

## 解惑 mini-LED 中像素间距，分辨率和屏尺寸之间的关系

李刚

深圳大道半导体有限公司

**摘要：**在讨论与 micro/mini-LED 相关的显示技术与产品时，经常会引用到分辨率，像素间距，像素密度，和屏尺寸等物理参数，文章试图给出它们的基本定义，以及它们之间存在的关联关系。

## 1 显示元件的像素间距与观屏距离的关系

当  $1^\circ$  人眼视场角中有 57.6 个像素时，人眼就分辨不出像素点的存在，可以达到真正视网膜级别的观赏体验。一般而言，人眼的单眼水平视角约为  $150^\circ$ ，垂直视角  $120^\circ$ ，按  $1^\circ$  人眼视场角内 60 个像素计算，要达到真正视网膜级别的单眼显示元件所需要的分辨率为  $9000 \times 7200$ ，双眼显示元件所需要的分辨率为  $18000 \times 7200$ ，分别达到 8K 和 18K 分辨率标准。如果显示元件的尺寸为  $1.8 \times 0.72$  寸，则像素间距为 2.54 微米。

在相同水平视角和垂直视角范围内，落到人眼视网膜内的像素点数随着人眼与显示元件之间距离（简称：观屏距离）的增加而增加。苹果定义的视网膜显示元件为：在 10~12 寸的观屏距离下，当像素密度  $>326\text{ppi}$  时，人眼的视网膜就无法分辨显

显示产品类别	观屏距离 (m)	像素间距 (mm)	像素密度 (PPI)
可穿戴显示屏	<0.05	<0.02	>1514
中小尺寸电视 与 LED 显示屏	0.25	0.07	339
	0.35	0.1	244
	0.7	0.21	123
中大尺寸电视	1.0	0.29	87
	2.0	0.58	44
	3.0	0.87	29
室内室外大尺 寸 LED 显示屏	4.0	1.17	22
	5.0	1.46	17
	7.0	2.04	12
	9.0	2.62	10
户外长距离 LED 显示屏	10	2.91	9
	12	2.5	7
	15	4.36	6

表一：在不同观屏距离下，达到视网膜级别观赏体验时所能允许的最大像素间距和最低像素密度。

示屏上的像素点了，可以达到神奇的视网膜级别观赏体验。

由表一可知，对观屏距离通常 $< 0.05\text{m}$ 的可穿戴显示显示屏，要达到视网膜级别的观赏体验，显示元件所能允许的像素间距 $< 0.02\text{mm}$ ，像素密度 $>1514\text{ppi}$ 。

对观屏距离通常 $0.25\sim 0.7\text{m}$ 的中小尺寸电视与LED显示屏，如笔电，PAD，车载、电竞、电脑等，要达到视网膜级别的观赏体验，显示元件所能允许的像素间距 $0.07\sim 0.21\text{mm}$ ，像素密度 $123\sim 339\text{ppi}$ 。

对观屏距离通常 $1.0\sim 3.0\text{m}$ 的中大尺寸电视，要达到视网膜级别的观赏体验，显示元件所能允许的像素间距 $0.29\sim 0.87\text{mm}$ ，像素密度 $29\sim 87\text{ppi}$ 。

对观屏距离通常 $4.0\sim 9.0\text{m}$ 的室内室外大尺寸LED显示屏，要达到视网膜级别的观赏体验，显示元件所能允许的像素间距 $1.17\sim 2.62\text{mm}$ ，像素密度 $10\sim 22\text{ppi}$ 。

