

## 高可靠高亮度显示器散热技术研究

柳慧艳<sup>1,2\*</sup>, 铁清木<sup>3</sup>, 王 峥<sup>1,2</sup>, 张小芸<sup>1,2</sup>, 盛 陈<sup>1,2</sup>, 杨 斌<sup>1,2</sup>

(1. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016; 2. 国家平板显示工程技术研究中心, 南京 210016;  
3. 云南大学 软件学院, 昆明 650504)

**摘 要:** 分析了结构件和导热材质的冷却方式, 采用LED光源组件散热和增大散热面积的方式对显示器进行了散热设计, 保证了显示器在高温环境下以较高亮度运行正常。结合热仿真实验证明, 提出的显示器散热设计能够满足可靠性要求。

**关键词:** 高亮度; 显示器; 热仿真分析; 散热

**中图分类号:** TN873<sup>+</sup>.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)03-0235-06

## Research on Heat Dissipation Technology of Highly Reliable High-brightness Display

LIU Huiyan<sup>1,2</sup>, TIE Qingmu<sup>3</sup>, WANG Zheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoyun<sup>1,2</sup>, SHENG Chen<sup>1,2</sup>, YANG Bin<sup>1,2</sup>  
(1. *The 55th Research Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN*; 2. *National Flat Panel Display Engineering Research Center, Nanjing 210016, CHN*;  
3. *National Pilot School of Software, Yunnan University, Kunming 650504, CHN*)

**Abstract:** The cooling methods of structural parts and thermally conductive materials were analyzed, and meanwhile the heat dissipation design of the display was carried out by using the LED light source assembly to dissipate heat and increase the heat dissipation area. It ensured that the display could operate normally with high brightness in high temperature environment. Combined with thermal simulation, experiments showed that the proposed display heat dissipation design could meet the reliability requirements.

**Key words:** high-brightness; display; thermal simulation analysis; heat dissipation

### 引 言

应用环境实际要求显示器需以较高的显示亮度在高温环境下保持正常工作。在工作过程中, 显示器产生的高热量加剧了其内部温升。高温会导致显示器组成材料的物理性能或尺寸发生改变, 也

会给温度敏感元器件带来失效的风险。如果不采取有效的散热措施, 显示器将无法正常工作, 其可靠性也无法保证。研究一种特殊用途的超高亮度显示器, 其最大亮度高达 35 000 cd/m<sup>2</sup>, 与常规显示器最大亮度范围 300 cd/m<sup>2</sup>~600 cd/m<sup>2</sup>相比, 亮度增加了百倍。超高亮度显示器主要通过提高LED

收稿日期: 2022-02-24

作者简介: 柳慧艳(1987—), 女, 工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计; (E-mail: liuhuiyan98@163.com)

铁清木(2002—), 男, 研究方向为软件工程;

王 峥(1990—), 男, 工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计。

\* 通讯作者

光源能量的方式来实现,而LED光源能量的提升会导致显示器内部的热能急剧增大。热量的快速积聚不仅会导致LED光源输出光强度减弱,甚至会引起LED光源主波长发生漂移,从而导致显示器的亮度降低和色温发生变化,影响显示画面质量。同时,长时间热量积聚也会加快电路元器件老化速度和造成显示器光学薄膜发生膜皱效应,最终降低显示器可靠性、缩短使用寿命。

根据世界范围内的高温日循环温度数据,世界范围内空气温度最高可达到49℃。加之超高亮度导致的高发热量及所处气候区的影响,使得显示器本身的温度急剧增加,最高温度甚至可高达90℃~100℃。有资料表明,电子设备的失效有55%是由温度引起的。著名的“10℃法则”指出:半导体器件的温度每升高10℃,其可靠性就会降低50%<sup>[1]</sup>。器件的可靠性对温度十分的敏感,在70℃~80℃水平上,温度每增加1℃,器件可靠性下降5%<sup>[2]</sup>。

