

激光武器靶面强度参数评估方法

杜太焦, 陈志华, 闫伟, 王建国
(西北核技术研究所, 陕西 西安 710024)

摘要:通过对不同应用情况下激光武器靶面强度参数定义及其影响因素的分析,建立了激光武器靶面强度参数评估模型。针对评估模型中的大气传输模型、靶面光斑形状分析、靶面长曝光功率密度、靶面瞬时功率密度概率分布等问题进行了详细的讨论,并给出了相应的计算方法和实验数据分析方法。初步提出了使用蒙特卡洛方法来解决评估模型中评估参数的随机性问题,并对评估参数统计分布的获取进行了简要说明。

关键词:激光武器;靶面强度参数;评估

中图分类号:TP309 **文献标识码:**A

Method for laser weapon target intensity parameter assessment

DU Tai-jiao, CHEN Zhi-hua, YAN Wei, WANG Jian-guo
(Northwest Institute of Nuclear Technology, Xi'an 710024, China)

Abstract: Based on the analysis for definition of laser target intensity parameter in various applications and its influence factor, an assessment model of laser target intensity parameter is developed. Detailed discussions for laser propagation, laser profile on the target, long exposal intensity on target, and instantaneous intensity probability distribution are given. The corresponding computation methods and experimental data analysis methods are also discussed. In order to deal with the randomness of assessment parameter, the Monte Carlo method is introduced, and the acquiring method of parameter probability distribution is given.

Key words: laser weapon; target intensity parameter; assessment

1 引言

激光武器是一种发展中的新概念武器^[1-2],效能评估对于这类武器使用具有重要的意义。在激光武器效能评估的ADC模型中^[3],固有能力和武器效能的一个关键因素,它是武器效能评估的基础。决定武器固有能力的因素很多,其中靶面激光强度参数(目标处激光功率密度)是需要重点研究的,它和目标毁伤阈值一起决定了激光武器对目标的毁伤能力。

靶面激光强度参数的影响因素包括多个方面,同时这些影响因素本身又具有不确定性,因此导致靶面激光强度参数是一个随机量。激光武器靶面强度参数评估的目的就是获取不同场景下靶面激光强度参数的经验概率分布。为了得到这一概率分布,需要对靶面激光强度参数评估模型以及相应参数的

获取方法进行研究。

2 靶面激光强度参数评估模型

对于激光武器而言,靶面激光强度参数指的就是目标处的激光功率密度。针对不同的应用,目标处激光功率密度在空间和时间尺度上又具有不同的含义。在空间上,如果被攻击的目标是面目标(目标尺寸大于激光光斑尺寸),则激光功率密度用远场全光斑一定环围面积内的平均功率密度表征;相反如果被攻击的是点目标(目标尺寸远小于激光光斑尺寸),则激光功率密度需用目标面积内的平均

作者简介:杜太焦(1972-),男,博士,副研究员,主要从事激光与物质相互作用的研究。E-mail:kewin_y1119@163.com

收稿日期:2009-09-04

功率密度表征。在时间上,如果激光可以长时间地照射到目标的薄弱部位且毁伤效应本身与时间的积分有关,则激光功率密度用长曝光功率密度来表征;相反如果激光只能在一瞬时照射到目标的薄弱部位,则激光功率密度应该用瞬时功率密度来表征。因为瞬时功率密度的评估过程包含了对长曝光功率密度的评估,所以本文讨论中靶面激光参数定义为点目标上的瞬时功率密度。

靶面激光强度参数是由许多影响因素决定的,具体包括:武器发射的激光参数、激光的传输距离、大气参数、武器的瞄准精度等。靶面激光强度参数评估模型就是由以上参数推断靶面激光强度参数的模型,这一评估模型的框图如图1所示,框图中的具体内容如下文。

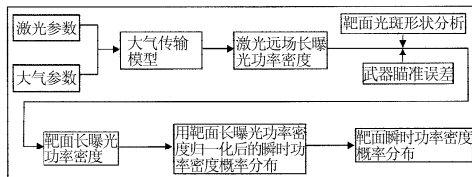


图1 靶面激光强度参数评估模型框图

在具体讨论评估模型之前,需要强调一下靶面激光强度参数的随机特性。靶面激光强度参数的随机特性来源于两个方面,首先是靶面强度参数各影响因素本身的随机性,比如激光功率、武器瞄准误差、激光发射时的大气参数等都是随机量;另外即使所有影响因素都是确定的,由于大气湍流的影响,也会导致目标处激光功率密度的起伏。为了考虑影响因素的随机性,可以使用蒙特卡洛方法来对靶面强度参数进行评估^[4]。在使用蒙特卡洛方法时,需要知道各因素的统计分布,这可以通过对测量结果的分析来得到。

