

文章编号:1000-582X(2013)02-102-07

实现柴油机欧 IV 排放标准的试验

邹振宇^{1,2}, 解茂昭³, 毕明昕⁴

(1. 吉林建筑工程学院 土木工程学院, 吉林长春 130021; 2. 吉林大学 机械科学与工程学院, 吉林长春 130021; 3. 大连理工大学能源与动力学院, 大连 116024; 4. 一汽解放汽车有限公司技术发展部, 长春 130021)

摘要:以某一四缸、增压直喷柴油机为样机,利用专业试验台架,首先对样机的喷油提前角和 EGR 率进行了不同工况下的标定,从而使柴油机排放物中 NO_x 的排放量达到了欧 IV 排放标准;随后联合利用柴油氧化催化器(DOC)及微粒氧化催化转化器(POC)技术对柴油机尾气排放进行了试验研究,从而使柴油机废气排放物指标完全达到了欧 IV 排放标准。通过本试验研究,总结出了实现柴油机欧 IV 排放标准一种方法,并总结了此种方法的特点及规律。

关键词:柴油机;排放;喷油提前角;废气再循环;柴油氧化催化器;微粒氧化催化转化器;欧 IV 标准

中图分类号:R319

文献标志码:A

An experiment study of the realization of diesel engine emission standard of Euro IV

ZOU Zhenyu^{1,2}, XIE Maozhao³, BI Mingxin⁴

(1. School of Civil Engineering, Jilin Architecture and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, Jilin, China; 2. School of Mechanical Engineering, Jilin University, Chongchun 130021, Jilin, China; 3. School of Energy and Power Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 4. Faw Jiefang Automotive Co. Ltd., Changchun 130021, Jilin, China)

Abstract: This paper calibrates the advanced injector angle and EGR of a four-in-line pressure engine on the specialized test stand, which makes the NO_x achieved the standard of Euro IV. Then an experiment study of the diesel oxidation catalyst (DOC) and the particulate oxidation catalyst (POC) are made. Both make the diesel engine emission achieving the Standard of Euro IV. This experiment study shows a kind of method that realizing diesel engine emission standard of Euro IV, and concludes the character and law of the method.

Key words: diesel engine; emission; advanced injector angle; EGR; diesel oxidation catalyst (DOC); particulate oxidation catalyst (POC); Standard of Euro IV

能源问题已经逐渐成为世界各国关注的最重要问题,环境污染对人们的生活的影响也越来越严重。节能、减排是当今世界面临的最大的问题,汽车工业

是影响这 2 个问题的最大因素之一。发达国家对汽车排放标准的要求特别严格,我国近两年对汽车排放的要求逐渐和国际接轨。欧 IV 排放标准的实现已

收稿日期:2012-10-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50876017);吉林建筑工程学院青年基金资助项目

作者简介:邹振宇(1978-),男,吉林大学博士研究生,研究方向:发动机排放与控制,(E-mail)511230zzy@163.com。

经是大势所趋。如何实现欧IV排放标准也是最近各相关企业和研究机构的热门研究课题。西欧各国已经完全意义上实现了欧IV排放标准,汽车与轻型卡车用柴油机已经普遍采用了EGR技术,重型卡车发动机也逐渐采用EGR。我国起步较晚,目前我国大连柴油机厂以及一汽集团的汽研所正在为柴油机实现欧IV排放标准进行大量的试验及理论模拟研究。要实现欧IV排放标准必须对汽车废气中的 NO_x 、CO、HC、PM等排放物指标做到严格控制。而 NO_x 和PM又是控制的重点对象。

作者利用试验的方法,首先通过对EGR率及供油提前角的联合标定,降低柴油机 NO_x 排放物的排放量,使其达到欧IV排放标准,然后应用柴油氧化催化器(DOC)加微粒氧化催化转化器(POC)技术对柴油机的尾气进行后处理,从而使柴油机排放完全实现欧IV排放标准,本文的研究内容对柴油机实现欧IV标准提供了试验方法和大量的试验数据,对本领域问题的研究具有重要的借鉴意义。

1 试验原理及方案

1.1 试验原理

众所周知,柴油机喷油系统中的喷油提前角和喷嘴结构等参数对于柴油机的排放性能影响尤为突出^[1-3],同时废气再循环(EGR)技术是降低柴油机

NO_x 排放的一项最有利措施^[4-9]。随着世界各国柴油机排放法规的日益严格,EGR系统在柴油机上的应用范围不段扩大^[10-13]。其作用机理是将一部分废气导入燃烧室,增加燃烧室内气体的热容量,降低燃烧气体的最高温度,从而抑制 NO_x 的排放^[14-15]。EGR系统在抑制 NO_x 排放量的同时也产生了副作用,由于废气导入燃烧室,对发动机的燃烧特性产生了负面影响,会导致PM排放量的升高。供油提前角增加时,13工况 NO_x 的排放迅速增加,而PM排放变化不明显^[16]因此可以通过联合标定EGR和供油提前角的办法控制柴油机废气中的 NO_x 含量。使其达到欧IV排放标准。但是要是使柴油机的排放完全满足欧IV排放标准,还必须对柴油机尾气中PM等其他排放物进行处理。无论是DOC还是POC对柴油机尾气中的PM都有一定的过滤作用,通过DOC和POC技术的联合应用,可以使PM排放指标达到欧IV排放标准。

