

结构与可靠性

气缸套温度场优化及试验验证

陆传荣¹, 汤义虎², 张国勇², 张华兵², 闫 萍²

(1. 海军驻七一一研究所军事代表室, 上海 201108; 2. 七一一研究所, 上海 201108)

摘要: 针对某型柴油机设计开发过程中, 气缸套第一道活塞环上止点位置温度偏高, 存在滑油结焦引起拉缸风险的问题, 对油气室匹配及气缸套冷却进行改进, 改进前后的缸内喷雾燃烧计算及气缸套热-结构耦合仿真对比分析表明: 优化后的气缸套第一道活塞环上止点位置温度明显降低。后续的试验验证也表明: 上述措施有效降低了气缸套第一道活塞环上止点位置的工作温度, 气缸套-活塞环摩擦副的可靠性得到提高。

关键词: 气缸套; 温度场; 热负荷; 优化

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)06-0019-04

Temperature Field Optimization of a Cylinder Liner and Test Verification

Lu Chuanrong¹, Tang Yihu², Zhang Guoyong², Zhang Huabing², Yan Ping²

(1. Naval Deputy Office of SMDERI, Shanghai 201108;

2. Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: In the development of a certain type of diesel engine, the temperature of the first piston ring at TDC was relatively high, which may lead to the risk of cylinder scuffing because of lube oil coking. The matching of fuel and air and combustion chamber, as well as the cooling of cylinder liner were improved. The spray and combustion calculation in cylinder and thermo-structure coupling simulation of cylinder liners before and after optimization showed that the temperature of the first piston ring at TDC reduced significantly. The follow-up test verified that the above measures could reduce the temperature of the first piston ring at TDC effectively, and the reliability of the friction coupling of cylinder liner-piston ring could be improved.

Key words: cylinder liner; temperature field; thermal load; optimization

0 引言

随着柴油机强化指标日益提升, 气缸套、活塞、气缸盖等关键受热零部件承受的机械负荷及热负荷越来越高。如何保证气缸套-活塞环摩擦副正常工作, 预防拉缸故障的发生, 已成为现代新型柴油机开发面临的严峻挑战。

气缸套表面温度取决于燃烧组织的热负荷分配以及气缸套冷却设计, 决定了气缸套-活塞环摩擦副间润滑油的黏度, 进而影响到油膜厚度等摩擦学

性能, 对气缸套-活塞环摩擦副的正常工作及可靠性起着关键作用。

在某型柴油机设计开发过程中, 进行了气缸套温度场测试, 发现气缸套的温度偏高, 设计裕度偏小, 气缸套-活塞环摩擦副可靠性存在风险。对此进行了气缸套温度偏高的原因分析, 开展了油气室匹配优化和气缸套强化冷却研究。

1 初始方案及试验结果

某型柴油机性能设计时, 基于发动机热负荷、

收稿日期: 2018-07-09

作者简介: 陆传荣(1974-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为船舶动力装置。

经济性和排放性确定了油气室匹配初始设计方案,为了充分利用燃烧室空间,采用了较大的燃油喷射夹角。

初始气缸套设计方案为:在热负荷较高的气缸套上部凸缘区域设计冷却水腔,气缸套壁厚最薄处位于抗磨环和第一道活塞环上止点附近,增强了该区域的冷却效果。冷却水由水套入水口进入,在水套下层水腔冷却气缸套凸缘的侧壁,再由水套内上水孔进入水套上层水腔冷却气缸盖,最后经出水孔流出气缸单元。非钻孔式冷却气缸套结构如图 1。

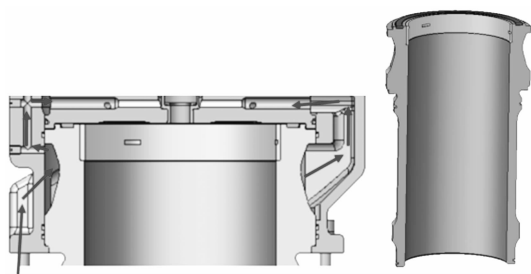


图 1 非钻孔冷却气缸套设计

初始方案在气缸套第一道活塞环上止点位置布置了热电偶测点,并在单缸机上开展了气缸套温度场测试。试验结果表明:气缸套温度过高,主要表现在第一道活塞环上止点区域平均温度接近设计判据要求。而该处活塞环工作在边界润滑状态,油膜较薄,热负荷较高,工作条件最为恶劣,存在较大的滑油结焦风险,长期运行极易导致拉缸。

