

基于流体力学数值模拟的装甲车热环境分析

李晋岭, 汪卫华

(中国人民解放军炮兵学院, 合肥 230031)

摘要: 为更加准确地描述装甲车乘员室在不同条件下的热环境, 采用两方程湍流模型, 将装甲车置于数字风洞模型内, 模拟求解不同条件下装甲车内的三维对流换热和空气流动状况, 该方法可为装甲车乘员室热环境设计研究提供参考。

关键词: 装甲车; 数值模拟; 风洞; 温度场; 计算流体力学

中图分类号: TJ811⁺.92; TP391.9 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)01-0038-04

Thermal Environment Analysis of Armored Vehicle Based on Numerical Simulation of Fluid Dynamics

LI Jin-ling, WANG Wei-hua

(Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

Abstract: The thermal environment of crew room in armored vehicle under different conditions was studied with two-equation turbulence model. Digital wind tunnel model was applied on armored vehicle to simulate and figure out the three-dimensional convection heat transfer and airflow situation of the crew inside armored vehicle under different conditions. The method can provide reference for the design and research of thermal environment of crew room of armored vehicle.

Key words: armored vehicle; numerical simulation; wind tunnel; temperature field; computational fluid dynamics

现代战场上, 装甲车可以快速、及时、安全地运载武装力量赶赴战场, 有效地执行各种军事任务, 发展越来越受到各国关注。然而, 构成装甲车的金属材料比热容小、导热快, 车内空间狭小, 舱室密闭时空气对流小, 散热困难, 车内热源多, 特别是动力装

置、人体散热, 使得坦克装甲车辆车内高温情况相当严重^[1]。在炎热的夏天, 装甲车辆乘员室温度有时高达 50℃ 以上, 再加上发动机的传热, 乘员室的温度会更高, 局部环境更是远远偏离人体正常生理卫生标准, 人体将会产生不舒适感, 人的注意力、体力与

收稿日期: 2010-05-17

基金项目: 国家自然科学基金(51076166)

作者简介: 李晋岭(1985—), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 研究方向为战场情报获取与处理。

通信作者: 汪卫华, 博士, 教授, 安徽合肥市黄山路451号无人机教研室。

战斗力都会降低。另一方面,若电子仪器的工作环境温度超过 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$,也将失去可靠性而使武器系统的战斗力开始丧失甚至瘫痪^[2]。

由于装甲车种类繁多,依据构造、用途可以有許多类型,针对单一型号的装甲车进行研究是无意义的,所以文中应用了CFD方法对简化的某一型号装甲车进行定量分析与计算。通过模拟风洞,得到不同行驶状态下乘员舱内的温度分布,并用矢量轨迹图的方式描述了空气在乘员舱内的运动情况,以此提供一种适用于大多数装甲车环境数值模拟仿真的方法,为优化装甲车乘员室热环境提供参考。

1 前处理

以实车三视图为依据,在Gambit中建立风机的三维物理模型,然后在Gambit中进行网格划分等前处理工作。导出mesh格式的文件,在Fluent中进行数值模拟。

车舱的几何构造主要包括舱口的位置、大小,装甲板与水平面夹角,人员布局,车内主要组成等。车内其它组成主要有变速器、传动箱、发动机和排烟管,均采用简化的模型(如图1所示)。在Gambit中通过布尔运算除去简化的人员和其它组成生成计算域,建立风洞的模型,流道形状为长方形,尺寸为 $6\,800\text{ mm}\times 2\,550\text{ mm}\times 2\,100\text{ mm}$,约为4倍车长、2倍车宽、3倍车高,除了进气口和出口,其余均定义为墙面,如图2所示。

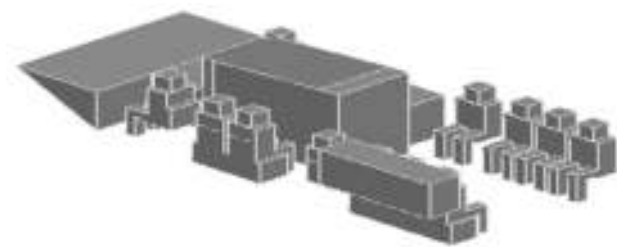


图1 简化模型

Fig. 1 Simplified model

2 求解

2.1 物理模型

采用六面体网格对风洞流道进行网格划分,装

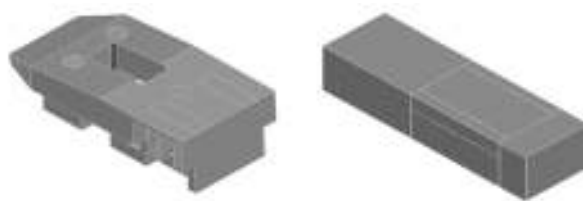


图2 装甲车、风洞的计算域

Fig. 2 Calculation field of armored vehicle and tunnel

甲车内计算域采用适应性较强的非结构化四面体网格,在舱口处进行边界层加密。装甲车、风洞流体区的网格划分结果如图3所示。其中装甲车乘员室流体区的网格数目为601 336;风洞流体区网格数目为711 364。



