

SONY®



CRYSTAL LED 黑彩晶
虚拟制作

白皮书

1.	引言	3
2.	LED 显示屏基础知识	5
	环境光反射	7
3.	屏幕显示测评	8
	摩尔纹可见性	9
	摩尔纹比较	10
	黑电平性能：黑电平压缩和条带	12
	视角表现：侧视角时的亮度和偏色	13
4.	进一步测试	17
	扫描线伪影	17
	色彩还原准确度	18
5.	工作流程指南	19
	计划和初步框架	20
	环境搭建与渲染	21
6.	结论	22
	技术方法	22
	总结	23

1 ■ 引言

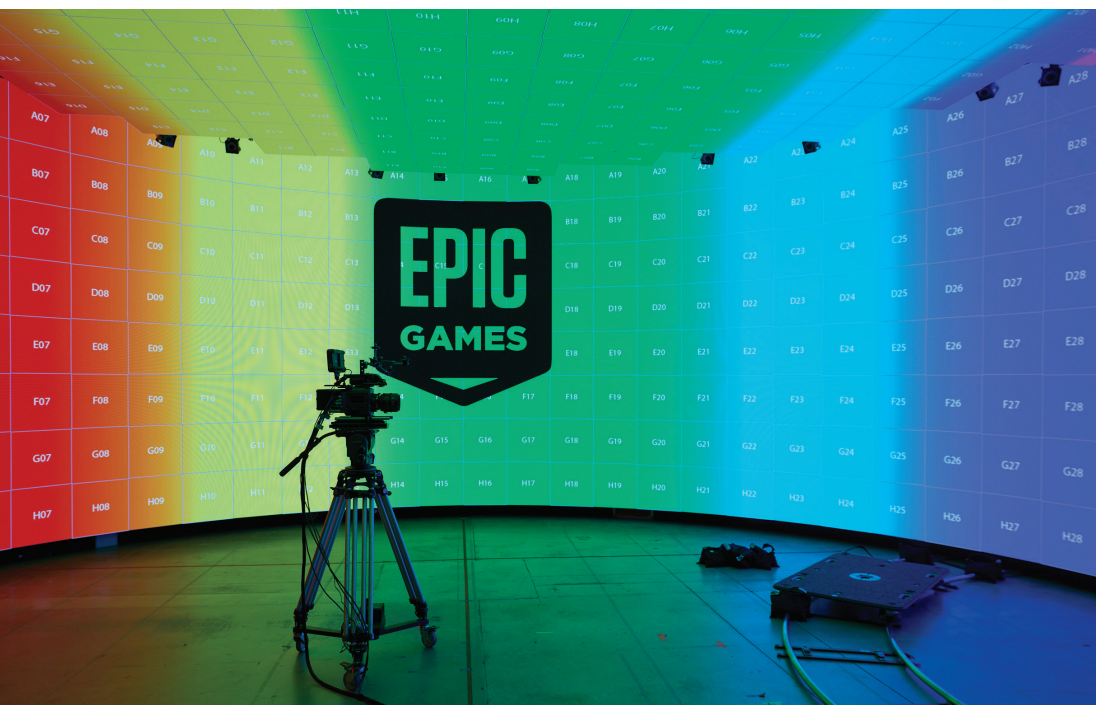
在一定程度上，新冠疫情导致需求增加，电影和电视剧组开始迅速采用虚拟制作和镜头内视效（ICVFX）技术。

借助科技，虚拟制作将虚拟世界与真实世界实时连接到了一起。通过虚拟制作，电影制作人能够像和实拍互动一样，与数字过程进行实时互动。虚拟制作的优势显而易见：不仅能改善工作流程的效率，也能提供更多的创意选择。但什么是虚拟制作？虚拟制作一词被广泛用于描述利用电脑辅助制片工具进行的制作流程，例如环境捕捉（资产扫描和数字化）、照片般真实的实时渲染，包括预演、表演捕捉（动作捕捉和体积捕捉）、协同工作摄影机（现场可视化），以及最为熟知的镜头内视效（ICVFX）。



本白皮书将重点介绍 ICVFX。ICVFX 是实时捕捉现场镜头内视效画面的过程，例如捕获 LED 屏幕内的视效。我们可以将这个流程理解为使用 LED 显示屏代替传统绿幕舞台，从而实时捕获镜头内的视效。在 ICVFX 的过程中，利用游戏引擎技术渲染 LED 显示屏上的背景画面，与此同时镜头捕获整个合成后的场景。以前可能花费几百个小时才能完成的场景构图、拍摄、渲染和合成，现在实时、镜头内、在现场就能完成。值得注意的是，无论是捕获 3D 环境（例如迪士尼的《曼达洛人》）还是使用 2D 素材（例如拍摄驾驶场景），镜头内视效都能够发挥作用。ICVFX 不仅能在单个布景中高效拍摄多个复杂场景，还能在许多其他方面发挥作用，例如实时捕获环境光和反射，减少了绿幕拍摄中所需的后期合成需求。

