

铈基燃油催化剂改善柴油机颗粒物捕集器再生效果

刘少康,孙 平,刘军恒,嵇 乾,吕俊翔
(江苏大学汽车与交通工程学院,镇江 212013)

摘 要:颗粒捕集器(diesel Particulate filter,DPF)是目前公认的最有效的柴油机排气颗粒物后处理装置,为了去除 DPF 内部沉积颗粒,实现 DPF 再生,采用提高排气温度或催化燃烧的方法来促进颗粒物燃烧。该文采用环烷酸铈溶剂作为燃油催化再生添加剂(fuel borne catalyst,FBC),对柴油机 DPF 的再生平衡温度、压降特性和燃烧灰烬等进行试验研究。试验结果表明:DPF 再生平衡温度因 FBC 的催化作用从 500 ℃以上下降到约 450 ℃,从而增加了颗粒捕集器的颗粒储备能力,并能够有效再生;柴油机燃油消耗率随着排气背压的增加而上升;燃用 FBC 测试燃油时 DPF 前后压差较纯柴油上升缓慢,其达到排气背压再生阈值的周期变长;同时,随再生次数的增多,再生后 DPF 的前后压差呈线性增加,捕集效率却逐渐提高。该文采用燃油添加剂可以明显降低颗粒的着火点。结合电加热装置,可有效提高 DPF 的再生效果,有效过滤柴油车尾气中的颗粒物,对柴油车尾气净化及环境保护具有十分重要的意义。

关键词:柴油机;排气;颗粒;燃油催化再生添加剂;颗粒捕集器;再生平衡点温度

doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.015

中图分类号:TK421+.5

文献标志码:A

文章编号:1002-6819(2016)-01-0112-06

刘少康,孙 平,刘军恒,嵇 乾,吕俊翔.铈基燃油催化剂改善柴油机颗粒物捕集器再生效果 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(01): 112-117. doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.015 http://www.tcsae.org
Liu Shaokang, Sun Ping, Liu Junheng, Ji Qian, Lü Junxiang. Ce-based fuel borne catalyst enhancing regenerative effect of diesel particulate filter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(01): 112-117. (in Chinese with English abstract) doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.015 http://www.tcsae.org

0 引 言

相对汽油机而言,柴油机排放的劣势主要是颗粒物(particulate matter,PM),PM 中含有直接危害人体健康的苯系物、多环芳烃等致癌物^[1]。柴油机颗粒捕集器(diesel particulate filter,DPF)是目前有效的、应用较为广泛的微粒排放控制措施,捕集效率可达到 80%~90%^[2]。但因颗粒物在 DPF 内的堆积,引起柴油机排气背压升高,从而导致柴油机性能和捕集器过滤效果降低。为了去除 DPF 内部沉积颗粒,实现 DPF 再生,一般采用主动再生技术和被动再生技术来实现^[3-4]。

主动再生技术是指通过外部能源提高过滤体或排气温度,促进颗粒物在高于正常排气温度的条件下燃烧的再生方式。主动再生技术又包括:反吹再生、电加热再生、红外加热再生、喷油助燃再生和微波加热再生等^[5]。被动再生是利用柴油机排气本身所具有的能量对过滤体进行再生,目前有 2 种方式,一种是在过滤体上浸渍催化剂,这种方式对燃油硫含量比较敏感,要求持续使用低硫燃油,这在中国难以实现^[6]。基于此本文致力于第二种方式的研究,采用燃油添加剂的形式,利用燃烧后生成的金属氧化物起催化作用,可以将颗粒物的起燃温度降低,从而实现再生。这种以燃油作为传递媒体的催化再生剂则称为燃油催化再生添加剂(fuel borne catalyst,FBC),其与颗粒捕集器的联

合应用简称 FBC-DPF,这种方式可以保证催化剂与碳烟以紧密接触的形式存在,提高了 DPF 的再生效果^[7-9]。

1 试验部分

1.1 试验设备

本文依据相关要求设计了再生台架试验台。所用的测试设备有杭州中成电涡流测功机、奥地利 AVL 公司 415S 烟度计、奥地利 AVL 公司 735S 油耗仪、各类传感器。试验用柴油机为一台单缸风冷四冲程柴油机,试验用 DPF 载体为壁流式蜂窝陶瓷过滤体,具体参数如表 1 所示。试验自制电加热器为采用陶瓷条穿丝方式的圈型陶瓷电加热器。工作温度范围:450~850 ℃,工作功率为 2.5 kW。电加热器主要由以下 3 部分组成:加热电阻丝,高频陶瓷机体,不锈钢包裹硅酸铝纤维板组成的隔热体。如图 1 所示:工作时用温控单元调节控制加热电阻丝,并带有温度反馈功能,可以将外部电能转化为热量且保持在恒定的加热温度下。同时利用高频陶瓷体传递热量提高内腔温度,带动其内部的排气管道及气流温度的升高达到碳烟颗粒的起燃温度,促进燃烧颗粒。

