

# 无人驾驶飞机航空照相设备曝光量自动控制的设计

赵 鹏

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

**摘要:** 本文就无人驾驶飞机上装载的航空照相设备的曝光量自动控制装置的设计问题, 进行了理论的分析, 提出了无人机载照相设备自动调光装置设计的基本要求, 并给出一种新型航空相机自动调光机构的设计做为实例加以说明。

**关键词:** 航空照相机; 曝光量; 自动控制

## 1 引言

无人驾驶飞机上装载的航空照相设备是在飞行中人无控制的情况下对地表景物进行拍摄的。由于飞行气象、飞行时间及飞行高度的不同, 地表景物的照度有很大的差异, 并且地表景物的反射特性千差万别, 所以要想在感光特性一定的胶片上获得清晰的像, 就必须设计自动调节曝光量的装置。下面就自动调光系统设计的一般要求, 进行简要的分析, 并介绍一种新型航相机的自动调光系统的设计。

## 2 曝光量自动控制系统的要求

航空相机要对地面目标进行拍摄, 来自被摄目标的通过照像物镜的光通量作用在感光胶片的感光层上, 作用时间由有效曝光时间来决定, 使之按当时的摄取条件在胶片上形成要求的影像密度。此曝光时间被称为必需曝光时间。考虑到航相机摄像快门的通光效率, 以及大气的透过率, 照相机为了获得优质的像就必须满足如下能量关系式:

$$H = \int_0^T E \cdot dt = E \cdot T \dots \dots \quad (1)$$

式中  $H$ —曝光量(lx·S)

$E$ —影像照度(lx)

$T$ —曝光时间

$E$  为地面目标像的照度, 它的量值由地物照度  $E_0$ ; 地物的平均亮度系数或不发光物的反射系数  $\bar{r}$ ; 大气透射系数  $\tau_1$ ; 物镜中的光损失系数  $\tau_2$ ; 相机物镜的相对孔径  $2a/f'$ ; 及滤光片的

透过率等因素决定的,其公式如下:

$$E = E_0 \cdot \bar{r} \cdot \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot (2a/f')^2 \cdot S \cdot P \dots \dots \quad (2)$$

式中:  $S$ —滤光镜的倍数

$P$ —常数,由天气及光学系统的折射率决定,天气不同  $P$  值不同。又因为航空胶片的感光度是一定的,为在胶片上获得清晰的像只有使相机摄取的曝光量与胶片要求的相等。故由(1)、(2)式及胶片感光性能可以解出:

$$T = \frac{40K\varphi}{E_0 \bar{r} (2a/f')^2 \tau_1 \tau_2 S \cdot P} \quad (3)$$

式中:  $K_\varphi$  为胶片的感光特性值。

根据上式,不难得出如下结论:为了拍摄到清晰的相片,就必须保持以上关系式的成立。为了使不同照度的景物都能正确曝光,可采取下列措施来实现曝光量的自动控制:

- (1) 改变  $T$ , 即改变快门的开启时间。
- (2) 改变  $2a/f'$ , 即改变相对孔径值。
- (3) 同时改变  $T$  及  $2a/f'$ , 即同时改变快门速度和相对孔径值。

另外,由于航空拍摄是在飞机飞行状态下进行,地面景物相对航相机是相对运动的,且其运动速度较快,所以,曝光量的自动调节系统须以较快的速度,在较短的时间内完成自动调光的全部动作: 图 1 表示了

自动调光系统的原理示意,若使航相机准确调光,在调光系统设计时就应满足如下两个要求,一是准确的测光,即准确把地面景物的光信号转变为传动机构控制信号,二是灵活精确的传动装置完成调光动作。

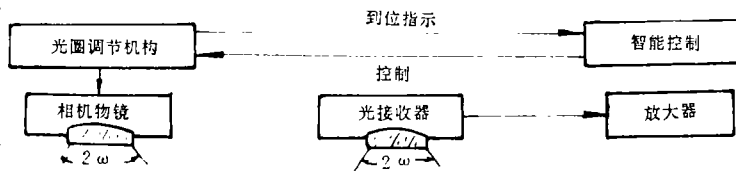


图 1 自动调光系统示意

由于航空照相过程是在天空中完成的,即太阳顶距很大,所以噪声信号以散射的太阳辐射形式进入航相机。也就是说,大气散霾的程度直接影响了物像在胶片上的对比度,因而航空胶片的感光性特性与地面摄像有很大的不同,所以对自动调光系统的设计提出较高的要求。总之,在调光系统的设计中,必须根据实际应用情况,考虑航相机调光的设计特点,从总体出发,达到性能与经济的统一。

