

非致命激光武器雨中传输衰减系统设计研究

刘霞¹, 单宁², 王治晶²

(1. 西安工程大学机电工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 武警工程大学装备工程学院, 陕西 西安 710086)

摘要:非致命激光武器实际应用中会受到大气环境影响,造成激光能量衰减,严重影响其作战效果。为精确了解激光在雨中传输的衰减,本文建立了激光在雨中传输的衰减模型,分析研究了激光在雨中的透过率,搭建了激光在雨中传输的衰减实验平台,实验研究了激光透过率与降雨强度和传输距离的关系。结果表明,激光在雨中传输衰减很大程度上取决于降雨强度和传输距离,雨量越大,传输距离越远,衰减越严重,当雨量为60 mm/h,激光传输200 m距离时,透过率已不到40%。仿真和实验结果吻合较好,说明所建立的衰减模型基本符合实际情况,同时也表明搭建的激光雨中传输衰减系统可以用于研究非致命激光武器雨中传输衰减,具有结构简单、易于操作、灵活性较好等优点。

关键词:非致命激光武器;激光传输;雨雾;衰减

中图分类号:TJ95 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2018.06.003

Design research on transmitting and attenuating system of non-lethal laser weapon in rain

LIU Xia¹, SHAN Ning², WANG Zhi-jing²

(1. College of Electromechanical Engineering, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710048, China;

2. Equipment Engineering College, Engineering University of CAPF, Xi'an 710086, China)

Abstract: In the actual application of non-lethal laser weapon, it will be affected by atmospheric environment, which will cause laser energy attenuation and seriously affect its combat effectiveness. To accurately obtain the attenuation of laser transmission in rain, the attenuation model of laser transmission in rain is established, and the transmittance of laser in rain is analyzed. An attenuation experimental platform of laser transmission in rain is built, and the relationship between laser transmittance and rainfall intensity and transmission distance is experimentally investigated. The results show that the attenuation of laser transmission in rain depends largely on the intensity of rain and the transmission distance. The rainfall is greater and the transmission distance is farther, the attenuation is more serious. When the rainfall is 60 mm/h and the laser transmission distance is 200 m, the transmittance is less than 40%. The simulation results are in good agreement with the experimental results, which shows that the established attenuation model is consistent with the actual situation. It is also shown that the constructed laser rain transmission attenuation system can be used to study the transmission attenuation of non-lethal laser weapons in rain. It has the advantages of simple structure, easy operation and good flexibility.

Key words: non-lethal laser weapon; laser transmitting; rain; attenuating

基金项目:陕西省教育厅专项研究计划项目(No. 16JK1339);陕西省自然科学基金研究计划项目(No. 2016JM6043)资助。

作者简介:刘霞(1979-),女,博士,讲师,研究方向为检测技术及自动化。E-mail:ning25531@163.com

通讯作者:单宁(1980-),男,博士,教授,博士生导师,研究方向激光应用技术,光电传感器设计等。E-mail:ssnn3193@163.com

收稿日期:2017-09-28; **修订日期:**2017-11-06

1 引言

激光具有单色性好、方向性强、亮度高等优点,已广泛应用于军事领域^[1-6]。非致命激光武器与常规的传统武器相比,具有速度快、精度高、无惯性、不怕电磁干扰、无放射性危害、杀伤性可控等特点,且不会直接导致人员死亡、装备毁灭和生态环境的破坏,在反恐处突领域具有广阔应用前景,其主要是通过发射固定功率的激光束来使人眩目、眩晕、暂时失明或产生疼痛感,从而失去抵抗能力。由于非致命激光武器属于软杀伤武器,不能对作用目标造成永久损伤,故对激光能量控制要求极为严格^[7-9]。但是,实际应用中,激光在空气中传输时,空气中的介质如雨、雾和粉尘等均会引起激光能量的衰减^[10-12]。当传输距离较远时,激光能量衰减程度较大,将严重影响非致命激光武器的作战效果,甚至达不到制止目标的效果。因此,为了精确分析激光在雨中的衰减,更好地发挥非致命激光武器的实际作用效果,需研究激光在雨雾天气中的衰减特性。针对此问题,本文建立了激光在雨中传输的衰减模型,分析研究了激光在雨中的透过率,搭建了激光在雨中传输的衰减实验平台,实验研究了激光透过率与降雨强度和传输距离的关系。

