

激光引偏干扰中漫反射板假目标的布设方法

孙春生, 张晓晖, 饶炯辉, 张 爽
(海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

摘 要: 激光引偏干扰是一种对抗半主动激光制导武器的有效手段, 漫反射板假目标是激光引偏干扰系统的标准配置设备, 为了提高漫反射板假目标在激光引偏干扰中的诱偏效果, 研究了漫反射板的布设方法。根据半主动激光制导武器的来袭威胁信息和漫反射板的反射特性, 分析了漫反射板假目标的布设位置、漫反射面的朝向和多个假目标布设的具体要求, 给出了量化的约束关系式, 并指出了实际布设过程中的近似处理方法。研究结果对于漫反射板假目标的布设具有理论指导意义。

关键词: 激光引偏干扰; 漫反射板; 假目标; 布设

中图分类号: TN977 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2013.03.005

Layout of diffuse reflection board used for laser decoying

SUN Chun-sheng, ZHANG Xiao-hui, RAO Jiong-hui, ZHANG Shuang
(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: Laser decoy jamming is an effective countermeasure for semi-active laser guided weapon. Diffuse reflection board used as the false target is one of standard parts in laser decoy jamming. In order to improve decoy effect of diffuse reflection board during laser jamming, the layout of the diffuse reflection board is researched. According to the threatening information of semi-active laser guiding and the reflective characteristic of diffuse reflection board, the concrete layout of the diffuse reflection board including its position, reflection orientation, and number of reflection boards are analyzed. The quantitative restriction expressions are further provided. The research provides an theoretical reference for diffuse reflection board layout for field test.

Key words: laser decoy departure jamming; diffuse reflection board; false target; layout

1 引 言

半主动激光制导武器以其命中精度高、抗干扰能力强、效费比高等优点在现代战争中得到广泛的应用^[1-3]。为对抗半主动激光制导武器、降低其作战效能, 各国都在大力发展相应的对抗技术及装备。激光引偏干扰, 即激光角度欺骗干扰是對抗激光半主动制导武器的有效手段, 基于此干扰手段的激光对抗装备已得到广泛应用^[4-6], 主要用于保护要地和重要移动平台。

激光引偏干扰的基本思想是: 激光假目标诱偏来袭的激光制导武器至假目标自身, 通过自身的牺牲换来被保护目标的安全。假目标的布设方法和激光漫反射特性直接决定了引偏激光光强的空间分布、进而影响着引偏干扰的效能甚至成败。漫反射

基金项目: 军内科研项目资助。

作者简介: 孙春生(1977-), 男, 讲师, 博士, 主要研究方向为光电对抗技术, 光电探测与信息处理。E-mail: scs96581@163.com

收稿日期: 2012-11-07

板具有良好的朗伯反射特性且反射率高,通常是激光引偏干扰系统配置的标准子设备之一。因此,研究漫反射板的布放方法对发挥激光引偏系统的作战效能具有重要意义。

目前关于激光引偏干扰中假目标应用的研究主要侧重于平面或球形假目标防护区域的分析^[7],仿真用漫反射屏的研制与标定^[8],自然地物假目标选择建议^[9]等。未见对常用漫反射板假目标布设方法全面研究的文献。本文根据激光引偏干扰的原理和漫反射假目标发挥的作用,将每一漫反射假目标的布设要素分解为相对于被保护目标的距离 ρ_t 、相对于被保护目标的方位角 θ_{ta} 、漫反射板反射面的朝向方位角 θ_{tw} 、漫反射板的朝向俯仰角 θ_{tp} 等四个子项,结合激光引偏干扰过程中的激光制导威胁信息和漫反射靶板的朗伯反射特性,分析漫反射板假目标各布设要素的要求并给出量化约束关系式,为漫反射板假目标的应用提供理论指导。论文中,所有方位角的基准为真北向,俯仰角的基准为水平面。

