

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.02.008

钛粉对电子雷管电引火药头性能的影响*

张文洲^① 孙磊^②

①湖南斧欣有限责任公司(湖南长沙,410205)

②湖南向红机械化工有限责任公司(湖南岳阳,414100)

[摘 要] 在普通电雷管电引火药头的基础配方中添加钛粉,研制电子雷管用电引火药头,研究钛粉含量和粒度对电引火药头发火时间的影响。试验结果表明:在一定范围内,随着钛粉含量的增加,药头体系能量增大,传热效率提高,药头发火时间变短,精度和一致性提高。钛粉粒径减小,比表面积增大,电引火药头中点火药颗粒间反应速率增大,发火时间缩短,发火一致性提高。DSC 数据表明,外加 15% (质量分数) 钛粉的配方比基础配方点火药起始分解温度提前 5.4 ℃,放热分解峰温提前 15.9 ℃。

[关键词] 电引火药头;发火时间;电子雷管;钛粉;延期精度

[分类号] TJ45+5

Effect of Titanium Powder on Performances of Electric Fusehead of Electric Detonator

ZHANG Wenzhou^①, SUN Lei^②

①Hu'nan Fuxin Co., Ltd. (Hu'nan Changsha, 410205)

②Hu'nan Xianghong Machine Chemical Co., Ltd. (Hu'nan Yueyang, 414100)

[ABSTRACT] Effect of titanium powder content and particle size on ignition time of the electric fusehead of electronic detonator was investigated by adding titanium powder to the basic formula of general electric fusehead. The testing results show that energy of the fusehead system and heat transfer efficiency is increased, ignition time of the electric fusehead is shortened, and accuracy and consistency are improved with the increasing of titanium powder content in a certain range. Specific surface area increases as the decreasing of particle size of titanium powder, which is advantage to the increase of ignition reaction rate. Thus, ignition time of the electric fusehead is shortened, and the consistency is improved. Furthermore, DSC data show that the initial decomposition temperature and exothermic decomposition peak temperature of the ignition powder with 15% (mass fraction) titanium are 5.4 ℃ and 15.9 ℃ earlier than those of the basic formula.

[KEYWORDS] electric fusehead; ignition time; electronic detonator; titanium powder; delay accuracy

引言

电子雷管具有发火时刻控制精度高和延期时间可灵活设定两大技术特点,是起爆器材领域里最为引人注目的新技术^[1-2]。电子雷管电引火药头不仅影响起爆药的燃烧转爆轰,而且它本身的激发时间和传导时间也是电子雷管延期时间的组成部分,所以电引火药头的发火时间精度对电子雷管的延期时间和延期精度有着非常重要的影响。过去众多研究关注的焦点主要集中在电雷管电引火药头上,如电雷管电引火药头的质量、电流强度对电引火药头的

发火时间的影响^[3-5];也有学者对电引火药头发火时间进行过研究,但多集中在点火药剂剂本身^[6-7]或发火历程的研究上^[8]。然而,电子雷管点火是采用电容放电模式,其发火激励方式和电雷管不同,所以研究缩短电子雷管电引火药头的发火时间,提高其延期精度具有现实意义及应用价值。

本文中,基于公司新建电子雷管生产线,原有电雷管电引火药头满足不了电子雷管的延期精度状况,考虑到钛粉可以作为一种高能添加剂^[9],具有高密度、高燃烧焓、燃烧快、换热性能好等特点;因此,通过在普通电雷管电引火药头的基础配方里添加钛粉研制电子雷管用电引火药头,以达到提高点

* 收稿日期:2018-06-28

第一作者:张文洲(1982-),男,助理工程师,主要从事火工品技术、数码电子雷管的研究。E-mail:181552502@qq.com

通信作者:孙磊(1983-),男,工程师,主要从事民爆器材与爆炸技术研究。E-mail:38636052@qq.com

火药头的燃速、缩短其发火时间、提高点火药头发火时间精度的目的。通过实验研究了钛粉粒度和添加量对电引火药头发火时间的影响,以期得到最短发火时间所需钛粉的粒度和添加量,为电子雷管的电引火药头的配方研制提供参考。

1 实验准备

1.1 实验原材料的准备

钛粉,营口辽滨精细化工有限公司,纯度为 99.9%,平均粒度分别为 78.0 nm、5.8 μm、49.6 μm;高氯酸钾,分析纯,贝赛勒化学技术(上海)有限公司;四氧化三铅,分析纯,贝赛勒化学技术(上海)有限公司;苦味酸钾,分析纯,阿拉丁;硝化棉,火胶棉,四川北方硝化棉股份有限公司。