2 激光雨中传输衰减模型

激光光束在雨中传输时,一部分能量被雨滴散射偏离原来传播方向,还有一部分能量会被雨滴吸收转化为热能,造成激光能量衰减,其衰减系数为:

$$\beta = \frac{\pi}{4} \int_0^{\infty} D^2 Q_e N(D) dD \quad (1)$$

式中, D 为雨滴直径; Q_e 为衰减效率因子,随雨滴尺寸增大趋于恒值2; $N(D)$ 为雨滴谱分布,即雨滴形状与尺寸大小的分布关系。

由于我国处于亚温带地区,故可采用 Weibull 模型来描述 $N(D)$,有:

$$N(D) = 2.13 \frac{154 \sqrt{J}}{D_0} \left(\frac{D}{D_0} \right)^2 \exp \left[-0.71 \left(\frac{D}{D_0} \right)^3 \right] / [9.65 - 10.3 \exp(-0.6D)] \quad (2)$$

式中, D_0 为圆球形雨滴直径; J 为降雨强度(单位: mm/h)。

通常雨滴直径在 0.06 ~ 4 mm,此时雨滴尺寸较大, Q_e 可取值为 2,则激光在不同降雨强度条件下的衰减系数可表示为:

$$\beta = 0.365 J^{0.63} \quad (3)$$

由此可得近红外区以及可见光波段的激光在雨中传输时的透过率为:

$$T = e^{-0.365 J^{0.63} L} \quad (4)$$

式中, L 为传输距离(单位 km)。

将式(4)采用 Matlab 进行仿真研究,激光在雨中传输时透过率与降雨强度和传输距离之间的关系如图 1 所示。由图 1 可知,当传输距离为 110 m,降雨强度达到 80 mm/h 时,激光透过率仅余 50%,且随着传输距离的增加,激光透过率明显降低。在 150 m 距离上激光透过率约为 40%;当传输距离到达 200 m 时,激光透过率仅为 30% 左右。由此可知,激光在雨中传输时其透过率在很大程度上取决于降雨强度和传输距离。

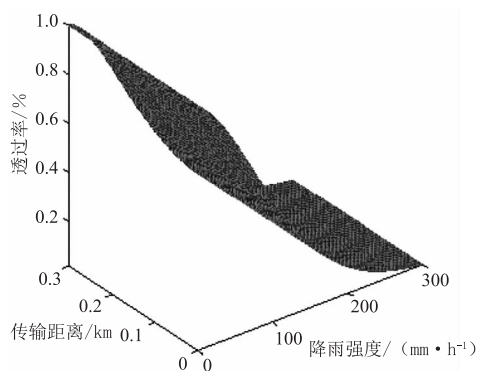


图1 激光雨天透过率关系图

Fig. 1 Laser weather transmission rate chart

3 实验系统原理

激光在雨中传输会受到雨粒子的散射和吸收作用,因此在传播方向上的能量就会受到衰减。为验证理论模型的正确性,也为非致命激光武器研制过程中严格控制激光能量衰减,确保其作战效能达到最优,建立激光在雨中衰减实验装置,实验原理如图 2 所示。功率可调激光器通过 USB 转换线与计算机相连,打开激光功率控制软件,调节激光器按给定功率发射出一束激光,经多组激光全反射镜反射后照射在激光功率计上,并实时显示出照射过来的激光功率。在激光传输的路径上方安装一组水枪,通过调节水管流量大小模拟降雨情况,在降雨区放置一雨量传感器实时感知降雨强度,其探测到的降雨强度值通过数据采集卡在计算机屏幕上实时显示。多组激光全反射镜的作用主要是为了调节激光传输距离,如需增大传输距离可适当增加反射镜的数量。