2 半主动激光制导武器的来袭威胁信息

半主动激光制导武器的来袭威胁信息包括照射器信息和来袭弹体信息。激光引偏干扰是一种被动探测、主动干扰的光电对抗方式。影响引偏干扰效能的威胁因素主要包括来袭激光照射器的照射光束方位角 θ_{ma} 、照射光束俯仰角 θ_{mp} 、来袭弹体导引头的接收视场角 θ_{mv} 、开始激光导引时的弹体距被保护目标的距离 L_m 和来袭弹体的毁伤半径 R_m 等。其中来袭激光的照射方位角 θ_{ma} 和俯仰角 θ_{mp} 影响着假目标布设的方位角 θ_{ta} 、朝向角 θ_{tp} 和 θ_{tw} ,来袭弹体的接收视场角 θ_{mv} 、开始激光导引时的弹体距离 L_m 和毁伤半径 R_m 影响着假目标布设的距离 ρ_t 。

3 漫反射板的反射特性、引偏空域与防护角

激光引偏干扰系统中配备的漫反射板假目标一般采用铝板喷砂钝化工艺制作,对 $1.06\ \mu\text{m}$ 的激光的反射率不低于0.6,反射特性符合朗伯余弦定律。因此,无论干扰激光以何种角度入射到漫反射板上,反射板在各个方向上的辐射亮度相同,辐射强度随各方向与反射面法线之间夹角的余弦而变化。

在引偏干扰过程中,漫反射假目标将入射的干扰激光反射到指定的空域内形成欺骗信号,以诱骗来袭的激光弹体的导引系统,使其偏离预定的攻击目标。这里的指定空域指的是有效引偏空域,有效与否主要是根据假目标反射光与被保护目标反射光

的相关性和强度差异来区分的,只有两种反射光相关且假目标反射光强度大于某一阈值时才能实施有效的干扰。在不考虑地形地物阻挡的情况下,漫反射板的反射空域应该是半球空间。但随着反射方向与反射面法线之间夹角的增大,反射光强度按余弦规律减小,当这一夹角增大到某一值时,反射光强度刚好能够对来袭激光导引头形成有效干扰,对应的夹角就称为防护角 θ_{ts} 。以漫反射板上的照射光斑为顶点、反射面法线为旋转对称轴、防护角 θ_{ts} 为边界形成的圆锥空间即为有效引偏空域。

4 漫反射假目标板的布设位置

漫反射假目标板的位置是指相对于被保护目标的位置 $\vec{\rho}_t(\rho_t, \theta_{ta})$,它由距离参数 ρ_t 和方位角参数 θ_{ta} 决定,如图1所示。确定假目标布设位置的基本要求是既能有效地引偏来袭弹体,又能保证被保护目标和引偏干扰系统自身的安全。为了能有效地引偏来袭弹体,被保护目标和假目标必须在来袭弹体开始激光导引时均位于导引头视场内,即假目标布设的位置与来袭弹体的接收视场角 θ_{mv} 、开始激光导引时的弹体距离 L_m 和毁伤半径 R_m 有关;同时,为了保证被保护目标和引偏干扰系统自身的安全,假目标离被保护目标和引偏干扰系统中任一其他子设备的距离需大于弹体的毁伤半径,即假目标布设的位置还与引偏干扰系统中其他子设备的布设位置 $\vec{r}_n$ 有关。综合两方面的要求,假目标布设的距离参数 ρ_t 需满足条件:

$$\begin{cases} R_m < \rho_t < L_m \theta_{mv} \\ |\vec{\rho}_t \vec{r}_n| > R_m \end{cases} \quad (1)$$

