

红外无损检测技术在发动机缸盖热状态监测中的应用

张萍, 欧阳光耀, 赵建华, 吕建明

海军工程大学船舶与动力学院, 武汉 430033

摘要 缸盖热状态的正常与否是保证发动机可靠工作的重要因素之一。本文以某型柴油机缸盖为研究对象, 确定了高、中、低 3 种试验工况, 采用红外测温技术, 检测了实机工作状态下缸盖外表层测点温度随发动机工况的变化规律。提出相对灵敏度的概念, 并结合数值仿真, 确定了发动机缸盖表层温度特征区域。试验和仿真结果表明, 在缸盖结构以及发动机工况一定时, 缸盖的所有传热边界条件也保持一定, 缸盖表层温度可综合反映其整体温度场, 可作为评价其热状态的依据。该研究为实现发动机缸盖热状态的在线监测提供了新的途径, 同时也拓展了红外检测技术的应用领域。

关键词 红外检测; 热状态; 缸盖

中图分类号 TN219, TK124

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.02.07

Infrared Non-destruction Testing Technology Applied to Monitoring Thermal Situation of Engine Cylinder Head

ZHANG Ping, OUYANG Guangyao, ZHAO Jianhua, LU Jianming

College of Naval Architecture and Marine Power, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China

Abstract Whether thermal situation of cylinder head is normal or abnormal is one of important factors for the evaluation of engine's reliability performance. Aiming at a certain engine cylinder head, three testing working conditions were made, which included maximum out power, medium out power, and minimum out power. By infrared temperature detecting technology, the rule of outer surface temperature field of cylinder head changing with engine working conditions was studied. A new concept of relative sensitivity, which is defined as degree of measuring point temperature changing with working conditions, was put forward. Combined with simulation calculation results, characteristic temperature field distribution areas were made certain on outer surface of cylinder head. The results show that temperature simulation values are well matched with temperature experimental values. Under same cylinder head structure and engine working condition, the heat transfer condition is same too. And the thermal situation performance of cylinder head can be described by its outer surface temperature values, which provides a new gist for monitoring thermal situation of cylinder head on-line. Furthermore, applying infrared temperature measurement to engine will have a widely foreground.

Keywords infrared detection; thermal situation; cylinder head

0 引言

发动机缸盖是构成燃烧室的重要组件之一。工作中, 缸内高温高压燃气周期性地冲击缸盖底面, 使得缸盖承受着高的热负荷^[1-2]。在交变热冲击作用下, 缸盖将产生高温蠕变、高

温腐蚀、材料硬度和强度急剧下降等热损伤问题。此外, 缸盖冷却水套以及进、排气道内分别有液体和气体的流动与传热, 使得缸盖内部温度分布不均, 在温度梯度过大的地方, 热负荷产生的热应力将导致缸盖产生热裂而失效。随着柴油机

收稿日期: 2010-06-18; 修回日期: 2010-12-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(51079156); 海军工程大学青年基金项目(HGDJJ08008)

作者简介: 张萍, 博士研究生, 研究方向为热力机械热负荷及冷却系统流动与传热仿真, 电子信箱: carrol1974@sohu.com; 欧阳光耀(通信作者), 教授, 研究方向为热力机械结构性能优化设计及智能控制, 电子信箱: ouyanggy@126.com

值即相对温度作为分析参数。

2.2 试验方案

结合该型柴油机实机运行情况,确定额定转速(1500r/min)下低负荷(工况 1,输出功率 0)、中负荷(工况 2,输出功率 93kW,占额定功率 50%)、高负荷(工况 3,输出功率 186kW,占额定功率 100%)3 种试验工况。

2.3 结果与分析

表 1 给出了上述 3 种工况下,采用红外测温系统测得的缸盖表面测点温度。表 2 给出了各个测点分别在 3 种工况下按温度相对灵敏度的排序值及总排序值。其中,灵敏度值高的排序为 1,随着灵敏度值降低,排序值依次增加。

由表 1 可知,① 在相同转速下,随着负荷的增大,缸盖表

面各个测温点的温度升高;② 在缸盖左侧面的测点,测点 1、2、3 接近缸盖火力面,温度最高,且相对灵敏度也较高。沿着缸盖高度方向向上,各测点距离火力面越远其温度越低,并且温度梯度变化逐渐减小;③ 在缸盖上表面的测点,23 号测点温度最高,22 和 24 号测点温度较高。