如果不采取有效的散热措施,持续的高温环境将造成暂时或永久的显示器使用效能降低。针对特殊用途的超高亮度显示器在高温环境下工作的特点,进行了热设计需求分析和散热设计分析,从而确定有效的散热措施保证产品的可靠性。

## 1 高亮度显示器热设计需求分析

为了保证超高亮度显示器在高温环境下能够正常显示,文中对温度敏感元器件的热应力参数进行了分析。

文章研究的显示器对温度敏感的元器件有:随着温度升高发光效率会降低的发光二极管显示器件(LED),运行时存在一定电源转换输出效率的LED驱动器、电源模块,工作时产生高功耗的现场可编程逻辑门阵列(FPGA)等。表1列出了显示器的温度敏感元器件参数,包括工作温度范围、最高工作温度降额值和芯片到周围环境热阻系数。

表1 高亮度显示器的温敏元器件参数

Tab.1 Parameters of temperature-sensitive components for high-brightness display

元器件名称	工作温度范围/(℃)	最高工作温度降额值/(℃)	芯片到周围环境热阻系数 $\theta_{JA}/(^\circ\text{C}\cdot\text{W}^{-1})$
LED	-40~+125	+105	19
LED驱动器	-40~+120	+105	43
电源模块	-40~+125	+100	17~18
FPGA	-55~+125	+100	25

液晶显示屏作为显示器的重要组成部分,其对温度也有较高的敏感性。若温度超过清亮点(100℃左右),液晶显示屏的液晶材料将发生液晶

态转化为液态反应。此时液晶显示屏将无法正常工作。所以,显示器在高温高亮环境下正常工作时液晶显示屏的温度应控制不超过100℃。

通过对高亮度显示器的热设计需求分析,为了控制显示器的内部温升,需对高亮度显示器进行散热优化设计,使显示器的温度敏感元器件周围环境温度不高于最高工作温度降额值;液晶显示屏的温度不超过清亮点。

## 2 高亮度显示器散热设计分析

### 2.1 高亮度显示器热设计模型分析

从电路设计、光学设计、结构设计及元器件选择等方面综合分析显示器的散热设计。

为了达到较高的显示亮度,显示器选择了更高发光效率的LED光源,通过采用先进的恒流驱动电路和合适的功率匹配设计,大大提高了DC/DC转换电路的电源效率。通过采用先进的光学材料和光学路径设计,提高光学重复利用率,从而增强输出光学效能。

高温阶段时,显示器内部及外部的热量传递形式涵盖了热传导、热对流、热辐射三种基本传热形式,显示器的热设计模型如图1所示。

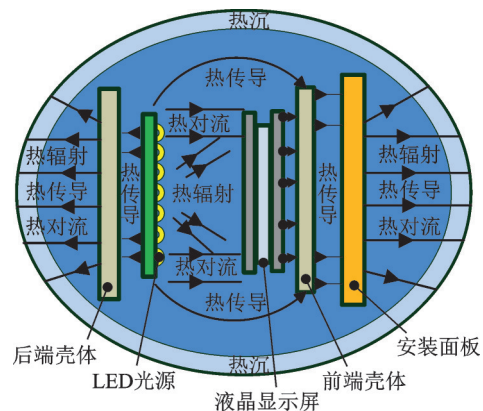


图1 显示器热设计模型

Fig.1 Thermal design model of display

显示器热传递分为内部热量传递和外部热量传递两种形式。显示器内部热量主要通过热辐射和热传导实现热量传递。为了增强显示器内部热量传递,显示器在散热设计时应尽可能的降低传热路径的热阻。可通过设计一条低热阻路径的热量传递,使显示器发热元器件的热量快速传递到被冷却的结构或散热器上。为了增强LED光源热能量传递,一方面是将LED光源板嵌埋在铝板内,通过金属传热到后端壳体中;另一方面是增加LED光源