1.2 样机参数

试验所研究样机的基本参数如表1所示。试验样机的基础配置为衡阳大柱塞FEUP电控单体泵、北油 $8 \times 147 \times 1020$ 喷油器、E2-4燃烧室、大陆ECU、霍尔塞特增压器、Timing-EGR标定完毕、欧IV燃油,含硫量40ppm、CI-HW-40润滑油。

表 1 柴油机参数

发动机型式	缸径/mm	冲程/mm	压缩比	涡流比	燃烧模式	额定功率/kW	最大扭矩/(N·m)
直列4缸、四冲程	101	125	18.6	2.1	冷却EGR+涡轮增压	105(2 600 r/min)	540(1 600 r/min)

1.3 EGR 布置方案

试验的EGR系统布置方案如图1所示,采用废气从涡轮机前排气管引出模式,废气与压后进气混合进入汽缸。此种EGR废气流动路线设计与其他方式相比可以避免再循环废气污染压气机和中冷器,使压气机和中冷器不受排气中的微粒、碳氢化合物和硫的影响,从而减少了可能会出现淤塞与腐蚀问题^[17]。通常增压直喷柴油机的排气平均压力小于进气平均压力,要实现稳定可靠的废气再循环,必须采取措施克服压力逆差,使足量的废气送入进气系统。克服压力逆差通过调整增压器参数以提高涡轮前压力方法来实现。由涡轮前排气管向中冷后进气管加EGR废气,通过废气调节阀控制废气流量,并利用EGR冷却器对废气进行冷却。

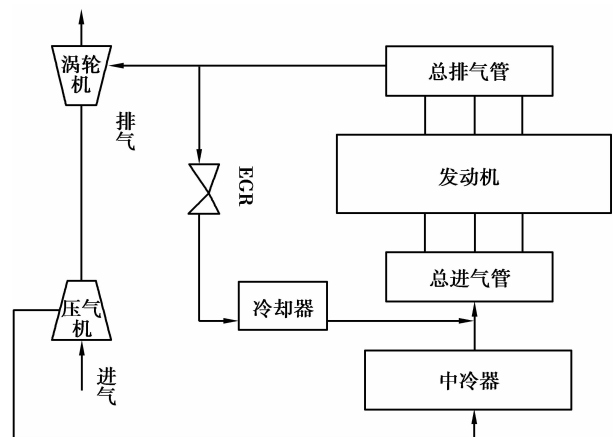


图 1 实验装置示意图

1.4 EGR 系统标定注意事项

1) 标定时需要严格控制试验边界条件, 比如对 EGR 系统影响较大的排气背压, 中冷后温度和压力等试验参数, 时刻控制这些重要参数保持在合理的范围之内。

2) 试验过程中要密切关注一些对发动机性能有重要影响的试验参数, 如发动机的热负荷是否运行, 发动机长时间运行在高转速高负荷工况, 排气温度和压气机转速是否超标等, 这些都是 EGR 系统可能带来的一些负面影响。

2 试验结果及分析

图 2 为发动机 A100 转速标定特性图, 通过图二可以看出: 对于 A100 转速 (发动机转速为 1 460 r/min, 负荷为 450 n·m), 由于涡前与中冷后压差较小, 无法实现较大的 EGR 率, 因此此工况下, 通过 EGR 来控制 NO_x 就比较困难, 需要采用较小的提前角和较大的 EGR 开度来达到该点降低 NO_x 的目的。

图 2 中还可以发现, 供油提前角由大变小, NO_x 逐渐降低, SOOT 逐渐升高; EGR 开度由小变大, NO_x 同样逐渐降低, SOOT 也逐渐升高。对于 A100 转速, SOOT 本身值是比较小的, 即使再升高, 从图上可以看到, 最大也就是达到 0.02 g/(kw·h) 左右, 完全在法定范围之内。但 NO_x 随着 EGR 开度的增大和供油提前角减小而降低的趋势就特别明显了。所以在此工况下, 可以以牺牲 SOOT 上升的代价来大幅度降低 NO_x 。对于整个 A 转速的 4 个点都是以控制 NO_x 为主。

对于 A100 点, 在 SOOT 与 NO_x 曲线图上, 可以找到一点最合适的数值, 此数值对应着特定的 EGR 开度和供油提前角, 其值尽量接近欧 IV 标准。这样这组数值就是标定下来的 A100 此点的最佳 EGR 率和供油提前角。

