<sup>①②</sup> 颜事龙<sup>①</sup> 丹慧勇<sup>②</sup> 王永华<sup>②</sup> 江元源<sup>②</sup> 刘兴远<sup>②</sup>

①安徽理工大学(安徽淮南,232001)

②河北六零七化工有限公司(河北邯郸,056201)

[摘 要] 测试了一种新型燃爆药剂的各项性能指标,分析讨论了燃爆药剂的起爆机理,利用 LGS-1 型毫秒雷管计时仪测定了无起爆药雷管的各项指标和延期时间,并研究了燃爆药剂的装药密度对雷管秒量精度的影响,以及装药密度和装药量对雷管轴向输出能量的影响。结果表明,燃爆药剂的无起爆药雷管的秒量精度明显优于起爆药,在一定范围内,密度越大,无起爆药雷管的起爆能力越大,秒量精度越高,合适的燃爆药剂装药量为 0.18~0.22 g;装药密度最佳范围为 1.4~1.5 g/cm<sup>3</sup>。

[关键词] 燃爆药剂;性能测试;装药密度;装药量;输出威力

[分类号] TQ563;TQ565;TJ453

## 引言

新型燃爆药剂的研究意在取消传统的起爆药<sup>[1-4]</sup>。传统的起爆药具有加工简单、燃烧转爆轰迅速、成本低等优点,但是传统起爆药存在感度高、加工过程不安全、污染严重等问题。本文研究一种由黑索今、氧化剂和可燃的辅助添加剂混合而成的新型燃爆药剂,装配于无起爆药基础雷管中,测试其性能,研究燃爆药剂的装药密度和装药量对无起爆药雷管<sup>[5-9]</sup>轴向输出威力影响,从而代替传统的起爆药来提高工业雷管生产、运输、使用的安全性,减少环境污染。

## 1 燃爆药剂的制备

### 1.1 原材料

黑索今,纯度为 99.9%,平均粒径为 4.232 μm,水分质量分数≤0.10%;氧化剂,纯度为 99.5%,平均粒径为 3.488 μm,水分质量分数≤0.05%;可燃的辅助添加剂,纯度为 99.5%,平均粒径为 22.500 μm,水分质量分数≤0.02%;黏合剂为质量分数 10%的酒精虫胶漆。

### 1.2 试验样品的制备

黑索今、氧化剂、可燃的辅助添加剂按一定的质量比放入混药机,混合均匀。将混好的药送至晾药间风干约 1 h 左右,当药成型性好、过筛呈粒状时,在 35 目造粒筛上人工造粒,在恒定温度为 50 ℃ 的烘箱中干燥 48 h 后待用。

## 1.3 燃爆药剂的起爆机理

燃爆药剂为黑索今、氧化剂、可燃的辅助添加剂的混合药剂,燃烧转爆轰的速度比起爆药慢,因此需要在燃爆药剂燃烧转爆轰的部位减少稀疏膨胀波的损失,对无起爆药雷管壳进行了改进。此时燃爆药剂在强约束力的作用下,使燃烧转爆轰在短时间内成功完成。

燃爆药剂的起爆是由延期药引燃燃爆药剂,产生高温高压的燃烧气体产物,延期药燃烧后的残渣阻塞高温高压的气体产物向上运动,防止泄压,气体只能向下运动,由于无起爆药雷管壳独特的内部结构,在装药部位产生的强约束力作用力下,使燃烧转爆轰在短时间内成功完成。当火焰的初始能量进入燃爆药剂后,最初比较弱,燃烧速度慢,大部分燃爆药剂不发生化学反应,在可燃的辅助添加剂的催化作用下,到一定程度后燃速快速增加,温度足够高时,经过一定的延滞期后发生局部爆炸,由于燃爆药剂密度梯度和燃烧速度加快,化学反应放热能够加强初始冲击波,反复作用下,使在燃爆药剂中进行的冲击波不断增强,最后可达到高速稳定爆轰。

