

文章编号: 1001-3806(2009)02-0221-04

红外点源导引头的激光回波分析

蒋治国, 樊洋

(海军工程大学 应用物理系, 武汉 430033)

摘要: 为了研究用激光主动扫描法侦察远方飞航导弹来袭方位的原理及实验技术, 以红外点源导引头光学系统为例, 运用矩阵光学追迹法对影响“猫眼”效应回波强度的因素作定性、定量分析。研究表明, 回波强度受导引头光路中光学镜头相对孔径、摄像管靶面倾斜和离焦的影响较大, 扫描激光光束的入射角等因素对回波强度也有一定影响。在主动扫描装置距被探测导引头约 10000m、扫描光束的入射角为 0.08rad 条件下, 反射面离焦及倾斜使得侦察装置接收到的回波能量与发射脉冲能量之比由理想条件下的 43.80% 分别下降到 1.53% 和 0%。这一结果对“猫眼”效应用于主动式侦察的原理在导弹来袭告警系统中的应用是有帮助的。

关键词: 激光技术; 光学仪器; 光学追迹法; “猫眼”效应

中图分类号: TN977 **文献标识码:** A

Analysis of the laser reflection wave of infrared seeker

JIANG Zhi-guo, FAN Yang

(Department of Applied Physics, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to study the detection principle and experimental technique of the attack directions of cruise missiles based on “cat’s eye” effect, the factors that affecting the intensity of the reflection wave were analyzed both quantitatively and qualitatively with the method of ray tracing. Research results show that the relative aperture of optical lens, the incline and defocusing of reflection plane in infrared seeker optical system reduce the intensity of the “cat’s eye” reflection. For example, the ratio of the reflection energy of TV seeker and the pulse energy of scanning laser goes down from 43.80% (under the ideal reflection condition) to 1.53% (for the defocusing) and 0% (for the incline) respectively, while the distance between the laser scanning setup and TV seeker is 10000m and the incidence angle of scanning laser is 0.08rad. This results may be useful for the application of missile’s optical warning system.

Key words: laser technique; optical instruments; light ray tracing; “cat’s eye” effect

引言

激光主动侦察技术是利用激光束来侦察敌方的光电设备, 并对其进行探测、定位和识别的一种新型作战手段。这种主动式侦察技术在导弹来袭告警系统中具有重要实用价值^[1-2]。

只有理想“猫眼”反射光路能产生较强回波。而在实际应用环境中, 理想“猫眼”反射光路很难实现, 主动式探测装置因回波较弱等原因而对导弹来袭告警的准确度产生很大影响。因此, 深入分析影响“猫眼”效应回波的主要因素, 对于这种效应用于主动式侦察的原理在导弹来袭告警系统中的应用显得十分必要^[3]。

作者再次运用矩阵光学追迹法分析主动式侦察装

置所发射的光束在飞航导弹上的红外点源导引头光路中的透射、反射路径, 对影响“猫眼”反射效应回波的主要因素开展定性、定量的分析。

1 利用“猫眼”反射效应探测飞航导弹的飞行方位

飞航导弹上的红外点源导引头光学系统^[4]如图 1a 所示。目标光线 I_1, I_2 穿过八面锥形整流罩 M 照射到球面反射镜 H_1 上, 经过球面反射镜 H_1 反射到曼金次镜 H_2 上, 再经过曼金次镜 H_2 的反射, 进入正校正镜 L, 目标图像由正校正镜 L 成像在摄像管靶面 P 上, 从而实现对目标的成像探测。

主动式激光侦察装置如图 1b 所示。扫描装置 S 与回波探测器 J 平行排列(扫描装置 S 位于中间位置, 两边为回波探测器 J)。扫描装置 S 首先向划定区域发射激光束 I_3, I_3 直接照射在红外点源导引头上, 经过导引头的等效物镜 L_1 会聚在光学系统中的摄像管靶

作者简介: 蒋治国(1977-), 男, 讲师, 硕士, 主要从事光电信息处理方面的研究。

E-mail: 12345xyzabc54321@163.com

收稿日期: 2008-01-28; 收到修改稿日期: 2008-03-24

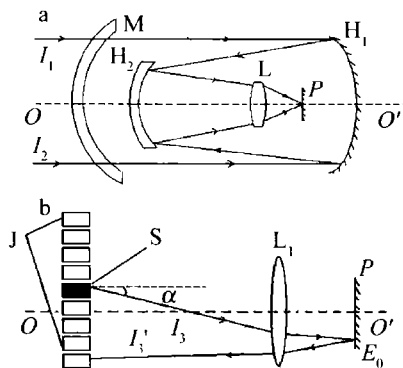


Fig. 1 The flying position of cruise missile detection based on the "cat's eye" effect, M—rectifier radome, H₁—spherical mirror, H₂—Mangin mirror, L—erecting lens, P—photosensitive surface, L₁—object lens, S—laser transmitter / scanner, J—detectors, α—angle of incidence

a—infrared seeker optical system b—schematic diagram of the laser detective setup

