



# 基于ANSYS Fluent的热浸车过程一体化 仿真方法

## An Integrated Method for Thermal Soaking Simulation with ANSYS Fluent

徐淑君

2018.09.06

1. 上海汽车集团股份有限公司 SAIC Motor Co., Ltd.
2. 艾迪捷信息科技（上海）有限公司 IDAJ-China Co., Ltd.





# 目录 Content

---

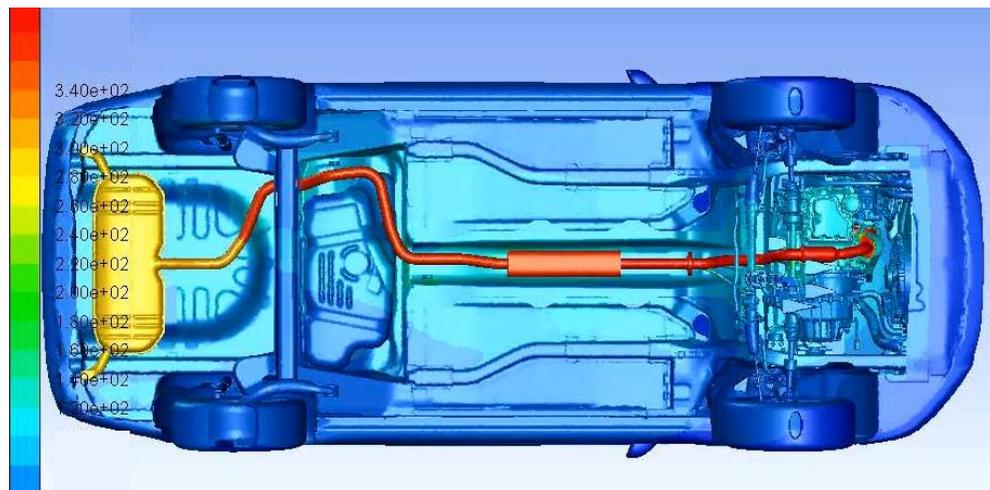
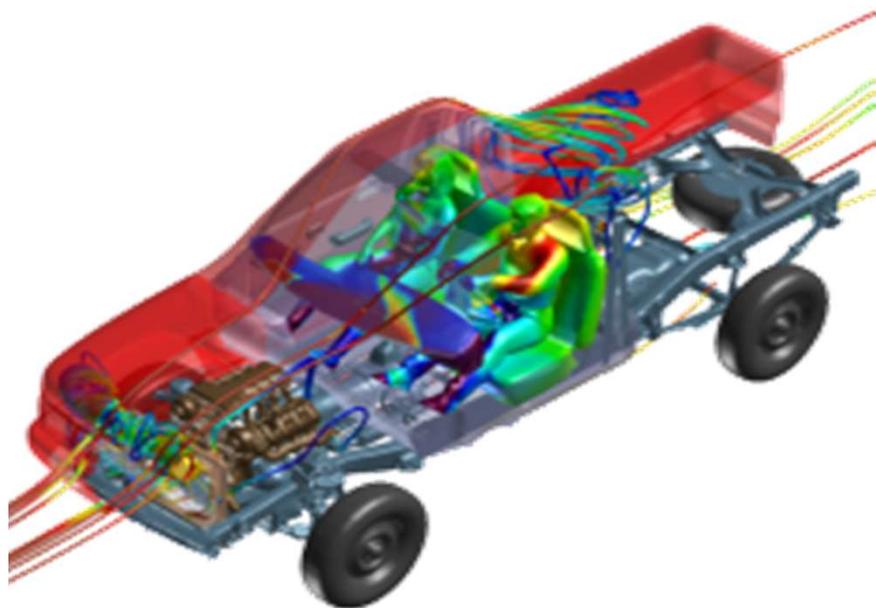
- 综述 Summary
  - 发展背景 development background
  - 浸车工况 soaking condition
  - 仿真路线 simulation route
- 一体化求解方案 Integrated Solution
  - 计算模型 calculation model
  - 网格划分 meshing technique
  - 求解步骤 solution step
  - 计算条件 calculation condition
  - 计算结果 calculation result
- 结论与展望 Conclusion and Prospect





## 综述 Summary

- 随着汽车发动机舱的空间愈加紧凑，热源部件不断增多，舱内更易形成过热环境，热管理的难度不断增加。
- 传统的整车热环境测试需制造原型车才能实施，开发周期长，成本高。
- CFD模拟仿真能在新车型设计前期取得产品设计所需的流动特性参数，已经成为一种研究发动机舱热管理系统的高效实用的手段。

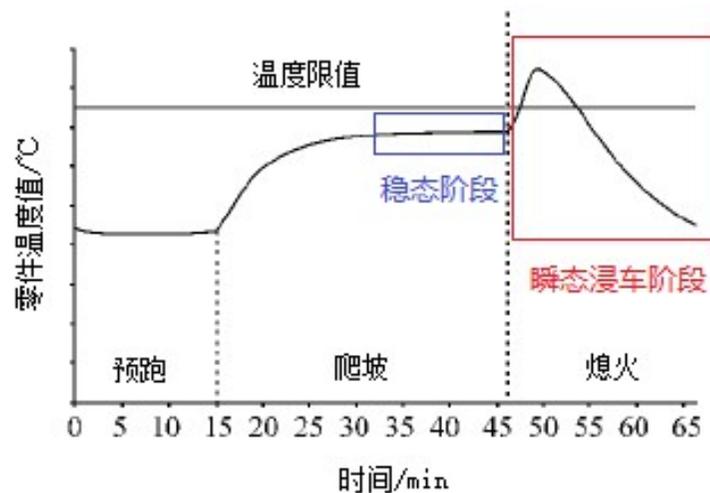




# 综述 Summary

■ 整车热管理仿真可分为稳态分析和瞬态分析两种  
Vehicle thermal management simulation can be divided into steady state analysis and transient analysis.

