

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.05.008

导爆管长度对导爆管雷管延期时间的影响*

侯建华^① 鲍国钢^② 朱长江^②^①南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)^②南京理工科技化工有限责任公司(江苏南京,211151)

[摘 要] 对 5 种导爆管雷管进行了延期时间的测试,发现导爆管长度对延期时间有影响,5 种雷管影响程度各不相同。理论分析认为,延期药燃烧过程中产生的气体与导爆管传爆时产生气体所引起的雷管腔室压力的改变是造成延期时间变化的直接原因。利用动态压力测试装置,模拟了不同长度的导爆管通过消爆腔对延期雷管进行点火的过程,试验验证了理论分析结论。

[关键词] 塑料导爆管;导爆管雷管;延期时间;导爆管长度

[分类号] TQ565+.2;TJ45+7

引言

导爆管雷管是由导爆管和火雷管通过联结件(常用卡口塞)组合而成,根据延期时间不同可分为瞬发和延期(毫秒延期、半秒延期、秒延期)雷管两类^[1]。导爆管雷管性能指标很多,其中延期时间是最重要的指标之一^[2]。影响延期时间的因素也很多^[3-4],本文只讨论导爆管长度(以下简称管长)对雷管延期时间的影响。

通过对市场上流通的 5 种导爆管雷管进行系统的测试与分析,发现管长变化对雷管的延期时间有明显影响。相同段别的导爆管雷管随着管长增加,延期时间缩短;不同厂家生产的导爆管雷管受管长变化影响的程度不尽相同,个别产品还会出现随管长增加发生段别颠倒的现象。

延期时间受导爆管雷管管长影响将给用户爆破网络设计和现场施工带来影响。解决这个问题是雷管制造企业义不容辞的责任。

1 试验及现象

1.1 试验条件

试验样品:雷管分别来自不同的生产厂家,为了叙述方便,分别用 A、B、C、D、E 代替。

导爆管选用南京理工科技化工有限责任公司产品,属普通变色塑料导爆管,黑索金为主装药,外径为 3.0 mm,内径为 1.5 mm 左右,导爆管实测爆速为 1850 m/s。

试验仪器:起爆器为电脉冲起爆器,南京理工大学生产;起爆针粗 1.2 mm,测时仪分辨率 0.1 ms,一

靶为光电靶,二靶为振动靶。

试验方法:测试不同管长条件下的雷管延期时间,每一条件下测试 10 发,延期时间取平均值。常温试验,熟练工人操作。

1.2 试验结果

1) 导爆管长变化对导爆管雷管的延期时间有明显影响。随着导爆管长度增加,导爆管雷管的延期时间均会变短。

2) 不同生产厂家的导爆管雷管,导爆管长度对延期时间的影响程度不同,B、C、D、E 变化幅度较小,A 变化幅度最大。

3) 不同延期类别的导爆管雷管,管长对延期时间的影响程度不同。和标准延期时间相比,毫秒延期导爆管雷管的延期时间受管长的影响相对较大,半秒延期导爆管雷管的延期时间受管长的影响相对

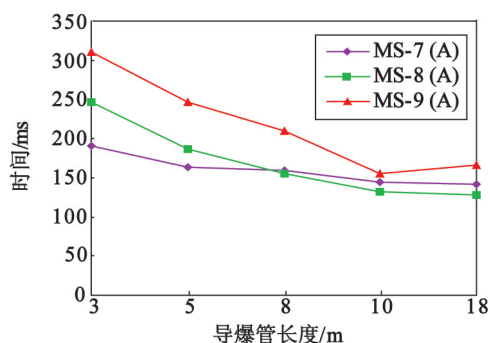


图 1 不同段别、不同导爆管长度对应雷管延期时间

Fig.1 Delay time of detonator for detonating tubes with different period and different length

* 收稿日期:2014-01-18

作者简介:侯建华(1974~),硕士,工程师,主要从事民用爆破器材生产工艺及技术研究。E-mail:13851577543@163.com

表 1 不同导爆管雷管和段别在不同管长下的延期时间

Tab. 1 Delay time of detonator with different kind, period and length of detonating tube

