

# 多光谱相机的曝光控制系统

耿玉芝 杨观廉 唐九华

## 一、概 况

用传统的航空摄影术识别地物主要靠底片上成像的轮廓形状、大小、明暗。现代遥感技术中的多光谱摄影更着重于反映地物的光谱辐射特性，即按其不同波段对天光的反射率来进行识别。为此要求多光谱相机对一个景物摄得的各波段图像的黑度（光密度）能够定量地记录景内地物的相对辐射亮度。

我所1979年研制的多光谱相机模型  $DGP-II$ ，从可见光到近红外分为四个波段，各波段的照相物镜有相等的焦距100毫米。各镜头前分别罩以本波段的带通滤光镜。相机的快门机构保证各波段同步曝光，曝光时间分四档：1/50秒，1/100秒，1/200秒，1/400秒。曝光控制的手段是调节各镜头光圈的大小，范围为  $F/3$  至  $F/16$ ，每张画幅的边缘都有当时镜头所用光圈数的示值。

摄影底片须预先测定其感光度，以便选择曝光量在其特性曲线的直线部分。

多光谱摄影遇到的一个问题是各波段曝光控制之间应遵循什么关系。我们了解到国内外一些遥感科技人员对此有两种见解。一种认为各波段所用的光圈数的比例应考虑底片的光谱灵敏度和天光（包括太阳光）的光谱强度分布，但不随地物光谱反射比的变化而作改变。为了补偿天光强度随太阳高角的变化，应使各波段所用光圈数按原有比例涨落，作统一调整。这样所摄得各波段图像的黑度才能如实地反映地物在各波段反射比的高低。这种方式本文中称为统调。另一种见解认为可沿袭传统的航空摄影对曝光的要求，即各波段都使得每幅图像的平均黑度保持在便于判读的最佳值。就是只考虑底片的光谱灵敏度，给每个波段的像面指定最适宜的平均照度。让各镜头的曝光控制系统随地物在本波段的辐射强度变化而各自分别调整光圈，以维持上述指定的照度（为了通过数据处理得出地物的光谱反射比，需要每张画幅有其所用光圈的准确数值）。这种方式本文中称为分调。

这次研制的曝光控制系统具备统调和分调两种功能，以供不同的试验之用。分调时，即使专设曝光操作人员也不可能胜任四个波段各自独立的光圈控制，所以必须由每个镜头的控制分系统完全自动地工作。统调时，全自动的统调，需对天光采样，在飞机上另增设一个朝上的窗口则比较麻烦。因天光强度变化缓慢，只需每隔一、两个小时调节一次光圈，可由相机操作人员兼顾半自动操作。这个曝光控制系统与以前的同类系统相比，有两点进展：一是分调时可在操作面板上直接装定底片感光度数值和快门曝光时间，而省略查图表换算照度系数的手续；二是具备多波段的集中统调，即只需转动一个统调倍率的旋钮，四个镜头的不同初始光圈数就同时按此倍率涨落，免去分别调整四个光圈以及可能因偶而失误而破坏了原有的比例关系。

## 二、系统结构

DGP—II型多光谱相机曝光控制系统在分调工作方式时是一个光路闭合的恒值调节系统，用光敏电阻做照度测量元件。在统调方式时是一个电路闭合的指令随动系统，用电位器做检测元件。二者都采用电桥与基准信号相比较，然后共用一个放大器和光阑驱动电机。每个波段的控制分系统原理图如图1所示。

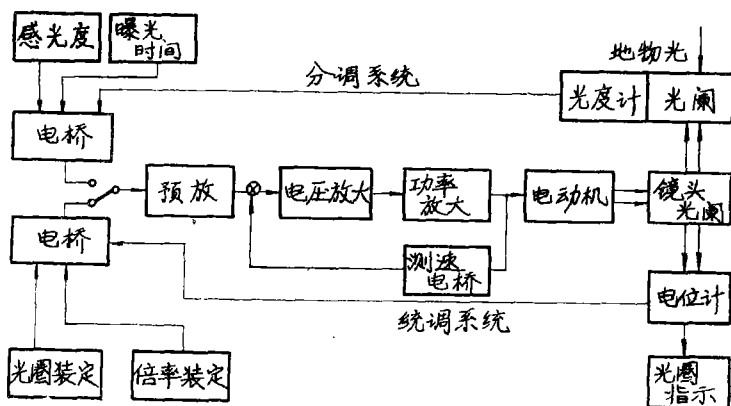


图1 调光分系统原理图

### 1. 分调系统

分调是使各波段底片的曝光量控制在预定值。光度计就是测量像面照度的装置。它包括光度计镜头，波段滤光片和可变光阑。光度计的光阑和照相镜头的光阑连动，两者的相对孔径相同，视场相同，所以在光度计像面上的光敏电阻测得的照度能代表底片上的照度。光度计的结构如图2所示。

