DOI: 10.16236/j.cnki.nrjxb.202506057

DPF 载体导热特性对高原驻车再生的影响

汪朝强[1,2]，朱敬芳[1]，李顺红[1]，任德志[1]，常仕英[1,2]，于　飞[1]
（1. 昆明贵研催化剂有限责任公司，昆明 650106；2. 昆明贵金属研究所，昆明 650101）

摘要：柴油机颗粒捕集器（DPF）载体导热特性对高原条件下柴油机驻车再生具有较大影响，基于两种不同导热特性的 DPF 载体研究了二者在稳定流场下 DPF 内部热传导规律，并分析了导热特性对 DPF、催化型柴油机颗粒捕集器（CDPF）驻车再生各位置床温变化和再生效率的影响. 结果表明：随着 DPF 入口温度均匀升高，各位置床温均呈线性升高，导热系数越高的载体升温速率越快，驻车再生时载体导热系数越高，DPF、CDPF 再生效率越高，延长再生时间，再生效率提升越明显. 高效的活性涂层可显著缓解高原环境下因载体导热性能差异引起的再生效率下降问题. 优选的热传导系数高的载体，在载碳量为 6 g/L、入口温度为 580 ℃时，CDPF 驻车再生 1 800 s，再生效率高达 95.4%，可满足高原驻车再生要求.

关键词：柴油机；载体；导热特性；高原；驻车再生
中图分类号：TK425　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000-0909（2025）06-0510-08

Effect of thermal conductivity of DPF substrate on plateau parking regeneration

Wang Chaoqiang[1,2]，Zhu Jingfang[1]，Li Shunhong[1]，Ren Dezhi[1]，Chang Shiying[1,2]，Yu Fei[1]
（1. Kunming Sino-Platinum Metals Catalyst Company Limited，Kunming 650106，China；
2. Kunming Institute of Precious Metals，Kunming 650101，China）

Abstract：Thermal conductivity characteristics of the diesel particulate filter（DPF） substrate significantly impact the parking regeneration of diesel engines under plateau conditions. The heat transfer patterns within DPF/catalyzed diesel particulate filter（CDPF） with two substrates with different thermal conductivity characteristics were investigated under steady flow fields，and the effect of thermal conductivity characteristics on bed temperature variations and regeneration efficiency during the parking regeneration was examined. Results show that as the DPF inlet temperature uniformly increases，bed temperatures at all positions rise linearly at faster rates in substrates with higher thermal conductivity. Substrates with higher conductivity exhibit a higher temperature rise rate. During parking regeneration，substrates with higher thermal conductivity exhibit greater regeneration efficiency in DPF and CDPF. Extending regeneration duration gives more regeneration efficiency improvement. Effective active coatings can substantially mitigate the decease in regeneration efficiency caused by substrate thermal conductivity differences in the plateau environments. When the optimized high-conductivity substrate is used with a carbon load of 6 g/L and an inlet temperature of 580 ℃，the CDPF achieves a regeneration efficiency of 95.4% after a 1 800 s of parking regeneration，meeting the plateau regeneration requirements.

Keywords：diesel engine；substrate；thermal conductivity characteristics；plateau；parking regeneration

柴油机具有动力性强、经济性好以及可靠性高的特点，在重型作业以及农机领域已广泛应用. 但柴油机排放的 HC、CO、NO_x 和颗粒物（$PM_{2.5}$）等污染物对人体健康和生态环境造成巨大危害，尤其是碳烟颗粒物. 柴油机颗粒捕集器（DPF）被认为是目前能有效降低颗粒物排放的后处理装置[1]，且为了提高碳烟

收稿日期：2025-02-20；**修回日期**：2025-05-25.
基金项目：云南省科技人才与平台计划资助项目（202305AF150109）；云南省重大科技专项资助项目（YPML-2023050203）.
作者简介：汪朝强，硕士，高级工程师，532466383@qq.com.
通信作者：于　飞，硕士，高级工程师，fei.yu@spmcatalyst.com.

(soot)再生效率，通常在 DPF 载体上涂覆一层具有催化活性的氧化活性涂层，即催化型柴油机颗粒捕集器(CDPF)[2].

在实际运用过程中，非道路和农用机械等柴油机由于长期在低速工况运行，排温过低，导致颗粒物累积过多，无法实现及时完全再生，易造成 DPF 堵塞、背压偏高，严重影响发动机性能与燃油经济性[3]. 然而驻车再生是实现碳烟颗粒物快速、高效完全再生的重要手段，目前主要依靠外部热源加热或利用发动机缸内后喷燃油的方式进行驻车再生，再生时间一般约为 20 ~ 30 min[4].

中国地形复杂，海拔 1 000 m 以上高原面积约占全国总面积的 58%，2 000 m 以上的高原面积占全国总面积的 33%[5]，高原地区大气压力低、氧含量少的气候环境特点，易导致柴油机燃烧条件恶劣，动力性、经济性、可靠性及耐久性下降，热负荷增加，进而使得以柴油机为动力的装备在高原环境适应性下降[6-7]. 相比平原，高海拔地区柴油机进气量和排气氧体积分数偏低，研究[8-9]表明，在载碳量、流量和入口温度一定时，排气氧体积分数是 DPF 主动再生控制的关键，在一定氧体积分数范围内，氧体积分数越高则再生效率越高，再生时间越短. 因此，在高原地区驻车再生更易出现碳烟颗粒物再生不完全的现象. 高海拔地区的驻车再生研究显得尤为重要.

