

柴油机微粒捕集器非对称孔道 内流场和压降特性模拟

李志军¹, 王楠¹, 张立强², 黄群锦¹, 魏所库², 张彦科¹

(1. 天津大学 内燃机燃烧学国家重点实验室, 天津 300072; 2. 天津市圣威科技发展有限公司, 天津 300132)

摘要:采用 Fluent 建立了柴油机微粒捕集器(DPF)非对称孔道的三维模型,计算了孔道内的流动和压降特性,分析了 DPF 内碳烟微粒的沉积过程,比较了不同壁面渗透率和碳载量下对称孔道与非对称孔道中的压降特性。研究结果表明:进口孔道速度沿轴向先增大后减小,出口孔道速度沿轴向逐渐减小;进口孔道静压沿轴向先减小后增大,出口孔道静压沿轴向逐渐减小;碳烟微粒总是先在孔道的后端沉积,随着碳载量增大,碳烟微粒沿孔道轴向分布逐渐趋向于均匀;绝对碳载量系数大于 0.3 时,非对称孔道相对于对称孔道具有较小的压降;进、出口孔道比例越大,压降受排气流量的影响越大。

关键词:动力机械工程; 柴油机微粒捕集器; 非对称孔道; 流场; 压降

中图分类号:TK421.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5497(2016)06-1892-08

DOI:10.13229/j.cnki.jdxbgxb201606018

Numerical simulation for flow and pressure drop characteristics in asymmetrical channels of diesel particulate filter

LI Zhi-jun¹, WANG Nan¹, ZHANG Li-qiang², HUANG Qun-jin¹, WEI Suo-ku², ZHANG Yan-ke¹

(1. State Key Laboratory of Engine Combustion, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tianjin Shengwei Development of Science Co., Ltd., Tianjin 300132, China)

Abstract: The 3D model of a Diesel Particulate Filter (DPF) with asymmetrical channels was established in Fluent. Based on numerical model, the fluid flow and pressure drop characteristics were simulated, the soot loading process was analyzed, and the pressure drops in asymmetrical channels and symmetrical channels were compared. The results show that, along the inlet channels, the flow velocity magnitude increases at first and then decreases, while the static pressure decreases first and then increases. Along the outlet channels the flow velocity increases while the static pressure decreases. At the beginning of soot loading process, larger amount of soot loading is found in the downstream half of the channel. As the soot loading increase, the distribution of soot along the axial direction becomes uniform. The pressure drop in the asymmetrical channels is lower than that in the symmetrical channels. The coefficient of the absolute soot loading of the asymmetrical channels is above 0.3. As the inlet-to-outlet ratio increases, the influence of the inlet mass flow rate on the

收稿日期:2015-06-22.

基金项目:国家自然科学基金项目(51276128); 科技部中欧中小企业节能减排专项基金项目(SQ2013ZOA100012).

作者简介:李志军(1962-),男,教授,博士生导师. 研究方向:内燃机燃烧与排放控制. E-mail:zhijunli@tju.edu.cn

pressure drop becomes more significant.

Key words: power machinery and engineering; diesel particulate filter(DPF); asymmetrical channel; flow; pressure drop

0 引言

目前,国内外对有效去除柴油机微粒的相关研究越来越重视。控制柴油机微粒排放,不仅要发展机内净化技术,还要采用必要的后处理技术^[1-3],柴油机微粒捕集器(Diesel particulate filter, DPF)是目前公认的最为有效的去除柴油机排气微粒的后处理技术手段之一^[4]。对 DPF 内部流场和压降特性进行研究可以深入了解气流在过滤体内的流动规律,从而为 DPF 的优化设计提供依据,国内外学者围绕 DPF 内部的流场和压降特性已经进行了较为细致的研究,Bouteiller 等^[5]建立了具有非对称孔道结构 DPF 的一维背压模型,对 DPF 内的压降特性进行了研究。Basu 等^[6]对不同参数下 DPF 的过滤效率和压降特性进行了研究。Piscaglia 等^[7]建立了 DPF 内部二维计算模型,对 DPF 内部的流场和微粒沉积特性进行了研究。龚金科等^[8]用数值模拟的方法对 DPF 内部速度场和压力场进行了研究。

目前,国内外学者对 DPF 内流场和压降特性的研究主要还是采用一维或者二维模型进行模拟计算,且研究的对象多为整个 DPF,对 DPF 单个孔道内部流场和压降特性的研究较少,现有的研究所用 DPF 主要采用对称结构的四边形孔道,对非对称孔道的研究涉及较少。本文通过对非对称孔道内部的流场进行三维模拟,分析孔道内的碳烟分布情况并对不同进出口孔道比例下孔道内的压降特性进行比较,进而为 DPF 的结构优化提供参考。

1 数学模型

流体在孔道内流动时遵守能量守恒定律和动量守恒定律,具体如下所示:

