

某款乘用车冷却系统仿真分析研究

Simulation of the Cooling System of a Passenger Car

张学恩 王伟民 叶伊苏 周洪利

(东风汽车公司技术中心 430056)

摘要: 为了对乘用车冷却系统进行分析研究,本文首先在台架上倒拖发动机进行了冷却系统的冷态试验,测量了发动机在各转速下的冷却液流量。另外又在在整车上进行的转毂试验中,对散热器和暖风机的进、出口温度和压力进行了测量。试验结果与仿真分析软件 GT-COOL 得到的预测值吻合较好,可以以此模型为基础对该系统进行优化分析。

关键词: 冷却系统 台架试验 转毂试验 GT-COOL

Abstract: In order to study the cooling system of a passenger car, we firstly tested the volume flow of different cases when the engine was motored. The pressures and temperatures were measured in the car. The test data is consistent with the data calculated by GT-COOL, so the model can be used to optimize the cooling system.

Key words: Cooling system; Test on bench; Test in car; GT-COOL

1 前言

一维冷却系统设计的目的是通过预测系统内各元件的流量、压力损失和温度来提供合理的系统结构设计。内燃机冷却系统的主要任务是保证内燃机在最适宜的温度状态下工作,在冷却系统的设计中,仿真分析需要确定水泵的尺寸来保证整个系统的运行温度。本文通过成功预测某款汽油机在台架上的冷态工况和在整车上的转毂试验工况的流量、压力损失和温度,并与实验结果作了比较,验证了模型的合理性,为今后的冷却系统优化工作奠定了基础。

2 冷却系统仿真分析

对冷却系统的研究主要涉及三种参数:冷却液的流量、系统压力、系统温度。然而在本次开发过程中由于整车空间的限制,流量计无法布置到冷却系统中,导致冷却液流量无法直接测量。鉴于此,特进行台架和转毂两项试验,利用台架试验测量发动机不同转速下的流量和系统压力,并在整车转毂试验上测量系统的温度和压力,通过散热器和暖风机的进出口压力差推算冷却液流量。

2.1 仿真分析模型

如图 1 所示为一维冷却系统仿真分析模型,模型中包含了冷却系统的主要元件。其中水泵的性能参数、散热器的阻力特性、暖风机的阻力特性以及风扇的性能参数由供应商提供,而水套的阻力

特性则由三维 CFD 软件 STAR-CCM+ 计算得到。

模型计算了在发动机不同转速的工况下，系统内的冷却液流量和压力、温度的分布。

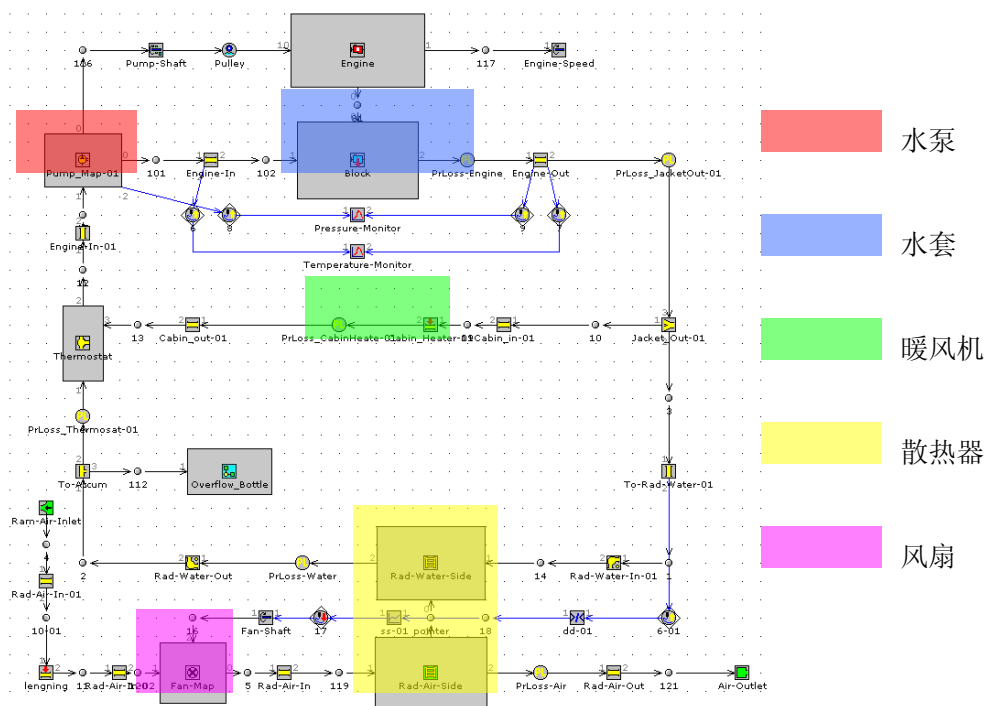


图 1 一维冷却系统仿真分析模型

2.2 冷却系统台架试验及结果分析

冷却系统的台架试验主要测量发动机在各转速下的流量和系统压力，其冷却液流向示意图如图 2 所示，散热器和暖风机并联，试验中拆除了节温器和小循环的管路。试验工况下的冷却液温度为 19℃，在测功机倒拖的情况下对流过水套的冷却液流量、散热器进出口压力、暖风机进出口压力和水套出口压力进行了测量。

