

# 260激光电视电影经纬仪 总体研制报告

姚立常 王家祯 李继勋 王庆祥 王智光 王毅

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春130022)

**摘要** 重点介绍了260激光电视电影经纬仪的总体设计问题, 概略地阐述了仪器的研制过程, 总体及主要分系统的设计思想和基本要求, 以及确保技术指标的措施, 最后总结分析了260激光电视电影经纬仪技术进步及存在问题。

**关键词:** 电影经纬仪; 总体设计; 激光; 电视

## 1 概 述

### 1.1 任务的提出

由于靶场光测任务的需要, 长春光机所从六十年代中期开始研制中型靶场光学跟踪测量设备。先后研制生产了160系列产品60余台, 为我国第一代战略武器及常规武器的试验定型发挥了重要作用。

但是, 随着武器装备的不断发展, 对靶场测量设备也提出了更高的要求, 通过对各基地的调研了解到, 这些要求可归纳为: 需要大幅度地提高测量和跟踪精度; 增加测量跟踪手段, 如配备电视、红外测量跟踪等; 扩展其实用功能, 如提高实时输出的准确度, 配备激光测距机实现单站定位; 提高设备的可靠性及改善其机动性能。而仅仅靠改造原有的160设备, 无法满足上述一系列要求, 因此, 研制一种新一代的多功能现代化中型靶场光测设备已势在必行。1980年, 在当时的国防工办和中科院主持下, 开始策划对该设备的研制。通过对用户的调研, 并邀请有关专家参加, 先后在北京和长春召开了两次方案和设计评审会, 确定了基本方案及技术指标, 开展了研制工作。

1984年末, 与用户正式签定了研制合同书, 仪器的性能和技术指标基本上参照原方案, 根据用户的具体要求增添了某些新的内容, 形成了技术任务书。

1987年9月, 用户根据试验任务的需要, 提出将测量设备改为活动站的要求。

经过对技术, 使用要求的不断完善, 形成了研制该设备所遵循的四点原则:

(1) 该设备为中型, 应具有很高的测量跟踪精度和很强的通用性, 既可以用于对战术武器的测量, 也可以用于对战略武器的首区及再入段的测量, 既可测轨, 也可进行遭遇参数的测量;

(2) 尽量采用最新的光电技术及计算机技术, 使其具有很强的生命力;

(3)机电系统应分别实现积木化、模块化的结构以便于改进或增加新的功能;

(4)兼顾活动站和固定站两种不同的型式。

## 1.2 主要技术指标

### 1.2.1 主摄影望远镜

口径: $D=230\text{mm}$

焦距: $f_1=2500\text{mm}$ 、 $f_2=1250\text{mm}$

视场: $2W_1=25'$ 、 $2W_2=50'$

相对口径:1/11、1/8

透过率: $T\geq 45\%$

摄影鉴别率:中心 $>45\text{lp/mm}$

边缘 $>40\text{lp/mm}$

设置全自动调光和调焦系统。

### 1.2.2 瞄准望远镜

放大倍率:8倍、24倍

物镜口径: $D_1=40\text{mm}$ 、 $D_2=82\text{mm}$

视场: $2W_1=8.5^\circ$ 、 $2W_2=3^\circ$

鉴别率: $10''$ 、 $2''$

焦距: $f_1=286\text{mm}$ 、 $f_2=700\text{mm}$

### 1.2.3 跟踪测量电视望远镜

口径: $D=130\text{mm}$

焦距: $f_1=2000\text{mm}$ 、 $f_2=1000\text{mm}$

设置自动调光系统和太阳快门保护装置

相对口径:1/15、1/7.5

视场: $2W_1=17'$ 、 $2W_2=34'$

### 1.2.4 彩色变焦距监视电视望远镜

口径: $D=70\text{mm}$

焦距: $f=100\text{mm}\sim 1000\text{mm}$  连续变化

视场: $2W=5^\circ\sim 0.5^\circ$  连续变化

相对孔径:1/14

### 1.2.5 摄影记录系统

胶片规格:标准35mm 负片

片盒容量:180m

画幅尺寸:18mm $\times$ 18.8mm

片格距:19mm

点阵内容:地址码、方位角、高低角、斜距、绝对时间、状态码及附加信息

摄影频率:4帧/秒、10帧/秒、20帧/秒、40帧/秒、100帧/秒、200帧/秒

同步精度:100帧/秒以下 $\leq \pm 10^\circ$

200帧/秒 $\leq \pm 15^\circ$

同步时间:4帧/秒 $\leq 5$ 秒

其他频率 $\leq 3$ 秒

### 1.2.6 跟踪系统

跟踪范围:方位工作角度不限

高低工作角度为 $-5^\circ\sim +185^\circ$

最小角速度:0.03°/s

最大角速度:35°/s

最大角加速度:60°/s<sup>2</sup>

跟踪精度:当仪器在数引跟踪和电视自动跟踪两种方式下,以角速度为20°/s、角加速度为7°/s<sup>2</sup>工作时,其方位、高低角跟踪的系统误差最大值 $\leq \pm 3'$ ,随机误差均方值 $\leq 30'$ 。

### 1.2.7 测角系统

测角元件:方位及高低角均采用23位绝对式光学轴角编码器。

角分辨率:0".15

测角精度:均方值 $\sigma\leq 1''.5$

调零方式:电调零

### 1.2.8 激光测距系统

工作物质:YAG

工作频率:4次/秒、10次/秒、20次/秒



场验收项目的检测,取得了令人满意的结果,在以后的处理数据期间,该设备又成功地参加了引进武器系统的验收试验工作,受到好评。

第一台设备于1991年末正式移交用户使用,至此,完成了研制任务的全过程。

### 1.3.2 设备情况简介

260激光电视电影经纬仪是一项综合应用光、机、电和计算机等先进技术的靶场光学工程,它是一种现代的车载式计算机化的中型靶场光电跟踪测量设备。主要用于测量飞行目标的轨迹、遭遇参数,实时提供安全信息并进行事态实况监视和记录。

设备由主摄影望远记录系统,瞄准望远镜系统,跟踪架及跟踪系统,角度测量系统,电视跟踪测量系统,微机实时控制系统,时统及通讯系统,激光测距系统,车载随动圆顶系统组成。它能进行半自动捕获,并能以半自动跟踪、电视自动跟踪和数学引导跟踪三种方式跟踪被测目标。它具有很高的跟踪精度和测量精度,很强的实时测量和实时输出性能以及单站定位和实时监视能力。它是一种通用性很强的光测设备。

仪器主体安装在车载随动圆顶内,并配备有电控工程车。圆顶和电控工程车内,均安装有照明及空调设备,该车载式移动测量站采用整体装车,拖车具有良好的减振性能,确保设备安全可靠,并可在短时间内就位和展开工作。

## 2 仪器光机总体介绍

根据总的研制目标 在综合对比多种方案的基础上,采用了类似积木式机架,除了主摄影系统连在水平轴上以外,其他如电视、激光等探测系统均采用可供选用的独立系统。鉴于多数基地的使用要求,把摄影测量和电视跟踪测量系统做为基本型,可满足高精度的事后测量、实时测量和自动跟踪的基本要求。其他功能性单元等可根据需要加装。试验基地要求加装了激光测距,其中的激光器和电源部分由电子部1411所提供。这样采取不同的组合形式,以适应不同的测量要求,实现了仪器的总体结构和仪器多功能要求的统一。

### 2.1 仪器的总体布局

仪器总体结构由上、中、下三部分组成,(见图1)。采用分离结构,便于拆装、维修和运输,车载时是整体安装,运输时勿须拆开。机架采用高刚度、高精度精密轴系,并设有与内台隔离的小型外转台,承担部分电控系统和操作员的载荷,以确保内台轴系的测量精度。方位和高低均采用同轴的力矩电机和测速机驱动和测速,有利于提高轴系刚度和传动的平稳性。

