

文章编号: 1001-3806(2014)05-0647-04

激光测距机接收光学系统视场光阑的设计研究

王刚

(海军驻中国电子科技集团第二十研究所军代室, 西安 710000)

摘要: 为了提高激光测距机对背景杂散光的抑制能力和对漫反射小目标的探测能力, 采用了在激光测距机接收光学系统中加入与视场匹配的视场光阑的方法。经过理论分析和实验验证, 此种设计可取得较好的实验效果。结果表明, 在相同的背景和能见度下, 对同一目标测距, 视场光阑对抑制杂散光、降低噪声、提高探测灵敏度起到较好的作用。激光测距机加视场光阑后测距能力能提高到原来的约 1.18 倍, 具有更好的测距能力。

关键词: 激光技术; 激光测距机; 视场光阑; 测距能力

中图分类号: TN247 **文献标志码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2014.05.015

Design and study about field diaphragm of receiving optical system in a laser rangefinder

WANG Gang

(Navy's Representative Agency Positioned in China Electronics Technology Group Corporation 20 Institute, Xi'an 710000, China)

Abstract: To improve the suppression capability of the background stray light and the small-target detection capability of a laser rangefinder, a field diaphragm matching with the field was added in the receiving optical system of the laser rangefinder. Good results were obtained by the theoretical analysis and the experimental verification. The results show that the field diaphragm has better effect on the stray light suppression, the noise reduction and the detection sensitivity improvement. The ability of laser rangefinder with the field diaphragm was improved to about 1.18 times than that without the field diaphragm. The new laser rangefinder has better ranging capability than before.

Key words: laser technique; laser rangefinder; field diaphragm; ranging ability

引言

随着各国作战能力的不断加强, 面对日趋严重的地空导弹和空空导弹的威胁^[1], 未来反导形势愈加严峻。在此基础上提出了我国未来空、地、海一体化的反导体系架构设想, 同时对激光测距的高精度、快速、实时、远距离测距技术的要求也在不断提高。

从提高激光测距机的性能来看, 提高对目标回波的接收灵敏度比提高射向目标的激光功率更有效, 因为提高接收灵敏度不会增加激光测距机的体积、质量和功耗, 而提高发射功率将使它们大大增加。激光测距机的小型化、微型化固然与激光技术的发展有关(比如低阈值、被动调 Q 技术等), 但起决定性作用的还是接收技术的迅速发展, 它使系统

的接收灵敏度提高了两个数量级^[2]。接收系统设计时既要考虑提高对小目标的测距能力, 增大接收视场, 又要兼顾限制背景(特别是近距离背景)杂散光, 传统技术是采用光学滤光片或依靠调节增益来降低背景噪声, 本文中提出在接收光学系统中加入视场光阑来更好地提高测距能力。

为了实现对被测距目标背景杂散光的有效抑制, 提高对小目标的测距能力, 在激光测距机接收光学结构内加入视场光阑, 通过设计与接收视场相匹配的视场光阑, 充分利用视场光阑对成像范围的限定特性, 可减少进入光电探测器探测面的杂散光、抑制噪声、提高探测灵敏度, 对远距离小目标光信号的提取、提高测距能力有较深远意义的影响, 属于提高固体脉冲激光测距机测距能力的一种有效接收光学设计改进。

1 探测灵敏度对激光测距能力的影响

根据激光对小目标(非合作目标)的测距方

作者简介: 王刚(1977-), 男, 硕士, 主要从事光学工程方面的研究。

E-mail: 289038404@qq.com

收稿日期: 2013-09-06; 收到修改稿日期: 2013-11-25

程^[3]可知,激光测距的最大作用距离,与激光发射功率、发散角、光学透过率、接收灵敏度等诸多因素有关,测距方程如下式:

$$R = \left[\frac{4P_i \tau_i \tau_r A_r A_s \rho \tau^2}{\pi^2 \theta_i^2 P_r} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