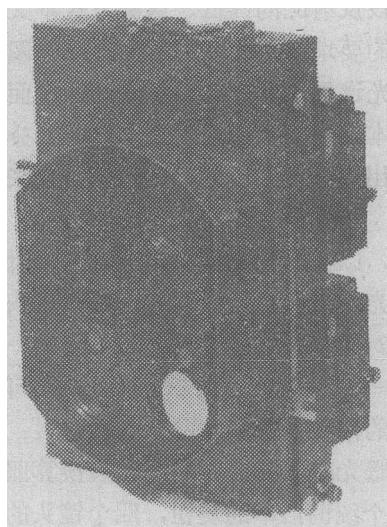


图2 光度计：图中正面四个大圆为照相镜头，四个小圆为光度计镜头。

调光系统的核心部分是比较电桥，它汇集多种控制信号：装定曝光时间、胶片感光度、装定光阑的光圈数、倍率调整和光圈指示。电桥的结构如图3(1)所示。

在分调系统中，电桥四个臂分别为：光敏电阻 $R_x$ 、装定胶片感光度用的基准电阻 $R_s$ 、装定曝光时间用的基准电阻 $R_t$ 和调整零点用的调零电阻 $R_0$ 。光敏电阻将接收到的光信号变成电信号和其它基准信号相比较。当像面照度适中时，满足电桥的平衡条件，即 $R_x R_0 = R_s \cdot R_t$ ，电桥没有误差信号输出。当光敏电阻上的照度发生变化时，电桥失去平衡，输出信号经过放大，由电动机带动光阑将像面照度恢复到给定值，电桥重新平衡。

该系统的结构原理是根据胶片感光度、曝



$$R_s \cdot R_t = R_0 \cdot R_x \quad (3)$$

这里要求光敏电阻的阻值  $R_x$  与照度  $E$  的关系应满足下式:

$$R_x = \frac{C'}{E}$$

或

$$\log R_x = \log C' - \log E \quad (4)$$

图 4 表示光敏电阻的实测特性曲线, 符合上述关系式, 它在对数座标中为负斜率的直线。

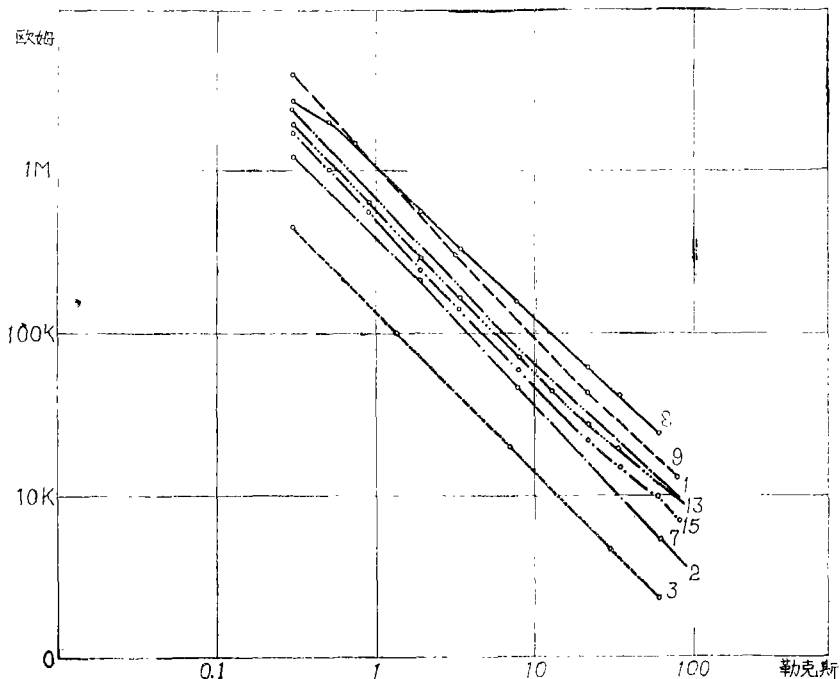


图 4 光敏电阻特性曲线

不同型号的光敏电阻的光谱灵敏度峰值位置不同, 可选用于不同波段的光度计。环境温度升高时, 光敏电阻的灵敏度会降低, 且光谱峰值位置移向短波, 因为温度变化范围并不大, 可不采取特殊措施。我们使用的几种硫化镉元件温度系数在  $7 \sim 16 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  之间。响应时间在  $10 \sim 20$  毫秒之间, 可以满足光圈变化五挡调整时间小于  $1.5$  秒的要求。

