

柴油机怠速进气量对燃烧噪声影响的试验研究

姜智超¹, 姜顺超², 郑长亮³, 甄龙信⁴

1. 广西科技师范学院 职业技术教育学院, 广西 来宾 546100; 2. 青岛海尔电冰箱有限公司, 山东 青岛 266103;
3. 长城汽车股份有限公司, 河北 保定 071000; 4. 燕山大学 车辆与能源学院, 河北 秦皇岛 066000

摘要: 为了降低怠速工况下柴油机的燃烧噪声, 针对怠速进气量(节气门开度)对柴油机燃烧噪声和整机1 m噪声的影响进行试验研究, 分析节气门开度对缸压、压力升高率(简称压升率)、机体燃烧噪声、整机1 m平均噪声及转速波动的影响。结果表明: 节气门开度减小时, 缸压及压升率随之降低, 特别是压升率降低较为明显, 燃烧噪声和整机1 m噪声均明显降低; 节气门开度低于5%时, 柴油机的转速产生了明显的波动, 导致怠速不稳定。

关键词: 进气量; 节气门开度; 燃烧噪声; 压升率; 转速波动

中图分类号: TK421.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-6397(2022)04-0014-05

引用格式: 姜智超, 姜顺超, 郑长亮, 等. 柴油机怠速进气量对燃烧噪声影响的试验研究[J]. 内燃机与动力装置, 2022, 39(4): 14-18.

JIANG Zhichao, JIANG Shunchao, ZHENG Changliang, et al. Experimental study of air inflow on combustion noise of diesel engine in idle condition[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022, 39(4): 14-18.

0 引言

柴油机为压燃, 燃烧时的缸内压力(缸压)和温度较高, 燃烧引发的振动和噪声较大, 柴油机噪声的主要来源是燃烧噪声, 降低燃烧噪声可以有效改善柴油机的噪声。目前, 改善柴油机燃烧噪声主要有2种技术方案: 第1种方案是通过分析柴油机的燃烧机理, 然后改善其燃烧过程, 最终从根本上降低柴油机的燃烧噪声; 第2种方案是通过改变噪声的传递路径, 使燃烧噪声在传递过程中被大幅度衰减。

国内外针对柴油机燃烧噪声的研究有很多。文献[1-2]通过研究柴油机燃烧噪声的传递特性, 来改变燃烧噪声的传递路径, 然后使燃烧噪声减小, 最终改善了柴油机的噪声; 文献[3]研究了基于多次预喷射的柴油机燃烧噪声控制; 文献[4-8]通过试验, 研究柴油机控制废气再循环、多次预喷射技术和增压控制技术对发动机燃烧噪声的影响, 研究表明: 预喷油量、预喷提前角、喷油器孔数等喷油参数对燃烧噪声有着很大的影响, 通过调整电子控制单元中的喷油参数, 柴油机的燃烧噪声会明显的降低; 文献[9-11]研究了发动机温度、进气量及喷油参数对发动机燃烧噪声的影响; 文献[12-14]研究涡轮增压系统对发动机噪声的影响。

在燃烧噪声的研究文献中, 针对柴油机怠速工况下燃烧噪声的研究较少。虽然怠速工况下柴油机整机噪声较小, 但由于转速较低, 机械噪声较小, 因此怠速工况的燃烧噪声在整机噪声中所占比重更大。本文中通过试验测试, 研究柴油机暖机怠速工况(转速为750 r/min)下进气量对燃烧噪声和缸压、压力升高率(压升率)及转速波动的影响。

收稿日期: 2022-02-13

基金项目: 广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(2020KY23017); 广西科技师范学院科研基金项目(GXKS2020QN030)

第一作者简介: 姜智超(1992—), 男, 山东青岛人, 工学硕士, 主要研究方向为车辆振动与噪声控制, E-mail: 1053671753@qq.com。

1 原理和试验方法

1.1 原理

燃烧的关键是控制混合气中空气与燃料质量的比例,进气量影响柴油机的燃烧和性能,提高柴油机的动力性需要更多的燃油和空气,但随着进气量增加,剧烈的燃烧会增大柴油机的燃烧噪声;减小进气量可降低燃烧时气缸内的压力以及压升率,减缓着火延迟期,有效降低柴油机燃烧噪声^[15],但进气量过低时可能造成燃烧不良,油耗和烟度增加,因此需要合理控制进气量,在提高柴油机性能的同时兼顾燃烧噪声^[16]。

