

高清演播室镜头设计中的创新

作者：Laurence Thorpe 和 Ken Ito
Canon Inc.

摘要：

当今可用的高清摄像机系统数量包含传统领域和演播室“硬(hard)”摄像机、便携式“软(soft)”摄像机以及各种小型“POV”摄像机。便携式摄像机数量尤为众多，就图像性能、创作功能以及系统设施而言，其具有大型演播室摄像机的大多数特性。这一点反映了高清电视移位拍摄的发展，以及在演播室中使用此类摄像机的日益明显的趋势，从而作为更高性价比的替代品取代以往备受欢迎的大型“硬”摄像机。

到目前为止，为配置可支持所需大型“箱式”演播室镜头的演播室设备，安装此类便携式摄像机于“轨道”或“升降台”则成为一贯作法。便携式摄像机的光学表现足以满足高清视演播室对性能的高标准要求，这一点已得到认可。然而，整个镜头-摄像机系统通常较大(需要同等大小的大型基座)，更会带来较高成本。

意识到便携式高清摄像机在演播室中的使用将会迅速发展，且其功能特性也只可能会不断发展扩充，佳能启动了一项开发项目，设计可直接安装到便携式高清摄像机的小型全功能演播室“箱式”镜头。要达到在审美观点上符合各种高清便携式摄像机的不同形式的因素，镜头尺寸、重量以及人体学工程设计方面的挑战非常多。光学挑战依然是重中之重。灵敏度、相对光线分布、图像锐度及对比度、色差以及几何像差，所有这些都必须满足制作演播室的性能期望值(而非便携式高清 EFP 的性能要求)。在伺服控制变焦、聚焦以及光圈系统的操作性能中并非不可作任何妥协，机械系统以及虚拟演播室系统的接口也可进行适度折中。

本文将概述以创新设计为基础的技术及技能，可以在确保高品质高清演播室成像性能的前提下，造就货真价实的高清演播室镜头，而重量尚不及全尺寸演播室镜头的三分之一，体积几乎仅为后者的四分之一。

XJ25x6.8B IE



全尺寸 2/3 英寸
高清演播室镜头

全新小型 2/3 英寸
高清演播室镜头



XJ22x7.3B IE

1.0 简介

高清电视(HDTV)在美国正处于快速发展期。地面广播、有线以及卫星传输服务之间生机勃勃的竞争动态对其起到了推动作用。长期的筹备过程为其最终赢得不可小觑的市场份额铺平了道路。在全球范围内，高清电视也已见证了这一重要的发展。就在最近，高清电视再次在欧洲成为热议焦点，这一迹象表明很有可能在不久的将来这些国家及广播组织将为其张开双臂加以迎接。

对于内容创作人、广播公司以及消费者，有关与高清电视的高成本相关的论述，仍然是首要考虑的因素。然而，由于专业设备制造业在节目源和分布链的各个方面积极扩大研发，高清电视仍受到人们的高度推崇。对新技能和技术的着力研究将有力地压低成本。

高清镜头也在为此目标而不懈努力。在成本优化的道路上，现代演播室镜头代表了该节目制作链中最具挑战的部分。在快速的技术进步与同样快速的成本降低的现代发展趋势下，固态图像传感器、数字处理微技术以及数字记录技术也迅猛发展，而光学技术长久以来发展却极为缓慢。

事实上，高清电视的到来迅速推动光学技术努力向可用科学能力的极限靠近，然而最初的相关费用完全用在了相反的方向。但是世界主要光学制造商很快便认识到高清电视是电子成像的必然发展，并且越早掌握这一技术，就能越快推动这一必需的发展。本文所述的新型演播室镜头代表了这一扩张的发展议程中的一个决定要素，为全世界的制片人和广播公司提供了新的选择。

2.0 镜头的种类

广播和高端制作领域需要五种不同的镜头：户外、演播室、电子现场制作(EFP)、电子新闻采集(ENG)以及电影镜头。每种类型均拥有其应用领域专属的设计标准，这些标准影响所指定镜头的三个不同的特性：

- *光学* – 性能水平和操作能力
- *机械* – 尺寸、重量以及外形因素
- *控制* – 数码伺服系统和相关附件

2.1 演播室镜头

在所介绍的镜头类型中，传统演播室镜头-摄像机系统在追求最高性能方面一直以来都可谓是“旗舰”级产品。就影响光学系统物体图像最终整体效果的多个属性而言，镜头性能是多方面的。

对于此类演播室镜头类型(比其他类型更多),全世界的广播公司和制片人对其在灵敏度、对比度、色彩还原以及分辨率上越来越高的性能的迫切需求从未停止。大光圈光学系统正是获得高光学灵敏度的基础,这就导致较大玻璃镜片的广泛使用。而镜头重量也随着光学元件直径的增大而急剧增大。高分辨率的获得必须解决光衍射引起的限制。要想获得优异的对比度性能,需要精心关注每个镜头内部元件的设计和制造,使用非常重要的多层镀膜(应用改良材料和创新材料),以及应用独创的机械技术,以使眩光减小到最少并控制内部反射。