式中, $|\vec{\rho}_t \vec{r}_n|$ 表示向量 $\vec{\rho}_t \vec{r}_n$ 的大小。

另外,假目标在引偏来袭弹体的过程中,为避免引偏弹道曲率半径过小致使引偏失败,假目标的布设方位一般应位于来袭弹体方位的镜像方向附近,来袭弹体方位通常由激光照射器的方位角 θ_{ma} 近似。结合方位角的取值区间范围 $[0^\circ, 360^\circ)$,假目标布设的方位角参数 θ_{ta} 需满足条件:

$$\theta_{ta} \approx \begin{cases} \theta_{ma} + 180^\circ, & \theta_{ma} < 180^\circ \\ \theta_{ma} - 180^\circ, & \theta_{ma} \geq 180^\circ \end{cases} \quad (2)$$

假定某引偏干扰系统由一块漫反射板假目标、一台激光告警器、一台干扰激光器组成,则在某来袭激光威胁条件下,假目标布设位置的态势图如图1所示。

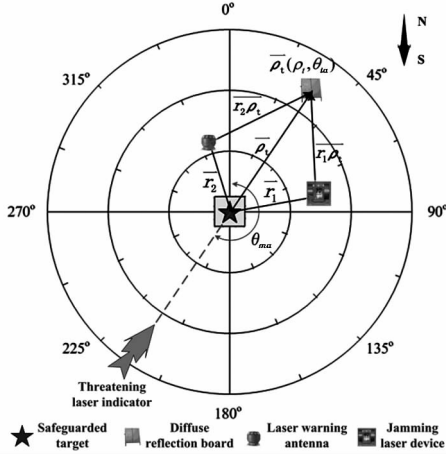


图1 漫反射板假目标布设态势示意图

Fig. 1 state sketch map of layout for
diffuse reflection board

实际应用过程中,来袭弹体参数 θ_{mv} , L_m 和 R_m 由情报数据给出,或取经验值;来袭弹体方位由远方空情给出,或直接近似取来袭激光照射器的照射光束方位角 θ_{ma} ,此角度可直接由激光告警器探测到;引偏系统中其他子设备的布设位置 $\vec{r}_n$ 则直接由具有测距测向功能的激光测距机度量出。在这些参数都确定的情况下,假目标的布设位置 $\vec{\rho}_i(\rho_i, \theta_{ma})$ 就可由式(1)、式(2)得到,符合布设要求的假目标位置通常为一个局部区域。

5 漫反射板假目标的朝向

漫反射假目标的朝向 $\vec{\theta}_i(\theta_{tw}, \theta_{tp})$ 即反射面法线方向,它影响着假目标的有效引偏空间分布,由来袭激光照射器的照射方位角 θ_{ma} 、俯仰角 θ_{mp} 和漫反射板的防护角 θ_{ts} 决定。

漫反射假目标朝向 $\vec{\theta}_i$ 的理想方向为弹体来袭方向,实际上弹体来袭方向只需要在假目标的有效引偏空域内即可。考虑到漫反射板的有一定的防护角 θ_{ts} ,其朝向方位角 θ_{tw} 的布设范围的约束条件为(弹体来袭方位角近似取为 θ_{ma}):

$$\theta_{ma} - \theta_{ts} < \theta_{tw} < \theta_{ma} + \theta_{ts} \quad (3)$$

同理,朝向俯仰角 θ_{mp} 的布设范围需满足(弹体来袭俯仰角近似取为 θ_{mp}):

$$\theta_{mp} - \theta_{ts} < \theta_{tp} < \theta_{mp} + \theta_{ts} \quad (4)$$

同时,确定漫反射板假目标布设俯仰角时,还需考虑到地形和实际架设问题,假定布设位置为水平地面,为了稳定架设,其朝向俯仰角 θ_{tp} 的可能范围在区间 $(0^\circ, 90^\circ)$ 内, 0° 对应反射面垂直于地面, 90° 对应反射面平行于地面。综合两方面的因素,漫反

射板假目标朝向俯仰角 θ_{tp} 的布设范围为:

$$\max(\theta_{mp} - \theta_{ts}, 0^\circ) < \theta_{tp} < \min(\theta_{mp} + \theta_{ts}, 90^\circ) \quad (5)$$

