

文章编号: 1006-9941(2004)04-0243-03

常用火工品药剂激光起爆试验研究

韦爱勇, 郭学彬, 张杰涛

(西南科技大学安全工程科学研究所, 四川 绵阳 621010)

摘要: 对常用几种火工品药剂激光敏感度进行了试验研究。结果发现, 粒径越小, 吸收比越大, 不同药剂对固定波长、频率的激光吸收系数不同; 同一火工药剂不同颗粒直径, 其激光敏感度也不同; 同一药剂的激光敏感度还与药层厚度有关, 药层越厚, 反应的微粉越多, 激光吸收比越大。火工药剂在激光照射下引爆的难易程度, 主要取决于它对激光的吸收比, 吸收比越大, 越易被激发而爆炸。

关键词: 光学; 火工品药剂; 激光起爆; 吸收

中图分类号: TJ4

文献标识码: A

1 引言

当前, 雷管激光编码系统已经在民爆器材工厂大量应用。但是在编码生产过程中曾发生过一些意外爆炸事故, 有的还造成了人身伤害。为了安全可靠地使用好雷管激光编码系统, 需要了解火工品药剂的激光起爆机理。

火工品药剂在激光照射下的起爆, 目前国内外大多数研究者都倾向于热起爆机理。按此观点, 激光照射到炸药上以后, 一部分被反射和损耗, 剩余部分被一定深度的药层吸收而转换成热能, 产生热击穿或形成热点引爆炸药。虽然国内学者在火工品药剂的激光起爆机理上做过一些研究^[1], 但对激光编码系统安全性的应用研究还不够深入。为了研究激光编码系统在工业雷管生产线上的应用安全性, 本研究主要针对几种常用火工药剂在红宝石激光作用下随药剂厚度、颗粒尺寸的爆燃变化情况做了一些实验研究。

2 炸药的激光起爆机理

2.1 炸药对激光的吸收系数

假设炸药颗粒表面在激光照射下是一个平面(激光光斑直径足够小, 而炸药颗粒直径远远大于光斑直径), 激光入射到炸药颗粒表面时, 一部分被反射, 一部分被吸收, 还有一部分通过药层透射。根据能量守恒定律有:

$$E_0 = E_{\text{反}} + E_{\text{吸}} + E_{\text{透}} \quad (1)$$

式中, E_0 为入射到炸药表面的激光能量; $E_{\text{反}}$ 为被炸药表面反射的激光能量; $E_{\text{吸}}$ 为被炸药吸收的激光能量; $E_{\text{透}}$ 为透过药层的激光能量。

$$\text{根据(1)式有: } 1 = \rho_{\text{R}} + \rho_{\alpha} + \rho_{\gamma} \quad (2)$$

式中, $\rho_{\text{R}} = E_{\text{反}}/E_0$, 反射比; $\rho_{\alpha} = E_{\text{吸}}/E_0$ 吸收比; $\rho_{\gamma} = E_{\text{透}}/E_0$ 透射比。

由于实验用火工品药剂均不透明, 透射光亦被吸收, 即 $E_{\text{透}} = 0$,

$$\text{则有 } 1 = \rho_{\text{R}} + \rho_{\alpha} \quad (3)$$

根据文献[1], 激光在炸药内部传播过程中, 激光强度按指数规律衰减, 激光入射到距表面 x 处的激光强度为:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (4)$$

式中, I_0 为入射到炸药表面($x=0$)的激光强度; α 为炸药对激光的吸收系数。

一般说来, 炸药对激光的吸收系数, 取决于炸药的种类和激光的波长。为了研究方便, 假设激光是垂直入射到炸药颗粒表面的, 经过简化则有

$$\alpha = 4\pi n/\lambda \quad (5)$$

其中, λ 为激光波长; n 为衰减因子。

显然, 炸药对激光的吸收系数越大, 炸药对激光的吸收比越大, 则药剂吸收的激光能量越多, 越容易在激光作用下起爆。

2.2 炸药的激光起爆

文献[2]描述了火工品药剂的光起爆机理, 列出了一些药剂的光起爆临界参数; 并且认为, 激光起爆机理与光相似, 服从于热起爆机理。

按照热爆炸理论, 根据前述分析, 在方程(1)中,

收稿日期: 2003-12-17; 修回日期: 2004-04-12

作者简介: 韦爱勇(1964-), 男, 副教授, 从事炸药、火工品安全测试研究。e-mail: way488@sohu.com

激光照射到炸药颗粒或炸药药层表面后,能否起爆炸药取决于炸药对激光的吸收系数,也即取决于激光粒子与炸药颗粒的接触状态,为确保激光能量有效传给炸药颗粒,进而引爆炸药,要求在炸药颗粒内部引起温度场变化,温度升高。