面 P 上(摄像管靶面正位于焦平面处),入射到 E₀ 点的光线将沿 I₃' 返回,返回光线 I₃' 再次经过物镜 L₁ 后射在回波探测器 J 上。这种能使反射光按入射方向返回的光路被称为“猫眼”反射光路。目标和背景所反射的激光信号由光电探测系统 J 接收。云层和大气等产生的背景回波通常较弱,而被探测红外点源导引头光学系统产生的“猫眼”反射波较强。这种回波差异是主动式激光侦察装置探测飞航导弹飞行位置的依据。

2 影响红外点源导引头摄像系统“猫眼”反射回波强度的因素

普通的红外点源导引头光学系统与理想“猫眼”反射光路存在一些差别。例如,红外点源导引头光学系统中的摄像管靶面(反射面)不是正好位于焦点上,这会引起后向反射回波光路的变化,使回波光束产生发散效应,从而降低回波强度^[5]。在飞航导弹弹体飞行过程中,随着外界照度不断变化,照度控制机构随之不断调整镜头的光圈数,以保证摄像管靶面照度的恒定。调整镜头的光圈数也就是改变光学镜头的相对孔径,这也会对回波产生很大的影响。

影响“猫眼”反射波强度的因数主要有:扫描光束的强度及入射角,被探测光学系统内部光学镜头相对孔径(光圈)和视场角,摄像管靶面倾斜和离焦,摄像管靶面面积和反射率等。

此外,红外点源导引头光学系统还存在像差(如球差)。球差随着入射光的入射角而变,产生与反射面倾斜类似的回波。

3 红外点源导引头“猫眼”效应回波的分析方法

3.1 反射光线追迹

扫描激光照射导弹红外点源导引头光学系统,光

线透过系统中的各透镜,再经反射面反射后,又通过各透镜射出。以下运用矩阵光学追迹法分析“猫眼”反射光线在系统中的往返路径。

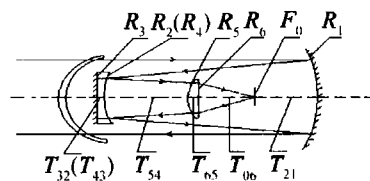


Fig. 2 Equivalent diagram of the infrared seeker optical system

根据矩阵光学^[6],图2中各透镜的折射表面和光学间隔可表示为矩阵 R 和矩阵 T,反射面的反射矩阵为

$$F_0 \circ R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 2n_0/r_1 & 1 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -(n_2 - n_1)/r_2 & 1 \end{bmatrix},$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, R_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -(n_0 - n_3)/r_4 & 1 \end{bmatrix}, R_5 =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -(n_4 - n_0)/r_5 & 1 \end{bmatrix}, R_6 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, T_{21} = \begin{bmatrix} 1 & d_1/n_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$T_{32} = \begin{bmatrix} 1 & d_2/n_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, T_{43} = \begin{bmatrix} 1 & d_3/n_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, T_{54} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & d_4/n_4 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, T_{65} = \begin{bmatrix} 1 & d_5/n_5 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, T_{06} = \begin{bmatrix} 1 & \tau/n_0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$F_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}。其中, n_0 为空气折射率; n_1, n_2, n_3, n_4$$

分别为 3 片反射镜、透镜的折射率; r₁, r₂, r₃, r₄, r₅ 分别为 3 片反射镜和透镜的前、后曲率半径; d₁, d₂, d₃, d₄, d₅ 为透镜厚度及反射镜、透镜间的距离;图2中曲面 6 到系统焦平面的距离 τ = -3.86mm(以上参量引自参考文献[4])。在遵守符号规则(及下标编号规则)的前提下,以上公式不仅适用于由左向右传播的光路(例如常规透射光路),也适用于由右向左传播的光路(例如“猫眼”反射光路)。

光路由左向右传播经过反射和折射到达摄像管靶面的系统矩阵 A₆₁ 为:

$$A_{61} = R_6 T_{65} R_5 T_{54} R_4 T_{43} R_3 T_{32} R_2 T_{21} R_1 \quad (1)$$

设入射光矩阵为 L₁,则回射(出射光)光矩阵为 L₀:

$$L_0 = R_1 T_{12} R_2 T_{23} R_3 T_{34} R_4 T_{45} R_5 T_{56} R_6 T_{60} F_0 T_{06} A_{61} L_1 \quad (2)$$

3.2 红外点源导引头“猫眼”反射回波能量的估算方法

设光束截面内光线的密集程度与光束携带的能量成正比。定义“探测器接收光线比例 η”为从光学系统反射出来照在回波探测器 J 上的激光束中光线数目与从扫描装置 S 发射的进入此光学系统的激光束中光线总数的比值。在大气透过率、透镜透射率、衰减片透过率及反射面反射率(不大于 5%)等参量一定的条件下,用接收光线比例数 η 可以估计回波探测器 J 接收

