

汽车发动舱温度场仿真精度研究

A Study on the Engineroom Temperature Simulation Accuracy of an Automobile

吝理妮 陈博 杨天军 付杰

奇瑞汽车股份有限公司预研与基础技术研究院

摘 要: 本文利用 STAR-CCM+软件,对某款轿车发动机舱进行了温度场数值仿真,得到发动机舱的流场及温度场分布,将仿真结果与试验结果进行对比研究,修正分析方法,使仿真结果达到了较高的精度,为整车温度场性能开发提供了有力的技术支持。

关键词: STAR-CCM+、轿车、温度场、数值模拟

Abstract: In this paper, the engineroom temperature of an automobile is simulated by using STAR-CCM+, along with air flow velocity distributions. Through the validation between the simulation and the test values, the simulation method is modified. After that the simulated temperature achieved a high level of accuracy. Now the simulation method can be applied to the vehicle development of engineroom temperature.

Key words: STAR-CCM+、Automobile、Engineroom temperature、Numerical simulation

1 前言

汽车温度场仿真是针对发动机舱内部的散热情况进行模拟分析,涉及到发动机舱内关键部件的保护,以确保在不同的工作状态下发动机舱内的各部件都能够正常运行,并通过系统性地优化来提高各部件的性能、降低试验开发成本,是整车开发中的十分重要的环节。

目前汽车温度场分析存在以下难点:(1)几何形状复杂:温度场分析需要完整的车身、底盘、发动机、舱内部件的CAD数据,数据处理机网格生成的难度和工作量非常大;(2)物理现象复杂:发动机舱内的流动和传热现象十分复杂,一些关键缝隙和孔洞对散热性能有重要影响。发动机舱内的热辐射非常强烈,对散热性能有决定性的影响;(3)性能参数众多:温度场分析需要考虑冷却模块、冷却风扇等部件的工作性能,在进行热辐射模拟时,还需要部件的材料参数、详细的热边界条件等。

本文运用STAR-CCM+软件,整车建模采用包面技术,利用试验得到的关键热源温度为热边界条件、其他部件采用绝热边界,同时考虑热对流与热辐射两种传热方式,对某款前排气车型进行温度场数值仿真,得到前舱重要热敏感部件壁面温度场分布,在首轮分析结果的基础上进一步修正分析方法,使温度场仿真结果达到一定精度,为整车温度场性能开发提供了有力的技术支持。

2 试验简介

试验在上海同济大学风洞中心进行，共进行了低速爬坡、高速爬坡、高速行驶三种工况的温度场试验。试验前 CAE 分析人员向试验部门提交布点需求清单，并全程跟踪试验，了解试验车状态，记录测点位置，以保证后期分析模型与实车状态保持一致。本次试验共布点 45 个，其中 20 个监控点、10 个热源表面测点、15 个热敏感部件表面测点，图 1 所示为某一热源测点示意图。



图 1 预催表面测点示意图

3 分析模型及边界设定

3.1 模型建立

建模采用 STAR-CCM+包面技术，分析模型包括：整个车身外部及发动机舱内所有部件（除去螺栓、卡扣等细小部件），保留部件详细的几何特征，以确保网格模型和试验实车状态一致，体网格规模为 1500 万（车身底部不加密），图 2 所示为分析模型与实车对照图。

