

用 CdS 探测聚焦锐度的自动调焦系统

于前洋、张宪英、刘荫田、马力男

摘要 本文叙述了用 CdS 光敏元件探测聚焦锐度的原理。提出了离焦量在 ± 3.5 毫米范围内达到 ± 0.02 毫米调焦精度的自动调焦系统。讨论了这一实验结果及其应用的可能性。

一 用 CdS 探测聚焦锐度的原理

用 CdS 探测聚焦锐度的原理首先由 D. Craig 于 1961 年提出^[1]。他发现, 当 CdS 光敏面位于焦面附近时, 光电导不仅与入射到光敏面上的总光能量有关, 而且与光能量在光敏面上的分布有关。在入射到光敏面上总光能量不变的情况下, 光能量均匀分布和不均匀分布时的光电导不一样。特别是在锐聚焦的情况下, 能量集中于光敏面的某一部分, 光电导发生急剧变化。光电导与聚焦锐度的关系如图 1 所示。在均匀照明时, 光电导随离焦量呈负指数函数关系下降 (实线), 在有图象时焦面附近的光电导突然偏离原有曲线, 出现明显的凹陷 (虚线)。

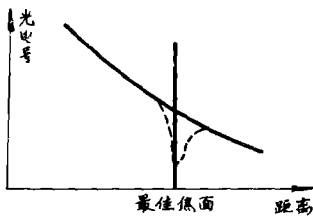


图 1 光电导与聚焦锐度的关系曲线

P. Pargas 对这种现象做了解释^[2]。他假定光敏面是由一些独立的相互连接的电导元组成的矩阵, 如图 2 所示。每个电导元可以是烧结光敏面时产生的颗粒, 而且都有感测入射在其上光能量的能力。这些电导元比光敏面上图象的细节还小, 即每个象的细节

能复盖数个电导元。

在光敏面接收的总能量不变的前提下, 假定有三种成象情况: ①光敏面上具有均匀的照明, 无图象; ②光敏面上有黑白相间的条纹图象, 条纹方向与电极方向垂直; ③光敏面上有黑白相间的条纹图象, 条纹方向与电极方向平行。

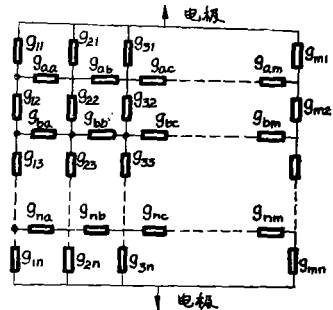


图 2: 构成 CdS 光敏面的电导矩阵

上述三种情况下, 光敏元件电极间的总光电导分别是:

$$g_o = g_o(m/n) L^r$$

$$g_b = g_o(m/n) \frac{1}{2} (L_1^r + L_2^r)$$

$$g_p = g_o(m/n) [2L_1^r \cdot L_2^r / (L_1^r + L_2^r)]$$

其中 g_o —每个电导元的电导。

L —入射在每个电导元上的照度 (无图象)

L_1 —一亮带照度

L_2 —一暗带照度

r —常数, 一般取 $r = 0.6 \sim 1$

由上式可见, 只有在 $L_1 = L_2 = L$ 时,

才有：

$$\frac{1}{2}(L_1' + L_2') = L'$$

$$2L_1' \cdot L_2' / (L_1' + L_2') = L'$$

这相当于条纹对比为零，即无图象。此时 $g_A = g_B = g_c$ 。此时电导曲线无凹陷。相反，只要 L_1, L_2 与 L 稍有不同，也就是光敏面上有一定对比的条纹象， g_b, g_c 的电导就不同于 g_a ，电导曲线有凹陷。对比越高，这种凹陷越显著。根据这种性质，可用布置在焦面前后的两个CdS元件，或用一个CdS元件在焦前焦后章动，或用玻璃延迟盘等三种办法取出离焦信号。下面以玻璃延迟盘为例说明之。

在焦面前适当位置处放置一个对称开90°缺口的玻璃圆盘（见图3），由于平行玻璃板改变焦面位置的性能，可以交替地得到两个焦面。两个焦面的距离为：

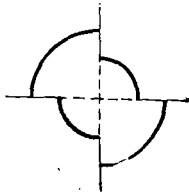


图3 玻璃延迟盘

$$d_o = \frac{n-1}{n} b$$

其中 n — 玻璃折射率

b — 玻璃厚度。

对 K_0 玻璃， $d_o \approx \frac{b}{3}$

当光敏面约位于 $f + \frac{d_o}{2}$ 处时（图4中a），

两焦面对应于电导曲线 A、B 两点，且有电导 $g_A = g_B$ ，这时得到的离焦误差信号为 $g_A - g_B = 0$ 。

当由于各种原因，实际焦距比理论焦距短 Δf 时（前离焦），两焦面对应的 A、B 两点电导不等，且有电导 $g_A > g_B$ ，这时得到的离焦信号为 $g_A - g_B = +\Delta g$ （图4中b）。

