

# 某轿车发动机舱热管理模拟分析

## Underhood Thermal Management Simulation of a Passenger Vehicle

王小碧 陈皓 王伟民 史建鹏

(东风汽车公司技术中心, 武汉 430056)

**摘要:** 本文应用 STAR-CCM+软件对某款轿车发动机舱内的流场和温度场进行分析, 计算提供了发动机舱流动和换热细节, 为自主品牌汽车发动机舱布置和冷却系统改进, 积累了分析经验。与试验的对比分析, 分析方法基本满足工程需要, 验证了发动机舱热管理分析方法的有效性和可行性。

**关键词:** CFD 汽车 发动机舱 STAR-CCM+ 热管理

**Abstract:** Numerical simulation of underhood thermal management was carried out by using STAR-CCM+. We can understand the optimization direction of the underhood layout and performance improvement of the vehicle cooling system from simulation results. Through the underhood thermal analysis, engineering experiences have been accumulated to guide the establishment of CFD analysis workflow and standard, which contributes a lot to the development of self-owned brand. The simulation results have been compared with the experimental results, and good agreement between them can be shown, so this simulation method is effective and feasible.

**Key words:** CFD Vehicle Underhood STAR-CCM+ Thermal management

## 1 前言

在汽车行业中, 发动机舱散热一直是一个研究的重点。发动机舱内空间小, 散热器、发动机本体和排气歧管等多个高热源布置在一个狭小的空间内, 散热比较困难, 较高的温度会影响热源附近的温度敏感部件(如舱内线束、橡胶件、ECU等)的性能, 温度过高时甚至会损坏这些部件。在这样困难的情况下, 合理组织流场, 保证气流充分带走发动机及其他散热部件的热量, 避免在发动机舱内形成流动死区和局部高温区, 这些都对设计师提出巨大的挑战。

单纯依靠试验来解决发动机舱内热管理问题, 难度比较大, 费用高, 而且周期长。运用 CFD 仿真和试验相结合得到的信息多, 分析问题准确有效, 时间段, 费用比较低。

本文运用 STAR-CCM+软件对某自主品牌轿车的发动机舱散热问题进行了模拟分析, 对发动机舱内流动和换热细节进行揭示, 对舱内冷却系统设计和零部件布置具有实际的指导意义。

## 2 模型建立

### 2.1 计算模型的建立

整个热管理分析的模型包括：整个车身外部、发动机舱、进气格栅、冷却模块、发动机、变速箱、蓄电池、进排气系统等影响前舱空气流动的主要部件，并对关键零部件进行了不同程度的细化。模型如图 1、2、3 所示。

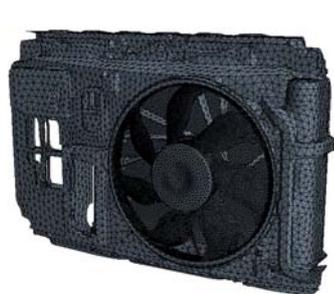


图 1 冷却系统面网格



图 2 机舱内面网格



图 3 车体面网格

计算域的建立（如图 4 所示），车前 2 倍车长，车后 4 倍车长；整个宽度为 5 倍车宽；整个高度为 4 倍车高；考虑实际车轮承载后的变形，地面抬高 10mm。

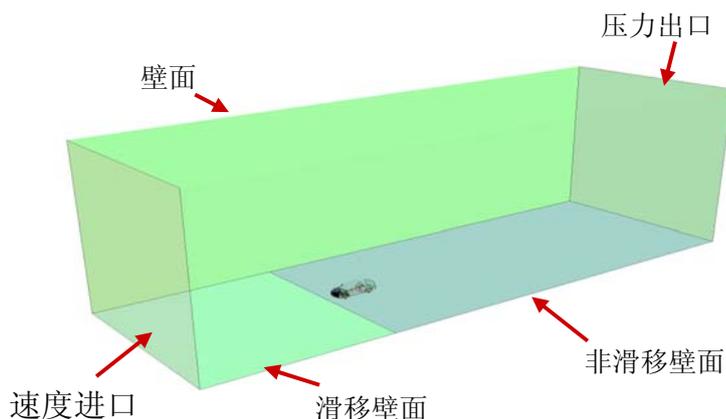


图 4 计算域的建立

为了提高计算精度、计算稳定性和收敛性，对体网格按区域进行不同程度的细化，并有选择的生成边界层。使用 STAR-CCM+中 Trimmed 网格形式，生成网格为 790 万。机舱部分网格如图 5 所示。网格生成在一台 hp xw6600 工作站（4 核 Xeon 处理器，4GB 内存）上完成，耗时 1 小时。

