

基于 GT-Power 的柴油公交车补气数值仿真研究

沈希明, 汤彬

(江苏省交通技师学院, 江苏 镇江 212028)

摘要: 通过构建公交车用柴油机物理模型, 利用 GT-Power 软件建立公交车用柴油机补气数值仿真模型, 并对模型进行修正, 在修正后模型上进行数值仿真研究, 分析柴油机补气压力对增压压力的影响及补气压力和补气管径对碳烟排放的影响。

关键词: 汽车; 柴油机; 公交车; 补气

中图分类号: U464.172

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2018)02-0011-02

柴油公交车在采用电喷和涡轮增压等技术后, 黑烟排放问题得到了有效控制。但随着对环境污染控制要求的越来越高, 对柴油公交车提出了更高的要求。该文分析补气对降低柴油发动机碳烟排放的作用。考虑到对公交柴油车发动机改装后进行试验研究不仅操作流程复杂且试验成本高, 利用美国 GAMMA 公司的 GT-Power 软件对柴油公交车补气进行数值仿真研究。

1 柴油公交车用柴油机物理模型

柴油发动机空气进入气缸的过程: 新鲜空气经空气滤清器过滤后, 在真空的作用下被吸入涡轮增压器, 被高速旋转的涡轮增压器后送至中冷器, 经冷却后通过进气管进入气缸; 在气缸中与柴油混合燃烧后在排气行程随废气一起排至涡轮增压器, 在压力和惯性作用下推动涡轮机做工后排入大气。根据上述过程建立柴油机原机模型, 然后增加补气系统部分, 建立图 1 所示公交车用柴油机物理模型。

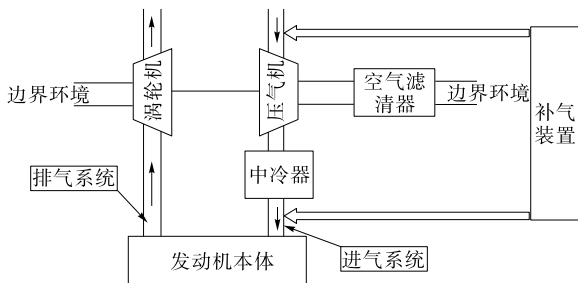


图 1 公交车用柴油机物理模型

2 数值仿真模型的建立

2.1 GT-Power 动力学方程

GT-Power 流动模型包括连续方程、动量方程

和能量方程。连续方程为:

$$\frac{dm}{dt} = \sum mflx \quad (1)$$

式中: m 为单位体积的质量; $mflx$ 为边界处的质量流量、有效面积、密度和速度的乘积。

能量方程为:

$$\frac{d(me)}{dt} = \sum (mflx \cdot H) + p \frac{dV}{dt} - h_g A (T_{gas} - T_{wall}) \quad (2)$$

式中: e 为总内能, 等于内能加动能; H 为焓值; p 为压力; V 为体积; h_g 为传热系数; A 为流通面积; T_{gas} 为气缸内气体温度; T_{wall} 为气缸壁温度。

动量方程为:

$$\frac{d(mflx)}{dt} = dpA + \sum (mflxu) - 4C_f \frac{\rho u^2 dx A}{2D} - C_p \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) A \quad (3)$$

式中: dp 为经过 dx 距离的压力差; dx 为边界处沿流动方向流体流过的厚度距离; u 为边界处的速度; C_f 为表面摩擦系数; ρ 为密度; D 为当量直径; C_p 为压力损失系数。

焓方程为:

$$\frac{d(\rho HV)}{dt} = \sum (\rho u A_{eff} H) + V \frac{dp}{dt} - h_g A (T_{gas} - T_{wall}) \quad (4)$$

式中: A_{eff} 为有效流通面积。

2.2 基于 GT-Power 的柴油公交车补气仿真模型

该文主要研究柴油公交车起步加速工况下补气对碳烟排放的影响, 燃烧模型选用 EngCombDIJet。图 2 为利用 GT-Power 软件构建的柴油公交车补气数值仿真模型, 主要由气缸与曲轴箱、进气排气管