(1) 能量守恒方程

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

式中: ρ 为流体密度; t 为时间; u 、 v 和 w 分别为 x 、 y 和 z 方向的速度分量。

(2) 动量守恒方程

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u U) =$$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v U) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + F_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w U) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + F_z \quad (4)$$

式中: U 为流体速度; u 、 v 、 w 分别为速度在 x 、 y 、 z 方向的分量; p 为作用于流体微元的压强; τ_{xx} 、 τ_{xy} 、 τ_{xz} 为作用在微元体表面上的黏性应力 τ 的分量; F_x 、 F_y 、 F_z 为微元体上的分力,当只考虑重力作用,且 z 轴的正方向竖直向上时,则有 $F_x = 0$ 、 $F_y = 0$ 、 $F_z = -\rho g$ 。

1.3 多孔介质模型

壁流式 DPF 依靠过滤壁面来过滤碳烟微粒,过滤壁面为多孔介质区域。表征多孔介质性质的重要参数孔隙率 δ 定义为:

$$\delta = \frac{V_{\text{void}}}{V_{\text{total}}} = \frac{V_{\text{void}}}{V_{\text{solid}} + V_{\text{void}}} \quad (5)$$

式中: V_{void} 为孔隙体积; V_{solid} 为固体体积。

在研究中,一般将多孔介质假设为一种连续介质模型,假设流体充满整个多孔介质区域,包括孔隙和固体区域,于是,将不连续的真实流动作为连续的假想流动进行研究。假想的流动速度 u_w 与真实流动速度 u 之间满足 Dupuit-Forchheimer 关系式^[9]:

$$u_w = \delta u \quad (6)$$

流体流过多孔介质壁面时的压降遵循达西定律,在高速流动时需要附加一个动量源项,得到如下压降公式^[10]:

$$\Delta P = \underbrace{\frac{\mu}{k_w} u_w w}_{\text{Darcy}} + \underbrace{\beta \rho u_w^2 w}_{\text{Forchheimer}} \quad (7)$$

式中: k_w 为壁面渗透率; μ 为流体黏度; w 为过滤壁面厚度; β 为 Forchheimer 系数。

流体层流运动时,只考虑黏性损失项, β 可以视为零,从而将式(7)简化为:

$$\Delta P = \frac{\mu}{k_w} u_w w \quad (8)$$

2 数值计算模型及边界条件

DPF 非对称孔道是指进口孔道边长 d_1 大于出口孔道边长 d_2 。图 1 为对称孔道($d_1 = d_2$)与非对称孔道($d_1 > d_2$)的结构对比示意图,从图中可以看出非对称孔道的进口孔道截面积大于出口孔道的截面积。

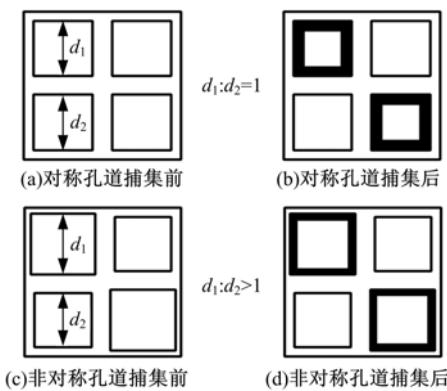


图 1 对称孔道和非对称孔道碳烟微粒沉积过程示意图

Fig. 1 Schematic of soot loading process of symmetrical and asymmetrical channels

由于 DPF 的孔道排列具有规律性(进、出口孔道交错排列),可以通过模拟一组孔道内的流场来分析整个 DPF 的流场特性。本文分别建立了 $d_1 : d_2$ 分别为 1、1.2、1.4 三种比例的单孔道模型,并以 $d_1 : d_2 = 1.2$ 的模型为例,该模型包括两个 $1/4$ 的进口孔道与两个 $1/4$ 的出口孔道,采用 ICEM 进行结构化网格划分,几何模型及网格划分如图 2 所示。

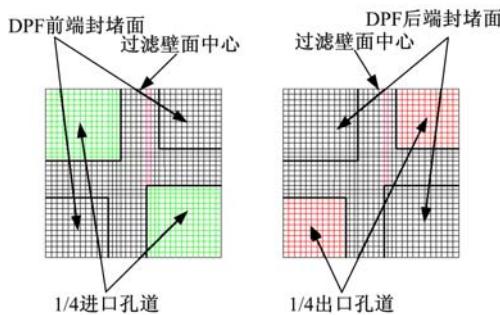


图 2 非对称孔道几何模型及网格

Fig. 2 Geometrical model and mesh of asymmetrical channels

本文采用 Fluent 作为计算软件分析进、出口孔道内的微观流动。将进气视为不可压缩流体,由于气体在孔道内流动时雷诺数 $Re < 2000$,因此,气体在进出口孔道内的流动可视为稳定的层流运动^[8],因而采用层流模型进行模拟。过滤壁

