

照数码照相机 光电转换函数(OECFs)的测量方法

1 范围

本文件详细描述了输出数字编码图像文件的数码照相机的光电转换函数(OECFs)的测量方法。OECF被定义为焦平面对数曝光或景物的对数亮度和一个光电数字影像拍摄系统的数字输出信号值之间的关系。

本文件适用于黑白和彩色数码照相机光电转换函数的测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

ISO 5-1 摄影 密度测量 第1部份:术语、符号和标志(Photography — Density measurements — Part 1: Terms, symbols, and notations)

ISO 5-2 摄影 密度测量 第2部份:透射密度的几何条件(Photography — Density measurements — Part 2: Geometric conditions for transmission density)

ISO 5-3 摄影 密度测量 第3部份:光谱条件(Photography Photography Density measurements — Part 3: Spectral conditions)

ISO 5-4 摄影 密度测量 第4部份:反射密度的几何条件(Photography — Density measurements — Part 4: Geometric conditions for reflection density)

ISO 516 照相机快门 时间 一般定义和机械快门的测量(Camera shutters — Timing — General definition and mechanical shutter measurements)

注: GB/T 8338-2023 照相机快门 时间的测量(ISO 516:2019, IDT)

ISO 554 调节和/或测试用标准大气 规定(Standard atmospheres for conditioning and/or testing — Specifications)

ISO 7589: 2002 摄影 测量感光度用光源 日光灯和白炽灯钨丝的规范(Photography — Illuminants for sensitometry — Specifications for daylight, incandescent tungsten and printer)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件¹⁾。

1) 其他术语和定义见 ISO 12232。

3.1

照相机光电转换函数 camera opto-electronic conversion function

照相机 OECF camera OECF

输入景物亮度的对数和光电数字影像拍摄系统的数字输出信号值之间的关系。

注：该函数的测量单位为 $\lg \text{ cd/m}^2$ 。

3.2

数字输出电平 digital output level

数字编码 digital code value

分配特定输出电平的数值。

3.3

电子机械快门 electromechanical shutter

由电路控制的机械快门。

3.4

数码照相机 digital still-picture camera

包含图像传感器的照相机，其输出表示静态图像的模拟或数字信号和/或将表示静态图像的模拟或数字信号记录在诸如存储卡或磁盘的可移动介质上。

3.5

焦平面光电转换函数 focal plane opto-electronic conversion function

焦平面 OECF focal plane OECF

对于一个光电数字影像拍摄系统，输入焦面曝光量的对数和数字输出值之间的关系。

注：该函数的测量单位是 $\lg \text{ lx} \cdot \text{s}$ 。

3.6

照度标度曝光序列 illuminance scale exposure series

使用恒定的曝光时间和变化的焦平面照度产生的一系列曝光。

3.7

增益函数 incremental gain function

输出量（数字编码）的变化率除以输入信号（亮度或曝光）的变化率作为输入量的一个函数。

注1：对于增益的确定，不使用对数输入值。

注2：如果输入曝光点间隔非常的小，或输出噪声小于址化间隔，则增益函数可能会具有锯齿型，这种特性是一种量化效应，应该通过使用合适的平滑运算法则或者通过对数据进行曲线拟合来消除它。有些时候需要对输入输出数据进行曲线拟合，然后通过求拟合曲线方程的一次导数来测定增益函数。