使用以往的这类曝光控制系统, 须从已知的底片感光灵敏度和已定的曝光时间运用列线表查出所需的照度系数, 装定到控制系统中通过电桥与光敏元件所受照度相比较。现在这个系统的电桥可直接装定底片感光灵敏度和曝光时间, 原列线表的作用就由电桥的运算功能来代替。节省查表手续的实质在于把以前电桥中闲置的一个臂利用起来作装定参数了。

## 2. 统调系统

在这种工作方式时, 各波段镜头的光圈数由分别的位置随动系统作预先装定, 光圈初始位置各波段可以不同, 然后进行共同的倍率调整, 而保持预定的比例关系。

各个波段各用一支电位器和光阑联动作检测光圈数用, 它是电桥的一个臂, 电桥的另外三个臂为: 装定光圈数  $F/3$  到  $F/16$  的基准电阻  $R_F$ ; 倍率调整电阻  $R$  (用来实现各波段的光圈数在原有基础上按  $\times 0.5$ 、 $\times 0.7$ 、 $\times 1$ 、 $\times 1.4$ 、 $\times 2$  五种倍率统一增减); 调零电阻  $R_0$ 。电桥结构见图 3 (2)。检测电位器阻值  $R_D$  随光圈挡数的变化关系是线性的, 即光圈数顺次变挡时,

阻值按等差级数变化, 级差 $\Delta R_g$ 为常数。根据电桥平衡方程

$$R_F \cdot R = R_0 \cdot R_g \quad (5)$$

就要求光圈数装定电阻 $R_F$ 顺次变挡时阻值也按等差级数变化, 级差 $\Delta R_F$ 也为常数。其前提是倍率电阻 $R$ 为定值, 调零电阻 $R_0$ 为常值。但在换倍率时 $R$ 就要变, 于是:

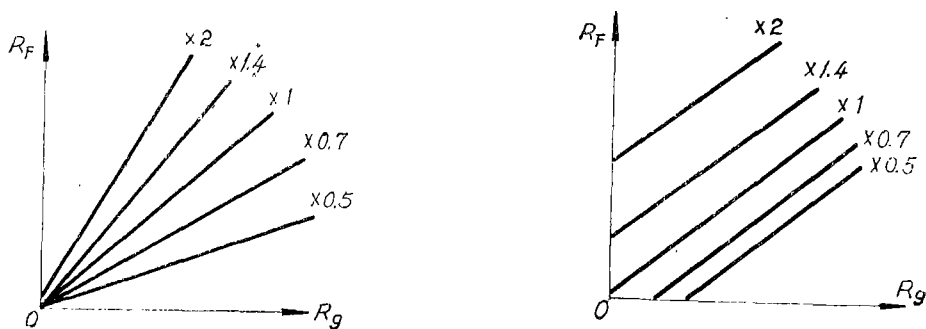
$$\Delta R_F = \frac{R_0}{R} \Delta R_g$$

也随之要变。在简单的电桥电路中要求 $\Delta R_F$ 既为常数又为变数是难以实现的。

我们采用近似的解决办法。对(5)式取自然对数, 再取微分, 得:

$$\frac{\Delta R_F}{R_F} + \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_g}{R_g} \quad (6)$$

此式中尽管 $R$ 有变化,  $\Delta R_F$ 与 $\Delta R_g$ 的比值保持不变。如 $\Delta R_g$ 为常数, 则 $\Delta R_F$ 也为常数。同理,  $R_F$ 有变化, 也不影响 $\Delta R$ 为常数。(5)式与(6)式的区别示于图5。



关系式 (5)

关系式 (6)

图5 各挡倍率( $R$ 值)时的 $R_F-R_g$ 关系曲线

(6)式成立的条件是

$$\frac{\Delta R_F}{R_F} \rightarrow 0 \quad \frac{\Delta R}{R} \rightarrow 0 \quad \frac{\Delta R_g}{R_g} \rightarrow 0$$

