

单向阀 EGR 系统对柴油机性能的影响

Effect of EGR System with One-Way Valve on Diesel Engine

顾宁宁 赵长禄 章振宇

GU Ning-ning, ZHAO Chang-lu, ZHANG Zhen-yu

(军用车辆动力系统技术实验室, 北京理工大学, 100081)

摘要: 本文基于 GT -SUITE 软件建立具有单向阀 EGR 系统的柴油机仿真模型。在此基础上计算分析了单向阀 EGR 系统对柴油机的 EGR 率、动力性、燃油经济性和排放性能的影响。研究表明: 通过加装单向阀, 可以有效地降低柴油机各工况下的氮氧化物的排放, 但 EGR 的作用, 也会对柴油机的燃油经济性和微粒排放造成不利的影响。

关键词: 单向阀、EGR、柴油机、GT-SUITE

Abstract: The GT - SUITE simulation model diesel engine in this paper is built up with one-way valve EGR system, based on which the effect of the one-way valve EGR system on the EGR ratio, break power, economic performance and emission performance of the diesel engine has been analyzed. The results of simulation show that EGR system with the one-way valve can increase EGR ratio and reduce NO_x emission of the diesel engine under different conditions effectively, but at the same time, bring adverse effect to the economic performance and PM emission of the diesel engine.

Key words: one-way valve, EGR, diesel engine, GT-SUITE

1、引言

EGR 技术是降低柴油机 NO_x 排放的有效手段之一。目前,国内外 EGR 技术研究的主要方向和内容是, EGR 与柴油机各系统的优化匹配、EGR 的精确控制以及如何尽量提高柴油机的 EGR 率等,目的就是要在尽可能不牺牲或少牺牲柴油机经济性和动力性的前提条件下,充分发掘 EGR 技术降低柴油机 NO_x 排放的潜力。

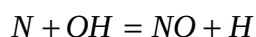
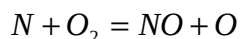
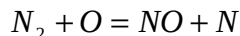
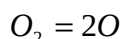
柴油机排气中 NO_x 的生成, 包括三部分:

(1) 高温 NO_x: 高温(燃烧)过程因离解反应同时生成氧和氮的原子及分子, 根据捷里多维奇(Zeldovich)的理论, 这些分子和原子接着形成了 NO_x。

(2) “即时” NO_x: 在预混合燃烧的贫氧火焰层中的化学反应产生 HC 根, 它与氢分子一起形成氰化物, 再通过副反应从氰化物形成 NO_x。

(3) “燃油” NO_x: 在相对较低温度下燃烧期间从燃油边界区脱离的氮生成的 NO_x^[1]。

通常, 在柴油机中高温 NO_x 是占主要的, 其它两种 NO_x 的生成量与之相比是很少的一部分。高温 NO_x 的产生遵循捷里多维奇(Zeldovich)理论^{[2][4]}, 反应机理如下:



NO_x 生成的三个条件是: 高温、富氧、长的滞留时间。一般来说, 柴油机 NO_x 排放的形成是无法避免的, 但是可以通过控制影响燃烧过程的最高温度和富氧空气在高温中的滞留时间等因素加以限制它的排放量。而这些因素主要有喷油正时、喷油压力、涡流比、燃烧室的形状与尺寸以及 EGR 率等, 本文中通过加装单向阀 EGR 系统改变 EGR 率, 研究对 No_x 的生成影响。

对于增压中冷柴油机来说, 在某些工况下, 中冷后的平均进气压力大于涡轮机前的排气平均压力, 从而难以形成 EGR。为了实现 EGR 功能或高的 EGR 率, 就需要采用某些技术措施。

对于脉冲增压系统的柴油机, 由于进气压力波动性小、排气压力波动性大, 且排气压力的峰值一般大于进气压力, 单向阀 EGR 系统利用循环中瞬时排气压力大于进气压力实现气体回流。这种方法没有节流作用, 对发动机本身性能影响小, 结构简单。

本文利用 GT - SUITE 中的 GT-POWER 模块建立了 6V132 增压柴油机仿真模型, 研究了单向阀 EGR 系统对柴油机动力性、经济性、排放特性的影响。

2、仿真模型的建立与标定

建立并标定 6V132 柴油机的仿真模型，本论文使用柴油直喷射流燃烧模型（DI-Jet）。模型的校核主要是从缸内瞬时压力和放热率的角度来出发，校核结果如图 2-1 所示。

