文章编号:1001-5078(2014)10-1075-04　　·综述与评论·

激光销毁危险爆炸物应用研究进展

宋桂飞,李良春,王韶光,夏福君
(军械工程学院军械技术研究所,河北 石家庄 050000)

摘　要:为解决炸药包殉爆法处理危险爆炸物存在的勤务环节多、安全系数低、机动销毁能力差等问题,提高危险爆炸物远距离销毁效果,满足复杂环境条件下危险爆炸物销毁需求,介绍了国内外成功利用激光远距离销毁危险爆炸物相关研究,分析了激光在未爆弹、简易爆炸装置、地雷及报废弹药等不同类型危险爆炸物销毁应用特点,从应用效果出发,探讨了激光销毁危险爆炸物存在的理论热点问题与工程实践困难,进一步指出了激光销毁危险爆炸物发展趋势。

关键词:激光;危险爆炸物;销毁
中图分类号:TB441　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.10.002

Research development of laser application on dangerous explosives disposal

SONG Gui-fei, LI liang-chun, WANG Shao-guang, XIA Fu-jun
(Ordnance Technology Institute, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: In order to solve the problems such as many service processes, lower safety coefficient and poor mobile ability in dangerous explosives disposal by exploding, improve the disposal effect and satisfy the demands of dangerous explosives disposal in complex environments, research developments of laser application on dangerous explosives disposal in domestic and overseas counties were introduced, the characteristics of laser disposals for unexploded ordnance, improvised explosive device, mines and scrap ammunition were also analyzed. Several theory points and engineering difficulties of explosives disposal by laser are discussed, and the development trend is pointed out.

Key words: laser; dangerous explosives; disposal

1　引　言

在报废弹药销毁、未爆弹排除过程中,通常采用炸药包殉爆方法将目标弹药进行引爆处理。这种方法勤务环节多,直接接触雷管、导爆索等火工品,安全系数较低。采用激光销毁危险爆炸物最突出特点在于远距离快速销毁,避免了人员直接接触危险爆炸物、雷管、导爆索等爆炸性物品,提高了操作安全性。为探索危险爆炸物炸毁新模式,介绍了当前激光销毁危险爆炸物系统最新研究进展,对激光销毁危险爆炸物发展趋势进行了探讨。

2　激光销毁危险爆炸物系统研究进展

目前,美国在激光销毁弹药研究领域走在世界前列,成功开发了悍马激光弹药销毁系统(宙斯)和激光复仇者武器系统,正在研究更强大功能的固体热容激光器反 UXO(未爆弹)和 IED(简易爆炸装置)系统,它们显著的特点是:非接触、远距离、低爆轰和高机动。我国也在积极跟踪激光销毁地雷、危险弹药研究,结合地雷、危险弹药销毁工程实际,提出了利用激光打孔销毁地雷或弹丸装药、激光点火间接销毁弹药、激光辐照直接销毁弹药等想法。

作者简介:宋桂飞(1982 -),男,工程师,博士,主要从事报废武器弹药销毁处理技术研究。E-mail:yzfysgf@126.com
收稿日期:2014-02-26

2.1 “宙斯”—悍马激光弹药销毁系统(Zeus)

美国开发的悍马激光弹药销毁系统,通常称为“宙斯”[1-2],它是将中、高功率固体激光器和束控系统集成进悍马车,用于排除地表地雷、UXO 和 IED 的武器系统。

宙斯系统由高功率激光器、束定向器、标记激光器、彩色视频相机、控制台和相应的支持系统组成,前 4 个部件安装在一个用万向架固定的平台上。整个系统都集成进一辆悍马车内。宙斯系统的所有部件都采用了现有的商业产品。

