

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2023.02.013

## 液晶显示模组的热仿真分析研究

付 丽, 马 超, 谌志国, 刘俊国, 孙盛林

(北京睿智航显示科技有限公司, 北京 100176)

**摘 要:** 使用仿真软件对模组以及各零件的温度分布情况进行仿真, 对热仿真流程以及仿真结果的正确性进行研究。首先, 使用仿真软件对模组的散热情况进行分析, 得到模组整体以及各零件的温度分布情况; 然后, 将模组置于 25 °C 恒温箱中, 使用多路温度探测器对模组表面以及液晶显示屏下表面的随机点位的温度进行测量; 最后, 将仿真模拟的点位温度与实际测量的点位温度值进行对比, 计算出温升误差值, 通过温升误差值大小, 对比实测结果与仿真分析结果, 验证模拟仿真的正确性。通过对比分析实验结果与仿真结果, 得出结论: 模组在室温下达到稳定工作状态时, 通过热仿真计算出的结果和实际测量的温度数值差异不大, 二者的温升误差最大为 3.5%, 相对较小。因此, 仿真结果具有理论参考性, 模组散热设计满足工程设计要求。

**关键词:** 模组; 有限元分析; 热仿真

**中图分类号:** TN873+.93; TP39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2023)02-0181-05

## Thermal Simulation Analysis of LCD Modules

FU Li, MA Chao, SHEN Zhiguo, LIU Junguo, SUN Shenglin

(Beijing Smart-aero Display Technology Co., Ltd, Beijing 100176, CHN)

**Abstract:** Simulation software was used to simulate the temperature distribution of the module and each component, and the simulation process of heat and the correctness of the simulation results were studied. Firstly, simulation software was used to analyze the heat dissipation of the module to obtain the temperature distribution of the module and each component. Then, the module was placed in a 25 °C incubator, and the temperature was measured of the random points on the surface of the module and OC by a multiple temperature detector. Finally, the simulated temperature was compared with the measured temperature, the temperature rise error value was calculated, and the difference between the measured value and the simulation value was compared through the temperature rise error value, to verify the correctness of the simulation results. By comparing and analyzing the experimental results and the simulation results, it was concluded that: when the module operated stably at the room temperature, there was little difference between the simulation value and the actual measured value, and the maximum temperature rise error was 3.5%, which was relatively small. The simulation results had theoretical reference and met the engineering design requirements.

**收稿日期:** 2023-01-12

**作者简介:** 付 丽 (1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事液晶显示屏、背光源、液晶显示模组的设计, 以及电子元器件仿真; (E-mail: fuli8369@163.com)

马 超 (1986—), 男, 主要从事显示产品的结构设计;

谌志国 (1977—), 男, 工程师, 主要从事显示器件的结构和光学设计。

**Key words:** module; finite element analysis; thermal simulation

## 引 言

随着显示器集成技术的发展,显示模组单位面积的功耗不断增大,模组在工作时散发的热量也不断增多,导致模组周围环境温度上升,这将直接影响模组的可靠性和模组的寿命,发生材料老化、焊接点开裂等问题<sup>[1]</sup>。同时,电子设备的小型化设计,也为电子元件的散热带来了更多难题<sup>[2-3]</sup>。研究资料表明:半导体元件的可靠性和温度成反比。一般情况下,温度升高 10℃,可靠性降低 50%<sup>[4]</sup>。据统计,在失效的电子设备中,约有 55% 是由温度过高引起的<sup>[5]</sup>,同时,如果模组内的灯条在工作中产生的热量无法有效散出,将会导致灯的发光效率下降,影响显示效果<sup>[6]</sup>。因此,电子设备内的温升必须予以控制,在模组设计过程中应当重点关注模组的散热情况,热设计成为模组产品设计中非常必要的过程<sup>[7]</sup>。热设计的主要任务就是通过采取有效、合理的热设计技术,减小热阻,提供低热阻的传输路径,提高设备元器件散热性能,保证电子设备能够长久地、安全地稳定运行<sup>[8]</sup>。

