

基于GT-cool的柴油机冷却水流量调节研究

Research on Regulating of Circulating Water in Diesel Engine based on GT-cool

冉光政, 骆清国, 冯 帅, 喻 虎
(装甲兵工程学院 机械工程系, 北京 100072)

摘 要: 基于 GT-cool 建立了以某型六缸柴油机冷却系统为原型的改进模型, 对改进后的冷却系统高温循环行仿真研究; 针对改进后的模型进行热平衡试验, 验证仿真结论的准确性, 得到冷却系统较为准确的冷却规律。为下一步实现冷却系统的精确化、智能化、降低功耗打下基础, 为实现现有冷却系统的改进和新型冷却系统的研制提供了理论参考。

关键词: 冷却系统; 冷却水流量; 温度变化

Abstract: Base on the cooling system of a certain six cylinder diesel, an improved model of the diesel is built in GT-cool. Then the simulation is taken on each heat exchanger and the whole system. A heat balance experiment was conducted to validate the veracity of simulation and explore the more accurate cooling laws of the cooling system. The results can be used to make the cooling system more accurate, more intellectualized and low-loss, which is help for ameliorating of existing cooling system or developing a new system.

Key words: Cooling system; cooling water flow; temperature change

1 引言

冷却系统的作用是使柴油机零部件在运转中具有适宜的工作温度, 使其工作可靠、性能最优^[1]。近年来随着装甲车辆柴油机功率密度的大幅度提高, 大功率高紧凑柴油机的热负荷及相关的可靠性问题变得越来越突出, 对冷却系统提出了精度高、响应快、实时控制等更高的要求^[2]; 传统柴油机冷却系统对冷却强度的控制简单机械, 造成冷却系统功耗大, 控制效果差, 例如设计时仅着眼于满足柴油机高转速大负载时的冷却需求, 导致柴油机在高速低负荷及低速低负荷工况下冷却过度, 已经不能满足高功率密度柴油机的工作要求, 针对传统冷却系统的改进工作变得十分紧迫^[3]。

为了使得对冷却系统的改进工作更有针对性和实效性, 本文采用数值模拟与试验相结合的方法研究冷却系统内循环水流量对柴油机散热的影响。

2 冷却系统数值仿真

2.1 冷却系统数值模型

冷却系统的建模以某型六缸柴油机为样机，该型柴油机原冷却系统采用高低温双循环回路冷却技术。高、低温循环回路共用一个水泵。冷却水经过水泵后进入机油散热器，流出后分为两路：一路通过暗水道进入机体、缸盖，然后进入高温循环散热器；另一路经低温循环散热器后进入中冷器、冷却增压空气后与高温循环的冷却水混合，最后进入水泵完成循环^[4]。改进后的柴油机冷却系统如图 1 所示：高温循环包括高温电控水泵、机体、节温器、高温循环散热器；低温循环包括低温电控水泵、中冷器、机油热交换器、节温器、低温循环散热器。

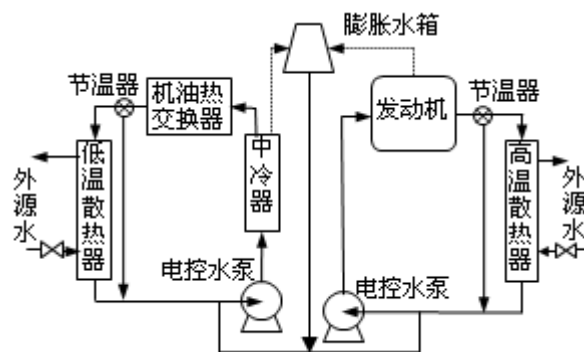


图1 改进后的冷却系统结构原理图

为建立准确的冷却系统数值模型，针对原柴油机冷却系统的进行了先期热平衡试验。试验中获得冷却系统各传热零部件的传热特性和阻力特性[5]。在建模时根据试验数据做了如下处理：

