

# 基于 CFD的 FLOTHERM在 机载液晶显示器热分析的应用\*

夏显忠, 陶光勇, 夏利锋

(长沙湘计海盾科技有限公司, 湖南 长沙 410007)

摘要: 在阐述了机载用液晶显示器热设计重要性的同时, 介绍了热分析的基本理论和方法。并根据热设计原理对某预研的机载用液晶显示器进行热设计, 最后利用 FLOTHERM 及 ANSYS 对此液晶显示器进行了热分析, 得出了现有条件下设备内部元器件的温度分布、平均温度水平及 PCB 的热应力。通过数值仿真, 获得了满足热控要求的设计参数。

关键词: 热设计; 数值计算; 液晶显示器

中图分类号: TK124, TN873.93 文献标识码: A 文章编号: 1008-5300(2007)03-0007-04

## Application of CFD Based FLOTHERM in the Thermal Design of Airborne LCD

XIA Xianzhong TAO Guangyong XIA Lifeng

(Changsha Xiangji Haidun Science and Technology Co. Ltd, Changsha 410007, China)

Abstract This paper described the importance of thermal design for airborne LCD and introduced the fundamental theory and method. The whole process of thermal design of an airborne LCD was carried out based on the principle, then the temperature distribution contour, average temperature and PCB thermal stress were obtained by using FLOTHERM and ANSYS software to analysis the LCD. At last, design parameters fulfilling thermal control requirement were gained by numerical solution.

Key words thermal design; numerical simulation; LCD

## 0 引言

电子设备工作时, 输出功率往往只占设备输入功率的一部分, 其功率损失一般都以热能形式散发出去, 随着电子原器件及电子设备功率密度的不断增加, 温度已成为影响其可靠性的主要因素之一<sup>[1]</sup>。传统的热设计理论与方法于上世纪六、七十年代逐渐形成, 受当时传热学和传热技术发展水平的限制, 只能根据经验类比或利用由以物理相似理论为基础的有限的准确换热公式进行预先估计, 并与实验交替进行来完成整个产品的热设计。这些方法的计算结果准确性较差, 只能做一些简单的定性分析, 并且设计周期较长, 材料浪费较多, 研制成本较高, 严重影响了电子产品的开发<sup>[2-4]</sup>。目前, 随着数值计算与计算机技术的发展, 以结构力学、流体力学和传热学理论为基础的一些新型

电子产品热设计技术逐渐形成。

机载用液晶显示器中有相当一部分元器件属大功率器件, 如背光源、ASIC、FPGA 芯片和电源模块等, 这些器件在使用过程中将一大部分电能转化成热能, 元器件温度升高, 如果不进行良好的热设计, 这些热量不能及时传导出去, 必将导致显示器性能下降和失效率增加。军用飞机在高空以高速飞行时, 机载电子设备周围空气密度低, 冷却效果差, 因此, 改善散热方法及散热方式, 提高冷却效果, 合理设计高温环境下液晶显示器的散热途径, 避免每一个发热器件的热量积累, 提高其运行的稳定性及可靠性, 特别是对于军用、航空航天等密封式的电子设备而言具有更加重要的意义<sup>[5]</sup>。

## 1 热控制方程

常见的工程问题其温度分布属于流固耦合问题,

\* 收稿日期: 2007-02-14

在处理过程中通常视为稳态过程,且将体积力影响忽略,在稳态条件下,三维对流换热的通用方程式可表示为:

$$\left\{ \frac{\partial(u\gamma)}{\partial x} + \frac{\partial(v\gamma)}{\partial y} + \frac{\partial(w\gamma)}{\partial z} \right\} = \rho \left[ \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \gamma}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \gamma}{\partial z^2} \right] + S_0 \quad (1)$$

式中,  $\gamma$  为温度或三方向的速度等待求变量;  $u, v, w$  分别是  $x, y, z$  方向上的速度分量;  $\rho$  为密度;  $\nabla^2$  为变量的扩散系数;  $S$  为源项。

