

基于 GT-SUITE 的乘用车冷却系统匹配 仿真分析与试验验证

Simulation Analysis and Experiment Research on Cooling System Match of Passenger Vehicle Based on GT-SUITE

窦昊，梁长裘，朱贞英，门永新
浙江吉利汽车研究院有限公司

摘要：随着乘用车发动机功率的不断增大，发动机的热负荷也相应提高，这对散热性能要求也越来越高。本文结合一款自主品牌小排量增压车型，通过仿真分析与试验相结合的手段，对冷却系统匹配中的流动和换热特性进行研究。发现并解决了某车型冷却系统存在的问题，准确表征冷却系统实际状况，结果表明仿真与试验结果吻合度较高。

关键词：冷却系统，匹配，仿真分析，试验研究

Abstract: The heat load of an engine body will increase correspondingly as engine power of a passenger car becomes continuously high, which requires higher requirements of heat dissipation. In this paper, the flow and heat exchange characteristics in the cooling system matching are investigated by simulation analysis and test in combination with a domestic car matched with a small-displacement turbocharged engine. The existing problems arising from a cooling system of a particular car are found and solved. The actual situation of the cooling system is accurately reflected, which features a high consistency between simulation and test result.

Key words: cooling system, matching, simulation analysis, experimental research

1、引言

冷却系统是保障汽车发动机正常稳定运行的重要辅助系统之一，需满足发动机在各种工况下运转的散热需要。冷却系统的优劣程度，影响发动机的热安全，同时，也对发动机舱内的流动及温度管控，各零部件热防护等都有重要影响。为此就需要准确掌控冷却系统内部各处的温度、流量等分布情况，避免出现过热问题，并保证发动机高效工作。

本文以某款乘用车为例，在研发前期，利用 GT-SUITE 软件开展冷却系统匹配仿真分析并进行优化，同时开展热平衡试验考察冷却系统是否满足要求，最后通过仿真分析与试验对标验证仿真分析效果并积累相关经验。

2、研究背景

某款乘用车匹配增压发动机后，发动机的热负荷有很大提高，整车冷却系统需重新开发。为了保证散热，需对新的冷却系统进行验证，考量其是否满足要求。另外因增压发动机带有中冷器，冷却元件前端的进风流场发生变化，这都需要对其进行分析确认，考察其匹配合理性。

3、冷却系统匹配仿真分析及优化

3.1 分析输入准备

仿真分析前需根据冷却系统的结构进行分析输入数据准备，该款发动机及冷却系统结构如图 1 所示：

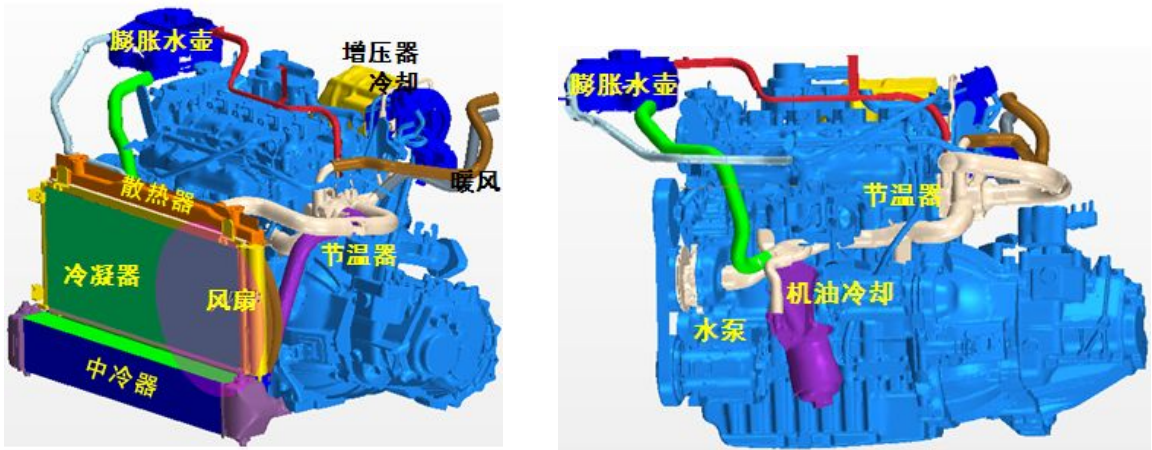


图 1 冷却系统结构

分析输入主要包括各零部件的结构参数及性能参数，如表 1 所示，散热器、水套、节温器性能曲线分别如图 2、图 3 所示。

表 1 冷却系统结构

部件	参数
发动机	1.万有特性及换热情况 2.水套结构以及流动和换热性能 3.水泵、节温器流动特性
整车特性	整车状态相关参数
散热元件	1.详细几何结构参数 2.流动、换热性能参数
风扇	1.P-Q 性能曲线 2.叶片及框体 3D 数据
膨胀水壶	性能参数
管路	所有管路 3D 数模