焦距不变,减小相对孔径(即缩小系统的口径),回射光线数目随之减少,使得探测器难以接收到回波信号。距离 S 同为2500m、相对孔径分别为0.8和1.2的光学系统,前者在入射光入射角为0.12rad时,到达探测器的回波信号即近似为0,而后者在入射角为0.16rad时,到达探测器的回波信号才近似为0。

此外,从表1和表2都可以看出,探测装置离光学系统的距离大小在摄像管靶面离焦时对接收光线比例产生一定的影响。距离越远,探测器接收光线比例越小。而在摄像管靶面倾斜及光学镜头相对孔径改变时对接收光线比例几乎不产生影响。

3.3.3 光学镜头视场角及探测波束入射角 α 对回波强度的影响 红外点源导引头光学系统中摄像管靶面面积有限,此有限面积限制光学镜头的视场角为 $\pm 2^\circ$,扫描圆半径对应的视场角为 0.5° 。在“猫眼”反射光路中,视场角的大小对斜入射光束(边沿光线)的回波强度影响很大。

只有扫描光束位于光学镜头视场角范围以内,才有可能产生“猫眼”反射。随着扫描光束入射角 α 的增大,回波的空间分布区域及光强均会发生很大的变化。

4 结束语

国内已有较多的研究讨论“猫眼”效应应用于侦察的设计方案的研究^[7-9]。这些文献中假设敌方仪器为理想“猫眼”光路,且反射的回波较强。而深入分析影响“猫眼”效应回波的主要因素文献^[5,10]则相对较少。BIAN^[5]采用光线追迹的方法着重分析了离焦时“猫眼”系统的回波功率的变化情况。这些研究结果对充分利用回射激光,实现对红外系统的主动跟踪和导弹来袭告警具有重要参考价值。

作者分析了红外点源导引头光学系统在外部激光照射下,产生回波的物理图像,定量估算了影响“猫眼”效应回波强度的主要因素。表1和表2中的数据再次表明:“猫眼”效应用于主动式激光侦察的适用条

件较为苛刻。回波强度容易受到侦察环境(例如探测方和被探测方相对位置)和系统装配误差(例如摄像管靶面倾斜、离焦)等因素的影响。但需要说明的是:作者所采用的矩阵方法仅仅对于近轴光线是合理的(入射角应该小于0.1rad),对于入射角范围在 $0.08\text{rad} \sim 0.16\text{rad}$ 的讨论则将带来一些误差,而这一误差并没有详细分析,并且以上的讨论都仅仅是理论探讨,某些结论有待进一步用大量光学仪器的实验数据加以验证。

参 考 文 献

- [1] ZHAO X J, GAO Zh Y, ZHANG Y Y. Technique of active laser reconnaissance and the applications in the military [J]. *Optical Technique*, 2003, 29(4): 415-417 (in Chinese).
- [2] MA H Zh. Study on the reflective characteristics of the targets and the "cat's eye" effect [J]. *Laser Technology*, 2003, 27(6): 600-602 (in Chinese).
- [3] JIANG Zh G, FAN L, WANG X Y, et al. Analysis of the laser reflection wave of television seeker [J]. *Optical Technique*, 2006, 32(4): 623-626 (in Chinese).
- [4] ZHONG R H. The infrared seeker of cruise missiles [M]. Beijing: Space Navigation Press, 1995: 62-63 (in Chinese).
- [5] BIAN X L. Influence of reflected wave power in deviate focus "cat-eye" system [J]. *China Measurement Technology*, 2007, 33(2): 85-86 (in Chinese).
- [6] ZHU Q Ch, CHEN Sh Sh. Introduction of optical matrix [M]. Shanghai: Shanghai Literature of Science and Technology Press, 1991: 24-65 (in Chinese).
- [7] YUAN Y H, LIU S H, SUN Ch W, et al. Research on back reflected characteristics of incidence laser in IR system [J]. *Applied Laser*, 2003, 23(1): 33-36 (in Chinese).
- [8] ZHAO H W, WANG J, SONG M, et al. Laser experimental study of "cat-eye" effect [J]. *Laser Technology*, 2005, 29(1): 62-65 (in Chinese).
- [9] GE Ch L, ZHANG K, YIE Y D, et al. Lie-of-sight pointing over the horizon target with "cat-eye effect" [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, 17(11): 1635-1638 (in Chinese).
- [10] JIANG Zh G, TAN J Ch, LIANG J, et al. Suitability of "cat's eye effect" for reconnaissance by the scanning laser [J]. *Laser Technology*, 2005, 29(5): 549-551 (in Chinese).