对柴油机样机进行怠速试验测试,通过改变节气门开度控制进气量,测试进气量改变时柴油机缸内压力、压升率的变化,研究进气量对燃烧噪声的影响;测试进气量改变时柴油机的角速度波动和横向摆振的变化,研究进气量对柴油机转速波动的影响。

1.2 试验环境

燃烧噪声试验在标准的发动机噪声、振动、声振粗糙度(noise vibration harshness, NVH)半消声室中进行,消声室中的天花板和四面的墙壁均包裹消声材料,消声室中的背景噪声(A计权)小于20 dB,柴油机在电涡流测功机台架上进行测试,安装测试所需要的附件,如起动机、皮带、水泵等。测试的过程中,柴油机的水温控制在正常的范围中,排气、进气及台架支撑部位处使用吸音材料进行包裹。

1.3 测试样机和试验设备

测试样机为一台缸内直喷涡轮增压双顶置式凸轮轴(double overhead camshaft, DOHC)柴油机,采用2次预喷射技术,柴油机参数如表1所示。

表1 柴油机参数

缸数	排量/L	压缩比	额定功率/kW	最大扭矩/(N·m)	额定功率转速/(r·min ⁻¹)	最大扭矩转速/(r·min ⁻¹)
4	2.4	15:1	150	380	4000	1600

测试系统的布置结构如图1所示。试验配备了发动机台架、半消声室、西门子LMS前端、AVL燃烧分析仪、声学麦克风、转速传感器、缸压传感器以及一台工作站。

分别在进气侧、排气侧、正时齿轮室侧、顶部距发动机1 m的4个位置布置麦克风。

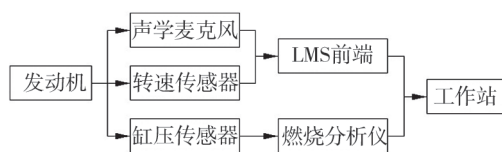


图1 测试系统示意图

2 试验结果及分析

2.1 进气量对缸压、压升率和燃烧噪声的影响

进气量对缸压和压升率有显著影响,缸压的变化只能间接反映燃烧噪声的变化,而压升率的改变直接影响燃烧噪声,压升率越大,缸内产生的冲击波越剧烈,对缸壁的冲击越大,产生的冲击也越大^[16]。

由于大节气门开度下压升率变化的趋势相近,本文中主要对小节气门开度下的压升率进行试验研究,不同节气门开度下柴油机缸压和压升率随曲轴转角的变化曲线如图2所示。

由图2a)可知:节气门开度越小,缸压越低,节气门开度从100%减小至5%,峰值缸压约降低2 MPa,其中节气门开度从10%减小到5%时的缸压降低最快。由图2b)可知:小节气门开度时不同节气门开度的压升率变化差异较大,峰值压升率随着节气门开度的减小而减小,着火时刻(峰值压升率)随着节气门开度的减小而有所延迟。