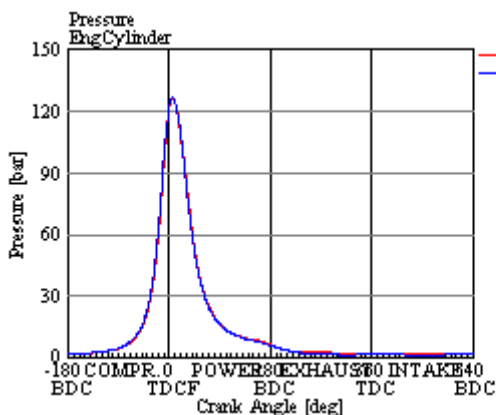


图 2-1(a) 缸内瞬时压力校核

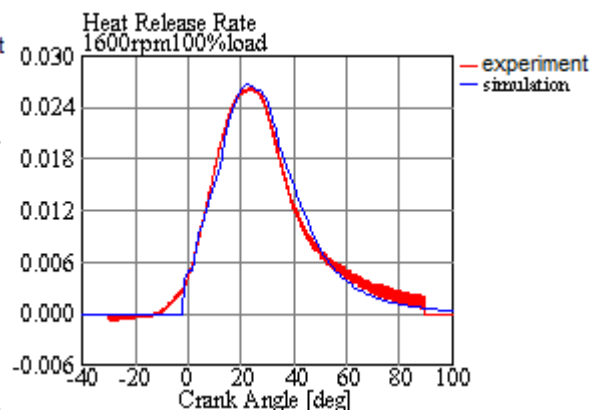


图 2-2(b) 典型工况放热率校核

图 2-1(a) 所示为典型工况下仿真模型缸内瞬时压力与实验值对比结果。对于 EGR 柴油机，排气与进气压力差直接影响到 EGR 率的大小，校核缸内瞬时压力值能保证进气压力和排气压力的准确性。

图 2-1(b) 所示为典型工况下仿真模型放热率与实验值对比结果。燃油在缸内燃烧的过程直接影响燃烧产物和排放物。对柴油机放热率的校核能保证仿真模型能准确模拟燃油在气缸内的燃烧过程。

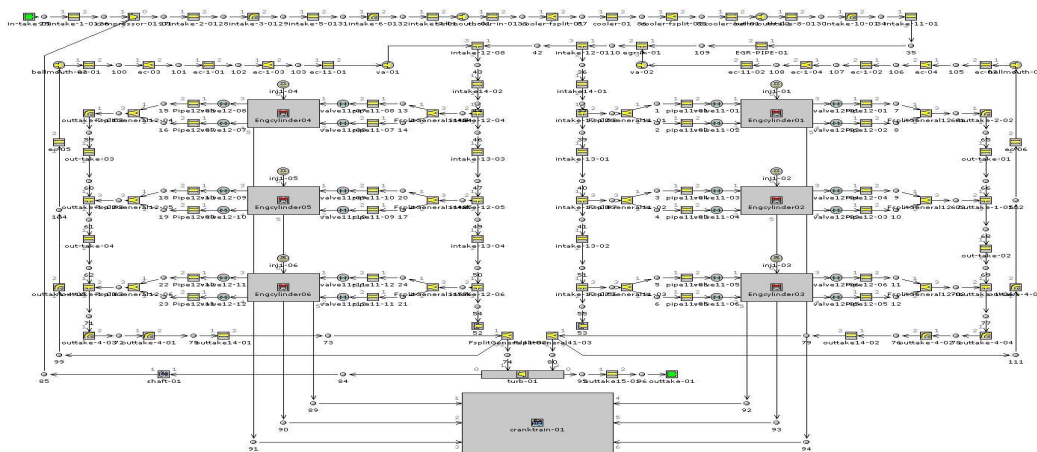


图 2-2 单向阀 EGR 系统柴油机模

在此基础上建立单向阀 EGR 系统的柴油机如图 2-2 所示，废气从两侧排气管分别引出，单向阀位于 EGR 冷却器后，单向阀后安装一个节气阀控制废气的引入量，从而实现 EGR 率的可调。EGR 引入点位于发动机中冷器后。

带冷却器的 EGR 系统通过降低循环废气的温度，降低了发动机的进气温度和燃烧峰值温度，从而更加有效地降低 NO_x 的排放。与此同时，较低的进气温度提高了进气密度和进气充

