

·测试、试验与仿真·

电子方舱舱内热环境仿真分析

赵洪阳

(中国电子科技集团公司光电研究院,天津 300000)

摘要:介绍了电子方舱系统的总体布局方案,对方舱热源进行分析,提出了传热问题,并给出了解决方案。借助 Icepak 软件,对方舱系统舱内热环境建模,仿真分析方舱总体布局设计方式下,舱内热环境能否满足电子设备通风冷却要求,同时兼顾操作人员的热舒适性。仿真计算表明,以 Icepak 软件为工具开展的系统热仿真工作,对结构总体设计能够发挥较好的理论支撑与指导作用。

关键词:系统级;热仿真;Icepak;电子方舱

中图分类号:TN710

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-01-0071-04

Simulation Analysis of Thermal Environment in Electronic Shelter

ZHAO Hong-yang

(Academy of Opto-Electronics, China Electronics Technology Group Corporation (AOE CETC), Tianjin 300000)

Abstract: The total design scheme of an electronic shelter is introduced. Based on the analysis of thermal sources in the shelter, the problem about thermal radiation and their solutions are presented. Based on Icepak software, a model of thermal environment in the shelter is simulated to analyze whether the heat dissipation requirements of electronic devices can be met. And thermal comfortable feeling of operators in the shelter is considered, too. The simulation calculation indicates that the system thermal simulation work based on Icepak software has better theory support and guidance effect on total structure design.

Key words: system-level; thermal simulation; Icepak; electronic shelter

随着电子技术的不断发展,电子设备的功能和复杂性与日俱增,集成度越来越高,电子设备单位体积的功耗不断增大,导致电子设备的温度迅速上升,从而引起电子设备的故障越来越多。对于由种类繁多的电子设备所组成的系统级方舱同样存在着解决散热困难的问题。目前,传热与流场分析方面已有很多成熟的仿真软件,由于研究对象的复杂程度不同,用这类软件分析解决元件级、板级、设备级的热设计问题比较多,解决系统级热控问题比较少,对电子设备的热设计问题进行较深入的研究,找出系统级设备热设计问题的关键点和关键技术,对总体设计意义重大。电子方舱是典型的系统级电子设备的载体,采用专业的电子设备热分析软件 Icepak 对方舱

进行建模、分析,可以验证热设计方案的正确性和可行性,节约成本的同时大大提高效率^[1-4]。

1 系统建模

实际方舱系统,舱内热负荷主要有工作人员散热量、电子设备散热量、照明发热量等几项,其中电子设备的发热量是舱内热负荷最主要的来源。方舱环控系统由空调、轴流风机组成。主要探讨初定的总体设计方案中,方舱内部热环境能否较好的满足设备通风散热,同时有利于人员的操作的舒适性。

该电子方舱结构特征为:方舱由6块壁板组成,壁板内外蒙皮为1.2 mm 防锈铝板,中间为阻燃型的

收稿日期:2013-11-19

作者简介:赵洪阳(1977-),男,黑龙江人,高级工程师,主要从事光电设备结构设计与分析。

聚胺酯泡沫芯材,密度为 $(60\pm 5) \text{ kg/m}^3$,舱壁传热系数为 $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{C})$;方舱外形尺寸为:L 5 000 mm×W 2 400 mm×H 1 900 mm;该电子方舱系统的散热及降温措施有:在设备舱中设置进、排风口,提供舱内人员的新鲜空气需要量及舱内外的换热;方舱前壁安装1台整体式空调,送风风道布置到大功率设备。在电控机柜两侧面板开设进风百叶网孔,对功放电源等高温部件进行强制风冷;机柜以及显控台材料为钢型材和铝型材,舱内流体为空气。方舱布局三维数字模型如图1所示。

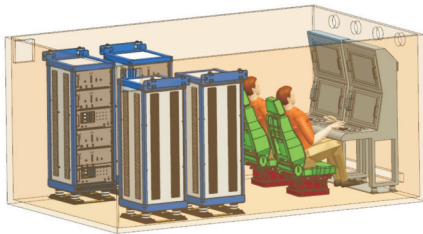


图1 方舱布局三维数字模型

针对所研究的问题,并结合Icepak软件特点,对方舱系统模型化的过程中,进行了如下假设:

(1)空调简化为风扇,轴流风机简化为通风口,通过调节风扇风速及其出口温度实现舱内流体与外界的有效交换,调节舱内环境温度;

(2)模型热源仅考虑电子设备的生热,且模型化为具有恒定热功率的平面热载荷;

(3)方舱壁为绝热状态,方舱通过两个通风口与外界完成热量交换。

初始边界条件设定为舱外环境温度 $+55 \text{ C}$,电子设备产生热量总计 4 kW ,空调风扇入口温度为 18 C ,入口循环风量为 $600 \text{ m}^3/\text{h}$,空调制冷功率为 4 kW ,方舱布局热环境模型如图2所示。

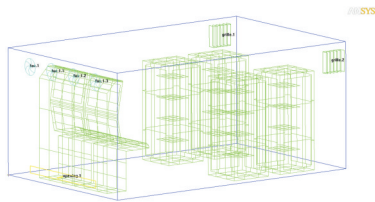


图2 方舱布局热环境模型

2 传热类型与传热问题分析

2.1 方舱中的传热类型分析

根据方舱的特点和传热学的基本理论,下面分

别分析了方舱内部关于传热的3个方面内容。

2.1.1 传导

方舱内部热传导包括元件与印制板、器件与安装结构件、设备与机柜之间的传热;设备内外部、方舱内外部温度差引起的热量传递;其他物体直接接触形成的热传递。

$$q = \frac{\varphi}{A} = -\lambda \frac{\delta_t}{\delta_n} \bar{n} \quad (1)$$

式中, λ 为导热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;A为垂直于导热方形的截面面积,单位为 m^2 ; $\frac{\delta_t}{\delta_n} \bar{n}$ 为温度梯度矢量,单位为 K/m ; φ 为热流量,单位为 W ; q 为热流密度,单位为 W/m^2 。

2.1.2 对流换热

方舱内部对流换热包括设备的强制风冷散热、方舱的内外部空气交换、空调的舱内外换热及其他由于空气流过固定表面且温度不同所产生的热量交换。对流热量交换可根据牛顿冷却公式计算。

$$q = \frac{\varphi}{A} h \Delta t \quad (2)$$

式中, h 为表面传热系数或对流换热系数,单位为 $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$;A为对流换热面积,单位为 m^2 ; Δt 为固体壁面温度 t_w 与流体温度 t_f 之差的绝对值, Δt 大于零,保证热流量 φ 或热流密度 q 取得正值,单位为 K 。

2.1.3 辐射换热

方舱内部的辐射换热包括设备之间由于温度不同引起的辐射换热,另外方舱舱壁受太阳辐射吸收热量而使舱壁温度相对于气温更高。辐射热量可采用斯蒂芬-玻尔兹曼定律的修正形式

$$q = \frac{\varphi}{A} = \varepsilon \sigma_b T^4 \quad (3)$$

式中, ε 为辐射黑度或发射率,指物体的辐射能力与同温度黑体的辐射能力之比,其值小于1,且与物体的种类、温度及表面状况等有关。

关于太阳辐射,单位时间内地球大气层外缘单位表面积所能接受到的太阳能为

$$G_s = f S_C \cos \theta \quad (4)$$

式中, f 为日-地距离的修正系数,一般取 $f=0.97 \sim 1.03$;据测定,某一温度下,单位时间内在日-地平均距离处,地球大气层外缘与太阳辐射射线相垂直的单位表面积所接收到的太阳能为 $(1\ 367\pm 1.6) \text{ W}/\text{m}^2$,

