

某型柴油机喷油提前角对缸内燃烧影响的研究

张永洋¹, 李 京²

(1. 海军装备部装备采购中心, 北京 100071; 2. 海军驻兴平地区军事代表室, 陕西 兴平 713105)

摘 要: 采用 AVL631 燃烧分析仪和 AVL i60 排放测试系统对某型船用柴油机不同提前角下的缸内燃烧压力、排气烟度、NO_x 排放、油耗数据进行采集, 并对采集到的数据进行分析。总结出不同喷油提前角对该型柴油机燃烧性能的影响, 为该机型的后续改进提供依据。

关键词: 柴油机; 喷油提前角; 缸内燃烧

中图分类号: TK423.8⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4357(2015)06-0008-03

The Influence of a Diesel Engine's Injection Advance Angle on In-cylinder Combustion

Zhang Yongyang¹, Li Jing²

(1. Equipment Purchasing Center, Naval Equipment Department, Beijing 100071;

2. Naval Deputy Office of Xingping District, Shanxi Xingping 713105)

Abstract: AVL631 combustion analyzer and AVL i60 emission test system were used to collect the in-cylinder combustion pressure, exhaust smoke intensity, NO_x emission, as well as fuel consumption data. Then, the collected data were analyzed, and the influence of the injection advance angle on the combustion performance of this type of diesel engine was concluded, which offers reference for the future improvement of this engine type.

Key words: diesel engine; injection advance angle; in-cylinder combustion

0 引 言

喷油提前角是柴油机的一个重要参数, 影响着柴油机的燃烧性能、经济性能以及排放性能。喷油提前角过大, 会导致燃烧过早发生, 柴油机缸内压力升高率过大, 致使柴油机工作粗暴。喷油提前角过小, 会导致燃烧效率低下, 致使柴油机后燃严重, 排气温度升高, 加大了柴油机的热负荷^[1]。

通过采集柴油机不同提前角下的缸内燃烧压力、排气烟度、NO_x 排放、油耗数据, 并进行分析, 总结不同喷油提前角对燃烧性能的影响, 可为柴油机的改进提供帮助。

1 试验设备及主要技术参数

试验设备: (1) AVL631 燃烧分析仪。主要用于柴油机台架标准稳态燃烧分析、燃烧热力学计算、爆震分析、燃烧噪声分析、压力升高率分析、瞬时放热率和累计放热率分析等, 得到峰值压力、压力升高率、燃烧重心、燃烧持续期、平均有效压力、爆震强度、爆震峰值、爆震频率、燃烧温度、喷油始点和终点、喷射持续期等柴油机燃烧特征参数。(2) AVL i60 排放测试系统。主要用于对 CO、HC、NO_x 和微粒等排放污染物进行监测。

柴油机主要技术参数见表 1。

2 试验过程

使用 AVL631 燃烧分析仪对该型柴油机缸内燃烧压力进行测试。压力传感器采用 AVL 公司的 GU21C-5156, 灵敏度 $365.2 \text{ (pc} \cdot \text{MPa}^{-1})$, 传感器安装位置见图 1。

表 1 柴油机主要技术参数

型式	直列、四冲程、水冷、涡轮增压中冷
缸径 × 冲程/ (mm × mm)	128/140
单缸排量/L	1.8
额定功率/额定转速/ kW/(r · min ⁻¹)	273 / 1 500
喷油提前角/(°)	11、18、26、30

试验时依次将该型柴油机的喷油提前角调至 11° 、 18° 、 26° 、 30° , 完成缸内燃烧压力、排气烟度及 NO_x 排放的测试。对测试结果进行处理, 得到其最大燃烧压力、放热率曲线、燃烧始点、燃烧末点、燃烧区间、排气烟度、 NO_x 排放、油耗等数据, 并对数据进行分析。

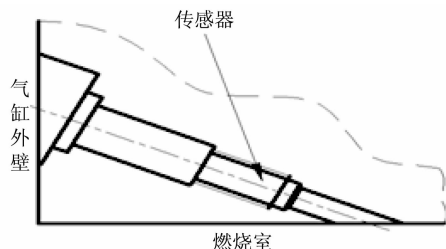


图 1 传感器安装位置示意图

3 试验结果分析

3.1 喷油提前角对缸内燃烧压力的影响

图 2 为该型柴油机在 $273 \text{ kW}/1\,500 \text{ (r} \cdot \text{min}^{-1})$ 时, 不同喷油提前角下的缸内燃烧压力变化曲线。由图 2 可见: 当喷油提前角为 11° 时, 由于提前角过小, 导致在上止点后没有出现明显的压力上升。当喷油提前角从 $11^\circ \sim 30^\circ$ 变化时, 最高燃烧压力变大, 最高燃烧压力点对应的角度逐渐靠近上止点, 具体数据见表 2。

