文章编号:1001-5078(2019)09-1035-06　　·综述与评论·

光电对抗技术反无人武器作战问题研究

李朝龙[1],代　恒[1],陈玉华[2]
(1. 军事科学院战争研究院,北京 100086;2. 陆军研究院,北京 100010)

摘　要:如何利用光电对抗技术反无人武器作战,正成为影响未来战场胜负至关重要的问题。在现代战争中运用光电对抗技术反无人武器作战,可以有效保护我方陆海空战场安全,形成整体或局部有利于我的战场态势。本文从光电对抗特性和无人武器主要光电载荷的分析着手,提出无人武器存在的主要弱项,形成利用光电对抗技术反无人武器的对策建议。

关键词:无人武器;光电对抗技术;作战问题
中图分类号:TN97　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2019.09.001

Research on photoelectric countermeasure technology and anti-unmanned weapon

LI Chao-long[1], DAI Heng[1], CHENG Yu-hua[2]
(1. War Institute, PLA Academy of Military Science, Beijing 100086, China; 2. PLA Army Research Institute, Beijing 100010, China)

Abstract: How to use photoelectric countermeasure technology to fight against unmanned weapons is becoming a crucial issue that affects the success or failure of future battlefield. In modern warfare, the use of photoelectric countermeasure technology to fight against unmanned weapons can effectively protect the security of our land, sea and air battlefields, forming a whole or partial battlefield situation conducive to us. Based on the characteristics of photoelectric countermeasures and the analysis of the main photoelectric loads of unmanned weapons, this paper puts forward the main weak points of unmanned weapons and puts forward countermeasures and suggestions to use photoelectric countermeasures technology against unmanned weapons.

Keywords: unmanned weapon; photoelectric countermeasure; technology combat problem

1　引　言

科技进步主导形成作战优势窗口已成为现代战争制胜机理的重要组成部分,并逐步改变未来诸军兵种的多域作战观念和方式,无人武器作战是伴随科技进步形成的新型作战方式,已经在叙利亚等近几场局部战争和冲突中发挥越来越明显的作用,战场的少人化、无人化态势日趋明朗。世界各国都极其重视无人装备技术的发展与运用,美军还将无人化技术作为第三次“抵消战略”重要组成部分,预计到 2040 年,美军将有 50 % 以上的作战单元是机器人。与此同时,如何克制无人武器、打破无人作战非对称优势,形成反无人作战能力也同样成为制衡对手的研究热点和难点问题。

无人武器作战的零伤亡率、高性价比、察打一体、灵活机动等特点,使得美俄等国都在争相在各个军种列装无人武器装备。美军现装备各型无人机超过 10000 架,其中陆军还装备有大量无人坦克、无人装甲车、反步兵作战智能射击平台等。俄罗斯除目前已投入使用的无人机外,其陆军将于 2020 年装备新式无人战车。在无人武器作战方式迅猛发展的今

作者简介:李朝龙(1980 -),男,博士后,研究领域为军事装备与战役战术。E-mail:dadizairen@163.com
收稿日期:2018-12-28;**修订日期:**2019-04-09

天,如何利用光电对抗等技术反制无人武器作战,正在成为影响战争胜负至关重要的问题。在未来战场上运用光电对抗技术反制无人武器作战,保护我方战场域安全,能够有效削弱对手情报侦察网络,形成局部有利于我,进而迭代扩大战场态势。海湾战争中,美军“先锋”无人机是空中侦察信息的主要来源;波黑战争中,美“捕食者”无人机主要用于战果评估,被称为“战场上的低空卫星”;阿富汗战争中,美“捕食者”“全球鹰”等无人机直接开启无人化智能化作战时代;叙利亚战争中,美军更是投入使用十几型无人机,主要担负侦察监视、目标指示、效果评估、联合攻击等任务。随着无人武器作战的广泛应用,利用光电对抗等技术在未来战场上反对手无人武器作战的重要性不言而喻。

2 光电对抗概述

纵观世界各国目前列装及在研各型无人武器,主要分为地面无人武器、空中无人武器、水面无人武器、水下无人武器和太空无人武器,虽然其功能外形各有特色和不同区别,但其实现侦察、监视和打击功能主要依靠其机载光电侦察探测感应设备、光电信号处理系统和光电制导武器,本文研究对象主要侧重于空中和地面无人武器装备(见表 1)。此类设备、系统和武器中广泛使用光电信息感应系统、光电信息传导系统和光电信息处理系统,这使得利用光电对抗技术反无人武器作战成为可行且有效的方法。

