

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.02.010

# 高药粉粘附性导爆管的设计及性能测试\*

钱 华<sup>①②</sup> 刘大斌<sup>①</sup> 甘德淮<sup>③</sup> 韦锦初<sup>③</sup> 邓昭明<sup>④</sup> 侯建华<sup>⑤</sup> 朱长江<sup>⑤</sup> 鲍国钢<sup>⑤</sup>

①南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

②国家民用爆破器材质量监督检验中心(江苏南京,210094)

③广东宏大爆破股份有限公司(广东广州,510623)

④南京邓氏新材料有限公司(江苏南京,210014)

⑤南京理工科技化工有限责任公司(江苏南京,211151)

[摘 要] 针对导爆药的塑料粘附性差而导致导爆管破孔率高及导爆管雷管易拒爆的现状,采用共混改性和分子定向迁移理论,通过配方优化,开发出一系列高药粉粘附性的导爆管专用塑料。根据导爆管传爆过程中对药粉粘附性的要求,确定了导爆药脱落率为 16.0% 的导爆管最佳专用塑料配方。试验表明:与常用牌号 N210 和 112A 制备的导爆管相比,高药粉粘附性导爆管震动后每 15 m 的破孔数由 N210、112A 制备时的 4 个、2 个下降到 0;50℃ 下每 15m 的破孔数由 N210、112A 制备时的 4 个、2 个下降到 0;雷管拒爆现象由 N210、112A 制备时的 10%、6% 下降到 0。

[关键词] 导爆管 传爆可靠性 破孔 拒爆 塑料

[分类号] TD235.2 TQ565 TJ510.5

## 引言

导爆管是我国上世纪 80 年代初投入使用的起爆器材。基于当时我国的材料工业水平和高分子加工技术状况,采用高压低密度聚乙烯(LDPE)挤出成型,管壁为单层。该产品原材料价廉,成型工艺简单,基本能够满足我国工程爆破的需要<sup>[1-2]</sup>。随着非电起爆网络应用比例的逐年上升,导爆管的使用量也持续增长。2011 年,我国导爆管产量达 30.5 亿米<sup>[3]</sup>。

然而,生产导爆管的 LDPE 均是石化公司的通用产品,为提高流散性,通常添加一定量的润滑剂,导致其制备的塑料导爆管的管壁与导爆药的粘附性差。在生产、运输和使用过程中导爆药易脱落,在管内壁积聚形成“黑龙”现象,导致传爆过程中导爆管被炸穿,降低导爆管传爆的可靠性;更有甚者,在中深孔爆破过程中,脱落的导爆药会堵在导爆管雷管口,导致传爆中断,出现“哑炮”现象,极大地降低了工程爆破的质量和安全性<sup>[4-7]</sup>。

为此,亟须对现有导爆管管材进行研究,提高塑料管壁对导爆药的粘附性,开发出高药粉粘附性的塑料导爆管。

## 1 原料及测试方法

### 1.1 高药粉粘附性导爆管专用塑料的制备原理

塑料共混改性是在一种塑料中加入另一种或多种其它塑料(或橡胶),从而达到改变原有塑料性能的方法<sup>[8]</sup>。在改性的同时,不影响原塑料的其它性能。

相容性是塑料共混物选材时需考虑的重要因素。一方面,从共混均匀性考虑,要求相容性好,能形成均一的共混物;另一方面,从改性性能上考虑,要求相容性不能过好,否则各组分形成热力学相容体系,则共混物的性能只具有加和性,许多性能得不到明显改善。

同时,在配方体系中添加一定量的交联剂。当导爆管从口模挤出进入冷却水时,与管内壁相比,管外壁快速冷却,使得外围的高分子异相成核结晶速率加快,结晶密度增加,晶粒尺寸微细化。因此交联剂会在导爆管贮存过程中逐渐向晶粒间隙大的管内侧单向迁移,从而进一步提高了药粉的粘附性。

试验中将聚酰胺、聚酯、乙烯聚合物等添加物与 LDPE 共混,制备出 1#~8# 高药粉粘附性导爆管专用塑料。

### 1.2 高药粉粘附性导爆管的制备

将专用塑料在南京理工科技化工有限责任公司

\* 收稿日期:2012-11-06

作者简介:钱华(1981~),男,副研究员,博士,主要从事民爆器材产品及工艺研究。E-mail: qianhua@mail.njust.edu.cn

1 号导爆管拉管机上进行拉管试验。

导爆药配方:75% RDX + 25% Al。RDX 过 150 目筛,Al(50% 片状 Al + 50% 球状 Al) 过 200 目筛。导爆药含水量≤0.1%。