此值记作 S_c ; θ 为太阳射线与地面法线间的夹角^[5-6]。

2.2 传热问题分析

方舱后部是散热量大的电源机柜,在机柜上部热量容易累计使温度迅速升高,降低了设备的可靠性。如果通过加大整体式空调制冷功率来降温的方式,会使人员工作区域的区域流场速度增大,降低了人员的舒适性,这里采用的方法是把进、排风口设置在方舱后部上角两侧,把机柜上部累计的热量排到舱外。进、排风口的热阻过小会使舱内风道部分短路,热阻过大会使热量累计。因此对进、排风口的位置和热阻进行了优化设计。进、排风口的位置(图3模型坐标系下, $x=0$ m(左)2.5 m(右); $y=3.3 \sim 3.9$ m; $z=1.4 \sim 1.7$ m),进、排风口的热阻 Free area ratio=0.6。

3 仿真分析

从系统角度考虑,舱内空气的流动与换热应满足设备通风冷却基本性能要求。同时最大程度改善操作人员的热舒适性。因此,舱内热环境的衡量,应兼顾两方面的指标:设备的热可靠性与人员的热舒适性。

3.1 热分析模型

定义整个系统的热计算区域,在 Icepak 中将方舱设定为 cabinet,功率模块设定为 sources,机柜和操控台的百叶通风口设定为 openings,机柜和操控台的框架设定为 wall,模型的网格划分采用自适应智能划分方法,单元网格类型为 Mesher-HD,各方向最大网格尺寸为 40 mm,六面体单元数量为 91 860,四面体单元数量为 18 585,合计单元节点数量为 97 200,热分析模型如图3所示。

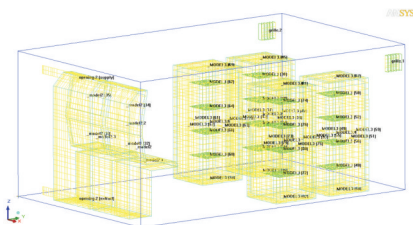


图3 热分析模型

3.2 仿真参数设定

根据 Icepak 软件估算的 Rayleigh 数 2×10^9 ,

Prandtl 数 0.708,设置模型的流态为湍流,并采用零方程模型,同时求解流场和温度场,方舱内部和外部流体为空气,外部大气温度 20 °C,设置解算器求解迭代步数 200 步,松弛因子压力项和动量项分别采用 0.3 和 0.7,收敛容差为 0.001 和 1×10^{-7} ,求解达到稳定时的温度场。图4为求解时的残差曲线,图4中可见迭代达到 100 步时求解即收敛。

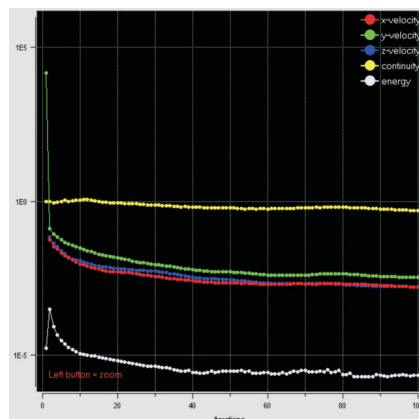


图4 热分析残差曲线

3.3 仿真结果

模型经仿真计算,在设定环境温度 55 °C 下,舱内最高温度点出现在设备热源处,为 45.1 °C,低于电子设备的设计容许温度 85 °C。考虑到模型仿真的颗粒度,可以初步认为,即使相关标准规定的极限环境温度下,环控系统仍能够有效调节舱内温度,舱内热环境基本可以满足任务系统电子设备正常工作要求。功率模块的温度云图如图5所示。

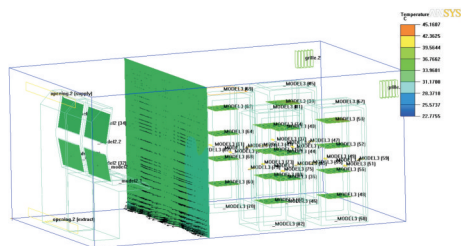


图5 功率模块的温度云图

为考量舱内人员的工作热舒适性,分析舱内人员活动区域(图3模型坐标系下, $x=0.8 \sim 2.2$ m; $y=0.5 \sim 1.8$ m; $z=0 \sim 1.8$ m)的温度与气流速度,人员操控区域剖面的温度场与速度场分布如图6所示。