从式(3)~式(5)可以看出,漫反射板假目标的朝向布设范围是一个以弹体来袭方向为参考轴的空域,此空域受漫反射板防护角和地形地物影响。

实际应用过程中,为方便使用,通常取漫反射靶板与水平地面的锐角夹角 θ'_{tp} 为调整控制对象, θ'_{tp} 与 θ_{tp} 互为余角关系,此时式(5)变为:

$$\max(90^\circ - \theta_{mp} - \theta_{ts}, 0^\circ) < \theta'_{tp} < \min(90^\circ + \theta_{ts} - \theta_{mp}, 90^\circ) \quad (6)$$

若 θ_{mp} 取 $(0^\circ, 90^\circ)$ 区间内的任意值, θ_{ts} 取 60° , 则俯仰角 θ'_{tp} 布设范围为 $30^\circ < \theta'_{tp} < 60^\circ$, 这说明漫反射假目标布设的俯仰角条件是比较容易满足的。实际布设过程中,因事先难以获知来袭威胁的准确信息,通常按这种情况简化处理。

6 多个假目标的布设

在只有一批来袭激光威胁的情况下,若事先获知威胁信息,按上述漫反射板假目标的布设方法,布设一个假目标就能达到引偏来袭半主动激光制导武器的目的。如果来袭方位未知或仅仅知道来袭方位的大致范围且此范围大于假目标的防护角度时,就需要布设多个假目标。

多个假目标布设的基本要求是:合成的有效引偏空域包含可能来袭的威胁方向。为便于分析,在单个反射板布设位置和朝向满足前述条件的情况下,仅考虑反射板朝向方位应进一步满足的条件。

不妨假定来袭激光威胁的方位在某一角度范围内,且此角度范围大于一倍的假目标防护角度但小于两倍的假目标防护角度,在此条件下来分析假目标的布设方法。

首先,根据来袭威胁角度范围,确定需要使用两块漫反射板,每一漫反射板在布设时必须先满足前面提出的布设位置和朝向条件。

其次,两反射板在方位上需合成连续的有效引偏空域,两反射板朝向方位角应满足:

$$|\theta_{tw1} - \theta_{tw2}| < 2\theta_{ts} \quad (7)$$

最终,两漫反射板合成的有效引偏空域的方位角应包含来袭威胁的方位角,即:

$$\theta_{ma} \in (\min(\theta_{tw1}, \theta_{tw2}) - \theta_{ts}, \max(\theta_{tw1}, \theta_{tw2}) + \theta_{ts}) \quad (8)$$

当来袭激光威胁的方位的角度范围更大或全方位来袭(未知方位)时,布设方法也基本相同,只是使用的漫反射板多一些而已。此时式(7)表示相邻

的两反射板朝向方位应满足的条件,式(8)表示可能的来袭方位角应包含在多块漫反射板合成的有效引偏空间方位角区间内。

7 结论

论文研究了常用漫反射板假目标在激光引偏对抗中的布设方法。结合半主动激光制导武器的来袭威胁信息和漫反射板的反射特性,分析得出如下结论:

(1)漫反射假目标板的相对于被保护目标的布设位置 $\vec{\rho}_t(\rho_t, \theta_{ta})$ 的约束条件为:

$$\begin{cases} R_m < \rho_t < L_m \theta_{mp} \\ \vec{\rho}_t \cdot \vec{r}_n > R_m \\ \theta_{ta} \approx \begin{cases} \theta_{ma} + 180^\circ, & \theta_{ma} < 180^\circ \\ \theta_{ma} - 180^\circ, & \theta_{ma} \geq 180^\circ \end{cases} \end{cases}$$

(2)漫反射假目标的朝向 $\vec{\theta}_t(\theta_{tw}, \theta_{tp})$ 的布设范围需满足:

$$\begin{aligned} \theta_{ma} - \theta_{ts} < \theta_{tw} < \theta_{ma} + \theta_{ts} \\ \max(\theta_{mp} - \theta_{ts}, 0^\circ) < \theta'_{tp} < \min(\theta_{mp} + \theta_{ts}, 90^\circ) \end{aligned}$$

