

# 摄像机变焦距物镜的焦距输出及精度分析

贾 平

**摘要：**用于测量电视系统的摄像机上的物镜不同于普通的变焦距镜头，它要求带有焦距实时输出装置。本文简述了变焦距镜头的基本结构和焦距输出电路原理，着重分析了焦距输出与测量精度的关系，得出改变变焦距镜头的凸轮曲线可以改变测量精度在不同焦距值下的分布。

## 一、概 述

摄像技术与图像处理技术的发展，使得摄像机的应用领域日益广泛。尤其是 CCD 摄像机的出现，其体积小、耐冲击、寿命长等突出特点，有许多特殊应用。在军事上，摄像机不再局限于空中侦察，同时也可进行测量，实时输出观测目标的坐标位置。这种用于测量的摄像机，除要求具有较高的分辨率外，同时还要求焦距实时输出。焦距输出精度直接影响最终的测量结果。

用于测量的摄像机基本组成如图 1 所示，主要由电机、精密电位器、凸轮、固定透镜组和可移动的变倍透镜组、补偿透镜组几个部分组成。

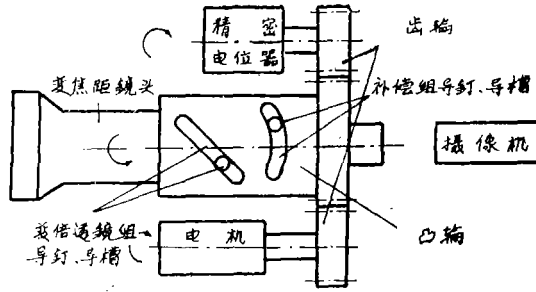


图 1 用于测量的摄像机示意图

在变焦距镜头中，依靠变倍组和补偿组两个透镜组在光轴方向的移动来改变焦距的大小，从而改变物镜对目标的放大倍数，达到改变观测范围的目的。补偿透镜组同时用来补偿变倍过程中发生的像面位移，并以严格关系随变倍透镜组做相应移动。

变倍组和补偿组两个透镜组分别装设在两个滑架上，每个滑架上固定一个导钉，导钉沿导槽运行。导槽是在镜头凸轮臂上铣出来的，构成导槽的曲线又称凸轮曲线。当电机旋转驱使凸轮转动时，两个滑架的导钉便沿着各自的导槽运行，带动变倍组和补偿组沿光轴方向按预定的关系移动，镜头焦距值发生变化。同时，精密电位器在齿轮的传递下，随凸轮转动，

使电位器的中点位置发生变化，若给电位器加上电压，则电位器将随凸轮转角的变化而输出不同的电压。由于凸轮的转角与变倍和补偿透镜组沿光轴方向位移成对应关系，因而凸轮的转角也就与镜头的焦距值成对应关系。不难推出，精密电位器输出的电压值与焦距值成对应关系。因此，对电位器输出电压值进行换算即可获得焦距值，达到输出变焦距镜头焦距值的目的。

补偿组沿光轴方向的位移是由变倍组的位移决定的，因此补偿组的凸轮曲线是由变倍组的凸轮曲线决定的。以下为简单起见，我们将变倍组的凸轮曲线简称凸轮曲线。

## 二、焦距输出装置电路原理

精密电位器的输出电压与焦距值相对应，但必须对电压信号进行处理，经过计算才可得到真正的焦距值。完成这一工作的电路原理如图 2 所示。

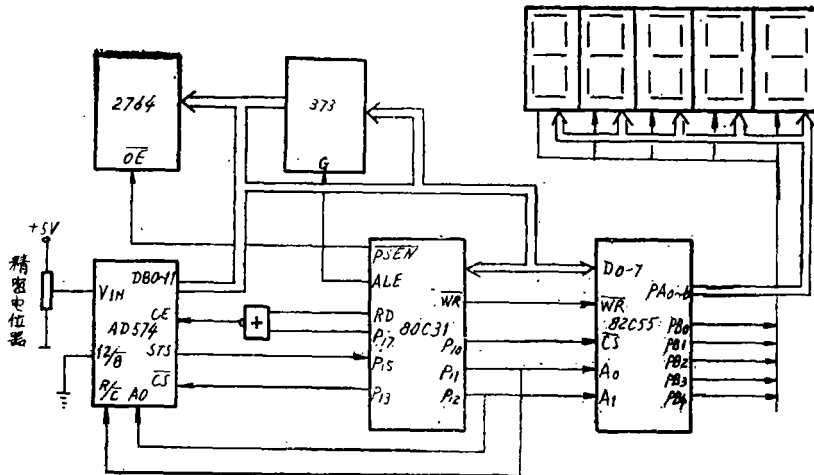


图 2 焦距输出装置电路原理图

精密电位器输出电压信号输入到AD574中进行十二位模/数转换，单片机 8031 实时地读取 AD574 转换后的数值，经过计算，查找由电位器输出电压与变焦距镜头焦距的对应关系所建立的数据表，然后输出到接口芯片8255中，用五位数数码显示管将焦距值显示出来。将焦距值以及摄像机视频数字化信号输入到微机中，进行处理可得所需的测量结果。