面采用多孔介质模型,假设多孔介质内各向阻力均匀^[11]。微粒相设置为单一的碳颗粒并采用离散相模型,假设微粒一旦与多孔介质壁面接触即被捕集。由于本文着眼于 DPF 孔道内的流场研究,因而不考虑传热与化学反应过程。通过分析孔道中心线的速度和静压研究孔道内速度和静压沿 DPF 轴向的分布规律,通过壁面中心线的速度表征 DPF 的过滤速度。

表 1 为本文所用 DPF 相关计算参数。数值计算模型采用质量流量入口边界条件,假定排气由进口截面均匀流入,质量流量为 $0 \sim 5 \times 10^{-5}$ kg/s,微粒相流量为 10^{-7} kg/s,采用压力出口边界条件,假定出口孔道直接与大气相通,出口截面处静压视为零^[11]。

表 1 DPF 参数设置

Table 1 DPF parameters setting

参 数	$d_1 : d_2$		
	1.0	1.2	1.4
气体密度/(kg·m ⁻³)	0.63	0.63	0.63
气体黏度/ 10^{-5} (Pa·s)	2.946	2.946	2.946
入口孔道宽度/mm	1.397	1.524	1.631
出口孔道宽度/mm	1.397	1.27	1.165
孔道长度/mm	160	160	160
孔隙率	0.4	0.4	0.4
孔道壁厚/mm	0.39	0.39	0.39
微粒密度/(kg·m ⁻³)	2000	2000	2000
微粒直径/ 10^{-6} m	1	1	1

3 模型验证

由于 DPF 孔道内不同位置的速度和静压难以直接测量,因而很难通过试验方法对计算结果进行验证,本文采用与文献[12]中相同的 DPF 结构参数($d_1 : d_2 = 1$,孔道壁厚 0.508 mm,孔道长度 254 mm,壁面渗透率 $1.8423 \times 10^{-13} \text{ m}^2$),进气质量流量与文献[12]中保持一致,分别对孔道内的速度和压力分布情况进行验证。

3.1 孔道内速度分布验证

图 3 为进、出口孔道中无量纲速度沿 DPF 轴向分布图。从图 3 中可以看出:进出口孔道无量纲速度的模拟值与文献[12]值基本吻合(最大相对误差小于 5%),孔道内的速度分布一致性较好,得以验证。