经计算可得,黑索今、氧化剂、可燃的辅助添加剂组成的燃爆药剂的氧平衡值为 -0.015 45,微负氧平衡。

## 2 燃爆药剂的性能

燃爆药剂的性能测试结果见表 1。

\* 收稿日期:2015-01-20

基金项目:国家自然科学基金-煤炭联合基金(51134012)

作者简介:孟丽娟(1983~),女,硕士研究生,主要研究方向为工业雷管。E-mail: 125399683@qq.com

表 1 燃爆药剂的性能测试

Tab. 1 Performance test of the combustion and explosion composition

测试项目	试验条件	标准要求	检验结果
摩擦感度(平均发火率)	摆角 60 ℃;表压 0.88 MPa;药量 20 mg;室温 22 ℃;相对湿度 60%	—	爆炸概率:0.46;50 发置信区间:(0.32,0.61)
撞击感度(50%发火感度,落高)	锤质量 2.0 kg;药量 20 mg;落高 200 mm;室温 23 ℃;相对湿度 42%	—	发火概率:0.30;50 发置信区间:(0.18,0.44)
静电火花感度	放电电压 6.6 kV;放电电容 0.22 μF;放电间隙 0.25 mm;串联电阻 0 Ω,无点平,极针为负;药量 20 mg;室温 24~25 ℃;相对湿度 45%~46%	—	发火概率:0;50 发置信区间为:(0,0.07)
真空安定性	100 ℃恒温 48 h	每克试样放气量不大于 2 mL,安定性合格	每克试样放气量分别为:0.14、0.05、0.11 mL
相容性	100 ℃恒温 40 h	评价火药、炸药相容性的推荐性等级; $R < 3.0$ mL,相容; $R = 3.0 \sim 5.0$ mL 中等反应; $R > 5.0$ mL,不相容	引火药与镀锌铁反应净增放气量( $R$ )为:0.08、0.28、0.28 mL 引火药与法蓝铁反应净增放气量( $R$ )为:0.08、-0.12、0.22 mL
吸湿性	相对湿度 91%;加热温度 30 ℃;加热时间 96 h	—	吸收水分的质量分数为:0.59%

3 燃爆药剂装配成无起爆药雷管的过程中药量和密度的确定

3.1 药量的确定

试验按 GB/T13226—1991 进行,本试验为燃爆药剂无起爆药电雷管,猛炸药总药量为 0.6 g。每组试验 20 发,五段煤矿许用型无起爆药电雷管,采用 100 型发爆器引爆,数值取平均值。

从图 1 中找出最大铅板穿孔直径,得出燃爆药剂的药量在 0.20 g 时,铅板穿孔直径最大。在生产过程中,燃爆药剂的最佳药量控制在 0.18~0.22 g 之间。当燃爆药剂的药量 <0.18 g 时,药量越少,铅板穿孔值越小,无起爆药雷管输出的起爆能力减小,在加强帽体积不变的情况下,燃爆药剂的密度也随之减小,无起爆药雷管的秒量精度变低;当燃爆药剂

的药量 <0.10 g 时,开始出现半爆率增大的现象。而当燃爆药剂的药量 >0.22 g 时,药量越多,铅板穿孔值越小,无起爆药雷管输出的起爆能力减小,在加强帽体积不变的情况下,药量超出了加强帽体积范围,也超出了管壳独特内部结构对它的约束,达不到维持过渡药剂在燃烧转爆轰的阶段就能量外泄,造成半爆;所以当药量 >0.30 g 时,开始出现半爆率增大的现象。

3.2 密度的确定

确定燃爆药剂的最佳药量范围 0.18~0.22 g,分析燃爆药剂的密度对雷管轴向威力的影响。

燃爆药剂的爆轰属于混合反应机理,爆速随密度增大而增大,见经验公式<sup>[10]</sup>:

$$D = D_0 + M(\rho - \rho_0)。$$

(1)