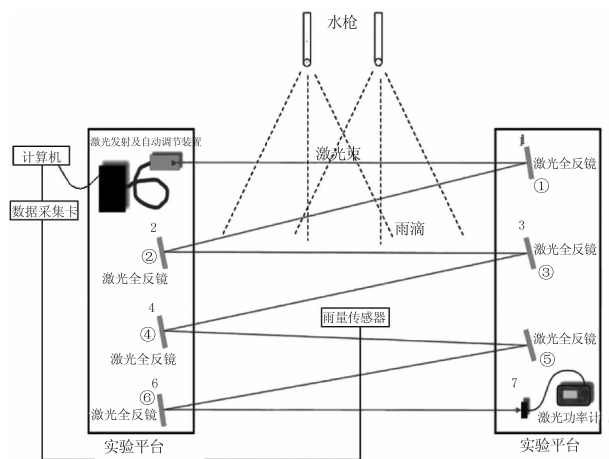


图2 实验系统原理

Fig. 2 Principle of experimental system

4 实验结果

按照实验系统原理布置好实验平台,如图3所示。固定好激光器,安装好激光全反射镜,将激光功率计放置在激光光束传播路径上,因为激光光束直径很小,所以设置功率计时要将功率计探头刚好对准激光束,确保能够将激光束全部收集到。连接激光功率计与激光探头,启动功率计按下F键进入菜单条对参数进行设置,并做好记录。



图3 激光雨中传输衰减实验系统

Fig. 3 Transmission attenuation experimental system of laser in rain

本实验中,采用DC50/150-532激光器,为Nd:YAG倍频激光器,功率可调,输出波长为532 nm,产生连续型激光光束,激光器电流保持在19A,设置功率计待测激光波长为532 nm、量程为0~1 W,同时应带好防护眼镜避免损伤。实验环境为室内温度22℃,将激光传输距离设置为20 m,调节水枪改变降雨强度大小,使降雨强度在5 mm/h到50 mm/h区间内均匀变化,当激光输出功率为分别为10 mW、20 mW和40 mW时,测得激光在雨中传输时降雨强度对激光透过率的影响趋势如图4所示。调节水枪使降雨强度为60 mm/h,设置一组全反射透镜之间的距离为20 m,分别采用1到6组透镜,则激光传输的距离为60 m到260 m,当激光输

输出功率为分别为10 mW、20 mW和40 mW时,测得激光在雨中传输时距离对激光透过率的影响趋势如图5所示。

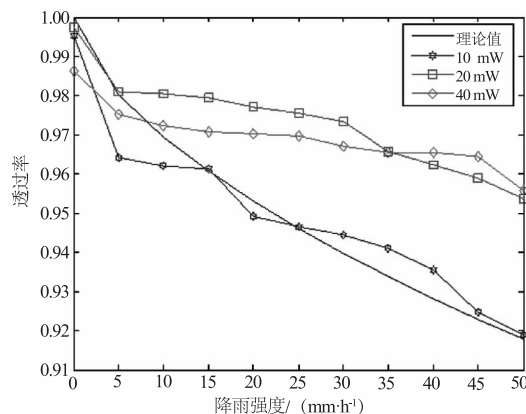


图4 降雨强度对激光透过率的影响趋势

Fig. 4 The influence of rainfall intensity on the laser transmittance

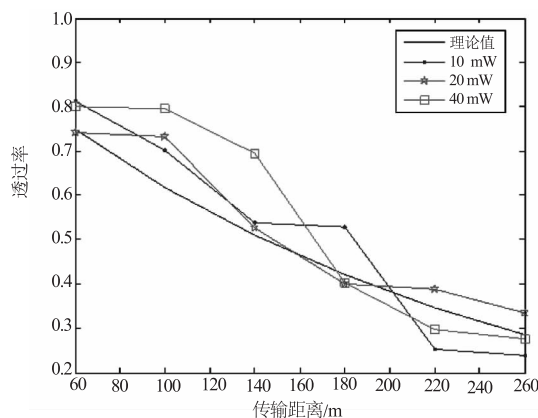


图5 传输距离对激光透过率的影响趋势

Fig. 5 Transmission distance affects the laser transmittance

5 结论

非致命激光武器攻击速度快,灵活性强,可以实现精确打击,不会直接导致人员死亡、装备毁灭和生态环境的破坏,在反恐处突领域具有广阔应用前景。但是,激光传输时会受到雨雾等天气环境影响,严重影响非致命激光武器的作战效果。为了精确分析激光在雨中的衰减,提高非致命激光武器的实际应用效果,本文建立了激光在雨中传输的衰减模型,分析研究了激光在雨中的透过率,搭建了激光在雨中传输的衰减实验平台,实验研究了激光透过率与降雨强度和传输距离的关系。由图1、图4和图5可以看出,实验结果与仿真结果结论吻合,说明所建立的衰减模型基本符合实际情况;激光在雨中传输衰减很大程度上取决于降雨强度和传输距离,雨量越大,传输距离越远,衰减越迅速,当雨量为60 mm/h,激

