

# 感光测定

〔法〕L. 罗贝尔 M. 杜伯华著

王 慧 敏 译

中 国 电 影 出 版 社

1980 · 北 京

2015年12月31日

## 引 言

近年来，彩色摄影、影片洗印、录音以及摄影学在科学和工业方面的应用，大大地扩展了感光测定的用途。因此，对于摄影工作者和摄影工业中的其他从业人员来说，对感光测定的功用和原理具备应有的知识，就越来越重要了。

尽管二十年来不仅感光测定工作的范围已经扩大了，感光测定的方法已经发展了，而且所用的工具也已改变，因而评定感光测定结果的制度也随之改变了，但是，自从最初发表有关这一题材的论文以后，迄未出版过任何英文书籍。

本书是根据法文的感光测定手册编译的，该书为L. 罗贝尔（已故）和M. 杜伯华所著，是一部人所公认的有关感光测定的经典著作，初版于1936年问世。此后，在法国连续出版了三次增订本，最后一次的增订本是1950年出版的。

英文译本又经过进一步的增订，并特别根据英国和美国实用的标准、方法和设备加以修改和补充。

翻译和修订工作是由 E. F. 蒂尔和 W. F. 伯格合作完成的。

为适应各方面——特别是彩色摄影方面现代方法的需要，有必要对第二版英译本的内容作大量的修改补充，此项修订工作是由 M. J. 埃斯特伍德执笔，并在其同事们的协助之下完成的。

# 目 次

## 引言

|     |                          |      |
|-----|--------------------------|------|
| 第一章 | 感光测定的目的 .....            | (1)  |
| § 1 | 感光测定的应用 .....            | (1)  |
| § 2 | 感光测定的步骤 .....            | (2)  |
| § 3 | 发光强度和照度 .....            | (3)  |
| § 4 | 光度学 .....                | (4)  |
| § 5 | 曝光量 .....                | (6)  |
| 第二章 | 显影后的影像密度 .....           | (7)  |
| § 1 | 透明度、不透明度、光学密度 .....      | (9)  |
| § 2 | 密度与曝光量的关系 .....          | (12) |
| § 3 | 特性曲线的特性 .....            | (13) |
| § 4 | 特性曲线和正确的影调再现 .....       | (17) |
| § 5 | 相对数值和绝对数值 .....          | (21) |
| § 6 | 倒数律失效 .....              | (22) |
| 第三章 | 感光仪 .....                | (26) |
| § 1 | 感光测定的标准光源 .....          | (26) |
| § 2 | 温度和黑体颜色 .....            | (28) |
| § 3 | 色温滤色片 .....              | (28) |
| § 4 | 感光测定仪器 .....             | (30) |
| § 5 | 调光制曝光——高尔德伯格光楔及其用途 ..... | (31) |
| § 6 | 调时制曝光 .....              | (34) |
| § 7 | 感光测定片条的冲洗加工 .....        | (36) |
| 第四章 | 密度计 .....                | (39) |
| § 1 | 曝光计光度计 .....             | (39) |

|      |                           |      |
|------|---------------------------|------|
| § 2  | 卡利尔系数 .....               | (40) |
| § 3  | 密度的类型 .....               | (43) |
| § 4  | 可变光强密度计 .....             | (43) |
| § 5  | 固定光强密度计 .....             | (49) |
| § 6  | 光电密度计 .....               | (51) |
| 第五章  | 特性曲线的作图 .....             | (54) |
| § 1  | 从密度测定获得的特性曲线 .....        | (54) |
| § 2  | 用交叉光楔获得的特性曲线 .....        | (55) |
| § 3  | 光楔常数的感光测定 .....           | (57) |
| § 4  | 光楔常数的光学测定法 .....          | (63) |
| 第六章  | 反差和反差系数 .....             | (65) |
| § 1  | 反差系数 .....                | (67) |
| § 2  | 反差系数无穷大 .....             | (68) |
| § 3  | 曝光宽容度 .....               | (72) |
| § 4  | 其他斜率准据 .....              | (74) |
| § 5  | 景物亮度范围的测定 .....           | (74) |
| § 6  | 应用实例 .....                | (76) |
| 第七章  | 照相感光度的测定 .....            | (80) |
| § 1  | 问题的解释 .....               | (80) |
| § 2  | 感光度测定制 .....              | (82) |
| § 3  | 医用和牙科用胶片 .....            | (82) |
| § 4  | 测定密度的标准方法 .....           | (84) |
| § 5  | 视觉漫射密度的测定 .....           | (84) |
| § 6  | 仙纳制感光度 .....              | (87) |
| § 7  | ASA 制(美国标准协会)感光度测定法 ..... | (88) |
| § 8  | 感光度的换算 .....              | (93) |
| § 9  | 负性黑白感光材料 .....            | (94) |
| § 10 | 反转彩色胶片 .....              | (95) |
| § 11 | APEX (顶点)制 .....          | (98) |

