

**高清摄像机上的
标清镜头：**

**合适还是
不合适？**

标清与高清之间的本质区别在于“高清晰度”这一核心问题。这意味着高清电视与传统视频之间的主要区别是具有更高的“清晰度”，因而可以提供更高的图像锐度。所以任何有关融合标清产品和高清产品的讨论，从其对最终图像“高清晰度”方面的影响来看，都需要进行严谨的探讨。与构成现有数字成像系统的数字摄像机和录像机不同，镜头采用了模拟技术。就其完全的字面意义而言，它就是一项物理技术。镜头还具有动态调节功能，其卓越的控制性能能够影响投射到摄像机图像传感器的物体图像。镜头在光照水平、聚焦和焦距范围方面的变化还存在某些技术不足。因此，本白皮书旨在探讨“清晰度”，重点着眼于镜头的分辨率性能。对于图像“清晰度”，需要建立一些光学层面的衡量标准。音频和视频系统(例如电视摄像机)的介绍会考虑频带及其各自频带所涵盖频率范围内的特定系统响应。介绍镜头的分辨率性能时会采用类似的方法。

光学带宽

镜头的对比度和分辨率是紧密关联的。通过线条相互之间的相对对比度，可以从视觉上区分一系列近距离交替的黑白线条。因为这些线条的粗细和间距是递减的，所以人类视觉系统才能区分这些交替的线条。有时我们无法区分这些线条，是因为它们模糊不清，形成一个灰色区域。当测试图物体场景通过镜头时会发生相同的情形。当交替线条的空间频率增加时，镜头的光学表现力会逐渐下降，可以简单地用图 1 表示。换句话说，镜头的对比度再现性能转换为交替黑白线条细节的精细程度的函数。镜头输出的这一特殊表现形式在技术上称之为“调制传递函数”或“MTF”。横轴表示空间频率(从左到右精细的细节逐渐增加)，以每毫米的线对数(Lp/mm)计算。纵轴表示镜头光学图像输出的对比度(黑色相对于白色的振幅)。

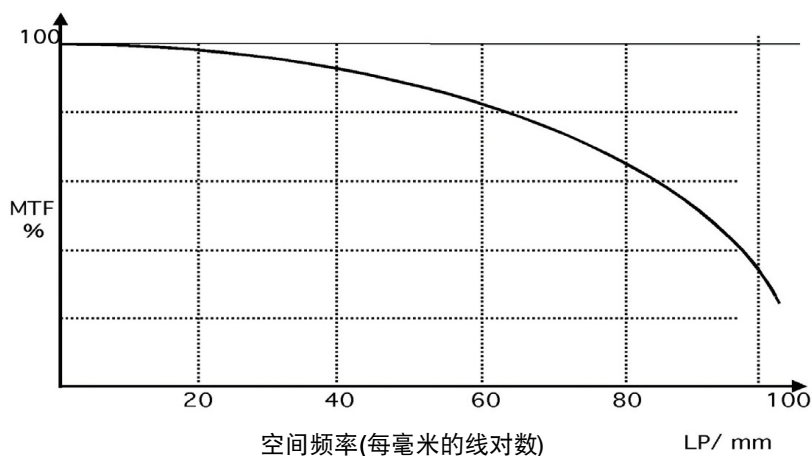


图 1：通过调制传递函数(MTF)表示镜头的光学带宽。MTF 表示随着交替黑白线条细节精细程度的增加，镜头对比度性能的变化。

光学带宽与视频电子带宽的相互关系

任何特定的电视系统均受限于有限的电子带宽，通常由指定的数字滤波器限定，例如标清系统为 5.5 MHz 规格，1080/60i 和 720/60p 高清系统为 30 MHz 规格。电子带宽进而决定了在三个系统均可支持的每画幅线(TVL/ph)中指定的最大水平分辨率。TVL/ph 规格在数学上与光学 Lp/mm 值相互关联，关联方式如图 2 所示。

