

# 技术摄影工程

浙江大学光仪系摄影工程教研组

51/81 1138/16

## 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 1. 用于彩色摄影的点式曝光计           | 2   |
| 2. 底片的适正曝光                | 16  |
| 3. 高速摄影机的计算特点             | 28  |
| 4. 间歇式与旋转棱镜式相机的技术与应用      | 33  |
| 5. 一种用于高速电影摄影机的数字时间编码装置   | 47  |
| 6. X射线和可见光亚微微秒近贴聚焦条纹相机    | 55  |
| 7. 一个用线阵列 CCD 象感器的实验性电视装置 | 64  |
| 8. 2 英寸反束摄象管——一种高分辨率摄象管   | 79  |
| 9. 电视唱片现状                 | 92  |
| 10. 用全息方法保存彩色电影           | 98  |
| 11. 图象的数字化处理和观察系统         | 105 |
| 12. 运动物体的光学假彩色处理          | 109 |
| 13. 信息处理用混杂光学系统的评价        | 115 |
| 14. PROM 的现状              | 126 |
| 15. 日本医学领域里图象处理现状         | 146 |

## 用于彩色摄影的点式曝光计

作者 K. STAES

译自杂志《SMPTE》

1977年10月, Vol 186, No 10

### 《摘要》

在专业性的静态摄影和电影摄影机内,手柄式点式光度计及TTL(“透过镜头”)曝光量测量装置的使用,似乎说明了:通常在入射光测量的支持者同反射光测量支持者之间热烈而友好的学术争论中,反射光测量技术正在取得优势。对确定曝光量的二种方法作了分析。今天,对反射自彩色物体的光的测量不再采用反射光曝光表。它们的响应不同于彩色照相材料所具有的响应。由于用单个频谱的总响应而不是三个频谱选择响应,其差异导致在曝光量的指示和背景对比度的确定上产生量大误差,在使用窄角反射光点式光度计的时候更为显著。介绍了有三个光敏元件的点式曝光计,其响应类似彩色胶片的三个乳胶层。

## 《曝光量的测定与胶片曝光指数之间的关系》

1948年，琼斯(Jones)和康迪(Condit)广泛地研究了不同参数对全色胶片曝光量的影响。结果，他们提出了胶片速度(曝光指数)与照相机的曝光量(曝光时间和由镜头相对孔径控制的底片平面的照度之间的乘积)的关系。他们应用了非曝光测试装置，以定性的光亮度条件(如明亮的天空、云层、冬天或夏天、早晨、傍晚、中午)背景参数(如对比度、背景成分的相对重要性，等等)，以及底片的速度而定。直到最近，在此基础上，业余爱好者的胶卷的包装上还印有曝光表。这是一种可被看作为对入射和反射光混合曝光量的测量方法。

从此之后，研制了许多不同的入射和反射光曝光量测试装置。其测量和设计是根据种种特定标准进行的。显然，曝光表所显示的曝光量必须与以适当标准所确定的底片的曝光指数紧密相关。这种关系通常是以心理学实验为基础的，在精确控制曝光条件后，确定绝对感光度与典型景物的最佳重视之间的关系。举个例子，我们援引PH2.12小组委员会ANSI成员阿伯罗(Albro)、柯莱恩(Current)、伍德伯利(Woodbury)的合作研究。他们为测定用于静态摄影的彩色反转片的曝光指数，精心设计了一种方法。然而需要强调，这项研究的结果，紧密地关系到所涉及的实验条件，譬如背景对比，总亮度，和投影条件。

### 《曝光量测量技术》

曝光量的测定用到二种截然不同的技术，即入射光和反射光的测量。对于在普通光照条件下的一般景物，在相同的照明条件下，

由二种方法测得的曝光量显示值应该是相等的。反射光曝光计是在这种假设下定标的：普通景物颜色是中性的，并且有18%反射率。有许多论文叙述了入射光及反射光曝光量测量方法的优缺点。