在过去的六十年,由于对大变焦比和最高性能的不懈追求,演播室镜头已发展为相当大的设备。典型的现代演播室镜头(变焦比接近 25 倍)的重量将达到 45-50 磅。将其安装在重约 60-65 磅的典型现代演播室摄像机(带有 7 英寸或 9 英寸的寻像器)上时,整个镜头-摄像机系统重量会超过 100 磅。因此需要一个坚固的基座支撑此电视成像系统。

3.0 演播室镜头-摄像机配置选择

全世界大量的终端用户对制作和操作具有广泛的需求,从而衍生出应用于各种演播室环境的镜头-摄像机配置的多种变体。类似情况也出现在适用于体育、娱乐以及事件报导的移动电视设备。

创作渴求与预算压力成为特定终端用户使用何种配置的决定因素。通常,这些演播室配置大致分为三种形式:

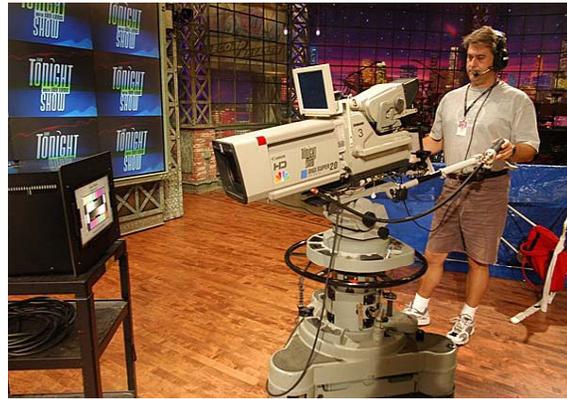
- 1) 配备大型“箱式”镜头的传统大型演播室摄像机头(“硬”摄像机)。
- 2) 安装于特殊机械支撑系统上的便携式摄像机,该系统也可安装传统大型演播室“箱式”镜头。
- 3) 配备便携式镜头的便携式摄像机。

对这些配置的选择决定于很多因素,包括对整体图像性能的期望、操作要求(镜头和摄像机控制及其相关显示器)、系统接口(机械系统、虚拟演播室、讲词提示器、内部通话系统、节目音频需求)以及常常提到的物理因素(整个系统的总体尺寸和重量)等。

大型镜头选配

摄像机15磅	
7" VF	10 磅
轨道	25 磅
镜头	40 – 50 磅
总计	< 100 磅

安装于大型镜头连接环系统的
便携式高清摄像机



带有“箱式”演播室镜头的传统
“硬”高清摄像机

摄像机 60-50 磅 (包括寻像器)	
镜头	40 – 50 磅
总计	> 100 磅

图 1 显示两种安装传统大型“箱式”演播室镜头的演播室摄像机配置选择

4.0 便携式摄像机设计的发展

随着更小的摄像管的出现以及制片人和导演对手持式及肩扛式移动摄像机所具有的全新创作灵活性不断增长的渴求，作为传统“硬”演播室摄像机同伴的便携式摄像机(有时称为“软”摄像机)的操作理念于 20 世纪 70 年代萌生出来。在早些年代，受时代技术的限制以及低于大型演播室摄像机成本的愿望的双重因素影响，不可避免地出现一些此类便携式摄像机的中间产物。

固态成像器件的出现和日益精密的数字处理技术最终改变了所有这一切。缓慢却不可阻挡地，演播室便携式摄像机在图像性能水平、操作灵活性以及系统化方面，已与其同伴大型演播室摄像机趋于一致。如今，许多此类便携式摄像机，无论是标清还是高清，在性能和创作灵活性上与大型演播室摄像机几乎没有差别。只有对最高性能镜头(需要大尺寸镜头)、改进的操作方式及优化的系统设备的渴求，才能保持大型“硬”演播室摄像机的超高人气。对于大多数人，这些性能仍然非常重要。

4.1 便携式摄像机的大型镜头连接环

便携式摄像机重量目前超过 15 磅(带有典型的小型 2 英寸寻像器)。将其安装于大型镜头连接环(有时称为系统扩展器、升降台、甚至是“轨道”)以支撑全尺寸演播室镜头及大型寻像器(7 或 9 英寸较为典型)时,摄像机承重组件可达 65 磅,带有 7 英寸的取景器时常常高达 80 磅。从已安装箱式镜头系统的全演播室摄像机上将其卸下并不困难。

然而,升降台的最大优点却保留了灵活的系统可配置性。在某些类型的娱乐节目中,尤其是对于可能经常需要使用很多摄像机系统的娱乐节目,报道的特性需要在便携式手持系统和带有大型长焦镜头的全演播室系统中重新配置某些摄像机系统。随着高清电视不断渗透进体育运动、重大事件以及娱乐表演等各种形式的节目制作,这种需求可能也会不断增加。

4.2 寻求演播室中的高性价比高清采集

大量终端用户深感当前便携式摄像机的性能的确满足了诸多演播室的使用需求。其制作预算根本不可能负担在已安装箱式镜头的全演播室摄像机系统的必要投资。对某些人来说,使用升降台并没有什么吸引力。镜头-摄像机系统的成本仍是主要的影响因素。时至今日,在向高清电视过渡而其附加成本费用却高于标清电视制片的情况下,解决这一问题尤为迫切。因此在足以满足使用的前提下,某些人选择使用便携式摄像机和便携式 EFP 镜头。并且对于某些演播室制作来说,确实如此。然而,那些追求最高品质演播室性能(例如黄金时间的电视剧制片和网络新闻演播室)的人一直懊丧不已,因为与当今便携式摄像机完全兼容的货真价实的演播室镜头根本不存在。