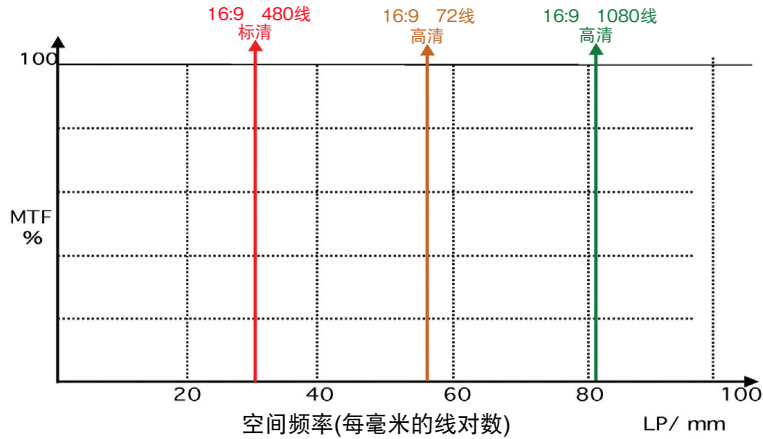


图 2：将数字标清系统和两种高清系统的边界频率叠加在光学空间频率通带上。

由此可见，如果标清镜头要提供符合该摄像机分辨率性能的成像信息，应具有 0 至 31 Lp/mm 的高分辨率。光学器材制造商努力在 0 至 31 Lp/mm 的范围内使 MTF 曲线保持尽可能高的水平，而不太关心此范围以外的 MTF 曲线。1080 线高清标准明确规定摄像机必须具备 872 TVL/ph 的分辨率。如图 2 所示，反过来此数据可以转换为 82 Lp/mm。镜头设计者的目标是在 0 - 82 Lp/mm 光学带宽范围内使 MTF 保持尽可能高的水平，以实现高清摄像机的性能。

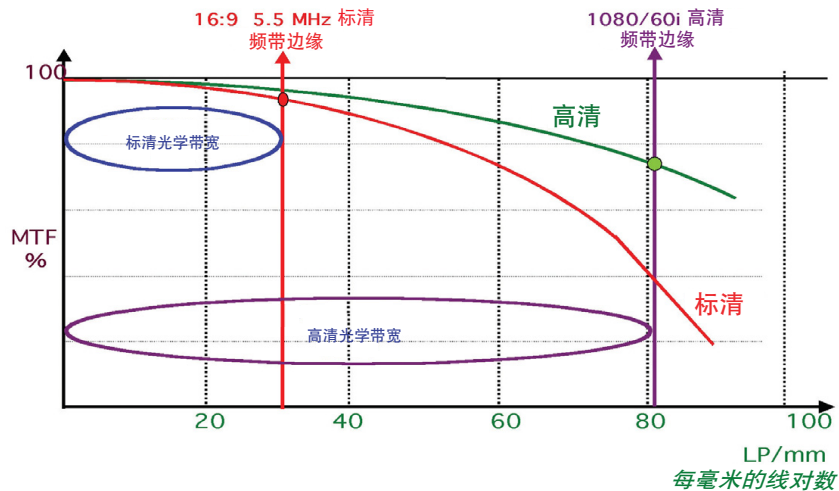


图 3：显示典型 2/3 英寸高清镜头和标清演播室镜头的 MTF 特性(于图像中央测量)，及其各自光学带宽之间的显著区别。

镜头分辨率考虑因素

首先，应注意高清镜头的光学带宽要求是标清镜头的 2.7 倍。其次，高清镜头在标清空间频率范围内会产生更高的 MTF。要达到这一更高的光学性能水平，必须精心地使光学设计过程的许多方面达到最高水平。必须仔细选择构成每个镜头镜片的材料(典型高清演播室镜头可能有 35 片单独的玻璃镜片); 在各镜片设计中必不可少的计算机辅助设计会更加精密; 精确地执行设计方案中所涉及的生产工艺容差要远比标清镜头严格。

