

# 激光告警装置的布设及其评价方法研究

孙春生, 张晓晖, 张爽

(海军工程大学兵器工程系, 湖北 武汉 430033)

**摘要:** 为了提高激光告警装置在激光对抗中的作战效能, 研究了激光告警装置的布设及布设效能的评价方法。首先根据激光告警装置的工作原理、设备性能和战术使用原则, 将激光告警装置的布设要素分解为警戒区域、警戒空间、基准方位、布设数量和水平状态等5个子项, 分析每一子项的布设要求, 建立对应的布设效果评分模型; 然后采用层次分析法确定各要素的权重, 进而得到告警装置布设效果的总体评价模型; 最后给出了布设及布设效能评价方法的应用实例。提出的布设效能评价方法能够用于激光告警装置防护效能的自动评估, 已应用于激光对抗系统的虚拟训练系统中。

**关键词:** 激光对抗; 激光告警装置; 布设评价; 评分模型; 层次分析法

**中图分类号:** TN977 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2014.04.015

## Research on the layout and evaluation of laser warning receiver

SUN Chun-sheng, ZHANG Xiao-hui, ZHANG Shuang

(Department of Weaponry Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** In order to improve the effectiveness of laser warning receiver in laser countermeasure, the layout and evaluation of laser warning receiver are researched. Firstly, the layout elements of laser warning receiver are divided into warning region, warning space, fiducial orientation, layout quantity and horizontal stance based on principle, capability and tactical application of laser warning receiver. The layout requirement for every sub-element is analyzed, and the corresponding evaluation models for layout effectiveness are further established. Afterwards, the index weights of every sub-element are confirmed by using analytic hierarchy process. Furthermore the holistic evaluation model for layout of laser warning receiver is obtained. Lastly, the applied example for the layout and its evaluation of laser warning receiver is also provided. The presented effectiveness evaluation method can be used for automatic evaluation of laser warning receiver layout, and has been used for simulation drilling system of laser countermeasure.

**Key words:** laser countermeasure; laser warning receiver; layout evaluation; graded model; analytic hierarchy process

### 1 引言

随着激光技术的发展, 激光测距、激光制导和高能激光武器等激光装备以其抗干扰能力强、效费比高等优点在现代战争中逐步得到了广泛的应用。为对抗激光装备、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。激光告警作为激光对抗的首要步骤, 是实施有效激光干扰的前提。激光告警装置的作战效能是由它的自身性能和布设方法共同决定的。因此研究如何提高激光告警装置的性能和

布设方法具有重要意义。

目前关于激光告警技术及装置的研究主要侧重于激光辐射源的定位定向方法<sup>[1-5]</sup>, 新型激光告警装置的设计<sup>[6-8]</sup>, 激光告警装置探测能力的分析与改善<sup>[9-12]</sup>等。这些研究基本上都属于如何评价或提高激光告警装置性能的范畴。而关于激光告警装

**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:** 2013-08-12

置布设方法研究的文献很少报道。

激光告警装置用于探测来袭的激光威胁并向控制中心发送威胁信息。激光告警装置布设的总体要求是能够探测到从任何可能方向来袭的激光威胁。对机载和车(舰)载激光告警装置,通常由多个告警装置布设在飞机和车辆(舰船)的合适位置处,分别构成 $4\pi$ 立体角全球警戒空间和略大于 $2\pi$ 立体角的半球警戒空间。机载和车(舰)载激光告警装置属无人值守设备,使用过程中无需操作人员参与布设;但用于地面要地防御的激光对抗系统,激光告警装置在使用时需由操作人员布设在被保护目标的周围,用于警戒来袭的激光威胁。本文以地面激光告警装置为研究对象,将激光告警装置的布设要素分解为警戒区域、警戒空间、基准方位、布设数量和水平状态等5个子项。分析每一子项的布设要求,建立评价每一子项布设效果的评分模型,提出一种层次分析法与解析评分法相结合的布设效能评价方法,并给出了应用实例。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 告警装置的布设要素及其评分模型

