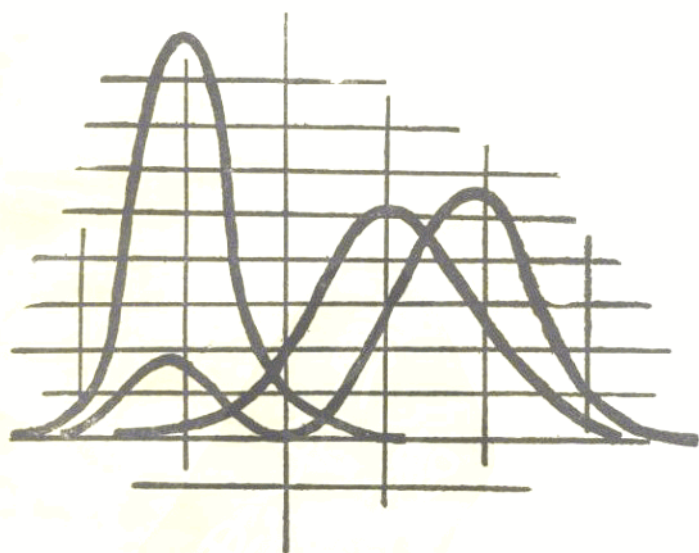


彩色感光测定原理

罗德里克T·雷因

主 编



科学出版社

PDG

71.051
210

DF42/10

译 者 的 话

本书系根据美国电影与电视工程师学会(即SMPTE)1974年修订的Principles of Color Sensitometry第三版翻译的。本书虽名为彩色感光测定原理,但涉及内容甚广,谈到了电影和电视影片的各个加工方面。对于从事影片摄制、洗印、录音的人员,以及从事胶片制造、感光科研人员和有关高等学校师生,都有一定的参考价值。

本书1978年首次曾由中国计量科学研究院内部出版发行,译者参加了主译和粗校工作。但该书在印刷排版上有较多错误,也有好些误译的地方。译者在该版书出来后,即陆续发现错误,深为遗憾,并对读者深表歉意。为免谬种流传,故特修订再版,以补前愆。由于水平有限,再版还可能有差误,希望读者和专家们不吝指正。

本书图表整理是陶耀民同志,还得到赵珍芳、关兵同志和陈雅洁同志等的帮助。再计量院数同志初版做了不少工作,谨在此一并表示感谢。



目 录

第一章 导 言	(1)
第二章 感光测定的基本原理	(3)
感光测定的数学基础	(4)
密度的概念	(9)
第三章 感光测定的曝光	(12)
感光仪	(13)
感光仪的类型	(14)
梯级光楔	(15)
各感光层的选择曝光	(18)
辐射的光谱素质	(19)
美国国家标准	(20)
声带控制的曝光	(21)
市场上可以买到的仪器	(21)
将印片机当作感光仪使用	(27)
第四章 感光测定试验的冲洗加工	(29)
感光测定工艺过程	(29)
化学控制	(31)
与生产工艺过程的比较	(31)
控制乳剂	(32)
第五章 影象密度的定量评定	(34)
密度计	(35)

彩色综合密度(合成密度)测定	(36)
散射的影响	(39)
光谱加权	(40)
印片密度	(40)
其它材料的印片密度	(41)
色度密度和光密度	(41)
任意三色滤光片密度	(44)
光谱密度	(46)
分解彩色密度测定	(47)
光谱分解密度	(48)
当量中灰密度	(50)
当量中灰印片密度	(51)
系统误差	(53)
综合(合成)密度测定与分解密度测定	(54)
第六章 密度计设计原理	(55)
通常使用的仪器	(55)
基本构件	(56)
光源	(56)
光谱选择器; 滤光片	(57)
光色彩色密度测定的响应函数	(59)
光谱选择器; 色散系统	(71)
光楔	(73)
接收器	(73)
指示器	(75)
记录仪	(76)
几何设计因素	(76)