2.1 光电对抗分析

光电对抗是利用光电工作原理在紫外光波、可见光波、红外光波等光波段,干扰、削弱或阻止对手相关武器系统使用以上光波段,并保护己方相关武器系统不受影响。光电对抗技术已经成为现代战争中最为普遍和常用的战场科技,并且随着时代的进步和技术的发展,光电对抗技术仿佛战争中矛与盾一般竞相迭代革新。

光电信息感应系统和光电指导武器系统通常都前置或外置光电敏感单元,用以捕捉和获取光电信息(见图 1)。光电对抗技术首要针对的就是光电敏感单元,通过强光波干扰或者吸收反射其他光波影响光电敏感单元获得正确信息,从而产生错误判断[1]。其次光电对抗技术还可以针对光电信息传导系统进行电磁频谱干扰,使其在内部无法传递正确信息,从而产生错误。再次光电对抗技术可以通过物理伪装、化学隐真等方式保护己方重要目标,使得对方光电处理系统无法发出正确指令。

表 1 有关国家无人武器装备光电载荷及性能参数

Tab. 1 Photoelectric loads and performance parameters of unmanned weapons and equipment of relevant countries

国 家	主要光电设备载荷	部分性能参数
美国无人武器装备	LOCUSP 传感器、“伽利略”(Calileo)前视红外传感器、2000 系统(AN/AAQ - 21)红外成像仪、4KL 光电传感器、KA - 117A 成像仪、MILCAM 热成像仪、D - 500 红外行扫仪、STLS 激光指示器	256 × 256 锑化因焦平面阵列,线性斯特林循环冷却器,转动速度 60°/s,高达 78080 探测单元,0.55 ~ 0.8 μm
法国无人武器装备	GlobalScan 光学扫描仪、Corsaire 红外行扫传感器、Grecerelle 成像系统、Phalanger 激光指示器	10000 CCD 行扫仪,8 ~ 12 μ 波段信号和图像记录,小于 0.1 ℃热灵敏度,闭环斯特林循环,广角 80 mm 高速全景光学感应成像
以色列无人武器装备	ESP 系列光电系统、FSP 系列红外传感器、SALS 光电任务载荷、COTIM 热成像仪、VLLR 激光测距仪、M2TIS 前视红外系统	3 ~ 5 μm 焦平面阵列摄像机,指向精度小于 0.7°,最大高度 6100 m,发现距离 30 ~ 40 km,稳定度小于 50 mrad,分离式斯德林闭环冷却器

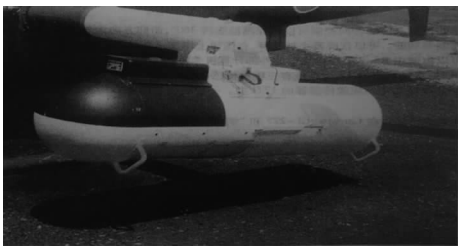

图 1 美“徘徊者”无人机外置光电感应吊舱

Fig. 1 The United States “prowler” uav has an external photoelectric sensor pod

光电对抗技术根据光波段进行分类,主要包括三类:①激光(紫外)对抗;②可见光对抗;③红外光对抗。根据承载平台,可以分为:①车载光电武器装备;②机载光电武器装备;③舰载光电武器装备;④星载光电武器装备。根据功能,可以分为:①光电侦察装备;②光电干扰装备;③反光电侦察装备;④反光电干扰装备。

2.2 光电对抗特性

目前世界各国的第四、五代作战装备,如飞机、

舰船、坦克和装甲车等主要武器装备,基本都配置前视红外系统、红外线热成像仪、激光测距仪、微光夜视仪等光电感应设备,导弹和炸弹也都采用了激光制导、可见光(电视)制导、红外制导等方式(见图2)。光电对抗的有效性主要取决于光电频谱匹配性、视场干扰相关性、干扰距离对应性、干扰时机实时性。

