

柴油机壁流式过滤体灰烬深床沉积数学模型

龚金科¹, 黄迎^{1*}, 蔡皓¹, 刘云卿², 吴钢¹, 龙罡¹, 余明果¹

(1. 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082; 2. 浙江吉利汽车研究院, 杭州 317000)

摘要: 壁流式过滤体再生后残留的灰烬累积会导致微粒捕集器流动阻力性能恶化。通过分析灰烬的沉积特点, 建立了壁流式过滤体灰烬深床沉积数学模型。运用该模型研究了灰烬沉积对过滤体流动阻力的影响, 并对模型进行了验证。结果表明: 灰烬的深床沉积会使过滤体流动阻力陡增, 滤饼沉积阶段初期流动阻力呈平稳线性上升, 当灰烬沉积量超过约 15 g/L 时, 流动阻力上升速率加快; 灰烬堵塞段对过滤体流动阻力的影响相比灰烬层较小。模型揭示了壁流式过滤体中灰烬深床沉积过程的一些重要特征和规律, 为微粒捕集器耐久性的设计与优化提供了依据。

关键词: 柴油机, 沉积, 数学模型, 微粒捕集器, 流动阻力

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.026

中图分类号: TK421.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0137-05

龚金科, 黄迎, 蔡皓, 等. 柴油机壁流式过滤体灰烬深床沉积数学模型[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 137-141.
Gong Jinke, Huang Ying, Cai Hao, et al. Mathematical model of diesel wall-flow filter for ash deep-bed deposition process[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 137-141. (in Chinese with English abstract)

0 引言

微粒捕集器是目前公认最有效降低柴油机微粒排放的后处理装置, 近 30 a 来国内外学者做了大量的研究^[1], 但很少涉及到微粒捕集器耐久性。在微粒捕集器长时间工作过程中, 灰烬的累积是导致其性能恶化的主要原因之一^[2]。

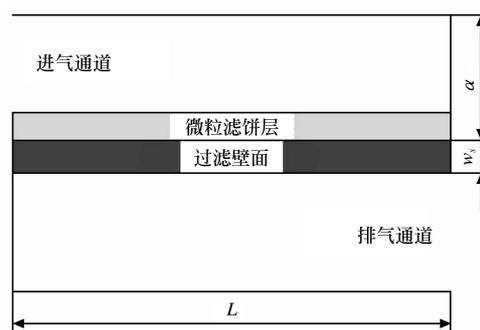
灰烬是指微粒捕集器再生后仍残留在过滤体内的不可燃物质, 主要来源于润滑油中的添加剂, 在排气微粒中质量分数仅为 0.5%~1%^[3-4]。但随着车辆行驶里程的增加, 累积在过滤体内的灰烬不断增多, 最终将导致其流动阻力过大而无法正常工作。试验发现在车辆运行 240 000 公里后, 过滤体内 80% 以上的沉积物为灰烬^[5], 因此研究灰烬的沉积过程具有十分重要的现实意义。目前的研究大多集中在过滤体内灰烬的滤饼沉积过程^[6-7], 有关灰烬深床沉积模型的研究未见报道。而对于排气微粒的沉积过程, Konstandopoulos^[8-9]等人已经做了全面深入的研究, 其中瞬态捕集模型是排气微粒深床捕集过程的经典数学模型, 其正确性已被试验和众多学者所证实。

本文首先通过分析灰烬与排气微粒深床沉积的区别, 提出了描述过滤壁面内灰烬浓度分布规律的简化计算方法, 并以此改进 Konstandopoulos 瞬态捕集模型, 建立了灰烬深床沉积的数学模型。最后运用模型研究了过

滤体流动阻力随灰烬沉积量的变化情况, 并利用试验数据对比验证了该模型的合理性。

1 灰烬与排气微粒深床沉积的区别

壁流式过滤体是由一系列交替堵塞的进、排气通道(如图 1 所示)组成。柴油机排气从进气通道进入过滤体后, 由于进气通道末端被堵塞, 因此气流必须通过过滤壁面从相邻的排气通道流出。过滤壁面是一层多孔介质, 其表面上的孔隙尺寸通常比排气微粒大, 因此排气微粒由排气流携带进入壁面内部, 并在扩散、拦截和惯性碰撞机理的作用下被捕集。



