

基于 GT-Suite 的装甲车辆冷却风道仿真研究

Simulation research on the wind tunnel of armored vehicle based on GT-Suite

喻虎, 骆清国, 冉光政

(装甲兵工程学院 机械工程系, 北京 100072)

摘 要: 利用 GT-Suite 的 Cool3D 模块和 GT-Cool 模块离散了装甲车辆冷却风道的 3D 模型, 建立了冷却风道的仿真模型, 研究环境温度和散热器高度的变化对冷却风道主要设计参数之间的影响, 并且指出排气窗位置不同会对舱内带来不同的冷却效果。

关键词: 装甲车辆; 冷却风道; COOL3D; 仿真计算

Abstract 3D model of wind tunnel of vehicle is discrete by COOL3D module and GT-COOL module of GT-Suite Software. A simulation module of wind tunnel is been built. The influence of the environment temperature and radiator high on the main design parameters of the wind tunnel is investigated. And the simulation results show that the different positions of the air vent shutter can lead to different cooling efficiencies.

Key words: Armored vehicle; Wind tunnel; COOL3D; Simulation

1 概述

现代作战需求使作战坦克动力装置的功率不断提高, 并且逐步采用各种先进的传动装置, 引起坦克动力舱内的热负荷持续上升, 但是动力舱的空间受到总体要求和布局的制约, 不可能大幅度的增加, 从而导致动力舱内环境温度的恶化, 直接影响动力传动装置的正常工作^[1]。为了保证坦克能够在适宜的温度下运行, 动力舱内的空气流动分析是坦克发展过程中必须进行的重要内容之一。随着计算机技术的发展与计算流体动力学 (Computational Fluid Dynamics, 简称 CFD) 理论的不完善, 利用计算机的计算能力对特定空间内的温度与速度场进行数值仿真计算成为一个大趋势^[2]。传统的动力舱冷却风道的研究主要借助于专用的 3D 仿真软件建立三维模型, 并离散为有限元的网格模型, 然后进行详细的冷却风道流场和温度场的仿真计算。这种方法要求前期的数据准备充分, 对数据的要求比较全面, 比如需要风扇详细的三维模型, 包括叶型数据等, 在总体方案设计初期, 这些数据可能没有或者不够全面, 而且这种方法建模和离散化时间比较长, 仿真计算收敛较慢, 不太适合在设计初期进行总体方案的研究。

为此, 作者提出了一种新的方法研究冷却空气系统的结构布置对冷却风流量、风速和风道阻力

的影响,为总体方案设计提供更多的理论依据。作者利用 GT-Suite 中的 Cool3D 模块, Cool3D 是一个用于建立发动机舱的很好的辅助建模工具,它提供了换热器,格栅,风扇,导风管等舱内部件直接对应的模板,便于建立舱内布置模型。可以通过一键操作,离散模型为 GT-Suite 可以求解的模型。Cool3D 将动力舱的三维几何模型根据计算的需求,选择合适的离散长度离散成大量的小体积块,并自动生成 GT-Suite 一维仿真模型。BMW 公司的 G•Seider 采用 Cool3D 离散轿车动力舱进行冷却系统的一维 CFD 分析,实验表明该仿真方法的计算误差为 $\pm 10\%$ 。所以采用相似的仿真方法,计算误差能够满足在概念设计初期总体方案的要求^[3]。

2 模型建立

2.1 冷却风道结构方案

图 1 为冷却系统的循环方案,本方案采用单泵双循环。低温双循环回路共用水泵及部分管道,冷却水经水泵强制驱动进入机油冷却器,尔后分成两路:一路通过暗水道进入机体、缸盖,然后进入高温循环散热器;另一路经低温水循环散热器进入中冷器,传动油冷却器,分动箱油冷却器。继而在