入射光测量有这样的优点：它的结果不受背景特征（诸如背景对比度、明暗区域的空间分布、景物的选择频谱反射率）的影响。要是这些特征保持在一定的范围内，入射光测量可重复显示正确的曝光量。入射光方式的主要缺点是：往往无法把曝光计配置在靠近景物的关键部位，因此，有些时候，曝光量只能由摄影者的估计决定。另外，这种方法不能评价背景的对比度，这样就只保护了背景中比较明亮的部位，使之免遭过量曝光。而那些未估计到的处于阴影部位或背景黑暗部位的细节及落在曝光范围之外的细节就可能被遗漏了。

反射光曝光计有二种：或是广接收角仪器，或是窄接收角仪器。广接收角曝光计具有类似或比常规物镜照相机接收角更大些的水平或对顶接收角。（例如，50mm焦距的135静物相机的镜头的水平视场角约为 $40^\circ$ ）广角反射光曝光计有时被称作积分曝光计，因为它们累积和平均自背景各部分可接收反射光，接收角与整个背景的空间亮度分布无关。

窄角反射光曝光计通常具有 $1^\circ$ 或更小些的接收角。通过装在仪器光敏元件上的透镜成像，可以对背景的单个“点”进行亮度测量。这种曝光计通常就叫点式曝光计。

积分式反射光的测量，几乎不受整个背景的不同亮度及其分布的影响。举个例子，假定整个背景亮度集中在只占总测量面积1%的区域里，另外的99%变得绝对地黑；假定发光的1%面积的亮度是18%背景反射率平均值的100倍，曝光计仍将对整个18%

背景反射率积分和平均，而对发光部位强烈过曝。对在文学上描写到的“雪堤上的黑猫”的相反情况也是如此。

积分式的缺点是：几乎没有中性的背景，而由曝光计积累的背景中的不同的光谱反射特性，会影响到显示出的曝光量，这是因为曝光计的频谱响应往往并不相当于底片的频谱响应。所以，手提式积分曝光计的特殊接收角是个重要因素。通常，它并不与照相机的接收角相一致，只有在 T T L 曝光量计量系统中，曝光计的角度才同照相机一致。

测量由不同背景因素反射的光的窄角亮度计，或点式光度计，一般是精确测定背景的对比度，这是由积分式方式不能正常评价的参量。而且已经讲到过，考虑到积分式反射光方法在曝光计与底片二者间不同的频谱响应，窄角反射光测量就更为重要了。

### 《点式光度计》

现在，在电影机械上，窄角照度计有了重要的应用，不仅用来测定背景的对比，还用来测量本身总的曝光量。这些应用并不踞泥于底片速度与曝光量测量之间关系的基本定义，因为没有对整个背景亮度作出评价，也因为每一背景因素的选择频谱反射率在某种情况下也影响曝光量的读数值。然而，如果考虑了测量底片速度与测量曝光量之间的关系的全部重要参数，点式光度计就能得出最佳曝光量。

与底片感光速度相协调的曝光量，可以通过对安放在主要背景因素附近的，反射 18% 的灰板照度的测量来获取。这个过程，相似视频相机的定标过程。由于入射光往往不可能进行测量，这个过程并不总是行得通的（主要背景因素实际上往往不容接近）。

冯·阿泼莱特 (Van Appeldorn) 介绍过一种描述点式光度

计与实际“底片——相机”之间关系的简便方法。即对标定的亮度等级使底片曝光，及测定对应每一级别的曝光量读数。以后，参照表面色调反射结果，摄影者就能确定极限曝光量。假如点式光度计与底片的光谱响应一致，这种方法确能真正得出最佳曝光量，并使摄影者以最佳方式让背景对比同底片的曝光量相适应。

