

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.03.011

导爆管性能测试研究^{*}

陈雄胜^{①②}

①宏大矿业有限公司(广东广州,510623)

②广东明华机械有限公司韶关分公司(广东韶关,512146)

[摘 要] 研究了塑料导爆管爆速成长情况,以及管内断药、极限药量、温度对导爆管的影响。采取电测法测试导爆管爆轰波成长情况;空管连接法测试断药对爆轰波的传播影响;测试了极限药量和温度对导爆管的影响。结果表明,塑料导爆管被激发后,传播 800 mm 后,基本可以达到稳定爆轰状态。塑料导爆管内的断药在 200 mm 以下不影响正常传爆。为了确保塑料导爆管不被击穿,并能正常传爆,管内的上限药量 18 mg/m,下限药量 12 mg/m。环境温度偏高时,温度越高,塑料导爆管管壁越软,吸收的能量就会越多,爆速越低;温度越高,导爆管越容易被击穿。

[关键词] 导爆管;传爆;断药;极限药量;温度

[分类号] TD235.2+2;TQ560.7

引言

随着国内爆破器材和爆破技术的发展,非电雷管特别是导爆管雷管的市场用量越来越大。导爆管雷管由塑料导爆管、封口塞、延期体和基础雷管组成,它专门和塑料导爆管配套使用,是导爆管雷管起爆系统的起爆元件。塑料导爆管是一根内壁涂有薄层炸药粉末的空心塑料软管,普通的塑料导爆管管壁呈乳白色,管芯呈灰或深灰色。在生产及科研中,对塑料导爆管的爆轰传播、起爆感度、耐火、耐静电、高低温、抗撞击、传爆安全性能及抗拉强度进行了大量的研究,并取得了很大的成果。本文针对实际生产中遇到的问题,对塑料导爆管管内爆速的成长、管内断药距离对爆轰波传播的影响、极限装药量及温度对塑料导爆管性能的影响进行了研究分析。

1 塑料导爆管性能的测试

1.1 导爆管内爆速成长试验

在实际生产中,测量导爆管爆速一般使用电测法^[1]。导爆管内使用的导爆药主要成分为猛炸药和添加剂,国内使用的猛炸药一般为黑索金或泰安。本文中所用的导爆药以纯黑索金为猛炸药,粒度为 11~13 μm ;铝粉和石墨粉为添加剂,铝粉平均粒度为 50 nm,形状球形。导爆药的配比(质量分数)如下:65%~68% 黑索金,32%~35% 铝粉,以及外加 0.2%~0.4% 的石墨。导爆管管壁材料为北京燕山石化生产的 112A-1 型低密度聚乙烯。

根据炸药的爆轰理论^[2],导爆药爆轰波的稳定

传播条件是反应终了气体的流速与音速之和必须等于爆速。在导爆管管口,反应终了的气体有部分会向管口流失,气体的流速与音速之和小于爆速,使导爆药爆轰不能稳定传播。随着沿管轴向的深入,离管口越来越远,气体的流失也会越来越少,直到可以忽略不计,这时的气体流速和音速之和等于爆速,形成稳定的冲击波,即爆轰。在电测法中,这个距离是测试导爆管爆速时,光电感应元件离管口的最小安放距离。光电感应元件安放距离小于最小距离时,测试的爆速不稳定,代表不了导爆管的实际爆速。

用 140 根普通变色导爆管进行爆速测试,140 根导爆管分 7 组,每组 20 根。定义测试时第一个光电感应元件离管口的距离 L 为测试距离, L 分别为 50、100、200、500、800、1 000、1 200 mm。每一个测试距离,测试 20 根导爆管。测试结果见表 1。

从表 1 的测试数据可以看出,在测试距离 L 小于 800 mm 时,爆速随着测试距离的增加而增加。但测试距离达到一定值时,爆速会稳定,不会随着测试距离的增加而增加,如本测试中 L 超过 800 mm 时,爆速稳定,不会随测试距离 L 的增加而增加。在实际生产中,测试导爆管的爆速,在有一定的预留额下,可以规定测试距离 L 不小于 1 000 mm,而行业规定测试距离不小于 1 300 mm^[3]。

1.2 导爆药中断距离对传爆的影响

导爆管内爆轰波的传播受导爆管的约束,是一个不断向前推进的过程。当导爆药中断,在惯性的

* 收稿日期:2014-08-19

作者简介:陈雄胜(1982~),男,工程师,主要研究方向:民爆安全生产技术。E-mail:280045145@qq.com

表 1 离导爆管管口不同测试距离的爆速

Tab. 1 Detonation velocity in different test distances from pipe orifice of nonel tube