影响 DPF、CDPF 驻车再生效率的因素较多，如气流分布、混合器设计、载体材质及封装外壳保温材料等因素[10-12]. 基于载体材质本身的研究主要是对比不同材质[13-14]，而同材质之间的导热特性差异相关研究则较少，尽管不同载体材质导热特性有较大差异，但其单位容积重量等其他因素也差异较大，不能较直观地说明导热特性对主动再生效率的影响. 堇青石 DPF 作为柴油机最常用的颗粒捕集器载体之一，受孔径大小与分布、孔道结构、杂质种类与含量、单位容积重量以及壁面厚度等因素的影响，其导热特性也有较大差异[15-16].

基于此，笔者选取导热系数差异较大、其他影响因素基本相当的两种堇青石 DPF 载体作为研究对象，在平均海拔约为 2 000 m 的地区进行 DPF 载体导热特性对高原驻车再生效率影响的研究，以期为高原 DPF 驻车再生过程标定及再生策略优化提供参考.

1　试验设备与方案

1.1　试验设备

试验采用某型电控高压共轨、增压中冷柴油机，表 1 为发动机主要技术参数，表 2 为试验设备参数，图 1 为台架测试示意.

为研究 DPF 载体导热特性对高原驻车再生的影响，笔者选取两种相同材质、体积、单位容积重量及壁厚基本相当、导热系数不同的堇青石 DPF 载体作为研究对象，图 2 为不同温度下两种载体的导热系数. 可知，两种 DPF 载体在 0 ~ 500 ℃内导热系数差

表 1　发动机主要技术参数

Tab.1　Engine specifications

参数	数值
型号	YC6J 245-52
缸数	6
排量/L	6.494
标定功率/kW	180
标定转速/(r · min^{-1})	2 300
最大转矩/(N · m)	950

表 2　试验设备参数

Tab.2　Parameters of experimental equipment

设备名称	型号规格	精度
测功机	Horiba-Dynas3	转速为 ± 1 r/min，转矩为 ± 0.2% N · m
流量检测仪	ToCeil-20N125	± 0.25 kg/h
气体分析仪	AVL-DiGas 4000	± 2%
高精度电子天平	MSU14202S-0CE-d0	0.01 g
K 型热电偶	0.5 mm × 700 mm	0.1 ℃

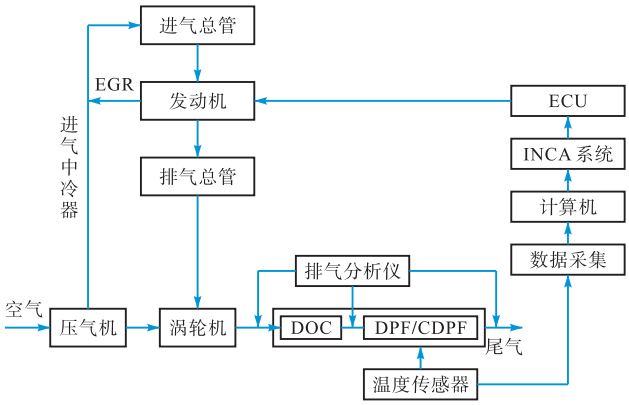


图 1　发动机台架测试示意

Fig.1　Schematic of engine test bench

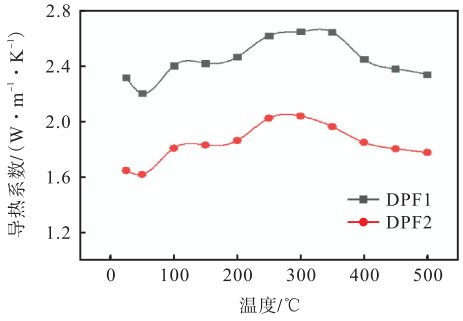


图 2　不同温度下两种载体导热系数

Fig.2　Thermal conductivity of two substrates at different temperatures

异较大. 试验用柴油氧化催化剂(DOC)、CDPF 催化剂载体及负载活性涂层参数等见表 3.

表 3 DOC 和 CDPF 催化剂载体与涂层参数

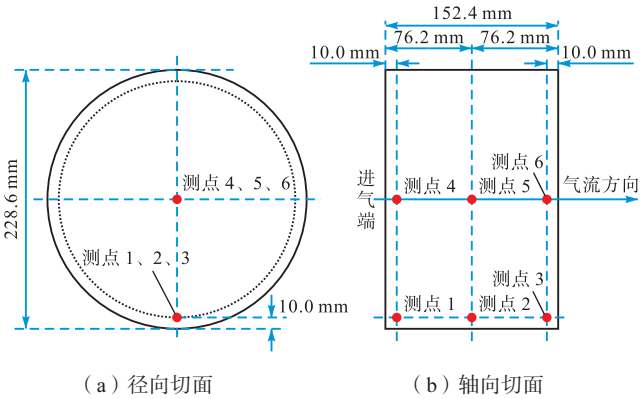
Tab.3 Substrate and coating parameters for DOC and CDPF catalysts

参数	DOC	CDPF1	CDPF2
直径/mm	228.6	228.6	228.6
高度/mm	76.2	152.4	152.4
目数/(个·cm^{-2})	62.0	46.5	46.5
载体重量/g	826	3 163	3 154
载体壁厚/mm	0.177 8	0.241 3	0.241 3
载体中值孔径/μm	—	11.57	11.38
载体孔隙率/%	—	52.47	52.81
催化剂总金属浓度/(g·L^{-1})	0.706 5	0.106 0	0.106 0
涂覆质量比 m(Pt) ∶ m(Pd)	3 ∶ 1	3 ∶ 1	3 ∶ 1

1.2 试验方案

首先,通过控制发动机转矩与转速使得 DPF 前入口温度为 100 ℃、流量为 200 kg/h,在各位置床温稳定后,保持 15 min,再启动电加热装置,在升温速率为 30 ℃/min 下,使 DPF 入口温度从 100 ℃匀速升温至 450 ℃,研究载体导热特性在稳定流场下对不同位置热传导的影响,并分析两种载体不同位置的床温变化.