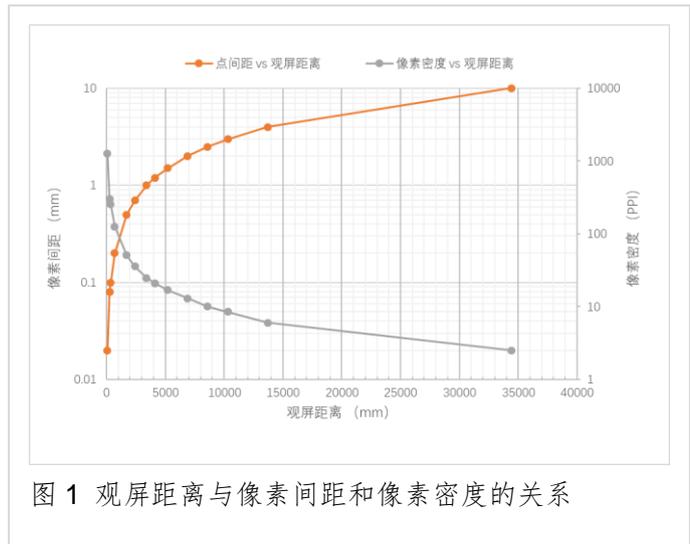


图 1 观屏距离与像素间距和像素密度的关系

显而易见，显示元件的像素间距决定了观屏距离，也随之决定了它们的应用领域。反过来说，显示的应用领域可以用观屏距离来划分，如 $1.0\sim 3.0\text{m}$ 就是家居电视的通常观屏距离，相应的显示元件的像素间距最好介于 $0.29\sim 0.87\text{mm}$ 之间，否则就会明显观察到像素间距，达不到视网膜级别的观赏体验，像素间距介于 $0.29\sim 0.87\text{mm}$ 的显示元件也就主要应用于大尺寸电视等领域。由于家居电视的观屏距离不是固定的，几乎需要涵盖 $0\sim 3.0\text{m}$ ，所以，应用于大尺寸电视的显示元件的像素间距最好在 $0.87\text{mm}$ 以下。

从图 1 所示可知，达到视网膜级别的观赏体验所允许的显示元件的像素间距随着观屏距离的减小而快速减小，像素密度快速增加，观屏距离越短，为达到视网膜级别的观赏体验所允许的最大像素间距就越小。不同显示技术往往适用于制造不同像素间距的显示元件，也就决定了不同的显示技术在不同的应用领域有着不同的地位与作用。

## 2 显示屏尺寸与观屏距离的关系

研究表明，在一定的观屏距离下，当图像垂直视角为  $20^\circ$ ，水平视角为  $36^\circ$  时，方能给观赏者非常好的视觉临场感，还不会因为频繁转动眼球而造成疲劳，可以带来更好的舒适感。也就是说，在一定的观屏距离下，为达到视网膜级别的观赏体验，不仅需要限制像素间距，同时也要优选显示元件的大小。显示元件太小，临场感很差，更达不到影院的效果，显示元件太大，会导致观赏者经常看左看不到右，不得不频繁转动眼球，甚至摇头晃脑，很容易产生疲劳感。

根据中国电子视像行业协会推荐标准 T/CVIA-08-2016，2.5 米的客厅宽度最适宜安装 75 寸电视，3.5 米最适宜 85 寸，4.5 米最适宜 100 寸。

如图 2 所示，在一定观屏距离下，中国电子视像行业协会推荐的最佳屏对角长度（就是通常定义电视机屏幕大小的寸）明显低于理论计算的最佳屏对角长度。

由图 2 所示，针对观屏距离  $<0.05\text{m}$  的可穿戴显示屏，其最佳屏对角长度  $< 1.5$  寸。针对观屏距离通常  $0.25\sim 1.0\text{m}$  的中小尺寸电视与 LED 显示屏，如笔电，PAD，车载、电竞、电脑等，其最佳屏对角长度  $7\sim 30$  寸。针对观屏距离通常  $1.0\sim 4.0\text{m}$  的中大尺寸电视和显示屏，其最佳屏对角长度  $30\sim 120$  寸。针对观屏距离通常  $4.0\sim 10\text{m}$  的室内室外大尺寸 LED 显示屏，其最佳屏对角长度约  $120\sim 320$  寸。

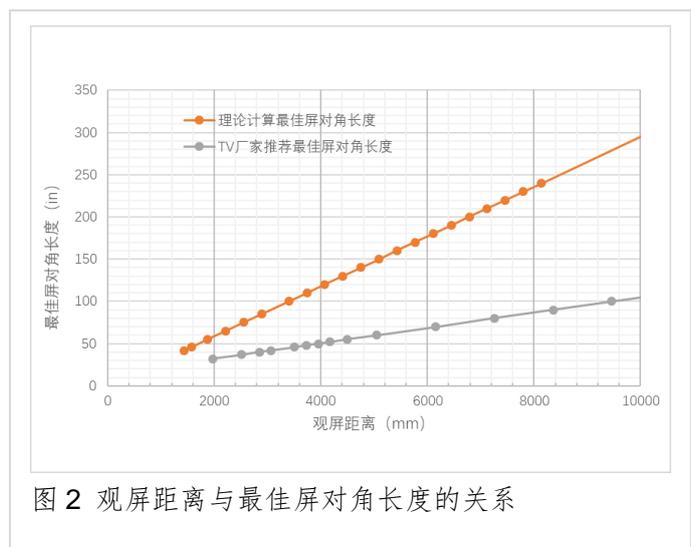


图 2 观屏距离与最佳屏对角长度的关系

## 3 电视影像分辨率与显示元件像素点的关系

分辨率是衡量影像清晰度的主要指标，分辨率越高，所包含的像素就越多，影像质量越好，越能表现出更多的细节（如表二所示）。一般，图像分辨率与显示元件上的像素点数量是一一对应。如具有 1080p 分辨率的图像水平方向有 1920 个像素，垂直方向有 1080 个像素，相对应的显示元件也同样要求水平方向有 1920 个像素，垂直方向有 1080 个像素，否则不仅图像