3 激光大气传输模型

为了获得目标处的瞬时激光功率密度,首先需要从发射激光参数和大气参数推断远场环境平均长曝光激光功率密度,这需要通过激光大气传输模型来实现,一般形式的大气传输模型如式(1)~式(3)所示^[5]:

$$\beta = \beta_0 \sqrt{A_1 + A_2 \left(\frac{D}{\beta_0 r_0} \right)^2} \quad (1)$$

$$R = 1.22 \beta \frac{\lambda}{D} L \quad (2)$$

$$I = \frac{A_3 \tau P_0}{\pi R^2} \quad (3)$$

式中, β 为远场光束质量; β_0 为发射光束质量; D 为发射激光直径; r_0 为大气相干长度; R 为远场光斑半

径; λ 为激光波长; L 为传输距离; τ 为武器系统内光路透过率和大气透过率之积; P_0 为激光器出光功率; I 为远场环境平均长曝光激光功率密度; A_1 , A_2 和 A_3 是拟合参数,可通过针对激光武器系统的数值模拟数据来拟合。

4 靶面长曝光功率密度

通过激光大气传输模型,可以获得远场环境平均长曝光功率密度,但实际关心的是点目标靶面上的长曝光功率密度。靶面功率密度和远场功率密度关系如图2所示。

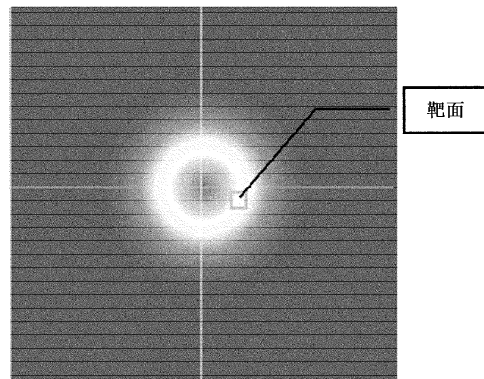


图2 远场功率密度和靶面功率密度关系示意图

从图2可以看出,在点目标情况下,靶面激光强度参数与激光武器的瞄准误差密切相关。对于靶面光斑形状为 Gauss 型的光斑,靶面激光功率密度可由远场峰值激光功率密度和武器瞄准误差通过以下公式获得:

$$I_t = I_0 \exp \left(- \left(\frac{\sigma L}{R} \right)^2 \right) \quad (4)$$

$$I_0 = A_4 I \quad (5)$$

其中, I_0 为远场峰值激光功率密度; σ 为武器瞄准误差; A_4 为远场峰值功率密度与环境平均功率密度的比值,可通过针对激光武器系统的数值模拟数据来拟合。

5 远场光斑形状分析

以上针对靶面长曝光功率密度的分析中假定靶面光斑形状为 Gauss 型,实际情况并不一定是这样,需要针对特定的系统具体分析其远场光斑形状。一般来讲远场光斑可以用类 Gauss 光斑进行拟合,类 Gauss 光斑的表达式如式(7)所示:

$$I(r) = I_0 \exp \left(- \left(\frac{r}{R} \right)^n \right) \quad (7)$$

不同 n 情况下的光斑形状如图3所示。从图中可以看出:对于峰值比较抖的光斑,可以用 $n < 2$ 的类 Gauss 光斑来拟合,而对于峰值比较平缓的光斑,可以用 $n > 2$ 的类 Gauss 光斑来拟合。

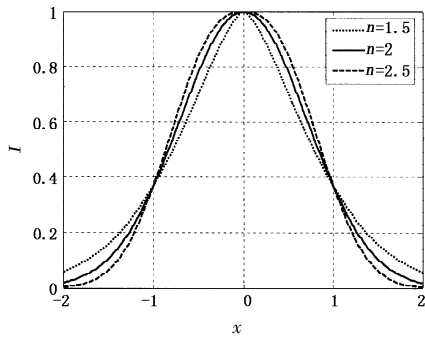


图3 不同参数情况下类 Gauss 光斑形状

6 靶面激光瞬时功率密度概率分布

通过以上对大气传输模型、远场光斑形状分析、靶面功率密度与激光瞄准误差关系的讨论,已经可以获得靶面长曝光功率密度了。下面讨论如何从靶面长曝光功率密度得到靶面瞬时功率密度。

