

基于 GT-Power 的双向阀 EGR 系统对柴油机性能影响的分析研究

张吉军 谢程宁 宁智

北京交通大学

基于 GT-Power 的双向阀 EGR 系统对柴油机性能影响的分析研究

Analysis and Investigation of the Influence of two-way EGR Valve System to Diesel Engine Based on GT-Power

张吉军 谢程宁 宁智
(北京交通大学)

摘要: 本文介绍了 EGR 降低柴油机 NO_x 排放的基本原理, 并利用 GT-Power 软件建立了带有普通双向 EGR 阀系统的 6100 涡轮增压柴油机仿真模型; 在此基础上, 分析了不同工况下双向 EGR 阀系统对 6100 涡轮增压柴油机性能的影响。

关键词: EGR GT-POWER NO_x 排放 柴油机

Abstract: The mechanism to reduce NO_x have been described in this paper, And a GT-Power simulation model of 6100 turbo-charge diesel engine has been created. By the use of this model, we analyse the influence of two-way EGR valve system to 6100 turbo-charge diesel engine.

Key words: EGR GT-Power NO_x emission diesel engine

1 概述

随着环保意识的日益增强, 降低汽车排放已成为人们共同关注的重要课题。对于车用柴油机来说, 在其排放的几种有害物中, NO_x 是较难控制的一种。虽然国内外汽车厂商和研究机构在这方面已做了大量研究工作, 并提出了多种控制措施, 如推迟喷油提前角、使用多次喷射、采用高压共轨喷射系统等。但是由于这些控制技术在降低 NO_x 排放的同时, 要么使发动机热效率降低, 燃油经济性下降, 燃油消耗率增加, 要么提高制造成本, 因此在降低 NO_x 排放时受到限制。而废气再循环 (EGR) 在技术成本增加较少的情况下, 可以有效抑制 NO_x 的生成, 因而受到了广泛重视。

废气再循环(EGR)是指将柴油机排出的废气通过一定的手段重新引回到气缸内参与燃烧,从而达到降低燃烧温度以减少NO_x生成的目的。由于以下原因,采用EGR可降低发动机的NO_x排放:

(1)废气中含有大量的氮和二氧化碳等接近惰性的气体,当这些废气部分回流到进气管后起到了稀释新鲜进气的作用,使燃烧反应速率减缓;

(2)废气中含有的水蒸气和二氧化碳等为三原子分子气体,比热容大,可以有效地降低气缸内最高燃烧温度;

(3)废气的稀释作用还可以使氧气的相对浓度下降,从而也能降低NO_x的排放。

2 EGR 系统的 GT-Power 仿真模型

2.1 仿真模型

图 1 和给出了普通双向阀 EGR 系统的 6100 涡轮增压柴油机 GT-Power 仿真模型。

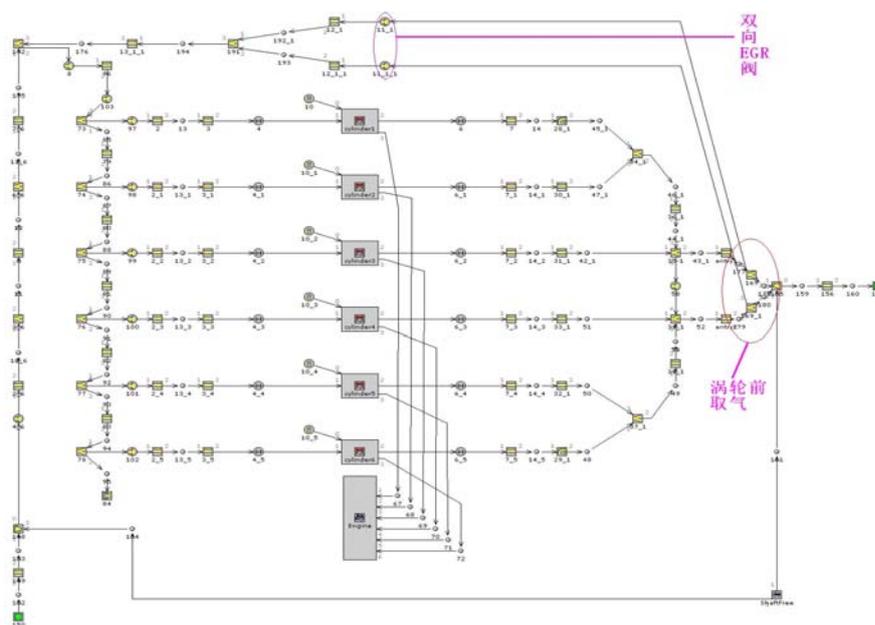


图 1 普通双向阀 EGR 系统的 6100 涡轮增压柴油机仿真模型

2.2 模拟计算的目标及方法

在模拟计算过程中将按照 ECER 49 十三工况法进行,如表 1 所示。通过改变不同工况下的 EGR 阀开度,从而改变 EGR 率的大小,通过研究该系统所能够取得的最大 EGR 率及不同的 EGR 率对柴油机性能的影响。

