

文章编号: 1003-1480 (2021) 06-0023-05

SY药剂在油气井用爆破器材中应用可行性初探

肖勇, 彭加斌, 李万全, 胡卫阳, 魏锋, 周徐高

(物华能源科技有限公司, 陕西 西安, 710061)

摘要: 为了提升油气井用爆破器材的耐温性能、安全性和可靠性, 开展了三乙烯二胺/乙二胺高氯酸盐共晶炸药(简称SY)在油气井用爆破器材中的应用可行性试验研究。研究表明: SY药剂火工品极限耐温指标约为220℃/120h; SY药剂雷管耐温试验前后的轴向输出均满足工业雷管输出炸孔的要求; SY药剂传爆管耐温试验前后的极限传爆距离均为200mm; SY药剂导爆索高温试验前平均爆速为6182m/s, 高温试验后平均爆速为5175m/s, 均未满足行业要求; SY射孔弹耐温试验前的钢靶平均穿深为185mm, 但经过耐温试验后, 其穿深性能下降16.5%。

关键词: SY药剂; 雷管; 传爆管; 导爆索; 射孔弹; 油气井

中图分类号: TQ564 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.06.006

Preliminary Study on the Application of SY Explosive in Blasting Equipment for Oil Field

XIAO Yong, PENG Jia-bin, LI Wan-quan, HU Wei-yang, WEI Feng, ZHOU Xu-gao

(Wuhua Energy Technology Co.Ltd., Xi'an, 710061)

Abstract: To improve temperature-resistant, safety and reliability of blasting equipment for oil field, the preliminary study on the application of triethylenediamine/ethylenediamine perchlorate salt cocrystal explosive(SY) in blasting equipment was carried out by test. The test results show that the maximum of temperature-resistant of SY is around 220℃/120h, the axial output of detonator charged SY before or after high temperature test attains the requirement of industrial detonator standard. Booster charged SY has the maximum detonation distance about 200mm. Detonation speed of some SY detonating fuse is 6181 m/s and 5174m/s before or after high temperature test of 220℃ for 120h, which don't meet the industrial requirement. Some SY shaped charge has 185mm of penetration depth in the steel plate before high temperature test of 220℃ for 120h, while its penetration depth is decreased 16.5% after high temperature test of 220℃ for 120h.

Key words: SY explosive; Detonator; Booster; Detonating cord; Shaped charge; Oil field

随着我国陆地油气资源不断向着地球深部和超深部勘探开发, 对与之配套的油气井用射孔器材耐温性能要求越来越高, 研发超高温射孔器材也越来越迫在眉睫。油气井用射孔器材一般包括起爆器材、传爆器材、射孔弹等。目前国内外油气井用超高温爆破器材发展的瓶颈主要包括: (1) 起爆器材耐温指标低于传爆器材和射孔弹, 制约了油气井用超高温射孔器材的进一步发展。该指标是由其中的起爆药耐温性能决

定的, 比如: 国内目前能用于油气井爆破器材, 且耐温级别最高的起爆药为叠氮化铅(LA), 其耐温最高指标仅为220℃/48h, 远低于超高温传爆器材和射孔弹要求的250℃/170h; (2) 耐温性能好的猛炸药冲击波感度一般偏低, 这导致其被起爆或传爆的可靠性较差。(3) 超高温药剂的制造成本高, 阻碍了油气井用超高温射孔器材的推广使用。因此, 耐温性能好、冲击波感度高、安全性好和制造成本低火工药剂是今

收稿日期: 2021-07-30

作者简介: 肖勇(1968-), 男, 研究员, 从事油气井用火工品技术研究。

后油气井超高温爆破器材的发展方向。

三乙烯二胺/乙二胺高氯酸盐共晶炸药(简称SY)由南京理工大学化工学院首次合成^[1],并做过较为详细的专业研究^[2-5]。理论与试验研究显示,该药剂耐温性能好(230℃/72h),不含重金属,绿色环保;在低密度下,具有起爆药某些特性;在高密度下,具有猛炸药特性,爆速为 $7\,240\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($1.65\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 时);并且,安全性较起爆药高。因此,本文对该药剂在油气井用超高温起爆器材中的应用进行了初步研究。