其他分辨率考虑因素

在超出标清镜头所需带宽的空间频率范围内，MTF 的控制确实变得非常具有挑战性。任何偏离镜头元件精确设计的轻微偏差都将对更高空间频率的特性造成不利影响。在尝试优化更高频率下的分辨率的过程中，控制生产工艺容差就显现出全新的重要性。为弄清在更高的清晰度区域是什么因素决定了这一真正复杂的光学现象，需要研究这两类镜头在处于高清和标清系统的边界频率中间地带的单一空间频率的特性。这一频率选为 56 Lp/mm，如图 4 所示。此频率恰好处于高清镜头的通带内，并可相应地让我们了解此镜头如何有效地控制更高清晰度信息的分辨率特性。同时，它还提供了一个视角，使我们可以了解标清镜头在设计通带以外的特性，也可以使我们一瞥在处理同一更高清晰度图像时此镜头的分辨率特性。

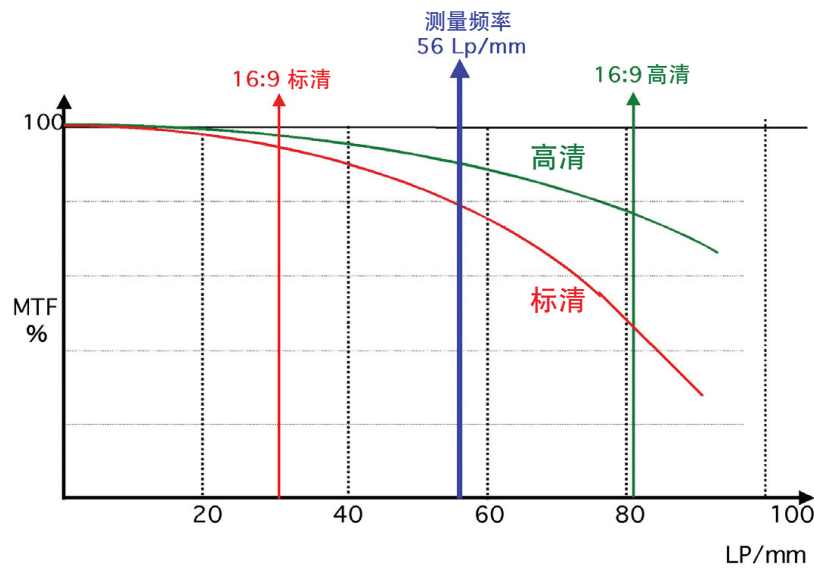


图 4: 显示 56 Lp/mm 下的“点”频率，在这一条件下进行变焦、聚焦和光圈操作控制时将检查高清和标清镜头的性能。

像平面上的镜头分辨率特性

之前的对比集中在高清镜头和标清镜头在图像中央测量到的 MTF 特性。光学特性在于镜头镜片中央的分辨率最大，但是从像平面的中央到边缘分辨率逐渐下降。在更高的空间频率下，这一下降率会更高。描绘整个像平面的镜头 MTF 的方法之一是查看两个具有同一中心的矩形(每个矩形都有四个角，因此可提供 8 个点的轨迹)。内部的矩形称为“内部”，而外部的矩形称为“边缘”。下方的图 5 显示了从图像中央向外过渡到这两个矩形的边缘，MTF 的变化方式。