由于工况点 1, 7, 13 为怠速工况点,NO_x 排放值较低,并且此时如果加入 EGR 会使得

柴油机工作不稳定,表现在缸内压力变化率增大,甚至导致失火,使 HC 排放剧增,因此对这三个工况点不进行 EGR; 工况点 6, 8 为柴油机的最大扭矩工况点和额定功率工况点,这两个工况点在十三工况法中所占的权重较高。在这两个工况加入 EGR 虽然能够改善 NO_x 的排放,但会导致柴油机的空燃比下降,严重影响柴油机的动力性,并会恶化柴油机的经济性和微粒排放,因此不对这两个点进行 EGR 设计; 因此,在对 6100 涡轮增压柴油机 EGR 系统进行模拟计算分析时,将主要集中在 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12 这几个工况点下进行。

表 1 ECER 49 十三工况法

工况	转速 (r/min)	负荷 (%)	加权系数
1	怠速	0	0.25/3
2	2600	10	0.08
3	2600	25	0.08
4	2600	50	0.08
5	2600	75	0.08
6	2600	100	0.25
7	怠速	0	0.25/3
8	3600	100	0.10
9	3600	75	0.02
10	3600	50	0.02
11	3600	25	0.02
12	3600	10	0.02
13	怠速	0	0.25/3

3 仿真结果分析

图 2 和图 3 分别给出的是转速 2600 r/min 和 3600r/min 的工况下, 6100 涡轮增压柴油机原机没有进行 EGR 时, 在不同工况点上燃油消耗率及排放的情况。两图中所示的 NO_x 增量系数和微粒增量系数的比较基准分别是 6 工况点和 8 工况点的排放量。