注: L 为过滤体长度 w_s 为过滤壁面厚度

图 1 过滤体进、排气通道示意图

Fig.1 Scheme of inlet and outlet of wall-flow filter

过滤壁面内深床捕集的排气微粒是有限的, 绝大多数排气微粒都沉积在过滤壁表面上形成滤饼层(见图 1)。由此可知, 深床沉积的灰烬主要是由于滤饼层氧化燃烧后, 残余灰烬坍塌到过滤壁面表面孔隙内形成的。试验观察发现灰烬通常为脆性、松散的聚集体, 其尺寸多为亚微米级, 主要受再生时的温度和排气微粒量影响^[6,10]。由于灰烬粒径分布规律及深床捕集机理尚不清楚, 因此

收稿日期: 2010-09-20 修订日期: 2010-11-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50876027); 湖南省自然科学基金资助项目(10JJ6080); 汽车车身国家重点实验室自主课题(61075002)

作者简介: 龚金科(1954—), 男, 湖南临澧人, 教授, 博士生导师, 研究方向为机动车排放控制技术。长沙 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 410082。Email: gongjinke@126.com

*通信作者: 黄迎(1985—), 男, 湖南韶山人, 研究方向为柴油机排放控制技术。长沙 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 410082。Email: soso151@yahoo.cn

不能直接运用扩散、拦截和惯性机理计算过滤壁面对灰烬的捕集效率。当灰烬在过滤壁面内的沉积饱和后，接下来会在壁面上发生滤饼沉积。

2 灰烬深床沉积数学模型

2.1 “捕集单元”的假设

借助扫描电子显微技术观察壁流式过滤体过滤壁面发现，过滤壁面实际上由许多颗粒状结构组成，因此Konstandopoulos^[8]提出把过滤壁面简化成由球状单元组成的填充床捕集介质，球状单元直径为 b ，且每个单元都对应一个尺寸为 d_c 的“捕集单元”

$$d_{c0} = 1.5 \frac{(1-\varepsilon_0)}{\varepsilon_0} d_{pore} \quad (1)$$

$$\frac{d_{c0}^3}{b^3} = (1-\varepsilon_0) \quad (2)$$

式中， d_{c0} 为“捕集单元”初始直径， m ； d_{pore} 为过滤壁面平均孔径， m ； ε_0 为洁净过滤壁面孔隙率。

2.2 灰烬浓度简化计算方法和壁面离散

在过滤体内取单位体积的排气微粒浓度控制体，根据质量守恒定律求得过滤体内排气微粒浓度 C 服从指数变化规律^[1]

$$C = C_0 e^{-\left[\frac{U_{wx} \sqrt{U_{wx}^2 + 6E(1-\varepsilon_0)D_p U_{wx} / (\varepsilon_0 d_{c0})}}{2D_p} \right] y} \quad (3)$$

式中， C_0 为过滤体入口排气微粒体积浓度， g/t ； U_{wx} 为过滤壁面内的渗流速度， m/s ； y 为过滤壁面深度， m ； D_p 为微粒扩散系数； E 为捕集单元综合捕集效率。

因为式(3)由排气微粒浓度变化普遍数学模型解得，可知过滤壁面内深床沉积的灰烬浓度也服从式(3)的变化规律。但是目前缺乏过滤壁面对灰烬捕集效率的研究，综合捕集效率 E 无法确定，所以过滤壁面内的灰烬浓度无法由式(3)求得。

图2是Karin等^[11]通过观测孔隙率和平均孔径分别为58%、15 μm 的过滤壁面，证实了排气微粒浓度的指数变化规律，同时发现绝大部分深床捕集的排气微粒沉积在表面孔隙中，超过最大渗透深度的过滤壁面内排气微粒浓度等于0。根据前文分析可知，过滤壁面内的灰烬浓度分布也会存在图2中的指数变化趋势。在过滤壁面表面孔隙中，灰烬浓度变化较为稳定，近似为线性下降；当超过表面孔隙深度时，灰烬浓度变得很小，最终在最大渗透深度的位置浓度减小到0。对于少量微粒在过滤壁面孔隙内壁上沉积时，过滤壁面的渗流阻力不会有明显增加^[12-13]。因此本文忽略深处孔隙内壁上的少量灰烬，假设理想的灰烬浓度分布如图2中的实线，在过滤壁面表面孔隙深度内呈线性递减，从而实现了定量描述过滤壁面内的灰烬浓度变化。由此带来的误差将在下文分析。

