

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2016.02.005

起爆索的概念及其特性*

朱顺官^① 卜令涛^② 李 燕^① 张 琳^① 邹 涛^①

①南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

②山东天宝化工股份有限公司(山东平邑,273300)

[摘 要] 本文采用了新的导爆索芯药,得到了一种具有起爆特性的索,称之为起爆索。它能够被常规的电点火头、非电导爆管或延期体点火,并很快形成爆轰输出,对工业炸药实现引爆,因而具备工程雷管的功能。经过对起爆索爆速、殉爆距离、点火感度、起爆能力、轴向威力等的测定,反映出爆速与芯药线密度有关,其殉爆距离是普通导爆索的 4 倍多,对常规的电、非电导爆管和延期体点火方式则有较好的感度响应,爆速接近 5 000 m/s 时能够对粉状炸药、乳化炸药或水胶炸药实施引爆,而起爆索的轴向威力只达到 2 mm 厚铅板炸孔的合格水平。

[关键词] 导爆索;制索工艺;SY 共晶;起爆

[分类号] TJ45+7;TD235.2+2

引言

雷管的应用已有 150 年的历史了,为人类社会的基础建设和经济发展,作出了巨大的贡献。就雷管的组成单元来看,从未发生过本质性的变化,技术的进步主要体现在起爆药的推陈出新和新型机电技术的运用^[1-4]。当然,烟火药剂驱动冲击片的起爆方式^[5],成功地实现了工程雷管的可靠起爆,算得上是一项卓越的技术成果。从总体上来分析,雷管的生产可谓是一项系统工程。每发雷管所包含的技术环节很多,质量控制要求也非常高,只有这样才能充分保证使用过程的可靠性与安全性。

鉴于雷管的结构和制造特点,力求寻找技术上的突破,使得这两方面趋于简单,更适合于安全化生产,同时扩大成本可降低的空间,力争达到多方面的收益。以此目的而设计的技术途径有:单一装药雷管、无壳雷管或起爆索。原理上它们都是可行的,也具备了技术基础,本文将着重介绍起爆索技术。它是以专利药剂 SY^[6]为芯药主体成分,经过混制处理和粒度控制,采用导爆索制造设备及工艺,拉制出一定线密度、爆速稳定、易于点火的起爆索,截取一段后可组装成电点火头、非电导爆管或延期体点火组件并形成爆轰输出,实现对工业炸药的起爆,由此而具有工程雷管的功能,显现出多方面的技术优势。

2 试验内容

2.1 起爆索的拉制

起爆索的拉制完全沿用了成熟的塑料导爆索

(线密度为 11.0 g/m)制索工艺,分为制索和挤塑两步法,具有 2 根芯线,制索速度为 5 m/min,挤塑速度为 30 m/min。

起爆索芯药的制备包含了合成、筛分和混合 3 大步骤。通过粒度控制,得到了 3 种线密度的起爆索,分别为 9.6、10.5 g/m 和 11.2 g/m。图 1 为 30 目成品芯药的外观图。



图 1 芯药外观照片

Fig. 1 Appearance of the core charge

芯药的爆炸性能见表 1。

2.2 起爆索的主要性能

首先是测试起爆索的点火性能,包括电点火头、非电导爆管和延期体点火的可靠性,每种点火方式进行 60 发试验,起爆索切长分别为 4、5 cm 和 6 cm,各 20 发;通过铝管壳进行收口组装,起爆索插入管体内的深度均控制在 2.0 cm,装配示意图如图 2。

其次,控制点火元件与起爆索端面间隙。观察 5、10、20 mm 和 30 mm 4 种间隙时的发火情况;用电

* 收稿日期:2015-08-25
作者简介:朱顺官(1962 ~),男,研究员,博导,主要从事火工药剂技术研究。E-mail:zhushg@mail.njust.edu.cn

表 1 起爆索芯药基本爆炸性能
Tab. 1 Basic explosion performance of the core charge

性能参数	结果	试 验 条 件
撞击感度(爆炸百分数)/%	44;48	落锤 2.0 kg,落高 250 mm,药量 30 mg
摩擦感度(爆炸百分数)/%	72	锤质量 1.500 kg,药量 20 mg,摆角 70°,表压 1.23 MPa
	56	锤质量 1.500 kg,药量 20 mg,摆角 65°,表压 1.05 MPa
作功能力(扩孔值)/mL	390.6;406.4	装药量 10.00 g,装药密度 1.00 g/cm ³
静电感度(爆炸百分数)/%	8;12	放电电压 6 kV,放电电容 0.22 μF,无串联电阻,无点平,输出极性“-”极,放电间隙 0.12 mm
热失重/%	0.04	75 ℃加热,连续 48 h,药量 4.921 3 g, 4.990 1 g
真空安定性(放气量) /(mL·g ⁻¹)	0.18;0.25	GJB772A—1997 方法 501.1 安定性试验,汞压力计法
猛度(铅柱压缩值)/mm	19.66;20.24	装药量 50.0 g,装药密度 1.00 g/cm ³
5s 爆发点/℃	381	伍德合金浴