然而,实验中发现,温度升高,并不是激光起爆炸药的主要因素。有些炸药,比如用 120 MPa 的压力将纯黑索今 (RDX) 颗粒压制成药柱后,激光粒子的冲击和持续加热,可以将接触表面的炸药颗粒熔融,但并未发生爆炸;对于用 20 MPa 压力压制成的碳酸镉络合物 (GTG) 药柱的照射结果也类似。此外还发现,有些炸药如二硝基重氮酚 (DDNP) 的颗粒,在激光粒子的冲击下发生了位移,脱离了有效接触,结果也不能被激发;只有当药层足够厚或有微粉与激光粒子有效接触时,才瞬即发生爆炸。

3 几种炸药的激光起爆实验

3.1 实验装置及条件

(1) 实验装置

本实验采用的实验装置示意图见图 1。

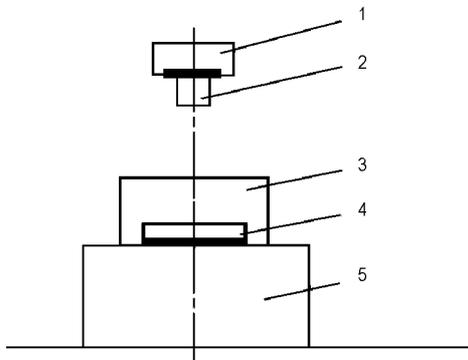


图 1 激光起爆实验装置示意

1—激光机,2—激光头,3—防爆箱,4—样品,5—工作台

Fig. 1 Sketch map of laser initiation test equipment

1—laser machine, 2—laser head, 3—explosion-proof box, 4—sample, 5—worktable

(2) 实验条件纸壳雷管激光编码都采用 CO_2 激光源,波长为 $10.6 \mu\text{m}$,金属壳雷管激光编码都采用 YAG——钕钇石榴石(红宝石)激光源,波长为 $1.06 \mu\text{m}$,本实验选定的激光为红宝石激光,这样就固定了激光波长。部分参数如下:激光机 YAG-M50S, Q 开关频率 2 kHz,释放时间 10 s,电流强度 12 A,激光集中放射时间 10 s,激光波长 $1.06 \mu\text{m}$ 。

3.2 几种不同药剂激光起爆的实验结果

几种火工品药剂对红宝石激光的吸收差别见表 1。

表 1 不同品种火工品药剂对红宝石激光的敏感性

Table 1 Sensitivity of different powders to ruby laser

药剂品种	药量 /g	物理分布状态	实验次数	实验现象
RDX	1.4	松摊药层厚 1 ~ 1.5 mm	3	颗粒熔融,不燃不爆
RDX	1.2	同上	3	颗粒熔融,不燃不爆
GTG	1.5	同上	2	颗粒熔融,不燃不爆
KClO_4	9	同上	2	颗粒熔融,不燃不爆
KClO_3	11	同上	2	颗粒熔融,不燃不爆
KNO_3	12	同上	2	颗粒熔融,不燃不爆
纯 RDX 药柱	0.3	单个立放	3	颗粒熔融,不燃不爆
钝化 RDX 药柱	0.5	同上	3	颗粒熔融,不燃不爆
黑火药 (工业导火索药芯用药)	1.1	同上	3	燃烧,但不扩散
导火索芯药用木炭粉	1.3	同上	2	燃烧,但不扩散
结晶苦味酸钾	1.3	同上	2	瞬即完全爆燃
DDNP(球状聚晶)	1.2	同上	2	不燃、不爆
RDX、钝化 RDX、DDNP 混合浮药	2.4	同上	2	6s 时爆燃