佳能认为追求最高性能的客户群是电视制作产业的不断增长的重要部分,并且这也保证了投资,以研发可以直接连接于所有主要高清和标清 2/3 英寸便携式摄像机小型全性能演播室镜头,而无需使用复杂的支架。

在着手研发此类镜头时,佳能应用了所有适用于演播室镜头的设计标准。特别说明的是,这就要求在寻求较高整体图像性能的过程中,必须精选和优先考虑那些更为重要的成像参数。

5.0 演播室镜头设计的优先考虑因素

5.1 传统演播室性能期望

现代演播室镜头已具有很长的历史。它是这样一类镜头,就正式的技术评价而言,已由全世界众多组织进行了最为严格的考查;就特定的图像性能参数而言,一般认为以下参数为演播室镜头设计的主要优先考虑因素:

- (a) 在像平面的中央和边缘区域同时保持较高的 *调制传递函数(MTF)*特性(在整个像平面尽量保持均匀的 MTF 特性)。
- (b) 最大限度地减少横向色差, 即直接影响镜头 MTF 的模糊和色彩细节错位(特别是像平面的边缘)。
- (c) 获得最大相对孔径以与大型演播室“箱式”镜头的相对孔径竞争。
- (d) 通过最大限度地减少在极暗条件下的眩光和杂光、重影及强光源造成的与强光相关的光学干涉, 以得到卓越的对比度性能。
- (e) 优化相对光线分布。
- (f) 将像场弯曲降到最低——这是造成图像边缘散焦的典型光学像差之一。
- (g) 精确控制球面像差和彗形像差, 以消除视觉上客观存在的图像失真。
- (h) 尽可能清除几何失真, 尤其是处于较大的视场角时。

鉴于该列表, 应注意光学设计根本的困境在于坚持不懈地追求达到多变量之间的最佳平衡。在某一方面性能的改善总是伴随其他方面性能的减弱。高度精密(而且是难以想象的复杂)的控制大量变量参数(彼此之间相互冲突), 正是光学制造商过去几十年来发展和完善的优化策略的本质。事实证明在小型化高清电视演播室镜头的耗时费力的工作当中, 这些策略甚至更具挑战性。

5.2 小型演播室镜头的设计目标

依照以上列出的优先级, 设计者所面临的挑战即为尽可能达到高端演播室箱式镜头性能水平, 并同时缩减系统的尺寸和重量。指导便携式 EFP 和 ENG 镜头设计的必要的折中方案在此处并不适用。此类镜头对高机动性、小尺寸以及低重量的要求, 决定了其优先级与前文所列的演播室镜头的优先级完全不同。

小型镜头的一般设计目标简要概括如下:

- 与传统演播室箱式镜头相比, *总体积*明显缩小(目标是达到大型镜头总体积的三分之一)。
- *重量*, 约等于当前便携式摄像机的重量。

- 目标是尽可能达到全高清电视演播室性能。
- 操作性能无论如何绝不妥协——这将通过变焦、聚焦及光圈调节等操作的精确性、可重复性及速度进行测量。
- 内置所有当前接口(机械系统、虚拟演播室)。
- 创新的数字控制，可与高端演播室镜头系统的数字控制相匹敌。

6.0 最终设计成果

6.1 物理特性

最初的决策在于选择镜头输入端口的直径，因为这会直接影响镜头的光学速度，并且就整体物理尺寸来说，该决策是设计选择中首要考虑的因素。进而通过各种镜头镜片设计的专有创新技术来强化该决策，包括特定的物理设计、所用镜片数量、各镜片所用的不同材料以及各镜片单独使用的多层镀膜等。

依照以下初始的计算机仿真分析，确定选择 150mm 的直径。并保留光学元件的全部演播室配置，从而迅速决定了光学路径的总长度。下表 1 为全新小型演播室镜头与当前 EFP 便携式高清镜头的物理特性的比较。与便携式 EFP 镜头相比，镜片的物理特性有相当明显的增长变化。

	XJ 22 × 7.3 小型演播室镜头	HJ 22 × 7.6B EFP 便携式镜头
光学口径 (mm)	150	105
总镜片长度 (mm)	316	222
重量 (磅)	13.4	6.03

表 1 清楚地显示小型演播室镜头与变焦和广角大致相同的 EFP 便携式高清镜头之间的比较

但是，这种差异必须置于保持全尺寸演播室箱式镜头的物理特性前提下。表 2 对此进行了概括(此处为全新小型镜头与当前佳能高端高清演播室镜头两者之间的比较)。

物理特性	大型演播室镜头 25xs	小型演播室镜头 22xs
尺寸 (mm)	558 (长) × 250 (宽) × 255 (高)	336 (长) × 165 (宽) × 175 (高)
重量	47 磅	13.4 磅