表 1 颗粒捕集器主要技术参数

Table 1 Main technology parameters of diesel particulate filter(DPF)

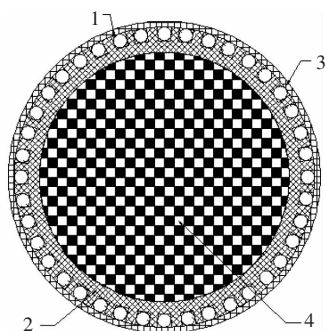
项目 Items	参数 Parameters
材质 Material	碳化硅 SiC
过滤体长度 Length of filter l/mm	178
过滤体直径 Diameter of filter l/mm	144
壁厚 Thickness l/mm	0.35±0.04
密度 Density/(kg·L ⁻¹)	0.8
热导率 Thermal conductivity/(W·(m·K) ⁻¹)	55

收稿日期:2015-09-06 修订日期:2015-11-16

基金项目:江苏省高校自然科学基金项目(14KJA470001)

作者简介:刘少康(1989-),男,河南洛阳人,从事发动机排放控制及与新能源研究。镇江 江苏大学汽车与交通工程学院,212013。

Email:lsk2801@163.com



1. 电阻丝 2. 高频陶瓷机体 3. 隔热体 4. 蜂窝陶瓷过滤体
1. Resistance wire 2. High-frequency ceramic body 3. Heat-shielding filter 4. Honeycomb ceramics filter

图1 DPF及电加热器结构简图

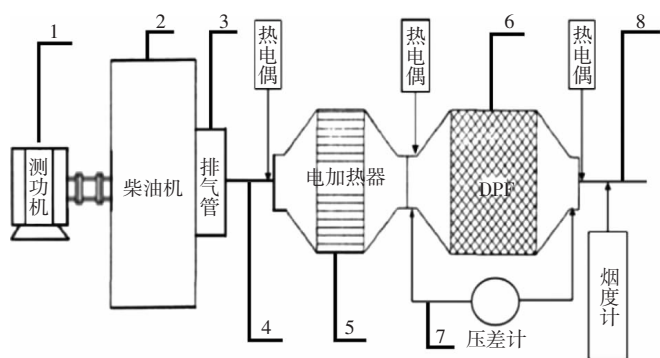
Fig.1 Structure diagram of DPF and electrical heater

1.2 试验燃油

试验用柴油为国Ⅲ0#柴油,使用的燃油添加剂为环烷酸铈溶液,按Ce元素质量分数^[10]150 mg/kg配制FBC燃油,标记为F150。

1.3 试验方案

试验台架布置示意图如图2所示,在发动机转速2 800 r/min、平均指示压力为0.46 MPa工况下开展DPF捕集及再生试验,此时DPF入口温度为353℃。加载DPF至前后压差3 kPa,在此条件下,以柴油机原始排气温度为起点,采用自制电加热装置不断提高排气温度,温度间隔为25℃,直至出现DPF前后压差(颗粒物捕集器前段与后端之间的排气压力差值)下降为止。发动机运行过程中,监测不同排气位置的参数变化,主要包括柴油机转速、功率、燃油消耗率、加热器前端温度、捕集器前后的温度与压差、烟度等。



1.测功机 2.柴油机 3.排气管 4.热电偶传感器 5.电加热器 6.柴油机尾气颗粒捕集器 7.压差计 8.不透光烟度计

1.Dynamometer 2.Diesel 3.Exhaust manifold 4.Thermocouple sensor 5. Electric heater 6.Diesel particulate filter 7.Differential pressure gauge 8. Smoke opacimeter

图2 试验台架布置示意图

Fig.2 Experiment bench arrangement diagram

2 试验结果与分析

2.1 再生时机判断

试验证实,对于壁流式DPF载体的极限加载水平在 (5 ± 0.5) g/L。通过DPF载体中颗粒物的累积量可以直接有效地判断再生时机,但在现实情况下难以对颗粒物累积