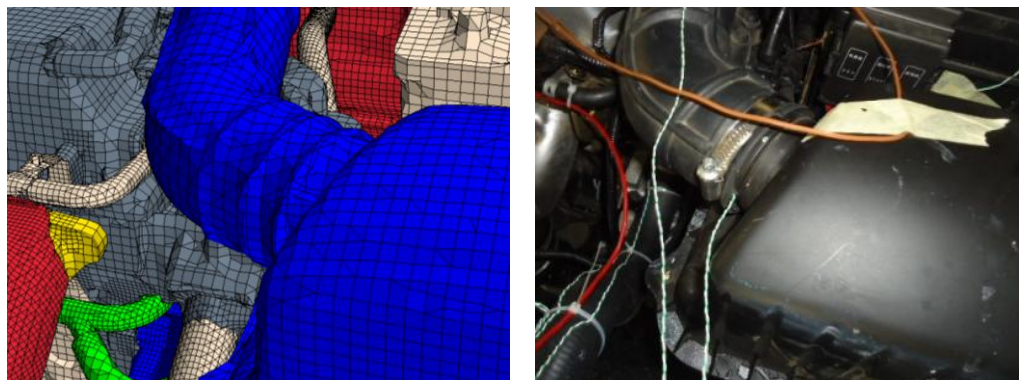


图 2 分析网格模型与实车对照图

3.2 边界定义

计算域进口根据试验工况设定速度入口边界和温度，出口给定压力边界和温度。冷凝器和散热器采用多孔介质模型（porous medium）来模拟气流在其厚度方向上的压力降，惯性阻尼系数 α 和粘性阻尼系数 β 通过试验数据来拟合，散热器及冷凝器换热量给固定值；风扇采用 MRF 隐式算法。舱内主要热源表面由试验测量结果给定温度边界，其他部件表面给定绝热边界及材料辐射系数【1】以求解其表面温度分布。

3.3 数学模型和数值求解

计算为稳态过程，湍流模型使用 K-Epsilon 模型。由于该车为前排气布置，故分析同时考虑了对流与辐射两种传热方式，辐射计算采用 S2S 辐射传热模型，在 STAR-CCM+中，S2S 模型会自动计算角系数，物体表面基于已有面网格被划分为有限个片区（Patches），以简化表面，更方便的计算角系数。Patches 越多，计算越准确，计算量也越大。

4 仿真结果与试验对比

与试验工况相对应，进行了低速爬坡、高速爬坡、高速行驶三种工况的 CAE 仿真分析。

4.1 仿真结果与试验对比—低速爬坡工况

此处展示为低速爬坡工况，首轮分析发动机舱内的流动与温度分布情况，图 3 可以看出，冷却气流从前保格栅进入发动机舱，大部分流至冷凝器和散热器进行热交换，气流温度逐步升高，由

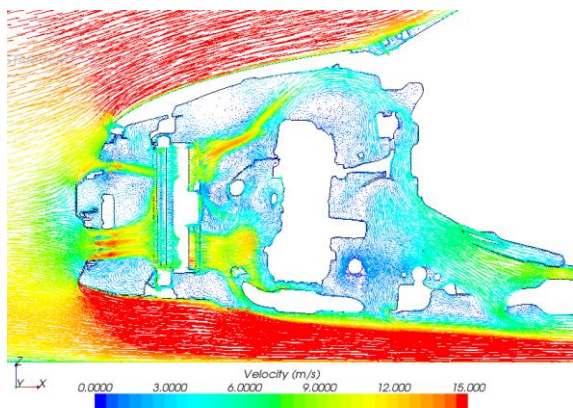


图 3 Y=0 切面速度矢量图

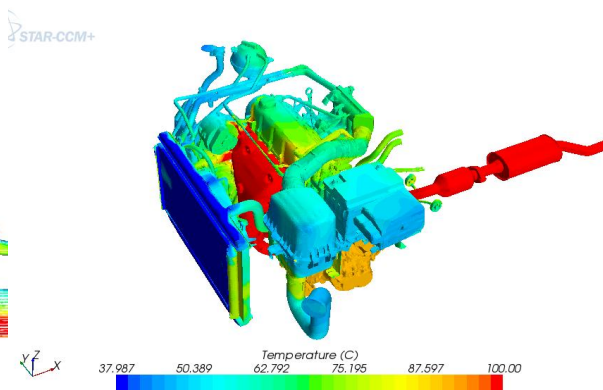


图 4 发舱内温度云图

风扇吹出的热风再经高温热源的加热后，一部分气流经发动机上方流向发动机舱后方，一部分气流直接吹向排气管和发动机底部和排气管等热源。

从图 4 可以看出，发动机布置在副驾驶侧，因此，发电机、转向油管、风扇电机等靠近热源的部件受排气歧管及三元催化器等热源的热辐射较大，对于距离热源较近的管路及部件表面，应用铝箔包裹或采取相应的隔热措施；而蓄电池、电器盒和空滤引气口等元件都在主驾驶侧，离热源较远，有利于散热，但是此处部件受风扇出风角度及热对流的影响较大，特别要关注空滤的进气温度，如果进气口附近存在热气回流或经过加热的气流在此滞留，将使发动机进气温度升高，影响发动机的动力性。

