

# 高清 镜头设计： 技术与成本

作者：LARRY THORPE



2006年3月，阿拉斯加的Ididarod，记者正在使用配备佳能HDgc广角变焦镜头的Sony XDCAM HD PDW-F350摄录一体机报导狗拉雪橇比赛。

**高**清节目制作设备的发展取得了令人瞩目的成就。国际标准化的2/3英寸画幅高清摄像机不断提高图像性能的标准，凭借高达30位的非线性计算能力将数字图像性能从10位提升到12位，现在已经达到14位。同时还融入了更多强大的高清视频处理功能，扩展了摄像师的创作灵活性。高清CCD和CMOS图像传感器也在日益优化。相应的高清数字记录技术已将磁带记录速度提高到接近1Gb/s的实时性能，并可在无带介质上进行非压缩基带记录。

另一方面，高清摄录一体机发展为新型高性价比的2/3英寸系统、成本更低的1/2英寸和1/3英寸系统。这些系统广泛采用各种无带介质，彻底颠覆了传统的高清制作流程。

同时，高清镜头继续稳定发展，新一代镜头的性能不断提高。过去十年来，高清镜头的价格有所下降，但降幅较缓。如今，一台高清摄录一体机的价格甚至可低于所搭配的高清镜头。这

引发了业内对镜头高额成本的广泛讨论。

## 专业镜头的成本结构

所有的专业镜头都包含三个子系统，这些子系统结合起来，

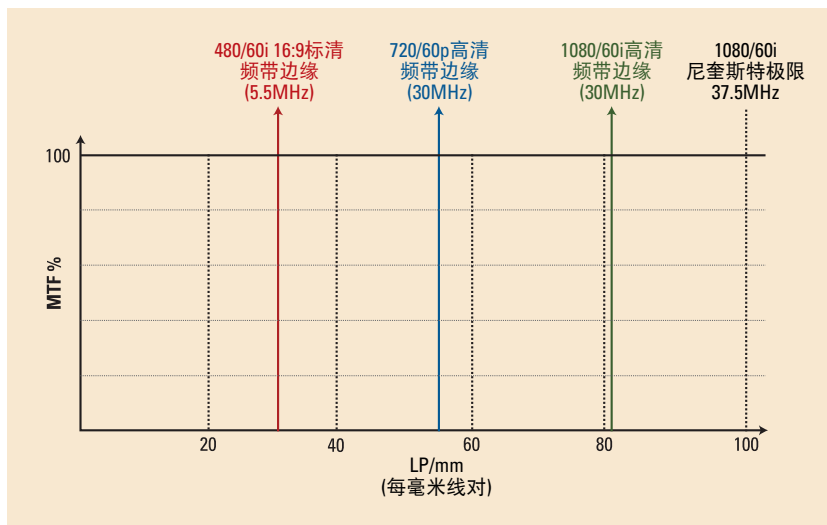


图1 光学带宽的概念，将光学每毫米线对与不同数字电视系统的电子带宽联系在一起。

才构成了当代的变焦镜头：

- 光学系统由许多光学镜片组成，这些镜片相互配合提供必要的镜头功能和优秀的成像性能。
- 光机系统用于支持精确地安装所有的镜片，以及在变焦和聚焦时实现镜片的物理移动和光圈孔径控制。
- 电子系统是一个精确的数字伺服系统，用于控制变焦、光圈和聚焦。

所有子系统的成本加在一起，构成了专业镜头的总成本。每个子系统都需要采用先进的技术、材料并不断进行改进(全球终端用户的要求)。这些措施也增强了镜头的稳定性和可靠性，使镜头适

## 高清镜头继续稳定发展， 新一代镜头的性能不断提高。

合于各种使用环境。对于光学系统和光机系统，还涉及到制造流程的成本。

### 光学系统

镜头的总体光学性能取决于以下因素：

- 光学设计标准。与构成镜头系统的各个镜片密切相关，并且由于计算机辅助设计工具的进步而日益复杂。
- 所使用的**光学材料**。不同的镜片采用不同的制造材料，而某些材料成本特别昂贵。
- 所使用的**多层镀膜**。这是一个高度精准的工艺流程，需要采用各种特殊材料进行镀膜。
- 各镜片的**制造公差**。包括切割和成型加工过程，还要长时间研磨和抛光，以实现特定镜头设计