量直接精确测量,因而都采用其它方法间接判断微粒质量^[11]。已有研究表明可以依据排气背压与排气质量流量存在的对应关系判断再生时机^[12],本研究则同时监测燃油消耗率与排气背压来确定再生时机,试验在稳定工况下进行,通过控制排气管道处的球阀开度来调整排气背压值。

图3为排气背压与燃油消耗率的关系图。由图可知,柴油机的燃油消耗率随着排气背压的增加而呈线性增长趋势,当排气背压从0上升到14 kPa时,燃油消耗率上升了4.7%,一般认为DPF对柴油机动力性及燃油消耗的影响低于5%^[13]。为了使得柴油机性能不出现较大的波动,本文把排气背压值14 kPa判定为再生阈值。

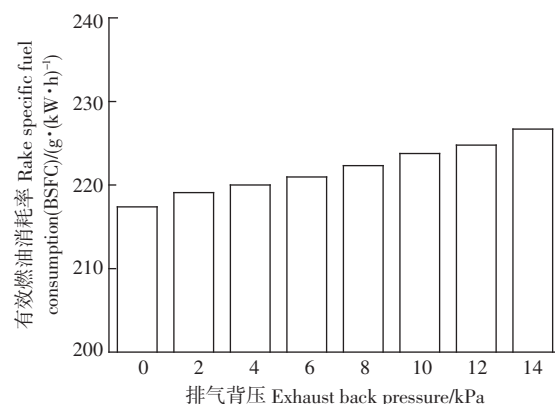


图3 排气背压对柴油机燃油消耗率的影响

Fig.3 Effect of exhaust back pressure on diesel fuel consumption

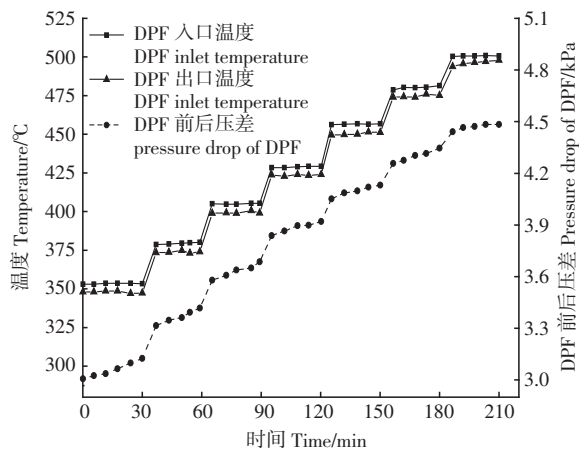
2.2 FBC对再生平衡温度的影响

当DPF载体内颗粒物的被捕集速率与燃烧速率相同时,DPF前后压差相对稳定而不再发生变化,此时DPF入口处的排气温度通常被称作DPF再生平衡温度。DPF再生平衡温度是衡量其工作性能的重要参数,能够为确定DPF再生时机提供重要依据,一旦排气温度达到再生平衡温度点以上,这时DPF内颗粒物的氧化速率就会大于被捕集速率,开始再生过程。为了可以让DPF在工作的同时再生消除所捕集的颗粒物,显然其平衡点温度越低越好^[14-15]。

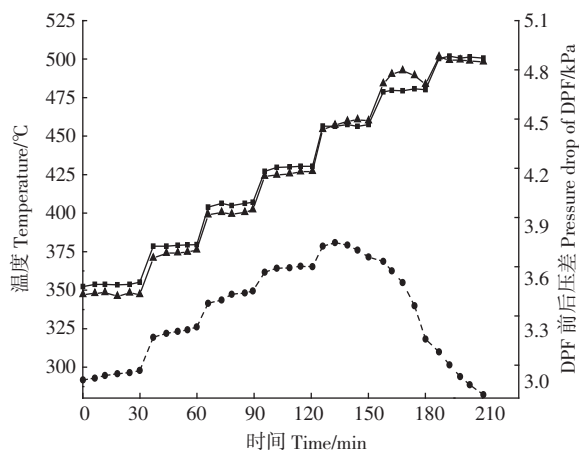
图4为柴油机燃用纯柴油与F150燃油条件下的DPF再生平衡温度试验曲线。从图4a可知,DPF前后压差由3 kPa增长到4.5 kPa,DPF入口温度由350℃增大至510℃,在510℃时DPF前后压差仍未呈现下降趋势。由DPF再生平衡温度定义,此时DPF入口处的排气温度记为DPF再生平衡温度。故认为纯柴油时再生平衡温度大于510℃。从图4b可知,在350~450℃温度范围内DPF前后压差由3 kPa增长至3.7 kPa左右,持续呈上升趋势,DPF入口温度继续升高后DPF前后压差开始下降。当DPF前后压差相对稳定时,所对应的DPF入口温度是450℃。故认为F150燃油的DPF再生平衡温度在450℃左右,结果分析:FBC添加剂对颗粒物的催化效果非常明显。无添加剂时,该工况下所用排气加热装置所能达到的极限温度为510℃,而此时DPF前后压差升高的趋势虽有所减缓,却仍未达到平衡温度,可认为在纯柴油条件下,DPF的再生平衡温度大于510℃。燃用F150燃油时,在350~450℃温度范围内DPF前后压差呈上升趋势,且随温度升高趋

