

重型柴油机气缸套热负荷分析及结构优化

尤国栋, 苏铁熊, 李 坤

(中北大学机电工程学院, 山西太原 030051)

摘 要: 以某重型柴油机的钢制薄壁顶置湿式气缸套为研究对象, 运用有限元法进行了气缸套三维温度场的计算, 结果显示: 缸套最高温度为 229℃, 出现在缸套活塞上止点附近; 结合特定热边界条件, 对气缸套的稳态温度场进行了计算, 通过对比不同气缸套壁厚对热负荷的影响, 明确了在气缸套的变形分析中考虑热负荷的必要性; 为气缸套结构设计改进提供了理论指导和依据。

关键词: 重型柴油机; 气缸套; 温度场; 热负荷

中图分类号: TK423.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)03-0029-03

Thermal Load Analysis and Structural Parameters Optimization of Cylinder Liner of Heavy-Duty Diesel Engine

You Guodong, Su Tiexiong, Li Kun

(School of Mechatronice Engineering, North University of China, ShanxiTaiyuan030051)

Abstract: Based on the thin wall wet cylinder liner of a heavy-duty diesel engine, calculations are carried out on the three-dimensional temperature field by finite element method (FEM). The results show that the highest temperature of the cylinder liner is 229℃ in the top dead center. Combined with the special thermal boundary condition, the steady-state temperature field of the cylinder liner are calculated and the effect of different cylinder thickness on the thermal load are compared. The importance of involving the thermal load in the analysis cylinder deformation are underlined. All these provides theoretical directions and foundation for cylinder liner design.

Keywords: heavy-duty diesel engine; cylinder liner; temperature field; thermal load

1 概 述

柴油机工作过程中, 气缸套除受螺栓预紧力外还承受周期性反复变化的高温高压气体的作用力及活塞的侧压力^[1], 在这些力的作用下, 气缸套产生径向变形, 极大地影响内燃机的工作性能^[2]。随着柴油机向高速、高负荷方向发展, 气缸盖螺栓预紧力不断增大, 同时为减轻车重、提高吨功率, 机体和气缸盖均使用铸铝合金, 铝合金机体刚度较差, 造成钢制薄壁顶置湿式气缸套在样机的装配与使用过程中常出现变形超差现象, 为解决这一问题必须对缸套的变形机理进行研究^[3]。目前国内外

已经对缸套在机械负荷下的变形规律做了大量的研究, 但对缸套在热负荷及热机耦合条件下的变形规律研究甚少。

本文运用有限元软件 I-DEAS, 采用特定热边界条件仿真得出缸套温度场的分布情况; 在此基础上分析不同壁厚对气缸套热负荷及其变形的影响。

2 气缸套有限元模型的建立

为使计算结果准确, 建立了左侧三缸的有限元模型, 如图 1, 包括气缸盖、气缸套、机体、气缸垫、橡胶密封圈及固定螺栓。为了使分析更接近实际, 还改变以往气缸套底部支撑简化为弹性支撑的

收稿日期: 2009-06-26; 修回日期: 2010-02-22;