Konstandopoulos 瞬态捕集模型等以往的研究都认为排气微粒会在整个过滤壁面深度内沉积，于是把整个过滤壁面离散。运用灰烬浓度简化计算方法，灰烬最大渗

透深度 w_p 即为过滤壁面表面孔隙深度，所以本文只需把厚度为 w_p 的过滤壁面划分成 n 个域层，如图3所示。

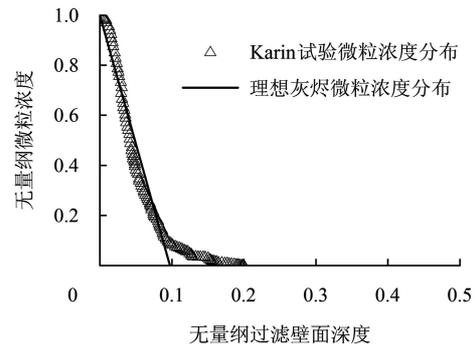
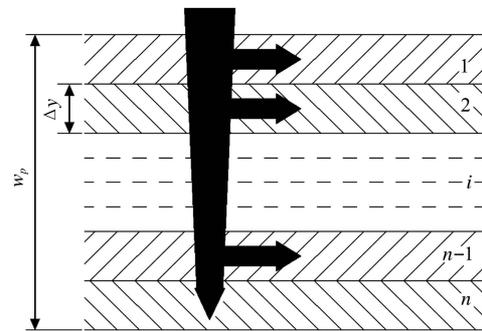


图2 微粒浓度分布曲线

Fig.2 Curve of PM concentration distribution



注： w_p 最大渗透深度， Δy 为每个域层过滤壁面的厚度

图3 过滤壁面的离散结果

Fig.3 Discretization results of porous wall

在灰烬深床沉积过程中，过滤壁面内“捕集单元”的数量是不变的，每个域层过滤壁面内“捕集单元”的个数 n_c 为

$$n_c = \Delta y L \alpha (1-\varepsilon_0) / V_c \quad (4)$$

式中， Δy 为每个域层过滤壁面的厚度， m ； L 为过滤体长度， m ； α 为过滤孔道宽度， m ； V_c 为单个“捕集单元”的体积， m^3 。

因此 t 时刻，第 i 域层每个“捕集单元”上沉积的灰烬质量 $m_c(i,t)$ 为

$$m_c(i,t) = m_{slab}(i,t) / n_c \quad (5)$$

式中 $m_{slab}(i,t)$ 为 t 时刻，第 i 层过滤壁面内的灰烬沉积量， kg 。

2.3 过滤壁面微观结构参数的变化

沉积在过滤壁面内部的灰烬，被视为均匀地覆盖在“捕集单元”表面，从而使“捕集单元”直径 d_c 增大。 t 时刻，第 i 域层过滤壁面内“捕集单元”直径 $d_c(i,t)$ 为^[9]

$$d_c(i,t) = 2 \left[\frac{3}{4\pi} \frac{m_c(i,t)}{\rho_{ash,w}} + \left(\frac{d_{c0}}{2} \right)^3 \right]^{1/3} \quad (6)$$

式中 $\rho_{ash,w}$ 为沉积在过滤壁面内部的灰烬堆积密度， kg/m^3 。

当地域层孔隙率 $\varepsilon(i,t)$ 也会随之发生变化^[9]

$$\varepsilon(i,t) = 1 - \left(\frac{d_c(i,t)}{d_{c0}} \right)^3 (1 - \varepsilon_0) \quad (7)$$

根据多孔介质理论，过滤壁面渗透率是孔隙率和多孔介质组成颗粒粒径的函数。因此当地域层渗透率为

$$k(i,t) = k_0 \left(\frac{d_c(i,t)}{d_{c0}} \right)^2 \frac{f(\varepsilon(i,t))}{f(\varepsilon_0)} \quad (8)$$