3.2 相关分析结果

通过 $p-\varphi$ 图计算该型柴油机放热率曲线、累积放热曲线、温度曲线。计算公式采用 AVL 公司提供的经验公式^[2], 具体如下:

$$m = Lm_{th} = LV_H \rho = LV_H \frac{P_s}{RT_s} \quad (1)$$

式中: L 为容积效率; m_{th} 为理论空气质量; ρ 为空气

气密度; V_H 为活塞排量; P_s 为进气压力; R 为气体常数, $287.12 \text{ (kJ} \cdot \text{(kg} \cdot \text{K)}^{-1})$; T_s 为进气温度。

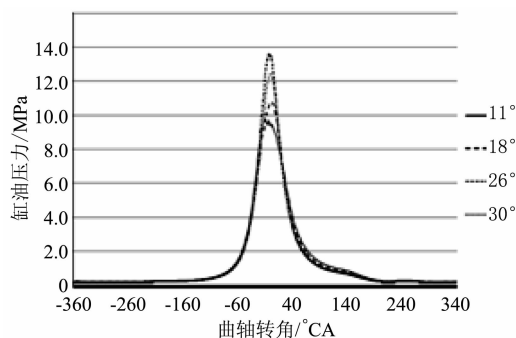


图 2 不同提前角下的缸内燃烧压力曲线图

表 2 最高燃烧压力及对应的曲轴转角

喷油提前角/(°)	最高燃烧压力/MPa	最高燃烧压力对应的曲轴转角/CA°
11	9.7	0
18	10.8	12
26	12.5	9
30	13.6	8

$$T_i = \frac{P_i V_i}{mR} \quad (2)$$

式中: T_i 为曲轴转角为 i 时的气缸温度; V_i 为曲轴转角为 i 时的气缸容积; P_i 为曲轴转角为 i 时的气缸压力。

$$CV_i = 0.7 + T_i(0.155 + A_i) \times 10^{-3} \quad (3)$$

式中: $A_i = 0.1$ (汽油机), $A_i = 2X_i$ (柴油机)。

$$k_i = \frac{0.2888}{CV_i} + 1 \quad (4)$$

$$X_i = \frac{\sum Q_i \times 28}{P_s} \quad (5)$$

$$Q_i = \frac{K}{k_{i-1}} V_{i+n} [P_{i+n} - P_{i-n} (\frac{V_{i-n}}{V_{i+n}})^{k_i}] \cdot (X_i + 1) \quad (6)$$

式中: K_{i-1} 为多变系数; T_i 为曲轴转角为 i 时的缸内温度; n 为间隔, 1 CA° ; C 为常数。

通过以上公式求得该型柴油机各喷油提前角下的放热率曲线 (图 3)、累积放热量曲线 (图 4) 及缸内温度曲线 (图 5)。

根据 AVL 公司提供的经验数据, 将放热率曲线中 dQ 从负值开始变为正值的点作为燃烧起点, 将累积放热曲线中数值达到 90% 放热总量时的点作为燃烧末点, 燃烧重心为累积放热曲线中燃烧起点、燃烧末点及坐标轴所围成的面积的重心。具体计算结果数据见表 3。

由图 3、图 4 及表 3 可以看出: 当喷油提前角

在 $11^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 变化时, 燃烧始点逐渐变小, 燃烧终点及燃烧重心越靠近上止点, 燃烧持续期缩短。

