

基于 STAR-CCM+ 的汽车制动盘温度场 CFD 分析

Thermal Performance Analysis of Auto Brake Discs Based on STAR-CCM+

窦昊, 梁长裘, 朱贞英, 门永新, 陈勇, 赵福全
吉利汽车研究院有限公司

摘要: 本文应用 STAR-CCM+ 软件, 对某制动盘温度场进行 CFD 仿真分析。揭示 5 次制动-停车循环工况下的制动盘温度分布情况。分析结果表明, 该方法对研究制动盘在制动过程温度变化规律是有效的, 为某制动器设计及性能把控提供了有效参考。

关键词: 汽车、制动盘、温度场、STAR-CCM+

Abstract: The CFD simulation analysis is performed with regard to temperature field of a brake disc on a car using STAR-CCM+ in this paper. The temperature distribution of the brake disc under a 5-time braking-stopping cyclic condition is presented. The analysis result indicates this method is effective to study the characteristics of temperature variation during the brake-disk braking, thereby providing reference for a car brake design and performance control.

Keywords: Automobile, Brake disc, Temperature field, STAR-CCM+

1 前言

车辆热管理研究包括发动机舱热管理、乘员舱热舒适性及零部件防热等^[1]。随着车辆品质的不断提高, 零部件防热也越来越受重视^[2]。本文对某款制动盘进行了温度场 CFD 分析研究, 模拟分析了在 5 次制动-停车工况下, 制动盘盘体内部导热过程温度分布结果, 为制动系统的设计、性能把控及轻量化提供技术支持。

2 模型建立与数值计算

2.1 几何模型

建立制动盘三维温度场的分析模型, 主要包括制动盘和摩擦衬片, 对制动盘进行精确建模, 保留摩擦衬片在制动盘上的摩擦面, 如图 1、图 2 所示:

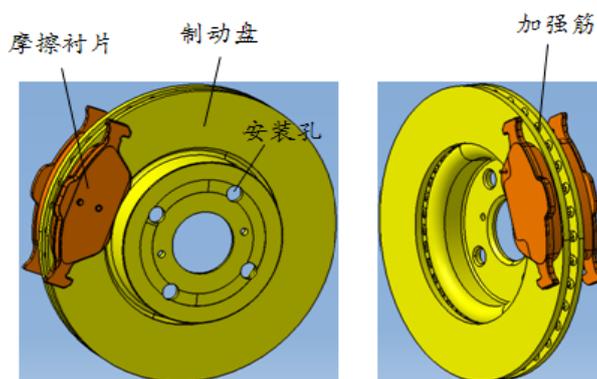


图 1 制动盘结构

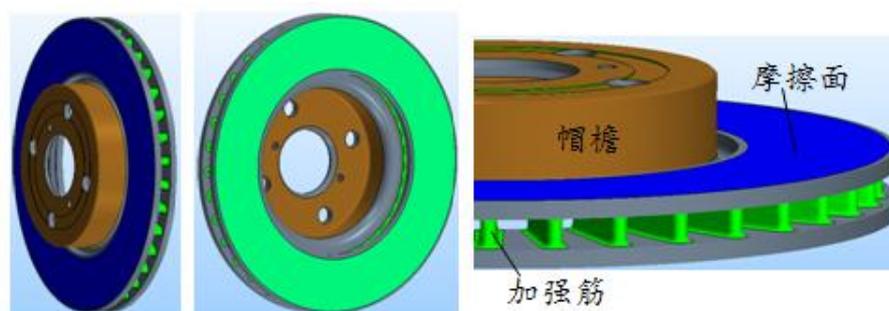


图 2 制动盘分析模型

2.2 数学模型基本理论

传热现象受物理守恒定律支配，导热微分方程是最直接的描述^[3]：

$$\rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} = \nabla \cdot (\lambda \nabla t) + q_v$$

其中 ρ 表示密度， c 为比热容， λ 为导热系数， q_v 表示内热源^[4]。

3 制动盘温度场分析

3.1 分析工况

本文主要考虑制动盘在恶劣工况下，即制动盘本身不与周围空气发生对流换热情况下，盘体本身的热传导情况：

制动-停车循环工况：分 5 次制动和 5 个 30s 的停车时间间隔，1 次循环时间为 32.77s，总时间为 163.85s；

制动：车辆初速度 $V=100\text{km/h}$ ，制动减速度 $a=10\text{m/s}^2$ ；1 次制动时间 2.77s，制动距离 38.4m；

停车：制动后停车 30s；

上述过程 5 次循环：每次停车后又以 $V=100\text{km/h}$ 的速度及 $a=10\text{m/s}^2$ 的减速度制动（不计停车后起步的时间）。