综合密度测定的系统·····	(77)
分解密度测定的系统·····	(79)
市场上可买到的仪器·····	(82)
第七章 感光测定结果的说明 ·····	(86)
加工过程调整·····	(88)
目视鉴定·····	(88)
灰色级谱(灰板)曝光·····	(89)
综合(合成)彩色密度·····	(90)
分解彩色密度·····	(94)
非灰曝光·····	(96)
印片鉴定·····	(96)
冲洗加工过程控制·····	(99)
冲洗加工过程监控系统·····	(100)
密 度 计·····	(100)
使用底片控制光楔 ·····	(101)
A. 决定底片基准光楔数值 ·····	(101)
B. 测定和标绘控制数值 ·····	(102)
C. 底片控制值的说明 ·····	(104)
D. 彩色底片超出控制条件的校正 ·····	(105)
E. 底片控制光楔的交迭 ·····	(106)
使用拷贝控制光楔 ·····	(108)
A. 决定拷贝基准光楔数值·····	(108)
B. 测定和标绘控制数值·····	(109)
C. 拷贝控制数值的说明 ·····	(109)
D. 彩色拷贝超出控制条件的校正 ·····	(112)
E. 拷贝光楔的交迭 ·····	(113)

印片机的调整和控制.....	(115)
彩色复制	(117)
保护性翻正片.....	(119)
特殊的复制要求.....	(120)
闪烁曝光技术.....	(121)
非常加工.....	(121)
彩色感光测定的其它应用.....	(122)
声带鉴定.....	(123)
第八章 彩色感光测定的统计学	(124)
结果的统计学误差.....	(124)
误差的各个来源.....	(125)
多因素试验.....	(126)
开列数据的统计方法.....	(126)
频率图解.....	(126)
控制图表.....	(127)
控制范围.....	(130)
标准偏差的意义.....	(130)
标准偏差的计算.....	(134)
附 录	
合成密度和分解密度之间的转换.....	(134)
迭合染料影象的密度.....	(135)
密度作为染料影象浓度的函数.....	(137)
从当灰密度计算合成密度.....	(138)
从合成密度计算当灰密度.....	(141)
非单色合成密度.....	(143)
修正后的转换式.....	(144)

计算装置.....	(144)
主要参考文献中文目录.....	(145)
各章外文参考文献详细目录.....	(150)
译后补充资料.....	(155)

第一章 导 言

彩色摄影是需要作出极大努力的工作。当我们在电影银幕上看到美丽和显然正确的彩色再现时，我们知道这是一系列精密工作的产物。它是试验和误差范围小的工作，误差能够涉及许多方面，并能在许多地方表现出来，可以通过试验发现和补救。彩色摄影的经济实践，给予凭推测或凭估计的工作地位很小。它要求按照计量结果进行操作。这个计量结果必须导致所用材料的性能的定量知识、洗印操作效果的定量知识以及形成摄影影象性质的定量知识——足够准确和广泛的知识，以确保尽可能有效地产生最好的结果。详细说明这些大部分计量结果以及它们的产生方法的科学叫摄影感光测定法或摄影感光（测定）学。

虽然摄影感光测定的主要任务是确定摄影曝光及其产生的影象之间的定量关系，它涉及的是从被摄物到观察者的整个摄影过程。它检查曝光以及规定胶片应该接收或实际上吸收的辐射能的种类和数量。它试验并帮助控制在已曝光的材料上形成可以看见的摄影成果的化学加工的程序。它计量已冲洗加工好的许多影象，从而确定它们对于产品的使用很有用处的性能或以术语表示的内容，或从而确定对工作的调整或稳定有重大意义的性能或以术语表示的内容。最后，它提供一种把它们的质量鉴定与感光材料物理性能联系起来的方法给观察者。它通过做这项工作的专业化技术和工具来做这些事情，并用为这个目的而规定的特殊单位和术语来表示这些结果。

彩色感光测定给感光测定带来适合于此新任务的新方

• 1 •

1104802

法、新仪器设备和新术语。它们对于这门科学的叫做彩色感光测定的新部分作出贡献。彩色感光测定的大部分是建立在黑白感光材料感光测定熟悉的原理的基础之上的。某些原理则是新的。本书的目的是概述彩色感光测定的这些原理，并叙述彩色感光测定的新方法和仪器，以便给彩色电影摄影界的工作者提供适用于它们的这门科学的现状全貌。关于加工方面是不详细的。而某些地方严密性让路于明白易懂，但视界则力求广阔。