## 三、焦距输出误差与测量精度

在摄像机用于测量时，焦距值是计算测量结果的主要参数之一，实时而准确地输出焦距值是十分重要的。

### 1. 焦距输出误差

根据变焦距镜头及其焦距输出装置的工作原理，影响焦距输出误差的主要因素有三个：

- (1) 精密电位器的测量误差 $\alpha_1$ 。
- (2) 齿轮的传动误差 $\alpha_2$ 。
- (3) 凸轮曲线的加工及

与导钉之间存在间隙造成的误差 $\alpha_3$ 。

由于误差 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 的存在，使得精密电位器的输出电压与当前变倍组沿光轴方向实际位移对应的电压发生了偏差。精密电位器本身的测量误差 $\alpha_1$ 和齿轮的传动误差 $\alpha_2$ 主要体现的是精密电位器对凸轮转角的测量误差，对于同样的转角误差，若凸轮曲线不同，其对应的变倍组沿光轴方向的位移相对误差不同，那么由电位器电压值换算而成的焦距的相对误差不同。误差 $\alpha_3$ 直接带来变倍组沿光轴方向的位移误差，凸轮曲线形式对其影响并不大。可见，改变凸轮曲线可以改变测量精度在不同焦距值下的分布。

根据变焦距镜头的光学设计参数，可以绘出变倍透镜组沿光轴方向的位移 $s$ 与焦距 $f$ 之间的关系如图3所示。对于不同的变焦距镜头， $s$ 与 $f$ 的关系不同，但 $s$ 与 $f$ 关系的变化趋势相近。

通过对 $s$ 与 $f$ 的关系进行换算，可以得到在变倍组为某一位移时，由于位移误差（这里以0.2mm误差为例）所带来的焦距相对误差 $\Delta f'/f$ 。对每一点进行换算，可得到图4所示的曲线。由此可以看出，在变倍组位移误差相同时，在长焦距处比短焦距处所引起的相对误差

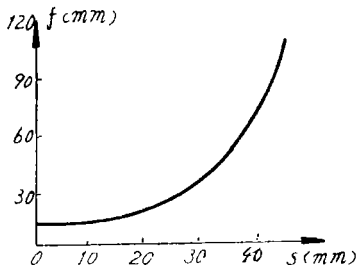


图3  $s$ 与 $f$ 对应关系

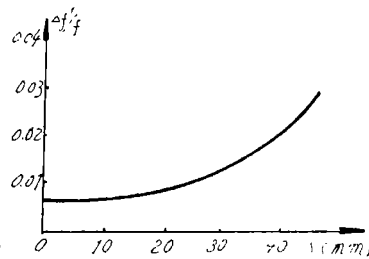


图4  $s$ 与 $\Delta f'/f$ 对应关系

要大得多。如在焦距为10mm时，位移误差为0.2mm所带来的焦距相对误差 $\Delta f'/f$ 为0.6%，而焦距为150mm时，则为2.6%。

## 2. 焦距输出误差与测量精度

为了便于分析，我们假设变焦距镜头为理想的光学系统，那么当摄像机在 $H$ 米高空，摄取 $L$ 米的目标时，其成像原理如图5所示，因物距远远大于像距，所以像距可近似看成与焦距相等，其中 $L'$ 为像高。

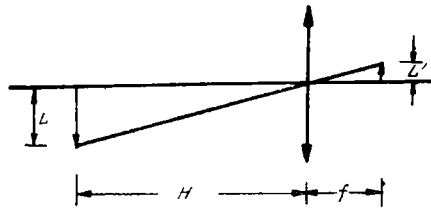


图5 光学成像图

由图可得：

$$L = L' \cdot \frac{H}{f} \quad (1)$$

对上式进行微分得：

$$dL = -L' \cdot \frac{H}{f^2} \cdot df \quad (2)$$

将 (1) 代入 (2) 式得:

$$dL = -L \cdot \frac{df}{f} \quad (3)$$

可见, 摄像机测量时所产生的测量误差与目标的大小  $L$  和焦距输出的相对误差  $\Delta f/f$  成正比。

若使用摄像机的光敏面为  $8.8 \times 6.6 \text{mm}^2$ , 对角线的一半为  $5.5 \text{mm}$ , 也就是说  $L'$  最大为  $5.5 \text{mm}$ , 当  $H = 2000 \text{m}$ ,  $f = 10 \text{mm}$  时, 摄像机的最大覆盖半径为  $L_{\max} = 1100 \text{m}$ , 若  $\Delta s = 0.2 \text{mm}$ , 焦距输出相对误差为  $\Delta f/f = 0.6\%$ , 则测量最大绝对误差为  $\Delta L_{\max} = \pm 6.6 \text{m}$ ; 当  $f = 150 \text{mm}$ ,  $\Delta f/f = 2.6\%$ ,  $L_{\max} = 74 \text{m}$ , 则  $\Delta L_{\max} = \pm 1.9 \text{m}$ , 这和激光测距机的测量精度相当。逐点进行计算可得图 6 所示的曲线。