方程右端的第一项是由  $w$  的梯度引起的扩散项,其他变量梯度产生的扩散项都包括在源项  $S_0$  内。

由于连续方程、能量方程,三个方向的动量方程是相互耦合的,热控制方程的非线性及复杂性,在定解条件下很难求出其解析解,数值计算便成为解决这一问题的有力工具。利用数值计算方法对上述非线性方程进行离散化,得到一组代数方程组。微分方程的区域离散方法很多,其中以控制容积法最为常用,具体方法如图 1 所示<sup>[6-8]</sup>。

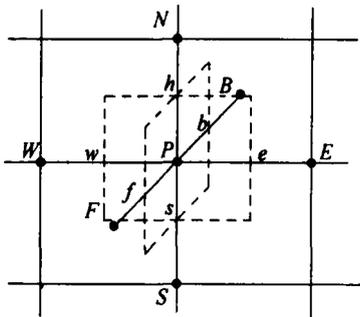


图 1 空间控制体示意图

对变量  $\gamma$  的控制体积分,并采用隐式差分格式,整理成关于  $\gamma$  的代数式:

$$a_p \gamma_p = a_E \gamma_E + a_W \gamma_W + a_N \gamma_N + a_S \gamma_S + a_F \gamma_F + a_B \gamma_B + b \quad (2)$$

式中:

$$a_E = + \rho D_e - \frac{1}{2} F_e - F_e +$$

$$a_W = + \rho D_w - \frac{1}{2} F_w - F_w + \quad (3)$$

$$a_N = + \rho D_n - \frac{1}{2} F_n - F_n +$$

$$a_S = + \rho D_s - \frac{1}{2} F_s - F_s + \quad (4)$$

$$a_F = + \rho D_f - \frac{1}{2} F_f - F_f +$$

$$a_B = + \rho D_b - \frac{1}{2} F_b - F_b + \quad (5)$$

$$b = S_0 \Delta x \Delta y \Delta z \quad (6)$$

$$a_p = a_E + a_W + a_N + a_S + a_F + a_B - S_p \Delta x \Delta y \Delta z \quad (7)$$

其中  $D$  和  $F$  分别为对流强度和扩散传导系数。两物体间的热辐射:

$$q = \sigma \epsilon_1 F_{12} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (8)$$

式中,  $T_1, T_2$  分别为物体 1 和物体 2 的绝对温度,  $K$ ;  $F_{12}$  角系数;  $\epsilon_1$  系统黑度。

FLOIHERM 正是采用了 CFD 及 Monte Carlo 法,可以解决三维流场及基于面积细分高精度的辐射计算。

## 2 研究对象及模型建立

某预研的机载液晶显示设备结构如图 2 所示。

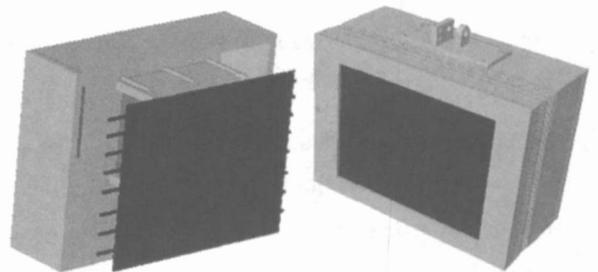


图 2 设备结构

研究对象所采用的冷却方式为典型的以空气为传热介质的自然对流,首先建立分析模型,问题描述如下:

- (1)密封的铝合金机壳外形尺寸: 312 mm @235 mm @123 mm;
- (2)内部安装 3 块 PCB, 1 个电源模块和 8 根 CCFL, 耗散功率设置如表 1 所示;
- (3)工作环境温度 60e。

表 1 元器件参数

元件名	功耗 (W)	尺寸 (mm)	Rjc (e /W)	Rja (e /W)	存储温度
U1	0.5	16 @14 @1.6	7		
U2	1.1	30 @30 @2.5	17		
U3	0.4	10 @22 @2.65	5		
U4	3	28.5 @25.4 @15	6		
U5	0.5	10 @10 @4	1.5		
U6	0.1	19 @12 @3	8		
U7	4 @8				
U8	10				