1 试验部分

本研究分别对油气井用爆破器材中常用的火雷管、电雷管、传爆管、导爆索和射孔弹等采用SY药剂进行单一装药,并进行性能试验。试验中用的SY药剂由南京理工大学化工学院提供。

1.1 SY装药的火雷管

1.1.1 SY火雷管制作

首先,以不同压药压强(20~50MPa)将220mg SY药剂压入到带有铝箔盖片的加强帽中,压制出不同压药压强的SY加强帽。然后,以不同压药压强(50~100MPa)再将300mg SY药剂压入到雷管管壳中,连续2次装压药。接着,将不同压药压强的加强帽压装到压装有SY药剂主装药的雷管壳中。最后,对雷管进行收口。SY火雷管结构如图1所示。

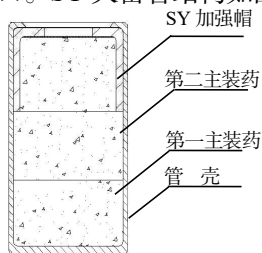


图1 SY火雷管结构示意图

Fig.1 Configuration of SY detonator

1.1.2 SY火雷管铅板炸孔试验

在如图2所示的铅板炸孔试验装置中,落锤撞击击针,击针撞击超高温火帽,超高温火帽对SY火雷管进行点火,雷管对与之底部接触的铅板($\Phi 35\text{ mm}\times 6\text{ mm}$)进行穿孔,然后测量炸孔的平均尺寸。

1.1.3 SY火雷管的起爆性能试验

SY火雷管起爆性能试验装置如图3所示,将SY

火雷管和HMX传爆管(油气井用制式传爆管为HMX单一装药)用医用胶布绑在传爆管试验专用钢条上(两者相距50mm,无偏心),然后用电点火头对SY火雷管(两者相距约1~2mm)进行点火,观察该传爆管在钢条对应处的炸痕情况来判定其是否完全爆轰。

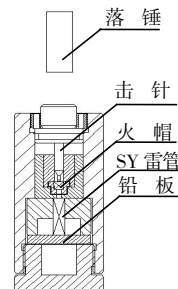


图2 SY火雷管铅板试验示意图

Fig.2 Diagram of lead disc test of SY detonator

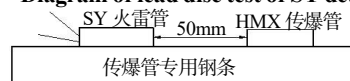


图3 SY火雷管起爆性能试验示意图

Fig.3 Diagram of SY detonator initiation property test

1.1.4 耐温试验

首先将SY火雷管放入到烘箱中进行耐温试验,耐温试验结束后自然冷却至室温,然后采用1.1.2节及1.1.3节两种方法来评估其耐温性能。

1.2 SY装药的电雷管

1.2.1 SY电雷管制作

首先,以32MPa压药压强将200mg SY药剂压入到电加强帽中。然后,以75MPa压药压强再将300mg SY药剂压入到雷管管壳中,连续2次装压药。接着,以32MPa压药压强将电加强帽压装到压装有SY药剂主装药的雷管壳中。最后,对雷管进行收口。SY电雷管结构如图4所示。

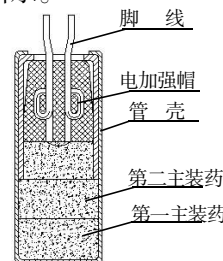


图4 SY电雷管结构示意图

Fig.4 Configuration of SY electric detonator

1.2.2 SY电雷管的性能试验

试验1:分别按GB 8031-2015^[6]和WJ/T 9044-2004^[7]标准测试其最小发火电流和最大安全电流(5min不发火)。试验2:SY电雷管的输出性能试验

方法见图5。将铅板(Φ35mm×6mm)放在支撑座上,然后将SY电雷管底部涂抹少许502胶水,并迅速放在铅板中心处,连接起爆线点火,爆炸后测量炸孔直径。

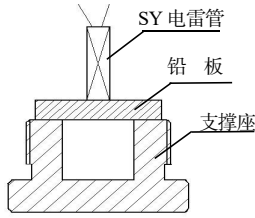


图5 SY电雷管铅板试验示意图
Fig.5 Diagram of lead disc test of SY electric detonator

1.3 SY 装药的传爆管

1.3.1 SY 传爆管制作

首先,以75MPa压药压强将250mg SY药剂压入到传爆管管壳中,连续2次装压药。接着,再装入250mg SY药剂,同时装入防潮帽(开口朝内),最后以32MPa压药压强将防潮帽压入到传爆管管壳中。SY药剂传爆管的结构如图6所示。

