

中速柴油机燃用低质混合油的试验研究

刘 鑫, 冯立岩, 杜宝国, 隆武强

(大连理工大学能源与动力学院, 辽宁大连 116023)

摘 要: 在一台中速柴油机上进行了轻柴油和低质混合油的动力性能试验, 通过对缸内压力曲线的分析, 对比研究了轻柴油和低质混合油的缸内燃烧情况; 比较了两种喷油嘴参数对应的柴油机动力性能; 研究了燃油温度对低质混合油动力性能的影响。结果表明, 采用原机喷油嘴, 与燃用轻柴油相比, 燃用低质混合油时, 在中低负荷条件下, 燃烧压升率变大, 最高燃烧压力升高; 高负荷条件下, 缸内最高燃烧压力有所降低; 采用喷孔数及喷孔直径均增加的新喷油嘴后, 在各个工况下燃用低质混合油时的最高燃烧压力比燃用轻柴油时的高; 随燃油温度升高, 缸内燃烧压力升高, 但燃油温度升高到一定限值后, 动力性能下降。

关键词: 中速柴油机; 低质混合油; 燃烧; 喷油嘴

中图分类号: TK421.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2010)05-0008-05

The Experiment Research on Medium Speed Diesel Engine Using Heavy Fuel Oil

Liu Xin, Feng Liyan, Du Baoguo, Long Wuqiang

(Liaoning Province Key Laboratory of Internal Combustion Engine,
Dalian University of Technology, Liaoning Dalian 116023)

Abstract: Dynamic performance tests were carried out on a medium speed diesel engine, using light diesel fuel and heavy fuel oil. Cylinder pressure was measured to evaluate the combustion characteristics. The engine's dynamic performance corresponding to the parameters of two different injection nozzle were compared. The influence of fuel temperature on the dynamic performance of heavy fuel oil was studied. Results show that: if the nozzle is kept unchanged, using of heavy fuel oil causes higher pressure increasing rate and increased peak pressure under low and medium load conditions; on the contrary, under high load condition, peak pressure decreases; compared with light diesel fuel, the peak pressure gets higher for heavy fuel oil after increasing the nozzle hole number and enlarging the hole diameter; fuel temperature also has great impact on combustion performance of heavy fuel oil, and there is an optimal fuel temperature; with the increasing of fuel temperature, the combustion pressure gets higher, however, when the fuel temperature reach a certain limit, the dynamic performance of the engine turns to be worse.

Keywords: medium speed diesel engine; heavy fuel oil; combustion; injection nozzle

1 概 述

近年来, 石油及成品油价格不断上涨, 导致柴

油机运行成本大幅增加。为降低产品的运行成本以拓宽市场, 对某型号中速柴油机进行改进, 改进后的柴油机可燃用低质混合油。

收稿日期: 2010-03-02; 修回日期: 2010-07-02

基金项目: 辽宁省教育厅高校重点实验室资助项目。

作者简介: 刘鑫(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为内燃机缸内工作过程与排放, E-mail: sanjinliu@163.com。

为了研究燃用低质混合油之后柴油机动力性能的变化情况, 分别在该型号柴油机上进行低质混合油与轻柴油的对比燃烧试验。通过比较缸内压力曲线的变化, 分析燃用低质混合油对柴油机燃烧特性及经济性的影响。研究中对比分析了不同喷孔数及喷孔直径对柴油机动力性能的影响以及不同燃油温度对低质混合油缸内动力性能的影响。

试验所用两种燃油分别是 0#轻柴油和 4#燃料油。后者是一种将低质燃料油与轻柴油按一定比例调和而成的燃料油, 运动黏度为 $22\text{ mm}^2/\text{s}$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$), 为叙述方便, 在本文中简称为低质混合油。两种燃油物化特性参数如表 1 所示。

