

文章编号:1007-1180(2011)03-0006-07

基于激光侦察告警器的激光告警技术研究

陈 健

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘 要: 对激光告警的内容和组成进行了阐述, 介绍了激光告警技术的体制与分类, 系统地论述了激光侦察告警器的系统组成及功能, 并对其主要技术性能和关键技术进行了分析。

关键词: 激光器; 告警波段; 探测距离; 探测概率

中图分类号: TN977 文献标识码: A

DOI: 10.3788/OMEI 20112803.0006

Research on Laser Alarm Technology based on Laser Reconnoiter Alarm Implement

CHEN Jian

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China)

Abstract: The content and composition of laser alarm were expatiated in this paper. The system and the classification of the laser alarm technology were introduced. The system composition and function of the laser alarm implement were discussed. And the main technology capability and key technology of the laser alarm implement were analyzed.

Keywords: lasers; alarm wave band; detection range; detection probability

1 引 言

激光侦察告警技术是在上世纪 60 年代以后,

随着激光器的发明以及激光在军事上的应用逐渐发展起来的。以激光接收技术为基础的激光侦察告警设备和各类激光侦察系统已经成为光电对抗侦察体

系中的一个重要的组成部分。

激光侦察告警设备的主要任务是截获、测量和识别敌方的激光威胁信号，通常用于高价值武器平台或固定目标的自卫防护。告警信息可直接用于引导平台采取战术机动或采取相应的对抗措施。激光侦察系统的主要任务是侦察目标的激光图像、速度与距离，重点用于战场光电对抗情报支援以及战场态势侦察与评估。目前战场上的主要激光威胁源类型有：激光制导武器、激光测距机、激光雷达、激光引信、激光跟踪器、以及激光致盲武器与战术/战略激光武器等。激光侦察告警设备所能获取的主要技术参数有：威胁源所在方位、到达时间、激光波长、脉冲宽度、重复频率、编码码型、功率（能量）等级、以及目标运动速度和激光图像等。通过侦察信息可以判断敌方激光威胁源的类型、数量、距离、以及威胁等级等^[1-5]。

目前，西方国家发展的激光侦察告警设备主要装备在高价值武器平台上，以坦克、舰艇和直升机为最多，其次是固定翼飞机。地面目标用激光告警器在技术上实现难度较机动平台低一些，但通常要求告警距离更远。激光成像侦察系统则主要用于直升机或无人机机载光电侦察系统、直升机激光防撞雷达、水下目标激光探测、以及空间/空中远程光电侦察体系中^[6-11]。

可以预计，随着未来战场上激光武器的威胁日益加剧，特别是当传统的雷达隐身与红外隐身技术更加广泛地应用于各种武器平台时，激光侦察探测技术将有可能成为传统目标探测技术的一种重要补充手段而受到更多的重视，并得到更为广泛的应用。

2 主要技术体制与分类

激光侦察告警技术可分为主动侦察与被动告警两种类型。其中，激光主动侦察是指设备自身发射激光信号照射和扫描目标，再通过接收来自目标反射的激光回波，实现目标探测与侦察；而被动激光告警系统本身不发射任何激光，仅靠接收来自对方

发射的激光信号实施探测与告警，目前在战场上使用最多的是最后一种被动激光告警设备^[12-18]。

激光侦察告警按其工作原理可分为探测、成像探测、相干探测和全息探测等几种不同的技术体制，按所用探测器类型可分为单元、列阵和面阵3种，以光纤作为探头的光纤激光告警器也可认为属于列阵型。下面就对不同类型的激光侦察告警器及相关技术作简要介绍。

2.1 光谱探测型激光告警器

光谱探测型激光告警器是所有激光告警设备中最为简单和最常用的一种，通常空间角度分辨率不高。该设备采用与被接收激光波长匹配的光电探测器，如PIN或HgCdTe等，配以窄带滤光片构成接收组件；以多元组合阵列的形式覆盖告警视场；采用多元相关技术降低虚警率。它可以检测激光信号的有无、大致方向、脉宽、重频、编码等威胁源参数，除了不能用于详细侦察多波长激光和对激光源成像，以及空间角度分辨率较低（通常为十几度）以外，可以满足绝大多数平台激光自卫告警的要求。