仪器上部为照准部,各种探测系统均安装在其俯仰轴上。主摄影光学系统采用卡塞格林式穿轴系统,主摄影镜筒安装在水平轴中间,摄影机装在立柱上,俯仰力矩电机、测速机和编码器均与水平轴同轴装在左右立柱内。主摄影光学系统在前组光路中采用光谱分光的办法,将激光接收部分投影到镜筒的后端。使二者共用一个镜筒、合理利用空间。激光器安装在主镜筒上方。带有补偿像旋转的瞄准望远镜安装在右立柱右侧轴头上。跟踪测量电视和彩色变焦距监视电视望远镜,挂在水平轴的左轴头上。主镜筒下方可以安装红外跟踪测量望远镜。

中部是方位驱动部、内有方位驱动力矩电机、测速机与方位轴承环同轴连接,密封式导电环机构安装在电机转子空心轴内。外部的扭力筒传递转距、通过大型十字滑块联轴节,带动外转台与内台同步旋转,内外台是用同一力矩电机驱动的。中部基座底面通过三个调平楔铁与内台基座相连接。

下部为基座与外转台部,外转台支承座的底边与内台基座底边重合并连接在一起,然后一起固定在地基环上。外转台有独立的旋转轴系,承担外转台的载荷,外转台装有操纵台、单杆、座椅及电控箱等。

## 2.2 单元结构方案

### 2.2.1 主要光学系统结构方案

#### (1) 主摄影光学系统

主摄影光学系统采用卡塞格林式穿轴系统结构(见图2),这种系统虽然结构和装调相对比较复杂,但对中小型仪器来讲,结构比较紧凑,水平轴刚度容易得到保证,特别是高速摄影机可以安放在立柱上,这不仅减轻了水平轴的负荷和消除摄影机的振动对主镜筒的影响,同时可以减少两立柱间跨度,降低了立柱的高度,使仪器体积缩小。

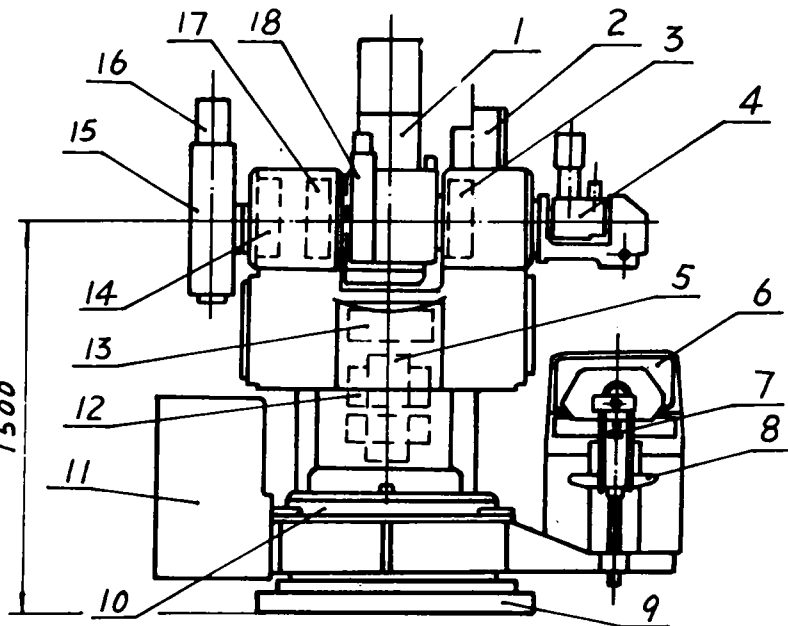
主反射镜采用球面反射镜,前面用两块无光焦度校正镜和次镜来平衡像差,调焦是用移动准直镜来实现的。两种焦距变倍物镜组安放在右立柱内,简化了结构,操作方便。用 $45^\circ$ 分光镜将可见波段反射到准直光路中,将 $1.06\mu\text{m}$ 波段透射到主反射镜后边,为激光接收探测元件接收,两系统合用一个镜筒,充分利用空间,简化了结构。主摄影光学系统像质比较好,实测结果摄影鉴别率高达 $50\text{lp/mm}$ 以上,且长短焦距都是一样的。远远超过 $45\text{lp/mm}$ 的要求。

#### (2) 十字丝投影系统

十字丝是仪器的视准轴基准,也是一切高精度测量的基准点,因此设计此系统要慎重考虑影响测量基准的各种因素。该十字丝是从准直镜组后边经变倍镜组投影到第二像面。(见图2中A区)。这种结构的优点是十字丝投影系统不受主摄影系统的调光和调焦的影响,确保十字丝成像质量。不利因素是十字丝投影系统不经过主系统的前组光路,对主反射镜等零件的变形、松动等因素造成的视轴幌动不能补偿。由于设计时充分注意到这一点,采取了一定的措施保证视轴幌动很小,不会影响仪器的测量精度。另外在调整视准轴误差时,不能调十字丝,只能调主系统的校正镜,这给调整带来不便。但这种结构由于视轴幌动很小、十字丝与水平轴线重合度很高,且摄影机定位精度也很高,因此判读勿须原点测量。

#### (3) 点阵投影系统

事后处理的数字化数据、方位角、高低角、绝对时间、距离、地址码及其他标记等,是通过发



1. 主摄影系统 2. 摄影机 3. 高低测速机 4. 瞄准望远镜  
5. 导电环 6. 操纵箱 7. 单杆 8. 座椅 9. 基座  
10. 外转台 11. 电控箱 12. 方位力矩电机测速机  
13. 方位编码器 14. 高低编码器 15. 跟踪测量电视  
16. 监视电视 17. 高低力矩电机 18. 激光发射器

图1 总体结构布局示意图

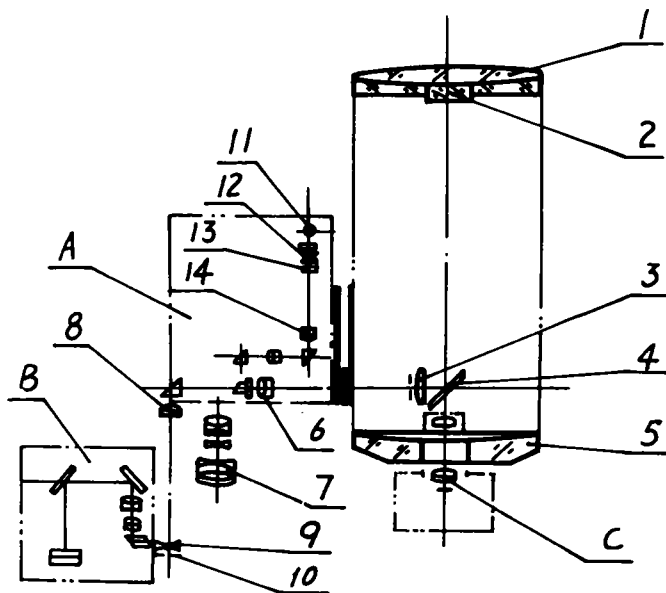
光二极管显示,并通过投影系统投影到摄影胶片上记录下来。点阵投影系统由于采用了  $\Phi 3$  小型发光二极管、大大缩短了光程,结构紧凑。点阵成像清晰确保判读时读取准确减少误码率。点阵投影系统见图2中B区。

(4) 瞄准望远镜系统

该系统采用单人操作瞄准,用别汉棱镜补偿像旋转(见图3)。由于主摄影系统采用穿轴形式,瞄准镜旋转是用齿轮桥与水平轴相连接,齿轮桥采用弹性消间隙结构以保证传动精度。瞄准镜装调时要保证视轴与其本身的旋转轴垂直。这样在安装调整后才能保证其视轴与主摄影系统的视轴平行。

(5) 电视系统

测量电视光学系统采用牛顿式折反结构,可以减少杂光影响,同时缩短了镜筒长度(见图4)。设有2米



- 1. 校正镜 2. 次镜 3. 场镜 4. 分光镜 5. 主反射镜
- 6. 准直镜 7. 小倍率物镜 8. 大倍率物镜 9. 场镜
- 10. 像面点阵投影系统 11. 光源 12. 聚光镜
- 13. 分划板 14. 投影系统