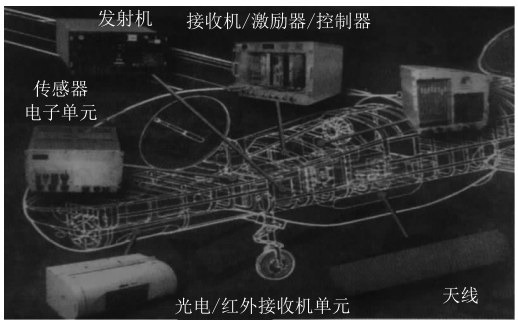

图2　"全球鹰"无人机光电传感器组合体示意图

Fig. 2 Schematic diagram of "global hawk" uav photoelectric sensor assembly

2.2.1　光电频谱匹配性

通常光电干扰装备所发出干扰频谱必须要完全覆盖或特定在被干扰目标的光电侦测感应频谱范围内。对于具有目标指示功能的激光制导武器,光电对抗一般要采用激光欺骗干扰技术和激光致盲干扰技术,对应的光波段可选用1.06~10.6 μm区间的光电干扰装备对抗对方的光电系统[2]。对于具有红外制导的武器系统,可发射类似红外诱饵,释放红外有源干扰波段等方式,对应的光波段要选1~3 μm或者3~5 μm的光电干扰装备。

2.2.2　视场干扰相关性

光电对抗技术一般对抗环境均具有良好的视场通透性,在一定的光学视场内,干扰信号必须能够对抗对方相关光电侦测设备。对于可见光干扰,必须使工作波段在0.4~0.76 μm的各种设备难以侦察、制导或造成光学错觉(见图3)。

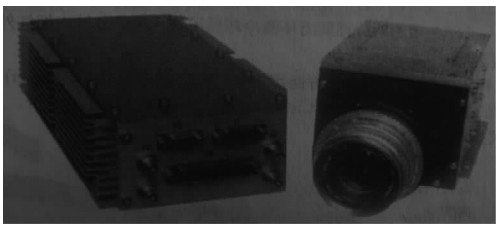

图3　美军"捕食者"无人机图像数据处理设备和焦平面组件

Fig. 3 U. S. predator uav image data processing equipment and focal plane components

2.2.3　干扰距离对应性

采用光电对抗技术发挥最佳干扰效果是使得对方光电制导武器无法正确制导,在特定的距离内使光电感应系统产生偏差。因此干扰距离的恰当选择成为能否成功实施干扰的重要因素,实施光电干扰距离过远,则无法迷惑和削弱对方光电感应系统;实施光电干扰距离过近,则使得对方的光电感应系统影响有限。如红外干扰弹的发射一般要控制在距离来袭红外制导导弹约5 km~10 km的范围内,过早或过迟释放诱饵并机动躲避的效果无法达到最佳(见图4)。

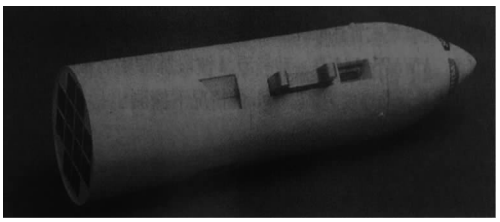

图4　Vicon78系列红外干扰弹/干扰物布撒弹

Fig. 4 Vicon78 series infrared jammer/jammer dispenser

2.2.4　干扰时机适时性

战役战术光电制导导弹或炸弹的末段制导时间很短,而导弹的射速基本在1~2.5 Ma左右,从收到警报至进行有效干扰期间的时间往往比较短暂,因此光电对抗技术对干扰时机的适时性要求比较高。对于激光制导武器,更是因为激光方向性强,干扰难度大,对于启动干扰的时机和强度都有很高要求。

3　无人武器主要光电载荷

目前无人武器作战平台主要装载可见光感应设备、红外感应设备、微波感应设备等光电载荷,并通过以上设备获取战场有关信息,经过处理后,按照预定或人工远程遥控实施监视、侦察、火力打击。

3.1　激光指示器

激光指示器是激光制导导弹和炸弹的关键和核心部件,用来为采用激光半主动导引的武器提供制导反射能量,导引作战武器实施精确打击。对其进行干扰的方法主要有烟雾干扰、激光角度欺骗干扰和高重频激光干扰等[3](干扰效果示意见图5)。目前无人武器平台加装激光指示器后,可以具备目标瞄准功能,真正实现无人化操作。无人武器加装激光指示器,最为成功的应用案例是美军捕食者无人机使用AN/AAS(V)激光指示器,为攻击战斗机提供持续作战目标激光指示。随着打击目标的智能化

