

激光威胁源告警定向技术研究

张景旭

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130021)

摘要:分析了来自战场的激光威胁源,主要有两方面:一是激光战术侦察,一是激光武器和激光制导武器。论述了激光辐射探测原理,其中包括激光辐射截获接收途径、探测原理分类、适于激光辐射探测光学系统的特点及用于激光辐射探测的敏感元件。深入分析了激光威胁源告警定向技术,并对两种适用的告警方案给予详细介绍。

关键词:激光探测; 激光告警; 定向

中图分类号:TN977 **文献标识码:**A

1 引言

在现代军事装备和新型武器系统中,激光高能辐射武器、激光制导武器、激光侦察、探测、跟踪设备的产生和发展,使得现代战争中光电对抗与反对抗成为战争的重要一环,成为战争胜负的决定因素之一。现代战争特别是战争之初,从某种意义上讲是光电高新技术的战争。光电对抗系统的作用就是要侦察、探测、跟踪敌方光电设备、光电制导武器、激光辐射武器,确定其位置、检测其特性、判明威胁程度、发出报警信号,同时,采用相应的对抗措施,或规避、或干扰、或引导自身武器系统实施拦截摧毁。以激光与红外光为先导的光电对抗技术,起步早发展快技术成熟,成为光电对抗主导技术,其产品已大量装备部队,并在战争中发挥了重大作用。激光对抗是光电对抗的一个重要分支,是电子战中不可缺少的重要一环。一般而言,激光对抗系统由两大部分组成:第一部分为探测告警部分,第二部分是综合干扰部分。激光辐射探测是激光对抗系统完成战术使命的关键,只有有效探测到激光威胁源才能实现准确的激光告警。随着战场上各种激光威胁源的增多,势必也要促进对激光威胁源告警技术的深入研究。^[1]

2 战术中激光威胁源分析

战场中来自激光的威胁源主要有两方面:一

是激光战术侦察,一是激光武器和激光制导武器。激光战术侦察和激光武器系统常常配合使用。自1960年激光诞生以来,美国于1963年就开始将激光用于军事侦察技术中,发明了激光相机,为夜间侦察提供了崭新的手段。随后,机载和地面的多种激光侦察设备投入实战使用,并在技术上不断得到改进和完善。以后又扩展至空间的航天侦察、监视与警戒,开拓了激光遥感技术。在战术侦察手段方面发展了激光测距、激光指示、激光雷达、激光成像、激光探潜等技术,在对地面(及水下)目标的识别、侦察、监视和分类等侦察情报装备中发挥了重大作用。作为攻击型的激光威胁源大致分为两类:一类是直接用作武器的强激光器件,这些激光器的能量极高,可用作激光致盲、激光防空等实战。它们用较高能量的激光束攻击目标,使人眼、各种光电装置致盲,或直接破坏武器装备。另一类是用作火控系统的能量较低的激光器件,如激光测距仪、激光目标指示器、激光驾束制导等。其中最具攻击力的激光制导炸弹和激光制导导弹。如美国的“海尔法”“幼畜”、法国的AS30L激光制导导弹及美国的127mm、203mm激光制导炸弹。战场上一旦发现被激光照射,预示着进攻武器可能即将到来,因而,激光侦察告警装置的研制是非常重要的。^[2-3]

3 激光辐射探测原理

众所周知,激光辐射是一种具有高亮度、高相干性、高单色性和高方向性的特殊光辐射。因而,对激光辐射的截获和探测也要围绕激光的这些特性来研究。激光辐射的截获接收大致有五种可能的途径^[4]:主瓣能的直接截获接收;旁瓣能的截获接收;散射辐射能的截获接收;漫反射辐射能的截获接收及复合截获接收。不同的截获方式要有不同的探测原理。一般来说,激光辐射探测要由光学系统和光电探测器件相配合使用来实现。由于光电对抗装备对象、使用环境和战术要求的不同,因而对激光辐射探测光学系统的形式、探测元件的类型及战术技术指标的要求亦不相同。从而派生出各种不同的探测原理和结构形式。根据工作原理的不同,激光探测可分为光谱识别型和相干识别型。根据探测元件的不同,光谱识别型又可分为光电二极管阵列型、光纤传输型和成像型。相干识别是利用激光固有的相干性来识别激光,根据使用的干涉仪不同可分为法布里~帕罗型和迈克尔逊型。激光辐射探测光学系统的作用是灵敏地截获警戒区域内激光辐射能,并将其均匀地会聚在光电探测器的光敏靶面上,实现光电信号转变。适于激光辐射探测的光学系统有如下特点:

(1) 为了适应宽光谱范围,辐射探测光学系统宜采用反射式或折反射式。

(2) 由于激光的高度方向性,对激光束来说其接收光学系统的视场可以很小,因而轴外象差可以不必考虑。由于激光的单色性,所以在多数情况下只要求满足消球差和正弦条件。多数激光辐射探测光学系统为大相对口径系统。

(3) 激光辐射信号重频低,甚至在激光测距仪之类的战术使用中,一次战术行动可能只辐射一次激光脉冲,因此就要求激光探测光学系统必须是凝视型的,并且,具有较宽的动态范围和宽带宽响应,以便获得较高的截获概率。

利用广角远心鱼眼透镜和 CCD 摄像器件构成凝视型成像探测系统。每一种基本激光辐射探测光学系统与双向扫描系统组合都可以成为扫描型激光辐射探测系统。由凝视型和扫描型相结合可以构成凝扫型激光辐射探测光学系统。目前适于激光探测的敏感元件因波长不同有如下几种: $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 波长可选用硅探测器; $0.4 \sim 1.8 \mu\text{m}$ 波长可选用锗探测器; $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 波长可选用 InSb ;

$10.6 \mu\text{m}$ 波长可选用 HgCdTe 。

4 激光威胁源告警定向技术

4.1 基本要求

激光探测告警的目的就是要探测激光源所在的位置、激光波长、重复频率和编码等。因而,理想的激光告警装置应满足以下几项要求:^[5]

(1) 探测器的视场较宽,能接收来自各个方向的激光照射;

(2) 探测器响应的光谱带宽足以覆盖敌方可能发射的全部激光波长;

(3) 能从阳光、闪光、电光弹及各种弹药爆炸产生的背景光辐射中分辨出激光脉冲,且对激光脉冲的漏探测率接近于零。

(4) 能精确测定激光威胁源的方位,判明激光束的时间特性,同时测出激光波长和强度。

(5) 系统的探测距离大于 $10 \sim 15 \text{km}$,反应时间短于 5s ,虚警率接近于零。

(6) 体积小、重量轻、结构紧凑、价格便宜。

传统的激光告警方法均是针对某一个或某几个波长的激光威胁源进行告警,这与当前可装备部队的激光器种类是分不开的。应用最多的是波长为 $1.06 \mu\text{m}$ 的 YAG 脉冲激光器, $0.53 \mu\text{m}$ 波长的 YAG 倍频激光器及 $10.6 \mu\text{m}$ 的 TEA CO_2 激光器。最近资料显示,波长为 $1.54 \mu\text{m}$, $3.8 \mu\text{m}$ 的激光器也开始装备部队,进入实用阶段。随着应用于战场的激光器的发展,可调谐激光器将越来越多地应用于战场,激光告警也将向宽频带方向发展。

4.2 两种实用方案

4.2.1 CCD 型

CCD 型激光告警方案是用广角远心鱼眼透镜作为物镜,分光棱镜进行 $2 \sim 4$ 波段分光,并用 PIN 及 CCD 面阵元件进行接收成像而构成的系统。该系统通过分光可实现 $0.4 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 四波段激光威胁源凝视告警。PIN 系统可在鱼眼镜头四周均布实现方位概略告警。由 CCD 系统成像可对激光威胁源精确定位。由于鱼眼透镜的视场可以覆盖半个球面,因此能接收来自半个球面的激光能量。当激光进入鱼眼透镜经光学系统成像在 CCD 面阵上后,在 CCD 面阵上产生的整帧信号用快速模—数转换器转换成数字形式,存储在数字存储器中。当包含背景信号的一帧写入存储器时,即与仅包含背景信号的前一帧用数字方法相

减, 帧减的结果作为一个表示位置(方位角和俯仰角)的亮点在显示器上显示出来。由于 CCD 面阵上单个光点的定位精度接近 $0.2\mu\text{m}$, 因此可以实现激光威胁源的精确定位, 精度可达 1mrad 。

4.2.2 热释电红外摄像系统

4.2.2.1 方案

该方案为对 $10.6\mu\text{m}$ 波段激光定向告警, 原理方案如图 1 所示。在两轴系统中安装一热释电摄像机可实现方位 $0\sim 360^\circ$; 俯仰 $0\sim 75^\circ$ 转动, 在机架上均匀布置 6 个 HgCdTe 红外探测器。由 HgCdTe 探测器实现方位概略告警, 由热释电摄像机在概略告警后对激光威胁源实现成像定位。由于热释电靶面上作为热图像的电荷分布是对应于靶面温度的时间变化率而不是温度的绝对值, 所以当 CO_2 脉冲激光入射到热释电靶面上时, 恰好可在其上产生温度的变化, 即每个光脉冲都能激起一次温度的升高降低过程, 因此可直接获得光斑图像。HgCdTe 探测器需加液氮制冷。该方案为凝扫型激光告警方案, 定向精度可达 2° 。