2 原因分析

针对第一道活塞环上止点区域气缸套温度偏高问题展开分析。

(1) 燃油喷射到气缸套壁面发生燃烧。根据喷雾与活塞型线的位置关系可以发现:初始大燃油喷射夹角下,活塞从上止点向下运行过程中,存在燃油蒸气穿过活塞顶面边缘到达气缸套壁面,在气缸套附近燃烧的情况,可能导致气缸套温度偏高。

(2) 冷却设计裕度不足。根据气缸套温度场仿真计算分析,初始气缸套冷却设计裕度不足,第一道活塞环上止点位置气缸套最高温度接近设计预期。

3 优化措施

为降低气缸套第一道活塞环上止点区域温度,提高其可靠性,开展了油气室匹配及气缸套冷却优化设计,主要包括:减小喷油器喷孔夹角、气缸套强化冷却等。

3.1 油气室匹配优化方案

在初始油气室匹配方案的喷孔孔数、孔径以及其它参数不变的情况下,减小喷孔的喷射夹角,在喷油持续期内,燃油蒸气受活塞边缘的阻挡不能直接到达气缸套壁面和活塞环带,由此可降低气缸套、活塞环的热负荷。

3.2 气缸套冷却优化

为强化冷却效果,在第一道活塞环上止点区域气缸套外壁增加了冷却钻孔,通过隔板和钻孔间的缝隙将冷却水引入钻孔进行冷却。气缸套钻孔后,第一道活塞环上止点处的壁厚较初始方案有所减小,从而有利于提高气缸套的冷却效果。

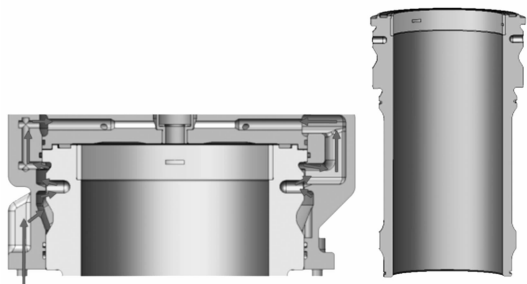


图 2 钻孔冷却缸套设计

4 仿真计算

4.1 油气室匹配仿真分析

针对初始装机方案和优化方案进行三维 CFD 缸内喷雾燃烧计算,对比分析缸内热负荷分布情况。计算模型的网格划分如图 3 所示。

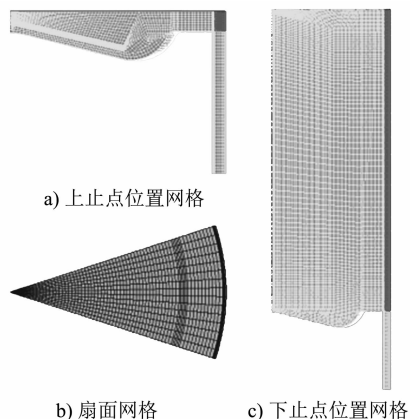


图 3 燃烧室网格划分

不同喷射夹角方案在不同曲轴转角下的燃空当量比分布及温度分布如图 4 和图 5 所示。可以看出:大喷射夹角方案的燃油蒸气落壁位置比较靠近活塞碗边缘,而小喷射夹角方案的燃油蒸气落壁位置相对靠近活塞碗的凹坑内;小喷射夹角方案下气缸套和活塞环带附近的燃气温度及高温燃气量均明

显小于大喷射夹角方案下的，即气缸套、活塞环热负荷明显降低。同时，小喷射夹角方案的高温区域范围明显比大喷射夹角方案的高温区域窄，且靠近缸套和活塞边缘的温度也比大喷射夹角方案的低。