距离 L/mm	样本爆速 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$										平均爆速 $/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
50	1 649	1 612	1 666	1 603	1 672	1 620	1 658	1 639	1 637	1 664	1 639
	1 617	1 684	1 656	1 614	1 608	1 629	1 615	1 668	1 676	1 599	
100	1 793	1 812	1 821	1 813	1 842	1 836	1 821	1 784	1 773	1 781	1 806
	1 798	1 832	1 811	1 796	1 786	1 823	1 797	1 798	1 803	1 807	
200	1 846	1 860	1 855	1 880	1 832	1 821	1 834	1 826	1 856	1 843	1 846
	1 854	1 849	1 835	1 839	1 828	1 865	1 873	1 855	1 838	1 827	
500	1 870	1 898	1 896	1 863	1 874	1 880	1 886	1 853	1 897	1 899	1 879
	1 902	1 868	1 875	1 858	1 867	1 891	1 855	1 867	1 879	1 888	
800	1 897	1 884	1 886	1 903	1 875	1 888	1 896	1 895	1 912	1 910	1 895
	1 903	1 896	1 885	1 897	1 885	1 891	1 890	1 886	1 903	1 915	
1 000	1 890	1 896	1 893	1 885	1 876	1 889	1 893	1 900	1 908	1 876	1 892
	1 885	1 896	1 887	1 906	1 910	1 889	1 876	1 883	1 902	1 900	
1 200	1 876	1 885	1 884	1 903	1 896	1 897	1 886	1 885	1 887	1 912	1 894
	1 913	1 906	1 885	1 897	1 885	1 883	1 887	1 886	1 896	1 906	

作用下,爆轰波继续向前推进,不会马上停止。爆轰波在推进过程中不断地衰减,衰减到一定程度时,爆轰波将会自动湮灭^[4-7]。在爆轰波衰减到一定程度之前,如推进前方遇到导爆药,将会重新激发导爆药,使爆轰波重新获得能量,爆轰得以重新传播。导爆管爆轰波的衰减距离可以用管内断药后能重新传爆的距离 L' 来表示。

为测试距离 L' , 可以用以下的近似方法测量,即采取空管连接法测试。取一根 L' 长的无导爆药的导爆管空管,另取一根正常的导爆管。把正常的导爆管用剪刀剪断,用胶布接上 L' 长的导爆管空管,如图 1 所示,用高压脉冲起爆器起爆。

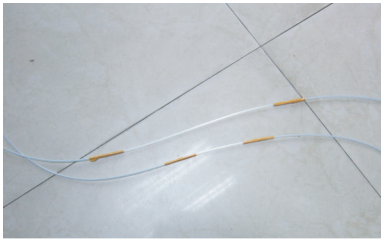


图 1 测试中断距离的连接方式

Fig. 1 Connections of break distance test

在 L' 小于一定长度时,爆轰波将会传过空管,引爆空管后面的正常导爆管,使爆轰波通过空管正常传播下去,如图 2 所示。当 L' 大于一定长度时,爆轰波传过空管会衰减到不能引爆空管后面的正常导爆管,使爆轰波在空管及后面的导爆管内湮灭,如图 3 所示。

根据空管后面的导爆管能否正常起爆,测量不同长度的 L' , 以近似地测定导爆管内导爆药中断距

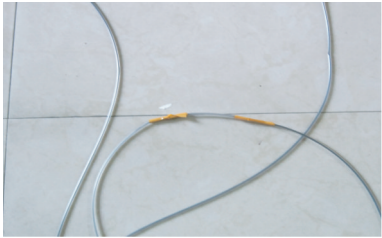


图 2 爆轰波经过空管传爆后情况

Fig. 2 Detonation after detonation wave passing blank tube

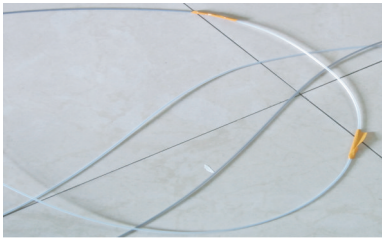


图 3 爆轰波经过空管熄爆情况

Fig. 3 Incomplete detonation after detonation wave passing blank tube

离对传爆的影响。如表 2 所示。

从表 2 中可以看出,在长度 L' 小于 195 mm 时,连接的导爆管都能正常传播爆轰波;在 L' 大于(或者等于)200 mm 时,有部分连接的导爆管不能传播爆轰波。考虑在用胶布连接时,爆轰波能量有少量的外泄,所以在一条正常的导爆管中,导爆药中断距离在 200 mm 以下时,爆轰波还能继续传播。

1.3 导爆管中导爆药的极限药量^[8]

导爆管的爆轰过程与一般炸药爆轰相同,都存在着稳定传播的冲击波,但是由于导爆管存在管道效应,其炸药爆轰是个低速的稳定爆轰。当导爆管内的导爆药厚度足够小时,不能稳定地传播爆轰,但