图2 主摄影光学系统图

和1米两种焦距可以方便转换,安装有太阳快门保护装置。自动调光系统是用背景视频信号控制的,用来调整靶面亮度不受背景亮度的影响,可获高分辨率、高对比度的目标像,镜筒是装在水平轴左轴头上。跟踪测量电视系统全部采用微机控制,以数字量实时输出脱靶量,备有形心、相关和点三种跟踪测量方式,是解决跟踪测量目标形状和背景复杂的重要手段。经过实验和使用验证不论跟踪时切换还是跟踪平稳性均达到了满意的效果,在电视跟踪测量技术方面有较大的突破。

彩色变焦距监视电视配有 CCD 彩色摄像机,焦距以100mm~1000mm 连续可变,变焦是用步进机驱动,在机下控制台操纵并设有彩色监视器,主要用来做实况实时监视和资料记录录像。

主要用来做实况实时监视和资料记录录像。

2.2.2 轴系结构方案及误差分配

经过总体方案分析比较,对这种中小型仪器还是选择穿轴的摄影光学系统的方案,这样两立柱高度比较低,跨度比较小,水平轴负荷小,结构刚度容易保证,进而轴系精度容易提高。轴系结构设计主要考虑结构刚度,至于精度问题从设计、工艺、加工和装调已形成一套比较成熟的经验。这是我所三十多年来研制生产十多种型号,近百台靶场光测设备所积累的经验。各种

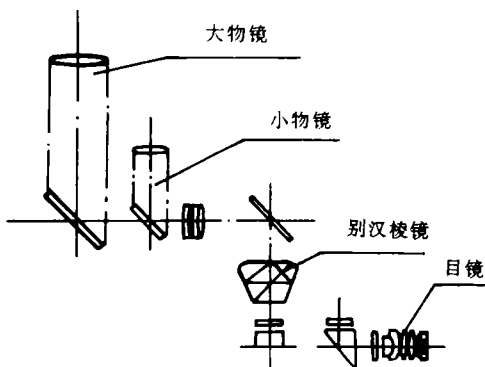


图3 瞄准望远镜光学系统示意图

高精度的轴系零件设计要求都相差无几,所以轴系精度都是差不多的。如水平轴幌动、垂直轴幌动等要求在 $2''$ 以内,而实际都在 $1''$ 以内,包括160经纬仪也都是这个水平。但结构刚度却不大相同,这和总体结构方案有直接关系。

#### (1)水平轴系结构

由于采用穿轴式主摄影光路,减少了水平轴负荷,两立柱跨度缩短,高度比较低并采用箱式封闭结构,保证了立柱的刚度和稳定性。水

平轴除自重和主摄影系统重量外,其他如电机转子、电视镜筒等在轴上都分布开,总重量不超过 $200\text{kg}$ ,因此轴承采用单排滚珠轴承,无间隙或过盈配合提高轴系刚度。

影响水平轴精度主要有如下几个方面:

##### ①水平轴系统幌动

其影响因素主要有:轴承内环不园度;钢球直径不等差;自重和负荷引起的变形等。经过精度分析轴承内环不园度控制在 $1\mu\text{m}$ 以内,钢球不等差在 $0.5\mu\text{m}$ 以内,自重变形为 $0.5''$ 。总起来最大幌动为 $1.2''$ ,按正态分布 $\sigma_1 = \frac{1.2''}{3} = 0.4''$ 。还有其他因素如水平轴两轴承内环不同心、轴承环滚道面与立柱基面不平行,轴承外环不园度等这些因素影响都很小没有考虑进去,而在零件精度要求上已经做过分析。

##### ②水平轴随机幌动

这项误差主要是钢球不园度引起的,控制在 $0.5\mu\text{m}$ 以内,相当于 $\sigma_2 = 0''.1$

##### ③水平轴倾斜的调整误差

误差来源一是调整机构的灵敏度,二是检测的准确度,其中包括测量瞄准误差和垂直轴幌动引起的测量误差。这项误差最大值为 $2''$ ,按等概率分布 $\sigma_3 = \frac{2''}{\sqrt{3}} = 1''.2$ 。

综上所述水平轴误差为:

$$\sigma_1 = \sqrt{0.4^2 + 0.1^2 + 1.2^2} = 1''.26。其中 \sigma_{IS} = 1''.26, \sigma_{IR} = 0''.1$$

实测结果,前两项最大值为 $0''.63$ ,均方值为 $0''.18$ 。说明设计精度分配是可以满足指标要求。

#### (2)垂直轴系统结构

垂直轴设计关键在于如何加强轴承环安装基座的刚度,也就是要保证下盘座有足够的刚度,这样才能保证平面式轴承环滚道的平度。垂直轴系是在中部,即方位驱动部,轴承环基座是一个长径比近似为1的圆筒式基座,底面是封底的,上口外面加法兰边和加强筋。内部安装力矩电机和测速机等。有足够大的轴向和扭转刚度,负荷是以轴心对称分布,同时考虑到在不影响外形尺寸加大的情况下,尽可能加大轴承环直径,以提高仪器的倾斜刚度。

##### ①垂直轴系统幌动

影响这项误差的因素主要是平面滚道的平面度和钢球的不等差,其平面度控制在 $1\mu\text{m}$ 以

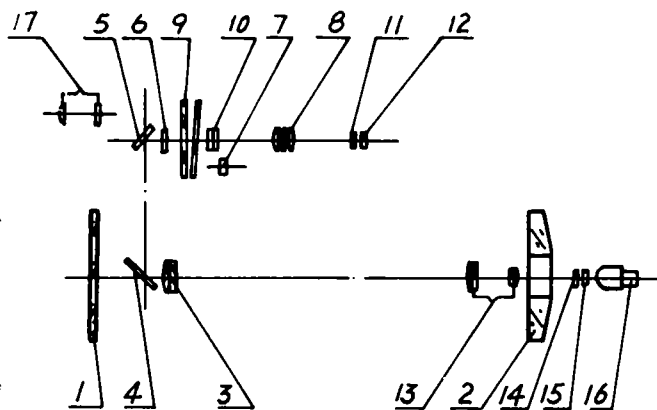


图4 跟踪测量电视光学系统图

内,钢球直径不等差控制在 $0.5\mu\text{m}$ 以内。轴承直径适当加大,这样不仅可以提高精度,同时还可以增加仪器的稳定性和倾侧刚度。上述两项因素影响角误差最大值: $\Delta V_{\max}=1''$ , $\sigma_{v_1}=0.3''$

#### ②垂直轴随机晃动

这项误差主要是由钢球的不圆度引起的,控制在 $0.5\mu\text{m}$ 以内,相当于 $\sigma_{v_2}=0''.1$

#### ③仪器不平衡引起的误差

由于仪器外转台与内台是隔开的,主要是内台不平衡引起的。内台在设计上考虑平衡问题,并尽量增强其倾斜刚度,经实测为: $C=10\text{kg}\cdot\text{m/s}$ 。估计最大误差为: $1''$ , $\sigma_{v_3}=0''.3$

#### ④调平误差

这项误差主要取决于调平机构和水准器的灵敏度,水泡格值为 $10''$ ,采用复合棱镜复合后读数,其格值为 $5''$ ,估读 $1/5$ 格值为 $1''$ 。实际上有时也比较困难,可取最大值为 $2''$ ,按等概率分布:

$$\sigma_{v_4} = \frac{2''}{\sqrt{3}} = 1''.15$$

调平机构采用刚度比较好的楔铁调平机构,并尽可能加大三支点的跨度,以提高调平精度和仪器的稳定性。

综合上述分析垂直轴误差为:

$$\sigma_v = \sqrt{0.3^2 + 0.1^2 + 0.3^2 + 1.15^2} = 1''.2$$

其中: $\sigma_{v_5}=0''.42$ , $\sigma_{v_R}=1''.15$

#### (3)视准轴系结构

视准轴结构在前面十字丝投影系统一节中已提到,为了避开调光密度盘和调焦准直镜对十字丝成像的影响,十字线投影光路是从准直镜后边进入主光路的,并且十字丝中心要与水平轴旋转轴线同轴,其不同轴度控制在 $15\mu\text{m}$ 以内,根据视准轴结构分析,影响视轴精度的主要因素有:

①主摄影系统前组镜组的变形造成的光轴变动,由于十字丝投影系统不经过前组镜组,这种误差无法补偿。最大值为 $1''$ ,按高斯分布:

$$\sigma_{c_1} = \frac{1''}{3} = 0''.3$$

②水平轴在水平面内系统晃动,这项误差最大值为 $1''$ ,按高斯分布:

$$\sigma_{c_2} = \frac{1''}{3} = 0''.3$$

#### ③视准轴的测量调整误差

由于在测量调整时受水平轴在水平面内晃动的影响以及瞄准误差等的影响,这项误差往往大于前两项之和,最大值为 $2''$ ,按等概率分布:

$$\sigma_{c_3} = \frac{2''}{\sqrt{3}} = 1''.2$$

④调光密度盘、滤光片等旋转元件的楔角和摆动、调焦准直镜移动时的光轴的变化,引起的视准轴晃动。这些误差也是不能补偿的。设计时最大值控制在 $1''$ 以内。按高斯分布:

$$\sigma_{c_4} = \frac{1''}{3} = 0''.3$$

#### ⑤水平轴在水平面内随机晃动

这项误差主要是钢球不圆度引起的最大值为 $0''.2$ ,按高斯分布:

$$\sigma_{c_5} = \frac{0.2}{3} = 0''.1$$

综上所述,视准轴总的误差为:

$$\sigma_C = \sqrt{0.3^2 + 0.3^2 + 1.2^2 + 0.3^2 + 0.1^2} = 1''.3$$

其中: $\sigma_{CS} = 1''.3$ ,  $\sigma_{CR} = 0''.1$

上述是仪器轴系结构和设计时对精度的分析,这是影响仪器静态测角精度的一部分误差源,除了轴系误差外还有编码器和判读误差。

#### (4)编码器轴系

编码器为23位绝对式,23位的分辨率是用在全数字化随动系统测速的,测角用到21位,分辨率为 $0''.618$ 。俯仰编码器是散装的,即其本身没有独立的轴系,是把旋转部分装在水平轴上,利用水平轴系构成编码器的相关位置。散装结构免除了联轴节的带动误差。方位编码器考虑到装配和维修方便,采用整装式即其本身为一独立部件,相关位置靠本身的轴系确定的,中间用一高精度联轴节与垂直轴系相连接。

联轴节传递误差最大值为 $1''$ ,按等概率分布, $\sigma_R = \frac{1''}{\sqrt{3}} = 0''.58$ ,编码器误差均方值为 $1''.5$ 。

二者合起来为  $\sigma_R = \sqrt{1.5^2 + 0.58^2} = 1''.6$ 。

其中: $\sigma_{RS} = 1''.15$ ,  $\sigma_{RR} = 1''.15$ 。

实际测量结果最大值为 $1''.53$ ,均方值 $0''.75$ 。

#### (5)判读误差

这项误差根据同类仪器相比较取 $1''.2$ (160经纬仪为 $1''.2$ ,778经纬仪为 $1''.18$ )。

其中: $\sigma_{PS} = 0''.2$ ,  $\sigma_{PR} = 1''.15$ 。

#### (6)事后测角误差综合

根据上述轴系结构分析和精度分配,各单项误差归纳如下:

水平轴误差: $\sigma_1 = 1''.26$ ,其中:

$$\sigma_{IS} = 1''.26, \sigma_{IR} = 0''.1$$

垂直轴误差: $\sigma_V = 1''.2$ ,其中: $\sigma_{VS} = 0''.42$ ,  $\sigma_{VR} = 1''.15$

视准轴误差: $\sigma_C = 1''.3$ ,其中: $\sigma_{CS} = 1''.3$ ,  $\sigma_{CR} = 0''.1$

编码器误差: $\sigma_R = 1''.6$ ,其中: $\sigma_{RS} = 1''.15$ ,  $\sigma_{RR} = 1''.15$

判读误差: $\sigma_P = 1''.2$ ,其中: $\sigma_{PS} = 0''.3$ ,  $\sigma_{PR} = 1''.15$

仪器高角为 $65^\circ$ ,各项误差投影到水平与垂直面上的方位角和高低角的测角误差公式:

$$\Delta A = \sqrt{(\sigma_1 \cdot \operatorname{tg} E)^2 + (\sigma_V \cdot \frac{\operatorname{tg} E}{\sqrt{2}})^2 + (\sigma_C \cdot \sec E)^2 + \sigma_R^2 + (\sigma_P \cdot \sec E)^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\sigma_V \cdot \frac{1}{\sqrt{2}})^2 + \sigma_R^2 \sigma_P^2}$$

根据公式计算结果:

静态测角误差:

$\Delta A = 5''.6$ ,其中: $\Delta A_s = 4''.4$ ,  $\Delta A_R = 3''.4$

$\Delta E = 2''.16$ ,其中: $\Delta E_s = 1''.2$ ,  $\Delta E_R = 1''.8$

动态误差是在静态误差的基础上,加上动态误差增量,引起动态误差增量的因素很多,也很难分析计算准确性。一般分析时为静态的10%到40%,这里取30%。这样动态计算结果:

$$\Delta A = 7''.2$$

$$\Delta E = 2.8''$$

实际测试结果:

$$\text{静态: } \Delta A = 2''.5, \Delta E = -4''.3$$

$$\text{动态: } \Delta A = 5''.1, \Delta E = 4''.8$$

从上述轴系结构设计分析和误差分配计算的结果,可以看出仪器测角精度可以满足指标要求。实测结果也说明了这一点。设计是成功的,测角精度达到和超过了指标要求。

### 2.2.3 基座及外转台结构

基座部分是仪器的基础,设计成一锥形圆筒结构,不论从材料上还是结构形式上,都要使之有足够的刚度和稳定性。为了与靶场现有比较多的光测设备160经纬仪地基通用,基座和其地脚螺钉孔尺寸与160经纬仪是一样的,与固定站点的通用,基座上装有三个楔铁式调平机构,在三个调平机构上支承一个托盘,仪器中部即方位驱动部分轴承环基座,就座落在该托盘上并将二者固定在一起,这也是中底部拆装时的分界面。基座与托盘之间用抗扭薄膜连接,增强扭转刚度和防止二者之间发生相对位移产生带动误差。同时用三组约100kg防翻弹簧,将托盘、调平机构和基座压紧,增加调平机构的平稳性,同时调平时使托盘与基座之间距离可以变化,使托盘倾斜而不能转动,从而达到调平的要求。

中小型仪器内转台倾斜刚度比较小,承受不了操作员和电控箱等载荷,这些不易平衡好的干扰力矩,将影响仪器的测量精度。因此考虑该仪器内转台轴承环相对比较小,承受不了倾斜力的干扰,而单独设立小型外转台来承担操作员等附加载荷。外转台具有独立旋转轴系,基座和转台的转环都是高强度铝合金铸造而成,外转台基座是套在内台锥筒式基座的外边,二基座间不接触,只是在底边重合,并一起固定在基环上,因此内台不受外台倾斜力矩的影响。外转台的驱动可以采用由内台带动,也可以单独加一套驱动系统,综合各方案的利弊,采用内台带动的方案,内外台之间采用一个套在中部外层的扭力筒和一大型环状的十字滑块联轴节相连,来传递扭转力矩和调整内外台轴系的不同轴,使内台不受偏心力的干扰。