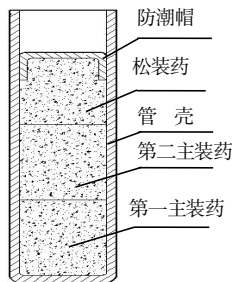


图6 SY传爆管结构示意图
Fig.6 Configuration of SY booster

1.3.2 SY 传爆管的性能试验

SY传爆管性能试验如图7所示,将2个SY传爆管(封闭端相对),在相隔一段距离(L)内,用医用胶布分别绑在传爆管测试专用钢条上,然后用电雷管起爆SY传爆管A(两者相距约10mm),观察SY传爆管B所对应处钢条炸痕是否明显。

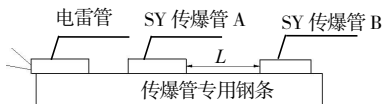


图7 SY传爆管传爆性能试验示意图
Fig.7 Diagram of initiation property test of SY booster

1.3.3 耐温试验

将SY传爆管进行220℃/100h耐温性能的试验,耐温结束后自然冷却至室温,然后采用1.3.2节的试验方法来评估其耐温性能。

1.4 SY 装药铅皮导爆索

1.4.1 SY 导爆索制作

将SY药剂装药铅铋合金管中,然后拉制成外径5.3mm的导爆索,其米装药量约为17g。

1.4.2 爆速测试

按SY/T6411-2014油气井用导爆索通用技术条件^[8]规定方法进行SY导爆索爆速测定。

1.5 SY 装药射孔弹

将40g SY药剂装入到DP45射孔弹弹壳中,然后放入某种型号的药型罩,按DP45HNS40-1工艺参数进行压制。按图8所示进行钢靶穿孔试验,测量钢靶穿孔开口孔径和孔深度。试验条件:炸高60mm;45#钢靶(GB/T699-1999),Φ60mm×300mm;用油气井用超高温导爆索(Φ5.3mm,HNS)进行起爆。



图8 SY射孔弹穿深试验示意图
Fig.8 Diagram of steel plate test of SY shaped charge

2 结果与讨论

2.1 SY 火雷管试验结果与讨论

对不同压药压强的加强帽的SY火雷管进行输出性能测试,其铅板炸孔试验结果见表1。

表1 不同压药压力加强帽的SY火雷管铅板炸孔情况
Tab.1 Lead disc perforations of SY detonators with primer of different charging pressures

加强帽压药压强 /MPa	雷管主装药 压药压强/MPa	6mm厚铅板炸孔平均 最大直径×最小直径/mm
40	50	9.7×8.5
40	50	10.3×8.7
32	50	9.8×8.6
32	50	10.2×8.6
27	50	9.7×8.2
27	50	10.4×10.2

从表1可以看出,加强帽的压药压强在27~40MPa范围内,铅板炸孔没有明显区别。因此,后续试验中的加强帽压强设计为此范围内中值32MPa。将32MPa的加强帽与不同压强的雷管主装药进行压合,

试制 SY 火雷管, 铅板炸孔试验结果见表 2。从表 2 可以看出, 随着雷管主装药压药压强的增大, 其铅板炸孔变大, 继续增大压强时, 铅板炸孔变得不稳定, 因此, 雷管主装药压药压强范围限定在 50~75 MPa。

对 SY 火雷管进行了耐温性能试验, 其结果见表 3。从表 3 可以看出, 随着环境温度的升高, 其输出能力逐渐降低, SY 药剂火雷管耐温极限约为 220℃/120h, 其耐温性能略高于目前油气井用超高温火雷管 (220℃/48h)。

表 2 不同压药压力主装药的 SY 火雷管铅板炸孔情况

加强帽压药压强 /MPa	雷管主装药压药压强/MPa	6mm 厚铅板炸孔平均最大直径×最小直径/mm
32	25	8.3×7.4
32	25	8.4×8.0
32	50	9.8×9.6
32	50	10.2×9.3
32	75	10.8×9.7
32	75	10.4×10.1
32	100	8.5×7.4
32	100	14.0×13.2