表 2 比较了全新小型演播室镜头与当前全尺寸“箱式”镜头的尺寸和重量

将镜头安装在当前各种便携式高清电视摄像机上时，镜头设计的美学效果也通过外观得以彰显。图 2 显示在当前三款高清便携式摄像机安装镜头后的外观。



安装在 Sony 便携式摄像机上



安装在 Ikegami 便携式高清摄像机上



安装在 Thomson 便携式高清摄像机上

图 2 显示全新小型演播室高清镜头安装在当前三款高清电视便携式摄像机上的外观

6.2 小型镜头的性能

需要重新审视由于某些更突出的成像参数而获得的性能。所需的大视场角和大变焦比紧密相关(就基本的、可控的光学设计而言),且此小型镜头选用 7.3mm 广角段(有关已实现的特定视场角,请参见下表 3)和 22 倍的变焦比,这两项操作参数足以满足大多数演播室的需要。实现低几何失真的目标对大视场角构成一定的技术挑战,然而正如下文所述,镜头设计已成功达到相当出色的性能水平。

6.3 光学灵敏度

所有镜头的光学镜片对通过的光束都具有一定的削弱作用。入口镜片端口的直径越大,可以透射通过镜头系统的光线就越多。通过使用现代光学材料及当今可用的新型镀膜,可以有效地降低每个光学镜片中无法避免的光线削弱现象。多层镀膜用于镜头的所有元件。事实上,小型镜头由众多此类元件组成,最终造成了整体光线削弱,此类削弱难以避免。这点直接影响了镜头光学灵敏度或*几何孔径*的规格。

光学性能	大型演播室镜头 25xs	小型演播室镜头 22xs
最大相对孔径	1:1.5 (6.8 至 122mm 时) 1:2.1 (170mm 时)	1:1.8 (7.3 至 111.5mm 时) 1:2.6 (161mm 时)
最小摄距	0.6m	0.8m
视场角 (度)	70.4 (H) × 43.3 (V) 3.23 (H) × 1.82 (V)	66.7 (H) × 40.6 (V) 3.4 (H) × 1.9 (V)

表 3 对全新小型演播室镜头的杰出的光学能力与大型演播室高清镜头进行比较

当前高端高清电视演播室箱式镜头的最大相对孔径已达到 1:1.5。全新小型镜头的最大相对孔径能够达到 1:1.8,可以支持超过约 16:1 的变焦比。这将解决众多一般演播室的需要。在 161mm 的长焦端处,最大相对孔径降至 1:2.6(这是大变焦镜头固有的“光圈曲线倾斜”特性的度量)。

6.4 镜头分辨率和图像锐度

一直以来,分辨率都是由镜头和摄像机(两者出自不同的制造商)组成的电视摄像机系统的重要性能标准之一。比起针对其他摄像机的简单、正式的分辨率测量方法(使用适当的电视测试图),镜头对整体图像锐度的特定影响更令人难以理解。关于分辨率,与当今配备有明确定义的固态成像器件的摄像机性能相比,镜头性能在技术上更难以控制。摄像机传感器的固定采样点阵相当精确地预先确定了摄像机在水平与垂直方向的分辨率特性。复杂的变焦镜头未能享有同等的技术规程。

镜头的分辨率即其再现物体点的性能。正式的测量要求检测最细黑白线条图形的每毫米线条数,进而得出代表镜头分辨能力的数值。这仅仅可以提供分辨率的可能程度的信息,而不能提供清晰度或再现对比度的信息。感知到的图像锐度需要这样的信息。

当光学镜片正在对无穷小物体光源进行成像时,衍射效应会限制该光学镜片所形成物体图像的半径。衍射效应直接与特定的光线波长成正比,从而决定了可见光谱中不同色彩的光线其分辨率特性也不相同。镜头内二十至三十个光学镜片相互联系,使整个光学系统性能更加复杂。此外,镜头分辨率随镜头光圈孔径大小的变化而变化;一般情况下,镜头光圈在广角端接近全开时,分辨率最大。缩小光圈将会降低其分辨率。最后,镜头变焦功能的动作牵涉多个镜片的物理移动,进一步干扰了分辨率特性。恰恰是光学系统的特性不允许在整个像平面上形成恒定的图像锐度。

当今光学设计者拥有强大的计算工具,可以研究优化策略以控制影响镜头分辨率的众多变量。这些工具有助于精确地模拟不同光学材料的特性(和这些材料出现的重大改进)、各镜片不同的物理特性以及关联的相互作用。观众观看一定距离外的电视屏幕时,人类的视觉系统会感知到一些图像锐度的特殊属性,在镜头优化设计中也会考虑这些属性。在管理设计优化的过程中,光学设计者充分利用了调制传递函数(MTF)的理念。

6.5 调制传递函数

对于镜头-摄像机系统来说,调制传递函数(MTF)是一个术语,用于描述该系统正在成像的递增频率的黑白线条的对比度水平性能。系统的 MTF 是多组连续更高频率黑白脉冲的对比度水平的调制。因此,对比度性能必然依附于感知到的图像锐度。

MTF 是描绘对比度再现性能(纵轴)与空间细节(横轴)的关系的曲线, 请参见图 2。摄像机设计者主要通过选择所用成像器件的采样点阵(水平和垂直), 力求在图像的水平 and 垂直方向获得出色的 MTF 特性。另外, 镜头设计者也力求在整个像平面上获得出色的 MTF 特性(光学系统无法清晰划分两个方向的 MTF 特性)。

