

非对称孔结构载体对 DPF 及柴油机性能的影响研究

沈颖刚¹, 吕 誉¹, 陈春林¹, 陈贵升¹, 彭益源²

(1. 昆明理工大学 云南省内燃机重点实验室, 昆明 650500; 2. 云内动力股份有限公司, 昆明 650501)

Influence of Asymmetric Cell Carrier on DPF and Diesel Engine Performance

SHEN Yinggang¹, LÜ Yu¹, CHEN Chunlin¹, CHEN Guisheng¹, PENG Yiyuan²

(1. Yunnan Key Laboratory of Internal Combustion Engine, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China; 2. KunmingYunnei Power Co., Ltd., Kunming 650501, China)

Abstract: The model of a diesel engine coupled diesel particulate filter (DPF) built by GT-Power software was used to study the pressure drop characteristics of the DPF asymmetric cell carrier and its influence on diesel engine performance. Results show that as the proportion of inlet and outlet channels of the DPF increases, the soot capacity increases, and the DPF pressure drop decreases. However, excessive increase in the proportion of inlet and outlet channels will make the outlet pore diameter too small, resulting in an increase in pressure drop. When the diesel engine is equipped with a clean DPF, the performance indexes of the diesel engine decrease with increase of the proportion of inlet and outlet channels. However, with the increase of the soot and ash deposition in the DPF, the performance indexes of the diesel engine will improve with the increase of the proportion of inlet and outlet channels. When the proportion of inlet and outlet channels is 1.3, the overall performance of the diesel engine is optional.

摘要: 运用 GT-Power 建立柴油机整机耦合柴油机颗粒捕集器 (diesel particle filter, DPF) 的模型, 研究非对称孔道结构 DPF 的压降特性及其对柴油机整机性能的影响。研究结果表明: 随着进/出口孔道比例增加, 碳烟容量增大, DPF 压降降低, 但过度增大进/出口孔道比例会使出口孔径过小而造成压降升高; 柴油机加装洁净 DPF 时, 柴油机各项性能指标随进/出口比例增加而降低, 但随着 DPF 碳烟和灰分沉积量的增加, 柴油机各项性能指标随进/出口比例增加均有所改善。DPF 进/出口孔道比例为 1.3 时, 柴油机综合性能最佳。

关键词: 柴油机; 非对称孔道结构; 颗粒捕集器; 压降; 性能

Key words: diesel engine; asymmetric cell technology; diesel particle filter; pressure drop; performance

DOI: 10.13949/j.cnki.njgc.2018.06.004

中图分类号: TK442

文献标识码: A

0 概述

柴油机因其热效率高、功率输出大等优点而被

广泛关注^[1]。随着世界各国对柴油机排放法规的日趋严格, 柴油机颗粒物排放较高的劣势凸显出来, 国 6 排放法规更是对颗粒物数量 (particle numbers,

收稿日期: 2018-07-31

修回日期: 2018-08-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51866004); 云南省教育厅科学研究基金资助项目 (2018Y019)

Fund Project: National Natural Science Foundation of China (51866004); Scientific Research Foundation of Yunnan Provincial Department of Education (2018Y019)

作者简介: 沈颖刚 (1965—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为内燃机燃烧与排放控制, E-mail: shenyinggang@163.com;

陈贵升 (通信作者), 博士, 副教授, 主要研究方向为内燃机燃烧与排放控制, E-mail: cgs_yly@163.com。

PN)提出了限制要求^[2]。壁流式柴油机排放颗粒物捕集器作为主流的柴油机颗粒物捕集器(DPF)被广泛应用^[3-5],但随着 DPF 碳烟沉积量的增加及灰分的积累,柴油机排气背压将会增大,进而影响 DPF 寿命和柴油机整机性能^[6-8]。为了克服传统 DPF 的这一缺点,通常采用提高 DPF 进/出口孔道比例的办法,增加载体碳烟和灰分的容量^[9]。

目前针对 DPF 的研究主要停留在对称结构的压降特性上:文献[10-11]研究了 DPF 压差与碳载量的关系;文献[12]研究了非对称孔结构对柴油机颗粒捕集器压降特性的影响;文献[13]研究了柴油机 DPF 非对称孔道压降特性及其影响因素。少有针对整机耦合 DPF 性能的研究。此外,DPF 载体内部空间极其紧密,安装传感器会对载体内部流动特性造成很大的影响^[14-15],所以采用台架试验的方法研究 DPF 压降特性有一定的局限性,通过仿真模拟的方式可以有效规避台架试验这一弊端,因而通过仿真的方式对 DPF 压降及整机性能进行研究是很有必要的。在前人的基础上,笔者通过 GT-Power 建立一维整机耦合 DPF 的仿真模型,研究了柴油机低、中、高转速工况下,DPF 不同进/出口孔道比例对 DPF 压降的影响和外特性条件下不同进/出口孔道比例对 DPF 碳烟捕集效率的影响。通过对比研究了外特性条件下,不同进/出口孔道比例对柴油机动力性、经济性、排放特性的影响,以期对柴油机颗粒物捕集器的优化及提高发动机的性能提供理论支持。