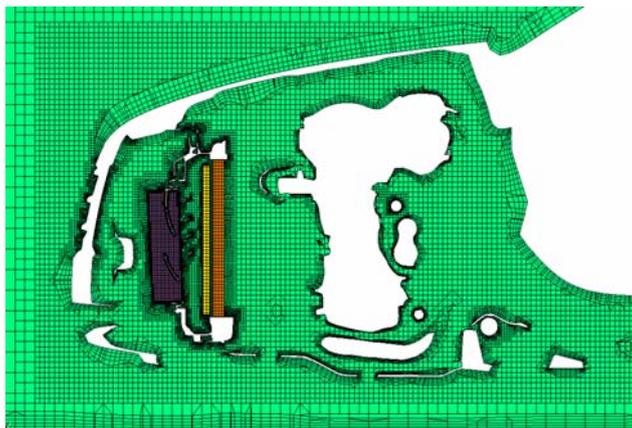


图 5 机舱部分体网格剖面图

## 2.2 边界条件

计算工况为车速 60km/h 时发动机处于最大扭矩点工况。进口为速度进口边界，速度为 60km/h，出口为压力出口边界。散热器和冷凝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  $\alpha$  和粘性阻尼系数  $\beta$  通过试验来确定；风扇采用 MRF 隐式算法，转速为 2650rpm。地面前部为滑移壁面，其他为非滑移壁面。

环境温度为 42℃，在散热器、冷凝器、发动机本体、排气歧管及三元催化器等热源部位加上温度边界条件。

## 2.3 数学模型和数值求解

计算为稳态过程，湍流模型使用 SST K-Omega 湍流模型，残差设置为  $1e-4$ 。计算使用并行计算，在 8 各节点（每个节点 2 个 CPU，4GB 内存）上完成，运行约 10 个小时。

## 3 计算结果分析与试验结果的对比

### 3.1 计算结果分析

在机舱内设置 6 个监测截面（如图 6 所示），计算得到各截面相对于截面总流量的相对值，如表 1 所示。

通过表 1 发现相比副驾驶侧，驾驶侧风速较大，发动机 ECU、蓄电池和发动机进气口等元件都在驾驶侧，这有利于散热；但是发动机排气歧管和三元催化器等主要热源集中在副驾驶侧，会使副驾驶侧温度升高；在⑤和⑥截面流量很小，说明气流在地板不发生泄露，直接吹向排气管和发动机底部等热源，有利于机舱散热。

表 1 各截面流量相对于截面总流量的相对值

截面序号	各截面流量相对截面总流量的相对值
①	41.9%
②	25.6%
③	14.2%
④	17.2%
⑤	0.8%
⑥	0.3%

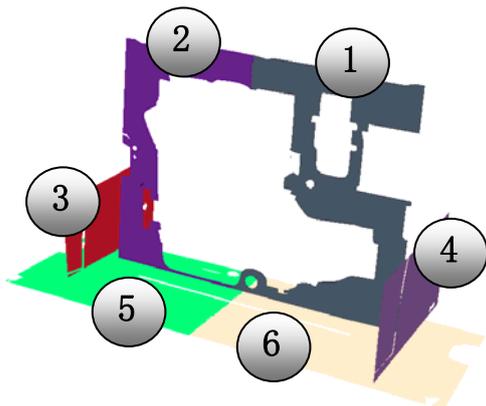


图 6 机舱内选取的截面

从图 8、图 9 和图 10 中也发现在副驾驶侧转向泵以及附近管路的流场存在漩涡，流速比较低，从而引起局部温度偏高，这与整车道路试验结果是一致的；同时从图中可以看出流过散热器的热风直接吹向了轮罩上方，会使发动机进气口的气温上升。

