

498型柴油机冷却水套优化设计

刘铁刚, 李君, 高莹

(吉林大学汽车工程学院, 长春 130022)

摘要:针对498型柴油机在实际运行过程中出现的过热现象,通过计算流体力学(CFD)对冷却水套进行了模拟计算,发现缸体水套进气侧存在流动死区,水套流场冷却水流量分配不均匀。为了改善水套的冷却效果,对机油冷却器出口位置,缸垫水孔位置和尺寸进行了CFD仿真优化。仿真结果表明:改进后缸体内的流动死区基本消除,水套的整体冷却能力显著提高,实际应用效果良好。

关键词:动力机械工程;柴油机;冷却水套;优化设计

中图分类号:TK424 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5497(2008)04-0778-04

Optimization design for water jacket of 498 diesel engine

LIU Tie-gang, LI Jun, GAO Ying

(College of Automotive Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: Facing the overheating occurs during the actual operation of the 498 type diesel engine, the computational fluid dynamics(CFD) analysis was made for the cooling water jacket. It was found that the stagnant zones appear in the intake side of the cylinders block water jacket, and the water flow distribution is uneven. To improve the cooling capacity of the jacket, the outlet position of the oil cooler and the position and size of the water holes through the cylinder head gasket were optimized through CFD simulation. In the optimized water jacket the stagnant zones are basically eliminated and the cooling capacity of the water jacket is improved obviously with good effect in the real application.

Key words: power and machinery engineering; diesel engine; water jacket; optimization design

针对498型柴油机在实际运行过程中出现的过热现象,通过计算流体力学(CFD)对冷却水套进行模拟分析,发现缸体水套进气侧冷却液流速很低,平均速度跨度为0.001~0.4 m/s。因此,低流速冷却液使发动机在额定工况运行时所产生的热量不能及时被带走,严重影响了发动机的可靠性和耐久性^[1-2]。为了改善水套的冷却效果,对机油冷却器出口位置,缸垫水孔位置和尺寸进行了CFD仿真优化,消除了缸体内的流动死区,提

高了水套的整体冷却能力。

1 498型柴油机水套CFD模拟分析

498型柴油机采用整体冷却方式,冷却水套包括缸体水套、缸盖水套、水泵内腔和机油冷却器水腔等几部分。冷却液流动路径是:从水泵内腔出口同时分别流入缸体水套入口和机油冷却器水腔入口,机油冷却器水腔内的冷却液通过与缸体水套相连通的4个出口流入缸体水套,再经过缸

收稿日期:2006-09-25.

基金项目:“十五”国家科技攻关计划项目(2003BA408B04).

作者简介:刘铁刚(1979-),男,硕士研究生.研究方向:能源多元化与新型动力总成. E-mail:flowmaster7919@163.com

通信作者:李君(1961-),男,教授,博士生导师.研究方向:能源多元化与新型动力总成. E-mail:junli610@263.com

体上水孔及缸垫流入缸盖水套,最后经缸盖水套出口流出。

1.1 几何模型及计算网格的建立

应用三维 CAD 软件 Pro/E 建立水套的几何模型(见图 1)。其中包括缸体水套、缸盖水套、水泵内腔和机油冷却器水腔等几部分。将 CAD 模型通过 STL 格式输入到前处理软件中进行网格划分(见图 2)。水套主要采用非结构化四面体网格划分,边界层采用三棱柱体。。