### 3 航 A 相机的自动调光装置的设计

根据实际情况,航 A 相机被设计成光学转筒式扫描全景相机,曝光量自动控制系统采取时间先决式,即在飞行前设定相机快门曝光时间,在飞行过程中只改变相对孔径。在快门速度一定的条件下,相对孔径可由 2.8 变化到 22,从最小光能量变化到最大光通量可变化 64 倍。

#### 3.1 测光电路

测光电路由硅光电池及各级放大电路组成,以照相物镜收集地物光能,采用分光的形式把光信号反射到硅光电池  $B_1$  上转变为电信号,再经放大输出,其原事如图 2。图中  $V_B$  经对数放大后送入计算机。计算机根据当时的快门时间,查表输出一合适的参考电压值  $V_R$  起支光闸电

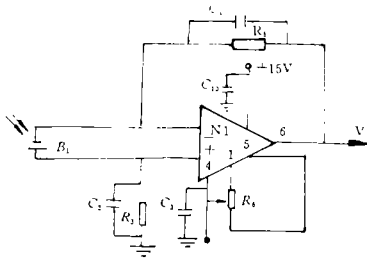


图 2 测光电路原理示意

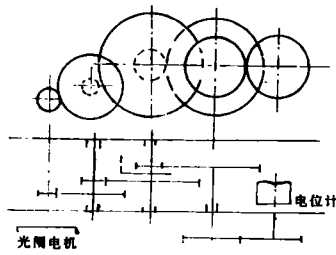


图 3 减速机构

机正或反向转动,同时带动反馈电位计转动。如图 3 所示,并实时地把反馈电位计输出的反馈电压值与参考电压  $V_R$  相比较,当两电压值相等时光阑电机停止转动,此时已调光到位。

### 3.2 光圈调节机构

总体设计要求光学系统恒速转动来实现对地面景物 ( $+90^\circ$ 到 $-90^\circ$ )的扫描,而光圈设计在光学系统中。为了不干扰光学系统恒定的扫描运动,又能灵活精确地调节光圈,调光机构设

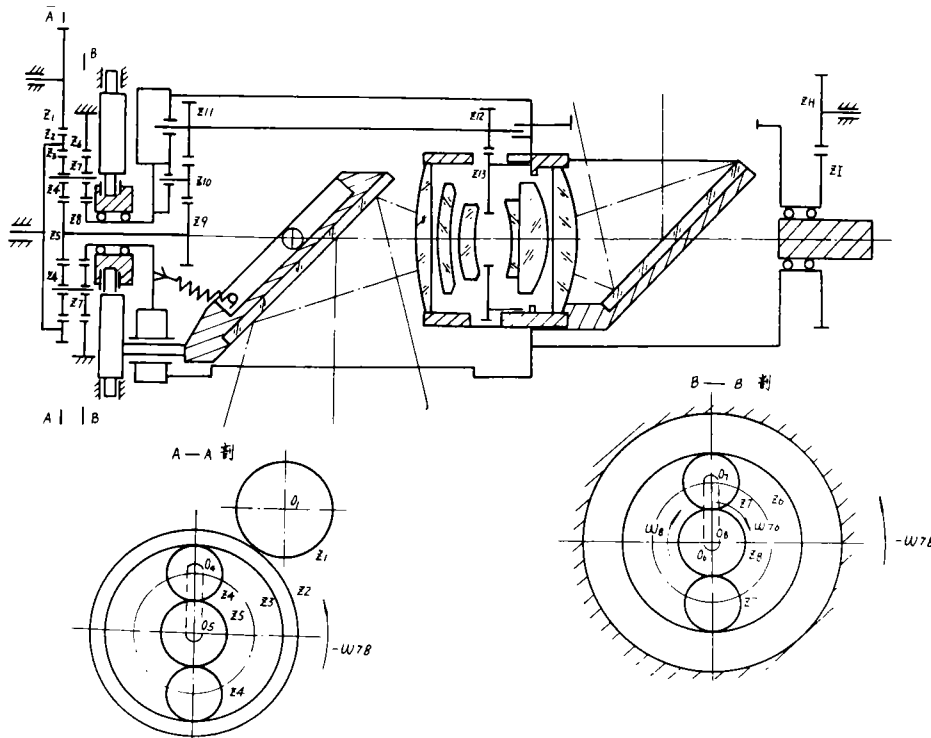


图 4 行星机构

计成为图 4 所示的差动轮系。 整套机构的运动规律为:齿轮  $Z_1$  通过图 3 所示的减速机构由光阑电机带动,光学系统的以固定周期在主电机带动下匀速转动,光学系统与  $Z_8$  相固联,与齿轮  $Z_7$ 、 $Z_6$  构成行星轮系(见图 4BB 剖)根据公式其传动比