路、喷油器、涡轮增压器等模型构成。

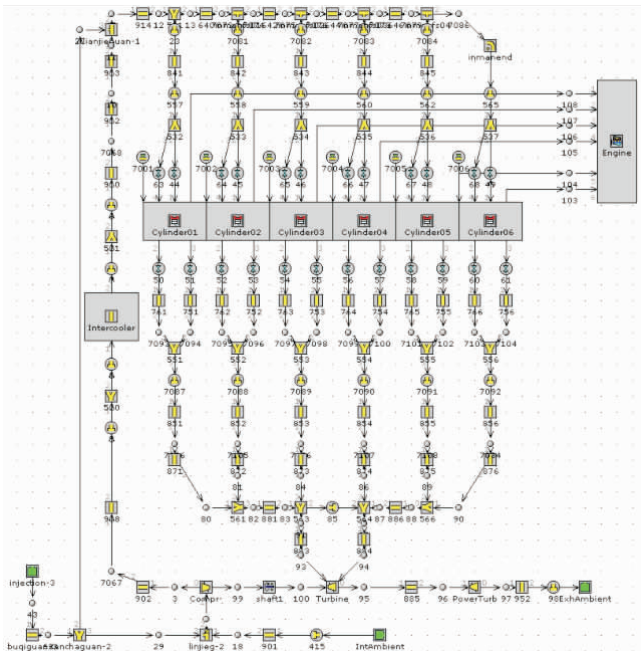


图2 柴油公交车补气数值仿真模型

2.3 模型的修正

为了提高模型试验数据的准确性和可靠性,对图2所示模型进行修正。通过对被仿真公交车柴油机原型机外特性与模型模拟数值的比较,从两者差异中寻找规律,以此为基础对模型进行修正,直至误差在 $\pm 5\%$ 以内。

在发动机怠速工况、油门全开工况及转速 $2\ 200 \sim 2\ 500\ \text{r/min}$ 工况下对发动机扭矩、功率等进行比较,验证模型的准确性和可靠性,结果显示误差在 5% 以内,符合仿真研究的要求。

3 仿真结果与分析

3.1 补气对碳烟排放的影响

基于GT-POWER柴油公交车补气模型,模拟发动机起步工况(发动机转速在4 s内从怠速升高到 $1\ 700\ \text{r/min}$,外负荷稳定在 $450\ \text{N}\cdot\text{m}$,下同)时补气对发动机进气压力和碳烟排放的影响。图3为补气压力 $0.8\ \text{MPa}$ 条件下的增压压力和不补气情况下的增压压力对比,图4为补气压力 $0.8\ \text{MPa}$ 条件下的碳烟排放与不补气情况下的碳烟排放对比。

从图3可看出:补气可明显提高发动机进气增压压力,压力最大提高 $0.008\ \text{MPa}$,而且随着转速的升高呈提高趋势。说明补气可有效调高增压压力,即增加进气量,从而改善机内燃烧。

从图4可看出:补气情况下发动机碳烟排放远小于不补气时,在加速阶段更为明显,加速阶段最小减小到原来的 $1/6$ 。说明补气能有效调高增压压力,改善发动机机内燃烧,从而减少碳烟排放。

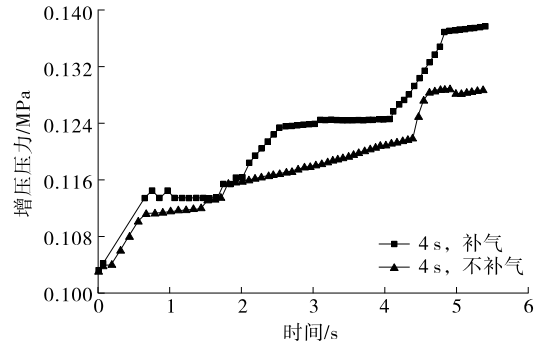


图3 补气与不补气时的增压压力对比

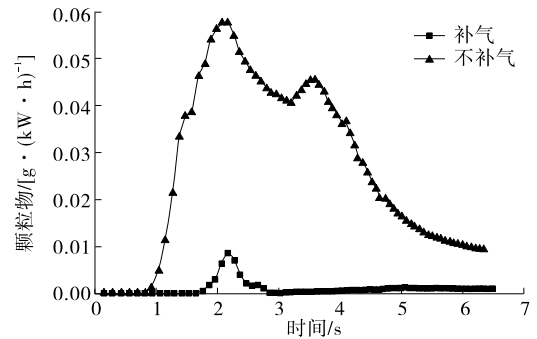


图4 补气与不补气时的碳烟排放对比

为进一步分析补气压力对发动机碳烟排放的影响,模拟在起步工况时不同补气压力下的碳烟排放,结果见图5。

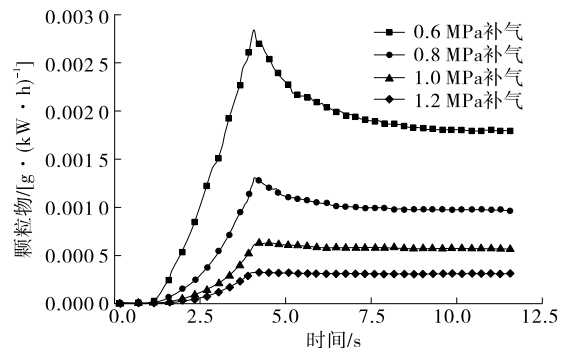


图5 补气压力对碳烟排放的影响

从图5可看出:碳烟排放随着补气压力的增大而降低,补气压力为 $0.8\ \text{MPa}$ 时的碳烟排放比补气压力为 $0.6\ \text{MPa}$ 时减少 50% 以上,补气压力为 $1.0\ \text{MPa}$ 时的碳烟排放比补气压力为 $0.8\ \text{MPa}$ 时减少