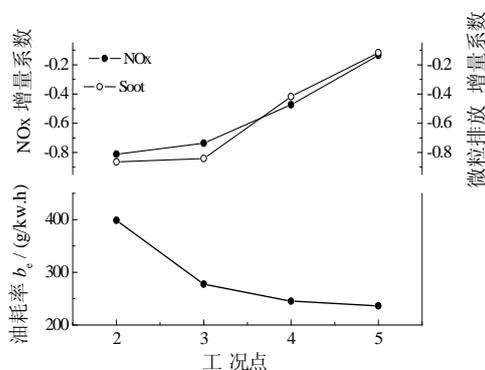


图 2 无 EGR 时柴油机 2-6 工况点上的性能曲线

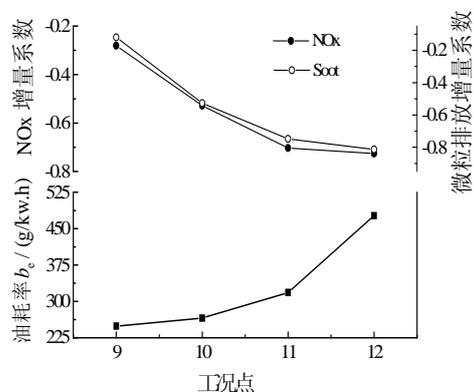


图 3 无 EGR 时柴油机 9-12 工况点上的性能曲线

从图 2 中可以看到, 在 2600 r/min 转速下, 随着负荷的增加 NO_x 和微粒的排放也随之

增大，燃油消耗率则随着负荷的增大而降低；从图3中上可以看到，随着6100涡轮增压柴油机负荷的降低，NO_x和微粒排放都逐渐降低，燃油消耗率则逐渐增大。

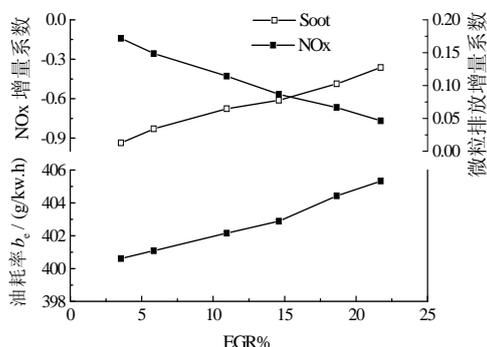


图4 2工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

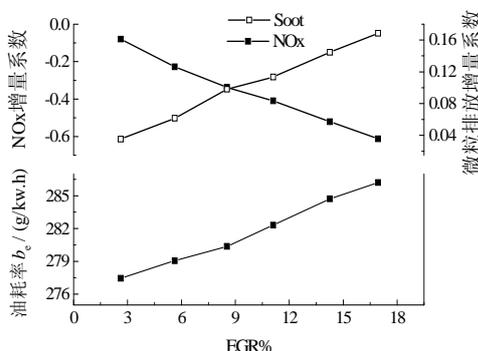


图5 3工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

从图4中可以看到，10%负荷时，采用普通双向阀EGR系统的EGR率最高可以达到21.7%。随着EGR率的增大，NO_x排放近似线性下降，当EGR率达到21.7%时，NO_x排放下降了77%。随着EGR率的增大，柴油机的微粒排放和燃油消耗率有上升的趋势。

从图5中可以看到，25%负荷时，在采用普通双向阀EGR系统的情况下，6100涡轮增压柴油机的EGR率最大可以达到16.9%。随着EGR率的增加，NO_x排放最高下降61%；但同时微粒的排放也随之有所增大，增长速度较高。随着EGR率的增加，柴油机的燃油消耗率也有所升高。

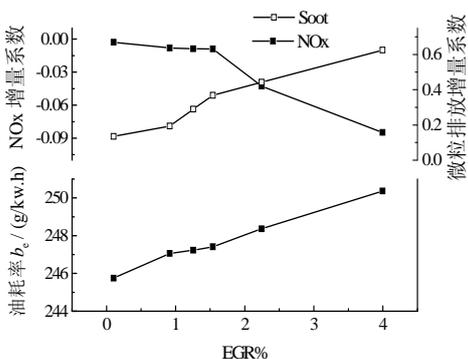


图6 4工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

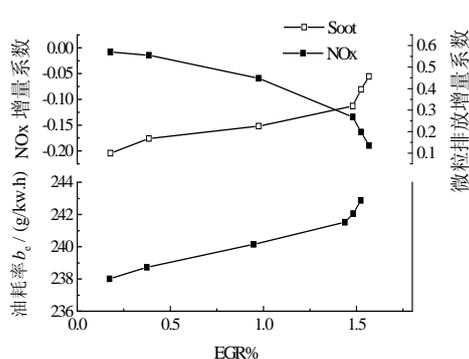


图7 5工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

从图6中可以看到，在50%负荷时，在采用普通双向阀EGR系统的情况下，6100涡轮增压柴油机的EGR率最大只能达到3.9%左右。随着EGR率的增加，NO_x排放最高下降9.5%；但由于此工况下的NO_x排放值相对较高，因此NO_x的净化效果比较明显。从微粒的排放上看，EGR率从0.1%增大到3.9%时，微粒增量系数从0.13增大到0.62，增加较快；由于此工况下微粒排放值较高，因此微粒排放的绝对增量较大。当EGR率从0增加到3.9%时，燃油消耗率从245.1 g/kw.h增大到250.4 g/kw.h，增大2.2%左右。

从图7中可以看到,75%负荷时,6100涡轮增压柴油机采用双向EGR阀的EGR率最高仅为1.5%。虽然最高EGR率较低,但由于该工况下NO_x排放值较高,因此NO_x排放的净化效果也比较明显,NO_x排放最高可下降18.9%左右。随着EGR率的增加,微粒排放也随之增大,且增加很快。随着EGR率的增加,燃油消耗率从236.6 g/kW.h增大到了242.9 g/kW.h,增大2.7%,增大并不明显。

