文章编号:1000-7032(2018)08-1177-05

# 高速电视测量光学系统设计及其在航天靶场中的应用

王玉超<sup>1</sup>\*, 刘剑锋<sup>1</sup>\*, 赵 宇<sup>1</sup>, 周 袁<sup>1</sup>, 姚大为<sup>2</sup>, 田光龙<sup>1</sup>, 盛华雄<sup>1</sup>, 马忠权<sup>1</sup> (1. 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000; 2. 中国科学院 西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710000)

**摘要:**高速电视测量仪主要用于完成导弹和运载火箭发射试验任务中点火、起飞、飞离塔架过程中横向漂移 量测量以及初始段高精度弹道测量、高帧频实况景象记录任务。为适应航天靶场测控任务的需要,持续提升 我国航天靶场的光学测控水平,设计了一套焦距为 25~350 mm 的连续变焦光学系统。该系统可以根据不同 的任务需要和布站条件,改变镜头焦距,调整摄像机的视场,确保目标在视场中成像占一定比例。另外,该系 统增加了高速电视测量仪的跟踪测量距离,并有效解决了定焦光学系统相机成像时容易出现倒影、重影以及 存储图像上有干扰条纹现象等问题。

关键词:高速电视;光学系统;航天靶场
 中图分类号:TN943.5
 文献标识码:A
 DOI: 10.3788/fgxb20183908.1177

# Design and Application of High-speed TV Measurement Optical System in Space Range

WANG Yu-chao<sup>1\*</sup>, LIU Jian-feng<sup>1\*</sup>, ZHAO Yu<sup>1</sup>, ZHOU Yuan<sup>1</sup>,

YAO Da-wei<sup>2</sup>, TIAN Guang-long<sup>1</sup>, SHENG Hua-xiong<sup>1</sup>, MA Zhong-quan<sup>1</sup>

(1. Xichang Satellite Launch Center, Xichang 615000, China;

Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710000, China)
 \* Corresponding Authors, E-mail: wangyuchao321@ yeah. net; ljf197802@126. com

Abstract: The high speed TV measuring instrument mainly completes the task of measuring the lateral drift, the trajectory of the initial flight section with high precision, and recording the scene at high frame rate in the process of missile and rocket firing, taking off and leaving the tower. In order to meet the requirements of the space target measurement and continue to improve the optical measurement and control level of China's space range, a continuous zoom optical system with a focal length of 25 – 350 mm was designed. The system can change the focal length of the lens and adjust the field of view of the camera according to different task requirements and station conditions, so as to ensure that the target is imaged in a certain proportion in the field of view. In addition, the system increases the tracking and measuring distance of high speed TV measuring instrument, and effectively solves the problems of reflection, double shadow and interference fringes on the stored image in the camera of fixed focus optical system.

Key words: high speed TV measuring instrument; optical system; space range

基金项目:国家自然科学基金(61473222,91646108);全军军事科研计划课题暨国家社科基金军事学项目资助

Supported by National Natural Science Foundation of China (61473222,91646108); Military Research Project of The Whole Army

收稿日期: 2018-04-12; 修订日期: 2018-06-25

## 1引言

高速电视测量是航天靶场光学测控系统中的 一个重要组成部分,担负着万里测控第一站的重 要任务。高速电视测量仪主要用于完成导弹和运 载火箭初始段跟踪与电视实时图像记录及漂移量 测量任务<sup>[1-5]</sup>。高速电视测量光学系统是整个测 量系统中的核心部分,其性能的优劣直接决定了 整个系统的跟踪测量能力,关系到导弹和火箭初 始段的跟踪测量以及实况记录任务。目前,航天 靶场对光学设备的测控能力要求越来越高,传统 的定焦光学系统已经不能满足导弹和火箭实时高 清图像记录、跟踪测量以及漂移量测量的任 务<sup>[6-8]</sup>。为适应航天靶场试验任务要求,不断提 高靶场光学测控水平,我们设计了一套焦距为 25~350 mm的变焦距光学系统,该系统的应用使 高速电视测量设备的布站更加机动灵活,跟踪测 量更加稳定,跟踪距离更远,并有效解决了定焦光 学系统中容易出现重影、倒影以及存储图片上有 干扰条纹的问题,成像更加清晰,显著提高了我国 航天靶场的光学测控能力。

