

文章编号: 1006-9941(2001)04-0176-03

掺杂物对药剂激光点火感度和延迟时间的影响

张慧卿, 严楠, 华光
(北京理工大学, 北京 100081)

摘要: 分别研究了碳黑、石墨、KCl 和石蜡四种掺杂物对 Zr/KClO₄ 点火药及碳黑对 B/KNO₃ 点火药的激光点火感度和延迟时间的影响。实验结果表明, 四种掺杂物均能降低药剂的激光点火延迟时间(其中碳黑的效果最强, 石墨的效果最弱), 但只有碳黑能够降低药剂的激光点火感度。

关键词: 激光点火; 激光二极管; 点火延迟时间; 点火阈值; 掺杂物

中图分类号: TJ45

文献标识码: A

1 引言

激光二极管点火系统由于具有体积小、能源效率高、抗电磁干扰能力强等优点, 在点火与起爆技术领域有着广阔的应用前景。但是相对于固体、气体等大功率激光器, 二极管激光器的输出功率较低, 而且由于大多数药剂的表面激光有较强的散射和透射, 使其对激光能量的利用率较低。对药剂添加掺杂物可提高药剂对激光的吸收系数, 有助于降低药剂对激光点火的能量阈值和缩短延迟时间。

在点火药中加入对激光有较强吸收的掺杂物, 是增强烟火药光学吸收性能的一种极为有效的途径, 为此选择了碳黑和石墨两种掺杂物作为光敏化剂来研究其对药剂激光点火性能的影响。另外还有一类掺杂物, 虽然不能增强药剂对激光的吸收强度, 但可以作为催化剂而改变特定药剂的反应活性和化学反应机理, 因此也能影响药剂的激光感度和延迟时间, 因此本实验也对这类掺杂物(KCl 和石蜡)进行了研究。

2 相关研究概况

Kunz 等^[1]在 CP 炸药中掺入石墨、碳黑和一种叫做 IR-132 的激光染料, 使其激光点火的能量阈值降低到原来的 60%~45%, 原因是这些物质的加入增强了 CP 对激光的吸收能力。三种掺杂物中, 碳黑对 CP 炸药能量阈值降低的效果最好, 石墨次之。但对于点

药 Ti/KClO₄ 来说, 加入石墨反而使其激光点火的能量阈值升高。Skocypiec 等^[2]通过实验测定和理论计算, 发现在 CP 中掺入碳黑或石墨可以显著增加其对光的吸收系数, 同时也降低了激光波长对药剂光吸收的影响程度。Ewick^[3]进行了激光二极管起爆 HMX、HMX/碳黑及 HMX/石墨的研究, 结果用高达 1 W 的激光二极管都不能成功起爆纯的 HMX, 而掺有少量(1%~3%, 质量比)碳黑或石墨后, 则可大大提高 HMX 的激光感度, 可以实现低能起爆。HMX/碳黑混合物比 HMX/石墨混合物敏感, 而且碳黑质量比为 3% 时最敏感。他还运用光声光谱法分析和比较了纯 HMX 和 HMX/石墨或 HMX/碳黑混合物的吸收光谱, 实验结果与测定结果一致。Jungst 等人^[4]对掺碳黑的 CP 药进行了激光二极管点火实验, 结果发现, 当碳黑浓度增大到 0.7% 时, CP 药的点火能量阈值降低至最小; 此后, 随着碳黑浓度的增大, CP 药的点火能量阈值又增大。而对 Ti/KClO₄ 而言, 药剂的点火能量阈值并无明显降低。朱升成等^[5]在点火药 Ti/KClO₄ 和 Zr/KClO₄ 中掺入石墨, 研究其对药剂管点火性能的影响。发现掺入石墨能够降低 Zr/KClO₄ 的能量阈值, 改变加入量, 点火阈值也发生变化, 并且在加入量为 1% 时达到最佳值。但石墨的加入并不能降低 Ti/KClO₄ 的能量阈值。