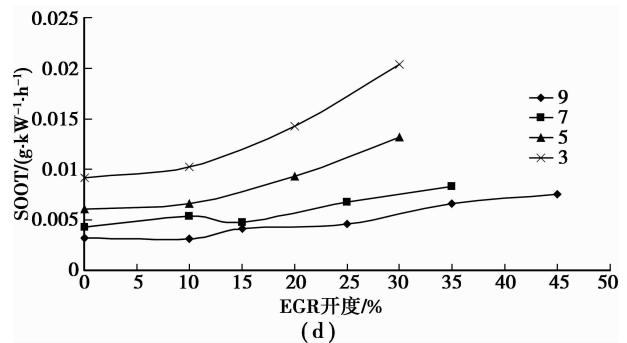
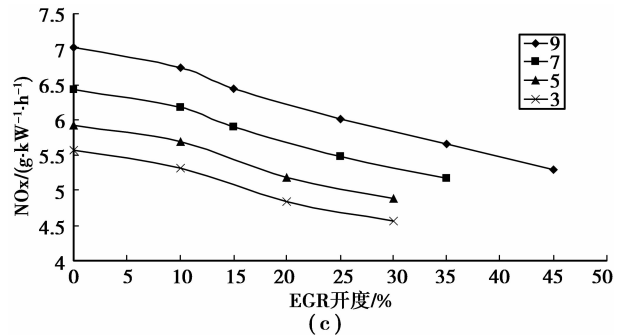
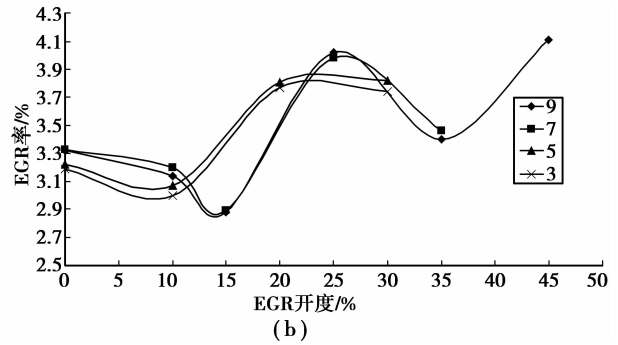
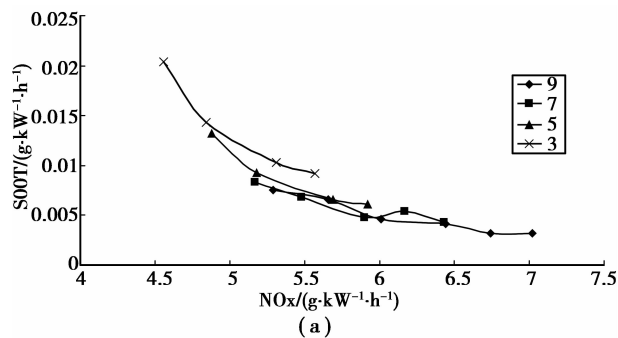


图 2 发动机 A100 转速标定特性图

对于 A 转速其他负荷点, 由于篇幅限制, 不一一说明, 部分负荷时, 由于空燃比增大, 即使标定相同的供油提前角和 EGR 开度, SOOT 的上升趋势也会随负荷值变小而逐渐变弱, 而 NO_x 的降低会相反逐渐增大, 特别对于 A50, 和 A25 两种工况, 会很容易达到平衡, 找到对应的最佳 EGR 率和供油提前角, 在这里就不详细介绍。

图 3 为发动机 C100 工况转速标定特性图, 对于 C100 转速 (发动机转速为 2 220 r/min, 负荷为 420 n·m), 由于涡前与中冷后压差较大, 也就是意味着有足够的压力差驱动 EGR 阀体, 较小的 EGR 开度就会形成很大的 EGR 率。所以从图 3 上也可以看出, 碳烟的排放量对比其他工况点大, SOOT 随着 EGR 开度的增大上升也比较明显。主要是由于 C100 点的空燃比较小, 通入较大的 EGR, 恶化燃烧明显, 从而烟度较大。