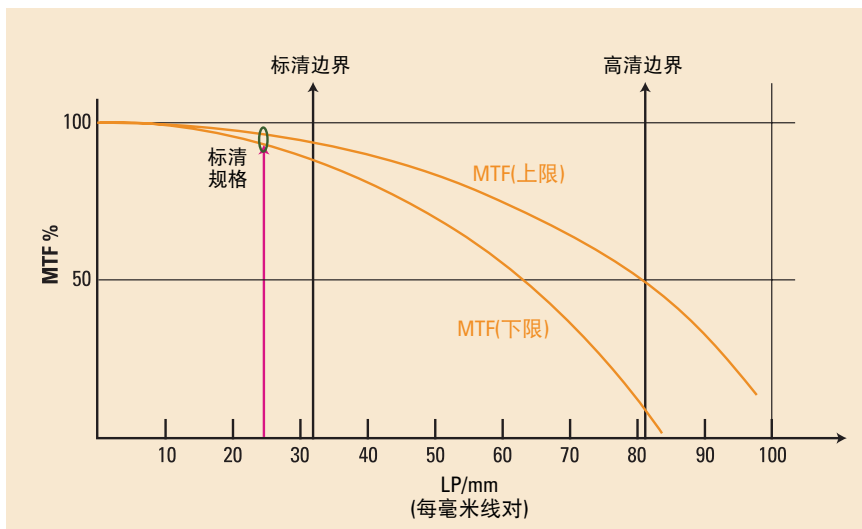


图2 在所需通带(5.75MHz或32LP/mm)严格指定的标清镜头MTF及超过指定MTF规格后的下降。(请注意：该曲线仅为说明性图示，并不代表特定的标清镜头MTF曲线。)

标准中要求的表面公差。

### 高清镜头与标清镜头的差异

高清镜头与标清镜头最明显的性能差异是分辨率。分辨率则

的30MHz SMPTE滤波要求定义了82LP/mm的光学边界频率。而对于5.75MHz标清定义的是32LP/mm的光学边界频率。差异几乎为3:1。

在设计镜头系统时，需要严格选择玻璃材料、镜片厚度、设计曲面精度和镜片对准精度，以保证系统性能规格满足所需的应用。在设计实施和总体的相关成本两方面需要仔细权衡取舍。

由两种镜头迥异的调制传递函数(MTF)特性所决定。

1080线高清镜头的光学通带为100LP/mm(每毫米线对)。(参见72页上的图1)。对该系统建议

### 标清镜头分辨率要求

标清镜头要求在所需的0LP/mm至32LP/mm范围空间频率通带上

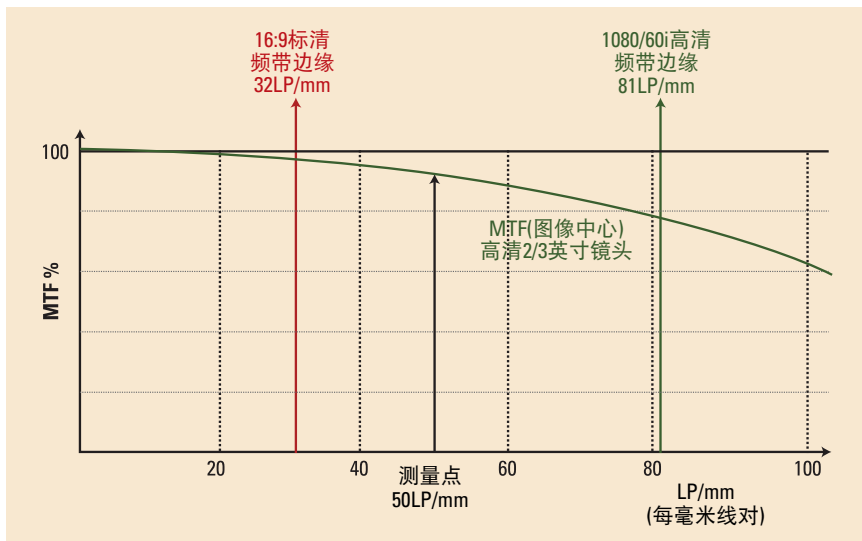


图3 当代高清镜头的典型MTF曲线

具有较高和控制良好的MTF规格。现代镜头系统设计科学的目的就是在所需光学通带上实现全部的规格，至此而已。之后，再进行任何提高都会导致制造成本迅速增加。镜头设计师必须完全熟悉制造流程，从而实现最佳的性能与成本优化。

标清镜头通常在25LP/mm处指定和测量，这是标清光学通带上部的一个方便的测量点。通过缜密设计的复杂制造流程，确保25LP/mm处的MTF水平处于一个严格指定的范围内(参见74页上的图2)。超过该点后，镜头公差要求明显放宽。