模型热边界条件为:内部材料之间通过传导方式传热,服从傅立叶定律;PCB、导热板及机壳通过与空气的对流及辐射散热,在空气自然对流的情况下取换热系数为 $(2\sim 10)W(m^2\cdot K)$ ,辐射服从斯蒂芬-玻尔兹曼定律。

### 3 热设计及计算

由上述设计和工作参数可知,虽然显示器的功率并不大,但由于加固壳体是一个完全密封的腔体,腔内局部热分布不均匀,且体积小,长期工作后壳体内温度上升很快,需对其进行良好的热设计。

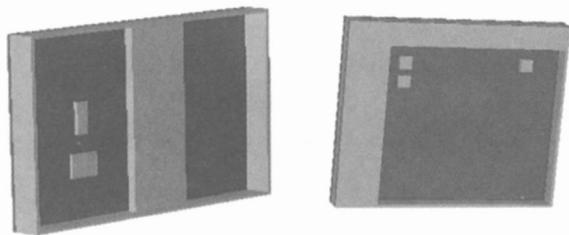


图 3 PCB元件结构

#### 3.1 导热板及印制板导轨设计

为了使 PCB 上的热量能够及时地散发出去且模块化,对其采用了铝合金加固处理,结构如图 3 所示。为了拆装的方便,PCB 外围的铝合金壳与上印制板导轨及下印制板导轨存在着一定的间隙,由于空气的导热系数很低,实际上起到了隔热的作用,因此在 PCB 板上边沿上安装铝质锁紧装置,由螺钉、前滑块、固定块及后滑块组成,锁紧后,前后滑块将与印制板导轨紧密接触。上下印制板导轨分别紧贴后端壳体,缩短热传导路径,使得热量及时的传出去。为了计算的方便,在建模的过程中直接实现导热板与上下导轨的紧密接触。由于 U2 及 U4 的功耗及热阻较大,另外增加了散热措施,分别紧贴于其表面安装铝合金导热条,导热条的两端与加固铝合金壳相连。

#### 3.2 机壳散热设计(可优化设计)

显示器内的热量是通过机壳与外界进行热对流交换,为使热量尽多的散发到热沉中,只能通过增大散热面积来实现。因此在侧壁均加工成板翅散热器形状,同时兼顾重量不得超重。

#### 3.3 散热路径分析

由于元器件的引出线直接焊接在印制板上,外壳表面与印制板表面直接接触,因此元器件的热功耗主要通过其引出线和接触界面传到印制板,再经过印制板自身的传导与辐射,将热量传至机箱壳体;另一条散热路径是通过元器件外壳表面向机壳体辐射,最终通

过显示器壳体与周围环境的自然对流以及周围空间的辐射来散发,周围环境为终端散热器。在这种情况下,通过接触面向印制板的传导是更有效的散热路径,接触面积越大,接触热阻越小,通过这个散热路径传出的热量越大。

文中采用以控制容积法为计算原理的热分析软件 FLOTHERM 进行热分析,根据显示设备的几何形状、工作条件确定数值计算所需要的边界条件和初始条件。对计算模型进行求解前,先要设置叠代步数及进行网格处理,考虑显示器壳体与空气之间存在自然对流换热,因此求解区域要大于显示器的尺寸;由于 PCB 灯管、LCD 表面的求解变量存在梯度,在其过度区采用了加密处理,最后将计算结果的文本文件转化为图形文件,生成可视化的速度、温度图形。