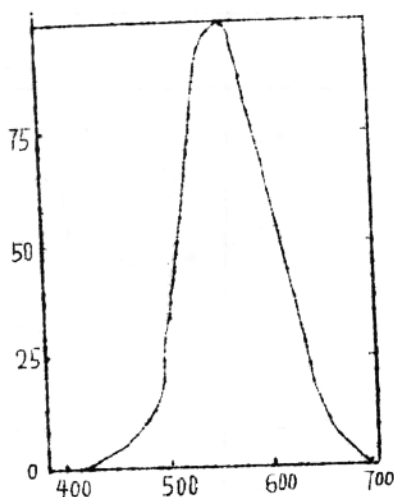
采用安塞尔·阿丹姆斯 (Ansel Adams) 提出的“域带系统” (Zone System)，是点式光度计的又一种方法。这的确是一种有效系统，但是要记住，其背景的亮度也是通过对彩色照相材料并非典型的频谱响应来评定的。这只是避免对给定的背景的亮度估计过高或不足的一种方法。

### 《点式光度计的频谱响应》

我们相信更详细地讨点式光度计的频谱响应是值得的，因为我们感到忽略这一点已有许多年了。涉及到曝光计的设计及校正的标准几乎考虑了各重要方面，如清晰度，屏蔽，温度影响，校正，精度，作用角度等等。1971年 ANSI LPH3.49 标准也规定了频谱灵敏度，确定频谱在 350nm 到 700nm 范围内必须连续，并确定对同样的光探测器响应在 2854k 时的亮度（或照度）为 4700k 时的  $\pm 0.25$  EV 之内。这就使我们任意确定以频谱响应测量曝光量的精度。Munsell 和 BSI 认为曝光量读数仅仅是光度学单位，这就可以理解，仪器的频谱响应应该与眼睛的视见函数  $V(\lambda)$  相符合（图 1）。

在涉及曝光量及用于照相的点式光度计的设计的论著里，作者总是指出：最佳结果是在仪器的频谱响应等于  $V(\lambda)$  时获得的。他们几乎断言：当曝光量测定仪的频谱响应为连续的，并且被限制在可见区域，符合视见曲线  $V(\lambda)$ ，假定平均背景是中性的，就可以用入射光和积分反射光的方法获得明确的，可重复的曝光量。

这或许就是没有给予曝光量测定仪的频谱响应以进一步重视的原因。



波长  $\lambda$  (nm)

图 1 视见函数  $V(\lambda)$  曲线

见表 1·2 所列由  $V(\lambda)$  产生的  $L_V$  值。当  $L_V$  相当于  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  时，在假定的一个比较宽的频谱响应内，可取得几乎是一致的对应值。当没有频谱确定的响应函数时，对于任何给定的曝光量测量仪，都能任意假定  $L_V$  值。而且大多数专门的曝光量测量仪（入射光测量仪与反射光测量仪一样）提供的是光度学单位这等于指出，在某种程度上，视见函数  $V(\lambda)$  可作为频谱响应的参考。重要的是，精确的反射光曝光量的测定必须由三种

选择频谱响应来得出（类似彩色胶片的响应），而不是如同  $V(\lambda)$  那样的总的响应，绝大部分曝光量测量仪的制造者都应用了这种参考值。

点式光度计往往对着背景的任一部份或背景的全部，以确定背景对比度和最佳曝光量。单一背景因素往往不是中性的，于是，点式光度计的频谱响应就会强制影响每一个曝光量读数。其结果，为了获得可靠的曝光量读数，点式光度计的频谱响应就必须适应于底片的响应。（假如是彩色底片，则是多种响应）。

表1 点式光度计的LV响应与彩色照相材料的峰值响应  
对照表

| 被测物体颜色 | 彩色照相材料         |                |                | 点式光度计          |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|        | L <sub>B</sub> | L <sub>G</sub> | L <sub>R</sub> | L <sub>V</sub> |
| 中性色    | 100.0          | 100.0          | 100.0          | 100.0          |
| 兰色     | 35.5           | 7.6            | 4.9            | 6.6            |
| 绿色     | 8.1            | 15.8           | 4.3            | 11.3           |
| 红色     | 3.7            | 5.4            | 74.6           | 19.3           |
| 黄色     | 7.5            | 63.2           | 87.0           | 70.3           |
| 绛红色    | 28.5           | 9.4            | 82.9           | 29.0           |
| 兰青色    | 56.3           | 41.7           | 6.4            | 29.5           |
| 肉色     | 22.0           | 31.0           | 57.6           | 37.6           |
| 树叶     | 7.7            | 14.9           | 13.0           | 13.5           |
| 天空     | 40.9           | 33.8           | 15.6           | 28.3           |
| 橙色     | 1.1            | 12.1           | 61.7           | 26.9           |
| 桃红色    | 6.5            | 12.5           | 56.1           | 20.9           |

