

文章编号: 1001-3806(2004)01-0098-05

激光告警技术发展现状

杨在富, 钱焕文, 高光煌

(军事医学科学院 放射医学研究所, 北京 100850)

摘要: 介绍了激光告警器的基本要求、类型和特点;总结了各国研制的激光告警器的结构性能及发展现状;并分析了激光探测告警技术的发展趋势。

关键词: 激光;激光告警技术;告警器;综述

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A

Development of laser warning technology

YANG Zai-fu, QIAN Huan-wen, GAO Guang-huang

(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences Beijing 100850, China)

Abstract: At first, this paper introduced the basic requirements, classification and specification of laser warning receivers briefly. The structure and specification of laser warning receivers being in use or developed were then summarized in detail. The future of laser warning receivers was finally forecasted.

Key words: laser; laser warning technology; warning receiver; review

引 言

激光技术在过去几十年得到了迅猛的发展。激光武器以其特有的强大威力成为新概念武器中的佼佼者,许多种激光武器已经研制成功或者装备部队,如激光眩目器、激光致盲武器、反导弹激光武器、反卫星激光武器等;作为武器系统的组成部分,激光器件在军事上获得越来越广泛的应用,包括测距机、目标指示器、制导导弹、通信装置、侦察设备等,并大大提高了武器系统的作战性能,如激光测距机使火炮的首发命中率大大提高,利用激光制导导弹可以实现对特定目标的精确打击。

为了对抗现代化战争中和未来战场上日趋严重的激光威胁,各国加速发展激光对抗技术,激光探测告警技术是其内容之一。研究激光探测告警技术的目的是快速探测敌方激光威胁的存在,尽可能确定出其方位、波长、强度、脉冲特性(脉宽、重复频率、编码特性等)等信息,并进行声光报警,以便我方能及时采取躲避、防护、反击等措施,达到有效保障我方人员和武器装备免遭杀伤、干扰或破坏的目的^[1,2]。

作者简介:杨在富(1974-),男,助理研究员,硕士,主要从事激光生物效应、激光医学计量及安全防护研究。

E-mail: gaogh@nic.bmi.ac.cn

收稿日期:2003-04-21;收到修改稿日期:2003-05-29

1 激光探测告警器的基本要求^[3~5]

激光探测告警器一般由探测器和显示器两部分组成。探测器用于接收激光能量,显示器用于进行声光报警并提供出来袭激光的方位、波长等信息。理想的激光探测告警装置应该满足以下要求:(1)探测器的接收视场足够大,能接收来自各个方向的激光辐射;(2)探测器的光谱响应范围(带宽)足够宽,足以覆盖敌方可能发射的所有激光波长;(3)探测率高,最好是100%,即对所有来袭激光都能告警;(4)虚警率低,最好是0,即能够克服各种背景光(如阳光、闪电、探照灯、电光弹及其它弹药爆炸引起的闪光)的干扰;(5)定位精度高,能准确判断出来袭激光的方位角度,这样可以快速准确地锁定敌方目标,为反击敌人争取时间;(6)响应时间短,尽可能接近0s,以便于我方迅速采取躲避和防护措施,并为反击敌人争取时间;(7)显示器提供的信息尽可能多,除了能提供声光报警之外,还应尽可能提供来袭激光的波长、强度、方位角、脉冲特性等信息;(8)体积小、重量轻、结构紧凑、价格低廉。

实际上,上述要求有许多是互相矛盾的,如视场与定位精度、探测率与虚警率、显示信息与响应时间等。因而要求设计者根据具体的需要,折衷处理上述矛盾,达到整体系统的最优化。

2 激光告警器的分类特点

根据探测器探测原理的不同,激光告警器可以分为 3 种类型: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(F-P)型和迈克尔逊型。

非成像型激光告警器^[2,4]通常采用光电二极管作为激光探测元件,根据使用要求,光电二极管的个数可以为 1 个或多个(组成特定阵列,又称为二极管阵列型)。单个光电二极管制成的告警器只能确定激光威胁的有无,采用具有特定空间结构的二极管阵列还可以确定出激光威胁源的方位。在二极管阵列中,二极管通常均匀分布在水平 360° 的范围内(围成圆形阵列),或者按要求分布在半球面上。假设圆形阵列中均匀分布着 n 个光电二极管,水平方向的角分辨率为 $(180^\circ/n)$ 。如果采用邻域相关技术(通过电路使探测器重叠视场与独立视场不均匀分配),则在二极管数量相同的情况下,使角分辨率提高 1 倍或多倍^[6]。这种告警器的优点是探测灵敏度高,但受二极管个数的限制,它不能对激光威胁源精确定位,且虚警率较高。