1 模型介绍

1.1 发动机相关参数

本试验柴油机为电控高压共轨 D30 柴油机,主要技术参数见表 1。

表 1 发动机相关参数

项目	参数
发动机型式	直列 4 缸,增压中冷,高压共轨燃油系统
缸径/mm×行程/mm	95×105
压缩比	16.6
排量/L	2.977
标定功率/kW	100(3 000 r/min)
最大扭矩/(N·m)	381(1 600~2 600 r/min)

1.2 DPF 相关参数

本试验采用壁流式碳化硅(SiC)DPF。碳化硅是一种硅酸盐矿物,由于其化学性能稳定、导热系数高、热膨胀系数小^[16],目前普遍用作柴油机颗粒物捕集器的蜂窝状载体材料^[17]。其结构如图 1 所示,主要技术参数如表 2 所示。



图 1 碳化硅 DPF 结构

表 2 DPF 技术参数

项目	参数
材质	碳化硅
直径/mm×长度/mm	152×254
孔格密度/cm ⁻²	31(200 CPSI)
壁厚/mm	1.6
孔隙率/%	>43
胶粘区域厚度/mm	2
热膨胀系数	<4.7×10 ⁻⁶

1.3 DPF 压降控制方程

图 2 为壁流式碳化硅 DPF 载体内部结构示意图,该载体为圆柱形陶瓷结构,由大量沿轴向方向的平行通道构成。相邻通道分别堵住入口端和出口端,而载体入口和出口孔道间的壁面是由多孔介质材料构成的一道过滤网结构,只能允许气体分子通过,排气中的颗粒物会被过滤壁面通过扩散、拦截、惯性碰撞等方式捕集下来。

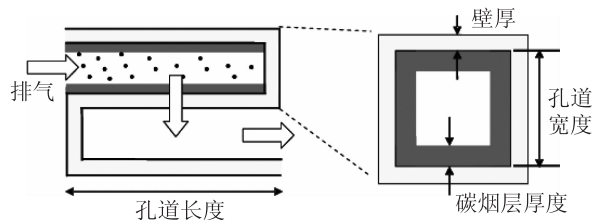


图 2 DPF 载体内部结构示意图

排气流经 DPF 过滤体产生的压降损失满足达西定律,即

$$\begin{aligned}
 p_{g,in} - p_{g,out} = & \Delta p_w + \Delta p_{sd} + \Delta p_{ac} + \Delta p_{sc} = \\
 & \nu_{w,in} \cdot u \cdot \left(\frac{F_{nfw,A} \cdot d_{in} - F_{nfw,B} \cdot \delta_{sc} - F_{nfw,B} \cdot \delta_{ac}}{F_{nfw,A} \cdot d_{in}} \right) \cdot \\
 & \left[\frac{p_{g,in}}{p_{g,out}} \cdot \left(\frac{\delta_w}{k_w} + \frac{\delta_{sd}}{k_{sd}} \right) + \frac{F_{nfw,A} \cdot d_{in}}{F_{nfw,B} \cdot d_{out}} \cdot \right. \\
 & \ln \left(\frac{F_{nfw,A} \cdot d_{in}}{F_{nfw,B} \cdot d_{out} - F_{nfw,A} \cdot d_{in}} \right) + \frac{F_{nfw,A} \cdot d_{in}}{F_{nfw,B} \cdot k_{sc}} \cdot \\
 & \left. \ln \left(\frac{F_{nfw,A} \cdot d_{in} - F_{nfw,B} \cdot \delta_{ac}}{F_{nfw,A} \cdot d_{in} - F_{nfw,B} \cdot \delta_{ac} - F_{nfw,B} \cdot \delta_{sc}} \right) \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

式中, $v_{w, in}$ 为进口孔道排气的壁面流速; u 为进/出口孔道直径; p_g 为 DPF 载体进/出口孔道气体压力; d 为进/出口孔道直径; Δp_w 为 DPF 壁面产生的压降; Δp_{ac} 为 DPF 灰分层产生的压降; Δp_{sd} 为 DPF 深层产生的压降; Δp_{sc} 为 DPF 碳饼层产生的压降; k_w 、 k_{sd} 、 k_{sc} 分别为各层渗透系数; δ_w 、 δ_{ac} 、 δ_{sd} 、 δ_{sc} 分别为各层厚度; $F_{nfw, A}$ 、 $F_{nfw, B}$ 为 DPF 载体孔道壁面因子。

1.4 非对称孔结构介绍

传统的 DPF 载体孔结构采用均匀的进出口孔道结构, 这种孔道结构 DPF 的压降会随着碳烟和灰分的加载量增加而上升。而采用非对称孔道结构 (asymmetric cell technology, ACT) 可以大大增加载体的碳烟和灰分的容量, 减小 DPF 压降损失, 其结构如图 3 所示。

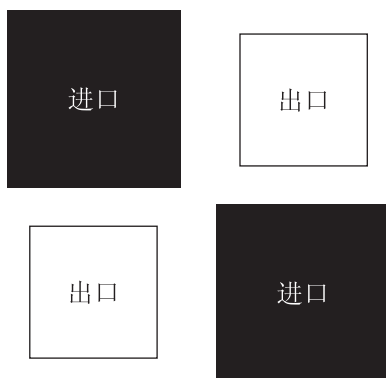


图3 非对称孔道结构示意图

ACT 结构 DPF 主要是通过改变载体进出口孔道的边长比例以实现非对称性, 本文采用的进/出口孔道比例 (r) 分别为 1.0、1.1、1.2、1.3、1.4、1.5, 研究 DPF 的压降特性。为保证 DPF 总体积和壁厚的一致性, 当孔道比例发生改变时, 需保证不同孔结构 DPF 对应的气体流通总面积保持恒定。随着进出口孔道比例的增加, 进气通道的流通面积增大, 碳烟饼层变薄, 使得压降降低, 而出口孔道流通面积变小, 导致出口孔道压降增加。出口孔道面积的减小量总是小于进口孔道面积的增大量, 如图 4 所示。非对称孔道流通面积最大变化率均在 5% 以内, 变化幅度足够小, 可以认为没有变化。