3.2 孔道内压力分布验证

图 4 为进、出口孔道中无量纲压力沿 DPF 轴

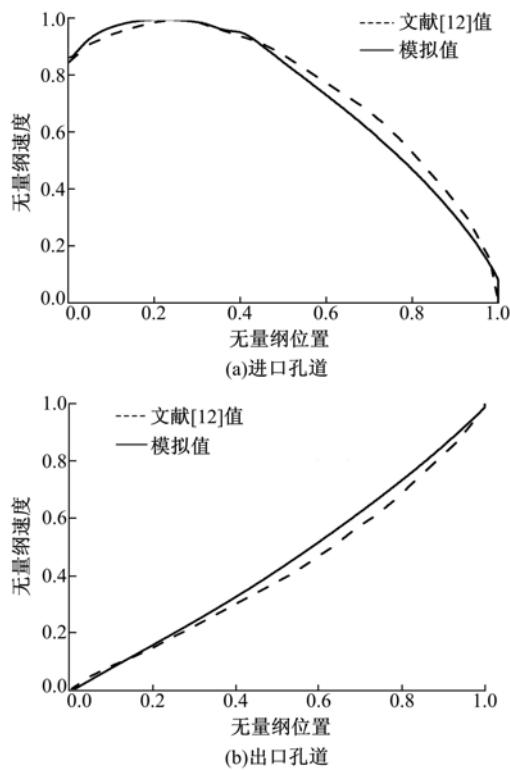


图 3 进、出口孔道内无量纲速度分布

Fig. 3 Relative velocity distributions of inlet and outlet channels

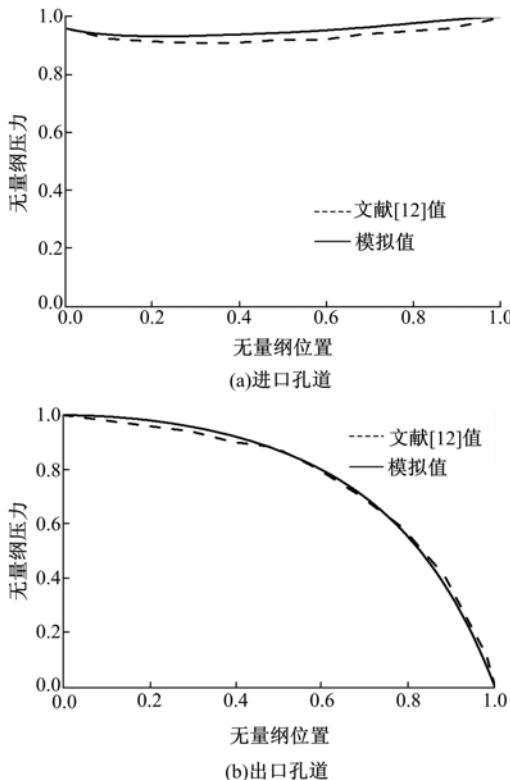


图 4 进、出口孔道内无量纲压力分布

Fig. 4 Relative pressure distributions of inlet and outlet channels

向分布图。从图 4 中可以看出:进出口孔道无量纲压力的模拟值与文献[12]值基本吻合(最大相对误差小于 5%),孔道内的压力分布一致性较好,得以验证。

通过以上对孔道内的速度分布情况和压力分布情况进行验证发现:采用本文模型得到的计算值与文献[12]中数值一致性较好,从而验证了本文所建模型的正确性。

4 计算结果及分析

4.1 孔道内的流场分布特性

为了研究非对称孔道内的流场分布情况,以 $d_1 : d_2 = 1.2$ 的孔道为例进行研究,设定壁面渗透率 $k_w = 10^{-12} \text{ m}^2$,进气流量 $q = 5 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$,分析进出口孔道内速度、静压、微粒体积浓度和过滤速度的分布情况。

图 5 为进、出口孔道中心速度 u 沿孔道轴向位置 L 的分布。从图 5 中可以看出:进口孔道中速度沿孔道轴向先增大后减小,最后在孔道后端面处变为零;出口孔道中速度沿孔道轴向逐渐增大,且在孔道后端增加的幅度变大;排气从出口截面流出的速度大于从进口截面流入的速度。

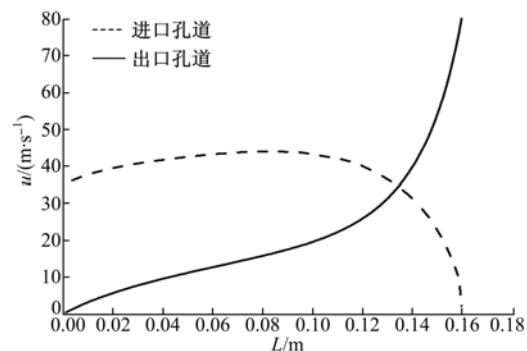


图 5 进、出口孔道内速度分布

Fig. 5 Velocity distributions of inlet and outlet channels

排气从进口截面进入孔道时是均匀流,之后,随着气体沿 DPF 轴向的继续流动,孔道内气体沿轴向依次经历初始段、发展段、完全发展段,在这一过程中孔道中心处的速度是一个逐渐增大的过程,气体充分发展后速度达到最大值,之后由于进口孔道后端面的封堵作用,使气体速度开始下降。进口孔道中的气体大部分从孔道后端多孔介质壁面流入出口孔道,因而出口孔道前端速度较小,后端速度迅速增大。由于进口孔道截面积大于出口孔道截面积,流量一定时,截面积的减小会使速度增大,此外,出口截面处静压为零,一部分静压转

化为动压,两者共同作用使排气从出口截面流出的速度大于从进口截面流入的速度。

图 6 为 DPF 轴向位置 L 分别为 0、0.08、0.16 m 时截面处进、出口孔道速度分布。从图 6 中可以看出:排气由进口孔道流入后逐渐由均匀流发展为不均匀流,这是由于过滤壁面的摩擦力以及流体内部黏性力的作用,使孔道中心处速度最大,越靠近壁面速度越小。

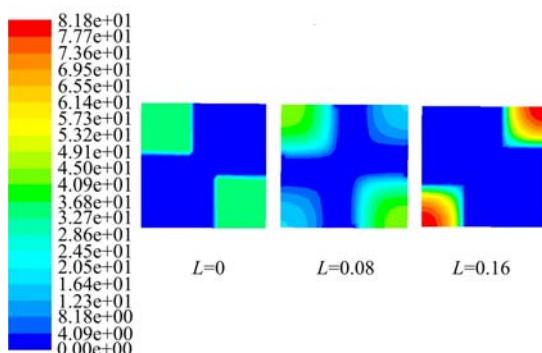


图 6 DPF 孔道内不同轴向位置速度分布

Fig. 6 Velocity distributions of different axial position of DPF channels

图 7 为进、出口孔道内静压 P 沿孔道轴向位置 L 的分布。从图 7 中可以看出:进口孔道中静压沿孔道轴向先减小后增大,在出口端面处达到最大值;出口孔道中静压沿孔道轴向逐渐减小,在出口孔道端面处变为零;进出口孔道中静压差 ΔP 沿孔道轴向先减小后增大,且在孔道前端 ΔP 变化幅度不大,在孔道后端, ΔP 迅速增大。

