



特别报导：

高清镜头设计：

透光性的控制

作者：LARRY THORPE

广播工程师们对于电子传输原理非常熟悉。他们非常了解相关的通道传输损耗、干涉、反射、重影和其他像差问题。光学镜头系统与之非常类似，在某种意义上也是一种大型电子传输系统的缩影。这种光学系统所针对的是比广播/电视频率更高的部分的电磁波频谱。

设计多镜片镜头的目的就是为了提高透光性。如之前文章所

述，对调制传递函数值(MTF)的精巧控制是当代镜头设计中的固有任务。而对于通过二十多个、甚至更多光学镜片的光线透光性

- 从镜头光学出口射出的光线通光量，是衡量该镜头灵敏度(或光学速度)的标准，但仍存在争议。
- 光线在通过构成镜头系统的

光学镜头系统与之非常类似，在某种意义上也是一种大型电子传输系统的缩影。

的控制，同样也是颇为复杂的任务。从这个意义上说，光线传输系统有两个非常重要的因素：

多个镜片后的光谱响应曲线，对镜头/摄像机系统的色域再现能力有直接影响。



高清演播室镜头设计中面临的挑战

在控制最终在摄像机传感器上成像的镜头光学系统的通光量时，有四个与透光性密切相关的核心问题。它们分别是：

光和红光波长极限之间的透光性曲线，对镜头/摄像机系统的色度性能产生重要影响。

我们将从构成演播室镜头的复杂的多镜片光学系统的透光率开始讨论。

利用镜头有效孔径(D)与焦距(f)的比，可以得出一项定义镜头光线出口中心图像亮度的传统光学标准。比值D/f被称为光圈系数。

光圈：几何光圈与光度孔径

演播室镜头具有内置的机械光圈系统，可以用于遥控通过镜头的通光量。这是一种能改变大小的机械孔径，或称为光圈，可改变通过镜头光束的直径。利用它可以对镜头光线出口端成像的亮度进行一定程度的控制。这种重要的操作调节装置经过标定，可以精确地控制通过镜头到

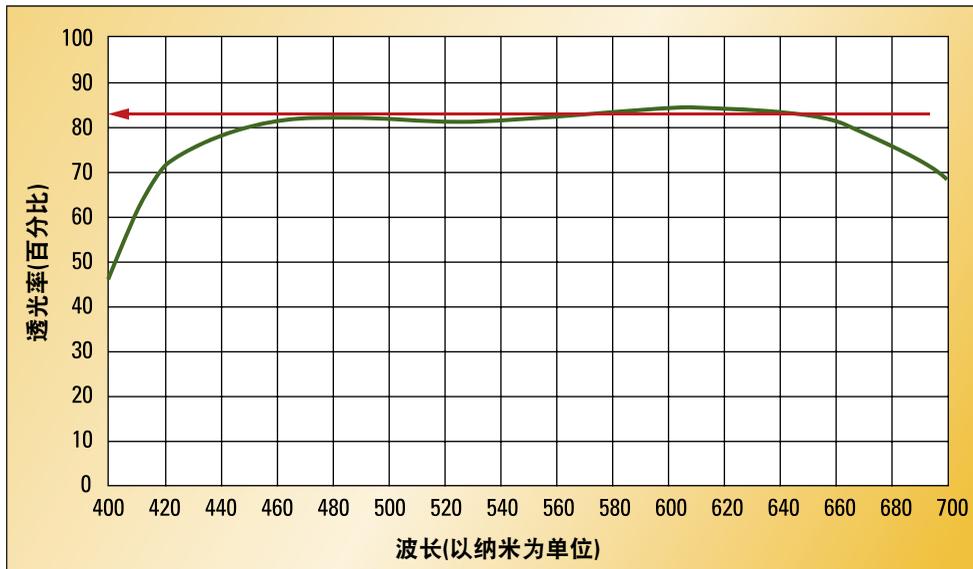


图1 典型高清演播室镜头的光谱透射率，显示到达光线出口的光量和相应的精确光谱响应曲线形状。

1) 镜头的透射率——镜头可以通过的最大通光量。

2) 光圈控制——标定的光圈机构，可精确控制通过镜头的通光量。

3) 相对光线分布——光学系

图1所示的特性是典型的高清演播室镜头规格。图中显示的是平均透射率为82%的高清镜头的光谱透射率特性。对于由30多个光学镜片构成的镜头，这个透射率已经是相当高了。这是通过采