2 柴油机模型的建立与验证

基于 GT-Power 软件构建了柴油机加装 DPF 的一维热力学仿真模型, 如图 5 所示。并将仿真计算值与 D30 柴油机台架试验数据进行对比, 包括柴油机功率、有效燃油消耗率、排气温度、排气压力、排气流量及 DPF 压降的外特性曲线, 如图 6 所示。其中功率、

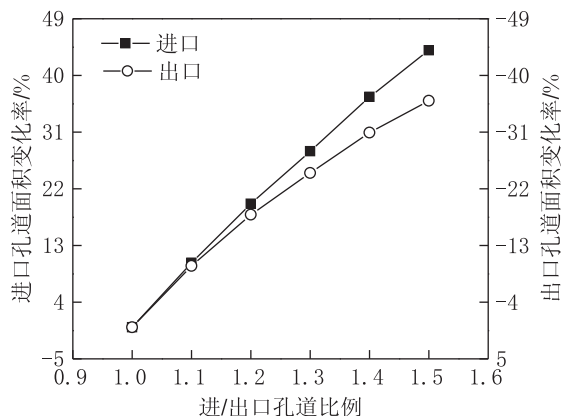


图4 不同比例孔结构面积变化率

有效燃油消耗率、排气压力、排气流量模拟值与试验值误差均在 5% 以内, 1 200 r/min 与 1 400 r/min 两个转速下排气温度模拟值与试验值偏差较大, 但误差也均在 10% 以内, 大致满足精度要求。仿真结果的 DPF 压降与试验压降对比中, 模拟时设定 DPF 初始碳载量和灰分沉积量均为 0 g/L, 各工况点压降误差均在 10% 以内。故本文构建的柴油机 GT-Power 模型的计算结果较为准确, 能满足实际发动机工作过程的仿真需求, 可用于仿真计算。

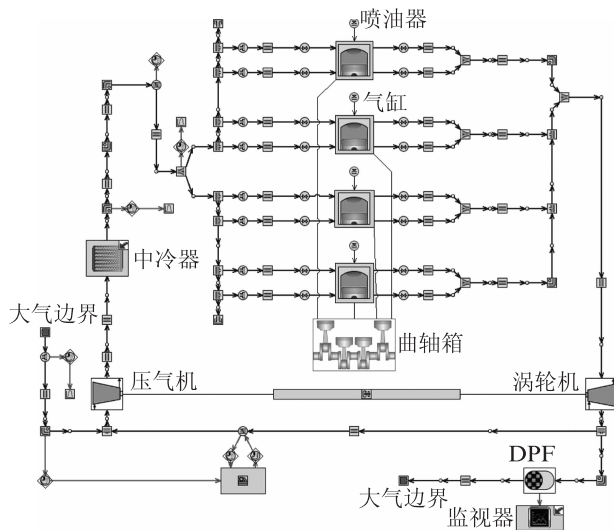


图5 D30 柴油机加装 DPF 一维仿真模型

3 ACT 结构对 DPF 性能的影响

3.1 ACT 结构对 DPF 压降的影响

发动机实际运行工况下, 不同转速与负荷的排气流量与排气温度都是变化的。低速低负荷条件下, 排气温度和排气流量较低, 载体孔道直径对气流影响较小。高速高负荷条件下排气压力与排气流量较大, ACT 结构对排气影响较大, 且出口孔道压降增大与非对称孔道功能特性的折衷性的研究对工程