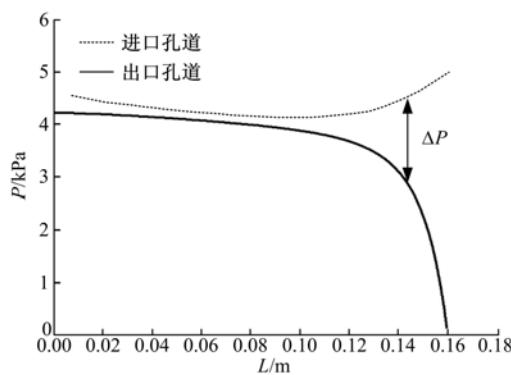


图 7 进、出口孔道内静压分布

Fig. 7 Static pressure distributions of inlet and outlet channels

图 8 为 DPF 轴向位置 L 分别为 0、0.08、0.16 m 时截面处进、出口孔道内静压分布图。从图 8 中可以看出:轴向位置一定时,孔道内静压沿径向均匀分布;在孔道后端,过滤壁面内部存在压

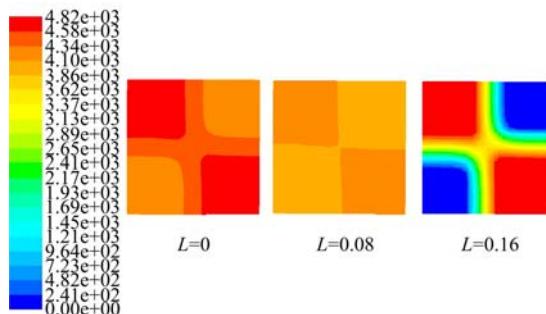


图 8 DPF 孔道内不同轴向位置静压分布

Fig. 8 Static pressure distributions of different axial position of DPF channels

力不均匀分布,这是由于多孔介质内部阻力较大且孔道后端进出口孔道中静压差 ΔP 较大,从而使多孔介质壁面内部压力从进口孔道接触面向出口孔道接触面逐渐减小。

图 9 为 DPF 过滤速度 u_w 和微粒体积浓度 c_{soot} 沿孔道轴向位置 L 的分布图。从图 9 中可以看出:壁面过滤速度和微粒体积浓度沿孔道轴向先减小后增大,在孔道前端两者变化幅度不大,在孔道后端迅速增大;微粒体积浓度与壁面过滤速度的变化趋势基本一致。DPF 过滤速度在后端迅速增大是由于孔道后端进出口孔道中静压差 ΔP 较大,为气体的流动提供了较大的动力。过滤速度与流过多孔介质的气体流量成正比,过滤速度越大,说明过滤的气体越多,被捕集的碳烟微粒也越多,因而可以用过滤速度的大小间接反映孔道内碳烟微粒的沉积情况。

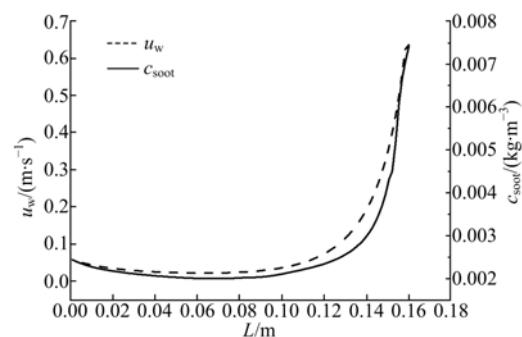


图 9 DPF 过滤速度和微粒浓度沿孔道轴向的分布

Fig. 9 Filtration velocity and soot concentration distributions along axial direction of DPF channels

4.2 孔道内碳烟的累积过程

DPF 对碳烟微粒的捕集过程分为深床过滤和滤饼过滤两个阶段。深床过滤的结果是使过滤壁面的渗透率减小,滤饼过滤的结果是使滤饼层

的厚度增加。因而对深床捕集阶段的模拟可以通过改变过滤壁面的渗透率来实现,对于滤饼过滤,可以通过在过滤壁表面增加一定厚度的网格来实现。通过分析不同壁面渗透率和碳烟层厚度下的过滤速度了解孔道内碳烟颗粒的累积过程。

以进、出口孔道比例 $d_1 : d_2 = 1.2$ 为例,设定进气流量 $q = 5 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$, 滤饼层厚度 $w_s = 0$, 计算壁面渗透率 k_w 分别为 10^{-13} 、 5×10^{-13} 、 10^{-12} m^2 三种情况下过滤速度沿孔道轴向的变化,如图 10 所示。从图中可以看出:在壁面渗透率较大时,孔道后端过滤速度明显大于孔道前端,随着壁面渗透率的减小,过滤速度沿轴向分布的不均匀性降低,最大过滤速度减小。这说明在深床过滤初期,碳烟微粒主要在孔道后端被捕集,从而造成壁面渗透率沿孔道轴向不均匀分布,孔道后端壁面渗透率较前端小。由于壁面渗透率大的位置过滤速度大^[13],因而壁面渗透率的不均匀分布导致过滤速度重新分布,使孔道前端过滤速度增大,从而使壁面渗透率又趋向均匀。如此反复,最终使整个壁面的渗透率趋向于均匀且减小。