宙斯系统的工作原理是:利用视频相机侦察发现目标后,用控制手柄旋转和倾斜相机,直到目标处在电视屏幕的中心,然后将绿色标记激光射向目标并选择瞄准点。由于视频相机与激光器和束定向器处在同一视轴上,所以当目标处在电视屏幕的中心时,激光器和束定向器就瞄准了目标。从距离目标 25 ~ 300 m 处,高能激光器产生的光束通过束定向器聚焦加热目标弹药(在发展试验中,该系统还摧毁了一个 1200 m 外的目标),使其装填的炸药着火并开始燃烧,最后目标弹药以低效率爆炸而被清除,这种方式可使销毁引起的间接破坏减少到最小,并能够通过对激光能量的调整实现对爆炸效果的控制。宙斯系统排除 1 个 UXO 需要 5s ~ 4 min,平均不超过 30 s,其机动性强,可用 C - 17 与 C - 130 运输机空运,也可用直升机空投。

宙斯系统从 1986 年开始立项,采用的激光源经过了大约 1600 种试验,其研究历程如表 1 所示。

表 1 宙斯系统激光器研究历程

Tab. 1 Research course of zeus laser

时间	类型	功率
1987 年	CO_2 激光器	30 kW
1991 年	Nd : YAG 激光器	0.3 kW
1991 年	CO_2 激光器	0.8 kW
1994 年	灯泵的 Nd : YAG 激光器	—
1999 年	LD 抽运的 Nd : YAG 激光器	0.5 kW
2004 年初	Nd : YAG 激光器	1 kW
2004 年末	掺镱的玻璃光纤激光器	2 kW
2007 年	光纤激光器	10 kW

2.2 采用固体热容激光器的反 UXO 和 IED 系统

美国能源部利弗莫尔实验室在成功开发高功率的固体热容激光器(SSHCL)后,提出了用激光排除 UXO 和 IED 和掩埋地雷的设想[1-2]。首先用探测装置查明地雷、UXO 或 IED 的位置;然后用脉冲激光照射,使其在地下、水中引起微爆,掘去地雷上面的土壤或烧穿帆布、植物等其他覆盖物,使目标暴露出来;最后用激光再加热或烧穿地雷的外壳,引起内部炸药产生低效率的爆炸,从而清除目标。操作员通过控制,可以容易地选择不同的光束功率和光斑尺寸,能够最佳地实现掘土和引爆这两个过程。利弗莫尔用 1.5 kW 的 SSHCL(3 Hz,500 J/脉冲)进行了掘土实验,激光脉冲产生了惊人的微爆效应,其实验结果如表 1 所示。

表 2 激光掘土实验结果

Tab. 2 Test results of laser dug

入射角度	脉冲个数	掘土结果	掘土效率
90°	8	形成了直径 25 ~ 30 mm, 深约 15 mm的坑	深度 2 mm/脉冲
10°	40	形成了长约 100 mm, 最大宽度 36 mm,最大深度约 22 mm 的掘沟	平均 1 cm^3/脉冲

利弗莫尔还对激光销毁地雷进行了模拟实验。用 1.5 kW 的激光束照射实际地雷的塑料外壳,3 ~ 4 s后,外壳很容易就被烧穿了;用 21 kW 的 SSHCL 照射一个厚 1 cm 的钢试件,在 7 s 时(激光器关闭之后 3 s),钢试件背面的温度升至 750 ℃;用 25 kW 的 SSHCL 产生的光束聚焦到厚 1 cm 的铝试件上,在不到 3 s 的时间内,铝试件被烧穿为直径 3 cm 的孔。

2.3 激光扫雷研究

国内工程兵第一研究所曾经和中科院上海光机所合作进行过激光扫雷初步探索[3],但由于所利用的二氧化碳激光器过于庞大,而无法进行工程化应用而最终放弃。2007 年 7 月,中国兵器装备研究院联合工程兵第一研究所对光纤激光器进行了适用于车载销毁地雷系统工程化研究,研究了引起 TNT、RDX 及梯黑装药燃烧/爆炸的激光参数阈值,并开展了大功率光纤激光器销毁金属和塑料壳地雷的原理性试验研究。试验采用的光纤激光器功率为 300 W,在距离激光器 30 m 处,实现了对 3 mm 塑料和金属地雷壳体的穿透;在平均 20 s 时间内,实现了对壁厚 3 mm 的混合装药试验雷的点燃。目前,正在对千瓦样机进行小型化和各分系统的改进设计,以满足照射 100 m 左右的地雷和未爆弹试验需求。