彩色感光测定用在电影工业上，有两个广阔的应用领域：在工艺和材料的鉴定方面，以及它们的控制方面。作为鉴定的工具来说，意味着提供直接的客观的关于彩色片形象的描述，因而间接地提供关于胶片性能的说明，或者关于冲洗加工工作或者关于印片系统的说明。它提供一套术语，用其可以讨论质量和性能。这些客观的描述，在用理想的东西，实际的目标（点）、容许误差范围，或替换物，来比较感光胶片时特别有价值。

其它的感光测定计量是控制工作所需要的，特别是在采用修正措施，把不想要的误差尽量减到最小，以进行控制的地方。胶片制造厂家需要这样的控制，以保持产品的统一性。洗印厂需要它，以便从相同（感光）材料的连续冲洗加工中重复产生相同的效果。

当然，在感光测定（方）法的不同应用中，所用的程序有广泛的变化，但几乎所有的试验都有一个共同的基本程序：在胶片试样上曝光，冲洗试样，将形成的形象用某些密度计量方法进行计量，以及将计量所得的数据按其所遵循的要求的说明的适当形式进行整理。作者们试图按照那个程序

分别地去处理这些过程。对于每一步骤,有所含的基本概念的讨论,同时也有适合于电影领域实践过程的具体设备的讨论。

许多基本原理,以及某些特殊方法,也可用于其它类型彩色胶片上。对于采用不透明支持体的彩色感光材料,例如彩色印相纸,则未加考虑。

第二章 感光测定基本原理

摄影学中的感光测定,是计量感光材料感光度的一门科学。从最广义方面来说,它可以包括感光材料的所有感光性能,连曝光和显影也在里面。

在干板发明以前,感光测定方法只限于用在从事感光材料的制造和摄影科学的研究方面。在这个期间,摄影学被引到一个业余爱好者参加的水平,而摄影者对于他们使用的感光材料,开始感觉到有求其感光度方法的需要。

在这些业余爱好者当中,有两个共同从事摄影学研究爱好的朋友,英格兰联合制碱公司的工作同事:费迪南·赫特和弗罗·德利菲尔德。作为科学家,他们为关于这个课题而汇集起来的定量数据的贫乏而吃惊,因而决定做些事情,从混乱中理出某些头绪来。他们着手的第一项工作,就是发现精确计量日光光化本领的方法。这项研究的直接结果,是他们叫作“曝光计”的一种曝光计算器的发展。更为重要的一个副产品,是他们的一篇题为《光化学研究和决定照相干板感光度的新方法》论文的发表,该论文奠定了现代感光测定的基础。

在该论文中,讨论的课题中有:

- (1) 曝光量和阻光率的关系是什么?
- (2) 什么是正确曝光?

(3) 乳剂速度(感光度)是怎样表示的? 毋宁采用简单的数学式更好?

(4) 显影的作用是什么?

(5) 怎样计量显影程度?

(6) 什么是正确显影?

直到今天, 没有证明赫特与德利菲尔德的研究在本质上是错误的。但它们的工作, 已经由于新的感光材料的发明和摄影学的新的应用而扩大了。

感光测定的数学基础

在讨论赫德他们的研究的实际应用以前, 我们想离开正题, 而且就照这样, 试图在读者读到一本感光测定书的时候, 避免使读者面对其中问题之一, 即事实上印好的书的正文常常采取一种相当基本的数学基础的问题。鉴于很多读者不是过去从来没有机会学到这样必须预先具备的知识, 就是曾经熟悉它, 但已经忘记了。这节的方法是假定这个适当基础的知识等于零, 而后逐步切实按照应用摄影学的需要考虑的事来继续进行。这样, 要冒令人厌烦的危险, 但由于希望使感光测定更加明了易懂, 现在作者们已经选择从头开始, 随着推导到对数。

感光测定是摄影学的定量语言或“评定语言”^{*}。许多人对于数学智力闭塞, 特别是在使用符号的时候。这是人们为自己作出创造发明的无谓的障碍。感光测定和任何其它涉及定量测定的学科所用的符号, 仅仅是为了便于处理而设计出来的一种速记方法而已。例如, 我们使用符号“0”, 我们大家全都会

* 这个词组是由米希罗特荷宾创用的

承认这代表零或者“没有”。在我们熟悉的数字系统中，如果我们从 0 开始，并加上一个单位数，我们得到代表我们数字系统基本的整数的符号 1。现在我们假定持续增加一个单位数，并产生一个数列，每一个增量数的符号：

$$0 + 1 = 1$$

$$1 + 1 = 2$$

$$2 + 1 = 3$$

$$3 + 1 = 4$$

.....