在一定距离外观看图像, 最典型的图像特性是感知到的图像不同部分之间的对比度。对比度则进而直接影响感知到的图像锐度。因此, 对于人类视觉系统来说, 对比度与分辨细微细节的能力之间关系十分密切。

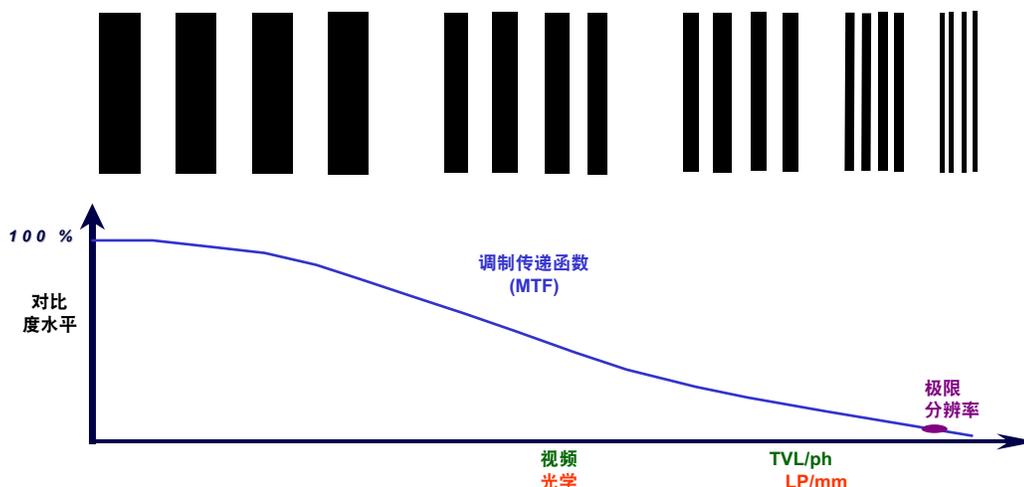


图 3 成像系统的调制传递函数(MTF)定义为所关注空间频率范围内对比度再现性能之间的关系。

密切关注整体图像的 MTF 特性非常重要。设计优化力求从图像中央到边缘获得出色的 MTF 特性, 然而这些设计策略必然要做出一定的折中。这些折中在大型演播室镜头和较小的便携式 EFP/ENG 镜头之间有着明显的差异。

传统演播室镜头不受便携式镜头严格的尺寸和重量制约条件的限制, 并且可以使用较大的玻璃镜片(在优化整个像平面的 MTF 特性时扩大了自由度)以及较多的玻璃镜片(提供了更进一步的自由度, 可以形成能够补偿包括 MTF 在内的各种参数的小镜片组)。然而, 较大传统镜头, 此类全新小型镜头的设计需要使得一些限制(在尺寸和重量上)仍然得以保留, 这就引起了一些特殊的挑战。图 4 显示了在某个特殊焦距和镜头光圈孔径设置时的 MTF 特性。在 56 LP/mm(或对于 1080 线条系统, 约为 600 TVL/Ph)光学参考频率处, 中央至边缘的 MTF 特性变化较为显著。