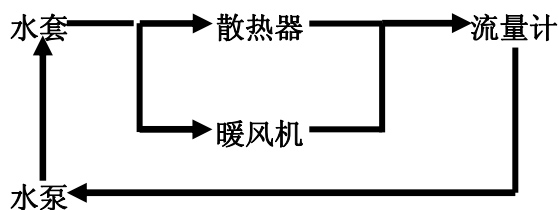


图 2 冷却系统台架试验的冷却液流向图

在仿真模型中，通过设定管路的壁温来保证冷却液的温度和试验状态相一致。

得到试验数据后，与仿真分析的结果进行比较，水套的冷却液流量与水套出口压力的对比曲线如图 3 所示。结果显示，在发动机转速高于 2000rpm 时，试验测量的流量和仿真分析得到的结果偏差在 5% 以内，而在 2000rpm 以下时由于冷却液流量较低，导致相对偏差较大，但也在 10% 以内。缸盖出水口的压力最大偏差出现在 1200rpm 的低转速，同样是由于压力绝对值较低导致的相对偏差较大，当发动机转速高于 3000rpm 时，相对偏差减小到 15% 以内。

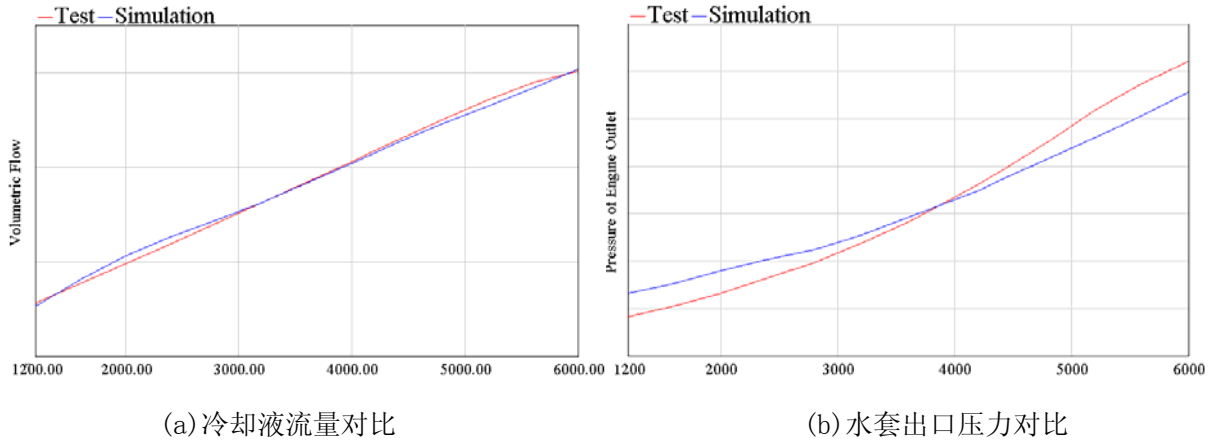


图 3 冷却液流量与水套出口压力对比

仿真和试验得到散热器与暖风机的压力降对比如图 4 所示。两组数据的最大偏差都出现在 1600rpm 的工况，这是由于在低转速的工况下数值的绝对值较小，导致相对偏差较大，其中散热器的试验值与仿真值的偏差为 16.3%，而暖风机的偏差为 15.4%。当转速高于 2000rpm 时，两组数据吻合较好，偏差都在 10% 以内。