3.8

增量输出信号 incremental output signal

输入信号（不取对数的亮度或曝光量）和对应的系数增益相乘。

3.9

最大曝光量极限 maximum exposure limit

产生与最大可测曝光量（也称为饱和或量化上限）的数字输出相应的最小曝光量。

见最小曝光量极限（3.10）。

3.10

最小曝光量极限 minimum exposure limit

低于饱和度的最大曝光量，产生的增量输出信号的大小与输出噪声相同。

3.11

光电转换函数 opto-electronic conversion function

OECF

光电数字影像拍摄系统的信号输入值的对数与对应的数字输出值之间的关系。

注：如果输入曝光点在一个很好的范围之内而且输出的噪声和量化区间相比十分小，则 OECF 可能会具有阶梯特。

这种效应应该通过使用近似平滑运算法则或者通过对数据进行曲线拟合来消除它。

3.12

光电数字影像拍摄系统 opto-electronic digital image capture system

把焦平面上的曝光量或按景物亮度的空间分布转换为数字信息的系统。

3.13

输出噪声 output noise

对于恒定的输入在数字输出中围绕均值的均方根起伏。

3.14

景物亮度比 scene luminance ratio

景物的最高亮度值和最低亮度值的比率。

3.15

时间标度曝光序列 time scale exposure series

使用恒定的焦平面照度和不同曝光时间产生的曝光序列。

3.16

白平衡 white balance

通过调整彩色通道的增益或通过图像处理，使得具有与景物照明源的相对光谱功率分布相等的辐射补偿为视觉中性。

4 试验方法

4.1 总则

本标准叙述了相机 OECF 和焦平面的 OECF 测量方法。照相机的 OECF 包括了照相机镜头和相关的杂散光的影响，而焦平面的 OECF 不存在这些影响。这些成像效应随整个景物的亮度比、景物中不同亮度的数量和这些不同亮度的空间分布而变化。这些变化可能十分大，结果可能仅在特殊的场合中才能测定出一个可重复的照相机的 OECF，例如一个测试标板。此标准中描述的照相机的 OECF 的测量方法考虑到了基于测试标板的不同亮度比测量不同的照相 OECF，但没有考虑到景物亮度不同或其空间排列不同的影响。照相机的 OECF 测试标板是设计用来模拟由一个具有特定亮度比和平均亮度分布的景物所产生的图像，然而，多数景物和平均有很大的不同。当测定照相机 OECF 时，要牢记的很重要一点是 OECF 测定结果可能和那些通过照相机拍摄特定景物时的显示存在极大的区别。相机 OECF 测定方法的确定有下列几个原因：

- a) 一些强制自动曝光控制功能的照相机不适合做焦平面 OECF 的测定；
- b) 照相机的 OECF 测定方法允许通过使用测试标板模拟景物的特征来进一步测定照相机系统特性；
- c) 假设使用的测试标板包含了重要区域，焦平面的 OECF 值可以通过测试标板像大部分中性色调和高亮区域所反映的相机 OECF 值来评估。

焦平面的 OECF 仅是照相机的特性，和景物无关。

注：许多照相机和/或提供的软件可能含有随景物补偿的运算，当进行焦平面 OECF 测试的时候这些运算通常可以忽略，因为入射在焦平面上的光照是近似均匀的。在不可能或不希望忽略补偿运算时，则进行照相机的 OECF 测量才是更恰当的。

下面描述了两种焦平面光电转换函数测量的方法，尽管两种方法应给出相同的结果。首选的方法（方法 A）比备选的方法（方法 B）有较高的精度。方法 B 仅对有固定镜头的照相机应用。焦平面光电转换函数的优点描述如下：

- a) 光学影像的形成阶段跟焦平面上影像的输出阶段分开处理，可使影像捕捉的每个阶段能够独立地进行处理。这两个阶段十分不同，影像的形成阶段对景物的依赖性很强；而焦平面图像的输出阶段只依赖于传感器和照相机的电子特性。另一方面，图片照相机的响应趋于高度非线性化。如果焦平面光电转换函数是未知的，就会使随后的光学影像形成效应的分析复杂化。如果两个阶段得以独立处理，则照相机系统的分析就容易得多。
- b) 传统上，对于胶片来说只要测量密度与对数曝光量之间的关系，即特性曲线。这条曲线和焦平面光电转换函数很类似。
- c) 在景物较暗的面积上影响照相机光电转换函数值的主要因素是照相机的杂散光。所以，这些值主要依赖于景物，而且并没有提供更多的有关一般照相机特性的信息。
- d) 焦平面光电转换函数覆盖照相机的整个可用范围，且不受测试标板亮度比的限制。

上述的光电转换函数的测量方法在 4.2 到 4.4 中给出。

4.2 照相机 OECF 测量

使用 ISO 照相机 OECF 测试标板可以测量照相机整个光电数字影像拍摄系统的 OECF。这个测定通过使用照相机系统在受控条件下拍摄测试标板的影像来实现。应该注意的是照相机的 OECF 的自变量是景物亮度的对数，而不是焦平面曝光的对数，不同于方法 A 和方法 B 的测试方法。

4.3 焦平面 OECF 测量方法 A

方法 A 的做法是，卸掉照相机镜头，把电子影像传感器直接放到特定的均匀照明中曝光，照明应具备如 5.1 条中规定的光谱特性，而且应该由一个小光源在一定距离产生，光源和传感器的最大尺寸不大于光源到传感器距离的二十分之一，而且，不能让任何反射光进入传感器。

