

文章编号: 1001-3806(2003)06-0600-03

## 目标反射特性与“猫眼”效应研究

马浩洲

(中国电子科技集团公司第二十七研究所, 郑州, 450005)

**摘要:** 对激光应用技术领域主要涉及的漫反射目标进行反射特性分析, 着重对近年来关注较多的光学镜头的“猫眼”效应做技术探讨, 给出试验数据, 浅析其应用。

**关键词:** 目标; 反射; 光学; “猫眼”效应

**中图分类号:** TN249      **文献标识码:** A

### Study on the reflective characteristics of the targets and the “cat's eye” effect

Ma Haozhou

(The 27th Research Institute, China Electronic Technology Corp., Zhengzhou, 450005)

**Abstract:** The reflective characteristics of the diffused targets are analyzed in the applied fields of the laser technology. The “cat's eye” effect of optical lens, being focused in recent years, is discussed in detail. Test results are given and its applications are introduced briefly.

**Key words:** target; reflection; optics; “cat's eye” effect

## 引言

任何主动探测传感器, 无论是雷达还是光电探测设备, 其工作均依赖于目标的反射特性。雷达是通过接收目标的反射波获得目标信息的; 激光测距、激光雷达、激光制导都是通过目标反射的激光回波获得相关信息。要获得信息就必须有足够的能量, 故雷达天线都具有一定的增益, 增益的大小与天线的构造、材料等因素有关。不同的天线有区别于其它目标的反射特性, 这为侦察光学天线提供了可能。

### 1 目标的分类

根据对激光的反射特性, 目标主要分为两类: 漫反射目标和镜面反射目标。

如果目标表面粗糙度的均方根值与激光波长相近或略大一些, 那么, 反射信号将在大范围内散射。此类目标定义为漫反射目标, 它可分为两种: 朗伯面; 气溶胶和空间散射物。朗伯面是指散射光强度遵循朗伯余弦定律的表面。确切地说, 从材料表面

任何给定方向上反射的光强(单位立体角通量)正比于该方向与表面法线之间夹角的余弦。在大部分的激光应用中, 对空气中气溶胶、雨、雪以及其它颗粒引起的杂波应被克服, 但在一些情况下, 这些颗粒却是激光探测的目标, 它们具有漫反射目标的特性。一般常将建筑物、自然物、飞行器、舰船和地面车辆等看作漫反射目标。

第 2 类目标被称为表面粗糙度的均方根值远小于激光波长的任何球状物体, 都会产生镜面回波。被激光束均匀照射的球面物体的唯一特征是在所有方向都做相等的镜面反射, 镜面回波常称为回波闪烁。此类目标又分为立方体反射器和反射板。立方体反射器不仅做镜面反射, 而且可看作是回射, 也就是在光学衍射极限内, 将所有的入射光沿照明瞄准线原路返回。3 个反射镜互相垂直地联在一起, 形成中空的角反射器, 用于宽光学波段。另一种常见的角反射器是用整块玻璃制成的直角三棱锥体, 这种角反射器亦称反射棱镜, 利用全内反射将所有的入射能量返回。反射板由一系列小玻璃微珠组成。这些小珠的后半球镀反光层, 反射光发散度由这些珠子的固有特性确定, 增加板尺寸不会减小回光的发散度。

另外还有一些目标, 它既有漫反射部分, 又有镜

作者简介: 马浩洲, 男, 1964 年 9 月出生。工程硕士, 高级工程师。主要从事激光技术在数字测距、激光侦测定位、激光雷达和光电跟踪等领域的开发及应用研究。

收稿日期: 2002-10-28; 收到修改稿日期: 2002-12-12

面反射部分。对于只有一个镜面反射体的目标,称为简单混合式目标,如果有多个镜面反射体,则称为复合式目标。

## 2 漫反射目标反射特性分析

假定激光在大气中的传播遵守几何光学定律;大气是均匀的、各向同性的;激光光束能量分布近似均匀;激光接收系统与发射系统空间距离很近,且光轴是彼此平行的。设激光脉冲能量为  $E_t$ ,发射光学系统透过率为  $\tau_t$ ,出射束散角为  $\theta_t$ ,则不难得到在距离  $R$  处激光光斑单位面积的激光能量为<sup>[1]</sup>:

$$E_1 = \frac{4 E_t \tau_t}{\theta_t^2 R^2} \quad (1)$$

式中,  $\tau_t$  为激光大气透过率。当漫反射目标截获入射激光,激光光束照射的目标面积为  $A_s$ ,且被照射部分平均表面法线与入射光的夹角为  $\theta$ ,漫反射系数为  $\tau_r$ ,如图 1 所示。