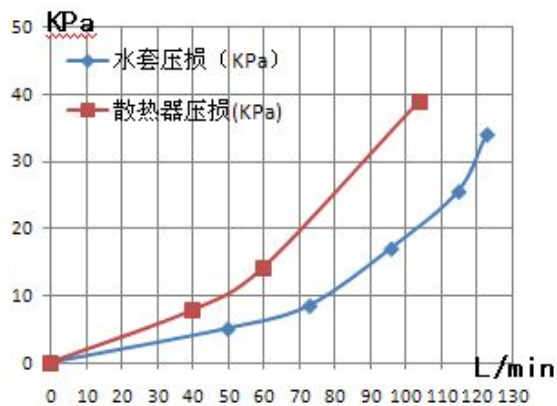


图2 散热器和水套流阻特性

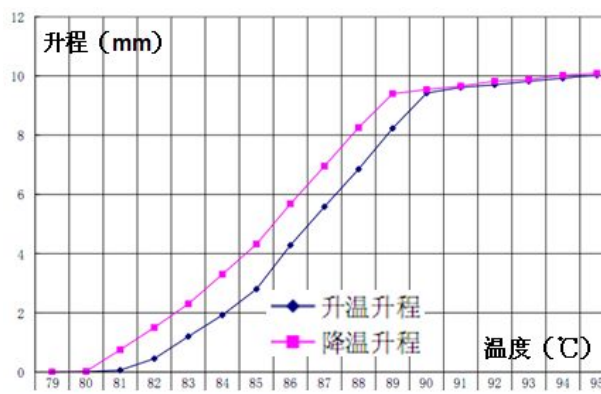


图3 节温器温度性能曲线

3.2 模型建立

仿真分析主要针对怠速、爬坡、高速三种稳态工况。根据前期准备的参数，在 GT-SUITE 软件中搭建该车型冷却系统流动及换热模型，流动模块需要准确输入各部件及支路的流动阻力特性，换热模块需获得各元件的散热功率。模型如图 4、图 5 所示：

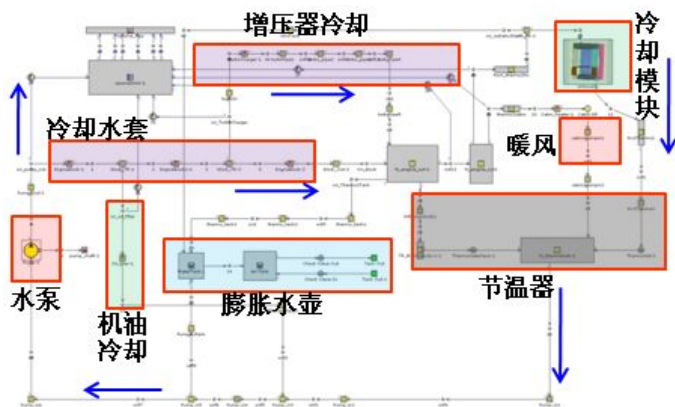


图4 冷却系统结构

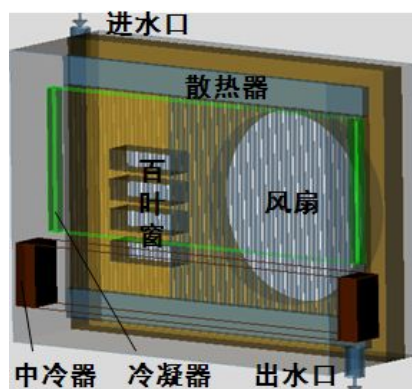


图5 冷却模块模型

3.3 仿真分析结果

问题发现：在爬坡和高速工况下，发动机冷却液温度整体较高。高速工况下，水套出水温度、涡轮增压器冷却支路出水温度均在 110℃ 以上，温度较高，不利于保证热发动机热安全。同时也发现，散热器至膨胀水壶支路，水套至膨胀水壶支路的流量偏大，已在 10L/min 左右，需对冷却系统进行优化，以降低冷却液温度。