### 4 计算结果及讨论

图 4 图 6 图 7 和图 8 给出了模型关键元器件的温度分布云图。

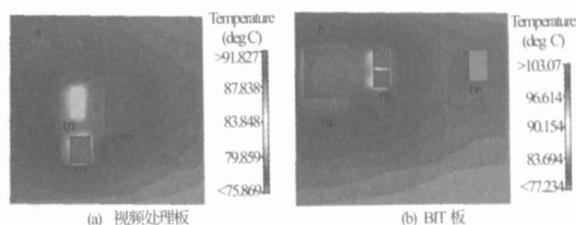


图 4 PCB 的温度分布

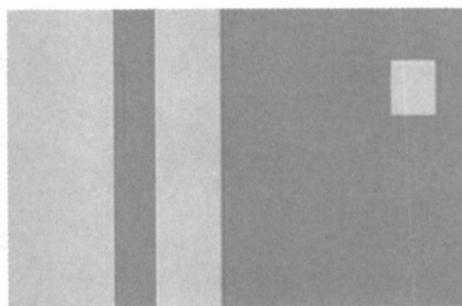


图 5 BIT 板加固结构

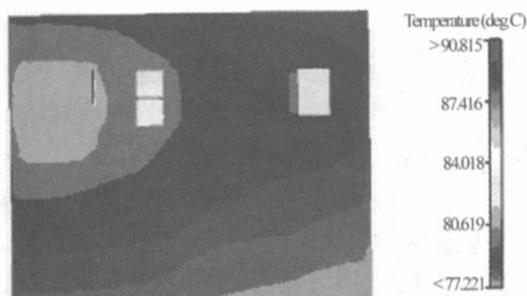


图 6 环境温度为 60e 时 BIT 板温度分布

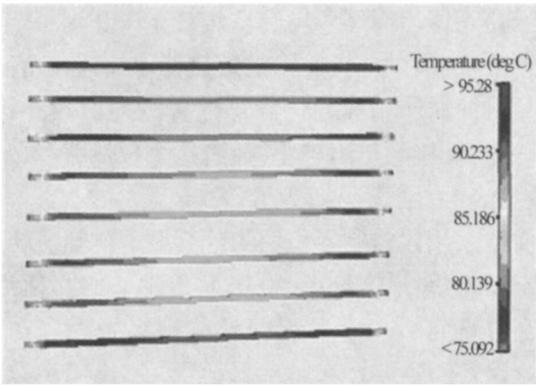


图 7 灯管温度分布

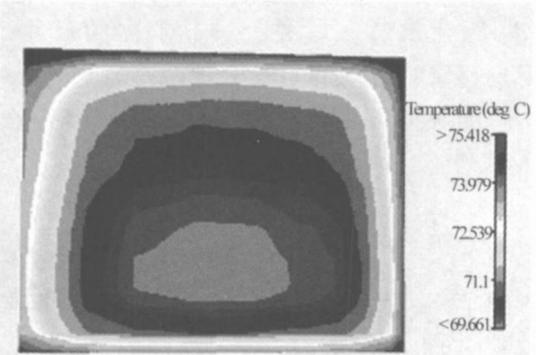


图 8 LCD 的温度分布

图 4 所示为 PCB 表面的温度分布, 在视频处理板中尽管右边的 gm5221 芯片的功率大于左边两个芯片的功率, 但左边两个芯片的温度反而较高, 这主要是由

于 U2 芯片与铝合金固定块相接触, 有着良好的散热途径。BII 板中, 最左边的 U4 的功率最大而温度反而较低, 这也主要是其与铝合金固定模块相接触, 热量易于散发所致。U5 的温度较高, 达到了 103e, 这主要是因为其  $R_{th}$  高且表面积小。另一方面是与后端的电源模块相近而电源在整个分析模型中作为主要的热源。因此对 U5 采取冷板散热措施, 结构如图 5 所示。在此结构的基础上, 对其进行分析, 结果如图 6 所示。从图 6 中看出在环境温度为 60e 时, U5 的温度为 83e, 比没有散热铝板之前降低了 20e。

导热板及印制板导轨设计, 一方面实现对 PCB 加固与支撑, 另一方面对 PCB 起到良好的导热作用, 一端与发热器件紧密接触, 另一端与机壳接触, 实现两级传导散热: 发热元件  $\rightarrow$  导热板  $\rightarrow$  机壳。