挤出机各段及口模温度(实测值):120℃、160℃、160℃、145℃。

导爆药下药量 15.4 mg/m,拉管速度 60 m/min。

通过 1#~8#高药粉粘附性导爆管专用塑料制备的高药粉粘附性导爆管仍用 1#~8#标识。

1.3 导爆药粘附性定量测试法

以特定震动条件下导爆药的脱落率来表征导爆管与导爆药的粘附性。

具体测试及计算方法见文献[9]。

1.4 震动后传爆可靠性试验

- 1) 检查震动试验机运转是否正常;
- 2) 将 15 m 导爆管两端封口,卷成 30 圈直径 (30±5)cm 的管卷;
- 3) 将试样管卷垂直固定在震动试验机木箱内,连续震动 30 s;
- 4) 起爆导爆管;
- 5) 统计出传爆过程中的破孔数。

1.5 高温传爆可靠性试验

- 1) 将 15 m 导爆管两端封口,卷成直径 (30±5)cm 的管卷;
- 2) 置于 50℃ 的油浴烘箱中加热 1 h;
- 3) 将导爆管从烘箱取出,10 s 内起爆导爆管;
- 4) 统计出传爆过程中的破孔数。

1.6 雷管拒爆试验

- 1) 将 50 根 16 m 导爆管与 8 号瞬发雷管装配成导爆管雷管;
- 2) 50 根导爆管雷管分成两批,每批 25 根,用雷管脚线将 25 发雷管捆扎在一起,使其晃动时不会松散;
- 3) 将导爆管和雷管垂直于地表,剧烈晃动导爆管;
- 4) 逐个起爆导爆管;
- 5) 统计出雷管拒爆的次数。

1.7 抗拉性能试验

根据 WJ/T 2019—2004 进行抗拉性能试验。

2 高药粉粘附性导爆管的性能比较

2.1 配方的筛选

表 1 为按照方法 1.3 测得的 1#~8#导爆管药粉粘附性。通过共混改性,可以开发出导爆药粘附性在 5.0%~29.2% 范围内的塑料导爆管,且成本控

表 1 导爆管药粉脱落率测试

Tab.1 Expulsion rate of explosive powder								
导爆管类别	1#	2#	3#	4#	5#	6#	7#	8#
导爆药脱落率/%	5.0	8.3	13.7	16.0	18.7	21.3	25.8	29.2

制在 14000 元/t 左右。

根据“先混合后爆轰”理论:导爆管正常传爆时,在爆轰波中前沿冲击波阵面上的高温和压力作用下,导爆药先受力变形、粉碎、脱落,然后迅速向管内扩散并与空腔中的空气混合成云雾状炸药而爆轰<sup>[1]</sup>。同时,导爆管雷管起爆能量来自于两个方面:冲击波和灼热的爆轰粒子<sup>[10-11]</sup>。

因此,导爆药的脱落率并非越低越好:一方面,既要保证较低的药粉脱落率,降低由于药粉堆积造成的传爆破孔和药粉堵管造成的断爆概率,提高爆破可靠性及安全性;另一方面,又要防止由于药粉和管内壁结合过紧而造成的传爆不稳定(表观现象为爆速偏低),甚至由于点火能量过低而使雷管拒爆。

通过测定 1#~8#导爆管的爆速及雷管起爆可靠性,最终确认导爆药脱落率为 16% 左右时,导爆管的传爆稳定性、可靠性及点火能量达到一个最佳点。因此,选取 4#为进一步的测试样。

2.2 导爆药粘附性比较

目前最常见的导爆管塑料牌号为 N210 和 112A,其用量约占全国总用量的 70%。为此,将 4#和 N210、112A 的粘附性作了对比,同时,也与相同下药量下某民爆企业进口的美国高强度导爆管的药粉粘附性作了比较,见表 2。

表 2 导爆管药粉脱落率测试

Tab.2 Expulsion rate of explosive powder				
导爆管类别	4#	N210	112A	高强度
导爆药脱落率/%	16.0	34.2	26.5	19.8