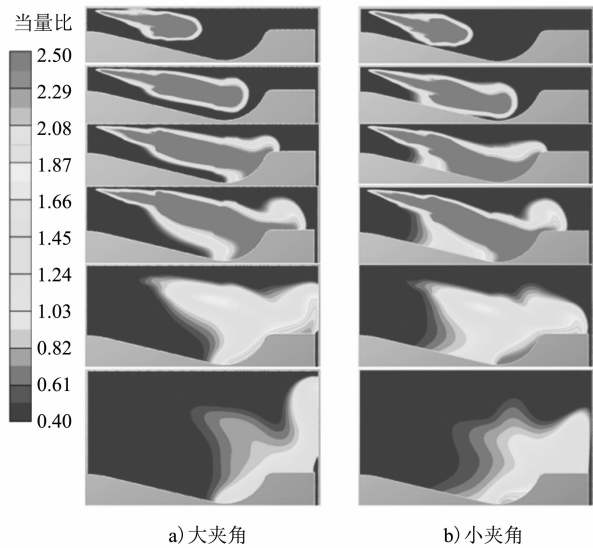


图 4 燃空当量比分布

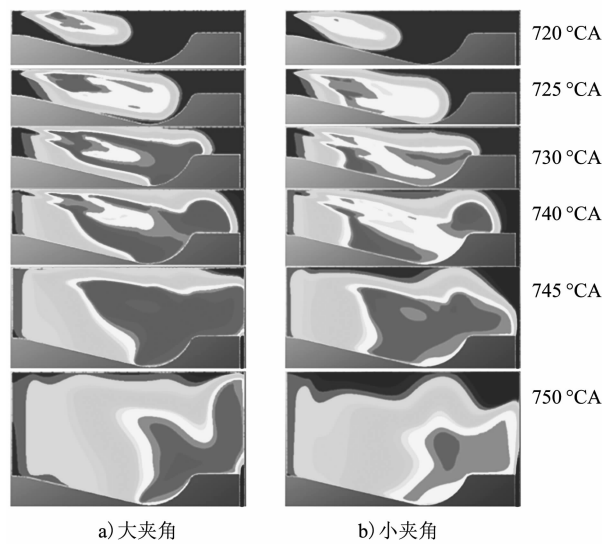


图 5 温度分布

不同喷射夹角方案下活塞、缸套、缸盖壁面散热量归一化对比如图 6 所示。从图中可以看到：小喷射夹角方案的气缸套壁面散热量比大喷射夹角方案降低了约 12%，但活塞壁面散热量升高了约 5%。说明采用小喷射夹角可以有效控制缸内热负荷分布，降低缸套和缸盖的壁面散热量，但活塞壁面的散热量会略有增加。活塞温度场试验结果表明：活塞冷却效果较好，活塞增加的散热量在可接受范围内。

4.2 钻孔缸套仿真分析

在油气室匹配优化的基础上，在相同边界条件

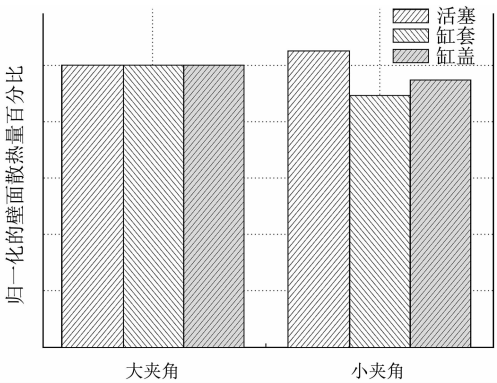


图 6 壁面散热量

下对气缸套初始设计方案及优化方案进行了温度场、热-结构耦合对比仿真分析。

根据温度场计算结果：优化方案的气缸套最高温度比初始方案的降低了 11.5%。两种方案的气缸套温度对比情况如图 7 所示。优化方案气缸套除第一道活塞环附近温度有明显降低外，下部区域温度基本和初始方案的一致。

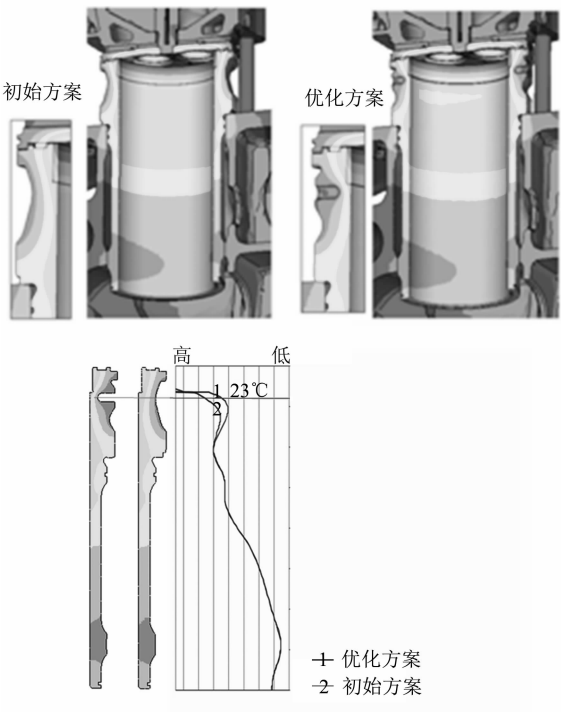


图 7 温度分布对比

优化方案与初始方案的气缸套傅里叶变形计算结果相似，如图 8 所示。冷态及热态变形均满足活塞环顺应性要求。

优化方案与初始方案的气缸套疲劳安全系数对比如图 9 所示。可见：初始方案气缸套最小安全系数的位置在缸套顶部；优化方案最小安全系数的位置位于新增钻孔处，最小安全系数满足设计要求。

