

喷油量等参数偏差和环境对发动机性能的影响

刘书杰^{1,2}, 杨海龙^{1,2}, 翟浩^{1,2}, 付伟^{1,2}, 黄国龙^{1,2}

1. 内燃机可靠性国家重点实验室, 山东 潍坊 261061; 2. 潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061

摘要:针对非道路用、道路车机用和道路专用车用3种用途的某款发动机,通过试验分析喷油量、文丘里喉口直径、增压器执行器开启压力、环境温度、相对湿度5种参数偏差对NO_x排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力的影响。结果表明:喷油量正向偏差为0~0.5 kg/h时对道路专用车用NO_x排放有显著影响,对其他2种用途的发动机性能无显著影响;文丘里喉口直径、增压器执行器开启压力对3种用途的发动机性能均无显著影响;在进气温度为35℃、相对湿度为80%时,温、湿度偏差对非道路用NO_x排放和燃油消耗率有显著影响,对道路车机用烟度排放有显著影响。生产制造过程中,需结合具体用途,制定设计公差和生产控制措施,保证发动机的优良性能。

关键词:喷油量;喉口直径;开启压力;温度;相对湿度

中图分类号:TK427

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2022)04-0022-05

引用格式:刘书杰,杨海龙,翟浩,等.喷油量等参数偏差和环境对发动机性能的影响[J].内燃机与动力装置,2022,39(5):22-26.

LIU Shujie, YANG Hailong, ZHAI Hao, et al. Influence of fuel injection quantity and other parameter deviations and environment on engine performance[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2022, 39(5):22-26.

0 引言

为降低汽车尾气排放,已推出一系列排放标准^[1-2],对发动机排放控制策略和后处理系统提出更高要求。零部件设计公差、生产加工制造偏差等,都有可能造成发动机排放异常^[3]。

王哲等^[4]研究了气缸盖、配气相位、压缩比和摩擦损失等参数的生产偏差对发动机动力性和经济性的影响,并对相关参数的生产偏差进行优化以便改善发动机性能。洪彬彬等^[5]针对额定工况和大转矩工况,研究喷油量、进排气开启时刻、压缩比、喷油开启时刻等参数偏差对发动机性能的影响,发现喷油量偏差对发动机机性能影响最大。李岩等^[6]研究发现通过喷油量修正技术可降低因喷油器生产工艺导致的喷油偏差对排放的影响。褚国良等^[7]的研究表明,废气再循环(exhaust gas recirculation, EGR)率偏差控制在某一范围内,能保证整机具有良好的排放一致性和适应性。汪恩波等^[8]分析了不同增压器执行器的开启压力对燃油消耗率、转矩等性能参数的影响,提出需控制合适的开启压力。王鹏程^[9]研究了进气温度对发动机性能的影响,发现缸内进气温度从385℃逐步降低至325℃时,相同进气压力下缸内实际进气量增大,有利于降低混合气浓度,减少缸内烟度排放和NO_x生成量。

上述研究表明,喷油量、EGR率、增压器执行器开启压力、进气温度等参数影响发动机的性能。本文中针对不同用途的发动机,研究喷油量、文丘里喉口直径、增压器执行器开启压力、环境温度、相对湿度的参数偏差对发动机NO_x排放、烟度排放、燃油消耗率、爆发压力的影响。

收稿日期:2021-11-17

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD200302)

第一作者简介:刘书杰(1988—),男,山东临沂人,工程师,主要研究方向为发动机可靠性和性能一致性,E-mail:liushuj@weichai.com。

1 试验方案

某高压共轨发动机为满足排放要求,后处理系统采用 EGR、氧化催化器(diesel oxidation catalyst, DOC)、柴油机颗粒捕集器(diesel particulate filter, DPF)、选择性催化还原(selective catalytic reduction, SCR)技术。发动机额定转速为 2300 r/min,额定功率为 162 kW,最大扭矩为 800 N·m,可应用于非道路用、道路车机用(如牵引车、客车等)和道路专用车用(如环卫车、起重机等)3种用途。本文中针对该多用途发动机,分析喷油量、文丘里喉口直径、增压器执行器开启压力、环境温度、相对湿度 5 种参数偏差对发动机性能的影响,其中,非道路用运行工况主要在额定转速附近(2300 ± 100) r/min,道路车机用运行工况在大转矩转速(1200~1800 r/min),道路专用车用运行工况在低转速(1000 r/min 以下)。

