

DOI:10.19659/j.issn.1008-5300.2019.04.012

某军用通信方舱的升温试验及有限元仿真分析*

陈文博,刘新博

(中国电子科技集团公司第二十研究所, 陕西 西安 710068)

摘要:军用通信方舱的升温速率影响到通信方舱车在严寒条件下的快速反应能力。为了通过有限元辅助设计方法提升通信方舱升温过程设计的效率和精度,对方舱进行了-40℃环境下的升温试验,同时应用ANSYS软件建立了方舱的热仿真有限元模型,完成了方舱升温过程的有限元仿真分析。对比5个监测点升温速率的仿真和试验结果,仿真计算结果的误差范围为6%~22.2%,在工程仿真误差范围之内,验证了仿真模型的合理性和有效性,表明以有限元仿真分析方法辅助通信方舱升温过程设计具有可行性和实用性。

关键词:军用通信方舱;升温速率;热仿真;ANSYS

中图分类号:TK124 文献标识码:A 文章编号:1008-5300(2019)04-0048-04

Heating Test and Finite Element Simulation Analysis of a Military Communication Shelter

CHEN Wen-bo, LIU Xin-bo

(The 20th Research Institute of CETC, Xi'an 710068, China)

Abstract: The heating rate of the military communication shelter affects the rapid reaction ability of the communication shelter vehicle in cold weather. In order to improve the efficiency and accuracy of the heating process design of the communication shelter by finite element aided design method, the heating test of the shelter is carried out in -40℃ environment, the thermal simulation finite element model of the shelter is established by ANSYS software, and the simulation analysis of the heating process of the shelter is completed. By comparing the simulation and test results of the heating rates of 5 monitoring points, it is found that the error range of the simulation results (6%~22.2%) is within the error range of engineering simulation, which verifies the rationality and validity of the simulation model. The results show that the finite element simulation method is feasible and practical for the heating process design of the communication shelter.

Key words: military communication shelter; heating rate; thermal simulation; ANSYS

引言

随着科学技术的快速发展,世界军事发展日新月异,武器装备广泛应用了越来越多的高新技术,世界各国也将军队武器装备的现代化作为国防建设的重点。新时期军事战略方针将联合作战确定为我军的基本作战形式^[1],而联合作战系统能够对战场信息实现精确获取、高效控制和综合利用,是打赢信息化战的根本保证。联合作战系统中的通信装备是核心装备,是在战场中获取信息的最主要装备,是用于连接整个战区通

信装备的核心节点,其重要性不言而喻,因此要求通信方舱车能够在任何环境下第一时间进入工作状态。

通信方舱车由于兼顾优良的机动性和通信能力,被广泛用于各军种。同通信方舱车设计相仿的还有雷达车、指挥车、医疗以及后勤保障车,这些车型都具有高机动性和快速反应的特点,并且已经得到广泛应用。为了适应设备的更新升级及新技术的应用,本文研发了某新型军用通信方舱车,其中包含各种装备,对工作温度有一定要求。快速反应需要方舱车能够在各种环境中快速启动,其中以低温严寒环境下的启动最

* 收稿日期:2019-05-06

为严苛。目前方舱升温过程设计主要以经验及理论计算为主,存在较大误差,且难以对舱内特定点的升温过程进行计算。升温过程主要是对舱内进行升温,要求升温时间尽量缩短以使方舱尽快进入工作状态。本文按照某通信方舱车设计方案要求,采用有限元仿真方法对方舱及舱内关注点在低温环境下的升温启动过程进行了仿真,获得了关注点的温升曲线。同时进行了方舱车低温试验,对照仿真与试验结果,确认有限元仿真的有效性,能够为同类方舱车在设计方案阶段提供优化设计指导,缩短设计周期,减小设计风险。

1 方舱温度适应性设计要求

某军用通信方舱车方案依据《GJB 219B—2005 军用通信车通用规范》和《GJB 6109—2007 军用方舱通用规范》标准中的要求进行设计,其中方舱内设计兼顾了装备安装需求与人机交互工程设计。方舱舱壁采用内外铝板中间夹层轻质泡沫隔热材料的形式,舱壁的传热系数为 $1.5 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$,能够有效提高整舱的高低温环境下的保温性能^[2]。舱内主要装备有机柜、工作台、沙发和座椅,材质包含不锈钢、铝、皮质和高分子复合材料等,温控环境复杂。方舱结构如图1所示。