由以上分析可得出如下结论:

(1) 由变倍组位移误差引起的焦距相对误差  $\Delta f'/f$  在长焦距处比短焦距大。

(2) 对目标进行测量时, 可能出现的最大绝对误差长焦距比短焦距处小。反过来也可以说, 对于相同的测量精度, 在变焦距镜头处于不同的焦距值时, 所要求的相对焦距精度不同, 短焦距处比长焦距处要高。

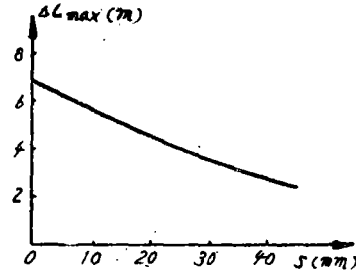


图 6  $s$  与  $\Delta L_{\max}$  对应关系

#### 四、凸轮曲线的确定

变焦距镜头焦距值与电位器转角的函数一阶导数越小, 也就是变化速率越慢, 焦距输出精度越高, 测量精度也就越高。改变凸轮曲线即可改变电位器齿轮单位旋转角度与变倍组沿光轴方向的位移对应关系, 也就改变了焦距值与电位器转角对应关系, 重新分布焦距输出误差的变化速率。因此, 在变焦距镜头凸轮设计中, 选择适宜的凸轮曲线, 可以获得不同的焦距输出精度与焦距值的对应关系, 由此获得所需的在不同焦距值下的测量精度。

总之, 凸轮曲线的改变使得凸轮转角与变倍组沿光轴方向的位移对应关系发生了变化, 使得焦距输出误差的分布在一定的范围内可以人为地改变, 以满足测量的需要。另外, 在凸轮曲线的选择过程中, 需要考虑凸轮转动力矩的问题, 要求凸轮曲线形成的导槽易于导钉运行, 降低电机转动力矩。

图 7 中示出了凸轮曲线为直线  $s = 0.29q$  和抛物线  $s = -24.7 + \sqrt{28q + 610.2}$  两种情况

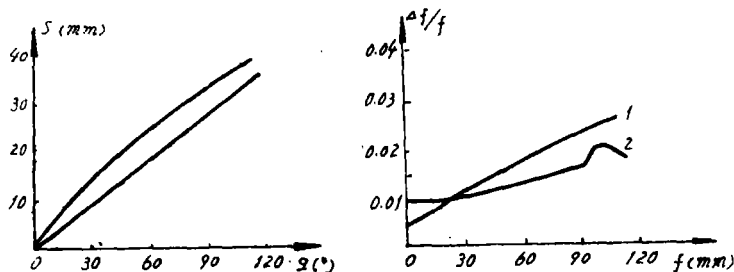


图 7  $s$  与  $q$ 、 $\Delta f/f$  与  $f$  的对应关系

下，电位器转角  $q$  与变倍组沿光轴方向的位移  $s$  之间关系，以及转角误差为  $0.69$  度时焦距输出误差与焦距值的对应关系。曲线 1、曲线 2 分别与直线、抛物线相对应。

两种凸轮曲线的焦距输出误差及测量精度的比较如表 1 所示。

表 1 两种情况比较表

焦 距 (mm)	凸 轮 曲 线 为 直 线		凸 轮 曲 线 为 抛 物 线	
	$\Delta f/f$	$\Delta L_{max}$ (m)	$\Delta f/f$	$\Delta L_{max}$ (m)
10	0.6%	6.6	1.2%	13.2
30	1.1%	4.0	1.0%	3.7
60	1.5%	2.7	1.2%	2.2
90	2.3%	2.8	1.0%	1.2
120	2.3%	2.1	1.6%	1.5
150	2.6%	1.9	1.7%	1.2

在工作中得到了熊经武老师的指导，光学设计及机械设计参数由杜温锡、杨牧、卢苇三位老师提供和帮助，在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] 史光辉：光学机械，1978年，三期，p1~4
- [2] 复旦大学计算机系微机开发应用研究室编：《MCS—51单片机原理与应用》

## Focal Distance Output of Camera Zoom Lens and Accuracy Analysis

Jia Ping

### Abstract

Zoom lens for measurement television system is different from the ordinary. It is needed for a real-time output equipment of focal distance. In this paper, basic construction of zoom lens and principle of the focal distance output circuit are briefly described. We analyses mainly relations between the focal distance output and the measurement accuracy, finding that the measurement error distribution at different focal distance varies with the convex wheel curve of zoom lens.