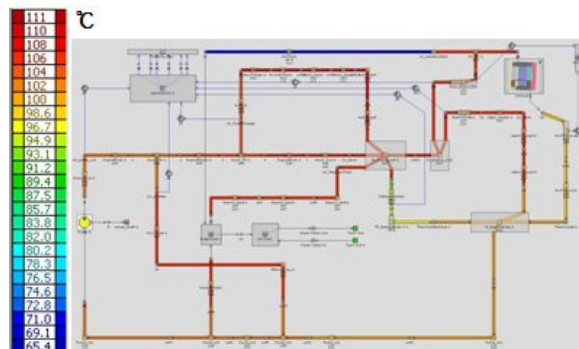


图6 温度分布（以高速工况为例）

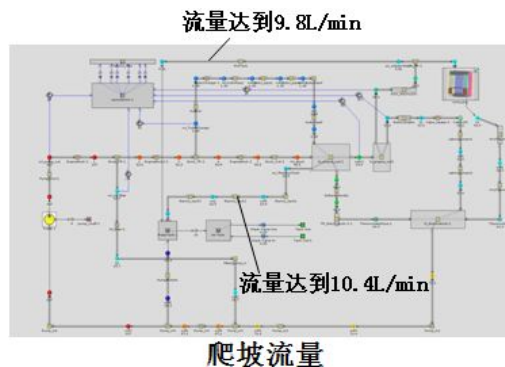


图7 流量分布（以高速工况为例）

优化方案：对冷却系统结构进行分析后，采取封堵散热器直通膨胀水壶支路，减小水套至膨胀水壶支路的管径的方案。对优化后的分模型再次进行仿真计算，结果如下：

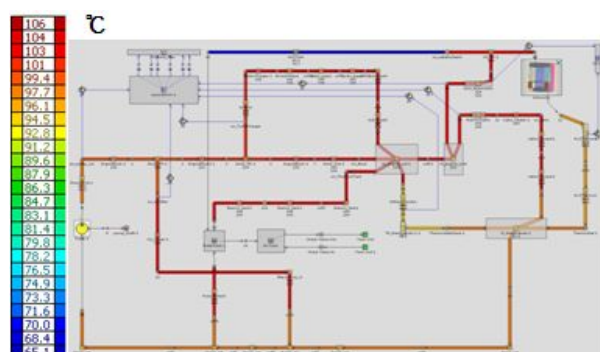


图8 高速工况温度分布（优化后）

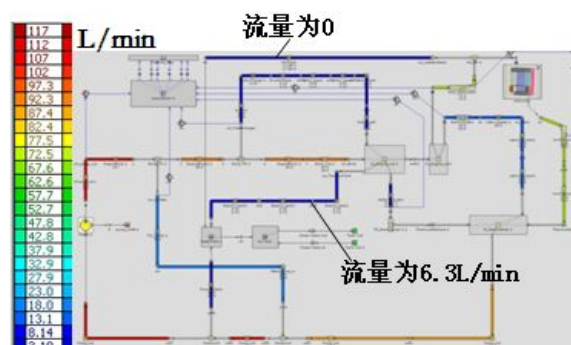
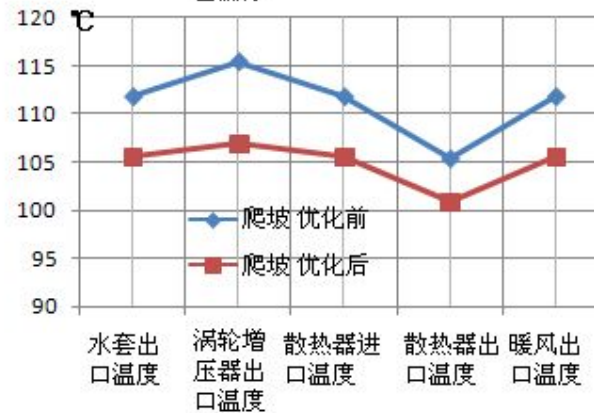
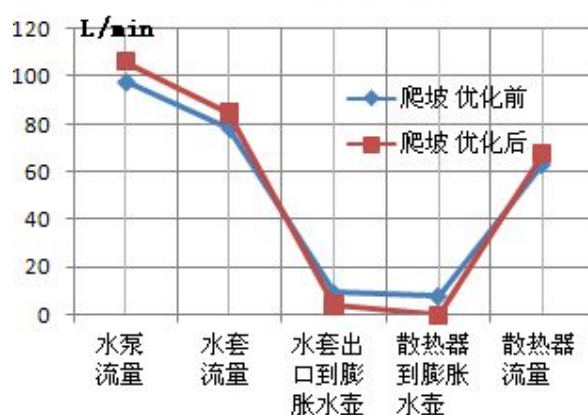
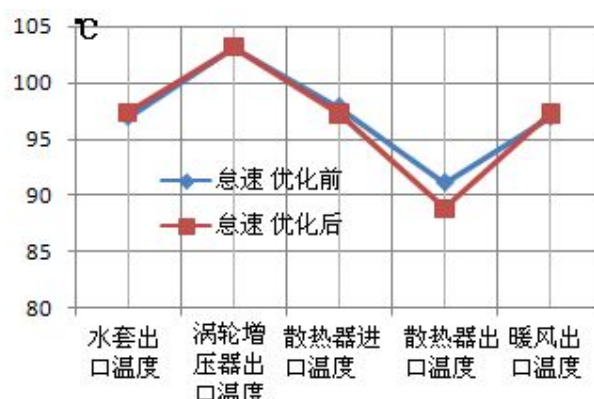