这一方案结构简单,节省一套动力驱动系统和一套传动控制系统,维护操作方便,同时传动平稳,内外同步旋转,没有内外台跟踪时不同步现象,有利于操作员平稳跟踪。该方案的弊病是影响方位传动谐振频率,由于外台的转动惯量几乎与内台相等,内外台之间连接环节多,刚度差,谐振频率不易做得很高。若想采用此方案只有在传动控制电路上滤波补偿的办法,来弥补机械结构上的不足。

由于采用机电补偿措施,使这一设计获得了成功,跟踪精度不仅达到了预想的效果,而且远远超出了指标要求。在速度为 $20^\circ/\text{s}$ 、加速度 $7^\circ/\text{s}^2$ 时,数引跟踪最大系统误差小于 $1'$ ,电视自动跟踪误差最大 $1'36''$ ,远远超出 $3'$ 的要求。

## 3 电学总体介绍

260 激光电视电影经纬仪的电学部分由摄影控制、全自动调光、调焦、跟踪伺服、数字控制、系统微机、时间码发生器及调制解调器、角度编码器、变焦距监视电视、跟踪测量电视、激光测距机及拖车圆顶随动等十一个相对独立的分系统和单元电路组成。电气系统的总原理框图如图5所示。以下就电学总体研制的主要方面分别予以介绍:

### 3.1 高精度跟踪伺服系统

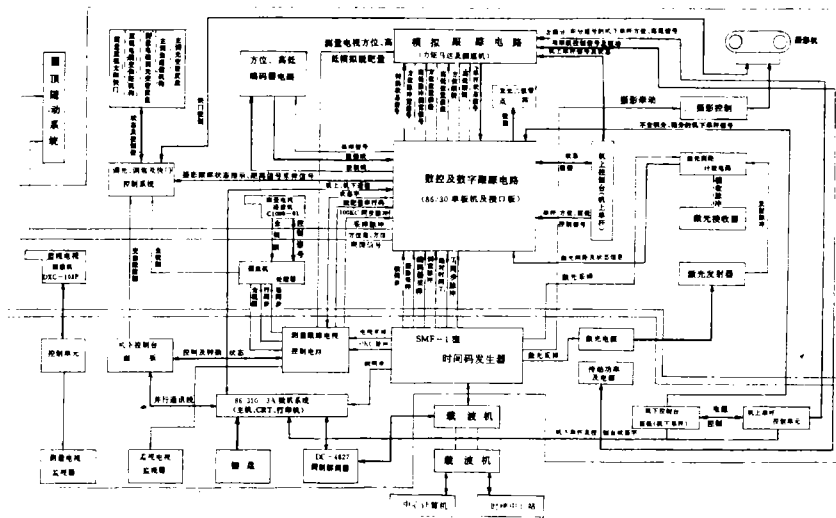


图5 电控系统原理框图

该系统的任务是在中心计算机的引导下,实现对目标的捕获与跟踪,从而为测量提供条件。这就要求该系统为具有半自动、数引及电视自动跟踪的高精度的跟踪伺服系统。

为了所要求的各项技术指标,特别是跟踪精度指标的实现,在研制过程中采取了多种技术措施。

(1)研制了由力矩马达驱动的高精度精密跟踪架,其调速回路采用晶体管脉冲调宽驱动方案,以使其能获得较宽的调速范围及较高的开环增益性能,并保证回路具有较宽的频带。

(2)跟踪架的方位内、外转台共用一套驱动系统,作为驱动元件的力矩马达装于内转台,通过装有大型十字滑块的扭力环传递力矩带动外转台。由于外转台的转动惯量比较大,由内台到外台的机械传动环节多,因此,其谐振频率难于做得很高(22Hz),在此情况下,为了满足工程设计对所要求达到的闭环带宽  $f_b \geq 12\text{Hz}$  的要求,采用了双陷波串联及谐振补偿和适当增大系统阻尼的方法,通过合理的回路校正,使问题得到了很好的解决,从而避免了采用外转台单独驱动的方案,使结构大为简化。

(3)采用了速度滞后补偿法,即等效复合控制技术,有效的提高了系统的跟踪精度。

(4)采用变增益、变参量控制结构,消除因电视跟踪器纯滞后,系统在零位出现极限环自振荡问题,以提高电视跟踪、测量精度。

(5)当仪器的操作方式由半自动跟踪或数引跟踪方式向电视自动跟踪方式转换时,由于多种因素的影响,使得该转换过程不能保持平稳,进而往往导致目标的丢失,造成转换失败,这是我们多年来一直寻求解决的一个重要应用问题。其问题的实质一是如何控制转换瞬间目标在电视视场中的位置;二是如何保持转换后的电视捕获过程平稳。为此,我们通过建立转换阈值及脱靶量稳定判据,采用记忆跟踪,设置坐标平移等方法用计算机控制较好地解决了这一问题,在设备进行外场验收试验期间共对八发不同类型的导弹进行了电视跟踪转换,转换跟踪成功。

通过上述各方面的工作,以及对单元系统的认真调试及整机对接试验对方位数引随动系统(高低品质优于方位,从略)的品质参数确定为:

速度品质因数:  $k_v = 210(1/s)$

顺馈补偿系数:  $\delta = 10$

加速度品质因数:  $K_a = 32(1/s^2)$

等效速度品质因数:  $k_v^* = 2100(1/s)$

开环截止频率:  $\omega_c = 12(1/s)$

等效加速度品质因数:  $k_a^* = 290(1/s^2)$

室内检测结果:

在方位、高低的角速度为  $20^\circ/s$ , 角加速度为  $7^\circ/s^2$  的运动条件下。

方位跟踪误差最大值:  $\Delta A_{max} \leq 49''.2$

高低跟踪误差最大值:  $\Delta E_{max} \leq 30''.6$

方位跟踪随机误差均方值:  $\delta_A \leq 8''.4$

高低跟踪随机误差均方值:  $\delta_E \leq 16''.2$

对于电视自动跟踪系统, 其调速回路与数引随动系统相同, 其方位电视自动跟踪系统的品质参数确定为:

速度品质因数:  $K_v = 920(1/s)$

等效速度品质因数:  $K_v^* = 3200(1/s)$

加速度品质因数:  $K_a = 185(1/s^2)$

等效加速度品质因数:  $K_a^* = 550(1/s^2)$

速度滞后补偿系数:  $\alpha = 3.5$

室内检测结果:

在方位角速度为  $11^\circ/s$ , 角加速度为  $7.1^\circ/s^2$ ; 高低角速度为  $10^\circ.2/s$ , 角加速度  $7^\circ.4/s^2$ ; 电视望远镜焦距为  $f = 2m$  的条件下。

方位跟踪误差最大值:  $\Delta A_{max} \leq 1'36''$

高低跟踪误差最大值:  $\Delta E_{max} \leq 1'24''$

方位跟踪随机误差均方值:  $\delta_A \leq 27''$

高低跟踪随机误差均方值:  $\delta_E \leq 8''$

上述所列举的系统品质因数及检测结果表明, 跟踪系统的主要技术指标都远远优于用户的要求值, 并领先于国内同类光测仪器。

### 3.2 全数字化形心电视跟踪器

形心电视跟踪器为仪器提供一种实时测量和自动跟踪的手段。早在70年代末期, 在靶场光测设备上就开始配备有电视跟踪测量系统, 但所使用的都是模拟处理电路, 这些电路存在着漂移大、可调整环节多、抗干扰能力差、测量精度及智能化程度低等一系列固有的缺点。研制一台高性能的全数字化电视, 早已成为人们的愿望。随着计算机及数字电路技术的发展使这一愿望的实现成为可能。

早在八十年代初期, 长春光机所就开展了全数字化形心电视跟踪测量的研究。1986年底, 在室内模型上进行了电视跟踪试验并完成了原形样机。此后进入工程设计阶段到1988年完成了室内总联调。

在全数字化形心电视的研制过程中, 我们解决了下列关键技术问题:

(1) 在视频图象的获取及预处理方面, 首先解决了电视望远镜的杂光、鬼象问题, 设置了太阳快门及电视自动调光装置, 采用了绝对图象畸变小于  $0.2\%$ , 并可进行行场补偿, 可对行和场方向的抛物状畸变和倾斜畸变进行必要校正的摄象机系统, 其预处理电路采用了电平翻转、箝位, 及背景抵消等方法为在不同光照条件下的天空、海面背景下, 提取高质量的图象打下了基础。

(2) 在实时视频图象分类方面, 采用了修正的贝叶斯分类方法, 逐场计算出目标区和背景区的统计直方图, 并用等误差分类概率原理形成逐场更新的分类表, 然后用查询表以视频速率 ( $6MHz$ ) 对视频信号进行实时分类, 在分析比较三种统计直方图累计方法的基础上, 最后选定软硬件结合的方案, 用“读——加——写”的形式, 在场的正程累计, 逆程形成新的分类表。所用的 TMS32010 高性能数字信号处理器及其支持硬件较好地适应了实时图像处理的需要。外

场试验及外场验收中对不同背景下的各种目标的分类结果表明,它适用于形心和点目标两种形式。该分类方案是成功的。

(3)在跟踪误差的实时计算方面,本系统采用了基于投影算法的形心误差检测原理。由于使用了TMS32010数字高速信号处理器及少量的高速硬件的支撑,用软硬件结合的工程设计方法使误差求取时间减到了最小,在同一场的逆程时间即可输出跟踪误差,体现其快速的特点。

(4)在改善跟踪器的动态性能方面,由于本系统采用两套32010计算机并行工作,一套用于视频图象的实时分类,另一套进行投影计算,于是将产生跟踪误差的滞后时间压缩到一场以内,使跟踪器具有较宽的带宽,为提高跟踪系统的性能提供了保证。

电视跟踪器所达到的主要技术指标如下:

采样频率:40Hz	视场:34'(f=1m)
分辨率:256×256×6bit	17'(f=2m)
灵敏度:1lx	跟踪器带宽:f=6.5Hz
输出斜率:0.6v/min(f=2m)	
全视场的静态测量精度均方值:	
方位: $\delta_x=0''.63$	
高低: $\delta_y=1''.74(f=m)$	

由上述可见,该跟踪器所采用的全数字化方案及所达到的与测量和跟踪有关的性能指标具有先进水平。

### 3.3 多微机数控系统

为了保持仪器的先进性,增加自动功能并提高其可靠性,我们在其中的大部分系统都应用了不同类型的计算机,组成了一个多微机并行数字控制系统。该系统的核心是两块86/35单板计算机及所设计的四块受控接口电路板,它可以完成80位字长的浮点运算,也可由硬件快速完成各种超越函数的运算。这大大提高了数控系统的实时处理能力。该系统与仪器的各分系统联系广泛,它分别接收来自八个单元的状态及数据信息并向七个单元发送相应的信息。

多微机数控系统在教育方面体现了以下特点:

(1)多微机系统中的每一个单片机(或高速信号处理器)各自完成所需要的单一功能,而它的管理由86/35单板机来实现,该单板机及其支撑硬件接口板取代了过去由硬件组成的数字引导、点阵显示控制及实时输出这三个相对独立的单元,从硬件上大大简化了结构,改善了工作可靠性。此外,还增加了许多新的功能。比如,用于校正电视系统的测量误差,计算出供圆顶随动系统使用的宽频带速度前馈信号,建立电视脱靶量的稳定阈值及判据,并实施平滑转换。完成系统自身的自检等功能,为使用部门提供了方便。

(2)在接口方式上,改革了过去用硬件并行传输的接口方式,在单板机与机下86/310—3A系统机之间,采用了高波特率(153.6kbit/s)异步通讯方式进行数据和状态信息传输,缩短了机时也节省了导电环(只用了四环导电环)。

在各单板机及单片机之间的数据传输,采用了数据总线方式及双端口RAM的存取方式,解决了计算机资源共享问题。这些接口方式的设置,减化了硬件及布线联接。

### 3.4 提高设备可靠性措施

随着设备复杂性的增加,使用部门对可靠性提出了与过去截然不同的要求,对于靶场测量

设备而言,由于使用环境恶劣,加之测量任务本身具有系统庞大,技术复杂,测量时间性强等特点,确保设备的可靠性尤为重要,为此,在总结了现有靶场光测设备可靠性问题的基础上,在该方面采取了一系列措施,力图把所研制设备的可靠性提高到一个新的水平。

### (1)可靠性分配及可靠性预计

为了将可靠性技术指标定量地下达到各个分系统,首先从总体角度建立了整机的可靠性数学模型,认为设备所属的11个分系统为串联结构。考虑了复杂因子,重要因子,环境因子,标准化因子,干扰因子等五个影响可靠性的因素并根据任务书的要求,采用工程加权法进行可靠性分配,计算出各分系统平均无故障工作时间如表1所示。各分系统根据元件的失效率,对分系统及整机的可靠性进行了初步预计。

以目前的标准来看,当时“任务书”所下达的可靠性指标是比较低的。但是,我们在研制过程中并未只局限于满足该指标要求,而是从影响可靠性的各个方面采取措施,尽量提高其可靠性水平。

表1 仪器电子设备可靠性分配表

$K_i$ 项 目	分系统	自动调光调焦系统	总体	传动系统	摄影系统	数字系统	编码器系统	激光系统	测量电视系统	系统微机	时统编码钟	监视电视系统
复杂因子		1	2	2.5	2	2.5	2.5	3.5	3	3	2	1.5
重要因子		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
环境因子		1	1	1	1	1	1	1	0.8	0.7	0.7	0.8
标准化因子		1	1	0.8	1	1	0.8	1	0.8	0.8	0.9	0.8
干扰因子		1	1.5	1	1	1	1	1	1	0.8	0.8	1
$\prod_{i=1}^5 =$		1	3	2	2	2.5	2	3.5	1.92	1.344	1.088	0.96
$\sum_{i=1}^{11} =$							21.232					
分系统平均无故障工作时间(小时) MTBF		170	57	85	85	68	85	49	88	126	169	177

### (2)可靠性设计

保证所提出的可靠性技术指标的要求,必须从设计工作开始。可靠性设计包括的内容很多,在此,我们着重介绍以下几方面所做的工作。

#### ①电磁兼容设计

本设备为活动站,安装主机的拖车与安装其他电子设备的仪器车之间的距离为20m,各分系统及其执行机构所安装的部位也比较分散,本身所使用的条件也比较恶劣,它经常受火花放电干扰;放电管噪音干扰;射频干扰;大功率开关元件的电气干扰以及设备内部及其附近的大功率工频电源带来的工频干扰等各种干扰的包围之中。为了使设备在如此环境中能可靠的工作,特别是使它的电视跟踪测量系统能正常工作。首先,必须降低干扰源的干扰水平。比如采用各种型式的滤波电路,有效的减少了大功率圆顶功率级用的可控硅三相全波整流电路及主机伺服驱动系统功率级的干扰强度。其次是通过采取正确的接地方法;合理的设置交直流供电系

统；在整机布线设计及工艺方面通过长时期的实践建立了一整套行之有效的办法有效地切断或阻止了干扰的途径。如在伺服系统功率级驱动电路与其他电路之间采用光电隔离措施，较好地解决了通过地线对弱信号串扰的问题。第三是在分系统及单元电路设计中，采取了抗干扰措施，增强了抵御的能力。从而使得设备具有优异的电磁兼容性能，在发射激光及周围有大功率干扰设备作用的情况下，设备均能正常的进行电视跟踪和其他操作。

### ②优化设计与标准化设计

在满足技术指标要求又不失技术先进性的前提下，尽量采用成熟技术，是保证所研制设备可靠性的一个重要原则。多年来，我所在研制靶场光测仪器方面积累了丰富的经验。在我们的研制中充分注意到了这一点。比如，跟踪伺服系统中所用的驱动功率级，基本上采用了过去一些成熟技术，在某些光学系统的设计中也沿用了过去一些成熟技术。此外，还在电路板设计中规定了统一的接地，接电源的序号；电源及动力线与信号线分别采用不同型式的接插件等方法，保证不会插错或即使插错不致于造成设备的损坏。