- 稳态分析可以快速获得单一工况下的整车热性能
- 瞬态现象如浸车工况，存在大量固体部件之间，及固体与冷却介质之间多种传热现象并存的特点



某零件浸车过程温度曲线

- 浸车工况：车辆由行驶状态短时间内减速为停车，且关闭发动机
- 处于静置时的车辆由于冷却能力迅速下降，机舱内的部件会出现短时间内温度上升的现象
- 对于该过程的CFD仿真是一个稳态、瞬态相结合的过程
- 仿真结果可用于判断热敏感部件的温度变化，为优化提供依据



## 综述 Summary

- 对瞬态三维整车热管理的仿真，是一个流场和温度场耦合的仿真，目前有多种解决方案，如
  - 本文方案 solution of this paper:
    - ✓ **一体化求解：** 利用一个CFD软件直接计算流动/传热（含导热、对流及热辐射）
  - 其他方案 other solutions:
    - ✓ CFD软件间协同仿真：CFD（流动/热对流）+ CFD（导热/热辐射）
    - ✓ CFD同FEA软件协同仿真：CFD（流动/热辐射、热对流）+ FEA（导热）
    - ✓ 可引入一维分析软件进行热源评估，即采用“一维/三维”协同分析：
      - 如采用一维软件GT-SUITE计算排气系统的表面温度分布，为三维分析提供热源边界



# 目录 Content

---

- 综述 Summary
  - 发展背景 development background
  - 浸车工况 soaking condition
  - 仿真路线 simulation route
- 一体化求解方案 Integrated Solution
  - 计算模型 calculation model
  - 网格技术 meshing technique
  - 求解步骤 solution step
  - 计算条件 calculation condition
  - 计算结果 calculation result
- 结论与展望 Conclusion and Prospect





# 一体化求解方案 Integrated Solution

■ 方案：一体化求解 integrated solution

➤ 三维CFD软件： **ANSYS Fluent**

■ 目标：瞬态三维整车浸车工况 transient 3D vehicle soaking conditions

1



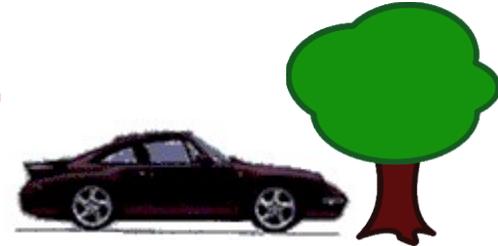
Warm-up

2



Load

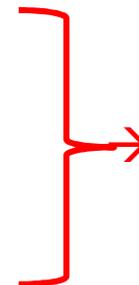
3



Soak

■ 仿真难点 difficulties in simulation:

- CFD模型的大规模及复杂性
- 温度场和速度场的耦合
- 部件热惯性的显著区别
- 物理过程时间从十几分钟到几十分钟



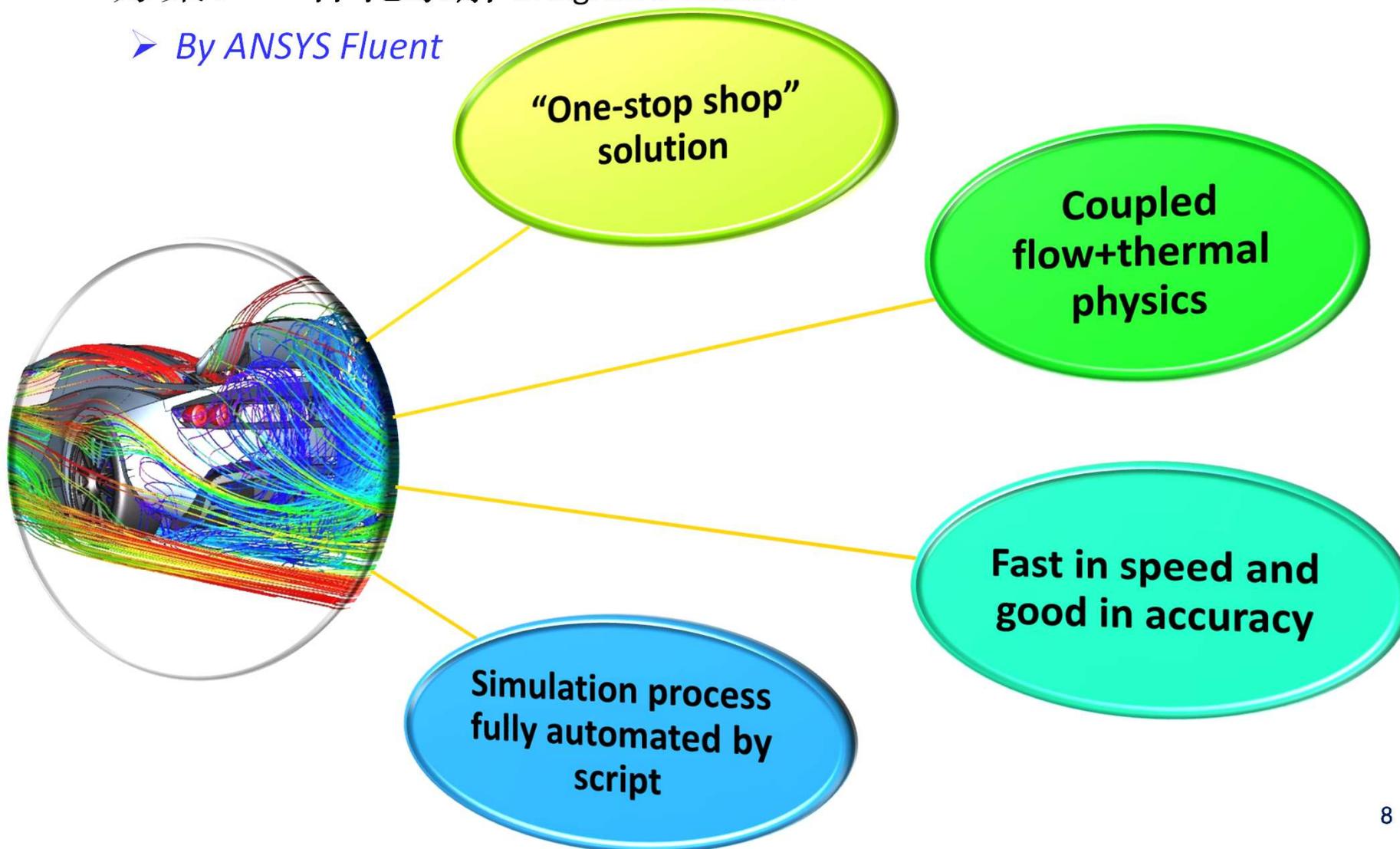
高效的网格生成技术  
方便的模型设定  
准确稳健的求解器  
灵活的后处理



# 方案介绍 Solution Introduction

■ 方案：一体化求解 integrated solution

➤ *By ANSYS Fluent*





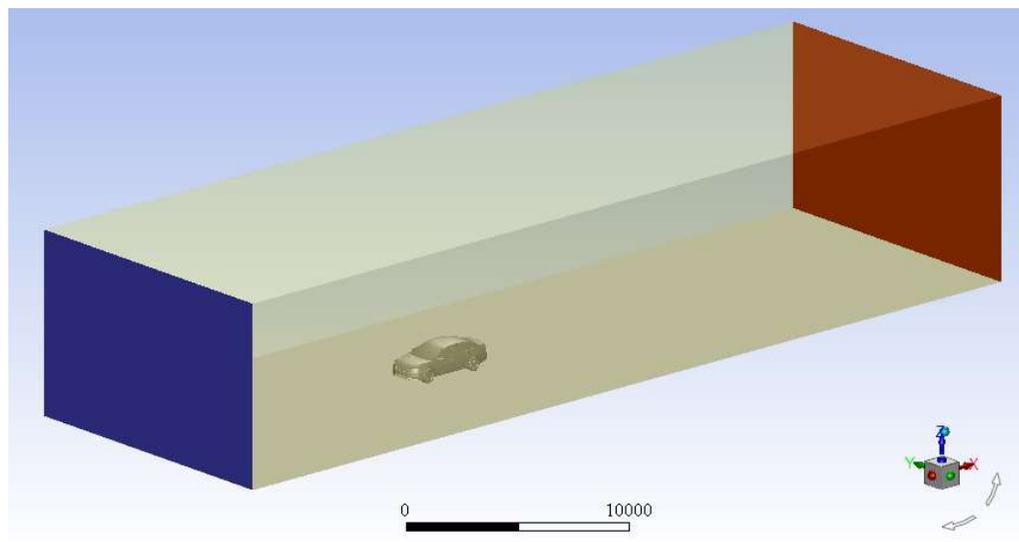
# 计算模型 Calculation Model

## ■ 整车模型 vehicle model

- 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、进排气系统等主要部件

## ■ 计算域 calculation domain

- 入口至车前端距离：3倍车长
- 出口至车后端距离：5~6倍车长
- 计算域两侧至车侧面距离：3~4倍车宽
- 计算域高度：车高的6倍



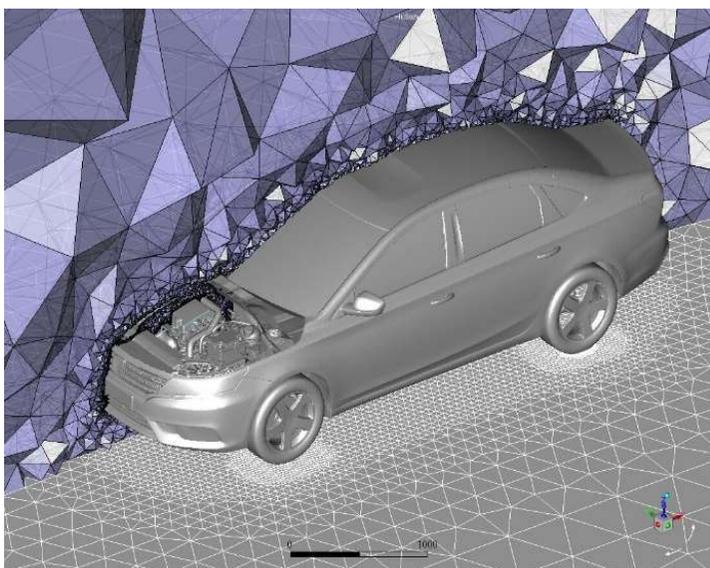
计算域

- 流体介质：不可压缩空气
- 湍流模型：Realizable k- $\epsilon$
- 辐射模型：S2S模型
- 风扇：多重坐标系MRF
- 隔热罩：用shell conduction功能来模拟无厚度薄层
- 求解器：Pressure-based

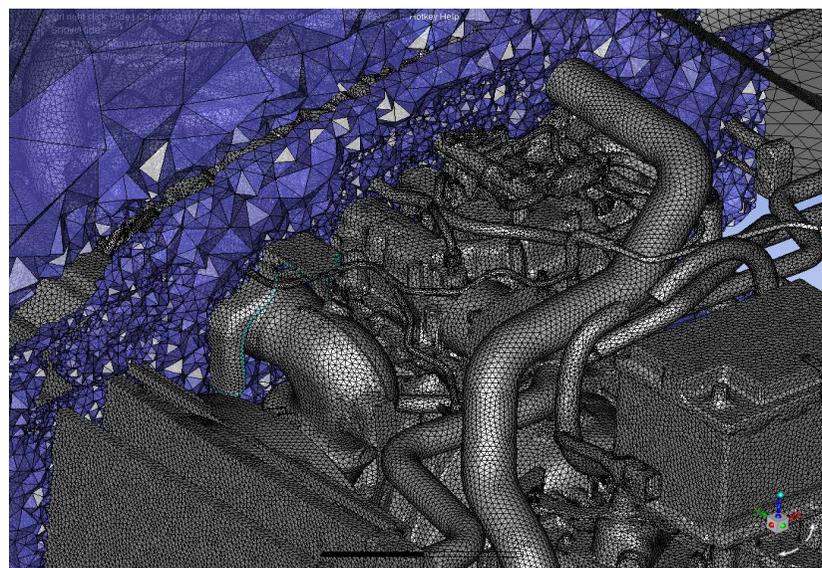


# 网格技术 Meshing Technique

- 面网格：采用 Hypermesh
- 体网格：使用 Fluent Meshing
- 体网格按区域进行了加密，最小网格尺寸为4mm
- 综合考虑精度和计算周期，网格总数控制在1400万左右
- 最大歪斜度为0.949



整车体网格



体网格局部图



# 求解步骤 Solution Step

## ■ 求解步骤(Load→Soak状况)

- 获得指定负荷工况下的稳态强制流动风量
  - ✓ 对流动、能量及辐射进行稳态仿真
- 获得浸车初始时刻(t=0sec) 的稳态浮升力驱动流场状况
  - ✓ 切换浸车计算(自然对流)相应的物理模型、边界条件、工况以及求解器参数
  - ✓ 锁定固体及壳单元的温度场变化(不包含流场), 计算稳态流场/温度场
  - ✓ 计算获得浮升力驱动流为主要特征的初始场
- 获得瞬态浮升力驱动流场
  - ✓ 打开固体及壳单元的温度场
  - ✓ 求解瞬态物理过程中的流动 + 能量 + 辐射变化

