

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.02.008

高亮度加固显示器的背光组件散热优化

单亚军^{1,2*}, 唐光明^{1,2}, 盛 陈^{1,2}, 严秋白^{1,2}

(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)

摘 要: 通过对加固显示器内部散热环境的分析, 基于界面材料改善、低热阻散热通道设计、壳体结构散热翅片参数优化三种方式, 提出了一种高亮度加固显示器背光组件散热优化方法, 并以某型加固显示器为研究对象, 对该型加固显示器背光组件原有的设计方案和优化方案的散热性能进行了对比验证。结果表明, 提出的散热优化方法可以有效地降低背光组件上LED的工作温度, 显著提高背光组件的热可靠性。

关键词: 加固显示器; 散热优化; 界面材料; 散热通道; 翅片参数优化

中图分类号: TN873+.93 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)02-0123-06

Heat Dissipation Optimization Method for the Backlight Module of High-brightness Rugged Display

SHAN Yajun^{1,2*}, TANG Guangming^{1,2}, SHENG Chen^{1,2}, YAN Qiubai^{1,2}

(1. The 55th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN; 2. National Flat Panel Display Engineering Research Center, Nanjing 210016, CHN)

Abstract: A heat dissipation optimization method was proposed for the backlight module of the high-brightness rugged display by improving interface materials, designing low thermal resistance heat dissipation path and optimizing parameters of the cooling grid, through the analysis of the internal heat dissipation environment of the rugged display. A certain type of ruggedized display was taken as the research object, and the heat dissipation performance between the original design and optimized design was compared. The results showed that the working temperature of the LED on the backlight module was greatly reduced after applying the proposed heat dissipation method.

Key words: rugged display; heat dissipation optimization method; interface material; heat dissipation path; parameter optimization of the cooling grid

引 言

热设计是显示器环境适应性设计的一项重要

技术。显示器工作时, 内部组件发生电流流动, 热量不断产生。随着热量的积聚, 若产品内部不找出一条流通路径将热量导走, 元器件的温度便会

收稿日期: 2021-12-28

作者简介: 单亚军(1993—), 男, 工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计; (E-mail: 1792927406@qq.com)

唐光明(1985—), 男, 工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计;

盛 陈(1985—), 男, 高级工程师, 研究方向为加固液晶显示器结构设计。

*通讯作者

升。如果热流路径不通畅,温度就会不断上升,直至元器件损坏,电流中断为止。电子设备(或系统)的可靠性研究表明,随着温度的升高,电子元器件失效率呈指数增长,这在不同程度上降低了设备的可靠性。研究显示,元器件温度每提高 2°C ,其可靠性将降低 10% ^[1-3]。

背光组件作为显示器内部的大功率组件,如果其热量不能及时散出,会导致LED温度升高,引发LED发光效率下降、发光强度降低、使用寿命缩短以及色温质量下降等问题^[4-5]。因此,优化背光组件的散热性能对于提高显示器的可靠性具有十分重要的意义^[6]。

针对加固显示器面临的散热问题,文章基于对加固显示器内部散热环境的分析,提出了改善界面材料、优化背光组件散热传递路径、提高显示器壳体结构的散热能力这三种方式来综合提高加固显示器背光组件的散热能力,降低背光组件上LED的工作温度,提高产品的使用寿命和可靠性。

1 背光组件的散热机理

背光组件主要由背光条(PCB及LED)、界面材料(导热胶带)、背光支板三部分组成,如图1所示。

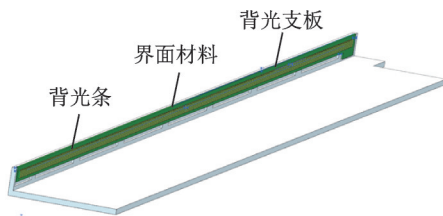
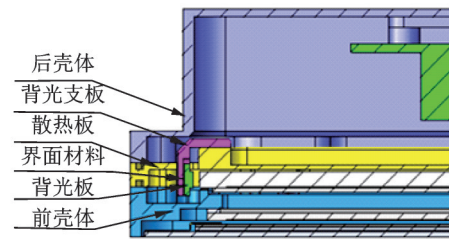


