

电影经纬仪自动调焦机构的结构设计

徐维安

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 概述了电影经纬仪的摄影、电视跟踪测量系统中的光楔式调焦机构及移动透镜式调焦机构的设计原理、结构特点和优缺点, 并对移动透镜式调焦机构的精度作了较详细地分析计算。

关键词: 电影经纬仪; 结构设计; 调焦机构

1 引言

高精度电影经纬仪是现代靶场进行外弹道测量的重要光测设备, 其中采用摄影和电视对空中飞行目标进行连续地跟踪和测量是其主要手段。由于飞行目标的距离在不断地变化, 为使摄影和电视跟踪测量系统能始终得到清晰的图像, 则系统中自动调焦机构是必不可少的。它的功能是使动态目标始终能准确地成像在光电接收器的光敏面上, 为此, 自动调焦机构必须随着飞行目标距离的变化, 按几何光学牛顿公式 $x' = \frac{f^2}{x}$ (其中 x : 目标相对仪器的距离; x' : 像距; f : 仪器前组焦距) 的规律, 不断地自动调整自身在系统中的位置。在结构上如何实现并达到要求的精度, 即是自动调焦机构结构设计的任务。

2 自动调焦机构的设计原理及结构特点

2.1 光楔式自动调焦机构

2.1.1 设计原理

从图(1)可见, 代表无限远目标光线 P , 经过物镜成像在 S_0' 平面上, 如果中间加入一组光楔(厚度为 l) 则成像在 S' 平面(第一像面)上, 不难看出: 光程 $l' = l'_1 + \frac{l}{n} + l'_2$ (其中 n : 光楔材料的折射率)

对于近距离目标(如 $x = 1 \text{ km}$) 则目标光线 P_1 将成像在 S'_1 平面上, 与无限远目标相比, 像面产生了 $(l'_3 - l'_2) = \Delta$ 的位移, 为弥补 Δ 的变化, 使其仍成像在 S' 平面上, 必须使光楔减薄, 使光程减少 Δ , 不难看出:

当光楔厚度为 l 时的光程变化量是 $(l - \frac{l}{n})$;

当光楔厚度为 l_1 时的光程变化量是 $(l_1 - \frac{l_1}{n})$;

$$\text{则 } \Delta = (l - \frac{l}{n}) - (l_1 - \frac{l_1}{n}) = (1 - \frac{1}{n})(l - l_1)$$

例如仪器前组焦距 $f = 1.5 \text{ m}$, $n = 1.5163$, 自动调焦范围:

$\infty \sim 1 \text{ km}$, 由牛顿公式计算出 $x' = 2.25 \text{ mm}$. 即 $\Delta = 2.25 \text{ mm}$, 则玻璃减薄量 $(l - l_1) = \Delta / (1 - \frac{1}{n}) = 6.6 \text{ mm}$.

当目标在无限远、光楔中心厚度取 19 mm 、光楔角度取 8° 时, 并考虑给温度调焦一定余量, 则不难看出大光楔在系统径向方向尺寸约 100 mm 左右, 如果仪器前组焦距再长, 光楔径向尺寸必然更大, 整个系统结构庞大, 这是我们所不希望的, 因此该种调焦方案有一定局限性。

2.1.2 结构及工作程序

由图 2 可知, 它是由电控部分、光楔板组件、减速箱、凸轮组件、电位计组件等构成, 其工作程序为:

由雷达或激光测距机送来的距离信息电压 $U = kx$, (其中 x : 目标与仪器之间的距离; k : 比例系数), 经过电位计之后并与标准电压 U_R 相比较, 当不相同便产生一误差信号 Δu , 经直流放大器放大后驱动电机带动减速箱及凸轮转动, 推动光楔及电位计中心抽头向着减少误差信号 Δu 方向运动, 直至 $\Delta u = 0$ 时系统便处于平衡状态。此时目标光线通过光楔之后便成像在 S' 平面(第一像面), 当目标距离 x 不断变化时, 则光楔就不断地调整光程, 不管目标距离如何变化, 始终能保持目标光线通过光楔后成像在 S' 平面上, 即获得最佳成像质量。

2.2 移动透镜式调焦机构

2.2.1 设计原理

从图(3)可见, 无限远目标光线 P_0 经物镜成像在透镜焦平面的 O_0 点, 平行光射出后经换焦距物镜成像在接收器光敏面上; 当近距离目标(如 $x = 1 \text{ km}$), 目标光线 P_1 经物镜成像在 O_1 点, 与透镜焦平面偏离 Δ , 这样目标光线通过透镜及换焦距物镜后, 就不会成像在接收器光敏面上, 即得不到清晰的图像; 如果在图 3 中将透镜向右移动 Δ 距离, 即 O_1 点与透镜焦平面重