模组开发存在周期长、费用高的问题,如果使用模组样品来进行散热方案的筛选,会耗费大量的时间,并造成一定的经济损失。一旦出现不合理的热设计,依照传统实验流程,会造成时间以及经济上的损失<sup>[9]</sup>。因此,工作状态下模组热仿真结果的准确性研究对其结构的设计具有重要意义。

热仿真软件可用于电子设备热管理和散热分析,运算精度高<sup>[10]</sup>,主要应用于通讯、汽车等领域<sup>[11]</sup>。在模组设计初期,可以使用仿真软件对模组的散热情况进行模拟仿真,来验证设计方案与产品需求的匹配性,便于问题的分析解决及模组结构的重新设计<sup>[12]</sup>。在设计过程中,可以在产品结构确定后,将三维模型导入到仿真软件中,通过数值计算进行电子器件的散热情况分析,验证设计方案的可行性,便于完善模组结构、进行风险预测与规避,同时可以根据客户的散热需求实现模组元器件的定制化设计,达到降低时间和经济成本的目的<sup>[13]</sup>。

## 1 模组的热分析计算

### 1.1 模组参数以及散热要求

液晶显示模组参数如下:(1)模组外形尺寸为

336.128(W)×273.096(V)×13.1(D)mm<sup>3</sup>;(2)对模组散热无影响或影响较小的膜材组件、硅胶条等零件进行简化,简化后的模组主要由触摸屏、液晶显示屏、前框、背板、灯条 5 部分组成,整体封闭,触摸屏材料为玻璃,前框和背板材料为 AL 6061,灯条材料为 FR4,液晶显示屏主要由上 POL、下 POL、TFT、CF 四部分组成,其中 TFT、CF 材料为玻璃,具体材料参数见表 1;(3)模组稳定工作时,主要的发热零件为灯条,电压为 34 V,电流为 0.32 A,灯条总功率为 10.88 W,设定灯条发热功率为 10.88 W;(4)环境温度为 25℃。

表 1 模组材料参数

Tab. 1 The material parameters of the module

零件名称	主要材料	密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	比热容/ (J·(kg·K) <sup>-1</sup> )	热传导率/ (W·(m·K) <sup>-1</sup> )
触摸屏	玻璃	2 500	837	1
上 POL	PVA	1 290	5	1.2
下 POL	PVA	1 290	5	1.2
TFT	玻璃	2 500	837	1
CF	玻璃	2 500	837	1
前框	AL 6061	2 700	896	154
背板	AL 6061	2 700	896	154
灯条	FR4	1 250	1 300	0.35

### 1.2 模拟仿真

热仿真流程包括模型的建立、材料参数的定义、热计算区域的定义、网格划分、求解参数的设定、求解结果和分析等步骤<sup>[14]</sup>。

#### 1.2.1 热计算区域的定义

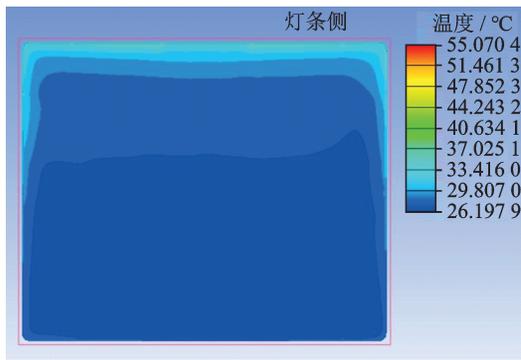
模组模型的 6 个面都以环境温度(25℃)为温度边界条件,并在模型上部设置至少 2 倍的特征尺寸空间,下部设置至少 1 倍的特征尺寸空间,其余部分设置至少 0.5 倍的特征尺寸空间。