表 2 不同长度的中断距离对传爆的影响
Tab. 2 Effect of break distance with different
length to detonation

空管长度 <i>L</i> '/mm	能正常传爆 的数目/根	不能传爆 的数目/根	合计
20	20	0	20
100	20	0	20
150	20	0	20
180	20	0	20
195	20	0	20
200	19	1	20
210	16	4	20
220	5	15	20
250	0	20	20

是导爆药过多时,其产生的爆轰能量太大,将会击穿导爆管,也会使导爆药不能在导爆管内稳定爆轰。所以导爆管内的导爆药药量有上下极限,为测定上下限药量,分别生产 8、10、12、14、16、18、20 mg/m 的导爆管各 100 根。其中 50 根用来测试爆速,另外 50 用来装配雷管,测试导爆管的点火能力。

在爆速测试中,8 mg/m 的不能测试爆速,说明药量太小,不能形成爆轰波传播;10、12、14、16、18 mg/m 的能正常测试爆速;20 mg/m 的导爆管会击穿导爆管,说明药量太多。在点火能力测试中,12、14、16、18 mg/m 能正常引爆秒延期元件,8 mg/m 和 20 mg/m 会使延期元件出现瞎火,说明不能正常点火。10 mg/m 能够点火延期元件,但是会使延期时间发生很大的偏移,说明药量偏少,点火能力不足。在生产中,一般规定药量为 14 ~ 16 mg/m 或者 16 ~ 18 mg/m。

1.4 温度对导爆管的影响

导爆管使用的一般是线性低密度聚乙烯,是一种热塑性材料,受温度的影响非常大。热塑性表明,温度越高,导爆管管壁越软。而爆轰波在传播时,遇到管壁会被管壁吸收部分能量,当管壁越软,吸收的能量就会越多。表现在爆速上就是在温度越高时,导爆管的爆速就会越低。通过试验发现,在导爆药药量为 16 mg/m,温度为 10 ℃ 时,爆速为 1 850 ~ 1 900 m/s,;在温度为 40 ℃ 时,爆速为 1 650 ~ 1 700 m/s。

在温度偏高时,低密度聚乙烯会变软,其强度也会减小。通过试验发现,在温度为 10 ℃、导爆管药量为 19 mg/m 时,导爆管不会被击穿,能正常起爆;

在温度为 40 ℃、导爆管药量为 19 mg/m 时,导爆管会被严重击穿。

2 结论

1) 导爆管内爆轰波的成长需要一定的距离,其距离最少为 500 mm。一般在传播到 800 mm 后基本可以形成稳定的爆轰。

2) 导爆管内导爆药的中断会影响爆轰波的传播。在中断距离小于 200 mm 时,爆轰波还能传播。

3) 导爆管内的上限药量为 18 mg/m,下限药量为 12 mg/m。

4) 温度对导爆管的性能有很大的影响。温度越高,管壁越软,吸收的能量越多,导爆管爆速越低;温度越高,导爆管越容易被击穿。

参 考 文 献

[1] 张立. 爆破器材性能与爆炸效应测试[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006: 309-319.

[2] 约翰逊 C H, 铂森 P A. 猛炸药爆轰学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1976.

[3] WJ/T 2019—2004 塑料导爆管[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

[4] 胡升海, 房泽法, 熊鹏, 等. 导爆管起爆与传爆过程的高速摄像研究[J]. 爆破器材, 2013, 42(4): 45-48.

Hu Shenghai, Fang Zefa, Xiong Peng, et al. Detonating on high speed camera tube initiation and detonation process[J]. Explosive Materials, 2013, 42(4): 45-48.

[5] 钱华, 刘大斌, 甘德淮, 等. 高药粉粘附性导爆管的设计及性能测试[J]. 爆破器材, 2013, 42(2): 37-40.

Qian Hua, Liu Dabin, Gan Dehuai, et al. Design of the adhesive shock tube and its performance [J]. Explosive Materials, 2013, 42(2): 37-40.

[6] 廖小翠, 郭学彬. 断药导爆管传爆过程的高速摄影试验研究[J]. 爆破, 2009, 26(1): 90-95.

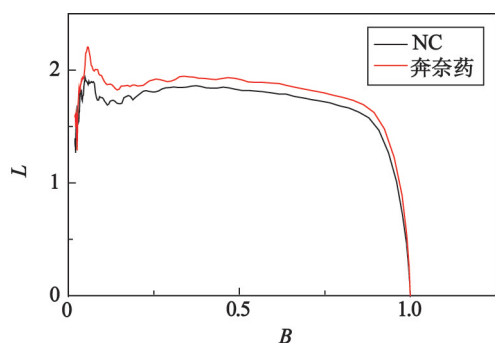
Liao Xiaocui, Guo Xuebin. Experiment study of high-speed photography on detonation propagating of explosive faults nonel[J]. Blasting, 2009, 26(1): 90-95.

