

# 数字电影摄像机

## 2/3英寸三图像传感器与35mm单图像传感器系统

作者: Larry Thorpe

数字高清(HD)电影制作(也称为“数字24P”)诞生于2000年,完全属于现有的2/3英寸画幅数字“视频”摄录一体机范畴。如果没有巨大的全球市场基础作为支撑,能否产生24P系统将难以预测。没有哪个制造商会冒险将巨额成本投到当时尚未明确的市场中。幸好,实际上无论是终端用户还是制造商,在前进的过程中都会不断了解市场情况。在2/3英寸“视频”摄录一体机的基础上,我们对用于影视制作的数字24P系统有了深入的了解。当然,现阶段24P数字拍摄已经十分成熟。

很多人认为,现在正是从数字24P提升到另一个技术层次的时机。长期垄断影视制作的35mm画幅仍然是制作人所采用的主要格式。35mm电影镜头存量依然十分庞大,众多的影视制作人仍钟情于这种镜头及其优良的成像性能(浅景深、光学速度及高分辨率等),这是普遍存在的现实。24P技术的成功有目共睹,很多制造商受其鼓舞,深信开发影视制作专用数字电影摄像机的时机已经成熟。这其中也包括原始2/3英寸24P系统的行业先驱——索尼公司。索尼公司与Panavision公司合作开发了一种单传感器的35mm数字摄像机——Genesis,现已在全球广泛使用。其他的大画幅单图像传感器摄像机包括加拿大Dalsa公司的数字Origin系

统、德国ARRI公司的ARRI D20数字35mm摄像机、加利福尼亚的RED以及新泽西Vision Research公司的Phantom HD和Phantom 65等。

### 35mm电影摄像机——简洁光学设计的行业典范与楷模

35mm电影摄像机是当今机械与电子工程技术发展缔造的杰出成果。经过全世界无数影视制作人几十年的实践应用,其设计日臻完美。水平已经达到了为满足各种创作需求而不断自我超越的顶峰。但是,电影摄像机的一个核心要素使其依然简洁而不失优雅——这就是光学设计。

图1显示了镜头-电影摄像机光学路径。其结构确实非常简单。摄像机使用标准的54mm口径不锈钢PL接口。电影摄像机中有一项机械公差要

求极为严格的重要尺寸。这就是摄像机镜头安装法兰平面与摄像机光圈挡片的机械平面之间的距离,后者紧贴胶片感光乳剂平面。光圈挡片平面也称为光圈平面。该尺寸称为法兰至光圈距离或法兰焦距。许多业内人士将其简称为“法兰距”。在工厂或车间中,利用测深规测量该距离,并通过在镜头接口和摄像机机身之间加减超薄金属垫片来精确地调整此距离。类似的方法也用于精确调整电影摄像机的后焦距。请注意,光学路径为从空气中传播的路径。

ARRI 35mm 电影摄像机规定的法兰焦距为51.99mm。对于 Panavision 接口,该尺寸为57.15mm。对于胶片本身,只允许保留0.01mm的微小间隙——以防弹性胶片材料移动而不可避免地出现轻微弯曲。因此,对于