与任何革命性的新型制作流程一样，ICVFX 工作流程中也有一些技术方面需要进一步评估和技术分析。虚拟制作的最终‘效果’受到所选 LED 显示屏性能、所选电影摄影机，特别是镜头和传感器特性，以及实时渲染引擎、运动跟踪系统和棚拍灯光相互之间的影响。



为了解这些因素相互之间如何影响虚拟制作，索尼电子与 EPIC Games 和行业内其他专家合作，进行了一系列测试。测试目的在于更好地理解这些系统全方位性能表现，评估这些参数如何影响虚拟制作的质量和流程。

EPIC Games 测试设备前的索尼 CinaAltaV (国外称 VENICE)

(<https://youtu.be/hG8VWdynZIA>)。本次研究，我们将 Crystal LED 黑彩晶“B 系列”屏幕作为基准，它是专门为虚拟制作打造的小点间距、高质量的 LED 显示系统，由索尼电子和索尼影视娱乐共同开发。我们的测试结果为系统如何设计能够尽量避免不理想的结果提供了宝贵的见解，不理想的结果包括可见摩尔纹、不良黑电平性能和偏轴的偏色。

在这份白皮书中，我们将回顾这些因素，探讨它们对成片的潜在影响，并将 Crystal LED 黑彩晶的性能与其他主流的 LED 显示屏产品进行比较。



2 ■ LED 显示屏 基础知识

我们首先简单介绍下用于虚拟制作屏幕的显示技术。直视型 LED（发光二极管）显示屏由密集的像素矩阵构成，每个像素包含一个单独的红、绿、蓝（RGB）LED 芯片。

用于虚拟制作的屏幕的像素间隔，即点间距，通常在 1mm 和 4mm 之间。由于小点间距屏幕的单位面积成本（每平方米）更高，大点距屏幕通常用于需求不那么高的地屏或顶屏，或超大型舞台的背景屏。

另一方面，较小型舞台，例如宽度约为 8 米或以下的舞台，需要更小的点间距，通常在 1.25mm 至 2.5mm，从而避免在正常拍摄距离内镜头捕捉到单个像素点。

将 LED 芯片装贴到箱体内的基板上来制造 LED 显示屏。将箱体从上到下并排安装到坚固的结构框架上，小心对齐，避免出现可见接缝或缝隙。在虚拟制作阶段，框架可能是平的，但通常会被设计成围绕置景区域的向内凹的弧形。通过游戏引擎传送视频图像，如 EPIC Games 的“虚幻引擎”，将图像分割并从一个或多个 LED 显示控制器分配到许多 LED 箱体。

在现代世界，VFX 驱动的项目中常见利用 LED 技术。标准 LED 由一个半导体光源组成，直径大约为 1mm，当电流通过时，会发出一定波长（颜色）的光。小点间距 LED 显示屏使用了 mini-LED 技术，LED 芯片的直径小至 200 微米，更高密度的小点间距显示屏目前可采用尺寸小至 20-100 微米的 LED 芯片。使用这些芯片，即使中等尺寸的面板也能显示高清晰度图像。这些“标准”（或无机）LED 与有机 LED（OLED）和液晶显示器（LCD）的性能和表现有所不同。Mini-LED 和 LED 技术具有出色的对比度、色彩还原、广视角、高亮度、稳定的性能和长使用寿命，特别适合用于虚拟制作。

我们在评估中使用了索尼 Crystal LED 黑彩晶 B 系列产品，该产品有 1.26mm 和 1.58mm 两种点间距。Crystal LED 黑彩晶 LED 芯片非常小。这使得黑色占据更多的显示面积，LED 发出的光只占像素面积的一小部分。Crystal LED 黑彩晶表面应用特殊的涂层，实现更高的对比度和摩尔纹表现。

20 年来，LED 显示屏不断发展，画面质量不断提高，点间距不断缩小，且成本不断降低。这些 LED 显示屏大多用于公司会议室标牌、零售展示，甚至是影院。近几年来，LED 显示屏也被用于重要的观看用途，如高端制作放映室、协作设计中心以及摄影制图和数据分析工具。

尽管 LED 显示屏已用于多种用途，但 ICVFX 对所用 LED 显示屏的性能的需求与其他用途不同，其中尤其重要的是屏幕对表面环境光的反射、对低灰度级的表现能力及色彩准确性，特别是保证从正面和侧面角度观看时图像一致性的能力，以及其他特性。





不受光干扰的图像



明显受到光干扰的图像

环境光反射

本质上，常规的摄影棚环境包括来自摄影棚灯具和现场灯光的大量环境光。为避免镜面反射、眩光或过曝的对比度，重要的是 LED 显示屏表面要漫反射环境光，尽可能减少返回摄影机的镜面反射部分。索尼这个系列的其他产品 C 系列型号为改善黑电平性能和对比度保持了