当实际焦距比理论焦距长 Δf 时（后离

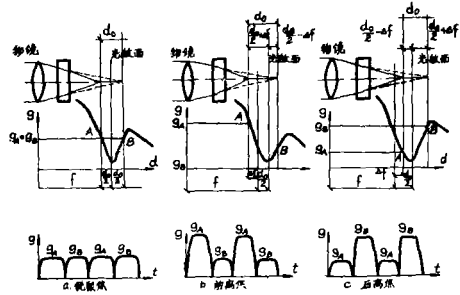


图4 用玻璃延迟盘取出离焦信号的示意图 (f = 焦距)

焦)， $g_A < g_B$ ，这时得到的离焦信号为 $g_A - g_B = -\Delta g$ ，（图4中c）。

可见，由CdS探测聚焦锐度，不但可测得离焦量的大小，而且可以识别离焦的方向。这些信号经过电路处理后，控制伺服电机，驱动光学系统中某个元件，使 $|\Delta f|$ 减小，直至 $(g_A - g_B) \rightarrow 0$ ，即可实现自动调焦。

二、实验装置

采用的实验装置如图5所示。用平行光管 ($f = 500, F/10$) 造成一个无穷远目标。目标曾用1' 光学比较仪标尺、 $N_{0.1}$ 暗背景鉴别率板，多光谱相机在某地区拍摄的山林河流、城镇等的照相底片（负片）。光栏的大小应使目标的象小于CdS光敏面的尺寸。CdS元件采用上海新跃仪表厂制的非标准光电电阻（光敏面 $\phi 5$ ）。

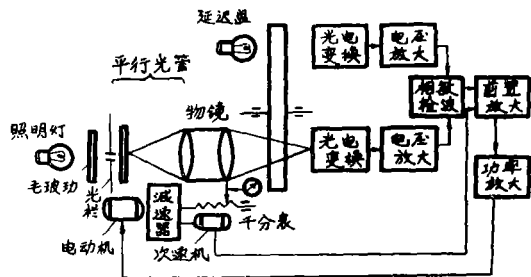


图5 实验装置图

更正：图“次速机”为“测速机”

图 5 中的光电变换环节是一个带有 CdS 光敏电阻的直流电桥，它把电导变化 Δg 转换成电压变化 ΔE 。 ΔE 经放大送到相敏检波与参考电压 U_R 进行相位比较，得到大小与离焦量有关、符号由离焦方向决定的、含有脉动分量的直流电压 u_0 ，滤波得到直流输出电压 u_1 ，送至功率放大器去控制伺服电机，带动物镜运动，减小 $|\Delta f|$ 。闭环系统方框图如图 6 所示。

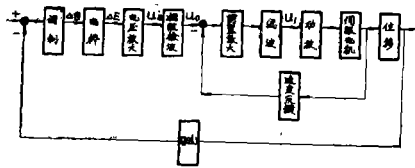


图 6 闭环系统方框图

图 7 画出了在锐聚焦、前离焦、后离焦三种情况的 ΔE 、 u_R 、 u_0 和 u_1 的波形。

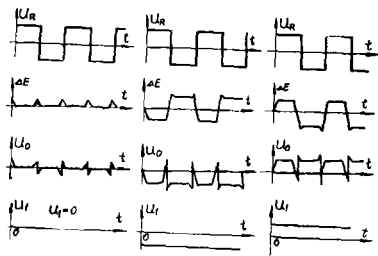


图 7 波形图

三、参数选择与实验结果

1. 调焦范围

系统最大可能的调焦范围取决于 CdS 元件本身的特性和玻璃延迟盘的厚度。在焦面附近电导曲线偏离负指数律的凹陷宽度大，可能的调焦范围也就越大。比较保守的情况下可以认为调焦范围是： $R = S - 2d$ 。

对 K₀ 玻璃：

$$R \approx S - \frac{2}{3} b$$

式中 R —调焦范围

S —电导曲线凹陷部分的宽度

在此范围内前离焦时始终有 $g_A > g_B$ ，后离焦时始终有 $g_A < g_B$ 。超出这个范围，前离焦时仍有 $g_A > g_B$ ，但因曲线斜率减小，系统灵敏度将迅速降低，后离焦时将出现 $g_A > g_B$ ，此信号将使系统散焦变得越来越大，无法自动聚焦。减小玻璃延迟盘的厚度可扩大调焦范围，但系统灵敏度将随之降低。