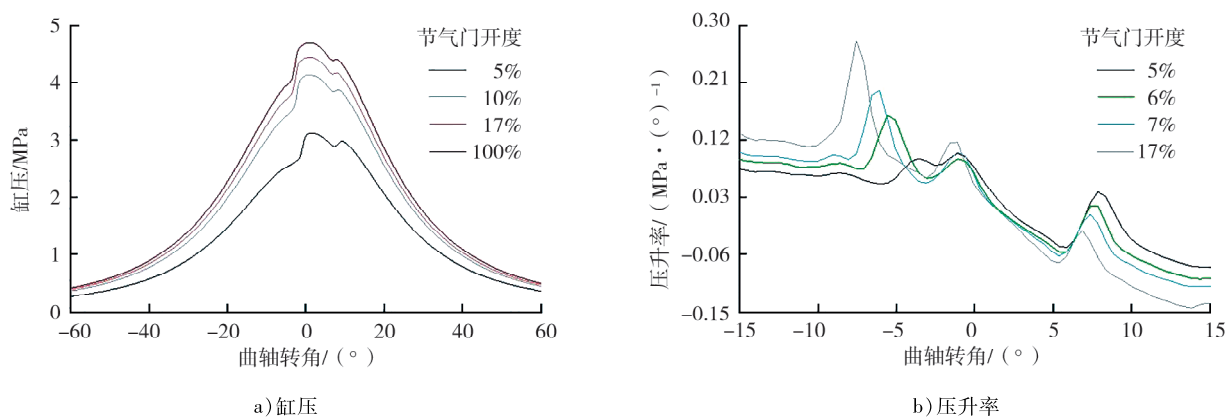


图2 不同节气门开度下柴油机缸压和压升率随曲轴转角的变化曲线

压升率影响燃烧噪声,柴油机的燃烧噪声随进气量(节气门开度)的变化而发生明显改变。不同节气门开度下柴油机燃烧噪声和1 m平均辐射噪声如图3所示。由图3可知,柴油机燃烧噪声和1 m平均噪声随节气门开度的减小而降低,其中节气门开度由10%减小到5%时燃烧噪声的降低幅度最大,为4.5 dB,4个测试位置的1 m噪声(A计权)平均降低1.5 dB。节气门开度过小将导致怠速不稳,转速出现严重波动时会造成发动机熄火^[3],因此节气门的开度应该控制在合理的范围。

2.2 进气量对压升率、放热率和转速波动的影响

由于节气门开度为17%~100%时节气门开度的变化对缸压和压升率影响较小,而节气门开度为5%~10%时对缸压和压升率的影响较大,因此本文中选择2种小进气流量(节气门开度为5%、6%)进行柴油机怠速工况压升率和放热率测试,选择3种小进气流量(节气门开度为5%、8%、17%)进行柴油机怠速工况转速波动测试。