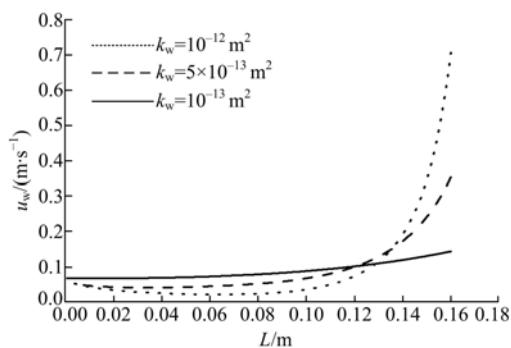


图 10 不同渗透率下过滤速度沿孔道轴向分布

Fig. 10 Filtration velocity distributions along axial direction under different wall permeability

保持进气量不变,设定壁面渗透率 $k_w = 10^{-13} \text{ m}^2$, 滤饼层渗透率 $k_s = 10^{-14} \text{ m}^2$ ^[14], 计算滤饼层厚度 w_s 分别为 0 、 5×10^{-5} 、 10^{-4} m 三种情况下壁面过滤速度的分布情况,如图 11 所示。从图 11 中可以看出:在孔道前端,过滤速度随滤饼层厚度的增大而增大,在孔道后端,过滤速度随滤饼层厚度的增大而减小;随着滤饼层厚度的逐渐增大,壁面过滤速度的变化幅度逐渐减小。这说明在滤饼过滤阶段初期,碳烟微粒在孔道后端捕集较多,从而使滤饼层的厚度沿轴向不均匀分布,孔道后端的滤饼层厚度大于孔道前端,滤饼层的不均匀分布进一步影响过滤速度的分布,使壁面过滤速度

逐渐趋向于均匀,从而使滤饼层厚度最终也趋向于均匀。

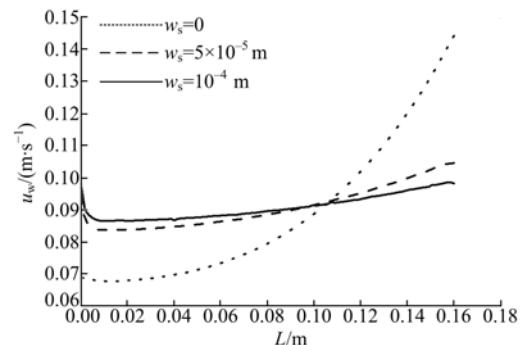


图 11 不同滤饼层厚度下过滤速度沿孔道轴向分布

Fig. 11 Filtration velocity distributions along axial direction under different soot cake thickness

4.3 孔道结构非对称性对压降的影响

为了研究非对称性对孔道内压降的影响,设定进气流量为 $3 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$, 对三种不同进出、口比例孔道内的压降进行研究。

图 12 为不同壁面渗透率下三种孔道中的压降图。从图 12 中可以看出:孔道中的压降随壁面渗透率的减小而增大,壁面渗透率一定时,对称孔道中的压降小于非对称孔道,且压降随进出口比例的增大而增大,说明在白载体(未捕集碳烟微粒的载体)中,具有对称孔道结构的 DPF 压降小于具有非对称孔道结构的 DPF。

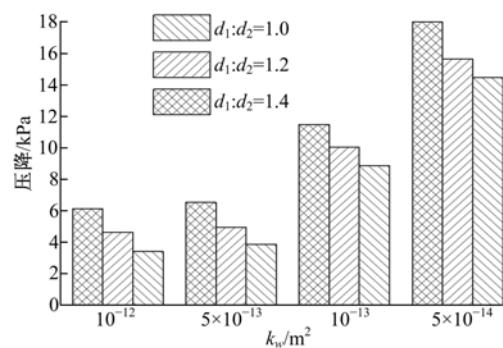


图 12 不同壁面渗透率下进、出口孔道压降

Fig. 12 Pressure drop under different wall permeability of inlet and outlet channels

除了对白载体进行研究外,还需要对捕集了一定碳烟颗粒后两种孔道中的压降特性进行研究。通过改变壁面渗透率以及滤饼层厚度,可以实现对不同碳载量的模拟。假定碳烟层密度均匀,厚度沿孔道长度方向不变。为了计算的方便,提出相对碳载量的概念,将 DPF 满载时的相对碳载量设为 1,白载体的相对碳载量设为 0。假设相

对碳载量达到 0.2 时 DPF 深床过滤阶段结束, 进入滤饼过滤阶段^[15]。设定 DPF 所能容纳的最大滤饼层厚度为 10^{-4} m, 此时对应的相对碳载量为 1。由于假设碳烟层密度与厚度均匀, 可以将碳烟层厚度与碳载量视为线性关系, 得到不同相对碳载量与碳烟层的对应关系, 如表 2 所示。