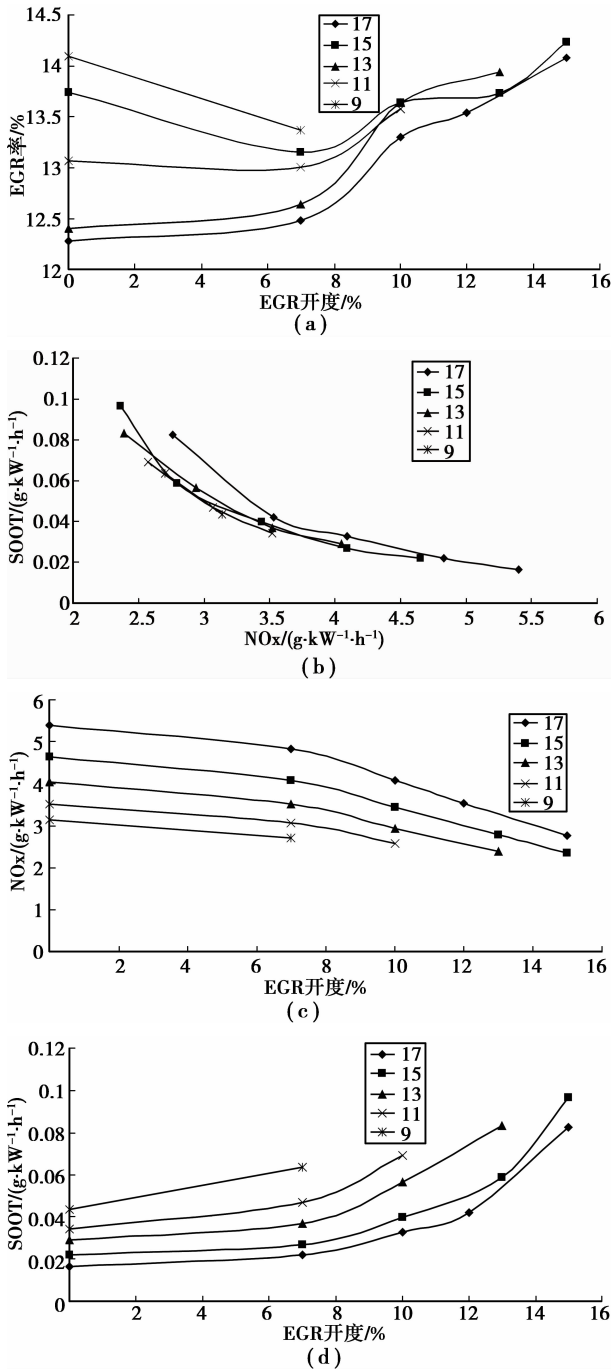


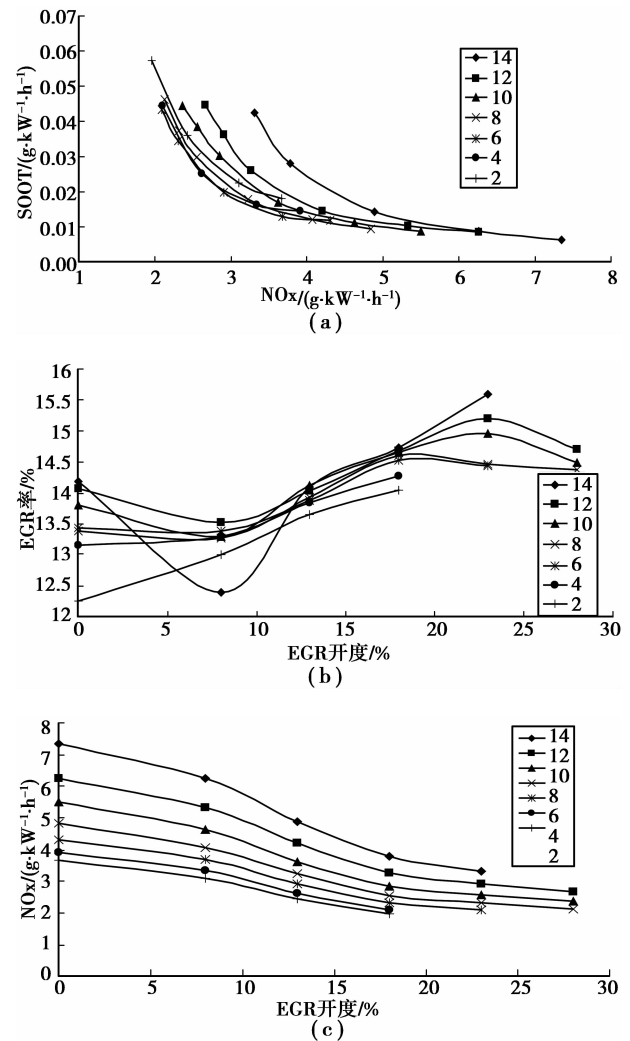
图 3 发动机 C100 转速标定特性图

由于此工况在很低的 EGR 开度条件下就可以得到很大的 EGR 率,所以更容易破坏 NO_x 形成需要的环境,相对比 A、B 转速,NO_x 的生成量明显减少。在此工况下,就不能完全牺牲 SOOT 的上来降低 NO_x 的生成,因为 SOOT 值已经很容易超出法定限值。整个 B 转速各点都是以控制 SOOT 为主。

从图 3 上可以发现,供油提前角越小,NO_x 排放量越低;而 SOOT 越高。对于 C100 点,在 SOOT 与 NO_x 曲线图上,需要也可以找到一点最合适的数

值,此数值对应着特定的 EGR 开度和供油提前角,使其 NO_x 和 SOOT 的排放量大致平衡,而且尽量接近欧 IV 标准值。对于 C 转速的其他各点,随着负荷降低,空燃比增大,烟度上升要相对比 C100 点幅度小的很多,甚至可能出现先降后升的情况,其他各点更可以很好的平衡 NO_x 与 SOOT 直接的关系。找到自己的最佳供油提前角和 EGR 率。

图 4 为发动机 B75 工况转速标定特性图,对于发动机 B75 转速(发动机转速为 1 840 rpm,负荷为 40 n·m),由于涡前与中冷后压差介于 A 转速和 C 转速两种工况之间,所以 EGR 系统的特性也介于上面两种工况之间,无论是 EGR 开度和 EGR 率的对应关系,以及 EGR 率对 SOOT 和 NO_x 排放量的影响来看,都是介于 A 和 C 转速中间。供油提前角减小、EGR 开度增加,NO_x 的排放量也随着减小,而 SOOT 增大。B 转速各点能够保证较高的 EGR 率,SOOT 对 EGR 率不是很敏感,因此 B 转速的标定结果比较理想。更容易平衡 EGR 率和 SOOT 之间的关系点。找到各点的最佳供油提前角和 EGR 率。