2 试验结果分析

2.1 喷油量

喷油器喷嘴直径的加工公差导致实际油嘴孔径不同,喷油量出现偏差^[10-11],引起燃烧变化,影响发动机排放。

以额定工况下装机每循环喷油量为 36 kg 作为基准,通过改变实际喷油量模拟不同的喷油量偏差,针对非道路用、道路车机用和道路专用车用 3 种用途,分别设置喷油量偏差为 -1.0、-0.5、0、0.5、1.0 kg,进行万有特性试验,记为方案 A1、A2、A3、A4、A5, A3 方案为基准方案,测量同一种用途下 A1、A2、A4、A5 方案 NO_x 排放、烟度排放相对于 A3 方案的偏差率(偏差率指某一方案与基准方案所测参数之差与基准方案下所测参数之比),燃油消耗率和爆发压力相对于 A3 方案的偏差(偏差指某一方案与基准方案下所测参数之差)。通常 NO_x 排放偏差率 η_1 在 10% 以内、烟度排放偏差率 η_2 在 15% 以内、燃油消耗率偏差 d_Q 在 1.5 g/(kW·h) 以内、爆发压力偏差 d_p 在 0.15 MPa 以内视为正常参数范围。3 种用途不同方案下喷油量偏差对 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响结果如图 1 所示。

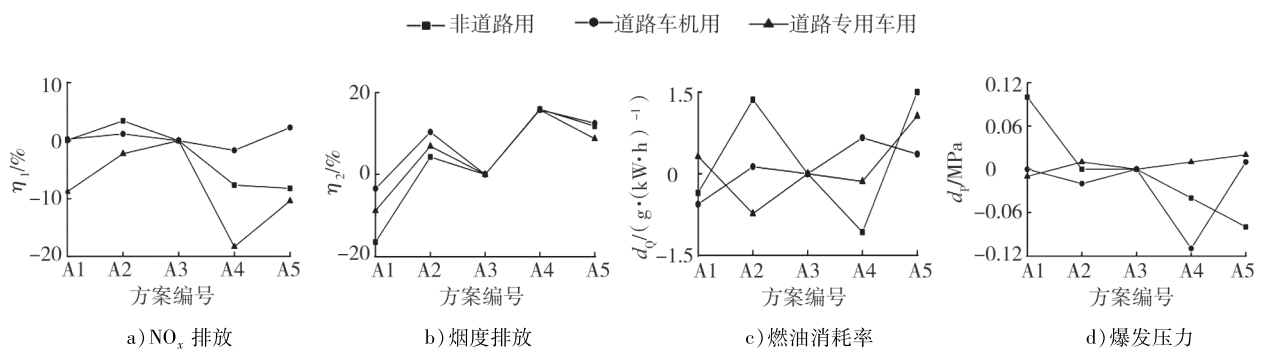


图1 不同方案下喷油量偏差对 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响

由图 1 可知:非道路用及道路车机用 2 种用途下,不同喷油量偏差对应的 NO_x 排放偏差率基本在 10% 以内,道路专用车用在喷油量偏差为 0~0.5 kg 时 NO_x 排放偏差率接近 -20%,道路专用车用应尽量避开喷油量偏差 0~0.5 kg;不同的喷油量偏差对应的烟度排放偏差率基本在 15% 以内,但喷油量偏差 0~0.5 kg 时稍高,结合 DPF 颗粒物质量过滤效率能达到 90% 以上及颗粒物数量过滤效率 99% 以上^[12-13],烟度排放偏差对 DPF 再生周期影响较小;喷油量偏差对应的燃油消耗率偏差小于 1.5 g/(kW·h),爆发压力偏差小于 0.15 MPa。