其次,控制 DPF、CDPF 入口温度为 180 ℃,在同一工况下,将两种不同导热特性的 DPF 载体和两种载体涂覆相同涂层的 CDPF 催化剂孔道内部的碳烟加载至 6 g/L,并搭载同方案前级 DOC 催化剂进行驻车再生试验. 通过近后喷策略提升发动机排气温度,再通过远后喷策略提升 DOC 出口排气温度,使 DPF、CDPF 内部捕集的碳烟颗粒达到自燃的条件并进行一定时间再生. 控制质量流量为 486 kg/h,CDPF 入口温度为 580 ℃,并采用热电偶 DPF、CDPF 内部监测不同位置床温,研究载体导热特性对 DPF、CDPF 驻车再生床温变化及再生效率的影响. 图 3 为热电偶分布示意. DPF、CDPF 边缘区域沿着气流方向放置测点 1、2、3,中心区域沿着气流方向放置测点 4、5、6. 并通过驻车再生前、后 DPF、CDPF 重量变化计算再生效率 η,有



(a) 径向切面 (b) 轴向切面

图 3 热电偶分布示意

Fig.3 Schematic of thermocouple distribution

$$\eta=\frac{M_1-M_2}{M_1-M_0}\times 100\% \tag{1}$$

式中:M_0、M_1 和 M_2 分别为碳加载前 DPF、CDPF 的质量、再生前 DPF、CDPF 的质量及再生后 DPF、CDPF 的质量,所有质量均为 150 ℃下热称重.

2 试验结果

2.1 载体导热特性对 DPF 内部热传导的影响

图 4 为两种不同导热特性的 DPF 载体在稳定流场下匀速升温时不同位置床温分布及变化. 可以看出,随着 DPF 入口温度匀速升高,两种载体各个位置床温均呈线性逐渐升高,且越远离进气端、越靠近载体边缘位置,导热系数越低的载体升温速率越缓.

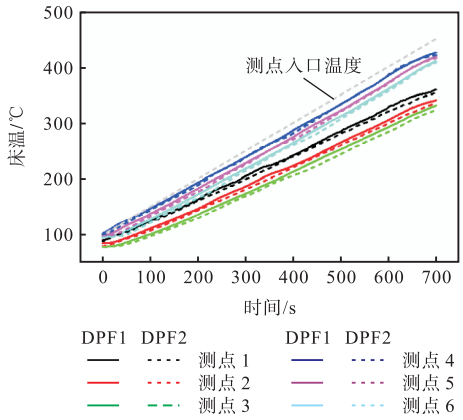


图 4 稳定流场下匀速升温时不同位置床温变化

Fig.4 Variation of bed temperature at different positions as the temperature rises at a constant speed under steady flow field

为了更直观地阐述不同导热特性的载体在稳定流场下匀速升温时不同位置的床温分布规律与差异,将 DPF 入口温度为 450 ℃时两种载体各位置床温与 0 ~ 700 s 匀速升温时两种载体对应位置床温平均温差进行比较,并用 ΔT_1、ΔT_2、ΔT_3、ΔT_4、ΔT_5 和 ΔT_6 分别表示 0 ~ 700 s 匀速升温时两种载体测点 1 ~ 6 位置床温平均温差,结果见表 4 与表 5.

由表 4 可以看出,DPF 入口温度为 450 ℃时,载体中心区域测点 4 ~ 6 的瞬时床温远高于边缘位置测点 1 ~ 3,且顺着气流方向,中心区域测点 4 ~ 6 温差也远小于边缘区域测点 1 ~ 3 的温差,DPF1 载体测点 4 与测点 6 的床温温差为 10.3 ℃,测点 1 与测点 3 的床温温差为 19.3 ℃,这种差异在导热系数较低的 DPF2 载体中更突出,DPF2 载体测点 4 与测点 6 的床温温差为 13.4 ℃,测点 1 与测点 3 的床温温差为

29.0 ℃；同时由表 5 可以看出，在匀速升温过程中，两种导热系数 DPF 载体在 0 ~ 700 s 时的轴向平均绝对温差越来越大，其中测点 4 温差最小(1.39 ℃)，测点 3 温差最大(6.02 ℃)，导热系数较高的 DPF1 载体各位置床温均高于导热系数低的 DPF2 载体.

表 4　入口温度为 450 ℃时两种载体不同位置床温

Tab.4　Bed temperature of the two substrates at different positions with the inlet temperature of 450 ℃ (℃)

参数	DPF1	DPF2
测点 1	362.3	358.2
测点 2	345.9	338.5
测点 3	343.0	329.2
测点 4	435.2	434.7
测点 5	430.0	427.5
测点 6	424.9	421.3

表 5　0 ~ 700 s时两种载体各位置床温平均绝对温差

Tab.5　Average absolute temperature difference between the two substrates with each position at 0—700 s (℃)

参数	平均绝对温差
ΔT_1	4.24
ΔT_2	4.56
ΔT_3	6.02
ΔT_4	1.39
ΔT_5	2.05
ΔT_6	2.83

2.2　载体导热特性对驻车再生时床温变化规律及再生效率的影响

为研究载体导热特性对驻车再生过程中不同位置床温变化规律及驻车再生效率的影响，定义测点 1 ~ 6 位置床温所能达到的最高温度为 T_{max}，最大升温速率为 K_{max}.