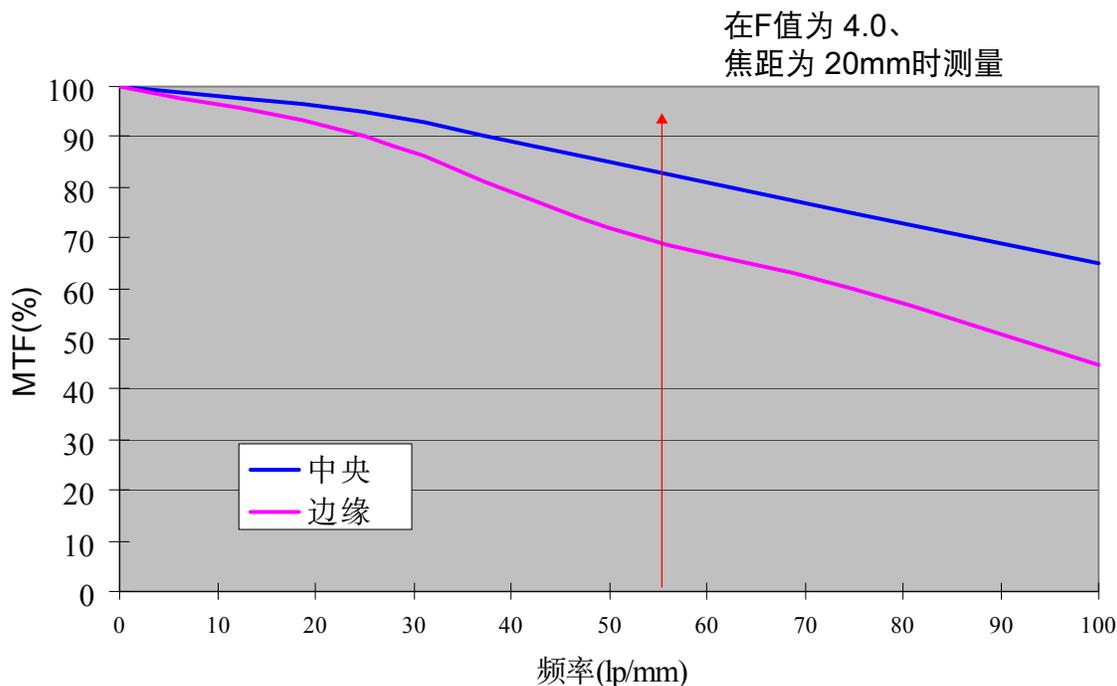


图 4 显示图像中央以及像平面边缘的 MTF 特性

6.6 对比度

由于高端演播室制作对优秀色调再现能力的期望，高对比度性能成为此类镜头的特别优先考虑因素。通过光学和机械设计的创新技术，例如显著降低眩光、杂光以及任何内部反射(在内部机械表面使用特殊抗反射镀膜)，实现了对黑色再现的严格控制，最终对比度得以扩展。同样，注重最小化重影图像以及其他由强光源(轴上和轴外)引起的强光相关的色差失真，可进一步扩展镜头可操作的对比度的范围。

6.7 色彩还原

在力求优异的 MTF 性能的过程中，镜头设计者在全力解决各种复杂情况的同时，也专注于塑造多镜片镜头系统的整体光谱响应。镜头的光谱透射率特性在预先确定摄像机系统总体色度时具有最主要的影响。光谱透射率曲线的形状(特别是在可见光谱关键的蓝色端和红色端)必须与数码摄像机分光系统的 RGB 光谱分离、与图像传感器的光谱特性连接在一起，才能实现数码摄像系统的最终色度。将摄像机操控装置设置于固定位置时，透光系统必须预期满足 SMPTE 274M/296M(及国际 ITU R BT 709 标准)高清制作标准中指定的色度要求。在这一点上，演播室镜头尤其应预先详细研究。

在这种情况下，为成功控制所选色彩(亮度、色度和饱和度)，可以在摄像机视频操作面板上以数字方式改变指定的非线性传输特性和色彩矩阵(线性和非线性)，这一功能会在镜头、分光镜、传感器的组合中预期尽可能广的色域。在该组合中，镜头的作用在某些时候被低估。只有严格测试才能清晰显示出某一镜头的优化策略之于另一镜头的优势所在。全新镜头的光谱透射率特性在图 5 中再现，精心构建的特性完全满足与所有主要高清便携式摄像机匹配使用时的最高高清性能需求。

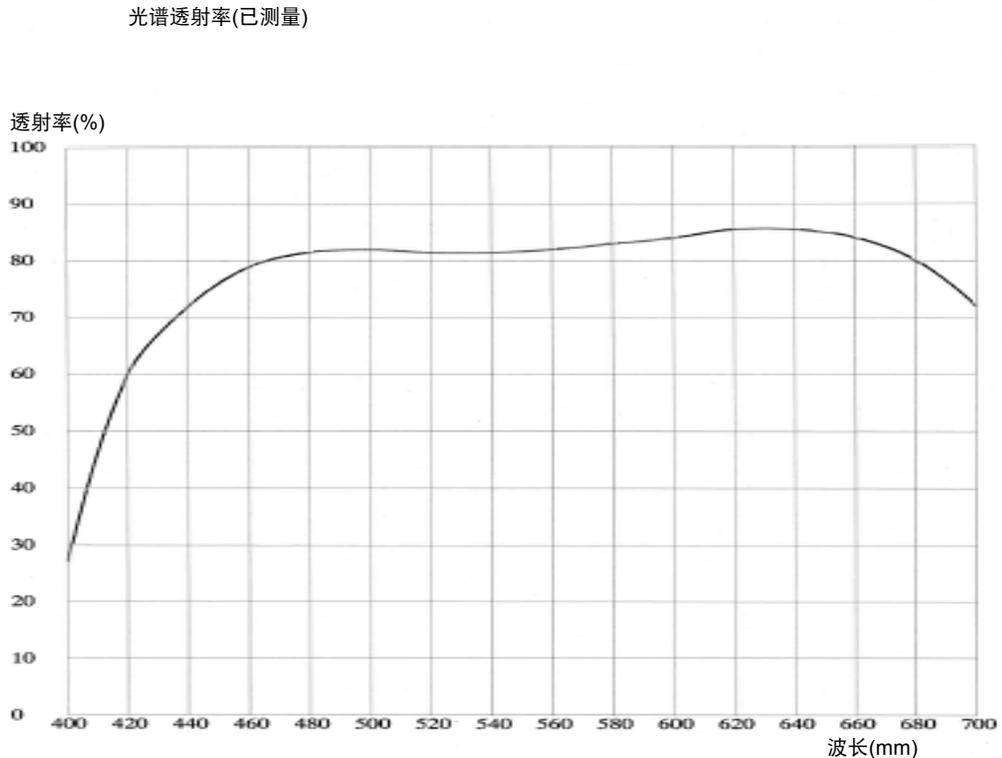


图 5 显示获得 83%平均透射率并形成优异色彩还原光谱的两个极限的全新小型演播室镜头的最终光谱透射

6.8 相对光线分布

所引述的特定演播室镜头的 F 值是一个衡量镜头在像平面中心透光率的直接标准。光学中的另一项令人困扰的问题，就是不能在整个像平面上完全保持均匀的光通量。当一种渐晕从图像中央移向像平面的边缘时，三种形式的光学渐晕共同作用以降低光照水平：