4.4 焦平面 OECF 的测量方法 B

如果数码相机不允许卸掉镜头，可以使用方法 B。此方法使用均匀发射的、近似朗伯分布的目标（反射面或发光体），然后由照相机镜头将它成像在传感器上。如果采用方法 B 则传感器表面的照度应该按照公式(1)计算(见参考文献[9])。

$$E_s = \frac{0.65L_t}{F_e^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E_s ——传感器表面上的照度，单位为勒克斯(lx)；

L_t ——目标亮度的算术平均值，单位为坎德拉每平方米(cd/m^2)；

F_e ——镜头的有效 F 数。

如果使用方法 B，应该测量目标以确定目标近似朗伯分布而且照明均匀，目标的照度读数应该在对照相机视场的四个角和中心处读取，读取时垂直于目标，所有读数和算术平均值的偏差在 2%之内。在目标中心与法线成 30° 角读取 4 个读数，所有读数和算术平均值的偏差在 2%之内。当拍摄测试标板时，标板的表面应该垂直于照相机的光轴($\pm 5^\circ$)，并且应该扩展到至少超过照相机视场边缘 15° 。目标的光谱辐射特性应符合 5.2 条的描述。

使用方法 B 时测试 ISO OECF 应该标明。

5 照明

5.1 焦平面 OECF 测量方法 A

OECF 的测量应该标明所采用的是日光还是钨灯照明。对于 OECF 测量使用的照明光源日光和钨灯是否合理匹配，ISO 7589 规定了相应的测量程序。

5.2 焦平面 OECF 测量方法 B 和照相机的 OECF 测量

因为这些测量方法包括照相机镜头，所以焦平面 OECF 测量方法 B 中被摄目标的光谱辐射特性或者照相机的 OECF 中测试标板的照明光源的辐射特性，应等同于 ISO 标准日光或钨灯光源的辐射特性。ISO 7589: 2002 表 1 和表 2 的第二列中提供了这些光源的相对光谱功率分布特性，为了应用 ISO/SDI 光谱分

布指数，应该测量光源或目标的光谱辐射，在乘以加权光谱灵敏度之前，先乘以 ISO 标准镜头(在 ISO 7589 中的描述)的相对光谱透射比。见附录 B。

采用这些测量方法，目标(测试标板)和照相机镜头，都应该屏蔽，挡住包括测试室的墙、天花板和地板在内的外来的照明光源和反射光。目标或标板后面的墙应该涂黑，现场唯一的照明光源应该是用来照明测试标板的光源。对于反射式的目标或图，照明光源应该调整位置以使光源最大辐射方向与目标或标板的法线方向成 45° ，并且与目标或标板上任意一点的法线方向角度介于 50° 和 40° 之间。推荐的反射式图照明几何条件可以参考 ISO 12233。

6 测试条件

6.1 温度和相对湿度

按 ISO 554 的规定，测试过程中，环境温度应该在 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ 相对湿度应该在 $(50 \pm 20)\%$ 。

6.2 白平衡（仅适用于彩色照相机）

6.2.1 固定单一白平衡设定

如果照相机只有一个固定的白平衡设定，无论是在照相机的电路中还是在照相机提供的支持软件中，所有的 OECF 测定都应该使用该设定，并且那些 OECF 的白平衡都注明为“固定”。

6.2.2 日光和/或钨灯的白平衡设定

无论是在照相机的电路还是支持软件中，如果照相机有“日光”和/或“钨灯”的固定白平衡设定，白平衡应该设定在这些固定设置的相应一个。则 OECF 测定时的白平衡应该依据选择标明是“日光”和/或“钨灯”。

6.2.3 可调整的白平衡

6.2.3.1 概述

无论是在照相机的电路还是支持软件中，如果照相机的白平衡可以调整，则可选择可调的白平衡设定。在这种情况下，OECF 测定时的白平衡应该标明为“可调”，对于彩色通道应该设置以提供各中性数字输出信号。中性数字输出值就是相等的 RGB 值，即亮一色信号中只有亮度信号无色度信号。