2.2.1　DPF 驻车再生时床温变化及再生效率

图 5、图 6 分别为两种导热系数的空白 DPF 载体驻车再生时，前 500 s 不同位置床温变化情况及升温速率. 由图 5、图 6 可以看出，DPF 各位置的床温在开始进行驻车再生初期，内部温度发生了快速升温，随后出现温度尖峰后逐渐下降，该现象在中心区域表现更为明显.

表 6 为两种载体再生过程各位置最高床温 T_{max} 和最大升温速率 K_{max}. 图 7 为两种 DPF 在平原和高原的再生效率. 由表 6 可以看出，沿着气流方向，在中心区域(测点 4 ~ 6)，两种不同导热系数在测点 4 ~ 6 位置最高床温 T_{max} 分别相差 8.3、48.7 和 135.5 ℃，

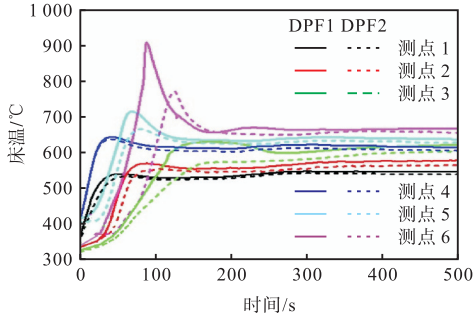
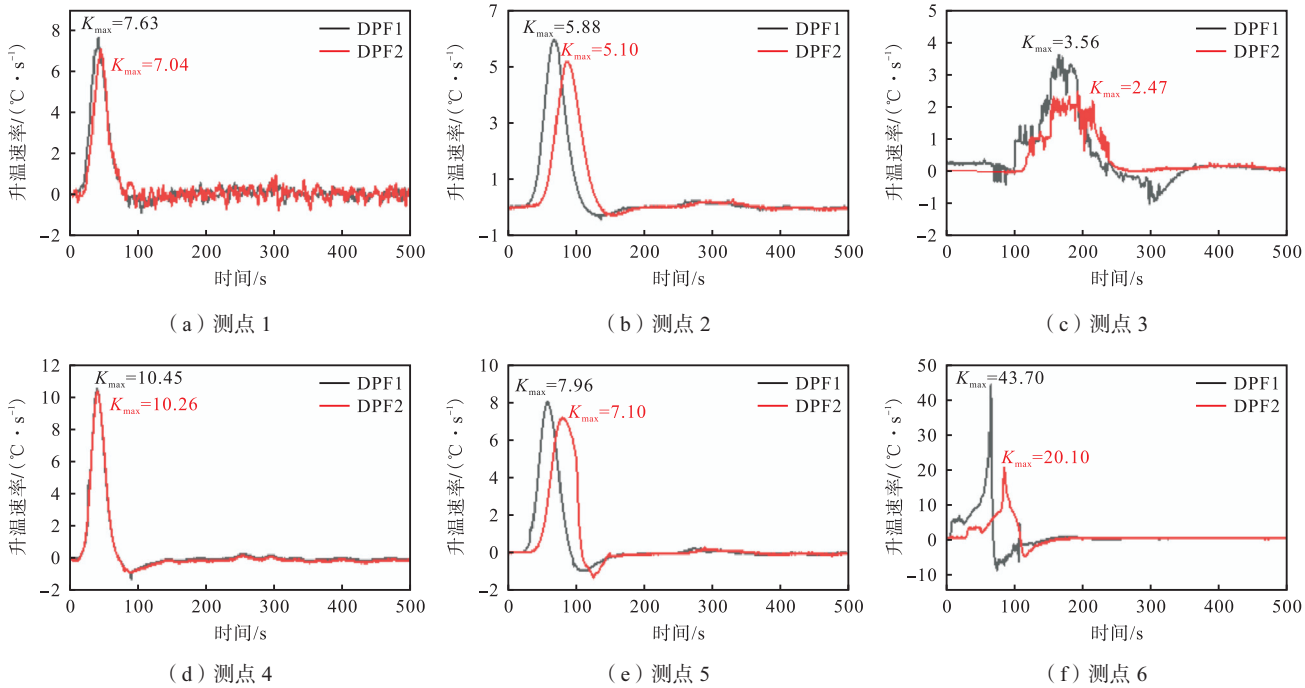


图 5　两种 DPF 驻车再生时各位置床温变化

Fig.5　Variation of bed temperature at each position during parking regeneration of the two DPFs



(a) 测点 1　(b) 测点 2　(c) 测点 3

(d) 测点 4　(e) 测点 5　(f) 测点 6

图 6　两种 DPF 驻车再生时各位置床温升温速率

Fig.6　Temperature rise rate of the bed at each position during parking regeneration of the two DPFs

最高升温速率分别相差 0.19、0.86 和 23.60 ℃/s，边缘区域(测点 1 ~ 3)中，两种不同导热系数在测点 1 ~ 3 处最高床温 T_{max} 分别相差 7.2、15.5 和 27.6 ℃，最高升温速率分别相差 0.59、0.78 和 1.09 ℃/s.

可知，中心区域最高温度和升温速率普遍高于边缘区域，沿着气流方向，在中心区域，越靠近载体出气端，再生时床温升温越快，达到的最高床温则越高，载体导热系数越大，各位置升温速率越快，最高床温越高.