式中: $D$  为燃爆药剂在密度为  $\rho$  时的爆速, m/s;  $D_0$  为燃爆药剂在密度为  $\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3$  时的爆速, m/s;  $M$  为密度增加  $1 \text{ g/cm}^3$  时爆速的增值。

雷管的轴向威力主要取决于爆速,由式(1)可得,密度越大,爆速越高,因此轴向威力越大。通过铅板穿孔试验亦得到印证,燃爆药剂的密度越大,对无起爆药雷管的轴向输出威力越大,见图 2。

在生产无起爆药毫秒延期电雷管<sup>[8]</sup>过程中,在其他影响秒量精度的因素都相同的前提下,装入燃爆药剂,经计算可得燃爆药剂的假密度为  $0.6 \text{ g/cm}^3$ 。将制备的延期体装配于无起爆药基础雷管,

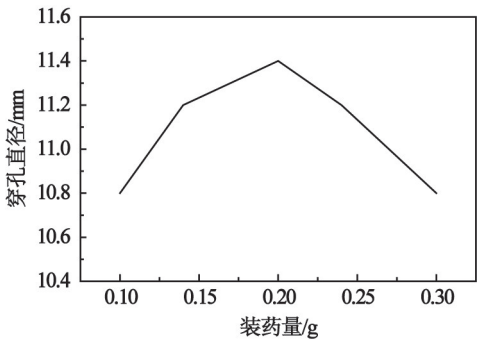


图 1 装药量与穿孔直径的关系  
Fig. 1 Relationship between charge quantity and perforation diameter

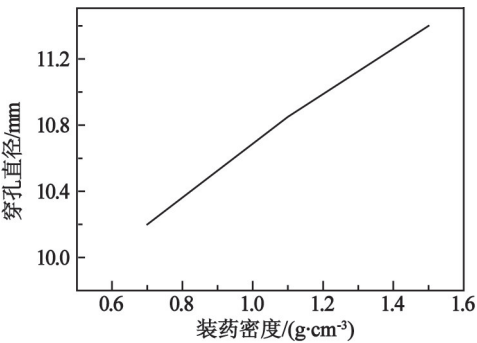


图2 装药密度与穿孔直径的关系

Fig.2 Relationship between charge density and perforation diameter

在油压机定位压药压力作用下,使得燃爆药剂的假密度由 0.6 g/cm<sup>3</sup> 增加到 1.4 ~ 1.5 g/cm<sup>3</sup>。测得延期时间,如图 3 所示。由图 3 可得,燃煤药剂的密度愈大,秒量精度愈高。由于受到无起爆药雷管壳强度的约束,使燃爆药剂的装药密度最大可达 1.4 ~ 1.5 g/cm<sup>3</sup>。

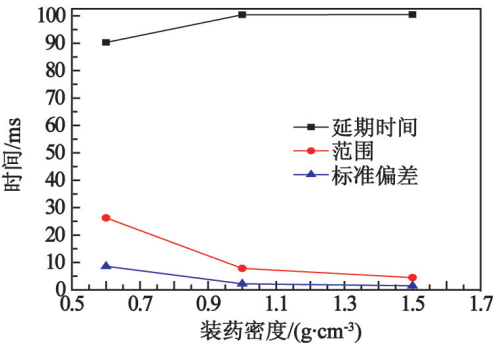


图3 装药密度对秒量精度的影响

Fig.3 Effect of charge density on second magnitude and precision

然而,燃爆药剂的密度越大,爆轰感度越低,爆轰成长期越长,起爆深度增加,因此,要求靠近燃爆药剂的猛炸药密度不能太大。

4 燃爆药剂装配成无起爆药电雷管的性能

4.1 电学特性参数

取煤矿许用型无起爆药电雷管,按照 GB8031—

2005 的要求,采用 CDLD-10 数显式电雷管电阻检测仪测试其电阻;IT-II 型雷管电参数测量仪测试其安全电流、串联准爆电流、最小发火电流、发火冲能,测试结果见表 2。表 2 的数据显示出煤矿许用型无起爆药电雷管各项发火参数符合 GB8031—2005<sup>[11]</sup>。