图 2 3 种常规点火方式的组装图

Fig. 2 Assembly diagram of 3 kinds of regular igniting mode

离靶线法测试 3 种线密度起爆索的爆速。

最后,测试了 9.6 g/m 起爆索的侧向殉爆距离以及轴向威力。殉爆试验中,主发起爆索的长度为 95 mm,被发起爆索的长度为 60 mm,主发起爆索用管壳、橡胶塞与导爆管收口连接,再将它们用 502 胶固定在 2 mm 厚铅皮上,间隔一定的距离,相互平行,且底端对齐,直至被发起爆索不能爆轰,即得到最大殉爆距离,布设示意图如图 3 所示。

轴向威力就是考核铅板的炸孔情况,起爆索长度定为 50 mm,收入管体内的长度为 20 mm,输出端直立于不同厚度的铅板上,爆炸后测凹坑深度或孔径大小。

2.3 起爆索的初步应用试验

考察了起爆索对普通导爆索、乳化炸药或粉状工业炸药以及钝化黑索今炸药柱的起爆情况。

对于普通导爆索的起爆试验,先将普通太安导爆索固定切长(40 mm),起爆索的长度由大到小改变。将导爆索和起爆索两种索通过一个 30 mm 长的铝管壳对接或直接在 60 mm 长的通孔管壳内对

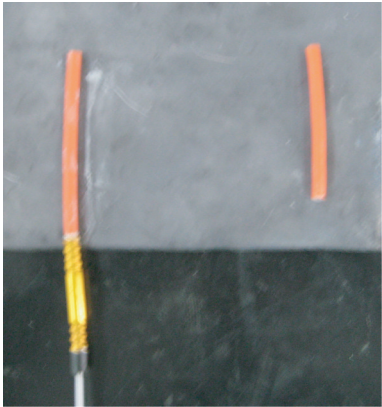
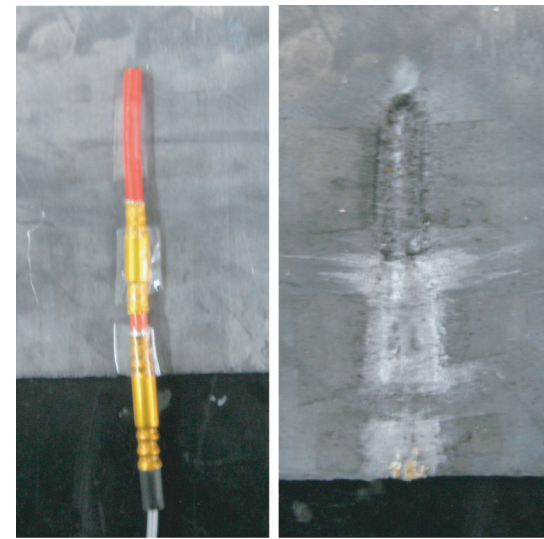


图 3 殉爆试验布置图

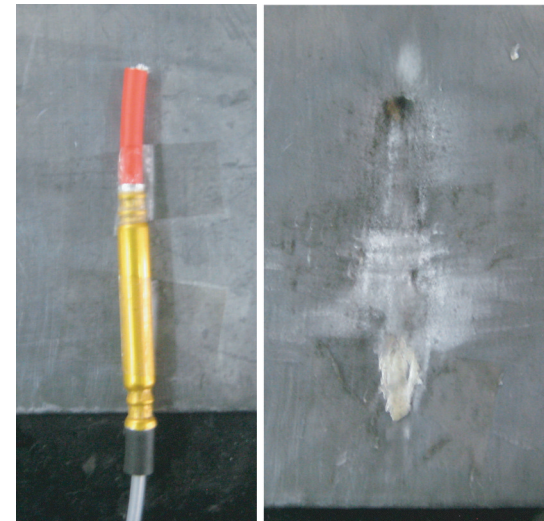
Fig. 3 Setup for the sympathetic detonation test