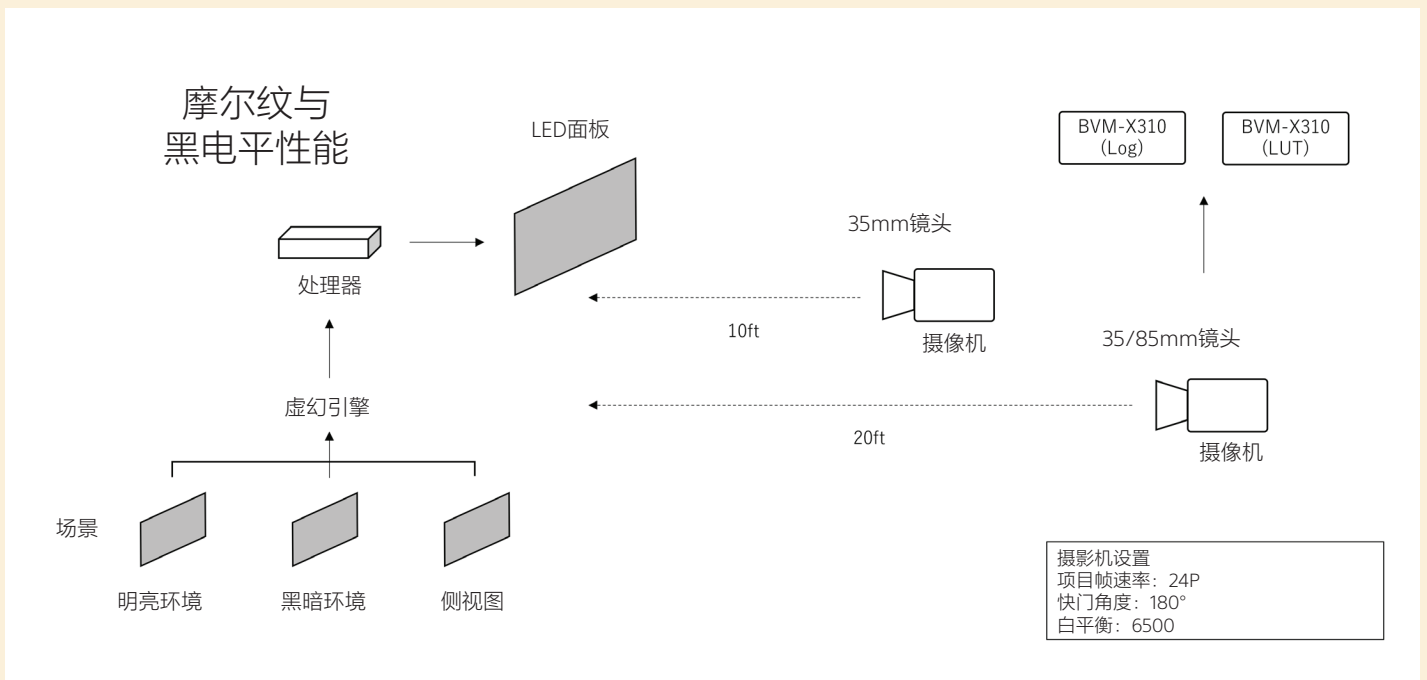
较高的镜面反射率等级，而 B 系列显示屏为了减轻镜面反射的影响而设计成低反射率，对比之下，当使用鲜映性值（DOI）测量时，B 系列显示屏的测量值为“0”，表示有非常出色的防镜面反射效果。

3. 显示屏测评

虽然理解屏幕和摄影机之间相互作用的理论背景很重要，但现场测试对于确保素材没有伪影也至关重要——伪影需要在主要拍摄完成后进行修正，会减少现场捕捉最终像素的潜在好处。

接下来介绍我们测评的程序和结果，希望能为将来从事这些工作的相关人员提供有益指导。

前两个测试中，用到了以下测试装置，测试得以在两个不同的拍摄距离和两个不同的镜头选择下进行。





摩尔纹可见性

摩尔纹是由相互叠加的类似图案之间的相互作用引起的一种不良干扰图案。在虚拟制作中，我们结合使用拜耳阵列排列传感器的电影摄影机和类似网格排列二极管的LED显示屏。像素间距、相机传感器元件的密度、拍摄距离、镜头焦距和景深之间的关系都会影响到摩尔纹在拍摄中是否可见。

为主观评估索尼 Crystal LED 黑彩晶屏幕（1.26mm 点间距）与另一台用于虚拟制作的常规 LED 显示屏（2.8mm 点间距）相比，其摩尔纹的可见性，我们分别从 10 英尺和 20 英尺的距离拍摄了几张测试图像，并移动焦点通过屏幕平面，观察何时会出现摩尔纹。在