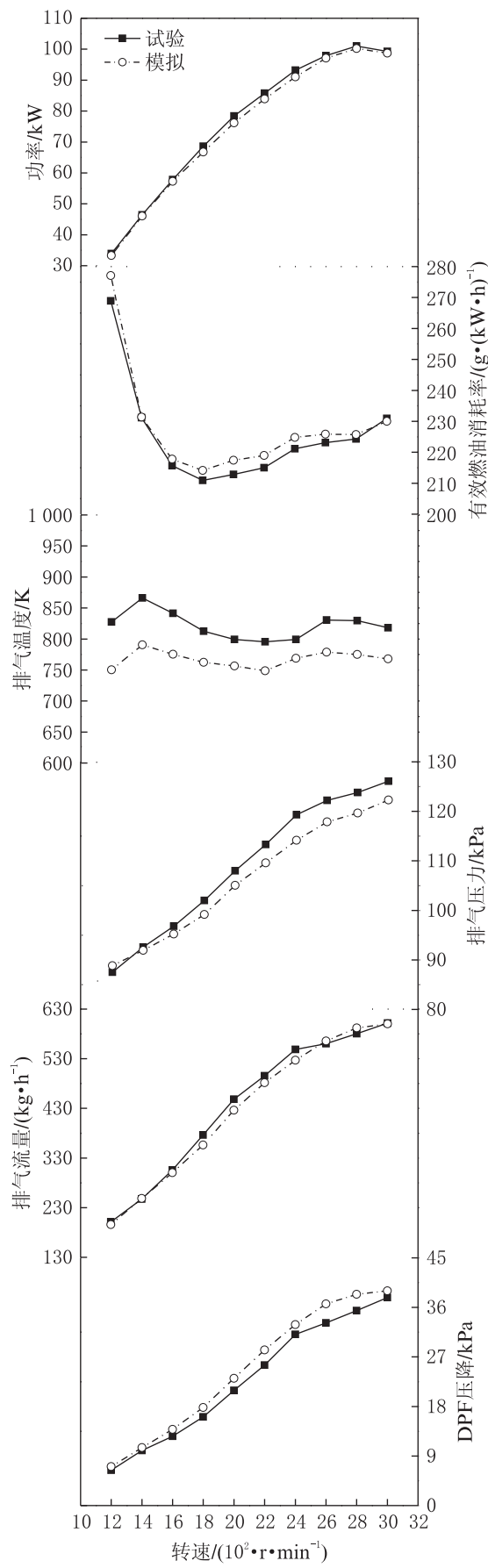


图 6 DPF 仿真与试验数据对比图

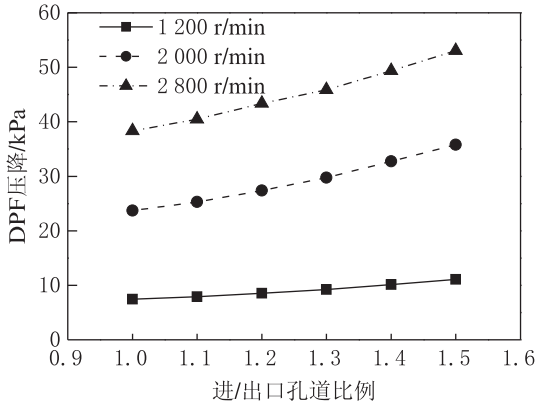
实际应用具有较强的理论指导作用。

在研究柴油机不同工况下 ACT 结构对 DPF 压降特性的影响时,分别选取洁净 DPF 与初始碳烟加载量为 8 g/L、灰分初始加载量为 15 g/L 两种情况。灰分在 DPF 载体内部沉积不可再生,基于工程应用中 DPF 载体长时间工作后工作时间较长灰分积累较多的实际情况,选择较大的灰分加载量进行模拟,对工程应用具有更好的指导意义。柴油机外特性条件下,随着转速的变化,发动机排气流量与排气温度均发生相应变化。在研究柴油机不同工况下 ACT 结构 DPF 的压降特性时,选取低、中、高 3 个转速,各转速对应的排气流量和排气温度如表 3 所示。

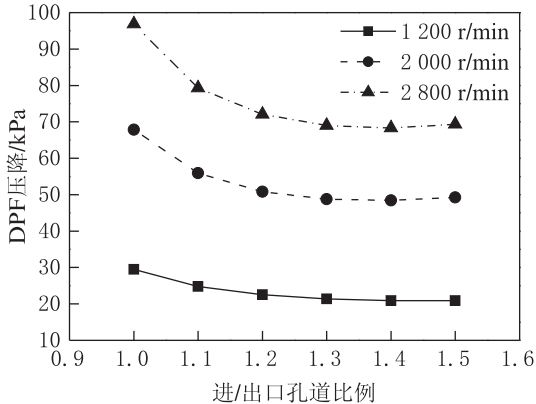
表 3 不同转速对应的排气流量与温度

项目	参数		
转速/(r·min ⁻¹)	1 200	2 000	2 800
排气流量/(kg·h ⁻¹)	247	526	620
排气温度/K	697	750	837

图 7 为不同进/出口孔道比例 DPF 的压降特性图。



(a) 初始碳烟沉积量为 0 g/L, 灰分为 0 g/L



(b) 初始碳烟沉积量为 8 g/L, 灰分为 15 g/L

图 7 不同比例 ACT 结构 DPF 压降特性

由图 7(a)可知,没有初始碳烟和灰分积累时,出口孔道变化成为影响压降变化的决定性因素,孔道内部流动与孔道大小密切相关。在低转速(1 200 r/min)工况下,由于排气流量较小,排气流速低,出口孔道对压降影响不大;反之,在中(2 000 r/min)、高(2 800 r/min)转速条件下,由于排气流量和排气压力的增加,排气流速增大,随着进/出口比例增大,排气孔道减小,使得 DPF 的压降呈上升趋势。由此可见,在洁净载体条件下,进/出口孔道比例越大,DPF 压降反而越大,此时对称结构 DPF 压降反而最低。