表 1 燃油品质指标对比

项 目	0 号轻柴油	4 号燃料油
十六烷值	≥ 50	≤ 50
运动黏度/ (mm^2/s)	$\leq 8.0(20\text{ }^{\circ}\text{C})$	$\leq 22(40\text{ }^{\circ}\text{C})$
密度/ (g/cm^3)	0.835	0.890
低热值/ $\text{Hu}/(\text{kJ}/\text{kg})$	42 496	42 000
闪点(闭口)/ $^{\circ}\text{C}$	≥ 55	≥ 55
灰分/ $\%$	≤ 0.025	≤ 0.10
硫含量/ $\%$	≤ 0.2	≤ 0.4
机械杂质/ $\%$	—	≤ 0.02

由于低质混合油在常温下黏度较大, 不能直接使用, 因而为降低黏度, 试验中的低质混合油被预先加热到 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

2 试验方案

首先, 进行原机燃烧轻柴油、低质混合油的对比试验, 测取缸内压力和油管压力曲线, 比较两种燃料的缸内动力性能。

其次, 改变喷油嘴参数, 进行对比燃烧试验, 测得缸内压力和油压曲线, 比较不同喷孔参数对柴油机动力性能的影响。

最后, 改变燃油温度, 进行低质混合油燃烧试验, 分别测得燃油温度为 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的缸内压力曲线, 分析燃油温度对低质混合油缸内燃烧的影响。

缸内压力曲线通过 AVL-Indiset620 燃烧分析仪采集得到, 试验工况如表 2 所示。其中, 工况 3 为标定工况点。

表 2 试验工况点

	工况 1	工况 2	工况 3
转速/ (r/min)	800	800	1 000
功率/ kW	1 500	1 700	3 100

试验柴油机主要参数如表 3 所示。

表 3 试验柴油机原机主要参数

柴油机缸数	16
缸径/ mm	240
喷油嘴孔数	8
压缩比	12.4
供油提前角/ $^{\circ}\text{CA}$	20.5 ± 1.5
标定功率/ kW	3 100
标定转速/ (r/min)	1 000

为方便分析, 将不同种类燃油和不同参数油嘴进行编号, 如表 4 所示。

表 4 试验参数编号

燃油种类	轻柴油	低质混合油
编号	燃油 L	燃油 H
喷油嘴参数	$8 \times d_n\text{ mm}$	$9 \times (d_n + 0.01)\text{ mm}$
编号	油嘴 A	油嘴 B