3 实验研究

3.1 激光二极管点火系统的组成及原理

激光二极管点火系统的实验装置由驱动电源、激光器、光纤及光纤连接器、火工品、光电探测器和示波器六部分组成, 其示意图见图 1。实验时, 由驱动电源

收稿日期: 2001-07-18; 修回日期: 2001-09-13

作者简介: 张慧卿(1977-), 女, 硕士, 物理化学专业, 从事火工品激光点火研究。

将一定脉冲的电信号输送给激光二极管,同时触发示波器开始计时,激光二极管接收到电信号后发出激光,通过光纤和光纤连接器将其传输给点火药剂引发点火,燃烧产生的光信号同时被光电探测器采集并转换为电信号传给示波器记录。实验中药剂的激光二极管点火延迟时间即由示波器所接收到的两个信号的时间差获得,因此它包括了药剂吸收激光达到点火温度和药剂燃烧两部分时间,并且文中所列出的实验数据是6发样品延迟时间的平均值。而激光感度可用阈值功率表示并用兰利法测得,样本量不少于12。实验所用的激光器最高输出功率为1.5 W,波长为808 nm,脉冲宽度20 ms,光纤芯径为100 μm 。

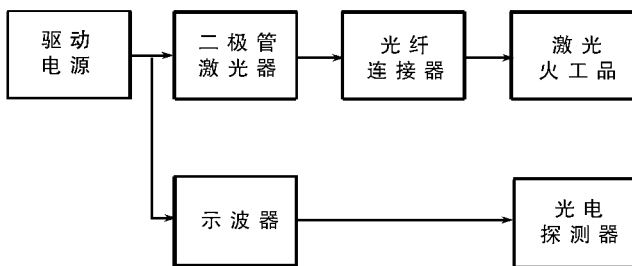


图1 激光二极管点火实验示意图

Fig. 1 Diagram of laser diode ignition experiment

3.2 掺杂物对药剂激光感度和延迟时间的影响

本实验选择碳黑、石墨、KCl 和石蜡四种掺杂物,以3%的量加入 Zr/KClO_4 (二者的粒径分别为5.9, 7.05 μm ,质量比为50/50)混合药中,对比不同的掺杂物对其激光点火感度和作用时间的影响。选择碳黑同样以3%的量加入 B/KNO_3 (二者的粒径分别为0.8, 11.5 μm ,质量比为33/67)混合药中,研究掺杂碳黑对其激光点火感度和延迟时间的影响。实验结果见表1和表2。

表1 掺杂物对 Zr/KClO_4 激光点火感度和延迟时间的影响Table 1 Effects of dopants on laser diode ignition threshold power and delay times of Zr/KClO_4

掺杂物	阈值功率/W	激光点火时间/ms
无	0.27	1.84
石墨	0.35	1.04
KCl	0.25	0.86
石蜡	0.27	0.80
碳黑	0.20	0.55

注: 压药压力为80 MPa。

表2 掺杂物对 B/KNO_3 激光点火功率阈值和延迟时间的影响Table 2 Effect of the dopant on laser diode ignition threshold power and delay time of B/KNO_3

