

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.05.002

新型感温变色塑料导爆管及其性能^{*}

郑博文 朱顺官 马星宇 夏 旭
南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

[摘 要] 对一种新型导爆药及其拉制成的新型变色导爆管进行了相关性能研究。采用起爆药 SY(三乙烯二胺乙二胺高氯酸共晶)作为导爆药的主成分,提高了起爆感度与安全性。该导爆药配比为 $w(\text{SY}):w(\text{变色粉}):w(\text{Al})=88:9:3$;以感温变色粉作为新型变色剂,实现激发前后导爆管颜色由有色到无色的变化,从而对导爆管的使用情况进行鉴别,同时使得导爆管的回收较传统导爆管更为便捷;由于主成分为爆轰威力更小的起爆药,对高温下导爆管易穿孔的矛盾有一定的缓解,同时爆速稳定,满足国标大于 1 600 m/s 的要求。

[关键词] 变色导爆管;起爆药;感温变色粉;变色性能

[分类号] TQ563;TB21

引言

塑料导爆管在工程爆破中有极为普遍的应用,故研究人员对其做了许多研究^[1-7]。鉴于初期产品的不变色特性,使得工程使用者难以识别导爆管击发前后的状态,给使用带来不便。于是各方专业人员开始研发变色型塑料导爆管,现所沿用的方式为增大铝粉含量,通过 RDX(黑索今)负氧平衡下爆炸反应生成的碳黏附在管壁^[7],进而对导爆管的使用情况进行鉴别。

传统变色导爆管以激发后黏附在管壁的碳作为变色标志,达到变色目的,但是在导爆管回收过程中,管壁黏附的碳易堵塞滤网,影响回收效果;同时,在高温下操作,由于 RDX 爆轰威力较大,加之塑料外管的软化,使得管壁击穿加剧^[8-9]。

对此,笔者结合已有的变色导爆管基础,通过对配方及变色物质的改进,从而确定一种新型的感温变色导爆管的导爆药配方。由该导爆药所拉制的导爆管主要性能满足使用要求,作用前后由有色变为无色,使得回收过程更为便利;同时以 SY(三乙烯二胺乙二胺高氯酸共晶)作为主成分,SY 为较钝感的起爆药,爆轰威力弱于 RDX,在保证生产、装药等过程安全性的同时,有望缓解传统导爆管高温下使用穿孔现象加剧这一矛盾;其一定温度下的可逆性变色能力,可对环境温度进行大致评判,从而判别出该环境温度下导爆网络的传爆可靠性,对导爆管的发展有一定的指导意义。

1 理论依据

SY 属于起爆药,可快速燃烧转爆轰,有较高爆速,为 7 240 m/s($\rho=1.65\text{ g/cm}^3$);机械感度显著低于常规起爆药,即有足够的安全性;可以在常温下批量制备;分解温度为 335 ℃,分解之前无熔化峰,即熔点较高,不具备挥发性,同时耐 230 ℃ 高温 72 h^[10]。能满足作为导爆药的热安定性要求;同时作为起爆药,爆轰威力低于原导爆药 RDX,即理论上能减少高温下导爆管的穿孔现象^[8-9]。

感温变色粉属于一种特殊的变色物质,由电子转移型有机化合物体系制备;在特定温度下,因电子转移使该有机物的分子结构发生变化,从而实现颜色转变。这种颜料平均粒径为 2~7 μm,与常规导爆药主成分的颗粒直径相近,利于混合,同时避免了因颗粒过大使得管壁击穿现象的加剧^[4]。其作为变色剂时,在激发过程中可迅速分解或参与反应,使得激发后的导爆管呈无色,达到前后颜色对比的效果,有利于废管的回收,符合绿色化学理念。

2 相关试验

试样:细化 SY,感温变色粉(红色、蓝色、绿色,东莞市变色化工科技有限公司),铝粉,硝酸胍镍,延期药 Ba-B₁₄,Sb₂S₃(三硫化二锑,惰性物)。

SY 细化方法为:将粗品 SY 溶于少量水中,制备过饱和溶液,于过量酒精中重结晶析出,抽滤、晾干,保存于干燥器中。

试验仪器:水浴烘箱,ZBS9601B 智能爆速测量

^{*} 收稿日期:2016-05-17
作者简介:郑博文(1995-),男,本科生,主要从事含能材料的研究。E-mail:qm952702874@163.com
通信作者:朱顺官(1962-),男,博导,研究员,主要从事起爆药的研究。E-mail:zhushg@mail.njust.edu.cn