|      |                      |       |
|------|----------------------|-------|
| 第八章  | 光谱灵敏度的测定 .....       | (100) |
| § 1  | 感色性的类型 .....         | (100) |
| § 2  | 光楔摄谱仪 .....          | (102) |
| § 3  | 用滤色片进行的感色灵敏度测验 ..... | (102) |
| § 4  | 滤色片系数的测定 .....       | (105) |
| § 5  | 实践方法 .....           | (108) |
| 第九章  | 减薄和加厚的感光测定 .....     | (109) |
| § 1  | 减薄作用的研究 .....        | (109) |
| § 2  | 法玛减薄液 .....          | (110) |
| § 3  | 别列茨基减薄液 .....        | (111) |
| § 4  | 铁矾减薄液 .....          | (114) |
| § 5  | 过二硫酸铵减薄液 .....       | (114) |
| § 6  | 加厚作用的研究 .....        | (114) |
| § 7  | 照相光度学 .....          | (115) |
| § 8  | 照相光度学的应用 .....       | (116) |
| 第十章  | 感光测定在光学印片中的应用 .....  | (122) |
| § 1  | 照相纸的反差和影调范围 .....    | (123) |
| § 2  | 照相纸的感光测定 .....       | (125) |
| § 3  | 照相纸的曝光量范围 .....      | (127) |
| § 4  | 曝光量范围的测定 .....       | (128) |
| § 5  | 选择适合底片的照相纸 .....     | (133) |
| § 6  | 底片曝光量对照片的影响 .....    | (135) |
| § 7  | 照片曝光量的选择 .....       | (137) |
| § 8  | 印片的曝光宽容度 .....       | (140) |
| § 9  | 光学印片——卡利尔效应 .....    | (140) |
| 第十一章 | 透明片的感光测定 .....       | (143) |
| § 1  | 曝光量范围 .....          | (144) |
| § 2  | 电影正片的曝光量范围 .....     | (148) |
| 第十二章 | 反转冲洗法的感光测定 .....     | (151) |

|                          |                    |       |
|--------------------------|--------------------|-------|
| § 1                      | 反转法的原理 .....       | (151) |
| § 2                      | 不用溶剂的反转法 .....     | (154) |
| § 3                      | 曝光时间的选择 .....      | (157) |
| § 4                      | 用溶剂显影液的反转法 .....   | (159) |
| § 5                      | 溶剂对正片感光度的影响 .....  | (162) |
| § 6                      | 第二次曝光校正法 .....     | (165) |
| 第十三章 感光测定的应用 .....       |                    | (170) |
| § 1                      | 不同显影液的比较 .....     | (170) |
| § 2                      | 给定反差的翻底片的印制 .....  | (173) |
| § 3                      | 反差系数的测定 .....      | (174) |
| § 4                      | 曝光时间的选择 .....      | (178) |
| § 5                      | 特种复制胶片 .....       | (180) |
| 第十四章 彩色摄影中的感光测定 .....    |                    | (182) |
| § 1                      | 颜色是什么 .....        | (182) |
| § 2                      | 混合色光 .....         | (183) |
| § 3                      | 颜色 .....           | (183) |
| § 4                      | 色偶合剂 .....         | (185) |
| § 5                      | 银漂法彩色正片 .....      | (185) |
| § 6                      | 波拉彩色法 .....        | (187) |
| § 7                      | 分色底片 .....         | (187) |
| § 8                      | 宽容度 .....          | (190) |
| § 9                      | 彩色平衡 .....         | (190) |
| § 10                     | 波拉洛伊德彩色材料 .....    | (190) |
| § 11                     | 彩色影片上的声带 .....     | (191) |
| § 12                     | 彩色影片的控制 .....      | (191) |
| § 13                     | 累积密度 .....         | (193) |
| § 14                     | 分析密度 .....         | (194) |
| § 15                     | 分析密度与累积密度的关系 ..... | (195) |
| 第十五章 感光测定在有声影片中的应用 ..... |                    | (197) |