图1 背光组件示意图

Fig.1 Diagram of backlight module

图2为背光组件主要传热路径示意图,从图中可以看出,热量从LED经背光条、界面材料、背光支板传递至散热板和外壳体后,散发至外界环境中。根据热力学理论,LED的温升主要和背光功耗、背光条的热阻、界面导热材料的热阻、背光支板的热阻、背光组件到后壳体的热阻以及后壳体的散热能力有关。因此,背光组件的散热设计主要针对降低各环节热阻进行。

背光功耗是影响LED温升的主要因素之一,背光功耗的大小主要和产品内部工艺设计有关。设计时,应尽量在满足产品功能需求的情况下降低功耗,在此不做赘述。另外,背光条的外形尺寸受结构、电路、工艺因素制约较大。



背光板 \Rightarrow 界面材料 \Rightarrow 背光支板 \Rightarrow 散热板 \Rightarrow 外壳体 \Rightarrow 外界环境
外壳体 \Rightarrow 外界环境

图2 背光组件后端传热路径示意图

Fig.2 Diagram of heat dissipation path of the backlight module

文章主要研究产品在背光功耗和背光条结构参数均已确定的情况下,通过优化设计,降低LED的温升,提高背光组件的可靠性和使用寿命。根据背光组件在显示器内部的散热环境,文中实施散热优化设计的技术路线如下:

- 1) 选用合适的高导热界面材料,降低界面温差;
- 2) 优化背光组件的散热路径,在显示器内部设计一条低热阻的传导路径;
- 3) 在显示器壳体表面设计散热翅片,提高壳体的散热能力。

2 背光组件的散热优化

2.1 高导热界面材料的验证与应用

常用的背光条大都是通过常规导热胶带粘贴在背光支板上。常规导热胶带是采用聚酰亚胺薄膜衬底,涂布压敏背胶而成;其粘接性能优异,可以保证PCB和背光支板之间紧密贴合,粘接面不易产生气泡。然而,常规导热胶带本身的导热系数较低,限制了背光组件的散热能力,背光功耗较高时,常规导热胶带的导热性能已很难满足产品使用的需要。部分导热材料的导热系数较高,但其本身粘接性能不好,粘接面易产生气泡,反而造成背光组件整体的散热性能不理想。文中调研选用了一种新型导热胶带,它不仅具有较高的导热系数,也具有良好的粘接性能。

2.1.1 理论分析

2.1.1.1 材料性能参数

新型导热胶带是在聚酯离型膜表面以精密涂布工艺涂布特殊高导热亚克力胶而成,具有高粘着力及高导热双重功能效果,可以在散热器和结构之间进行粘接导热。表1为常规导热胶带与新型导热胶带的主要性能参数对比。

表1 常规导热胶带与新型导热胶带状性能参数对比

Tab.1 Parameters comparison between new thermally conductive tape and conventional thermally conductive tape

项目	常规导热胶带	新型导热胶带
颜色	浅褐色	白色
厚度/mm	0.2±0.02	0.125±0.02
热传导系数/(w·mk ⁻¹)	0.4	1.5~3.0
使用温度/(°C)	-30~125	-40~120

2.1.1.2 理论计算

根据热力学理论,可知:

$$\Delta T = R \times P \quad (1)$$

式中,ΔT为界面温差,R为界面材料的热阻,P为功耗。

背光组件的热阻 $R_{背光}$:

$$R_{背光} = R_{LED} + R_{PCB} + R_{导热材料} + R_{背光支板} \quad (2)$$

式(2)中,热阻主要和材料的导热系数及其在传热路径上的厚度有关,单一材料的热阻计算公式为:

$$R = \frac{d}{K \times A} \quad (3)$$

式(3)中,d为导热对象在传热路径上的厚度,k为导热系数,A为接触传热面积。

根据式(1)、(2)、(3)以及背光组件的材料属性和几何参数,以功耗9 W,发热效率70%计算,可计算背光组件各介质之间的温差得表2。

表2 背光组件各介质之间的温差计算

Tab.2 Temperature difference between different interfaces of the backlight module

	LED 温度/(°C)	PCB 温差/(°C)	界面 温差/(°C)	背光支板 温差/(°C)	总温差/ 温差/(°C)
常规导热胶带	0.5	3	1.0	忽略	4.5
新型导热胶带	0.5	3	0.1	忽略	3.6

2.1.2 试验分析

文中以某型加固显示器的背光组件为试验对象,准备两种背光组件进行对比。背光组件1选用常规导热胶带作为界面材料将背光条粘贴在背光支板上;背光组件2选用新型导热胶带作为界面材料将背光条粘贴在背光支板上。在9 W背光功耗下,测得背光组件1、背光组件2的LED温度分布分别如图3~4所示;背光组件1、背光组件2中背光支板的温度情况如图5所示,具体结果见表3。

