

·测试、试验与仿真·

大尺寸LED背光源散热结构的仿真、设计与测试

鞠霞¹, 文尚胜^{1,2}, 陈颖聪¹

(1.华南理工大学材料科学与工程学院, 广东 广州 510640; 2.华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:过高的工作温度会直接降低LED使用寿命,并且会影响其发光强度以及发光效率,导致大尺寸LED背光源光学性能大幅下降。从侧边式LED背光源模组的角度出发,设计并采用IcePak软件仿真散热铝挤的宽度和厚度对背光模组温度的影响,最终给出了适用于大尺寸LED背光模组的散热结构。结果表明,随着铝挤的长度或厚度的增加,LED Bar的温度都会减少,取铝挤长度为200 mm,厚度为2 mm,此时LED Bar的温度为69.4 °C,小于70 °C,符合设计要求且成本最低。进一步测量对应样机的LED Bar温度,其最高温度为69.7 °C,与仿真实验结果非常接近。该结构制造工艺较为简单、成本低廉,并且符合背光模组轻薄化的要求,具有一定的市场价值。

关键词:LED背光源;热仿真;散热分析

中图分类号: TN312^{+.8}; TN383^{+.1}

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-05-0079-06

Simulation Design and Test of Large-size LED Backlight Heat-dissipation Structure

JU Xia¹, WEN Shang-sheng^{1,2}, CHEN Ying-cong¹

(1.School of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China; 2.State Key Laboratory of Luminescence Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: LED operation life is directly reduced by very high operation temperature and the luminous intensity as well as efficiency are affected, leading to the optical characteristics of large-size LED backlight reduced greatly. From side LED backlight module, IcePak software is designed and used to simulate the influence on backlight module temperature from the width and thickness of heat-dissipation Aluminum substrate. And the heat-dissipation structure suitable to large-size LED backlight module is given. The results show that with the increasing of the length and thickness of Aluminum substrate, the temperature of LED Bar will reduce. When the Aluminum substrate with 200 mm length and 2 mm thickness is chosen, the temperature of LED Bar is 69.4 °C, which is less than 70 °C and the design requirements are met and the lowest cost is got. LED Bar temperature of the prototype is measured and the highest temperature is 69.7 °C, which is much closed to simulation results. The structure has simple manufacture technology and low cost and accords with the requirements of light weight and thinner backlight module, which has a certain market value.

Key words: LED backlight; thermal simulation; heat-dissipation analysis

液晶显示器作为一种被动性显示器,其本身不会发光,依靠背光源的光线穿透显示面板来显示图形图像。显示器的亮度、颜色、功耗等主要指标依赖于背光源的性能。因此,研制高水平的背光源产

品倍受国内外液晶显示行业人士的关注。

近年来,由于对环保、功耗、画质等方面的高需求,传统的背光源-冷阴极荧光灯(CCFL)在这些方面的不足已逐渐显现。而寿命更长、显示色域更

收稿日期:2014-07-11

基金项目:广东省科技厅重大科技专项(2011A080801016);广东省战略性新兴产业专项(2011A081301017,2012A080304012,2012A080304001);广州市科技计划项目(2013J4300021)

作者简介:鞠霞(1980-),男,江苏省泰兴市人,硕士,研究方向为有机发光二极管(OLED)散热仿真。

广、功耗更低、更加环保的新型背光源-LED以压倒性优势占据了液晶面板市场^[1-3]。

LED背光源根据LED在背光模组放置位置不同可分为侧边式和直下式。而在液晶显示器尺寸越来越大的需求的促使下,背光源亮度要求也越来越大,芯片数量的要求也越来越多,而在有限的面积内模组中芯片数量增多,功率密度也增大,再加上芯片与芯片之间由于间隔很小,其热影响除了来自芯片本身的发热外,其他芯片所产生的热量也会相互影响,这样给散热提出了很大的挑战^[4]。散热问题的解决,主要需要通过合理的散热通道设计,让热量从LED芯片通过最有效通道散热出去^[5]。一方面对LED芯片进行有效的热学设计和工艺加工,同时选择合适的封装材料和封装结构;另一方面就是开发更适合的散热结构和散热方式。大尺寸侧入式LED背光模组一般采用大功率白光LED为光源,散热面积少,LED芯片相互影响程度大,使得对于整个大功率白光LED背光源模块的系统级散热处理成为保障器件能够稳定工作的关键^[6]。