这次比较中，我们同时使用了一台搭载全画幅 CMOS 传感器的索尼 CinaAltaV 6K 电影摄影机和另一台也搭载类似全画幅 CMOS 传感器的主流电影摄影机。

因为索尼 LED 显示屏的小点间距和 LED 芯片表现，所以在大部分情况下，摩尔纹可见性都更少一些。虽然使用较浅的景深使摄影机散焦或许有助于降低摩尔纹可见性，但创意性选择也会受限。包括摄影机中光学低通滤波器（OLPF）的设计等在内的其他因素也会影响摩尔纹的可见性，因此在为特定拍摄选择最佳解决方案时应考虑这些因素。

摩尔纹比较

CineAltaV & Crystal LED 黑彩晶 10 英尺拍摄距离



- 在窄的焦点范围内，摩尔纹明显

CineAltaV & 2.8mm LED 10 英尺拍摄距离



- 在较广的焦点范围内，摩尔纹明显

同等条件下的全画幅电影摄影机 & Crystal LED 黑彩晶

10 英尺拍摄距离



■ 摩尔纹：在整个焦点范围内非常明显

同等条件下的全画幅电影摄影机 & 2.8mm LED

10 英尺拍摄距离



■ 摩尔纹：从远至近的焦点范围都非常明显

黑电平性能：黑电平压缩和条带

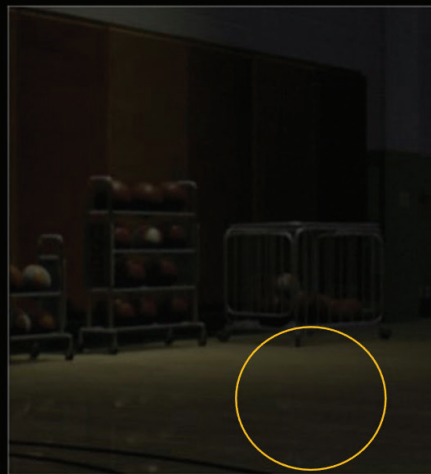
LED 显示系统通常使用脉冲宽度调制 (PWM) 驱动每个 RGB 子像素发出的光量。在 PWM 下，脉冲宽度较短，LED 发光的时间比例较低，因此看起来较暗。在虚拟制作中的常规 LED 显示屏中，可实现的低灰度等级受到 PWM 脉冲宽度的限制，结果就会“压缩”对低照度（通常表现为阴影细节）的还原。这种现象通常在低于某个底线时发生，通常为 0.01 至 0.02cd/m²（尼特）的范围内，低于这个底线，所有的 LED 像素都完全关闭，只显示漆黑画面。索尼 Crystal LED 黑彩晶通过调节 LED 发射还原更低的黑色电平，能够避免这个问题，从而实现突出漆黑与暗区的丰富视觉表现，对比度达 1,000,000: 1 以上。

条带是一种出现在色彩渐变区域的伪影，呈明显的带状而非平滑过渡，它是由于缺乏足够的色彩分辨率导致的。当没有足够的比特深度来编码每个增量的亮度变化时，就会出现条带伪影。结果导致渐变部分出现可见的过渡或“条纹”，在摄影机上表现非常明显。索尼 Crystal LED 黑彩晶系统采用 22 比特内部处理流程，经证明可以消除常规虚拟制作环境中的带状伪影。当然，为避免产生任何带状伪影，必须注意在从源头渲染器到图像处理再到显示屏的整个信号链中保持高比特深度的信号。

CineAltaV X “暗场景”CineAltaV 与以下结合



2.8mm LED



1.5mm LED



CLED

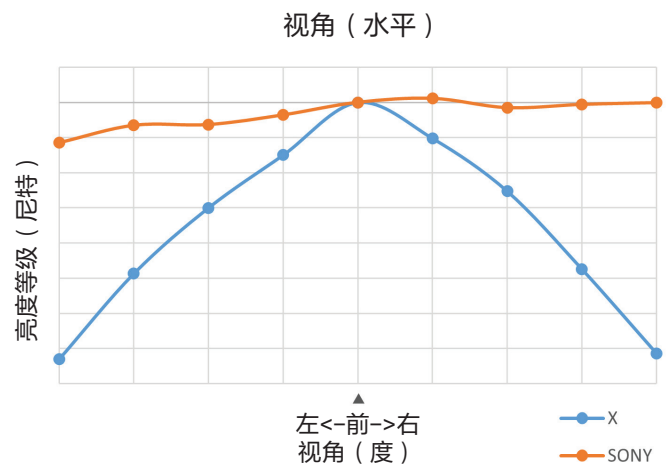
在低渐变下 Crystal LED 的表现更出色

角度响应：侧视角时的亮度和偏色

LED 像素的特点包括各向异性发射。用通俗的话来说就是当您从侧面观看显示屏时看到的 LED 光线会发生变化。

由于 LED 半导体的特性，像素的亮度（或明亮度）将随观察位置而变化。在常规的虚拟制作 LED 显示屏中，与从显示屏正前方观看相比，当视角偏离轴 60 度时，明亮度等级将降低约 50%。然而，Crystal LED 黑彩晶显示屏使用非常小的 LED 芯片，将 LED 安装在基板上，因此从多个水平角度观看，亮度都非常均匀。