6.2.3.2 焦平面的 OECF

对于焦平面上大于最大曝光量极限二分之一的曝光量，白平衡应该调整为能提供中性的数字输出值。

6.2.3.3 照相机的 OECF

对于照相机的 OECF 测试标板背景白平衡应设置在能提供中性的数字输出值。

6.2.4 自动白平衡

如果照相机每一次曝光都自动调整它的白平衡，则为测定 OECF 的白平衡应标明为“自动”，应该注意的是这时照相机的 OECF 可能出现在焦平面的 OECF 中不存在的彩色信息。

6.3 红外(IR)截止滤光镜

根据需要应在照相机镜头前面放置一块或多块红外截止滤光镜。判断是否需要红外截止滤光镜的依据是在被测照相机前插入一个可见光截止、红外透射的滤光镜(该滤光镜截止波长在 780 nm(50%的透射率)和在 350 nm 和 740 nm 之间的波长上有小于 1%的透过率),若输出信号电平大于原最大数字输出电平的 5%,那么红外截止滤光镜是需要的。选择红外截止滤光镜时应该使红外灵敏度的减小达到所需的要求,并且不改变光度测定的灵敏度。如果需要红外截止滤光镜,应指明所使用的滤光镜的类型。红外截止滤光镜的目的是防止 OECF 受红外辐射的重大影响。

6.4 对焦

6.4.1 焦平面 OECF 测量方法 B

如果照相机的镜头对焦可调,应该设置在无穷远,或者设为可用的最大物距。

6.4.2 照相机的 OECF 测试

照相机镜头应该对焦在测试标板上,以使产生的影像清楚。OECF 测量不要求准确对焦,但是严重离焦的测试标板的影像将由于模糊的条纹边界而产生错误的结果。聚焦图像时的有效 F 数 F_e 应按公式(2)计算:

$$F_e = \left(\frac{1}{R} + 1\right)F \dots\dots\dots (2)$$

式中:

R ——图高和图在焦平面上的像高的比率。

F —— F 数

辅助镜头也可以用来产生测试标板清晰的像。如果采用了辅助镜头,则有效 f 数应该在照相机镜头在同样对焦位置和不带附加镜头时产生的放大率的基础上计算。任何使用的附加镜头应该足够大,不能影响照相机镜头的通光孔径。如果使用了辅助镜头,则应该在测试结果的表达中注明。

7 输入

7.1 焦平面对数曝光

传感器应该在特定辐射光源照明的条件下曝光,范围从最小的曝光量极限到最大的曝光量极限。时间标度序列和照度标度序列都是允许的,但是获得的 OECF 应该指定为时间或照度比例函数,并且标明曝光时间和/或焦平面照度序列,原因是噪声可能随曝光时间而变化。输入的对数曝光的增量相隔不应该超过一档(一档等于两倍,亦即约 0.3 个对数曝光单位)。

照相机快门被用来调整曝光时间,但是机械和电动快门的精度应该使用 ISO 516 中规定的方法来检验。

7.2 照相机的 OECF 图的对数亮度

标准的照相机 OECF 测试标板应该如附录 A 所述。测量测试标板亮度的首选方法是使用一个放置在照相机位置的望远光度计。如果使用这个方法,整个测试标板面积,除被测量的区域外,都应该使用黑

色蒙罩遮盖，防止杂散光对光度计测量的影响。如果没有望远光度计可用，测试标板的亮度可用测试标板的密度和照度使用下列公式（3）和（4）计算：

对于反射图，密度为 D_i 的灰阶块亮度 L_i (单位为坎德拉/平方米) 计算如下：

$$L_i = \frac{10^{-D_i} E}{\pi} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

D_i ——灰阶块的视觉密度；

E ——入射在测试标板上的照度(使用余弦校正光度计测量)，单位为勒克斯(lx)；

对于透射图， L_i 的计算公式如下：

$$L_i = 10^{-D_i} L \dots\dots\dots (4)$$

式中：

D_i ——灰度块视觉漫透射密度；

L ——放置测试标板处测得的漫射光源亮度，单位为坎德拉每平方米(cd/m^2)；

如果测试标板的亮度是通过测试标板的密度计算，入射在反射式测试标板上照度，或用来照射透过式测试标板的亮度的变化都不应该超过整个测试标板表面亮度平均值的 2%。应该注意消除任何组件的镜面反射(眩光)。计算得到的测试标板的亮度应该在照相机 OECF 的测试结果报告中标明。