初始碳烟加载量为 8 g/L、灰分初始加载量为 15 g/L 时不同进/出口孔道比例对 DPF 压降的影响如图 7(b)所示,模型中碳烟与灰分沉积均假定为均匀沉积分布。由图可见,3 种工况下,压降均随进/出口孔道比例增加而呈现下降趋势,说明在初始碳烟和灰分加载情况下,进/出口孔道比例增加有利于载体降低压降。此时,进口孔道的增大使得载体碳烟和灰分的容积量增大,碳烟与灰分过滤饼层变得更薄,从而降低压降。图中进/出口孔道比例在 1.0 到 1.2 之间时,各工况压降降低斜率最大;随着进/出口孔道比例继续增加,压降变化趋于平缓。这说明进/出口孔道比例并非越大越好,而是存在最佳值。由图 7(b)可知,高转速工况压降变化比低速工况更加明显,这是因为中高速工况下排气质量流量大,排气压力高,排气流速更大,而流速越高则通道流阻越大,DPF 加大进/出口比例使得碳烟和灰分饼层更薄,通道变大,从而使得压降降低幅度更大。

3.2 ACT 结构对 DPF 捕集效率的影响

DPF 的主要功能是捕集排气中碳烟颗粒物,捕集效率是 DPF 性能的重要评价指标。ACT 结构 DPF 改变了进/出口孔道的比例,势必会对捕集效率产生影响,因此有必要对 ACT 结构 DPF 的捕集效率进行研究。图 8 为不同进/出口孔道比例 ACT 结构 DPF 的捕集效率。

如图 8 所示,随着进/出口孔道比例的增加,各转速工况 DPF 捕集效率均降低。这是由于进/出口孔道比例变大后,DPF 碳载量容积增大,同样碳烟加载量的情况下,碳烟饼层和灰分层变薄,碳烟饼层和灰分层对碳烟颗粒的捕集作用减弱,从而导致 DPF 的捕集效率降低。但从长远来看,由于 DPF 使用周期较长,在 DPF 使用过程中,随着碳烟沉积量的增加,DPF 捕集效率会逐步提升,且在 ACT 结构 DPF 进/出口孔道比例为 1.5 时,DPF 捕集效率也在 80% 以上,具有较高的捕集效率。

综上:ACT 结构 DPF 使用前期,捕集效率相对

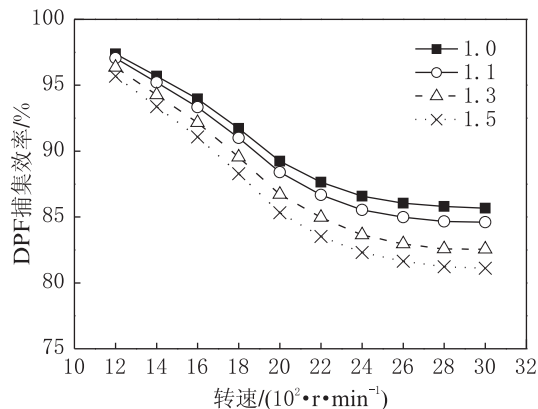


图 8 不同 DPF 进/出口孔道比例 ACT 结构 DPF 捕集效率
较低,但仍处于高效区域;捕集效率会随着 DPF 使用时间增加而不断提高。

4 ACT 结构对柴油机性能的影响

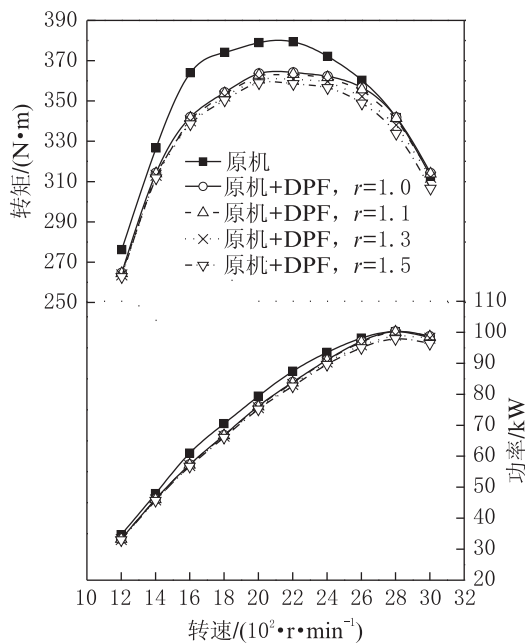
4.1 ACT 结构对柴油机动力性的影响

ACT 结构对柴油机动力性的影响见图 9。

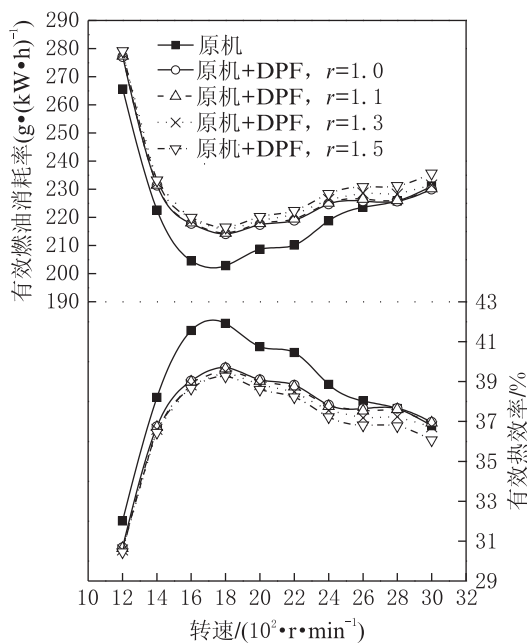
柴油机排气背压直接影响柴油机动力性,而排气背压又与 DPF 载体流通特性密切相关。因此,研究不同进/出口孔道比例载体对柴油机动力性的影响是有必要的。图 9 为碳烟初始沉积量为 0 g/L、灰分初始积累量为 0 g/L 和碳烟初始沉积量为 8 g/L、灰分初始积累量为 15 g/L 时,柴油机不同工况下扭矩和功率的变化情况。如图 9 所示,加装 DPF 装置后,柴油机扭矩、功率均有所下降,其中载体加载碳烟和灰分后比洁净载体时的动力下降更多。这是由于排气背压升高影响进气效率,导致动力性降低。载体为洁净状态时,柴油机扭矩、功率随 DPF 进/出口比例的增大而减小,这是由于洁净载体的压降随进/出口比例的增加而增加,进/出口比例越大,排气背压越高,进气效率变差,从而造成动力性下降。相反,当载体有碳烟和灰分加载时,随着进/出口比例增加,压降降低,背压降低,有利于发动机排气过程,进气效率提高,从而使得动力性提升。