达高清摄像机图像传感器的通光量。进而在拍摄具有大对比度范围的场景时，有助于对镜头/摄像机动态范围进行控制。

在传统的电视或视频拍摄领域，这种标定级数称为F值，这种类型的调节装置被称为几何光圈系统。实际的F值为光圈系数的倒数，即f/D。

F值标定的真正优点在于精确地描述了给定镜头系统的光线亮度变化。

几何光圈

F值表示在假定通过镜头的光线为100%白色入射光的条件下的镜头光学速度。而这在现实的镜头设计中是无法实现的，如图1所示。F值标定的真正优点在于精

统中无法避免的限制。导致图像边缘的光通量少于镜头光学系统中心。

4) 镜头的光谱透射率——蓝

用强大的计算机辅助设计技术、先进的光学镜片材料和每个镜片上的镜片多层光学镀膜等综合技术实现的。

确地描述了给定镜头系统的光线亮度变化。F值表示为一个从1开始、以2的平方根为公比的等比数列,如下所示:

1.0、1.4、2.0、2.8、4.0、5.6、8.0、16.0、22.0、32.0

每次数值加倍表示通过镜头光线出口的通光量正好为上一级的一半。这种光圈值关系长期以来在广

通过镜头的真实通光量,和胶片摄像机的镜头一直采用称为光度孔径的交替标定系统。而用于数字电影摄像机的新型电影镜头也采用这种标定系统,以T值表示。T值兼顾到并非所有入射光都100%通过镜头的事实。该值精确地把镜头的透射率作为一个因素来考虑。因此,任何两个具有相同T值的镜头都会有相同的光学速度。在后续的文章中,将

造出理想镜头,该定律也同样适用。亮度下降的大小与(入射光线与镜头光轴夹角的)余弦四次方成正比。

渐晕就是由于镜头筒遮挡部分边缘光线,造成在360度的范围内光学图像边缘亮度降低的物理现象。如果镜头光学系统的口径足够大,就可以避免这种现象。因此,相对于必须采用较小口径的便携式EFP/ENG镜头,大型演播室镜头能够更好的避免渐晕现象。渐晕现象也随镜头的光圈缩小而减弱。这也改善了相对光线分布的问题。

T值兼顾到并非所有入射光都100%地通过镜头的事实。

播演播室的应用中发挥着积极的作用。必须记住,由于不同镜头制造商所生产镜头的光谱透射率必然会有所差异,任何两个具有相同F值的镜头实际上可能具有不同的光学速度。在使用恰当的测光计对两种镜头实施并行测试时,必须认真考虑这个因素。

光度孔径

在电影制作领域,必须了解

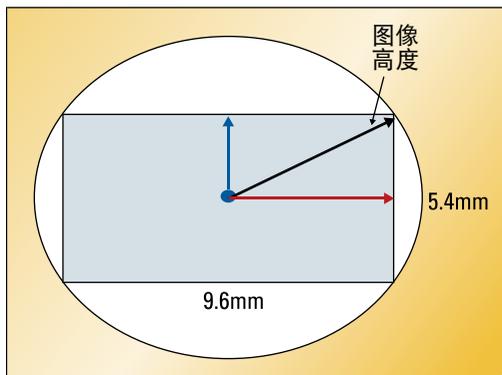


图2 显示了在2/3英寸高清光学图像上,相对于图像中心的亮度水平,如何测量光线分布。

会介绍这种数字电影摄像机的电影镜头的标定方式。

相对光线分布

相对光线分布是光学设计师所熟悉的一个术语,它是指一种物理现象,有时也称作周边光量。指定的镜头F值表明了镜头光轴中心处

的亮度。而图像边缘部分的亮度必然会有所降低(由于不可避免的光学物理的异常因素影响),其大小以中心亮度的百分比表示。周边光量的大小受(a)余弦四次方定律及光学渐晕(b)影响。