怠速转速为750 r/min,节气门开度为5%、6%时的压升率和放热率曲线如图4所示。

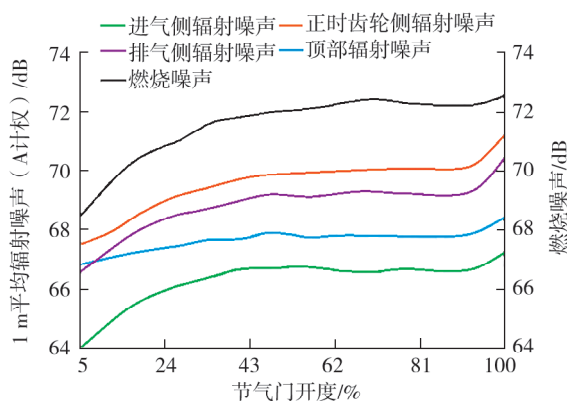


图3 燃烧噪声和1 m平均辐射噪声

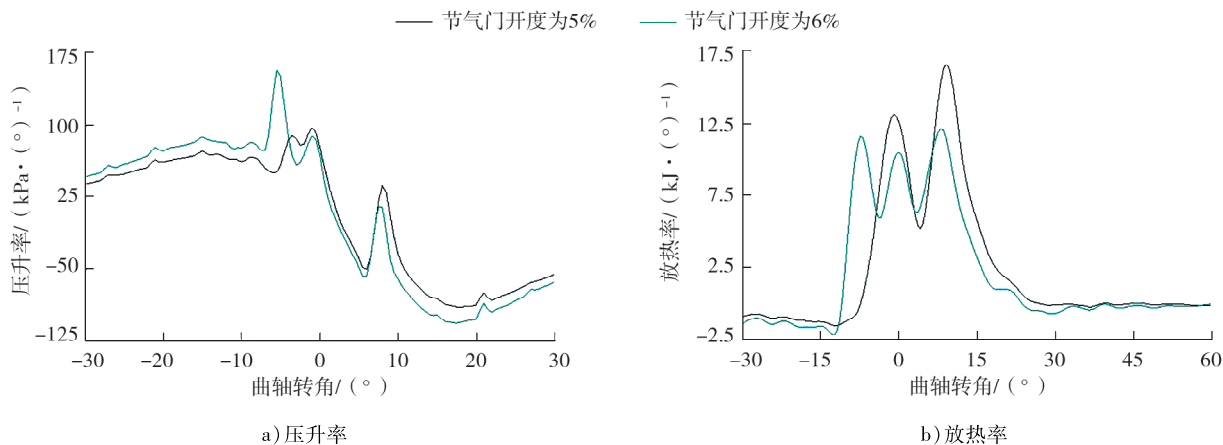


图4 节气门开度为5%、6%时的压升率和放热率曲线

由图4可知:当节气门的开度为5%时,压升率有2个较为明显的峰值,当节气门的开度为6%时,压升率有3个明显峰值;放热率与压升率具有类似的规律。节气门的开度为5%时,由于开度太小,导致进气量不足,2次预喷射形成的混合气没有得到充分的燃烧,只有2次明显的放热;而节气门开度为6%时,

由于进气量增加,燃烧得到一定程度地改善,压升率和放热率出现3个明显峰值。

节气门开度为5%、8%、17%时怠速工况转速波动曲线如图5所示。

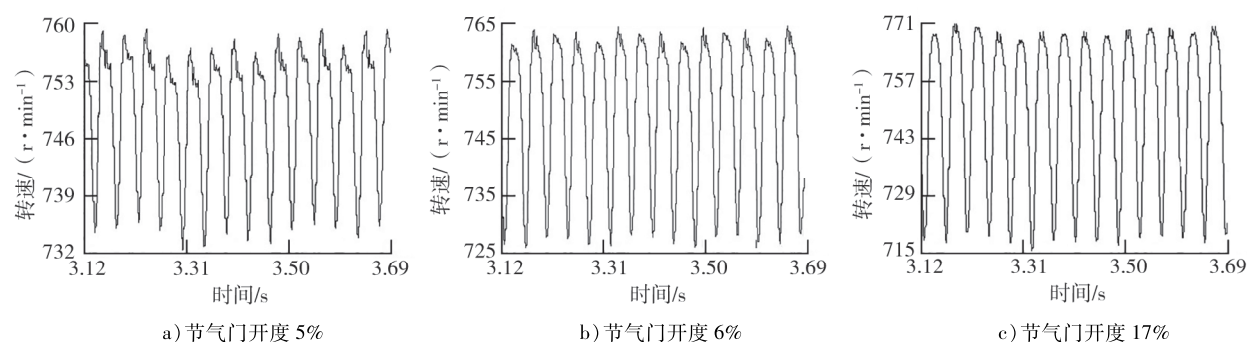


图5 不同节气门开度下怠速工况转速波动

由图5可知:节气门开度为6%时的怠速转速波动曲线与节气门开度为17%时相似,两者的变化趋势几乎一致,节气门开度为6%时的转速波动率(峰值转速波动差与怠速750 r/min的比)为0.007;节气门开度为5%时的转速曲线出现明显的波动,峰值处的形状更加尖锐,其转速波动率为0.013,说明波动明显高于前者,转速值变化幅度较大;节气门开度为6%、17%时转速没有严重波动,各个峰值之间基本保持在同一个水平。

节气门开度为5%时的异常波动与压升率及放热率有关,由于燃烧不充分导致压升率及放热率的异常变化,从而引起转速波动。因此,应该控制节气门开度大于5%才能维持发动机正常的转速。

3 结论

柴油机在暖机时的怠速工况下,通过调节节气门开度来控制进气量,可有效减小缸压和压升率,降低燃烧噪声。

1) 节气门开度越小,缸压越低,缸压降低幅度越大;节气门开度从100%减小至5%时,缸压峰值约降低2 MPa。

2) 节气门开度越小,峰值压升率越小;大节气门开度下压升率的变化趋势相近,小节气门开度下压升率的变化差异较大;着火时刻随节气门开度的减小而延迟。

3) 节气门开度越小,燃烧噪声和1 m辐射噪声越低,节气门开度由10%减小至5%时,燃烧噪声降低约4.5 dB,4个测点的1 m噪声(A计权)平均降低1.5 dB。

4) 节气门开度越小,怠速时的转速波动越大;节气门开度为6%及以上时的怠速转速波动相似,节气门开度为5%时怠速转速波动明显;节气门开度为6%时的转速波动率为0.007,节气门开度为5%时转速波动率为0.013。