表 6 DPF 不同位置 T_{max} 与 K_{max}

Tab.6 T_{max} and K_{max} at different position of DPF

参数	T_{max}/℃		K_{max}/(℃ · s^{-1})	
	DPF1	DPF2	DPF1	DPF2
测点 1	541.1	533.9	7.63	7.04
测点 2	569.6	554.1	5.88	5.10
测点 3	631.6	604.0	3.56	2.47
测点 4	644.6	636.3	10.45	10.26
测点 5	713.6	664.9	7.96	7.10
测点 6	906.1	770.6	43.70	20.10

由图 7 可知，平原环境下 DPF1 和 DPF2 再生时间延长 600 s，再生效率分别提升 10.7% 和 10.3%；高原环境下 DPF1 和 DPF2 再生时间延长 600 s，再生效率提升 11.1% 和 5.2%，可知在高原环境下驻车再生效率明显低于平原，且载体导热系数越高，再生效率越高，延长再生时间，再生效率提升越明显.

2.2.2 CDPF 驻车再生时床温变化及再生效率

图 8、图 9 分别示出将相同催化活性涂层涂覆到不同导热系数的空白 DPF 载体搭载 DOC 进行驻车再生时，前 500 s 不同位置床温变化及升温速率. 由图 8 和图 9 可以看出，两种 CDPF 各位置床温规律与 DPF 基本相同，在开始进行驻车再生初期，内部温度

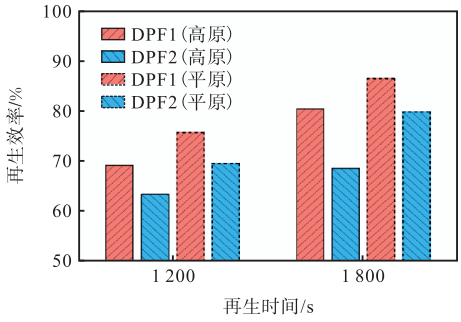


图 7 两种 DPF 在平原和高原的再生效率

Fig.7 Regeneration efficiency of two DPFs in plains and plateaus

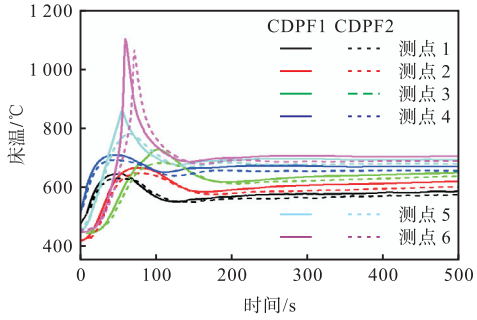
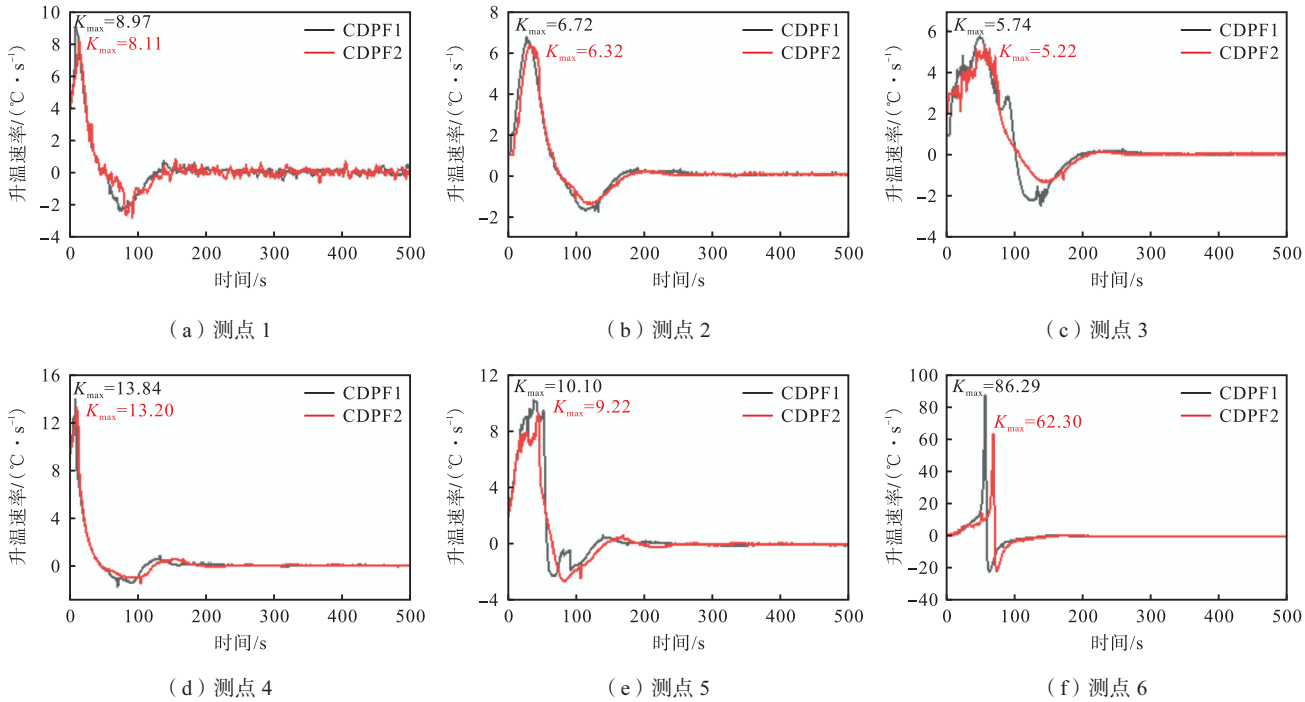


图 8 两种 CDPF 驻车再生时各位置床温变化

Fig.8 Variation of bed temperature at each position during parking regeneration of the two CDPFs



(a) 测点 1 (b) 测点 2 (c) 测点 3

(d) 测点 4 (e) 测点 5 (f) 测点 6

图 9 两种 CDPF 驻车再生时各位置床温升温速率

Fig.9 Temperature rise rate of the bed at each position during parking regeneration of the two CDPFs

发生了快速升温，随后出现温度尖峰后逐渐下降，该现象在中心区域表现更为明显，但相比于 DPF，涂覆催化活性涂层各位置床温升温速率更快，T_{max} 越高.