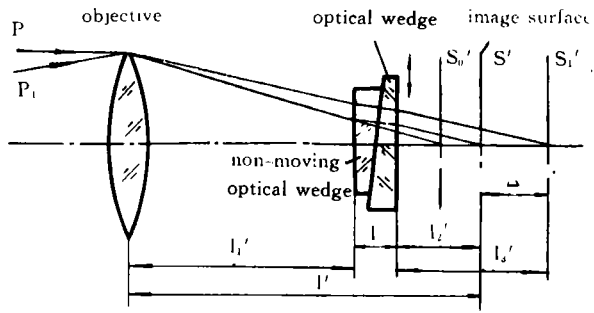


图 1 光楔式自动调焦机构设计原理
Fig. 1 Schematic diagram of automatic focussing mechanism for optical wedge

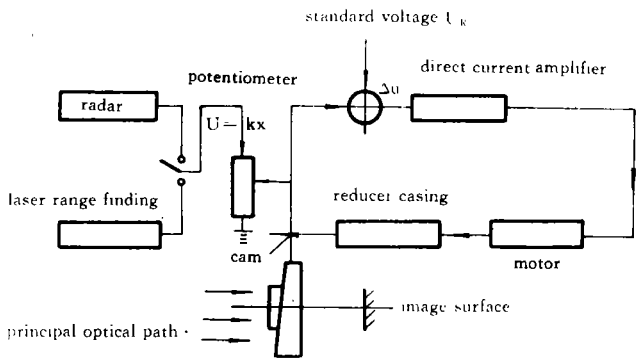


图 2 光楔式自动调焦机构的结构框图
Fig. 2 Block diagram of automatic focussing mechanism for optical wedge

合,则近距离目标和无限远目标一样,经透镜平行射出后,再经换焦距物镜,最后都能成像在接收器光敏面上,得到清晰的图像。该机构是通过移动透镜达到调焦的目的。

2.2.2 结构及工作程序

由图4可见,该机构是由电控部分、减速箱、精密丝杆付、球铰链、透镜、圆柱形导轨等构成,其工作程序为:

由雷达或激光测距机送来的距离信息电压 $U = kx$, 经电控部分处理后,驱动电机带动减速箱及精密丝杆付、球铰链,推动透镜在圆形导轨内移动,同时带动电位计中心抽头向着减小 Δu 方向运动,直至 $\Delta u = 0$ 时,机构便处于平衡状态。此时目标光线通过透镜后便成像在接收器的光敏面上,目标在不断地变化,机构就不断地自动调整透镜的位置,保证目标时时都能成像在接收器光敏面上,得到清晰的目标像。

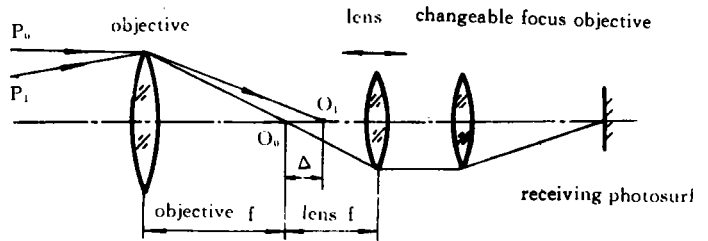


图3 移动透镜式调焦机构工作原理图

Fig.3 Schematic diagram for focussing mechanism of moving lens

3 移动透镜式调焦机构精度分析

现以某型号高精度电影经纬仪所采用的移动透镜式自动调焦机构为例:(见图5)

3.1 调焦机构的精度要求

调焦机构的精度是与仪器的第一像面焦深有关,可根据焦深计算公式 $\Delta = \frac{4\lambda}{(D/f)^2}$, 算出仪器第一像面的焦深,一般取焦深 Δ 的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ 作为调焦机构的精度指标 (f —仪器的前组焦距, D —仪器口径, λ —波长)

调焦精度: ± 0.010 mm (均方值)

3.2 传动机构特点

采用精密丝杆付及球铰链为传动机构,其优点是结构简单易行,加工、装调工艺性好、精度高;角位移与调焦方向的线位移比值较大,可以提高传动精度,运动付之间间隙可以做得很小,减小空回。