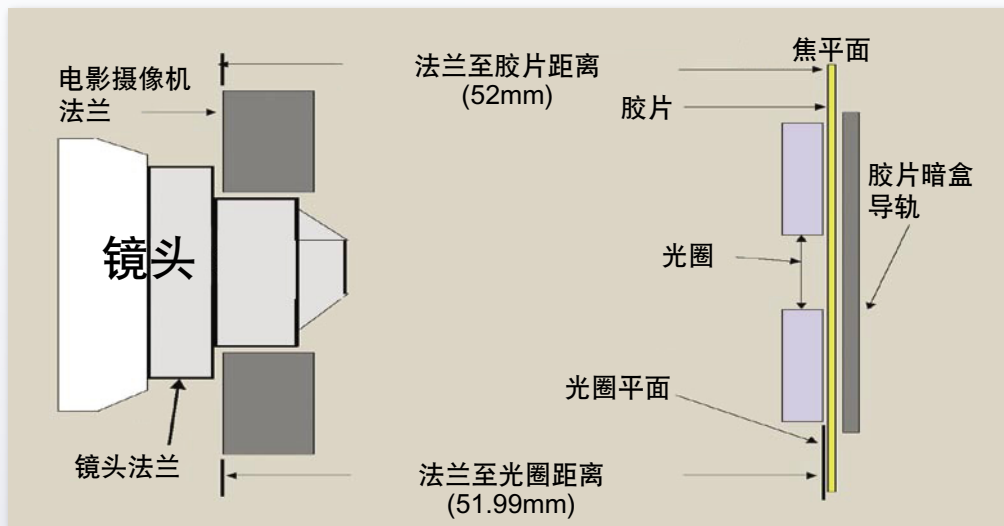


图1: 显示电影摄像机的典型光学路径。

ARRI，精确的法兰至胶片距离计算方法为： $51.99 + 0.01\text{mm} = 52\text{mm}$ 。

## 2/3英寸数字摄录一体机： 增长的动力

数字摄录一体机在两个不同的阶段模仿胶片电影摄像机，首先是成像（“拍摄”）阶段，然后是记录（“采集”）到物理介质的阶段。当前的数字摄录一体机采用微型固态图像传感器技术才得以实现。2/3英寸画幅诞生于二十世纪七十年代，远远早于固态CCD图像传感器。这是一种为开发最早的真实便携的视频摄像机而专门设计的画幅尺寸。这种画幅注定成为全世界最普及的规格，直至二十世纪八十年代中期CCD出现时，仍然畅行不衰。到二十世纪九十年代，首款2/3英寸高清摄像机问世。几年后，业内又开发出首款24P高清系统。

无论从哪方面说，2/3英寸画幅都是一种较小的图像规格。尽管2/3英寸的圆周直径几近17mm，但实际规定的画幅的对角线只有11mm，这对高清镜头设计提出了严峻挑战。在过去的十年间，世界各大光学制造商投入了大量成本对此进行研发，终于制造出性能优异的2/3英寸镜头。与此同时，高清摄像机图像传感器也在迅猛发展，现阶段有CCD和CMOS两种技术可供选择。

早期高清数字电影系统设计的基本理念是希望完全实现所有可用的高清镜头(电影和电视镜头)与所有2/3英寸画幅平台高清摄像机之间的互换性。国际标准的制定对于实现此目标具有极其重要的作用。在二十世纪八十年代后期，广播技术协会(BTA)

中的各摄像机制造商和光学器材制造商通力合作，在光学、机械和电气方面全方位解决了2/3英寸高清摄像机和镜头接口的问题。一项名为BTA S-1005 - A的国际标准最终于1994年问世。该标准规定将B4接口作为光机接口。EBU随后于2002年发布了相关的技术规格。该镜头-摄像机接口的国际标准是视频摄像机发展史上最早的标准，即使在十多年后仍然是此类产品的唯一标准。

个整体光学系统，每一部分都要具有最高的光学质量，以确保整体高清成像性能达到最佳，同时将光学像差降到最低。在较小的11mm对角线画幅中，降低光学像差更为困难。尽管如此，三图像传感器系统仍具备以下优势：