喷油量偏差对发动机性能无显著影响,但道路专用车用应避开喷油量偏差 0~0.5 kg。

2.2 文丘里喉口直径

EGR 系统可有效降低 NO_x 排放,EGR 率为废气流量和气缸总进气量之比,较高的 EGR 率会降低新

鲜进气量,引起燃烧恶化,发动机烟度排放升高,换油周期缩短,燃油消耗率增加。废气流量受文丘里喉口直径和DPF压差等因素影响^[14-16],EGR率出现偏差,造成燃烧状态差异,影响发动机正常排放。

以文丘里喉口直径 12.7 mm 为基准,同样针对上述 3 种用途,分别调整喉口直径偏差为-0.05、-0.03、0、0.03、0.05 mm,进行万有特性试验,记为方案 B1、B2、B3、B4、B5, B3 方案为基准方案,3 种用途不同方案下文丘里喉口直径偏差对 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响结果如图 2 所示。

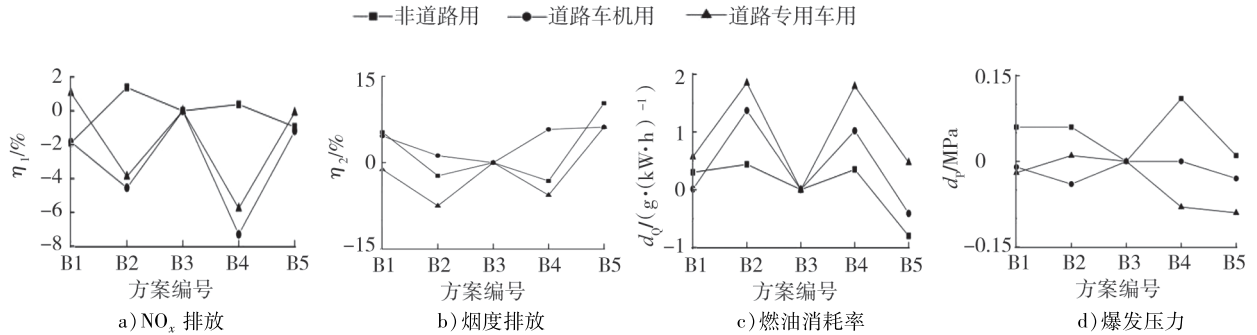


图 2 不同方案下文丘里喉口直径偏差对 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响

由图 2 可知:3 种用途下,不同喉口直径偏差所对应的 NO_x 排放和烟度排放的偏差率基本在 10% 以内,未产生明显影响;不同喉口直径偏差所对应的燃油消耗率偏差小于 2 g/(kW·h),略高于 1.5 g/(kW·h) 的限值,但超出区间的范围较小,可忽略;不同喉口直径偏差所对应的爆发压力偏差小于 0.15 MPa。文丘里喉口直径对发动机性能无显著影响。

2.3 增压器执行器开启压力

增压器执行器的开启需克服弹簧预紧力,执行器的开启可实现空气进气流量的调节。由于生产偏差等原因,弹簧刚度不同,导致执行器开启压力出现偏差^[17],影响进气流量,产生燃烧变化,影响发动机性能。

执行器开启状态主要在高速高负荷区域,结合 3 种用途下发动机的运行工况,主要分析非道路用和道路车机用。试验以增压器执行器开启压力 206 kPa 为基准,调节执行器螺栓拧紧圈数模拟执行器开启压力偏差;针对上述 3 种用途,调节执行器螺栓拧紧圈数分别为+1.00 圈、+0.50 圈、+0.25 圈、0、-0.25 圈、-0.50 圈、-1.00 圈,对应的增压器开启压力偏差分别为-8、-4、-2、0、2、4、8 kPa,进行万有特性试验,记为方案 C1、C2、C3、C4、C5、C6、C7, C4 方案为基准方案,2 种用途不同增压器执行器压力偏差下的 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力结果如图 3 所示。