雷管 代号	段别	标准延期时间 ^[2] / ms	管长/ m	测定延期时间/ ms	变化幅度(和 3m 管长相比)/ms	变化百分率/ %
A	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	3	247	—	—
A	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	3	162**	- 85	- 34.4
A	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	5	186	- 61	- 24.7
A	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	10	132	- 115	- 46.6
A	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	18	128	- 119	- 48.2
A	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	18	249*	+ 2	+ 0.8
A	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	3	375	—	—
A	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	3	300**	- 75	- 20.0
A	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	5	310	- 65	- 17.3
A	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	10	211	- 164	- 43.7
A	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	18	177	- 198	- 52.8
A	HS-4	1500 ± 250	3	1600	—	—
A	HS-4	1500 ± 250	5	1540	- 60	- 3.8
A	HS-4	1500 ± 250	10	1410	- 190	- 11.9
A	HS-4	1500 ± 250	18	1190	- 410	- 25.6
A	HS-4	1500 ± 250	18	1600*	0	0
B	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	3	247	—	—
B	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	8	226	- 21	- 8.5
B	MS-8	250 ⁺³⁰ ₋₂₅	18	221	- 26	- 10.5
B	HS-4	1500 ± 250	3	1540	—	—
B	HS-4	1500 ± 250	8	1510	- 30	- 1.9
B	HS-4	1500 ± 250	18	1410	- 130	- 8.4
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	3	392	—	—
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	3	370**	- 22	- 5.6
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	5	381	- 11	- 2.8
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	8	370	- 22	- 5.6
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	10	371	- 21	- 5.4
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	18	362	- 30	- 7.6
C	MS-10	380 ⁺⁴⁰ ₋₃₅	18	395*	+ 3	+ 0.8
D	HS-3	1000 ± 250	3	1090	—	—
D	HS-3	1000 ± 250	8	1070	- 20	- 1.8
E	HS-9	4500 ⁺⁵⁰⁰ ₋₄₅₀	3	4230	—	—
E	HS-9	4500 ⁺⁵⁰⁰ ₋₄₅₀	5	4250	+ 20	+ 0.47
E	HS-9	4500 ⁺⁵⁰⁰ ₋₄₅₀	10	3880	- 350	- 8.27
E	HS-9	4500 ⁺⁵⁰⁰ ₋₄₅₀	18	3730	- 500	- 11.82

注:*管长 18 m 的导爆管雷管在距雷管口部 3 m 处,切开 1 cm 长的轴向切口所测得延期时间数据;

**固定导爆管和起爆针使其不脱落时的雷管延期时间测定数据。

较小。影响较严重者,在实际使用中会发生延期时间串段现象(如图 1 所示)。所谓串段,是指在爆破施工中,延期雷管未按照事先计划的顺序爆炸,发生后一段雷管比前一段雷管先爆的现象。串段会影响

爆破效果,并有可能引发安全事故^[5-6]。

2 分析

2.1 理论分析

雷管延期体中的延期药由氧化剂、可燃剂及少

量黏合剂组成。可燃剂多使用金属粉;氧化剂多使用无机氧化物或盐类;另外,为了成型与强度的需要常加入少量的胶作为黏合剂,常用的黏合剂有火棉胶、松虫胶等。常见的延期药种类有硅系、硼系、钨系等 3 种^[7-9]。

延期药柱的燃烧符合多阶段燃烧规律^[10]:稳定燃烧过程中,药柱燃烧表面轴向分为未反应区、加热区、固相反应区和气相反应区,固相、气相反应区的放热对下层加热区进行预热,温度达到下层燃烧所需的最低温度,使加热区发生反应,如此燃烧层层向下传递。无气体产生的延期药柱没有气相反应区,维持正常燃烧的热源仅来自固相反应放热,热量传递方式是热传导。有气体产生的药柱除了有固相反应放热外还有气相反应放热,此时维持正常燃烧的热源来自于固相和气相两个反应区,热量传递方式除了热传导外还有强制对流与辐射。

燃速公式为:

$$u = a + bp^v \quad (1)$$

其中: u 为燃速; a 为常数,取决于固相反应与传热条件; b 为常数,取决于气相反应与传热条件; p 为环境压力; v 为压力指数,取决于气相反应的级数,一般随着气体产生量的增加而增大。