### Steady-State Load Condition

Run steady-state flow + energy while solid and shell temperatures unlocked



### Soak (steady)

Run steady-state flow + energy while solid and shell temperatures locked



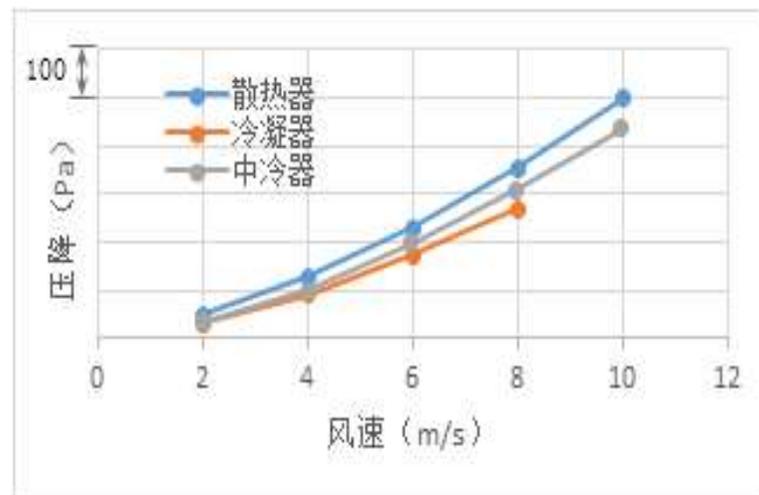
### Soak (unsteady)

Unlock solid and shell temperatures and run transient flow + energy + radiation for 30 min physical time

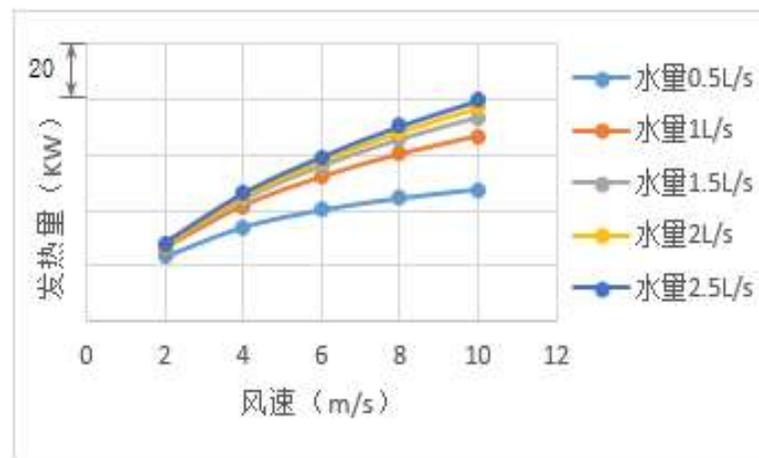


# 计算条件 Calculation Condition

- 稳态阶段为高速爬坡  
Steady stage is high-speed climbing.
  - 环境温度：38°C
  - 空气域入口：速度入口，90km/h
  - 空气域出口：一个大气压
  - 地面：平移壁面，速度大小等于车速，方向与车辆行驶方向相反
  - 风扇转速：2400rpm
  - 发动机、排气系统等：设定温度热源
  - 散热器：采用换热器模型，换热器芯体定义多孔介质模型
  - 冷凝器和中冷器：设定体积热源



换热器压降曲线



散热器换热性能曲线



# 计算条件 Calculation Condition

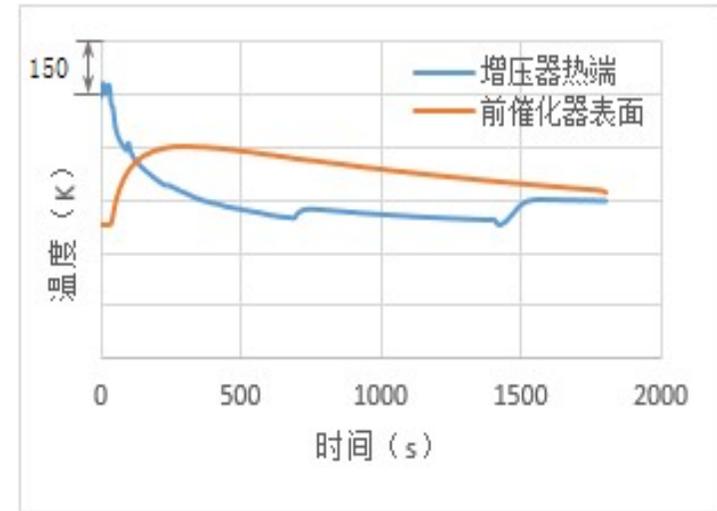
## ■ 瞬态浸车阶段的初场计算

initial field calculation of soaking stage

- 空气域入口：压力入口，总压为一个大气压，温度为38°C
- 地面：静止壁面
- 风扇：不转动
- 换热器模型：关闭
- 物理模型：自然对流
- 利用lock功能锁定固体及壳单元的温度场变化

## ■ 瞬态计算 unsteady calculation

- 利用unlock功能打开固体及壳单元的温度场
- 各发热部件的热源：以Profile形式给出温度随时间变化曲线
- 求解目标：30分钟内的流动、传热和辐射变化