4.2 静电感度

依照 MT379—1995《煤矿用电雷管静电感度测试方法》,测试采用 213 所研制的 JGY-50 型静电感度仪。取煤矿许用型无起爆药电雷管 20 发,电容 2 000 pF,电压 8 kV,脚壳放电,测试结果为 0/20,合格。电雷管的静电感度测试,是为了试验和评定煤矿许用型无起爆药电雷管的抗静电能力,在生产、储存、使用、运输中对静电放电作出评价,保证其安全性。

4.3 可燃气安全度

取煤矿许用型无起爆药电雷管 25 发,爆炸箱为钢板卷制而成的内径为 (580 ± 20) mm、长度为 1 200 mm 的圆筒,爆炸箱内混合气体中,甲烷的体积分数为 (9.0 ± 0.3) %,温度为 5 ~ 35℃,相对湿度不大于 80%。测试结果 0/25,合格。该试验是衡量煤矿许用型无起爆药电雷管是否合格的特征性指标,即该雷管是否可作为在有可燃气和煤尘爆炸危险的矿井中使用的特种雷管。

4.4 起爆能力

取煤矿许用型无起爆药电雷管 50 发,合格的铅板若干,采用 CD-1 型串联准爆电源仪测试。游标卡尺逐个测量,并记录铅板穿孔直径,每个铅板做相交 90°两次测量,取平均值。测试结果,铅板穿孔直径最小值为 9.4 mm;铅板穿孔直径最大值为 11.1 mm;铅板穿孔直径平均值为 10.3 mm。雷管的起爆能力是有方向性的,在底部起爆能力最大,铅板穿孔试验用来评价雷管对介质的破坏效果。

4.5 抗拉、抗水、耐温性能

抽取煤矿许用型无起爆药电雷管 60 发,分为 3 组,每组 20 发,按照 GB8031—2005 的要求,测试无起爆药电雷管的性能,测试结果见表 3。

表 2 该煤矿许用型无起爆药电雷管的发火参数

Tab.2 Firing parameters of coal mine permitted non-primary electric detonator

性能	安全电流/A	串联准爆 电流/A	最小发火 电流/A	发火冲能/ (A <sup>2</sup> ·ms)	电阻/Ω
GB8031—2005 规定值	≥0.20	≤1.2	≤0.45	2.0 ~ 7.9	最大值≤6.3, 极差≤2.0
试验值	通入 0.26 A 恒定 直流电 5 min 不发火	0.8 ~ 0.9	0.40	7.26	最大值 5.3,极差 0.4, 平均值 5.1

表 3 无起爆药电雷管的性能测试  
Tab. 3 Performance test of non-primary electric detonator

测试项目	试验条件	试验结果	结论
抗拉性能	试验静拉力 19.6 N, 保持 1 min	均未拉脱	合格
抗水性能	试验水压 0.01 MPa, 保持 1 h	均无瞎火	合格
耐温性能	试验温度 100 ℃, 保持 4 h	均无发火	合格

表 3 的数据显示出该无起爆药电雷管各项发火参数符合 GB8031—2005<sup>[11]</sup>。

4.6 可靠性试验

取燃爆药剂的无起爆药电雷管 1~10 段和非电雷管半秒 2~10 段、秒 2~10 段各 200 发,采用 CD-1 型串联准爆电源仪测试该无起爆药电雷管的可靠性试验,20 发雷管串联,通以 1.2 A 的恒定直流电,批量试验。