#### 1.2.2 网格划分

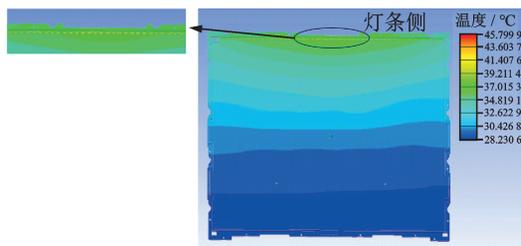
将模型进行网格划分,得到单元数 1 447 043 个,节点数 1 075 992 个。

#### 1.2.3 模拟仿真结果及分析

从图 1 中的模组温度分布图可以看出,模组灯条侧温度较高,离灯条侧越远温度越低。整个模组的最高温度为 55.07℃。如图 3(b)所示,最高温度区域分布在灯条表面,相对于环境温度而言,温升达 30.07℃,模组最低温度 26.2℃,最低温度区域分布在



(a) 模组整体温度分布云图



(b) 模组内温度最高点分布云图

图1 模组温度分布云图以及温度最高点示意图

Fig.1 Cloud maps of temperature distribution of the module and the temperature maximum point

模组下侧前框处,温升为1.2 °C,接近环境温度。模组最高温度与最低温度差为28.87 °C,温度梯度较大。

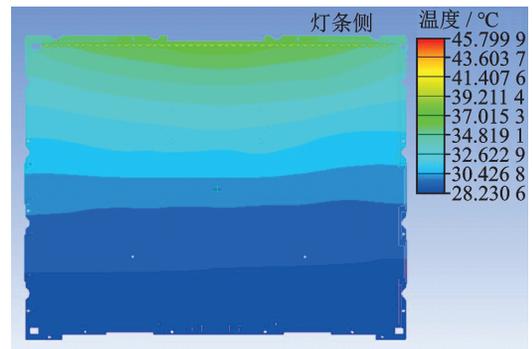
灯条温度分布如图2所示,模组稳定工作时,灯条表面最高温度为55.07 °C,最低温度为35.1 °C,灯条表面的最高温度相对于环境温度的温升为30.07 °C,最低温度相对于环境温度的温升为10.1 °C。灯条表面的最高温度和最低温度的温差为19.97 °C,温度梯度较大。越靠近灯条中部,LED表面温度越高,对于灯条来说,在灯条中部LED表面温度达到最高,最高温度为55.07 °C,也是整个模组温度最高点。在背光源内,膜材组件材质主要为PMMA、PET、PC、PS等高分子材料,其中PMMA热变形温度为105 °C,PS热变形温度为70~80 °C,PET热变形温度为70 °C,PC热变形温度为135~143 °C,由此可见,灯条不会导致内部膜材组件发生热变形,可避免模组正常工作时导致膜材褶皱或变形融化的风险。



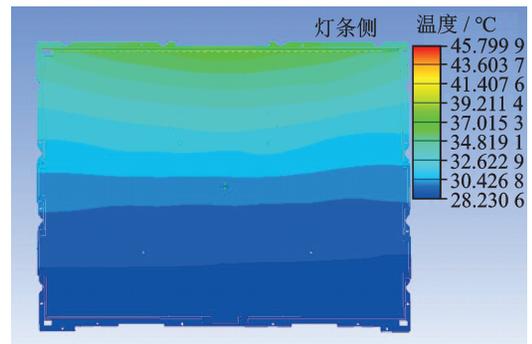
图2 灯条温度分布云图

Fig.2 Cloud map of temperature distribution of light bar

背板温度分布如图3所示,可以看出,在模组稳定工作时,背板表面最高温度为45.8 °C,最低温度为28.23 °C,背板表面的最低温度相对于环境温度



(a) 背板温度云图分布



(b) 背板与灯条基板接触面温度云图分布

图3 背板温度分布云图

Fig.3 Cloud maps of temperature distribution of backcover

的温升为3.23 °C,最高温度相对于环境温度的温升为20.8 °C。背板表面的最高温度与最低温度之差为17.57 °C,温度梯度较大。越靠近灯条侧,背板温度越高。将背板视图旋转一定角度,得到图(b),可以看到背板温度在灯条接触面上达到最高。