节气门开度越小,进气量越小,越有利于降低燃烧噪声,但节气门开度越小,转速波动越大,因此节气门开度应维持在5%以上。

参考文献:

- [1] 施雨晓. 内燃机燃烧噪声的传递特性试验研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2014.
- [2] NAOYA K. An evaluation of combustion noise generation in diesel engine structure[C]//SAE International Congress and Exposition. Detroit, USA: SAE International, 1989.
- [3] 姜智超. 基于多次预喷射的柴油机燃烧噪声控制研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2019.
- [4] 李兆文. 柴油机燃烧噪声影响机理及控制研究[D]. 天津:天津大学,2009.
- [5] OKUBO M. Study of method of separate engine noise sources using coherence analysis[J]. JSAE, 1989, 40: 152-158.
- [6] MURAYAMA T, KOJIMA N, SATOMI Y. A simulation of diesel engine combustion noise[C]//1976 Fuels and Lubricants/

- Powerplant Meeting. Detroit, USA: SAE International, 1976.
- [7] D'AMBROSIO S, FERRARI A. Potential of double pilot injection strategies optimized with the design of experiments procedure to improve diesel engine emissions and performance[J]. Applied Energy, 2015,155:918-932.
- [8] BUSCH S, ZHA K, MILES P C. Investigations of closely coupled pilot and main injections as a means to reduce combustion noise in a small-bore direct injection diesel engine[J]. International Journal of Engine Research, 2015,16(1):13-22.
- [9] 郭永田. CA6110 柴油机燃烧噪声的试验研究[D]. 长春:吉林大学,2004.
- [10] SHIBATA G, ISHI K, USHIJIMA H. et al. Optimization of heat release shape and the connecting rod crank radius ratio for low engine noise and high thermal efficiency of premixed diesel engine combustion[C]//SAE 2015 World Congress & Exhibition. Detroit, USA: SAE International, 2015.
- [11] 李强. EGR 对预混合压燃式发动机燃烧和排放的影响[D]. 长春:吉林大学,2014.
- [12] 桑梧海,刘永芳,苏益龙,等. 乘用车涡轮增压器噪声改善装置设计[J]. 内燃机与动力装置,2020,37(3):32-35.
- [13] 孙云龙,雷超群,陈良,等. 涡轮增压器气动噪声控制方法研究[J]. 车用发动机,2020(6):65-70.
- [14] 李伟,李国祥,马超,等. 涡轮增压器涡轮 BPF 噪声试验研究[J]. 内燃机与动力装置,2020,37(6):1-6.
- [15] 庞剑,湛刚,何华. 汽车噪声与振动[M]. 北京:北京理工大学出版社,2006.
- [16] 钱人一. 汽车发动机噪声控制[M]. 上海:同济大学出版社,1997.

Experimental study of air inflow on combustion noise of diesel engine in idle condition

JIANG Zhichao¹, JIANG Shunchao², ZHENG Changliang³, ZHEN Longxin⁴

1. College of Vocational and Technical Education, Guangxi Science & Technology Normal University, Laibin 546100, China;
2. Qingdao Haier Refrigerator Co., Ltd., Qingdao 266103, China; 3. Great Wall Motor Company Limited, Baoding 071000, China;
4. College of Vehicles and Energy, Yanshan University, Qinhuangdao 066000, China

Abstract: In order to reduce the combustion noise of diesel engine under idle condition, the influence of idle air intake (throttle opening) on the combustion noise of diesel engine and the 1 m noise of the whole engine is experimentally studied. The influence of throttle opening on cylinder pressure, pressure rise rate, combustion noise, 1 m average noise of the whole engine and speed fluctuation are analyzed. The results show that when the throttle opening is reduced, the cylinder pressure and pressure rise rate also decrease, especially the pressure rise rate decreases significantly, and the combustion noise and 1 m noise of the whole engine also decrease significantly; when the throttle opening is less than 5%, the speed of the diesel engine fluctuates significantly, resulting in unstable idle speed.

Keywords: air inflow; throttle opening; combustion noise; pressure rise rate; speed fluctuation

(责任编辑:张啸虎)