- **自然渐晕** – 到达图像边缘的光线降低为视场角余弦的四次方(称为余弦四次方定律)。
- **光学渐晕** – 倾斜光线以比与光轴平行的光线更小的透镜孔径入射(此孔径对于与光轴平行的光线而言, 是完整的圆形; 但对于偏离光轴最远的光线而言, 会形成逐渐变窄的椭圆形)。
- **机械渐晕** – 由安装在镜头上的镜头遮光罩、遮光斗支架等扩展部分引起。

所有这些因素均导致视场角内光强的降低。一般以曲线表示, 显示从图像中央沿径向(称之为图像高度)光照水平的不足, 如图 6 所示。随着几何光圈孔径逐渐打开, 此不足将会慢慢弱化。在过去的几十年里, 各种光学和机械设计技术不断发展和改善, 大大减小了此类光学限制的影响程度。

光线分布

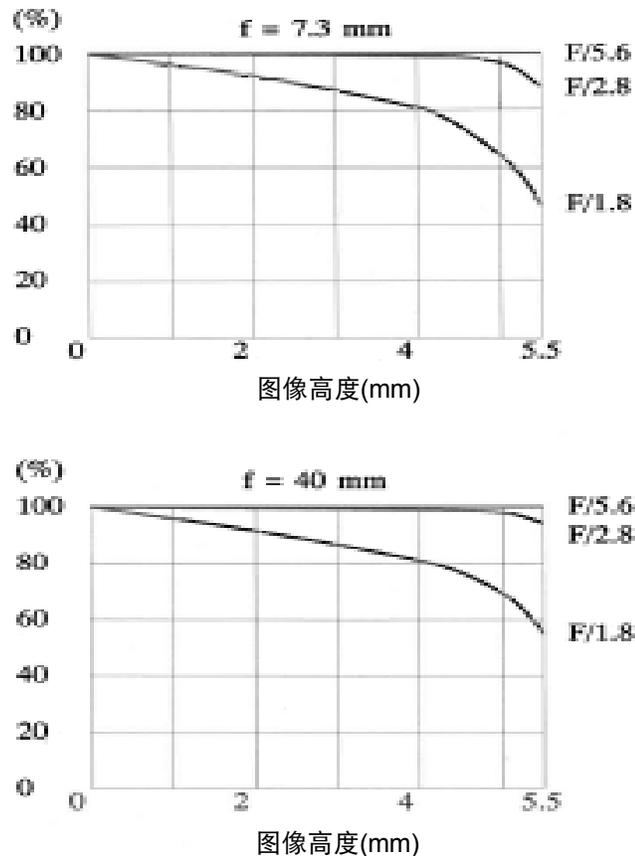


图 6 显示小型演播室镜头在短焦距处且具有不同光圈孔径时的相对光线分布特性

对于全新小型演播室镜头，当光圈孔径在广角端全开(与大型高清电视演播室镜头的光圈孔径相比)时，光学物理对该效应的影响达到最大程度，相对光线分布达到了合理的折中。在演播室最为关注的最重要的广角焦距范围内，略微缩小光圈孔径(至 F.28)可以迅速改善此性能，如图 6 所示。

6.9 光学像差

传统上，尽可能消除所有的图像几何失真，在电视演播室镜头设计中具有高优先级。导演追求视觉上精确的图像几何形状，尤其是在短焦距处(现代电视剧制作中频繁使用广角拍摄)，但此时在系统内的正交结构上几何失真也最为明显。

在追求较小尺寸的演播室镜头过程中，这一参数形成了重大的挑战。此外，高清电视镜头具有更大的 16:9 长宽比，这对在整个变焦范围内控制几何失真提出了更严峻的考验。通常演播室镜头具有三十个以上的镜片，在优化这些镜片之间相互关联的几何失真的过程中，最典型的做法是力求一个折中方案，即在两种几何失真的表现形式中均分此类图像失真，两种表现形式分别为凹形(或“枕形”)与凸形(或“桶形”)。一般情况下，最为容易的方法是，扩展在长焦距处的枕形失真，然后使其转化为在短焦距处的桶形失真。

通过采用各种光学技术，尤其是全新镜头镜片设计以及针对镜头内某些更重要的光学镜片使用新材料，来降低几何失真。

最终达到的性能水平如图 7 所示。当失真变化率在较短焦距增加时，这一现象牢牢为高度精确设计及严格的生产工艺容差所控制。

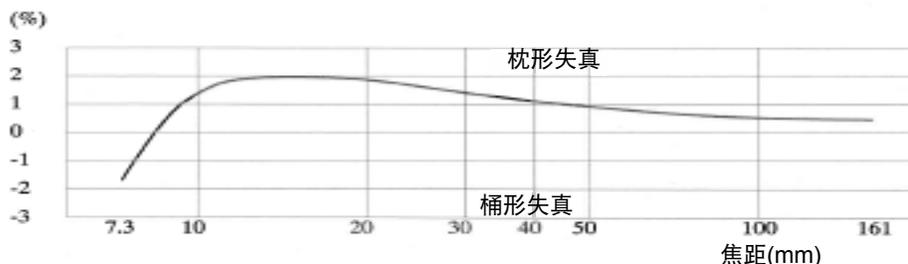


图 7 显示全新小型演播室镜头的几何失真特性

7.0 数字增强

7.1 数字接口

当今的演播室镜头要求具备连接机械系统和虚拟演播室系统的能力。全新的小型演播室高清镜头配有标明“虚拟”接口的 20 针连接器，三个光学旋转编码器的 16 位数字输出可以用于与数字机械系统和虚拟演播室系统进行直接和双向数字通信。