2 光学系统设计

## 2.1 定焦光学系统成像中的问题

高速电视测量仪的光学系统完成对目标的拍摄任务,但是在夜间拍摄火箭目标时,火箭尾焰的强烈光照会导致定焦镜头不同程度出现倒影和重影现象,如图1所示。重影中出现的尾焰倒影和

探照灯倒影会对箭体拍摄造成一定程度的遮挡, 可能会造成1~2s的任务弧段无法完成漂移量 判读。另外,定焦光学系统跟踪测量距离有限,并 且为了确保对初始目标清晰成像,设备只能部署 在几个固定的点位,影响设备的机动性,战时生存 能力较弱。为了解决定焦光学系统成像中的问 题,持续提高我国航天靶场的光学测控水平,我们 设计了一套新的变焦光学系统。



图 1 定焦镜头成像倒影和重影现象

Fig. 1 Inversion image and shadow phenomenon of the fixed focus lens

#### 2.2 变焦光学系统设计

连续变焦镜头采用透射式、机械补偿式结构, 采用先进的镀膜及滤波技术。系统由前固定组、 变焦组、补偿组、后固定组及可变光阑等组成,机 械补偿式变焦距光学系统具有变倍过程中像面移 动量小、成像质量较好、变倍比大等优点。其结构 形式如图 2 所示。变焦组作直线运动改变系统焦 距,为稳定像面需设置补偿组,补偿组作非直线运 动补偿像面的移动。



图 2 高速电视变焦距光学系统图

Fig. 2 Zoom optical system diagram of high speed TV

变焦距镜头结构是为实现高速测量电视系统 功能和各项技术指标设计的机械结构,由变焦距 凸轮机构、调焦机构、可变光阑机构、摄像机安装 固定机构、箱体及遮光罩等主要部件组成。

(1)变焦距凸轮机构。变焦距凸轮机构由凸 轮、导钉和驱动装置组成。按变焦镜组、补偿镜组 的运动轨迹,在活动镜筒上加工变焦凸轮槽和补 偿凸轮槽,变焦凸轮槽的加工精度高于0.01 mm。 在凸轮槽内设置导钉,导钉分别与变焦镜组、补偿 镜组连接。驱动装置带动活动镜筒转动,实现变 焦镜组、补偿镜组的移动。导钉是一联杆件,一端 装微型轴承置于凸轮槽内,另一端与变焦镜组镜 框以及补偿镜组镜框连接。驱动装置由直流电 机、齿轮减速器(输出齿轮安装在活动镜筒上)和 光学编码器等组成。直流电机驱动齿轮减速器带 动活动镜筒转动,光学编码器通过钢带无空回机 构和活动镜筒相连,当活动镜筒转动时,编码器以 脉冲形式输出转动量。

(2)调焦机构。调焦机构由调焦镜组、减速器、直流电机和编码器等组成,减速器输出齿轮安装在调焦镜组镜框上,直流电机驱动减速器带动 调焦镜组移动,实现调焦。减速器输出齿轮通过 过渡齿轮与编码器连接,以数字脉冲形式反馈调 焦量。

(3) 可变光阑机构。可变光阑机构由 6 个光



阑片、活动环、固定环、拔销、减速器和直流电机组 成。光阑片两端均有销钉,两端分别放在固定环 孔和活动环槽内,固定环与活动环的间隙通过压 圈调节,活动环与减速器输出齿轮通过拔销连接。 当电机驱动减速器时,拔销带动活动环转动,光阑 片在活动环带动下,改变光阑通光孔的大小,实现 调光。

该光学系统具有自动变焦、自动调焦、自动调 光功能,变焦、调焦、调光机构具有高精度位置反 馈元件,保证焦距输出精度和距离自动调焦精度, 能够满足高速电视测量仪漂移量和实况记录的 需要。