热流密度：取极限状态，即制动时车辆动能全部转化为热能并被制动盘吸收，热流密度曲线如图 3 所示，停车阶段无热量产生。

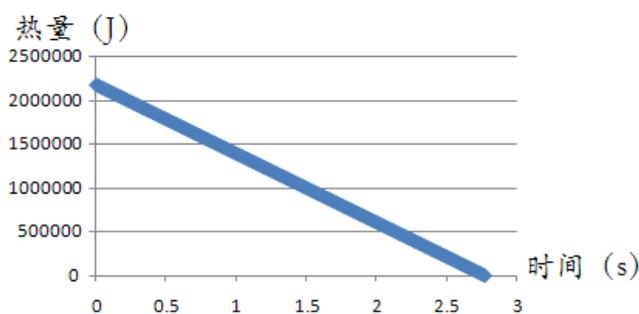


图 3 热流密度曲线（以第 1 次制动为例）

对流换热：取极限状态，制动盘对流换热系数取 0，即制动盘不与外界进行热交换，热量全部传入制动盘内部，使制动盘升温。

3.2 分析结果

3.2.1 第 1 次制动-停车温度分布情况

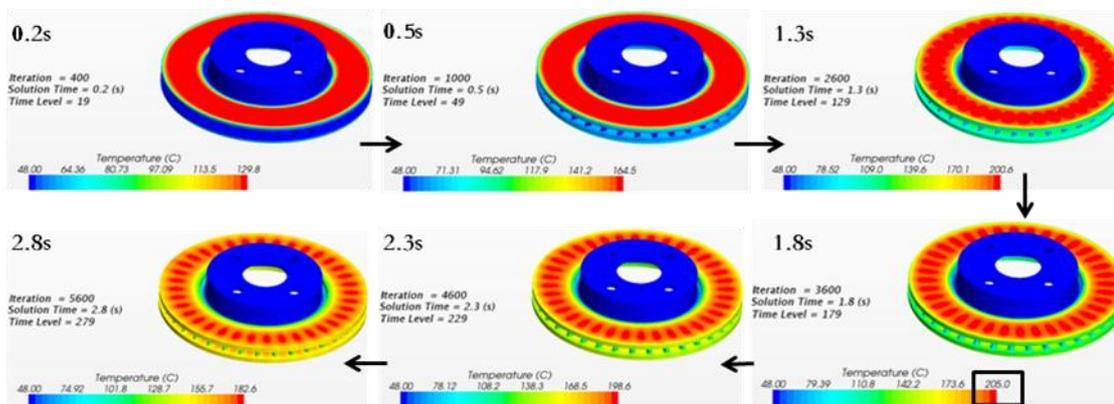


图 4 第 1 次制动温度变化

第 1 次制动时，开始后 0.2s 内，制动盘温度升高很快，达到 129.8℃；在 1.3s 时，温度升到 200℃ 以上；在 1.8s 时，温度上升到最高值（205℃）；随后最高温度开始下降，直到第 1 次制动结束 2.77s 时，结束时最高温度在 182℃ 左右，如图 4 所示。

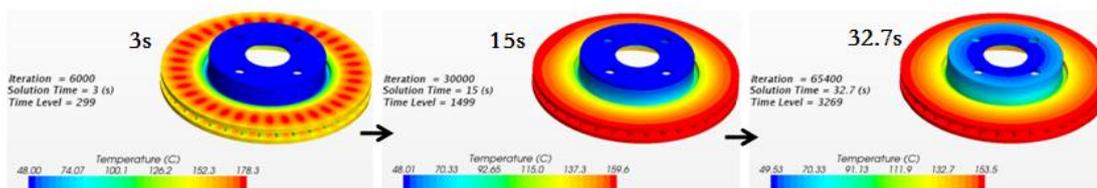


图 5 第 1 次停车阶段温度变化

在停车阶段，从第 2.77s 开始停车至 32.77s 的时间段内，最高温度逐渐降低，在 32.7s 时，最高温度为 153.5℃。制动过程最高温度始终出现在制动盘摩擦面上，其最高温度随时间变化趋势如图 5、图 6 所示。