最简单的坦克载阵列激光侦察告警器通常由5个通道组成，每个通道中包含单元探测器、滤光片和信号处理电路，以及激光侦察告警显示控制器。为了覆盖半球空域，水平方向上均匀布设4个探测器，指向天顶一个探测器（图1）。每个探测器覆盖的视场为135°，这样就把整个半球空间分割成17个区域，每个区对应45°。当其中一路探测器接收到激光信号后，随即在显示控制器上显示灯光、音响和角度指示。如果2个或3个相邻通道的探测器同时

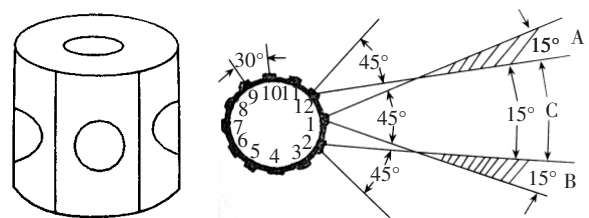


图1 光谱探测型激光告警器结构与空间角度分割示意图：
(a) 5个探测单元的告警器外形示意图；(b)水平面配置12个探测单元时方位分辨率示意图。

发出告警信号, 则可根据相邻探测器覆盖的重叠区确定激光源所在方向。增加探测器通道的数目可以进一步提高空间角度分辨率, 例如, 在水平方向上配置 12 路探测器就可以达到 15° 的方位分辨率。

2.2 成像探测型激光告警器

成像探测型激光告警器是当前激光侦察告警技术发展的主流, 也是获得高空间角度分辨率的主要技术体制。它利用与被接收激光波长匹配的多元面阵光电探测器, 如可见光 CCD 或中长波红外 CCD, 配以窄带滤光片构成接收单元; 以凝视型广角透镜或“鱼眼”光学成像接收系统覆盖告警视场; 采用帧间相关等处理技术消除背景干扰, 降低虚警率。图 2 给出了成像探测型激光告警器的光学系统示意图。该设备不仅保留了光谱探测的优点, 即检测激光信号的有无、脉宽、重频、编码以外, 还可在半球空域上获得很高的空间角度分辨率, 并对激光源或其背景成像。该类型激光告警器系统结构紧凑, 可靠性高, 更适合用于高价值机动平台的自卫。

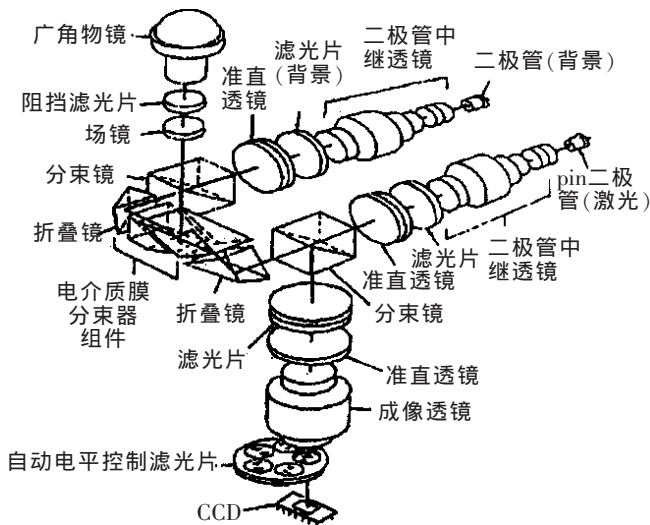


图2 成像型激光告警系统光学通道配置图

2.3 相关探测型激光侦察告警器

相关探测型激光侦察告警器利用激光相干性好的特点, 依据光的干涉原理而设计, 是一种低虚警率、高角度分辨率和可分辨激光波长的侦察告警体制, 但对入射光的平行度有较高要求, 目前常用的