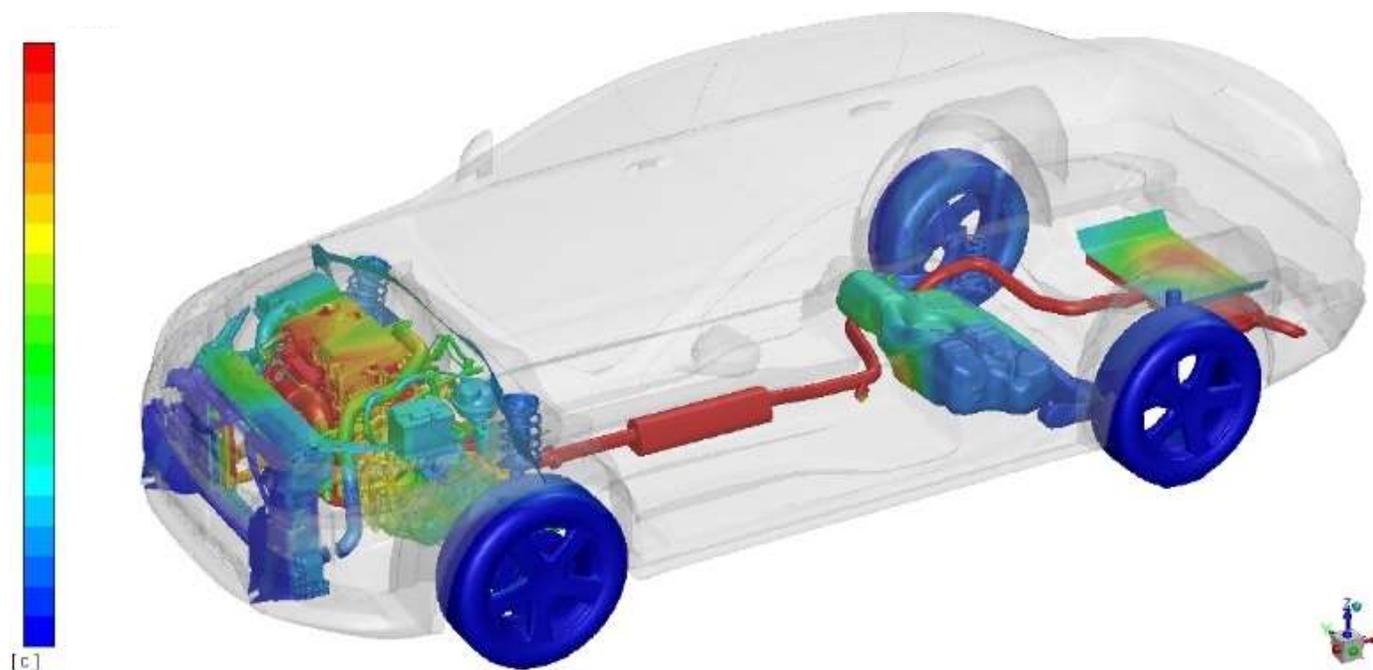
热源温度变化曲线示例

- ✓ 32个CPU并行计算
- ✓ 强制风量稳态计算：约18小时
- ✓ 瞬态初场计算：约为25小时
- ✓ 瞬态计算时间步长：2秒
- ✓ 瞬态计算时间：约22小时