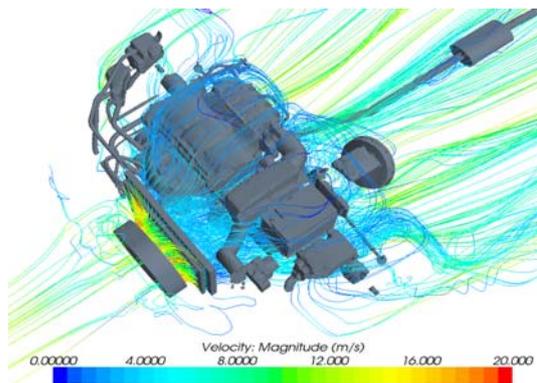


图 7 机舱内流线分布

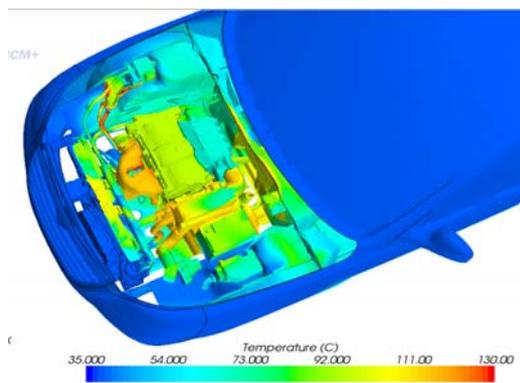


图 8 发动机舱内温度分布

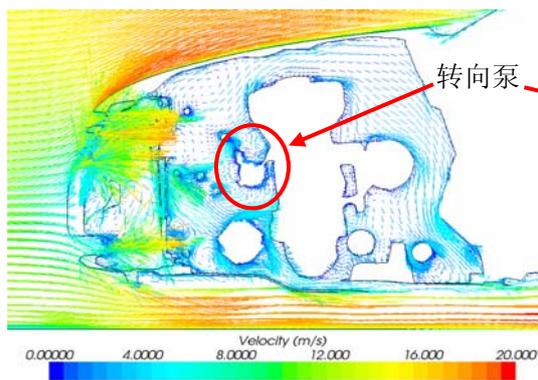


图 9 转向泵附近流速分布图

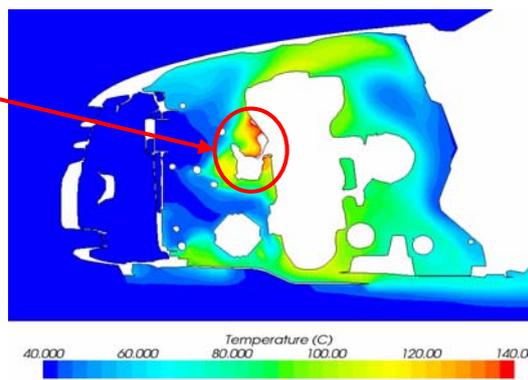


图 10 转向泵附近温度分布图

### 3.2 试验结果验证

为了对模拟结果与试验进行对比分析，在舱内布置了若干监测点。图 11 为各监测点温度模拟值与试验值对比。由图 11 可以得出，试验值与模拟值比较接近，并且在空调管路卡扣处（临近转向泵）

出现了局部温度偏高，与整车道路试验一致。但是在分析过程中未考虑机舱内热辐射，而且温度边界条件与实际也有一些误差，所以数值模拟值与试验值有误差，如表 2 所示。但是模拟值与试验值最大相对误差不超过 9.6%，对工程有一定的指导意义。验证了分析方法正确性和可行性。

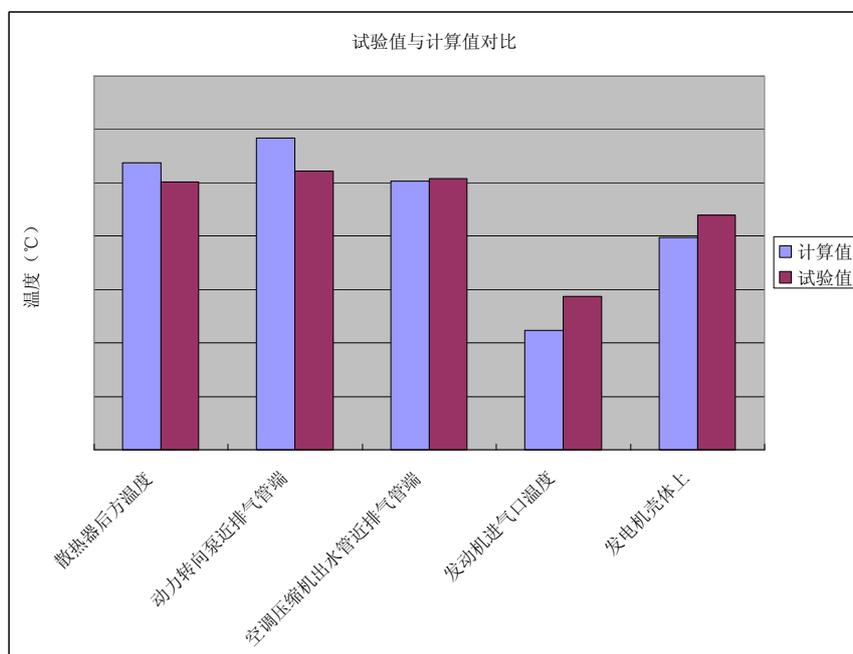


图 11 各监测点温度模拟值与试验值对比

表 2 各监测点温度模拟值与试验值的相对误差

测量点	模拟值与试验值相对误差
散热器后方	6.1%
动力转向泵近排气管端	9.6%
空调压缩机出水管进排气管端	2%
发动机进气口	6%
发电机壳体	6.3%

通过以上分析我们可以看到，不仅获得了一些宏观数据，也很好的显示了发动机舱内流动、换热细节，为我们详细研究舱内情况，对一些部件进行局部调整优化，提供了明确而直观的指导。这对于优化发动机舱的布置，提高冷却系统效能具有相当实际的指导意义。

## 4 结论

通过分析发动机舱散热性能的计算结果，得出如下结论：

- (1) 通过数值计算的手段，可以对发动机舱内的流动换热现象进行详细而准确的描述，对寻找发动机舱内结构的合理性以及优化其中的流动换热效果具有指导性意义。
- (2) 机舱内各监测点的模拟值和试验值吻合的较好，但由于选点位置差异、边界条件在误差等原因，测点试验值和计算值之间存在一定的误差。

- (3) 机舱内冷却效果较好,但在转向泵附近局部位置存在流动死区,温度值比较高,可以通过加入隔热罩来解决。
- (4) 通过此次分析,建立了一套发动机舱热管理分析流程,对加快整车研发速度,减少试验次数和费用有很大的意义。

## 参考文献

- [1] STAR-CCM+帮助文件
- [2] 蒋光福 汽车发动机舱散热特性研究 汽车科技 2006 09: 18-23
- [3] 陶文铨 传热学 西安:西北工业大学出版社 2006