- 三个图像传感器结构简单，彼此完全相同——每个传感器都专门用于一种原色。在多种不同的高清摄像机上使用相同的图像传感器，可以获得规模经济效益。

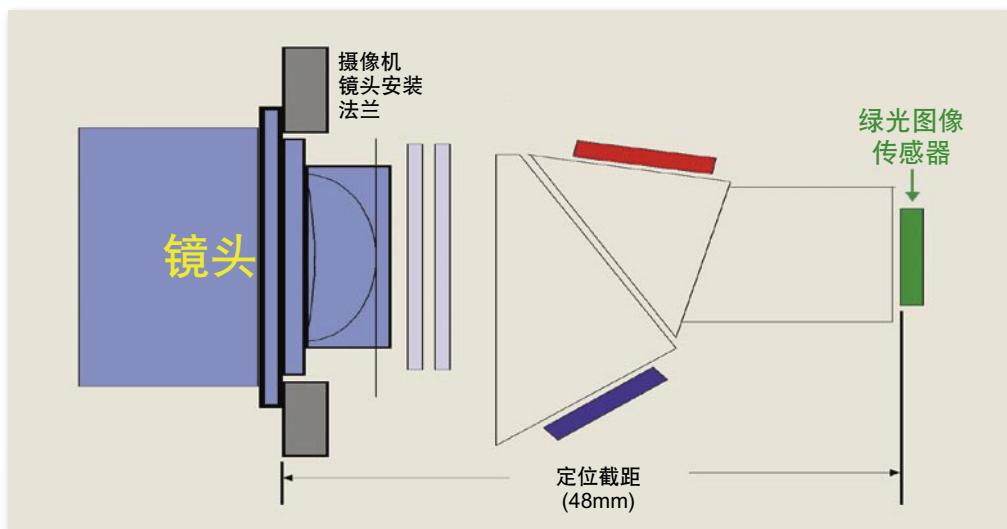


图2：显示带有重要分光棱镜的典型3CCD数字摄像机的光学系统。

## 2/3英寸数字电影摄像机—— 光学考虑因素

在三图像传感器摄像机中，物体图像通过一个分光棱镜分离出红光、绿光和蓝光，然后分别聚焦到三个2/3英寸的RGB固态图像传感器上。图2说明了数字24P高清摄像机的典型光学路径：RGB分光棱镜、两个传统的光学滤镜机构(一个用于ND滤镜，另一个用于色温控制)以及红外截止滤镜。

显然，该系统中的光学结构远比电影摄像机复杂。镜头和棱镜作为一

- 可以实现较高的光学灵敏度。
- 通过精密调整三个棱镜的光谱响应，可以实现卓越的色彩管理。

## 2/3英寸摄像机：定位截距尺寸

BTA/EBU标准中的一个关键因素是就48mm(选择此特殊尺寸是考虑未来棱镜光学材料的发展需要)的精确定位截距达成一致。分光棱镜模块当然有其自己的光学特性。在镜头设计中必须考虑这些因素。为了理解核心的设计理念，首先假定绿光

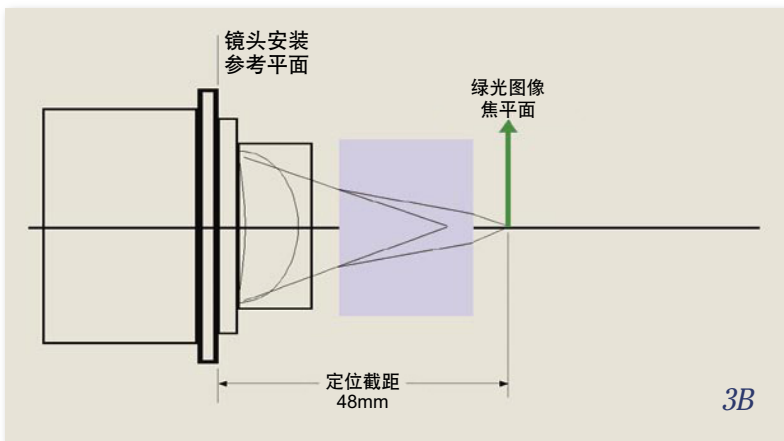
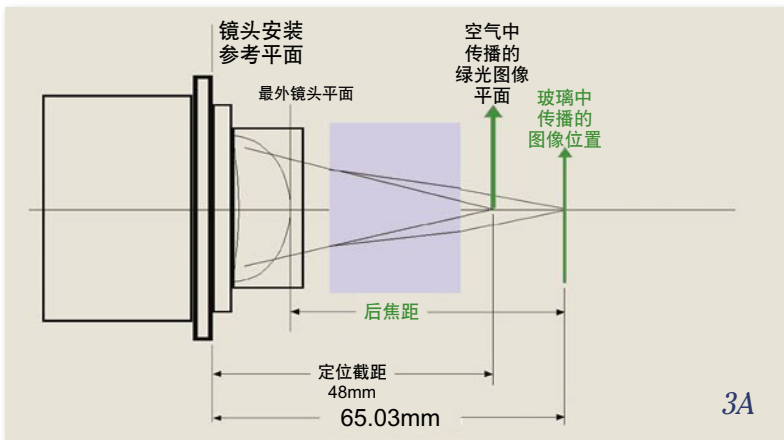


图3a显示了在未安装棱镜光学机构的状态下，镜头聚焦在CCD图像传感器上，此时空气中传播的定位截距为48mm——以及插入棱镜后导致焦距变化的情况。图3b显示了镜头重新聚焦以抵消棱镜光学路径长度的影响。