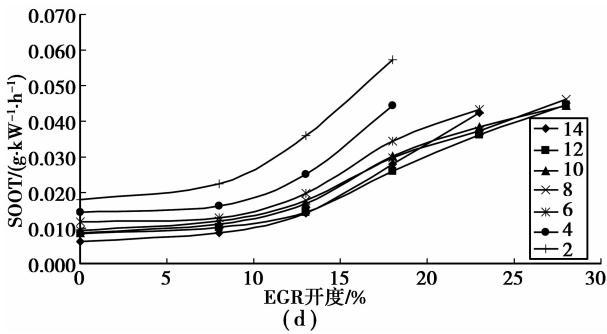


图 4 发动机 B75 转速标定特性图

通过上述标定,得到一组最优提前角和 EGR 开度 MAP,做欧 IV 13 工况试验,各个阶段的试验结果如图示。

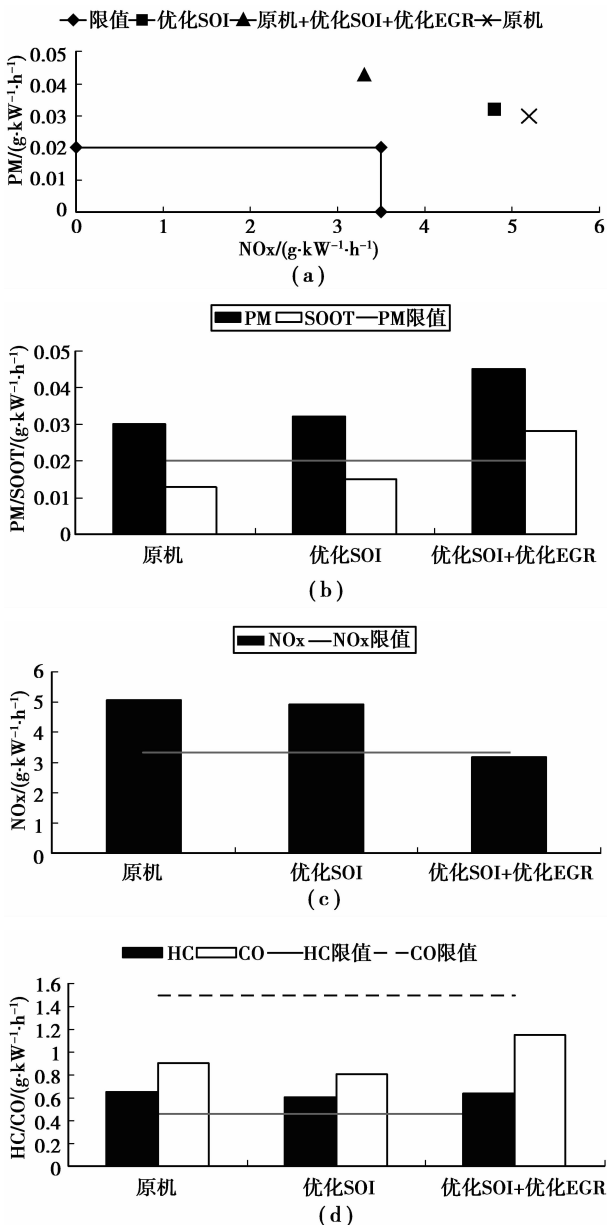
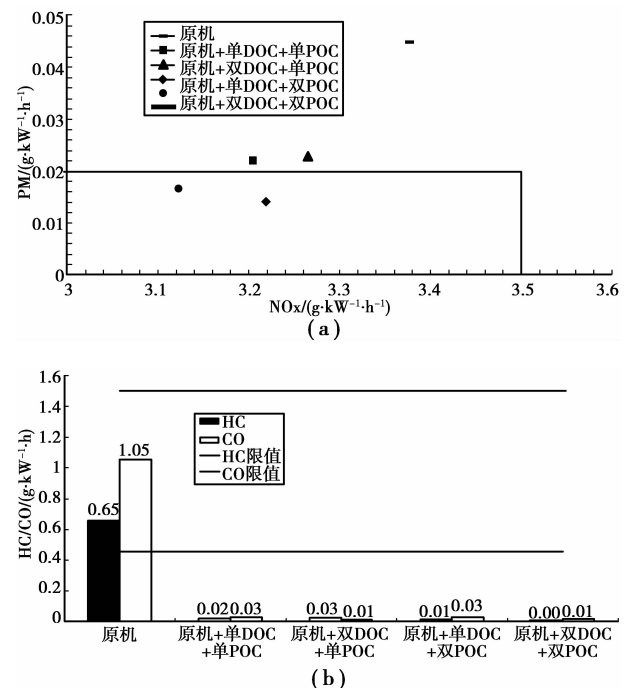


图 5 ESC 试验平均结果对比图

图 5 为 ESC 试验平均结果对比图。从图上可以发现,优化供油提前角后的 ESC 结果为 $NO_x = 4.81 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$, $PM = 0.033 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,与原机相比 NO_x 降低了 6%, PM 反而却升高了 10%。这说明通过优化供油提前角是可以使 NO_x 的排放量降低,但不起到降低 PM 的作用,甚至会使 PM 提高。而且通过优化喷油提前角也没使 NO_x 的排放量达到欧 IV 排放标准。

优化 EGR 后,ESC 结果为 $NO_x = 3.38 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$, $PM = 0.045 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$;与优化提前角相比 NO_x 降低了 36%, PM 升高了 35%。 NO_x 的排放量达到欧 IV 排放标准,而 PM 值却又大大的提升了。从图 5 还可以发现,优化提前角及优化 EGR 对 HC 和 CO 的影响不是很明显。 HC 和 CO 的排放量通过优化供油提前角降低的幅度不大,优化 EGR 后反有升高的趋势。因此需要采用柴油机尾气后处理技术对柴油机的尾气进行进一步处理。试验采用的尾气后处理方式是主要采取 4 种 DOC 与 POC 的配置形式,分别为单 DOC + 单 POC、双 DOC + 单 POC、单 DOC + 双 POC、双 DOC + 双 POC。验证每一种配置形式,柴油机排放物中 NO_x 和 PM 的排放量是否满足欧 IV 限制值。从而找到尾气后处理的规律。