试验测得该无起爆药电雷管每组全部正常发火。并且该无起爆药电雷管已广泛用于冀中能源的煤矿和邯郸的铁矿、矿山,说明该类型的无起爆药电雷管发火可靠、同步性好。

4.7 燃爆药剂对电雷管和非电雷管秒量的影响

4.7.1 电雷管对秒量的影响

以燃爆药剂和 DDNP 为基础雷管,采用苦味酸钾、高氯酸钾和硫化锑制备的电引火药头,分别装配成煤矿许用型电雷管 1 段;与五芯铅芯延期体分别装配成煤矿许用型延期电雷管,相同切长的每个段别测试 20 发,5 组试验。

采用 LGS-I 型毫秒雷管计时仪测试延期时间,测试结果表 4 所示。

由表 4 可得出,该燃爆药剂无起爆药电雷管秒量精度高,极差和标准偏差均好于 DDNP 起爆药电雷管,为研究分段式高精度无起爆药电雷管打下良好基础。

表 4 装配成电雷管的延期时间测试  
Tab. 4 Delay time test of explosive detonator

段别	燃爆药剂无起爆药电雷管			DDNP 起爆药电雷管		
	平均延期时间/ms	极差/ms	标准偏差/ms	平均延期时间/ms	极差/ms	标准偏差/ms
1	7.5	1.1	0.39	6.8	2.3	0.95
2	26.7	2.1	0.84	25.8	2.7	1.21
3	51.6	2.6	1.08	49.7	3.2	1.35
4	77.8	3.8	1.54	74.2	4.3	1.95
5	104.3	4.1	1.75	99.6	5.4	2.26

煤矿许用型毫秒延期电雷管,由燃爆药剂组装的电雷管比 DDNP 电雷管的延期时间略慢,由于燃爆药剂的火焰感度低于 DDNP<sup>[12]</sup>,燃烧转爆轰的速度相对 DDNP 的转变速度较慢,所以燃爆药剂的电雷管如需达到起爆药剂的电雷管的秒量,则需稍稍缩短延期体的切长。

4.7.2 非电雷管对秒量的影响

以燃爆药剂装配成无起爆药非电雷管半秒 10 段和秒 10 段,每个段别测试 200 发。

采用 LGS-I 型毫秒雷管计时仪测试延期时间,测试结果如表 5。

表 5 非电雷管的秒量

Tab. 5 Second magnitude of non-electric detonator

段别	平均秒量/ ms	极差/ ms	标准偏差/ ms
半秒 10 段	4 526.96	196.42	62.05
秒 10 段	9 142.58	396.96	146.32

由表 5 可得出,无起爆药非电雷管半秒 10 段和秒 10 段的秒量稳定,但随着段别的增大,秒量精度愈差。

5 结论

从对无起爆药雷管的燃爆药剂的研究,可以初步得出以下结论:

- 1)燃爆药剂的各项性能测试均符合要求,比起爆药的感度低,更安全环保。
- 2)燃爆药剂的最佳药量控制在 0.18~0.22 g,此时无起爆药雷管的铅板穿孔值最佳,并且输出威力最大。
- 3)燃爆药剂的最佳密度范围控制在 1.4~1.5 g/cm<sup>3</sup> 之间,此时无起爆药雷管的输出威力最大,秒量精度最高。
- 4)燃爆药剂装配于基础电雷管中,各项测试均符合 GB8031—2005,适合推广应用。相比较于 DDNP 电雷管,秒量偏高,但秒量精度高。