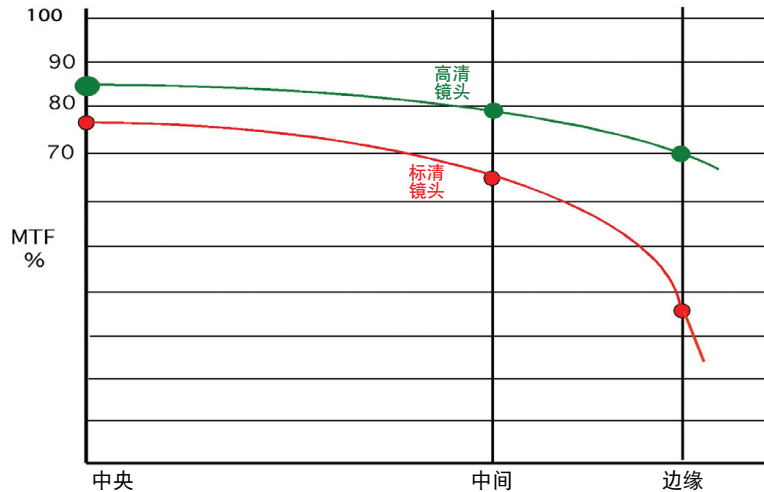


图 5：显示在 56 Lp/mm 的高空间频率下，成功提升高清镜头从图像中央到最边缘的 MTF 的水平，同时也显示标清镜头在指定通带以外，其 MTF 特性相差的程度。

变焦控制时的分辨率特性

变焦控制驱动会使镜头内的两组镜片彼此相对移动。实现所需焦距变化时，镜头特性会发生变化，特别是分辨率或 MTF，同时会发生各种光学像差。设计优化无法彻底消除这些不需要的变化，仅能使其降低到一定的程度。高清镜头设计倾尽全力在整个镜头频带内控制这些变化。标清镜头的情况同样如此，但只是在更窄的频带内控制这些变化。在 32 Lp/mm 极限以外，设计者讲究实效地拒绝添加高清镜头所需的复杂设计特性。因此，如果“点”测量在中央 56 Lp/mm 空间频率下进行，则可以对在镜头焦距内难以控制的标清镜头 MTF 特性与控制效果好很多的高清镜头进行一个比较，参见图 6。

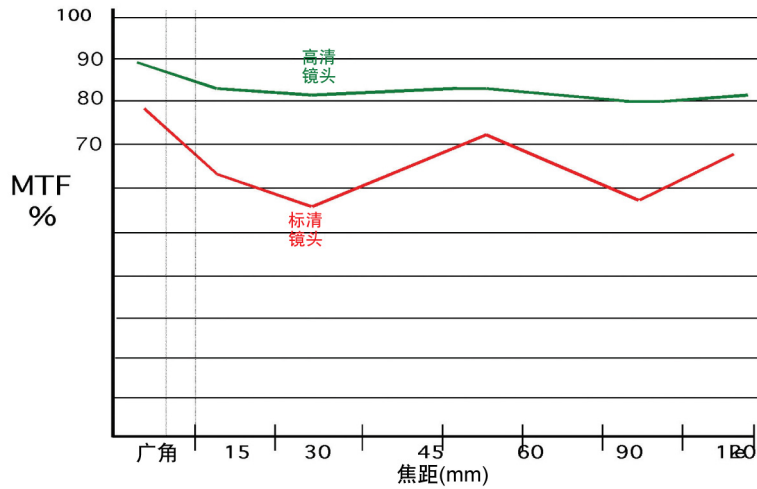


图 6: 显示在 56 Lp/mm 空间频率下, 两种镜头在变焦范围内的 MTF 特性。

聚焦控制时的分辨率特性

在拍摄时摄像机经常要清晰地聚焦某位人物, 这一人物又被要求移动到场地的其他位置, 而镜头的视角要保持不变(变焦控制无变化)。这时摄像机必须重新聚焦于这位处在新位置的人物。在这两次聚焦设置中, 镜头的 MTF 会有所不同。即镜头的 MTF 随物距发生一定程度的变化。此外, 也没有试图控制标清镜头在“频带外”区域的变化。