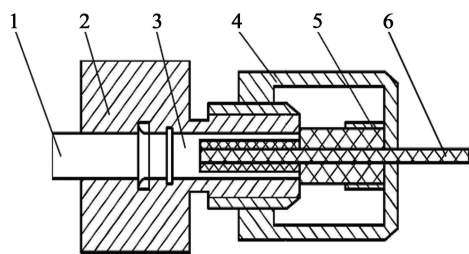
由燃速公式可以看出,对于反应过程中无气体产生的延期药柱,其燃速仅取决于固相反应与传热条件,而不受环境压力的影响;对于反应过程中有气体产生的延期药柱,其燃速除了与固相反应与传热条件有关外,还与反应中所产生的气体量及燃烧环境压力有关。

5 种延期雷管在不同管长下的延期时间变化试验结果表明,5 种延期药柱在燃烧过程中均有气体产生。不同延期药柱在燃烧过程中所产生气体量的差异,造成当管长变化时延期雷管延期时间变化幅度的差异。延期药柱在燃烧过程中所产生的气体量越少,其燃速随管长变化而变化的幅度也越小。

随着管长的变化,延期药柱燃烧时的环境压力也发生了变化。环境压力的变化除了与延期药燃烧所产生的气体量有关外,更与管长有直接的关系。以上推断可从下面的试验中得到验证。

2.2 验证试验

使用如图 2 所示的动态压力测试装置^[11],模拟不同长度的导爆管通过消爆腔对延期雷管进行点火的过程(消爆腔体积为 126 mm^3),测定点火后延期药面处的压力与时间关系,考察延期体被点火后燃烧环境压力的变化情况。试验结果见图 3。



1 - 传感器;2 - 传感器固定架;3 - 消爆腔;
4 - 固定螺母;5 - 卡口塞;6 - 导爆管

图 2 动态压力测试装置

Fig. 2 Test device of dynamic pressure

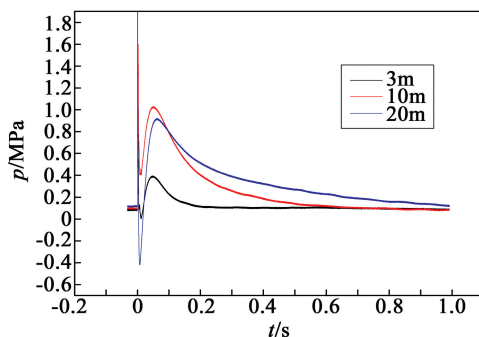


图 3 不同管长时的 $p-t$ 曲线

Fig. 3 $p-t$ curves for different length of
detonating tube

由图 3 可以看出,导爆管通过消爆腔对延期雷管点火时,延期药面处先后经历了两次压力变化过程。第 1 次为压力突变,压力峰值较大,持续作用时间极短。随后出现第 2 次压力迅速升高而后缓慢衰减的过程,该过程中压力峰值相对较小,但持续作用时间较长。在第 2 次压力变化过程中,管长 3、10、20 m 所对应的压力峰值分别约为 0.4、1.0、0.9 MPa,从点火开始至压力衰减至常压(0.1 MPa)所用时间分别约为 200、600、1000 ms。

分析认为,在开始点火阶段,延期药面在导爆管出口冲击波作用下压力急剧升高又迅速衰减,出现第 1 次压力变化过程。相关研究指出,当消爆腔体积为 300 mm^3 以下时,点火持续时间仅为 $0.5 \sim 0.7 \text{ ms}$ ^[11]。由于该过程持续时间极短,因此,对延期药面点火后的燃烧过程影响极小。然后由于导爆管爆轰产物的作用,延期药面压力又经历了迅速升高而后逐渐衰减的过程。

试验结果显示,随着管长的增加,导爆管对延期药点火后延期药面压力增幅变大,压力衰减过程持续时间变长。这是因为随着管长的增加,导爆管传爆过程中所产生的气体量也会相应增加,而在由雷管消爆腔和导爆管管腔所组成的半敞开燃烧体系中,只有导爆管管腔这一唯一的气体压力释放通道。