#### 2.3 光学系统设计结果

图 3、4 是焦距为 25 mm 的 MTF 图与点列图。 图 5、6 是焦距为 350 nm 的 MTF 图与点列图。从 MIF 图和点列图中可以看出,镜头焦距为 25 mm 和 350 mm 时,光学系统成像质量均良好,从镜头 中心到边缘的成像差距比较小,镜头的分辨率 较好。



# 3 光学系统跟踪测量效果

从实际使用效果来看,新设计的高速电视测 量变焦光学系统目标拍摄清晰,图像质量良好,具 备从火箭点火瞬间开始一直到一、二级分离的跟 踪测量能力,如图7、图8、图9所示,完全可以满 足导弹和运载火箭初始段跟踪与电视实时图像记 录及漂移量测量要求。



图 7 起飞段高速电视实况景象

Fig. 7 Live scene in the take-off section of high speed television

# 图 8 初始段高速电视实况景象

Fig. 8 Live scene in the beginning section of high speed television



图 9 一、二级分离段高速电视实况景象。

Fig. 9 Live scene in one and two stage separation section of high speed television

# 4 结 论

本文设计了一套焦距为 25 ~ 350 mm 的连续 变焦光学系统。该系统使高速电视测量设备布站 更加灵活,成像质量良好,跟踪测量稳定,并有效 解决了定焦光学系统成像时容易出现倒影、重影 以及存储图像上有干扰条纹现象等问题,显著提 高了我国航天靶场的光学测控能力。

#### 参考文献:

[1] 谭显祥. 光学高速摄影测试技术 [M]. 北京:科学出版社, 2012.

TAN X X. Optical High-speed Photography Test Technology [M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese)

[2] 何照才. 光学测量系统 [M]. 北京:国防工业出版社, 2002.

```
HE Z C. Optical Measurement System [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. (in Chinese)
```

- [3]张三喜,姚敏,孙卫平. 高速摄像及其应用技术 [M]. 北京:国防工业出版社, 2006.
   ZHANG S X, YAO M, SUN W P. High Speed Photography and Its Application Technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006. (in Chinese)
- [4] 宋蕾, 禚晖. 高速电视摄像系统在靶场测量中的应用 [J]. 海军大连舰艇学院学报, 2014, 37(6):84-88.
   SONG L, ZHUO H. Application of high speed photo-electronic cameras in rangemeasurement [J]. J. Dalian Naval Academy, 2014, 37(6):84-88. (in Chinese)
- [5] 熊智慧. 高速电视摄像在靶场测量系统中的应用 [J]. 中国测试, 2012, 38(1):83-85.
   XIONG Z H. Application of high-speed pickup in measurement system for shooting range. [J]. China Meas. Test, 2012, 38(1):83-85. (in Chinese)
- [6]陈志坚,杨小君,李哲.高速电视测量仪中精密变焦系统控制方法的研究 [J].科学技术与工程,2007,13(7);

### 3146-3148.

CHEN Z J, YANG X J, LI Z. Study on the methods of control and calibrated focal length in high-speed TV measurement instrument [J]. *Sci. Technol. Eng.*, 2007, 13(7):3146-3148. (in Chinese)

- [7] 李零印, 王一凡, 王骥. 靶场光学测量中的变焦距光学系统 [J]. 中国光学, 2011, 4(6):240-247.
   LILY, WANGYF, WANGJ. Varifocal optical system to optical measurement of shooting range [J]. Chin. Opt., 2011, 4(6):240-247. (in Chinese)
- [8] 王潇枫,石岩,庄一,等. 变焦结构光成像系统的光学设计 [J]. 应用光学,2018,39(1):22-27.
  WANG X F, SHI Y, ZHUANG Y, et al. Optical design of zoom structured light imaging system [J]. J. Appl. Opt. . 2018, 39(1):22-27. (in Chinese)



**王玉超**(1987 -),男,河南确山县 人,硕士,工程师,2014 年于中山大 学获得硕士学位,主要从事航天靶 场光学测控以及微纳米半导体光电 子器件的研究。

E-mail: wangyuchao321@ yeah. net



**刘剑锋**(1978-),男,湖南邵东人,硕 士,高级工程师,2004年于国防科技 大学获得硕士学位,主要从事航天测 控及靶场信息化技术的研究。

E-mail: ljf197802@126.com