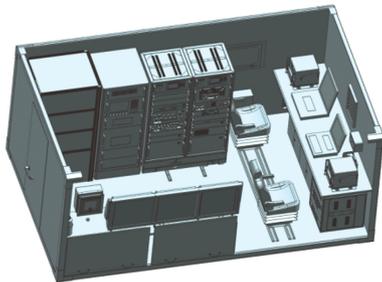


图1 方舱内部结构

通信方舱车的低温贮存和低温工作温度指标要求均为 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$,具体为:车内使用的装车设备低温贮存温度均为 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$,低温工作温度为 $-10 \text{ }^\circ\text{C}$;露天使用的装车设备低温工作温度和低温贮存温度为 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 。对于方舱内部,在 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 启动舱内加热装置,待舱内温度升至 $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ 时内部通信装备启动工作,整车完全进入工作状态。因此,方舱从 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 升温到 $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ 的速度决定了方舱车在低温环境下从启动到工作状态的时间,即反映了方舱车的快速反应能力。

2 方舱低温试验

方舱在低温启动时首先需要通过内部加热设备升温,舱内加热取暖设备包含1台燃油式暖风机和1台空调机。暖风机的发热量为 7 kW ,空调的制热功率为

5 kW 。由于设计指标限制,空调机需要在 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上才能启动工作,因此方舱在 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 以下的升温热源只有暖风机,在 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上由暖风机和空调机共同制热。

低温试验流程为:方舱车在 $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ 环境下温度恒定后保持 24 h ;启动舱内制热设备暖风机开始升温;舱内所有监测点升温至 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 时开启空调机辅助升温;舱内升温至 $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ 时舱内设备全部开启,方舱进入工作状态。

方舱低温升温试验中在方舱内设置了5个温度监测点,监测点布置如图2所示。

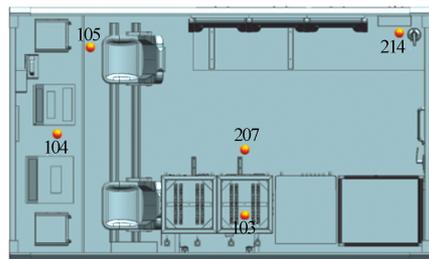


图2 温度监测点布置

在每个监测点设置温度传感器,每 10 s 记录一组数据,实际测试的温度-时间变化曲线如图3所示。从结果可以看出,监测点的温升速率有一定差别。这是因为舱内升温热源位于方舱前部左下角,整个舱内的升温主要通过暖风机热风及舱内空气循环完成,加之设备布置环境复杂,不同监测点周围可能存在不同程度的气流遮挡。升温至 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 用时最短的监测点用时 $1\ 330 \text{ s}$,用时最长的监测点用时 $2\ 510 \text{ s}$,相差 $1\ 180 \text{ s}$ 。升温至 $-25 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上时空调机开启辅助加热,从曲线中可以看出各监测点升温速率有明显提升。

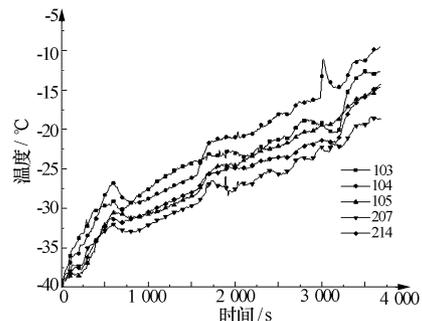


图3 试验测试点温度-时间变化曲线

3 方舱低温启动过程的仿真分析

3.1 有限元模型建立

方舱内部布置的设备种类繁多,有较多结构复杂的大型模型,仿真分析前如果不进行数字模型的简化处理,则会大大增加计算量,同时也可能导致分析结果

无法收敛。本文使用 ANSYS 中的 Icepak 模块对方舱进行升温过程分析,根据需求分析对模型进行了简化处理^[3]。对有封闭结构的设备均以实体抽壳的方式进行简化,同时依照原模型按比例进行材料参数赋值,方舱壁同样按照原舱壁热性能以壳结构形式进行材料参数赋值。对影响舱内气动环境的结构外形特点予以保留。对仿真计算结果影响不大的结构,如把手、紧固螺钉和小型平板 LED 灯等舱内的小尺寸结构均做去除处理。