从图 7 中看出灯管的平均温度为 90e, 两端的温度比中间的, 在此模型中灯管两端与铝合金模块相接触, 两端有着良好的散热途径, 因此温度较低。为了使灯管的热量能够及时的散发出去, 灯箱的顶部与前端壳体的顶部紧贴相联, 且前端壳体的四周设计成肋片状。图 8 中 LCD 的最高温度为 75e, 中间的温度稍低而四周的温度较高, 这主要是中间部分裸露在空气中, 与周围的气体进行较为强烈的对流换热所致。

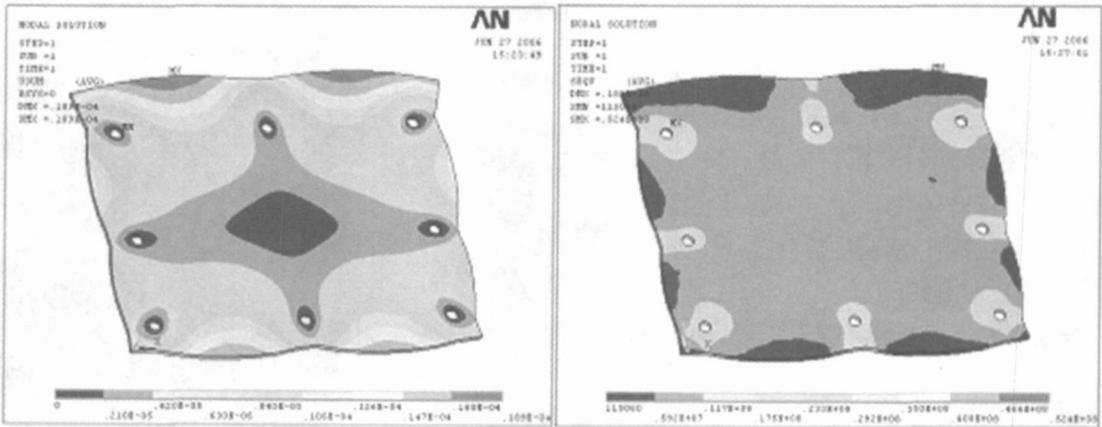


图 9 BII 板热变形及热应力分布云图

图 9 为采用 ANSYS 对 BII 板进行热应力分析的结果, 从图中可看出 PCB 的最大变形量发生在远离约束的自由边界, 由于约束对称, 变形量也基本上成对称分布; 热应力恰好相反, 热应力最大值发生在约束区, 在自由膨胀边界, 热应力为零。在此温度场中, BII 板的最大应力为  $0.524E8 Pa$  最大变形量为  $0.0189 mm$ , 小于 PCB 的  $R_s$  满足设计的要求。

## 5 结束语

利用 CFD 软件仿真避免了传统方法中因经验不足、数据不充分所导致的误差及烦琐的解析计算过程。基于质量、动量和能量守恒定律, 采用成熟的数值计算方法, 对网格进行合理的划分和布局, 可以快速而准确地得到机载用液晶显示器系统中元器件的温度水平及

(下转第 49 页)

免磨损后硬环嵌入软环;

(3)在刚、强度允许的情况下, 端面宽度  $b$  尽量取小值(一般不大于 4 mm), 以便于加工、检测;

(4)硬环端面宽度应当比软环大 1 mm~ 3 mm;

(5)端面凸台高度一般取为 2 mm~ 3 mm;

(6)动环与轴的直径间隙一般取为 0.5 mm~ 1 mm;

(7)定环与轴的直径间隙一般取为 1 mm~ 2 mm;

(8)密封环摩擦端面平面度应当  $[0.0009\text{ mm}]$ ;

(9)硬环表面粗糙度  $Ra[0.0001\text{ mm}]$ ; 软环表面粗糙度  $Ra[0.0002\text{ mm}]$ .