识别程度的提高,无人武器已经可以实现自主判断目标、激光指示器瞄准、制导(导弹)炸弹精确打击的闭合自动攻击环路作战[4](见图 6)。

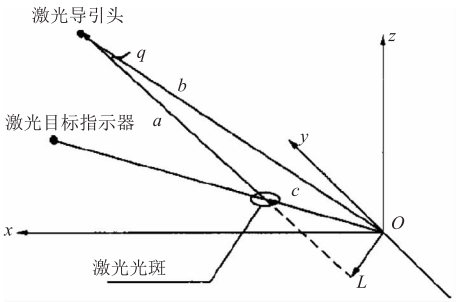

图 5 烟幕引偏激光光斑示意图

Fig. 5 Sketch of smoke excursion laser spot

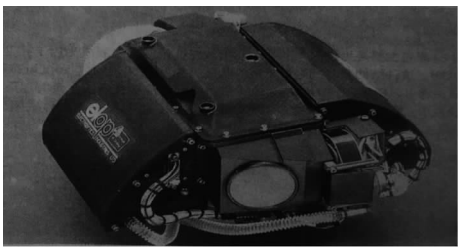

图 6 美 VLLR 系列激光指示/测距仪

Fig. 6 US VLLR series laser indicator/rangefinder

3.2 红外成像制导系统

无人武器平台还载有红外行扫描器、凝视焦平面阵列成像探测器、非冷红外探测器等红外成像制导系统,其中凝视焦平面阵列成像探测器和非冷红外探测器是目前使用最广泛的红外设备,主要用于战场侦察和监视,通常由红外摄像头、图像处理电路、图像识别电路、跟踪处理器和稳定系统组成。红外制导系统主要用于导弹或精确炸弹,由光学系统、调制器、红外探测器、制冷器、伺服机构和电子电路等组成。红外制导系统主要是被动红外寻标制导,由于其基本不受电磁频谱干扰,被动寻标隐蔽性好,夜战效果极佳等优点,一般广泛用于近程导弹和远程炸弹的末段制导[5]。

3.3 电视成像系统

电视成像系统在无人武器中主要用于实时监视、侦察、辅助操作和制导功能,通常采用焦平面阵列电荷耦合器件的电视成像系统。电荷耦合器件表面温度受激光干扰的变化曲线见图 7 所示,从图 7 可以看出电荷耦合器件表面温度随着激光干扰功率的增大而呈近似线性增长趋势[7]。电视成像系统主要利用内置扫描系统和增稳系统在目标识别、伪装与反伪装等军事领域,水文气象遥测、环境核化生监测等领域广泛应用[6]。电视制导系统最早可追溯至德国 HS294D 型空地制导弹,此后美军 AGM-62Walleye 型电视制导滑行炸弹以其精确打击能力成为典型代表。电视制导系统发展至今,仍然具有受昼夜和天气等因素影响较大的缺点,所以在无人武器装备中并不是唯一使用的光电感应探测设备。

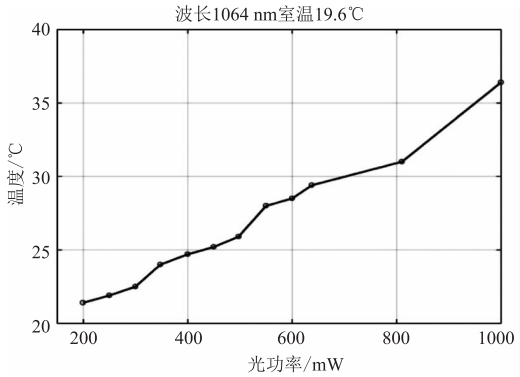

图 7 电荷耦合器件表面温度随激光干扰功率的变化曲线

Fig. 7 The variation curve of CCD surface temperature with laser power

3.4 多探测器转换机

由于各种制导系统各有优长,也有明显的不足。因此,多探测器转换机的作用是将激光指示器、红外成像系统、电视成像系统等采用转塔式平台综合利用。多探测器转换机内部一般配有多轴陀螺稳定系统,可以使无人武器实现全天候、昼夜不间断的战场侦察、监视和火力打击。

4 无人武器主要弱项

近年来,无人武器装备在科技的引领下发展迅猛,但其自身仍存在诸多不容忽视的问题。如整体结构脆弱、指控系统易被敌方干扰、任务设备易暴露、智能化程度低等。在反无人武器作战中,可以充分利用无人武器系统存在设计上的弱点和漏洞,对其实施针对性的干扰、迷惑、控制、捕获和打击。

4.1 整体结构脆弱易受打击

无人武器系统中特别是无人机的机体通常由重量较轻的复合材料制成,加之对成本、重量等因素的考虑,其抗摧毁能力较弱;发动机功率一般较小,因而其航速较小,飞行高度较低;绝大多数无人机自身不具备机载自卫系统。这些特点使无人机在空中飞行时,更容易被空中、地(海)面的武器平台发现、跟踪和攻击。