成像型激光告警器^[2,4]中最主要的一种是 CCD 型告警器,它由广角远心鱼眼透镜和 CCD 摄像器件构成。鱼眼透镜视场宽,可覆盖整个半球;CCD 像元尺寸很小,为微米量级,因而可以实现激光威胁源的精确定位,其定位精度可达 $1\text{mrad}(0.06^\circ)$ 以上。采用双通道和帧减技术,可以消除背景干扰,大大降低虚警率。成像型激光告警器还包括全息象限透镜型(可大致确定激光威胁源的方位)、全息场镜型(可准确确定激光威胁源的方位)等。

光谱识别型激光告警器(不论是成像型还是非成像型)不能探测激光波长,目前能测定激光波长的是相干识别型报警器。这种报警器依据的是激光的高度时间相干性,其特有的器件是一个干涉仪——F-P 标准具或迈克尔逊干涉仪。

F-P 型激光告警器^[2,3,7]安装有 1 个或多个阶式 F-P 标准具。F-P 标准具由步进电机带动,绕平行于其表面的轴转动。入射激光的透过率随旋转角而变化,透射光强信号是一调频波,由其频率最低点可求出激光入射角,从而确定出激光威胁源的方位;不同波长激光对应的调频波周期间隔不同,由此可测定激光波长。采用阶式 F-P 标准具抵消直流背景信号,从而可以消除背景光干扰。由于这种告警器

需要通过机械扫描才能确定激光的有无及其特性参数,因而难以截获单次激光短脉冲。

迈克尔逊型激光告警器^[2,3]的典型代表是美国电子战系统研究实验室 1981 年公开报道的 LARA 激光接收分析仪。其中的迈克尔逊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,激光照射时可形成“牛眼”形干涉图,用二维阵列探测器检测干涉条纹,由微处理器进行数据处理。由于非相干光不能形成干涉条纹,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。由干涉环的圆心位置可以确定出激光入射方向,由干涉环的条纹间距可以求出入射激光波长。这种告警器不需要机械扫描,因而可以截获单次激光短脉冲,是一种很有前途的激光告警方法。

散射探测型激光告警器^[2]通过探测大气散射的激光能量来提供激光告警。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。这种告警技术与上述告警技术的显著区别是不需要拦截激光束,因而有可能在受到威胁之前给予报警。但它不能确定威胁源的方位,而且受大气状况的影响。

表 1 中对上述几种激光探测告警技术的性能进行了归纳比较。

表 1 各种激光探测告警技术性能比较

性能	光谱识别型		相干识别型		散射探测器
	非成像型	成像型	F-P 型	迈克尔逊型	
光束拦截	是	是	是	是	否
单脉冲探测	能	能	否	能	能
波长探测	特定	特定	任意	任意	特定
视场	大	大	较大	小	大
灵敏度	高	高	高	低	高
虚警率	较高	低	低	低	较高
角分辨率	低	高	高	高	无
制作难度	小	大	大	大	小
窄带滤光片	要	要	否	否	要
成本	低	高	高	高	低

3 激光探测告警技术发展现状

国外自上世纪 70 年代开始激光探测告警技术和器件的研制,80 年代开始逐步装备部队。经过近 30 年发展,技术上已日臻成熟。各国研制成功的激光探测告警设备有几十种之多。非成像型研究最早,技术简单且发展最成熟,因而报道最多;F-P 型在波长和方位测定上性能优越,因而发展较快且已

形成产品和装备,但由于不能截获单次激光短脉冲,故使用上受到一定的限制;成像型虽方位测定精度高,但只能单波长工作,因而只能用于特定波长的激光告警,公开报道的产品不多;迈克尔逊型能够精确测定波长和方位,且能够截获单次激光短脉冲,因而

备受重视,但由于技术难度大,工艺要求和研制成本高,故报道的产品较少;散射探测型性能受到限制,报道也不多。已经公开报道的主要激光告警器列举在表2中^[1~5,7,8,10~18]。