表 7 为负载相同涂层后两种载体再生过程各位置最高床温 T_{max} 和最大升温速率 K_{max}. 可以看出，沿着气流方向，在中心区域（测点 4 ~ 6），两种不同导热系数 CDPF 催化剂在测点 4 ~ 6 位置最高床温 T_{max} 分别相差 18.7、74.9 和 37.6 ℃，最高升温速率分别相差 0.64、0.88 和 23.99 ℃/s，在边缘区域（测点 1 ~ 3），两种不同导热系数 CDPF 催化剂在测点 1 ~ 3 位置最高床温 T_{max} 分别相差 15.6、18.1 和 45.3 ℃，最高升温速率分别相差 0.86、0.40 和 0.52 ℃/s.

表 7　CDPF 不同位置 T_{max} 与 K_{max}

Tab.7　T_{max} and K_{max} at different position of CDPF

参数	T_{max}/℃		K_{max}/(℃ · s^{-1})	
	CDPF1	CDPF2	CDPF1	CDPF2
测点 1	642.3	626.7	8.97	8.11
测点 2	663.6	645.5	6.72	6.32
测点 3	726.4	681.1	5.74	5.22
测点 4	707.4	688.7	13.84	13.20
测点 5	853.5	778.6	10.10	9.22
测点 6	1 098.1	1 060.5	86.29	62.30

图 10 为两种 CDPF 在平原和高原的再生效率. 可知，平原环境下 CDPF1 与 CDPF2 再生时间延长 600 s，再生效率分别提升 13.4% 与 13.1%，而高原环境下 CDPF1 与 CDPF2 再生时间延长 600 s，再生效率分别提升 16.1% 与 13.5%. 对比 DPF 与 CDPF 催化剂驻车再生可以发现，在高原环境下，驻车再生效率明显低于平原，且涂覆催化活性涂层可快速提高再生效率，同时还可以显著缓解高原环境下载体导热特性差异导致的驻车再生效率下降问题.

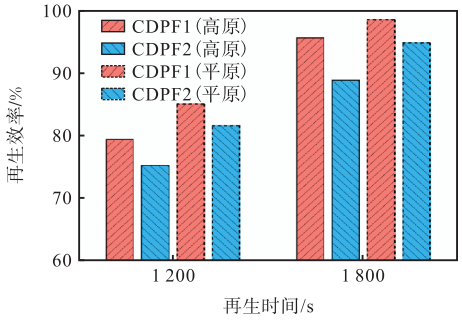


图 10　两种 CDPF 在平原和高原的再生效率

Fig.10　Regeneration efficiency of the two CDPFs in plains and plateaus

3　结果分析

3.1　热传导的影响

热态气流从 DPF 载体进气端流向出气端遵循流体动力学与热传导基本原理，文献[17]基于流体连续性方程得出的 DPF、CDPF 进/出口通道动量守恒方程见式（2）；沿着轴向能量传递主要受气体对流影响，其在通道内气体的能量守恒方程见式（3）；综合考虑碳烟与 DPF 壁面内部会受对流传热、热传导及化学反应放热的影响，沿径向的能量传递方程见式（4）.

$$\frac{\mathrm{d}\left(p+\rho v^2\right)}{\mathrm{d}z}=-\frac{\alpha\mu v}{D^2} \tag{2}$$

$$\rho v\frac{D}{4}C_1\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}z}=h\left(T_w-T\right)+C_2v_1\left(T_w-T\right) \tag{3}$$

$$H=-\lambda_1\frac{\partial}{\partial z}\left[W_1\left(D-W_1\right)\frac{\partial T_w}{\partial z}\right]-\lambda_2W_2D\frac{\partial^2T_w}{\partial z^2} \tag{4}$$

式中：p 为气体在通道内压力；ρ 为通道内气体密度；μ 为动力黏度；α 为量纲归一化的摩擦阻力系数；D 为 DPF、CDPF 的通道宽度；v、v_1 分别为气体在通道内和穿过壁面的渗流速度；C_1、C_2 分别为气体、载体壁的比热容；T 为气体温度；h 为对流传热系数；T_w 为饼层与壁面间的温度；W_1 和 W_2 分别为碳烟厚度和 DPF、CDPF 壁面厚度；λ_1 和 λ_2 分别为碳烟和载体壁面的导热系数；H 为沿径向传递的能量；z 为气流沿径向或轴向移动的单位长度. 式（2）中右侧为由气体径向流动产生的摩擦阻力，左侧表示轴向压力及对流项.