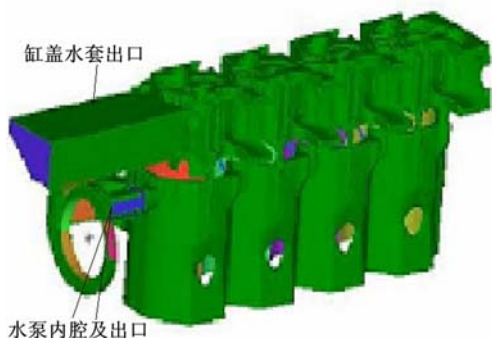


图 1 冷却水套模型

Fig.1 Water jacket model

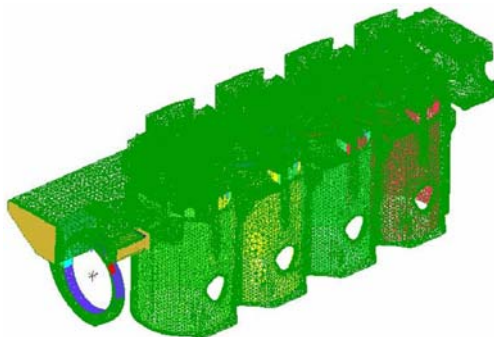


图 2 冷却水套计算网格

Fig.2 Computational grid of water jacket

1.2 计算方法及边界条件

对 498 型柴油机冷却水套进行模拟计算,采用三维计算分析软件 Fluent,得到计算域的离散方程;采用 Simple 算法,二阶迎风格式求解代数方程组^[3-4]。冷却水套的模拟计算选在柴油机额定工况下进行,水泵转速 3600 r/min,冷却介质选用的是水,流量为 163 L/min。采用稳态的计算模式,在模拟计算过程中认为冷却水在水套内的流动状态是不可压的黏性湍流流动。湍流模型选用 $\kappa-\epsilon$ 标准湍流模型^[4-5]。用壁面函数法来描述壁面附近边界层流体速度、压力等的分布,并且要求贴近壁面的网格的 Y^+ 值在 30~500 范围内^[5]。计算边界条件如下。

入口条件:速度入口,采用 Fluent 中的局部柱坐标;水泵流量为 163 L/min;冷却水圆周速度为 9.08 m/s(按水泵叶轮速度矢量分布计算);冷却水径向速度为 0.71 m/s(按水泵叶轮速度矢量分布计算);冷却水温度为 368 K,密度为 1.02 kg/m³;出口条件:认为冷却水在缸盖出口处是充分发展的流动,采用 Fluent 软件中的出流(outflow)出口边界条件。

1.3 CFD 计算结果及分析

498 型柴油机原机型的机油冷却器出口和缸垫水孔布置如图 3 和图 4 所示。由于在原设计方式中,将机油冷却器在第 3 缸的出口布置在缸体底部,较多的冷却水进入第 3 缸后流入第 2 缸,与缸体入口水流发生相互撞击,在第 1 缸引起流动旋涡(见图 5),从而使得第 1、2 缸之间的区域流

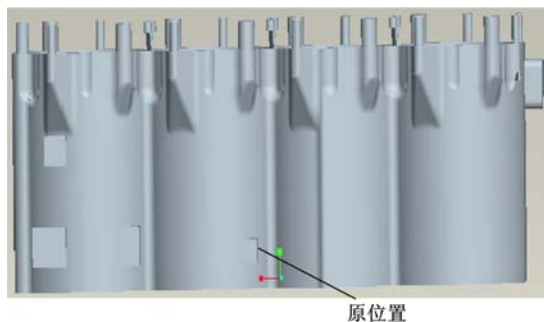


图 3 原机型机油冷却器出口位置

Fig.3 Outlet position of oil-cooler

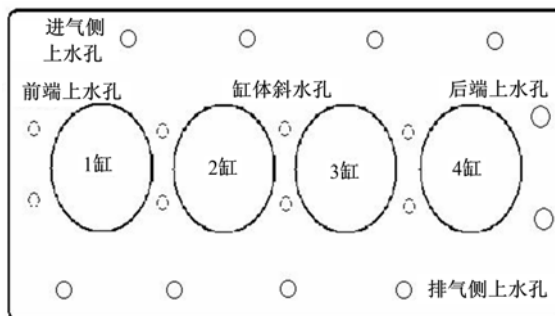
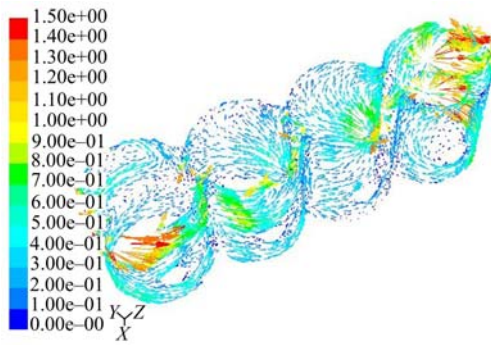


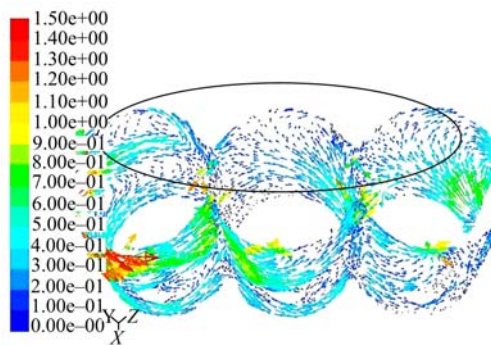
图 4 缸垫水孔位置分布

速很低,形成了流动死区(见图 6, A 和 B 区域)。第 4 缸进气侧与排气侧水流速度差值较大,冷却水分配不均匀(见图 6, C 区域)。同时,第 1 缸前端两个上水孔(见图 7)距离缸盖出口很近,约有占总体水流量 6% 的冷却水在进入第 1 缸缸体水套后直接进入缸盖,然后从缸盖出口流出,并没有起到冷却的作用。