单个地面激光告警装置的有效警戒空间通常为略大于 $2\pi$ 立体角的半球空间,半球空间的半径为告警装置的散射截获半径或离轴探测距离。当用于要地防御时,通常需要多个告警装置共同完成对可能来袭激光威胁的警戒。为量化评价告警装置的布设效果,根据激光告警装置的工作原理、设备性能和战术使用原则,将激光告警装置的布设要素分解为警戒区域、警戒空间、基准方位、布设数量和水平状态等5个子项,建立每一子项的评分模型。为便于考核评估,所有要素的评分采用百分制。

### 2.1 警戒区域及其评分模型

警戒区域指无遮挡条件下所有布设告警装置合成警戒空间在水平地面上的投影区域,它与告警装置的离轴探测距离、布设数量和布设位置有关。合理的布设要求告警装置的警戒区域完全覆盖被保护目标的占用区域。

实际布设的评分,可以用告警装置的警戒区域 $S$ 对被保护目标占用区域 $T$ 的覆盖率来表示警戒区域的布设得分 $V_1$ ,即:

$$V_1 = \frac{S \cap T}{T} \times 100 \quad (1)$$

式中, $S$ 表示警戒区域面积; $T$ 表示被保护目标占用区域面积; $S \cap T$ 表示 $S$ 与 $T$ 之间重叠区域的面积。

### 2.2 警戒空间及其评分模型

警戒空间指所有布设告警装置合成的有效警戒

空间,它与告警装置布设数量和布设位置有关。合理的布设要求告警装置的警戒空间为 $2\pi$ 半球空间,但考虑到被保护目标对某些角度空间内来袭激光威胁的遮挡,实际的警戒空间通常存在遮蔽空间而达不到半球空间。

实际布设的评分,可以用告警装置合成的有效警戒空间在 $2\pi$ 半球空间中的占有率来表示警戒空间的布设得分 $V_2$ 。以在某保护目标附近布设一个告警装置为例,不妨假定被保护目标的平均有效高度为 $H_1$ 、平均有效宽度为 $W_1$ 、告警装置离被保护目标的距离为 $D_1$ 、告警装置自身高度为 $H_2$ ,则警戒空间的布设得分 $V_2$ 为:

$$V_2 = \frac{2\pi - 2 \cdot \arctan\left(\frac{W_1}{2D_1}\right) \int_0^{\arctan\left(\frac{H_1-H_2}{D_1}\right)} \sin\theta \cdot d\theta}{2\pi} \times 100 \quad (2)$$

式中,分子部分的第二项为告警装置的遮蔽空间,它的方位遮蔽角的中心线为告警装置与被保护目标中心的连线。

计算多个告警装置合成的警戒空间时,为便于合成,可将每一个告警装置空间角的基准点(原点)移至被保护目标的中心。对有一定高度的被保护目标,一般在被保护目标的两侧同时布设告警装置可实现警戒空间的互补从而避免合成遮蔽角存在。

### 2.3 基准方位及其评分模型

基准方位指告警装置布设时是否调整了北向基准,及调整北向基准的准确性。合理的布设要求基准方位为北向 $0^\circ$ ,以便为激光干扰装备提供正确的威胁方位信息。

基准方位偏离北向方位越远,告警装置探测到的威胁方位偏差越大。基准方位通常在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的方位内取值,当基准方位为 $180^\circ$ 时,完全反向,偏差最大,此后随着角度的增大,在方位上离北向 $0^\circ$ 方向反而会越靠近,接近 $360^\circ$ 时,基本没影响。假定某告警装置的基准方位为 $\theta_a$ ,则此基准方位的评分 $V_3$ 计算模型为:

$$V_3 = \begin{cases} -\frac{5}{9}\theta_a + 100, & \theta_a \in [0, 180) \\ \frac{5}{9}\theta_a - 100, & \theta_a \in [180, 360) \end{cases} \quad (3)$$

当布设了多个告警装置时,取它们的算术平均值为基准方位 $V_3$ 的最终得分。

### 2.4 布设数量及其评分模型

布设数量指实际使用的告警装置数量,从对抗资

源节约和战备展开时间尽可能快的角度考虑,合理的布设要求使用尽可能少的告警装置来完成警戒任务。因此一旦选定保护目标后,根据警戒区域和警戒空间的要求,需要使用的最佳告警装置数量就决定了。