[7] 何中其, 彭金华, 刘大斌, 等. 导爆管传爆性能设计与参数分析[J]. 爆破器材, 2010, 39(3): 1-3.

He Zhongqi, Peng Jinhua, Liu Dabin, et al. Analysis and design of detonation parameters in nonel tube[J]. Explosive Materials, 2010, 39(3): 1-3.

[8] 荆术祥, 钱华, 刘大斌, 等. 装药量对塑料导爆管传爆性能的影响[J]. 爆破器材, 2010, 39(5): 4-6.

Jing Shuxiang, Qian Hua, Liu Dabin, et al. Influence of the explosive charge on explosion propagation of the nonel tube[J]. Explosive Materials, 2010, 39(5): 4-6.

图 5 不同点火药三层药的 L - B 曲线Fig. 5 L - B Curves of different three layers gun propellants

参 考 文 献

- [1] 王泽山,徐复铭. 火药装药设计原理[M]. 北京:兵器工业出版社,1995.
- [2] Messner A M. Transient coning in end-burning solid propellant grains [C]//AIAA/SAE/ASME 16th Joint Propulsion Conference. New York: AIAA,1980.
- [3] 王琼林. 高能钝感发射药在炮射导弹装药中的应用[J]. 火炸药学报,2003,26(4):20-22.
Wang Qionglin. High energy derttered propellant using for propulsion of guided missile[J]. Chinese Journal of Ex-

plosives and Propellants, 2003,26(4):20-22.

- [4] 王泽山. 发射药技术的展望[J]. 华北工学院学报:社科版,2001(增刊):36-40,103.
Wang Zeshan. Development and prospect of propellant techniques[J]. Journal of North China Institute of Technology;Social Sciences,2001(suppl.):36-40,103.
- [5] 王琼林,刘少武,朱阳春,等. 多层高能硝胺发射药性能研究[J]. 火炸药学报,2008,31(2):64-67.
Wang Qionglin, Liu Shaowu, Zhu Yangchun, et al. Research on multilayer disc nitramine gun propellant[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2008,31(2):64-67.
- [6] 王琼林. 发射药程序控制燃烧技术基础研究中期报告[C]//2006年度发射药程序控制燃烧技术专题讨论会. 西安:西安近代化学研究所,2006.
- [7] Silvapulle M J. On the existence of maximum likelihood estimators for the binomial response models[J]. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 1981, 43(3):310-313.
- [8] Neyer B T. A D -optimality-based sensitivity tests[J]. Technometrics,1994,36(1):61-70.

Ignition Powders of the Three Layers Gun Propellant Based on RGD7A

ZHAO Baoming, LI Xian, LIU Laidong, ZHANG Heng, JIN Jianwei, ZHAO Hongli, WANG Qionglin, YANG Lixia
Xi'an Modern Chemistry Research Institute (Shaanxi Xi'an, 710065)

[ABSTRACT] Selecting commonly used ignition materials such as nitro-cotton (NC), BP (2[#] small black powder) and benzene naphthalene drug, the ignition performance of the powders on RGD7A based three layers gun propellant were studied. It was found that benzene naphthalene drug is suitable for the RGD7A based three layers gun propellant by means of experiments on ignition performance characteristic of ignition charge, the ignition delay time and the ignition pressure. And it also shows that, in closed bomb test, benzene naphthalene drug can effectively improve the simultaneous ignition of the RGD7A based three layers gun propellant, which is superior to the other two ignition powders (NC and BP).

[KEY WORDS] ignition powder;three layers gun propellant; ignition performance;benzene naphthalene drug

(上接第 50 页)

Test Study on Properties of Nonel Tube

CHEN Xiongsheng^{①②}

①Hongda Mining Co., Ltd. (Guangdong Guangzhou, 510623)

②Shaoguan Branch, Guangdong Minghua Machinery Co., Ltd. (Guangdong Shaoguan, 512146)

[ABSTRACT] The detonation velocity growth of nonel and the effects of detonation parameters such as explosive internal faults, limit dose, temperature were studied. The detonation wave and the effects of explosive faults were tested by electrical measuring method and empty-tube connecting method respectively. Limit explosive dose and temperature were also considered. Results show that steady detonation process happens after propagating 800 mm, and explosive faults length less than 200 mm will have no significant effect on detonation propagation. To prevent nonel tube from being penetrated and keep detonation propagating reliably, the maximum explosive loading should be set in the range of 18 mg/m and 12 mg/m. The higher the temperature, the softer the tube wall and the more energy it absorbs, and hence the lower the detonation velocity and the more likely the nonel is penetrated.

[KEY WORDS] nonel tube; detonation propagation; explosive faults; limit explosive dose; temperature