

坦克动力舱体红外辐射特性模拟

毕小平, 黄小辉

(装甲兵工程学院机械工程系, 北京 100072)

摘要:建立了坦克动力舱体的温度场数值计算模型和红外特性计算模型,对坦克动力舱体的红外特性进行了理论计算,得到了辐射强度方向图。动力舱体红外特性的计算结果与试验结果的相对误差小于15.6%,基本满足工程设计的需要。研究表明,动力舱顶装甲板是主要辐射源,排气百叶窗和排气管附近顶装甲板是坦克的红外辐射特征明显区域。坦克动力舱体的红外辐射主要集中在 $8 \sim 12\mu\text{m}$ 波段。

关键词:红外辐射特征;动力舱;温度场;装甲板

中图分类号:TN219

文献标识码:A

Simulation of infrared radiation characteristic for the tank power compartment body

BI Xiao-ping, HUANG Xiao-hui

(Department of Mechanical Engineering Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: A temperature field numerical analysis model for the computation of the tank power compartment board is set up. The numerical value of infrared radiation feature of the tank power compartment board is calculated in theory. And radiation spectrum intensity direction distribution has been acquired. The relative error of the calculating values is less than 15.6%, and can basically meet the requirement of engineering applications. The study result indicates that the top board of power compartment is the mainly source of radiation. Exhaust shutter and top board about exhaust pipe is the evidence region of IR radiation character of tank. The infrared radiation of tank power compartment board is mainly $8 \sim 12\mu\text{m}$ bands.

Key words: IR radiation character; power compartment; temperature field; board

1 引言

随着高新技术兵器特别是精确制导武器和先进侦察探测系统的发展及反装甲武器效能的不断增强,坦克装甲车辆面临的威胁越来越严重,为了提高武器装备的战场生存能力,首先需要掌握其红外辐射特性。

坦克是地面战争的主要机动性攻击武器装备。坦克的结构决定了其动力舱空间狭小,内置动力装置和传动装置,高温热源多,除冷却空气流动的进排气窗外,其他部位均是封闭的,造成动力舱装甲板具有较高的温度,太阳的辐射也会引起装甲板的温度升高。因此动力舱装甲板的红外辐射成为坦克被红

外探测器探测的重要信号。

建立了动力舱体温度场计算模型和红外辐射特性计算模型,通过与试验值的对比检验了计算精度,在此基础上计算了设计工况下动力舱体的红外辐射特性。

2 动力舱体温度场 CFD 计算

2.1 装甲板传热分析

坦克动力舱体由前装甲板、顶装甲板、左右侧装甲板、后装甲板及底装甲板组成。装甲板内表面与

作者简介:毕小平(1952-),女,博士生导师,博士,主要从事坦克红外辐射研究方面的工作。E-mail:bxpyuqi@yahoo.com.cn

收稿日期:2008-11-07 **修订日期:**2009-03-17

动力舱空气之间存在对流换热,装甲板外表面与环境空气之间存在对流换热并受到太阳的热辐射,如图1所示。

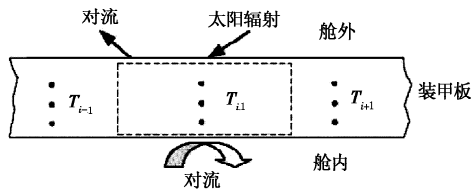


图1 装甲板节点的耦合换热模型

可见,要求解动力舱体的温度场,就需要掌握动力舱外空气流动状况、动力舱内空气流动状况、太阳辐射状况以及装甲板节点之间的导热状况。应用了外流场和内流场与装甲板导热耦合、太阳辐射热量作为边界条件的 CFD 数值求解策略。

2.2 CFD 数值求解

动力舱装甲板热平衡计算区域由三部分组成,即动力舱外空气流场区域、装甲板区域和动力舱内空气流场区域。动力舱外计算区域为舱外大气环境。装甲板区域包括前装甲板、顶装甲板、左右侧装甲板、后装甲板及底装甲板,顶装甲板考虑了进排气百叶窗的尺寸与位置。动力舱内空气流场区域取整个动力舱内的空气流动风道,做出动力舱内动力装置与传动装置的三维几何实体模型,由动力舱总容积减去实体模型,即可得到动力舱内空气流场区域。