4.2 指控系统易被干扰

无人武器系统控制方式通常有两种:一是由卫星、无线电等定位系统导航,按预先编定程序控制在指定地域执行任务,可实现“自主攻击”。大部分地面无人武器系统如反步兵作战机器人等在任务启动后可以对敌方步兵进行自主射击。二是由地面控制系统远程遥控,需要地面操作员实时控制。无人武器系统对定位系统的依赖性主要表现在无人机方面,无人机导航控制系统易受敌方有意干扰,导致其无法按预定航线飞行,进而无法成功抵达任务区域,造成任务失效。而第二种控制方式,无人机易被敌方侦测遥控信号,遭到敌无线电压制干扰,从而导致其处于失控状态。

4.3 任务平台易被侦测

无人武器系统为了完成侦察、干扰、反辐射攻击或火力打击等任务,通常配备有各种有源或无源的任务设备。以美军“全球鹰”无人机为例,该机配备有光电、红外传感系统和合成孔径雷达。其中合成孔径雷达为有源侦察,工作在 X 波段。有源的任务设备是无人武器系统暴露的一大隐患,只要对无人武器系统有源任务设备信号进行监听、识别,即可实现对无人武器的侦察、跟踪,并实施电子攻击。即便是无源任务设备在开机工作时,也有可能产生电磁辐射,从而被电子对抗侦察接收机侦测。

4.4 智能水平先天不足

无人武器系统主要依靠空中和地面控制站执行任务,一旦出现故障,无法实现自修复或依靠自身排故,需根据地面指令返修,严重影响执行任务率。其识别、误判系统技术尚不成熟,遇到空中威胁时,无法有效识别目标真假,及时判断敌我,先机制敌或改变航路避障,误伤概率很大。无人武器系统中多数无人机不具备自卫能力,且其飞行航线必须预先设定。

5 光电对抗技术反无人武器的对策与思考

针对无人武器系统存在的难以克服的短板和弱项,现有利用光电对抗技术反无人武器技术可概括为:预警、干扰、硬摧毁、软杀伤四类。通过对反无人武器技术的综合运用可以在一定程度上降低和消除无人系统对我海陆空战场的威胁。

5.1 利用光电对抗技术实施战场预警

反无人武器系统首先必须探测、识别以及定位目标无人武器。对无人武器的探测识别可分为两种形式。一是光电探测,无人武器系统在运作时需要发射光电信号进行主动寻标,并需实时或定时与地面指控系统通联,可对其光电和通联信号进行搜索、分析,进而对无人武器进行识别并跟踪。二是雷达探测,运用空中监视雷达和光电传感器对指定空域进行搜索,将收集到的数据进行综合和相关性分析,第一时间发现并锁定战场无人武器系统。

5.2 利用光电对抗技术实施作战干扰

针对无人武器光电感应设备对目标真假实时识别能力有限这一弱点,可采取隐真示假的手段降低无人武器系统的侦察、监视效能。一是在主要战场区域和重点目标利用宽波段的烟雾粉尘进行短时间遮蔽干扰,主要干扰中远红外、毫米波段的光电侦察探测装备。烟雾粉尘的遮蔽透光率直接影响远红外成像系统的成像功能,从而降低其侦察监视效果。二是运用多功能伪装网、雷达角反射、新型红外伪装涂料等伪装新技术、器材,在重点区域和重点目标进行遮蔽和伪装,为真实目标喷洒消光材料,通过改变目标易被光电成像系统所识别的红外图像等特征,使其难以识别目标;其次,针对反辐射无人机,可在其飞行航路上设置假雷达、假电磁辐射源等目标,诱骗对假目标进行攻击,消耗敌方反辐射无人机储量。三是消除可产生角反射器效应的外形组合,使入射激光穿透或反射后变成为另一波长的激光,还可以改变反射激光回波的偏振度,利用激光散斑效应,降低目标对激光的后向散射:如利用涂料降低目标表面的光洁度,使目标反射信号强度减弱。可涂覆吸收激光的涂料,结构设计成吸收型多层夹芯,这样既降低反射激光信号的强度,又延长反射光的到达时间。

5.3 利用光电对抗技术实施硬摧毁

立竿见影的毁灭性打击,可直接消除敌方无人系统对我造成的威胁。一是利用激光武器杀伤。激光武器是近几年防空和反导的新概念武器,主要以化学激光器和电能为辐射源的舰载、车载和机载激光武器。采用大功率激光照射无人武器系统,可以摧毁无人武器的光电侦察设备或机体。波音公司研发了“紧凑型激光武器系统”(CLWS),利用 2 kW 的激光束照射无人机尾部 10 ~ 15 s 之后,可将其击