4.2 ACT 结构对柴油机经济性的影响

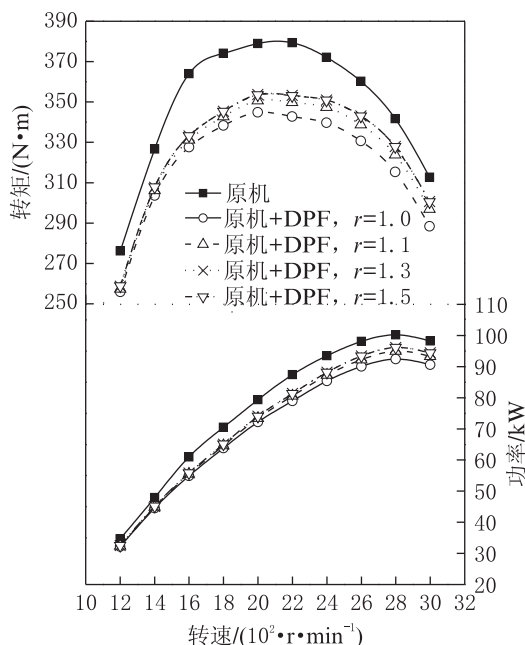
有效燃油消耗率和有效热效率是表征柴油机经济性最直接的有效性能指标。随着排放法规的日益加严,仅依靠机内净化措施已经无法满足当前排放法规要求,加装后处理装置已经成为满足排放法规的重要手段。但采用后处理装置势必影响发动机的经济性,因此有必要研究 DPF 对柴油机经济性的影响。图 10 为 ACT 结构对柴油机经济性的影响。



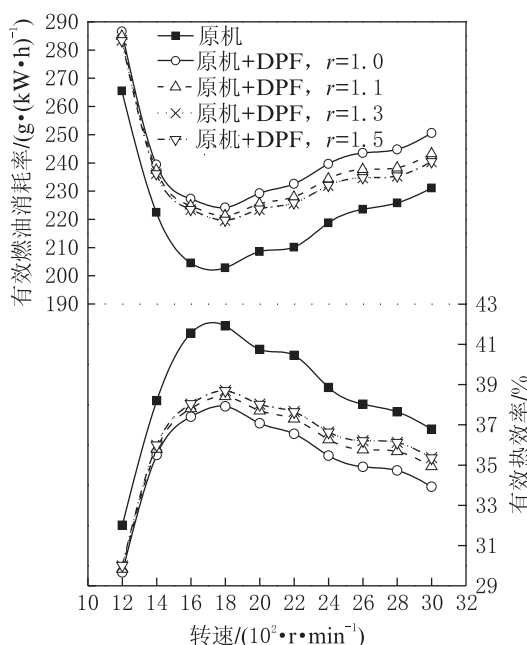
(a) 初始碳烟沉积量为 0 g/L, 灰分为 0 g/L



(a) 初始碳烟沉积量为 0 g/L, 灰分为 0 g/L



(b) 初始碳烟沉积量为 8 g/L, 灰分为 15 g/L



(b) 初始碳烟沉积量为 8 g/L, 灰分为 15 g/L

图 9 ACT 结构对柴油机动力性的影响

图 10 ACT 结构对柴油机经济性的影响

如图 10 所示,加装 DPF 后,柴油机有效燃油消耗率升高,有效热效率降低。采用洁净载体时,随着进/出口孔道比例的增加,有效燃油消耗率也有所增加,有效热效率有所降低,但有效燃油消耗率增幅和热效率降幅不太大。在 2 600 r/min 以后加装对称结构 DPF 柴油机的有效燃油消耗率和有效热效率与原机有效燃油消耗率和热效率趋于一致。这是由于在高速工况下,柴油机排气流量大,流速高,排气背压高,加装洁净 DPF 后对柴油机高速工况排气背

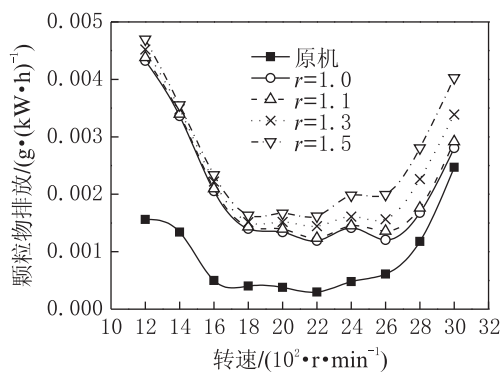
压影响较小。此时,随进/出口比例的增大,有效燃油消耗率相应增加,热效率相应降低,这是由于洁净 DPF 影响压降的主要因素是 DPF 孔道大小。

