

柴油车排气后处理装置 PDPF 的试验研究

陶明涛¹ 姜鹏明¹ 吴帮玉¹ 武显亮¹ 傅 骏² Jorma Venalainen²

(1. 北京绿创环保设备股份有限公司, 北京 102200; 2. 普闻达科技(北京)有限公司, 北京 100102)

摘 要 介绍了一种用于柴油车排气后处理的 PDPF 的结构和工作原理。通过对比试验考察了 PDPF 的性能, 包括 ETC 试验、全负荷烟度试验、自由加速烟度试验以及总功率检测。带 PDPF 与不带 PDPF 相比, PDPF 对 ETC 排气中 PM 的降低效率达 57.5%; 对全负荷的滤纸式烟度和不透光烟度影响不大; 使自由加速烟度有所下降; 对发动机的动力性和经济性几乎没有影响。可靠性试验研究显示出 PDPF 的良好应用前景。

关键词 柴油车 颗粒物 微粒捕集器

中图分类号 U467.3; TK421+.5 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2009)04-0723-05

Test study on diesel vehicle exhaust after-treatment device PDPF

Tao Mingtao¹ Jiang Pengming¹ Wu Bangyu¹ Wu Xianliang¹ Fu Jun² Jorma Venalainen²

(1. Beijing Greentec Equipment Stock Co. Ltd., Beijing 102200;

2. Proventia Technology (Beijing) Co. Ltd., Beijing 100102)

Abstract Structure and working principles of PDPF used for diesel vehicles exhaust after-treatment are introduced in this paper. The performances of PDPF were investigated by comparison tests, including ETC test, full load smoke test, free acceleration smoke test and gross power test. The comparison between PDPF and non-PDPF shows that the reduction efficiency of PM by PDPF was 57.5% in ETC test; PDPF had little effect on filter smoke and opacity smoke in full load smoke test; it slightly decreased the free acceleration smoke; and it almost had no impact on engine power and economical performance. Reliability test research shows that PDPF has a good application prospect.

Key words diesel vehicle; particulate matter; DPF

从 20 世纪末我国许多城市禁止柴油车进入城区, 到 2003 年 1 月国家环保总局等发布《柴油车排放污染防治技术政策》; 从北京市于 2007 年 1 月 1 日开始实施轻型柴油车排放国 IV 标准(后来未实施), 到 2007 年 1 月 24 日北京市环保局招标采购“北京市在用柴油车排放改造治理示范项目”, 再到 2008 年 7 月 1 日起, 北京牌照重型柴油的公交、环卫和邮政车辆, 实施国家排放标准第四阶段的标准。不难看出, 我国各级决策者们对于柴油车使用的复杂心态。一方面, 柴油车具有燃油经济性好、动力强劲、使用寿命长等优点, 我国需要发展柴油车; 另一方面, 柴油车排气中的颗粒物 PM 和 NO_x 等有害物质给大气带来了严重污染。因此, 大力发展柴油车低排放技术, 包括柴油车后处理技术, 成为我国各车厂及零部件供应商的当务之急^[1]。

用于柴油车颗粒物排放治理的产品, 主要包括 3 类: 氧化型催化转化器(diesel oxidation catalyst, DOC)、部分流式颗粒物过滤器(partial diesel particulate filter, PDPF)和壁流式颗粒物过滤器(wall flow diesel particulate filter, WDPF)。本文介绍了一种 PDPF, 按照国家标准考察了它对 ETC 排气污染物的影响、对全负荷烟度和自由加速烟度的影响以及对发动机性能的影响。

1 PDPF 的结构与工作原理

PDPF 的载体结构是由含一定比例铝的特殊合金钢卷制而成的金属薄片, 一层波纹状的金屬薄片和一层平直的薄片绕在一起, 形成了一个截面为螺旋状的多孔结构。图 1 是载体孔结构的示意图。载体结构存在特制波纹, 使孔内产生了径向和切向气流, 从而增加了湍流流动。不同大小的颗粒物, 由

基金项目: 中关村科技园区重大产业化项目

收稿日期: 2008-06-10; 修订日期: 2008-08-05

作者简介: 陶明涛(1976~), 男, 博士, 主要从事机动车尾气治理工作。E-mail: taomt@sina.com

于扩散、拦截或碰撞作用,在孔结构内发生沉积。结构表面经过特殊处理后粗糙度急剧增加,粗糙的表面使得过滤表面增加。

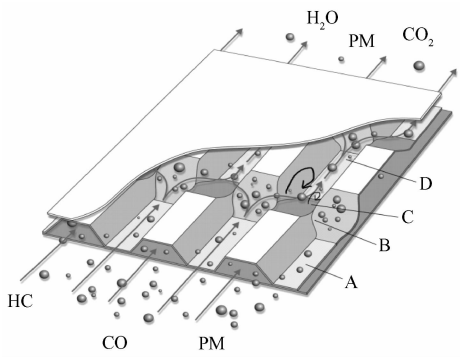


图 1 PDPF 的孔结构
Fig. 1 Cell structure of PDPF

在金属载体内有直线段(A, D)和气流扰动段(B, C)。气流扰动结构也称为十字路,气流在这里要分成 2 股或 2 股合成一股。气流在图 1 中 A 段是典型的层流;在 B 段流动受到限制,导致产生很高的湍流;在位置 C 有顺流和逆流(旋流和回流);在 D 段的末端气流成为充分发展的层流并碰上另一个气流扰动的十字路。大约每 10 mm 左右的长度就有一个十字路。