落,此外还可以通过激光照射使光电制导的导弹和炸弹失灵,并在进程末段通过照射使其摧毁。二是利用微波武器杀伤。微波武器是与激光相比,其波段较宽,作用距离更远,受天气影响不大,高功率的微波武器能直接破坏各种无人武器系统中的光电设备。由于无人武器通常无法具备微波屏蔽功能,如采用大功率微波设备照射敌方无人机,可以彻底摧毁机载所有无线电接收设备的前端器件,从而使光电设备失效。

5.4 利用光电对抗技术实施软杀伤

通过强有力的技术手段,干扰破坏无人武器系统载有的光电设备,可极大降低其作战效能。一是光电磁攻击,无人武器一般不能对载有的电子设备进行微波屏蔽,通过地面大功率干扰机,干扰载有光电侦察设备和雷达侦察设备,使其失去情报侦察功能;二是导航定位系统干扰,无人武器系统目前最大的短板就是无法躲无线电干扰,特别是先进的长航时无人机等无人系统由于作战时间长,远离指挥控制中心,必须采用全球卫星导航定位系统进行导航才能航行,并以通信卫星为核心的卫星数据链路进行通信才能进行信息传输和飞行控制。通过干扰无人机卫星导航系统可使其失去作战能力;三是通信系统干扰,无人武器系统更依赖于通信资源,尤其是使用多种光电传感器来执行情报、监视和侦察任务的无人武器,更需要可靠的通信系统进行保障,通过定波段或全波段信号干扰压制,迫使无人武器失控、失效。

6 结 语

目前无人武器系统重点运用在现代陆战场和空战场,未来陆空战场控制的发展趋势是多域一体的战场环境与信息作战平台实施全域控制,灵活运用光电对抗技术实施战场预警和反侦察,对敌无人作战平台实施技术干扰,对敌无人作战武器实施硬摧毁和软杀伤,将有效遏制对手侦察效能,削弱对手无人武器作战效能,为维护我方陆空战场空域安全提供重要保障。

参考文献:

[1] The compilation team of unmanned systems of the world. Unmanned systems of the world[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2015. (in Chinese)
《世界无人系统大全》编写组. 世界无人系统大全[M]. 北京:航空工业出版社,2015.

[2] The depth of the military editorial board. Guide to unmanned equipment appreciation[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017. (in Chinese)
《深度军事》编委会. 无人装备鉴赏指南[M]. 北京:清华大学出版社,2017.

[3] XIANG Jiansheng, PAN Guoqing, MENG Weihua. Design of laser and infrared compound optical system[J]. Laser & Infrared, 2018, 48(1): 14 - 19. (in Chinese)
项建胜,潘国庆,孟卫华. 一种激光与红外复合光学系统设计[J]. 激光与红外,2018,48(1):14 - 19

[4] HU Bo, CHANG Junwei, et al. Laser semi-active seeking guided seeker optical system[J]. Journal of Applied Optics, 2012, 33(2): 403 - 404. (in Chinese)
胡博,常军伟,等. 激光半主动制导导引头光学系统的设计[J]. 应用光学,2012,33(2):403 - 404.

[5] LIU Qimin, FENG Yanming, ZHANG Dawei, et al. Experiment and analysis of RGB laser interference color CCD camera[J]. Laser and Infrared, 2016, 46(11): 1399 - 1403. (in Chinese)
刘启民,俸彦鸣,张大炜,等. RGB 激光干扰彩色 CCD 相机实验及分析[J]. 激光与红外,2016,46(11):1399 - 1403.

[6] GAO Run, NIU Chunhui, LI Xiaoying. Interference experiment and mechanism analysis of 632 nm laser on CCD and CMOS[J]. Journal of Laser, 2016, 37(9): 5 - 9. (in Chinese)
高润,牛春晖,李晓英. 632 nm 激光对 CCD 和 COMS 的干扰实验及机理分析[J]. 激光杂志,2016,37(9):5 - 9.

[7] ZHANG Chao, ZHANG Wei, WNAG Bin, et al. Experimental study on interference of different wavelength laser on CCD[J]. Laser Technology, 2014, 38(6): 826 - 829. (in Chinese)
张超,张伟,王滨,等. 不同波长激光对 CCD 的干扰性实验研究[J]. 激光技术,2014,38(6):826 - 829.