1.2 电子雷管电引火药头的制备

实验制备的电子雷管用电子引火药头,其基础配方如表 1 所示。根据表 1 配方,准确称取总量为 200 g 的原材料,置入混合罐中,加入质量分数为 4% 的硝化棉黏合剂,然后用搅拌机搅拌 2 h,再倒入药盘,沾药头,沾漆并进行烘干,最后放入 45 ℃ 烘箱内烘 48 h,即可得到电引火药头。其剖面在江南 XTL-1 型体视显微镜 100 倍放大倍数下如图 1 所示。图 1 中,白色反光颗粒即为钛粉。

表 1 电子雷管用电子引火药头配方(质量分数)
Tab. 1 Formula of electric fusehead
of electronic detonator(mass fraction) %

苦味酸钾	高氯酸钾	四氧化三铅	硝化棉	钛粉(外加)
30	48	18	4	0~15

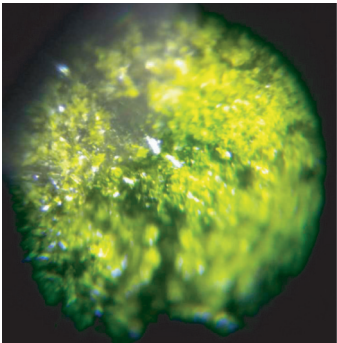


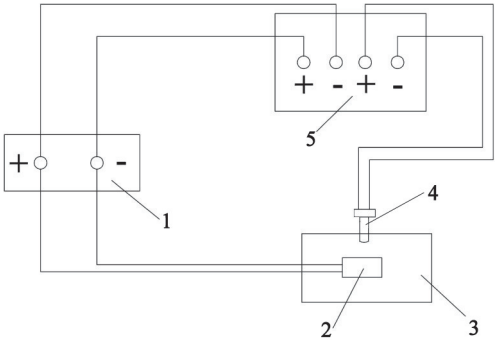
图 1 电引火药头剖面

Fig. 1 Cross-section of the electric fusehead

1.3 电子雷管电引火药头发火时间的测试装置

实验所用电子雷管电引火药头发火时间测试装置如图 2 所示,主要由电子雷管专用起爆器输出起爆信号,光电传感器获取雷管爆炸时的火焰信号,然

后将信号传输到 ZBS9601B 智能爆速测量仪处理,得出两个时间之差,即是电子雷管延期时间。当电子雷管专用起爆器设置电子雷管芯片延期时间为 0 ms 时,所测得的时间即为电子雷管电引火药头发火时间与雷管爆炸时间之和,由于雷管爆炸时间属于微秒级,与电引火药头发火时间毫秒级相差较大,几乎可以忽略不计,因此,将电子雷管芯片延期时间为 0 ms 时所测得的电子雷管延期时间近似为电子雷管电引火药头发火时间。



1 - 起爆器;2 - 电子雷管;3 - 防爆箱;
4 - 光电传感器;5 - 智能爆速测量仪。

图 2 发火时间测量装置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of ignition
time measuring device

2 实验结果与分析

2.1 钛粉含量对电引火药头发火时间精度的影响

根据表 1 配方,选取粒度为 5.8 μm 的钛粉,分别制备出外加钛粉的质量分数为 0、5%、10% 和 15% 的 4 种电子雷管电引火药头,然后在相同条件下装配成电子雷管成品,最后利用图 2 所示测试装置测试电子雷管电引火药头发火时间,设置电子雷管芯片延期时间为 0 ms,每组测试 50 发,结果如表 2 所示。

分析表 2 可知,添加钛粉的电子雷管电引火药头发火时间比没有添加钛粉的电子雷管电引火药头发火时间短,发火时间标准差和极差小,说明其发火时间精度高,发火一致性好;在钛粉添加量为 5% ~ 15% (质量分数) 范围内,平均发火时间随着钛粉质量分数的增加而减小,发火时间的标准差和极差也随着钛粉含量的增加而减小。这意味着钛粉质量分数增加,电子雷管电引火药头的发火时间缩短,发火精度提高,发火一致性更好。

出现这种现象的原因主要有两点,一是添加钛粉后,电引火药头的体系传热效率发生变化,钛粉在

表2 钛粉的质量分数对电引火药头
发火时间的影响

Tab.2 Effect of mass fraction of titanium powder on ignition time of the electric fusehead			
外加钛粉的 质量分数/%	平均发火 时间 <i>t</i> /ms	标准差 <i>S</i> /ms	极差 <i>R</i> /ms
0	7.85	1.12	3.17
5	5.35	0.79	2.21
10	4.56	0.58	1.70
15	3.94	0.45	1.33