由表 2 可知,N210 的药粉脱落率最高,达到 34.2%,这也是 N210 在爆破过程中最易破孔和药粉堵管造成拒爆的原因;112A 的药粉脱落率达到 26.5%。同时发现,虽然美国高强度导爆管内层使用的是价格昂贵、粘附性好的沙林(Surlyn),但药粉粘附性能仍不及 4#。

2.3 震动后传爆可靠性试验

传爆可靠性是导爆管传爆性能的最重要指标之一,也是导爆管检测的必检项目。

表 3 为按照方法 1.4 测得的导爆管震动后传爆可靠性数据。

表 3 导爆管震动传爆可靠性测试

Tab. 3 Transmission reliability of detonating tube after shock

导爆管类别	破孔数
4 <sup>#</sup>	0
N210	4
112A	2

15 m 导爆管震动后,由于绕成的 30 圈是垂直放置,故脱落的药粉均堆积在每一圈的底部,也是最容易破孔的部位。由表 3 可知, N210 制备的 30 圈导爆管的破孔数为 4 个,112A 破孔数为 2 个,4<sup>#</sup>无破孔,传爆可靠性最佳。

2.4 高温传爆可靠性试验

根据 WJ/T 2019—2004,导爆管在温度为(20 ± 10)℃的条件下须传爆可靠。然而在实际使用过程中,尤其是夏天烈日下,地表温度高达 50℃,常常由于导爆管耐温性差导致传爆不可靠,具有断爆的隐患。因此,试验将 15 m 导爆管卷成直径(30 ± 5)cm 的管卷,置于 50℃的油浴烘箱中加热 1 h 后起爆,考察高温对导爆管的传爆可靠性的影响,见表 4。

表 4 导爆管高温传爆可靠性测试

Tab. 4 Transmission reliability of detonating tube under high temperature

导爆管类别	破孔数
4 <sup>#</sup>	0
N210	4
112A	2

由表 4 可知, N210 制备的 15 m 长导爆管的破孔数为 4 个,即耐高温性最差,112A 次之,4<sup>#</sup>无破孔,高温传爆可靠性最佳。

2.5 雷管拒爆试验

在中深孔爆破过程中,由于垂直于地表的导爆管较长,如果导爆药粘附性差,会导致大量脱落的药粉堆积在雷管口,造成“堵管”而使得雷管拒爆。雷管拒爆后不仅使得爆破质量下降、爆破工期延长,尤其是拒爆雷管的排查及处理是极其危险的操作。因此,提高导爆药粘附性,减少甚至消除由于药粉堵管而引起的雷管拒爆现象,也是导爆管制备过程中亟须解决的问题。

为此,按照方法 1.6 中的步骤,模拟导爆管中深孔爆破过程中的状态,进行雷管拒爆试验。结果如表 5 所示。

由表 5 可知, N210 由于其药粉脱落率高达

表 5 雷管拒爆试验

Tab. 5 Misfire test of detonator

导爆管类别	雷管拒爆数	雷管拒爆率/%
4 <sup>#</sup>	0	0
N210	5	10
112A	3	6

34.2%,所以药粉堵管概率大大增加,雷管拒爆率达到 10%。112A 的雷管拒爆数次之,4<sup>#</sup>仅有少量药粉脱落,雷管不发生拒爆现象。

2.6 抗拉性能试验

在工程爆破的联接网路和装炮过程中,导爆管被不断地牵拉。管壁材料的抗拉强度越高,导爆管越不容易因拉细或拉断而失去传爆性能。因此管材须具有较好的抗拉强度。试验中对 4<sup>#</sup>、N210、112A 的抗拉强度进行了测试和比较,见表 6,测试温度为 25℃。

表 6 导爆管抗拉性能试验

Tab. 6 Tensile strength of detonating tube

导爆管类别	伸长率/%			
	6kg	7kg	8kg	9kg
4 <sup>#</sup>	190	260	370	断裂
N210	290	断裂	—	—
112A	180	断裂	—	—

由表 6 可知,4<sup>#</sup>的极限抗拉强度最大,达到 8 kg,而 N210 和 112A 均为 6 kg。故 4<sup>#</sup>的抗拉性能最好。

3 结论

1)4<sup>#</sup>高药粉粘附性导爆管的药粉脱落率为 16.0%,达到导爆管传爆稳定性、可靠性及点火能量的最佳结合点;

2)4<sup>#</sup>高药粉粘附性导爆管在震动后及 50℃ 高温后每 15m 的破孔数由 N210、112A 制备时的 4 个、2 个下降到 0;雷管拒爆现象由 N210、112A 制备时的 10%、6% 下降到 0,极大地提高了导爆管的传爆可靠性和使用安全性;