试验所用的仪器设备布置情况如图 1 所示。

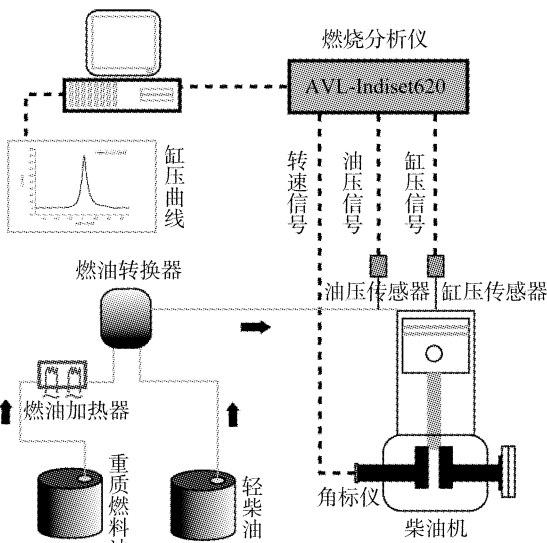


图 1 试验仪器的连接

3 结果与分析

3.1 燃油种类对柴油机动力性能的影响

对原机(油嘴参数为 $8 \times d_n\text{ mm}$)进行两种燃油的燃烧对比试验, 测得三个工况点下的缸内压力曲线如图 2 所示。

图 2 显示, 在部分负荷工况点(工况 1、工况 2), 燃用低质混合油时的缸内最高燃烧压力峰值均高于燃用轻柴油时的情况。

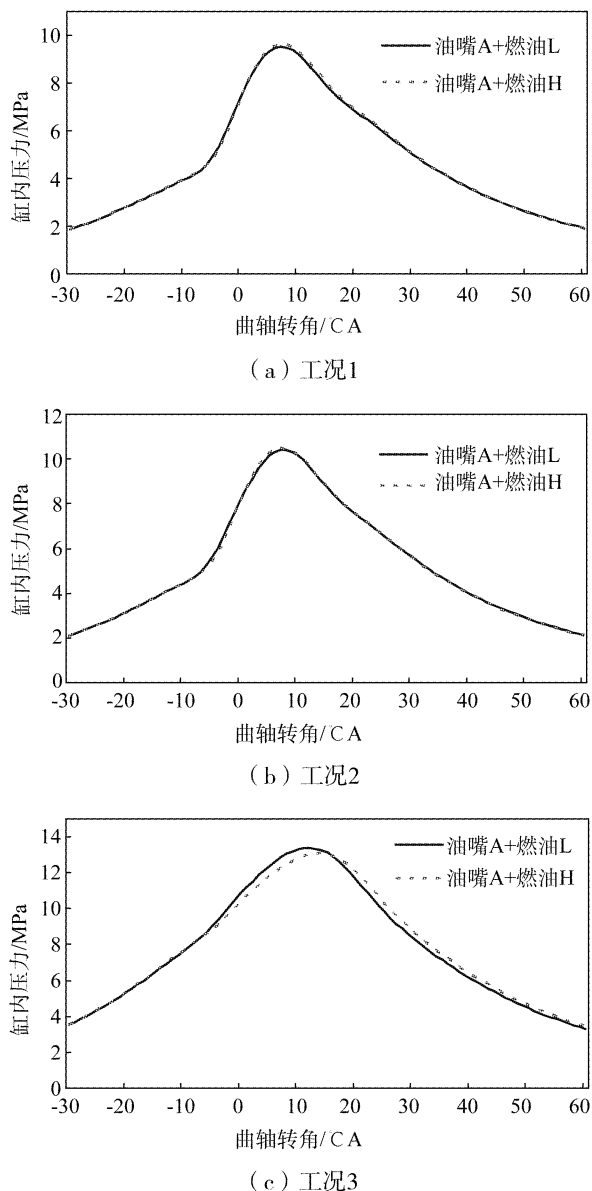


图2 原机8孔油嘴不同燃料对应的缸内压力曲线对比

然而在标定工况下,低质混合油和轻柴油的动力性能对比却呈不同变化趋势。在该工况点,低质混合油的缸内最高压力时间明显滞后,比轻柴油的晚 3°CA ;缸内最高燃烧压力下降 0.21 MPa ,压力升高率也有所降低。

以上结果表明,在低工况条件下,由于缸内压力和温度相对较低,滞燃期对燃油缸内动力性能的影响较为突出。低质混合油十六烷值低,滞燃期较长,引起最高燃烧压力峰值比轻柴油稍高^[1]。但在高工况条件下,由于缸内压力温度较高,滞燃期明显缩短,其影响比重降低。此时低质混合油的高黏度特性成为影响动力性能的主导因素。由于低质混合油黏度较大,原机油嘴的喷射性能受到较大影响^[2],雾化不良,低质混合油与空气混合速率相对较低,扩散燃烧放热速率降低,最高燃烧压力峰

值下降,动力性能下降。

为了进一步分析燃用低质混合油对柴油机性能的影响,分别测定了燃用两种燃料时柴油机高压油管压力峰值,计算得到各工况下高压油管压力峰值相对于标定工况下燃用轻柴油并安装原机油嘴时高压油管压力峰值的相对值,如图3所示。