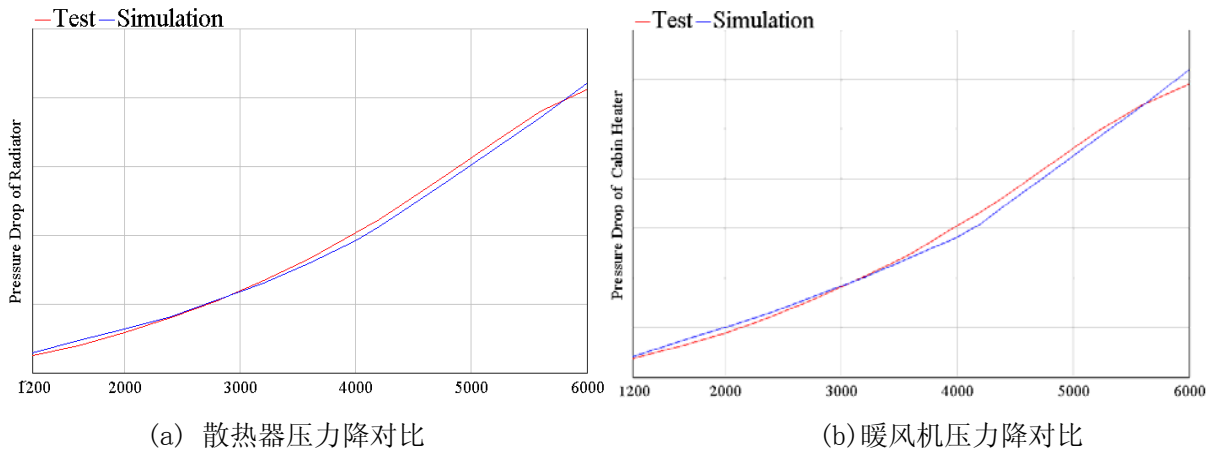


图 4 散热器压降与暖风机压降对比

2.3 整车转毂冷却系统试验

在对冷却系统的流量进行了冷态的测量后，在整车上对散热器和暖风机的进出口温度、压力进行了测量，并以散热器和暖风机的阻力特性为基础，对流过散热器和暖风机的流量进行了推算。图 5 所示为仿真分析得到的系统温度分布图，以颜色来表示温度的大小，温度高的地方用红颜色，温度低的地方用蓝颜色表示。