3)4<sup>#</sup>高药粉粘附性导爆管的抗拉性能优于 N210 和 112A。

4<sup>#</sup>高药粉粘附性导爆管,在南京理工科技化工有限责任公司、贵州久联民爆器材发展股份有限公司、河南前进化工股份有限公司和广州宏大爆破有限公司进行了试生产,并通过客户使用,达到应用水平。

参 考 文 献

[1] 刘自镛, 蒋荣光. 工业火工品[M]. 北京: 兵器工业

- 出版社,2003.
- Liu Zitang, Jiang Rongguang. Initiating pyrotechnics [M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 2003.
- [2] 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 & Technology, 2002.
- [3] 中国爆破器材行业协会. 中国爆破器材行业简报 [R]. 2012(2): 9-21.
- [4] 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 Jianhua. Study on enhancing detonating reliability of detonating tube under special condition [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2004.
- [5] 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, 7.
- 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, 7.
- [6] 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.
- [7] 段红珍, 钱华, 万方, 等. 示踪剂的添加对导爆管传爆性能的影响[J]. 爆破器材, 2012, 41(2): 5-7.
- Duan Hongzhen, Qian Hua, Wan Fang, et al. Influence of the indicator on detonation transmission performance of the shock-conducting tube [J]. Explosive Materials, 2012, 41(2): 5-7.
- [8] 徐东. 高强度导爆管研制 [D]. 南京: 南京理工大学, 2004.
- Xu Dong. Study on high tensility detonating tube [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2004.
- [9] 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 Hua, Liu Dabin. Study on the assessment methodology of adhesivity between detonating tube and powder [J]. Explosive Materials, 2013, 42(1): 26-28.
- [10] 胡正平, 刘大斌. 导爆管雷管的安全性能及其使用中的安全探讨 [J]. 爆破器材, 1996, 25(1): 18-20.
- Hu Zhengping, Liu Dabin. Safety of nobel detonators and safe discussion on their use [J]. Explosive Materials, 1996, 25(1): 18-20.
- [11] 阳世清, 王荪源, 杨权中, 等. 塑料导爆管在燃烧转爆轰过程中的火焰结构及爆轰波生成机理 [J]. 爆炸与冲击, 1990, 10(1): 3-6.
- Yang shiqing, Wang sunyuan, Yang quanzhong, et al. The flame structure and the formation mechanism of detonation wave for the plastic shock tube system during deflagration to detonation transition process [J]. Explosion and Shock Waves, 1990, 10(1): 3-6.

## Design of the Adhesive Shock Tube and its performance

QIAN Hua<sup>①②</sup>, LIU Dabin<sup>①</sup>, GAN Dehuai<sup>③</sup>, WEI Jinchu<sup>③</sup>,  
DENG Zhaoming<sup>④</sup>, HOU Jianhua<sup>⑤</sup>, ZHU Changjiang<sup>⑤</sup>, BAO Guogang<sup>⑤</sup>

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

②National Quality Supervision and Inspection Center for Industrial Explosive Materials (Jiangsu Nanjing, 210094)

③Guangdong Hongda Blasting Co., Ltd. (Guangdong Guangzhou, 510623)

④Nanjing Dengshi Film New Materials Co., Ltd. (Jiangsu Nanjing, 210014)

⑤Nanjing Science and Technology Chemical Co., Ltd. (Jiangsu Nanjing, 211151)

[ABSTRACT] Due to the bad adhesivity between explosive powder and shock tube, the shock tube tends to be broken and the shock detonator sometimes misfires. According to the theory of blending modification and oriented molecule migration, a series of special dedicated plastics for shock tube with high adhesivity were designed. For the need of adhesivity between explosive powder and shock tube during transmission, the best formula with 16.0% expulsion rate of explosive powder was determined. Experimental results showed that in contrast with conventional N210 and 112A counterparts, the highly adhesive shock tube has decreased the number of broken holes to 0 per 15m after shock (4 holes for N210 and 2 holes for 112A), broken holes at 50℃ to 0 per 15m (4 holes per 15m for N210 and 2 holes per 15m for 112A) and misfire rate of 0 (10% for N210 and 6% for 112A).

[KEY WORDS] detonating tube, reliability of diffusing detonation, broken hole, misfire, plastics