前面已经提到靶面瞬时功率密度的决定因素复杂,其具体值具有随机性。图4给出了固定激光参数和大气参数条件下靶面瞬时功率密度起伏的数值模拟结果(模拟参数:激光波长 $1.06 \mu\text{m}$,发射口径 0.5 m ,整层大气相干长度 5 cm ,传输距离 100 km)。如果再考虑到激光瞬时瞄准误差带来的抖动等因素后,瞬时功率密度的起伏特性将更加复杂,因此企图通过理论的方法来确定靶面瞬时功率密度的难度很大。

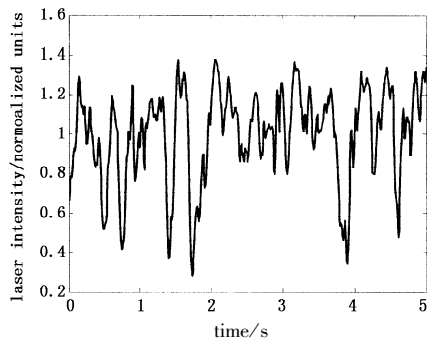


图4 固定激光和大气参数条件下靶面瞬时功率密度

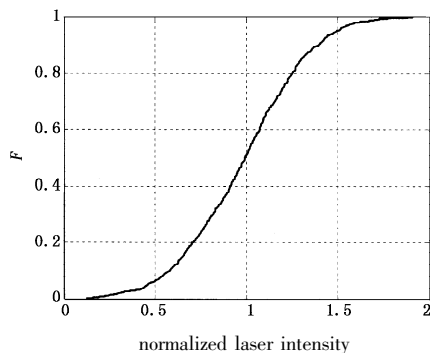


图5 靶面瞬时功率密度的经验累计分布函数

根据以上分析,获取靶面瞬时功率密度特性的主要途径应该是实验。通过对靶面测量结果的分析,可以得到用靶面长曝光功率密度归一化之后的

靶面瞬时功率密度的概率分布。这样在已知靶面长曝光功率密度的基础上,就可以得到靶面瞬时功率密度的统计特性。图5给出了某一假设情况下靶面瞬时功率密度的经验累计分布函数,其中横坐标为用平均功率密度归一化后的瞬时功率密度,纵坐标给出了累计概率分布函数。

7 激光参数、大气参数的统计模型

通过以上几个步骤,已经完成了从激光参数、大气参数、瞄准误差推断靶面激光强度参数的过程。根据前面的介绍,为了完整地进行靶面激光参数评估,还需要使用蒙特卡洛的方法来考虑激光参数、大气参数和激光瞄准误差的随机特性。这些参数的随机特性可以用其统计分布来描述,具体的统计类型可以通过对实测数据的分析来获得,图6给出了国外关于大气相干长度 r_0 测量结果统计分布的一个例子。

在获得统计分布的基础上,再结合前面讨论的靶面激光功率密度的推断过程,就可以完整而系统地进行激光武器靶面强度参数评估了。

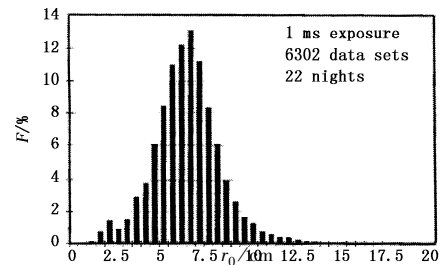


图6 大气相干长度 r_0 统计直方图

8 结束语

通过对激光武器靶面强度参数定义和影响因素的分析,建立了靶面激光强度参数的评估模型,并对评估模型中各个模块进行了详细的讨论。结合实验测量数据,使用本文所介绍的方法,可以给出靶面激光强度参数的经验累计分布函数,从而为激光对目标毁伤能力的评估,进而为激光武器的效能评估奠定基础。

参考文献:

- [1] 徐大伟. 美国激光武器的发展与分析[J]. 激光与红外, 2008, 38(12): 1183 - 1187.
- [2] 张鸿雁, 徐锦, 李言俊, 等. 战术激光武器应用与分析[J]. 激光与红外, 2007, 37(3): 204 - 207.
- [3] 王玉恒, 杜太焦, 刘峰, 等. 高能激光武器系统效能评估方法[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(2): 1 - 3.
- [4] 康崇祿. 国防系统分析方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] H Breaux, W Evers, R Sepucha, et al. Algebraic model for cw thermal-blooming effects[J]. Applied Optics, 1979, 18(15): 2638 - 2644.