文中将结合LED散热模型的分析,对大尺寸侧入式LED背光源模块进行散热设计,通过对散热模块中铝挤尺寸的设计,减少背光源模块的热阻,降低LED Bar的温度,最后采用仿真软件模拟和实际样机的测试得出LED Bar的温度分布图。结果表明,模拟和实际测量得到的LED Bar最高温度非常接近,均低于70℃,满足设计要求,所设计通过先采用热学软件仿真,后制作样机测试,不仅设计出一款可靠性高光学指标稳定的大尺寸LED背光模块,而且所用的设计周期短,耗料少成本低,具有高效率的开发过程。

1 LED背光源散热分析

1.1 LED散热模型分析

图1所示为LED散热模型。图1中所示的各符号定义如下: R_{JA} 为芯片与空气之间的热阻; R_{JC} 是管芯与散热垫之间的热阻; R_{CB} 表示散热垫与印制板敷铜层之间的热阻; R_{BA} 为印制板与空气之间的热阻; T_J 、 T_C 、 T_A 分别表示管芯温度、散热垫温度、环境空气的温度^[7-8]。

热量总是从温度较高的地方向低的地方传递,设 T_J 为LED工作结温; T_A 为器件周围环境空气温度;

T_C 为散热垫底部的温度。明显的,三者具有 $T_J > T_C > T_A$ 的关系。因此LED器件中热量是沿着管芯→散热垫→印制板敷铜层→印制板→环境空气的路径进行传递的。

不同的材料导热能力也各不相同,亦即各个材料有不同的热阻。如图1中所示, R_{JC} 、 R_{CB} 、 R_{BA} 分别表示LED的热阻、散热垫传导到印刷电路板敷铜层热阻、印刷电路板传导到环境空气的热阻,则管芯传导到环境空气的总热阻 R_{JA} 与各部分之间传导的热阻的关系可由下式表示

$$R_{JA} = R_{JC} + R_{CB} + R_{BA} \quad (1)$$

热量传递过程中的热阻越小,说明导热性能越好,也就意味着散热能力较强。

LED工作结温 T_J 、环境空气的温度 T_A 、LED热损耗 P_D (单位为W)三者之间的关系可以表示为

$$R_{JA} = (T_J - T_A) / P_D \quad (2)$$

LED热损耗 P_D 与LED的正向压 V_F 以及正向电流 I_F 的关系可以由下式描述

$$P_D = V_F \times I_F \times \xi (\text{常数}) \quad (3)$$

管芯传导到环境空气的总热阻 R_{JA} 的具体数值可以查询相关技术手册获得;环境温度 T_A 可以通过实际测量获得;LED热损耗 P_D 可以通过计算得到。因此,LED器件的工作结温 T_J 可以通过上面的两个公式计算得到。

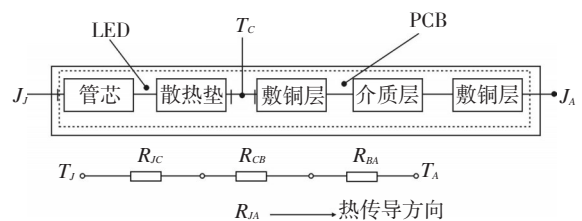


图1 LED简易散热模型

综上所述,降低LED工作结温的主要手段主要可以分成两种,亦即减小热阻和减小LED的热损耗^[9-10]。

1.2 LED背光源热效应

目前大中型尺寸的LCD用LED背光源通常是使用数颗红光蓝光以及绿光LED构成。为了满足实际需要,一般要求背光源功率要高于10W,并且驱动电流要在150mA与1000mA之间。因此,背光源需要将大量的中高功率LED组合在一起才能满足上述需求,而大量的大功率LED同时工作时,