式中, R 为测距距离; P_i 为发射峰值功率; τ_i 为发射光学透过率; τ_r 为接收光学透过率; A_r 为探测系统接收光学面积; A_s 为目标反射截面积; ρ 为目标反射率; τ 为激光双程水平透过率; θ_i 为激光发散角; P_r 为接收灵敏度。

根据(1)式可知,当其它参量不变时, $R \propto P_r^{-1/4}$,即降低 P_r ,则可提高测距距离。提高 P_r 的方式比较多,在接收系统中加入相匹配的视场光阑限制背景光噪声使之最佳化不失为一种简单可行的办法。

2 接收光学系统视场光阑的设计

接收光学系统的功能是尽可能多地收集目标反射的激光能量、抑制杂光背景干扰,保证一定的成像像质,完成光学增益调节,满足探测视场要求^[4]。光学系统能够清晰成像的视场范围是有限的,视场的大小可用相对应的光阑加以限定,这种光阑称为视场光阑^[5]。

2.1 接收光学系统组成

对非合作目标的直接探测系统而言,接收光学所能收集到的目标回波光功率是正比于接收系统的有效接收面积,但任何激光测距机都有严格的体积、质量限制,因此接收系统的有效接收面积不可能很大,于是就出现了这样的问题:如何使有限的接收面积能更有效地接收目标回波光脉冲功率?所以接收光学设计的重要性不言而喻^[2]。

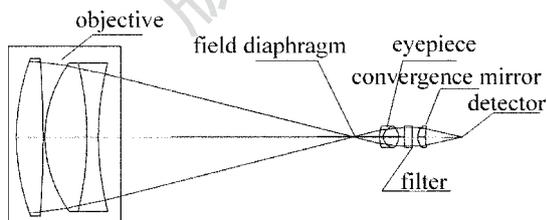


Fig. 1 The receiving optical system with field diaphragm

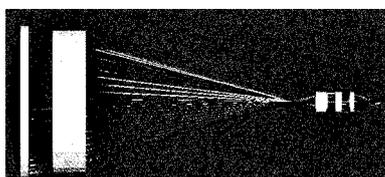


Fig. 2 The 3-D model of the receiving system

加入视场光阑的激光测距机接收光学系统由物镜、视场光阑、目镜^[6]、滤光片、汇聚镜及探测器六部分组成,如图1所示,其3维模型如图2所示。

2.2 视场光阑的参量设计

视场光阑设计的关键因素是参量设计,即视场光阑要与接收视场相匹配,才能将接收视场外的杂散光抑制掉^[7]。视场光阑直径 d 的大小与接收视场 ω 的关系^[6]如下式所示:

$$d = f \tan \omega \quad (2)$$

式中, d 为视场光阑直径,单位mm; f 为物镜焦距; ω 为接收视场。

由(2)式可知,当接收光学物镜焦距 f 和接收视场 ω 确定后,视场光阑直径 d 的大小就确定了。但实际工程设计时还要考虑每个课题的应用背景、特点、加工能力等其它因素^[8]。

2.3 接收光学系统视场光阑的实现方式

加入视场光阑的接收光学系统实现方式如下:

- (1)无论对现有设备改造还是设计新的接收光学系统,都需在接收光学系统物镜焦面处加入合适视场的视场光阑,并设计为轴向距离可调(径向距离由结构件加工精度直接保证);
- (2)轴向调节视场光阑时,必须按照设计要求选取与设计光源一致的光源照明小孔,并采用无视差瞄准镜辅助调整视场光阑的轴向位置,轴向位置到位后用紧定螺钉固定;
- (3)注意:调校时如不采用设计要求的光源时,需加入补偿片进行光路补偿,补偿片设计时按照调校用光源的波长进行补偿设计。在调整过程中,补偿片能在接收物镜的调校过程中使光焦点移至与设计波长焦点位置一致处。补偿片的材料折射率为 n 、厚度为 t ,则加入补偿片所引起的焦点位置差 L 由计算公式 $L = (n - 1)t/n$ 确定。调校完毕后,即可拿去补偿片。