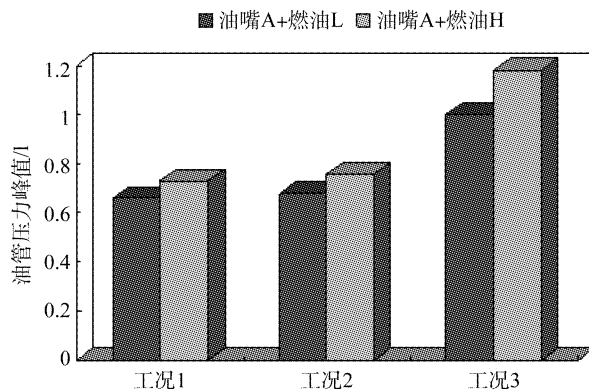


图3 8孔油嘴燃用不同燃料高压油管压力峰值相对值对比

图3显示,燃用低质混合油时,在各工况条件下,高压油管压力峰值均有明显增加,标定工况下油管压力峰值相差最大。说明低质混合油由于其密度和黏度相对轻柴油较大,因此流动性较差,导致高压油管压力增加,供油系统负荷增加,高工况条件下影响更加突出,高压油管压力峰值升高了 18.4% 。较高的高压油管压力会影响柴油机的可靠性。

因此,应考虑调整喷油系统结构参数,以适应低质混合油的高黏度特性,降低高压油管压力。

3.2 油嘴参数对柴油机动力性能的影响

从上文分析可知,在燃用低质混合油时,如直接应用原机喷油系统,则柴油机在高负荷工况下的动力性能下降,并且高压油管压力升高,影响供油系统的可靠性。因此在开发中对喷油系统做了相应调整,用9孔油嘴($9 \times (d_n + 0.01)\text{ mm}$)替换原机的8孔油嘴($8 \times d_n\text{ mm}$),增加油嘴总的流通面积,以提高低质混合油的喷油速率,改善燃烧,提高动力性能。图4为三个工况点下油嘴参数改变前后燃用低质混合油时的缸内压力曲线对比。

如图所示,改用9孔喷油嘴后,在高负荷工况点燃用低质混合油缸内最高燃烧压力峰值显著提高。说明由于总流通面积的增加,可以完成燃油的及时喷射,使喷油持续期缩短,减小了低质混合油较高的黏度对燃油喷射产生的不利影响。

图5为原机油嘴燃用轻柴油和更换9孔油嘴后燃用低质混合油时缸内燃烧压力曲线对比情况。

通过对比可知,更换油嘴后,低质混合油的缸

内燃烧压力峰值高于原机油嘴燃用轻柴油时的燃烧压力峰值。可见, 在标定工况点, 油嘴总流通面积增加之后, 随着喷油速率提高, 喷射性能得到改善, 低质混合油的缸内动力性能有所提高, 原机的动力性能得到恢复。

以上分析证明: 增加油嘴总流通面积可以克服低质混合油的高黏度所造成的在高工况下喷油速率不足所导致的动力性能下降的问题。

工况 1 和工况 2 燃烧压力曲线显示, 采用 9 孔油嘴后, 燃烧压力峰值比使用原机喷油嘴时压力峰值仅分别提高 0.062 MPa 和 0.14 MPa。这说明低工况下, 油嘴总流通面积增加, 对低质混合油缸内动力性能影响并不明显。