势愈加平缓,在 450 ℃时基本保持不变,说明此时 DPF 载体内颗粒物的捕集速度和氧化速度基本达到平衡。温度升高后,DPF 前后压差出现拐点开始急剧下降,表明颗粒物氧化速度已超过加载速度,DPF 开始再生。图中还能观察到,FBC-DPF 系统载体的进口与出口温度随排气温度升高而愈加接近,排气温度 450~500 ℃条件下 DPF 出口端温度甚至高于进口温度,这是由于 DPF 内颗粒物剧烈燃烧,放出的热量对排气起到加热的作用。

FBC 添加剂对颗粒物的催化效果可以这样解释:碳烟氧化速率主要决定于碳烟微粒与 FBC 添加剂燃烧生成的金属氧化物的接触特性好坏。试验中加入的 FBC 添加剂与碳烟呈包裹型接触,加速碳烟氧化速率,降低 DPF 的再生平衡温度,在正常排气温度下减少颗粒的累积量,使 DPF 前后压差在较长时间内保持较低水平,同时较少的颗粒累积量在再生时放出的热量较少,从而避免了 DPF 载体因再生集中放热被损坏的风险^[16-19]。



a. 纯柴油
a. diesel



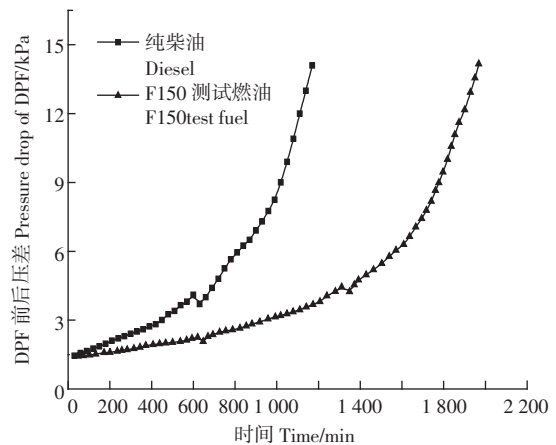
b. F150 柴油
b. F150 diesel

图 4 不同测试燃油下 DPF 的再生平衡温度对比

Fig.4 Contrast of regeneration balance temperature of DPF with different test fuels

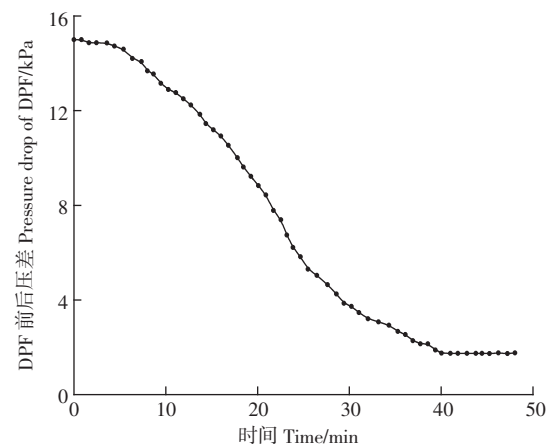
2.3 DPF 压降特性分析

图 5 为不同测试燃油在发动机转速 2800 r/min、平均指示压力为 0.46 MPa 工况下 DPF 加载过程和再生过程的压降特性对比。



a. DPF 加载过程压降特性

a. pressure drop characteristics of DPF loading process



b. DPF 再生过程压降特性

b. pressure drop characteristics of DPF regeneration process

图 5 不同测试燃油下 DPF 的加载过程和再生过程压降特性

Fig.5 Pressure drop characteristics of DPF loading process and DPF regeneration process with different test fuels