会使LED背光源的温度急剧上升。高温会对LED器件产生严重的影响,会直接导致器件发光亮度下降,并且使器件寿命显著降低。此处特别指出,温度与亮度成线性关系,而器件使用寿命与温度成指数关系^[11-12]。表1是艾迪森公司给出该公司生产的大功率白光LED的结温与使用寿命的关系。当结温为70℃的时候,寿命降为50 000 h,温度升高,寿命下降得更快。对于LED背光源,由于LED的集聚,芯片间相互影响,控制结温的难度就更大了。

表1 结温与寿命关系

$T_j/(\text{℃})$	寿命/hr	$T_j/(\text{℃})$	寿命/hr
25	234,000	85	29,500
30	191,000	90	25,700
35	157,000	95	22,300
40	129,000	100	19,500
45	107,000	105	17,100
50	90,000	110	15,100
55	75,000	115	13,300
60	64,000	120	11,700
65	54,000	125	10,500
70	46,000	130	9,300
75	39,000	140	7,500
80	34,000	150	6,000

1.3 LED背光源散热问题解决方案

大尺寸侧入式LED背光源为了达到高亮度,通常采用中高功率的LED芯片,其结构如图2所示。其中LED产生的热首先会通过LED Bar传导到散热片,散热片将热进一步扩散导出,散热片一般是采用具有高导热系数的材料,将热扩散开后,再通过热传导将热传出模组外壳上,通过空气的对流换热,进而将热量带走,从而达到散热的目的。因此解决背光源散热问题的方案可以从两方面入手:(1)从LED Bar着手,通过减少LED自身的热阻和热损耗,增加PCB板和导热胶的导热系数或简化LED Bar的结构,从而减少结构热阻;(2)从背光源结构着手,主要通过优化机台的散热结构。对于第一种方法是从LED本身以及LED载体来进行的,这部分散热机制需要LED结构去做改善,需要LED厂商进行改善,文中未能涉及这部分。文中将主要讨论第2个方面,即将从模组设计的角度,通过对铝挤尺寸的优化,改善背光源的传热路径^[13-15]。

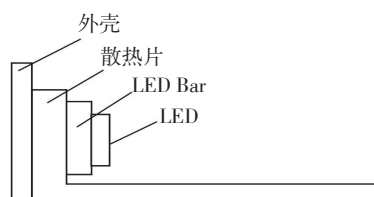


图2 背光源模块散热结构简化图

2 Icepak仿真实验

2.1 软件介绍

Icepak软件由全球最优秀的计算流体力学软件提供商Fluent公司,专门为电子产品工程师定制开发的专业电子热分析软件,广泛应用于通讯、汽车及航空电子设备、电源设备、通用电器及家电等领域。

借助Icepak的分析和优化结果,可以减少设计成本,提高产品的一次成功率,不用直接制作各种样机来测试各种可能的方案。一方面避免了昂贵的制作费用;另一方面通过仿真还可以缩短产品开发的时间,进而缩短产品的上市时间。

2.2 散热结构的设计

采用Icepak仿真的流程图如图3所示。

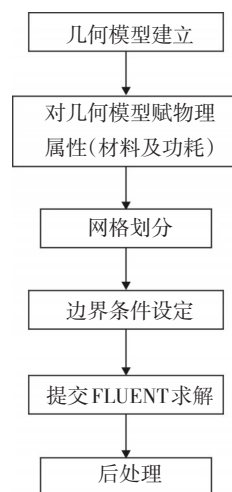


图3 仿真流程图

在建立几何模型之前,先对背光源的尺寸和设计的要求进行定义。文中将采用软件仿真和实例测试对大功率LED背光模组散热结构进行设计。其设计参数如下:模组边框值为5 mm,模组尺寸为

55寸, panel分辨率为4 K×2 K, 模组亮度为400 nits, 设计目标为LED Bar温度不能高于70℃, 模组的前框温度不能超过45℃, 且设计成本不可过高。