告警装置布设数量的评分是相对于需要使用的最佳告警装置数量来说的。少使用告警装置时,必然会影响警戒区域和警戒空间的覆盖率,在  $V_1$  和  $V_2$  中已有考虑,因此这里主要考虑冗余使用告警装置对抗资源和反应时间的负面影响。假定最佳告警装置数量使用数量为  $N_1$ ,实际使用的告警装置数量为  $N_2$ ,告警装置布设数量的评分  $V_4$  计算模型为:

$$V_4 = \min(100, \frac{N_1}{N_2} \times 100) \quad (4)$$

### 2.5 水平状态及其评分模型

水平状态指告警装置布设的水平程度。合理的布设要求水平基准为  $0^\circ$ 。

告警装置水平状决定着探测到的来袭激光束俯仰角的准确度。对水平地面布设的告警装置而言,其水平姿态角的最大可能取值范围为  $0^\circ \sim 90^\circ$ ,实际布设时的俯仰角应在  $0^\circ$  附近。不妨假定告警装置的水平姿态角(最大俯仰角)为  $\theta_p$ ,则告警装置水平状态的评分  $V_5$  计算模型为:

$$V_5 = -\frac{10}{9}\theta_p + 100 \quad (5)$$

当布设了多个告警装置时,取它们的算术平均值为水平状态  $V_5$  的最终得分。

## 3 告警装置布设效果的总体评价

建立了激光告警装置各布设要素的评分模型后,就可以利用实际布设参数和评分模型计算出各要素的得分。要获得布设效果的总体评价,还需确定各要素的权重。这里采用层次分析法来确定权重。

### 3.1 告警装置布设效果的评价模型

不妨设各布设要素对布设效果影响的权重为  $W_i$ ,则告警装置布设效果的总体评分模型  $V$  为:

$$V = \sum_{i=1}^5 W_i \cdot V_i \quad (6)$$

### 3.2 层次分析法确定权重

层次分析法本质上是一种决策思维方式,它把复杂的问题分解为各个组成因素,将这此因素按支配关系分组形成有序的递阶层次结构,通过两两比较的方式确定层次中诸因素的相对重要性。层次分析法适用于确定激光告警装置布设要素警戒区域( $B_1$ )、警戒空间( $B_2$ )、基准方位( $B_3$ )、布设数量( $B_4$ )和水平状态( $B_5$ )相对于总体布设效果( $A_1$ )的权重。在此采用

1~9 标度法,构造的判断矩阵如表 1 所示。

表 1 激光告警装置布设要素的判断矩阵

Tab. 1 Judge matrix of layout elements for laser warning receiver

$A_1$	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$
$B_1$	1	1	3	7	7
$B_2$	1	1	3	7	7
$B_3$	1/3	1/3	1	3	3
$B_4$	1/7	1/7	1/3	1	1
$B_5$	1/7	1/7	1/3	1	1

按照方根法权向量计算公式:

$$W_i = \frac{(\prod_{j=1}^n b_{ij})^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n (\prod_{j=1}^n b_{ij})^{\frac{1}{n}}} \quad (7)$$

计算得到激光告警装置布设要素的权向量为  $W = [0.3787, 0.3787, 0.1396, 0.0515, 0.0515]^T$ 。进一步计算得到判断矩阵一致性参数为  $CR = 0.0023 < 0.1$ ,满足一致性要求,说明构造的判断矩阵合理。

## 4 应用实例

具体应用时,首先明确被保护目标的特征参数,如占用区域大小,被保护目标的平均有效高度和宽度等;然后根据告警装置性能参数和布设要求确定合适的布设方案,包括确定所需告警装置的最佳数量、布设位置等。对某一布设方案的防护效能进行综合评估时,提取告警装置的布设信息代入式(1)~(5)即可计算出每一布设要素的实际得分;再将这些实际得分和布设要素的权向量代入式(6)就可得到这一布设方案的总体防护效能。