由表 2 可知,当发动机从某一稳定工况运行到另一稳定工况时,接近缸盖底板的测点,如 1~9 号测点和缸盖上表面 3 个测点温度相对灵敏度较高,随工况变化明显。例如,当发动机从额定转速下 50% 输出负荷工况加油运行到额定转速下 100% 输出负荷工况时,1~9 号测点温度升高,最大升温幅度为 12.1K,上表面测点温度升高最大幅度为 35K。上述 12 个测点可作为缸盖表面温度检测的特征点。

表 1 3 种工况缸盖表面测点温度(单位:K)

Table 1 Temperature values of surfaces points on cylinder head at three different working conditions (unit: K)

工况	1	2	3	工况	1	2	3
测点 1	344.65	361.75	369.25	测点 13	334.75	343.55	350.05
测点 2	347.55	366.75	374.65	测点 14	333.35	342.45	348.65
测点 3	345.65	364.95	377.05	测点 15	329.95	342.05	348.75
测点 4	343.35	357.75	366.55	测点 16	334.45	345.25	348.55
测点 5	344.45	360.25	370.75	测点 17	333.05	341.25	347.25
测点 6	342.45	359.65	368.75	测点 18	332.05	340.75	346.85
测点 7	339.95	354.65	362.05	测点 19	333.45	339.25	347.35
测点 8	338.35	351.65	361.85	测点 20	332.25	340.65	346.25
测点 9	339.85	355.35	367.45	测点 21	331.45	340.15	346.15
测点 10	335.65	345.65	354.45	测点 22	333.85	345.95	357.95
测点 11	335.15	343.35	353.75	测点 23	338.65	373.05	408.05
测点 12	332.35	345.65	365.75	测点 24	339.45	350.55	364.05

表 2 各测量点温度排序

Table 2 Ordering table of temperature values of points

工况	1	2	3	求和	总排序	工况	1	2	3	求和	总排序
测点 1	3	4	6	13	4	测点 13	15	15	16	46	14
测点 2	1	2	3	6	1	测点 14	18	17	18	53	16
测点 3	2	3	2	7	2	测点 15	24	18	17	59	17
测点 4	5	7	8	20	7	测点 16	16	14	19	49	15
测点 5	4	5	5	14	5	测点 17	20	19	21	60	18
测点 6	6	6	4	16	6	测点 18	22	20	22	64	20
测点 7	7	9	11	27	9	测点 19	17	23	20	60	18
测点 8	11	10	12	33	11	测点 20	19	21	23	63	19
测点 9	8	8	7	22	8	测点 21	23	22	24	69	21
测点 10	12	13	14	39	12	测点 22	14	12	13	39	12
测点 11	13	16	15	46	14	测点 23	10	1	1	12	3
测点 12	21	13	9	43	13	测点 24	9	11	10	30	10

工作中,当柴油机负荷增大时,喷入缸内的燃油增加,参与燃烧的燃油量增多,因此由缸内传给缸盖的热量也加大,最终导致缸盖表面各测温点的温度随负荷增大而升高。该型柴油机缸盖底板厚度为 12.9mm,在此区域内,对应的缸盖外

表面测点为 1~9 号,这些测点的温度受缸内燃烧温度影响大,沿着缸盖传热路径,温度梯度呈现逐渐降低的趋势。10~21 号测点位于缸盖底板上方,受缸内冷却水对流换热影响大,当柴油机在某一工况稳定运行时,缸盖内冷却水的流动

与传热也近似为一稳态过程,因此该区域内测点温度变化不明显,即沿缸盖高度方向各测点温度接近,温度梯度小。23号测点位于缸盖顶部排气道附近,受排气道内高温废气的影 响大(废气温度可达 873K),因此该测点温度高。其他两测点位于缸盖螺栓上,受其传热影响,温度也较高。

3 缸盖表层温度场特征区域数值仿真

为了进一步验证缸盖表层温度随发动机工况的变化规律,基于 AVL FIRE 软件仿真计算了额定工况以及 80% 工况下该型柴油机缸盖三维温度分布^[8],重点研究了缸盖底板对