我们在电桥的 $R_F$ 、 $R$ 、 $R_g$ 三臂中各串联大电阻, 以模仿这个条件, (例如使 $R_F$ 比 $\Delta R_F$ 大一个数量级,  $R_g$ 和 $R$ 也如此)。用(6)式得到的近似程度(相对误差)为 $\pm n(\Delta R_F/R_F) \times 100\%$ ,  $n$ 为倍率变挡数, 1倍时 $n=0$ 。选配电桥各臂阻值时 $R'_F$ 和 $R'_g$ 的阻值要准确, 否则会给系统引进较大的误差。其它各挡电阻也必须精确测量。

整个多光谱相机有两个电器箱, 其一为调光系统, 操作面板如图6所示。面板有四个表头分别指示各波段的瞬时光圈数。中间四个旋钮在分调时分别作装定四个波段的胶片感光度用, 而在统调时它又做装定初始光圈数用。分调或统调工作方式由调光方式选择开关控制。另外, 曝光时间控制旋钮可改变分调时的曝光时间。倍率旋钮装在多层波段开关上, 可使四个分系统电桥的倍率电阻一同换挡, 进行统调。

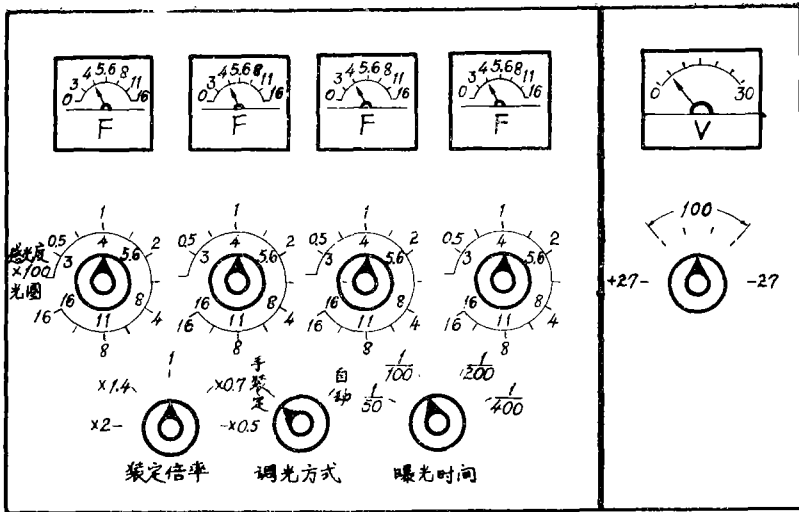


图6 调光系统面板

### 三、试验情况

多光谱相机的曝光控制系统经装调与定标后，即参加了长春地区的遥感试验，飞行了八个架次，摄影总计时间二十多小时，摄取了约一千六百组画幅，试验中分别采用了分调和统调的工作方式。每次飞行试验前相机各个波段的胶片都经过严格的感光度测定。在采用分调的工作方式摄影时，按所测得的胶片感光度数值对调光系统进行装定。在采用统调的工作方式摄影时，利用分调的光圈指示装定统调的初始条件。两种工作方式摄影后观察所摄得底片，图象的平均密度与调光定标的密度值很接近，肉眼看不出明显差别。我们选择了三张画幅底片，景物为水库水面充满整个画幅，经测定上列每个画幅的平均密度值为0.98、0.97、0.98。实践证明多光谱相机的曝光控制系统的工作效果是良好的。

后来，多光谱相机先后参加了大连、内蒙、天津等地的遥感试验。在这些试验中，由于缺乏事先标定胶片感光度的条件，我们利用分调系统在正式飞行试验前先在地面对胶片感光度进行标定试摄影，以确定胶片感光度。待到正式飞行试验时，用上述方法所标定的胶片感光度进行装定。其具体作法如下：先在地面选择任意的摄影目标，然后将相机对着它进行摄影，摄影时选取不同的胶片感光度装定条件。冲洗后选出其中密度比较合适的画面，该画面所对应的感光度装定条件即为该胶片的实际感光度。利用这种简捷方法标定胶片感光度，各次试验都得到良好的效果，这样可以避免以前用传统的调光系统需要试摄影的飞行架次，从而节省了物力与人力，对操作者来说也带来很大的方便。

迄今为止，多光谱相机已先后摄影了约五千米胶片，摄取了约六万多个画幅。除了操作等引起的因素外，并没有发现由于控制系统引起的曝光不正常现象。

参加本曝光控制系统研制、调试的还有杨跃文同志。光度计及镜头的光阑结构是李劲城和程秀英同志设计的。