当拍摄测试影像时，测试标板的表面应该垂直照相机光轴($\pm 5^\circ$)。如第 8 章所述，应至少获取和分析图表的九次曝光，以确保数据的可靠性。宜调整相机的曝光设置，以产生接近相机设定产生的颜色编码的中间色调的图表背景数字代码值。可以使用自动曝光。

注：如果相机设置为创建 8 位 sRGB 编码的图像数据，则中间色调将接近代码值 118。

8 数据分析

照相机数字输出电平数据分析应按如下所述：

在每个曝光等级都应该进行最少 9 次试验。如果正在测量的是一个特定的相机，则应对其做一些独立的曝光试验；如果该测量是代表一种特定型号的照相机，则应对一些不同的、随机选中的照相机作独立的曝光试验。对于每次试验，数字输出电平的平均值应该选取图像上相应位置的 64 乘 64 的像素区域。焦平面测量方法 B, 64 乘 64 像素的区域应该位于每幅影像的中心。最终的数字输出信号值应该是所有试验的平均数字输出值的平均值。

注：有些分辨率很低的照相机，有可能 OECF 测试标板图块的影像的大小不足以包含 64 乘 64 像素的区域。在这种情况下，采样区域应该比图块的影像区域略小，从而使影像图块边缘的影响不包括在内。

9 结果的表述

9.1 概述

OECF 测试结果应该以表格和/或图表述。所有的对数亮度和对数曝光以 10 为底。

表格的标题或图形说明应按如下表述：

- a) 焦平面 OECF 测试方法 A、焦平面 OECF 测试方法 B 或者照相机 OECF 测量；
- b) 单色或彩色拍摄和照相机类型；
- c) 时间和照度标度曝光序列（不包括照相机 OECF 测量）；
- d) 曝光时间或焦平面照度（不包括照相机 OECF 测量）；
- e) 曝光时间，照相机镜头焦距和有效 F 数（仅对照相机 OECF 测量）；
- f) 测量或计算测试标板的对数亮度（仅对照相机的 OECF 测量）；
- g) 日光或钨灯照度；
- h) 固定、日光、钨灯、可调或自动白平衡（对彩色照相机）；
- i) 使用的红外截止滤光镜的描述（假使有）；
- j) 使用的辅助镜头的名称（假使有）。

9. 2 表格表述

9. 2. 1 焦平面 OECF 方法 A 和焦平面 OECF 方法 B

该介绍以表格形式给出结果，列出相机类型、输入对数曝光、曝光时间和/或焦平面照度、数字输出水平值。如果相机系统是一个多光谱系统，应列出所有光谱带的数字输出水平，见表 1。

表 1 数码照相机的焦平面 OECF 表的例子

对数曝光量	平均输出值		
	红	绿	蓝
-3, 00	7, 7	8, 2	10, 0
-2, 70	10, 6	11, 9	11, 8
-2, 40	16, 5	17, 1	15, 9
-2, 10	25, 6	23, 0	21, 2
-1, 80	39, 4	32, 2	27, 1
-1, 50	63, 5	55, 2	49, 4
-1, 20	97, 7	85, 7	78, 8
-0, 90	149, 1	133, 4	122, 1
-0, 60	205, 8	191, 4	180, 7
-0, 30	245, 4	233, 0	225, 0
彩色拍摄（单芯片 RGB 彩色滤镜阵列照相机）。 时间标度曝光序列，焦平面照度 3.98 lx。 日光照明，日光白平衡。 方解石热反射红外截止滤镜。 \lg 曝光量 = $\lg(H/H_0)$ ，式中 $H_0 = 1 \text{ lx} \cdot \text{s}$ 。			

9. 2. 2 照相机 OECF

在表述结果的表格中标明照相机的类型、所有测试标板图块输入对数亮度和相应的数字输出值。如果照相机系统是一个多光谱系统，应该列出所有波段的光谱的数字输出值。曝光时间、照相机镜头焦距和有效 F 数也应该给出，见表 2。

表 2 数码照相机的照相机 OECF 表的例子

对数亮度	平均输出值		
	红	绿	蓝
-0.22	13.9	14.7	14.2
0.12	19.2	18.8	17.1
0.39	25.1	22.3	20.2
0.61	32.8	28.3	24.9
0.81	43.5	36.8	32.4
0.97	55.1	46.5	41.3
1.12	68.7	58.5	52.4
1.25	82.7	71.3	64.2
1.37	99.0	86.3	78.3
1.48	115.6	102.1	93.2
1.59	133.8	119.6	109.8
1.65	148.6	135.0	124.5