|                       |                     |       |
|-----------------------|---------------------|-------|
| § 1                   | 声学 .....            | (198) |
| § 2                   | 录音 .....            | (202) |
| § 3                   | 变积式录音法 .....        | (204) |
| § 4                   | 变密式录音法 .....        | (205) |
| § 5                   | 放音 .....            | (207) |
| § 6                   | 光电管 .....           | (207) |
| 第十六章 声带底片的显影 .....    |                     | (209) |
| § 1                   | 变积式声带底片 .....       | (214) |
| § 2                   | 变密式声带底片 .....       | (214) |
| § 3                   | 反差系数的感光测定控制 .....   | (218) |
| 第十七章 声带正片的显影和印制 ..... |                     | (220) |
| § 1                   | 变积式声带正片 .....       | (220) |
| § 2                   | 变密式声带正片 .....       | (221) |
| § 3                   | 控制程序 .....          | (222) |
| § 4                   | 印片的象限图 .....        | (222) |
| § 5                   | 放音的象限图 .....        | (226) |
| § 6                   | 不用特性曲线直线部分的方法 ..... | (229) |
| § 7                   | 失真的测定 .....         | (230) |
| 第十八章 X 射线照相材料 .....   |                     | (233) |
| § 1                   | X 射线的用途 .....       | (233) |
| § 2                   | 辐射能 .....           | (233) |
| § 3                   | X 射线作为电磁辐射 .....    | (234) |
| § 4                   | 物质的特性 .....         | (234) |
| § 5                   | 医用 X 射线照相 .....     | (238) |
| § 6                   | 诊断学上的应用 .....       | (238) |
| § 7                   | 自动 X 射线照相 .....     | (239) |
| § 8                   | X 射线感光测定的测量方法 ..... | (241) |
| § 9                   | X 射线感光度 .....       | (241) |
| 第十九章 印刷法 .....        |                     | (242) |

|      |                 |       |
|------|-----------------|-------|
| § 1  | 凸版印刷法 .....     | (242) |
| § 2  | 表面印刷法 .....     | (244) |
| § 3  | 网漏印刷法 .....     | (246) |
| § 4  | 凹版印刷法 .....     | (246) |
| § 5  | 照相制版的感光测定 ..... | (248) |
| § 6  | 制版对摄影的要求 .....  | (248) |
| § 7  | 连续色调和中间色调 ..... | (249) |
| § 8  | 网目 .....        | (249) |
| § 9  | 油墨的适应性 .....    | (250) |
| § 10 | 平面艺术的感光测定 ..... | (250) |

## 配方:

|      |                   |       |
|------|-------------------|-------|
| I    | 戴维斯-古勃逊滤色器 .....  | (30)  |
| II   | 滤色液 .....         | (94)  |
| III  | 显影液 .....         | (94)  |
| IV   | 定影液 .....         | (95)  |
| V    | 法玛减薄液 .....       | (110) |
| VI   | 别列茨基减薄液 .....     | (113) |
| VII  | 铁矾减薄液 .....       | (114) |
| VIII | 米吐尔-对苯二酚显影液 ..... | (170) |
| IX   | 格拉星显影液 .....      | (170) |