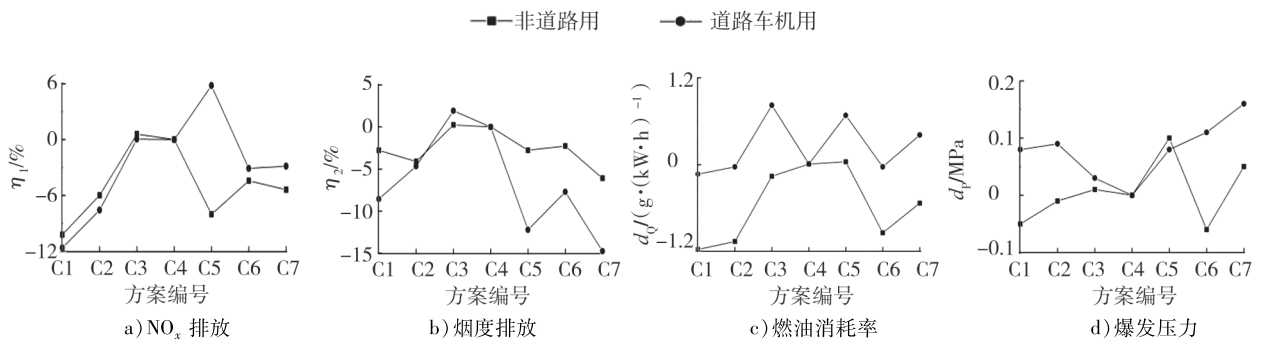


图 3 不同方案下增压器执行器开启压力偏差对 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响

由图 3 可知:2 种用途下,不同增压器执行器开启压力偏差所对应的 NO_x 排放偏差率大多在 10% 以内;对应的烟度排放偏差率在 15% 以内,未产生明显影响;不同增压器执行器开启压力偏差所对应的燃油消耗率偏差大多小于 1 g/(kW·h),低于文丘里喉口直径偏差对燃油消耗率的影响;不同增压器执行器开启压力偏差所对应的爆发压力偏差小于 0.15 MPa。增压器执行器开启压力偏差对发动机性能无显著

影响。

2.4 环境温度、相对湿度

环境温度影响发动机的进气流量;相对湿度增加,进入缸内参与燃烧的干空气量减少,燃烧恶化,影响发动机性能^[18]。

设置环境温度分别为 25、35 °C,相对湿度分别为 25%、45%、60%、80%,进行万有特性试验,2 种环境温度均以相对湿度 45% 的试验结果为基准,3 种用途不同环境温度、相对湿度下对发动机 NO_x 排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响结果如图 4 所示。