3 视场光阑对激光测距机的性能影响

为了检测视场光阑对激光测距机性能,特别是接收通道信号的影响,专门设计增加视场光阑的接收光学试验件,与不加视场光阑的接收光学系统进行专题对比试验。试验中采用同一台激光测距机对同一目标在相同背景下进行测试,检测两种接收光学系统对杂散光的抑制、探测器雪崩高压和接收通道噪声信号的影响。

3.1 视场光阑对杂散光的抑制作用

加入视场光阑的接收光学试验件组成见图3,

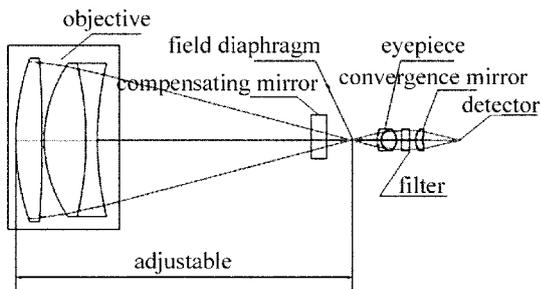


Fig. 3 The sample of a receiving optical system with field diaphragm

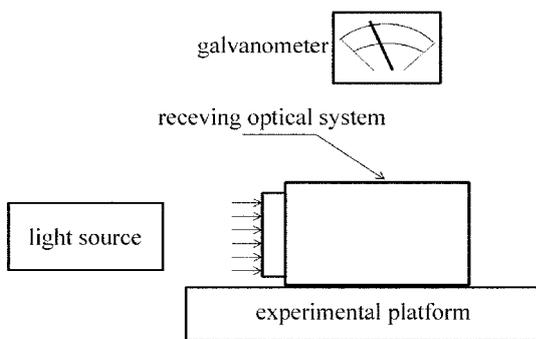


Fig. 4 The schematic diagram of stray light restraining test with field diaphragm

试验示意图见图 4。光源采用白炽灯(40W),故光学系统中需加入补偿片,视场光阑调校至物镜组焦平面处。光源距接收光学系统物镜组第 1 片透镜表面 15cm,照射接收镜筒。试验中通过改变视场光阑孔径大小,观察不同孔径大小的视场光阑对杂散光的抑制能力,试验数据见表 1。

Table 1 The data of the stray light restraining test with field diaphragm

the diameter of field diaphragm	receive field	photocurrent /nA	photocurrent changes
no field diaphragm	4mrad	25.3	
0.6mm	4mrad	5.5	reduced
0.5mm	3mrad	4.4	reduced
0.4mm	2.5mrad	3.3	reduced

试验设计值为:物镜焦距 $f = 157\text{mm}$,试验在同一台激光测距机上分别安装 4mrad,3mrad,2.5mrad 视场相对应的视场光阑,视场光阑尺寸根据(2)式可求出孔径大小分别对应为 0.6mm,0.5mm,0.4mm。实验室内使用同一平行光管测试,视场光阑对杂散光的抑制实验数据见表 1。

根据表 1 可知:同一接收视场,加视场光阑的光电流比不加视场光阑的光电流小;利用视场光阑对成像范围的限定特性来减小接收视场,当接收视场由大减小时,则光电流也从大变小,说明进入光电探测器的杂散光功率减少,故视场光阑能起到限制

杂散光的作用。

3.2 视场光阑对探测器雪崩高压的影响

激光测距机设计了噪声增益控制电路,即用噪声信号自动控制调节探测器雪崩偏置高压,使输出信噪比最优化。使用同一台激光测距机对同一漫反射目标、同背景测距,试验中只改变接收光学,观察加与不加视场光阑的两种接收光学对接收探测器雪崩高压的影响。试验先后改变背景,测量探测器雪崩高压的变化。试验数据见表 2。