表2 主要激光告警器及其性能

类型	型号(名称)	国别(制造商)	结构	性能特点	备注
成像型	HALWR 高精度激光告警接收机	美国 AIL 系统公司和 IMO 光电系统公司	采用 CCD 成像探测技术	波长 0.4 μm ~1.1 μm ;视场水平 30°,俯仰 20°;角分辨率水平 1mrad,垂直 1.5mrad;可测激光脉宽 10ns~200ns;单脉冲截获概率大于 98%	1991 年交付样机,1992 年试验
	HARLID 高分辨率激光探测器	加拿大	采用线阵探测器	测量方位精度达 $\pm 1^\circ$;单波段型覆盖波长 0.45 μm ~1.1 μm ;双波段型覆盖波长 0.45 μm ~1.65 μm	
	应用 CCD 的机载激光报警仪	中国信阳空军第一航空学院	由光学探测系统(两路 PIN 和两路 CCD)、信号放大与处理系统和显示报警系统组成	工作波长 0.66 μm ~1.1 μm ;方位角分辨率 1.5°圆锥空间;虚警率小于 10 ⁻³ /h	
光谱识别型	SLIPAR 短脉冲激光告警接收机	美国 Tractor 公司	电池供电	适于各种作战平台;可提供简单的激光告警	海湾战争期间装备部队
	KYLIGHT 激光告警器	美国 Tractor 公司	采用光纤耦合技术,有强抗电磁干扰能力	供高性能飞机使用,具有高精度、高灵敏度	1992 年夏测试
	袖珍型激光告警接收机	美国 Tractor 公司	规格 50.8mm×76.2mm×38.1mm,重约 170g,电池供电。其传感器包含 3 个光电二极管	适于各种战场环境,供各种作战平台的单兵使用,抗电磁干扰	1992 年 10 月申请专利
	LAWA 激光警戒装置	德国 Eltro 公司		车载或机载;警戒红宝石、钕、CO ₂ 激光及红外探照灯;视场水平 360°,俯仰 -20°~60°;角分辨率 5°	已生产装备
	HLWE 直升机激光告警设备	德国 Alcatel SEL 公司	含有 4 个探测器	坦克和机载;波长 0.4 μm ~1.1 μm ,可扩展到 1.4 μm ~2.4 μm 及 8 μm ~12 μm ;视场水平 360°,俯仰 $\pm 45^\circ$;角分辨率 10°	
	PLD 单人激光探测器	德国 MBB 公司	由一个标准的硅光电探测器和低虚警率的电子器件组成,电池供电	供个人在作战、演习、维护、修理期间使用;工作波长 0.4 μm ~1.1 μm ,可扩展到 1.6 μm	
	Spektr-F 激光告警系统	俄罗斯	由一个 120kg 的 PUK 控制装置和 2~12 个 85kg 的“光电子装置”功能块组成	舰载;视场水平 360°,俯仰 -15°~75°;角分辨率 $\pm 5^\circ$;单脉冲截获概率 95%;可同时对 4 个威胁源告警	1993 年开展展出
非成像型	1220 型激光警戒接收机	英国 Marconi 防御系统公司	基于母线的模块化设计,有自己的小型显示器、控制装置及一个可编程程序库	波长 0.35 μm ~1.1 μm ,可扩展到 1 μm ~1.8 μm 及 8 μm ~11 μm ;视场水平 360°,俯仰 -15°~40°;角分辨率 22.5°;重 6.5kg	已生产并向多国出售
	LWS-CV 车载激光告警系统	英国 Avitronics 公司	由激光传感器和激光告警控制器组成;传感器有 LWS-200, LWS-300, LWS-500 等型号;每个控制器一般配置 4 个传感器,最多 6 个	车载;LWS-300:波长 0.5 μm ~1.8 μm ;视场水平 360°(每个传感器 110°),俯仰 60°,角分辨率 15°;单脉冲截获概率小于 99%;重 1.2kg;规格 115mm×90mm×76mm	已有产品