2.4 激光点火式聚能射流销毁弹药研究

军械技术研究所开展了激光点火式聚能射流销毁弹药试验研究[4],其设计的新型激光引爆弹药装

置销毁废旧弹药的基本原理和过程是:激光器产生的激光,点火引爆导爆管并稳定传输爆轰,进而起爆聚能装药,聚能装药爆炸使药型罩形成的高温高速金属射流侵彻弹体,消耗一定射流后,剩余的金属射流继续侵彻引爆弹丸装药,从而实现弹丸爆炸,达到销毁目的。该装置主要由激光点火系统、导爆管爆轰传输系统和聚能起爆器三大部分组成。利用该装置进行了实弹销毁试验,试验结果如表 3 所示。该装置销毁危险弹药最突出的优点在于其可靠的激光点火能力和强大的射流侵彻能力,较好地集成应用了激光点火技术与聚能效应,能够满足当前列装弹药远距离销毁需求,不足之处在于选用的二氧化碳激光器体积过于庞大,电源与冷却系统没有较好地优化,机动性较低。

表 3　激光点火式聚能射流销毁弹药试验结果

Tab. 3 Test results of shaped charge jet penetrating ammunition by laser ignition

弹药名称	A 型弹药	B 型弹药	C 型弹药	D 型弹药	E 型弹药
炸药种类	黑铝	梯萘	梯铝	钝黑铝	梯恩梯
炸药重量/kg	0. 159	0. 414	0. 725	0. 0585	3. 416
弹体材料	S15A 钢	钢性铸铁	D60 钢	60Cr2Ni2MoA 钢	D60 钢
测试结果	引爆	引爆	引爆	引爆	引爆

2. 5　激光直接销毁报废弹药研究

总装通用弹药导弹质量监控和保障技术实验室开展了激光直接销毁报废弹药试验探索研究[5],采用 400 W 连续光纤激光器,通过激光辐照弹体试验,研究不同特征参数的激光对不同材质、不同壁厚弹体辐照效应的影响,并利用炸药爆发点评估激光辐照弹体作用效果。其试验基本原理是:激光通过光束控制系统辐照到试验样品上,调节透镜与试验样品之间的距离,从而改变样品表面上的光斑尺寸,激光与试验样品相互作用,使样品温度升高,用功率计测量激光功率,用热电偶测量激光辐照样品背面温度,从温度记录仪上读取温度。试验表明:当激光功率密度达到 1379 W/cm^2,辐照时间为 80 s 时,试验样品温度达到303. 9 ℃;若以 TNT 5 min 延滞期爆发点温度 290 ℃,RDX 5 min延滞期爆发点温度 230 ℃为评估指标,假设试验样品温度达到炸药爆发点温度时,认为与试验样品接触的炸药发生爆炸,则在上述试验条件下激光辐照弹药将发生爆炸。

3　激光销毁危险爆炸物未来发展动向

3. 1　向危险弹药销毁领域拓展

目前,宙斯系统主要针对路边炸弹、浅表地雷、简易爆炸装置等战场恐怖爆炸物。与制式弹药相比,这些危险爆炸物一般外壳为强度较低的金属,有的还是塑料材质,且壁厚较薄,装药量较少,利用目前的激光器能够实现对其销毁。然而随着国防科技的迅速发展,在弹药科研生产、兵器试验、部队训练、野外演习、勤务处理、修理处废、后方仓库储存供应保障以及地方基础设施建设中经常会出现不同姿态不同状态不同地形条件下的射击未爆弹、跌落弹药、事故弹药、技术处理障碍弹药以及历史遗留的旧杂式弹药和不明技术状况危险爆炸物。这些危险弹药通常采用炸药包殉爆方式销毁,存在着较大的安全隐患。因此,长期以来,安全高效环保地处理危险弹药一直是国内弹药销毁领域关注的重点。利用激光销毁危险弹药将开创危险弹药销毁新模式,推动销毁手段革新。