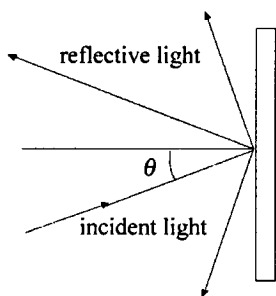


Fig. 1 Schematic diagram of the reflective characteristics of the diffused targets

则被目标截获的激光能量为:

$$E_2 = \frac{4 E_t \tau_t A_s \cos \theta}{\theta_t^2 R^2} \quad (2)$$

漫反射目标向入射方向的半球空间均匀漫反射的总能量为:

$$E_3 = \frac{4 E_t \tau_t A_s \cos \theta}{\theta_t^2 R^2} \quad (3)$$

当它反射回测距机处,被有效接收面积为  $A_r$ ,透过率为  $\tau_r$  的接收系统所接收,而到达光敏元件光敏面上的回波能量  $E_r$  为:

$$E_r = \frac{2 E_t \tau_t \tau_r^2 A_r A_s \cos \theta}{\theta_t^2 R^4} \quad (4)$$

换成功率表示:

$$P_r = \frac{2 P_t \tau_t \tau_r^2 A_r A_s \cos \theta}{\theta_t^2 R^4} \quad (5)$$

实际上,粗糙表面对入射激光的反射并不是各向均匀的,但可定性地视为朗伯源,用余弦分布代替后向均匀分布显然更接近实际一些,即认为入射方向的反射强度至少比平均值大 1 倍,而且认为激光入射

方向垂直于目标表面,即  $\theta = 0$ ,于是常用的功率表达式为:

$$P_r = \frac{4 P_t A_r A_s \tau_t \tau_r^2}{\theta_t^2 R^4} \quad (6)$$

(6) 式即为对漫反射小目标的激光测距方程。当漫反射目标足够大,目标面积不小于激光所覆盖的范围时,此时则称目标为大目标。一般由于  $\theta_t$  很小时,  $\tan \theta_t \approx \theta_t$ 。此时目标反射面积:

$$A_s = R \tan \theta_t \approx \frac{1}{4} R^2 \theta_t^2$$

代入(6)式即得: 
$$P_r = \frac{P_t A_r \tau_t \tau_r^2}{R^2} \quad (7)$$

这就是激光对漫反射大目标的测距方程。

## 3 光学镜头的反射特征分析

### 3.1 战场光学镜头的分类

战场光学镜头共分 3 类。望远类:包括瞄准望远镜、观察望远镜等。传感类:包括激光测距光学镜头、制导光学镜头等。成像类:包括电视摄像镜头、侦察照像机等。分析以上几类光学镜头,其共同的特点就是将远处的物体或入射的平行光成像于焦面上。图 2 是几类光学镜头的等效原理图。

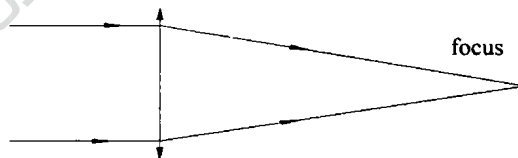


Fig. 2 Equivalent schematic diagram of the optical lens

### 3.2 光学镜头的“猫眼”效应

光电检测用的传感器镜头、电视摄像头、观察望远镜等,其共同特点是有集光本领,即将入射的平行光成像到焦平面上或会聚到位于焦点的探测器面上。望远镜的分划板则位于物镜与目镜的共焦点位置。

由于光电传感器的探测器通常都位于光学系统的焦面,正入射的平行光经焦面上的物体反射后将按原路返回。由于光学镜头产生的后向散射光方向性好,所以能量集中、亮度高。如同在黑夜看到的猫眼一样,这就是光学镜头的“猫眼”效应。