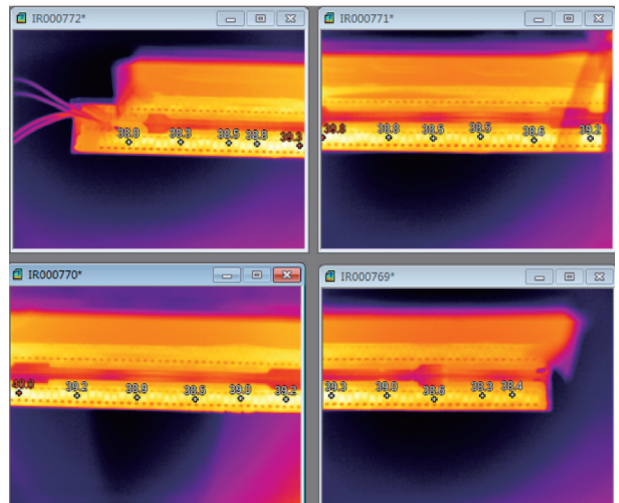


图3 背光组件1(常规导热胶带)温度分布

Fig.3 Temperature distribution of the backlight module(conventional thermally conductive tape)

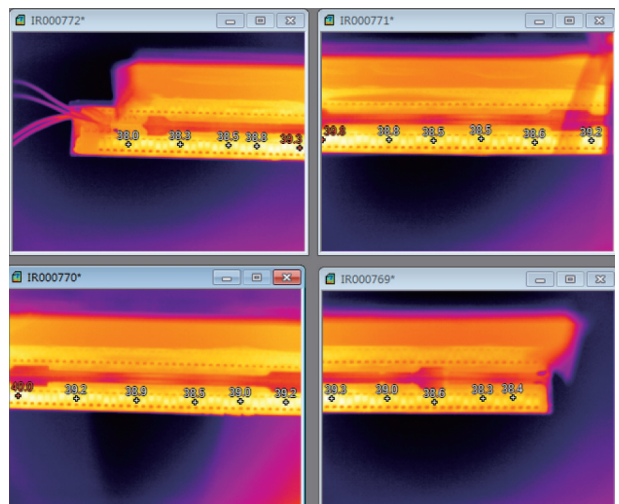
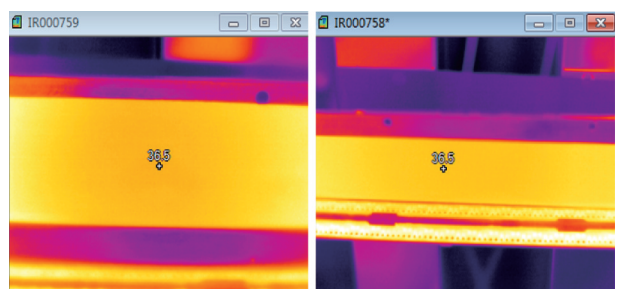


图4 背光组件2(新型导热胶带)温度分布

Fig.4 Temperature distribution of the backlight module(new thermally conductive tape)



(a) 背光组件1的背光支板温度 (b) 背光组件2的背光支板温度

图5 背光支板温度情况

Fig.5 Temperature situation of the backlight support board

从图表可知,在背光组件达到热平衡后,背光支板上的温度基本一致,为36.5°C左右;背光组件1

表 3 实测背光组件温度分布图

Tab.3 Temperature distribution of the backlight module in the test

界面材料	LED 温度/ (°C)	结构温度/ (°C)	实测总 温差/(°C)	理论计算总 温差/(°C)
常规导热胶带	41.0	36.5	4.5	4.5
新型导热胶带	40.0	36.5	3.5	3.6

(常规导热胶带)的LED上最高温度约41.0℃,背光组件2(新型导热胶带)的LED上最高温度约40℃,且最高温度均处于LED布置区的中间区域。

由表3可以看出,背光组件的散热试验结果与理论计算结果较为吻合,且相较于常规导热胶带,背光组件的界面材料使用新型导热胶带,能进一步减小背光组件的热阻,进而降低LED的温度,体现了新型导热胶带在背光组件散热性能上的优越性。特别是对于功耗大的背光组件,新型导热胶带的散热优势更加明显。