续 表

类型	型号(名称)	国别(制造商)	结 构	性能特点	备注
非成像型	453 型激光警戒装置	英国 GEC-Ferranti 防御系统公司	分布有若干个半球传感器,激光信号由光纤传送到中央处理器	适于多作战平台;工作波长 0.3 μm ~1.1 μm ;视场范围水平 360°,俯仰 180°;角分辨率 45°;声光告警	高级发展阶段,装备陆、空军
	451 型致盲报警器	同上		用于激光致盲武器告警	
	RL1 型和 RL2 型激光告警器	挪威 Simrad Optronics 公司和英国 Lasergage 公司合作	RL1 有 5 个 PIN 探测器(水平 4 个,垂直 1 个),显示器有 9 个发光二极管(8 个围成一圈)表示威胁源的大致方向;RL2 只有一个探测器	车载;RL1 型工作波长 0.66 μm ~1.1 μm ;视场水平 360°,俯仰 90°;角分辨率 45°;虚警率小于 10 ⁻³ /h;声光报警;直径 18cm,高 8cm;重 1kg;RL2 只能判断激光有无	
	TV518 型激光报警器	法国 Thomson-CFS 公司	有 4 个光学传感器,通过光纤与雷达警戒探测器的模拟/数字处理装置相连	机载及车载;工作波长 1.06 μm ;视场范围水平 360°,俯仰 -30°~60°	已大量生产装备
	激光预警装置	中国卢万欣等研制	水平 12 个探测器构成圆形阵列,探测器装有柱面光学细分系统,垂直方向 1 个探测单元	波长 0.4 μm ~1.1 μm ;视场水平 360°,俯仰 90°;角分辨率水平 15°,垂直方向 45°;虚警率小于 10 ⁻³ /h	1992 年报道
法布里珀罗型	多传感器警戒接收机中的激光警戒子系统	美国 Dalmo Victor 公司和 Perkin-Elmer 公司	包含 4 个激光传感器,每个传感器中都封装有 1 个分级 F-P 标准具、2 个光电探测器及数字化电路	可识别激光与非相干光,可测波长、脉宽、重复频率、强度及入射方向等参数;波长 0.45 μm ~1.1 μm ;单传感器视场 90°;第 1 脉冲探测概率 95%;虚警率小于 10 ⁻³ /h	1978 年研制成功,1979 年战术演示成功
	AN/AVR-2 和 AN/AVR-2A 型激光警戒接收机	美国 Perkin-Elmer 公司	在多传感器警戒接收机基础上研制而成,由 4 个 SU-130/AVR-2 传感器单元、1 个 CM-493/AVR-2 接口单元和 1 个比较器构成	直升机和坦克装备;可识别 360°视场范围内的激光测距机、目标指示器和制导激光束,并能精确定位,提供声光告警;重 8.9kg;故障平均间隔时间大于 1200h	1988 年试生产 AVR-2,1993 年正式生产 AVR-2A
	MINLAWS 微型激光警戒传感器	美国 Hughes 公司	含有 6 个传感器	可进行激光检测、方位角及波长鉴别,还可对威胁源的瞬时特性进行分析,较 AN/AVR-2 更先进	
相干识别型	F-P 型红外激光警戒系统	中国信阳空军第一航空学院	包含 4 个阶式 F-P 标准具(可消除非相干背景光干扰)	波长 0.66 μm ~1.1 μm ;单传感器视场 90°;在脉冲重复频率 12Hz、时间大于 3s 时,角分辨率 1.5°;虚警率小于 10 ⁻³ /h	1998 年报道
迈克尔逊型	LARA 激光接收分析仪	美国电子战系统研究实验室	由一个分束棱镜和两块球面反射镜构成干涉仪,激光照射时可形成牛眼形干涉图,用二维阵列探测器检测干涉条纹,用微处理器进行数据处理	可测定激光波长和精确定向;不需机械扫描(不同于 F-P 型),因而可以截获单次激光短脉冲	1981 年公开报道
其它	COLDS 通用光电激光探测系统	德国 MBB 公司	采用了光纤延迟技术和偏振编码技术确定激光威胁方位,提高方位分辨率;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波长	适于各种作战平台;工作波长 0.4 μm ~2.0 μm ,可扩展波长 2.0 μm ~6.0 μm 及 5.0 μm ~12.0 μm ;视场范围水平 360°,俯仰 $\pm 45^\circ$;角分辨率 3°(可选择 1.5°);动态范围 77dB;可精确读出激光类型、方向和编码	1985 年开始测试,1989 年申请专利,1993 年投入使用

续表

类型	型号(名称)	国别(制造商)	结构	性能特点	备注
散射探测型	毒胡萝卜丛	美国 Martin Marrantia 公司		舰载及车载;接收大气气溶胶散射的激光能量,并将其分类	已生产装备
	PA7030 告警器	英国 Plessey 雷达公司	由散射探测器和二极管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 μm 和 1.06 μm ; 二极管探测 0.4 μm ~ 1.1 μm ,视场水平 360°, 俯仰 55°; 角分辨率 15°	1978 年通过部队鉴定

4 激光探测告警技术发展趋势

早期激光告警器主要是非成像型探测器,其波长覆盖范围较窄,主要集中在可见和近红外波段;方位分辨力较低,一般为几度到几十度,取决于二极管的数量;不能确定激光波长;器件大而笨重,作战效能不高。随着激光技术的飞速发展,军用激光器的种类和波长覆盖范围迅速扩大,对激光告警器的要求越来越高。同时,现代光电子技术的深入发展,也使得研制更高性能的告警器成为可能。