Table 2 The high voltage of the avalanche detector

condition	field diaphragm	no field diaphragm	remark
same background	369V	298V	building background
escalate 5°	369V	293V	
air background	402V	313V	receiving lens point to the sun(no positive), and adjust the tilt
tilt change 10°	402V	286V	
the noise frequency for the same fixed background	364V (700Hz)	305V (700Hz)	the distant mountains is background

从表 2 可知:在相同目标、背景下,加入视场光阑的激光测距机雪崩高压比不加视场光阑的激光测距机雪崩高压高很多。由于在相同条件下,探测器雪崩高压越大,探测灵敏度越高,越有利于提高测距能力。这说明加入视场光阑的接收光学系统对背景噪声的抑制和探测灵敏度都优于不加视场光阑的接

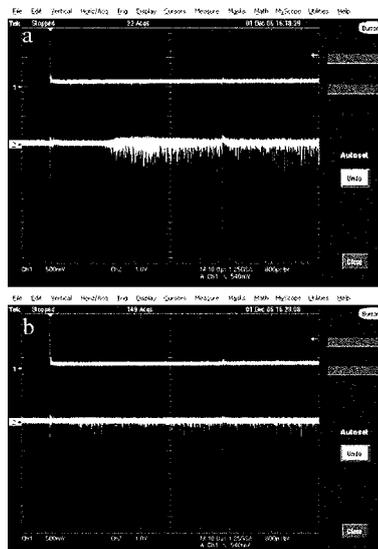


Fig. 5 The comparison figure of the influence of the field diaphragm on the noise in receiving channel

a—the signal of receiving channel without field diaphragm b—the signal of receiving channel with field diaphragm

收光学系统。

3.3 视场光阑对背景噪声的抑制作用

用同一台激光测距机分别加入 2.5mrad 视场光阑和不加视场光阑,先后对目标 8.5km 处烟囱测距,用示波器分别记录接收通道噪声波形,如图 5 所示(图中通道 2 波形中幅度最大的信号为目标 8.5km 对烟囱的回波信号,其余为噪声信号)。

从图 5 波形可知,同一台激光测距机不加视场光阑时,接收通道噪声最大幅度约为 1V,而加入视场光阑后噪声最大幅度仅为 0.5V,噪声幅度降低 1 倍,说明视场光阑能较好地抑制噪声,同时接收电路设计时回波阈值也可降低 1 倍。根据接收灵敏度 $P_r \propto$ 电压幅度阈值可知,当电压幅度阈值降低 1 倍时, P_r 也降低 1 倍。根据(1)式可知,当其它参量不变、而灵敏度提高 1 倍时,测距距离为原来的 1.18 倍,即激光测距距离能提高到原来的 1.18 倍。

4 结 论

根据现有试验数据,在相同背景、能见度下,对

同一目标测距,激光测距机接收系统中加入匹配的视场光阑后,接收通道噪声得到有效抑制;相对于不加视场光阑的系统,太阳光直接辐射影响更小。因此,可以提高接收灵敏度,增强激光测距机的测距能力。

参 考 文 献

- [1] YU Y H, WANG W S. Optical design of diffractive refractive hybrid ultraviolet warning systems[J]. Laser Technology, 2012, 36(3):421-423(in Chinese).
- [2] WEI G H. The application of laser technology in the weapons[M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1995: 45-46(in Chinese).
- [3] MA H Z. Laser active detection technology[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2002:6(in Chinese).
- [4] XIONG H F. Laser ladar[M]. Beijing: Aerospace Press, 1994:161(in Chinese).
- [5] HU Y X, AN L S. Applied optics[M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2006:103(in Chinese).
- [6] SHI S X, ZHANG H X. Physical optics and applied optics[M]. Xi'an: Xidian University Press, 2006:330-379(in Chinese).
- [7] HU J S. Introduction to optical engineering[M]. Dalian: Dalian University of Technology Press, 2005:130-137(in Chinese).
- [8] XIAO Z X. Optical design engineering[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2008:172-174(in Chinese).