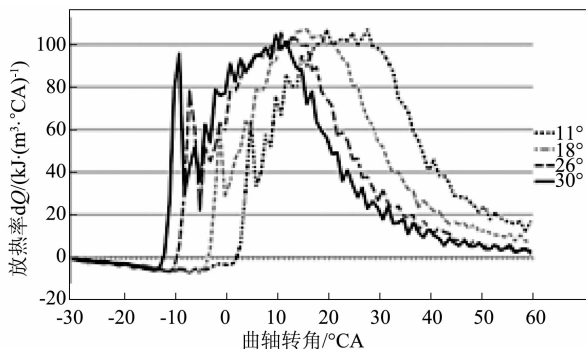


图3 放热率曲线

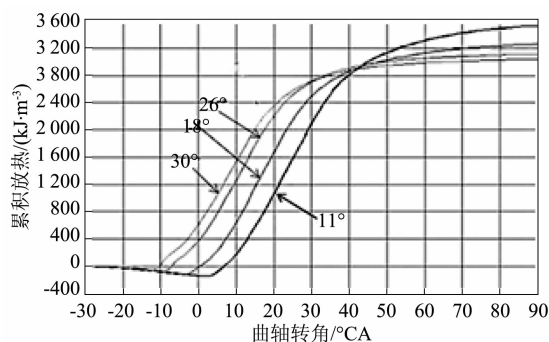


图4 累积放热曲线

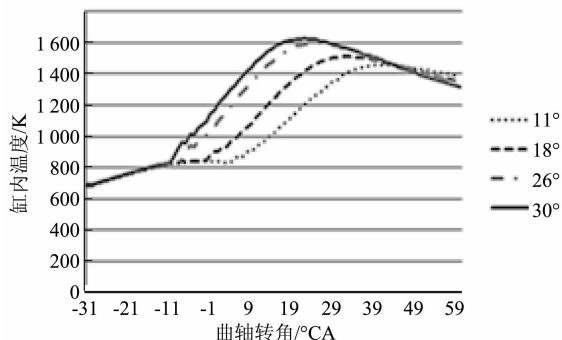


图5 缸内温度曲线

表3 燃烧始点、终点、重心随喷油提前角变化

喷油提前角 / (°)	燃烧始点/°CA	燃烧终点/°CA	燃烧重心/°CA
11	2.25	51.95	24.75
18	-3.40	43.90	17.90
26	-9.45	33.50	11.00
30	-12.20	30.75	7.80

通过缸内燃烧压力曲线计算得出该型柴油机的缸内温度曲线如图5, 由图可知: 当喷油提前角在 $11^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 变化时, 柴油机温度急剧变化的点对应的曲轴转角逐渐变小, 最高温度逐渐变大, 缸内高温持续时间变长。当喷油提前角为 11° 时, 柴油机缸内温度急剧变化的点对应的曲轴转角为 4°CA , 最

高温为 1459 K ; 当喷油提前角为 30° 时, 柴油机缸内温度急剧变化的点对应的曲轴转角为 -11°CA , 最高温度为 1626 K 。

根据内燃机 NO_x 生成原理^[3], 影响内燃机缸内 NO_x 生成量的因素主要有两个方面: 缸内温度及持续时间。温度越高, 持续期越长, NO_x 生成量越多, 反之越少。图6为使用 AVL i60 测得的该型柴油机不同提前角下的排气 NO_x 量。由图可知: 喷油提前角为 30° 时, NO_x 生成量最大; 喷油提前角为 11° 时, NO_x 生成量最小, 与缸内温度曲线吻合。

图7为各喷油提前角下的烟度曲线。由图可知喷油提前角为 $11^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 时, 烟度变大; $18^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时烟度变小, 其中喷油提前角为 $26^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 时, 烟度变化已趋于平缓。

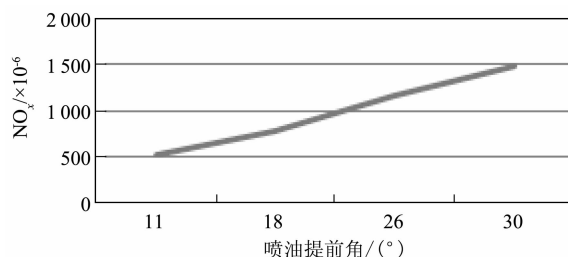


图6 各提前角下测得的 NO_x 排放曲线

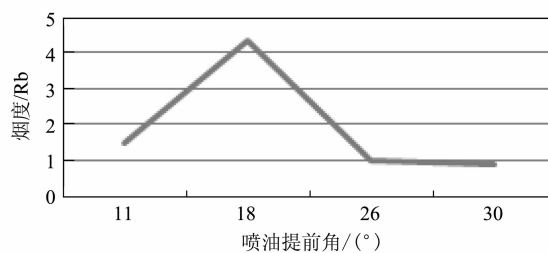


图7 各喷油提前角下的烟度曲线

图8为各喷油提前角下的燃油耗曲线。由图可知: 喷油提前角为 $11^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 时, 燃油耗变小, 当提前角为 11° 时, 燃油耗为 $229.3\text{ (g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$, 当提前角为 11° 时, 燃油耗为 $203.3\text{ (g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 。