下面以对某指挥中心的警戒防护为例来进一步说明激光告警装置的布设及布设效果的评估。不妨假定此指挥中心的占用区域为  $80\text{ m} \times 40\text{ m}$ ,指挥中心的平均有效离地高度为  $20\text{ m}$ ,在图 1 中用黑白栅格区域表示;告警装置的有效警戒区域半径为  $60\text{ m}$ ,告警装置的离地高度为  $1\text{ m}$ ,在图 1 中用浅色圆形区域表示。根据被保护目标特征和告警装置的性能参数可确定最优的布设方案如图 1(a)所示,此时告警装置分布在指挥中心两侧,使用的告警器数量为 2,总体布设效果评价为 100 分。当只追求布设要素中的某项或某几项符合布设要求时,往往得不到最优评价,如图 1(b)所示。在图 1(b)中,只使用了一套告警装置,警戒区域满足最佳布设要求,但由于保护目标的遮挡,警戒空间没能覆盖  $2\pi$  半球空间。将告警器的布设参数和被保护目标参数带入式

(2),可计算出警戒空间的布设得分  $V_2$  为 65.68 分,同时假定基准方位、布设数量和水平状态的得分为 100 分,将这些信息带入式(6)即得此布设方案的总体防护效能为 87 分。当对目标特性和告警装置性能把握不准时,通常会出现多使用告警器的冗余布设情况,如图 1(c)所示。此时警戒区域和警戒空间符合布设要求,同时假定基准方位和水平状态也符合布设要求,由式(4)可计算出布设数量的评分  $V_4$  为 66.67 分,进一步由式(6)可得这一布设方案的总体防护效能为 98 分。

实际布设时会出现复杂得多的情况,按相同的方法可评估激光告警装置的总体布设效果。

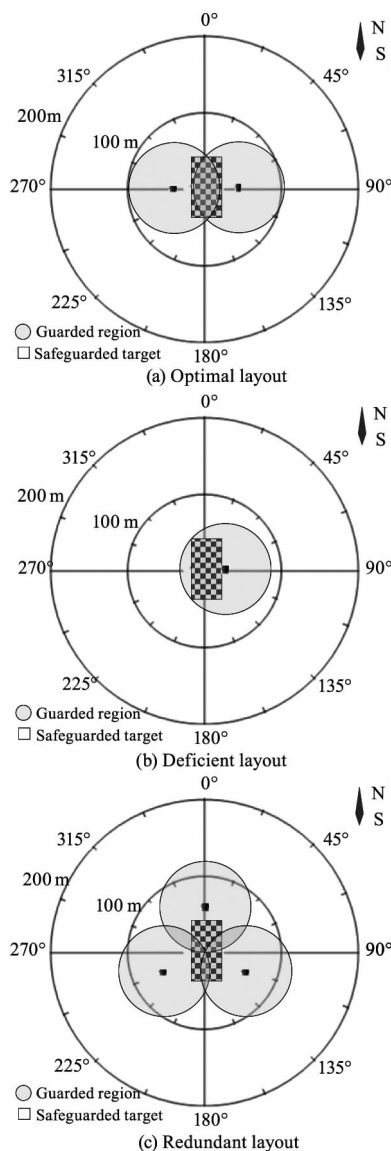


图1 激光告警装置的三种典型布设示意图

Fig.1 Sketch map of three typical layout for laser warning receiver

## 5 结论

将激光告警装置的布设要素分解为警戒区域、警戒空间、基准方位、布设数量和水平状态等5个子项,

分析了每一子项的布设要求,并提出了一种解析评分法与层次分析法相结合的布设效能评价方法。解析评分法通过建立各布设要素的评价模型,代入告警装置的布设信息和被保护目标信息即可获得各要素的布设得分,此方法克服了常用的专家评分法中主观因素和知识结构水平的影响。层次分析法可方便的用来确定各布设要素的权重。提出的布设效能评价方法能够用于激光告警装置防护效能的自动评估,已应用于激光对抗系统的虚拟训练系统中。