有法布里-珀罗和迈克耳孙干涉仪两种典型的激光接收光学系统。相关型探测系统一般由多元面阵探测器作为接收器件, 其工作原理是: 入射的相干激光束经干涉仪后所成像为一圈圈的同心干涉条纹, 条纹的间距与入射激光波长相关, 干涉图相对中心的横向位移与入射激光的方向有关。因此, 通过检测干涉条纹的间隔与激光光斑在像面上的位置, 就可以得到激光的波长与所在方向。相干探测体制的最大优点是有益于抑制各种非相关光的干扰, 因此虚警率较低。但另一个方面, 由于光学接收系统复杂, 光学透过率低, 所以只有在需要侦察宽波段可调谐激光波长时才考虑采取这种探测体制。

图 3 给出了一个典型的迈克耳孙干涉仪用于激光相干识别的原理示意。该设备是由两个曲率半径为 R 的球面反射镜和一个分束器构成一套迈克耳孙干涉仪, 并与一个面阵 CCD 探测器组件共同组成一个激光侦察告警器。当激光束穿过迈克耳孙干涉仪时, 由于在两个通道上产生光程, 于是在 CCD 成像屏幕上产生一组干涉环。如果球面反射镜的作用相当于焦距为 $R/2$ 的透镜, 通过求解光程差与光线在 CCD 上位置的关系, 可知激光入射方向为: 方位角 $\theta_x = X_0/f$; 俯仰角 $\theta_y = Y_0/f$ 。为分析方便, 假定 CCD 处于两个反射镜焦点中间位置, 则第 N 个圆环的半径为:

$$r_N = \sqrt{2N\lambda/\varepsilon} \frac{\varepsilon}{2}$$

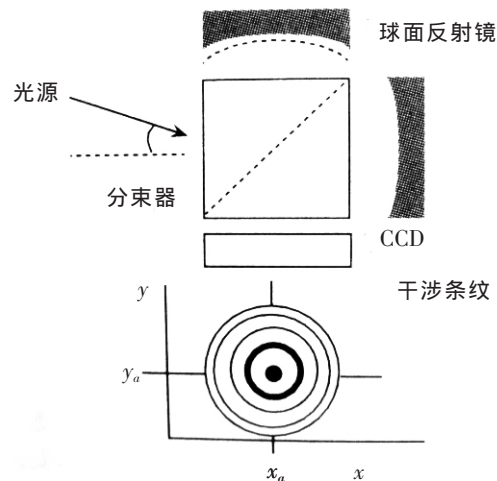


图3 相关探测型迈克耳孙干涉仪结构示意图

如果以 N 为横坐标, r^2N 为纵坐标, 对实验数据用最小二乘法进行拟合, 最后就可得出直线斜率为 $\lambda\epsilon/2$, 由此可以确定激光波长 λ 。通过检测干涉环的中心位置和各环位置, 即可确定激光入射角度和入射激光的波长。而任何非相干背景光因为不会产生干涉条纹, 所以可以有效抑制各种外界杂光的干扰。

2.4 全息探测型激光侦察告警器

全息探测型激光侦察告警器采用一套全息透镜代替相干探测中所用的干涉仪, 利用的是光的衍射原理。全息透镜将不同激光波长的焦点沿光轴分布, 焦点的位置成为激光波长的函数, 而在像面上会聚光斑的空间位置则与激光入射的角度相关。通过检测上述信息, 可以确定到达激光威胁信号的波长与角度。该体制的优点是光学系统紧凑、体积小、重量轻, 但制作工艺比较复杂, 衍射效率较低, 因此在使用上受到一定的限制。

2.5 光纤激光告警器

光纤激光告警器属于光谱阵列型探测体制, 它的优点是利用光纤的一端作为接收机的前端, 探测器与光纤的另一端相连, 由此使得暴露在外部的激光告警器探头十分小巧, 便于安装, 而且还有利于

降低散光的干扰。该设备最适合用于高速飞行目标的自卫防护。

2.6 激光主动侦察设备

激光主动侦察主要用于对战场光学设备的侦察与定位。目前战场上比较典型的光学设备有: 光学望远镜, 激光测距望远镜, 以及火炮/导弹等光学瞄准具。由于上述设备本身并不辐射或发射任何信息, 而且大多处于隐蔽地形或哨所内工作, 所以在战场上难以将其探测出来。