光学设计师们所熟悉的余弦四次方定律,表明了图像外围部分光线亮度下降的速率(周边光量)随着视场角的增大而加快。如果真能制

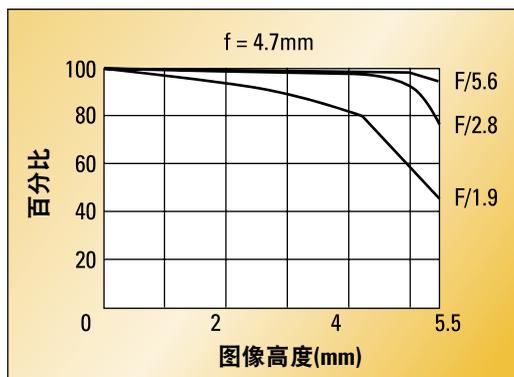


图3 典型高清演播室镜头在特定焦距下的相对光线分布特性

相对光线分布以中心图像亮度和离轴点光线亮度的百分比表示。传统上,相对光线分布沿径向图像高度指定,如图2所示。已发布的典型光学亮度分布规格如图3所示。

在图3中可以明显看出,当镜头在最大光圈下工作(光圈全开)时,光线分布不足的问题更为严重。在焦距改变时,光线分布特性将会随之改变,并且越接近广角端这种影响越明显。



光谱响应和色彩还原

镜头设计团队的目标就是在光线通过30多个光学镜片的过程中，实现最大通光量，也就是说，最大限度地降低进入镜头前部光线的衰减。同时，必须对这些构成镜头系统的多个镜片进行优化，以使它们协同工作改变输出通光量的光谱响应，从而预先确定系统的色彩还原性能。这是通过将分别指定的摄像机分光棱镜的光谱响应和摄像机CCD(或CMOS)图像传感器的光谱响应紧密地联系起来而实现的。

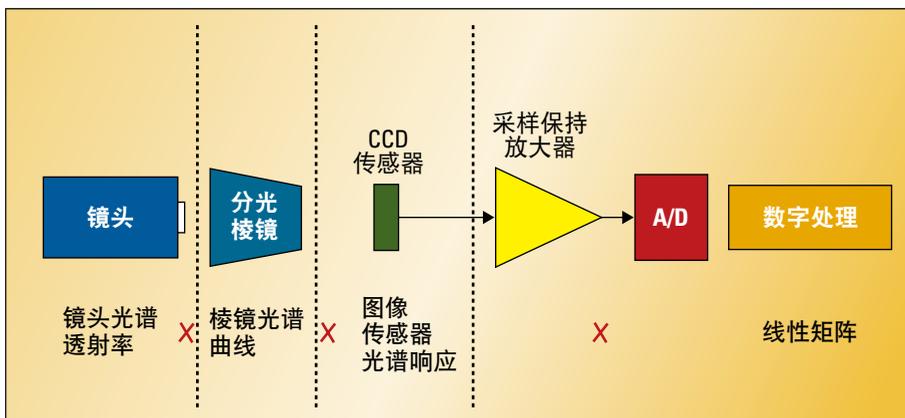


图4 决定ITU-709标准与SMPTE 274M/296M高清制作标准中所描述色度的高清镜头/摄像机系统的四个核心部件

范围提高到最大限度。各光学制造商采用各自的专有设计技术必然会造成色域性能的差异，这只

制造商开展的设计优化同步进行。

但是，我们面临的挑战并不仅限于此。在下一篇文章中将向您介绍，在控制所有设计变量的同时，设计师还要解决大量的光学像差和失真问题，而在进行镜头控制时，这些问题有时可能以完全不同的方式变化。

镜头设计团队的目标 是为了实现最大的镜头 通光量。

由于镜头光谱透射率曲线必须适应各种细微差异，包括各制造商的摄像机分光棱镜特性曲线、CCD(或CMOS)图像传感器(及相关的红外截止滤镜)的光谱响应以及各自线性矩阵电路的最终设计的差异，以确保总体的镜头/摄像机系统色度响应满足已发布的SMPTE 274M/296M标准和ITU 709标准(如图4所示)，所以必须与各大摄像机制造商密切合作来设计镜头光谱透射率曲线。

虽然我们尽量满足以上标准包含的标准技术规格(公差尚未发布)，但镜头设计师还在努力寻求适当的光谱曲线，从而将由镜头/摄像机成像系统还原的总体色彩

能通过谨慎的主观测试进行评估(该主题将在后续的文章中讨论)。

总结

正如本系列第二篇文章所述，当代镜头技术的确是工程技术领域的一个奇迹。我们在之前的文章中介绍了为保证摄像师在操作变焦、光圈和聚焦控制功能的过程中保持高图像锐度，光学设计师在这个至关重要的领域所面临的挑战。

在对这些因素进行优化的同时，设计师还在设法尽可能地提高透射率，以增加镜头的光学灵敏度。而且，精心调整光谱透射率特性的工作必须与不同摄像机

Larry Thorpe是佳能美国广播器材产品部的市场总监。