彩色拍摄(单芯片 RGB 彩色滤镜阵列照相机)。
 曝光时间 1/30 s, 50 mm, 镜头设置在 F/2.8。
 对数亮度值由测试标板密度测量计算得到。
 日光照明, 日光白平衡。
 方解石热反射红外截止滤镜。
 $\lg \text{曝光量} = \lg(L/L_0)$, 式中 $L_0 = 1 \text{ cd/m}^2$ 。

9.3 绘图表述

9.3.1 焦平面方法 A 和焦平面 B OECF

用数字输出值或数字输出值的以 2 为底的对数与所有测试标板图块的输入对数曝光量的关系曲线图表述结果。如果照相机系统是一个多光谱系统，所有的光谱波段的数字输出值都应该绘制出来。对照度标度的函数要给出曝光时间，对时间标度的函数也要给出焦平面照度。见图 1。

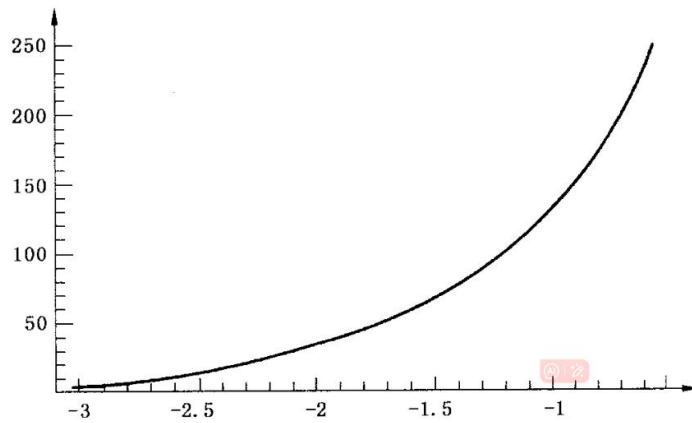


图 1

单色拍摄，时间标度曝光序列，焦平面照度(钨灯)0.286 lx,

Wratten 301 红外截止滤镜， \log 曝光量= $\log_{10}(H/H_0)$ ，其中 $H_0 = 1 \text{ lx} \cdot \text{s}$ 。

标引符号：

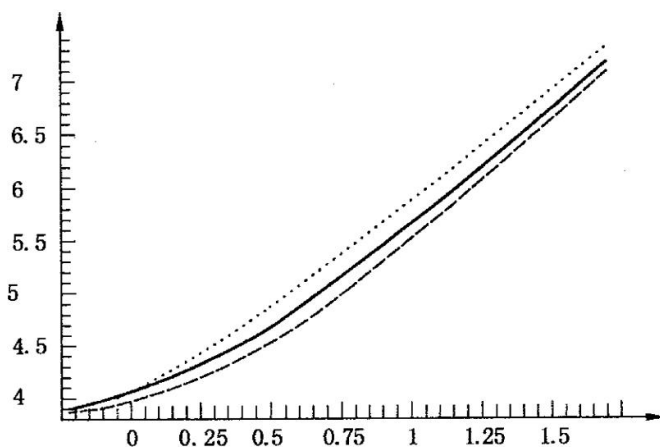
X——对数曝光量

Y ——输出水平

图 1 数码照相机焦平面 OECF 曲线例

9.3.2 照相机 OECF

用数字输出水平或数字输出值的以 2 为底的对数与所有测试条纹的输入亮度的对数的关系曲线来表述结果。如果照相机系统是一个多光谱系统，所有的光谱波段的数字输出水平都应该绘制出来。曝光时间和照相机镜头 F 数都应该提供，见图 2。



虚点曲线是红色通道，实心线是绿色通道，虚线曲线是蓝色通道。

彩色拍摄(单芯片 RGB 彩色滤镜阵列照相机)，曝光时间 $1/30 \text{ s}$ ，50 mm 镜头设置在光圈 $F/2.8$ 。

日光明，日光白平衡。Tiffen 热镜红外截止滤镜，输入对数亮度= $\lg(L/L_0)$ ，这里 $L_0=1 \text{ cd/m}^2$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/376130015201010214>