

“解剖”激光告警

朱家健[†]

(国防科技大学光电科学与工程学院 长沙 410073)

摘要 介绍了激光告警的作用,分析了激光告警器的原理、性能要求和分类,然后分别阐述了典型的光谱识别型、相干识别型和散射探测型激光告警器,并对不同类型的激光告警器进行了比较评价.

关键词 激光,激光告警,激光告警器

Overview of laser warning technology

ZHU Jia-Jian[†]

(College of Opt-Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract An introduction to the role of laser warning on the battlefield is presented, with an overview of the principle, required specifications and classification of laser warning devices. Specific types are described, including those devoted to spectrum recognition, coherent recognition, and scattering detection, and their properties compared. Finally, future developments of laser warning technology are discussed.

Keywords laser, laser warning, laser warning device

1 引言

自从激光诞生之日起,它就吸引了各国军方的注意,激光特有的单色性、相干性、方向性和超高亮度决定了它必定成为高技术战争的宠儿.激光测距机、激光目标指示器、激光雷达、激光制导武器逐渐成为战争中克敌制胜的“杀手锏”,正是因为这些“杀手锏”武器的严重威胁,才促进了激光告警技术的发展.告警是实施有效光电对抗的前提.激光告警技术能有效地识别和判断激光威胁源的方位和种类,从而及时采取预防措施,能够防患于未然,减小被敌方发现和击中的概率,提高己方在战场上的生存能力,把损失降到最小.正因为如此,30多年来,激光告警技术备受青睐,不同种类的激光告警设备纷纷问世.

数(见表1),以判断敌光电装备种类、方位、工作状态、性能参数、运动情况等重要信息,并经处理电路后迅速发出威胁警报.

表1 来袭激光威胁源的特点

威胁源	特点
激光测距机	脉冲宽度小,重复频率低
激光雷达	重复频率高
致盲式激光武器	能量密度高
通信式激光	调制连续波或重复频率很高的脉冲串
“硬破坏”式激光	连续或宽脉冲激光,能量密度高

激光告警器主要由激光光学接收系统、光电探测器、信号处理电路、告警装置等部分组成(见图1).光学接收系统将收集来袭的激光光束会聚到光电探测器上,光电探测器将光信号转变为电信号后送至信号处理电路,信号处理电路处理后得到目标类型、威胁等级以及方位等有关信息,发出告警信号.

2 概述

2.1 激光告警的原理

激光告警以激光为信息载体,通过测量和识别来袭激光的波长、能量密度、脉冲重复频率等技术参

2008-06-22 收到初稿,2008-09-01 收到修改稿

[†] Email:13467620990a@163.com

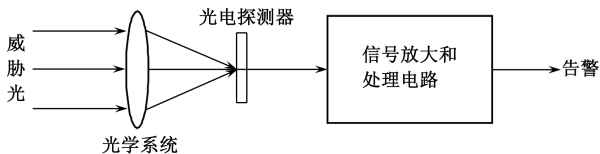


图1 激光告警原理示意图

2.2 激光告警器的性能要求

(1)抑制虚警. 虚警就是指实际无信号而报信号存在的情况^[1]. 虚警率的大小是衡量告警器性能高低的一个重要指标,但是,虚警率的抑制往往也并不轻松. 因为大气、光学元件对激光的散射和反射也能够被探测器接收,再加上背景光的干扰,给判断来袭激光的波长、方位提供了错误信息,造成告警器发生虚警. 在激光告警中,虚警好比“谎言”,容易给己方造成不必要的麻烦,所以抑制虚警十分必要.

(2)减少漏警. 漏警就是指实际有信号而报信号不存在的情况. 漏警是很危险的,出现漏警就像别人已经用枪瞄准了你,你却浑然不知一样. 造成漏警的原因有很多,如光学系统的视场小,不能发现威胁光;探测器的波长覆盖范围窄,不能识别来袭光等.

(3)缩短反应时间. 激光制导武器瞄准—发射—命中需要一定的时间,但是这点时间是很短的,这必然要求缩短激光告警器信息分析处理的时间,以便己方被瞄准目标能在导弹到来之前及时地做出调整.