应的外表面区域温度随工况的变化情况。图 6 为缸盖底板对应外表面的单元网格图。结合缸盖传热特点以及上述实验结果,选取了 5 个特征区域,图中蓝色为 1# 特征区域,黄色为 2# 特征区域,黑色为 3# 特征区域,紫色为 4# 特征区域,红色为 5# 特征区域。图 7 给出了额定工况及 80% 工况下,5 个特征区域温度的最高值。由图可知,特征区域的最高温度随工况变化明显。图 8 给出了额定工况及 80% 工况下外表面 4# 特征区域的温度分布图。表 3 给出了两种工况下特征表面最高温度值。当发动机向高负载工况运行时,各特征区域温度最高值均升高,最大升高幅度为 3.1K。

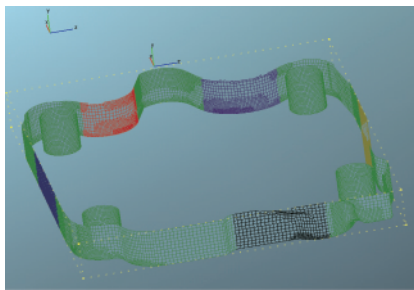


图 6 缸盖底板外表面网格图

Fig. 6 Grids of outer surface on motherboard of cylinder head

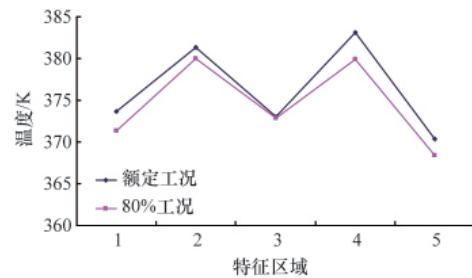
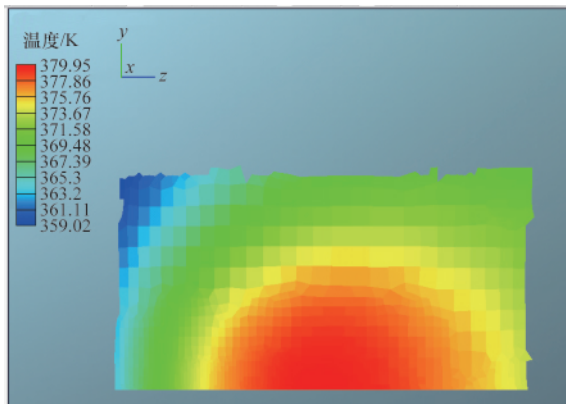


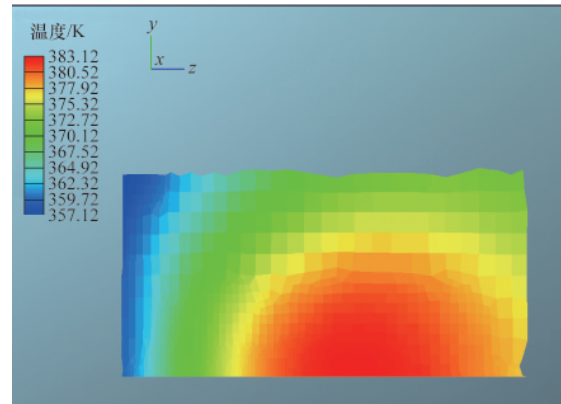
图 7 两种工况下特征区域的表面最高温度值曲线

Fig. 7 Maximum temperature values curve at rating and 80% output power working condition



(a) 额定工况

(a) Rating working condition



(b) 80% 工况

(b) 80% output power working condition

图 8 4# 特征表面处的温度分布

Fig. 8 4# surface temperature distribution

表 3 两种工况下特征区域表面温度最高值(单位:K)
Table 3 Maximum temperature values at rating and 80% output power working conditions (unit: K)

工况	1# 表面	2# 表面	3# 表面	4# 表面	5# 表面
额定工况	373.7	381.3	373.0	383.1	370.3
80% 工况	371.3	380.0	372.9	380.0	368.4

4 结论

针对发动机缸盖实机工作时热状态较难准确在线监测的问题,采用红外测温技术,对工作状态下发动机缸盖表层温度场进行检测,确定了表层温度特征检测点。应用仿真软件计算了缸盖外表面特征区域温度场,分析了特征区域温度场随发动机工况的变化规律,研究结果表明:

(1) 在缸盖结构以及所有传热边界条件一定的情况下,

实验及仿真计算均表明可由缸盖表层温度综合反映发动机缸盖整体热状态;

(2) 采用红外测温技术方便、可靠,该方法的应用为实现发动机缸盖热状态的在线监测提供了新的途径,同时也拓展了红外检测技术的应用领域;

此外,在今后工作中,可进行诸如① 正常结构以及故障缸盖的温度场实验,比较缸盖结构的改变对其表层温度场的影响;② 研究不同工况下,缸盖传热边界对缸盖整体温度场的影响。

参考文献 (References)

- [1] 姚仲鹏,王新国. 车辆冷却传热[M]. 北京:北京理工大学出版社,2001.
Yao Zhongpeng, Wang Xinguo. Vehicle cooling and heat transfer [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2001.
- [2] 陈大荣. 船舶柴油机设计[M]. 北京:国防工业出版社,1980.
Chen Darong. Vessel diesel engine designing [M]. Beijing: National Defence Industrial Press, 1980.
- [3] 戴景民,汪子君. 红外热成像无损检测技术及其应用现状 [J]. 自动化技术与应用,2007,26(1): 35-41.
Dai Jingmin, Wang Zijun. Techniques of Automation and Applications,

2007, 26(1): 35-41.

- [4] 王艳武,杨立,孙丰瑞. 材料内部热阻热容型缺陷的红外检测模拟研究[J]. 激光与红外,2006,36(8): 657-660.
Wang Yanwu, Yang Li, Sun Fengrui. Laser & Infrared, 2006, 36(8): 657-660.
- [5] 张萍,童亚拉,欧阳光耀,等. 基于红外成像技术的缸盖热裂纹探测方法[J]. 激光与光电子学进展,2010,47(11): 111103.
Zhang Ping, Tong Yala, Ouyang Guangyao, et al. Laser & Optoelectronics Progress, 2010, 47(11): 111103.
- [6] 俞佐平,陆煜. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社,1995.
Yu Zuoping, Lu Yu. Heat transfer [M]. Beijing: Higher Education Press, 1995.
- [7] 张萍,欧阳光耀,刘镇,等. 柴油机缸盖表层温度特性的测试研究[J]. 柴油机,2008,30(6): 39-42.
Zhang Ping, Ouyang Guangyao, Liu Zhen, et al. Diesel Engine, 2008, 30(6): 39-42.
- [8] Zhang P, Ouyang G, Bai Lufeng, et al. Study on solid-fluid coupled heat transfer simulation of cylinder head of high power density diesel engine [C]//2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Vol III, Changsha, 11-12, May, 2010: 542-544.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·

“第十六届木材、纤维、制浆化学 国际会议”征文

中国造纸学会将于2011年6月8—10日在天津市召开“第十六届木材、纤维、制浆化学国际会议”。

征文内容:Chemistry of wood and non-wood species;Chemistry and structure analysis of the fiber cell wall and its components;Lignin biosynthesis and chemistry;Genetic engineering;Chemistry of biomaterials;Pulping methods associated with wood bio-refinery;New pulping and bleaching methods and processes;Analytical methods on wood, fibers, pulping chemistry and bio-refinery;Enzyme assisted pulping and bleaching technologies;Cellulosic ethanol and biofuels;Lignocellulosic-based biomaterial/composites;Fiber-related Nanotechnology;Nano- and micro-crystalline cellulose and applications;Characteristics and utilization of secondary fibers;Papermaking chemistry related to the using of high yield pulps and secondary fibers;Effluent treatment/environmental remedy in pulping and bleaching processes.

全文截止时间:2011年1月31日。

联系人:张瑞霞,电子信箱:iswfpc@163.com;电话:022-60602510;会议网站:www.iswfpc2011.org。



“第十届全国信息隐藏暨多媒体信息 安全学术大会(CIHW)”征文

中国电子学会将于2012年3月在北京召开“第十届全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术大会(CIHW)”。

征文内容:信息隐藏理论与模型、软件保护;隐密术与隐密分析、多媒体数据检索及认证;数字水印、无线通信安全;网络信息安全、数据传输安全;数字取证、信息内容安全;密码学、数字版权管理。

会议网址:www.leaderstudio.net。