表 2 相对碳载量与滤饼层厚度的对应关系

Table 2 Correspondence of relative soot loading and soot cake layer thickness

相对碳载量	滤饼层厚度/ 10^{-5} m
0.2	0.0
0.4	2.5
0.6	5.0
0.8	7.5
1.0	10.0

设定白载体的壁面渗透率 $k_w = 10^{-12} \text{ m}^2$, 深床过滤阶段结束时, 过滤壁面的渗透率 $k_w = 10^{-13} \text{ m}^2$, 滤饼层的渗透率 $k_s = 10^{-14} \text{ m}^2$ ^[14], 分别计算 3 种进出口孔道比例的孔道在不同碳载量和不同进气流量下的压降变化。

图 13 为压降随相对碳载量的变化曲线, 从图中可以看出: 压降随相对碳载量的增加而增加, 在相对碳载量相同时, 对称孔道中的压降小于非对称孔道, 随着相对碳载量的增加, 两者之间的差值变化很小, 但是随着相对碳载量的增加, 每种孔道中的压降都在增加, 从而使非对称孔道相对于对称孔道压降增加的比例越来越小, 如图 14 所示。

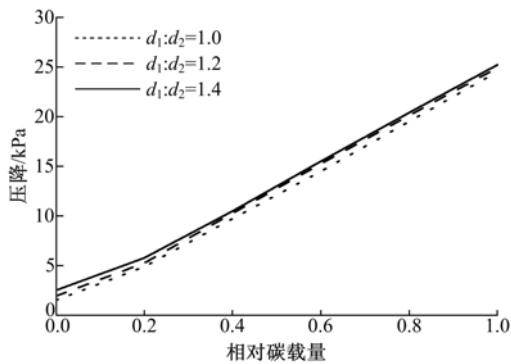


图 13 压降随相对碳载量的变化

Fig. 13 Pressure drop varied with relative soot loading

考虑到非对称孔道相对于对称孔道具有更大的入口截面积, 因而在碳烟层厚度相同, 即相对碳载量相同时, 非对称孔道的绝对碳载量更大, 用绝对碳载量反映孔道的压降情况更为直观。为了将不同孔道的相对碳载量统一起来, 以对称孔道的相对碳载量为基准, 引入绝对碳载量系数, 定义如下:

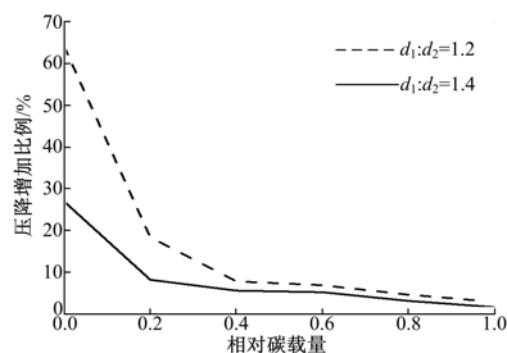


图 14 非对称孔道相对于对称孔道压降增加的比例

Fig. 14 Percentage increase of pressure drop from asymmetrical channels and symmetrical channels

$$\text{绝对碳载量系数} = \frac{\text{所用孔道的相对碳载量}}{\text{对称孔道的相对碳载量}}$$

图 15 为压降随绝对碳载量系数的变化, 从图中可以看出: 绝对碳载量系数大于 0.3 后, 非对称孔道具有较小的压降。

考虑到进气流量的大小会对压降产生影响, 设定壁面渗透率 $k_w = 10^{-12} \text{ m}^2$, 滤饼层厚度 $w_s = 0$, 进气流量 q 从 0 增加到 $5 \times 10^{-5} \text{ kg/s}$, 进、出口孔道压降随进气流量的变化如图 16 所示。从图

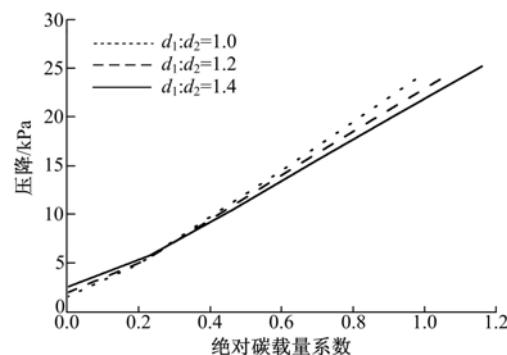


图 15 压降随绝对碳载量的变化

Fig. 15 Pressure drop varied with absolute soot loading

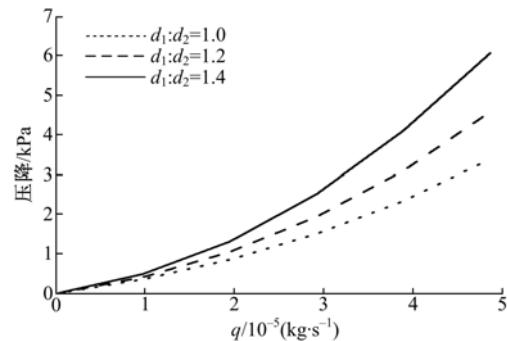


图 16 不同进气流量下进、出口孔道压降

Fig. 16 Pressure drop under different mass flow rate

16 可以看出:随着进气流量的增大,进、出口孔道中的压降逐渐增大,且非对称性越大,压降对进气流量的变化越敏感,这说明非对称孔道对流量变化的适应性较差,比较适宜在固定工况的柴油机上使用。降低孔道内的进气流量有利于降低孔道内的压降,特别是有利于降低非对称孔道的压降。