为了确定可能的调焦范围，我们曾试图用实验办法测出焦面附近电导曲线，但受限于测试仪器而没有成功。只能在现有条件下，反复做了系统最大自动调焦范围的实验。实验表明，在各种目标（鉴别率板、航空照相底片）、各种象面照度（0.00076~0.081 勒克斯）和各种调制频率（20~70 赫芝）的情况下均可在 ± 3.5 毫米的范围内实现自动调焦。因所用实验装置只有 ± 3.5 毫米的移动量，所以不排除调焦范围大于 ± 3.5 毫米的可能。

2. 调制频率

选择调制频率必须兼顾系统的灵敏度、响应速度和线路的其它要求。图 8 为不同离焦量的情况下对应于各种调制频率的 ΔE 值（电桥输出电压值）。从曲线可以看出，信号

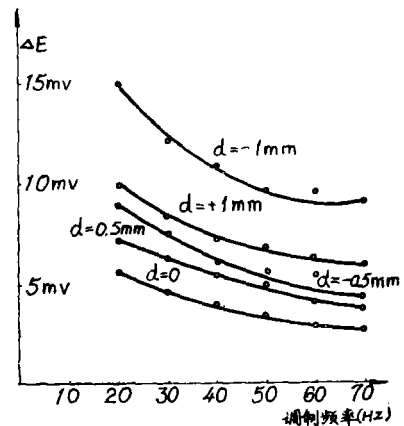


图 8 不同离焦量时信号幅度随调制频率的变化

(d 为离焦量， \pm 表示不同离焦方向)

ΔE 的幅度随调制频率增加而降低。这是由 CdS 的惰性引起的。为了提高 ΔE 值，应尽量降低调制频率，但频率过低会降低系统的

响应速度，给相敏检波后的平滑滤波带来困难，以及由于调制盘未加稳速装置，在转速过低时转速不均匀，使离焦信号相对于参考信号产生随速度变化的相移，会给系统增加误差。表1列出了各种调制频率下的调焦精度。

表 1：不同调制频率下的调焦精度
(目标: No.1 鉴别率板 $D/F = 1/4.5$)

调制频率 (赫芝)	调焦精度 (毫米)	
	前 离 焦	后 离 焦
30	+0.03	-0.01
40	+0.03	-0.03
50	+0.03	-0.03
60	+0.03	-0.02
70	+0.01	-0.02

将目标换成航空照相底片，物镜用 $D/F = 1/5.6$ ，在半个月的时间经多次测量，调焦误差均不超过 ± 0.02 毫米。所用航空照相底片的景物及两次取样见图9。

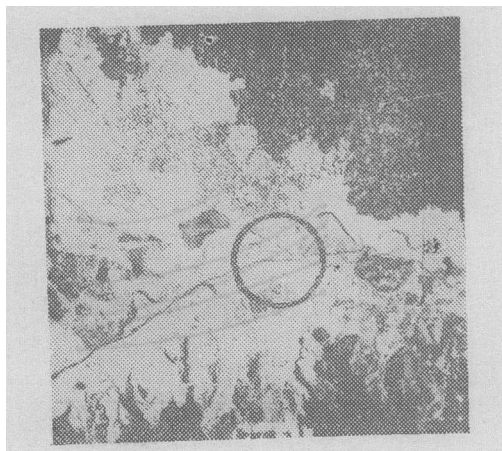
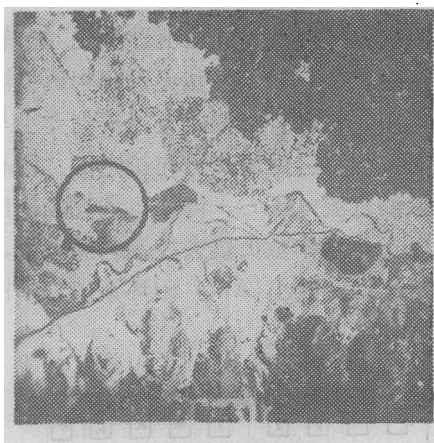


图9 航空照相底片的两次取样
取样1 (圈内)

3. 响应时间

用 1' 光学比较仪做平行光管 ($f = 300$ F/5.6)，以其标尺为目标，物镜 $f = 500$ ，F/10；调制频率为20赫时，用电磁式记录仪



取样2 (圈内)