我们可以整理这个数列成更方便的形式：

$$0 \quad 1 \quad 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6 \quad 7 \quad 8 \quad \dots\dots$$

显而易见，这个数列具有规律性，而构造系统能够马上得到认可，并且给出最初几个数，任何人将能无限制地继续提出相似的另外一些数。这种有规则的数列因而叫做级数，而它的组成部分叫做项，每一后项比前一项大一个单位数。因为它可以用以描述由一点开始的线的长度，该点可以认为是零长度的线，这种类型的级数叫做等差级数。这种级数的另一名称是算术级数；这两个名称：等差和算术，可以互换。形成级数所加的数，叫做级数的增量。

另一种级数，可以用叫做因数或比值的已知数乘它的项中的任意项而形成。如果我们试图让这种级数从 0 开始，我们发现这是从事一种不可能的工作，因为 0 乘以任何数，其结果仍等于 0。如果我们试图让这种新级数从 1 开始的话，只要我们既不用 0 也不用 1 作为乘数或因数，可以看到现在成功地产生了数字不同的级数。

下一个可能的选择是用 2，如果我们限制只选用整数的

话。这就形成下列级数：

1 2 4 6 8 16 32 64 128 256.....

为了产生这个级数，我们使用了2为恒定因数，因为很显然，每一后项是用这个因数乘以前项而得。正如第一种类型的级数，据说可以代表线的长度，因而也叫做线性级数一样，同样地，第二种类型的级数，据说可以代表矩形的面积，因而叫做几何级数。也因为第3、5等项是我们所知道的2的平方以及它的倍数，这种级数也叫作等比级数。几何级数的基本特性之一是事实上各相连项代表恒定的百分比变化。

数字符号的另一种集合，可用以标志这种级数是以2的乘方（或幂）为基准，如下：

$$2 = 2 \times 1 = 2^1$$

$$4 = 2 \times 2 = 2^2$$

$$8 = 2 \times 2 \times 2 = 2^3$$

$$16 = 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 2^4 \text{等}$$

右手一行数字2的右上方的小数目字，叫做乘方或指数，并且代表一个数（在这个情况下是2）多少次自乘的速记系统。

现在我们可以从彼此的关系方面，来书写我们已经讨论过的两种级数；而我們也可以用2的乘方或指数的形式来重新表示几何级数：

0 1 2 3 4 5 6 7 8（算术级数）

1 2 4 8 16 32 64 128 256（几何级数）

2^0 2^1 2^2 2^3 2^4 2^5 2^6 2^7 2^8 （以2的乘

方表示的几

何级数）

检查各指数，可以看出它们构成一个算术级数，并且与

我们开始讨论的那个算术级数相同。指数运算于其上的数值（在这个情况下是2）叫做底（数）。几何级数的首项以2的乘方表示是 2^0 。这个符号对于读者来说不是在数学上定向，是个不熟悉的符号，但在我们讨论指数的一些运算规则时，它的意义和来源是很清楚的。

研究用一般数值和以2为底的指数两种方式表示几何级数：

1	2	4	8	16	32	64	（一般数值的几何级数）
2^0	2^1	2^2	2^3	2^4	2^5	2^6	（以2的乘方或指数表示的几何级数）

假定我们想要以16来乘4。可以看出4等于 2^2 ，而16等于 2^4 。如果将指数2加到4上，就得其值为6的指数。参考上边的一行，可以发现对应于 2^6 的数是64，该数我们承认是4和16的乘积。于是可得：

规则1：几何级数中任意数相乘，我们将底数的相应指数相加。指数的和等于相应于其乘积的底数的指数。

规则2：以几何级数中的另一个数除一个数，我们从相应于被除数的底数中，减去相应于除数的底的指数。其差等于相应于其商的底的指数。现在我们在适当情况下可以懂得如果以4除4，我们从指数2减去指数2，并得到其值为0的指数。我们知道4被4除等于1，所以底数2自乘到0次方（ 2^0 ）等于1。（根据类似的理由，任何底数自乘到0次方等于1）