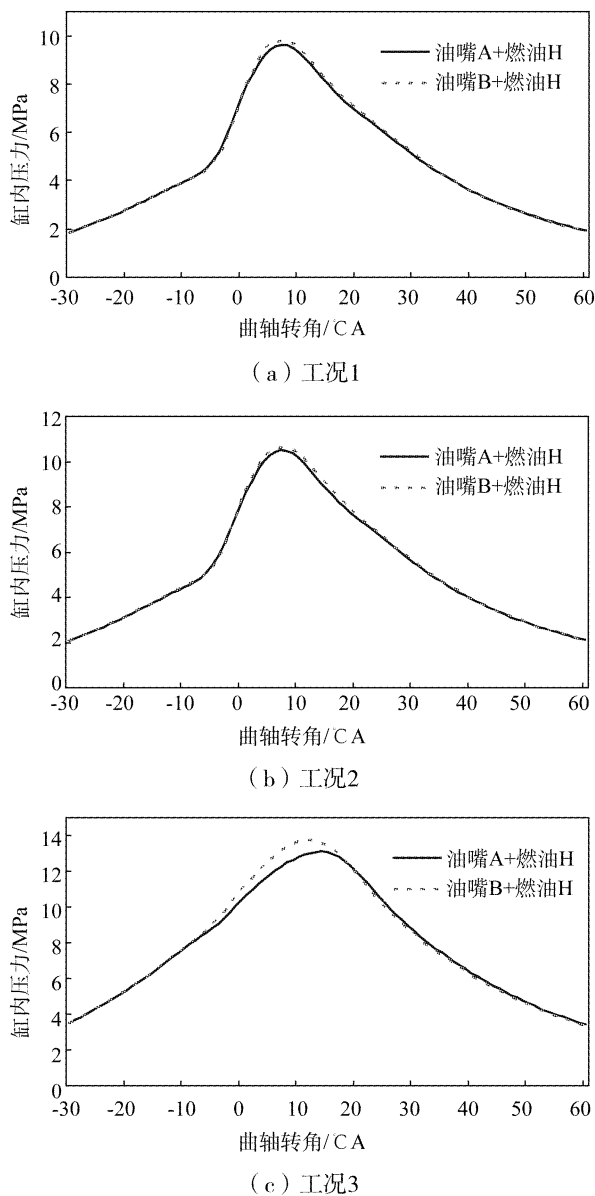


图4 燃用低质混合油时两种油嘴对应的缸内压力曲线对比

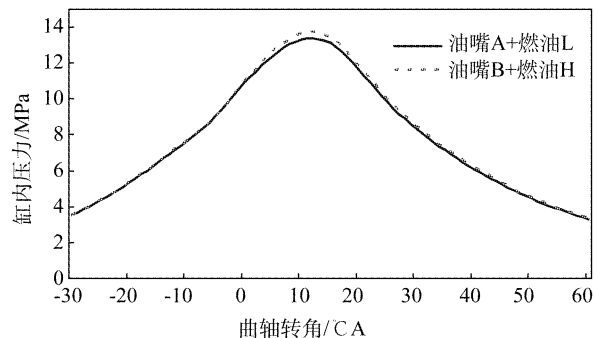


图5 标定工况下原机 8 孔油嘴燃用轻柴油与 9 孔油嘴燃用低质混合油的缸内压力曲线对比

图 6 显示了燃用低质混合油时两种油嘴对应的高压油管压力峰值相对于标定工况下燃用轻柴油并安装原机油嘴时高压油管压力峰值的相对值对比。如图所示, 油嘴总流通面积增加后, 高压油管压力峰值降低, 标定工况下下降幅度最大, 可以改善低质混合油黏度较大对供油系统造成的不利影响。