仪,光电转化探头,分析天平,高压脉冲起爆器。

2.1 导爆药配比

通过激发情况及激发前后的变色状况调整导爆药各组分配比。在实验室中,按图 1 所示流程混制不同配比的导爆药,用 PC 管(内径 = 2 mm,壁厚 = 1 mm)模拟导爆管,通过手工操作将导爆药引入管中,测取药量,再用高压脉冲起爆器进行激发试验。

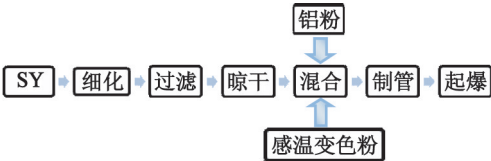


图 1 工艺流程
Fig. 1 Process flew

模拟导爆管药量为 20 ~ 25 mg/m。试验情况见表 1。由表 1 可知,3[#]、4[#]配方激发后,模拟导爆管可变为无色。而铝粉在反应中可作为供能物质,故在满足需求的前提下可提高铝粉含量。最终确定导爆药配方 $w(\text{SY}):w(\text{变色粉}):w(\text{Al})=88:9:3$ 。导爆药粒度为 200 ~ 300 目。

表 1 导爆药配方及变色试验

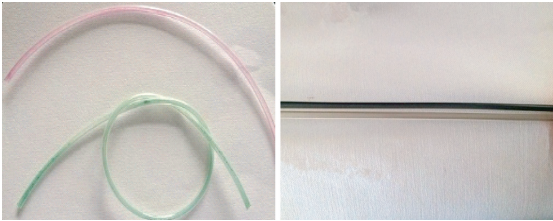
Tab. 1 Formulation of nonel explosive and color-changing experiment

配方	SY/g	感温变色粉/g	铝粉/g	变色情况
1 [#]	2	0.2	0.18	黑色
2 [#]	2	0.2	0.14	棕色
3 [#]	2	0.2	0.06	无色
4 [#]	2	0.2	0.04	无色

2.2 导爆药着色性能

混制好导爆药后,将导爆药引入 PC 管中,观察药粉的着色性能,以达到激发前后颜色对比明显这一目的,见图 2。

通过装药后 PC 管颜色的辨识度对导爆药的着



(a) 药剂的着色效果 (b) 激发后变色情况
(上为普通导爆管,下为 PC 管)

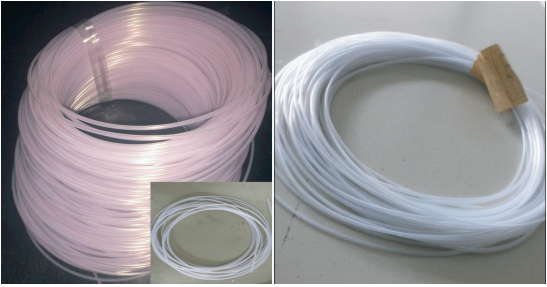
图 2 着色效果及变色效果对比
Fig. 2 Comparison of the coloring effect and color-changing effect

色性能进行考察,最终确定以红色感温变色粉作为导爆药中的变色物质。

将混制好的导爆药粉于工厂拉制成导爆管,进行后续性能测试。所拉制 A 型、B 型导爆管药量分别为 11.0、12.4 mg/m。

2.3 高温下变色性能

在高温下对拉制的导爆管进行变色性能测试。将拉制好的导爆管截成 5 m 左右的小段,置于 65 ℃ 水浴烘箱中,放置 2 ~ 5 min 后取出,观察导爆管颜色变化情况。测试结果如图 3。

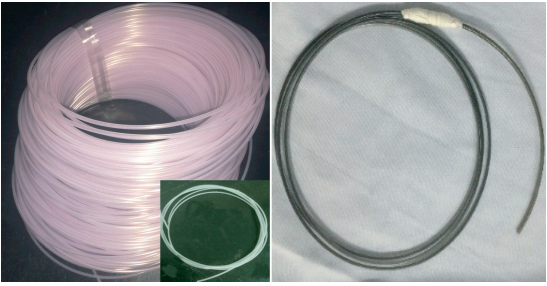


(a) 拉制的导爆管与普通导爆管颜色对比 (b) 加热 2 ~ 5 min 后变色导爆管颜色

图 3 导爆管的着色效果及高温下变色试验
Fig. 3 Coloring effect of the nonel and color-changing experiment at high temperature

2.4 激发变色性能

通过激发前后颜色变化对其变色性能进行测试。截取 1 m 左右的导爆管,用高压脉冲起爆器起爆。将起爆后变色导爆管的颜色与未起爆导爆管及普通变色导爆管起爆后的颜色进行对比。该试验平行测定 3 次。测试结果如图 4。



(a) 激发前后颜色对比 (b) 普通导爆管激发后颜色
图 4 变色导爆管激发变色效果对比

图 4 Comparison of color-changing effect after detonate of the color-changing nonel