## 参考文献:

- [1] ZHANG Weian, WANG Long, REN Jianguo. Research on laser threat source location of omni-direction laser warning system based on scattering laser detection[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(1): 0115004-1 ~ 0115004-8. (in Chinese)  
张维安,王龙,任建国. 针对散射激光的全向激光告警系统激光威胁源定位技术研究[J]. 光学学报, 2012, 32(1): 0115004-1 ~ 0115004-8.
- [2] WANG Tingfeng, GUO jin. Method for measuring laser radiation source direction based on one-dimension array detector with non-imaging mode[J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(9): 1649-1652. (in Chinese)  
王挺峰,郭劲. 线阵非成像式激光辐射源定向方法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(9): 1649-1652.
- [3] LIU Zhichao, ZHANG Jilong, YAN He, et al. A method of projection measurement for laser direction[J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(8): 1518-1522. (in Chinese)  
刘智超,张记龙,阎鹤,等. 一种投影式激光方向测量方法[J]. 光学学报, 2008, 28(8): 1518-1522.
- [4] DONG Hongjun, ZHOU Zhongliang, WANG Long. Subpixel location algorithm for laser spot in fish-eye imaging laser warning system[J]. Chinese J. Laser, 2011, 38(9): 0917002-1 ~ 0917002-7. (in Chinese)  
董红军,周中亮,王龙. 鱼眼成像型激光告警系统光斑中心亚像元定位方法[J]. 中国激光, 2011, 38(9): 0917002-1 ~ 0917002-7.
- [5] HUANG Chenggong, WU Junhui, YAO Mei, et al. Laser threat orientation identification technology [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(4): 626-630. (in Chinese)  
黄成功,吴军辉,姚梅,等. 激光威胁源方向识别技术[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(4): 626-630.
- [6] LI Shiwei, ZHANG Jilong, WANG Zhibin, et al. Detecting and warning system design of lase attacking direction[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2011, 48: 060403-1 ~ 060403-4. (in Chinese)

- 李世伟,张记龙,王志斌,等. 激光来袭方向探测与告警系统的设计[J]. 激光与光电子学进展,2011,48:060403-1~060403-4.
- [7] WANG Long, WANG Yongzhong, SHEN Xueju, et al. Design of staring laser threat detection system based on michelson interferometer[J]. Chinese J. Laser, 2011, 38(3):0312003-1~0917002-5. (in Chinese)  
王龙,王永仲,沈学举,等. 基于迈克耳孙干涉仪的凝视型激光告警系统设计[J]. 中国激光,2011,38(3):0312003-1~0917002-5.
- [8] LANG Wenjie. Research on two-dimensional overlapping coding for detection of laser direction[J]. Acta Optica Sinica,2010,30(5):1374-1378. (in Chinese)  
郎文杰. 基于二维交叠掩膜编码的全方向激光方向探测应用研究[J]. 光学学报,2010,30(5):1374-1378.
- [9] JU Yangfeng, LIANG Dongming, XUE Jianguo, et al. Influence of threat sources parameters on laser scatter intercept radius[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(4):426-429. (in Chinese)  
巨养锋,梁冬明,薛建国,等. 威胁源参数对激光散射截获半径的影响[J]. 激光与红外,2011,41(4):426-429.
- [10] WANG Jianfeng, Sun Jinghua. Research in the digitized system of signal processing for laser warning[J]. Laser Journal,2011,32(3):6-9. (in Chinese)  
王剑峰,孙晶华. 提高激光告警系统信噪比的研究[J]. 激光杂志,2011,32(3):6-9.
- [11] YING Jiaju, WANG Yongzhong, HE Yongqiang, et al. Analysis of detective sensitivity for omni-directional laser warning system[J]. Infrared and Laser Engineering, 2008,37(6):1038-1042. (in Chinese)  
应家驹,王永仲,何永强,等. 全向激光告警系统的探测灵敏度分析[J]. 红外与激光工程,2008,37(6):1038-1042.
- [12] LI Shiwei, ZHANG Jilong, HAO Jian, et al. Elimination of the interference of bias light for laser warning systems[J]. Laser Technology, 2012, 36(5):642-644. (in Chinese)  
李世伟,张记龙,郝建,等. 激光告警装置背景光干扰消除方法及实现[J]. 激光技术, 2012, 36(5):642-644.