1 按照改进后冷却系统原理，对高、低温循环各模块不同工况下的热量进行了计算，如将机油热交换器的散热量以及阻力计入低温循环中。

2 由于在实验室台架上采用水冷来代替风扇对柴油机本体循环水进行冷却，因此在数值模型中仍然采用相应的水冷，且散热器模型仍为原散热器模型。

3 根据不同工况下冷却水从柴油机某部分 X 带走的热量占燃油燃烧生成总热量的百分比和燃油消耗率的 Map 图，来计算不同工况柴油机本体散走的热量和燃油消耗（如式 1）。

$$\text{即：} \quad Q(X) = M_f \times H_u \times k(X) \quad (1)$$

式中， M_f ：燃油的质量流量，kg/h；

H_u ：燃油的低热值，42218kJ/kg。

$k(X)$: 冷却水从 X 部分带走的热量占燃油燃烧生成总热量的百分比

2.2 仿真计算及结果分析

完成以上处理后建立了原机冷却系统 GT-cool 模型，通过仿真与试验结果对比验证了模型的准确性[4]。本文在原冷却系统 GT-cool 的基础上，按照图 1 所示改进后的冷却系统结构原理建立了新冷却系统 GT-cool 模型。如图 2 所示为新冷却系统 GT-cool 模型中的高温循环部分，本文针对高温循环部分进行仿真与试验分析研究。

为研究水流量变化对柴油机本体的冷却效果影响，仿真时设定的环境情况为：气压 89.1kPa，环境温度 18℃，外源水温度 11℃；柴油机运行工况：转速为 1600r/min，扭矩 1400 N•m。在内循环水流量为 30m³/h 时调整外源水流量，使柴油机出口水温稳定在 90℃；进而保持外源水流动状态不变，设定不同的内循环水流量进行仿真计算，观察柴油机进、出口水温变化情况。

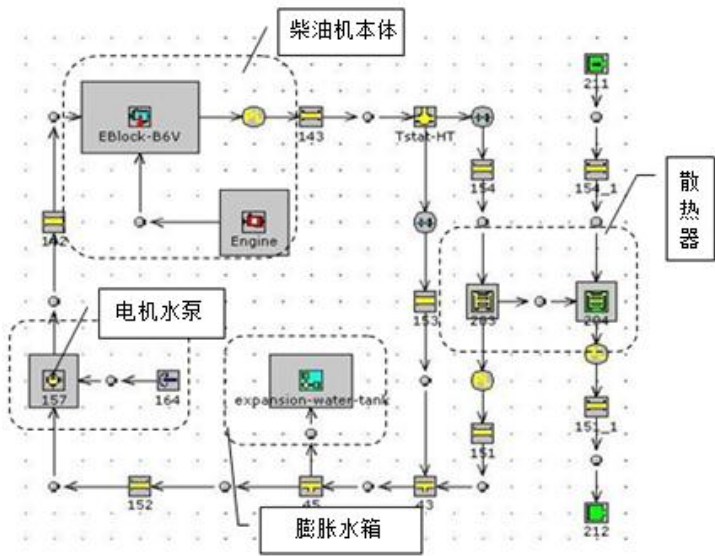


图2 改进后冷却系统高温循环模型

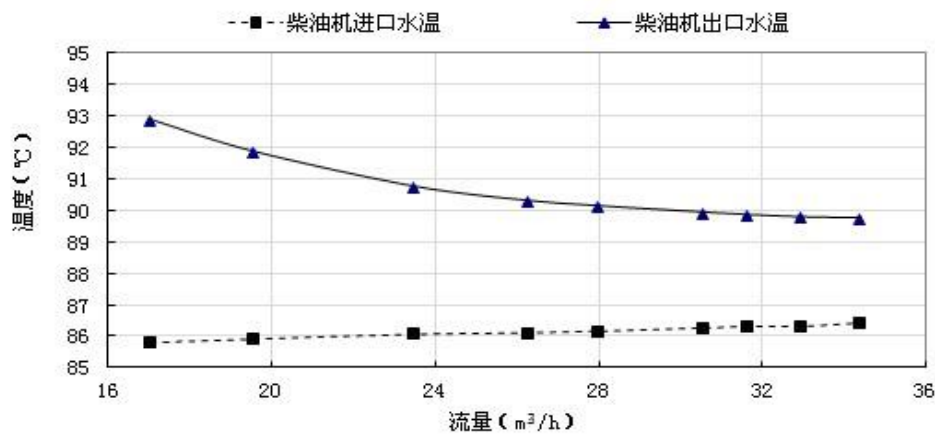


图3 柴油机本体进/出口水温与流量的关系

如图 3 所示为柴油机本体进、出口水温与流量的关系，由图可知在散热器外侧冷却水流量不变的情况下，内循环水流量从 30 m³/h 减小到 20 m³/h 时，柴油机出水温度可升高约 2℃；内循环水流量从 30 m³/h 增大到 35 m³/h 时，柴油机出水温度降低 0.3℃。说明对于高温循环，流量增大，柴油机出口水（散热器进口水温）温降低，但出口温度降低的速度变慢，变化过程拟合得到公式（2）；同时，柴油机进口水温的（散热器出口水温）随着流量的增大有小幅度的增大，柴油机进、出口温差随着流量的增大逐渐减小，但减小的速度渐缓。