表 2 彩色胶片点式光度计的总响应与普通点式光度计的  
响应比较表

| 被 测 物<br>体 颜 色 | 彩色胶片点式光度计 | 普通点式光度计 |
|----------------|-----------|---------|
| 中 性 100%       | 100.0     | 100.0   |
| 兰 色            | 35.5      | 6.6     |
| 绿 色            | 15.8      | 11.3    |
| 红 色            | 74.6      | 19.7    |
| 黄 色            | 87.0      | 70.3    |
| 绛红色            | 82.9      | 29.0    |
| 兰青色            | 56.3      | 29.5    |
| 肉 色            | 57.6      | 37.6    |
| 树 叶            | 14.9      | 13.5    |
| 天 空            | 40.9      | 28.8    |
| 橙 色            | 61.7      | 26.9    |
| 桃红色            | 56.1      | 20.9    |

## 《当点式光度计的频谱响应不适应胶片时，感光及彩色重现的影响》

频谱响应为  $V(\lambda)$  [图 1] 的点式光度计，对着频谱反射率为  $\rho(\lambda)$ ，由频谱分布为  $E(\lambda)$  的光照明的物体，所得到的曝光量读数，直接与作用于仪器光敏元件上的总的有效光照  $L_V$  有关：

$$L_V = \int E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot V(\lambda) d\lambda$$

胶片照相机系统有三个，各自可以选择的频谱响应， $S_B(\lambda)$ 、 $S_G(\lambda)$ 、 $S_R(\lambda)$ 、[图 2]，它们主要决定于彩色胶片的每层乳胶的频谱响应。这样，系统在三个光敏乳胶层的每一层，选择性地发

生作用，产生出不同的颜色图

像。每一层都对总的有效光

$L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  起作用。

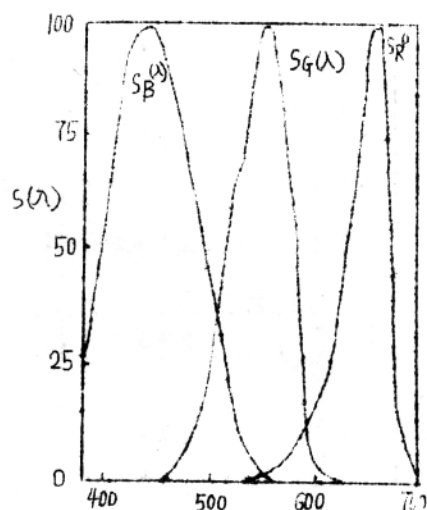
$$L_B = \int E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot S_B(\lambda) d\lambda$$

$$L_G = \int E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot S_G(\lambda) d\lambda$$

$$L_R = \int E(\lambda) \cdot \rho(\lambda) \cdot S_R(\lambda) d\lambda$$

由于胶片被特殊的照明体平衡，（假定  $E(\lambda)$ ）由于假定点式光度计由一中性响应校准，当中性物体被测量和曝光时，在  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  及  $L_V$  之时就将有确定的关系，即

$$L_V = L_B = L_G = L_R$$



波长  $\lambda$  ( nm )

图 2 彩色照相材料三个乳胶层的频谱响应曲线  $S(\lambda)$

这就是彩色照相材料的灵敏度平衡的数学表达式。这种标准简化了表 1 所列的值。另外一种标准是，

$$L_V/3 = L_B = L_G = L_R$$

它得出了这样的印象：物体的亮度  $L_V$  等于三个彩色胶片响应的总和。事实上这是不正确的，所以就不再介绍了。

在测定彩色物体，尤其是物体具有低绿色反射率时（比如红、兰、橙、紫红、肉色等），适应于视见函数  $V(\lambda)$  的点式光度计将会把它们“看得”相当暗，比它们在胶片三个乳胶层中感觉最小的那层还暗。确实，视觉适应的点式光度计主要对绿色敏感，对兰色、红色相当色盲，而胶片是分别对兰、绿、红一样敏感的。