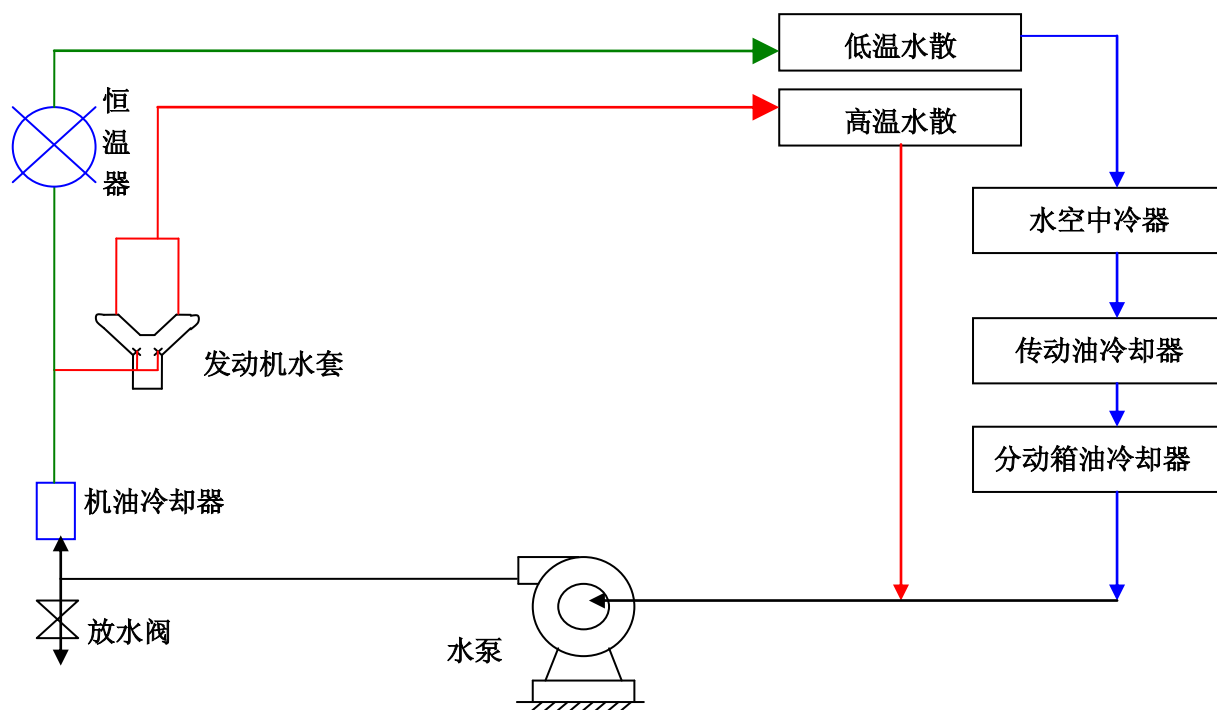


图 1 冷却系统循环方案示意图

水泵前与高温循环的冷却水汇合后进入水泵,完成循环。散热器位于进气百叶窗下,平行于动力舱顶放置,风扇采用混流式吸风风扇。散热器、风扇与动力装置的其他部件一起,在动力舱内形成一个 U 型的冷却风道。如图 2 左边的图所示,在吸风风扇的作用下,冷却空气从进气百叶窗进入,通过散热器和风扇,经排气百叶窗进入环境,所以整个冷却风道的阻力是冷却空气经进气百叶窗、散热器、风道和排气百叶窗的阻力总和。在强迫流动时,空气会沿着线路最短、阻力最小的路径流动。所以动力舱比较靠下的空间对整个冷却空气系统的流动影响较小。因此对整个冷却空气系统的结构