图3 装甲车、风洞流体区网格模型

Fig. 3 Mesh model of armored vehicle and tunnel

2.2 数学模型

由于乘员舱内结构复杂,多为不规则组成,造成舱内的气流流动及其数学模型十分复杂。为简化问题,提高求解效率,假设:舱内空气流动为稳态湍流;车舱在舱口密闭时气密性良好;舱内空气为不可压缩气体;舱内空气符合Bossinesq假设;固体壁面间不存在热辐射;车舱壁面平坦且恒温^[3]。模拟采用的求解方法是SIMPLC算法,求解过程中先使用一阶迎风格式,使计算快速收敛,然后转入二阶迎风格式,提高计算精度。

2.3 边界条件

分别对2种工况进行模拟:车舱密闭的状态、在行驶中且舱盖打开的状态。车舱密闭状态是指由于作训需要和操作规范要求,装甲车辆处于闭窗状态,尤其在“三防”地带或海上运行时,需要有更高的舱室密闭要求;舱盖打开的状态通常是在行驶过程中^[4]。

在2种工况下,装甲车行驶车速通过设定风洞

气流入口的边界条件来体现:假定外界温度为40℃,装甲车行驶速度为60 km/h,则风洞入口处气流温度为313 K,速度为16.7 m/s,空气进口速度方向垂直于进口断面;在风洞计算域的出口边界上假定流动为充分的流动,出口断面的速度分布规律沿流动方向不变。另外,环境压力为101 325 Pa;人体取定热流边界条件,散热量按每人120 W计算^[5];舱内顶部装甲壁面热力学温度为323 K;侧面装甲热力学温度为318 K;变速器、传动箱、发动机壁面热力学温度分别设定为323,323,343 K,壁边界采用无滑移边界条件。

在车舱密闭的情况下,设定舱盖为wall类型,整车密闭;在行驶中且舱盖打开的状态下,设定舱盖为interior类型,空气可以经过舱口与车舱进行气体交换。

3 模拟计算结果

3.1 装甲车行驶中且车舱密闭状态

图4、图5描述了车舱密闭状态中的瞬态模拟结果。通过模拟结果可知,车舱内温度在很短时间内上升,平均温度为47℃,主要热源是发动机及其排烟管。由图4可知,驾驶员和车长头部附近温度达到48.07℃;靠近发动机及其排烟管的乘员头部附近温度可达48.44℃;位于车舱后部的6名乘员头部附近温度平均可达46.47℃。由图5可知车厢的可见车舱内气流速度较低,车长、驾驶员头部附近为0.08 m/s,部分乘员头部附近为0.06 m/s,无法满足《装甲车辆乘载员通风器要量限值》中在核生化(NBC)状态下头部风速 ≥ 0.1 m/s的要求^[6]。由计算结果可知,由于缺少换气降温措施,车舱内主要热源使车舱内温度升高到难以承受的程度。由于车舱内热源分布不均,产生速度很小的辐射对流,车舱内的热环境难以确保作战需要。

3.2 装甲车行驶中且舱盖打开状态

由计算结果可知,车舱内平均热力学温度为315 K,流场平均速度为1.49 m/s。由图6可知驾驶员和车长头部附近温度分别为42.15℃和42.73℃,其余乘员头部附近温度约为41℃,同车舱密闭状态相比普遍低6℃。由图7可知,人员头部附近空气流速

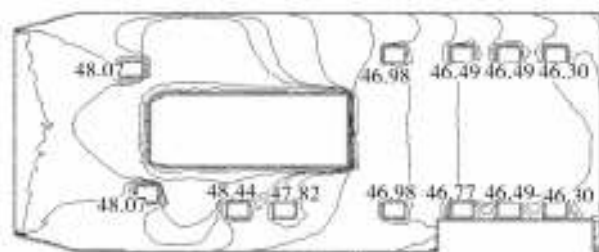


图4 车舱密闭时的温度(℃)分布

Fig. 4 Temperature (℃) distribution when vehicle closed



图5 车舱密闭时的气流速度(m/s)分布

Fig. 5 Velocity (m/s) distribution when vehicle closed

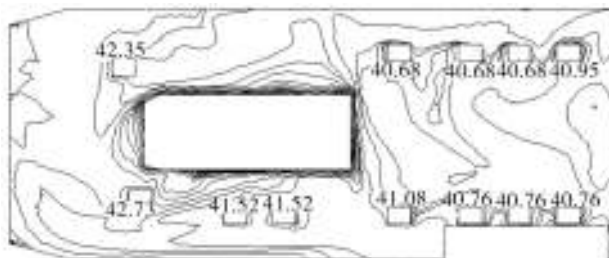


图6 舱盖开启时的温度(℃)分布

Fig. 6 Temperature (℃) distribution when vehicle hatch open



图7 舱盖开启时的气流速度(m/s)分布

Fig. 7 Velocity (m/s) distribution when vehicle hatch open

最大可达1.20 m/s,最小为0.71 m/s,同车舱密闭状态相比普遍升高较大,基本满足《装甲车辆乘载员通风器要量限值》中头部风速 ≥ 0.5 m/s的要求。图8显示了车长和驾驶员一侧的温度分布,在靠近传动器