为了评价适应于视见函数  $V(\lambda)$  的点式光度计与具有频谱响应  $S_B(\lambda)$ 、 $S_G(\lambda)$ 、 $S_R(\lambda)$  的彩色胶片之间的不同频谱响应效果，在被 11 种彩色试验物体反射以后，我们测定了点式光度计的光敏接收器及底片的有效光的总和。这些物体的频谱反射率见图 3、4、5、6。照明试验物体的光源的发射光谱  $E(\lambda)$  是相当于 3200 K

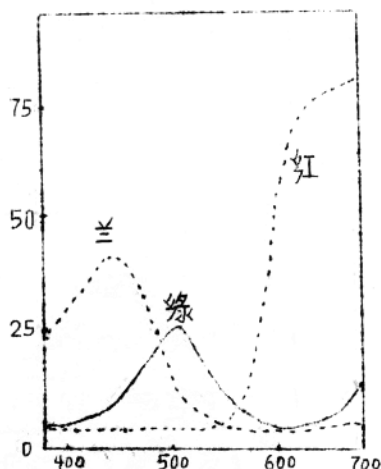


图 3 部分被测试物体的频谱分布曲线  $\rho(\lambda)$

时的黑体辐射，在这时假定胶片处于平衡状态。为了解释方便，我们取中性 100% 反射得到的等值  $L_V = L_B = L_G = L_R = 100$  作为  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  和  $L_V$  的归一化值。

结果列在表 1。对应于  $L_V$  值的点式光度计读数，对主要在绿色

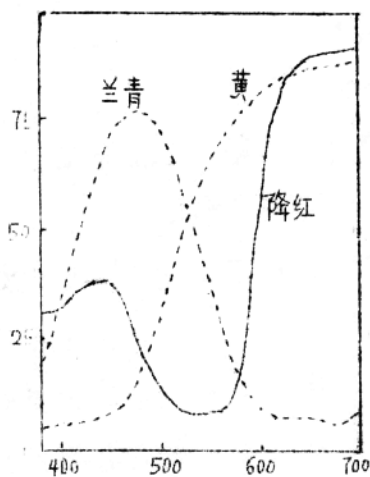


图 4 部分被测试物体的频谱反射率分布曲线  $\rho(\lambda)$

### 《彩色照相的点式光度计设计原理》

根据定义，为了确定由彩色胶片各乳胶层所要求的精确的曝光量， $L_F$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  是其唯一的相关参量。因此，必须确立  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  与正确的曝光量之间的关系。这里，所有景物的色彩对要求的曝光量都是相互有关的。

光谱区域反射的颜色，与  $L_G$  值相当接近。然而对另外所有颜色，其值就有非常大的差别。这些数值也表明， $L_V$  值并非  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  的平均值，并且不可能同时对所有值进行计算。相反，要得到所需的精确曝光量，就得进行选择。