表 3 经历不同环境温度后的 SY 火雷管爆炸性能

Tab.3 Explosion property of SY detonator subject to different temperatures

试验条件	6mm 厚铅板炸孔平均最大直径×最小直径/mm	L=50mm 时起爆 HMX 传爆管成功率/%
常温/0h	10.7×9.8	100
220℃/120h	9.8×9.0	100
230℃/100h	8.3×8.0	33.3
240℃/100h	7.2×6.5	0
260℃/100h	-	-

注: “-”表示 SY 火雷管在耐温试验中已自爆。

为了考核不同批次的 SY 火雷管性能稳定性, 对不同批次的 SY 药剂压制出的火雷管进行耐温(220℃/100h)性能试验, 结果见表 4。从表 4 可以看出, SY 火雷管的批次质量是比较稳定的。

表 4 不同批次的 SY 火雷管性能稳定性

Tab.4 Property stability of SY detonator charged with different lots of SY

SY 批次	6mm 厚铅板炸孔平均最大直径×最小直径/mm	L=50mm 时起爆 HMX 传爆管成功率/%
2019-01	9.3×8.1	100
2019-02	8.6×7.9	100
2019-03	9.0×8.1	100
2019-04	9.1×8.8	100
2019-05	9.2×8.5	100

从表 1~2 和表 4 可以看出, 不同压药压强的 SY 火雷管在 220℃/100h 耐温试验前后, 其输出性能均能达到工业雷管合格标准 (大于雷管直径 6.2mm)。目前油气井用超高温火雷管的装药结构由起爆药叠氮化铅和猛炸药 HNS 组成, 在生产、运输和使用中存在的安全风险较高, 而 SY 的各方面感度都远低于叠氮化铅, 因此 SY 单一装药的火雷管, 其本质安全性

相对较高。尽管 SY 雷管 DDT 的成长距离比较长 (一般在 8mm 左右), 该雷管的总长度 (20mm) 和药量 (820mg) 分别比目前装有起爆药的雷管增加 71%, 但这在油气井用起爆器材中是完全允许的。因此, 从安全性和可靠性方面考虑, SY 药剂可以作为油气井用超高温火雷管装药。

2.2 SY 电雷管试验结果与讨论

试验结果 1: SY 电雷管最大安全电流 (5min 不发火) 约为 4 700mA, 符合工业电雷管的国标要求 (不小于 2 000mA) [6], 其最小发火电流约为 700mA, 符合工业电雷管的国标要求 (不大于 8 000mA) [6]。

试验结果 2: SY 电雷管在 6mm 厚铅板上的炸孔平均直径在 9.0~11mm 范围内, 远大于雷管外径 6.2mm。因此, SY 电雷管作为油气井用起爆器材是完全可行的。

2.3 SY 传爆管试验结果与讨论

SY 传爆管在未经高温或经受 220℃/100h 后, 其传爆性能试验结果见表 5。

表 5 SY 传爆管的爆炸性能情况

试验条件	传爆距离 L/mm	传爆成功率/%
20℃	50	100
20℃	100	100
20℃	200	100
220℃/100h	50	100
220℃/100h	100	100
220℃/100h	200	100

由表 5 可知 SY 传爆管作为油气井用超高温传爆器材是完全可行的。

2.4 SY 导爆索试验结果与讨论

未经历高温 SY 导爆索和经过 220℃/100h、自然冷却至室温后的 SY 导爆索的爆速测定结果见表 6。

表 6 SY 导爆索爆速情况

Tab.6 Velocity of detonation of SY detonating fuse

试验条件	SY 药剂批次	爆速/(m·s ⁻¹)
20℃	2019-01	6 080
220℃/100h 后	2019-01	5 109
20℃	2019-02	6 151
220℃/100h 后	2019-02	5 160
20℃	2019-03	6 200
220℃/100h 后	2019-03	5 130
20℃	2019-04	6 198
220℃/100h 后	2019-04	5 320
20℃	2019-05	6 280
220℃/100h 后	2019-05	5 155

