

## 【武器装备】

## 基于 CCD 成像技术的绿激光反狙击系统\*

王良斯<sup>1</sup>, 殷科<sup>2</sup>, 吴武明<sup>2</sup>, 王磊<sup>3</sup>, 杨大川<sup>3</sup>

(国防科学技术大学 光电科学与工程学院, 长沙 410073)

**摘要:**为解决反狙击中主动探测、准确干扰等问题,根据“猫眼效应”和新的干扰机理设计了基于 CCD 成像技术的绿激光反狙击系统.该系统由红外 LED 探测光源、CCD 接收端、监控系统及绿激光器 4 部分组成.系统用红外 LED 光源代替红外激光光源模拟远距离试验效果,利用平凸透镜对红外光成像进行矫正;使用了滤光片和监控软件降低外界环境光线的影响,提高了信噪比,实现实时显示;运用绿激光致盲效应,实现了快速、准确、高效干扰;利用软件在实时显示屏上标出 10、20 和 29 m 距离时干扰区域,转台带动组合的 CCD 和绿激光器至干扰区域实现干扰.最后通过实验验证该系统的可行性,并从理论上得出致盲激光脉冲能量与干扰距离的对应关系.

**关键词:**CCD 成像技术;反狙击;红外探测;猫眼效应;绿激光致盲干扰

**中图分类号:**TH745

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2010)01-0019-03

狙击手一直是战争中令敌人闻风丧胆的王牌力量.在反恐和维和等行动中,狙击手成为了最主要的威胁之一.目前国外反狙击应用得较广泛的声探测系统和红外探测系统往往采用后发制人的方式,必须在狙击手实施攻击后才能够探测出来,使守方陷于被动.传统的攻击手段以狙击手防范狙击手,由于风速、重力、空气湿度等因素干扰会使子弹轨道出现偏差,加上狙击手隐蔽得很好,导致探测效果的不理想.激光反狙击系统则很好地解决了这个问题,能够主动地探测和干扰狙击手.国外装备的激光反狙击系统主要有美军的 stingray“鱿鱼”激光武器系统<sup>[1]</sup>和俄罗斯研制的“便携式自动反狙击手系统”<sup>[2]</sup>,而国内在这方面的研究还比较少.本文中以激光反狙击技术在反狙击系统中的应用为目的,对该系统的组成及应用进行研究.

## 1 系统设计

系统用红外 LED 光源代替红外激光光源模拟远距离试验效果.转台带动系统转动.LED 灯发射出 850 nm 的红外光实施探测.当红外光照射到狙击镜时,根据“猫眼效应”原理,将回射比普通漫反射强很多倍的光.红外光进入改装的 CCD 成像仪(在其前面加装 850 nm 窄带滤光片和平凸透镜),并由监控软件处理后在监控系统上就可以清楚看到瞄准具的位置有一明显亮斑,调整至有效攻击区域,发出指令,532 nm 的绿激光即可通过汇聚透镜进行干

扰.系统流程见图 1,实物见图 2.

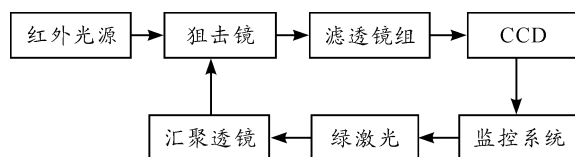


图 1 系统流程

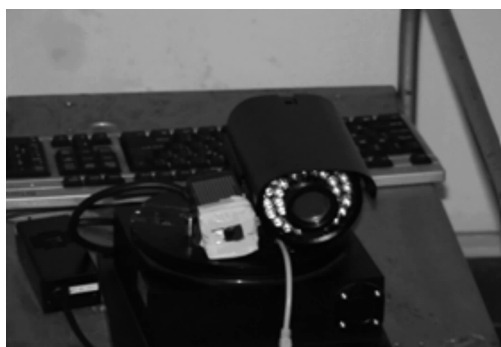


图 2 实物

## 2 基本原理

### 2.1 探测原理

该系统探测部分是基于“猫眼效应”.狙击镜的结构可近似等效为一个理想成像透镜和一个放置在焦平面处(或附近)的反射元件.平行光入射时会汇聚到光焦面上,由于

\* 收稿日期:2009-11-09

作者简介:王良斯(1989—),男,湖北通城人,主要从事光电技术探测研究.

