

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.04.010

# 卡腰对导爆管雷管延时精度的影响<sup>\*</sup>

聂祥进<sup>①</sup> 陈世雄<sup>①</sup> 彭文林<sup>①</sup> 杜伟兰<sup>①</sup> 李 瑞<sup>②</sup>

①贵州久联民爆器材发展股份有限公司(贵州贵阳,550000)

②南京理工大学智能弹药技术国防重点实验室(江苏南京,233010)

[摘 要] 通过改变雷管的卡腰尺寸和卡腰位置来探究卡腰对雷管延时精度的具体影响。试验研究表明,卡腰工艺会影响延期体的燃烧速度和燃烧稳定性,对于相同的延期体结构,卡腰尺寸越大,燃烧速度越快,气体堵塞效应越小,燃烧越稳定,雷管延时精度越高;当其他所有条件一致,雷管的卡腰位置由延期体上端移到延期体底端时,延期体的燃速变慢,受气体压力影响更小,燃烧更稳定,雷管延时精度更高;此外,当卡腰尺寸或卡腰位置变化时,药芯直径的大小会影响雷管延时精度的改变幅度。

[关键词] 卡腰尺寸;卡腰位置;雷管;延时精度;硼系延期药

[分类号] TJ45+5

## 引言

延期药是指在延期性爆破器材中用以控制由点火到爆炸时间的药剂<sup>[1]</sup>。吴幼成等<sup>[2]</sup>指出,由延期药控制的点火和起爆技术虽然不如电子延时和机械延时那样准确,但是具有结构简单、制造方便、成本低、原材料丰富、抗温耐振、延期范围广、体积小、质量轻、生产使用安全、作用可靠性高等优点。为了提高延期药精度,国内学者在这方面做过不少研究:黄寅生等<sup>[3-4]</sup>研究了纳米添加剂对延期药燃烧性能的影响;陈世雄等<sup>[5]</sup>研究了研磨材料和时间与延期药的粒度和纯度的关系以及对延期药燃烧精度造成的影响;沈兆武等<sup>[6]</sup>研究了线性延期元件,将延期元件从雷管内转移到导爆管内,改变了延期元件的位置,同时提高了延期精度。

业内对延期药配方、原材料粒度和纯度等药剂本身的研究已很细致,而雷管生产工艺对雷管延时精度的影响探究较少。笔者就生产中雷管的卡腰工艺对导爆管雷管延时精度的影响进行了研究。

### 1 试验准备

#### 1.1 原材料

硼粉:营口辽滨精细化工有限公司,质量分数为92%,平均粒度为1.70 μm, $D_{97}$ 为8.38 μm;铬酸钡:分析纯,贝赛勒化学技术(上海)有限公司,过200目筛;黏合剂:聚四氟乙烯。

#### 1.2 硼系延期药的制备

硼系延期药基础配方为  $m$ (硼粉): $m$ (铬酸

钡)=12:88,根据上述配方称量总质量为1 000 g的原材料,放入八角鼓药罐中,按球料比3:1的原则加入直径为7、9、11 mm的氧化锆球各1 000 g,混合36 h后出药,搅拌吹干,然后外加20 g聚四氟乙烯黏合剂,造粒过筛,取40目以下、60目以上延期药颗粒,最后把延期药颗粒送入45℃烘箱内烘48 h,出药后,静置在20~25℃的恒温室内晾干3 d,即可得到浅绿色的硼系延期药。

对硼系延期药进行分析,测得其水分的质量分数为0.06%,假密度为1.02 g/cm<sup>3</sup>,延期药的粒度分布如图1所示,平均粒径1.03 μm, $D_{97}$ 为3.89 μm,说明混合后的粒径比较细,粒径的分布比较窄,延期药的粒度比较好。