接,并收口,以 2 mm 厚铅皮进行爆炸结果鉴证,试验的示意图和爆炸效果图见图 4。

利用学校现有的试验条件,对一种煤矿许用型乳化炸药(药卷直径 27 mm,爆速 4 500 m/s)和一种 2# 岩石粉状乳化炸药(药卷直径 32 mm,爆速 5 500 m/s)进行了不同长度起爆索的引爆试验。后续试



(a) 40 mm 起爆索组装及爆炸痕迹



(b) 15 mm 起爆索组装及爆炸效果

图 4 导爆索起爆试验演示图

Fig. 4 Diagram for initiating tests to the detonating core

验是在浙江物产长鹏化工实业有限公司进行的,公司特制了 2 种爆速的乳化炸药药卷,又在钢管内装填 360 g 铵油炸药和 50 g 乳化炸药,分别用 50 mm 切长、线密度为 10.5 g/m 和 11.2 g/m 起爆索直向插入药卷内进行起爆,起爆索点火方式为导爆管瞬发点火。

为测试起爆索对钝化黑索今猛炸药的起爆能力,选定药量为 500 mg,压制了一个直径为 6.0 mm、高度为 10.5 mm 的药柱,密度为 1.685 g/cm³,压药压力 50 MPa,起爆索直接与药柱端面接触,用胶带缠牢,置于铅板上起爆。

3 结果与分析

3.1 点火可靠性

对于常规的点火方式,如非电导爆管、硅-铅丹点火头和钨系秒级延期体(延期时间 3.2 ~ 3.8 s),

全部试验样品计 180 发,都正常起爆,铅板上都形成很深的炸痕。

试验中还分别截取了 40、30、15 mm 和 10 mm 的起爆索(线密度为 10.5 g/m),用于起爆工业导爆索,从铅皮上的炸痕来看(图 4),一旦被起爆就能达到稳定爆轰,而小尺度下会发生半爆,试验结果列于表 2 中。

表 2 起爆普通导爆索的试验结果

Tab. 2 Results of initiating tests to the detonating core				
起爆索长度/mm	40	30	15	10
计算药量/mg	420	315	158	105
爆炸发数	4	4	3	2
半爆发数	0	0	0	1

基于表 2 的结果,应该认为在 15 mm 长度的起爆索激发下,普通导爆索能够实现快速爆轰,这无疑也是一种新颖的起爆方式,不但适用于起爆导爆索,也有可能两者组合后,用来起爆工业炸药。

表 3 是 3 种点火方式在与起爆索留有一定间隙下的点火感度,相应条件下试验 5 发。

表 3 存在间隙时的点火效果

点火方式	点火间距/mm			
	5	10	20	30
导爆管	爆炸	爆炸	爆炸	爆炸
电点火头	爆炸	爆炸	(组装管体长度不够)	
延期体	爆炸	瞎火	瞎火	

注:延期体输出点火药为硼-铬酸钡,药量 50 mg;主装药为 W40,药量 300 mg。

可以看出,起爆索对导爆管和电点火头的作用能有很好的感度响应,而对延期体输出能,由于采用的是大内管反扣结构,不利于输出能对起爆索端面发挥点火效能,故在稍大间隙下难以点着,但 5 mm 的间隙裕度,已能确保使用中的高可靠性要求。

3.2 爆速

实际测得的爆速列于表 4。

表 4 3 种线密度起爆索的实测爆速

Tab. 4 Measured detonation velocity of initiating cores with 3 linear densities					
序号	靶距/cm	线密度/(g · m ⁻¹)	测试次数	爆速/(m · s ⁻¹)	平均值/(m · s ⁻¹)
1 [#]	30	9.6	3	3 922 ~ 4 016	3 968
2 [#]	50	10.5	2	4 480, 4 558	4 519
3 [#]	50	11.2	2	4 869, 4 936	4 903

显然,随着线密度的增大,爆速也是增大的,但还没有达到期望的 5 500 m/s 以上,只有达到了这样高的爆速,才有足够的轴向和径向输出威力,以保证可靠地起爆各类工业炸药,甚至是起爆猛炸药。这需要进一步在芯药粒度级配和约束强度上做必要的优化改进。

