

自动跟瞄 $10.6 \mu\text{m}$ 光学天线的设计与调试^{*①}

刘 华^{**} 何 毅 胡 渝

(电子科技大学应用物理所 成都 610054)

【摘要】 从宽带数字光波通信系统的要求出发, 经计算设计出收发合一, 具有自动搜索、跟踪、定位功能的高轴折反式光学天线。同时还给出天线实用外场的调试方法及其经验。所得实验结果表明, 该光学天线完全符合通信系统的要求。

关键词 光波通信; 收发合一; 自动搜索; 跟踪; 定位; 光学天线

中图分类号 TN 243; TN 203

光波通信具有高数据率、抗电磁干扰、保密性好、系统重量轻等优点, 是通信领域内一个富有生命力的分支, 被认为是未来空间通信和卫星通信最强有力的选择, 得到了许多国家的重视^[1~4]。对实用化的光波通信系统而言, 要解决的关键技术是天线的自动跟瞄技术(ATP)。本文所介绍的便是具有自动跟瞄功能的 $10.6 \mu\text{m}$ 宽带数字光波通信机光学天线的设计、外场的调试方法以及所得到的实验结果。

1 原理

宽带数字光波通信的光学天线具有转动惯量小、灵敏度高、视场宽等特点。它要求在发射信号时, 对信号光进行准直, 即压缩光束发散角, 以使几公里外的接收信号光能量较集中, 从而提高系统的信噪比。

本系统光学天线在光路上相当于一个望远镜系统。在保证扫描视场的同时, 为增加天线放大倍率, 设计中采用了两级扩束装置。第一级是预扩束系统, 不参与扫描; 第二级是主副镜系统, 参与扫描。发射天线光路原理图如图 1 所示。

系统中采用的 CO_2 激光器为单模偏振激光器, 光束发散角为 4 mrad 。设计要求的通信距离为 $3 \text{ km} \sim 5 \text{ km}$ 。由于 $10.6 \mu\text{m}$ 波段并无成熟的阵列探测器件可用, 系统采用天线扫描来进行搜索、跟踪和定位(ATP), 探测方式为相干探测。主镜的尺寸较大, 设计中决定采用反射镜。为减小天线扫描时的像差, 在设计时, 考虑过副镜透射—主镜反射式、副镜反射—主镜反射式两种天线模型。经过计算, 发现反射—反射式结构在天线扫描时像差急剧增加, 不能满足扫描视场的要求, 因此采用了副镜透射—主镜反射式结构。考虑到接收效率和加工难度,

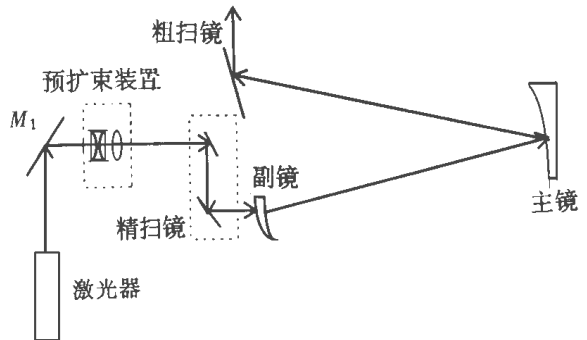


图 1 WDLCS 发射天线光路示意图

① 1997 年 9 月 25 日收稿, 1997 年 10 月 20 日修改定稿

* 国防科工委预研项目

** 男 26 岁 博士研究生

主镜尺寸设计为 150 mm。为了使天线的增益达到 10 倍,以满足 3 km ~ 5 km 的通信距离,光束的发散角应小于 $400 \mu\text{rad}$ 。由于主副镜系统的放大率不能过大,否则对精扫的要求太高,并且使得天线体积太大,因此将主副镜系统的放大率定为 10 倍。对高斯光束来说,通过将主镜和副镜适当离焦,虽可获得比固有放大率高得多的放大率,但对离轴系统来说像差也将增加很多。因此,我们增加一级预扩束装置,其放大率为 3 ~ 5 倍。预扩束装置不参与扫描,因此对扫描视场并无影响。

为实现收发合一,减小系统体积,并降低光路调整的难度,用一片布儒斯特窗作为收发隔离器件。由于激光器发出的是水平线偏振光,使用 $1/4$ 波片实现偏转,可使收发光束之间偏振垂直。布氏窗可使水平偏振的出射光基本全透射,接收光束由于是垂直偏振,将有近一半的损耗。布氏窗的位置如图 2 所示。

将布氏窗置于主副镜与预扩束镜之间,则接收光束不受预扩束器件调整带来的放大率和像差的影响。

天线扫描的方式对天线参数的选取有较大影响,在本系统中精扫方式采用 $X-Y$ 帧扫描,每帧的精扫范围为 $3 \text{ mrad} \times 3 \text{ mrad}$ 。经天线压缩后,精扫每步出射光束转动 $200 \mu\text{rad}$ 。在扫描过程中,光束在副镜上留下的轨迹如图 3 所示。