但是, 每次尝试重新聚焦都是在高清镜头扩展的光学带宽中进行的。普通高清镜头和标清镜头的典型相关特性如图 7 所示。

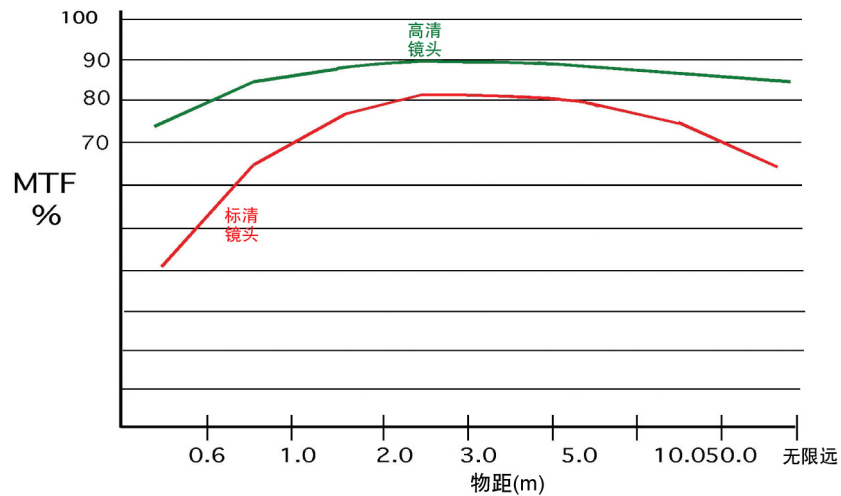


图 7: 显示物距为变量时这两种镜头在 56 Lp/mm “点” 频率下的 MTF 特性。

调节光圈时的分辨率特性

即使有人能够设计出真正完美的镜头，基本的亚波长衍射现象造成的分辨率限制也仍然存在。最终结果将是镜头光圈连续缩小(光圈逐渐关闭)时的那种镜头的特性，如图 8 中的黑色直线所示。实际上，没有完美的镜头，任何系统与这种性能完美的系统也是有差距的。图 7 显示了高清镜头和标清镜头在各自采用 f-4.0 设置时所存在的差别。

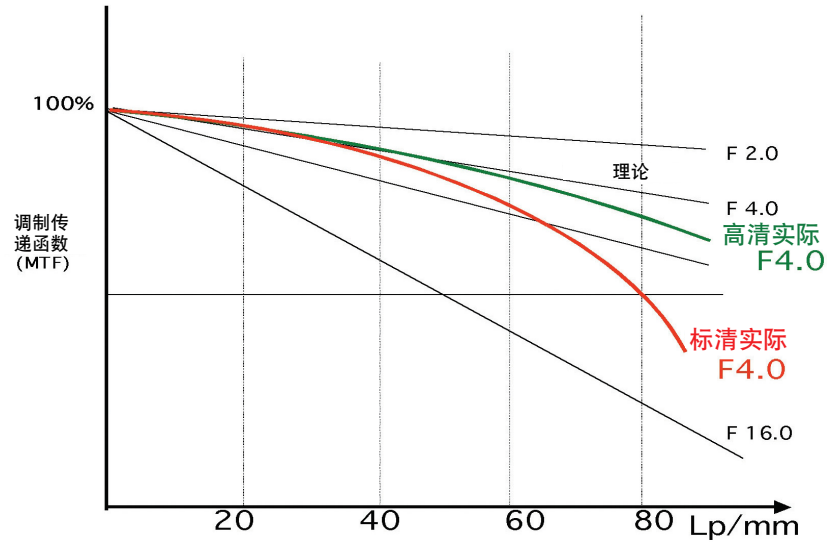


图 8：黑线显示理论上的完美镜头(仅受衍射现象的限制)在光圈关闭时分辨率会逐渐下降。在同一光圈设置下，这一情形在实际中的高清和标清镜头上表现更为突出。

结论

扩展光学带宽和提高决定高清成像的扩展通带 MTF 的目标并非无关紧要。这需要最佳的光学设计，为光学元件采用高品质材料，并且在制造中非常严格地控制生产工艺。标清镜头在更高空间频率范围下难以控制的特性(从未经过设计)会在拍摄中进行变焦、光圈和聚焦等正常操作控制时大大影响主观图像锐度。如果高清摄像机能够充分发挥在高清成像中的作用，利用其镜头应该可以得到最佳的物体图像。在这种情况下，标清镜头将不再适用于高清摄像机。反而是高清镜头将提高标清摄像机所拍摄图像的质量。