体系内的质量分数越高,传热效率越高,能及时将桥丝附近引燃的热量传递到电引火药头表层,快速引发表层发火,通过提高传热效率,缩短传热时间,进一步缩短了发火时间;二是钛粉具有较高能量,在燃烧过程中能放出大量的热量,既可以加快药头内部的热传递速率,又能更快地点燃雷管的起爆药,它是通过增加单位时间的传热能量,加快药剂被点燃速度来缩短发火时间。因此,在一定范围内,随着钛粉质量分数的增加,电引火药头体系的能量增大,传热效率提高,从而导致药头发火时间变短,精度提高,一致性变好。

2.2 钛粉粒度对电引火药头发火时间精度的影响

为了研究钛粉粒度分布对电子雷管电引火药头发火时间精度的影响,利用单因素控制法,确定钛粉添加质量分数为15%,在其他因素相同的情况下,分别选取粒度为78.0 nm、5.8 μm、49.6 μm的钛粉制备电子雷管电引火药头,然后在相同条件下装配成电子雷管成品,最后利用1.3所述测试装置测试电子雷管电引火药头发火时间,设置电子雷管芯片延期时间为0 ms,每组测试50发,结果如表3所示。

表3 钛粉的粒度对电引火药头发火
时间的影响

Tab.3 Effect of granularity of titanium powder on ignition time of the electric fusehead				
试样 编号	钛粉粒径/ μm	平均发火 时间 <i>t</i> /ms	标准差 <i>S</i> / ms	极差 <i>R</i> / ms
1 [#]	0.078	3.51	0.36	0.94
2 [#]	5.800	3.94	0.45	1.33
3 [#]	49.600	4.79	0.71	2.27

由表3可知,在其他条件相同情况下,钛粉粒径越大,电子雷管电引火药头平均发火时间越长,发火时间的标准差和极差也越大,说明电子雷管电引火药头发火精度降低,发火一致性变差。钛粉粒径越小,比表面积越大,与氧化剂等物质结合越紧密,在

燃烧过程中反应速率越快、越稳定,所以发火时间短,一致性好;同样的,比表面积的增大,也加快了各颗粒界面间的热交换速率,从而使得电引火药头表层能更快地积累发火所需的能量,从而缩短电引火药头发火时间。此外,钛粉的粒径越小,在点火药搅拌和沾药的过程中越不容易沉降、分层,所制备的药头中钛粉的分散性更好、更均匀,各药头间的钛粉质量分数更一致,所以燃烧一致性更好,发火精度更高。因此,相同情况下,钛粉粒径越小,比表面积越大,药头反应速率更快,发火时间更短;粒径小的钛粉在电引火药头体系里分散更均匀,所以发火一致性好,发火精度更高。

2.3 电子雷管电引火药头的热分解研究

点火药的热分解过程是研究电子雷管电引火药头安定性的重要基础,DSC曲线能清晰地反映出点火药的起始分解温度、分解峰温及放热量大小等参数。从2.1及2.2的实验结果可知,电子雷管电引火药头发火性能最好的为1[#]配方,考虑到新的配方添加了质量分数为15%、平均粒径为78.0 nm的钛粉,与不含钛粉的原配方存在较大区别,因此,采用梅特勒DSC-823e差示扫描量热仪分析了这两个配方的热性能。实验样品量约1.5 mg,静态空气气氛,升温速率为2℃/min,所测得的DSC曲线如图3所示。

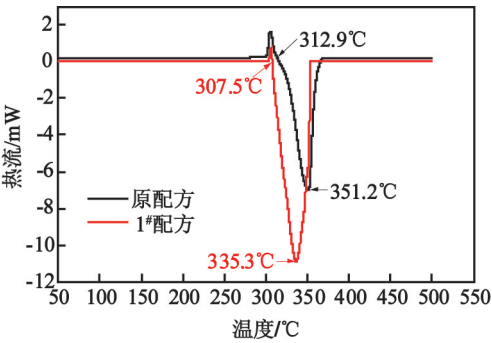


图3 不同配方的电引火药头的DSC曲线
Fig.3 DSC curves of electric fusehead
with different formulations