另外两个 20 针连接器提供了与佳能数字变焦和聚焦控制器的直接通信接口。

还有一个可选的 PC 接口可用于连接镜头。利用该接口可实现在镜头和计算机(使用佳能研发的专用软件)之间的数字通信链路，以实施镜头诊断。

7.2 数字控制精度

使用全新的微型光学旋转编码器，提供全新水平的控制精度。控制器与高分辨率镜头系统结合，在变焦和聚焦控制上提供了 13 位的可重复性。摄像机数字光圈控制的数字接口兼容 10 位。

变焦伺服功能提供了超大动态控制范围。从 0.5 秒快速变焦至 3 分钟超慢速变焦。

7.3 数字显示屏

镜头具有内置的信息显示屏(安装在侧面靠近镜头后部的位置)，提供了内嵌于镜头控制系统的众多数字操作功能的大量信息。

可以选择不同的变焦伺服特性，以实现丰富的创意变焦运动控制。镜头还支持预编程多种功能，如在两个选定的焦距间自动梭动、预设组帧和预设变焦速度等。

7.4 镜头聚焦时的呼吸效应

聚焦时的呼吸效应是一个专业术语，用于描述正常镜头聚焦动作与伴随该聚焦调节产生的不必要的变焦动作之间的相互作用。节目导演对于聚焦控制启动引起图像尺寸的改变(基本视场角改变是由于不必要的变焦操作引起的)感到非常苦恼。在电视剧拍摄(以及历史上电影胶片拍摄)过程中，前景和背景之间虚焦的使用非常普遍，通常以两种方式利用景深，(a)将视觉 3D 效果转换到二维成像调色板，或(b)引导观众注意沿场景深度(z 轴)方向的特定人物或物体。因此，当导演和摄影师试图完成这种精巧的创造性聚焦过程时，聚焦时的呼吸效应就成为一个严重的干扰。

20 世纪 70 年代，佳能首先通过光学创新技术解决了这个问题。这就是众所周知的“*三组内对焦法*”，并在 1985 年正式引入广播级 EFP 镜头，从那时起，已经逐步应用在一系列的演播室和 EFP/ENG 镜头中。之后的文章[4]将会对该方法进行介绍。随着每一代全新镜头设计技术的发展，对于这一技术的改善也在不断进行。

最近，演播室镜头控制系统和微型计算机的结合使用，提供了一个全新的方法来控制不必要的光学相互影响，并且达到几乎消除的程度。在此全新小型演播室镜头中，32 位的微型计算机系统与 16 位光学旋转编码器协调运作，能够高度精确地报告变焦和聚焦的位置。在进行聚焦控制时，需要进行精确的数字计算，进而驱动所选镜片完成物理运动，以精确抵消图像视场角不必要的变化。聚焦时的呼吸效应几乎得以消除。

8.0 结论

该全新小型演播室镜头的创新设计，反映了在演播室拍摄环境中对配置这种更小型、更高性价比的便携式摄像机的需求正日益增长。就相对较高的高清电视节目源制作成本而言，专业设备制造业有责任进一步寻求显著降低成本的方法。高清电视市场渗透的步伐从根本上取决于其成功。光学制造商已加入到摄像机和录像机制造商的队伍中来，充分利用新技术和新改革以降低高清电视采集系统的成本。

高清电视制作仍处于起步阶段。然而，在美国，它以相当出色的性价比一枝独秀。两个独立的高清电视制作标准提供了不同的选择，可以在空间采样结构和逐行与隔行扫描之间进行选择。1080 线标准提供了多种图像拍捕获率，适用于逐行与隔行系统。在两种高清电视标准的摄像机中，多种 CCD 和 CMOS 采样点阵已经出现在 2/3 英寸标准画幅的传感器中，并以相关的成本范围提供了多种 MTF 性能等级。

最近，1/2 英寸和 1/3 英寸的画幅在 1080 线和 720 线的高清电视制作系统中均有所应用，进一步降低了成本。相关的数码录像机也已划分为不断增加的多种数字采样结构和压缩方案，而且在性能和相关成本上也支持了多样性。一旦所有因素集体运作时，随着现实世界制作应用和预算的驱动，高清电视性能的超凡优越性也必然彰显无疑。

高清镜头仍然是高清摄像机和录像系统财务投资中非常重要的部分(事实上，某些镜头较同类高清摄像机更加昂贵，这就是数字发展的速度)。目前，佳能正致力于挖掘镜头系统对于高清电视的全部作用。本文中所述的全新小型演播室镜头是在寻求与摄像机和录像机同步发展的高清镜头拓展策略的一个典范。该项目的成果非常鼓舞人心。尽管其各种成像参数并不完全能与大型演播室镜头匹敌，但其间的差距并不大。重要的是，在新设计中仍然采用与大型演播室镜头同样广泛的优化策略，以图像平面内 MTF、对比度和相对光线分布、光学灵敏度和色彩还原方面为重点进行优化。高性能演播室的要求对一切均具有指导意义。