$$T = -0.0005q^3 + 0.0509q^2 - 1.8687q + 112.64 \quad (2)$$

式中：T —— 温度；q —— 体积流量

由此可见，在冷却水流量较低时通过改变冷却水流量来调节柴油机出口水温有一定的效果，而在冷却水流量较大时通过改变水流量来调节柴油机出水温度则收效甚微。

3 冷却系统热平衡试验

根据图 1 所示的改进后冷却系统原理图对柴油机冷却系统进行改进，采用电控水泵代替传统的机械传动水泵，通过变频器调节水泵转速来研究柴油机冷却系统内循环水流量变化对柴油机工作时冷却效果的影响。如图 4、图 5、图 6 所示为台架试验现场布置情况。



图4 柴油机及冷却系统试验台架



图5 低温循环部分管路



图6 高温循环部分管路

台架试验室环境：气压 89.1kPa，环境温度 18℃，外源水温度 11℃；柴油机工况：转速为 1600r/min，扭矩 1400 N·m；内循环水泵电机初始转速为 2900r/min，此时高温内循环水流量为 30m³/h。柴油机运行过程中调节外源水阀门开度，使得柴油机出水温度稳定于 90℃，然后保持柴油机工况和外循环阀门开度不变，每隔两分钟改变一次水泵转速，每次升高或降低 500r/min（如图 7 所示），监测循环中流过散热器的水流量和柴油机出口水温。

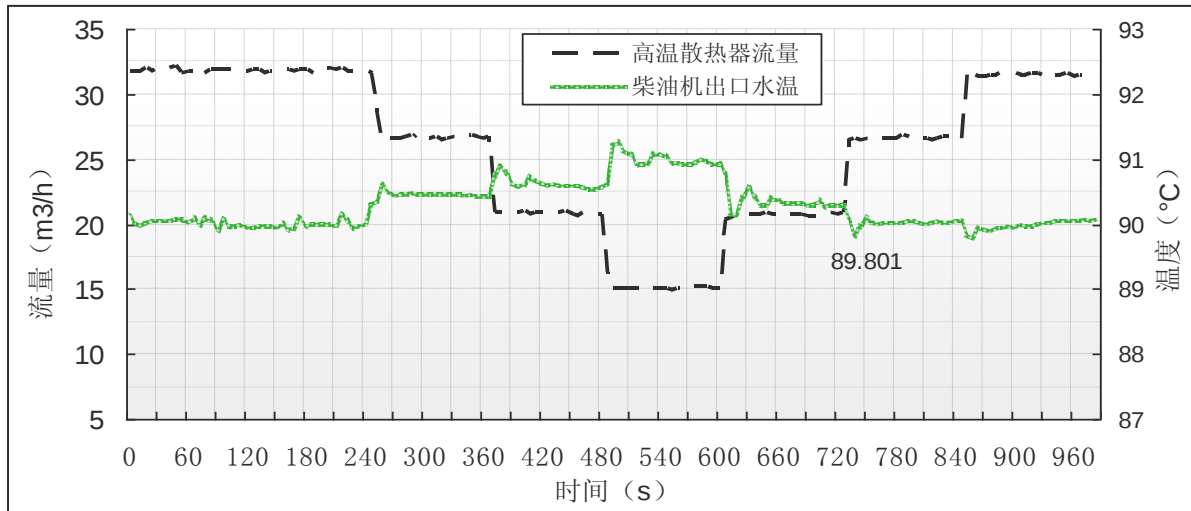


图7 柴油机出口水温与流量的关系

试验结果如图 7 所示：在水泵转速减慢或加快时，内循环水流量相应成正比减小或增大，但柴油机出口水温的变化不明显。在流量从 32m³/h 降低到 26.6m³/h 和从 20.85m³/h 降低到 15m³/h 时，水温相应增加约 0.5℃；而流量从 26.6m³/h 降低到 20.85m³/h 时，温度平均仅增加了 0.2℃。当水泵转速从 1400 r/min 逐渐恢复到 2900r/min 的过程中，柴油机出口水温相应的从 91℃降低到 90℃。