图9 高速工况流量分布（优化后）

优化结果：

(1) 散热器直通膨胀水壶支路的流量为 0，散热器和水套流量均有一定程度的提高，爬坡和高速工况下改进效果明显，其中高速工况下水套至膨胀水壶支路的流量由 10.4L/min 降低为 6.3L/min；

(2) 在爬坡和高速工况下，优化效果较为明显。其中高速工况水套出水温度降低为 103.7℃，涡轮增压器冷却支路出水温度降低为 105.8℃。



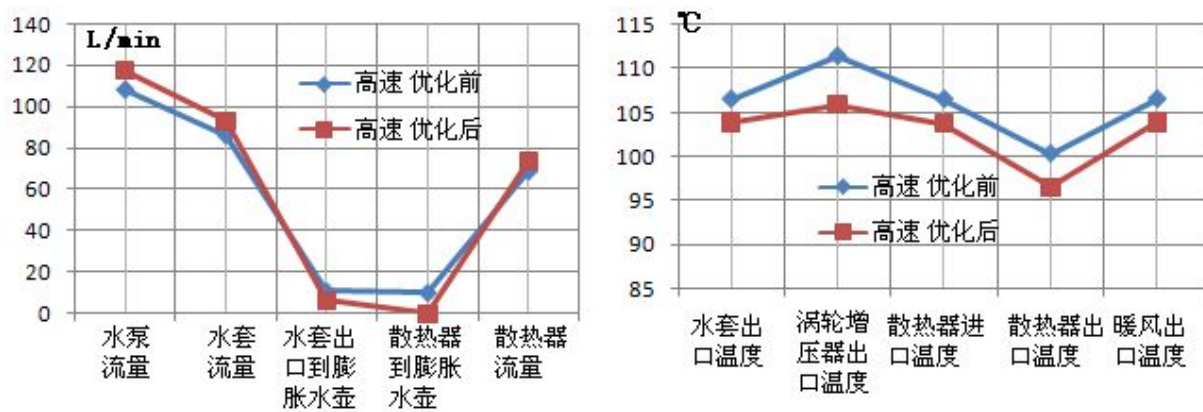


图 10 优化前、后结果对比

4、冷却系统匹配试验验证

为了考察冷却系统性能是否达标，以及验证仿真分析结果，在风洞试验室内开展了热平衡试验，对实车工况下冷却系统各处温度、流量进行测量，试验现场情况如下：

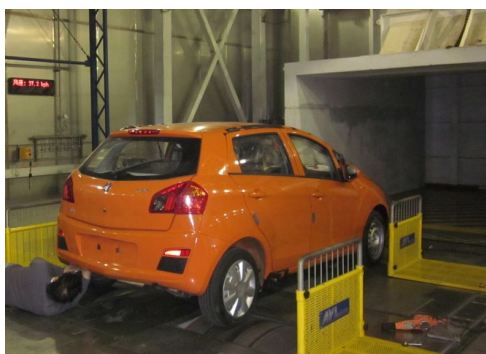


图 11 整车在风洞中准备



图 12 测点布置



图 13 流量测试

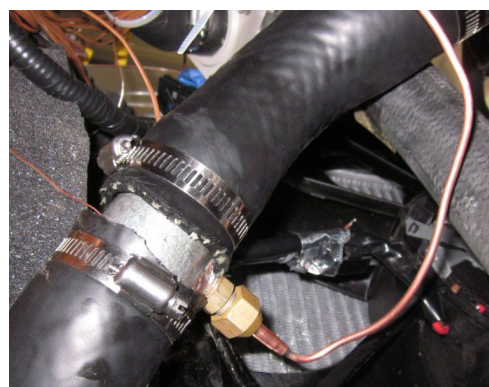


图 14 温度测试

试验各工况定义如下：

表 5 试验工况定义

类别	试验工况		
	怠速	爬坡	高速
行驶速度/发动机转速	怠速转速	60km/h	130km/h
环境温度	52℃	48℃	48℃
环境湿度	40%	40%	40%
坡度	0	12%	0
后加热	无	5min 怠速	5min 怠速

5、仿真分析与试验结果对比

对比发现，仿真分析与试验结果较为吻合，具体如下：

（1）关键位置温度