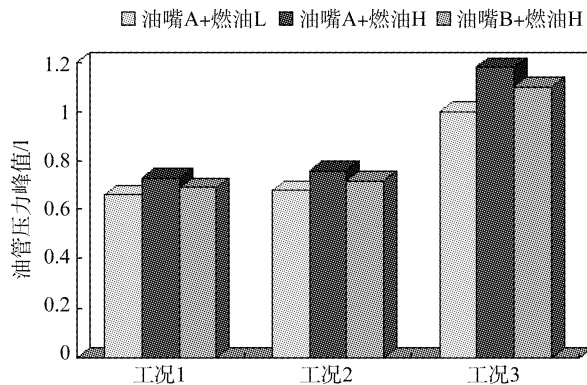


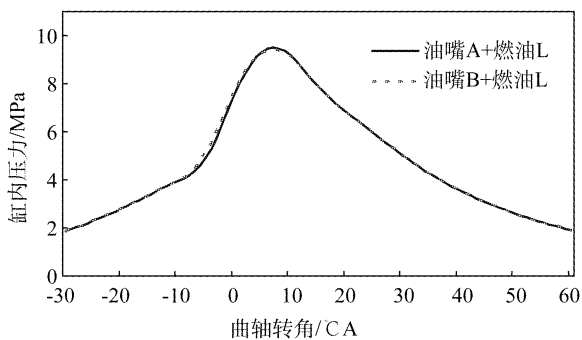
图6 燃料为轻柴油、低质混合油时两种油嘴对应的高压油管压力峰值相对值对比

以上结果表明, 改用 9 孔油嘴后, 柴油机在燃用低质混合油时动力性能与原机相比得到改善。油嘴参数调整之后, 高压油管压力得到降低, 从而提高了喷油系统的可靠性。

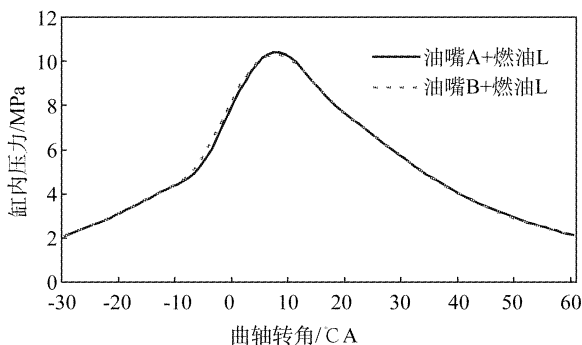
但是燃用轻柴油时, 使用 9 孔油嘴时的柴油机动力性能不如 8 孔油嘴。图 7 显示了两种油嘴燃用轻柴油时对应的缸内压力曲线。

如图所示, 最高燃烧压力峰值在各工况点均有降低, 标定工况压力峰值下降最大, 降低 0.222 MPa。以上分析说明油嘴参数改变后, 燃用轻柴油的柴油机动力性能有所下降。

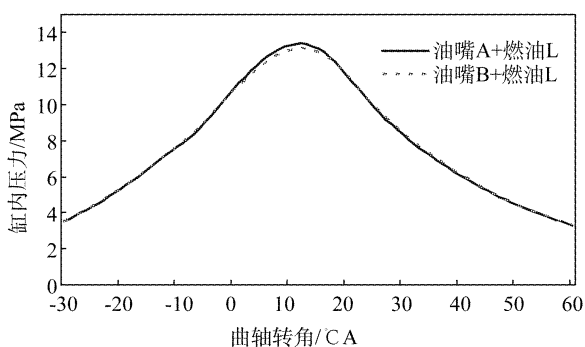
分析原因, 由于 9 孔油嘴喷孔直径大于 8 孔油嘴 (孔径增加 0.01 mm), 从而使得喷射过程中喷雾油滴索特平均直径 (SMD) 变大, 不利于雾化, 进而对燃烧过程产生不利影响, 导致缸内燃烧放热阶段 (尤其在扩散燃烧放热阶段) 放热率下降^[3], 最后使得最高燃烧压力峰值降低。