(3)布设多个假目标布设的基本要求是合成的有效引偏空域包含可能来袭的威胁方向。其中布设两块漫反射板的具体要求为:

$$\theta_{ma} \in (\min(\theta_{tw1}, \theta_{tw2}) - \theta_{ts}, \max(\theta_{tw1}, \theta_{tw2}) + \theta_{ts})$$

上述公式中符号的涵义参考论文正文部分。

漫反射板假目标在激光引偏对抗中的布设方法也适用于其他自然地物激光假目标,但对自然地物而言,因反射特性不同导致防护角度不同且防护角与干扰激光的入射角度有关,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Wei Wenjian. Key techniques and system study on HWIL simulation for laser guidance and electro-optical countermeasures [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010. (in Chinese)
魏文俭. 激光制导光电对抗半实物仿真关键技术与系统研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2010.
- [2] Tong Zhongcheng, Sun Xiaoquan, Han Chunlin, et al. Modeling and simulation of laser jam for laser-guiding weapon [J]. Journal of System Simulation, 2007, 19 (22): 5115 - 5119. (in Chinese)
童忠诚, 孙晓泉, 韩春林, 等. 激光制导武器有源干扰的建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2007, 19 (22): 5115 - 5119.
- [3] Li Hua. Key techniques research on laser guidance information fields simulation [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2010. (in Chinese)
李华. 激光制导信息场仿真关键技术研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2010.
- [4] Fu Xiaoning, Wang Bingjian, Wang Di. Electro-optic ranging & countermeasure [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2012, 266. (in Chinese)
付小宁, 王炳健, 王荻. 光电定位与光电对抗[M]. 北京:电子工业出版社, 2012, 266.
- [5] Li Shuanggang, Nie Jinsong, Li Hua, et al. Assessment of effectiveness on angle deceptive jamming to semi-active laser-guided weapon [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40 (1): 41 - 45. (in Chinese)
李双刚, 聂劲松, 李化, 等. 对激光半主动制导武器的角度欺骗干扰的效能评估[J]. 红外与激光工程, 2011, 40 (1): 41 - 45.
- [6] Xu Daisheng, Wang Jianyu. Interactional effect between laser cheating jammer and laser guidance system [J]. J. Infrared Millim. Waves, 2006, 25 (1): 77 - 80. (in Chinese)
徐代升, 王建宇. 激光欺骗式干扰与激光制导系统相互作用效应研究[J]. 红外与毫米波学报, 2006, 25 (1): 77 - 80.
- [7] Nie Jinsong, Li Zengbo. Research on protection zone of spherical false targets in laser angle deception jamming [J]. Electro-Optical Technology Application, 2004, 19 (5): 11 - 16. (in Chinese)
聂劲松, 李增波. 激光角度欺骗干扰中球形假目标的防护区域研究[J]. 光电技术应用, 2004, 19 (5): 11 - 16.
- [8] Zhang Jinsheng, Wang Shicheng, Xu Pin, et al. Development and demarcating of diffuse reflector of laser guided weapon simulation system [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2005, 16 (4): 421 - 424. (in Chinese)
张金生, 王仕成, 徐萍, 等. 激光制导武器仿真系统漫反射屏研制及标定[J]. 光电子·激光, 2005, 16 (4): 421 - 424.
- [9] Chen Wei, Gong Chikun, Lu Jun, et al. Selection of laser angle deceptive interference to natural objects [J]. Infrared and Laser Engineering, 2012, 41 (2): 452 - 456. (in Chinese)
陈蔚, 龚赤坤, 陆君, 等. 激光角度欺骗干扰设备对自然地物激光假目标的设置[J]. 红外与激光工程, 2012, 41 (2): 452 - 456.