

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2012.06.004

缓燃型 NLG 桥塞火药的性能研究^{*}

谈玲华^{①②} 刘传新^③ 郭长平^② 潘仁明^②

①南京工程学院材料工程学院(江苏南京,211167)

②南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

③北方特种能源集团有限公司(陕西西安,710061)

[摘 要] 采用常压燃烧实验、热分析实验以及桥塞工具地面实验等方法,研究了新型 NLG 缓燃桥塞火药的常压燃烧性能、热分解特性及其在桥塞工具中的燃烧性能。结果表明:缓燃型 NLG 桥塞火药具有燃速低、燃烧残渣粘附性低的特性;通过调节桥塞火药配方中粘合剂含量、氧化剂粒度和降温剂含量等可改善其燃烧性能;缓燃型 NLG 桥塞火药在桥塞工具中燃烧稳定,能可靠完成坐封工作,具有很好的应用前景。

[关键词] 桥塞火药 性能 燃烧速率 残渣粘附性

[分类号] TJ55 TQ562

引言

电缆桥塞坐封技术是一种油气田用新型封隔技术。与传统封隔技术相比,该技术具有施工快捷、可靠、经济等显著优点,已成为现代油气田开发过程中广泛应用的一种井下封堵技术。电缆桥塞坐封技术依靠桥塞工具内的桥塞火药燃烧,产生高温、高压气体,迫使工具完成桥塞坐封、丢手等一系列动作^[1-5]。

作为整个系统的动力源,桥塞火药是坐封动作完成的关键。目前,针对桥塞火药,国外公司如美国 Baker 和 Gearhart 公司的电缆桥塞坐封工具及其配套的桥塞火药产品占据了市场主要份额^[3-5]。南京理工大学含能材料研究所曾开发出 NLG 型桥塞火药,以替代进口产品^[5];但该产品存在的明显缺点:燃烧速度快、且生成粘附性强的残渣。其中燃烧速度快,易导致桥塞工具坐封时间过短,并使桥塞的坐封过程系列动作难以在瞬间完成,造成坐封事故;同时,也会使桥塞工具燃烧室压力上升过快,冲击并损坏桥塞工具体本^[3-4,6]。而粘附性残渣的生成,致使桥塞工具难以清洗,严重影响桥塞工具系统的重复使用,提高了该产品的工程应用成本。此外,该桥塞火药在降低其燃烧速度且达到燃烧残渣低粘附性的条件下,其工作压力难以达到桥塞工具的使用要求。为此,亟需研制出燃速低、且燃烧残渣粘附性低的缓燃型桥塞火药,以减小对国外产品的依赖,打破国外公司的垄断。

本文以 NLG 型桥塞火药为基础,制备了缓燃型桥塞火药,并采用常压燃烧实验、热分析实验以及桥塞工具地面实验等方法,对其性能进行了研究。

1 实验部分

1.1 实验样品

经理论计算和配方优化,并结合推进剂制备工艺,确定桥塞火药配方(质量分数)为:粘合剂体系(包含粘合剂、增塑剂、固化剂),15%; $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$,83%;降温剂,2%。以该配方为基础配方,为研究粘合剂含量对燃烧性能的影响,调节粘合剂百分含量在 10%~25%之间,设计了如表 1 所示的系列配方;为研究氧化剂粒度对燃烧性能的影响,调节氧化剂粒度分别为:60~80 目、100~120 目、160~180 目、200~250 目;为研究降温剂对燃烧性能的影响,在基础配方上,外加降温剂的含量分别为:0、2%、5%、8%、10%,构成系列配方。

表 1 调节粘合剂含量的系列配方

样品号	粘合剂含量/%	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ /%	降温剂/%
1	10	88	2
2	15	83	2
3	20	78	2
4	25	73	2