光路可逆,经光焦面散射的光将会沿原路返回,从而产生方向性好、能量集中的反射光。猫眼目标的返回率为<sup>[3]</sup>

$$R_s = \frac{4\tau_s A_s \cos^2\psi}{\pi\theta_s^2} \quad (1)$$

对于漫反射目标的返回率为

$$R_l = \frac{\rho A_s \cos^2\psi}{\pi} \quad (2)$$

猫眼目标的返回率远大于漫反射目标的返回率,因此可以将返回率低的漫反射光滤去而凸显猫眼目标,从而发现狙击手的位置。利用 850 nm 的红外光探测可避免被狙击手肉眼察觉,使守方人员的反狙击具有突然性,提高效率。

## 2.2 干扰原理

该系统干扰部分是基于绿激光致盲效应。根据参考文献<sup>[4]</sup>,人眼可以看成是由角膜等介质组成的透镜组,对可见光波长强烈的聚焦作用使得到达视网膜的激光能量密度比角膜处高出 10 万倍,因此视网膜是最容易受激光损伤的地方。对波长为 532 nm 的倍频 Nd:YAG 激光,视网膜的有效吸收率是 65.1%,并且 532 nm 的波长十分接近血红蛋白吸收峰值,对视网膜的致伤作用最强,最容易造成视网膜出血。对波长为 532 nm、脉宽为 20 ns 的倍频 Nd:YAG 激光,致盲阈值为 0.04 ~ 0.1 mJ。眼睛受到激光辐射即使低于损伤阈值,可产生不足造成永久性损伤但能留下阻塞正常视觉达 2 ~ 3 min 的闪光盲效应<sup>[5]</sup>。利用对人眼损害最大的绿激光对狙击手实施致盲干扰,可使其短时间内失去作战能力,给己方人员创造出反应时间,以对狙击手采取有效措施。

## 3 实验

### 3.1 实验装置改进

CCD 感光光谱不但包括可见光区域,还延长到红外区域。外界环境中存在着各种频率的光,虽然“猫眼”回射光比漫反射光强很多,但由于光的发散及大气损耗等因素,回射光很弱而且淹没在背景噪声之中,所以要采取相应措施使噪声变小,提高信噪比。为了解决这一问题,在 CCD 前加装 850 nm 的滤光片。该滤光片直径 25.4 mm,通光口径大于 21 mm。入射角为 0° 时,滤光片<sup>[6]</sup>透过率如图 3 所示。

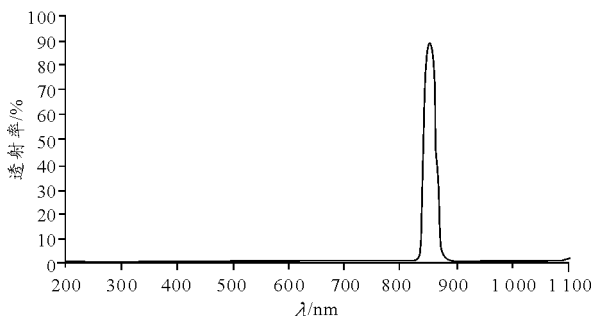


图 3 滤光片透过率

850 nm 的滤光片半高宽 20 nm, 峰值的透过率大于 85%, 除中心波长两侧各 1/2 带宽范围波段外,截止范围为 400 ~ 1000 nm 内光波的透过率为 0.001, 可有效地将杂光滤去。

由于普通 CCD 最初是设定在可见光范围内的焦平面上的,这就导致入射的 850 nm 红外光线会成像在 CCD 平面后方,造成 CCD 显示画面模糊不清,为此使用了合适的平凸透镜对入射光进行矫正,从而使入射红外光正好清晰成像在 CCD 平面上。

### 3.2 试验条件及结果

3.2.1 探测试验。在实验室光线条件充足的条件下,LED 灯组功率为 2.8W,实验人员站在 20 m 外,手拿狙击枪,设定监控软件的亮度、对比度、灰度值,实行优化修改。图 4 和图 5 为在相同的亮度和灰度值时,设定对比度分别为 60% 和 85% 时的显示画面。



图 4 对比度 60% 时的显示画面



图 5 对比度 85% 时的显示画面

对比图 4 和 5 可以看出,增加对比度后,目标狙击镜(图中亮点)更加突出,有效提高了信噪比。

3.2.2 干扰试验。实验中,将 LED 灯与绿激光器平行固定在一起(如图 2 实物图所示)。LED 灯与绿激光器一同随转台转动。当距离较远时,由于激光的传播过程中的发散作用,可将绿激光器和 LED 灯看做同一处发射。实验室内,500 mW 绿激光器发射的激光  $\lambda$  为 532 nm,激光束发散角  $\Omega$  小于 2 mrad,激光器发射口径  $D$  为 6 mm。测得绿激光光斑直径 10 m 处为 24 mm,20 m 处为 54 mm,29 m 处为 90

mm. 分别在 10, 20, 29 m 处置一大面积透镜, 用 850 nm 红外激光器取代绿激光器, 光线通过一可调透镜组, 做出等直径的光斑. 在亮斑位于显示屏中心时, 利用软件在显示屏上标出干扰区域 (如图 4 中黑圈所示, 由里到外依次为 10, 20, 29 m 的干扰区域). 控制转台, 使目标 (图中亮点) 进入干扰区域, 即可发出干扰指令实施致盲干扰.