激光主动侦察的工作原理是: 对所侦察的战场区域发射高重频脉冲激光束, 照射目标区并逐点扫描, 当扫描到对方带有望远系统的光学设备时, 照射激光进入对方的接收系统, 到达位于焦平面附近的分划板或探测器上, 一部分入射激光将由其表面反射并沿原路返回, 由此造成光学系统比周围地物强几个数量级的反射回波, 这就是通常所说的光学系统存在的“猫眼效应”。通过对强回波信号的处理与识别, 即可从复杂背景中将光学设备检测出来, 同时对其所在位置进行精确定位。该技术最早是俄罗斯人提出来的, 现在已经有所装备。

表1 部分激光侦察告警设备的性能比较

类型	主要功能	优点	缺点	发展
法布里-珀罗相干型	测定激光来袭方向和波长	使用一个单元光电接收器, 虚警率低	需有机扫描装置, 不能截获单次激光短脉冲	AN/AVR-2 已装备美军直升飞机
迈克耳孙相干型	测定激光来袭方向和波长	无需机械扫描, 能截获单次激光短脉冲, 虚警率低	需二维阵列接收器, 如二维CCD	室内原理试验
光电二极管阵列型	可大致判断激光来袭方向 (方位分辨率几十度)	简单, 成本低, 灵敏度高	测向精度较低, 不能测激光波长	已装备部队
CCD摄像型	测定激光来袭方向, 并可显示图像	直接成像在CCD上, 探测灵敏度比相干型高, 图像直观	不能测定激光波长	已装备部队
光纤激光告警	通常方位分辨率45°	重量轻, 体积小, 工作波段0.3~1.8 μm , 抗干扰能力强	分体安装	已装备

3 激光侦察告警器组成与技术性能

激光侦察告警设备通常由激光光学接收系统、光电探测器、威胁信号综合处理器、告警信号图像

显示器、告警信号输出接口等几个单元组成, 如图4所示。

其中, 激光光学接收系统收集来自远方激光威胁源的信号, 并将其会聚到光电探测器上。探测器

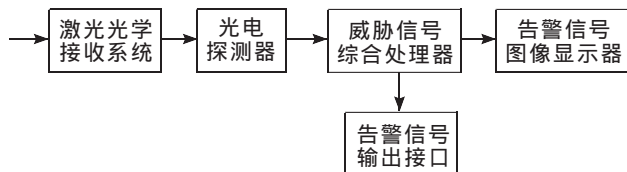


图4 激光侦察告警设备组成示意图

对所接收的信号进行光电转换，送到威胁信号综合处理器，得到入射激光波长、脉宽等一系列参数。检测参数一路送告警信号/图像显示器显示，另一路经告警信号输出接口送给需要此信息引导的光电干扰设备。

激光侦察告警器的主要技术性能包括以下几项参数：探测灵敏度、探测概率、虚警率、探测视场、空间角度分辨率、反映时间、显示方式等，其中最重要的技术指标是探测灵敏度、虚警率、探测视场与空间角度分辨率。在探测器参数和告警技术体制确定后，上述各参数之间既相互关联又彼此制约，在进行系统设计时，需要仔细地在各主要技术参数之间寻找最佳的匹配关系^[19-21]。

4 激光侦察告警器侦察参数

侦察告警的对象是敌方各种军用激光系统，在充分了解敌方激光威胁源的类型、波长与可能运用的平台基础上，建立完备的激光威胁源数据库，是保障战时快速、准确实施激光威胁告警与侦察的基本前提。以下就从几个不同的侧面对激光威胁源的类型与特点进行分析，以此做为激光侦察告警设备进行目标识别的参考依据。