载体初始碳烟沉积量为 8 g/L、初始灰分负载为 15 g/L 时,对称结构 DPF 柴油机的有效燃油消耗率较原机有显著的提高,有效热效率相较原机也有较大的降幅,而 DPF 载体在绝大部分工作时间都有碳烟和灰分加载,这对柴油机经济性极为不利。通过增加 DPF 进/出口孔道比例,可以降低柴油机有效

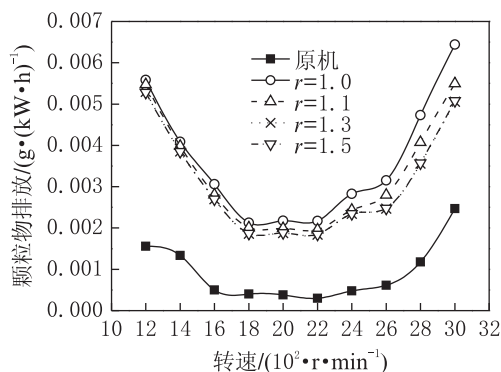
燃油消耗率和提高有效热效率。由图 10(b)可以发现,增加 DPF 孔道比例对柴油机低速工况有效燃油消耗率的降低和有效热效率的提升作用并不明显,而中、高速工况效果比较显著。这是由于低速工况排气流量低,排气流速低,排气压力相对较低,DPF 对低流量、低流速的流动影响较小;而在中、高速条件下,DPF 入口孔道越大,碳载量和灰分饼层变薄,过滤压降降低,同时由于中、高速工况排气温度较高有利于碳烟的再生,可进一步降低压降,从而使有效燃油消耗率降低并使有效热效率提高。从图中还可看出,进/出口孔道比例为 1.3 和 1.5 时,柴油机有效燃油消耗率和有效热效率曲线规律几乎一致,说明进/出口孔道比例并非越大越好,而是存在一个最佳值。

4.3 ACT 结构对柴油机排放特性的影响

DPF 作为柴油机排气颗粒物的主要捕集装置,其主要作用是捕集排气中的颗粒物。图 11 为 ACT 结构 DPF 对柴油机排放颗粒物的影响。柴油机加装洁净 DPF 时,随进/出口孔道比例的增加,各转速工况颗粒物排放均呈上升趋势。这是由于增加进/出口孔道比例使得排气背压升高,缸内燃烧恶化,导致颗粒物排放量增加。



(a) 初始碳烟沉积量为 0 g/L, 灰分为 0 g/L



(b) 初始碳烟沉积量为 8 g/L, 灰分为 15 g/L

图 11 ACT 结构对柴油机颗粒物排放影响

与加装洁净 DPF 时相反,DPF 初始碳载量为 8 g/L、灰分为 15 g/L 时,随着进/出口比例增加,柴油机排气中碳烟量呈下降趋势。但进/出口孔道比例为 1.3 与 1.5 的颗粒物排放曲线基本重合,说明进出口孔道比例为 1.3 时颗粒物排放最低,继续增加进/出口孔道比例对颗粒物排放没有优化效果;相反过度增加进/出口孔道比例反而导致颗粒物排放恶化。这与 ACT 结构对柴油机动力性和经济性的影响一致。

5 结论

(1) 洁净 DPF 的压降随着进/出口比例的增加而增加,在有碳烟和灰分加载的情况下,压降随进/出口孔道比例增加而降低。ACT 结构 DPF 对柴油机中、高速工况性能影响较大,对低速工况影响很小。

(2) ACT 结构 DPF 捕集效率随进/出口比例增加而降低,但在进/出口比例为 1.5 时,捕集效率仍在 80% 以上,具有较高的工作效率。

(3) DPF 对柴油机功率影响较大,随着碳烟和灰分的沉积,柴油机动力性降低更明显,适当增加 DPF 进/出口孔道比例有助于改善柴油机动力性。

(4) ACT 结构对提升有碳烟和灰分加载的 DPF 柴油机经济性效果比洁净载体更明显。ACT 结构对柴油机中、高速工况经济性的改善效果显著,而对低速工况作用微弱。

(5) DPF 洁净状态下,柴油机排气中碳烟量随着进/出口孔道比例增加而增加;DPF 处于碳烟和灰分加载的情况下,排气中碳烟量随着进/出口比例增加而降低。柴油机 DPF 大部分时间在有碳烟和灰分加载的情况下工作,ACT 结构有利于降低 DPF 压降,恢复部分动力,降低有效燃油消耗率,提升有效热效率,即 ACT 结构有利于改善柴油机动力性、经济性和排放特性。

参考文献:

- [1] FAYYAZBAKHS A, PIROUZFAR V. Investigating the influence of additives-fuel on diesel engine performance and emissions; analytical modeling and experimental validation[J]. Fuel, 2016, 171: 167-177.
- [2] 环境保护部. 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段): GB18352. 6—2016[S]. 北京: 中国环境出版社, 2016: 9-10.
- [3] 龚金科, 江俊豪, 陈韬, 等. 柴油机壁流式过滤体灰滤饼沉积流动阻力特性[J]. 内燃机学报, 2014, 32(6): 534-540.