CCD安装于规定的48mm参考位置，并且光学路径中没有棱镜。如果将镜头调整到在绿光CCD上聚焦，就会生成一个物体图像(称为空气中传播的图像)，如图3a所示。现在插入分光棱镜模块，通过此光学系统的光线发生折射，导致焦距改变，如图3a所示。实际的焦点已经移动到距镜头安装参考平面65.03mm(假定此光学模块采用BAF-52玻璃材料)处的图像平面上。然而，摄像师丝毫没有意识到分光棱镜模块的影响。摄像师通过观察摄像机(在摄像机的电子寻像器中或单独的演播室监视器上)的数字视频输出，直观地对焦距进行调节，以确保图像精确地聚焦在绿光CCD上，如图3b所示。

绿光CCD图像传感器平面正好在48mm定位截距处，从而确定了摄像机的焦平面。因此，镜头聚焦环上的距离刻度标记必须考虑重新调节焦距的因素(对于棱镜模块)，并进行相应的标定。必须完全按镜头距离刻度标记进行精确的聚焦调节。然而，至少有一家光学制造商

愿意按照理论上的65.03mm玻璃光学图像平面来标定其聚焦环距离刻度。他们随镜头提供了背胶标签，在使用这些镜头时可以粘到对应的摄像机机身上，用以识别使用不同规格磁带时的焦平面。这里没有绝对的正确或错误。有些人认为，从光学角度考虑最好将65.03mm定义为焦距刻度标定的参考值。另一方面，数字24P摄像机制造商(无一例外)长期坚持BTA标准的观点，故而在其各自生产的摄像机身上标明48mm焦平面的位置。该平面与主聚焦图像平面完全重合。不论哪种情况，只要用户将所选镜头上的焦距刻度与摄像机机身上对应的标记配合使用，所有焦距标记方式都可以正常使用。

## 2/3英寸三图像传感器系统的色差

CCD和CMOS图像传感器都具有精密的二维采样阵列。这些传感器牢固地放置在棱镜模块的三个光线出口处。除了需要考虑镜头-摄像机的分辨率和色彩还原之外，2/3英寸高清镜头设计还必须解决色差问题和各颜色波长焦距差异的问题。镜头设计必须要解决不同颜色波长的光线聚焦点不同(纵向色差)的问题，这使得设计更加复杂。相应的放大倍率也受波长影响(横向色差)。所有镜头都具有残余像差——但是相比大得多的35mm画幅，这种色差在较小的2/3英寸画幅中更难以控制，尤其是在变焦镜头中。这种色差在高清

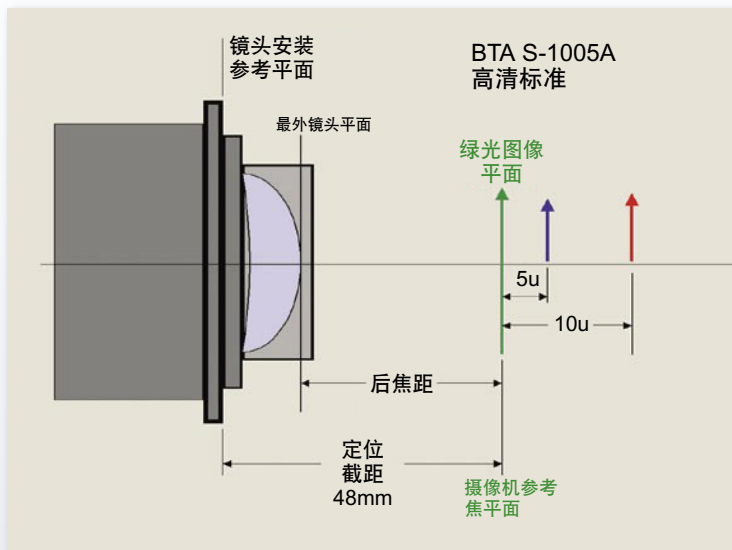


图4: 显示了蓝光和红光图像传感器相对于绿光传感器之间的标准偏移，用以辅助控制色差。

镜头-摄像机系统中也很常见。为了有助于在较大焦距范围内控制纵向色差，BTA/EBU标准规定了红光(10微米)和蓝光(4微米)图像传感器相对于绿光图像传感器的偏移，如图4所示。

各大光学制造商在长期研究多种变量的基础上，对各种设计要求的冲突进行折中取舍，最终就这些特殊数值达成一致。虽然这并不是最完美的解决方案，但还是显著地改善了色差问题。对于实现高清镜头与2/3英寸图像平台高清摄像机(无论哪个制造商)之间的互换性，这种折中方案是一个关键要素。