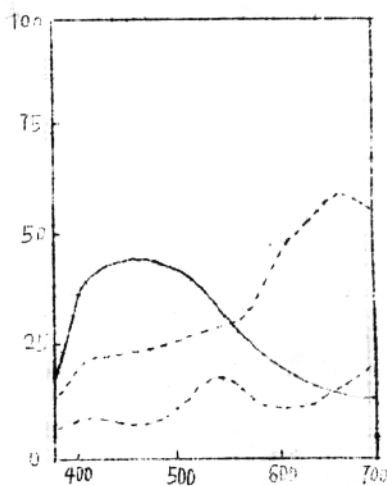


图 5 部分被测试物体的频谱反射分布曲线  $\rho(\lambda)$

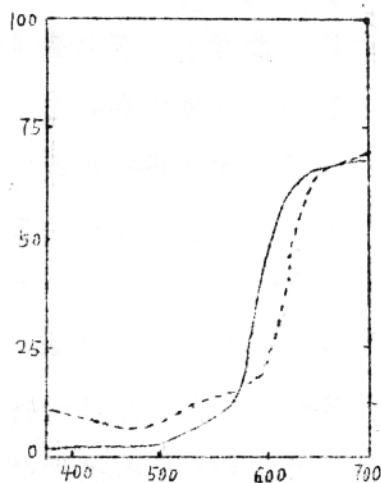


图 6 部分被测试物体的频谱  
反射分布曲线  $\rho(\lambda)$

这样的关系式可以考虑为最好把一个彩色物体描绘成一个具有各种反射率的物体。因而，我们能够把各个物体看成等效中性的，在各种光线被吸收之后，得出物体的颜色。这个等效中性的反射率，相当于由物体反射后，作用在胶片上的有效光的最大值。

在对一个彩色物体感光时，作用于彩色照相材料上的三个有效光线  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  的最大值，相当于在对有关等效中性物体感光时，作用于彩色照相材料上的有效光线的总和。举个例子，当对肉色的等效中性感光时，彩色照相材料的主要响应  $L_B = L_G = L_R = 57.6$ 。这相当于  $L_R = 57.6$ 。列表 1，肉色的三个峰值是  $L_B = 22.0$ ， $L_G = 31.0$ ， $L_R = 57.6$ 。

要是在这种型式的等效中性的情况下曝光，底片灵敏度平衡的结果，作用在三个乳胶层上的有效光线的总量就将自动地互相处于适当的比例。而且，要是我们使窄角曝光读数与一参考中性发生关系，诸如用 18% 反射板，就能精确测定相互有关的所有颜色。这样，我们就对每一彩色物体确定了一个单一的值。这数值代表该物体的精确曝光量，也很好符合对应胶片速度的定义。从这些考虑

出发，就可以正确设计窄角彩色胶片点式光度计。

读取  $L_V$  值的普通点式光度计的曝光量读数，及读取  $L_B$ 、 $L_G$ 、 $L_R$  值的彩色胶片点式光度计的曝光量读数，对于每一颜色的等效中性有相当大的区别。（见表2）对几乎所有被测试的物体的颜色，普通点式光度计的读数都太小，其结果，低估了彩色物体及背景对比的摄影光亮度，这就导致过曝并显著冲淡了颜色的饱和度。经过许多有经验的摄影者的实践，事实上，这已是确凿的了。对于非中性或没有冲淡饱和度的颜色的物体，要修正点式光度计的读数。然而，当读取  $L_V$  值的点式光度计相当自动化而又没有人控装置，并且是装在相机里的，则就不能作这种修正。

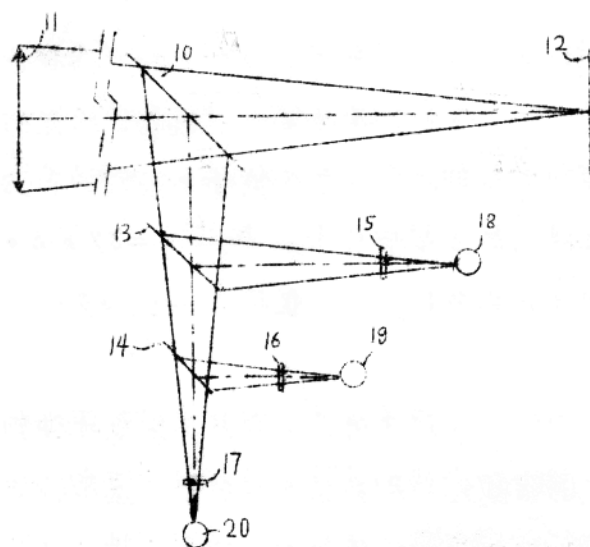


图7 彩色胶片点式光度计的光路图

图7为彩色胶片点式曝光计的光路。专门用于16mm反射式照相机。光线从物平面(11)的后面进入，被旋转的反射镜快门(10)反射，交替地到达胶片平面(12)，以及到达带有分光镜的由三个光敏元件(18)(19)(20)组成的点式光度计部件，并且被适当滤光。分光镜(13)，滤色片(15)，探测器(18)，提供了接近于胶片兰色选择层