4.1 激光波长

在对军用激光威胁源进行类型分析时，一个最重要参数就是激光波长。

其中， $1.06\ \mu\text{m}$ 的Nd:YAG， $1.54\ \mu\text{m}$ 的Nd:YAG拉曼频移（人眼安全）和 $10.6\ \mu\text{m}$ 的 CO_2 是目前战场上应用最为广泛的3种激光波长，分别用于激光测距机与激光制导武器； $1.315\ \mu\text{m}$ 的氧碘， $2.7\ \mu\text{m}$ 的HF，以及 $3.8\ \mu\text{m}$ 的DF化学激光器是目前正在发展的第一代激光武器的首选激光器；可见光-近红外和

$3\sim 5\ \mu\text{m}$ 中红外的可调谐激光，相对于固定激光波长的第一代激光致盲武器来说，可称之为第二代；其他如 $2\ \mu\text{m}$ 和 $5\sim 7\ \mu\text{m}$ 的激光应用正处于发展中，而 $14\sim 16\ \mu\text{m}$ 在目前还仅为一种潜在的军用激光源。

4.2 激光工作方式

通常作为高功率激光武器使用的多为连续激光；作为机动平台载激光测距、跟踪、探测、干扰与致盲武器使用的多为重频脉冲激光；作为激光引信、通信、敌我识别和直升机防撞使用的为准连续激光；采取脉冲编码形式的则多为激光制导武器或激光大气通信。

4.3 光功率等级

通常到达激光侦察告警设备上的激光能量（功率）等级在很大程度上反映着不同类型的激光军事应用，在直接截获激光威胁源的情况下，可将到达探测器上的激光功率密度与威胁源类型进行相关，一般超过 J/cm^2 可视为高能激光武器，达到 W/cm^2 的为激光干扰/致盲武器，小于上述量级的可视为其他用途的激光系统。

4.4 激光脉冲宽度

在脉冲激光的军事应用中，激光测距、跟踪和制导武器使用的激光脉冲宽度一般都 $<30\ \text{ns}$ ，最大不会超过 $100\ \text{ns}$ ；而作为激光干扰或武器系统使用的有宽脉冲激光，如 ms 量级；也有窄脉冲激光，如几十 ns 。

4.5 激光重复频率

单次脉冲发射的多为单兵、坦克或车载用激光测距机；几十赫兹的为激光跟踪和激光对抗武器；上千赫兹的为激光照明或高性能武器平台用激光跟踪器；接近准连续的则可能为激光通信、引信和驾束制导武器等。

4.6 激光持续时间

通过判断在战场上实时截获激光信号持续时间的长短，也可以增加对激光威胁判断的准确性，例如，大功率连续波激光武器一次发射的时间通常为 $3\sim 5\ \text{s}$ ；配合激光制导武器投放的激光目标指示信号，除为编码脉冲信号外，通常持续几十秒对一个目标

实施稳定照射；而真正发射单次脉冲信号的只能是激光测距机。

5 结 论

虽然战场激光威胁的类型很多，但通过侦察与综合分析包括波长、功率、脉宽、重复频率及持续时间等各种参数，就有可能对激光威胁源进行有的放矢的侦察与识别。

依据上述分析，评价一个激光侦察告警器涉及的主要技术参数有：告警波段、覆盖视场、探测灵

敏度和角度分辨率等；主要战术性能参数有：探测距离、动态范围、探测概率、反应时间、虚警率和抗干扰能力等。实际上，在上述所有参数中，最核心的指标是探测概率。因为一旦探测器的类型、工作波段、像元数和覆盖视场确定之后，相应的告警距离与角度分辨率也就相当于确定下来了。但探测概率则与探测距离、虚警率、抗干扰能力、以及角度分辨率等多项参数密切相关，因此，在设计一个激光侦察告警系统时，通常反复权衡各方面的因素，并通过实验加以验证与完善。