从图6中可以看到,人员活动区域内的温度与气流速度分布比较均匀,与舱内设备的总体布局合理,

对具体仿真的统计分析计算结果见表1和表2。

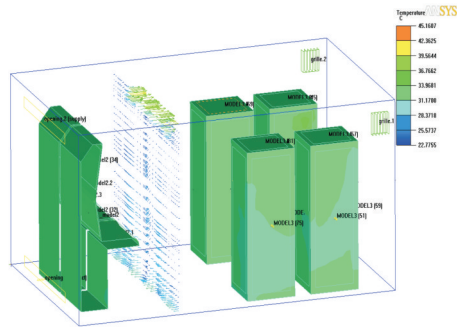


图6 方舱舱内的温度云图

表1 区域温度参数统计

区域温度均值/ (°C)	区域温度标准差/ (°C)	区域速度不均匀性系数
25.57	1.29	0.05

表1参数所反映出的舱内人员活动区域的平均温度为25.42℃,低于GJB/Z131-2002规定的保证人员可靠工效的温度上限29.5℃。从温度标准差和不均匀性系数两项来看,温度的区域差别不是特别明显,环控系统能够较好的实现舱内温度的调控。

表2 区域流场速度参数统计

区域流场 速度均值/m/min	区域流场 速度标准差/m/min	区域流场速度 不均匀性系数
13.97	1.79	0.8

表2参数所反映出的舱内气流速度13.97 m/min,满足GJB2873-1997要求,通过人体周围的气流速度应小于60 m/min,从气流速度标准差和不均匀性系数来看,速度场的分布具有较好的均匀性,在气流的流通过路上设计合理。

综合以上分析结果,方舱总体布局设计合理,整体式空调选型合理,对进、排风口的位置和热阻进行的优化设计合理。

4 结束语

通过对方舱内的热环境进行仿真分析,证实总体设计方案可满足舱内电子设备正常工作的温度要求和操作人员的舒适性要求。但冷气流路设计和风机选型还应进一步优化,实现冷气流量的合理分配,提高电子设备温度分布的均匀性,提高系统的工作可靠性。对于高度集成的方舱系统,舱内热环境的调节直接关系到系统的工作可靠性,在系统总体设计过程中尤为重要,应当予以充分重视。Icepak软件的强大功能,可实现复杂模型的热仿真过程,为结构总体设计提供数据支撑,辅助其有效地改进设计。

参考文献

- [1] 郁岚,卫运钢,尚玉琴.热工基础及流体力学[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 白秀茹.典型的密封式电子设备结构热设计研究[J].电子机械工程,2002,18(4):36-38.
- [3] 王丽.大功率电子设备结构热设计研究[J].无线电工程,2009,39(1):61-64.
- [4] 谢德仁,卢世济,李馨,等.电子设备抗恶劣环境设计基础/[C].中国电子学会电子机械工程分会,2005:7-8.
- [5] 梅源.高频箱环境控制方法研究[J].电子机械工程,2010,26(2):30-32.
- [6] 吴业正.制冷原理及设备[M].西安:西安交通大学出版社,1997:180-181.
- [7] 杨会越.雷达方舱的布局设计探讨[J].电子机械工程,2008,24(6):14-17.
- [8] 余建祖.电子设备热设计及分析技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2000.
- [9] 李雨,魏强.方舱舱内热环境仿真分析[J].电子机械工程,2010,26(4):8-9,21.
- [10] 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):14-16.
- [11] 薛军,孙宝玉,刘巨,等.热分析技术在电子设备热设计中的应用[J].长春工业大学学报(自然科学版),2007,28(2):176-199.

本刊声明

《光电技术应用》期刊投稿邮箱已变更为nl0e@vip.163.com,原投稿邮箱neiet@jzptt.ln.cn已停止使用,请作者按新的电子邮箱投稿。凡向期刊投稿的作者,请按照刊登论文的格式要求写稿,详见期刊网站www.gdjsyy.com,本刊拒绝一稿多投,敬请作者自觉遵守。