从图 5a 中可知,纯柴油与 F150 燃油在同一工况下 DPF 加载过程压降特性的变化规律较为类似,均可分为两个阶段:开始阶段呈线性缓慢上升,后一阶段急剧增加。纯柴油测试条件下,DPF 加载 1170 min 时前后端压差达到 14.1 kPa,已超过 DPF 再生极限值,必须进行再生。而相同测试条件下 F150 在此时的 DPF 前后端压差仅为 3.7 kPa,比纯柴油低 74%,并最终在 1980 min 时刻达到压差极限值。

DPF 前后压差增幅变缓的原因可以归结到 FBC 添加剂影响柴油机颗粒物排放机理:一方面减少了柴油机颗粒物的生成量,另一方面加快了生成颗粒物的氧化速度。铈基添加剂具有储氧/放氧作用,FBC 添加剂燃烧生成的 CeO_2 可以在较低的排气温度下与柴油机尾气中的 NO_2 结合以表面硝酸根和亚硝酸根的形式存在,具有极强的氧化性,对颗粒物有良好的氧化效果;当排气温度提高到 280~320 ℃时, NO_2 氧化碳烟效果达到最佳,颗粒物在此温度下主要被 NO_2 氧化;随着排气温度的继续升高, NO_2 会发生逆向反应分解生成 NO 和 O_2 ,虽然会影响 NO_2 的氧化效果,但此时 CeO_2 会吸附排气中的 NO 形成晶格氧,其氧化活性介于 NO_2 与 O_2 之间,也具有较强的氧化颗粒物性能^[20-21];当排气温度大于 460 ℃后,排气中的 O_2 开始

参与颗粒的氧化反应。使用铈基 FBC 添加剂的 DPF 再生窗口可以覆盖柴油机较宽广的排气温度范围,使 DPF 在各工况下都能有较好的再生性能,保证柴油机的正常工作^[22]。

从图 5b 中可知,开始再生后 DPF 前后端压差在前 5 min 内缓慢下降,随后下降速率逐渐变快,在 25 min 后趋势放缓直至 40 min 后趋于稳定。Shigeki Daido 可视化研究^[23]DPF 再生过程的压降特性知,在 DPF 再生过程中,深床过滤层中的颗粒物首先被氧化,同时 DPF 壁面表层的滤饼层也开始氧化;随着滤饼层的逐渐变薄、碎裂,DPF 前后压差急剧下降;破碎的饼状颗粒物渗透进入载体壁面中,与 DPF 壁面完全贴合进而被完全氧化。

2.4 再生后灰分对排气背压和过滤效率的影响

采用 AVL 415S 烟度计测量 DPF 前后端烟度值,利用 Alkidas^[24]研究所得经验公式将测量所得烟度值转换为颗粒物的质量浓度:

$$C=565\times\left[\ln\left(\frac{10}{10-Rb}\right)\right]^{1.206}$$

Rb: 烟度单位-定容排气所透过的滤纸的染黑度

$$\text{过滤效率的计算公式为: } \eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

式中 η 为 DPF 的过滤效率%; C_1 为加装 DPF 前排气中颗粒浓度, mg/m^3 ; C_2 为加装 DPF 后排气中颗粒浓度, mg/m^3 。

图 6 为燃用 F150 燃油条件下 DPF 再生后的前后压差和捕集效率变化。随再生次数的增多,再生后的 DPF 前后压差呈线性增加趋势。其原因解释为: FBC 添加剂中的可溶性金属盐燃烧后形成的金属氧化物颗粒, 窜入气缸的机油燃烧产生的无机物以及发动机磨损产生的细微金属颗粒, 在 DPF 再生过程中无法被燃烧去除, 最终以灰分的形式堆积在过滤体内部, 使得 DPF 前后端压差略有增加, 且随再生次数的增多变化愈加明显。此外, 随着再生次数的增多 DPF 出口处测量的颗粒物浓度有逐步减少的趋势, 即捕集效率随再生次数增多逐渐增大。这是因为颗粒物主要是通过惯性碰撞、扩散和拦截 3 种过滤机理被捕集下来^[25], 随着不可燃烧的灰分在 DPF 内部不断积累, 再生后 DPF 载体内孔隙逐次缩小, 过滤体孔道的拦截作用更加明显, 使得更多细小颗粒被拦截下来, 提高了 DPF 的捕集效率^[26]。