## 大画幅单图像传感器数字摄像机的光学考虑因素

新型大画幅数字图像传感器(通常与现有的35mm和Super 35mm画幅，甚至是更大的65mm画幅稍有不同)摄像机完全以35mm胶片电影摄

像机及其相关光学器件的物理和光学原理为基础设计制造。实际上，电影数字摄像机的设计尽可能地刻意模仿胶片电影摄像机——特别是可安装现有35mm定焦镜头和变焦镜头的能力，并在数字领域模仿其光学性能和特性(最突出的就是浅景深)。

数字摄像机都采用专有的单个大画幅固态图像传感器系统(CCD和CMOS)，其作用是对聚焦的物体图像进行光电转换(与此相反，胶片电影摄像机则是进行光化学转换)。这点与普遍流行的数码相机有些相似，只是图像采集速率(及相关的数字处理能力)要高很多。

与胶片电影摄像机相似，单图像传感器系统本身的光学结构十分简单。其中没有光学传递系统，像胶片电影摄像机一样，只有一个焦平面，因此可以使用相同的标准电影镜头。将滤镜插入光学路径中，分离入射光，使每一种原色投射到每一个对应

的传感器(按预定方式布置在传感器阵列上)，就可以实现所需的RGB色彩还原。为重构各RGB分量，需要在数字视频处理系统中进行精确的插值计算(不同的制造商分别采用实时与非实时技术)。

## 结论

2/3英寸三图像传感器摄像机是当前数字24P高清电影成像的主流。国际市场上大量存在各种类型的摄像机和镜头(仍在迅速地增长)，随之而来的巨大的研发投入将继续提高数字图像制作和存储能力，以及高清电视节目和影视制作的灵活性，所有这些因素结合在一起，可能会使这种形势长期持续。今天，市场上的产品日益丰富，而且每一代产品不断增添更多的功能，以响应众多使用24P的电影摄影师的建议。同样重要的是，目前市场上众多制造商大量生产2/3英寸镜头，包括定焦电影镜头、变焦电影镜头和高清“电视”镜头等。而且存量还在飞速增长。镜头-摄像机接口标准的制定也鼓舞全球的制造商开发2/3英寸画幅高清摄像机、摄录一体机及相关的高清镜头，并在迅速推动技术发展的同时，不断地降低成本。

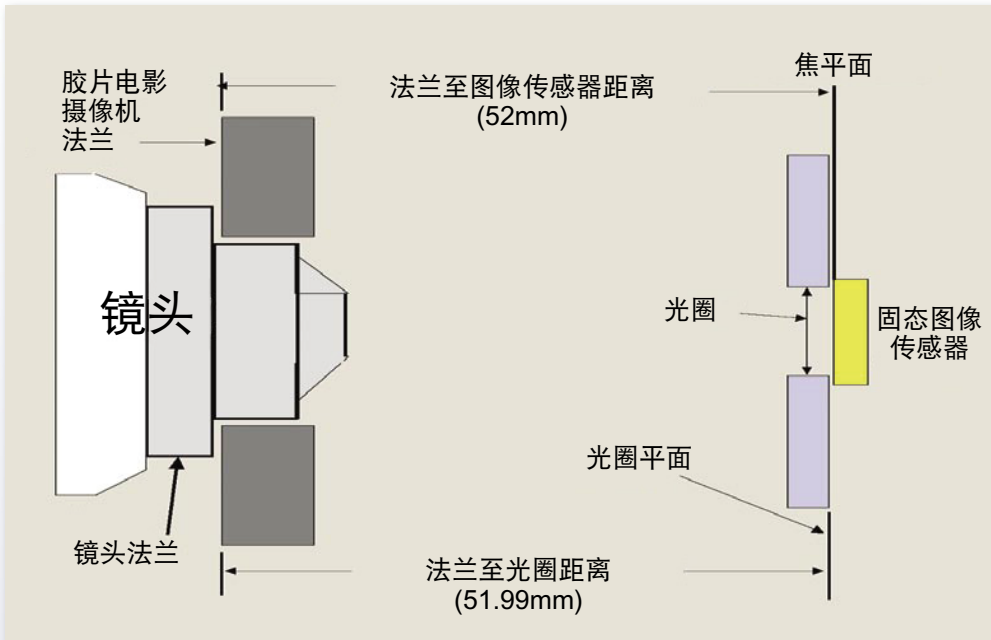


图5: 显示了胶片电影摄像机与单图像传感器数字摄像机之间的相似度。

第16页的总结。