根据光学亮度和5 mm边框值的设定, 初步形成如图4的模组截面设计。

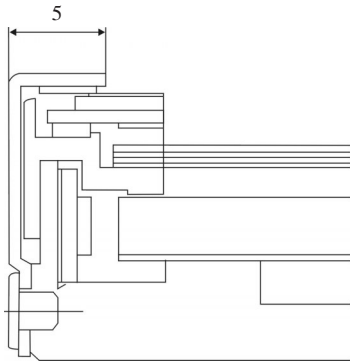


图4 背光模组截面图

此外由于采用的LED灯条功率密度(单位长度的功耗)高达0.103 W/mm, 所以需要用到铝挤加上铝背板的结构, 考虑到设计尺寸为55寸, 因此背板选用1.0 T厚度, 以保证强度, 因此铝挤的尺寸设计就成为本散热设计中最关键的一环。

根据以上参数, 建立模型如图5所示。设计优化参数为铝挤的长度 L 和宽度 d , 侧墙厚度 t 因为窄边框的关系, 已经有限制, 所以本次设计中不涉及侧墙厚度 t 。

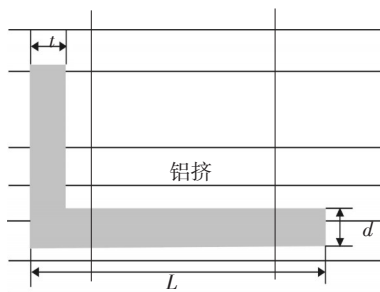


图5 仿真参数图

根据尺寸建立好物理模型后, 再对几何模型赋予物理属性。本例中铝挤实际设计使用的铝材型号为6 063, 所以设置导热系数为200 W/(m·K); 背板实际设计使用的铝材型号为5 052, 导热系数设置为140 W/(m·K); 灯条基板实际设计使用的铝材型号为5 052, 导热系数设置为140 W/(m·K)。

文中LED Bar中单位LED的功率为0.103 W, 考

虑到70%的发热功率^[8,14], 因此将LED的热功率设计为 $0.103 \times 0.7 = 0.0721$ W, 此数值对应到热力学参数表中的Total power, 另外还需要设置LED的传热功率, 如果不设置该参数的话, 热就无法导出。一般情况下将导热系数设置为180~200 W/(m·K)之间, 文中设置为190 W/(m·K)。

至此已建立了完整的散热路径, 针对模组的其他部材, 例如光学膜片、胶框、panel、前框等, 因为这部分对散热结构的影响主要是将散热结构密闭成一个封闭的空间, 因此直接通过机柜模块来代替即可。

完成以上步骤后, 就完成了散热模型的建立, 接下来通过网格划分和迭代条件设置, 即可进行散热模型的求解。

3 结果分析

3.1 仿真结果分析

保持侧墙厚度 t 不变, 通过改变宽度和长度做不同组合的仿真, 建立了铝挤宽度和长度与LED Bar温度的对应关系如图6所示。

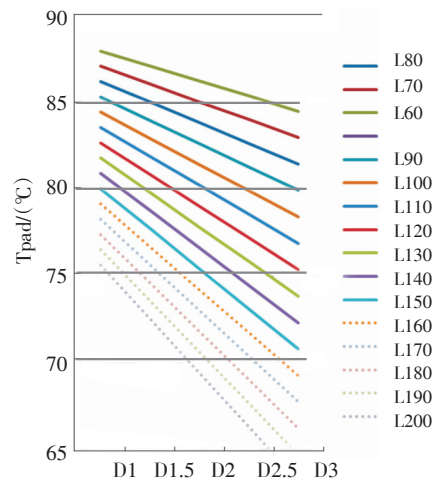


图6 铝挤宽度、长度和结温的分布趋势图

由趋势图6可知, LED Bar的最高温度随着铝挤宽度的增大而下降, 其下降的速度跟铝挤的长度有关, 铝挤的长度越长, LED Bar的最高温度下降的速度越快。相应的, 铝挤的长度也影响LED Bar的温度, 铝挤越长, LED Bar的最高温度越低。为了达到LED Bar温度小于70℃的设计目的, 应该从趋势图上 T_{Bar} 温度小于70℃的区域选取长度和宽度。从成