量,有利于改善发动机的动力性和经济性,但过低的冷却温度将导致废气中的水分凝结,与排放中的硫化物结合形成硫酸,对冷却器产生腐蚀。本研究参考国外公司对 EGR 冷却器性能的要求,将 EGR 冷却器的出口温度控制在 $120^{\circ}\text{C}\sim 160^{\circ}\text{C}$ 以内^[3]。

3、结果与分析

3.1 进排气压力分析

大负荷工况下,排气平均压力往往小于进气平均压力。单向阀就是利用排气脉冲效应来实现 EGR 的,图 3-1 所示为 1300r/min , 100% 负荷工况下柴油机进排气压力瞬时值的对比。排气压力的峰值大于进气压力,这样就保证了循环中废气压力在一定时刻大于进气压力。

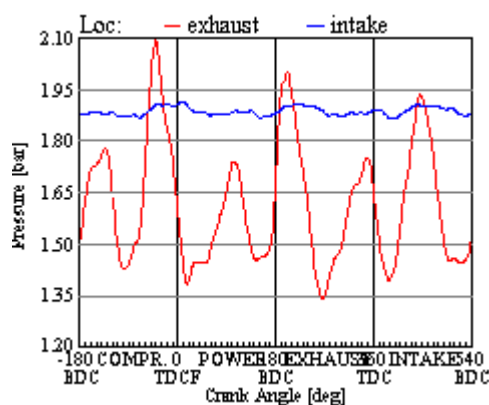


图 3-1(a) 1300r/min 进排气压力对比

3.2 发动机排放性能分析

本研究结合仿真结果对发动机排放特性作定性分析。图 3-2 所示为不同转速工况下 NO_x 随 EGR 率大小的变化规律。

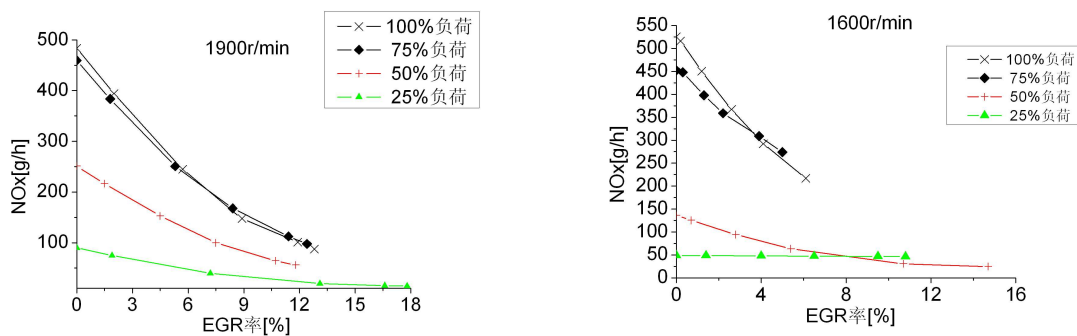


图 3-2 NO_x 随 EGR 率变化规律

整体上看,不同转速和负荷工况条件下, NO_x 随 EGR 率的增大均下降。相同转速,大负荷工况时 NO_x 排放量高,低负荷时 NO_x 排放量低,这是由于大负荷时 EGR 率相对较低、同时

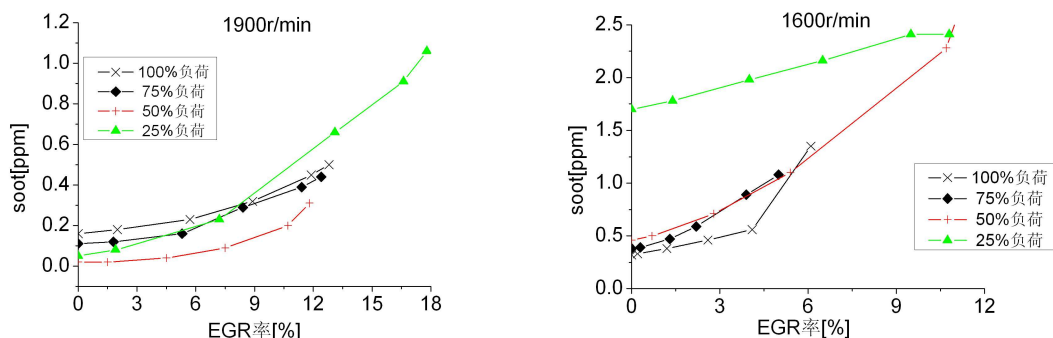


图 3-3 soot 排放随 EGR 率变化规律

负荷增大缸内温度升高，容易生成 NO_x 。

图 3-3 所示为不同转速工况下微粒排放随 EGR 率大小变化的规律。soot 随 EGR 率的增大均上升，这是因为 EGR 率的增加燃油燃烧的不够充分。

3.3 发动机动力性分析

图 3-4 所示为不同转速下发动机功率随 EGR 率大小的变化规律。整体上看，不同转速、负荷情况下，都有一个共同的特点：功率随 EGR 率的增大而减小。对于同一转速，大负荷工况时，EGR 率增大，功率下降较低负荷要快。