光传输 200 m 距离时,透过率已不到 40%,衰减非常严重;本文搭建的激光雨中传输衰减系统可以用于研究非致命激光武器雨中传输衰减,结构简单,操作方便,成本低,实现容易,具有一定的灵活性,易于扩展功能。

参考文献:

- [1] Wang J, Lu J, Chen L, et al. Pulsed 980nm short wavelength infrared neural stimulation in cochlea and laser parameter effects on auditory response characteristics [J]. Biomedical Engineering Online, 2015, 14(1): 1 - 11.
- [2] Hudson DE, Hudson Do, Wininger JM, et al, Penetration of laser light at 808nm and 980nm in bovine tissue samples [J]. Photomedicine and Laser Surgery, 2013, 31: 163 - 168.
- [3] Jing Xuan Wang, Jian Ren Lu, Lan Tian, Effect of fiber-optic collimation technique on 808nm wavelength laser stimulation of cochlear neurons [J]. Photomedicine and Laser Surgery, 2016, 34: 1 - 6.
- [4] SHAN Ning, ZHAN Renjun, XIA Liexiang. Numerical simulation study of temperature distribution in bio-tissue generated by different power pulse laser [J]. Laser Journal, 2014, 35(6): 7 - 10. (in Chinese)
单宁, 战仁军, 夏烈祥. 不同脉冲激光功率下生物组织温度场数值仿真研究 [J]. 激光杂志, 2014, 35(6): 7 - 10.
- [5] SHAN Ning, ZHAN Renjun. Influence trend study of temperature distribution in skin tissue generated by different wavelength pulse laser [J]. Laser Journal, 2014, 35(2): 45 - 46. (in Chinese)
单宁, 战仁军. 脉冲激光波长对生物组织温度场影响趋势研究 [J]. 激光杂志, 2014, 35(2): 45 - 46.
- [6] SHAN Ning, ZHAN Renjun, LI Suling. Study of bio-tissue temperature real-time measurement system irradiated by pulse laser [J]. Piezoelectrics & Acoustooptics, 2013, 35(6): 814 - 816. (in Chinese)
单宁, 战仁军, 李素灵. 脉冲激光辐照生物组织温度场实时测量系统研究 [J]. 压电与声光, 2013, 35(6): 814 - 816.
- [7] SHAN Ning, Liu Xia, WANG Zhijing. Analysis research on transmitting and attenuating characteristics of non-lethal laser weapon in the fog [C]. Proceedings of SPIE-High-Power Lasers and Applications VIII, 2016, 10016: 100161E.
- [8] LIU Xiahua, ZHU Ting, JIANG Xianpei, et al. Numerical simulation of thermal effect of low energy laser weapon on human eyes [J]. Laser & Infrared, 2016, 46(9): 1054 - 1059. (in Chinese)
刘小华, 朱挺, 蒋贤沛, 等. 低能激光武器对人眼光热作用的数值模拟 [J]. 激光与红外, 2016, 46(9): 1054 - 1059.
- [9] XIAO Rui, KANG Hongxiang, LIANG Jie, et al. Experimental research on biological effects of laser flash blindness [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(11): 1182 - 1185. (in Chinese)
肖瑞, 康宏向, 梁洁, 等. 激光闪光致眩生物效应实验研究 [J]. 激光与红外, 2010, 40(11): 1182 - 1185.
- [10] LI Lifang. The study of atmospheric aerosol particles scattering impact on laser propagation in the atmosphere [D]. Taiyuan: North University China, 2013. (in Chinese)
李丽芳. 大气气溶胶粒子散射对激光大气传输影响的研究 [D]. 太原: 中北大学, 2013.
- [11] LIU Min, WANG Hongxing, WANG Qian, et al. A revision model of the calculation of atmospheric attenuation in water fogs weather [J]. Chinese Journal of Lasers, 2011, 10(38): 1 - 5. (in Chinese)
刘敏, 汪红星, 王倩, 等. 雨雾共存天气下大气衰减计算的修正模型 [J]. 中国激光, 2011, 10(38): 1 - 5.
- [12] GUO Jing. Study on the characteristics of atmospheric transmission of the near field constant pulse laser in rainfall [D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2012. (in Chinese)
郭婧. 近场定距脉冲激光在降雨中的大气传输特性研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2012.