由图 4 可看出,激发前后感温变色导爆管具有显著的颜色差别,激发后为无色;对比传统变色导爆管以黏附于管壁的碳黑作为变色判据,其变色理念有了本质差别。这一变色模式的主要优点在于优化了回收工艺,避免了碳粉对滤网的堵塞。

2.5 爆速测试

通过光电法^[6]对导爆管爆速进行测试。取 1 m 左右的导爆管,用高压脉冲起爆器进行起爆,以 ZBS9601B 智能爆速测量仪对爆速进行测定。两个光电转换头之间的距离为 0.5 m,每个药量平行测定 3 次。测量数据如表 2(室温下)。

表 2 爆速测试

Tab. 2 Test results of detonation velocity

样品	药量/ (mg · m ⁻¹)	时间/ μs	爆速/ (m · s ⁻¹)
A-1 [#]	11.0	265.3	1 844.66
A-2 [#]	11.0	265.4	1 883.94
A-3 [#]	11.0	268.1	1 864.98
B-1 [#]	12.4	265.5	1 883.24
B-2 [#]	12.4	256.3	1 950.84
B-3 [#]	12.4	265.0	1 886.79

由表 2 数据知,感温变色导爆管的爆速稳定(即极差在 100 m/s 以内),同时其爆速大于1 600 m/s,满足国标要求,且无穿孔现象发生。随着线密度继续往上调整,相信能够有更优良的性能。

2.6 常温高湿对爆速的影响

因 SY 具有微小的吸潮性,故对其进行高湿环境下的性能测试。通过将导爆管置于高湿环境中一段时间后爆速的变化情况来考察湿度对其性能的影响。将导爆管截成 1 m 左右的小段(不封口),置于 10 ℃、75%湿度的环境中。每 5 d 进行一次爆速测试,连续考察 4 个周期。试验情况及各项数据见表 3。

由表 3 数据可知,长时间的高湿度环境对此感温变色导爆管的爆速有一定的影响,在未封口条件下,20 d 的高湿度环境造成的爆速下降仅为 2% ~ 3%,不影响实际使用,更长时间的湿度环境对此感温变色导爆管性能的影响仍在进一步探索中。

2.7 起爆能力

起爆能力是导爆管主要性能之一,由于以爆轰威力小于 RDX 的 SY 作为新型导爆药的主成分,故需要对此新型导爆药所拉制的导爆管进行起爆能力测试。通过观察起爆药、延期药等的起爆情况,测试新型导爆管的起爆能力。所用起爆药为硝酸胍镍,延期药为 Ba-B₁₄,药量分别为 20 mg 和 50 mg,装于制式铝加强帽内,并覆盖 Sb₂S₃,压药压力 30 MPa,各进行 5 次平行试验。

2.7.1 激发起爆药

以起爆药硝酸胍镍作为被激发对象,试样装入雷管壳体内,与导爆管经橡胶塞组合成一体,多发管

表 3 75% 湿度下爆速测试

Tab. 3 Detonation velocity test with 75% humidity

样品	放置 时间/ d	药量/ (mg · m ⁻¹)	起爆 情况	时间/ μs	爆速/ (m · s ⁻¹)
A-4 [#]	0	11.0	正常 起爆	267.4	1 869.86
A-5 [#]	5	11.0	正常 起爆	268.8	1 860.12
A-6 [#]	10	11.0	正常 起爆	271.5	1 841.62
A-7 [#]	15	11.0	正常 起爆	275.3	1 818.18
A-8 [#]	20	11.0	正常 起爆	277.8	1 799.86
B-4 [#]	0	12.4	正常 起爆	263.4	1 898.25
B-5 [#]	5	12.4	正常 起爆	264.8	1 882.18
B-6 [#]	10	12.4	正常 起爆	266.7	1 874.76
B-7 [#]	15	12.4	正常 起爆	268.5	1 862.20
B-8 [#]	20	12.4	正常 起爆	270.9	1 845.57

用四通连接起来,连接方式见图 5。

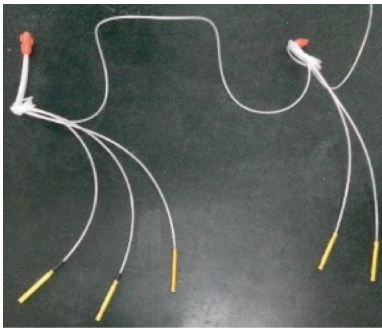


图 5 试验所用起爆网路

Fig. 5 Initiation circuit used for detonation

试验之后,通过检验加强帽中起爆药反应与否,判定起爆药是否被激发。最终的结果为一个管壳被炸裂,余下 4 组管壳未破碎,但剪开管壳后可以观察到起爆药已被激发。

2.7.2 激发延期药

试验方法与 2.7.1 相同,将试样组装好后,以四通串接,进行高压脉冲点火,结果为 5 发样品均被成功激发。

由此可以确定,导爆药中的 RDX 换成 SY,形成的导爆管仍旧有不错的点火能力,即此新型导爆管

的起爆能力是满足实际要求的。

3 结论

对原有的导爆药配方进行改进,得到了新型导爆药,对其拉制出的导爆管进行了各项性能测试,得到了如下结论:

1) 该新型导爆药的配比为 $w(\text{SY}) : w(\text{变色粉}) : w(\text{Al}) = 88 : 9 : 3$ 。

2) 该新型导爆管在起爆前后有明显的颜色变化,可对导爆管使用情况进行鉴别。

3) 该新型导爆管的变色模式为有色转变为无色,区别于传统的银白色转变为黑色。其优点在于有利于废管的回收;同时在爆速、起爆能力等方面均满足使用要求,对导爆管的发展有一定的指导意义。

参 考 文 献

- [1] 张文平,胡美华. 导爆管管壁击穿影响因素探讨[J]. 火工品, 2011(3):14-17.
ZHANG W P, HU M H. Study on the influence factors of cup-type lead wall breakdown[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2011(3):14-17.
- [2] 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 H, LIU D B, GAN D H, et al. Design of the adhesive shock tube and its performance[J]. Explosive Materials, 2013, 42(2):37-40.
- [3] 胡升海,房泽法,巫雨田. 基于高速摄像的断药导爆管传爆过程研究[J]. 爆破器材, 2013, 42(3):41-44.
HU S H, FANG Z F, WU Y T. Research on detonation propagating process of explosive faults nonel tube by high speed photography[J]. Explosive Materials, 2013, 42(3):41-44.
- [4] 徐平,唐书升. 塑料导爆管生产安全性探讨[J]. 爆破器材, 2010, 39(3):25-27.
XU P, TANG S S. Discussion on the safety in production of nonel tube[J]. Explosive Materials, 2010, 39(3):25-27.
- [5] 钱华,刘大斌. 塑料导爆管药粉粘附性评价方法研究[J]. 爆破器材, 2013, 42(1):26-28.
QIAN H, LIU D B. The assessment methodology study on the adhesivity of explosive powder to detonating tube[J]. Explosive Materials, 2013, 42(1):26-28.
- [6] 侯建华. 特殊使用条件下提高导爆管传爆可靠性研究[D]. 南京:南京理工大学, 2004.
HOU J H. Research on improving the reliability of detonation propagating process of explosive under special Environment[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2004.
- [7] 章万龙. 变色塑料导爆管配方与工艺的实验研究[J]. 淮南职业技术学院学报, 2007, 7(1):47-49.
ZHANG W L. The test research on formulation and technique of the color-changeable nonel tube[J]. Journal of Huainan Vocational & Technical College, 2007, 7(1):47-49.
- [8] 吴红梅,宋敬埔. 普通变色塑料导爆管高温性能研究[J]. 火工品, 2003(4):28-30.
WU H M, SONG J P. Study on the character of color changeable nonel tube at high temperature[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2003(4):28-30.
- [9] 李玉楼. 变色导爆管性能常见问题分析[J]. 煤矿爆破, 2007(1):26-28.
LI Y L. Analysis for usual questions existing in the performance of discolor nonel[J]. Coal Mine Blasting, 2007(1):26-28.
- [10] 刘丽娟. 高氯酸胺盐共晶化合物的结构与性能表征[D]. 南京:南京理工大学, 2009.
LIU L J. The structure and characteristic of an eutectic compound of amine perchlorate[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.

Preparation and Properties of a New Kind of Thermochromic Plastic Nonel

ZHENG Bowen, ZHU Shunguan, MA Xingyu, XIA Xu

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

[ABSTRACT] Characteristics of a new kind of nonel explosive and the new color-changing nonel prepared by this nonel explosive were studied. Initiator SY (triethylenediamine ethylenediamine perchlorate eutectic) was used as the main component of the nonel explosive, which improved the sensibility and the safety of the nonel. Formulation of nonel explosive was $w(\text{SY}) : w(\text{color-changing component}) : w(\text{Al}) = 88 : 9 : 3$. Thermochromic powder was used as the color-changing component to discolor after detonation to distinguish whether it has been used, which make it easier to recycle the waste nonel. Moreover, because the power of SY is weaker than RDX, the hole-boring phenomenon can be relieved. And the detonation velocity stability of the nonel meets the national standard ($>1\ 600\text{ m/s}$).

[KEYWORDS] color-changing nonel; initiator; thermochromic powder; color-changing property