测量了各种离焦量时的响应时间，结果如表2。

表 2：不同离焦量时的响应时间

离 焦 量 (毫米)	响应时间 (秒)	
	前 离 焦	后 离 焦
0.2	0.16	0.16
0.3	0.18	0.16
0.5	0.20	0.18
1.0	0.20	0.20
1.5	0.20	0.20

四、讨 论

自聚焦的平衡点重复性对实际应用是至关重要的。所谓平衡点，是指 ΔE 最小时所对应的焦面位置。为此做了多种影响因素的实验。发现平衡点位置受很多因素的影响而变动。

1. 随象面照度变动

在其它条件不变时，随着象面照度的变化平衡点位置也发生变化，如表3所列。

在电桥输出端测量的电压 ΔE 与不同照度下的离焦量的关系曲线，也证实平衡点发生了变化，见图10。从图1可以看出，平衡点变动的趋势与表3所列是相等的，但数值略有区别。

表 3: 不同照度下的平衡点位置:

象面平衡照度 (勒克斯)	平衡点位置(毫米)
0.081	+0.09
0.045	0
0.017	-0.07
0.0073	-0.12
0.00076	-0.34

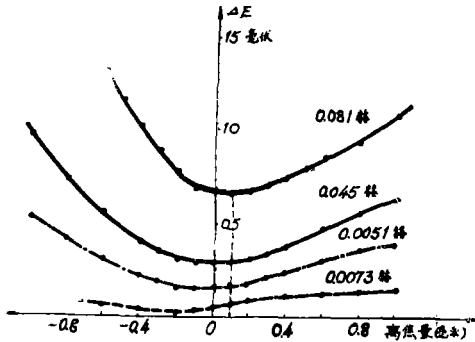


图10 不同照度下最小 ΔE 的位置

2. 随目标的改变发生变动

在照度为 0.045 勒克斯、其它条件不变时, 更换目标 (鉴别率板和航空照相底片的不同取样位置), 平衡点发生较大变化, 最多可达 0.5 毫米。

3. 随目标在光敏面上的位置发生变动
同一目标, 但在光敏面上成像位置不同, 平衡点也发生变化, 最多可达 0.5 毫米。

4. 与调制频率无关

调制频率对平衡点位置无影响。图 11 所示为不同调制频率时 ΔE 与离焦量间的关系。从图上可以看出, 调制频率只影响信号幅度, 不影响平衡点位置 (ΔE 最小值的位置严格重合在一起)。影响平衡点位置变动的主要原因, 我们认为是所用 CdS 元件纹理太粗糙, 几乎有一半的入射光被电极遮掉, 且电极在光敏面上分布不均匀, 难于保证在上述变动时总光能量不变的条件。

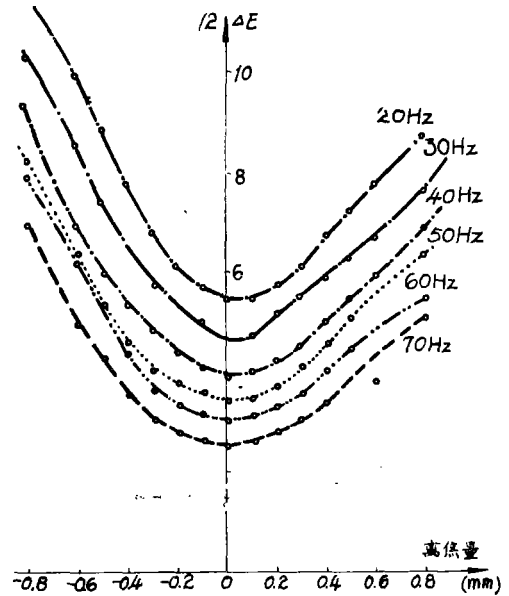


图11: 不同调制频率时的平衡点位置

五、结 语

实验结果表明, 本系统可用于具有固定参照目标的光学系统的自动调焦, 也可用在因温度、气压等条件变化引起焦距变化的光学系统的自动调焦。对于随时间变化的景物的自动调焦, 还有一些工作要继续做。

参 考 文 献

- [1] D. Craig; Photo. Sci. Eng. 5 (1961) No.6, 337.
- [2] P. Pargas; J. O. S. A 54 (1964) No. 4, 516.
- [3] J. Bliss, H. Crane; Optical and Electro-Optical Information Processing
- [4] D. Stites; SPIE Vol. 79.
- [5] 石坂外美; 电子科学 26 (1979) No. 10, 27.