采用分区结构化网格和非结构化网格对计算区域进行划分。图2是装甲板的网格模型。



图2 装甲板网格示意图

对动力舱外空气流场区域采用压力入口边界条件,考虑环境空气的温度、压力、风速的作用影响,并加入坦克行驶速度的影响。

对动力舱内空气流场区域,应用热网络法求出动力装置和传动装置的表面温度及其向动力舱内空气的散热量^[1-2]。

动力舱体温度场计算中的耦合计算区域为动力舱风道内空气、动力舱装甲板和动力舱外部空气。对于计算区域中耦合边界视为内部边界,耦合后全部定义为固体壁面边界。

太阳热辐射边界条件选择离散坐标计算方法,输入经度、纬度和时区,日期和时间,方位朝向和太阳辐射因子。

应用 Fluent 商业软件对空气流动与传热及装甲板导热的连续方程、动量方程、能量方程、 $k-\varepsilon$ 标准

湍流方程^[3]进行数值求解。有关动力舱装甲板温度场计算 CFD 模型与实验验证详见文献[4]。

3 动力舱体红外特性计算

对于动力舱体外表面上任一单元,其红外辐射由自身辐射和反射辐射两部分组成。

3.1 自身辐射

在获得动力舱体表面温度场以后,其自身红外辐射通量可以直接从普朗克公式得到。考虑 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 两个波段。普朗克公式近似表示为^[5]:

$$E_{\lambda_1-\lambda_2} \approx \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{c_1}{\lambda^5} e^{\frac{-c_2}{\lambda T}} d\lambda \quad (2)$$

式中, $E_{\lambda_1-\lambda_2}$ 为动力舱体表面的光谱辐射照度 (W/m^2); c_1, c_2 分别为第一辐射常数和第二辐射常数; λ 为辐射波长 (m); T 为动力舱体表面的温度 (K)。

3.2 反射辐射

动力舱体外表面的反射辐射为:

$$E_{\text{rad}} = \rho_{\text{sun}} E_{\text{sun}} + \rho E_{\text{ground}} \quad (3)$$

式中, ρ_{sun} 为表面红外波段范围的太阳反射率; ρ 为表面红外波段范围的反射率; E_{sun} 为表面接收红外波段范围的太阳辐射 (W/m^2); E_{ground} 为表面接收红外波段范围的地面辐射 (W/m^2)。

1) 太阳辐射

表面所接收的太阳辐射照度为:

$$E_{\text{dir}} = E_0 P^m \cos i \quad (4)$$

式中, E_0 为太阳常数; P 为该地区某时的大气透明度; m 为大气质量; i 为某时太阳入射角。

对于晴天水平面的天空散射辐射照度^[6]:

$$E_{\text{dis}} = \frac{1}{2} E_0 \sinh \frac{1-P^m}{1-1.4 \ln P} \cos^2 \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

式中, θ 为所在平面与水平面的夹角; h 为太阳高度角。

则接受的太阳总辐射强度为:

$$E_{\text{sun}} = E_{\text{dir}} + E_{\text{dis}} \quad (6)$$

2) 地面辐射

与水平面呈 θ 角的表面获得的地面反射辐射强度^[6]:

$$E_{\text{ground}} = \rho_c E_{\text{sun}} (1 - \cos^2 \frac{\theta}{2}) \quad (7)$$

式中, ρ_c 为地面平均反射率; E_{sun} 为水平面所接受的太阳总辐射强度 (W/m^2), 其表达式为:

$$E_{\text{sun}} = E_0 P^m \cos i + \frac{1}{2} E_0 \sinh \frac{1-P^m}{1-1.4 \ln P} \quad (8)$$

3.3 辐射强度

动力舱体的辐射亮度 L 和辐射强度 I 为:

$$L = \varepsilon \frac{E_{\lambda_1 - \lambda_2}}{\pi} + \frac{E_{\text{rad}}}{\pi} \tag{10}$$

$$I = L \cdot \Delta A \cdot \cos\theta_i \tag{11}$$

式中, ε 为表面材料的发射率; ΔA 为动力舱体表面的面积(m^2); θ_i 为探测方向与红外辐射面法向量的夹角($^\circ$).