## 稳态阶段结果 Result of Steady Stage

- 发动机本体、排气歧管、催化器等主要热源影响整个舱内的温度分布
- 其对外发射的大量热能，可能会使该区域附近的电器零部件或温度敏感部件失效

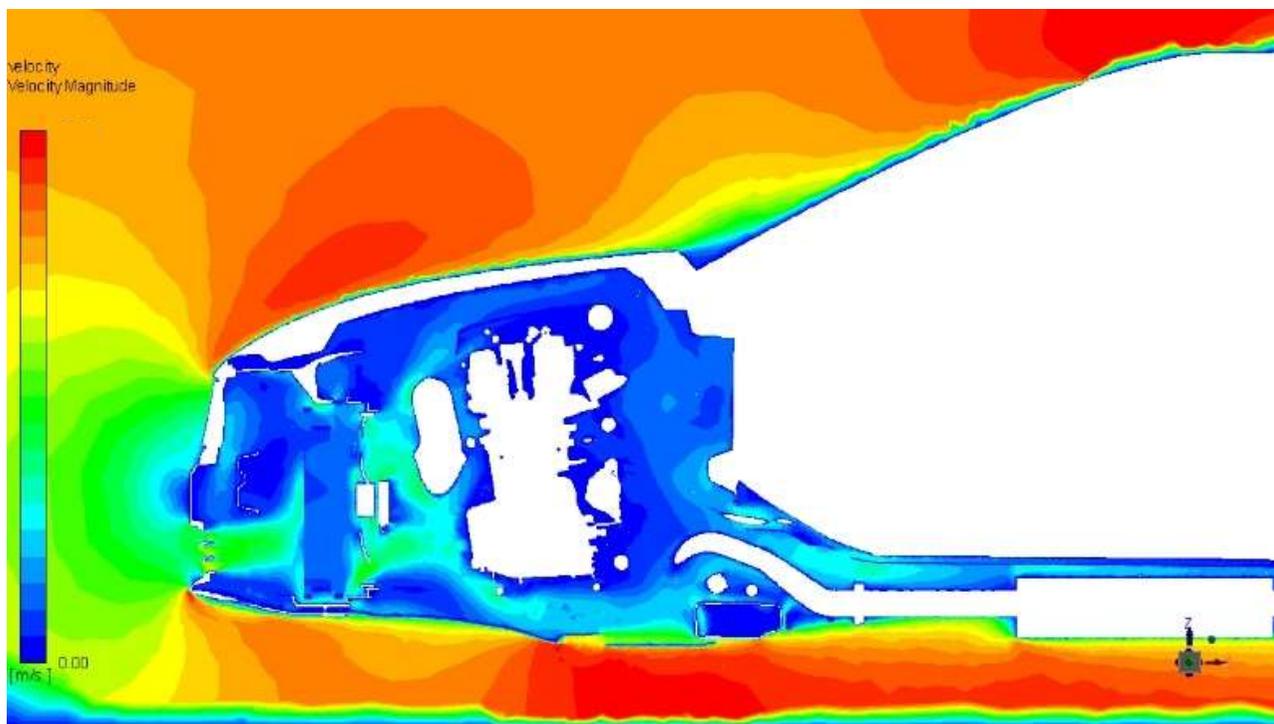


整车零部件温度云图



## 稳态阶段结果 Result of Steady Stage

- 冷却气流流经隔热罩时，由于通道变窄，隔热罩下方的速度较大，所以排气部件与隔热罩之间的流体温度较低
- 隔热罩本身的温度较高，说明其温度升高主要是受辐射影响

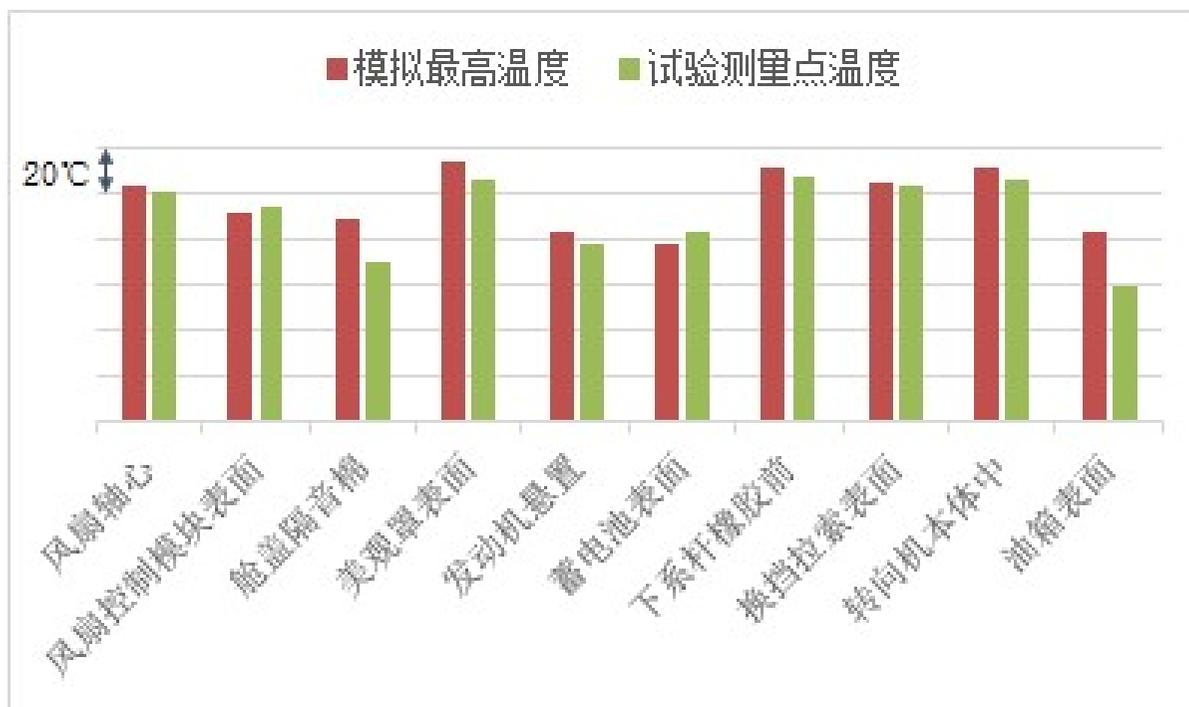


y轴中截面速度云图



## 稳态阶段结果 Result of Steady Stage

- 仿真结果和试验测量点的温度值趋势一致，偏差可控
- 从稳态模拟的温度结果，可预判可能过热的零件

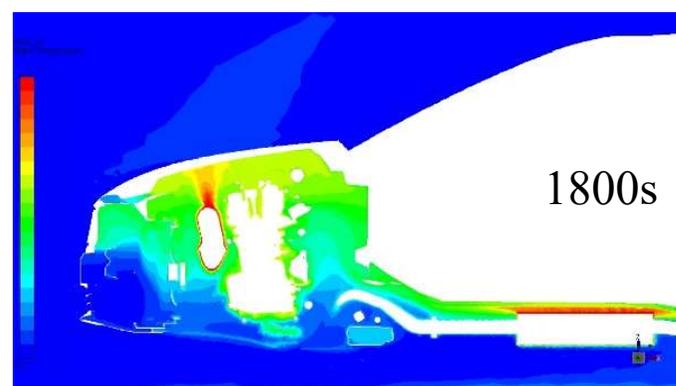
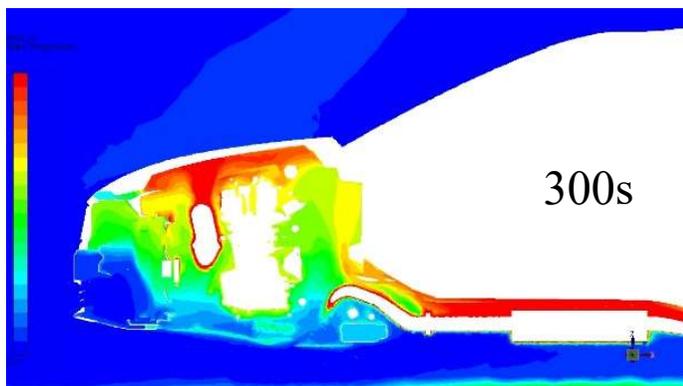
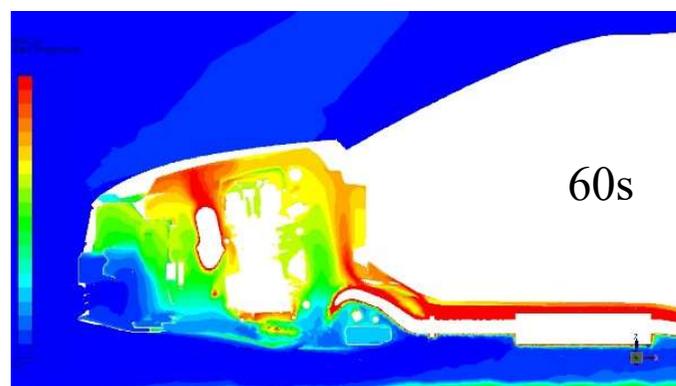
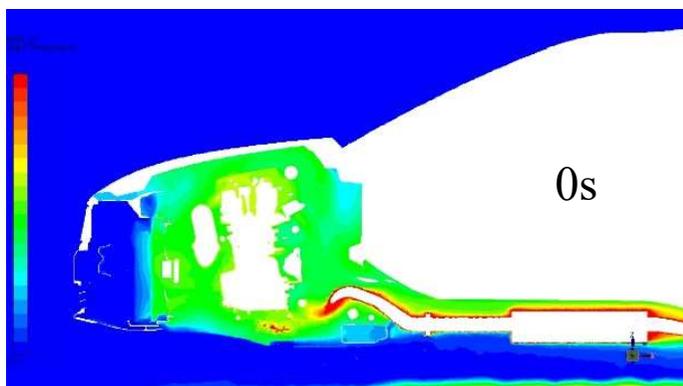


主要监测部件温度对比



## 瞬态阶段结果 Result of Unsteady Stage

- 速度场和温度场存在明显耦合特征，初期由于车速下降，舱内空气冷却能力急剧下降，气温随之快速上升然后逐渐下降
- 机舱内的气体流动处于自然对流状态并逐渐减弱，机舱周边，如引擎盖上方也出现微弱热空气流动