同样，常规的 LED 显示屏的色彩表现也会随着视角的变化而变化。例如，在 LED 显示屏上显示平面白色图像时，通常会观察到在一定视角范围内的从洋红色到青色的偏移。索尼 Crystal LED 显示屏的 LED 芯片尺寸和点间距较小，从而有效地降低了颜色偏移。

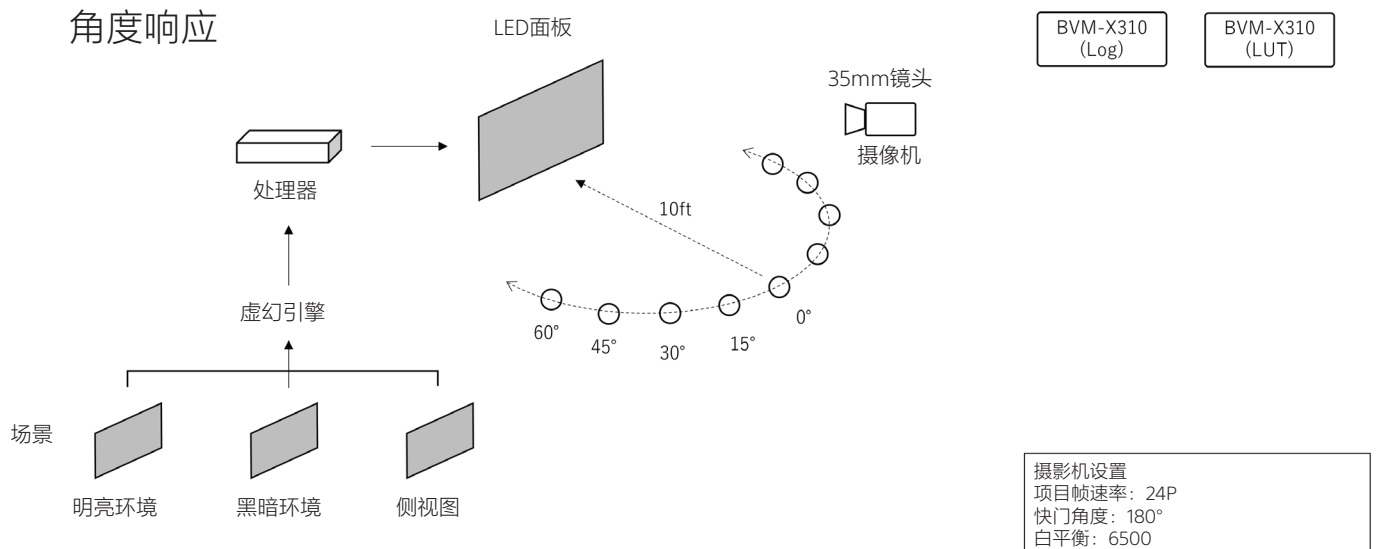


由于 LED 半导体的特性，像素的亮度（或明亮度）将随观察位置而变化。在常规的虚拟制作 LED 显示屏中，与从显示屏正前方观看相比，当视角偏离轴 60 度时，明亮度等级将降低约 50%。然而，Crystal LED 黑彩晶显示屏使用非常小的 LED 芯片，将 LED 安装在基板上，因此从多个水平角度观看，亮度都非常均匀。