4 计算值与试验值的对比

对停放在地面上的发动机以 2000r/min 工作的坦克,采用傅里叶变换红外光谱辐射计测试了动力舱装甲板外表面的红外辐射特性。试验环境:11:00 时,大气温度 -5°C ,大气压力 101kPa,风速 2.54m/s。针对测试工况应用装甲板温度场 CFD 模型计算了动力舱体温度场,然后计算了 3~5 μm 和 8~14 μm 波段光谱红外辐射亮度。表 1 和表 2 分别是 3~5 μm 和 8~14 μm 红外辐射亮度试验值与计算值对比。可以看出,计算结果与测试结果比较吻合。

表 1 3~5 μm 光谱辐射亮度试验值与计算值对比

表面	试验值/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)	计算值/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)	误差/%
上装甲板	0.705	0.815	15.6
后装甲板	0.879	0.999	13.7
进气百叶窗	0.583	0.661	13.4
排气百叶窗	1.33	1.493	12.3

表 2 8~14 μm 光谱辐射亮度试验值与计算值对比

表面	试验值 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)	计算值 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$)	误差/%
上装甲板	34.961	38.706	10.712
后装甲板	40.707	42.543	4.510
进气百叶窗	33.159	35.582	7.307
排气百叶窗	46.745	50.066	7.105

图 3~图 6 分别为上装甲板、后装甲板、进气百叶窗和排气百叶窗光谱辐射特性测试结果与计算结果对比。

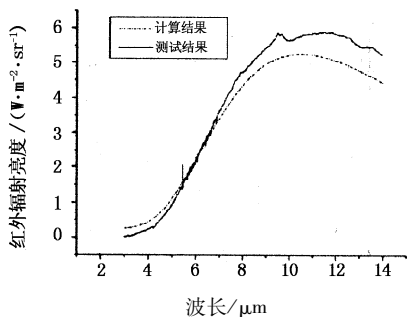


图 3 上装甲板光谱辐射特性测试结果与计算结果对比

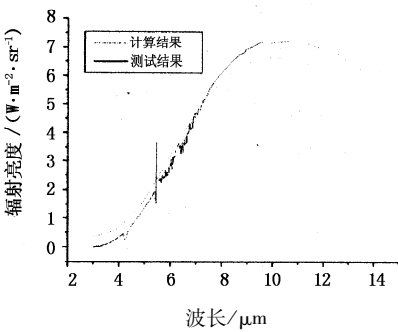


图 4 后装甲板光谱辐射特性测试结果与计算结果对比

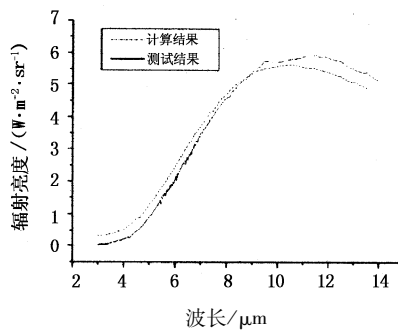


图 5 进气百叶窗光谱辐射特性测试结果与计算结果对比

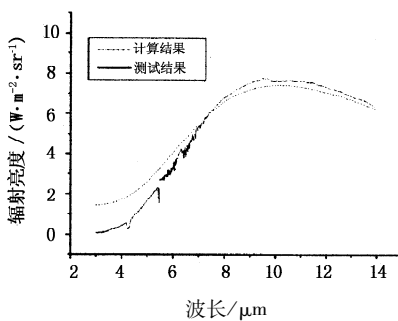


图 6 排气百叶窗光谱辐射特性测试结果与计算结果对比

5 设计工况计算结果及分析

针对坦克挂 5 挡、车速 57.24km/h 稳定行驶的设计工况进行了计算。由于动力舱前装甲板与乘员舱相连、左侧和右侧甲板被行走系统所遮挡、底装甲板基本不影响动力舱的红外特征,因此计算中仅考虑动力舱上装甲板和后装甲板的影响。

图 7 和图 8 分别为动力舱顶装甲板和后装甲板在波长范围 3~5 μm 和 8~14 μm 时辐射强度方向图。可以看出,红外辐射的最大方向在动力舱体辐射方向与动力舱尾甲板辐射方向的合成方向。由于坦克炮塔的遮挡,动力舱体辐射向前侧方向较弱,向后侧 120°观测角方向较强。