按照设计的配方投料,经捏合、浇注、固化等工序,可获得缓燃型桥塞火药实验样品。

1.2 仪器与实验条件

常压燃烧实验:将样品制成长 150 mm 的药条,常压下点火并用数码摄像机拍摄燃烧过程,经图像处理得到线燃速。

热分析:差热分析(DTA)采用 NETZSCH DTA

^{*} 收稿日期:2012-08-22

作者简介:谈玲华(1978~),女,博士研究生,讲师,主要从事高分子材料制备及性能研究。E-mail:tanlinghua@njit.edu.cn

404 PC 差热分析仪进行分析。分析条件:升温速率 20 K/min;温度范围为 50 ~ 800℃;工作气氛为氮气,流速 20 mL/min。

桥塞坐封实验:电缆桥塞坐封工具为 QZ—1 型;装药量 500 g,浇注于药筒进行桥塞坐封实验。

2 结果与讨论

2.1 缓燃型桥塞火药燃烧性能研究

2.1.1 粘合剂含量对燃烧速度的影响

粘合剂含量对桥塞火药燃烧性能影响的实验结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,随着桥塞火药配方中粘合剂含量的增加,桥塞火药的燃烧速率逐渐降低。究其原因,主要是因为配方中粘合剂含量增加,相应的氧化剂含量降低,使得配方中氧化基团摩尔分数降低,燃烧过程中放出的热量也减少,导致燃速下降^[7-9]。

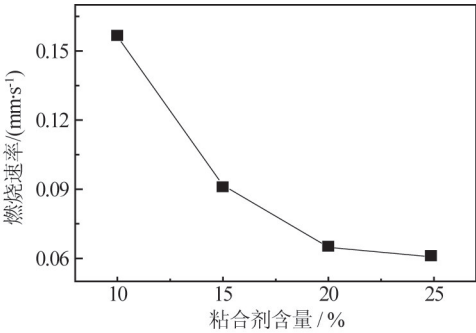


图 1 粘合剂含量与桥塞火药燃烧速率关系

2.1.2 氧化剂粒度对燃烧速度的影响

氧化剂粒度与桥塞火药燃烧速度关系的实验结果如图 2 所示。从图 2 可以看出,随着氧化剂平均粒径的降低,桥塞火药的燃烧速率则逐渐增加。这是由于在氧化剂含量不变的情况下,氧化剂平均粒径减小,其比表面积增加,提高了反应粒子之间的碰撞几率^[8-11],火药的凝聚相热分解反应速度相应增加,最终导致火药表观燃速的提高。

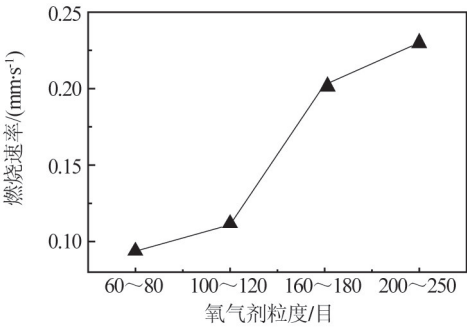


图 2 氧化剂粒度与桥塞火药燃烧速率关系

2.1.3 降温剂对燃烧速度的影响

为减少桥塞火药对桥塞工具的烧蚀,在桥塞火药配方中添加一定量的降温剂。降温剂含量与燃速

关系的实验结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,随着降温剂含量的提高,该配方药剂的燃速逐渐减低,当加入草酸铵含量达到 8% 时,药剂已无法正常燃烧。