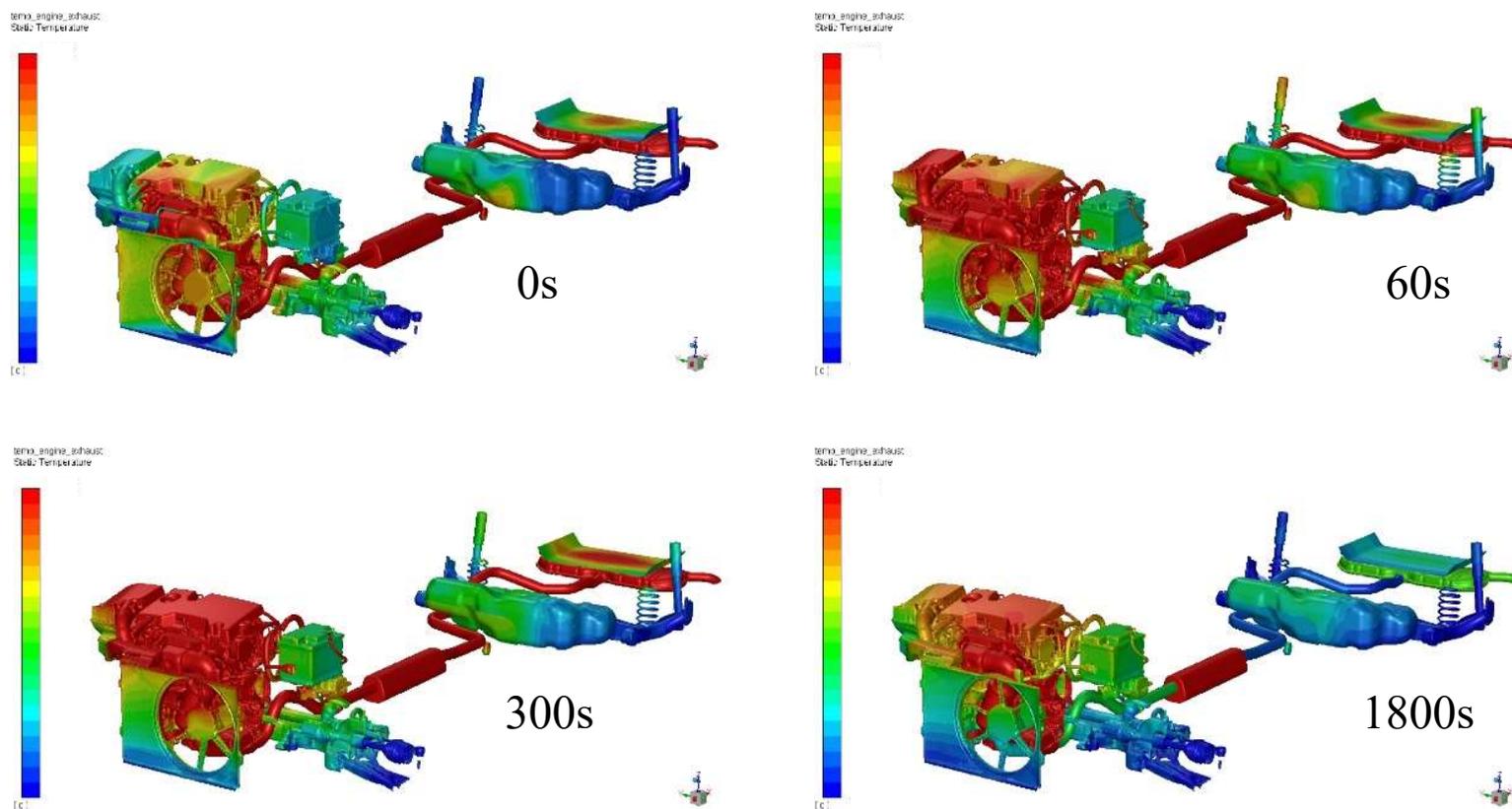


y=0截面温度云图



# 瞬态阶段结果 Result of Unsteady Stage

- 浸车过程开始后，监测部件的温度出现了明显的先升后降过程

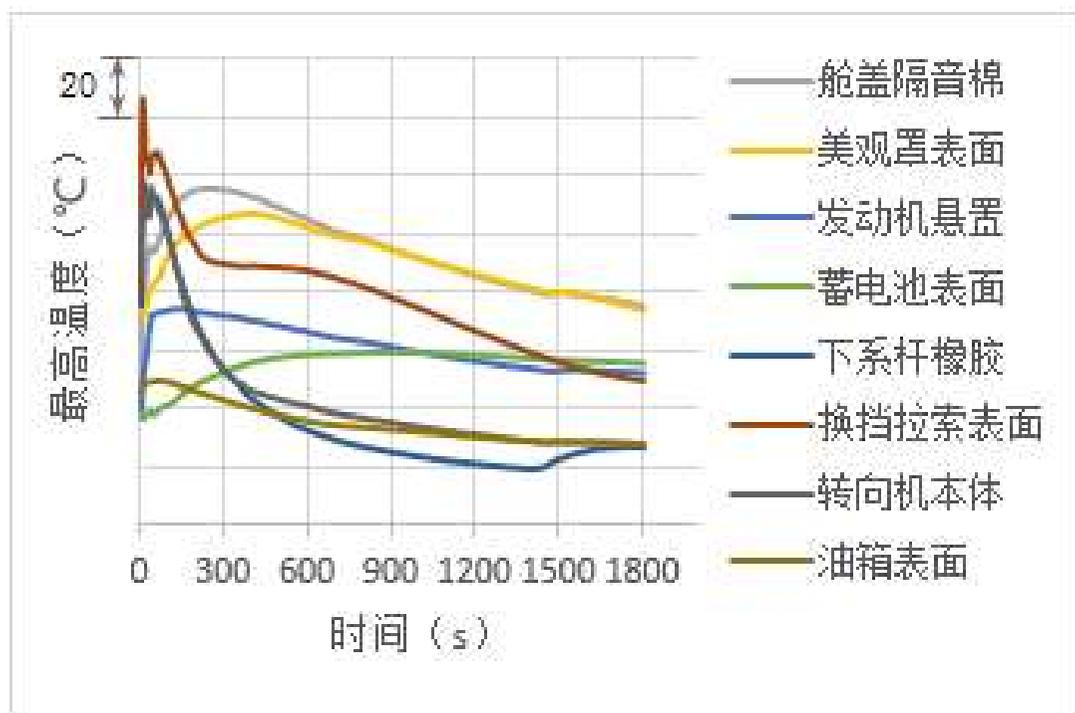


零部件温度随时间变化云图



## 瞬态阶段结果 Result of Unsteady Stage

- 热敏感部件如换挡拉索，出现了较大温升
- 油箱温度在前60s内略微上升，之后平缓下降，整个过程温度变化不显著

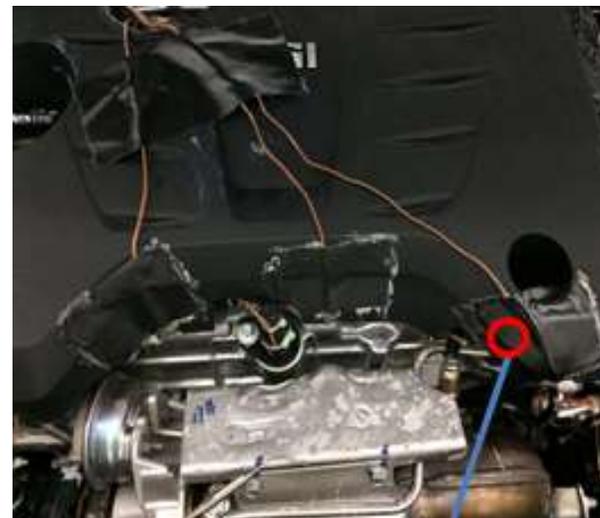
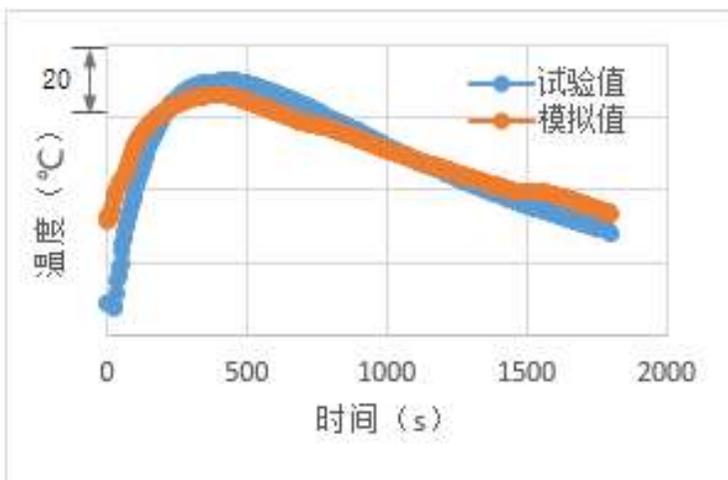


零部件温度变化曲线

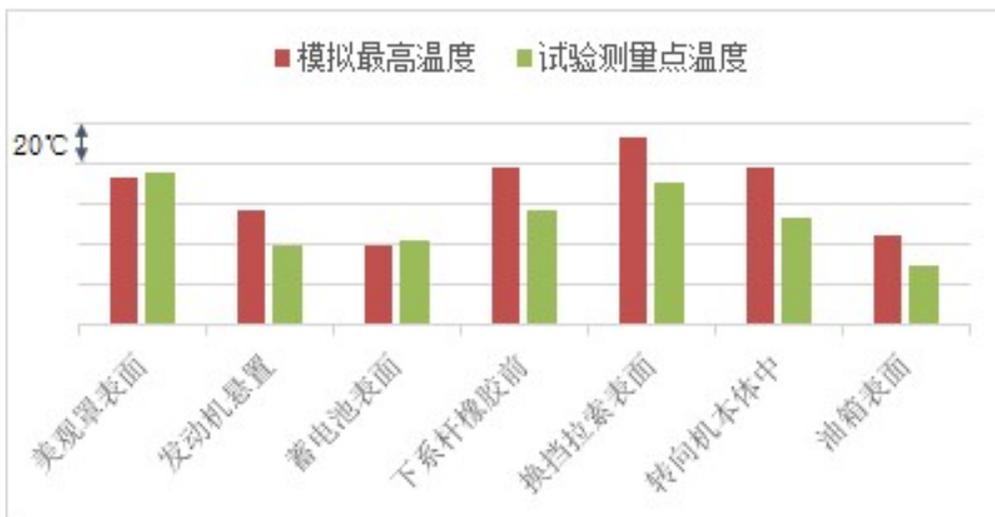


# 瞬态阶段结果 Result of Unsteady Stage

## 美观罩表面模拟与试验测温



美观罩表面测试点



## 主要监测部件温度对比

- 比较显示仿真结果与试验结果变化趋势吻合，偏差可控



# 目录 Content

---

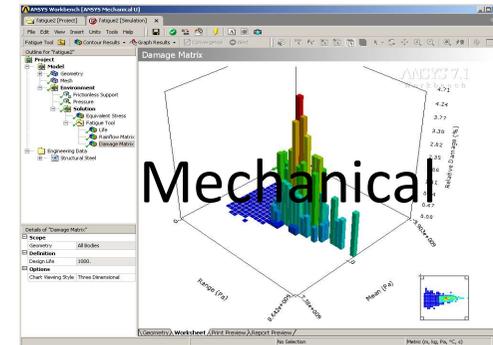