2.3 激光告警器的分类

按作战平台划分,激光告警器有机载、舰载、车载、单兵以及复合型5类. 在这几种激光告警器中,最具代表性的美国 Tractor 公司的 KYLIGHT 机载激光告警器、俄罗斯的舰载 Spektr-F 激光告警系统、英国 Avitronics 公司的 LWS-CV 车载激光告警系统、德国 MBB 公司的 PLD 单人激光探测器和 COLDS 通用光电激光探测系统^[2]. 其中 COLDS 通用光电激光探测系统适于各种作战平台,它采用了先进的光纤延迟技术和偏振编码技术确定激光威胁方位,提高了方位分辨率,用分振幅产生双光束,经相移产生双光束干涉,然后由独特的运算电路求解激光,可精确读出激光类型、方向和编码.

按工作原理划分,激光告警器有三类:光谱识别型、相干识别型和散射探测型. 其中光谱识别型又可分为非成像型和成像型(如 CCD),相干识别型又可分为法布里—珀罗型和迈克尔孙型.

3 典型的激光告警器

3.1 光谱识别型

目前军用激光装备的工作波长,仅有 $0.85\mu\text{m}$, $1.06\mu\text{m}$, $10.6\mu\text{m}$ 等有限几个. 若探测装置探测到其中某个波长的激光能量,那就意味着可能存在激光威胁. 这就是光谱识别型激光告警接收机的设计依据. 光谱识别型激光告警接收机是比较成熟的体制,它技术难度小,成本低,成为开发种类最多的激光告警器,国外在 20 世纪 70 年代就进行了型号研制,80 年代已大批装备部队^[3].

根据探测器的不同,光谱识别型激光告警器可分为非成像型和成像型. 非成像型激光告警器通常采用光电二极管作为激光探测元件,光电二极管的个数可以为 1 个或多个. 单个光电二极管制成的告警器只能确定激光威胁的有无,如今这种告警器已经无法满足作战的需求,逐渐被淘汰. 在激光告警器中,具有特定空间结构的二极管阵列对此作了改进,它可以确定出激光威胁源的方位. 挪威的 RL-1 激光告警器^[4]就是其中的典型代表. 它由 5 个光电探测器组成. 水平方向放置 4 个,垂直方向放置 1 个. 水平方向每个探测器的视场为 135° ,相邻两探测器的视场重叠 45° (见图 2),垂直方向为 $-20^\circ\sim 67.5^\circ$,所以, 360° 水平视场分为 8 个独立的大小均匀的 45° 区域,整个视场($360^\circ \times 87.5^\circ$)被分割为 17 个视场区域. 该激光告警器的显示器用 9 个发光二极管来表示激光来袭的大致方向,其中 8 个发光二极管排成一圈,分别代表水平方向 8 个 45° 的视场区,中央的发光二极管代表上方. 每接受一个激光脉冲,告警器发出持续 2s 的音响告警.

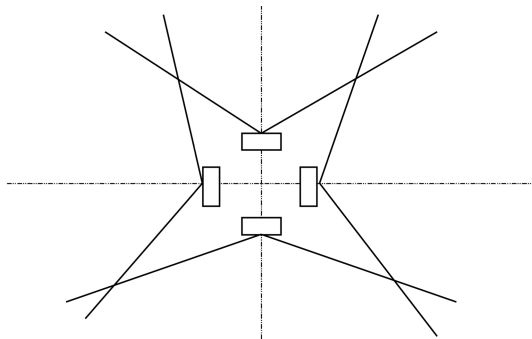


图2 RL-1 激光告警器原理(水平视场)

显然,非成像型激光告警器工艺简单、价格便宜,但是它的角分辨率低(如 RL-1 仅为 45°)、虚警率高(探测器附近的物体造成的二次反射往往会引

起错误定向). 成像型激光告警器可以很好地弥补这些不足. 成像型激光告警器中最主要的一种是 CCD 型告警器, 美国 AIL 系统公司和 IMO 光电系统公司的 HALWR 高精度激光告警接收机, 采用 CCD 成像探测技术, 其角分辨率水平方向为 1mrad, 垂直方向为 1.5mrad, 单脉冲截获概率大于 98%.

3.2 相干识别型

光谱识别型激光告警器有个致命的弱点, 它只能确定来袭激光的大致方位, 而不能测量激光的波长. 告警器不能全面地测量激光的参数, 使处理电路分析判断时缺少“证据”, 这意味着告警器很可能出现虚警和漏警的情况. 相干识别型激光告警器对此是个很好的补充, 它不仅确定来袭激光的方向, 还能测量出波长, 所以更能正确地告警来袭激光.