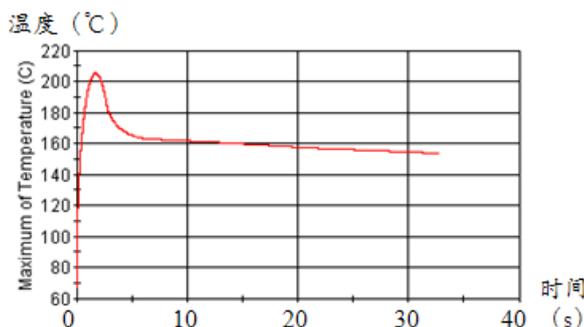


图 6 第 1 次制动制动盘最高温度变化情况

3.2.1 5 次制动-停车温度分布情况

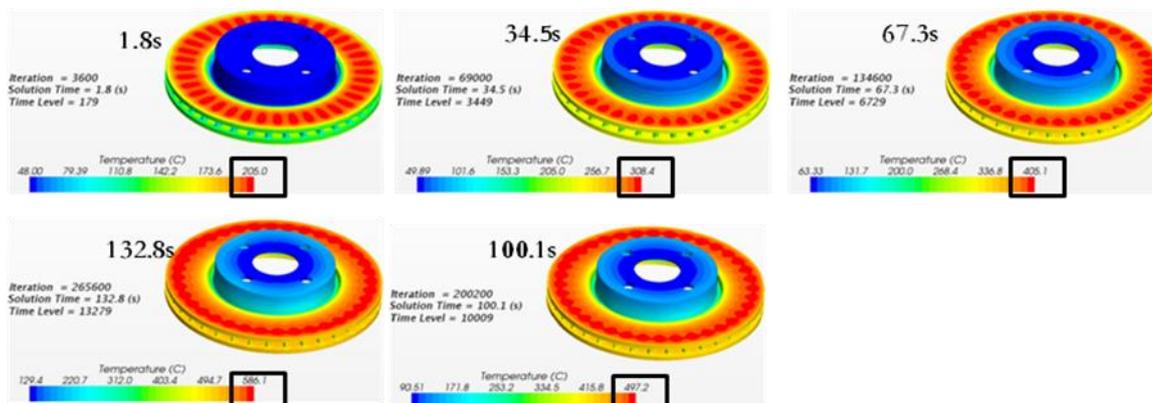


图 7 5 次制动最高温度变化情况

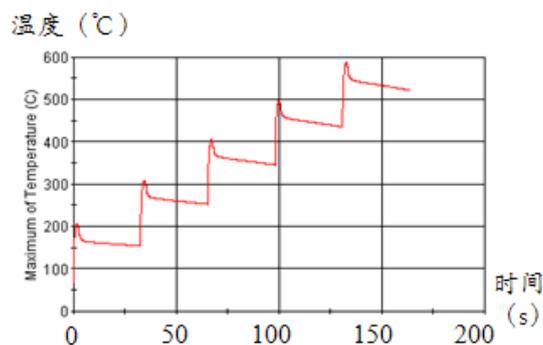


图8 5次制动制动盘最高温度变化情况

制动过程最高温度始终出现在制动盘摩擦面上，每次制动时制动盘温度较前一次升高，但变化趋势一致，在第5次制动时温度最高，最高达到 586.1°C，最高温度变化曲线见图 8。

3.2.3 制动盘导热过程分析

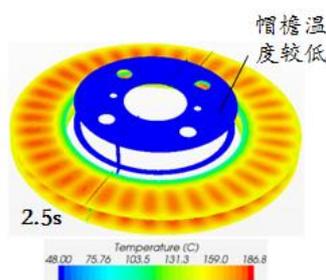


图9 制动盘截面处温度分布

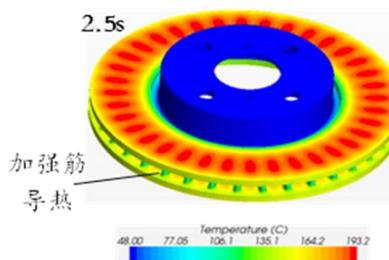
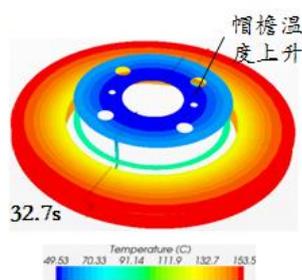


图10 制动盘表面处温度分布

制动过程中，热量从摩擦面进入盘内，并向盘内传导。开始制动阶段，制动盘上高温区呈叶型分布，如图 9 所示，这是由于加强筋的导热作用引起（见图 10）；此时帽檐处温度较低。

停车时间段，无热量进入盘内，热量在盘内向远端扩散，制动盘截面高温区呈环形分布，如图 9 所示，周边温度较中间高；热流渐传至帽檐处，其温度上升。5 次制动-停车时上述现象也同时循环出现。

4 结论

本文利用 STAR-CCM+软件，分析了制动盘在 5 次制动-停车工况下温度分布情况，揭示了制动盘内部温度规律。考查在极限工况下，制动盘的温度变化规律以及具体温度值：

(1) 第 1 次制动时, 起初制动盘温度升高很快, 停车时最高温度开始下降, 直到第 1 次制动结束;

(2) 5 次制动高温度始终出现在制动盘摩擦面上, 每次制动时制动盘温度较前一次升高, 但变化趋势一致;

(3) 制动过程中, 热量从摩擦面进入盘内, 并向盘内传导。在开始制动阶段, 制动盘上高温区呈叶型分布。在停车时间段, 无热量进入盘内, 热量在盘内向远端扩散, 制动盘截面高温区呈环形分布。

5 参考文献

- [1]. 姚仲鹏, 王瑞君, 传热学 [M], 北京理工大学出版社, 2003
- [2]. 贾力, 方肇洪, 高等传热学 [M], 高等教育出版社, 2003
- [3]. 王福军, 计算流体力学分析-CFD 软件原理分析与应用 [M], 清华大学出版社, 2008
- [4]. 贾力, 方肇洪, 高等传热学 [M], 高等教育出版社, 2003