2.2 低热阻通道设计

以往设计未注重背光组件的传热路径的设计,背光组件的散热路径较长,各传热界面间的热阻较大,导致背光组件产生的热量散热不畅。在原有设计方案的基础上,研究改进背光支板与后壳体结构设计,优化了背光组件与后壳体之间的横向接触与纵向空间,并在背光组件与后壳体之间的间隙中填充导热性能优良的柔性导热垫,降低背光组件至后壳体之间的传递热阻,背光产生的热量直接通过高导热柔性导热垫传导至后壳体,显著缩短了背光组件的传热路径,在显示器内部形成了一条低热阻的散热通道,大大减小了背光组件在显示器内部的传导热阻。优化后显示器内部传热路径如图6所示。

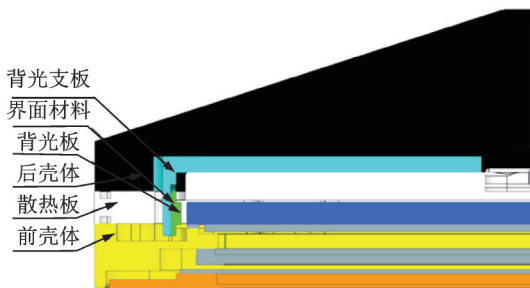


图6 优化方案显示器后端散热示意图

Fig.6 Diagram of heat dissipation at the backside of the display

2.3 壳体散热能力提高

显示器内部的热量最终是通过结构壳体表面散发出去,因此提高壳体表面的散热能力对显示器

的热可靠性具有积极的影响。除了壳体结构材料选用导热性能优异的铝合金,并对壳体外观采用黑色涂覆外,一般可以采用优化散热翅片来增大显示器与环境的有效接触面积,强化显示器外壳体表面与空气的对流换热能力,提高外壳体的散热能力。

电子器件产生的热量通过散热器以自然对流的方式与空气进行热交换。图7为散热翅片的模型示意图。图中, t 为翅片厚度, s 为翅片间距, H 为翅片高度, t_s 、 W 、 L 分别为基板厚度、散热器长度及宽度。

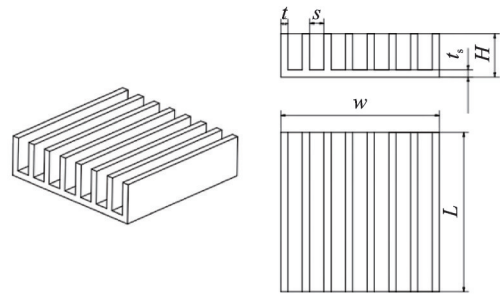


图7 散热翅片的模型示意图

Fig.7 Diagram of cooling grid

设计时,在后壳体靠近背光侧设置散热翅片,提高显示器的散热能力。根据热力学理论可知:

$$m = \sqrt{\frac{2h}{t \times \lambda_{\text{散热器}}}} \quad (4)$$

$$h = \frac{Nu \times \lambda_{\text{空气}}}{H_0} \quad (5)$$

$$Nu = C \times Ra^n \quad (6)$$

$$Ra = Gr \times Pr \quad (7)$$

$$Gr = \frac{\rho g \Delta T H_0^3}{\nu^2} \quad (8)$$

式中: m 为描述翅片材料和流体物性的参数;

h 为散热翅片表面的换热系数;

t 为散热翅片的厚度;

$\lambda_{\text{散热器}}$ 为散热器材料的传热系数;

Nu 为努塞尔数,传热系数 h 与特征长度 H_0 的乘积除以流体热导率 λ 的无量纲数;

Ra 为瑞利数,描述流体热传递形式的无量纲数;

C 、 n 为系数常数,与散热器表面流体流态有关;自然冷却方式下,散热器表面流体一般为层流, C 取0.59, n 取0.25;

Gr 为格拉晓夫数,自然对流浮力与粘性力之比;其中, ρ 为空气密度; g 为重力加速度; ΔT 为翅片温度与环境温度之间的温差; H_0 为特征长度,竖直板的特征长度为散热翅片的高度值 H ;水平板的