### ③控制元器件的选型

电子元器件的质量直接影响整机的固有可靠性。为了降低设备的失效率，提高其平均无故障工作时间，我们在控制元器件选型方面采取了两点措施。一是选优，其含义是选用名牌产品，选用上级有关部门推荐的产品，选用同行使用过的证明性能是可靠的产品。如数字集成电路方面，我们采用了HC系列及TTL系列产品，选用了“七专产品”Y<sub>2</sub>型插头座，选用了国防科工委推荐的86/310-3A系统微机；二是压缩，即尽量减少品种以便于维修。比如开关类产品，我们只选用1~2个厂家的少数型号，并在总体指导与组织下开展分系统的设计工作。取得了显著的效果。

### (3)可靠性制造

除了上述提到的一些可靠性设计工作以外，我们在仪器的制造中还特别注意到完善和改进电子学系统的加工工艺。主要做了以下两方面的工作。

①搞好元器件的老化筛选，在元件安装之前，利用集成电路测试卡对元器件进行测试。对重要元件如驱动功率级的大功率管，则需进行性能筛选，并用自制的通电老化装置对元器件进行老化试验。

②完善工艺规程。如助焊剂的配制；布线时，屏蔽线的处理方法；插件接点焊接后的处理，元器件的引线处理等都做了明确的规定。

### (4)可靠性试验

在我们这种类型的研制模式中，可靠性试验应体现在两个环节。一个环节是仪器的调试过程，另一个环节才是按要求进行的可靠性例行试验。

由于我们的研制没有样机试制过程，所研制的设备即是样机又是产品。这样，把仪器进入光、机、电联调过程看做是可靠性试验的一个环节，并利用它来搜集可靠性信息是促进可靠性增长的重要步骤。

因为联调包括光、机、电，一般要进行相当一段时间，在这段时间内，可靠性方面的问题暴露的比较充分，对于所出现的问题，必须要进行仔细分析，故障有偶然性，也有必然性，应善于从偶然的故障中发现必然的隐患。比如，由于我们在热设计方面考虑不周，导致计算机电路经过一段时间工作后，因过热而失效的问题就是在这一阶段发现并解决的。

任何一个新研制的设备都不可能是十全十美的，通过联调中的认真记录，细心观察，使可

靠性设计,可靠性工艺方面存在的不完善的地方得到了彻底的解决。

根据试验基地所提出的平均无故障工作时间的上限为8小时的可靠性指标,经双方商定按定时截尾法进行最终的可靠性试验。其中所确定的鉴别比为 $d=2$ ,双方风险率各为10%,据此计算累计试验时间为75.2小时,允许整机发生的失效次数 $\leq 13$ 次。

实际试验结果是一次故障也未发生,大大超过了原定的指标。仪器出厂后几年来的使用情况也证明:该设备极少发生故障,其可靠性与过去的设备相比已显著提高,明显地优于靶场近年来研制的同类设备。

## 4 技术进步及存在的问题

### 4.1 技术进步

依据“任务书”的要求,我们对260激光电视电影经纬仪进行了认真的研制,已完成了产品并交付用户使用。室内检测验收,外场验收试验及实际使用的结果表明,仪器的总体设计结构紧凑,布局合理,总体及分系统的技术方案先进,它的主要性能和技术指标均已达到或超过了任务书的要求,其操作方便、工作稳定可靠,达到了国内同类仪器的先进水平,有些技术处于国内领先地位,所具有先进的技术性能和高可靠性使其成为国内新一代中型靶场光测仪器的代表。我们认为该设备在以下几方面取得了技术进步。

#### (1)用途广、功能多、机动性强

该设备不仅可用于对战术武器的测量,也可用于对战略武器的测量,它所具有很高的工作速度和加速度使其也可应用于战略武器的再入段测量中,并具有在不同背景下,对多种目标进行跟踪与测量的广泛适应能力。

它所装备的电视跟踪测量系统及高速摄影系统使其不仅能进行高精度的事后测量,也可提供出高精度的实时输出,它可以测轨也可以测遭遇参数,并可用变焦距监视电视对目标进行实况录像,所配备的激光测距机使其具备了单站定位的能力。

在仪器的整体装车和车载随动圆顶活动测量站的研制中,解决了拖车的减振设计;圆顶的随动设计;仪器的整机固定与二次减振设计;活动站的长线信号传输及抗干扰一系列技术问题,使其成功地得到应用。

这种活动站具有减振性能好,就位展开工作快,便于对仪器的维护保养等优点。该活动站在出厂时由所内经700多公里的公路运输到用户后立即投入使用,其测量精度及其他各项性能指标均未受到影响。这种整体装车、高性能的活动站的应用,在国内尚属首次。

#### (2)测量和跟踪精度高

为了确保仪器具有较高的测量精度,在结构上采用了高刚度、高精度的轴架及高稳定性的轴系;测角装置采用了23位绝对式轴角编码器及高精度的联轴节;光学系统采用了紧凑的穿轴式系统。这些技术的成功应用,使得仪器的测量精度,比以往的同类仪器提高了2至3倍。技术指标所要求的动态测角精度为 $\delta < \pm 10''$ ,第一台室内检测结果为,方位: $\delta_A = 5''.1$ ,高低: $\delta_E = 4''.8$ 。

利用自制的力矩电机组成的高精度跟踪伺服系统,采用双陷波串联反谐振补偿及适当增大系统阻尼的方法,并通过合理的回路校正,解决了在方位内、外转台共用一套驱动系统情况下,提高跟踪精度的技术问题。使仪器的跟踪精度远远优于 $\pm 3'$ 的要求(见3)

所达到的上述测量和跟踪精度,不仅比以往的同类仪器有了大幅度的提高,在国内靶场的现有光测设备中也处于领先水平。

### (3)高性能的电视跟踪测量系统

一个高性能的电视跟踪测量系统的形成既取决于构成该系统各环节的优异性能,也取决于各环节的相互匹配。在研制该系统时,我们充分发挥光、机、电的综合优势,从总体角度有效地协调了各个环节的作用。

首先是在电视望远镜设计及摄像机选择方面着重解决了提高光学系统的成象质量,保证图象信号具有很高的信噪比和线性度。

在信号处理电路中,我们在国内首次采用了具有大范围可变波门(256×256)的全数字化形心处理器,它不仅可以对点目标的图像进行分类处理,特别是能够在复杂的背景下对大目标进行分类并对其形心进行跟踪测量。适用于对飞行目标的整体,如飞机、导弹进行跟踪测量。它所采用的视频图像分类、投影计算方法,技术上先进。用软、硬件配合及两台高速信号处理器进行处理的方法,减少了跟踪器的纯滞后,使其带宽达到了6.5Hz的高水平。

在与跟踪伺服系统的对接中,由于我们采用了变增益、变参量的控制结构,消除了极限环的振荡问题,并首次采用了由计算机控制的平滑的操作方式转换方案使电视自动跟踪转换时易丢失目标的技术难点得到了解决。该转换方案在本设备及我所研制的其他设备上应用后,都取得了良好的效果。

由于上述的一系列措施,使该电视跟踪系统的性能在国内靶场光测设备中处于领先水平。在外场验收试验期间,该系统成功地跟踪测量了八发导弹,由于跟踪精度高,目标与十字丝原点重合。

### (4)计算机化程度高、应用面广

自八十年代初,微机技术从国外引进以来,推动了靶场光测设备电子学的发展,一台设备的计算机化程度,已成为该设备先进性的重要标志。

在靶场现有的光测设备中,微机应用只局限于某些系统或完成某些功能。应用面远不够宽。而在本设备中,基本上实现了微机化。在十一个分系统中的8个分系统采用了多微机主从控制结构。这大大提高了设备的自动化程度和工作的可靠性。在靶场光测设备中如此广泛地应用计算机技术,国内亦处于领先地位。