图 6 为 ESC 试验平均结果对比图,可以看到,对于不同的 DOC+POC 配置形式,柴油机尾气中最主要的组成元素 (PM 、 NO_x 、 HC/CO 、 $SOOT$) 的排放情况是不一样的。



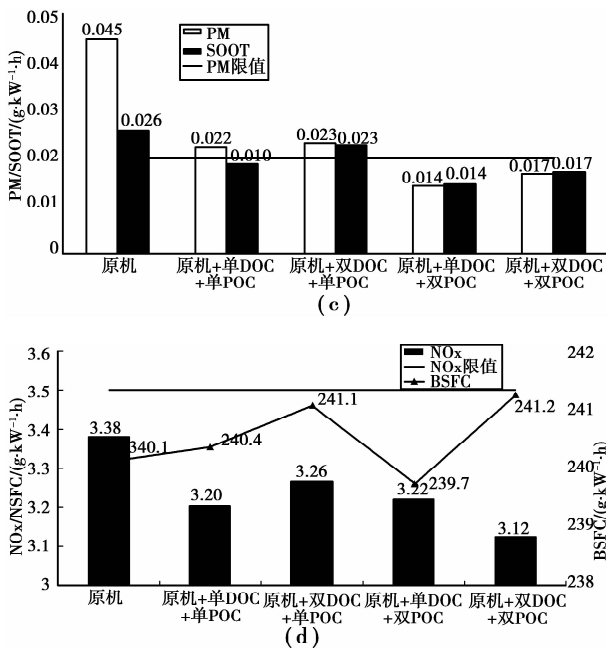


图 6 ESC 试验平均结果对比图

在优化了喷油提前角和 EGR 率的前提下, NO_x 得到了很大程度的过滤, 而 PM 排放量却上升了。这主要是由于因为废气再循环, 破坏了 NO_x 赖以生存的高温、高氧的环境; 而且燃油燃烧不充分使得 PM 上升。

加上单 DOC 和单 POC 后, 与原机相比, NO_x 排放量变化不大, 而 PM 却降低了 51%。这主要是因为 DOC 与 POC 的作用机理所造成的。DOC 的主要作用是氧化 PM 中的可溶性有机物部分, 还可以小部分氧化 PM 中碳颗粒部分, 同时它也可以把 NO 氧化为一定量的 NO₂。POC 通过其内部的金属网膜的网眼捕捉颗粒物。所以从以上分析可以知道, 无论是 DOC 还是 POC 对颗粒物都有很好的过滤作用, 而对氮氧化合物的过滤作用偏弱。

加上双 DOC 和单 POC 后, 与原机相比, NO_x 变化不大, PM 降低了 49%。通过以上分析我们知道, 柴油机尾气后处理主要针对的是微颗粒物进行处理, 多加了 DOC 后, 由于 DOC 对 NO_x 的氧化作用, 使其得到的总 NO_x 含量反而略微增加了, 而 PM 的排放量与单 DOC+单 POC 相比变化不大。

加上单 DOC 和双 POC 后, 与原机相比, NO_x 变化不大, PM 降低了 69%, 达到了法规要求; 加上双 DOC 和双 POC 后, 与原机相比, NO_x 降低了 7.5%, PM 降低了 63%, 试验结果也达到了法规要求。从试验结果可以发现, 柴油机尾气后处理的最佳配置方案为配置单 DOC+双 POC, 这种配置方案

可以很好的过滤 PM。

同时我们还可以发现, HC 和 CO 在加上后处理后, 几乎全部被氧化掉, 明显低于法规限值。

图 7 是 ETC 试验结果图, 其反映的是在动态情况下, 原机、单 DOC+双 POC、双 DOC+双 POC、EGR+双 DOC+双 POC 四种工况下, 柴油机尾气主要排放物的排放情况。通过图 7 我们可以发现, 原机的所有排放物指标都是超标的。但是原机+双 DOC+双 POC 和原机+单 DOC+双 POC 情况下, 所有排放物的指标都达到了欧 IV 排放标准。