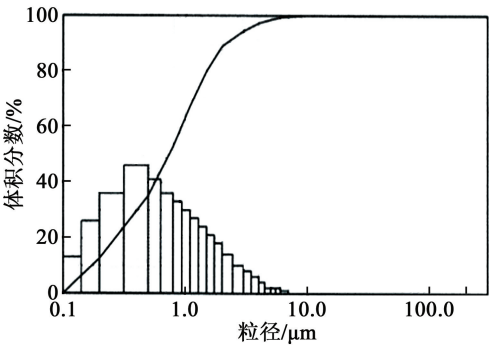


图1 硼系延期药粒径分布

Fig.1 Particle diameter distribution of B-based delay charge

<sup>\*</sup> 收稿日期:2016-01-28

作者简介:聂祥进(1967-),男,高级工程师,主要从事火工品技术、爆炸技术的研究。E-mail:nxj507@163.com

通信作者:陈世雄(1989-),男,硕士研究生,主要从事民爆器材与爆炸技术研究。E-mail:420694294@qq.com

1.3 延期体的制作

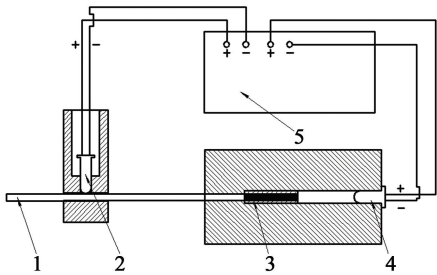
采用拉拔铅索的方式制作延期体。称取 50 g 延期药,装入到经酒精清洗过晾干后且一端封口的铅管中,振动后用海绵将另一端封口,进行拉拔。经过不同方式拉拔之后,制得外径为 6.24 mm 的 2 种铅延期索:一种为单芯,其药芯直径为 1.5 mm,记为延期体 A;另一种为三芯,其药芯直径为 0.2 mm,记为延期体 B。最后把 2 种铅索切成长为 15 mm 的延期体,待用。由于卡腰位置涉及到延期体的相对位置,本次试验作如下假定:与导爆管相连的一端为延期体上端,另一端为延期体下端。

1.4 延期体的装配方式

取 400 发空雷管管壳,用 Bench Lathe LF280 车床将管壳底部钻出一个直径 5 mm 的圆形小孔,然后各取 200 发 A、B 延期体装入管口;由于延期体只能下落到管壳中部便被卡住了,所以采用单发定位定压气动油压压装设备把延期体压到管壳底部。具体设置参数为:行程高度为 15.5 mm,定压 0.5 MPa,下降时间 7.0 s,保压时间 3.5 s。压后的延期体与雷管壳紧密配合,延期体上端面略有变形。

1.5 延期体测时装置

延期体测时装置如图 2 所示。它主要由两个光电传感器获取信号,一个获取导爆管的光信号,一个获取延期体末端的喷火信号,然后将信号传输到智能型雷管电参数测试仪处理,得出两个时间之差,即近似为延期体的燃烧时间。



1 - 导爆管;2,4 - 光电传感器;3 - 延期体;5 - 处理器。

图 2 测时装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the measuring device

1.6 雷管延时精度的表征

试验使用雷管参数测试仪测试延期体的延期时间,用延期时间的标准差  $S$ 、极差  $R$  和相对误差  $\gamma$  表征雷管的延时精度。相对误差  $\gamma$  的实际意义为衡量雷管延时精度的正负百分比相对误差,是最贴近衡量雷管真实延时精度的一个参数。相对误差  $\gamma$  的计算公式为:

$$\gamma = R/2t \times 100\%。$$
 (1)

式中: $R$  为极差; $t$  为平均延期时间。

2 试验结果与分析

2.1 卡腰尺寸对雷管延时精度的影响

将上述压好延期体的 A、B 两种雷管各取 150 发进行卡腰。卡腰位置距延期体上端 2.0 mm,卡腰尺寸分别为 5.8、6.3 mm 和 6.8 mm(不卡腰)3 种,每种卡腰尺寸的样品取 50 发;然后插入塑料塞和导爆管紧口,紧口尺寸为 5.5 mm;最后测试装配好的雷管,用 ZBS9601B 智能爆速测量仪测试其延期时间,如表 1 所示。