排列和分布面积,增强热辐射能量的传递效率。由于液晶显示屏对温度较为敏感,在液晶显示屏背面增加反辐射镀层的玻璃,不仅会增加传热路径的热阻,同时会增加液晶显示屏的热辐射反射能力,从而降低液晶显示屏在高温工作时的温升,防止液晶屏进入清亮点。

显示器外部通过热辐射、热对流和热传导的方式进行热量交换。热传导主要通过设计低热阻传热路径的方式实现热能量的传递。为了提高显示器与外部环境之间的热对流交换能力,显示器的外壳设计应尽可能地增大散热面积。显示器将热量的一部分通过热辐射和热对流的方式直接传递到大气热沉中,另一部分通过热传导的方式将热量传递到显示器安装面板上,通过安装面板传递到大气热沉中。从增强热辐射能量出发,显示器在散热设计时采用了增大发射率的方法,通过对显示器外壳结构进行黑色氧化处理增强热辐射能量的传递。

显示器的散热设计主要从冷却方式的选择、结构件和导热材质的选择、LED光源组件的散热设计、增大散热面积的设计等方面开展。

## 2.2 冷却方式的选择

冷却方式的选择是影响显示器散热的重要因素。对于散热要求高,产品内部又有足够的空间安装散热介质时,可以采用强迫空气冷却方式。对于一些小型产品来说,重量和体积都具有非常高的要求。当强迫冷却方式在散热性能上没有明显优势时,如果自然冷却方式能够满足散热要求,应优先采用自然冷却方式。显示器的冷却方式可通过热流密度和温升的关系进行选择。热流密度公式为:

$$q = \frac{E}{A} \quad (1)$$

其中, $q$ 为热流密度, $E$ 为热功耗, $A$ 为散热面积。显示器的热功耗为11.8 W,散热面积为0.042 m<sup>2</sup>,代入公式(1),得出热流密度为0.028 W/cm<sup>2</sup>。显示器的温升范围为20℃~40℃。结合图2,可以得出通过自然冷却(对流和辐射)方式能够满足显示器的对流散热要求。

## 2.3 结构件和导热材质的选择

显示器结构材质的选择与寿命环境剖面和环境适应性有关。综合考虑环境适应性和散热要求,显示器选择经氧化处理的铝合金材质,导热系数为150 W/(m·K)。因为结构加工精度的限制,铝合金结构表面与LED光源相互装配时,会形成薄膜空气

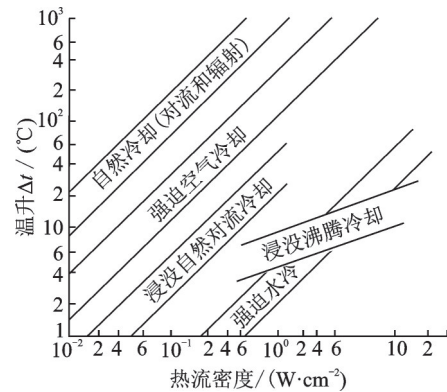


图2 冷却方式

Fig.2 Cold ways

层。空气的导热系数非常低,导热系数一般处于0.006 W/(m·K)~0.6 W/(m·K)。导热系数的倒数值为热阻,在两物体的接触界面产生的热阻,称为接触热阻<sup>[3]</sup>。为了降低结构表面与LED光源之间固体界面热阻<sup>[4]</sup>,研究在两物体界面之间填充导热界面材料,以增大界面的导热系数。导热界面材料的选择与填充缝隙的表面结构特征、厚度、压力、绝缘性能等因素有关。对于允许直接接触且平面度较高的两接触面,可以选用导热硅脂或者相变导热界面材料;对于不允许直接接触的或不平整的接触面,可以采用导热硅胶垫或者导热凝胶进行缝隙填充<sup>[5]</sup>。综合分析外界环境条件、接触界面的平整度及绝缘性能等因素,显示器最终选择导热硅胶垫作为接触面界面材料。导热硅胶垫的导热系数范围为1 W/(m·K)~15 W/(m·K),本显示器选择导热系数为13 W/(m·K)的导热硅胶垫。为了保证元器件周围的热量有效流出,将产生高热量的元器件排布在PCB板上表面,在元器件与后端壳体接触面之间添加导热硅胶垫,使元器件产生的热量通过导热硅胶垫传递到后端壳体,继而传递到大气热沉中。