式中 $f(\varepsilon)$ 为 Kuwabara 流动模型中定义的几何函数

$$f(\varepsilon) = \frac{2}{9} \left[\frac{2 - 1.8(1-\varepsilon)^{\frac{1}{3}} - \varepsilon - 0.2(1-\varepsilon)^2}{(1-\varepsilon)} \right] \quad (9)$$

灰层从深床沉积到滤饼沉积的过渡阶段定义一个分配系数 φ ($0 \leq \varphi \leq 1$)^[9]，分配系数 φ 确定 t 时刻沉积在过滤壁面上的灰层质量分数

$$\varphi(t) = \frac{(d_c(1,t))^2 - d_{c0}^2}{(\psi b)^2 - d_{c0}^2} \quad (10)$$

式中， ψ 为无量纲渗流因子，通常为试验测得的常数。

3 灰层沉积对过滤体流动阻力的影响

3.1 灰层深床沉积的流动阻力方程

根据文献[14]可知，洁净过滤体流动阻力计算式为

$$\Delta P_{clean} = \frac{\mu Q}{2V_{trap}} (\alpha + w_s)^2 \left[\frac{w_s}{k_{wall}\alpha} + \frac{4FL^2}{3\alpha^4} + \frac{4FL^2}{3\alpha^4} \right] \quad (11)$$

式中， μ 为排气的动力黏度， $\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s})$ ； Q 为排气体积流量， m^3/s ； V_{trap} 为过滤体体积， m^3 ； k_{wall} 为过滤壁面渗透率， m^2 ； w_s 为过滤壁面厚度， m ； F 为摩擦系数， $F=28.454$ 。

在灰层的深床沉积过程中，最大渗透深度 w_p 范围内的过滤壁面渗透率 $k(i,t)$ 是随空间和时间变化的，而最大渗透深度以外的过滤壁面渗透率 k_{wall} 保持不变。灰层深床沉积的 t 时刻，过滤体壁面渗流阻力计算式为

$$\Delta P_{wall} = \frac{\mu Q}{2V_{trap}} (\alpha + w_s)^2 \left[\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\Delta y}{k(i,t)\alpha} + \frac{(w_s - w_p)}{k_{wall}\alpha} \right] \quad (12)$$

灰层沉积在过滤壁面内部，不会对进、排气通道的流动阻力造成影响，则过滤体流动阻力为

$$\Delta P = \frac{\mu Q}{2V_{trap}} (\alpha + w_s)^2 \left[\frac{4FL^2}{3\alpha^4} + \frac{4FL^2}{3\alpha^4} \right] + \Delta P_{wall} \quad (13)$$

3.2 灰层滤饼沉积的流动阻力方程

试验发现灰层在过滤壁面上的滤饼沉积有 2 种方式^[10]：沉积在过滤壁上形成灰层；堆积在进气通道末端形成灰层堵塞段。本文将分别列出 2 种灰层沉积方式的流动阻力方程：

1) 灰层对流动阻力的影响

假设质量为 $m_{ash,c}$ 的灰层全部均匀地沉积在过滤壁上，形成的灰层厚度 w_{ash} 为

$$w_{ash} = \frac{\alpha - \sqrt{\alpha^2 - m_{ash,c} / (N_{cells} L \rho_{ash,c})}}{2} \quad (14)$$

式中， $\rho_{ash,c}$ 为沉积在过滤壁面上的灰层堆积密度， kg/m^3 ； N_{cells} 为过滤体进气通道数目。

灰层形成后，进气通道的有效横截面积减小，而且增加了一项新的渗流阻力

$$\Delta P = \frac{\mu Q}{2V_{trap}} (\alpha + w_s)^2 \left[\frac{4FL^2}{3(\alpha - 2w_{ash})^4} + \frac{4FL^2}{3\alpha^4} + \frac{1}{2k_{ash}} \ln\left(\frac{\alpha}{\alpha - 2w_{ash}}\right) \right] + \Delta P_{wall} \quad (15)$$