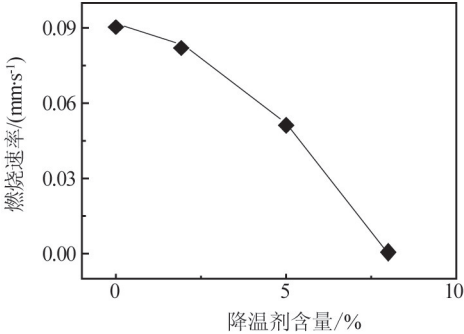


图 3 降温剂与桥塞火药燃烧速率关系

在相同实验条件下,NLG 桥塞火药的燃烧速率为 2.51mm/s;而综合上述研究结果,缓燃型桥塞火药的燃烧速率最高值仅为 0.23 mm/s(氧化剂粒度为 200 ~ 250 目时样品的燃烧速率);NLG 桥塞火药燃烧速率是缓燃型桥塞火药的 10.9 倍;可见缓燃型桥塞火药的燃烧速率显著降低。同时,随着配方中粘合剂含量的增加、氧化剂平均粒径的增大以及降温剂含量的提高,缓燃型桥塞火药的燃烧速率逐渐降低。因此,可采用改变桥塞火药配方中的粘合剂含量、氧化剂粒度和降温剂含量等方式来调节桥塞火药的燃烧性能,以满足桥塞工具的要求。

2.2 缓燃型桥塞火药热分解特性

基础配方桥塞火药的 DTA 热分解实验结果如图 4 所示。从图 4 可以看出,从开始升温至 300℃ 区间,未见明显的吸、放热峰,说明该过程桥塞火药稳定,未受热分解;从 328.2℃ 开始,DTA 曲线出现一个较平缓的放热峰,峰温分别为 364.2℃,表明桥塞火药在温度高于 328.2℃,已开始受热分解;随着温度的进一步升高,DTA 曲线上从 427.1℃ 开始,出现了第二个放热峰,峰温为 486.3℃。此后,随着温度的升高,DTA 曲线表现为吸热过程,说明该桥塞火药的受热分解过程基本结束。因此,从桥塞火药

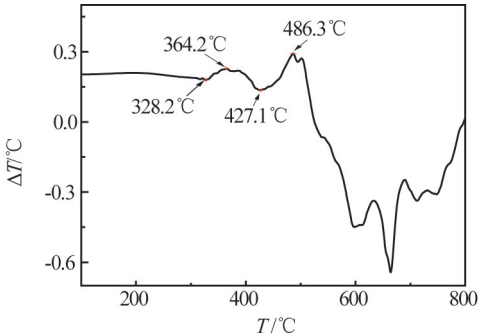


图 4 新型桥塞火药 DTA 热分解曲线

的热分解过程可看出,其分解温度超过 300°C ,具有较好的耐热性能。根据石油天然气行业标准 SY/T53522—2007,火药推进式桥塞坐封工具的工作温度不高于 200°C ^[12],表明该缓燃型桥塞火药可满足桥塞工具的使用耐热环境要求。

2.3 缓燃型桥塞火药在桥塞工具中地面实验

通过桥塞工具中的桥塞火药燃烧实验,能直接体现该火药的实际使用时燃烧行为,并可藉此对桥塞火药的工程应用价值进行评估。新型桥塞火药在桥塞工具中的燃烧实验所得压力—时间曲线如图 5 所示。

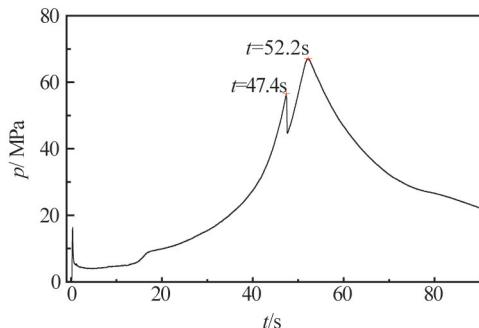
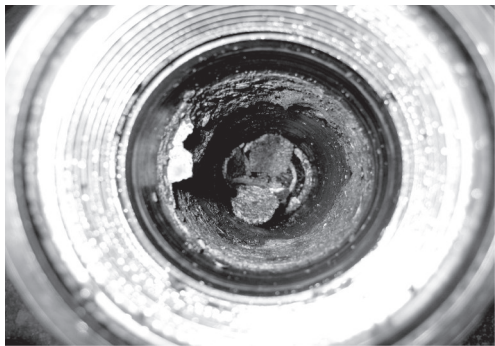