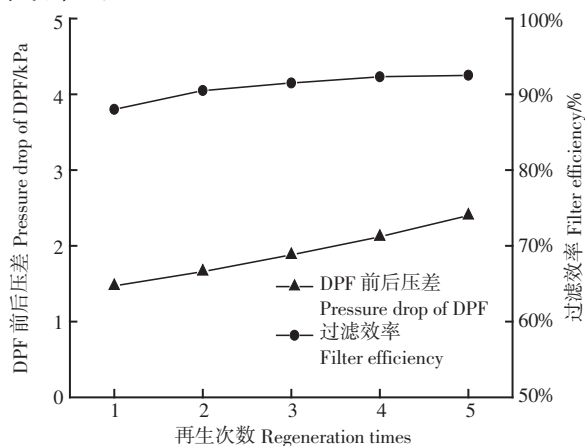


图6 灰分对DPF前后压差和过滤效率的影响

Fig.6 Effect of ash on exhaust back pressure and filtration efficiency

3 结 论

采用铈基的燃油添加剂和电加热再生装置对微粒捕集器的再生特性进行了研究。本文具体结论如下:

1) FBC 添加剂对颗粒物的催化效果非常明显。发动机工况条件定为转速 2 800 r/min、平均指示压力为 0.46 MPa。无添加剂时,即使 DPF 入口温度达到 510 °C,其 DPF 前后压差仍然保持上升趋势,仍未实现再生。而有添加剂时 DPF 入口温度在 450 °C 时,DPF 前后压差出现拐点,已经开始再生。

2) DPF 对颗粒的捕集是一个逐渐的过程,表现在 DPF 前后端压差随颗粒的捕集时间呈线性逐渐提高。在发动机工况处于 2 800 r/min、平均指示压力为 0.46 MPa、DPF 前温度为 353 °C 情况下,采用纯柴油时使 DPF 前后端压差累积到 14 kPa 需用时 1 170 min,而相同测试条件下 F150 最终在 1 980 min 达到 DPF 再生极限值。增加 DPF 的颗粒储备能力。

3) 本研究采用 AVL 415S 烟度计测量 DPF 前后端烟度值,参考已有研究和经验公式,将烟度值转换为颗粒物的质量浓度,通过计算得到 DPF 的过滤效率。研究发现 FBC 添加剂燃烧产物以灰分的形式堆积在过滤体内部,使得 DPF 前后端压差有所增加。随再生次数的增多,再生后洁净 DPF 的前后压差呈线性增加,捕集效率却逐渐增大。

[参 考 文 献]

- [1] 杨小阳,白志鹏. 雾霾天气的成因及其法律层面应对状况与操作层面政策建议[J]. 中国能源, 2013, 35(4): 6-10.
Yang Xiaoyang, Bai Zhipeng. The cause of the haze weather and its law status and operational policy recommendations[J]. China's Energy, 2013, 35(4): 6-10. (in Chinese with English abstract)
- [2] Bergmann M, Kirchner U, Vogt R, et al. On-road and laboratory investigation of low-level PM emissions of a modern diesel particulate filter equipped diesel passenger car[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(11): 1908-1916.
- [3] Twigg M V. Progress and future challenges in controlling automotive exhaust gas emissions[J]. Applied Catalysis B, 2007 (70): 2-15.
- [4] Alkemade U G, Bernd S. Engines and exhaust after treatment systems for future automotive application[J]. Solid State Ionics, 2006, (177): 2291-2296.
- [5] 杜传进,李三超,颜伏伍,等. 柴油机添加剂在柴油机微粒净化中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2002, 24(1): 98-106.
Du Chuanjin, Li Sanchao, Yan Fuwu, et al. Application of diesel additives in regeneration of particulate filter[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 24(1): 98-106. (in Chinese with English abstract)
- [6] 贺泓,翁端,资新运. 柴油车尾气排放污染控制技术综述[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1169-1177.