3. 2　实现车载激光器工程化设计

光纤激光器是近几年激光领域人们关注的热点之一[6]。在同样的输出功率下,光纤激光器的光束质量、散热特性、光传递特性、可靠性和体积大小等都占有优势,易于实现高效率和高功率。采用更大功率的光纤激光器不仅能够销毁口径更大、弹体更厚、弹丸装药感度更低的报废弹药,而且能够从更远距离销毁危险弹药,提高销毁效率。随着实战化训练力度加大和兵器试验深入开展,山地、丛林、滩涂、高原高寒地区等复杂地域环境产生未爆弹药、地雷、爆破器材等危险爆炸物的几率加大,提高危险爆炸物销毁的机动性日益突出。光纤激光器由于器件结构简单,体积小巧,使用灵活方便,使车载激光器工程化设计成为可能。

3. 3　激光与危险爆炸物作用机理研究

目前,一般从激光与材料相互作用出发,认为激光对危险爆炸物作用主要以热机理为主。在这方

面,国内研究集中在激光与裸露装药相互作用,较少关注激光与带壳装药相互作用,而对于激光直接销毁危险爆炸物作用机理研究鲜见报道。激光与危险爆炸物作用机理研究是一个复杂的热物理过程,涉及光学、热学、材料力学、爆炸力学等多个学科专业,需要综合运用现有研究成果和研究手段,从多角度多层面分析研究,特别要关注激光侵彻弹体过程中,激光作用对弹丸装药的影响,着力探索激光引爆与引燃销毁危险爆炸物的临界条件,这是实现激光销毁危险爆炸物关键所在。

参考文献:

[1] REN Guoguang. Laser weapons for anti-unexploded ordnance and anti-improvised explosive devices[J]. Laser & Infrared,2009,39(3):233 – 238. (in Chinese)
任国光. 反未爆弹和简易爆炸装置的激光武器[J]. 激光与红外,2009,39(3):233 – 238.

[2] REN Guoguang. Current situation and development trend of high energy laser weapons[J]. Laser & Infrared,2008,45(9):62 – 69. (in Chinese)
任国光. 高能激光武器的现状与发展趋势[J]. 激光与光电子学进展,2008,45(9):62 – 69.

[3] LI Wei,ZHAO Yong,CHEN Xi,et al. High power fiber laser used to destroy ammunition by buring[J]. Laser & Optoelectronics Progress,2008,(7):39 – 42. (in Chinese)
李伟,赵勇,陈曦,等. 大功率光纤激光器在销毁弹药中的应用[J]. 激光与光电子学进展,2008,(7):39 – 42.

[4] WANG Shaoguang, LI Chengguo, XIA Fujun, et al. Test research on laser igniting system for dangerous ammunition disposal[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance,2010,3(4):105 – 107. (in Chinese)
王韶光,李成国,夏福君,等. 激光起爆系统销毁危险弹药试验研究[J]. 弹箭与制导学报,2010,3(4):105 – 107.

[5] SONG Guifei, LI Chengguo, WANG Shaoguang, et al. Several problems about ammunition disposal by laser[J]. Laser & Infrared,2010,40(9):932 – 935. (in Chinese)
宋桂飞,李成国,王韶光,等. 激光销毁弹药若干问题的研究[J]. 激光与红外,2010,40(9):932 – 935.

[6] LOU Qihong, ZHOU Jun, ZHU Jianqiang, et al. Recent progress of high-power fiber lasers[J]. Infrared and Laser Engineering,2006,35(2):135 – 138. (in Chinese)
楼祺洪,周军,朱健强,等. 高功率光纤激光器研究进展[J]. 红外与激光工程,2006,35(2):135 – 138.