## 2.4 LED光源组件的散热设计

为了满足显示器亮度及亮度均匀性能指标,宜选择合适的高发光效率LED光源。由于产品的空间有限,高效率的LED光源排布在较小的面积上,工作时会产生非常高的热量。随着温度的升高,LED光源的发光效率降低,会产生LED光源性能下降、寿命缩短等不良影响。

为了保证LED光源在高温环境下正常工作,采传统的直接背胶贴合到金属结构件的制作方式形成的LED光源组件,已经不能满足LED光源散热需求。研究的显示器LED光源组件采用了金属基印制电路板制作方式。该制作方式可以大大提高

LED光源的散热能力。LED光源在金属印制电路板中分布形式和布线路径的选择也充分应用快速热量传递的思路,将热量尽可能的通过热传导方式传递到结构壳体。综合考虑显示器的亮度、亮度均匀性、热传递等方面的技术要求,最终确定的基于金属基的LED光源组件如图3所示。

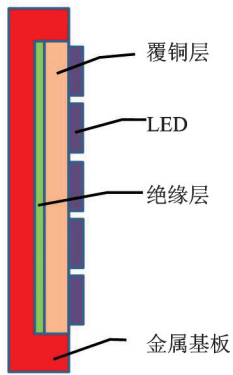


图3 LED光源组件设计

Fig.3 LED light source component design

## 2.5 增大散热面积设计

显示器的液晶显示组件与前端壳体直接接触,前端壳体与安装面板通过四周安装紧固件连接。为了减少前端壳体与安装面板的空气间隙,在前端壳体与安装面板间填充导热硅胶垫作为界面材料,不仅能够减少热阻,还能增强热量传递能力,将显示器产生的热量传递到冷却结构或大气热沉中,降低显示器自身的热量。

由于前端壳体的侧面、后端壳体的外表面是与空气直接接触的,文中通过增加前端壳体和后端壳体的接触面积的方式提高了热交换能力。在保证前端壳体和后端壳体结构强度的情况下,将前端壳体和后端壳体外表面加工成散热翅片。散热翅片形状如图4所示,散热面积的增加可以提高显示器的热量交换水平。

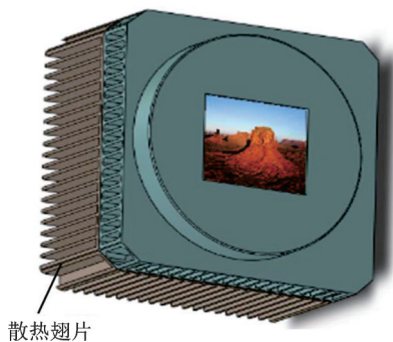


图4 散热翅片形状

Fig.4 Radiating fin shape

## 3 热仿真分析

文中采用绘图软件对显示器进行三维数字建模,然后将建模对象导入到热仿真软件中。设置显示器使用环境的边界条件,输入材料属性、元器件热阻特性、元器件功耗等参数信息。

采用设置合理的网络划分构型实现仿真对象模型网格划分。为了达到热仿真结果与实际工作环境无限逼近的效果,采用在温度变化相对剧烈的区域使划分的网格单元格密集一些;对温度变化不明显的区域的网络单元格划分的适当稀疏些的方式进行网格划分。为了提高热仿真效率和缩短热仿真迭代运算时间,将显示器的螺纹孔、圆角、倒角、通孔等不影响热仿真结果的特征细节进行优化。