表 1 雷管 A 和雷管 B 在不同卡腰尺寸时的延期时间

Tab. 1 Delay time of Detonator A and Detonator B with different clamping waist sizes

雷管型号	卡腰尺寸/mm	平均延期时间 $t$ /ms	标准差 $S$ /ms	极差 $R$ /ms	相对误差 $\gamma$ /%
A	5.8	340.85	6.12	33.93	4.98
A	6.3	327.35	6.39	28.35	4.33
A	6.8	316.94	5.34	24.21	3.82
B	5.8	312.74	4.19	19.89	3.18
B	6.3	302.23	4.10	18.00	2.98
B	6.8	294.56	3.15	14.70	2.49

分析表 1 可知,对于单芯的 A 延期体,卡腰直径越大,燃速越快,平均延期时间越短,标准差、极差和相对误差越小,精度越高,不卡腰时精度最高;对于三芯的 B 延期体,卡腰直径越大,燃速越快,平均延期时间越短,标准差、极差和相对误差越小,精度越高。综上可知,对于此硼系延期药来说,从延期体结构上看,无论是单芯结构还是三芯结构,卡腰尺寸越大,延时精度越好。

这是由于硼系延期药是微气体延期药,在燃烧时,气压变化对燃烧速度的影响比较大,所以在卡腰位置,气体容易堵塞,导致下端气体压力骤增,破坏燃烧的稳定性。卡腰尺寸变大后,延期体药芯的变化相对变小了,在卡腰位置气体的堵塞效应减小,压力变化减小,所以燃烧相对稳定,延时精度变高。从药芯直径上来看,当卡腰尺寸一定时,直径越小的延期体延时精度越高;当卡腰尺寸放大相同程度时,直径越大的延期体精度越高。这是因为直径大的延期体单位长度内延期药多,燃烧产生的气体量比较大,当卡腰尺寸变大之后,气体的堵塞效应减小幅度变大,所以燃烧越稳定,延时精度越高。

2.2 卡腰位置对雷管延时精度的影响

将上述压好延期体的 A、B 两种雷管各取 50 发

进行卡腰,卡腰尺寸为 5.8 mm,卡腰位置距延期体下端 2 mm,然后插入塑料塞和导爆管紧口,紧口尺寸 5.5 mm,最后用 ZBS9601B 智能爆速测量仪测试装配好的雷管。按照同样方法对卡腰位置距延期体上端面 2 mm 的雷管延时数据,得到不同卡腰位置的 A、B 雷管延期时间结果,如表 2。

表 2 雷管 A 和雷管 B 在不同卡腰位置时的延期时间

Tab.2 Delay time of Detonator A and Detonator B at different clamping waist positions

雷管型号	卡腰位置	平均延期时间 $t/\text{ms}$	标准差 $S/\text{ms}$	极差 $R/\text{ms}$	相对误差 $\gamma/\%$
A	距上端 2 mm	340.85	6.12	33.93	4.98
A	距下端 2 mm	381.83	5.88	30.66	4.01
B	距上端 2 mm	312.74	4.19	19.89	3.18
B	距下端 2 mm	331.48	4.03	19.99	3.02

本次试验除了卡腰位置不相同,其他因素全部一致,对比分析表 2 可以发现:

在燃烧速度方面,不论是单芯还是三芯延期体,卡腰位置在下端比在上端的延期时间要长,说明卡腰在上端时燃烧速度更快。这是因为卡腰在上端的延期体,当延期药燃烧到卡腰位置下面的时候,产生的气体在卡腰位置堵塞累积,导致下部分延期药燃烧时气体压力增大,从而使燃烧加快。