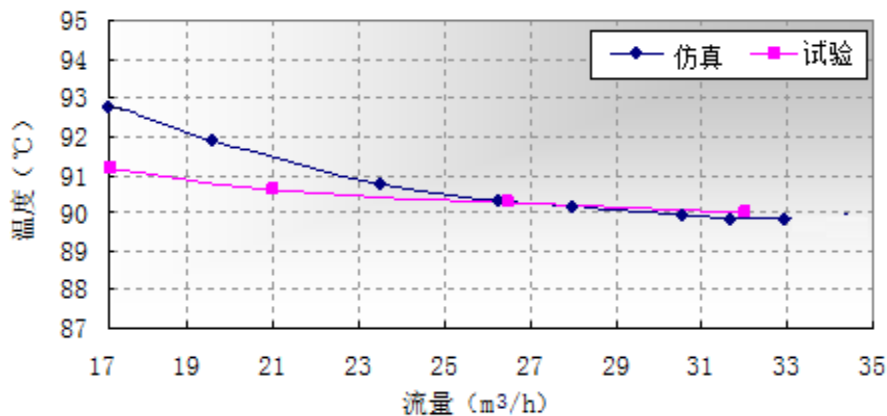


图8 对应水流量下柴油机出口水温的仿真与试验结果对比

比较仿真与试验结果（如图 8），在柴油机出口水温在仿真中的变化较试验中变化大，说明仿真结果有一定的误差。这是因为在仿真过程中做了相关的假设和简化，如没有考虑周围环境的实时变化和水循环过程中产生的热量对冷却系统的影响。

综合仿真与试验，二者结果一致，即在柴油机工况及外循环水流量确定的情况下，内循环水流量的变化对柴油机出口水温的影响较小，通过调节内循环水流量来调节柴油机出口水温的效果十分有限。原因有二：一是在内循环中，柴油机本体的容许温升较小（通常为 $4^{\circ}\text{C}\sim 8^{\circ}\text{C}$ ，最高不超过 12°C ），增大内循环水流量会减小冷却水经过水套、缸盖时的温升，但同样会使散热器出口水温（柴油机进口水温）升高，因而最终表现于柴油出口水温降低不明显；二是水泵工作时，水泵的做工转换为循环水和管壁的内能，水泵转速的大幅提高（功率增大）引起循环系统温度的总体升高不可忽略。

4 结论

（1）本文基于 GT-cool 建立了某型柴油机冷却系统模型并进行了仿真。在仿真中发现：对于高温循环，冷却水流量较低时通过改变冷却水流量来调节柴油机出口水温有一定的效果，而在冷却水流量较大时通过改变水流量来调节柴油机出水温度则收效甚微。

（2）结合试验研究发现，改变内循环水流量对柴油机出口水温影响不大，因此在冷却系统的改进中可不必通过调节内循环水流量来调节柴油机出口水温。

（3）对于未来冷却系统的改进或新型冷却系统研制，建议在满足其他的情况（如在柴油机本体内不出现死区，冷却水在柴油机本体内的容许温升在允许范围内等）时，设定一个稳定的最低流量，从而最大程度地降低水泵功耗。

5 参考文献：

- [1] 《柴油机设计手册》编委会, 柴油机设计手册[M]. 北京: 中国农业机械出版社, 1984
- [2] 韩 树, 蔡 锋, 骆清国等. 车用发动机冷却系统控制仿真研究综述[J]. 内燃机, 2008(5): 1-3
- [3] 桂 勇, 骆清国, 张更云等. 高功率密度柴油机智能冷却系统设计研究[J]. 车用发动机, 2008(176): 62-65
- [4] 冯建涛, 骆清国等. 柴油机电控冷却系统性能仿真研究[J]. 装甲兵工程学院学报. 2009, 23(2): 33-37
- [5] 龚正波, 骆清国, 张更云等. 柴油机全工况热平衡台架试验研究[J]. 车用发动机, 2009(3): 31-35
- [6] 张慧锦, 李仁业译, 车辆冷却系统设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1984