为了模拟常温工作环境下高亮度显示器的温度状态情况,设置环境温度 $23^{\circ}\text{C}$ 。显示器的常温工作温度热仿真情况如图5所示。显示器最高工作环境温度为 $55^{\circ}\text{C}$ 。为了模拟极限边界温度状态,设置环境温度 $55^{\circ}\text{C}$ ,显示器的温度仿真分析结果如图6所示。从图5和图6可以看出,温度最高的区域集中在LED光源区域,常温环境下最高温度为 $48.6^{\circ}\text{C}$ ,温升为 $25.6^{\circ}\text{C}$ 。高温环境下最高温度为

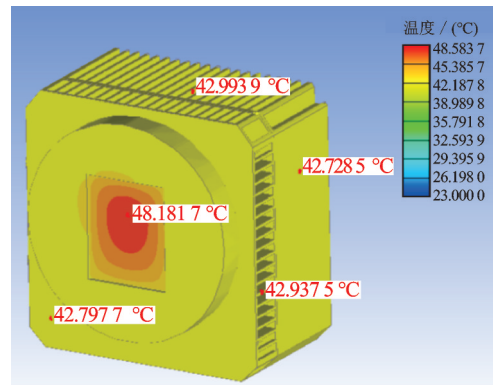


图5  $23^{\circ}\text{C}$ 时热仿真图

Fig.5 Thermal simulation diagram at  $23^{\circ}\text{C}$

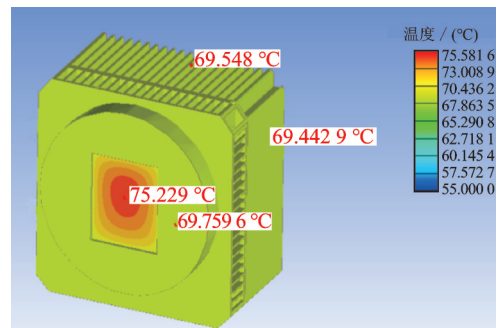


图6  $55^{\circ}\text{C}$ 时热仿真图

Fig.6 Thermal simulation diagram at  $55^{\circ}\text{C}$

75.6 °C,温升为 20.6 °C。通过与表 1 的温度敏感元件的最高工作温度降额值进行比较,可以得出,显示器的最高温度小于温度敏感元件的最高工作温度降额值和液晶显示屏的清亮点。此温升不会影响显示器元器件和液晶显示屏的可靠性,显示器的散热设计能够满足使用要求。

图 7 和图 8 分别显示了环境温度 23 °C 和 55 °C 时的热仿真分析中速度、能量、连续性的迭代计算结果。通过迭代计算曲线可以得出,迭代初期各矢量处于上下波动阶段,此过程的温度处于不稳定的状态。迭代后期各矢量处于稳定收敛阶段,此时的矢量趋于稳定状态,温度也相对稳定,迭代计算结果是收敛的。上述结果表明热仿真分析结果是合理的,能够反映高亮度显示器的真实散热效果。图 9 和图 10 分别显示了高亮度显示器在环境温度 23 °C 和 55 °C 时周围空气流动的速度,可以得出显示器流场分布合理,流速较快,散热设计有效。