(a) 工况1



(b) 工况2



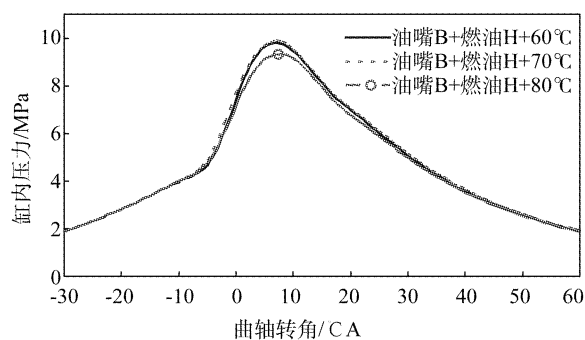
(c) 工况3

图7 燃料同为轻柴油时两种油嘴对应的缸内压力曲线比较

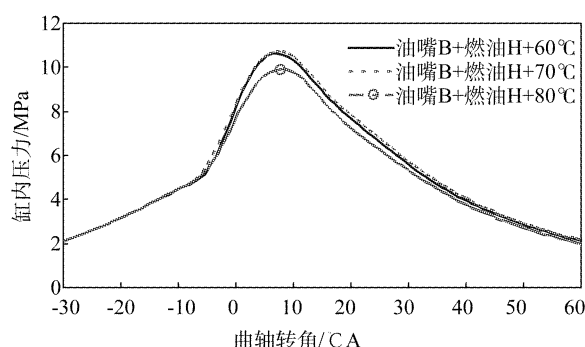
以上结果表明,为保证燃烧低质混合油时柴油机的动力性能与原机燃用轻柴油的动力性能在相同水平上,需要改变喷油嘴结构参数,增大油嘴总流通面积。然而在燃用轻柴油时,新油嘴的动力性能不如原机油嘴。但由于改装后的柴油机以燃用低质混合油为主,因此燃用轻柴油时柴油机动力性能的略微下降不会影响柴油机的综合经济性。

3.3 燃油温度对低质混合油动力性能的影响

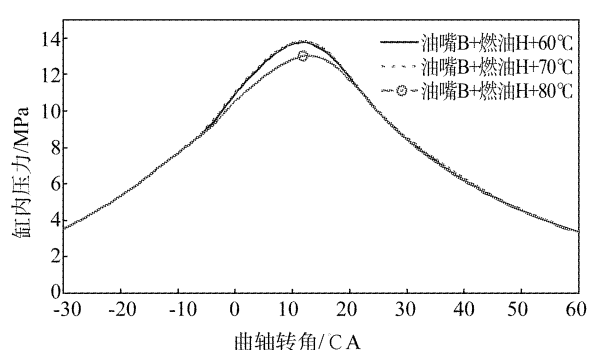
燃油温度是影响燃料黏度的主要因素,进而影响燃油的喷射和雾化质量^[4]。为了详细考察燃油温度对低质混合油动力性能的影响,并确定最佳燃油温度,对三个燃油温度条件下低质混合油的缸内压力曲线分别进行了测量,结果如图8所示。



(a) 工况1



(b) 工况2



(c) 工况3

图8 燃料同为低质混合油时不同燃油温度下缸内压力曲线

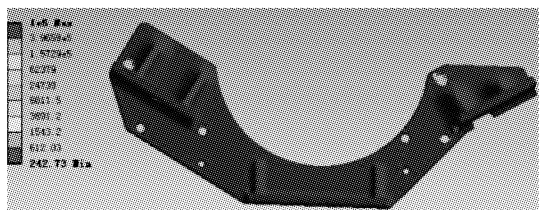
图8显示,燃油温度为70℃时,燃烧始点比燃油温度为60℃时提前,说明随燃油温度升高,滞燃期缩短了。滞燃期缩短,引起燃烧初始阶段可燃预混合气量减少,但是缸内最高燃烧压力峰值并没有随之降低,这是因为燃油温度适当提高使得低质混合油黏度降低,流动性好,燃油喷雾更加细化,从而使燃烧更加充分,燃烧峰值压力有所升高。

然而当燃油温度升高到80℃时,每个工况点下的峰值压力均下降至少1.0 MPa,这说明在燃油温度升高到一定程度后,由于运动黏度进一步降低,燃油喷射贯穿距过小,导致空气利用率降低,燃烧发生恶化。