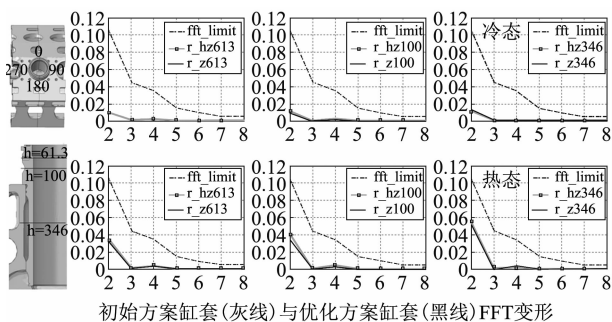


图 8 变形情况对比

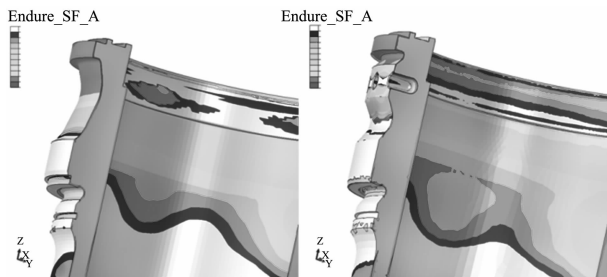


图 9 疲劳安全系数

4.3 气缸套温度场优化效果

通过油气室匹配,并经冷却优化后,气缸套第一道活塞环上止点处温度比初始方案下降了 11.5%;优化方案与初始方案气缸套内孔变形趋势相似,且变形满足活塞环顺应性要求;优化方案气缸套疲劳安全系数满足设计要求。

5 试验验证

对优化方案开展了性能和温度场试验验证。试验结果表明:柴油机油耗、排放等性能指标满足设计要求,同时气缸套温度场有了明显改善。优化后气缸套温度场测试结果显示:第一道活塞环上止点处平均温度下降了 13%,大大降低了因润滑油结焦导致拉缸的风险。

6 结 论

(1) 油气室匹配与气缸套钻孔冷却优化设计方案对降低气缸套第一道活塞环上止点处温度,提高其可靠性作用明显。

(2) 小喷孔夹角方案有利于降低气缸套壁面散热量,但是活塞壁面的散热量会略有增加。

(3) 冷却优化后的气缸套温度场分布有明显改善,有利于提高气缸套-活塞环摩擦副的可靠性。

参考文献

- [1] 王希珍,严兆大,周军. 柴油机缸套热负荷评估的分析及实验研究方法 [J]. 内燃机工程, 2001 (4): 62-65.
- [2] 骆清国,冯建涛,刘红彬,等. 大功率柴油机缸内传热与热负荷分析研究 [J]. 内燃机工程, 2010 (12): 32-37.
- [3] 曹海波,杨世春,张良. 柴油机喷雾夹角对缸内三维流动的影响 [J]. 内燃机与动力装置, 2012 (1): 22-25.
- [4] 中国国家标准化管理委员会. 船舶发动机排气污染物排放限值及测量方法 (中国第一、二阶段): GB 15097-2016 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
- [5] 曹云鹏. 双燃料发动机 ECU 硬件在环仿真系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2005.
- [6] 于世涛,周兴利,杨晓峰,等. 基于扭矩控制的电控单体泵柴油机仿真模型的研究 [J]. 内燃机工程, 2006, 27 (2): 29-32.
- [7] MALKHEDE D N, SETH B, DHARIWAL H C. Mean value model and control of a marine turbocharged diesel engine [C]. SAE, 2005-01-3889.
- [8] WURZENBERGER J C, HEINZLE R, DEREGNAU COURT M V, et al. A comprehensive study on different system level engine simulation models [C]. SAE, 2013-01-1116.
- [9] 郭凯. 基于 Veristand 的发动机硬件在环测试系统研究 [D]. 天津: 河北工业大学, 2015.
- [10] 韩晓梅,林学东,李德刚,等. 基于目标起动转速变化规律的起动过程瞬态喷油量控制策略研究 [J]. 内燃机工程, 2015-09-09 (网络版).
- [11] 王文成,杜兵,张鹏,等. 柴油机排温自动修正算法的研究 [J]. 柴油机, 2017, 39 (2): 28-32.

(上接第 10 页)