一侧温度较高,可达44.62℃,有必要添加隔热材料。图9显示了乘员一侧的温度分布,由于乘员舱后部热源较少,且空气流动带走部分热量,温度分别为40.68℃和40.76℃,较车长和驾驶员一侧低2℃左右。通过数值模拟可知,在开舱盖情况下车室内热环境比密闭情况下有较大改善,但由于车内热源散热,外界温度较高,导致车室内热环境仍很难适应。

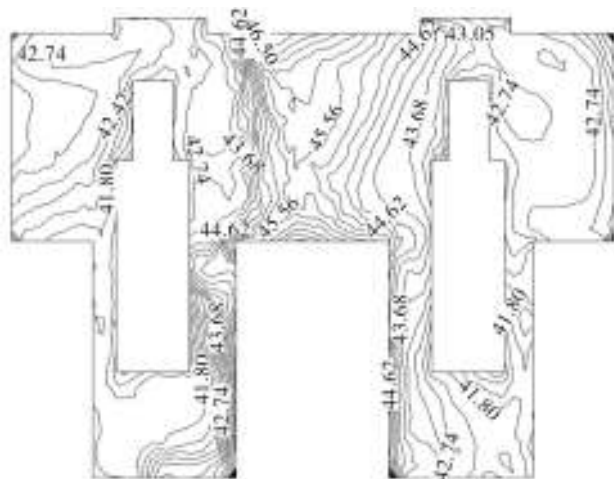


图8 车长、驾驶员一侧温度(℃)分布

Fig. 8 Temperature (℃) distribution in side of vehicle length and driver

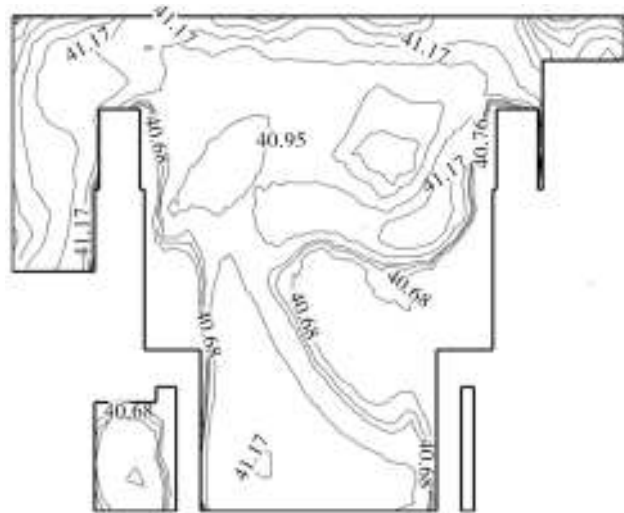


图9 乘员一侧温度(℃)分布

Fig. 9 Temperature (℃) distribution in side of crew

4 结语

1) 在模拟车辆行驶时采用风洞而不采用对车

体的进气面进行定义,真实、准确地反应了气流在运动状态下流入、流出车舱的情形。

2) 人员采用接近真人的简化模型,人员散发热量不再采用均匀分布在座椅上的方法而是分布在人员体表,提高了模拟的真实性,也使车舱内的空气流场更接近真实情况下的流场。

通过模拟计算可动态、直观、全方位地得到舱门密闭状态和打开状态下乘员室的温度、流场分布及气流传热的动态过程,有利于进一步改进设计,优化乘员室热环境。

参考文献:

- [1] 王振国. 装甲车辆车内高温防护技术研究进展[C]//龙升照. 第四届全国人-机-环境系统工程学术会议论文集. 北京:海洋出版社,1999:249—252.
- [2] 王湘卿,李中华. 装甲车辆空气循环空调系统的概况与发展[J]. 车辆与动力技术,2006,24(1):52—57.
- [3] 刘西侠,毕小平,赵以贤. 装甲输送车乘员舱内三维空气流动与传热的数值计算[J]. 兵工学报,2003,24(1):15—18.
- [4] 武海明,董伟杰. 装甲车辆舱室氧浓度变化及对乘载员健康影响的初步研究[C]//龙升照. 第六届全国人-机-环境系统工程学术会议论文集. 北京:海洋出版社,2003:307—311.
- [5] 徐雯,王瑞君. 装甲车空调舱内气流分布的热舒适模糊综合评判[J]. 农业装备与车辆工程,2006,37(2):26—28.
- [6] 郝向阳,杨邵勃,张伟,等. 装甲车辆乘载员通风需要量限值[J]. 解放军预防医学杂志,2006,24(5):313—316.