式中 k_{ash} 为灰层的渗透率， m^2 。

2) 灰层堵塞段对流动阻力的影响

假设质量为 $m_{ash,c}$ 的灰层全部沉积在进气通道末端，形成的堵塞段长度 L_{ash} 为

$$L_{ash} = \frac{m_{ash,c}}{N_{cells} \alpha^2 \rho_{ash,c}} \quad (16)$$

灰层堵塞段形成以后，进气通道的有效长度缩短，过滤壁面渗流阻力增大

$$\Delta P = \frac{\mu Q}{2V_{trap}} (\alpha + w_s)^2 \left[\frac{4FL(L - L_{ash})}{3\alpha^4} + \frac{4FL^2}{3\alpha^4} \right] + \Delta P_{wall} \frac{L}{L - L_{ash}} \quad (17)$$

4 计算结果与分析

4.1 模型参数选择

模型求解过程中所用到的参数列于表 1，其中过滤体、灰层和排气流特征参数均来源于文献[4]中的试验条件，以便于对计算结果和试验结果进行对比。试验数据的采集过程是：微粒捕集器在加速灰层沉积系统上每工作一段时间，则通过再生把过滤体内碳烟氧化燃烧完全，然后分别测得微粒捕集器质量增量（即灰层沉积质量）及其流动阻力^[4]。表 1 中最大渗透深度 w_p 为过滤壁面表面孔隙深度，本文的 w_p 取文献[4]和[15]试验测量的平均值。无量纲渗流因子 ψ 取 0.96^[16]。

表 1 计算参数

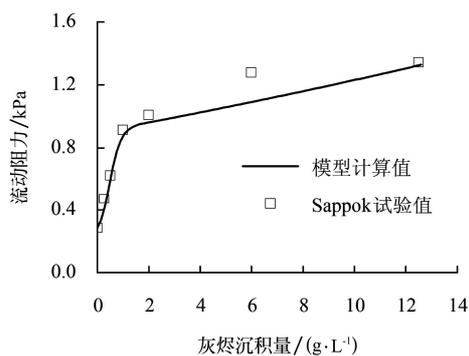
Table 1 Calculation parameters

参数	数值
过滤体长度 L/mm	152.4
过滤体直径 D/mm	143.8
过滤壁面厚度 w_s/mm	0.3048
通道宽度 a/mm	1.49
壁面平均孔径 $d_{pore}/\mu\text{m}$	8.9
壁面孔隙率 ε	0.5
壁面渗透率 k_{wall}/m^2	2.2×10^{-13}
壁面上灰层堆积密度 $\rho_{ash,c}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	250
壁面内灰层堆积密度 $\rho_{ash,w}/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	20
灰层渗透率 k_{ash}/m^2	2.9×10^{-14}
过滤体内排气流量 $Q/(\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1})$	0.01372
排气黏度 $\mu/(\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	2.48×10^{-5}
渗流因子 ψ	0.96
最大渗透深度 $w_p/\mu\text{m}$	50

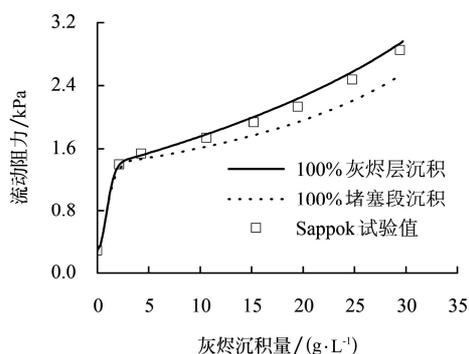
4.2 计算与试验对比

图 4 是过滤体流动阻力计算值与试验值^[4]随灰层沉

积量的变化情况。从图中可以看到,在灰烬的初始沉积阶段,过滤体流动阻力迅速上升,这是因为灰烬微粒在过滤壁面表面孔隙内搭桥(pore bridging)使壁面渗透率显著减小,从而导致排气通过过滤壁面时的渗流阻力急剧上升。研究表明在灰烬的滤饼沉积阶段,过滤壁面上首先会形成灰烬薄层,当灰烬沉积量继续增加时,灰烬堵塞段才逐渐形成^[4]。因此在图4a中灰烬沉积量较少的情况下,模型计算没有考虑灰烬堵塞段。在图4b中由于灰烬沉积量较大,且难以定量描述灰烬层和堵塞段的比例,因此分别以100%的灰烬层和100%的堵塞段来计算灰烬的滤饼沉积。



a. 较少灰烬沉积量



b. 较多灰烬沉积量

图4 过滤体流动阻力计算值与试验测量值的对比
Fig.4 Flow resistance comparison between calculated and measured values