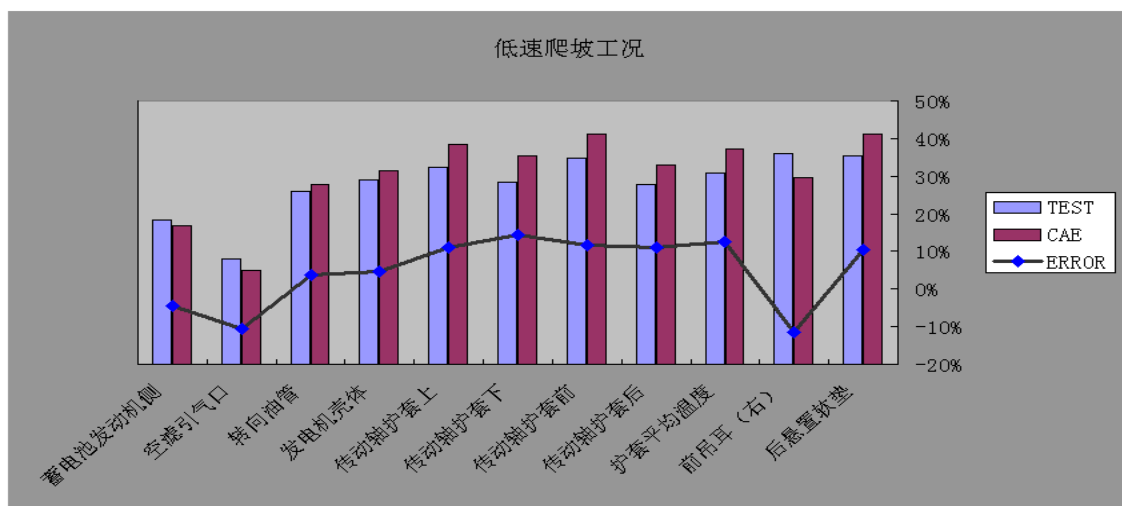


图 5 CAE 仿真与试验对比

下面将低速爬坡工况首轮分析结果与试验结果【3】进行对比：

从上图对比结果可以看出，在发动机舱前端区域，冷却模块、风扇及热源周围，空滤引气口的温度误差较大；在发动机舱后部，传动轴护套及排气吊耳、后悬置误差均较大，对其误差量化后发现，相对误差最大达 15% 左右。针对上述误差较大的部件，我们根据初版分析结果，找出产生误差的原因主要有以下两类：

(1)、边界条件误差：空滤引气口误差较大，原因是计算中我们将空滤作为一个封闭的腔体，引气口作为 wall 边界来处理，而实际中空滤引气口为开启状态，此处存在一定的负压【3】，导致此处流态与实际有所差异；传动轴护套误差较大，原因是传动轴在实际工作中处于转动状态，而分析中作为静止处理，因此分析与试验也存在一定误差。

(2)、网格模型误差：后悬置、排气吊耳误差较大，这两个部件均处于车身底部，此处位于湍流较强区域，分析中此处网格未进行加密处理。

针对以上因素，我们对初版的分析模型及分析方法进行了修正，首先将空滤进口设为压力出口边界、给定压力值，并给传动轴设定局部旋转坐标及转速、最后对车身底部湍流较强区域网格进行局部加密，加密后网格数量为 1800 万，加密效果如下图所示。