5) 燃爆药剂装配成非电无起爆药雷管, 发火可靠性高, 秒量稳定。

### 参 考 文 献

- [1] 肖月华, 张海金. 新型起爆药的应用[J]. 爆破器材, 2003, 32(1): 24-28.  
Xiao Yuehua, Zhang Haijin. New primary explosives [J]. Explosive Materials, 2003, 32(1): 24-28.
- [2] 张英豪, 曹文俊, 田淑文. 几种起爆药的性能与应用探讨[J]. 火工品, 2008(3): 23-25.
- [3] 郝新民. 起爆药生产工艺的流程再造[J]. 煤矿爆破, 2010(1): 27-30.  
Hao Xinmin. Process reengineering of initiation explosive production[J]. Coal Mine Blasting, 2010(1): 27-30.
- [4] 赵杰, 郭俊国, 刘建新, 等. 一种 DDNP 制造新技术[J]. 爆破器材, 2008, 37(1): 29-30.  
Zhao Jie, Guo Junguo, Liu Jianxin, et al. A new manufacturing technology for DDNP[J]. Explosive Materials, 2008, 37(1): 29-30.
- [5] 沈兆武, 胡企强, 郑慧娟, 等. 对无起爆药雷管发展方向的探讨[J]. 爆破器材, 1995, 24(2): 15-18.  
Shen Zhaowu, Hu Qiqiang, Zheng Huijuan, et al. An analysis of the development trends in non-primary detonator[J]. Explosive Materials, 1995, 24(2): 15-18.
- [6] 姜木云, 刘占洋. 无起爆药雷管起爆力检测分析[J]. 化学工程与装备, 2012(2): 135-136.
- [7] 匡治兵, 占必文, 聂煜, 等. 一种无起爆药雷管的研究[J]. 煤矿爆破, 2013(2): 13-14, 28.  
Kuang Zhibing, Zhan Biwen, Nie Yu, et al. Study on a non-primary detonator [J]. Coal Mine Blasting, 2013(2): 13-14, 28.
- [8] 陈月畅, 沈兆武, 杜建国. 飞片式无起爆药雷管的结构和工作原理[J]. 爆破, 2013, 30(2): 162-166.  
Chen Yuechang, Shen Zhaowu, Du Jianguo. Structure and working principle of flying plate detonator[J]. Blasting, 2013, 30(2): 162-166.
- [9] 苏俊, 刘玉存, 王建华, 等. 无起爆药雷管内管装药密度对燃烧转爆轰的影响研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(1): 82-87.  
Su Jun, Liu Yucun, Wang Jianhua, et al. Study on effect of charge density of inner tube on transition of deflagration to detonation in non-primary explosive detonator[J]. China Safety Science Journal, 2012, 22(1): 82-87.
- [10] 松全才, 杨崇惠, 金韶华. 炸药理论[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1997: 8.  
Song Quancai, Yang Chonghui, Jin Shaohua. Theory of explosive[M]. Beijing: The Publishing House of Ordnance Industry, 1997: 8.
- [11] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB8031—2005 工业电雷管[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005: 731-734.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB8031—2005 Industrial Electric Detonator [S]. Beijing: China Standards Press, 2005: 731-734.
- [12] 劳允亮. 起爆药化学与工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.  
Lao Yunliang. Initiating explosive chemistry and technology [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1997.

### Research on a New Burning and Explosion Composition

MENG Lijuan<sup>①②</sup>, YAN Shilong<sup>①</sup>, DAN Huiyong<sup>②</sup>, WANG Yonghua<sup>②</sup>, JIANG Yuanyuan<sup>②</sup>, LIU Xingyuan<sup>②</sup>

<sup>①</sup>Anhui University of Science and Technology (Anhui Huainan, 232001)

<sup>②</sup>Hebei 607 Chemical Co., Ltd. (Hebei Handan, 056201)

[ABSTRACT] Performance indicators of a new burning and explosion composition was tested, and the ignition mechanism was discussed. Parameters and delay time of non-primary detonator was measured by LGS-1 millisecond detonator chronograph. Effect of charge density of the new burning and explosion composition on delay precision of detonator was researched, and effect of charge density and charge quantity on axial output energy of detonator was also discussed. Results show that the delay precision of non-primary explosive made by the new burning and explosion composition is obviously superior to primary explosive. In a certain range, the more the density, the larger the initiating ability of non-primary explosive, and the higher the second precision. Appropriate charge quantity of the new burning and explosion composition is 0.18~0.22g and the optimal charge density is 1.4~1.5 g/cm<sup>3</sup>.

[KEY WORDS] burning and explosion composition; performance test; charge density; charge quantity; output power