通过分析和实验可以得出,在一定的距离范围内光学镜头的后向散射光强要比漫反射体后向散射光强度高出 2~3 个数量级。其光强密度之比可写为:

$$d = \frac{P_{op}/S}{P_{tan}/S} = \frac{P_{op}}{P_{tan}} \quad (8)$$

式中,  $d$  为比率,  $P_{op}/S$  为光学镜头后向散射激光功

率密度,  $P_{\text{tan}}/S$  为漫反射体后向散射激光功率密度。用功率放大对数法表达上式, 并取  $D = 10 \lg d$ , 可得:

$$D = 10 \lg P_{\text{op}} - 10 \lg P_{\text{tan}} \quad (9)$$

可以用光功率衰减法测得  $D$  值。测量  $D$  值的实验方法如下: 在不同的距离用标准激光漫反射靶板或建筑物做背景, 用激光测距机接收光学系统和传感器组成“猫眼”系统, 用  $1.06 \mu\text{m}$  脉冲激光测距机作为发射激光光源和激光回波收集检测装置。分别用镜头和背景做目标, 用吸收型光学衰减片对发射功率进行衰减, 检测回波信号为一特定值, 计算两种目标衰减片分贝数之差即为  $D$  值。表 1 为测试结果。

Table 1 Test results of the  $D$

background	ground	standard target	building (grey)	building (white)	building
distance/ km	0.4	0.5	2.8	4.5	6.0
$D$ / dB	35	37	20	20	14.8

#### 4 “猫眼”效应的应用

在现代战场上, 不仅存在传统的光学设备, 更有电视跟踪/ 制导和激光测距、激光制导等新型装备。光电精确制导武器的发展已成为军事目标的重大威

胁<sup>[2]</sup>。如何对付光电精确制导武器、提高自身生存能力, 是摆在各国军方面前的一个严峻的课题。有效的光电对抗是提高自身生存能力的关键手段。

光电技术的应用虽然提高了武器系统的测量精度、打击精度和隐蔽性, 但其本身的光学系统也存在着“猫眼”效应。通过对地面、空中或海上已知或未知目标进行跟踪探测或扫描探测, 利用光学系统与背景对照射激光反射特性的差异, 可以识别出光电探测设备; 对激光回波信号做进一步分析, 还能得到目标特性等综合信息, 这就为实施有效的光电对抗提供了有利的条件。

近年来, 利用光学镜头的“猫眼”效应的应用研究开展得比较广泛, 美国已研制出利用“猫眼”效应来搜索敌方的光电传感器以实施准确打击。例如他们的“鲨鱼”光电对抗系统就是集激光主动侦察和致盲干扰为一体的车载式激光致盲武器。美国空军的“灵巧”激光定向红外对抗 (DIRMA) 系统, 也是一种集激光主动侦察和干扰为一体的光电对抗武器系统。

#### 参 考 文 献

- [1] 魏光辉, 杨培根. 激光技术在兵器工业中的应用. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 2~5.
- [2] 梅遂生. 光电子技术. 北京: 国防工业出版社, 1999: 12~17.

简 讯 ·

### 敬告作者

根据“美国工程信息公司 (Ei) 数据库”的要求, 请作者在投稿时注意:

1. 为了方便联系, 请提供确切的通信地址、单位名称、部门、电话、E-mail 等信息。
2. 应加强对摘要的撰写! 摘要是文章的真正概要, 应该全面、简要: 减少背景类的知识介绍; 不要用修饰语; 不要有实验数据; 不要出现方程、图、表、参考文献、特殊字符等。作者应组织好文章的主要概念并清楚、简要地表达出来, 才能实现摘要应有的作用, 传达重要的可检索信息。

一般的研究性论文其摘要必须包括被报道的研究项目的目的、使用方法、结果和结论, 不应太短; 也不要重复标题中已给出的内容; 不要使用多余的词语, 如“据报道……”, 或“大量的研究表明”; 摘要中不要写作者将来的打算。

对于文献综述, 只需简要说明文章的内容, 而不报道文章中使用的方法及得出的结果。

对于发展现状综述, 除了陈述文章的主题范围外, 还要给出文章得出的结论。

3. 英文摘要相当重要! 最好是中英文一致。原则是平铺直叙。
  4. 英文版稿件中应有中文题目、作者姓名、单位、摘要、关键词、中图分类号。
- 投稿时请注意“投稿”字样! 谢谢合作!