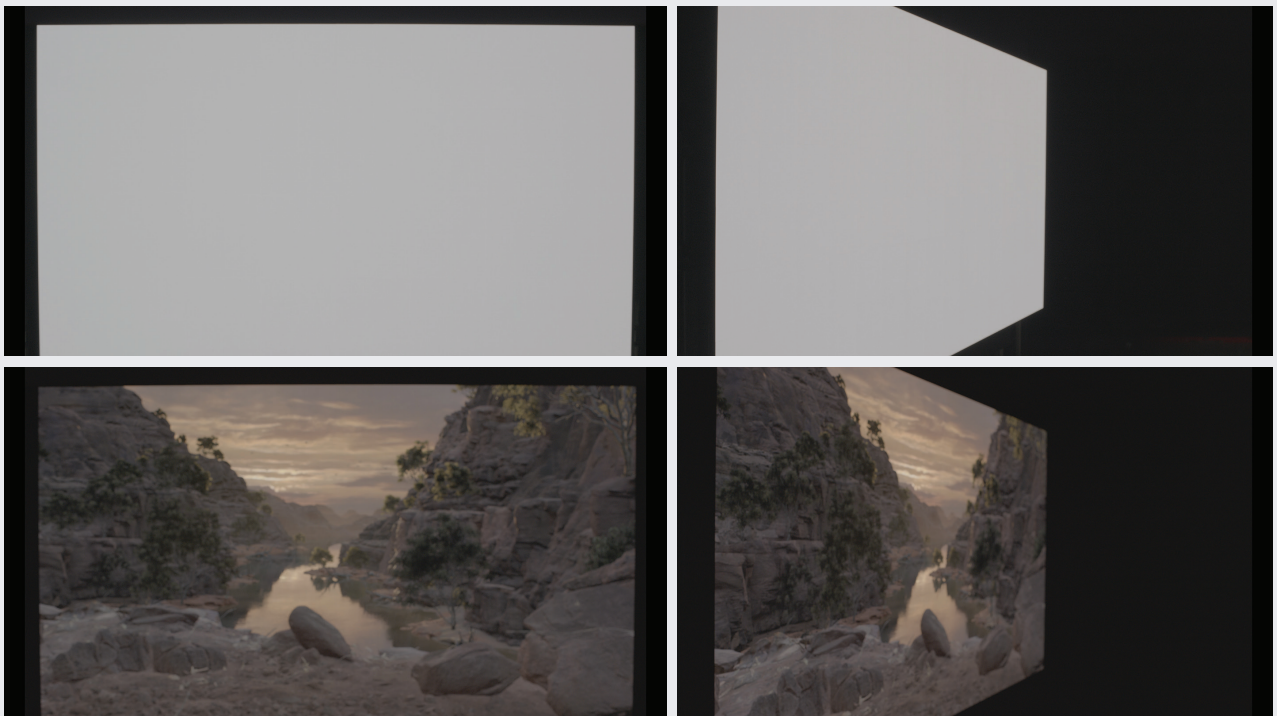
同样，常规 LED 显示屏的色彩表现也会随着视角的变化而变化。例如，在 LED 显示屏上显示平面白色图像时，通常会观察到在一定视角范围内的从洋红色到青色的偏移。索尼 Crystal LED 显示屏的 LED 芯片尺寸和点间距较小，从而有效地降低了颜色偏移。

能够以与摄影机轴线成大夹角的方式捕捉 LED 背景图像，而不必担心颜色偏移，这将有助于减少制作过程中的拍摄限制，和充分利用 LED 屏幕空间。

测试侧视角性能表现时，使用摄影机滑车和轨道对多个显示屏重复进行相同的测试程序。留下标记，将特定摄影机与显示屏成特定角度放置，这样以后就可以在不同的技术组合间直接评估这些画面。



CineAltaV & Crystal LED 黑彩晶角度响应



0 vs 45° 侧视角性能。在画面中很难察觉到色彩偏移。

CineAltaV & 行业的标准 LED

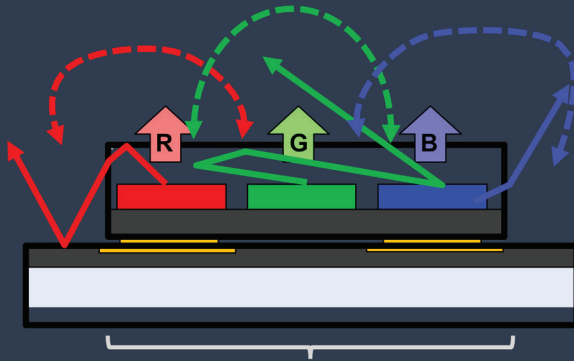


0 vs 45° 侧视角性能。在画面中色彩偏移明显，但在照片中很难感知到。

在侧视角性能的主观分析中，显而易见，相较对比 LED 产品，Crystal LED 黑彩晶 B 系列显示屏的广视角响应组合明显保持了更稳定的色彩表现。这种能力是由 LED 二极管的尺寸和它们在显示屏基板上的安装方式实现的。目前行业内基于 SMD 的设计创建了一些区域，在这些区域中，各个二极管之间以及二极管与其安装“封装”之间相互作用，影响了显示屏的发光效果。索尼的 LED 技术使显示屏均匀射出光线，接近“朗伯”或均匀的光线模式。