由式（3）和式（4）可知，轴向热量传递主要受热态气体对流影响，而径向热量传递受载体本身导热影响较大，径向热量传递与载体导热系数呈正比，导热系数越大，热量传递效果越好，床温越高. 同时由式（2）可知，从载体中心轴到边缘距离与流动阻力呈反比，距离越长，摩擦阻力越大，速度越慢，热量传递效果越差. 因此，在稳定流场和驻车再生过程中，载体导热特性对不同位置热传导有较大影响，中心区域最高温度和升温速率普遍高于边缘区域，沿着气流方向，在中心区域，越靠近载体出气端，再生时床温升温越快，达到的最高床温则越高，载体导热系数越大，使得载体各位置床温升温越快，更为快速地达到碳烟的起燃温度，促进再生，提高了再生效率.

3.2　催化活性涂层的影响

图 11 示出空速为 60 000 h^{-1}、不同温度下 DOC、CDPF1 和 CDPF2 的 NO_2 体积占比. 通常在柴油机后处理系统中，碳烟氧化包括被动再生和主动再生两部分，被动再生主要利用排气中 NO_2 的强氧化性，实现碳烟的快速再生，由于 NO 氧化为可逆反应，受热力学平衡的限制，当温度大于 450 ℃时，化学反应平衡向左移动，排气中的 NO_2 体积分数含量较低[18]，而在驻车再生过程中 DPF、CDPF 的入口温度大于 500 ℃，

因而在此过程中碳烟的氧化主要以 O_2 作为氧化剂实现快速再生，即主动再生占主导地位，研究[19]表明，催化活性涂层的存在可以降低碳烟与 O_2 反应的活化能，将反应温度降低 100 ℃左右，从而实现碳烟的快速再生. 相比于 DPF，带催化活性涂层的 CDPF 加剧了碳烟颗粒物的再生，提高了驻车再生效率. 同时，再生产生的热量使得各位置床温更高，升温速率更快，导热较好的载体更加明显.

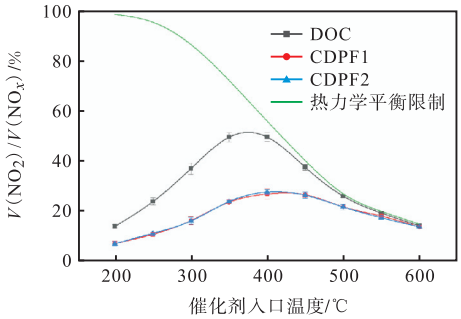


图 11　DOC 与 CDPF 在不同温度下的 NO 氧化能力

Fig.11　NO oxidation capacity of DOC and CDPFs at different temperatures

相比于平原，高海拔地区柴油机进气量和排气 O_2 体积分数偏低，而排气 O_2 体积分数是 DPF 和 CDPF 驻车再生最关键影响因素之一，为说明高原与平原氧体积分数对驻车再生的影响，笔者监测了 CDPF1 驻车再生过程中 CDPF 入口的 O_2 体积分数变化，见图 12. 可知，在未喷油之前，高原比平原初始 O_2 体积分数低约 $20\,000\times10^{-6}$，喷油之后，HC 起燃快速消耗了排气中的 O_2. 在高原环境下，整个再生过程中 CDPF 入口的 O_2 体积分数要低于平原地区，O_2 体积分数越高，促进了碳烟与 O_2 的反应，加剧了再生，因而高原环境下驻车再生效率明显低于平原.

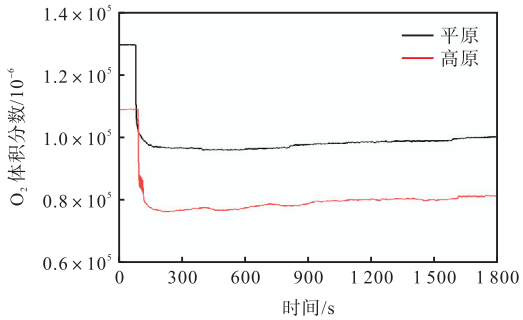
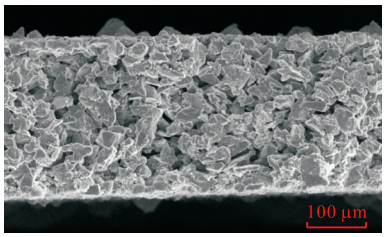


图 12　高原与平原地区 CDPF 入口氧体积分数

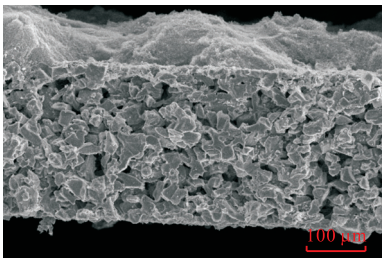
Fig.12　Inlet oxygen volume fraction of CDPF in plateaus and plains

3.3　碳烟在孔道内部分布的影响

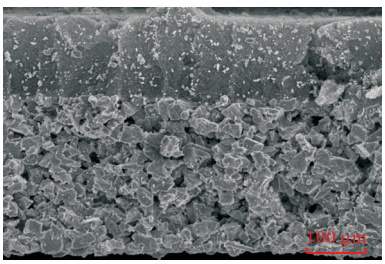
碳烟分布对不同导热特性的 DPF、CDPF 驻车再生时床温变化及再生效率影响较大，图 13 为 CDPF1 中测点 4 ~ 6 碳烟分布. 可以看出，载体进气端孔道测点 4 碳烟较少，碳烟厚度基本可以忽略不计，而中间区域测点 5 的碳烟厚度为 50 ~ 60 μm，靠近出气端测点 6 碳烟厚度高达 130 ~ 140 μm，从进气端到出气端碳烟分布逐渐增多，排气热量快速传递，极大地促进了主动再生，短时间内再生时释放的热量不能及时被气流带走. 此时 DPF、CDPF 内部容易形成局部热点，出现短暂温度波峰，碳烟越多，再生越剧烈，释放的能量也越多，该结果与孟忠伟等[20]研究相符合. 测点 6 碳烟最多，碳烟氧化最剧烈，升温速率最快，床温波峰也最高. 催化活性涂层促进碳烟的氧化，因而 CDPF 比 DPF 碳烟氧化更剧烈，同位置床温升温速率更快，床温波峰也更高.