3.3 药剂颗粒度对激光吸收系数的影响

药剂颗粒度对激光吸收系数的影响实验结果见表 2。

表 2 不同粒径对激光吸收的影响

Table 2 Influence of particle size of composition on laser absorption

药剂品种	物理状态	药量 /g	实验次数	实验现象
DDNP	球状聚晶,松摊厚度 0.5 ~ 1 mm	0.5	2	不燃、不爆
DDNP	微粉,松摊厚度 0.1 ~ 0.3 mm	0.5	2	瞬即爆燃
DDNP	球状聚晶,松摊厚度 0.5 ~ 1 mm	0.3	2	不燃、不爆
铅丹 + 硅系延期药	颗粒加微粉,松摊厚度 0.5 ~ 1 mm	0.4	2	瞬即爆燃

表2的实验数据说明,即使对于同一种激光吸收比较大的火工品药剂,其吸收系数受不同颗粒直径的影响;颗粒越小,微粉越多,吸收比越大。

3.4 药层厚度对激光吸收比的影响

不同的药层厚度对激光吸收比的影响实验结果见表3。

表3 不同药层厚度对激光吸收的影响
Table 3 Influence of thickness of composition on laser absorption

药剂品种	物理状态	药层厚度 /mm	实验次数	实验现象
DDNP	药柱(10 MPa 压力下)	2	2	瞬即爆燃
KClO ₃ + C + DDNP	涂成电引火药头	5	4	瞬即爆燃
KClO ₄ + 苦味酸钾	涂成电引火药	5	4	瞬即爆燃
铅丹 + 硅系延期药	制成五芯铅延期体, 光斑对准药芯	7.4	4	瞬即爆燃
铅丹 + 硅系延期药	制成单芯铅延期体, 光斑对准药芯	11	3	瞬即爆燃
DDNP	球状聚晶, 松摊药层厚度 1 ~ 1.5 mm	1.5	4	密集处爆燃
DDNP	球状聚晶, 松摊药层厚度 0.5 ~ 1.0 mm	1	2	不燃、不爆

表3的结果表明,药层厚度不同,激光吸收比会产生变化。实际上,激光进入炸药颗粒表面的深度是有限的,文献[3]介绍,化学反应在不大于 100 Å 深度范围内进行。药层厚度增加后,保证了炸药颗粒与激光

粒子的有效接触和能量有效传递,特别是经一定压力压制成药柱后,微粉颗粒基本不能在激光粒子冲击下发生位移,确保光斑范围内的微粉颗粒有效吸收激光粒子的能量;随厚度增加,颗粒密度、微粉量也增加,参与反应的活化分子数增多,因此其吸收比也增大。

4 结论

火工品药剂的激光感度与其对激光的吸收系数直接相关;激光吸收比越大,越容易被激发而爆炸;同一种炸药的激光感度受颗粒直径影响,粒度越小,越有利于激光能量吸收,激光感度越高;微粉颗粒直径小,反应所需能量相对少,光斑范围内的微粉颗粒易被激发而完全反应;参与反应的微粉多,所需活化能总量小,反应持续下去,形成爆燃;同一种炸药的激光感度受药层厚度影响,药层越厚,越有利于吸收激光能量,容易被激发。随着厚度、密度增加,一定范围内参与反应的颗粒多,活化分子数增加,反应速度加快,反应放出的热量也大,使反应能自行传播下去,形成爆燃或爆炸。

参考文献:

- [1] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999, 113 - 130.
- [2] 李国新、程国元、焦清介. 火工品实验与测试技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998, 55 - 59.
- [3] 陈福梅. 火工品原理与设计[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990, 77 - 88.

Experimental Study on Laser Initiation of Common Explosive Initiator Composition

WEI Ai-yong, GUO Xue-bin, ZHANG Jie-tao

(Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: The laser initiation test for several common explosive initiator compositions has been carried out. The results show the category type of explosives, the particle size and the thickness of the compositions can affect the absorption of laser and decide whether it can be initiated or not.

Keywords: optics; explosive initiator composition; initiation by laser; absorption