掺杂物	功率阈值/W	激光点火时间/ms
无	0.25	3.4
碳黑	0.16	2.5

注: 压药压力为100 MPa。

由表1和表2的实验数据可以看出,四种掺杂物中,只有碳黑能够显著降低 Zr/KClO_4 和 B/KNO_3 的功率阈值,碳黑对 Zr/KClO_4 的激光点火延迟时间的缩短,这说明碳黑的确是一种极为有效的激光吸收剂,它的加入使药剂对激光的吸收率大大提高。KCl 和石蜡基本上没有改变 Zr/KClO_4 的感度,但能够在一定程度上缩短其点火延迟时间。KCl 和石蜡能够加快 Zr/KClO_4 的化学反应速度,因为可燃剂和氧化剂的熔化能力是决定混合物燃烧速度的重要因素,而 KCl 能够降低 KClO_4 的熔点,对 KClO_4 的分解起到催化作用^[6],因而加入适量的 KCl 能促使氧化剂分解反应迅速发生,从而达到缩短延迟时间的目的。据资料^[6]介绍,石蜡也能够提高以 KClO_4 为氧化剂的混合物燃烧速度,因此石蜡的加入也能缩短 Zr/KClO_4 的激光点火延迟时间。KCl 和石蜡均为白色,对激光的吸收系数较小,少量的加入会使药剂的激光吸收系数稍微有所降低,但由于它们对 Zr/KClO_4 反应的催化作用,使反应在较低的能量下较容易进行,这两种作用相互抵消致使加入这两种掺杂物并没有明显改变药剂激光感度。加入石墨不但没有提高 Zr/KClO_4 的激光感度,反而使其有较大程度的降低,能够缩短其激光点火的延迟时间。原因可能是其颜色(深灰色)较碳黑(黑色)浅,对光的吸收不如碳黑强,而且颗粒为片状,粒度又较大,很难均匀地分散于药剂中,因此在光纤直径较小的情况下,容易出现光斑只能照射到石墨“孤岛”的情况,而不利于“热点”的形成。另外,石墨的导热率较大,在较低的激光能量时会因为其导走较多的热量而不利于“热点”成长。

虽然本文和文献^[5]均对掺杂石墨的 Zr/KClO_4 的激光二极管点火阈值进行了研究,但所得的结果有所不同,其原因可能是加入的量不同所致。

3 结论

在所研究的四种掺杂物中,只有碳黑能够显著降

低药剂对激光二极管点火的功率阈值的要求, KCl 和石蜡基本上没有改变 $Zr/KClO_4$ 的激光感度, 石墨不但没有提高 $Zr/KClO_4$ 的激光感度, 反而使其有较大程度的降低。四种掺杂物均能降低药剂的激光二极管点火延迟时间, 其中碳黑的效果最强, 石墨的效果最弱。

参考文献:

- [1] Kunz S C, Salas F J. Diode laser ignition of high explosives and pyrotechnics [P]. DE 88008771/HDM, 1988.
- [2] Skocypec R D, Mahoney A R, Glass M W, et al. Modeling laser ignition of explosives and pyrotechnics effects and characterization of transfer [A]. Proceedings of the 15th International Pyrotechnic Seminar [C], 1990. 877 - 894.
- [3] Ewick D W, Beckman T M, Holy J A, et al. Ignition of HMX using low energy laser diodes [A]. 14th E&P Seminar [C]. Franklin Research Center Philadelphia PA. 1990.
- [4] Jungst R G, Salas F J, Watkins R D, et al. Development of diode laser-ignited pyrotechnic and explosive components [A]. Proceedings of the 15th International Pyrotechnic Seminar [C], 1990. 549 - 568.
- [5] 朱升成, 鲁建存, 孙同举, 等. 含能材料对激光点火感度的影响 [J]. 火工品, 2000, 4: 19 - 22.
- [6] A II 格拉兹阔娃. 爆炸物燃烧的催化作用 [M]. 马庆云译. 北京: 国防工业出版社, 1982. 83 - 151.

Effects of Dopants on the Diode Laser Ignition Sensitivity and Delay Times of the Ignition Composition

ZHANG Hui-qing, YAN Nan, HUA Guang

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: This paper studied the effects of carbon black, graphite, KCl and olefin on the diode laser ignition characteristics of $Zr/KClO_4$ and carbon black on that of B/KNO_3 , so as to provide experimental basis for changing characteristic of ignition composition ignited with diode laser. The experiments show that only carbon black can increase the laser sensitivity of the two ignition composition. The four dopants can decrease the delay times of the ignition composition, and the carbon black is the best while the graphite is the worst.

Key words: laser ignition; laser diode; ignition delay time; ignition threshold; dopant