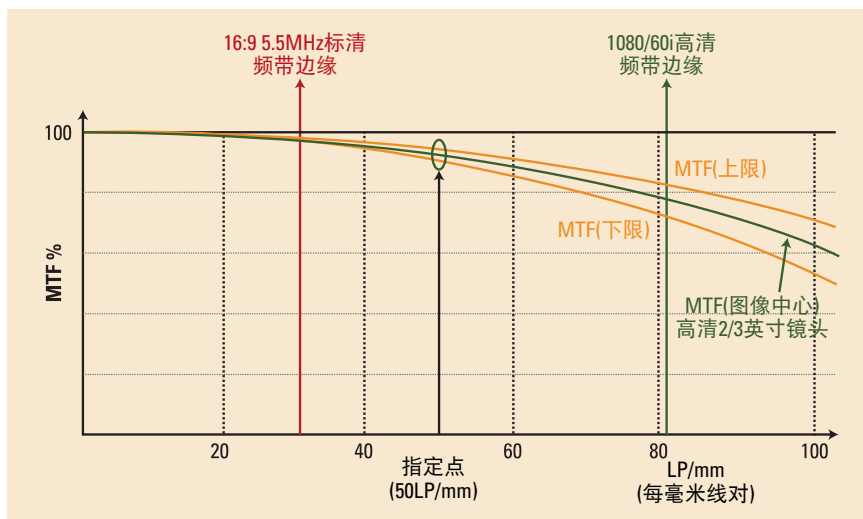


图4 高清镜头MTF特性的公差，严格指定在50LP/mm。(请注意：该曲线仅为说明性图示，并不代表特定的高清镜头MTF曲线。)

度的控制，这就要采用更严格的制造公差。

单个镜片的表面质量也要求进行严格的质量控制，光学设计师将划痕与疵点限定到几十微米

造公差等技术，实现了镜头的优异性能。光学性能的提高需要脚踏实地，没有捷径可循。

### 对低成本高清镜头的需求

近期市场上出现的低成本高清摄像机和摄录一体机引发了对具有更低成本而非最高质量的高清镜头的需求。这些新型摄像机是专门针对提供高性价比的高清制作而开发的，可应用于广播新闻采集和其他受紧缩预算限制的节目制作中。

佳能最近推出了新的高清镜头平台“HDgc”。该平台专为众多专业制造商推出的低成本高清摄像机和摄录一体机设计，可提供与之相适应的高清性能。

与完全符合国际标准化2/3英寸画幅的高端高清镜头不同，这类高清镜头的某些类型还支持2/3英寸、1/2英寸和1/3英寸的画幅，体现了新型摄录一体机设计应用广泛的特性。

终端用户明确希望这种低成本镜头具有与高端高清镜头同样的强大功能、可靠性及操作精度。但是，在构成整个镜头系统的三个子系统中，光机、电子系统都无法改变。因此，降低成本

## 高清镜头与标清镜头最明显的性能差异是分辨率。

### 高清镜头分辨率要求

高清镜头与标清镜头一样，需要对规格进行严格控制，只是在空间频率上高出许多。为了保证满足最严格的高清分辨率要求，高清镜头需要在更宽的0至82LP/mm的通带上实现较高的MTF值，并要在整个16:9图像平面上实现严格的MTF值控制。(由于高清节目需要使用比NTSC电视更大的屏幕，必须满足这种要求。)在设计中还要保证镜片在变焦和聚焦操作过程中移动时，实现更严格的MTF值控制。(参见74页上的图3)。

由于实际的光学镜片研磨和抛光限制，光学表面会与计算机辅助设计的精确数学模型有所偏离。由于高清拍摄中镜片在更高的空间频率上的特性需要更高层

的级别内。另一项规格是共轴要求，必须精确地将多镜片系统的光轴与所有光学表面的曲面中心对准。

### 高端高清镜头设计的现状

佳能的高端高清镜头带有“HDxs”标志(“HDEC”为电影镜头的标志)。这些镜头的制造工艺取决于在50LP/mm空间频率处严格定义的MTF规格，该频率位于高清通带内，但远远高于标清通带。这样可以按严格的公差在该空间频率处实现较高的MTF特性(参见图4)。

在50LP/mm的带内空间频率上实现更严格的规格范围，可保证在82LP/mm的高清频带边缘保持高MTF特性。综合采用先进玻璃材料、镜片多层镀膜和严格制



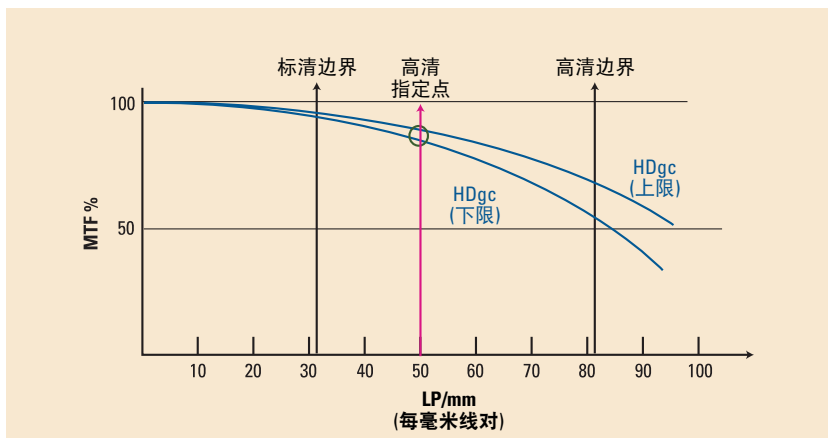


图5 低成本高清镜头及其MTF特性可能需要的折中。(请注意：该曲线仅为说明性图示，并不代表特定镜头的MTF曲线。)