从以上 CFD 的计算分析中可以得出:498 型柴油机缸体水套的设计存在不足:一方面冷却水



(a) 缸体水套内表面速度矢量分布



(b) 第 1、2、3 缸进气侧速度矢量分布

图 5 速度矢量分布图

Fig. 5 Distribution map of velocity vector

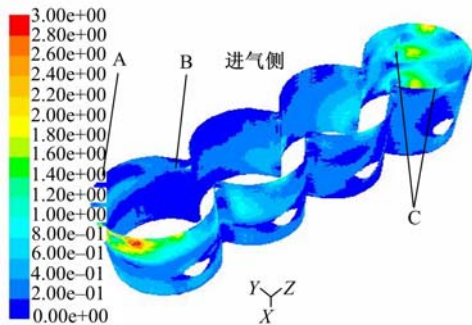


图 6 缸体水套内表面速度分布 (m/s)

Fig. 6 Velocity distribution of engine block(m/s)

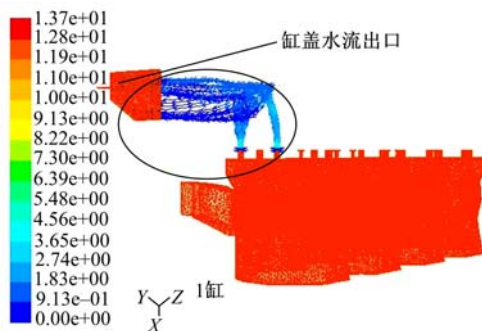


图 7 缸体水套第 1 缸前端出水孔速度流线分布 (m/s)

Fig. 7 Velocity pathline of water outlet hole of engine block(m/s)

没有得到有效的利用,有 6% 的冷却水直接从水套出口流出;另一方面水套流场内冷却水的流量分配不合理,第 4 缸进气侧的水流速度明显高于排气侧。同时,由于第 1、2 缸进气侧存在水流撞击,使此区域的冷却水流速很低,形成不利于换热的流动死区。因此,需要在原机型的基础上进行水套的结构优化。

2 水套结构优化设计

基于 498 型柴油机原机型冷却水套的 CFD 模拟分析结果,对水套结构进行了 4 种不同方案的改进,同时利用 CFD 进行仿真计算,对比不同改进方案的计算结果,最终确定以下方案改进效果最好,具有工程应用价值。具体改进措施如下:

(1) 去掉缸体水套前端 2 个上水孔。

(2) 将机油冷却器在第 3 缸的出口提高到缸体纵向的中间位置。

(3) 在缸体排气侧利用原有的清砂孔,增加一个直径为 8 mm 的上水孔,同时减少缸体末端靠近排气侧的水孔尺寸,由原来的 12 mm 减少到 10 mm,具体改进方案如图 8 和图 9 所示。