参考文献

- [1] 张晓琳, 唐文彦, 孙和义. 水下声信号的激光干涉测量[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(4): 809-815.
- [2] 陈健, 吉桐柏. 基于大规模多元面阵探测器的凝视型星载红外告警技术研究[J]. 光机电信息, 2010, 27(9): 77-80.
- [3] 卢科青, 王文, 陈子辰. 点激光测头激光束方向标定[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(4): 880-886.
- [4] 陈健, 薛乐堂. 舰载红外告警分系统的告警距离研究[J]. 光机电信息, 2010, 27(10): 55-58.
- [5] 郑猛, 冯其波, 邵双运, 等. CR 扫描仪激光扫描光学系统的设计[J]. 光学 精密工程, 2010, 18(1): 21-28.
- [6] 陈健, 于洪君. 光电对抗与军用光电技术研究进展[J]. 光机电信息, 2010, 27(11): 12-17.
- [7] 章大勇, 吴文启, 吴美平. 机载激光雷达系统标定方法[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(11): 2806-2813.
- [8] 路阳. 激光告警系统的发展现状与问题[J]. 现代防御技术, 2009(3): 89-93.
- [9] 郭劲, 苗用新, 林洪沂, 等. 机载定向红外对抗激光指示系统控制设计[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(2): 341-349.
- [10] 张锦. 国外激光威胁告警器发展现状及评价[J]. 激光与红外, 2008, 38(4): 307-310, 314.
- [11] 梁敏华, 吴志勇, 陈涛. 采用最大灰度梯度法实现经纬仪自动调焦控制[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(12): 3016-3021.
- [12] 赵涛, 刘铭, 王璐. 国外激光告警技术的设备与发展[J]. 舰船电子工程, 2009(2): 27-29.
- [13] 张坤华, 杨炬. 应用聚类和分形实现复杂背景下的扩展目标分割 [J]. 光学 精密工程, 2009, 17(7): 1665-1671.
- [14] 刘志春, 袁文, 苏震. 光电侦察告警技术的装备与发展[J]. 中国学术期刊文摘, 2009(4): 7-7.
- [15] 贾方秀, 丁振良. 激光测距仪的脉冲电流供电温度控制系统[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(9): 2128-2135.
- [16] 刘志春, 袁文, 苏震, 等. 激光侦察告警与反制导技术的发展分析 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37(S3): 340-344.
- [17] 宋建辉, 袁峰, 丁振良. 脉冲激光测距中高精度时间间隔的测量[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(5): 1046-1050.
- [18] 贾方秀, 丁振良, 袁峰. 相位法激光测距接收系统[J]. 光学 精密工程, 2009, 17(10): 2377-2384.

- [19] 刘勇, 鲍敬源, 张兵, 等. 对激光主动成像制导武器告警探测技术分析[J]. 舰船电子对抗, 2009, 32(6): 47-50.
- [20] 李言俊, 张立群, 张科. 激光告警多目标定位与跟踪技术研究[J]. 航空学报, 2006, 27(6): 1161-1165.
- [21] 张洁, 付伟. 激光告警中的关键技术[J]. 航天电子对抗, 2001(6): 37-41.

作者简介: 陈健 (1981-), 男, 汉族, 吉林长春人, 硕士, 助理研究员, 2007年于吉林大学获得硕士学位, 主要从事光电对抗技术应用研究。E-mail: chenjian4500@163.com

《中国光学》征稿启事

《中国光学》为双月刊, A4开本; 刊号: ISSN 1674-2915/CN22-1400/O4; 国内外公开发行, 邮发代号: 国内12-140, 国外BM6782。

★中国科技核心期刊

★中国光学学会光电技术专业委员会会刊

★中国学术期刊(光盘版)源期刊

报道内容: 基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

发稿类型: 学术价值显著、实验数据完整的原创性论文; 研究前景广阔, 具有实用、推广价值的技术报告; 有创新意识, 能够反映当前先进水平的阶段性研究简报; 对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告; 以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。

欢迎投稿、荐稿, 洽谈合作。

主管单位: 中国科学院

主办单位: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

编辑出版: 《中国光学》编辑部

投稿网址: <http://chineseoptics.net.cn>

邮件地址: chineseoptics@ciomp.ac.cn, gxyygx2007@126.com

联系电话: (0431) 86176852; (0431) 84627061 传 真: (0431) 84627061

编辑部地址: 长春市东南湖大路3888号 (130033)

《中国光学》编辑部