在燃烧稳定性方面,不论是单芯还是三芯延期体,卡腰位置在下端比在上端的延时标准差要小,延时误差要小,说明卡腰在下端时燃烧过程更稳定。

延时极差却并不一致,单芯的延期体卡在下端时延时极差更小,而三芯的延期体卡在下端和卡在上端延时极差非常接近。卡在下端时延期时间变长,从总体上来看,卡腰在下端时比卡腰在上端时的雷管的延时精度更高。这是因为卡腰在下端时,卡腰上面部分的延期药燃烧气压变化较小,属于正常的脉动燃烧,相对稳定;相反的,当卡腰在上端时,卡腰下面部分燃烧时在卡腰位置会形成气体堵塞,导致下面燃烧时气体压力变化较大,燃烧不稳定。

此外,对比 A、B 两种不同结构的延期体发现,A 雷管卡腰在下端的时候,燃速降低了 12.02%,延期时间的相对误差提高了 0.97%;B 雷管卡腰在下端的时候,燃速降低了 5.99%,延期时间的相对误差提高了 0.16%;说明同等卡腰位置的条件下,不同药芯直径的延期体燃速降低的幅度和延期时间的相对误差提高的幅度不相同。单芯延期体药芯直径大,提升幅度高;三芯延期体药芯直径小,提升幅度低。

这是因为药芯直径大,燃烧时产生的气体多,在卡腰位置气体堵塞更严重,造成的气体急剧增加,压力更大,所以下部分燃烧更不稳定,速度更快;当卡腰位置移到底端的时候就能更好地避免这种状况,所以燃速降低更多,燃烧更稳定。因此,当卡腰位置由上端移到下端时,药芯直径更大的延期体燃烧更稳定,燃速降低更多,延时精度更好。

3 结论

1)卡腰工艺会影响延期体的燃烧速度和燃烧稳定性,从而对雷管延时精度造成影响。

2)相同的延期体结构,卡腰尺寸越大,燃烧速度越快,气体堵塞效应越小,燃烧越稳定,雷管延时精度越高。若是生产中采用不卡腰的紧配合,燃烧最稳定,精度最高,同时因为少了一道工序,可以极大地提高生产效率。

3)当卡腰尺寸变化一致时,不同药芯直径的延期体在精度提升幅度上也不一样。对于腰尺寸在 5.8 mm 到 6.8 mm 的雷管,卡腰尺寸由小到大变化一致时,药芯直径越大,燃速降低越快,燃烧越稳定,雷管延时精度越高。

4)当其他所有条件一致,雷管的卡腰位置由延期体上端移到底端时,延期体的燃速更慢,受气体压力影响更小,燃烧更稳定,雷管延时精度更高。

5)当卡腰位置变化一致时,不同药芯直径的延期体在延时精度提升幅度上也不一样。雷管的卡腰位置由延期体上端移到延期体底端时,药芯直径更大的延期体燃烧稳定性提升更快,燃速降低更多,延时精度提升更高。

参 考 文 献

[1] 谢兴华.起爆器材[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2009.

[2] 吴幼成,宋敬埔.延期药技术综述[J].爆破器材,2000,29(2):23-27,39.

WU Y C, SONG J P. Technology of delay compositions: a review[J]. Explosive Materials, 2000, 29(2): 23-27, 39.

[3] 黄寅生,李锦涛,崔晨晨,等.纳米 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 对钨系延期药燃烧性能的影响[J].含能材料,2008,16(5):507-510.

HUANG Y S, LI J T, CUI C C, et al. Effect of nano-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> on the burning characteristics of tungsten type delay composition [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(5): 507-510.

[4] 黄寅生,崔晨晨,李锦涛,等.纳米 CuO 对钨系延期药热性能及燃烧性能的影响[J].爆破器材,2009,38(3):25-27.