(5)除上述几方面取得的技术进步外,在其他一些单元及分系统的研制中,由于采用了某些新结构,新技术和新方法也相应地取得了很好的效果。我们将其归结为重要技术革新的范畴。

①首次采用了由48系列单片机控制,同时调节可变密度盘和快门开口角的全自动调光系统。以往的调光系统只能调节可变密度盘,或者快门开口角,即只能单独调节像面的照度值或曝光时间。而在本系统中采用了调节曝光量的方法,根据所使用的摄影频率及实时测定的快门开口角,像面照度值大小计算出实时曝光量并与所使用底片要求的曝光量进行比较后,先调整变密度盘,如果变密度盘调整范围不能满足要求,继而调整快门开口角。这样,使调光范围从过去的32倍增加到128倍,它可在摄影进行中在4Hz~200Hz间任意改变频率,而调光完全自动进行,这就使在一次任务中先测轨,接着高速测遭遇参数成为可能。它不再需要人工查列线表确定摄影参数,提高了摄影质量,大大减少了操作,扩展了仪器使用范围,受到用户的好评。

②首次在激光测距机的接收器上采用了以下两项新的技术。以往的激光测距机都用光电

管作为接收器,其灵敏度低、电路复杂、体积大;在本设备中采用了带有前放组件并有温度补偿的硅雪崩二极管 C30919E,并研制了具有低噪声、高增益、宽频带、宽线性输出范围和良好温度特性的主放大器。此外,还采用了恒比定时电路,用以保证始终在脉冲前沿恒定比例部位处触发计数器,不随信号幅度的大小而变化,因而可消除由于信号幅度变化所引起的测距误差。上述技术保证了测距精度并使接收灵敏度提高了一个数量级。

在外场验收中,对长度为4~5m,直径350mm的导弹进行激光漫反射测距,从侧向转尾追踪,最大测距距离为10.4km,这是其他靶场光测设备从未达到过的距离。它不仅表明接收器具有高灵敏度,也反映出激光器和跟踪系统的性能。

③采用了国际通用的时间编码钟系统及调制解调器,使时统、数传与光测设备一体化。

在用户的倡导和支持下,较早地在该设备上采用了与欧美体制兼容的时间编码钟体制,并委托临安无线电厂研制成功了符合 IRIG-B 码要求的 SMF-1型小型时间码发生器,这对于靶场光测设备电气系统的配置来说是一次重大革新,其结果不仅给设备的管理和操作带来了极大方便,也简化了设备、提高了可靠性。

④设置了彩色变焦距监视电视及录相系统。由于测量跟踪电视的采样频率为40Hz,与工业、民用电视不能同步,此外它采用了黑白摄像机,这些都给现场实况录相带来困难,为了解决这个矛盾,我们在仪器上装备了焦距从0.1m~1m连续变化的变焦距电视望远镜和2/3吋CCD彩色摄像机及与其配套的控制单元,并配置了实时录相系统,给用户使用带来方便。

⑤圆顶随动系统中的测角元件采用了14位矩阵式编码器,并通过 RS-232接口以串行通讯方式与仪器上的86/35单板机连接。由86/35板产生出位置误差信号及速度前馈信号,革除了过去曾采用过的感应同步器装置,使结构大为简化。此外,由于速度前馈信号系通过仪器的23位编码器以200Hz采样计算所得,其信号带宽较宽,驱动系统采用了脉冲调宽功率级,机构部分传动平稳,使随动圆顶的跟踪误差的最大值只有45',远远小于 $\pm 4^\circ$ 的要求。

⑥所设置的系统微机86/310-3A,除了完成常规的数据通讯、数据编辑、显示记录外,在本设备上还实现了座标转换的功能,系统机通过调制解调器接收到的引导信息为以地心为原点的直角坐标系数据,其中包括目标的位置座标 $(X, Y, Z)$ 和速度座标 $(\dot{X}, \dot{Y}, \dot{Z})$ ;为了满足使用要求,系统机将该数据变换成以仪器的站址座标为原点的极座标数据,增强了本设备的独立性,减轻了中心计算机的负担。

⑦所研制的由51系列单片机控制的23位绝对式轴角编码器,采用软件细分和快速查表技术,提高了编码器的测角精度及其带宽,光电接收器及细分硬件电路选用 DC-DC 电源供电,与市电网隔离,降低了干扰及噪声。采用两次细分及三次校正逻辑处理,从而保证其达到23位的角分辨率。

第一台设备交付部队使用后,三年多来,多次参加基地试验任务,受到好评。基地使用部门认为该设备“是一台先进的计算机化的活动光学测量设备”,“工作稳定可靠,整个设备实时测量,实时输出性能强”,“控制操作简单方便,便于操作使用”,“说明书完备易读易懂,各种备板、备件齐全,为排除故障提供了方便”,“在参加引进的武器试验中,成功地获得了全部外测试验数据,实现了光测方面首次单站定位,使光学外弹道测量跃上了一个新的台阶”。

#### 4.2 设备存在的问题

该设备的研制虽然取得了上述方面的技术进步及技术革新,但在某些方面尚有缺点和不足之处。

### (1)方位驱动系统加速度问题

该项指标的检测结果为 $53^\circ/s^2$ ,没有达到原指标 $60^\circ/s^2$ 的要求。

该项原指标是在1980年论证方案时我们自己提出的,目的是为了提提高仪器的快速性,以适应未来武器发展的要求。但对于某些试验基地来说,并不需要如此高的加速度,经同用户协商同意验收出厂。这一问题的出现主要是由于在研制中对外转台的结构做了修改,原方案的外转台比较小,后因激光电源的小型化,决定将其装在机上,这样可以避免高压、大电流脉冲通过导电环的问题,有利于提高仪器的可靠性,但由此加重了外转台的负荷,加速度自然就有所下降。因该指标不影响用户使用,故而没有采取措施,只要适当地加大电机功率就可解决该问题。

### (2)跟踪测量电视在高角大于 $30^\circ$ 时的弹性变形影响问题。

跟踪测量电视望远镜和监视电视望远镜一起装在水平轴的左轴头上,二者由一个弯板形的支撑架支撑。在检查其静态精度时发现,在高角位于 $30^\circ\sim 40^\circ$ 之间时,支撑架在高低方向上产生 $5''\sim 24''$ 的弹性变形,高角超过 $40^\circ$ 后,即维持 $24''$ 的变形不变。经过室内和外场检测,数据重复稳定。因此,将其认定为系统误差,由于结构空间所限,弯板不易改动。我们采取事先把支撑架变形的数据测出来,由计算机根据高角的变化实时予以修正的办法,使问题得到了解决。

(3)对于上述存在的问题,在其后的批量订货中均已得到改进。并满足了使用部门所提出的其他新的技术要求,取得了良好的效果。

### 参 考 文 献

- [1]张 有,王家骥,扭转角动态实时监测系统. 光学机械,1986,(5),25-35
- [2]毛英泰,误差理论与精度分析. 北京:国防工业出版社,1982
- [3]W. O. 亨利著,电子系统噪声抑制技术. 北京:人民铁道出版社,1978
- [4]周明德,微型计算机硬件软件及其应用. 北京:清华大学出版社,1982
- [5]ISBC 86/30 Single Board Computer Hardware Reference Manual. Intel corporation, 1982

## Overall Research Report on 260 Laser Television cinetheodolite

Yao Lichang, Wang Jiazhen, Li Jixun,  
Wang Qingxiang, Wang Zhiguang and Wang Yi  
(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

The paper introduces with the stress on the overall designing of 260 laser television cinetheodolite. It describes briefly development process of the instrument, designed idea and basic requirement of overall and main branches, and some handles of ensuring performance index. Finally it summarigs up and analyses technique progress and existed problems of the cinethoeodolite.

**Key words:** Cinetheodolite, Overall designing, Laser, Television