从图3中可以看出,用1[#]配方与原配方生产的电子雷管电引火药头的DSC曲线相似,均含有1个熔融吸热峰和1个分解放热峰。1[#]配方点火药的起始分解温度为307.5℃,比原配方点火药的起始分解温度提前5.4℃;1[#]配方点火药的放热分解峰温为335.3℃,比原配方点火药的放热分解峰温提前15.9℃。这是因为1[#]配方点火药中含有粒径小、活性高的钛粉,钛粉的比表面积大,与其他物质之间的接触面更大,传热和反应速率更快,导致了起始分解

温度和放热分解峰温提前。观察点火药的放热峰可以发现,1[#]配方点火药的放热峰尖锐,放热峰面积更大,其热分解焓为 1 611.62 J/g,比原配方的热分解焓 1 056.37 J/g 提高了约 53%,说明 1[#]配方比原配方点火药的反应速率快、放热量大,这是因为 1[#]配方点火药中含有燃烧焓更高的钛粉,在相同质量下,燃烧焓更高的物质放热量更多。

3 结论

通过在普通电雷管电引火药头的基础配方里添加钛粉研制电子雷管用电子引火药头,聚焦于电子雷管的发火时间及其一致性,通过单因素变量控制的方法研究了钛粉含量和粒度对电子雷管电引火药头发火的影响,得出如下结论:

1) 添加钛粉的电子雷管电引火药头发火时间比没有添加钛粉的电子雷管电引火药头发火时间短,发火精度高,发火一致性好。

2) 在一定范围内,随着钛粉含量的增加,电引火药头体系的能量增大,传热效率提高,导致药头发火时间变短,精度提高,一致性变好。

3) 钛粉粒径越小,比表面积越大,药头颗粒间反应速率越快,发火时间越短。粒径小的钛粉在搅拌和沾药过程中不易沉降,在电引火药头体系里分散更均匀,所以发火一致性好,发火精度更高。

4) 1[#]配方比原配方点火药的起始分解温度提前 5.4℃,放热分解峰温提前 15.9℃,放热量更大。

参 考 文 献

- [1] 王文斌. 电子雷管用电子引火元件研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2015.
WANG W B. Study on fuse head of electronic detonator [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology,2015.
- [2] 王文斌,王兴平,张阳. 一种用于电子雷管的电点火头的研究[J]. 爆破器材,2016,45(2):43-45.
WANG W B, WANG X P, ZHANG Y. Research of a

fuse head used for the electronic detonator[J]. Explosive Materials, 2016,45(2):43-45.

- [3] 赵勇,王金柱. 电点火元件对毫秒延期电雷管秒量的影响[J]. 火工品,2002(4):16-17.
ZHAO Y, WANG J Z. The influence of fusehead on delay-time of ms-detonator [J]. Initiators & Pyrotechnics,2002(4):16-17.
- [4] 张彦,刘峰,朱帅,等. 点火药头质量对延期精度的影响[J]. 淮南职业技术学院学报,2016,16(4):1-4.
ZHANG Y, LIU F, ZHU S, et al. The effect of ignition head's quality on delay precision[J]. Journal of Huainan Vocational & Technical College,2016,16(4):1-4.
- [5] 韩体飞,钟帅,张涵,等. 药头质量分布对电引火药头发火时间精度的影响[J]. 爆破器材,2015,44(1):37-40.
HAN T F, ZHONG S, ZHANG H, et al. Effect of the fusehead mass distribution on ignition delay precision of the electric fusehead[J]. Explosive Materials, 2015, 44(1):37-40.
- [6] 胡先云. 提高电引火药头发火精度的研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2015.
HU X Y. Study on improving electrical fusehead firing accuracy[D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology,2015.
- [7] 谢斌. 铅丹-硅系电引火药头的研究[J]. 爆破器材, 2009,38(4):21-24.
XIE B. Study on the fuse head of red lead-silicon type [J]. Explosive Materials, 2009,38(4):21-24.
- [8] 成一,陈守文. 电点火头发火过程的时间结构的研究[J]. 爆破器材,2001,30(5):22-24.
CHENG Y, CHEN S W. Study on the time structure of electric ignition process in fuse head[J]. Explosive Materials, 2001, 30(5):22-24.
- [9] 龚悦,何杰,汪旭光,等. 钛粉对乳化炸药爆轰性能和热分解特性的影响[J]. 含能材料,2017,25(4):304-308.
GONG Y, HE J, WANG X G, et al. Influence of titanium powder on detonation performances and thermal decomposition characteristics of emulsion explosive [J]. Chinese Journal of Energetic Materials,2017,25(4):304-308.