当前行业

窄视角，可见侧视角色彩分离

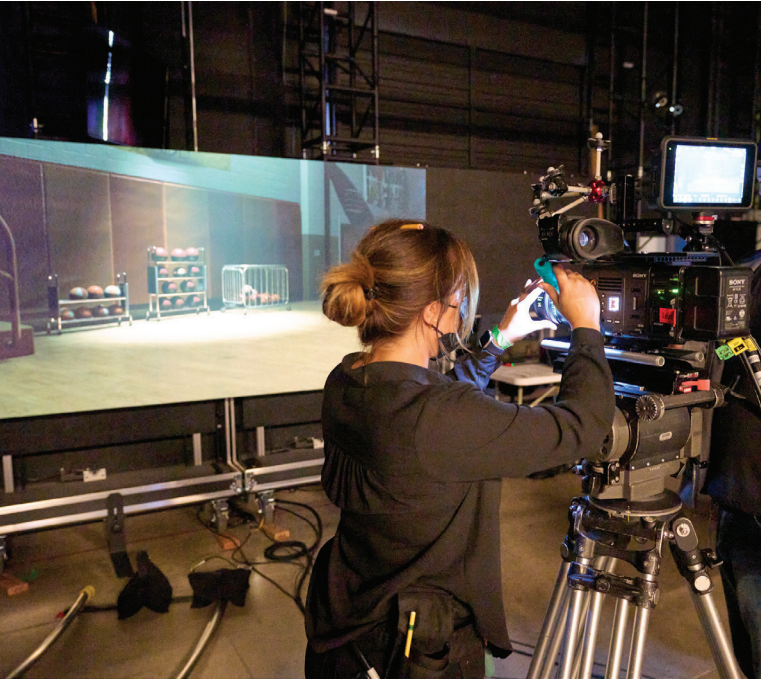


索尼科技

广视角，色彩均匀



4. 进一步的测试



我们在分析过程中还进行了其他测试，得到了不确定或不连续的结果。接下来我们将回顾这些测试所用的方法，未来研究计划将提供更具体的结果。

扫描线伪影

与现代几乎所有类型的显示屏一样，LED 系统使用的扫描技术也是按顺序照亮像素，并非同时照亮像素。将扫描频率和序列模式与摄影机快门结合，会产生不良和恼人的伪影，例如扫描条或扫描线。在许多 LED 显示屏中，摄影机集成系统需要具备将刷新率与外部信号发生器同步的能力。另外，许多支持虚拟制作工作流的 LED 控制器允许对传至摄影机快门的显示屏刷新率进行微调，索尼 ZRCT 控制器就包含这种功能。

在测试中，我们发现许多变量影响扫描线伪影的存在，而在某些情况下，难以通过现场监测识别伪影，这使情况更加复杂。摄影机位置和角度、运动、运动速度、快门速度和角度、显示屏刷新和复用率以及渲染平台设置等条件都影响着伪影的出现，需要通过更多评估确定系统配置，持续防止出现伪影。



色彩还原精准度

在现场虚拟制作中，保持创作意图依赖于从虚拟背景渲染流程至显示屏的整个环节的可靠色彩还原。LED 显示屏本身必须包括能够发射红、绿、蓝光的 LED 像素，光的波长应适合于还原全部色彩空间且确保整个图像的高度一致性（也称为均匀性）。无论是相邻像素之间的差异还是不同箱体之间的差异，缺乏色彩精度可能会在摄影机上非常明显。在某些情况下，环境温度也会导致色彩偏移（导致安装在影棚地板附近的像素与天花板附近的像素不同）。

LED 显示屏的宽色域色彩还原和一致性将有助于支持摄影机的色彩灵敏度，使摄影导演能更自由地创造场景所需的特定“效果”。

其他用途的 LED 显示屏的设计，如音乐会巡回演出、会议室和标牌，通常不会达到虚拟制作环境所需的准确度。索尼 Crystal LED 黑彩晶系统组合利用组件选择、校准和图像处理，确保高度色彩还原准确度，使显示屏达到内容创作者在高规格的审片室中使用的标准，例如后期制作公司使用的审片室。

虽然可以用既定的标准和客观测量判断显示屏的色彩表现，但人们发现，可以基于其他变量，如摄影机的色彩表现、现场灯光和创作意图，评估现场显示屏的性能，而且主观测量因素在这些环境中比在客观评判更重要。正是由于这个原因，需要通过更多研究收集和分享有用的结果，特别是显示屏与摄影机性能和创作意图相匹配的能力，来达到令人满意的水平。



5

■ 工作流程指南



**使用小点间距 LED 屏幕
与高分辨率高宽容度摄影机的组合为内容创作
提供了新的创意可能性。**

对于 DP 来说，这种紧密配合将为动态范围和颜色管理提供更具创造性的空间。对美术指导和置景师来说，能用更多有纹理细节的道具。灯光设计师可以利用清晰的、宽色域发光显示屏给棚里增加实用照明。制片人将会感受到景别间更快速的变换。

任何制作过程都是不同的，所以不可能归纳出适合虚拟制作的“最佳”工作流程，但我们建议在制定制作工作流程时考虑以下因素：

规划与初步框架

应根据所需的摄影机位置（拍摄距离）和镜头焦距选择 LED 屏幕的面积和点间距。一般来说，为避免出现伪影，靠近屏幕拍摄时需要更小的点间距。

摄影机在找相对于 LED 显示屏的位置时，应考虑 LED 显示屏固有的侧视角偏色。从不同角度观看时，屏幕不会出现亮度或颜色偏移，这将使机位、滑车和摇臂的调度更加灵活，同时也能使更多棚里的区域得以利用。