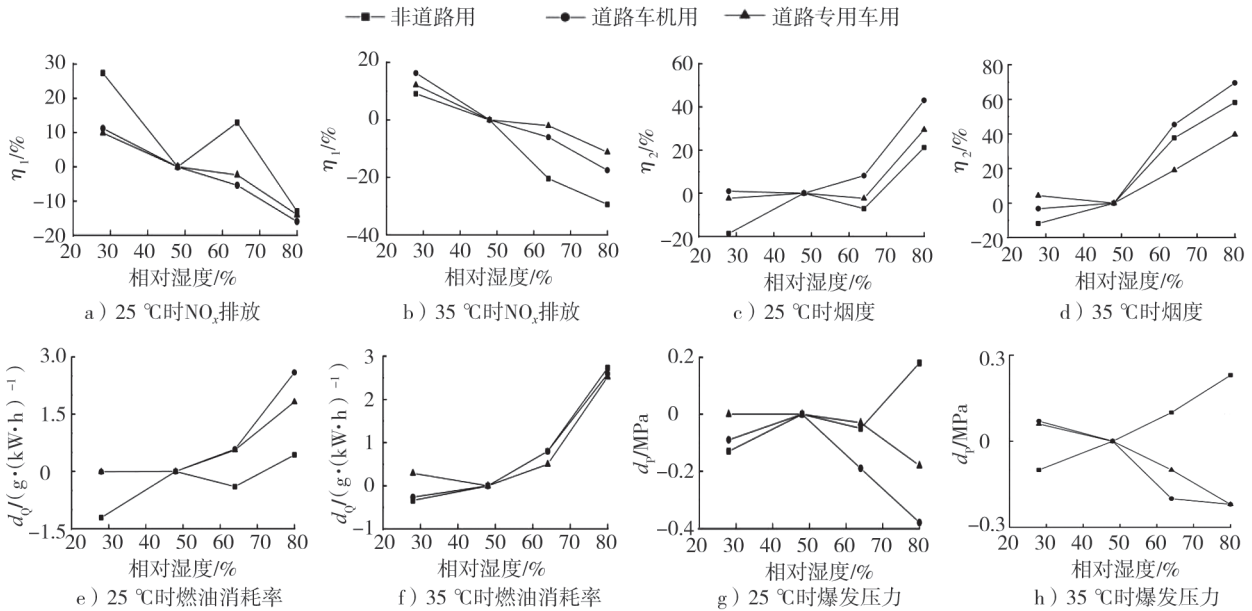


图4 环境温度、相对湿度对NO_x排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力影响

由图4可知:相对湿度增加,NO_x排放偏差率逐渐降低,特别是非道路用,环境温度为35 °C,相对湿度80%时,NO_x排放偏差率约-30%,温度升高,NO_x排放偏差率变化趋势明显;相对湿度增加,烟度排放偏差率逐渐增大,且温度越高,相对湿度对烟度排放的偏差率影响越明显;对于道路车机用,环境温度为35 °C,相对湿度80%时,烟度排放偏差率达70%,烟度排放过高,导致DPF积碳过快,缩短再生周期,降低DPF使用寿命,影响DPF可靠性;相对湿度增加,发动机燃烧状态变差,燃油消耗率偏差逐渐增大,温度升高,新鲜进气量下降,发动机燃烧不充分,燃油消耗率偏差变化增大;不同的环境温度和相对湿度下,爆发压力偏差整体小于0.20 MPa,略高于0.15 MPa的限值,但超出范围较小,影响不大。

环境温度、相对湿度对发动机性能有显著影响,对于非道路用,环境温度为35 °C、相对湿度为80%时,NO_x排放偏差率达-30%,最大燃油消耗率偏差为3 g/(kW·h);对于道路车机用,环境温度为35 °C、相对湿度为80%时,烟度排放偏差率达70%,应加强发动机设计工艺或改进标定方法,改善2种用途在高温、高湿度条件下的性能。

3 结论

1) 喷油量偏差对发动机性能无显著影响,但道路专用车用在喷油量偏差为0~0.5 kg时影响NO_x排放,因此道路专用车用喷油量应避免此区域。文丘里喉口直径偏差和增压器执行器开启压力偏差对NO_x排放、烟度排放、燃油消耗率和爆发压力的影响不明显。

2) 高温、高相对湿度对非道路用发动机的NO_x排放和燃油消耗率影响较明显,对道路车机用发动机的烟度排放影响较明显,应结合发动机不同用途,针对性制定设计公差或标定方法,保证发动机在高温、

高湿环境下的良好性能。

参考文献:

- [1] 陈婷,倪红,谷雪景,等. 中国移动源下阶段排放法规综述和分析[J]. 内燃机工程,2018,39(6):24-30.
- [2] 生态环境部. 重型柴油车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段):GB 17691—2018[S]. 北京:中国环境出版社,2018.
- [3] 马辉林. 非道路用柴油机排放现阶段及国四排放升级[J]. 科技创新与应用,2017(32):179-180.
- [4] 王哲,李红洲,翁中华,等. 自然吸气发动机性能一致性影响因素分析[J]. 小型内燃机与车辆技术,2020,49(3):22-27.
- [5] 洪彬彬,赵金星,张振东,等. 基于相关理论改善农用车用柴油机性能一致性研究[J]. 农业装备与车辆工程,2016,54(12):68-71.
- [6] 李岩,曲兴年,杨国娟. 喷油器 IQA 功能对发动机一致性修正的研究[J]. 内燃机与配件,2021(19):47-48.
- [7] 褚国良,王建东. 整机控制边界对排放一致性的影响[J]. 内燃机与配件,2020(20):16-20.
- [8] 汪恩波,吴敏,黄贤龙,等. 国V天然气发动机增压器匹配试验研究[J]. 内燃机,2017(6):41-44.
- [9] 王鹏程. 非道路移动机械用柴油机缸内燃烧过程优化[D]. 济南:山东大学,2020.
- [10] 王忠,王鹏,许帅,等. 喷油器喷孔结构对循环喷油量一致性的影响[J]. 内燃机学报,2018,36(6):518-523.
- [11] 高原,黄魏迪,高雅,等. 基于喷雾特性及质量均匀性的油嘴喷孔加工一致性方法研究[J]. 内燃机工程,2012,33(4):36-40.
- [12] 张俊,帅石金,肖建华. 灰分对柴油机颗粒捕集器性能影响研究综述[J]. 内燃机工程,2018,39(6):11-23.
- [13] 陈鹏,朱磊,刘德文,等. DPF 降怠速再生温度场分布测试及过滤效率分析[J]. 内燃机学报,2021,39(2):159-166.
- [14] 鹿文慧,江楠,许帅,等. 一种文丘里 EGR 方案的废气流量计算方法[J]. 内燃机与动力装置,2019,36(6):64-67.
- [15] 王作峰,仲昆,贾帅,等. 高低压 EGR 对重型柴油机性能影响的试验研究[J]. 车用发动机,2021(5):22-27.
- [16] 梁郑岳,朱万冬,谢正良,等. 基于文丘里管测量的 EGR 闭环控制试验研究[J]. 天津科技,2020,47(2):43-46.
- [17] 郑广勇,于秀敏,侯福建,等. 增压器放气阀物理模型建模方法研究[J]. 内燃机工程,2012,33(5):57-62.
- [18] 肖干,张煜盛,郎静,等. 进气温度对汽油直喷压燃发动机燃烧及排放能影响的试验[J]. 内燃机学报,2014,32(2):125-130.

Influence of fuel injection quantity and other parameter deviations and environment on engine performance

LIU Shujie^{1,2}, YANG Hailong^{1,2}, ZHAI Hao^{1,2}, FU Wei^{1,2}, HUANG Guolong^{1,2}

1. State Key Laboratory of Engine Reliability, Weifang 261000, China; 2. Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261000, China

Abstract: Aiming at a certain engine used for three purposes: non road, on road and special vehicle, the influence of five parameter deviations of fuel injection rate, venturi throat diameter, turbocharger actuator opening pressure and ambient temperature and relative humidity on NO_x emission, smoke intensity, fuel consumption rate and explosion pressure are analyzed. The results show that when the positive deviation of fuel injection quantity of special vehicles is 0-0.5 kg/h, the impact on NO_x emission is significant. The venturi throat diameter and the opening pressure of the supercharger actuator have no obvious influence on the discharge. When the intake air temperature is 35 °C and the relative humidity is 80%, the influence of non road engine on NO_x emission deviation rate and fuel consumption deviation rate is significant, and the influence of road vehicle on smoke deviation rate is significant. During the production and manufacturing process, design tolerance and production control measures shall be formulated in combination with specific applications to ensure the excellent performance of the engine.

Keywords: fuel injection quantity; throat diameter; opening pressure; temperature; relative humidity

(责任编辑:郎伟锋)