目前,激光探测告警技术的研究主要集中在以下几个方面:将波长覆盖范围不同的探测器组合到一起,以拓宽光谱响应范围;提高激光告警的方位分辨力,如采用光纤延迟技术、CCD 摄像技术,在非成像型告警器中采用邻域相关技术等;为了测定激光波长,研制出相干识别型激光告警器;为了更精确地判断激光威胁源的性质,还要求告警器能够识别激光的脉冲特性,如脉冲宽度、脉冲重复频率、脉冲编码特征等;为了适合于单兵使用,人们开发出小型、便携式的激光告警器^[8];为对抗激光对卫星的威胁,需要开发小型的、抗辐射能力强的星载激光告警设备,CCD 由于存在辐射软化问题难以胜任,有源像素传感器(ASP)则是一种兼具 CCD 优良特性和

抗辐射性能的新型传感器,因而成为星载激光告警器的首选^[9,10]。

今后激光探测告警技术将与雷达及其它告警技术结合在一起,构成全波段、一体化的告警设备。不同告警技术的结合和信号数据的综合处理,可以对威胁源的特征做出精确判断,从而可以采取更有效的防护和反击措施,提高作战系统的战场生存能力。

参考文献

- [1] COLEMAN C L. *International Defense Review*, 1986(7): 965 ~ 967.
- [2] 金梅. 激光技术, 1989, 13(3): 27 ~ 34.
- [3] 施德恒, 高宗江. 激光与红外, 1998, 28(3): 136 ~ 139.
- [4] 施德恒, 郭峰. 激光与红外, 1999, 29(1): 9 ~ 13.
- [5] 张洁. 航天电子对抗, 2002(2): 42 ~ 46.
- [6] 王海先. 中国激光, 2000, 27(9): 851 ~ 856.
- [7] 尼喜, 施德恒. 激光杂志, 1998, 19(3): 14 ~ 16.
- [8] 付伟. 电光系统, 1997, 77: 7 ~ 11.
- [9] 付伟, 刘静, 侯振宁. 电光系统, 2001(4): 5 ~ 14.
- [10] 王喜焱, 张洁. 航天电子对抗, 2002(2): 38 ~ 41.
- [11] 付伟. 舰船电子对抗, 2001(1): 1 ~ 4.
- [12] 曾宪林, 郑仲明. 航天电子对抗, 2001(2): 21 ~ 25.
- [13] 付伟. 电子对抗技术, 1999, 14(2): 39 ~ 44.
- [14] 付伟. 红外与激光工程, 1996, 25(1): 2 ~ 7.
- [15] 付伟. 激光与红外, 1994, 24(2): 34 ~ 36.
- [16] 周滨. 军事电子, 1992(11): 21 ~ 25.
- [17] 周滨. 军事电子, 1992(10): 18 ~ 21.
- [18] 卢万欣, 梁桂云, 秦永左. 激光技术, 1992, 16(3): 180 ~ 183.

(上接第 97 页)

参考文献

- [1] KIM H S, LEE S M, KO D K *et al.* *Opt Commun*, 2002, 201(15): 381 ~ 389.
- [2] 李正佳, 夏文建, 朱长虹 *et al.* 激光技术, 1998, 22(5): 284 ~ 286.
- [3] DRIEDGER K P, IFFLANDER R M, WEBER H. *IEEE J Q E*, 1988, 24(4): 665 ~ 667.
- [4] 侯学元, 黄俊刚, 李宇飞 *et al.* 应用激光, 2001, 21(6): 378 ~ 380.
- [5] 陈莹, 王立新, 曾祥江 *et al.* 中国激光, 2000, 27(9): 782 ~ 784.
- [6] 杨盛谊, 陈莹, 王振家 *et al.* 激光技术, 2001, 25(1): 73 ~ 76.
- [7] 吕百达. 激光光学, 2 版, 成都: 四川大学出版社, 1992. 77 ~ 85.
- [8] FREIBERG R J, HALSTED A S. *Appl Opt*, 1969, 8(2): 355 ~ 360.
- [9] KOECHNER W. *Solid-state laser engineering*. New York: Springer-Verlag, 1976. 635 ~ 648.
- [10] 姚建铨, 宁喜发, FAHLEN T S. 光学学报, 1984, 4(3): 271 ~ 277.
- [11] KORTZHP, IFFLANDER R M, WEBER H *et al.* *Appl Opt*, 1981, 20(23): 4124 ~ 4129.