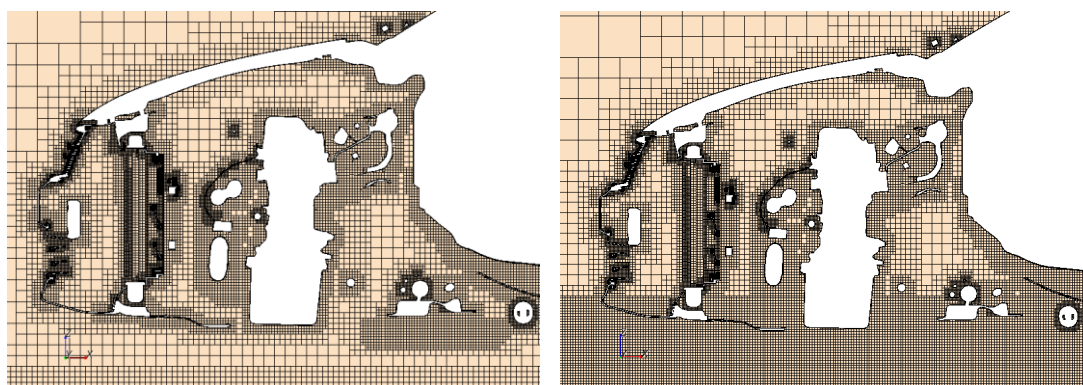


图 6 Y 向体网格剖切面（左为加密前，右为加密后）

以下为修正后分析结果：

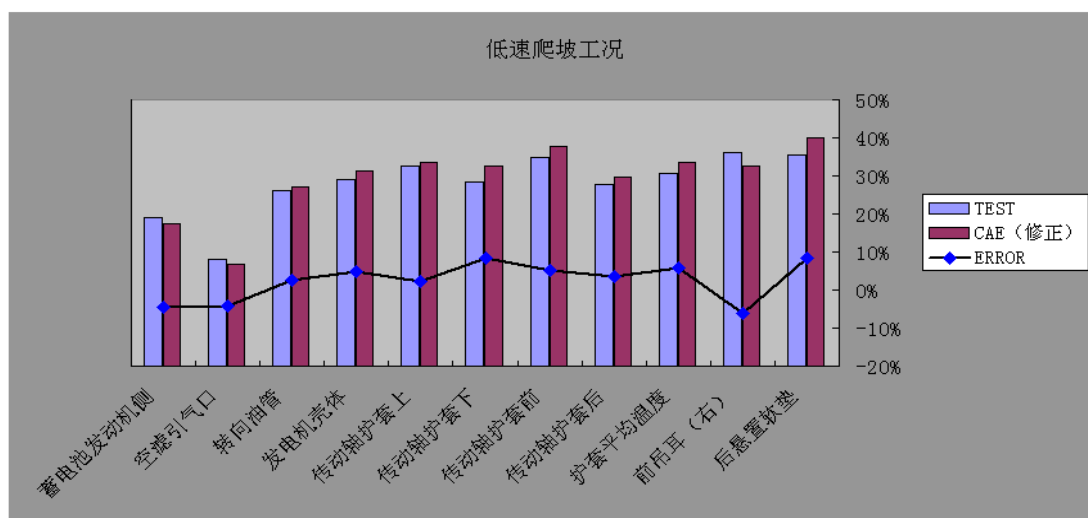


图7 CAE 仿真与试验对比（修正后）

从分析与试验对比结果可以看出，我们对分析模型及分析方法做相应的修正后，误差较大的部件表面计算温度均与试验值有较大逼近，总体误差在10%以内。

由图8可以看出，修正前后，空滤入口附近流态差异较大，将空滤引气口边界设为压力出口后，空滤引气口温度计算结果更加准确，同时从流线图能够更加清晰的看出，由于冷凝器与散热器之间有热气回流，致使从格栅进入的冷空气与此处泄露的高温气流混合加热后，流向空滤进口，导致空滤进口温度升高。