3.3 误差分析与计算

该调焦机构的误差主要来源有:传动误差、距离信息误差、电位计的非线性及标准电压的

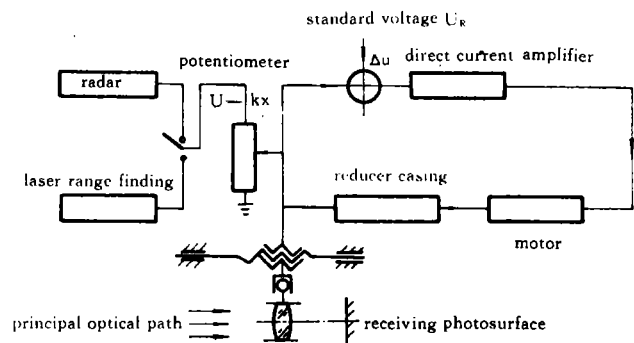


图4 移动透镜式自动调焦机构的结构框图

Fig.4 Block diagram for focussing mechanism of moving lens

Tab. 1 gear transmission error

error factor	error kind gear number	gear transmission error		return stroke gap of gear		processing error of guide screw and nut
		Z=24	Z=108	Z=24	Z=108	
error data		unit: μm				
gap between shaft and bearing		5	5	5	5	
leaning pendulum of inside ring of bearing		3	3	3	3	
bearing radial clearance		2	2	2	2	
shaft diameter leaning pendulum		3	10	3	10	
gear drive error		20	48			
gap between gear and shaft				0	3	
gap between bearing and bed				3	3	
eccentricity of outside ring of bearing				3	3	
base circle eccentricity				28	34	
center distance error					10	
sum of errors		33	72	47	73	
the sum changed into displacement of guide screw		0.19	0.09	0.26	0.095	
coordination gap between guide screw and nut						5
axial motion of guide screw						3
crossrange gap between nut and directive block						3
pitch error of guide screw						2
transmission general error	root mean square deviation	0.00523				
	maximum	0.0157				

Tabl. 2

error factor (mm)	transmission error (square)	distance information error (square)	norlinear error of potentiometer (square)	standard voltage error (square)	general error (root mean square deviation)
5(km)	27.35×10^{-6}	3.61×10^{-6}	44.5×10^{-6}	2.35×10^{-8}	8.7×10^{-3}
7(km)	27.35×10^{-6}	1.87×10^{-6}	44.5×10^{-6}	6.14×10^{-9}	8.6×10^{-3}
9(km)	27.35×10^{-6}	1.14×10^{-6}	44.5×10^{-6}	2.24×10^{-9}	8.54×10^{-3}
20(km)	27.35×10^{-6}	2.18×10^{-7}	44.5×10^{-6}	9×10^{-11}	8.49×10^{-3}
50(km)	27.35×10^{-6}	1.34×10^{-7}	44.5×10^{-6}	2×10^{-13}	8.48×10^{-3}
150(km)	27.35×10^{-6}	1.78×10^{-8}	44.5×10^{-6}	3×10^{-11}	8.48×10^{-3}

3.4 移动透镜式调焦方法的推广应用

近年来,由于 CCD 器件迅速发展,它的各种性能又有了很大提高,加之它的体积小,重量轻更为人们所青睐,在电影经纬仪的电视跟踪测量系统中得到广泛地应用,使得人们久盼的直接用直接控制接收器件实现自动调焦的愿望得以实现。目前研制的某型号电影经纬仪的电视跟踪测量系统,已经采用了直接控制接收器件 CCD 的方法使 CCD 按照牛顿公式 $x' = \frac{f^2}{x}$ 的规律运动,达到自动调焦目的。经外场试验效果很好。

4 讨 论

上述两种自动调焦机构,在电影经纬仪摄影、电视跟踪测量系统中都有应用,其优缺点比较如下:

(1)在光学系统透过率方面,移动透镜式调焦方法比光楔式调焦方法透过率高,因为前者光学系统内少了四个面的增透损失,也少了相当组合平板玻璃的吸收损失;

(2)移动透镜式调焦机构结构紧凑、简单、光楔式调焦机构结构较大、复杂;装调方面前者也较方便;

(3)移动透镜式调焦机构系统内没有较厚的相当组合平板玻璃,有利于光学系统分辨率的提高;

(4)移动透镜式调焦机构传动精度要求较高,因为透镜移动时,在方向上要视轴重合、移动量要精确,尤其要消除运动付的空回。

总的看来,移动透镜式调焦比光楔式调焦有较多优点,在高精度电影经纬仪中,推荐优先采用移动透镜式自动调焦机构。

参 考 文 献

- [1] 毛英泰,误差理论与精度分析. 北京:国防工业出版社,1982
 [2] 《光学仪器设计手册》编辑组,光学仪器设计手册. 北京:国防工业出版社,1972

Structure Design of Automatic Focussing Mechanism for Cinetheodolite

Xu Weian

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanism,
 Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper describes briefly principle of design and structure characteristics of automatic focussing mechanisms of moving lens and optical wedge of the system of photograph and TV automatic tracking and measuring for cinetheodolite, advantages and disadvantages are analysed. The precision of focussing mechanism of removable lens is also analysed and calculated in detail.

Key words: Cinetheodolite, Rocussing mechanism, Structure design

徐维安 女,1938年生,1963年毕业于哈尔滨工业大学陀螺仪表专业。一直从事国防工程光电测量设备研究工作,研制项目曾获中科院科技进步一、二等奖(集体)。