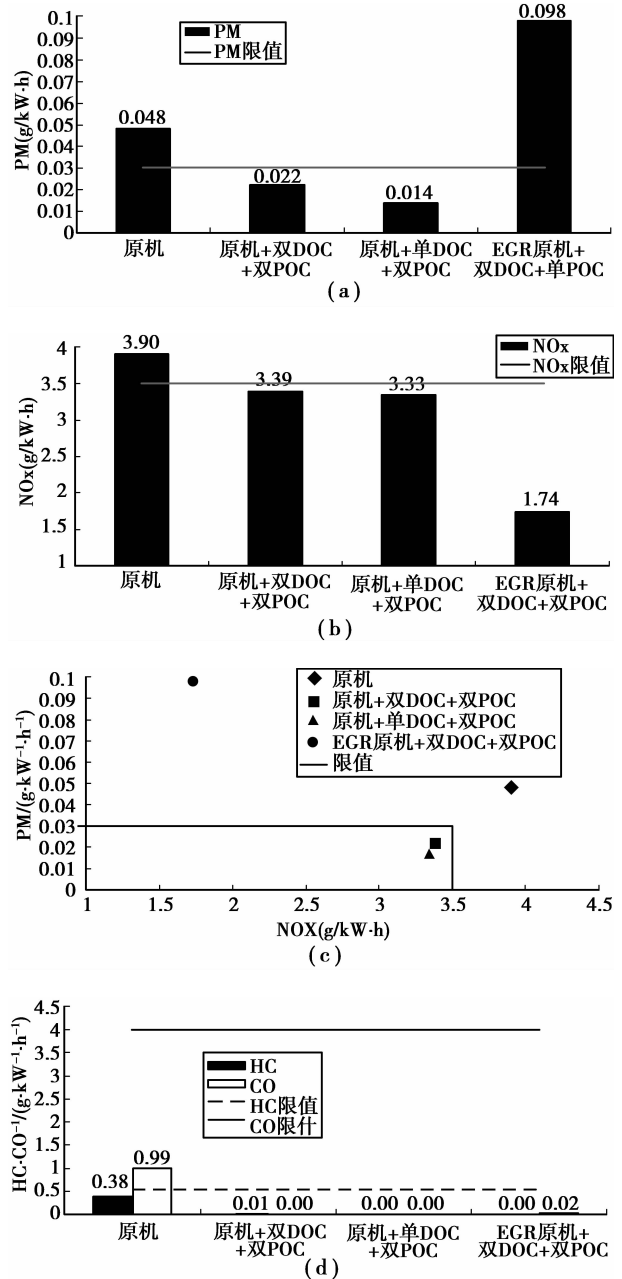


图 7 ETC 试验结果对比图

动态循环试验结果也表明,为了使 NO_x 排放量进一步降低,在原机+双 DOC+双 POC 的配置方案上加 EGR,并且优化 EGR 率,可以使 NO_x 降低到 $1.74 \text{ g/Km} \cdot \text{h}$,但是在此工况下,PM 的排放量却大大增加了,这样进一步验证了废弃再循环技术对抑制 NO_x 的生成效果显著,而对于 PM 来说,由于废弃循环使燃油燃烧不充分,却反而提升了其排放量。试验结果证明废弃再循环加柴油机尾气后处理技术是可以实现柴油机的欧 IV 排放标准的,只是在优化 EGR 时,EGR 开度的不能取太大,不能只考虑 NO_x 的优化,EGR 的优化应以 NO_x 和 PM 排放同时达到欧 IV 排放标准,并且其排放值尽量最低为准则。

3 结 论

1) 优化供油提前角可以使柴油机 NO_x 排放量得到一定程度的降低,供油提前角越小, NO_x 排放量越少。但 PM、CO、HC 对供油提前角的改变反映不是很敏感,甚至有反向上升的趋势。

2) 随着 EGR 率的优化, NO_x 排放量得到大幅度下降。但是 PM 排放值却大量增加了。

3) 经过供油提前角与 EGR 率的共同优化,发动机排放的 NO_x 可以达到欧 IV 标准,但其他排放物的排放量却比原机还要升高。

4) 要想使发动机排放完全符合欧 IV 标准,需采用其他排放后处理的方法,使 PM 等排放物的排放量得以达标。

5) 通过 DOC+POC 的不同配置形式试验,无论是 ESC 试验结果还是 ETC 试验结果都表明单 DOC+双 POC 配置形式和双 DOC+双 POC 的配置形式都可以使柴油机的排放达到欧 IV 排放标准,其中单 DOC+双 POC 过滤 PM 的效果最为理想。

6) HC 和 CO 在加上尾气后处理后,几乎全部被氧化掉,明显低于欧 IV 法规限值。

7) 废气再循环技术与柴油机尾气后处理技术(DOC+POC)联合使用,会使 PM 的排放大大降低。但是在优化 EGR 时,不能为了得到更低的 NO_x ,取太大的 EGR 开度。因为 EGR 开度过大会使 PM 快速上升,超过限定标准。

8) 试验结果表明,要想使发动机排放完全符合欧 IV 标准,甚至可以关闭 EGR 阀,靠阀边缘漏气给发动机通 EGR,再配合双 DOC+双 POC 即可,如果利用单 DOC+双 POC 会使 PM 排放量达到 $0.014 \text{ g/kW} \cdot \text{h}$,

明显低于法规限定值,其余量更大。

参考文献:

- [1] 谭丕强,陆家祥,邓康耀,等. 喷油提前角对柴油机排放影响的研究[J]. 内燃机工程, 2004, 25(2):9-11.
TAN Piqiang, LU Jiexiang, DENG Kangyao, et al. The influence of fuel injection timing on exhaust emission from a diesel engine[J]. Neiranji Gongcheng, 2004, 25(2):9-11.
- [2] 闫淑芳,宫长明,刘巽俊. 喷油压力对直喷式柴油机和排放的影响[J]. 吉林大学学报:工学版, 2002, 32(3):53-56.
YAN Shufang, GONG Changming, LIU Xunjun. Effects of fuel injection system on performance and exhaust emissions of a direct injection diesel engine[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2002, 32(3):53-56.
- [3] 王俊席,杨林,肖文雍,等. GD-1 燃油喷射系统喷油参数对发动机性能的影响[J]. 内燃机工程, 2004, 25(2):28-31.
WANG Junxi, YANG Lin, XIAO Wenyong, et al. Influence of injection parameters on the performance of a DI diesel engine with GD-1 fuel injection system[J]. Neiranji Gongcheng, 2004, 25(2):28-31.
- [4] 韩永强,刘忠长,朱昌吉,等. 增压中冷车用柴油机 EGR 率阶跃工况响应[J]. 燃烧科学与技术, 2007, 13(3):209-213.
HAN Yongqiang, LIU Zhongchang, ZHU Changji, et al. Response of DI TCA Automotive Diesel Engine Under EGR Rate Step-Change Operations[J]. Journal of Combustion Science and Technology, 2007, 13(3):209-213.
- [5] 蔡茂春,杨雪茹,孙平. 增压柴油机采用废气再循环的燃烧过程和排放特性研究[J]. 小型内燃机与摩托车, 2008, 37(2):68-71.
CAI Maochun, YANG Xueru, SUN Ping. Study on the combustion process and emissions of a turbocharged diesel engine with EGR[J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle, 2008, 37(2):68-71.
- [6] 楼狄明,邓晓光,谭丕强,等. 增压柴油机 EGR 技术的试验研究[J]. 柴油机, 2007, 29(6):15-18.
LOU Diming, DENG Xiaoguang, TAN Piqiang, et al. Experimental research on best EGR rate of supercharged diesel engine[J]. Diesel Engine, 2007, 29(6):15-18. 31-32. ng3u2i2ng138.