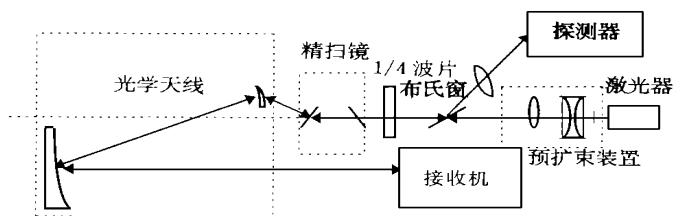


图 2 布氏窗的位置示意图

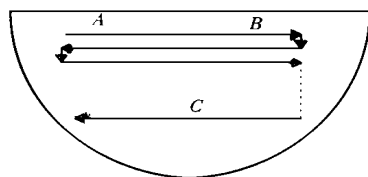


图 3 精扫光束在副镜上的轨迹示意图

X, Y 精扫镜到副镜的距离分别为 12 cm 和 8 cm,为达到 $3 \text{ mrad} \times 3 \text{ mrad}$ 的精扫范围,扫描轨迹的大小为 $36 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$ 。分别选定扫描轨迹上的 A (X 最大偏移点)、 B (零偏移点)和 C (X, Y 最大偏移点)三点的扫描光束进行像差计算。根据计算结果,可选择球面正透镜作为副镜,选择抛物面反射镜作为主镜。采用这种结构,可兼顾扫描视场和像差的要求。

由于本系统未设专门的信标光,因此采用角反射器作为跟踪定位器件。为简单起见,角反射器的聚焦就利用主镜,在主镜焦点上放置一片反射镜,则构成了一个角反射系统。

根据总系统要求及加工条件,我们选取主镜为中心曲率半径为 1 300 mm 的抛物面反射镜,其焦距为 650 mm。天线的副镜采用 Ge 薄透镜,其焦距取 65 mm,中心厚度取 5 mm,两面的曲率半径分别为 107.7 mm 和 71.8 mm,实际采用的光路系统如图 4 所示^[5]。

2 系统调试

在本天线的安装调试过程中,对发射光主要应解决的问题是副镜的调整。主副镜之间的距离和相对位置对发射光束的远场光斑形状影响甚大^[5]。调试过程中发现,主副镜相对位置偏几个毫米,出射光束的光腰可能偏离数百米,使发射角增加数倍。对于接收光场,主要调试重点在于探测器前场镜的选取。探测器的光敏面大小为 $3 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$,因此场镜的焦距就决定了天线的接收视场角。场镜焦距最后定为 80 mm,天线的接收视场角为 2° 左右。过小的接收视场角将大大延长扫描时间,并降低搜索的概率。由于天线的接收视场角大于激光器的光束宽度,为实现天线对准,必须进行双向搜索。

另外,场镜与探测器的相对位置也是影响接收效率的主要因素。场镜与探测器的相对位置失配会造成焦点的像质变差,从而使探测器光敏面上的光场出现相干相消,影响信号的强度,使相干

探测的性能下降。

3 调试结果

最后进行系统调试, 实验结果证实了进行系统设计时的计算结果。经过适当调整后, 分别在 10 m、200 m、400 m、800 m 和 1.6 km 处进行了单机对合作目标的搜索实验, 测得的光斑大小分别为 90 mm、150 mm、210 mm、310 mm、500 mm (光束出射处的光斑直径约为 90 mm), 根据光斑尺寸, 计算出光束发散角分别约为 0、300 μrad 、300 μrad 、275 μrad 、256 μrad 。这样, 在工程误差范围内, 可以认为该天线完全满足系统的要求。

试验中发现在光束动态扫描过程中光斑仍基本呈圆形。天线调试时, 发现如在晴天湍流大的情况下, 光斑漂移较大, 可通过适当降低每步扫描范围来保证搜索的可靠性。

在本文的写作过程中得到皮德忠教授、李贤副教授、赵向军助教、曾广荣高工、卢国纬副教授等的大力协助和支持, 在此特表谢意。

参 考 文 献

- 1 Lesh James R, Depaula Ramon. Overview of NASA R&D in optical communications. Proc SPIE, 1995, 2 381:4~11
- 2 Oppenhausser Gotthard. Silex program status-a major milestone is reached. Proc SPIE, 1997, 2 990:2~9
- 3 Suzuki Yoshiaki, Nakagawa Keizo, Takashi *et al.* Current status of OICETS laser communication terminal development-development of laser diodes and sensors for OICETS program. Proc SPIE, 1997, 2 990:31~37
- 4 Fenner Wayne R. Future trends in crosslink communications. Proc SPIE, 1993, 1 866:1~8
- 5 刘 华, 胡 渝, 李岷淳等. 宽带数字光波通信系统光学天线的设计及计算. 中国激光, 1996, A23(3):260~264

Design and Demonstration of A 10.6 μm Auto-tracking and Pointing Optical Antenna

Liu Hua He Yi Hu Yu

(Institute of Applied Physics UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Following the demands of the optical antenna of the wide-band digital communication lightwave system (WDCLS) and detailed computation, an off-axis catadioptrical optical antenna with the features of combined transmitting and receiving, auto-acquiring, tracking and pointing is designed. The method and experience of tuning the optical system and the results of the practical field experiments are also presented. The results of the experiments showed that the optical antenna operates very well.

Key words lightwave communication; optical antenna; combined transmitting and receiving; auto-acquiring; tracking; pointing; optical antenna

编辑 叶 红

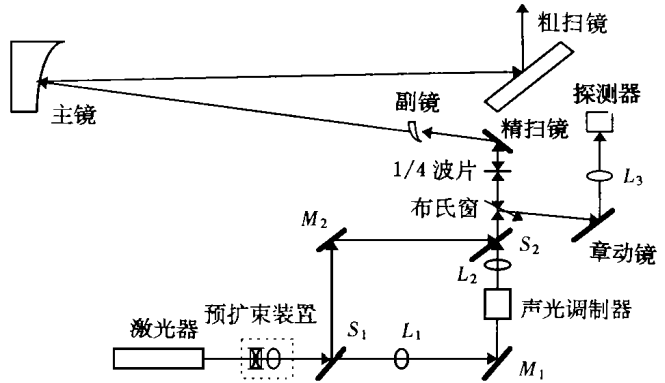


图4 WDLCS的光学子系统原理示意图