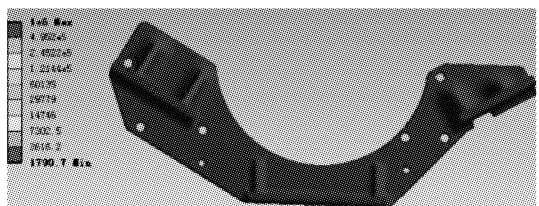
(下转第30页)



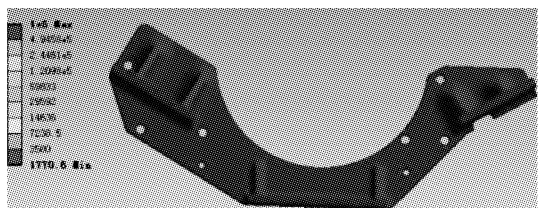
(a) 向上+6 g



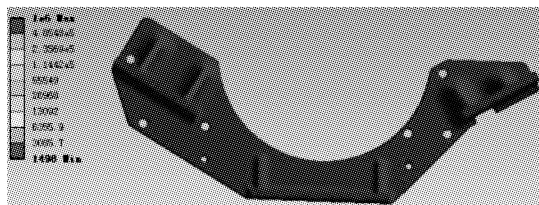
(b) 向下-4 g



(c) 向前+4 g



(d) 向后-4 g



(e) 向左+2 g



(f) 向下-2 g

图 5 不同方向不同载荷下前支撑寿命分布

4 结 论

(1) 本文以某型号重载发动机前支撑为例, 给出了前支撑模型建立的方法, 为后续分析奠定了基础, 也为其它支撑的设计提供了参考。

(2) 采用 ANSYS 软件进行有限元计算, 得到了前支撑的应力分布和疲劳寿命情况, 前支撑与发动机和整车连接处应力较大, 远离连接处应力逐渐减小。当发动机向下颠簸加速度为 6g 时, 前支撑和整车与连接螺栓孔处的应力分布最为恶劣。

(3) 本文所选取的边界条件和研究方法, 包括边界条件和路况加载载荷具有较好的通用性, 有一定的实际指导意义。

参考文献

- [1] Pinelli, J. L., Komatsu. Report, Cummins technical report JEP1-90015[R]. 1990.
- [2] Spotts, M. F., Design of machine elements[C], 4th Ed., Prentice Hall Publishers, Englewood Cliffs, NJ, 1971.
- [3] 陈家瑞. 汽车构造[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.

(上接第 12 页)

4 结 论

(1) 燃用低质混合油时, 由于黏度影响, 造成燃油喷射速率降低, 影响缸内燃烧, 导致原机动力性能下降。为了保持柴油机的动力性能, 需要调整喷油系统, 改变油嘴参数。

适当加大油嘴总流通面积, 一方面可以弥补黏度过大所造成的动力性能的损失, 另一方面, 增加油嘴总流通面积可降低高压油管压力, 提高柴油机喷油可靠性能。

(2) 燃油温度升高, 可以使重油黏度降低, 从而使雾化更加充分, 动力性能改善。然而当燃油温度过高时, 粘度进一步下降, 影响油气混合, 缸内爆发压力急剧降低, 动力性能恶化。所以燃油温度

应控制在合适的范围内。

通过本文研究可知, 燃油温度控制在 70℃ 左右可在提高低质混合油燃烧效率的同时避免缸内燃烧恶化。

参考文献

- [1] 岳丹婷, 段树林. 柴油机燃用低十六烷值柴油能力的探讨[J]. 大连海事大学学报, 1997, 23(04): 81-84.
- [2] 肖洪群, 李玉平. 浅谈船舶燃用劣质油的管理[J]. 航海技术, 2000(02): 52-54.
- [3] R. Payri, F. J. Salvador, J. Gimeno, J. de la Morena. Effects of nozzle geometry on direct injection diesel engine combustion process[J]. Applied Thermal Engineering, 29(2009): 2051-2060.
- [4] 何学良, 李疏松. 内燃机燃烧学[M]. 北京:机械工业出版社, 1990.