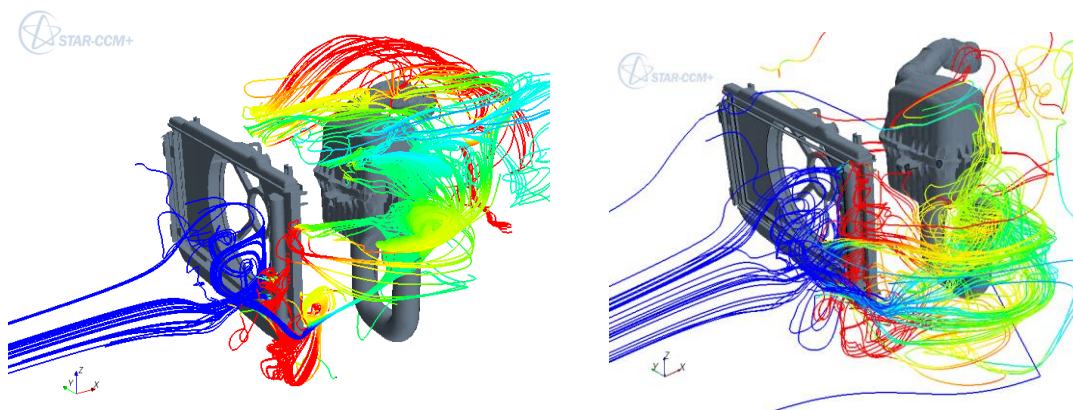


图8 空滤引气口附近温度流线图（左为修正前，右为修正后）

另外，对于传动轴护套来说，将传动轴设转动后，4个测点的仿真温度值均有所降低，与试验值逼近明显；后悬置、排气吊耳计算精度也有所提升。

4.2 仿真结果与试验对比—高速爬坡工况、高速行驶工况

采用同样修正方法，我们将高速爬坡工况与高速行驶工况的CAE仿真结果与试验结果进行对比：

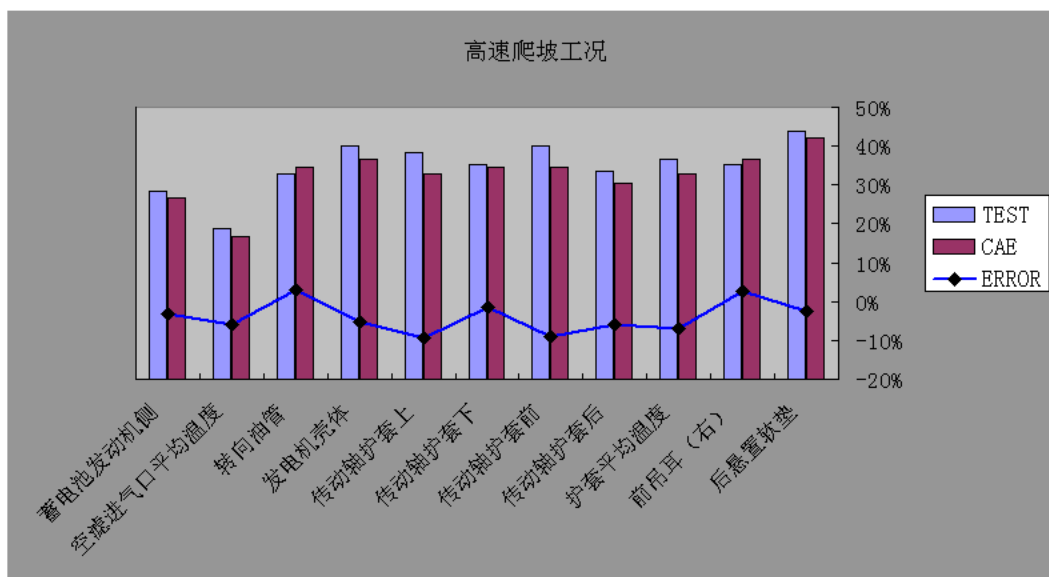


图 9 CAE 仿真与试验对比（高速爬坡工况）

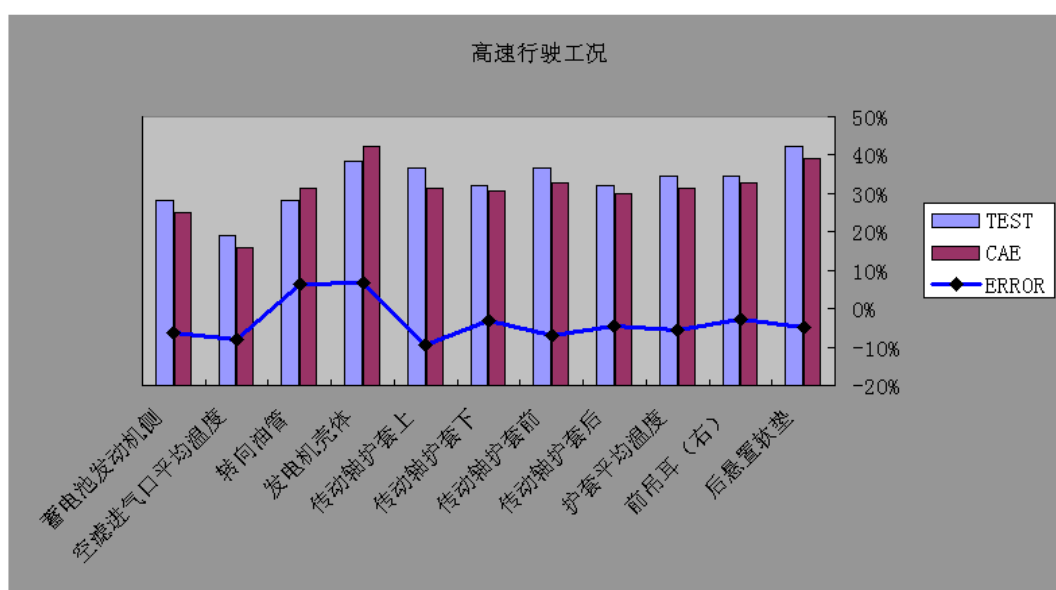


图 10 CAE 仿真与试验对比（高速行驶工况）

由对比结果可见，经过分析方法的修正，在三种工况下，热敏感部件的计算温度与试验值的误差均可保持在 10% 之内。

由于热源测点有限、风扇 MRF 模型本身产生误差，以及部分部件（如排气吊耳等）未考虑热传导效应，目前的仿真结果与试验结果存在一定误差。在做前排气温度场仿真精度研究的同时，我们也做了两款后排气车型温度场仿真与试验的对比研究【4】，同样可将蓄电池、传动轴护套、排气吊耳等热敏感部件的仿真精度控制在 10%。兼顾到精度与效率的平衡，此分析方法目前能满足工程需求，在整车开发与预研阶段，可对项目的温度场性能开发提供有力的技术支持。

5 结论及展望

- (1) 利用单个STAR-CCM+软件，通过本款前排气轿车及两款后排气轿车的温度场对标分析研究，在热边界条件可靠的情况下，可将温度场仿真总体误差控制在10%以内，满足工程需要。
- (2) 本次分析丰富了公司的热源数据库，为后续车型开发提供了可靠的热边界条件；同时通过分析方法的修正，找到了一些影响前舱关键部件仿真精度的关键因素。
- (3) 下一步工作我们将在温度场仿真时对于部分部件（如排气吊耳、隔热罩等部件）引入热传导效应，同时研究更准确的热边界加载方式，不断提高温度场仿真能力及预测能力。

6 参考文献

- [1] 陶文铨《传热学》西北工业大学出版社 2006 年 12 月第一版；
- [2] 奇瑞汽车股份有限公司试验报告:CVEC/AFB-B607-201204-0333;
- [3] 周龙宝《内燃机学》机械工业出版社 2007年10月第二版。
- [4] 陈博 汽车发动机舱温度场仿真与试验研究 CAE年会论文 2012年