3.3 殉爆距离

起爆索侧向的殉爆距离数据见表 5。

表 5 殉爆试验数据

Tab. 5 Results of sympathetic detonation test

距离/cm	5	7	9	11	12	13	14
爆炸分数	5/5	5/5	5/5	6/10	3/10	2/10	0/10

由表 5 数据看出,对于起爆索来说,安全的殉爆距离为 14 cm,相同条件下普通太安导爆索测到的值为 3.0 cm,两者比率超过 4 倍多。试验中还发现,在被发索未爆炸的距离或稍大的一定距离上,存在着被发索起爆端部的一个起爆深度(铅皮上有明显凹坑),长度在 15 mm 左右,应该说,这个长度内,炸药发生了燃烧向爆轰的转变过程,但因受到激发能不足所限,没有成长为爆轰。

3.4 轴向威力

取线密度为 10.5 g/m 的起爆索,切长 50 mm,组合成非电导爆管瞬发系统,进行铅板威力试验。结果只在 2 mm 厚铅板上炸孔达到 $\varnothing 5.0$ mm,而在 3 mm 厚铅板上只有深 1.5 mm 的炸坑。说明芯药密度还是小,且不带聚能穴,轴向输出威力无法达到雷管的水平,但整体的爆炸威力并不小,故具备起爆工业炸药的能力,对威力的考核有待下一步的铅墙试验来比对测试。

3.5 起爆工业炸药

起爆工业炸药的试验结果总结于表 6 中。

表 6 起爆索对工业炸药的起爆情况

Tab. 6 Initiation percentage for initiating core to industrial explosives

起爆索线密度/ ($\text{g} \cdot \text{m}^{-1}$)	起爆索 切长/ mm	爆炸分数	
		乳化炸药(爆 速 4 500 m/s)	粉状炸药(爆 速 5 500 m/s)
9.6 (爆速 3 968 m/s)	40	1/3	0/3
	50	2/2	0/3
	60	6/6	0/3
10.5 (爆速 4 519 m/s)	40	2/2	0/3
	50	2/2	1/3
	60	2/2	2/3
11.7 (爆速 4 903 m/s)	40	1/1	2/2
	60	1/1	2/2

从表 6 数据可以看出,起爆索对炸药的引爆,存在着两者爆速的匹配关系,起爆索爆速高于炸药,起爆索 40 mm 长度就能够引爆炸药;而前者低于后者超过 1 500m/s,就难以起爆;在爆速差 1 000 m/s 以内时,可以增加起爆索长度来实施对炸药的引爆。从实用角度出发,增大起爆索爆速,以确保小的长度上就能可靠引爆炸药,将具有更大的实用价值。

后续试验结果,对爆速 4 800 m/s 的乳化炸药,10.5 m/g 的起爆索,6 次试验都正常爆炸;爆速 5 200 m/s 的乳化炸药和铵油 +50 g 乳化药装药,分别进行 3 次和 2 次试验,用 11.2 g/m 的起爆索,也全部正常爆炸。

起爆索装入乳化炸药后的炮头,放置 24 h 和 48 h 后起爆,也都正常爆炸。

至此,初步的考核试验证明了起爆索具有对工业炸药的起爆能力。

3.6 起爆炸药柱

3 种线密度的起爆索,切长 50 mm,点火方式为非电导爆管瞬发点火,对钝化黑索今药柱进行轴向起爆,结果均为半爆;改为侧向起爆模式,同样也是半爆。说明低爆速下,不能实现爆速匹配,而无法起爆猛炸药,需要提高起爆索爆速,且药柱带孔或增强组合时的约束,这才有可能实现炸药柱的可靠起爆。

4 结论

通过对起爆索性能的初步测试和分析,已经显现出可以认可的特性,如易于点火、小尺度下达到爆轰输出、有效起爆工业炸药等。在其制索工艺优化完善后,起爆索性能能够达到更高的水平,完全能够由单一起爆索或与导爆索组合而取代基础雷管,从而大大简化民用起爆器材的制造流程,具备成本上的优势,同时具有与微电子延期技术相结合,形成新型高安全、高精度起爆技术的潜在能力,藉此而加快民爆行业的发展。

参 考 文 献

[1] 蒲彦利,盛涤伦,朱雅红,等. 新型起爆药 5-硝基四唑亚铜工艺优化及性能研究[J]. 含能材料,2010,18(6):654-659.

PU Y L, SHENG D L, ZHU Y H, et al. Synthesis process and property of new primary explosive copper(I) nitrotetrazolate[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2010,18(6): 654-659.

[2] 李联盟,杨爱民,张同来,等. GTG 型火雷管技术研究[J]. 爆破器材,2004,33(4):16-20.

LI L M, YANG A M, ZHANG T L, et al. Studies on plain detonator of GTG primary explosive[J]. Explosive Materials, 2004,33(4):16-20.