图 5 桥塞火药在桥塞工具中燃烧的压力—时间曲线

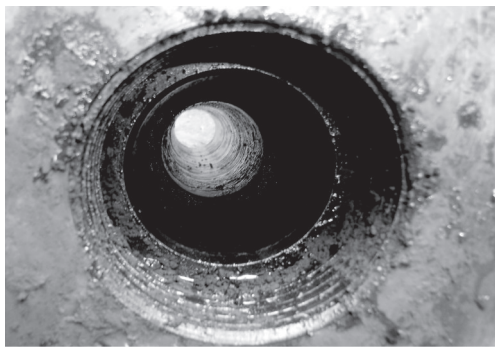
由图 5 可以看出,该曲线较为平缓,压力上升时间长,达到 52.2 s ,在曲线上出现双峰,出现时间分别为 47.4 s 、 52.2 s 。结合桥塞工具的工作过程可知,曲线出现第一个峰之前的压力上升段属于桥塞火药经点火后,随着火药的燃烧,压力逐渐上升,桥塞工具逐渐打开,并开始坐封的过程;这在压力曲线上表现为出现第一个峰的压力上升段;并在启动后 47.4 s 时,桥塞工具完成坐封、丢手等动作;此时,因丢手动作完成,桥塞工具内活塞运动阻力消失,活塞迅速运动至最大位移,使燃烧室空间增至最大,压力下降;随后,设计的余量装药继续燃烧,燃烧室压力又逐渐上升,至 52.2 s 时达到最大压力 67.1 MPa ,即为曲线上第二个峰,此时桥塞火药燃尽,整个坐封过程完成。

实验后,桥塞工具燃烧室内有一定量残留物,经擦拭即可除去。NLG 型桥塞火药与缓燃型桥塞火药的燃烧残渣实物见图 6。

由图 6 看出,缓燃型桥塞火药燃烧后未见明显粘附性残渣,达到了燃烧残渣低粘附性的目的。同时系统动作完成时间长,压力曲线平缓,说明缓燃型桥塞火药燃烧速率低、燃烧稳定。从实验过程来看,整个坐封过程中桥塞工具系统运行稳定,很好地完成了桥塞的打开、坐封、丢手等系列动作。因此,缓燃型桥塞火药在满足桥塞工具的使用要求的前提



(a)



(b)

(a) 原药残渣; (b) 新药残渣

图 6 原桥塞火药与缓燃型桥塞火药燃烧残渣对比

下,实现了缓燃、低粘附性燃烧残渣特性的设计目标。

3 结论

1) 通过调节缓燃型桥塞火药配方中粘合剂含量、氧化剂粒度和降温剂含量,可改善桥塞火药的燃烧性能,以满足桥塞工具的要求。

2) 缓燃型桥塞火药燃烧速率低,燃烧稳定,可降低火药燃烧对桥塞工具的冲击和烧蚀作用;同时该火药燃烧残渣粘附性低,便于桥塞工具的清洗,其综合性能满足桥塞工具的要求,具有很好的工程应用前景。

参 考 文 献

- [1] Stragiotti S., Andersen P., Karlsen O. Milling of Permanent Bridge Plug Performed Successfully on Wireline [J]. SPE Production and Operations, 2010, 25 (3): 255-261.
- [2] Li Dianxin, Zhao Honglin, Liu Xianlong, et al. Design of Y422 Retrievable Fracture Bridge Plug and Analysis of Slip Characteristics [J]. Advanced Materials Research, 2010, 139-141: 1064-1067.
- [3] 谭玉春. 电缆桥塞技术在川西油气田开发中的应用 [J]. 天然气工业, 2002, 22 (3): 74-75.
- [4] 张恩伦, 刘化国, 杨玉生. 桥塞封层工艺技术的发展 [J]. 石油机械, 2001, 29 (10): 47-50.
- [5] 王亚, 郑文芳, 陈宇, 等. NLG 型桥塞火药的耐热性