如图4所示为模组稳定工作时前框的温度分布云图,从图中可以看出,越靠近灯条侧,前框的温度较高,且受灯条热分布影响,在前框靠近灯条侧,越靠近中心处温度越高。前框最高温度39.85 °C,最低温度27.27 °C,温差为12.58 °C,温度分布梯度较小,最高温相对于环境温度的温升为14.85 °C,最低温相对于环境温度的温升为2.27 °C。

触摸屏表面温度分布如图5所示,当模组达到工

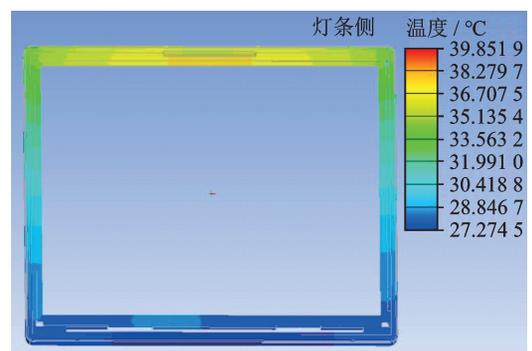


图4 前框温度分布云图

Fig.4 Cloud map of temperature distribution of front frame

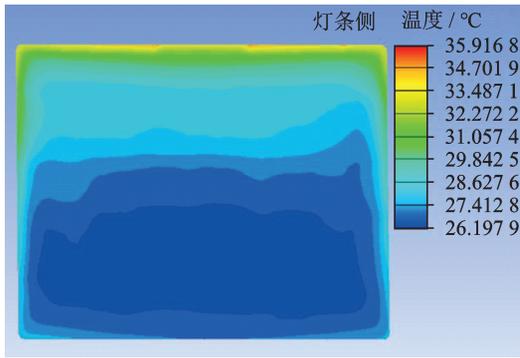


图5 触摸屏温度分布云图

Fig.5 Cloud map of temperature of touch panel

作稳定状态时,靠近灯条侧触摸屏温度高于远离灯条侧温度,触摸屏表面最高温度为 35.92 °C,最低温度为 26.2 °C,最低温度相对于环境温度温差为 1.2 °C,最高温度相对于环境温度的温差为 10.92 °C,最高温度和最低温度之间的温差为 9.72 °C,温度梯度较小。

液晶显示屏表面温度分布如图 6 所示,当模组达到工作稳定状态时,靠近灯条侧液晶显示屏温度高于远离灯条侧温度,液晶显示屏表面最高温度为 32.11 °C,最低温度为 26.22 °C,最高温度相对于环境温度温差为 7.11 °C,最低温度相对于环境温度温差为 1.22 °C,最高温度和最低温度之间的温差为 5.89 °C,温度梯度较小。

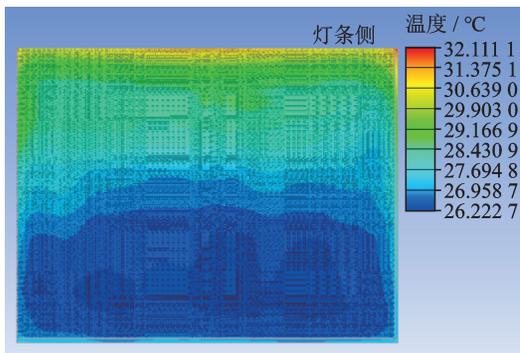
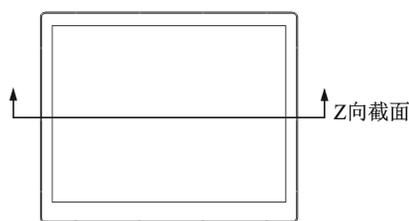