(下转第 28 页)

- ene oxide)-*block*-poly-2-vinylpyridine micelles filled with Pd nanoparticles[J]. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2004, 208(1/2): 273-284.
- [14] KWAN C Y, CHU W. Reaction mechanism of photoreduction of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid in surfactant micelles [J]. Industrial and Engineering Chemistry Research, 2005, 44(6): 1645-1651.
- [15] MARIANO N, EDGARDO N, JUANA J S. Influence of anionic and cationic reverse micelles nucleophilic aromatic substitution reaction between 1-fluoro-2, 4-dinitrobenzene and piperidine [J]. Journal of Organic chemistry, 2000, 65(20): 6427-6433.
- [16] 宋艳民, 陆明. 表面活性剂催化间二甲苯的硝化反应研究[J]. 含能材料, 2007, 15(5): 505-508.
- SONG Y M, LU M. Surfactant-catalyzed *m*-xylene nitration [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2007, 15(5): 505-508.

Economic Preparation of CL-20 by Nitrolysis of TAIW Using Surfactants as Catalyst

BU Lingtao^①, DONG Bo^②, QIAN Hua^{②③}, ZHEN Junjie^{②③}

①Shandong Tianbao Chemical Co., Ltd. (Shandong Pingyi, 273300)

②School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

③National Supervision and Inspection Center for Industrial Explosive Materials (Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] The preparation process of CL-20 by nitration with concentrated nitric and sulfuric acid in industrial scale is seriously hazardous to the environment due to a large number of waste acids. N_2O_5 is an environmentally friendly nitrating agent, but it is not fully satisfied on account of low yield. Inexpensive surfactants were introduced into the preparation of CL-20, and it was found that surfactants are propitious to the synthesis of CL-20 in N_2O_5/HNO_3 system using TAIW as raw material. The effects of species and amount of surfactants, reaction time and temperature have been discussed. The optimum conditions are as follows: reaction temperature is 80 °C, reaction time is 4 h, $m(\text{SDSN}) : m(\text{TAIW}) : m(N_2O_5) : V(HNO_3) = 0.3 \text{ g} : 3.0 \text{ g} : 4.0 \text{ g} : 15.0 \text{ mL}$, and the yield and purity is 89.6% and 95.1%, respectively. This method shows a good prospect with high yield, low costs, less pollution and no-need recycle of catalysts.

[KEY WORDS] applied chemistry; CL-20; N_2O_5 ; TAIW; green synthesis; surfactants

(上接第 24 页)

- [3] OYLER K D, CHENG G, MEHTA N, et al. Green explosives: potential replacements for lead azide and other toxic detonator and primer constituents [C]//27th Army Science Conference Proceedings. 2011, 30: 1-7.
- [4] 徐振相, 周彬, 秦志春, 等. 微电子火工品的发展及应用[J]. 爆破器材, 2004, 33(增刊): 29-34.
- [5] 杨振英, 郭少华, 邓琼. 冲击片点火技术探讨[J]. 火工品, 2001(1): 5-7.
- YANG Z Y, GUO S H, DENG Q. Discussion on ignition of slapper [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2001(1): 5-7.
- [6] 朱顺官, 李燕, 张琳, 等. 乙二胺高氯酸盐·三乙烯二胺高氯酸盐共晶起爆炸药及其制备方法: 200810025381.3 [P]. 2008-04-30.

Concept and Performance of the Initiating Cord

ZHU Shunguan^①, BU Lingtao^②, LI Yan^①, ZHANG Lin^①, ZOU Tao^①

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

②Shandong Tianbao Chemical Co., Ltd. (Shandong Pingyi, 273300)

[ABSTRACT] With the usage of a new formula as the charge for detonating cord, the formed cords will obtain initiating ability which is named as initiating cord. It can be ignited by the output energy like conventional fusehead, shock tube or delay element, and then transfer to detonation immediately. A segment of initiating cord possesses the function of blasting caps. Detonation velocity, sympathetic detonation distance, igniting sensitivity, initiating ability and axial power of explosives were measured. It is found that the detonation velocity is correlated to linear densities of the core charge, and the sympathetic detonation distance of explosives is more than four times of that initiated by conventional initiating cord. It has a better induction of loudness to the ignition of nonel and delay element. When the detonation velocity is near 5 000 m/s, it can initiate the powdery explosive, emulsion explosive and slurry explosive. As the testing result of axial output, the initiating cord only perforates the 2 mm thick lead plate.

[KEY WORDS] detonating cords; technique for cord production; SY cocrystal; initiation