根据干涉仪的不同, 相干识别型激光告警器有法布里-珀罗干涉型(见图 3)和迈克耳孙相干识别型. 法布里-珀罗干涉仪的核心部件是法布里-珀罗标准具, 它实际上是一块两个表面镀有半透膜的平板, 膜的反射率在 40%—60% 之间^[4]. 入射光一部分透过平板, 另一部分在平板内经前后两表面反射后再穿出标准具, 这两部分光是相干的. 当相干光的光程差为激光半波长的偶数倍时, 干涉相长, 得到亮条纹; 当相干光的光程差为激光半波长的奇数倍时, 干涉相消, 得到暗条纹. 由于光程差随入射角的变化而变化, 故探测器上的光强与入射角有关. 让标准具绕 z 轴周期性左右摆动, 于是落在探测器上的光强与摆动角有关. 当光强最大时, 光线正好垂直于标准具反射面. 因此, 只要测出此时的摆动角即可确定来袭激光的方向. 相干条纹的亮暗与激光波长有关, 相邻亮暗条纹之间相距一个半波长, 来袭激光的波长可据此得到.

法布里-珀罗干涉型激光告警器虽然可以同时测定来袭激光的方向和波长, 但它必须通过摆动扫描才能确定激光的参数, 所以难以截获单次激光短脉冲. 迈克耳孙相干识别型激光告警器不需要机械扫描, 因而可以截获单次激光短脉冲, 迈克耳孙型激光告警器的典型代表是美国的 LARA 激光接收分析仪. 其中的迈克耳孙干涉仪由一个分束棱镜和两块相互垂直的球面反射镜构成(见图 4), 激光照射时可形成的干涉图是同心圆, 用二维探测器检测干涉条纹, 然后由处理电路进行数据处理. 由于干涉环的圆心位置可以确定出激光入射方向, 由于干涉环的条纹间距可以求出入射激光波长. 由于非相干光不能

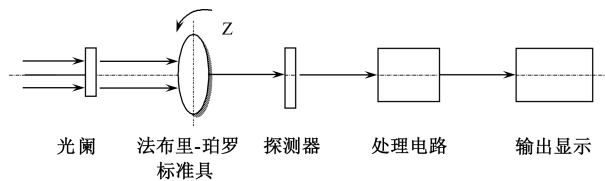


图 3 法布里-珀罗干涉型告警器原理

形成干涉条纹, 因而阵列探测器只要检测到干涉环的存在, 就说明有激光照射, 这样就有效地避免非相干的背景光干扰. 迈克耳孙型激光告警器还有虚警率低、角分辨率高的优点, 但也非十全十美, 它高昂的成本和狭小的视场在一定程度上束缚了它的“手脚”.

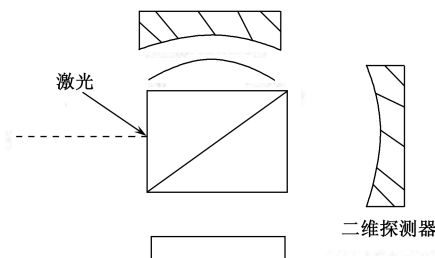


图 4 迈克耳孙相干识别型告警器

3.3 散射探测型

光谱识别型和相干识别型激光告警器需要直接截获光束, 告警都是建立在直接接收到来袭激光威胁的基础上, 而散射探测型激光告警器不需要直接截获光束, 它是通过接收目标表面、地面、大气气溶胶等散射的激光辐射来实现激光探测和告警, 这使它能在可能受到威胁之前给予报警.

散射探测型激光告警器通过探测大气散射的激光能量来提供激光告警. 其光学系统核心是一个特殊设计的圆锥棱镜, 其内有一个下凹的锥形. 制造棱镜用的材料可用光学质量好的有机玻璃. 棱镜的下方是窄带干涉滤光镜和硅光电二极管探测器. 菲涅耳透镜把透过窄带干涉滤光镜的光聚焦在硅光电二级探测器的光敏面上. 由于散射信号很弱, 为了降低背景光的影响, 必须减小视场并采用窄带滤光片进行光谱滤光(见图 5).