- He Hong, Weng Duan, Zi Xunyun. Diesel emission control technologies: a review[J]. Environmental Science, 2007, 28(6): 1169–1177(in Chinese with English abstract).
- [7] Harlé V, Pitois C, Rocher L, et al. Latest development and registration of fuel borne catalyst for DPF regeneration[R]. SAE Technical Paper, 2008.
- [8] 龚金科, 龙罡, 蔡皓, 等. 基于铈基添加剂的颗粒捕集器催化再生研究[J]. 内燃机学报, 2007, 29(6): 523–519.
- Gong Jinke, Long Gang, Cai Hao, et al. Study on diesel particulate filter catalytic regenerating with ceria-based additive [J]. Transactions of CSISE, 2007, 29(6): 523–531.(in Chinese with English abstract)
- [9] 王天友, 林漫群, 张玉倩, 等. 燃油催化颗粒捕集器微粒捕集与强制再生特性的研究[J]. 内燃机学报, 2007, (6): 527–531.
- Wang Tianyou, Lin Manqun, Zhang Yuqian, et al. A research on the filtration and regeneration of fuel borne catalyst diesel particulate filter of diesel engine[J]. Transactions of CSISE, 2007, (6): 527–531.(in Chinese with English abstract)
- [10] Jelles S J, Michiel M, Jacob A M. Ultra low dosage of platinum and cerium fuel additives in diesel particulate control. Platinum fuel additives for particulate control[J]. Topics in Catalysis, 2001, 16/17(1–4): 269.
- [11] Blanchard G, Seguelong T, Michelin J, et al. Ceria-based fuel-borne catalysts for series diesel particulate filter regeneration[R]. SAE Technical Paper, 2003.
- [12] Dabhoiwala R H, Johnson J H, Naber J, et al. A methodology to estimate the mass of particulate matter retained in a catalyzed particulate filter as applied to active regeneration and on-board diagnostics to detect filter failures[R]. SAE Technical Paper, 2008.
- [13] 宁智, 路勇, 资新运, 等. 微粒捕捉器对柴油机性能影响的研究[J]. 机械工程学报, 2002, 38(1): 154–158.
- Ning Zhi, Lu Yong, Zi Xinyun, et al. Study on the effect of the particulate filter on the performance of diesel engine[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2002, 38(1): 154–158.(in Chinese with English abstract)
- [14] 李新, 资新运, 姚广涛, 等. 柴油机颗粒捕集器燃油添加剂催化再生研究[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(24): 50–54.
- Li Xin, Zi Xinyun, Yao Guangtao, et al. Using fuel additive for regeneration of diesel particulate trap[J]. Journal of WuHan University of Technology, 2009, 31(24): 50–54.(in Chinese with English abstract)
- [15] Van A L, Michiel M, Jacob A M. Science and technology of catalytic diesel particulate filters[J]. Catalysis Reviews, 2001, 43(4): 489–564.
- [16] Martin M, Anna-Maria F, Urs L. Particle emissions from diesel passenger cars equipped with a particle trap in comparison to other technologies[J]. Environ Sci Technol, 2006, (40): 2375.
- [17] Thierry C, Paul W, Gilbert B, et al. Improvement and simplification of DPF system using a ceria-based fuel-borne catalyst for diesel particulate filter regeneration in serial applications[C]. SAE paper 2004.
- [18] 陈韬. 基于铈添加剂柴油机微粒捕集器催化再生机理研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2011.
- Chen Tao. Catalytic Mechanism of Diesel Particulate Filter Regeneration Based on Cerium Fuel Additives[D]. Changsha: Hunan University, 2011.(in Chinese with English abstract)
- [19] 杨曦, 张昭良, 王仲鹏, 等. 柴油机燃料添加型催化剂研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(7): 68–70.
- Yang Xi, Zhang Zhaoliang, Wang Zhongpeng, et al. Progress in fuel borne catalysts for the purification of diesel exhaust [J]. Environmental Science & Technology, 2010, 33(7): 68–70.(in Chinese with English abstract)
- [20] 冯长根, 樊国栋, 刘霞. 三效催化剂中促进剂氧化铈的作用研究进展[J]. 化工进展, 2005, 24(3): 227.
- Feng Changgen, Fan Guodong, Liu Xia. Review of ceria as promoters in three-way catalysis[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2005, 24(3): 227.(in Chinese with English abstract)
- [21] 郭齐敏, 孙平, 梅德清, 等. 纳米燃油添加剂 CeO_2 提高柴油燃烧效率减少排放[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9): 64–69.
- Wu Qimin, Sun Ping, Mei Deqing, et al. Nano-fuel additive CeO_2 on promoting efficient combustion and reducing emissions of diesel engine[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2013, 29(9): 64–69.(in Chinese with English abstract)
- [22] 纪常伟, 何洪, 马慧, 等. 燃油添加剂对柴油机排放影响的试验研究[J]. 北京工业大学学报, 2004, 30(4): 471.
- Ji Changwei, He Hong, Ma Hui, et al. Experimental study on the effect of fuel additive on diesel emissions[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2004, 30(4): 471.(in Chinese with English abstract)
- [23] Shigeki D. Visualization of the PM deposition and oxidation behavior inside the DPF wall[C]. SAE Paper, 2009.
- [24] Alkidas A C. Relationships between smoke measurements and particulate measurements[R]. SAE Technical Paper, 1984.
- [25] John N, Michiel M, Jacob A M, et al. Catalysts for the oxidation of soot from diesel exhaust gases. I. An exploratory study[J]. Applied Catalysis B: Environmental, 1996, 8: 57–78.
- [26] 胡俊, 孙平, 梅德清, 等. 颗粒捕集器捕集效率及对柴油机性能影响的研究[J]. 机械设计与制造, 2013, (6): 134–136.
- Hu Jun, Sun Ping, Mei Deqing, et al. Study of diesel particulate filter filtration efficiency and the effects on performance of diesel engine[J]. Machinery Design & Manufacture, 2013(6): 134–136.(in Chinese with English abstract)