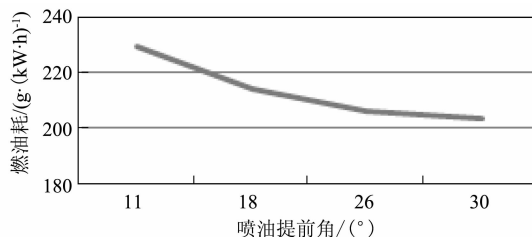


图8 各喷油提前角下的燃油耗曲线

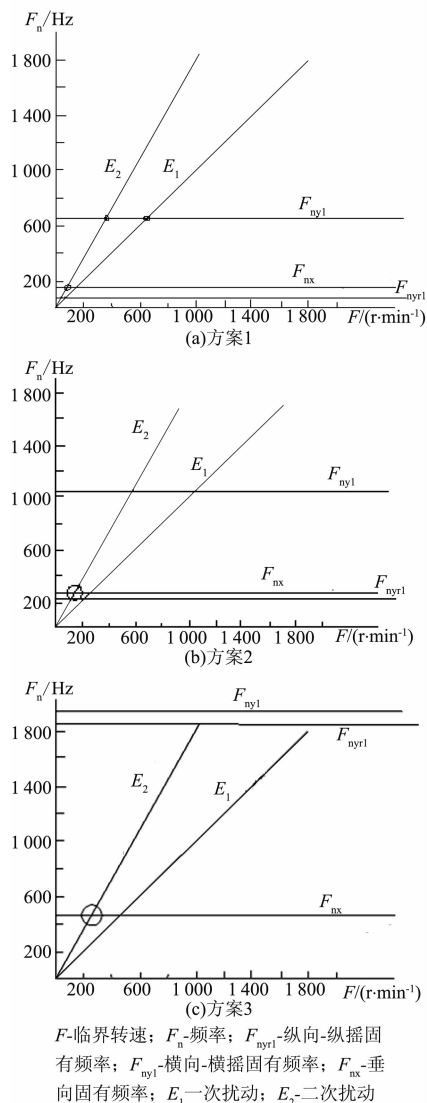


图 5 三种方案的临界转速图

(3) 研究船舶柴油机双层隔振系统的隔振参数优化方法, 提前选取最适合某种船舶柴油机双层隔振系统以及其他形式的隔振系统的隔振器是下一步工作的重点。

参考文献

- [1] 周子云. 柴油机悬置系统设计 [J]. 汽车技术, 2005 (3): 15-16.
- [2] 王永远. 船舶动力系统隔振技术研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- [3] BERKMAN E F, BENDER E K. Perspectives on active noise and vibration control [J]. Sound and Vibration, 1997 (6): 80-94.
- [4] YANG Tie-jun. Adaptive vibration isolation system for diesel engine [J]. Journal of Marine Science and Application, 2004 (12): 30-35.
- [5] 赵兵. 船用主机单层橡胶隔振装置隔振性能研究 [J]. 中国修船, 2008 (9): 14-16.
- [6] 赵禹. 某机车用柴油发电机组的隔振设计及优化 [J]. 机械工程与自动化, 2014 (6): 59-61.
- [7] 赵涛. 汽车动力总成悬置系统优化设计及软件开发 [D]. 长春: 吉林大学, 2003.
- [8] 肖斌, 高超, 李勇. 基于 Hammerstein 模型的柴油机隔振非线性系统振动分析 [J]. 振动与冲击, 2014 (5): 64-69.
- [9] 李锐, 范德全, 陈伟民, 等. 基于磁流变液悬置的柴油机垂向隔振多状态控制研究 [J]. 重庆邮电大学学报, 2010 (6): 791-794.
- [10] 朱明刚, 杨铁军, 率志军, 等. 基于自适应梳状滤波算法的有源隔振技术 [J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011 (12): 1576-1581.

(上接第 10 页)

4 结 论

(1) 该型柴油机在 273 kW/1 500 ($r \cdot \min^{-1}$) 工况下, 最高燃烧压力随喷油提前角的变大而变大, 最高燃烧压力对应的曲轴转角随喷油提前角的变大先变大后变小, 燃烧始点、燃烧末点、燃烧区间及燃烧重心对应的曲轴转角随提前角的增大而变小。

(2) 相同工况下, 缸内最高温度、高温持续时间及 NO_x 排放均随着提前角的增大而增大。

(3) 相同工况下, 排气烟度随提前角的增大先变大再变小, 最后趋于稳定; 燃油耗随着提前角的增大而减小。

通过不同喷油提前角下缸内燃烧压力、放热率、累积放热、缸内温度、 NO_x 排放、烟度、燃油耗的分析, 可以清晰地得出该型柴油机在不同喷油提前角下缸内燃烧性能变化趋势, 为该型柴油机的优化改进提供技术支持。

参考文献

- [1] 将德明. 内燃机燃烧与排放 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001.
- [2] AVL. Graphical Formula Editor [R]. 2005.
- [3] 陈家骅. 内燃机燃烧 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 2003.