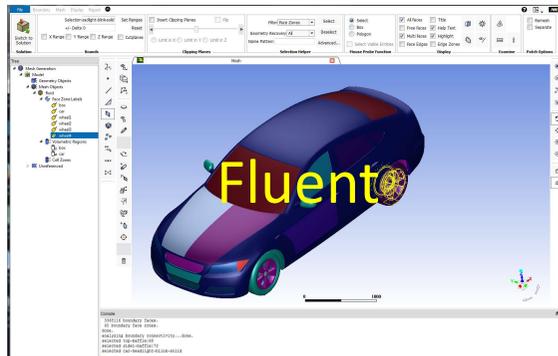
- 综述 Summary
  - 发展背景 development background
  - 浸车工况 soaking condition
  - 仿真路线 simulation route
- 一体化求解方案 Integrated Solution
  - 计算模型 calculation model
  - 网格划分 meshing technique
  - 求解步骤 solution step
  - 计算条件 calculation condition
  - 计算结果 calculation result
- 结论与展望 Conclusion and Prospect





## 结论与展望 Conclusion and Prospect

- 本文使用ANSYS Fluent单一仿真软件，对某实际车型浸车工况进行模拟，计算得到了稳态/瞬态流场分布，以及各关注零部件的温度变化。
- 仿真结果与试验数据的对比表明该计算方案合理可行。
- 该方法加速了分析进度，使热管理分析在设计前期就可以开展，为相关方案选择或部件热设计优化提供数值依据。
- 流体计算可以为零部件的热疲劳分析提供依据，下一步可尝试进行多物理场耦合仿真。





谢谢！ Thank you.