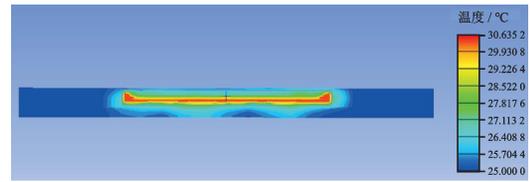
图6 液晶显示屏分布云图

Fig.6 Cloud map of temperature of OC

如图 7 所示为液晶显示模组内部沿着 Z 向的温度分布云图。由图可知,模组表面温度较低,由模组表面到模组内部温度越来越高,在模组内部腔



(a) Z向截面位置示意图



(b) 模组Z向温度分布云图

图7 模组 Z 向温度分布云图

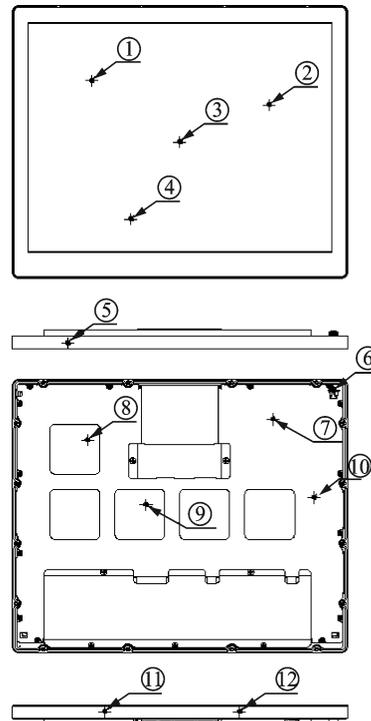
Fig.7 Cloud map of Z-direction temperature distribution of module

内温度最高,沿 Z 向,模组内部温度分布梯度较小。

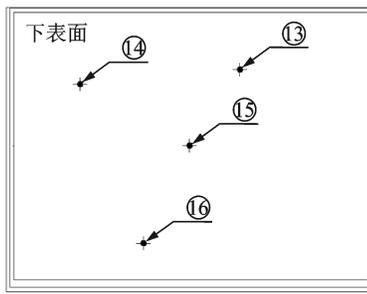
## 2 样品测试数据与仿真结果对比分析

将液晶显示模组放置在 25 °C 恒温箱中进行点亮,稳定工作 2 h 使模组外表面温度稳定,稳定工作电压 34 V,电流 0.32 A,随机选取模组表面 12 个不同位置点位,使用多路温度测量仪进行温度测量,记录数据,同时在液晶显示屏下表面贴温度传感器,随机选取 4 个点位,记录温度数据,测量点位如图 8 所示。对仿真模拟数据和实测数据的温升误差进行计算。

由表 2 可知,模组在室温下工作达到稳定时,通过热仿真方法和实际测量得到的数值差异不大,温升误差最大为 3.5%,相对较小,仿真结果具有理论参考性,满足工程设计要求。



(a) 模组外表面温度测试点位图



(b) 液晶显示屏下表面温度测试点位图

图8 测量点位示意图

Fig.8 The position of the measured points

表2 测量点位得仿真数据和实测数据对比

Tab.2 Comparison between simulation data and measured data of measuring points

点位	仿真数据/(°C)	实测数据/(°C)	温升误差/(%)
①	28.51	29.2	2.4
②	28.12	28.6	1.7
③	27.43	28.4	3.5
④	26.45	27	2.1
⑤	28.06	28.7	2.3
⑥	35.41	35.8	1.1
⑦	35.16	35.69	1.5
⑧	33.69	34.6	2.7
⑨	31.51	31.9	1.2
⑩	31.28	32	2.3
⑪	36.81	36.84	0.8
⑫	36.77	36.8	0.8
⑬	28.57	29	1.5
⑭	28.35	28.9	1.9
⑮	27.02	27.8	2.9
⑯	26.55	27.2	2.4