散射探测型告警器不能确定威胁源的方位, 而且受大气状况的影响. 探测器接收到的散射能量与波长的 4 次方成反比, 因而只能用于波长相对较小的可见光和近红外探测, 对中远红外难以奏效^[5]. 为了可靠截获激光束, 确保不漏警, 往往将直接探测和散射探测相结合. 英国 Plessey 公司在这方面作了尝试, 他们

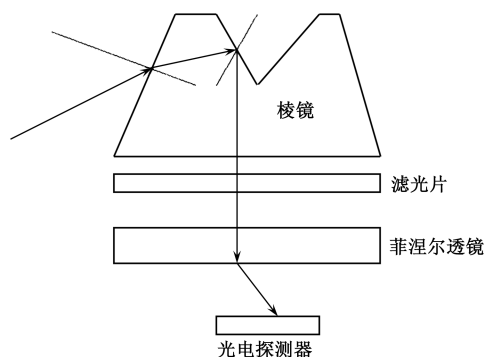


图5 散射探测型激光告警器原理

研制的 PA7030 由散射探测器、二极管直接探测器及显示器组成, 二极管阵列探测器由 12 个单元围成环形坦克及车载. 散射探测 $0.69\mu\text{m}$ 和 $1.06\mu\text{m}$, 二极管探测 $0.4\mu\text{m} - 1.1\mu\text{m}$, 这两者的结合使告警器的性能得到极大改善, 探测距离为 $7\text{km} - 10\text{km}$, 方位覆盖 360° , 俯仰 55° , 角分辨率 15° .

4 发展趋势

(1)多波段探测. 近年来, 随着激光在军事领域的应用潜力不断被挖掘, 其应用波段得到不断拓展, 传统的单一波段探测已经无法满足作战需要, 多波段探测必然成为普遍共识. 英国 Marconi 防御系统公司在这方面迈出了可喜的一步. 他们的 1220 型激光警戒接收机能够告警波长为 $0.35\mu\text{m} - 1.1\mu\text{m}$ 、 $1\mu\text{m} - 1.8\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m} - 11\mu\text{m}$ 三个波段.

(2)复合侦察告警. 毫无疑问, 激光告警的对象只能是激光. 而战争中的战场环境复杂, 武器繁多, 战争态势瞬息万变. 如何解决复杂背景下的多目标和快速告警是摆在激光告警前的一道障碍. 激光红外复合告警和激光紫外复合告警将为解决这一问题提供新的思路. 复合侦察告警采用共光学系统和探测元件分离的设置方式, 接收的辐射经过同一光学系统会聚和分束器分光后, 分别用不同的滤光片进行选择滤波, 然后送至相应的探测器处理.

(3)告警—自动引导干扰一体化. 告警的目的是

为了避免, 而干扰是达到这一目的的最好形式. 告警—自动引导干扰能自动对截获的光波信号进行精细测量、分选和识别, 判定信号的威胁等级, 同时实施干扰管理, 以最佳的选择实施干扰, 并能实时提供干扰效果评价, 自动修改干扰参数. 告警—自动引导干扰一体化不仅能提高快速反应能力, 而且能有效迷惑敌方, 达到保存自己的目的.

5 结束语

告警的重要战略意义, 使各国军方 (如美国) 纷纷关注告警技术的发展, 并且对本国的告警能力的目标进行了长远规划 (见表 2). 我国奉行积极防御的国防政策, 告警能力至关重要. 然而我们属于发展中国家, 同发达国家相比, 我们的经济和科技水平还有差距, 所以我们任重道远, 但是责无旁贷.

表 2: 美国的告警能力和目标

目标 时间	探测覆盖	跟踪覆盖	识别			生存 能力	生成告警 信息
			精度	目标类型	时间		
1998 年	利益区	<10%	10km	有限目标群	几分钟	有限	人工语音、 有限实时
2020 年	全球	全球	分米级	所有重要目标	近实时	各级冲突	近实时、 全自动

参考文献

[1] 高雅允, 高岳, 张开化. 军用光电系统. 北京: 北京理工大学出版社, 2008. 97 [Gao Z Y, Gao Y, Zhang K H. Optoelectronic Systems for Military [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology press, 2008. 97(in Chinese)]

[2] 杨在富, 钱焕文, 高光煌. 激光技术, 2004(2):100 [Yang Z F, Qian H W, Gao G H. Laser Technology, 2004(2): 100(in Chinese)]

[3] 王喜焱, 张洁. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2002(6): 25 [Wang X Y, Zhang J. Information Command Control System and Simulation Technology, 2002(6):25(in Chinese)]

[4] 李世祥. 光电对抗技术. 长沙: 国防科技大学出版社, 2000. 7—10 [Li S X. Electro-optical Countermeasure Technology [M]. Chang Sha: National University of Defense Technology Press, 2000. 7—10(in Chinese)]

[5] 张洁. 航天电子对抗, 2002(2):43 [Zhang J. Aerospace Electronic Warfare [J], 2002(2):43(in Chinese)]