(下转第16页)

的平均值和标准差; $\mu_{\text{泄漏}}$ 、 $\sigma_{\text{泄漏}}$ 分别为泄漏的燃油蒸发系统压力变化的平均值和标准差。

图 10 为安装 0.5 mm 泄露孔和正常燃油蒸发系统在某一特定驾驶环境下的压力变化正态分布。从中可见,在该特定驾驶环境下,两系统的区分度满足可靠性要求。

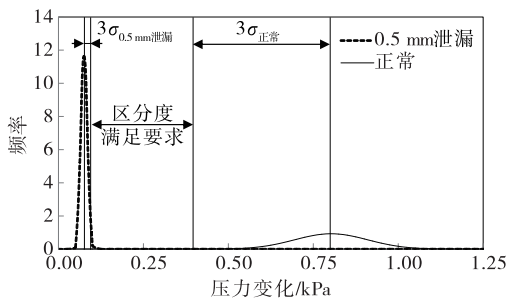


图 10 泄漏和正常燃油蒸发系统压力变化的正态分布

4 结语

利用车辆熄火后燃油蒸发系统自然冷却的过程进行泄漏检测是一种行之有效的方法。环境温度、

油位和 RVP 是影响该诊断方法的主要影响因素,其他因素如驾驶里程、海拔可作为噪声来考量。该方法可有效区分正常和泄漏的燃油蒸发系统,诊断可靠性较高。

参考文献:

[1] GB 18352.6-2016, 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)[S].

[2] Michael De Ronne, Greg Labus, Chad Lehner, et al. The development and implementation of an engine off natural vacuum test for diagnosing small leaks in evaporative emissions systems[R]. SAE Paper, 2003.

[3] Russell Randall Pearce, Scott A Bohr, Dennis Seung-Man Yang, et al. Engine-off leak detection based on pressure[P]. 美国专利: US20150046026A1, 2015-02-15.

[4] 吴启才, 张远军. 汽油品质对轻型车辆排放的影响[J]. 北京汽车, 2010(1).

收稿日期: 2017-12-06

(上接第 12 页)

50%以上,补气压力达到 1.2 MPa 时碳烟排放值已非常小了。

3.2 补气管路直径对碳烟排放的影响

模拟在起步工况下补气压力为 0.8 MPa 时不同直径补气管路的碳烟排放,结果见图 6。

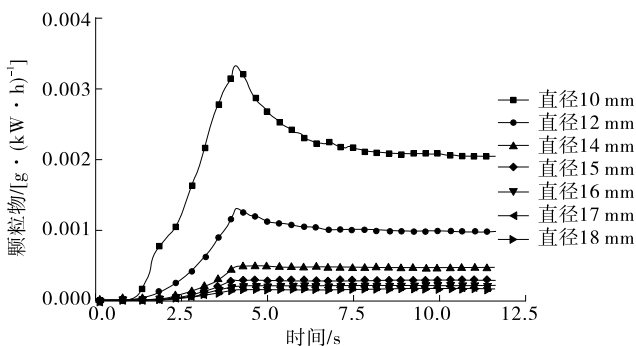


图 6 补气管径对碳烟排放的影响

从图 6 可看出:随着补气管径的增大,碳烟排放减少,管径从 10 mm 增大到 12 mm 时,碳烟排放减少非常明显,达 60%以上;但管径达到 15 mm 以上时,随着管径的增大,碳烟排放减少已不明显。

4 结论

(1) 补气能有效调高柴油公交车发动机增压压

力,改善发动机机内燃烧,从而减少碳烟排放。

(2) 柴油公交车发动机碳烟排放随着补气压力的增大而降低。

(3) 柴油公交车发动机碳烟排放随着补气管径的增大而减少,但管径达到 15 mm 以上时,随着管径的增大,碳烟排放减少不明显。

参考文献:

[1] 赵家琳. 公交车发动机的选择及对节能减排的影响[J]. 城市车辆, 2009(6).

[2] 李孟良, 苏梦辉, 秦孔建, 等. 实际行驶工况下柴油车发动机负荷分布及排放[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2007, 28(3).

[3] 石来华, 冯仁华. 基于 GT-POWER 模型的发动机进气系统优化[J]. 客车技术与研究, 2010(3).

[4] 贺绍华, 阳林, 彭才望, 等. 硫含量对柴油车排放的影响与减排措施的研究[J]. 客车技术与研究, 2012(6).

[5] 王泽平, 任杰, 王黎明. 客车柴油机排放及其控制技术[J]. 客车技术与研究, 2010(1).

[6] 沙学锋. 城市道路机动车动态排放预测模型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.

收稿日期: 2017-12-13