仿真计算模型中不同区域对仿真计算速率及结果的影响不同。对大面积且附近无小尺寸气动环境的平板区域如舱顶、过道地面等可适当增大网格划分尺寸;对小尺寸结构且有复杂气动环境的区域如机柜背部、顶部和座椅周围等,适当缩小网格划分尺寸。舱内机柜架的材料设定为结构钢,电子设备材料设定为 6061 铝,座椅及沙发设定为 PVC,工作台设定为木质。升温仿真的计算方式主要为对流传导。网格尺寸范围设定为 1.5 ~ 55 mm,网格划分完成后有限元模型节点数约为 2 767 362,网格数约为 2 300 169,网格划分模式为混合模式,包含四面体、五面体和六面体^[4],划分结果如图 4 所示。

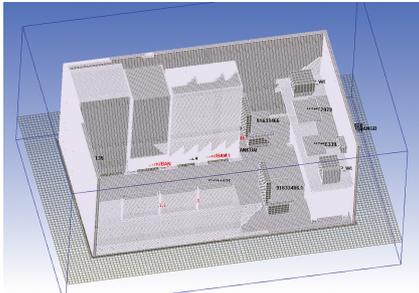


图 4 方舱有限元网格划分结果

3.2 过程参数设置及仿真

方舱在实际使用中升温至 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时会开启空调辅助加热,升温速率会有较大幅度提升,同时空调的热输出在不同温度下为非线性变化,仿真计算结果会有较大偏差,因此本文主要对 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim -25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的升温区间进行有限元仿真。在有限元模型中设置与实际试验相同位置的温度监测点,用于输出结果及约束计算域。仿真计算中监测点的温度监测间隔为:0 ~ 10 s 间隔 1 s;10 ~ 100 s 间隔 10 s;100 ~ 500 s 间隔 20 s;500 s 以后间隔 50 s。

升温 1 150 s 时监测点 104 首先升温至 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$,方舱内部温度云图如图 5 所示。可以看出舱内不同区域温度有一定差距,对流条件较好的区域温度较高,而对流条件差的方舱角落等位置的温度还没有明显升高。

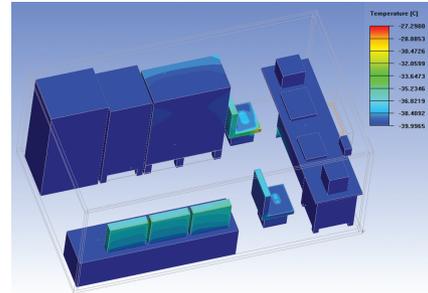


图 5 升温 1 150 s 时方舱内设备温度云图

升温 2 450 s 时监测点 207 升温至 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$,方舱内部温度云图如图 6 所示。舱内设备表面最大温差相比 1 150 s 时有所增大,符合实际。

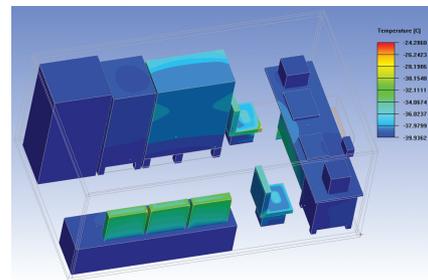


图 6 升温 2 450 s 时方舱内设备温度云图

3.3 仿真结果分析

为升温仿真计算过程设置的终止条件为所有监测点升温至 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。计算结果如图 7 所示。对比实际试验结果,不同监测点的升温速率排序及趋势保持一致。对比实际试验和仿真计算结果中每个监测点到达 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间(表 1),仿真计算出的消耗时间的最小误差为 5.6%,最大误差在监测点 104 处为 22.2%。监测点 104 设置在工作台面上,升温试验中舱内操作人员会对气流循环产生一定影响,因此仿真误差相对较大。其余误差主要来源于模型的简化、网格的划分、材料参数的赋值以及边界条件的简化等^[5]。误差幅度在工程仿真计算可接受范围内,说明方舱升温有限元仿真具有工程参考价值。