从表 6 可以看出, SY 导爆索在经历高温试验前后的平均爆速分别为 6 182 m·s⁻¹ 和 5 175 m·s⁻¹, 高温试验后下降了 16.3%。SY 导爆索在未经历高温时

的爆速略低于目前制式同型号的油气井用超高温导爆索的爆速下限(不小于 $6\ 300\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),其在 $220^\circ\text{C}/100\text{h}$ 后的爆速远小于目前制式同型号的油气井用超高温导爆索的爆速下限(不小于 $6\ 000\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。因此,SY 导爆索尚不能满足油气井用超高温导爆索的要求,需进一步研究。

2.5 SY 射孔弹试验结果与讨论

SY 装药的 DP45SY40-1 射孔弹的爆炸性能试验结果见表7。

表7 SY 射孔弹爆炸性能情况

试验条件	SY 药剂 批次	平均穿深 /mm	平均孔径(最大值× 最小值)/mm
20°C	2019-01	181	10.1×9.1
220°C/100h 后	2019-01	150	8.9×8.0
20°C	2019-02	186	11.0×9.9
220°C/100h 后	2019-02	151	9.8×8.9
20°C	2019-03	178	11.5×9.7
220°C/100h 后	2019-03	159	9.5×9.0
20°C	2019-04	190	10.9×10.9
220°C/100h 后	2019-04	162	9.9×9.7
20°C	2019-05	188	10.0×9.8
220°C/100h 后	2019-05	149	8.9×8.4

从表7可以看出,SY 射孔弹经历 $220^\circ\text{C}/100\text{h}$ 后的平均穿孔深度为154.2mm,相比未经受高温试验SY 射孔弹的184.6mm穿孔深度减少了16.5%,批次的稳定性尚好。对比该SY 射孔弹与同型号的DP45HNS40-1射孔弹(装药为HNS),可知未经受高温试验时,SY 射孔弹穿深高于后者约20mm(通常后者穿深约165mm),在高温试验后,尽管SY 射孔弹的穿深下降16.5%,但与后者高温下的穿深相差无几。因此,SY 药剂可以作为油气井用超高温射孔弹装药。

3 结论

通过SY 药剂在油气井用爆破器材中的应用可行性试验研究,可以初步得出如下结论:(1)SY 药

剂可以作为油气井用火雷管、电雷管及传爆管装药,相比现有的油气井用产品,其本质安全性、耐高温性能、传爆可靠性均有所提高。(2)SY 导爆索爆速偏低,尤其是在高温环境下,未能达到目前油气井用制式超高温导爆索的爆速技术指标,需要进一步研究。(3)SY 射孔弹在未经受高温时,其穿深性能优于HNS 射孔弹,高温下其穿深性能与同型号HNS 超高温射孔弹持平,因此该药剂可以作为超高温射孔弹装药。

(4)SY 药剂在油气井用爆破器材中的批次质量一致性较好,其极限耐温指标为 $220^\circ\text{C}/120\text{h}$ 。

本文通过试验开展了SY 药剂在油气井用爆破器材中的应用初探,最终能否应用到油气井用爆破器材中,尚需进一步开展大量而深入的研究。

参考文献:

- [1] 张琳,刘丽娟,朱顺官,等.有机胺高氯酸盐共晶化合物的单晶制备与表征[J].精细化工中间体,2009,39(5): 53-55.
- [2] 张磊,欧仙荣,朱顺官,等.胺盐共晶物为主装药的柔性导爆索研究[J].爆破器材,2010,39(5):7-9.
- [3] 马鹏.共晶类铵盐含能材料的合成、理论计算与应用研究[D].南京:南京理工大学,2013.
- [4] 赵凯,朱顺官,张琳,等.SY 装药柔爆索的爆轰特性研究[J].火工品,2015(6):10-13.
- [5] 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.
- [6] GB 8031-2015 工业电雷管[S].新时代民爆(辽宁)股份有限公司等,2015.
- [7] WJ/T 9044-2004 工业电雷管最小发火电流试验方法[S].国家民用爆破器材质量监督检验中心,2004.
- [8] SY/T 6411-2014 油气井用导爆索通用技术条件[S].大庆石油管理局射孔弹厂,等,2015.