## 表格:

|   |                          |      |
|---|--------------------------|------|
| 1 | 曝光量级数 .....              | (8)  |
| 2 | 密度、不透明度和透明度 .....        | (10) |
| 3 | 曝光量-密度级数 .....           | (12) |
| 4 | 曝光不足部分的影调数值 .....        | (19) |
| 5 | 曝光过度部分的影调数值 .....        | (19) |
| 6 | 曝光适度、曝光过度 and 曝光不足 ..... | (20) |
| 7 | 微倒度变换 .....              | (29) |
| 8 | 幻灯片的时间-反差系数值 .....       | (71) |

|    |                           |       |
|----|---------------------------|-------|
| 9  | 对数曝光量和ASA制感光度的制定·····     | (92)  |
| 10 | ASA制感光度、曝光指数和BSI曝光指数····· | (93)  |
| 11 | 反转彩色片用滤色片·····            | (96)  |
| 12 | 顶点值·····                  | (99)  |
| 13 | 以蓝色光为淮的相对感色性·····         | (105) |
| 14 | 照相光度学·····                | (116) |
| 15 | 加厚剂的色度系数·····             | (120) |
| 16 | 各种照相纸的曝光范围·····           | (130) |
| 17 | 密度-曝光量计算器·····            | (138) |
| 18 | 透明度和密度差·····              | (213) |
| 19 | 变密式录音·····                | (217) |

## 第一章 感光测定的目的

感光测定是研究光在照相乳剂上所发生的光化作用的方法，照相乳剂一般是涂布在胶片、玻璃板或纸上的。说得更为具体些，感光测定是研究乳剂层中致黑作用的程度，而这种黑度或影像是由于银盐直接曝光，或者更常见的是由于经过适当控制的曝光和随后的显影而还原成银的结果。曝露于光或热等的非银盐法成像步骤也与此相同。

因为这种关系是可以精确地测定的，所以使得许多实际的问题简化并获得解决。感光测定的更大优点就在于使光化作用的结果得以测定出来。例如，用来说明照相纸的反差的“硬调”、“标准”和“软调”这些意义含混的形容词，可以由精确的反差数字来代替，而这些数字在世界各国都具有同样的意义。不过，决定适合某一特定实际问题的正确的量度和标准，是非常重要的，有时还是相当困难的。

### § 1 感光测定的应用

我们先考虑某些用感光测定法研究的问题，这些问题在下面几章中还要详细地阐述。

不同显影液的比较 在这里，以及在可能时，都是在大小一律而且相当大的银影面积上进行测定，这样比测定许多底片上银影大小不一和小块面积更容易，而且更准确。

显影液成分的变化 对于一定的显影液来说，感光测定是

用以比较各种成分如显影剂、碱、抑制剂等的不同浓度的影响的，而且也是用以研究诸如温度和稀度等因素的。

各种减薄液和加厚液的比较。

底片的特性 感光测定能够帮助我们测定底片的基本特性，即当它在既定反差的照相纸上印片时，能产生最好的成绩。相反地，就底片来说，它能够测定一套反差不同的照相纸中何者能产生最好的成绩。

不同光源的光化数值的测定或比较。

感光度的测定。

不同乳剂的感色性的比较。

测定声带片显影的最适宜条件。

## § 2 感光测定的步骤

在确定作为感光测定的基础的乳剂致黑定律以前，我们可以说，所有感光测定的研究都可以很简单地分为三个不同的操作程序，即：

(1) 在一个光源下曝光一系列不同的底片。

(2) 经过显影、定影、水洗和干燥等加工程序，获得可见的影像。

(3) 测定各个曝光片所获得的黑度。

以上三个操作程序，都必须在严格控制的和已知的条件下进行。

用来曝光底片的光源必须具有一定的特性，为了更全面地了解这些特性，应当首先考虑光度学<sup>①</sup>的某些基本概念。

---

① Glossary of terms used in illumination and Photometry, British Standard № 233(1953).