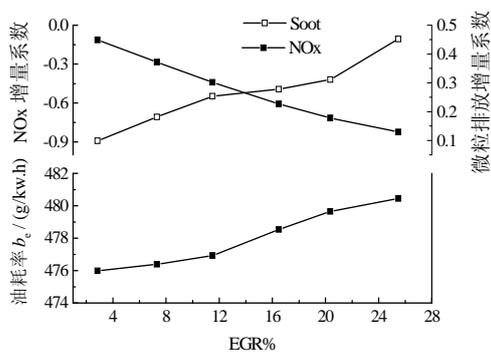


图8 12 工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

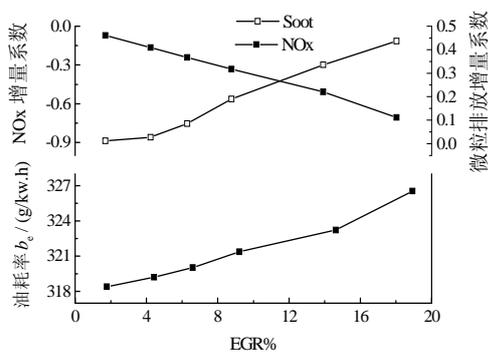


图9 11 工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

从图8中可以看到,在10%负荷下,6100涡轮增压柴油机采用双向EGR阀时,最大EGR率能够达到25.4%,相应的NO_x排放下降82.4%;从微粒排放上看,EGR率从0增大到25.4%时,微粒排放增加了45%;柴油机的燃油消耗率略有升高。

从图9中可以看到,在11工况点25%负荷下,6100涡轮增压柴油机采用双向阀时的最高EGR率可以达到21.5%左右,相应的NO_x排放下降了70.5%;最高EGR率时,柴油机的微粒排放增加了45%;随着EGR率的增加,柴油机的燃油消耗率从318.4 g/kW.h增大到326.5 g/kW.h,增加2.5%左右。

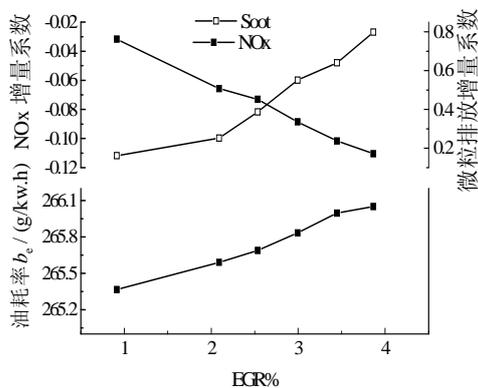


图10 10 工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

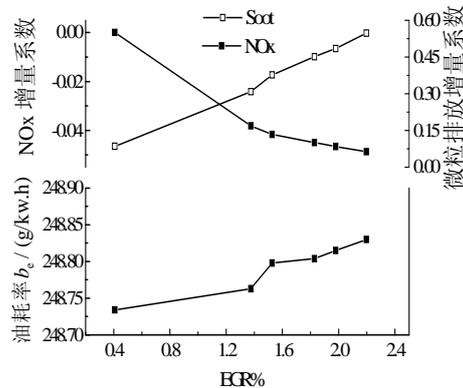


图11 9 工况点 EGR 率对柴油机性能的影响

从图10中可以看到,在10工况点50%负荷下,6100涡轮增压柴油机最大EGR率为3.9%,相应的NO_x排放下降了10.1%左右;由于此工况下的NO_x排放较高,因此NO_x排放的绝对降

低量较大。但同时柴油机的微粒排放最高增大了 80%；由于此工况下的微粒排放较高，因此微粒排放的恶化比较严重。燃油消耗率略有升高。

从图 11 中可以看到，在 9 工况点 75%负荷下，6100 涡轮增压柴油机采用双向 EGR 阀时，EGR 率最高只能达到 2.2%，相应的 NO_x 排放最高下降 4.7%，降低效果不十分明显。与之相对应，微粒排放在最高 EGR 率下却上升了 60%左右。随着 EGR 率的增加，燃油消耗率呈上升的趋势；最高 EGR 率时，柴油机的燃油消耗率增加了 0.2 g/kW.h 左右。

4 结论

(1) EGR 对 6100 涡轮增压柴油机各工况下的 NO_x 排放具有显著的降低作用；

(2) EGR 在降低 NO_x 排放的同时，会导致微粒排放的增加，在负荷不大的工况点，即使在较高的 EGR 率下，柴油机的燃油经济性没有发生明显的恶化。

(3) 在较大负荷工况下如需进一步利用 EGR 技术降低柴油机的 NO_x 排放，则需对柴油机的微粒排放进行专门的处理，以获得比较理想的柴油机 NO_x 排放和微粒排放。

5 参考文献

- [1] 谢程宁. 基于 GT-Power 仿真模型的 6100 涡轮增压柴油机的特性分析与研究. [学位论文]. 北京交通大学. 2005.
- [2] 平银生. 利用 EGR 降低柴油机排放的研究. 内燃机工程. 2000(4).
- [3] Yoshio Sato, Akira Noda, and Takashi Sakamoto, Combustion and NO_x Emission Characteristics in a DI Methanol Engine Using Supercharging with EGR, SAE-paper971647
- [4] 王 忠. 排气再循环对柴油机工作过程参数、性能和排放的影响. 内燃机学报. 2002(5).