GONG J K, JIANG J H, CHEN T, et al. Analysis on flow resistance characteristics of diesel wall-flow filter for ash

- deposition in cake[J]. Transactions of CSICE, 2014, 32(6): 534-540.
- [4] SARLI V D, BENEDETTO A D. Modeling and simulation of soot combustion dynamics in a catalytic diesel particulate filter[J]. Chemical Engineering Science, 2015, 137: 69-78.
- [5] MILLO F, ANDREATA M, RAFIGH M, et al. Impact on vehicle fuel economy of the soot loading on diesel particulate filters made of different substrate materials[J]. Energy, 2015, 86: 19-30.
- [6] 孟忠伟, 陈超, 秦源, 等. 载体材料对 DPF 再生性能影响的试验研究[J]. 内燃机工程, 2018, 39(3): 53-57.
- MENG Z W, CHEN C, QIN Y, et al. An experimental study on the regeneration performance of carrier material of DPF[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2018, 39(3): 53-57.
- [7] 张靖, 孟忠伟, 刘苗, 等. 柴油机 DOC+CDPF 系统的过滤和再生性能试验研究[J]. 车用发动机, 2016(4): 62-65.
- ZHANG J, MENG Z W, LIU M, et al. Experimental study on filtration and regeneration performance of DOC+CDPF system for diesel engine[J]. Vehicle Engine, 2016(4): 62-65.
- [8] 朱亚永, 赵昌普, 王耀辉, 等. 柴油机 DPF 流场压降及微粒沉积特性数值模拟[J]. 内燃机学报, 2017, 35(6): 538-547.
- ZHU Y Y, ZHAO C P, WANG Y H, et al. Numerical simulation of pressure-drop and soot particle accumulation performance of a diesel engine DPF[J]. Transactions of CSICE, 2017, 35(6): 538-547.
- [9] ARAVELLI K, HEIBEL A. Improved lifetime pressure drop management for robust cordierite(RC) filters with asymmetric cell technology (ACT)[C/OL]. SAE Paper, 2007, 2007-01-0920. (2007-04-16)[2018-06-30]. <https://doi.org/10.4271/2007-01-0920>.
- [10] OHYAMA N, NAKANISHI T, DAIDO S. New concept catalyzed DPF for estimating soot loadings from pressure drop[C/OL]. SAE Paper, 2008, 2008-01-0620. (2008-04-14)[2018-06-30]. <https://doi.org/10.4271/2008-01-0620>.
- [11] ROSE D, BOGER T. Different approaches to soot estimation as key requirement for DPF applications[C/OL]. SAE Paper, 2009, 2009-01-1262. (2009-04-20)[2018-07-01]. <https://doi.org/10.4271/2009-01-1262>.
- [12] 白曼, 赵昌普, 尚芳, 等. 非对称孔结构对柴油机颗粒捕集器压降特性的影响[J]. 内燃机学报, 2015, 33(3): 257-264.
- BAI M, ZHAO C P, SHANG F, et al. Pressure drop characteristics through DPF with different channel width ratios[J]. Transactions of CSICE, 2015, 33(3): 257-264.
- [13] 李志军, 黄群锦, 王楠, 等. 柴油机 DPF 非对称孔道压降特性及其影响因素[J]. 内燃机学报, 2016, 34(2): 135-141.
- LI Z J, HUANG Q J, WANG N, et al. Pressure drop of asymmetric diesel particulate filter and its influencing factors[J]. Transactions of CSICE, 2016, 34(2): 135-141.
- [14] SINGH N, MANDARAPU S. DPF soot estimation challenges and mitigation strategies and assessment of available DPF technologies[C/OL]. SAE Paper, 2013, 2013-01-0838. (2013-04-08)[2018-07-02]. <https://doi.org/10.4271/2013-01-0838>.
- [15] MIZUTANI T, IWASAKI S, MIYAIRI Y, et al. Performance verification of next generation diesel particulate filter[C/OL]. SAE Paper, 2010, 2010-01-0531. (2010-04-12)[2018-07-02]. <https://doi.org/10.4271/2010-01-0531>.
- [16] 文章苹, 张骋, 张永刚. 碳纤维增强碳化硅陶瓷基复合材料的研究进展及应用[J]. 人造纤维, 2018, 48(1): 18-24.
- WEN Z P, ZHANG C, ZHANG Y G. Progress and application of carbon fibers reinforced silicon carbide ceramic matrix composites[J]. Artificial Fibre, 2018, 48(1): 18-24.
- [17] 施蕴曦, 蔡忆昔, 陈亚运, 等. 载体结构对柴油机微粒捕集器再生的影响研究[J]. 内燃机工程, 2016, 37(1): 44-50.
- SHI Y X, CAI Y X, CHEN Y Y, et al. Effect of carrier structure on the performance of diesel particulate filter[J]. Chinese Internal Combustion Engine Engineering, 2016, 37(1): 44-50.

《内燃机工程》即日起接收彩色插图稿件。《内燃机工程》唯一投稿方式为 www.cicee.com.cn 在线投稿。

《内燃机工程》收取费用账号户名为“中国内燃机学会”, 请不要汇款至任何私人账户, 谨防上当受骗。