### § 3 发光强度和照度

用作标准的发光强度的单位是烛光，这一国际公认的单位是根据熔化的铂在凝固温度下的光度计算的，大约等于所有的国际标准烛光，例如英国标准烛光，已由它取而代之。英国物理研究所、美国度量衡局和法国中央电气研究所等研究机构，又以真空电灯泡代替烛光，建立了补充的标准。

当然，发光强度并不把被照明的物体计算在内。为了测量发光光源在已知表面上所产生的光量，采用所谓勒克斯作为单位。1勒克斯就是由1支烛光的光源垂直地照射在距光源1米的表面上所产生的照度。

假如光线是倾斜地照射在表面上，并与平面的垂线形成等于 $\alpha$ 的角，则强度等于1勒克斯 $\times \cos \alpha$ 。

从实用的观点出发，感光测定仪器的尺度，必须能使曝光平面整个表面上的照度基本上固定不变，并相当于从光源射来的光线和平面垂直的一点上的光量。一般地说，这意味着光源与曝光平面的距离和曝光平面本身的尺度相比起来，要更大一些。

这样，就可以清楚地看出，如果曝光平面与光源之间的距离增加，则光强减低。著名的平方反比律说明，平面上的光强和该平面与光源的距离平方成反比。

假定在1米距离上的某一点的光强为 $n$ 勒克斯，那么，在2米的距离上它是 $n/4$ 勒克斯；在3米的距离上是 $n/9$ 勒克斯，在0.5米的距离上是 $4n$ 勒克斯；而在0.33米的距离上就是 $9n$ 勒克斯。

## § 4 光 度 学

光度学使我们有可能比较不同光源的强度。

人眼能够判断两种光强的等同性或不同性，但是，如果这两种光强不同，却不能判断两者的比例。因此，在光度学中，两个不同受光面积的照明方式应该是这样：眼睛能够同时观察它们，然后把它们调整到等同的光强。

只有当这两个面积的颜色相同时，眼睛才能同时观察它们。在所有光度学的研究中，必须记住，所谓“光强”是要联系到眼睛本身所绝对特有的感色性来解释的。

光度计中的两个受光面积，一个是从既定的光源受光；而另一个是由被量测的光源照明的，这一光源可加以改变，直到它和标准相等时为止。改变光源的方法有好几种，例如：改变距离；插入已知光吸收本领的隔光层；或者用可变光阑等。如果已知这种变化的规律，便可依据所用标准很快地计算出第二个光源的发光强度。

图 1 所示是一个很简单的光度计。

在不透明的遮光板 AB 上装着一个半透明的圆盘（例如油纸），由一个垂直的遮光板 CD 分成两半，即 M 和 M'。在 O 点上的眼睛，同时观察由两个光源 S 和 S' 照明的两个半圆 M 和 M'，这两个光源是由垂直的遮光板彼此隔开的。一个光源是固定的，而另一个光源和圆盘的距离可以改变，直到两个半圆的亮度相等时为止。

这种仪器可以实地证明光强的平方反比律。利用这一定律以及两个光源似乎一致时和圆盘的距离，很容易算出两个光源的光强比例。如果已知一个光源的发光强度，就能够求出未知光源的发光强度。

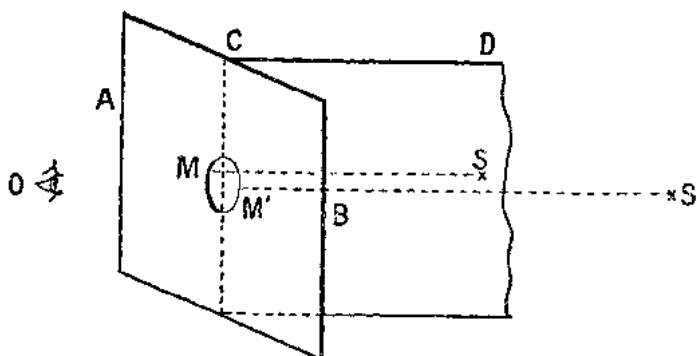


图 1 简单的光度计

AB 是一个不透明的遮光板，其中心装有一个半透明的圆盘  $MM'$ 。垂直的遮光板把两个待比较的光源  $S$ （已知）和  $S'$ （未知）分开。调整距离  $M'S'$ ，直到在  $O$  点上的眼睛看来圆盘的两个半圆的亮度似乎相等时为止。在这样的情况下：

$$\frac{\text{光强 } S}{\text{光强 } S'} = \frac{\text{距离 } (M'S')^2}{\text{距离 } (MS)^2}$$