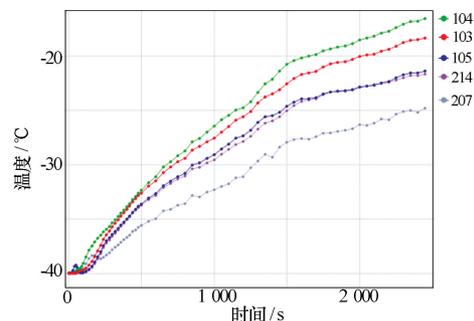


图 7 方舱监测点仿真升温曲线

表 1 监测点升温至-25℃耗时的仿真和实测结果

监测点	仿真耗时/s	实测耗时/s	误差/%
103	1 250	1 330	6.0
104	1 190	1 530	22.2
105	1 480	1 670	11.4
207	2 370	2 510	5.6
214	1 500	1 660	9.6

4 结束语

舱内加热设备对军用通信方舱车的快速机动反应起着重要作用,在选择加热设备时要同时考虑车内结构布局、装备数量及组成形式,还要考虑车内人员的使用舒适性。本文通过试验与仿真相结合的方法对加热设备性能做数据化分析,对加热设备的实际使用性能进行了全方位评估。根据仿真结果与试验测试结果的差异,优化仿真方案,建立了一套接近实际状态的有限元模型。精确的有限元模型分析能够有效指导设计方案优化,为同类型方舱车的设计提供了一种高效率、低

成本并能提前暴露设计缺陷的工程优化设计方法。

参 考 文 献

[1] 牛树来,刘军,霍耀仲. 未来一体化联合作战条件下的综合信息系统[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(3): 1-4.
 [2] 任新霞. 通用大板式方舱结构设计与性能分析[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2008.
 [3] 李明东,周德誉. 室外型基站方舱瞬态升温仿真及加热器的选择[J]. 安全与电磁兼容, 2001(4): 24-27.
 [4] 毛佳,易有和,雷阳,等. Icepak 在复杂电子设备热仿真分析中的应用[J]. 电信技术研究, 2013(3): 53-57.
 [5] 曹红,吕倩,韩宁. 强迫风冷电子设备的热仿真与热测试数据对比分析[J]. 电讯技术, 2008, 48(7): 109-112.

陈文博(1988—),男,工程师,主要从事电子设备结构设计及军用通信方舱车整车集成设计工作。

(上接第 13 页)

参 考 文 献

[1] 杜振勇,时社萍,梁震涛. 某机载雷达发射座架振动数值分析[J]. 电子机械工程, 2015, 31(4): 1-4.
 [2] 邢誉峰,李敏. 工程振动基础[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2011.
 [3] 吴文志,胡劲松,宋敏. 某机载雷达天线框架结构的有限元分析[J]. 电子机械工程, 2016, 32(6): 52-55.
 [4] 范文杰. 星载电子设备宽频随机振动响应分析[J]. 电子机械工程, 2010, 26(4): 5-7, 17.
 [5] 胡自强. 环境与可靠性试验应用技术[M]. 北京:中国质检出版社, 2016: 287-288.
 [6] 陈立伟,孙立明,杨博,等. 正弦扫描振动试验数据后处理方法研究[J]. 强度与环境, 2015, 42(4): 59-64.

[7] 马静静,胥光申. 重要电子设备机箱动态特性分析与试验[J]. 机械, 2013, 40(6): 26-29.
 [8] 中国人民解放军总装备部. GJB 150.16A—2009 军用装备实验室环境试验方法,第 16 部分:振动试验[S]. 2009.
 [9] 周桐,范宣华,田光明,等. 仪表板结构非线性振动特性的试验分析[J]. 机械工程学报, 2008, 44(8): 40-44.
 [10] 杨坤鹏. 金属橡胶隔振器的非线性特性研究及参数识别[D]. 太原:中北大学, 2017.
 [11] RAO S S. Mechanical Vibrations[M]. New Jersey: Prentice Hall, 2004.

王晓红(1976—),女,高级工程师,主要从事结构仿真分析和试验测试工作。