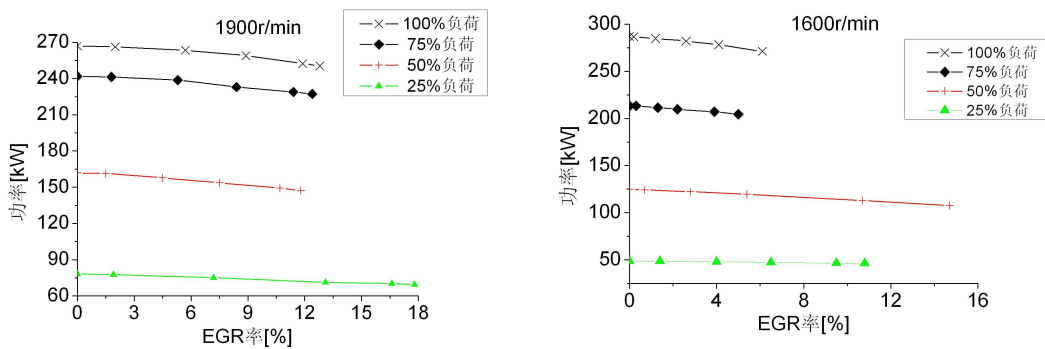


图 3-4 功率随 EGR 率变化规律

功率随 EGR 率增加而降低是因为，EGR 率的增加缸内新鲜空气降低，发动机指示热效率降低，因此功率降低。

3.4 发动经济特性分析

图 3-5 所示为柴油机燃油经济性随 EGR 率变化的关系。燃油消耗率随 EGR 率的增大而增大，且低负荷的燃油消耗率远大于大负荷。

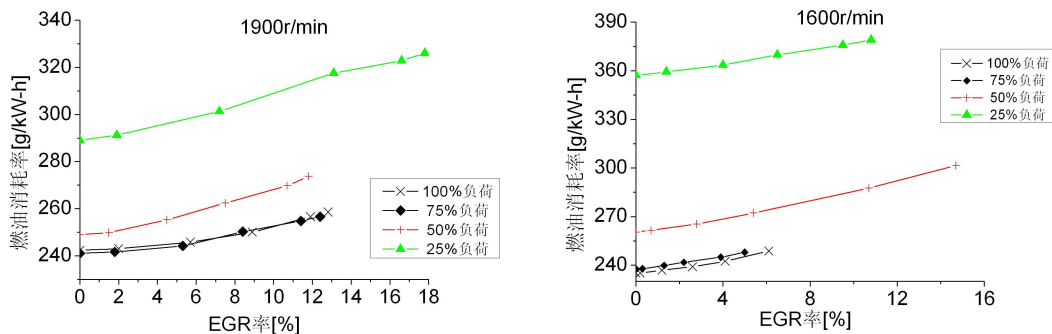


图 3-5 燃油消耗率随 EGR 率变化

4、结论

- 1、采用单向阀系统可以实现高负荷工况下，排气平均压力小于进气平均压力时的废气回流，从而实现 EGR 为降低 NO_x 排放提供了保证。同时避免了采用进气节流降低进气压力，产生节流损失的弊端。
- 2、单向阀系统实现 EGR，降低了发动机进气量，导致发动机颗粒物排放恶化。
- 3、单向阀系统虽然对废气节流作用小，但可实现 EGR 率较小，EGR 可调范围不足。特别是大负荷工况下这种缺点更加明显。

5、参考文献

- [1] 李文军. 车用增压柴油机 EGR 技术的应用试验研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2003
- [2] 黄锐, 孙跃东等. EGR 降低柴油机 NO_x 排放的模型计算与试验研究 [J]. 柴油机, 2007, 29 (3): 25-27
- [3] 孙剑涛. 增压中冷车用柴油机 EGR 技术试验研究 [M]. 长春: 吉林大学, 2004
- [4] E. Mattarelli, et al, "Experimental and Numerical Investigation on the EGR System of a New Automotive Diesel Engine", SAE Paper 2000-01-0224, March 2000, Detroit, Michigan.