调度也应考虑摄影机的位置，避免出现摩尔纹伪影。可能需要将场景中的物体尽可能远离 LED 显示屏放置，以便 LED 像素充分散焦，避免出现摩尔干扰条纹。如果做不到这一点，则应该选择更小点间距的 LED 显示屏，避免背景对焦时出现摩尔纹。采用搭载不同 OLPF 光学元件的摄影机也可以减少摩尔纹。

正确对齐和校准 LED 显示屏始终至关重要。应特别注意物理对齐，避免可见的箱体接缝或间隙，确保色彩准确性和均匀性、亮度水平和灰度准确性。

棚内照明设计应注意避免灯具在 LED 显示屏表面的直接反射，因为摄影机上可能会拍到镜面反射。应该使用环境光反射低的 LED 显示屏。

环境搭建与渲染

为充分利用高分辨率摄影机和显示屏的功能，虚拟美术部门（VAD）应寻求利用目前最优质的资产。在某些情况下，这可能需要用高分辨率相机捕捉 2D 素材，在另外一些情况下，可以使用类似的高性能相机和传感器扫描现实世界的物体，将逼真图像作为三维物体直接导入到虚拟环境中。

建立一个从渲染引擎到显示屏的成像流程，保持足够高的比特深度，避免出现带状伪影或黑电平压缩伪影。要注意信号格式转换，或从铜线到光纤连接的转换，这都可能会导致意外的信号衰减或信号量化。

时间性伪影，即由 LED 刷新率和相机快门之间的时间误差导致的伪影，可通过适当的同步图像处理避免，或通过使用具有一定宽容度的 LED 显示屏避免出现扫描问题。某些 LED 控制器（如索尼 ZRCT-300）具有微调 LED 刷新率的功能，可以消除相机快门和 LED 刷新交互产生的扫描线伪影。



6 结论

技术方法

大多数商业化 LED 显示屏使用几乎相同或非常相似的第三方组件和设计配置，其中包括利用排列在表面贴装元件（SMD）外壳中的 mini-LED 大小的芯片、2.5mm 至 4mm 的像素间距、现成的驱动电路和图像处理芯片以及带有环氧树脂封装的印刷电路板（PCB），从而减少表面反射。

测试虚拟制作现场时，索尼 Crystal LED 黑彩晶显示屏明显有多个设计属性，为虚拟制作提供实用的好处。例如，Crystal LED 黑彩晶采用先进的配置，结合更小的

点间距（1.26mm）和更小的 LED 芯片，显示屏的每个像素面积中绝大部分为黑色。明显的好处是减少了可见的摩尔纹，消除了可见的侧视角颜色和亮度偏移。

第二，专有图像处理和扫描配置能够提高低灰度级性能，减少时间相关的扫描伪影。

第三，LED 面板抗反射表面处理工艺，提供了即使在侧面观看时，也有很出色的亮度和均匀度，和非常低的屏幕表面环境光反射。

总结

虚拟制作，特别是镜头内视效，对 LED 显示屏和电影摄影机有着新的性能要求，其中大多数技术属性为我们所熟知，比如像素均匀性、亮度、黑电平性能、侧视角偏色和扫描伪影，但尚未探讨这些规格对虚拟制作带来的具体影响。

我们采用客观和主观措施进行了一系列实际测试，了解了 LED 的哪些性能最重要，以及它们对保持创意性的益处。在我们的测试中，索尼 Crystal LED 黑彩晶的小

点间距和微粒 LED 配置显示出明显优势。它能实现更宽的景深，可将被摄体靠近显示屏放置而不产生摩尔纹伪影，也可以从侧面拍摄背景场景，它能让创意更加灵活。事实证明，CineAltaV 电影摄影机原装的传感器配置是对索尼 Crystal LED 黑彩晶显示屏的理想补充。

总之，我们认为这些电影级工具将为未来的虚拟制作工作流程带来明显益处。



特别致谢：

我们要感谢以下组织和个人奉献自己的时间投身支持我们的测试工作：

- Epic Games

SONY®



索尼集团公司版权所有。
未经书面许可严禁复制全部或部分內容。
性能和规格如有变动，恕不另行通知。
屏幕画面为模拟图。
重量和尺寸数值均为近似值。
“SONY”为索尼集团公司注册商标。
其它所有商标均为其所有者财产。

在各地区特定型号的可用详情，请访问索尼专业系统网站或咨询当地索尼代表处。

索尼（中国）有限公司之
索尼中国专业系统集团

总部 & 北京：北京市朝阳区新源南路1号
平安国际金融中心商业栋3层301室
电话：010-84586000

上海：上海市黄浦区湖滨路222号
领展企业广场一座8楼
电话：021-61216121

广州：广州市天河区华夏路26号
1101、1107、1108
电话：020-38102166

索尼专业产品服务热线：400-810-2208
<https://pro.sony>