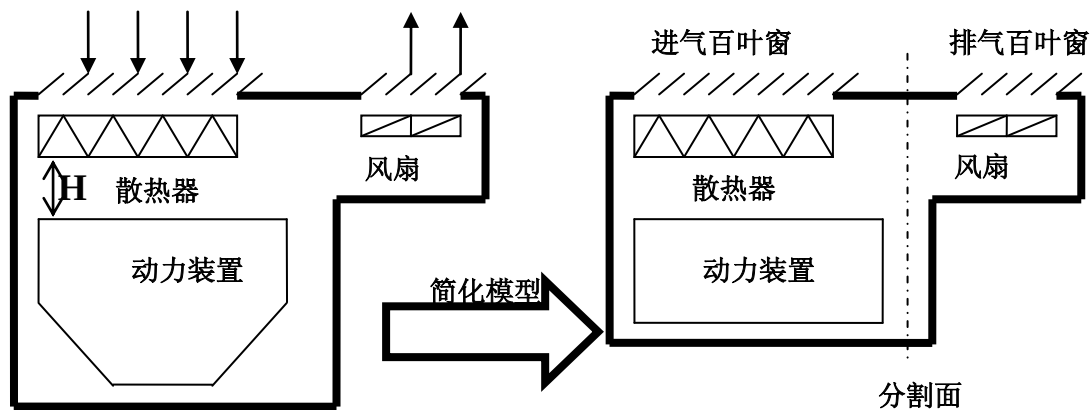


图 2 某型装甲车辆 U 型风道

作进一步简化。如图 2 右边的图所示。

2. 2 冷却风道仿真模型

首先利用 GT-Suite 中的 Cool3D 所提供的换热器，格栅，风扇，导风管等舱内部件直接对应的模板，建立舱内布置模型。建立模型时，对几何尺寸很小或对空气流动和换热作用影响不强烈的部件进行了适当的简化和省略。对动力舱壳体及其内部主要部件，按照设计尺寸形成三维模型，从而构建空气流动计算区域。

最后根据冷却系统的循环方案，建立如图 5 所示的冷却风道三维仿真模型，并离散成如图 6 所示的一维模型。

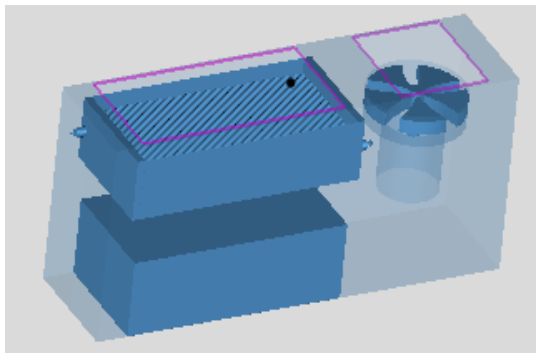


图 5 冷却风道三维仿真模型

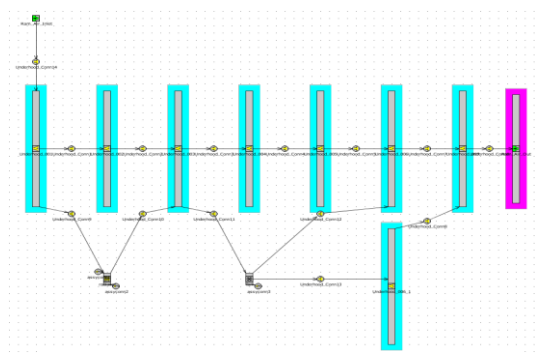


图 6 冷却风道一维仿真模型

3 仿真计算与结果分析

3. 1 散热器

当散热器结构与传热性能确定的情况下，要重点考虑的是流经散热器的冷却风量。在散热系统所有参数当中，冷却风量是影响系统性能最重要的参数之一，同时也是最难控制与精确计算的参数，

它受到多方面因素的影响。当风扇选定后,在某一固定转速下,冷却风量是由整个冷却风道阻力、风扇性能与布置形式来决定的。图 7 显示随着进口冷却风流量的增大,散热器出口温度降低。