Ce-based fuel borne catalyst enhancing regenerative effect of diesel particulate filter

Liu Shaokang, Sun Ping, Liu Junheng, Ji Qian, Lü Junxiang

(School of Automobile and Traffic Engineering, Jiangsu University, Jiangsu Zhenjiang 212013, China)

Abstract: In order to meet the emission regulations, the diesel particulate filter (DPF) is a promising solution, which can trap more than 90% Particulate Matter (PM) from the exhaust gas. As an effective way of reducing the diesel particulates, DPF has already been developed and manufactured in foreign diesel engine market. Fuel borne catalyst (FBC) additive makes particulates deposit inside the porous wall regenerated by the active metal component in fuel, which can reduce the particulate ignition temperature, and also the peak temperature of the regeneration process. A fundamental study on catalytic regeneration progress of FBC additives within DPF is performed, which has the important theory significance and engineering value. The naphthenic acid cerium is selected as fuel borne catalyst (FBC) additive, and the influences of these test fuels on regeneration characteristic of a fuel borne catalyst with regenerative type of diesel particulate filter (FBC-DPF), have been investigated. The experimental engine is a 186FA diesel engine, and the study DPF is a honeycomb ceramic filter matching electrical heating regeneration system. The DPF collection and regeneration experiment is conducted in the condition that the diesel engine speed is 2800 r/min, the mean indicated pressure is 0.46 MPa, and DPF inlet temperature is 510°C. The experiment includes four parts: regeneration balance temperature of DPF (when trapping efficiency and combustion rate of PM in DPF are identical, and pressure drop of DPF remains stable. At this time the inlet temperature of DPF is called regeneration balance temperature of DPF.), pressure drop characteristics, PM loading characteristics and filtration efficiency of DPF. Then the DPF regeneration strategy was studied and developed, which contained 3 parts: DPF regeneration timing, temperature rising strategy and DPF regeneration process control. The results showed that adoption the method of fuel additives can obviously decrease DPF regeneration temperature. In the low load condition, no additives DPF couldn't achieve regeneration, while under the same condition with additives, DPF regeneration at 450°C has already begun. The fuel specific consumption rises with increase of exhaust back pressure. When the exhaust back pressure increases from 0 to 14 kPa, the fuel specific consumption rises by 4.7%. The back pressure of FBC-DPF increases linearly along with accumulation of the PM compared with diesel fuel. On the previous experiment condition, when using the pure diesel, pressure drop of DPF increasing to 14 kPa needs 1170 minutes. While using the FBC-added diesel fuel, pressure drop of DPF increasing to regenerative limiting value needs 1980 minutes. Using the FBC-added diesel fuel can extend the period of regeneration threshold, and increase the particulate storing capacity and regeneration ability of the DPF. Owing to the pressure drop characteristics of DPF regeneration process, particle in the deep bed filtration layer is firstly oxidized, and the filter cake layer of DPF wall surface also begins to oxidize in the process of DPF regeneration. As filter cake layer has turned thinner and fractured slowly, pressure drop of DPF decreases rapidly. Broken pie carrier particles penetrate into the wall, which is fully contacted with DPF and fully oxidized. Wall-flow diesel particulate filter filtrates particulate matter by diffusion, interception, gravity and inertia. The back pressure of regenerated DPF increases linearly with regeneration times, and the trapping efficiency of DPF on PM increases at the same time. On the whole, using the FBC-added diesel fuel can obviously decrease DPF regeneration temperature, which can enhance the effect of DPF regeneration. It can filter PM emitted by diesel engine efficiently combining with electrical heating device, which has a reference for environmental protection and purifying diesel exhaust.

Keywords: diesel engines; exhaust gas; particulate matter; fuel borne catalyst; diesel particulate filter; regeneration balance temperature