本考虑,选择200 mm宽度、2 mm厚度的铝挤结构,即可达到70℃以下要求,同时也实现了最低设计成本的要求。仿真的温度分布图如图7、图8所示。

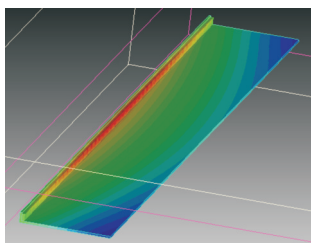


图7 铝挤温度分布图

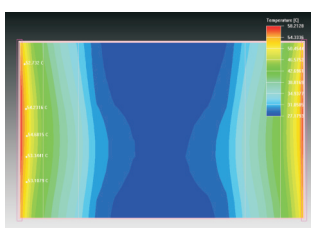


图8 整个模组的温度分布图

3.2 样机实测结果分析

根据仿真所得的散热结构,进行样机制作,并进行温度测试,以验证仿真的准确性。

测试内容为LED Bar温度,测量点(前框测试点为与之对应)分布如图9所示。



图9 LED Bar测量点分布

初始温度为24.5℃的条件下,使用红外测温仪(智选仪器仪表GM700)分别测量了LED Bar的温度,得到LED Bar和前框温度如表2所示。

表2 LED Bar及前框温度测试结果

环境温度25.0	Bar	BezelLeft	BezelRight
1(Top)	69.7	43.2	41.8
2	68.5	42	40.5
3	67.2	44	43.1
4	67.6	42	42.3
5	65.4	41.9	42.2
6(Bottom)	64.2	41.8	42.2

测量结果显示,所测的温度达到了设计要求,同时LED Bar的最高温度为69.7℃,比仿真实验高0.3℃,验证了文中仿真方式的合理性,为后续的设计提供了建模参考,并为进一步提升设计质量和缩短开发时间提供了更有力的保证。

4 结论

通过对液晶显示模组结构进行分析,重点介绍了热量对于液晶显示模组的影响,以及改善背光源热效应的方式。通过Icepak仿真软件,对影响背光源LED Bar温度的因子进行设计模拟。实验结果表明,通过改变铝挤的参数,能较大范围地调节LED Bar的温度,进而设计出一款符合散热要求的背光源。进一步根据仿真的结构制作出样机,并采用红外测温仪进行测试LED Bar的温度,结果显示实际测量的结果与仿真时得到的结果非常接近,仿真软件达到很好的拟合效果。文中突破传统的设计思路,采用先仿真设计散热路径,再进行实际的结构设计,大大提高了设计成功率,同时也极大地降低了试验的测试成本,具有很好的指导意义。

参考文献

- [1] 刘敬伟,王刚,马莉,等. 大尺寸液晶电视用LED背光源的设计与制作[J]. 液晶与显示, 2006, 21(5):539-543
- [2] David De Ageazio. 关于LED背光源设计及制造的思考[J]. 现代显示, 2006, 59:30-33.
- [3] 蒋金波,杜雪,李荣彬,等. 用于手机背光模组的轮廓渐变V-槽形自由曲面结构的新颖设计[J]. 液晶与显示, 2005, 20(3): 178-184.
- [4] Brill K G. Heat density trends in data processing, computer systems and telecommunication equipment[M]. The Uptime Institute, Inc., 2006.
- [5] 林世宪,郭太良,林志. LED背光源的最新发展[J]. 国外电子测量技术, 2006, 25(5).
- [6] 田大垒,关荣峰,王杏. 大功率LED封装有限元分析[J]. 半导体技术, 2008, 33(3):248-251.
- [7] 姜斌,宋国华,缪建文,等. 基于板上封装技术的大功率LED热分析[J]. 电子元件与材料, 2011, 30(6): 48-52.
- [8] 陈建龙,文尚胜,姚日晖,等. 去除铝基板的大功率LED热分析[J]. 发光学报, 2012, 33(12): 1362-1367.
- [9] 周文英,齐暑华,涂春潮. 绝缘导热高分子复合材料研究[J]. 塑料工业, 2005, 33:99-104.