### 3.3 弹性元件

在密封环中, 必须要有弹性元件对密封环产生一定的预紧压力, 使端面在启动、停止或介质压力波动时, 能够使动环和静环保持良好的接触, 也补偿磨损后的间隙, 对轴的跳动引起的振动起到一定的缓冲作用。

在水关节中, 弹性元件采用最多的就是圆柱螺旋压缩弹簧。

弹簧的工作载荷按照下式进行计算:

$$F_s = p_s @P(d_2^2 - d_1^2) / 4i$$

式中,  $i$  为弹簧数量。

在此基础上, 即可以进行弹簧的结构参数设计计算, 在此不再赘述。

需要特别说明的是, 在中空式水关节结构设计中, 必须注重考虑到弹簧力的分布不均匀将给密封环造成的影响。为确保密封环的刚度, 减小变形, 应当增加弹簧的数量, 使密封环在整个圆周方向的受力均匀, 确保密封的有效和可靠。

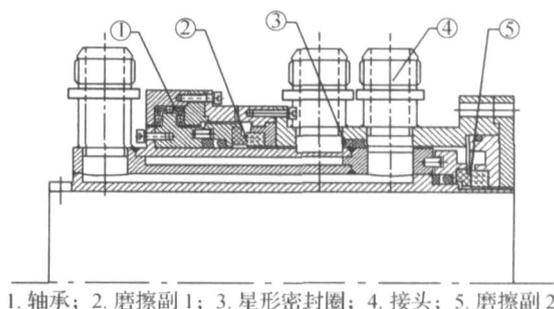
同时, 弹簧力的大小, 还需要通过试验来进行精准调整。

## 4 工程实践

按照前述设计方法, 在解决某项目实际工程技术

难题中, 我们采用了机械密封的相关技术, 将经常运用在流体化工行业的机械密封设计中, 结合特定行业的使用特点, 将其技术运用于冷却系统的水关节设计中, 取得了较好的效果, 达到了技术指标的要求。

其结构示意图如图 3 所示。



1. 轴承; 2. 磨擦副 1; 3. 星形密封圈; 4. 接头; 5. 磨擦副 2

图 3 水关节结构示意图

## 5 结束语

该产品在研制过程中, 也遇到了许多工程化实践方面的技术问题, 通过不断的试验, 对产品进行了改进、优化, 顺利通过了各项试验。现在该水关节已经在某项目中得到使用, 经过长时间的正常工作考核, 其各项技术指标完全达到了预定要求, 设计中采用的一些新的材料和新颖的结构型式也得到了实践验证, 可以推广使用在类似产品的研制中。

### 参考文献:

- [1] 徐 灏. 机械设计手册(第四卷)[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993

作者简介: 赖天华(1970-), 男, 重庆大学机械工程一系毕业, 高级工程师。主要从事电子设备总体结构设计和伺服传动系统设计工作。

(上接第 10 页)

PCB 热应力的大小及分布。据此可对系统的加固外壳设计、器件布局、表面处理等提供直观而准确的依据。

### 参考文献:

- [1] Hannemann R. Thermal control of electronics[J]. Charles Spoint Group Boston, MA  
 [2] Catharina R B. Display panel thermal design & analysis[J]. Wakefield Engineering Wakefield, MA USA  
 [3] Vijay Soman. Thermal design considerations[J]. Reliability and the electronic engineering 1998, 3(20): 1-6  
 [4] Risto Hönönen, Matti Karjalainen & Raija Lankinen. Verification of the thermal design of electronic equipment[M].

VITTPUBLICATIONS 320

- [5] 宋小军, 时社萍, 郑碧云. 航空电子设备热设计计算和实验研究[J]. 电子机械工程, 2000, 9(10): 39-53  
 [6] 陶文铨, 杨世铭. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1998  
 [7] 邱成梯, 蒋全兴, 等. 电子设备结构设计原理[M]. 南京: 东南大学出版社, 2001  
 [8] 周筱洁. 求解不可压流体 N-S 方程的四阶精度有限容积紧致格式[J]. 苏州大学学报, 2005, 21(3)

作者简介: 陶光勇(1981-), 男, 硕士, 主要从事电子设备可靠性分析工作。