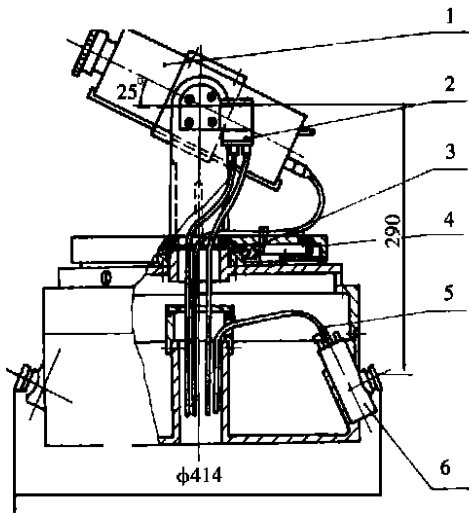


Fig. 1 $10.6\mu\text{m}$ laser warning and orienting device

1. pyroelectric camera
2. high-low soft shaft driving
3. vertical axial system
4. counting of opto-electronic switches
5. liquid nitrogen freezing system
6. HgCdTe detector

4.2.2.2 热释电摄像机探测距离估算

参考文献:

- [1] 李宏章. 光电对抗系统中激光辐射探测光学系统的研究[J]. 光电对抗与无源干扰, 1996, (4): 21- 51.
- [2] 张赛金. 激光威胁报警综述[J]. 现代防御技术, 1992, (5): 29- 34.
- [3] 王海先, 等. 舰用激光技术综述[J]. 舰船光学, 1994, (4): 1- 5.
- [4] 李宏章. 激光辐射的截获接收[J]. 舰船光学, 1994, (4): 30- 34.

目标温差为 ΔT 时, 在摄像管靶面上产生的辐照度为:

$$W_0 = 4H\delta\epsilon T_0^3\Delta T \quad (1)$$

其中: H — 镜头效率 δ — 斯特谱 ~ 波尔兹曼常数

ϵ — 目标平均发射率 T_0 — 环境温度

当 ΔT 很小时, W_0 即为热释电摄像机的探测灵敏度。

摄像管靶面上接收到的激光光斑辐照度为:

$$E_p = \frac{4\Phi}{\pi\theta^2 L^2} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot (D_l/D_p)^2 \quad (2)$$

其中:

Φ — 激光发射的辐射功率(W)

θ — 激光器平面发射角(rad)

L — 探测距离

τ_1 — 镜头透过率

τ_2 — 大气透过率

D_l — 镜头入瞳直径(cm)

D_p — 靶面上激光光斑直径

当 $E_p = W_0$ 时, 可认为 L 值为最大探测距离

即

$$L = \left[\frac{1}{\omega} \cdot \frac{4}{\pi} \frac{\Phi}{\theta} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot (D_l/D_p)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

5 发展趋势

(1) 探测和识别长波威胁, 能对付激光的有源干扰和假目标, 大力发展相干识别型和 CCD 凝视型激光告警技术。

(2) 激光告警与红外报警及雷达报警等组成整体化的报警系统, 对不同类型探测器测得的数据进行综合相关处理, 准确地了解威胁的性质, 以便采取更为有效的对抗措施, 提高飞机、车辆或舰船的生存能力。

(3) 向高精度测向定位方向发展。

(4) 激光告警与烟幕弹结合以对抗战术激光武器。烟幕是对抗致盲和防空战术激光武器的重要手段。

[5] 施德恒. 光谱识别型激光警戒技术和激光警戒装置的研究与发展现状[J]. 应用光学, 1994, 15(5): 6- 11.

Warning and orienting technology for threaten laser

ZHANG Jing-xu

(*Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China*)

Abstract: The threaten laser from battle field is summarized. It includes laser tactics reconnaissance, weapon or laser control and guide weapon. The principle of laser detection is discussed, which includes the way of laser capture and receive, the catalog of laser detection, the feature of laser detection optics system and laser detection sensor. Warning and orienting technology for threaten laser is analyzed and two useful designs of laser warning apparatus are described in detail.

Key words: laser detection; laser warning; orienting

作者简介: 张景旭(1964-), 男, 吉林省扶余人。1990年毕业于北京邮电学院电子精密机械专业(硕士), 副研究员, 现从事光电经纬仪及动载体视轴稳定平台的研制工作。