- [10] 季旭东. LCD用LED背光源技术[J]. 照明工程学报, 2003, 14(3):19-25.
- [11] 方福波, 王垚浩, 宋代辉, 等. 白光LED衰减的光谱分析[J]. 发光学报, 2008(2):353-357.
- [12] Liu J, Tam W S, Wong H, et al. Temperature-dependent light-emitting characteristics of InGaN/GaN diodes[J]. Microelectronics Reliability, 2009, 49(1):38-41.
- [13] 张剑平, 邹建华, 文尚胜. 聚合物电致发光二极管面光源的热分析[J]. 光学学报, 2011, 31(2):286-292.
- [14] 兰海, 邓种华, 刘著光, 等. LED的COB封装热仿真设计[J]. 发光学报, 2012, 33(5):535-539.
- [15] 王静, 吴福根. 改善大功率LED散热的关键问题[J]. 电子设计工程, 2009, 17(4): 123-125.

(上接第75页)

$$y = -8 \times 10^{-6}x + 2.7351$$

(6) 4 结论

表2 实验测量数据

序号	摆动角 度/°	摆动 次数	累计 次数	测量数 据/mm
1	20	2 450	2 450	2.82
2	15	4 900	7 350	2.71
3	20	2 450	9 800	2.66
4	20	4 900	14 700	2.62
5	15	2 450	17 150	2.58
6	20	4 900	22 050	2.54
7	15	2 450	24 500	2.52
8	20	4 900	29 400	2.5
9	15	2 450	31 850	2.47
10	20	4 900	36 750	2.46
11	15	2 450	39 200	2.4
12	20	4 900	44 100	2.36
13	15	2 450	46 550	2.33
14	20	4 900	51 450	2.3
15	15	2 450	53 900	2.28
16	20	4 900	58 800	2.26
17	15	2 450	61 250	2.25
18	20	4 900	66 150	2.24
19	15	2 450	68 600	2.2
20	20	4 900	73 500	2.16
21	15	2 450	75 950	2.14
22	20	4 900	39 200	2.1
23	15	2 450	83 300	1.98

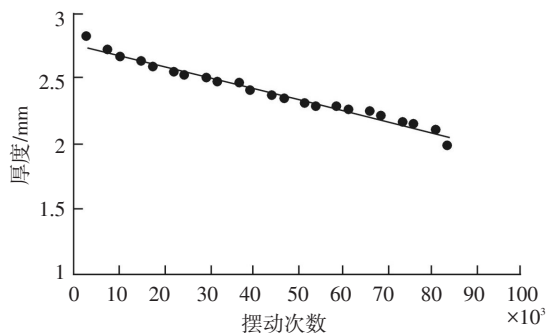


图7 实验磨损曲线

(1) 试验结果表明, 该实验平台的设计符合实验原理, 能够达到实验要求; (2) 从图7所示的曲线可知, $y = -8 \times 10^{-6}x + 2.7351$ (其中, x 为摆动次数; y 为垫圈的厚度), 曲线斜率 $k = -8 \times 10^{-6}$, 磨损速度为: 0.08 mm/万次。在此极限低温的情况下磨损速率较大, 应该考虑在垫圈失效之前及时更换垫圈; (3) 试验中由于低温环境造成的水蒸气很大程度影响耐磨材料的性能, 应考虑进一步的试验。

参考文献

- [1] 中达电通股份有限公司. DVP-04AD 类比输入模组使用说明[S]. 2002.
- [2] 中达电通股份有限公司. DVP-PLC 应用技术手册[S]. 2010.
- [3] 高博, 王江涛. VC++实现PLC的以太网通信[J]. 中国仪器仪表, 2004(11): 31-33.
- [4] 中达电通股份有限公司. Ethernet 通讯模块安装说明[S]. 2007.
- [5] 曹小华, 郭兴. 基于 Visual C++ 的工业 PC 和 PLC 通信设计[J]. 港口装卸, 2003, 149(3): 33-35.
- [6] 周永军. 在光电效应测定普朗克常数实验中测量方法的讨论[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2011, 28(2): 86-87.
- [7] 孙桓. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [8] 卢耀祖. 机械结构设计[M]. 上海: 同济大学出版社, 2004.
- [9] 孙志礼. 机械设计[M]. 沈阳: 东北大学出版社有限公司, 2000.
- [10] 王广雄, 何朕. 控制系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [11] 袁成清. 机械系统磨损测试与评价[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2012.