的任务完全落在光学系统上。

为了应对挑战，光学设计师必须回归研究同样的变量，即玻璃材料、曲面设计、镀膜和制造公差等。这里不存在捷径，只有客观的光学工程设计原理和务实的权衡取舍。各大制造商都采用其专有的方法对各种变量(材料和制造工艺)进行组合，以实现所需的最佳高清性能和成本目标。图5显示了低成本高清镜头系列典型MTF特性的大致形状。

可以明显看出，HDgc镜头比高端镜头具有更低的MTF特性。但要记住，将这些镜头用于配合低成本的高清摄像机和摄录一体机，是务实设计的折中方案。设计这些摄录一体机和相关镜头时最主要的考虑，是要符合竞争激烈的高清新闻采集和其他低预算节目的成本要求。

这些摄录一体机采用广泛的设计策略来满足成本要求，包括在相应的记录系统中采用较小的画幅、子采样图像传感器阵列和大幅的比特率降低策略。目的是在无需追求最高图像质量要求的广泛应用中，实现足够好的高清

性能，同时大幅降低成本。

### 总结

图6总结了三种类型的专业广播镜头(一种标清镜头和两种高清镜头)设计标准的理念。这几种类型的镜头(演播室、户外、电影及EFP/ENG镜头)具有不同的、特定的MTF特性。因此，这些曲线只是说明性的图示，但仍足以体现三种镜头的本质差异。

数字电子技术发展推动的成本大幅降低并未给镜头设计带来任何益处。镜头设计的困难还是在于物理方面。要实现指定的镜头性能，必须要控制多种变量，还涉及到镜片制造、精密装配及镜头对准等过程。

在这种复杂的、多变量共同作用的过程中，通过创造性的设计改进，可以达到特定的性能和成本要求。幸运的是，光学作为一门高度复杂的学科，不但要注重创新材料，更可利用最新的超级计算机仿真技术，共同将镜头性能提升到前所未有的水平。

这些进步将对高端高清镜头技术形成冲击，并为在高性价比高清摄像机上配备更创新、更务实的镜头创造更多可能。对于新一代高清图像采集需求而言，这无疑是一个好消息。

BE

Larry Thorpe是佳能美国广播器材产品部的市场总监。

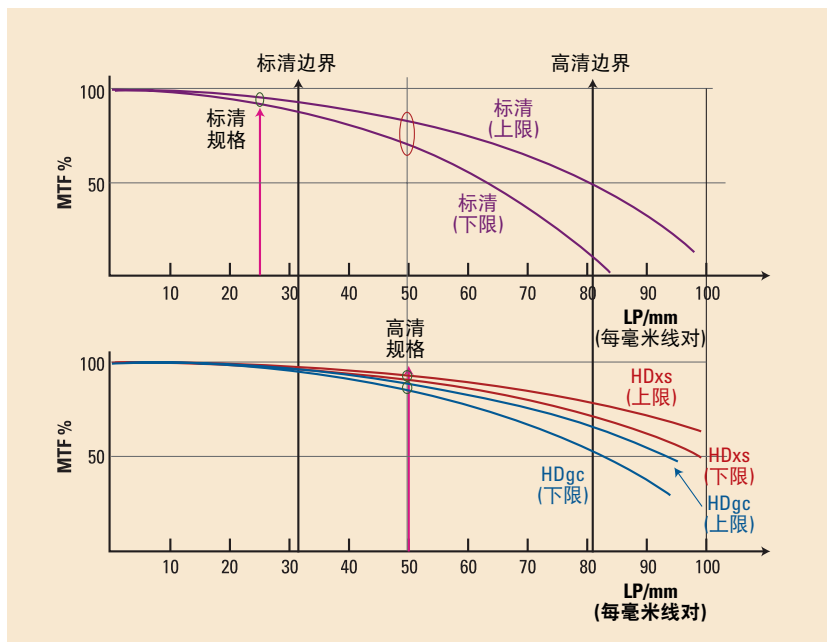


图6 标清镜头与两种不同性能高清镜头的重要差异