对整个模拟仿真过程进行分析,认为模拟仿真结果与实际测量结果存在误差的主要原因在于:

(1)对模组进行热分析时,对模组内部结构进行了简化,移除了背光源内部的膜材组件和模组辅材,只保留了对模组产生热量以及传导热量影响较大的零件,导致模拟与仿真结果存在差异。

(2)材料的密度、比热容、热传导系数对仿真结果起着重要作用,模组内部部分零件为复合材料,而对模组进行热分析时,材料参数设置为复合材料中多组分材料的参数,导致模拟与仿真结果存在差异。

### 3 结 论

利用热仿真分析软件,对液晶显示模组进行了热仿真分析,得到了液晶显示模组在达到稳定工作状态时,模组本身及其主要零件的温度分布情况:对

于模组整体,模组表面温度范围分布在 $26.2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 55.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对于环境温度的温升为 $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;灯条表面温度范围分布在 $35.1\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 55.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,模组最高温度区域分布在灯条上,相对于环境温度温升为 $10.1\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;背板表面温度范围分布在 $28.23\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对于环境温度温升为 $3.23\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 20.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;前框表面温度范围分布在 $27.27\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 39.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对于环境温度的温升为 $2.27\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 14.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;触摸屏表面温度范围分布在 $26.2\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对于环境温度的温升为 $1.22\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 10.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;液晶显示屏表面温度范围分布在 $26.22\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 32.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对于环境温度的温升为 $1.22\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 7.11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。同时,对液晶显示模组在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下稳定工作时的模组温度进行随机点位测量,发现模拟仿真结果与实际温度测量值相差不大,最大温差为 $3.5\%$ ,说明热仿真计算出的结果具有一定的可参考性。模组的热仿真分析可为判断模组结构设计的正确性、改善模组的不良等提供解决方案。在模组设计过程中,可参考热仿真分析结果进行热设计,降低产品设计的风险,节约时间成本以及经济成本。

### 参 考 文 献

- [1] 席传鹏,史洪波.基于Icepak的加固服务器热设计及优化[J].工业控制计算机,2018,31(4):36-38.
- [2] 齐永强,何雅玲,张伟,等.电子设备热设计的初步研究[J].现代电子技术,2003,1:73-76,79.
- [3] 黄倩,马亮,陈玉华,等.基于ICEPAK的高频逆变器的热设计及分析[J].电子设计工程,2013,21(19):4.
- [4] 吕永超,杨双根.电子设备热分析、热设计及热测试技术综述及最新进展[J].电子机械工程,2007,1:5-10.
- [5] 方志强,付桂翠,高泽溪.电子设备热分析软件应用研究[J].北京航空航天大学学报,2003,8:737-740.
- [6] 崔栋,韩锐,马青,等.5寸车载高亮模组散热分析与应用[J].液晶与显示,2017,32(10):765-771.
- [7] 陈洁茹,朱敏波,齐颖.Icepak在电子设备热设计中的应用[J].电子机械工程,2005,21(1):3.
- [8] 孙艳.Icepak软件在加固计算机热设计中的应用[J].计算机技术与发展,2013,23(3):215-217+222.
- [9] 王婷,邹颖,李哲,等.基于Icepak的板级电路的热设计及热仿真分析[J].现代计算机,2021,17:55-59.
- [10] 杨正,张臻,全鹏,等.基于Icepak的光伏并网逆变器热分析及热设计优化[J].太阳能学报,2020,41(2):347-354.
- [11] 顾双峰.基于Icepak的电子控制器散热设计优化[J].汽车零部件,2021,12:11-17.
- [12] 万伟学.Icepak在电子设备热分析中的应用[J].科技资讯,2012,23:122.
- [13] 王彦海,张世伟,徐岩峰.Icepak仿真软件在水冷底板热设计中的应用[J].电子机械工程,2008,24(1):3.
- [14] 苏世明,李伟.电子设备机箱散热仿真分析[J].光电技术应用,2013,28(3):64-67.