特征长度取 $(L+s)/2$, L 为散热器宽度, s 为翅片间距; ν 为空气动力粘度,取 14.8×10^{-6} 。

Pr 为普朗特数,是由流体物性参数组成的一个无量纲数,反映流体物理性质对对流传热过程的影响,取0.696。

式(9)为同样材料的消耗下,散热器散热量达到最大值时,散热器的参数约束条件:

$$m \times L_0 = 1.3094 \tag{9}$$

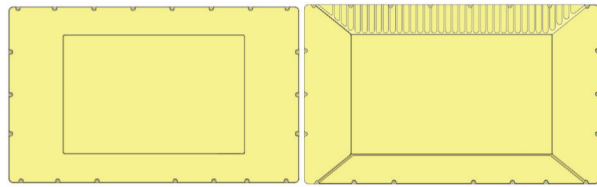
在产品外形尺寸的约束下,对后壳体散热翅片的厚度和间距进行了优化仿真,并得出几组最优解:

第一组: $t=2.2\text{ mm}, s=9\text{ mm}$;

第二组: $t=3\text{ mm}, s=8.9\text{ mm}$;

第三组: $t=3.8\text{ mm}, s=8.1\text{ mm}$;

考虑到显示器产品外形、结构的强度、加工及表面涂覆等因素,最终翅片厚度为3 mm,翅片的间距设置为9 mm。图8为散热优化前后的显示器后壳体设计示意图。



(a) 优化前后壳体设计示意图 (b) 优化前后壳体设计示意图
图8 优化前后壳体设计示意图

Fig.8 Diagrams of rear shell design before and after optimization

3 结果对比

图9为优化前后某款显示器的外观示意图。本实例中,显示器工作背光功耗为35.5 W。文中通过仿真分析,分别对比了优化前后显示器背光组件LED的温度情况,并进行了试验验证。仿真及试验参数见表4。



(a) 优化前显示器外观示意图 (b) 优化后显示器外观示意图
图9 显示器优化前后外观示意图

Fig.9 Photos of appearance before and after optimization

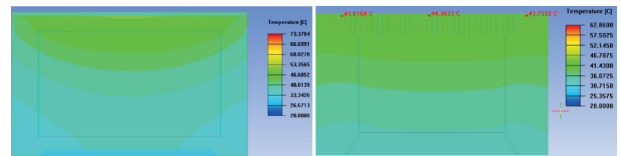
表4 环境参数

Tab.4 Environmental parameters

背光功耗/W	发热效率(%)	环境温度/(°C)
35.5	70	25

3.1 仿真计算

基于热分析软件分析了优化前后显示器的温度场分布情况。图10为常温(25°C)条件下,显示器优化前(a)、优化后(b)内部温度分布云图。由图可知,优化前显示背光组件上LED达到73.34°C,优化后显示背光组件上LED约62.86°C;相较于优化前,LED温度下降了10.48°C。



(a) 优化前显示器温度分布 (b) 优化后显示器温度分布

图10 优化前、后显示器温度分布云图

Fig.10 Temperature distribution of the display before and after optimization

3.2 试验验证

如图11所示,分别在背光支板上B1、B2、B3、B4位置布置了温度传感器,在散热板上S1处布置了温度传感器,监测产品内部各点的温度情况;优化前后显示器内部测点温度情况见表5;优化前、后显示器壳体温度情况分别如图12~13所示。

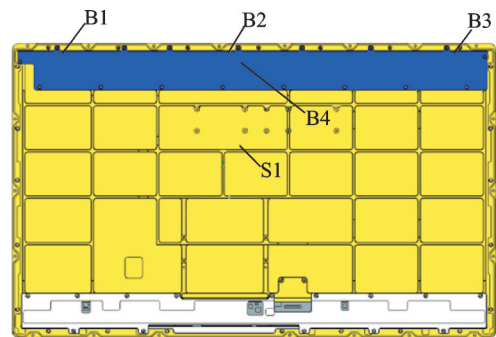


图11 显示器背光组件散热优化试验内部测点示意图

Fig.11 Temperature situation of the display before and after optimization

从图10中仿真结果中提取的背光支板最高温度为44.84°C,后壳体最高温度约44.5°C,后壳体背光侧两端温度43.5°C左右。由图13和表5可知,实测的后壳体上最高温度出现在后壳体背光侧中间