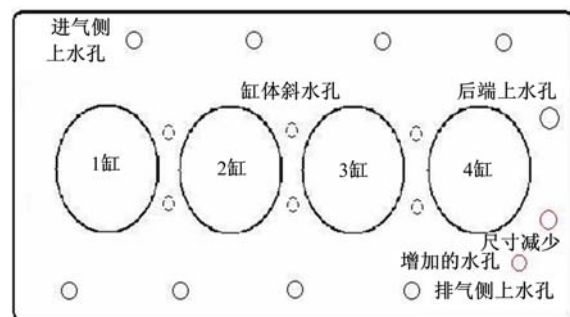


图 8 改进后的水孔位置分布

Fig. 8 Water holes distribution of improvement scheme

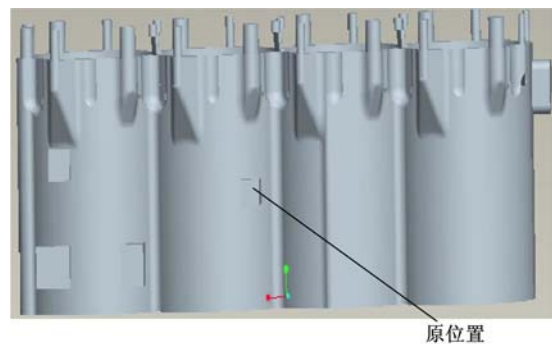


图 9 改进后的机油冷却器出口位置

Fig. 9 Outlet position of oil-cooler of improvement scheme

CFD 计算结果分析如图 10、图 11 所示。

从图 10 和图 11 中可以看到,去掉了第 1 缸 2 个上水孔后,从缸体入水口进入到缸体内部的冷却水流量明显增多,流速也较原机型有所提高。在原机第 1 缸进气侧存在的流动旋涡消失,从而使第 1 缸以及 1、2 缸之间的换热系数也随之上升。由于在第 4 缸排气侧增加了上水孔,同时减少了缸体后端靠近排气侧的水孔尺寸,与原机相比,更多的冷却水从进气侧被引入到排气侧,使此区域的流速和换热系数都有较大幅度的提高。缸体水套顶平面的平均流速达到 0.7 m/s,已超过国外咨询公司推荐的经验值 0.5 m/s^[8],缸体内表面平均换热系数提高 10% 左右。同时,缸体水套内冷却水流的分布与原机型相比也得到了很好的改善。总体水套冷却能力有较明显的提高,实际应用效果良好。

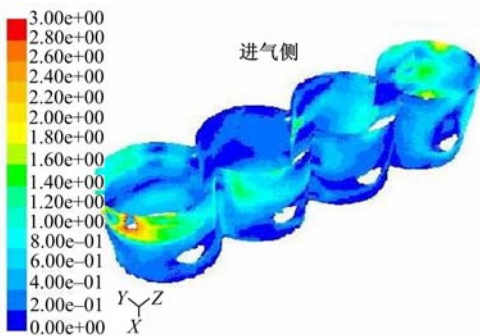


图 10 改进后的缸体水套内表面速度分布(m/s)
Fig. 10 Velocity distribution of water jacket of improvement scheme (m/s)

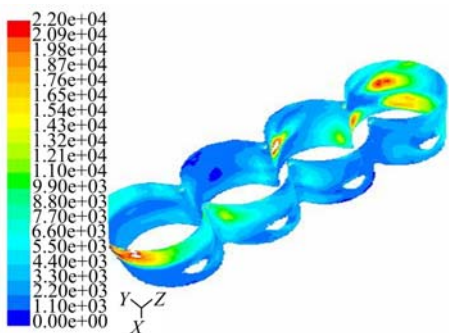


图 11 改进后的缸体水套内表面换热系数分布(W/m²·K)
Fig. 11 Heat transfer coefficient of water jacket of improvement scheme(W/m²·K)

3 水套压力评价

图 12 是优化设计的水套压力分布。水套总

体压力达到 2.65×10^4 Pa,较原机型提高 5% 左右。这主要是由于进入到水套内的冷却液有效流量与原机型相比有所增加。虽然压力损失略有上升,但流速和换热系数的提高更加明显,平均达到 10% 左右。通过牺牲较小比例的压力损失,获得了更大比例冷却能力的提高。

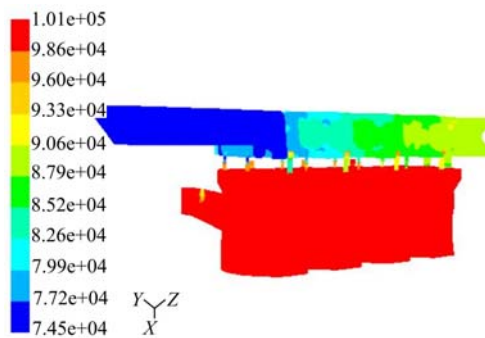


图 12 改进后的水套压力分布(Pa)
Fig. 12 Pressure distribution of water jacket of improvement scheme(Pa)

4 结 论

(1)优化设计后的 CFD 计算结果表明,通过改进机油冷却器的出口位置,以及缸垫水孔的位置和尺寸,可以较好地消除缸体内存在的流动死区,提高水套内冷却液的流速和换热系数,进而提高水套的总体冷却能力,减少过热现象的发生。

(2)水套的总体压力较原机型略有提高,但水套内冷却液的有效流量、流速和换热系数提高更加明显。通过牺牲较小比例的压力损失,获得了更大比例冷却能力的提高。

参考文献:

[1] Kasi Sethupathi, Ram Varma. CFD applications in agriculture and construction machinery development[C]// SAE Paper 961804.
[2] 林学东,宋涛,冯先振,等. 车用柴油机低排放缩口燃烧系统的优化[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(1):54-59.
[3] Siders J A, Tiuey D G. Optimizing cooling system performance using computer simulation[C]// SAE Paper 971802.
[4] Han T. Three-dimensional navier-stokes simulation for passenger compartment cooling[J]. Int J of Vehicle, 1989,10(2):175-186.
[5] 杨永柏,王靖宇,胡兴军. 皮卡车外流场的数值模拟[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(6):1236-1241.