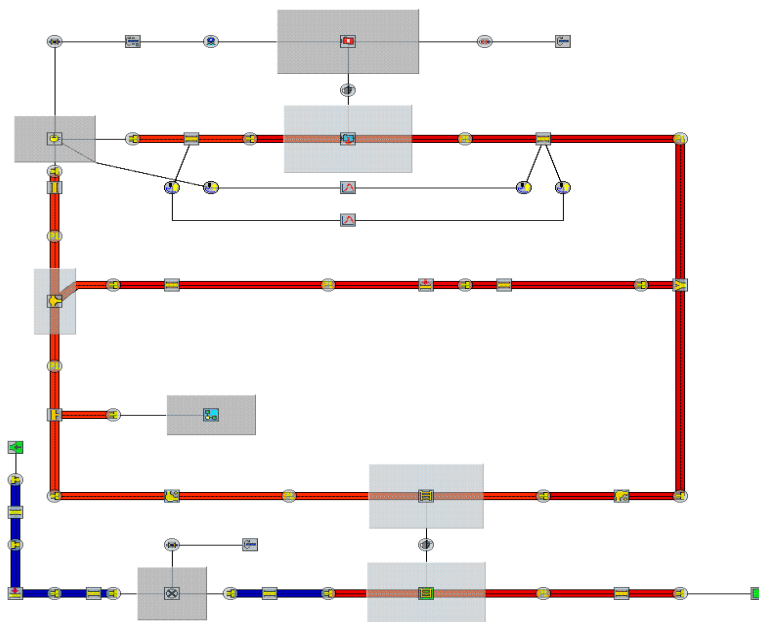


图 5 冷却系统温度分布仿真结果

图 6 为发动机最大扭矩点的工况下，试验数据和仿真分析得到的温度结果对比图。

图 6(a)为暖风机的进出口温度对比，可以看到暖风机的进出口温度的试验测量值与仿真分析的预测值基本吻合，偏差都在 0.5%以内。

图 6(b)为散热器进出口温度的试验值与仿真值的对比，两组数据的差别都较小，偏差在 2%以内。

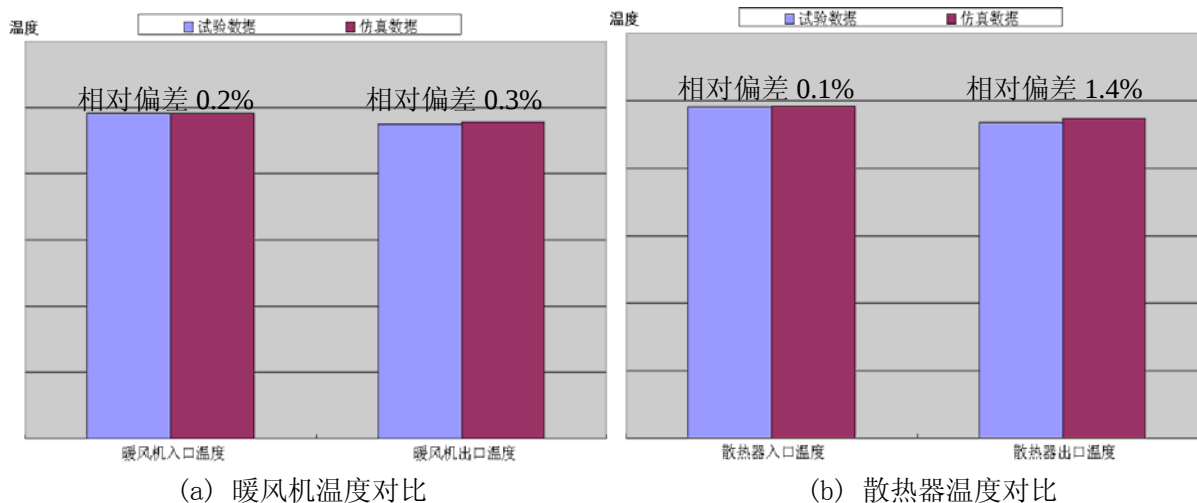


图 6 系统温度对比

图 7 所示为散热器和暖风机的压力降，以及流过水套的冷却液流量的对比结果。

图 7(a)为散热器和暖风机压力降的对比图，可以看到试验测量的暖风机的压力降与仿真计算得到的压力降偏差为 1.6%，吻合较好。但由于系统压力测量精度及散热器压力降的绝对值较小的原因，试验值得到的散热器压力降与仿真值有 14%的偏差。

图 7(b)为根据散热器和暖风机的阻力特性曲线和整车试验得到的压力降推算得到的水套冷却液流量和仿真计算得到的结果的对比，该流量即为散热器和暖风机的流量之和。由于系统压力测量的误差，而且散热器的压力差对流量的影响较大，从而导致试验压力推算的流量与仿真得到的流量有 14.7%的差别。

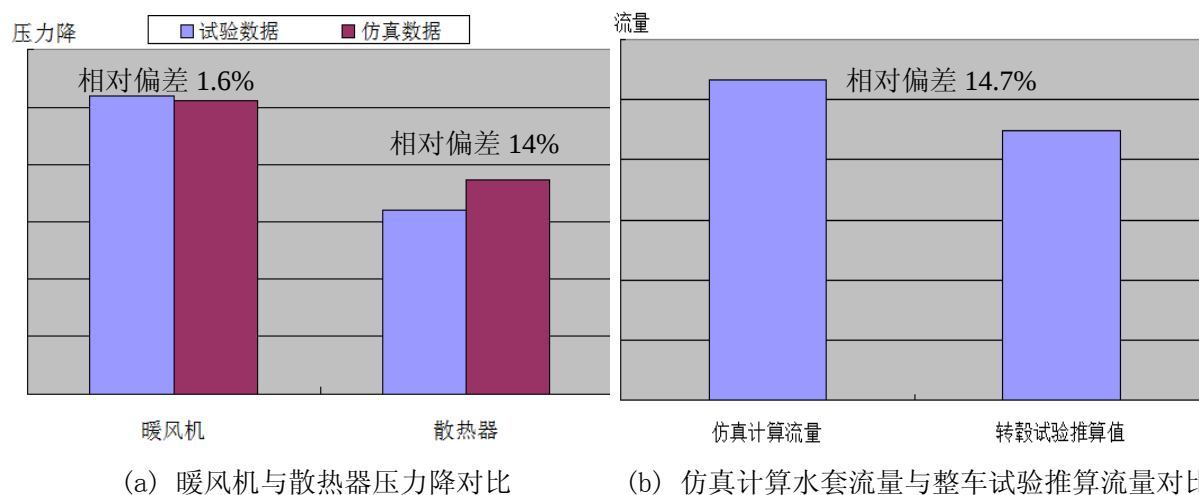


图 7 转毂试验与仿真计算结果对比图

通过本次仿真计算可以得到的冷却液流量和温度的信息，进而可以得到冷却系统带走的热量占有功的 77.5%。

通过以上的冷态试验和热态试验对模型的流量、压力和温度进行了实验验证，该模型已经可以作为基础模型对冷却系统进行仿真优化分析工作。

3 总结

为了对某款汽油发动机的冷却系统进行仿真优化分析，本文利用一维仿真分析软件 GT-COOL 对其冷却系统进行了仿真分析，并利用台架试验和整车转毂试验分别对冷却系统的流量、温度和压力进行了验证，结果显示：

- 1) 在台架上通过倒拖发动机，测量了冷却系统在不同工况下的冷却液流量和系统各点压力，测量结果与仿真结果吻合较好。
- 2) 通过整车转毂试验对发动机在扭矩点的温度和流量进行了验证，结果表明试验数据与仿真分析数据基本吻合。
- 3) 在对仿真模型与试验数据进行了多方面的对比后，可以认为模型准确、可靠，可以以此模型为基础进行冷却系统的优化分析工作。

4 参考文献

- [1] 周龙保,《内燃机学》，机械工业出版社，1999.6
- [2] GT-ISE Users Manual, Gamma Technologies. Inc