### 3.3 实验结果分析

系统用红外 LED 光源代替红外激光光源模拟远距离试验效果. 实验中, 其他镜片或较光滑的物体的猫眼效应较明显 (图中亮斑), 但根据图形形状 (小亮点) 仍然可以分辨目标. 操作人员利用监控软件可灵活处理现场情况, 探测时设定较高对比度, 发现可疑亮点, 调低对比度进行分析判断, 再作进一步处理.

要实现远距离绿激光干扰, 将连续绿激光器改为波长为 532 nm、脉宽为 20 ns 的倍频 Nd:YAG 脉冲绿激光器. 激光脉冲能量<sup>[7]</sup>

$$E = \frac{E_0(\Omega R/\beta)^2}{(D/2)^2 \tau_f \tau_0} \quad (3)$$

取  $E_0$  为视网膜绿激光致盲能量 0.1 mJ, 激光发射系统的光束发射角的压缩比  $\beta$  为  $2^\circ$ , 大气传输系数  $\tau_f$  为 0.8, 光学传输系数  $\tau_0$  为 0.9, 激光束的发散角  $\Omega$  为 2 mrad, 绿激光波长  $\lambda$  为 532 nm, 人眼瞳孔直径  $D$  为 6 mm. 从式 3 可以计算出激光脉冲能量  $E$  与干扰距离  $R$  的关系, 如图 6 所示.

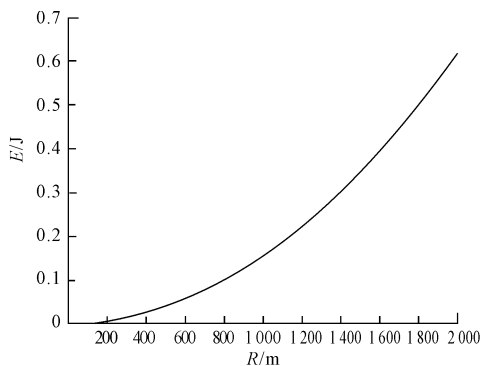


图 6 激光脉冲能量与干扰距离关系

由图 6 可知, 在 1.5 km 内对狙击手实现致盲攻击, 激光脉冲能量应为 0.35 J.

## 4 结束语

设计了由红外 LED 灯、CCD 接受端、监控系统和绿激光器组成的新型的反狙击系统. 系统用红外 LED 光源代替红外激光光源模拟远距离干扰效果, 实现实时显示. 建立了干扰距离与显示屏上干扰区域的对应关系, 实现了快速准确、高效干扰. 最后从理论上给出了致盲激光脉冲能量与干扰距离的关系, 初步实现了从预警到攻击的全过程. 在实际运用中, 用红外激光实施探测, 脉冲绿激光实施干扰时, 应建立不同外界环境引起干扰区域改变的数据库, 并对具有猫眼效应的实物进行研究, 以便能更好地做出判断.

## 参考文献:

- [1] 王玺, 聂劲松. 激光致盲技术及其发展现状[J]. 光机电信息, 2007, 24(10): 50-53.
- [2] 林源. 城市反狙击行动分析[J]. 轻兵器, 2009(3): 16-19.
- [3] 郑荣山. 地面“猫眼”目标激光探测距离分析[J]. 光电技术应用, 2005, 20(4): 16-19.
- [4] 付伟. 强激光致盲研究[J]. 应用光学, 2001, 22(6): 17-22.
- [5] 付伟. 激光致盲武器 1-激光致盲原理[J]. 兵工自动化, 2003, 22(6): 22.
- [6] 上海兆九光电技术有限公司. 850nm 窄带滤光片 [EB/OL]. [2009-03-26]. <http://www.mega-9.com/850BP200D3T85A03.html>.
- [7] 张英远, 郑荣山, 刘劲松. 脉冲激光对星载探测器的干扰和损伤分析[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(9): 1758-1760.