$$i_{87} = 1 - (-1) \frac{Z_6}{Z_8} = \frac{Z_6 + Z_8}{Z_8} = \frac{\omega_8}{\omega_7}$$

而差动轮系(见图 4AA 剖)的传动比公式由如下方程解出:

$$i_{35} = \frac{\omega_3 - \omega_4}{\omega_5 - \omega_4} = (-1)' \frac{Z_5}{Z_3} = -\frac{Z_5}{Z_3} = \frac{-Z_5}{Z_3}$$

$$\omega_4 = \omega_7 = \omega_8 \frac{Z_8}{Z_6 + Z_8}$$

其中  $Z_3=90, Z_5=42, Z_6=90, Z_8=42$

解方程得:

$$\begin{aligned} \omega_5 &= \frac{Z_3}{Z_5} (\omega_8 \frac{Z_8}{Z_6 + Z_8} - \omega_3) + \omega_8 \frac{Z_8}{Z_6 + Z_8} \\ &= \omega_8 - \frac{Z_3}{Z_5} \omega_3 \end{aligned}$$

又因为齿轮  $Z_1$  由光阑电机带动为主动轮:

$$\omega_3 = \omega_2 = i_{21} \quad \omega_1 = -\frac{Z_1}{Z_2} \omega_2$$

所以:

$$\omega_5 = \omega_8 - \frac{Z_3}{Z_5} \omega_3 = \omega_8 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_5} \omega_1$$

由图 4 知:轮系  $Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}$  相互啮合并带动光阑片动作使光圈变化,并与光学系统一起转动,速度恒定为  $\omega_8$  所以:当  $\omega_1=0$ ,即光阑电机不动时,  $\omega_5=\omega_8$ ,则  $Z_5$  与  $Z_{10}$  无相对运动,  $Z_{10}, Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}$  不发生相对转动,故光阑片位置保持不变,光圈不变。

当  $\omega_1$  不为 0 时,  $Z_5$  与光学系统的相对转动速度

$$\omega'_5 = \omega_5 - \omega_8 = \frac{Z_1 Z_3}{Z_2 Z_5} \omega_1$$

$Z_5$  与  $Z_9$  固联,  $Z_9$  与  $Z_{10}$  发生相对转动即  $Z_5$  带动  $Z_{10}$  并通过  $Z_{11}, Z_{12}, Z_{13}$  把运动传递到光阑片上,即实现由光阑电机的正、反转,带动光圈大小变化。实现主控计算机要求的调光动作。

通过上述分析知道,由这套机构可实现正确的调光,合理选择各级齿轮的齿数和光阑电机转速,可使调光动作在极短的时间内完成,达到适时调光的目的。

## 5 结 论

在对无人驾驶航空机载照相设备曝光量自动控制的设计问题进行简要理论分析的基础上,并根据推导出的结果设计了一套差动一行星轮系自动调光机构。该机构设计合理、结构紧凑,应用于航 A 相机上获得良好的效果,使动态调光光范围达 64 倍。该产品处国内领先地位,并达到国际同类产品八十年代末期水平。

感谢张吉鹏老师给与的指导

### 参 考 文 献

- [1]R、E 谢尔巴科夫,航空照相机的设计与计算. 长春:吉林科技翻译协会出版社,1980,313  
[2]梁栓廷,物理光学. 北京:机械工业出版社,1987,384  
[3]天津大学精仪机械教研室编,精密机械零件. 1980,上:248,下:235

## Design of Automatic Exposure Control of Aerocamera

Zhao Peng

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,*  
*Chinese Academy of Sciences,Changchun 130021*)

### Abstract

In this paper, the problem of automatic exposure control in an aerocamera is discussed, and the basic requirements for designing an automatic exposure system have been given as an example, an automatic exposure system of a new type aerocamera have been presented.

**Key words:** Aerocamera, Exposure, Automatic control