从图4b中可以看出,滤饼沉积的初始阶段,灰烬层和堵塞段对应的流动阻力都呈平稳线性上升,当灰烬沉积量超过约15 g/L时,过滤体流动阻力增长速率有加快的趋势。这是因为在灰烬滤饼沉积初期,柴油机排气通过灰烬层或过滤壁面的渗流阻力上升较为平缓。当灰烬层形成一定厚度时,过滤体进气通道横截面积减小,灰烬层厚度增长加快,所以排气通过灰烬层的渗流阻力也会显著上升;当灰烬堵塞段形成一定长度时,进气通道内有效过滤长度明显缩短,过滤壁面内渗流速度迅速提高,导致过滤壁面的渗流阻力上升速率加快。图中灰烬以100%灰烬层沉积时会比全部以堵塞段沉积流动阻力上升更快,这是因为灰烬层的存在增加了一项新的渗流阻力。

对比图4中的计算值和试验值,发现两者变化趋势

基本吻合,但在图4a中可以看到计算值相比试验值偏小,分析出现误差的主要原因是:模型忽略了少量沉积在壁面深处的灰烬,使计算的深床沉积灰烬略少。此外根据过滤体流动阻力变化规律初步判断,图4a中灰烬沉积量6 g/L所对应的试验点为可疑值。去除可疑值后,可发现计算值与试验值的误差在10%以内。在图4b中Sappok试验中过滤体进气通道内灰烬层和堵塞段是同时存在的,所以试验结果会夹在模型计算曲线之间。因为图4a、4b中试验所用润滑油不同,生成灰烬特性略有差异,使得图中流动阻力增长幅度有所不同。综上所述,可以认为本文提出的描述灰烬浓度分布规律的简化计算方法是合理的,所建立的灰烬深床沉积数学模型在工程实际应用中具有可行性。

5 结论

1) 运用灰烬深床沉积数学模型计算得到的过滤体流动阻力与试验结果误差在10%以内,表明该模型能较好地描述灰烬在过滤壁面内的沉积过程。借助本数学模型及相关研究成果,可以对微粒捕集器进行优化设计以降低灰烬沉积带来的不利影响,提高微粒捕集器耐久性能;同时也能初步预测微粒捕集器的使用寿命。

2) 在滤饼沉积过程中,灰烬堵塞段相比灰烬层对过滤体流动阻力的影响较小,过滤体进气通道内的结构变化对流动阻力起决定作用。当滤饼沉积的灰烬量超过15 g/L时,过滤体流动阻力的上升速率加快,说明微粒捕集器的性能已经恶化,需要尽快清除过滤体内的灰烬或直接更换过滤体。

[参考文献]

- [1] 刘云卿. 壁流式柴油机微粒捕集器捕集及微波再生机理研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.
Liu Yunqing. Study on the Filtration and Microwave Regeneration Mechanisms of a Wall-flow Diesel Particulate Filter[D]. Changsha: Hunan University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [2] Zarvalis D, Lorentzou S, Konstandopoulos A G. A Methodology for the Fast Evaluation of the Effect of Ash Aging on the Diesel Particulate Filter Performance[C]//SAE Paper, 2009-01-0630.
- [3] 梅德清, 王忠, 袁银南, 等. 生物柴油发动机尾气中的颗粒物特性分析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 113-116.
Mei Deqing, Wang Zhong, Yuan Yinnan, et al. Analysis of the Features of Particulate Matters Generated From Diesel Engine Fueled with Biodiesel[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(12): 113-116. (in Chinese with English abstract)
- [4] Sappok A. The Nature of Lubricant Derived Ash Related Emissions and Their Impact on Diesel Aftertreatment System Performance[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2009.
- [5] Sappok A, Wong V W. Ash Effects on Diesel Particulate Filter Pressure Drop Sensitivity to Soot and Implications for Regeneration Frequency and DPF Control[C]//SAE Paper, 2010-01-0811, 2010.