（a）测点 4



（b）测点 5



（c）测点 6

图 13　测点 4 ~ 6 碳烟厚度

Fig.13　Soot thickness at measurement points 4—6

4　结　论

（1）在稳定流场中，随着 DPF 入口温度的均匀升高，载体各个位置床温均呈线性逐渐升高，受热态气体对流与载体导热特性影响，中心区域最高温度和升温速率普遍高于边缘区域，且越远离进气端、越靠近载体边缘位置，导热系数越低的载体，其升温速率

越慢.

（2）载体导热特性对高原条件下柴油机驻车再生有较大影响，载体导热系数越高，各位置床温升温速率越快，再生效率越高，延长再生时间，再生效率提升越明显；涂覆催化活性涂层可快速提高再生效率，同时还可显著缓解高原环境下因载体导热性能差异引起的再生效率下降问题，优选的热传导系数高的载体涂覆催化活性层后，在载碳量为 6 g/L、入口温度为 580 ℃时驻车再生 30 min，再生效率高达 95.4%，可以满足高原驻车再生要求.

参考文献：

［1］ Yu M T，Luss D，Balakotaiah V. Analysis of ignition in a diesel particulate filter[J]. Catalysis Today，2013，216：158-168.

［2］ Buono D，Senatore A，Prati M V. Particulate filter behaviour of a diesel engine fueled with biodiesel[J]. Applied Thermal Engineering，2012，49：147-153.

［3］ Zhong C，Liang J，Zhu Y，et al. Effects analysis on soot oxidation performance in the diesel particulate filter based on synergetic passive-active composite regeneration methods[J]. Chemical Engineering Science，2022，52：262：118013.

［4］ Frobert A，Creff Y，Lepreux O，et al. Generating thermal conditions to regenerate a DPF：Impact of the reductant on the performances of diesel oxidation catalysts[C]// SAE Paper. Detroit，Michigan，USA，2009，2009-01-1085.

［5］ Yu L，Ge Y，Tan J，et al. Experimental investigation of the impact of biodiesel on the combustion and emission characteristics of a heavy duty diesel engine at various altitudes[J]. Fuel，2014，115：220-226.

［6］ Meng Z，Liu Z，Liu J. Investigation of in-cylinder combustion deterioration of diesel engines in plateau regions[J]. Fuel，2022，324：124824.

［7］ Liu J，Li Y，Zhang C. The effect of high altitude environment on diesel engine performance：Comparison of engine operations in Hangzhou，Kunming and Lhasa cities[J]. Chemosphere，2022，309：136621.

［8］ 刘胜吉，陈勇，王建，等. 高原环境下自然吸气柴油机燃烧及排放特性[J]. 内燃机学报，2016，34(3)：218-224.

［9］ Lou D M，Chen Y J，Zhang Y H，et al. Analysis of temperature and pressure characteristics in catalyzed diesel particulate filter operation for heavy-duty diesel engine[J]. Fuel，2022，328：125248.

［10］ Zhao C P，Bai M，Shang F，et al. Pressure drop characteristics through DPF with different channel width ratios[C]// SAE Paper. Detroit，Michigan，USA，2015，2015-01-1019.

［11］ Iwata H，Konstandopoulos A，Nakamura K，et al. Further experimental study of asymmetric plugging layout on DPFs：Effect of wall thickness on pressure drop and soot oxidation[C]// SAE Paper. Detroit，Michigan，USA，2015，2015-01-1016.

［12］ Zheng M，Banerjee S. Diesel oxidation catalyst and particulate filter modeling in active flow configurations[J]. Applied Thermal Engineering，2009，29(14)：3021-3035.

［13］ Benaqqa C，Gomina M，Beurotte A，et al. Morphology，physical，thermal and mechanical properties of the constitutive materials of diesel particulate filters[J]. Applied Thermal Engineering，2014，62(2)：599-606.

［14］ 李青，吕誉，陈贵升，等. 不同材料 CDPF 的高温极限被动再生特性[J]. 内燃机学报，2020，38(6)：505-513.

［15］ 秦梦黎. 堇青石合成及晶须原位增强堇青石质隔热材料的研究[D]. 武汉：武汉科技大学材料与冶金学院，2018.

［16］ 骆祥磊，刘永启，高振强，等. 蜂窝陶瓷有效导热系数的试验研究[J]. 陶瓷学报，2013，34(3)：271-276.

［17］ 陈伟. 催化型 DPF 碳烟捕集及连续再生机理研究[D]. 长春：吉林大学汽车工程学院，2016.

［18］ 李传东. 柴油机颗粒捕集器主动再生过程试验研究[D]. 烟台：烟台大学机电汽车工程学院，2017.

［19］ 胡国强. 重型车用柴油机 DPF 系统主被动再生研究[D]. 北京：清华大学车辆与运载学院，2017.

［20］ 孟忠伟，曾渤淞，冉格萌，等. DPF 和 CDPF 主动再生排放特性对比分析[J]. 内燃机学报，2024，42(1)：35-43.