规则3：任何数自乘到固定次方，我们取对应于那个数的底数的指数，乘以那个方次。乘积提供相应于所求值的底数的指数。例如：求8的平方。以2表示的相应指数为3。以2乘之，我们得到指数6，它对应于64的数值。

规则 4：求一个数的方根（将一个数开方求根）。我们可以用方根除相应于那个数的指数。这样，例如，64开3方，我们用3除相应于64的2的指数6。所得的结果是指数2，指出答数是4。

于是我们已经认可并利用几何级数和其对应的算术级数之间的关系。在数学上，这个关系定义如下：每逢一几何级数的各项中，项对项的关系符合于一个算术级数的各项时，那末，算术级数的各项叫做几何级数各项的对数。我们举例如下：

1 2 4 8 16 32 64（几何级数）

0 1 2 3 4 5 6（算术级数）

这个算术级数的各项是以2为底的几何级数的对数。

对数是由苏格兰人约翰纳匹尔作为简化算术运算的一个方法而发明和命名的。在经20年的工作之后，他在1614年发表了他的对数表。然而，它的对数系统用的是复杂的底数。他的朋友和同事亨利伯瑞格提出简化的建议，并在1617年发表了以10为底的对数表。这个概念在下列级数中指明：

(A) 0 1 2 3 4 5 6
(算术级数)

(B) 1 10 100 1,000 10,000 100,000 1,000,000
(几何级数)

(C) 10^0 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6
(以10的乘方表示的几何级数)

(D) 0 1 2 3 4 5 6
(10的指数被写成单独的数列)

A行、C行中的指数和D行是同样的，都是B行中以10为

底的各数的对数。这些就是今天用途很广的常用对数。当我们说一个数的对数时，往往被理解为指的是以10为底的对数。其乘法，除法，自乘到一个方次和开方的规则如前所述，现再概括如下：

两数相乘，将各数的对数加起来，产生其积的对数。

两数相除，从被除数的对数中减去除数的对数，产生其商的对数。

将一数自乘到一个方次，用这个数的对数乘以那个方次，产生所求数的对数。

将一数开方（例如开平方），用这个方根数除这个数的对数，产生所求数的对数。

上边我们给的简要对数表包括1，10以及10的倍数。其它的数，例如在1和10之间的各数的对数是什么？经过适当的计算，可以看出这些数的对数是以10为底的小数指数，表明如下：

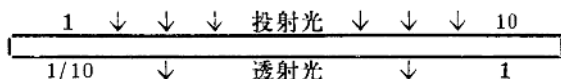
真数：	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
对数：	0	0.30	0.48	.60	.70	.78	.84	.90	.96	1

密度的概念

已经推导出对数的概念，现在将继续定出密度概念的定义。虽然有一些方法可用来计量已冲洗加工出来的感光带的银沉积，但看来十分合乎逻辑的最有效的方法之一，是以影像的光的透过率为基础的方法。在沉积变得较暗时或它们的光透过率变得较小的时候，计量系统得出的值稍大些，看来同样也是合理的。而且，计量结果指出的不同范围之间的差别，与一个人视觉感觉到的，相同或接近相同，是合乎需要

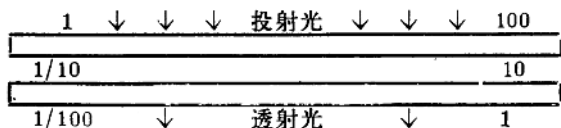
的。用计量影象密度的方法会满足这些要求，密度定义为光的透过率（透光率）的倒数的对数。

设想一块吸光材料，让投射于其上的光 $1/10$ 或10%能够透过：



作为输入时的1单位光强度变成 $1/10$ 单位的输出；或者，以相反的方法表示：要得到1单位的输出，需要10单位的输入。

如果把两块这样相同的材料放在一起，这个图变成：



从输入1单位，输出时我们得到1单位的 $1/100$ ，或者得到1单位输出，我们需要输入100个单位。

对于三层来说，此图变成：