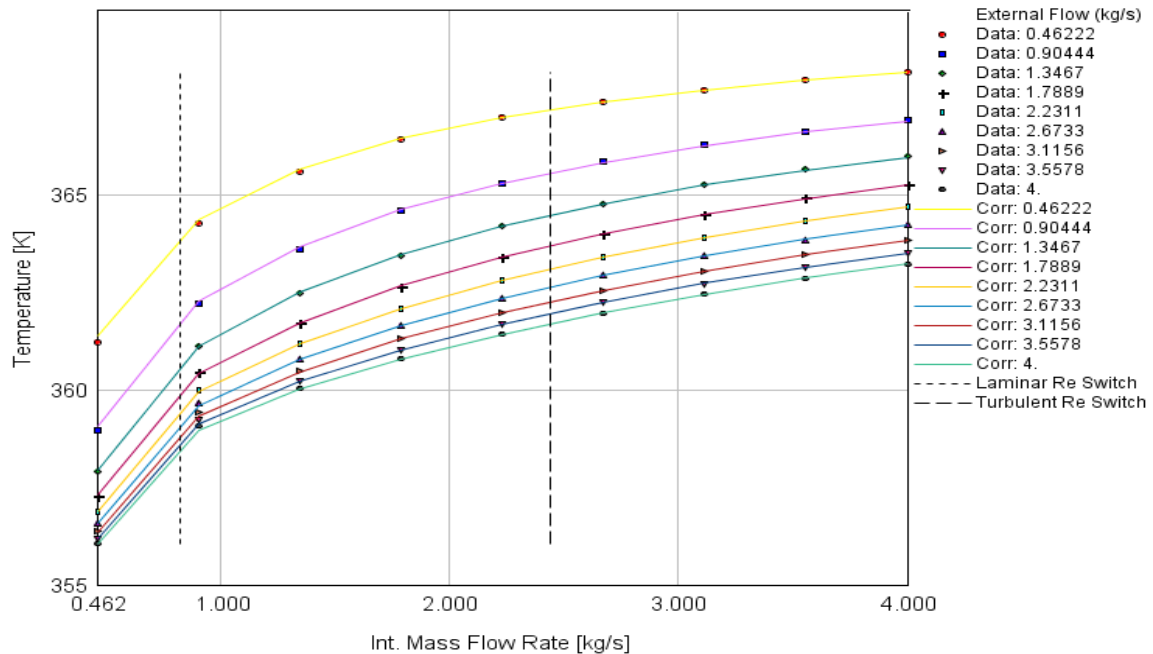
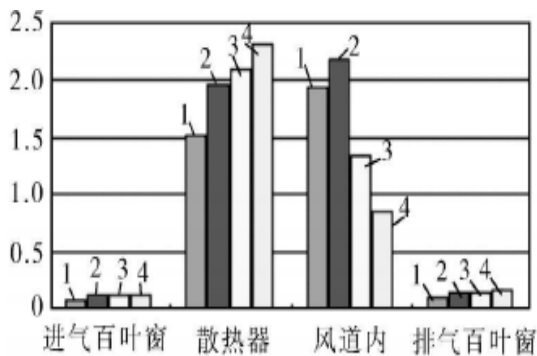


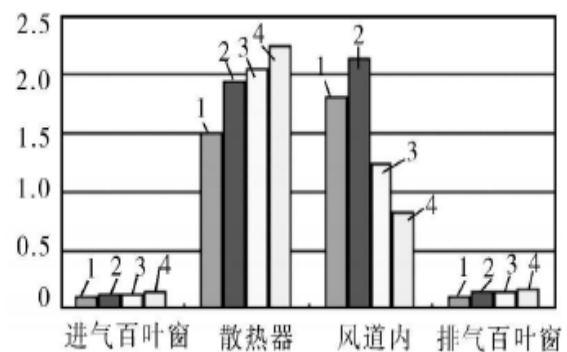
图 7 散热器出口温度图

因此,本文主要是在散热器进水温度、冷却水流量和风扇转速一定的情况下,研究不同环境温度(即散热器进气温度)下,散热器高度 H (如图 2 所示)的变化对整个冷却风道阻力的影响规律,进而研究对冷却系统冷却风量、散热量、风扇耗功等主要设计参数的影响规律。

图 8 和图 9 分别为环境温度 40°C 和 60°C 下进气百叶窗、散热器、风道内和排气百叶窗的空气阻力随散热器高度 H 的变化结果对比。对比图 8 和图 9,可以看出随着环境温度的变化,冷却风道各部分阻力的变化并不明显。也就是说,当环境温度变化时,对于同样结构的冷却风道,冷却风量的变化并不大。



3— $H=100\text{mm}$ 2— $H=150\text{mm}$
4— $H=200\text{mm}$ 4— $H=250\text{mm}$
图 8 环境温度为 40°C 下各部分阻力对比



1— $H=100\text{mm}$ 2— $H=150\text{mm}$
2— $H=200\text{mm}$ 4— $H=250\text{mm}$
图 9 环境温度为 60°C 下各部分阻力对比

单一从图 8 可以看出：在相同环境温度下，随着散热器高度 H 的变化，进排气百叶窗的阻力变化并不明显。因为散热器的高度变化并不影响进排气百叶窗的工作形式，这与进排气白叶窗的结构形式和阻力特性有关，而且进排气白叶窗本身的阻力就很小，所以，随着散热器高度 H 的变化，阻力变化比例也很小。从图 8 还可以看出：随着散热器高度 H 的增大，散热器的阻力也变大，而风道内的空气阻力除了 $H = 100\text{ mm}$ 的点外，都随 H 的增加而减小。散热器的阻力变化主要与散热器的结构和阻力特性有关。当 $H=100\text{mm}$ 时，由于冷却风道过于狭小，冷却空气在风道内流动过程中突然收缩或突然膨胀、以及气流转向和受阻所造成的局部阻力急剧增加，致使风扇静压头不足，导致气流流通困难，冷却风量急剧下降，所以系统平衡时风道内的空气阻力由于冷却风量的急剧减小而有所降低^[4-5]。