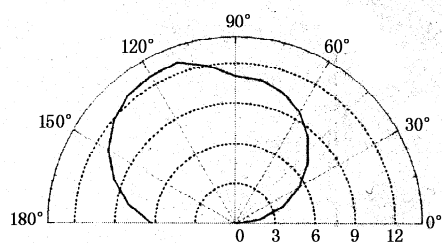


图7 某坦克在3~5 μm 波带不同方向上的辐射强度方向图/($\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$)

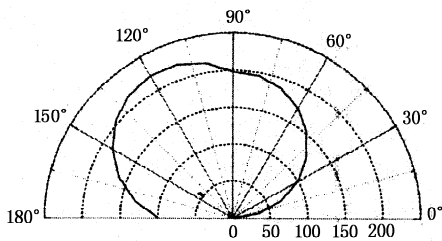


图8 某坦克在8~14 μm 波带不同方向上的辐射强度方向图/($\text{W} \cdot \text{sr}^{-1}$)

6 结论

1) 本文在基于 Fluent 商用 CFD 软件对坦克动力舱体温度场计算的基础上,进行了红外辐射特征的预测。计算值与试验值比较最大相对误差为 15.6%,验证了本文计算模型和结果的正确性。

2) 从计算结果可以看出动力舱上表面是主要

辐射源,排气百叶窗和排气管附近顶甲板表面温度较高,这些区域是坦克的红外辐射特征明显区域,是红外制导武器的红外导引头的探测敏感区域,也是坦克红外隐身设计和红外抑制技术予以重点关注的区域。

3) 坦克动力舱体的红外辐射主要集中在 8~12 μm 波段,从红外隐身与对抗的角度分析该波段应成为考虑的重点。

参考文献:

- [1] 王普凯,毕小平. 装甲车辆动力装置部件温度的网络化预测方法[J]. 兵工学报,2008,29(1):101-106.
- [2] 许翔,毕小平. 履带车辆传动系统的传热仿真研究[J]. 农业机械学报,2007,38(4):28-32.
- [3] 陶文铨. 数值传热学[M]. 西安:西安交通大学出版社,2004:485-488.
- [4] 黄小辉,毕小平,王普凯. 坦克动力舱体温度场数值仿真与实验验证[J]. 红外,2008,12:18-23.
- [5] 姚连兴,仇维礼,王福恒. 目标和环境的光学特性[M]. 北京:中国宇航出版社,2005:15-17.
- [6] 王章野,陆艳青,彭群生. 基于气象学和传热学的城市建筑物红外成像模型[J]. 系统仿真学报,2000,12(5):517-524.

中国光学光电子行业协会光学元件与仪器分会成功举行换届会议

2009年4月12日~15日,中国光学光电子行业协会光学元件与仪器分会第五届会员代表大会在河南省南阳市召开,中国光学光电子行业协会理事长特别助理薛峰先生、光学元件与仪器分会理事长张福初先生、中国光学光电子行业协会副秘书长所洪涛先生、光学元件与仪器分会副理事长,河南中光学集团监事会主席夏兆华先生、河南中光学集团党委副书记,利达光电股份有限公司总经理王天洲先生等约31人参加了此次会议,本次会议由中国光学光电子行业协会副秘书长所洪涛主持。

会议首先由王天洲先生致开幕词,然后由薛峰先生代表中国光学光电子行业协会理事长杨定江对光学元件与仪器分会第五届会员代表大会的召开表示了热烈的祝贺,接着由张福初先生和程慧云先生对第四届理事会工作进行了简要总结。在随后的选举过程中,经第五届理事会代表投票选举,河南中光学集团被选为第五届光学元件与仪器分会理事长单位,王天洲同志当选为第五届光学元件与仪器分会理事长,浙江水晶光电科技股份有限公司、江苏宇迪光学股份有限公司、兰州瑞德设备制造有限公司三家公司当选为第五届理事单位,原理事单位梧州奥卡光学仪器有限公司、株洲化工集团公司石英器材分公司未当选。

会议期间来自全国各地的光学元器件同行进行了深入的交流,并在会后集体参观了利达光电股份有限公司的棱镜、透镜等光学元件生产线,元器件加工生产线,镀膜生产线,真空、设备公司等。至此,光学元件与仪器分会第五届会员代表大会取得了圆满成功。

(中国光协供稿)