作者简介: 尤国栋(1979-), 男, 博士研究生, 研究方向为发动机设计与制造技术, E-mail: ygdhne@163.com。

做法,而建立了橡胶密封圈的有限元模型,如图 2。模型剖分网格后单元总数 337 576 个,节点总数 89 026 个。

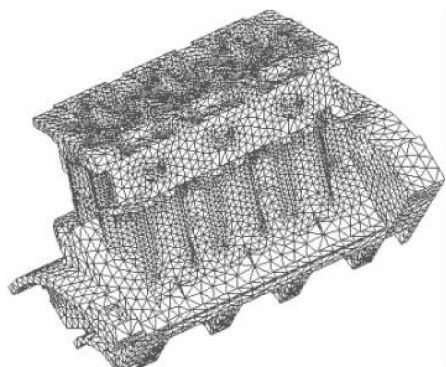


图 1 机体缸套等组合后的整体模型

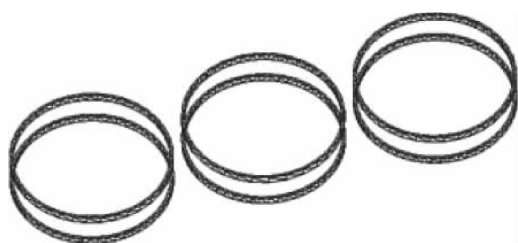


图 2 橡胶密封圈有限元模型

3 气缸套温度场计算

3.1 气缸套换热系数的确定

缸套不同部位与介质或连接件的换热方式不同,所以可根据特定的热边界条件将缸套整体作如图 3 所示的处理^[4-6]。

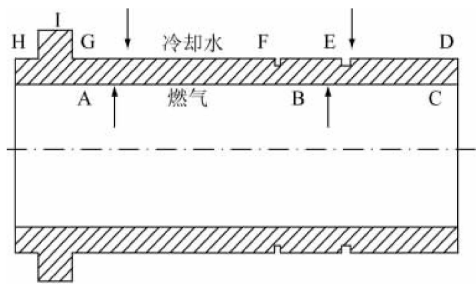


图 3 缸套模型边界条件

1) AB 段(活塞上止点至下止点部分)边界条件。柴油机缸套内表面稳态传热边界条件在轴向高度上有如下分布规律:

$$\alpha_m(h) = \alpha_m(0)(1 + k_1\beta)e^{-\beta/h}$$

$$T_{res}(h) = T_{res}(0)(1 + k_2\beta)e^{-\beta/h}$$

式中: $k_1 = 0.573(S/D)^{0.24}$, $k_2 = 1.45k_1$, $\beta = h/s$ ($0 \leq \beta \leq 1$), h 为距活塞上止点的距离, S 为活塞的行程, D 为缸套的直径, $\alpha_m(h)$ 和 $T_{res}(h)$ 分别对应柴油机工

作循环中燃气平均换热系数 α_m 和平均温度 T_m 。

2) BC 段(下止点活塞顶之下的缸套部分),该段不与燃气接触,换热量很小,采用第三类边界条件,温度取固定值 383 K。

3) EF 段(水套的密封部分),与机体为间隙配合,取换热系数为 $115 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

4) FG 段,与冷却水接触,其换热系数等于冷却水的放热系数,与循环水的流动情况以及气缸套表面的特性有关。为了简化,把流动的冷却水截面看成球状,从无量纲的努谢尔特数 Nu 得:

$$Nu = \frac{\alpha' D_d}{\lambda_f}$$

式中: α' 为气缸套与冷却水间的换热系数; D_d 为水套的当量直径, $D_d = \sqrt{D_1^2 - D_2^2}$, D_1 、 D_2 分别为冷却水腔环行截面的外径和内径; λ_f 为水的导热系数; Nu 为努赛尔数,根据经验公式: $Nu = c Re^n Pr^{1/3}$, 式中: Re 为雷诺数, Pr 为普朗特数,各计算参数如表 1。

表 1 计算冷却水侧换热系数已知参数值

封水部分长度 L/mm	160
雷诺数 Re	96 000
普朗特数 Pr	1.95
C	0.026 6
n	0.80
当量直径 D/mm	140.41
水的导热系数 $\lambda_f/\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.683

代入数据得 $\alpha' = 3 000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; 冷却水温度取 363 K。

5) GI、IH 段及 DC 段,分别根据经验取换热系数为 $116 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 、 $4 652 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 及 $60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

3.2 温度场计算结果及分析

在上述边界条件下,温度场计算结果如图 4 所示。

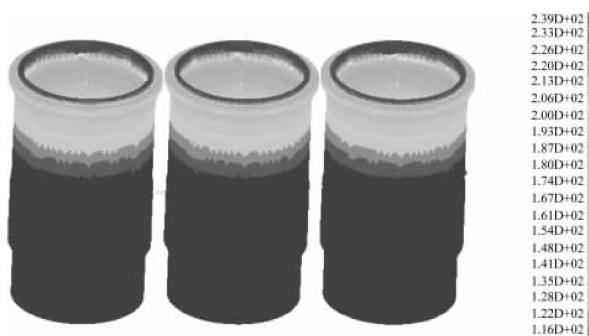


图 4 缸套温度场云图

以中间缸套为主要考察对象, 轴向不同高度选取考察点, 得到温度变化曲线如图5所示。

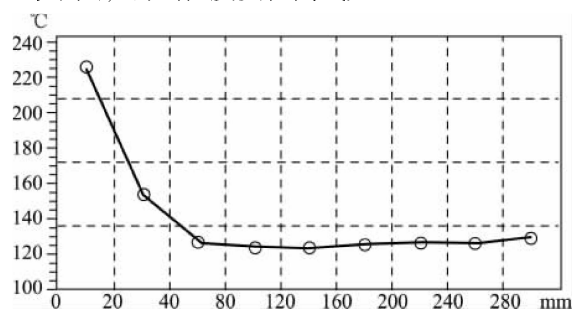


图5 气缸套壁面轴向高度温度变化曲线

分析得到以下结论:

1) 气缸套内壁面的最高温度值出现在其上部区域, 为229℃, 这是因为活塞在上止点位置时, 活塞顶面上的气缸套区域直接暴露在燃烧气体中, 且不处于冷却水套区域, 因此温度值比较高。

2) 气缸套内壁面沿轴向越向下温度越低, 活塞在上止点位置时的区域温度变化比较陡, 因为此区域受燃烧气体影响大, 燃烧气体通过活塞和缸壁传给冷却水的热量, 大部分由此传出。

3) 气缸套对应于活塞在下止点位置时的活塞裙部和其以下的区域, 温度变化比较平缓, 这是由于该区域处于冷却水套区域, 冷却比较均匀, 而且受燃烧气体影响比较小。

4 不同壁厚对缸套壁面温度的影响

在热边界条件不变的前提下, 研究缸套厚度变化对缸套壁面温度的影响。将缸套的水套部分的壁厚从原来的7.5 mm 分别变成6.5 mm 和8.5 mm, 按相同的边界条件计算出燃气的平均温度和缸套的换热系数, 然后计算出温度值。计算结果对比见图6, 局部放大见图7。

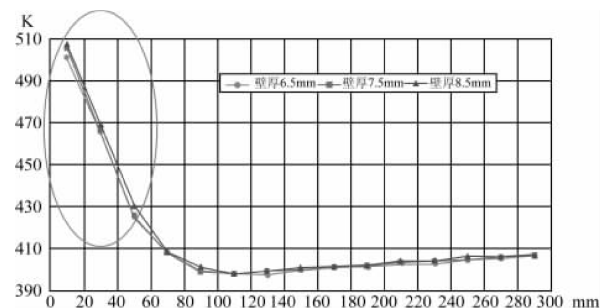


图6 不同壁厚下缸套壁面温度的变化

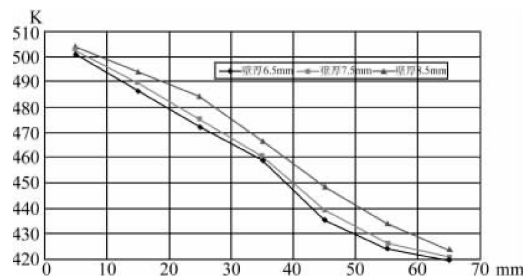


图7 不同壁厚下缸套壁面温度变化局部放大图

经比较发现, 在给定的第三类边界条件下, 随着气缸套厚度的增加, 缸套的热阻增加, 使得冷却水包围部分缸套的内外温差增大, 气缸套内壁节点温度升高, 而且随着厚度的增加, 温度变化更趋明显。

5 结 论

本文研究的重型柴油机缸套温度比较均匀, 最高温度值为229℃, 出现在活塞上止点部位, 温度轴向成梯度分布。随着缸套壁厚的增加, 温度不断升高, 且壁厚每增加1 mm 温度上升3~5℃, 缸套壁厚对缸套壁面温度的影响不大, 对气缸套的强度和刚度以及变形的影响有待研究。通过分析热负荷来研究气缸套的变形规律并进行结构改进是可行的。

参考文献

- [1] Yu Kangzhou, Jiu Genhe, F. G. Hammitt. Cavitation Erosion of Diesel Engine Wet Cylinder Liners [J]. Wear, 1982 (76): 321-328.
- [2] Huang Donghui, Wang Pingsheng, Tian Weizhi, et al. Study on real-time wear measurement of piston-ring and cylinder-bore in an engine using thin layer activation method [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2008 (66): 1073-1078.
- [3] 杨世文, 苏铁熊等. 重载柴油机缸套变形分析及结构参数优化[J]. 内燃机工程, 2003 (2): 25-29.
- [4] 俞小莉. 内燃机气缸体内表面稳态传热边界条件的研究[J]. 内燃机学报, 1987 (4): 324-332.
- [5] 王希珍, 严兆大. 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, 22 (4): 62-65.
- [6] 刘月花, 毕玉华等. 柴油机缸套温度场有限元分析[J]. 拖拉机与农用运输车, 2006, 33 (3): 75-77.