3. 2 进排气百叶窗

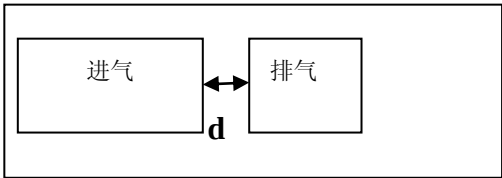


图 10 冷却风道原方案

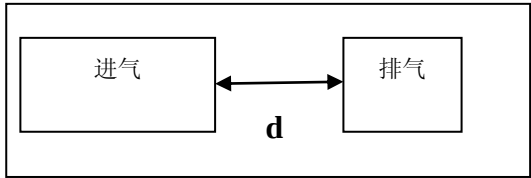


图 11 冷却风道改进方案

如图所示，对进排气百叶窗的位置进行研究，图 10 为原方案，图 11 为改进后的方案，分别得到改进前后排气百叶窗处和风扇蜗壳处的温度分布图如下图所示。

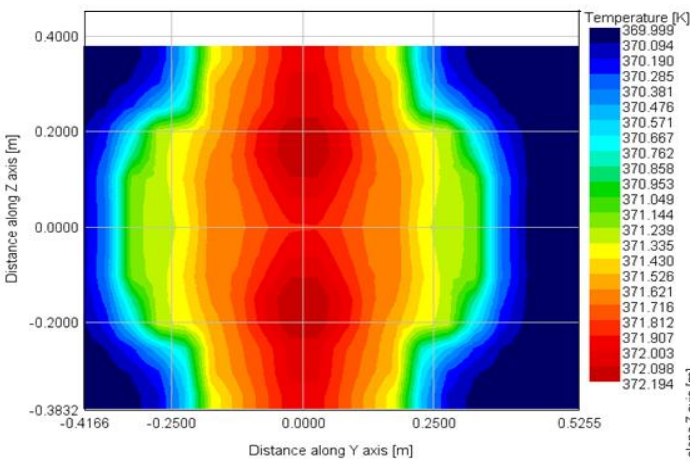


图 12 改进前排气百叶窗处温度场

改进后风扇蜗壳处温度降低，百叶窗位置的变化改变了周围的温度场分布。

如图 12 和图 13 所示，可以清晰的看到改进后排气百叶窗处温度降低，百叶窗位置的变化不仅改变了排气窗处的温度场，也改变了空气的流场。如图 14 和图 15 所示，可以清晰的看到