导爆管越长,气体压力释放的时间就越长,对延期药的作用时间也就越长,对延期时间的影响也就越大。

由此可以推断,改变半敞开体系的气体压力释放通道,将会改变雷管的延期时间。表 1 中的试验结果也验证了上述推断:管长 18 m 的导爆管雷管在距雷管口部 3 m 处,切开 1 cm 长的轴向切口,其延期时间接近管长 3 m 导爆管雷管的延期时间;测定延期时间时,导爆管从起爆针上自然脱落时所测得数据与固定导爆管和起爆针使其不脱落时所测得数据有明显差异,导爆管不脱落时所测得延期时间相对较短。

3 结论

1)导爆管雷管中随着管长增加延期时间会变短,5 个不同厂家生产的导爆管雷管延期时间下降的幅度不一样。

2)不同延期类别的导爆管雷管,管长对延期时间的影响程度不同。毫秒延期导爆管雷管受管长的影响相对较大,半秒延期导爆管雷管受管长的影响相对较小。影响较严重者在实际使用中会发生延期时间串段现象,会影响爆破效果并可能引发安全事故。

3)延期药燃烧产生气体和由导爆管传爆时产生气体所引起的雷管腔室压力改变是造成延期药燃速加快的直接原因。

参 考 文 献

- [1] 陈嘉琨,范钦文,高耀林. 塑料导爆管[M]. 北京:国防工业出版社,1987.
 - [2] 国家质检总局. GB19417—2003 导爆管雷管[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
 - [3] 代克洲. 导爆管的发火与消爆机理及对雷管秒量的影响[J]. 淮南职业技术学院学报,2004(3):79-80.
- Dai Kezhou. Ignition theory and decay theory of nonel

tube and affect delay time in second of detonators[J]. Journal of Huainan Vocational and Technical College, 2004(3):79-80.

- [4] 崔建平,刘志新,姜庆阁. 影响毫秒延期导爆管雷管延时精度的主要因素探讨[J]. 煤矿爆破,2004(4):17-19.
- Cui Jianping, Liu Zhixin, Jiang Qingge. Discussions on main influence factors of delay accuracy of MS delay detonator[J]. Coal Mine Blasting, 2004(4):17-19.
- [5] 杨志红,曹军,舒大强. 浅析提高非电微差起爆网路可靠性的措施[J]. 中国农村水利水电,2006(8):88-90.
- Yang Zhihong, Cao Jun, Shu Daqiang. Preliminary discussion on the measures of improving the reliability of non-electric detonating circuit[J]. China Rural Water and Hydropower, 2006(8):88-90.
- [6] 姚尧. 深孔预裂爆破技术及非电毫秒差起爆网路[M]. 西安:西北工业大学出版社,1993.
- [7] 刘自镭,蒋荣光. 工业火工品[M]. 北京:兵器工业出版社,2003.
- Liu Zitang, Jiang Rongguang. Industrial Pyrotechnics[M]. Beijing:Weapon Industry Press, 2003.
- [8] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社,1999.
- [9] 吴幼成,宋敬埔. 延期药技术综述[J]. 爆破器材, 2000,29(2):23-27.
- Wu Youcheng, Song Jingpu. Technology of delay composition review[J]. Explosive Materials, 2000, 29(2):23-27.
- [10] 黄寅生. 炸药理论[M]. 北京:兵器工业出版社,2009.
- [11] 刘大斌. 塑料导爆管的起爆、传爆及输出性能研究[D]. 南京:南京理工大学,2002.
- Liu Dabin. Study of the initiation, explosion transferring and output character of nonel tube[D]. Nanjing:Nanjing University of Science and Technology, 2002.

Effect of the Length of Detonating Tube on the Delay Time of Nonel Detonator

HOU Jianhua^①, BAO Guogang^②, ZHU Changjiang^②

^①School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

^②Nanjing Science and Technology Chemical Co., Ltd. (Jiangsu Nanjing, 211151)

[ABSTRACT] The delay time of five types of nonel detonators were measured. Results show that the delay time of detonator is influenced by the length of detonating tube, and the changes are different for the five detonators. Theoretical analysis suggests that it can be directly related to pressure change in the detonator chamber due to the gas generation during combustion of delay composition and during the detonation propagation of shock-conducting tube. Dynamic pressure test device was employed to simulate the ignition process of delay detonator on detonating tubes with different lengths using detonation elimination chamber. The test results agree well with the theoretical analysis.

[KEY WORDS] plastic detonating tube; nonel detonator; delay time; length of detonating tube