$S_B(\lambda)$  的频谱响应。同样，组件(13)(14)(16)(19)及组件(13)(14)(17)(20)提供的频谱响应近似于  $S_G(\lambda)$  和  $S_R(\lambda)$ 。仪器的三个频谱响应就这样被摹拟。例如，彩色胶片的频谱响应就像图 2 那样。

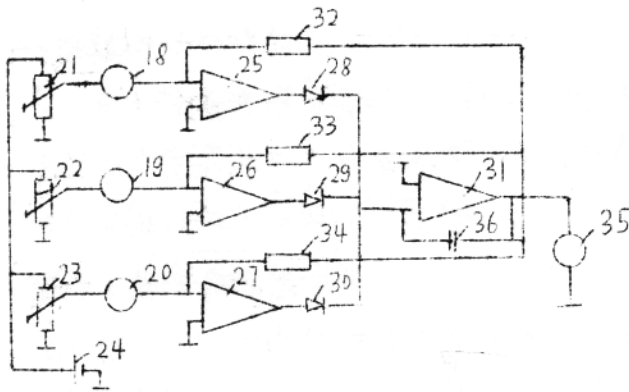


图 8 彩色胶片点式光度计  
的基本电路图

基本电路（图 8），通过三个峰值的选定，在表 (35) 上读出  $L_B$  和  $L_G$  和  $L_R$ 。这个值便对应于在等效中性物体上测量后，分别吸收，从而导出的物体颜色的值。电阻 (21) (22) (23) 用于对每一光敏元件分别进行调整，以精确校准彩色胶片点式光度计。

### 《结 论》

通过对普通点式光度计的特性以及它用于彩色摄影（无论是分别手调还是装在相机里）的分析指出，在确定曝光量时会导致重大误差。因为这种点式光度计以不同于彩色摄影材料的方式来估计反射自背景物体的光线。为了避免这种损失，我们提出并叙述了彩色胶片点式光度计的原理，它对彩色摄影的应用提供了精确的曝光量读数。 王彭义译自 SMPTE V.86. 1977.10 黄振华校

## 底片的适正曝光

——保积英次

### §：关于适正曝光用语

凡是使用过照相机的人，都不止一次讲过适正曝光这一用语，但仔细地考虑一下，没有比使用这一用语更恰当的了，那么所谓适正曝光最初如何介释的呢？还是让我们看一下手头的照相用语辞典：

“日语的适正露出 (Correct exposure)：在照相摄影或者放大，印相等过程中，能得到最好结果的曝光量（曝光条件）。

另外引用一下莱卡社发行的照相机字典：“适正露光”：（日语的）（Correct exposure）在摄影和印相（印相感光）时，在感光材料的感光面上，给予既不过度，也无不足的曝光量，使得被摄物的最亮部分到阴影部分的状态得到最好地描绘。（后略）。

由此可看到虽然使用了露出和露光二个不同的术语，可是其原语都是同样的正确曝光 (Correct exposure)，因此在这里我们暂且把这个问题放一下。不管那一种意思从期望得到最好调子重现照片的曝光条件这一点来说，二者没有什么区别。

若再查广辞林来看一下“适正”这个词的含义，则有“适当的正确”，“正好”的解释，适当这个意义比用“正确”这个意义要着重一些，提倡适正曝光的人，也过分拘泥这个正字，往往把适正曝光错认是正确曝光。然而按照适正曝光的真实原意，比较强调恰当曝光这一意义。

为了得到最好的调子重视的照片，在决定曝光量时，如用科学的方法能够判断并且正确达到调子重视，则可以认为适正曝光是客观的、正确的曝光，可是对照片调子重现来讲主观创造的因素较强，