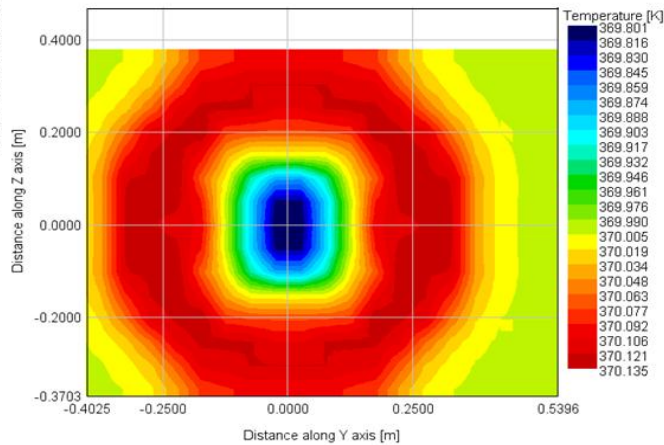


图 13 改进后排气百叶窗处温度场

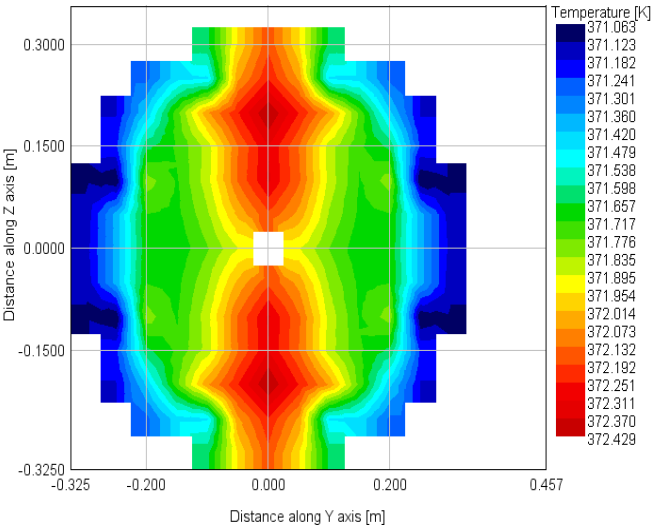


图 14 改进前风扇蜗壳处温度场

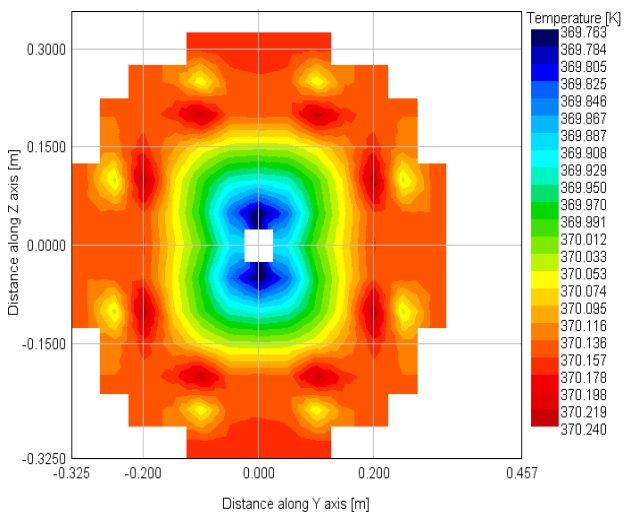


图 15 改进后风扇蜗壳处温度场

表 1 改进前后平均温度值

平均温度/℃	排气窗处	动力舱内
改进前	98. 0965	98. 7460
改进后	96. 9680	97. 0015

从表 1 中可得知，改进后排气百叶窗处和动力舱内的温度都有所降低，改进方案可行。将排气窗位置右移后，主要有以下三方面优点：一是使得进气窗处空气流动小再受排气窗处排出气体的影响，使进气温度保持为环境温度；二是使得风扇蜗壳处空气温度下降 1. 7445℃。既提高了分散的散热效果，又使动力舱内获得了较低的冷却空气；三是使得舱内空气流动有所变化，增强了舱内其他零部件的散热效果。

4. 结论

利用 GT-Suite 的 Cool3D 模块和 GT-Cool 模块可以方便的把装甲车辆冷却风道的 3D 模型转换为 1D 模型，并建立了 U 型冷却风道的 CFD 仿真模型。以某装甲车辆冷却系统循环方案为例，给定各部件的性能试验数据，研究散热器高度变化和排气百叶窗位置变化时冷却风道主要设计参数之间的影响规律得到如下结论：

- 1) 采用 CFD 技术对虚拟动力舱内空气流场进行预测分析是一种有效、方便、快捷的手段，分析结果可以为虚拟动力舱的论证、设计提供科学的方法和理论依据。
- 2) 环境温度的变化对整个冷却风道的阻力影响小大，但是，散热器高度 H 的变化对风道内的空气阻力影响较大，致使整个冷却风道的阻力变化较大。

3)模拟结果表明,进、排气窗的位置不易相邻过近,以避免排出气体的部分回流现象和排出气体对流入气体的温升作用,从而提升冷却空气对动力舱内各散热部件的冷却效果。

5 参考文献

- [1]张均享,等.高机动性运载车辆动力系统[M].北京:中国科学技术出版社,2000.
- [2]刘西侠,曹玉坤,毕小平.坦克动力舱空气流动与传热研究综述.兵工学报,2007,28(8):1011-1016.
- [3]Seider G. Design of automotive cooling systems with GT Cool and Cool3D[C]// Proceedings of 11th GT User Conference. Frankfurt: [s.n.],2007: 311-315.
- [4]王普凯,毕小平,黄小辉.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(6):641-644.
- [5]许翔.坦克传动装置热平衡建模与计算研究[D].北京:装甲兵工程学院工学博士学位论文,2008.