5 结 论

(1) DPF 孔道内速度场和压力场存在不均匀性:进口孔道速度沿轴向先增大后减小,出口孔道速度沿轴向逐渐增大;孔道中心线处速度最大,越靠近壁面速度越小;进口孔道静压沿轴向先减小后增大,出口孔道静压沿轴向逐渐减小。

(2) DPF 对碳烟微粒进行过滤时,碳烟微粒总是先在 DPF 的后端沉积,之后随着碳载量的不断增加,碳烟微粒沿 DPF 轴向分布逐渐趋向于均匀。

(3) 绝对碳载量系数小于 0.3 时,对称孔道中压降小于非对称孔道中压降,而绝对碳载量系数大于 0.3 时,非对称孔道中压降小于对称孔道中压降;进出口孔道比例越大,压降受排气流量的影响也越大。

参考文献:

- [1] 唐蛟,李国祥,王志坚,等. DPF 碳载量模型的建立及试验[J]. 内燃机学报,2015,33(1):51-57.
Tang Jiao, Li Guo-xiang, Wang Zhi-jian, et al. Construction and experiment of DPF soot loading model[J]. Transactions of CSICE, 2015, 3(1): 51-57.
- [2] 王丹,刘忠长,王忠恕,等. 柴油机微粒捕集器缸内次后喷主动再生方法[J]. 吉林大学学报:工学版,2012,42(3):551-556.
Wang Dan, Liu Zhong-chang, Wang Zhong-shu, et al. Diesel particulate filter active regeneration by in-cylinder late post injection[J]. Journal of Jilin University(Engineering and Technology Edition), 2012, 42(3): 551-556.
- [3] Yamamoto K, Sakai T. Simulation of continuously regenerating trap with catalyzed DPF[J]. Catalysis Today, 2015, 242: 357-362.
- [4] Piscaglia F, Onorati A, Rutland C J, et al. Multi-dimensional modeling of the soot depositi-on mechanism in diesel particulate filters[J]. SAE International Journal of Fuels and Lubricants, 2009, 1(1): 210-230.
- [5] Bouteiller B, Bardon S, Briot A, et al. One dimensional backpressure model for asymmetrical cells DPF[C]// SAE Paper, 2007-01-0045.
- [6] Basu S, Henrichsen M, Tandon P, et al. Filtration efficiency and pressure drop performance of ceramic partial wall flow diesel particulate filters[C]// SAE Paper, 2013-01-9072.
- [7] Piscaglia F, Rutland C J, Foster D E. Development of a CFD model to study the hydrodynamic characteristics and the soot deposition mechanism on the porous wall of a diesel particulate filter[C]// SAE Paper, 2005-01-0963.
- [8] 龚金科,赖天贵,董喜俊,等. 车用柴油机微粒捕集器流场的数值模拟与分析[J]. 汽车工程,2006,28(2):129-133.
Gong Jin-ke, Lai Tian-gui, Dong Xi-jun, et al. Numerical simulation and analysis of the flow-field in a diesel particulate trap[J]. Automotive Engineering, 2006, 28(2): 129-133.
- [9] Zelenka P, Telford C, Pye D, et al. Development of a full-flow burner DPF system for heavyduty diesel engines[C]// SAE Paper, 2002-01-2787.
- [10] Konstandopoulos A G, Skaperdas E, Masoudi M. Inertial contributions to the pressure drop of diesel particulate filters[C]// SAE Paper, 2001-01-0909.
- [11] Choi S, Oh K C, Lee C B. The effects of filter porosity and flow conditions on soot deposition/oxidation and pressure drop in particulate filters[J]. Energy, 2014, 77: 327-337.
- [12] Zhang X, Tennison P, Ruona W. 3D Numerical study of pressure loss characteristics and filtration efficiency through a frontal unplugged DPF[C]// SAE Paper, 2010-01-0538.
- [13] 孟忠伟,宋蔷. 柴油机颗粒捕集器内颗粒层不均匀分布的数值研究[J]. 西华大学学报:自然科学版,2011,30(1):1-4.
Meng Zhong-wei, Song Qiang. Numerical Investigation into the non-uniform soot layer distribution in a diesel particle filter[J]. Journal of Xihua University (Natural Science), 2011, 30(1): 1-4.
- [14] Masoudi M. Hydrodynamics of diesel particulate filters[C]// SAE Paper, 2002-01-1016.
- [15] Bollerhoff T, Markomanolakis I, Koltsakis G. Filtration and regeneration modeling for particulate filters with inhomogeneous wall structure[J]. Catalysis Today, 2012, 188(1): 24-31.