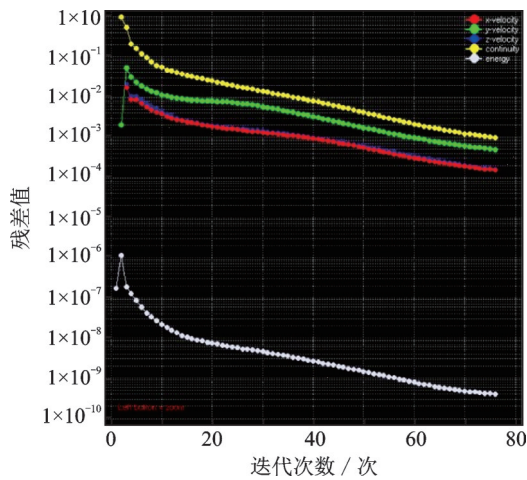


图 7 23 °C 时迭代计算曲线

Fig.7 Iterative calculation curves at 23 °C

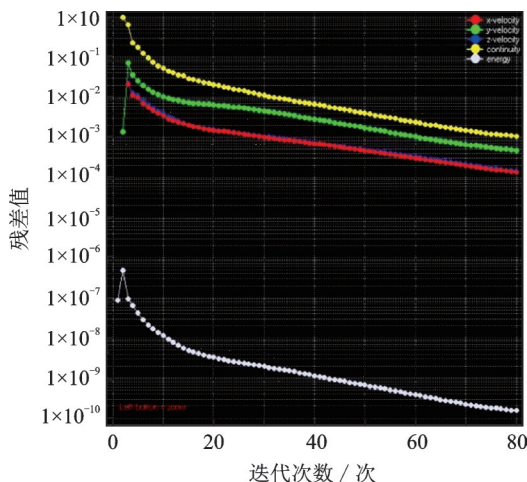


图 8 55 °C 时迭代计算曲线

Fig.8 Iterative calculation curves at 55 °C

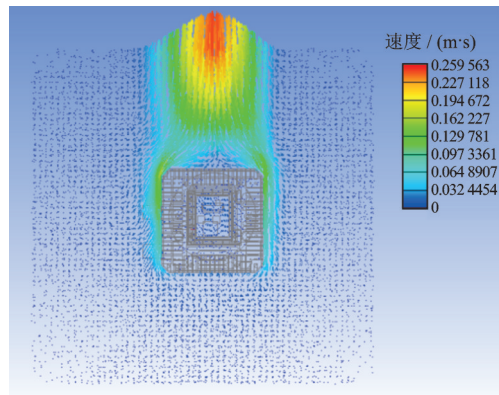


图 9 23 °C 时空气流动轨迹图

Fig.9 Air flow trajectory diagram at 23 °C

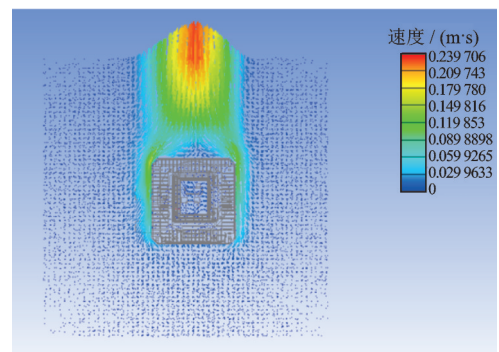


图 10 55 °C 时空气流动轨迹图

Fig.10 Air flow trajectory diagram at 55 °C

### 4 试验验证

在常温 23 °C 下,采用热成像仪测量高亮度显示器的温度场分布。高亮度显示器接通电源,将亮度调到最高,分别测量显示窗口中心和结构外壳的温度分布情况。显示窗口中心和结构外壳的温度随工作时间变化曲线如图 11 所示。

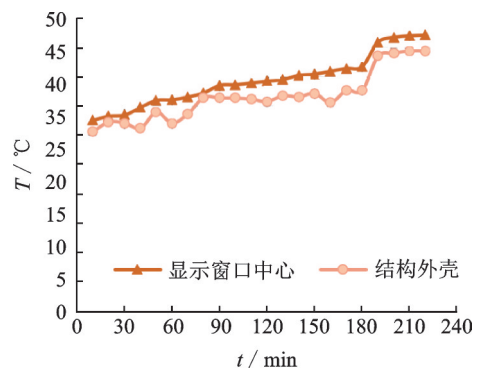


图 11 温度场变化曲线图

Fig.11 Temperature field change graph

图 11 所示,显示窗口中心和结构外壳的温度在 180 min 之后,逐渐趋于稳定。通过将实物测试结果与热仿真结果比较分析,实物测试温度比热仿真温度低 2 °C 左右。上述结果表明,显示器在常温和高