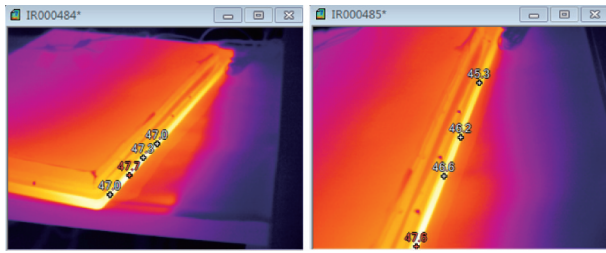


图 12 优化前显示器壳体实测温度分布图

Fig.12 Temperature distribution of the rear shell before optimization

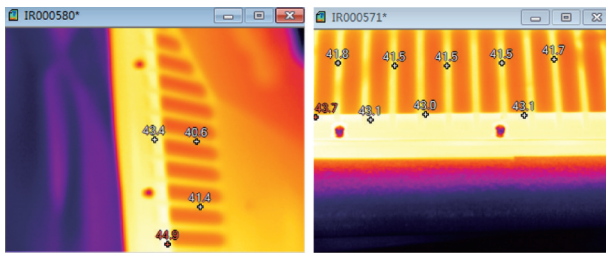


图 13 优化后显示器壳体实测温度分布图

Fig.13 Temperature distribution of the rear shell after optimization

表 5 优化前后显示器内部各测点温度对比

Tab.5 Temperature distribution of each measuring point in the display

测点	优化前温度/(°C)	优化后温度/(°C)	温度降低值/(°C)
B1	48.9	43.3	5.6
B2	52.4	45.1	7.3
B3	49	43.2	5.8
B4	50.5	43.4	7.1
S1	44.8	40.1	4.7

区域,最高温度达到 44.9 °C;后壳体背光侧两端温度约 43.2 °C 左右;实测的背光支架最高温度约为 45.1 °C。对比仿真与试验温度数据可以看出,仿真结果与试验结果较为吻合,表明了仿真模型的准确性。另外可以看出,优化后后壳最高温度相较于优化前略有升高,原因是优化后背光组件向后端传热阻降低,更多的热量流向后端,导致后壳局部温度略有升高,表明了低热阻通道设计的有效性。

3.3 LED 温度分析

通过仿真与试验数据的对比,论证了文中仿真模型的准确性。根据表 3 结果,在 9 W 功耗下,背光组件 1、背光组件 2 的温差分别为 3.6 °C 和 4.5 °C;可

以推测,在 35.5 W 功耗下,背光组件 1、2 的总温差约为:

$$\text{背光组件 1: } 3.6 \times \frac{35.5 \times 0.7}{9 \times 0.7} = 14.2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{背光组件 2: } 4.5 \times \frac{35.5 \times 0.7}{9 \times 0.7} = 17.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

从表 5 中可以看出,优化前背光支架最高温度约为 52.4 °C,优化后背光支架最高温度约为 45.1 °C。由此可以推测,优化前背光组件 LED 上的最高温度约为 70.2 °C,优化后背光组件 LED 上的最高温度约为 59.3 °C。优化后,背光组件上 LED 的温度较优化前下降了 10.9 °C,可极大地提升 LED 的使用寿命和可靠性。

4 结 论

基于某型加固显示器的背光组件散热机理,提出了一种高亮度加固显示器的背光组件散热优化方法。文中提出的背光组件散热优化方法从改善界面材料、优化背光组件散热传递路径、提高显示器壳体结构的散热能力这三个方面来综合提高加固显示器背光组件的散热能力。试验结果表明,在 35.5 W 背光功耗条件下,通过提出的散热优化方案,将某型显示器背光组件 LED 的温度在原方案基础上降低了 10.9 °C,优化效果显著。

参 考 文 献

- [1] 曾梦麟,周佐华,陈康,等.抑制 GaN 等 LED 发光效率衰减的研究进展[J].材料导报,2012,26(11):25-29.
- [2] 潘平,顾适夷,杨薇.机载液晶显示器温度控制技术[J].电子机械工程,2007,2:29-34.
- [3] 涂娟,王长宏.热点冷却 LED 散热系统性能试验[J].云南电力技术,2013,41(5):94-102.
- [4] West R S, Konijn H, Sillevius Smitt W, et al.43.4: High brightness direct LED backlight for LCD-TV[C]. SID Symposium Digest of Technical Papers, Blackwell Publishing Ltd, Michigan, USA, 2012, 34(1): 1262-1265.
- [5] 张雪粉.大功率 LED 散热研究及散热器设计[D].天津:天津大学,2007.
- [6] 纪玲玲.侧入式 LED 背光源设计与优化[D].广州:华南理工大学,2010.