HUANG Y S, CUI C C, LI J T, et al. Effect of nano-CuO

- on the thermal characteristics and burning characteristics of tungsten type delay composition [J]. Explosive Materials, 2009, 38(3): 25-27.
- [5] 陈世雄. 雷管用超细毫秒延时药实验研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2014.
- CHEN S X. Experimental study on detonator with super-fine millisecond delay composition [D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2014.
- [6] 沈兆武, 马宏昊. 高精度高安全无起爆药延期雷管的关键技术 [C] // 中国爆破新技术 II. 青岛, 2008: 690-695.
- SHEN Z W, MA H H. The key technique of high-precision high-safe non-precise delay detonator [C] // New Technology of Blasting Engineering in China II. Qingdao, 2008: 690-695.

## Influence of Middle Chucking on the Delay Accuracy of Nonel Detonator

NIE Xiangjin<sup>①</sup>, CHEN Shixiong<sup>①</sup>, PENG Wenlin<sup>①</sup>, DU Weilan<sup>①</sup>, LI Rui<sup>②</sup>

① Guizhou Jiulian Industrial Explosive Materials Development Co., Ltd. (Guizhou Guiyang, 550000)

② Ministerial Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] Influence of middle chucking on delay accuracy of the detonator was studied by changing size and position of middle chucking. Results show that combustion rate and combustion stability of the delay element are affected by the middle chucking technique. With the same structures of the delay element, the larger the middle chucking size, the faster the combustion rate; then, the smaller the jam effect of gas, the more stable the combustion, and the higher the accuracy of delay detonator. With all the same other conditions, when the middle chucking is moved from the top to the bottom of the delay element, combustion rate of the delay element becomes slower and the gas pressure inflection is smaller, so that it could have a more stable combustion and higher delay accuracy. In addition, while the size or position of middle chunking changes, amplitude of the delay accuracy would be affected by the core diameter.

[KEYWORDS] size of middle chucking; position of middle chucking; detonator; delay accuracy; boron-based delay charge

(上接第 44 页)

- [7] 刘桢昊. 关于乳化炸药油相材料的研究 [J]. 爆破器材, 2006, 35(2): 8-10.
- LIU Z H. Study on oil phase of emulsion explosive [J]. Explosive Materials, 2006, 35(2): 8-10.
- [8] 汪旭光. 乳化炸药 [M]. 2 版. 北京: 冶金工业出版社, 2008: 384-386.
- [9] 李冰. 乳化炸药的稳定性及其表征方法的研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2008.
- LI B. Study on the stability of the emulsion explosive and the method of characterizations [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2008.
- [10] 宋锦泉, 汪旭光. 乳化炸药的稳定性探讨 [J]. 火炸药学报, 2002, 25(1): 36-40.
- SONG J Q, WANG X G. Discussion on stability of emulsion explosives [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2002, 25(1): 36-40.

## Preparation of Composite Oil for the On-site Mixed Emulsion Explosive with Naphthenic Side Stream Distillate

NIU Yu, WU Di, LI Na

CNOOC (Qingdao) Heavy Oil Process Engineering & Technology Research Center Co., Ltd. (Shandong Qingdao, 266500)

[ABSTRACT] Side streams distillate (stream A, stream B, stream C) of naphthenic crude oil S were used as raw materials to prepare composite oil for the on-site mixed emulsion explosive. Performances of the composite oil were investigated by stability test and blasting test. Performances and cost were also compared with the domestic similar products. Results show that qualified composite oil can be produced with the side stream distillate as raw materials; both  $m(\text{stream A}) : m(\text{stream C})$  between 9 : 1 and 7 : 3 and  $m(\text{stream B}) : m(\text{stream C})$  between 9 : 1 and 8 : 2 are the feasible formulations, and  $m(\text{stream B}) : m(\text{stream C}) = 9 : 1$  is the best formulation. Compared with the oil product adopted widely by explosive manufactories, the composite oil produced with side stream distillate of naphthenic crude oil S has obvious advantages in performance and production cost.

[KEYWORDS] naphthenic base; side streams distillate; on-site mixed emulsion explosive; composite oil; preparation