失真，还有导致图像分辨率的缺失或显示元件像素的浪费。

表二：常见适用于电视机的图像分辨率分级。

分辨率等级	720p	1080p	4K	8K
水平像素	1280	1920	4096	7680
垂直像素	720	1080	2160	4320

#### 4 电视影像分辨率、显示元件像素点间距、屏对角最佳长度（屏尺寸）间的关系

综合以上，在一定的观屏距离下，不仅要限制像素间距，以达到网膜级别观赏体验（如图 1 所示），也要优选显示元件的大小（即最佳屏对角长度），以达到更好的临场感，浸入感和舒适感（如图 2 所示）。此外，为在显示元件上无失真地接受和播放具有一定分辨率的影像资料，显示元件还必须兼顾影像分辨率所要求在水平方向和垂直方向上像素点的数量。也就是说，针对不同应用领域所常用的观屏距离，显示元件的设计必须兼顾电视影像分辨率、显示元件像素点间距、最佳屏对角长度（即，屏的尺寸）之间的关系。

如图 2 所示，以观屏距离为 4m 的中大尺寸电视为例，其最佳屏对角长度为 118 寸，如图 1，表一和图 3 中的蓝线所示，要达到视网膜级别的观赏体验，显示元件所能允许的最大像素间距为 1.17mm。

当影像具有 8K 分辨率时，为在限定的最佳屏对角长度（118 寸）下，水平方向排列 7680 个像素，垂直方向排列 4320 个像素，其最大允许的像素间距为 0.34mm。

由影像分辨率决定的 0.34mm 像素间距远小于在 4m 观屏距离下，达到视网膜级别的观赏体验所允许的最大像素间距

1.17mm。显而易见，采用 0.34mm 作为 118 寸中大尺寸电视的像素间距，既能满足 8K 影像分辨率的要求，也能满足在 4m 观屏距离下，达到视网膜级别的观赏体验对像素间距的要求，

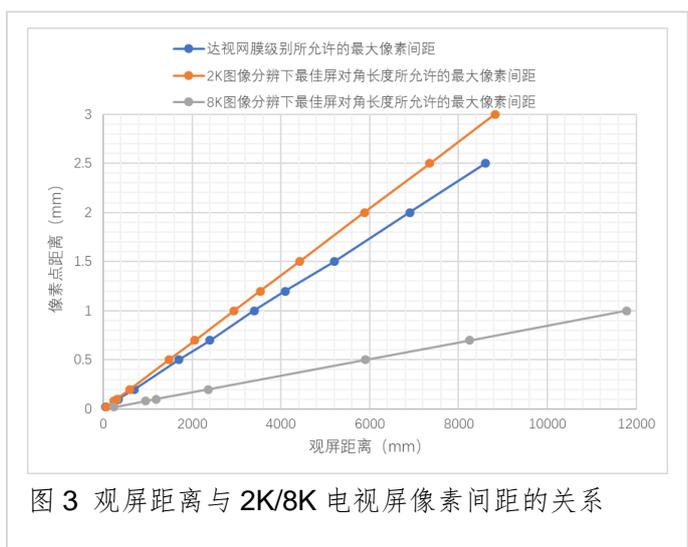


图 3 观屏距离与 2K/8K 电视屏像素间距的关系

实际使用的 0.34mm 像素间距会给出更佳的观赏效果。

当影像具有 2K 分辨率时，为在限定的最佳屏对角长度（118 寸）下，水平方向排列 1920 个像素，垂直方向排列 1080 个像素，其最大允许的像素间距为 1.36mm，但在 4m 观屏距离下，达到视网膜级别的观赏体验所允许的最大像素间距 1.17mm。显而易见，采用 1.36mm 作为 118 寸中大电视的像素间距，能满足 2K 影像分辨率的要求，但不能满足在 4m 观屏距离下，达到视网膜级别的观赏体验的要求，视觉效果变差。反之，如采用 1.17mm 作为像素间距，则屏对角长度会由 118 寸减小到 102 寸，小于在 4m 观屏距离下的最佳屏对角长度，观赏效果也会变差。二者之间的协调兼顾决定最终的像素间距或屏对角长度。

## 5 Micro-LED 和 mini-LED 的基本定义

业内，像素间距为 2.5mm 的显示元件通常可称之为 P2.5 显示元件。

P2.5 通称为常规 LED 显示屏，P1~P2.5 通称为小间距 LED 显示屏，P0.1~P1 通称为 mini-LED 显示屏，小于 P0.1 通称为 micro-LED 显示屏。

Micro-LED 一般使用尺寸小于 50 $\mu$ m 的薄膜倒装芯片，mini-LED 一般使用 >50 $\mu$ m 的倒装芯片，小间距 LED 显示和常规 LED 显示一般使用 >100 $\mu$ m 的正装芯片或倒装芯片。

**【文章下载网址：[www/cspleds.com/](http://www.cspleds.com/)技术支持/网络文件共享】**