关键位置温度吻合程度较高，高速工况下通过仿真分析优化的模型计算结果 103.73℃，与试验结果 103.70℃基本一致，如下表所示：

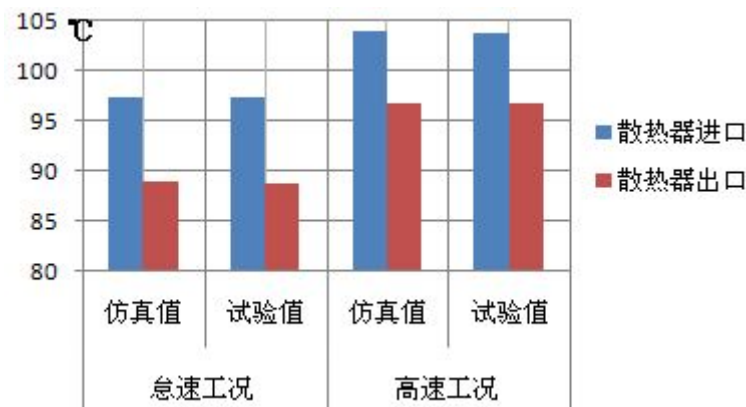


图 15 仿真与试验对比结果（温度）

（2）关键通路流量

关键通路流量的吻合度较高，怠速工况仿真分析得到的散热器流量 13.3L/min，试验值为 13.0 L/min，两者误差也很小，整体效果较为理想。

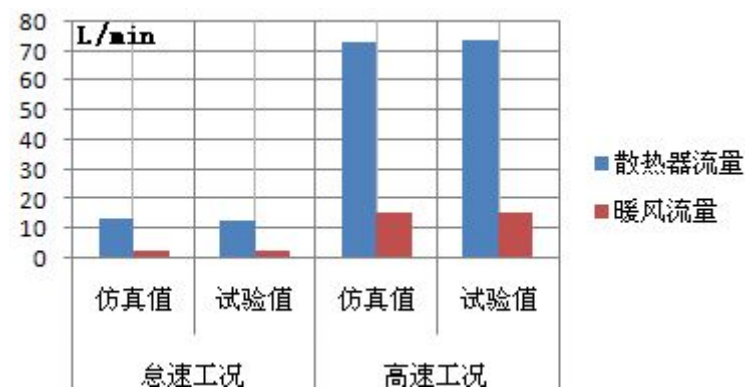


图 16 仿真与试验流量对比结果（流量）

6、结论

1、通过一维匹配分析并优化后的冷却系统，冷却水得到更有效的分配，较好的满足了散热性能要求，提升了机舱热管理性能；

2、通过冷却系统匹配仿真分析，在前期设计阶段及时发现冷却系统存在的问题并解决，为整车系统匹配提供了有效支持，降低了后期开发过程因热管理性能而造成的不必要的成本；

3、对比仿真与试验数据，误差较小，为后续同平台车型开发提供了良好的数据支持。

7、参考文献

[1] 姚仲鹏, 王新国. 车辆冷却传热[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2001

[2] 姚仲鹏, 王瑞君. 传热学[M]. 北京理工大学出版社, 2003

[3] 黄鑫. 发动机热平衡试验系统开发[D]. 浙江大学学位论文, 2006

[4] 齐斌, 倪计民. 发动机热管理系统试验和仿真研究[J]. 车用发动机, 2008