- [6] Ishizawa T, Yamane H, Satoh H et al. Investigation into Ash Loading and Its Relationship to DPF Regeneration Method[C]//SAE Paper, 2009-01-2882, 2009.
- [7] Gaiser G, Mucha P. Prediction of Pressure Drop in Diesel Particulate Filters Considering Ash Deposit and Partial Regenerations[C]//SAE Paper, 2004-01-0158, 2004.
- [8] Konstandopoulos A G, Johnson J H. Wall-Flow Diesel Particulate Filters-Their Pressure Drop and Collection Efficiency [C]//SAE Paper, 890405, 1989.
- [9] Konstandopoulos A G, Kostoglou M, Skaperdas E, et al. Fundamental Studies of Diesel Particulate Filters: Transient Loading, Regeneration and Aging[C]//SAE Paper, 2000-01-1016, 2000.
- [10] Liati A, Eggenschwiler P D. Characterization of particulate matter deposited in diesel particulate filters: visual and analytical approach in Macro-, Micro- and Nano-Scales[J]. Combustion and Flame, 2010, 157(9): 1658–1670.
- [11] Karin P, Cui L Y, Rubio P, et al. Microscopic Visualization of PM Trapping and Regeneration in Micro-Structural Pores of DPF Wall [C]//SAE Paper, 2009-01-1476, 2009.
- [12] Wirojsakunchai E, Schroeder E, Kolodziej C, et al. Detailed Diesel Exhaust Particulate Characterization and Real-Time DPF Filtration Efficiency Measurements During PM Filling Process[C]//SAE Paper, 2007-01-0320, 2007.
- [13] Charbonneau P, Wallace J S. Scanning Electron Microscopy and Raman Spectroscopy Studies of ULSD and Biodiesel Soot Loading in a Diesel Particulate Filter[C]//SAE Paper, 2009-01-1261, 2009.
- [14] 张春润, 邵玉平, 孙海东, 等. 壁流式过滤体的流动阻力分析及再生效率研究[J]. 车用发动机, 2005, 159(5): 65–67.
Zhang Chunrun, Shao Yuping, Sun Haidong, et al. Flow resistance analysis of wall-flow filter and study of its regenerative efficiency[J]. Vehicle Engine, 2005, 159(5): 65–67. (in Chinese with English abstract)
- [15] Lambert C K, Cheng Y S, Dobson D, et al. Post Mortem of an Aged Tier 2 Light-Duty Diesel Truck Aftertreatment System[C]//SAE Paper, 2009-01-2711, 2009.
- [16] Triana A P, Johnson J H, Yang S L, et al. An Experimental and Computational Study of the Pressure Drop and Regeneration Characteristics of a Diesel Oxidation Catalyst and a Particulate Filter[C]//SAE Paper, 2006-01-0266, 2006.

Mathematical model of diesel wall-flow filter for ash deep-bed deposition process

Gong Jinke¹, Huang Ying^{1*}, Cai Hao¹, Liu Yunqing², Wu Gang¹, Long Gang¹, Yu Mingguo¹

(1. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China;

2. Institute of Zhejiang Geely Automobile, Hangzhou 317000, China)

Abstract: The characteristics of ash deposition in the wall-flow filter with active regeneration were analyzed, and a computational model of wall-flow diesel particulate filter for ash deep-bed deposition process was proposed. Based on the mathematical model, the effect of ash deposition on the flow resistance of filters was studied, and the accuracy of mathematical model was verified by the experimental data. The results showed that the flow resistance of filters increased quickly with the ash depth deposition. The flow resistance increased linearly at the beginning of the ash cake filtration phase, but the increase accelerated when the ash deposition amount exceed 15 g/L. The ash layer had a more significant influence on filter pressure drop than ash end-plugs. This study reveals some characteristics of ash depth deposition process, and is helpful for enhancing the durability of diesel particulate filter.

Key words: diesel engines, deposition, mathematical models, particulate filter, flow resistance