(下转第 114 页)

- 31(5):524-527.
FENG Wenjiang, XUE Rong, CHEN Zhongwu. Influence of power distribution on amplify-and-forward cooperative diversity protocol[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2008, 31(5): 524-527.
- [13] Chen H, Liu J, Zheng L N, et al. An improved selection cooperation scheme for decode-and-forward relaying[J]. IEEE Communications Letters, 2010, 14(12):1143-1145.
- [14] Yang H C. New results on ordered statistics and analysis of minimum-selection generalized selection combining(GSC)[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2006, 5(7):1876-1885.
- [15] Amarasuriya G, Ardakani M, Tellambura C. Adaptive multiple relay selection scheme for cooperative wireless networks[C]// Proceedings of the 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, April 18-21, 2010, Sydney, NSW, Piscataway: IEEE, 2010: 1-6.
- (编辑 侯湘)
-
- (上接第108页)
- [7] Ladommatos N, Balian R, Horocks R, et al. The effect of exhaust gas recirculation on combustion and NO_x emissions in a high-speed direct-injection diesel engine [C]// Proceedings of the International Congress & Exposition, February 26, 1996, Detroit, Michigan, United States. [S. l.]: SAE Technical Papers, 1996: 10.4271/960840.
- [8] Egnell R. The influence of EGR on heat release rate and NO formation in a diesel engine[C]// Proceedings of the CEC/SAE Spring Fuel & Lubricants Meeting & Exposition, June 19, 2000, Paris, France. [S. l.]: SAE Technical Papers, 2000: 2000-01-1807.
- [9] 庄兵, 彭飞舟, 黄贤龙. 内燃机废气再循环(EGR)率评价方法分析[J]. 小型内燃机与摩托车, 2007, 36(4): 31-33.
ZHANG Bing, PENG Feizhou, HUANG Xianlong[J]. Small Internal Combustion Engine and Motorcycle, 2007, 36(4):31-33.
- [10] 姚喜贵, 张振东, 张忠孝, 等. 装备 EGR 系统柴油机的结构参数优化及排放性能试验研究[J]. 汽车技术, 2000(2):12-15.
YAO Xigui, ZHANG Zhendong, ZHANG Zhongxiao, et al. Study on emission performance test and structure parameter optimization for diesel engine equipped with EGR system[J]. Automobile Technology, 2000(2):12-15.
- [11] Sato Y, Noda A, Sakamoto T. Combustion and NO_x emission characteristics in a DI methanol engine using supercharging with EGR [C]// Proceedings of the International Spring Fuels & Lubricants Meeting & Exposition, May 5, 1997, Dearborn, Michigan, United States. [S. l.]: SAE Technical Papers, 1997: 10.4271/971647.
- [12] Yoshizawa K, Mori K, Matayoshi Y, et al. Development of an exhaust gas recirculation distribution prediction method using three-dimensional flow analysis and its application[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2003, 125(4):1066-1074.
- [13] Dubreuil A, Foucher F, Mouna? m-Rousselle C, et al. HCCI combustion: effect of NO in EGR[J]. Proceedings of the Combustion Institute, 2007, 31(2): 2879-2886.
- [14] Tomazic D, Pfeifer A. Cooled EGR: a must or an option for 2002 /04[C]// Proceedings of the SAE 2002 World Congress & Exhibition, March 4, 2002, Detroit, Michigan, United States. [S. l.]: SAE Technical Papers, 2002: 2002-01-0962.
- [15] Murayama T, Zheng M, Chikahisa T, et al. Simultaneous reductions of smoke and NO_x from a DI diesel engine with EGR and dimethyl carbonate[J]. SAE Technical Paper, 1995: 952518.
- [16] 席端良, 方锡邦. 废气再循环在增压中冷柴油机上的试验研究[J]. 柴油机设计与制造, 2007, 15(2): 28-31, 56.
XI Duanliang, FANG Xibang. Experimental study on application of EGR on TCI diesel engine[j]. Design & Manufacture of Diesel Engine, 2007, 15(2):28-31,56.
- [17] 杨雪茹, 梅德纯, 毕胜强. EGR 对增压柴油机排放特性的影响[J]. 拖拉机与农用运输车, 2008, 35(1):82-84.
YANG Xueru, MEI Dechun, BI Shengqiang. Effects of EGR on turbocharged diesel engine emissions [J]. Tractor & Farm Transporter, 2008, 35(1):82-84.
- (编辑 张小强)