举例来说，假定当未知光源的距离为 3 英尺，而已知 20 烛光的光源的距离为 10 英尺远时达到平衡，那么：

$$\frac{20}{\text{光强 } S'} = \frac{3^2}{10^2}$$

$$\text{未知光强 } S' = 20 \times \frac{3^2}{10^2} = 1.8 \text{ 烛光}$$

这一仪器能用以证实光强的平方反比律（参阅第 4 页）。

又如，假定当被测量的光源距离为 4 米，而已知 10 烛光的光源距离为 2 米远时，圆盘的两个半圆上获得相等的光强。

已知光源所产生的照度为  $10/2^2$  勒克斯，未知光源所产生的照度为

$X/4^2$  勒克斯， $X$  等于未知光源的光强。

因为两个半圆上的照度相等，

$$X/4^2 = 10/2^2$$

所以  $X = 4^2 \times 10/2^2$  烛光 = 40 烛光

## § 5 曝 光 量

人眼和照相材料的基本区别之一，就在于人眼能感应光强的差别，而照相材料能感应它所接受的总光量，即光强  $I$  与时间  $t$  的乘积，也即曝光量  $E$ 。

$$It = E$$

曝光量是以米 - 烛 - 秒或勒克斯 - 秒测量和表示的。

不过，照相效应不仅是由曝光量数值决定的，而且也取决于曝光量的应用方式，发生偏差的主要原因有二：

第一，光强是一种与人眼有关的单位。人眼对不同颜色的光的感应方式和照相乳剂的不同，换句话说，人眼的感色性（光谱灵敏度）和照相材料的感色性不同（参阅第26页）。

其次，照相效应也分别依赖于光强和时间。本生和洛斯柯曾经指出，光化效应只依赖于光强和时间的乘积（倒数律，1876年）。但不久就证明这个定律对照相过程是无效的。这个事实在感光测定中颇为重要，容待下一章中详细阐明。

曝光这个名词也常含糊地用来说明拍摄照片的动作。但本书中将避免以这种方式运用这个名词。

## 第二章 显影后的影像密度

明确了曝光量的定义以后，下一步就要进而考虑它所产生的光化作用，也就是所获得的黑度，或者叫做照相密度。特别是，要确定既定曝光量和照相材料上所获得的密度之间的关系，换句话说，就是致黑定律。

为达到上述目的，照相材料必须接受一系列已知的和依次增加的曝光量，随后再逐一测定所获得的密度。

曝光的最简易的方法，就是把照相材料分成若干段试验片条，分别给予按一定规则增加的曝光量，比如说，按照等比2的几何级数增加，即1、2、4、8、16等等。

所谓几何级数，是指一系列的数目字，其中每一个数字等于前一个数字乘一个固定常数的乘积，这个常数也称作等比。例如，下列数字即形成等比3的几何级数：1、3、9、27、81等等。

最简单的做法是不用特殊的仪器，而用一个固定不变的光源，放置在固定的距离上，并连续地把试验片条逐段曝光。

经过冲洗以后，就得到一系列依次增加的密度，即所谓梯级光楔。

例如，我们要在一张 $9 \times 12$ 厘米的散页硬片上制作一个梯级光楔，首先，我们应当作几次初步试验，以找出显影以后产生轻微黑度所需的最低曝光量。假定这一曝光量是10秒钟，距灯箱的漫射玻璃2米远，灯箱里装一只在低于额定的电压下燃点的电灯泡，用一张黑纸很容易把散页片分成16个相等的段，以按照等比2的几何级数增加的曝光时间，连