PDPF 与 WDPF 的工作原理是不同的。图 2 是 WDPF 的孔结构示意图。如图 2 所示,WDPF 是通过交替堵住蜂窝状多孔载体的孔两端,利用载体的壁孔来过滤除去 PM。

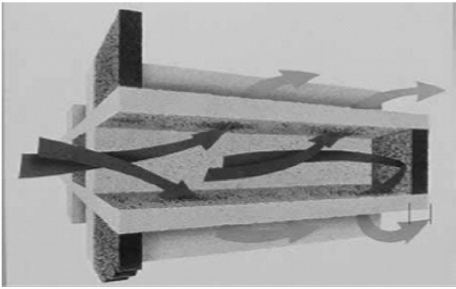


图 2 WDPF 的孔结构
Fig. 2 Cell structure of WDPF

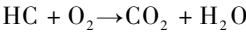
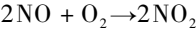
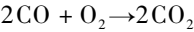
PDPF 与通常的 DOC 陶瓷或金属载体相比,载体内的湍流流动要强得多;与陶瓷或碳化硅的 WDPF 相比,它的结构又是开放的。湍流流动和储

灰能力使载体成为柴油颗粒物过滤器,结构开放而不堵塞。

在载体表面涂覆有含贵金属 Pt 的催化剂。粗糙的表面、湍流流动及回流,可以增加颗粒物的停留时间,增强颗粒物与催化剂之间的相互作用,这样颗粒物在很低的温度下就可以被氧化。

在金属载体表面上发生的主要化学反应如下:

气体排放物:



颗粒物:

220 ~ 440 ℃, Pt 催化剂容易将 NO 氧化为 NO₂, NO₂ 与 O₂ 相比是更好的氧化剂,此时主要发生反应 2NO₂ + C → CO₂ + 2NO;

440 ℃ 以上,形成的 NO₂ 很少,灰分主要被氧气氧化 O₂ + C → 2CO₂。

柴油车颗粒过滤器 DPF 的再生一直是研究的热点^[2],我国也已经进行了多种再生方式的试验研究^[3~5]。应当引起重视的是,我国柴油含硫量太高^[6],不利于 DPF 的再生,容易造成堵塞现象,尤其是对于在用车改造,发动机状况差,给 DPF 的使用和再生带来很多困难。

本文介绍的 PDPF 结构,采用催化剂燃烧再生的方式,属于被动式再生。只要使用温度合适,利于进行前述的化学反应,不会造成堵塞,这主要是由于其结构特点决定的。因此,PDPF 特别适用于用车改造及柴油含硫量较高的情况。

2 PDPF 的试验

通过试验考察 PDPF 的性能。包括依据 GB17691-2005《车用压燃式、气体燃料点燃式发动机与汽车排气污染物排放限值及测量方法(中国Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ阶段)》检测 ETC 排气污染物;依据 GB3847-2005《车用压燃式发动机和压燃式发动机汽车排气烟度排放限值及测量方法》检测全负荷烟度及自由加速烟度;依据 GB/T18297-2001《汽车发动机性能试验方法》检测总功率。

表 1 是检测用发动机的主要技术参数。

试验用燃油是 0# 柴油,符合 GB17691-2005 基准柴油要求;试验用润滑油是 CH-4 级 15W/40,符合国家标准柴油机油。

表 1 检测用发动机主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of engine for testing	
项 目	主要技术参数
型 号	SOFIM8140.43S
型 式	四冲程、直列、水冷、电控共轨直喷增压中冷
缸径×冲程(mm)	94.4×100
排量(L)	2.798
工作次序	1→3→4→2
压缩比	18.5:1
最大扭矩(N·m)*	285
最大功率(kW)**	92
喷油泵型号及生产厂	CPI, 博世汽车柴油系统股份有限公司
喷油器型号及生产厂	DSLA136P, 博世汽车柴油系统股份有限公司
增压器型号及生产厂	TD04, MITSUBISHI
中冷器型号及生产厂	0281001537, 博世汽车柴油系统股份有限公司

注: * 表示发动机 1 800 r/min 条件下的最大扭矩; ** 表示发动机 3 600 r/min 条件下的最大功率

3 试验结果与分析

3.1 ETC 排气污染物

对安装和不安装 PDPF 时分别检测了 2 次 ETC 排气污染物,表 2 是检测结果。图 3 对比了 ETC 排气污染物 2 次检测结果的平均值,可以看出,各种污染物均有一定程度的下降。计算表明,安装 PDPF 比不安装 PDPF 时,CO、HC、NO_x 和 PM 分别下降了 73.6%、74.4%、16.1% 和 57.5%。

表 2 ETC 排气污染物检测结果

Table 2 Test results of ETC exhaust pollutants		(g/kWh)			
项 目		CO	HC	NO _x	PM
不带 PDPF	第 1 次检测	2.962	0.294	5.269	0.230
	第 2 次检测	3.026	0.326	5.128	0.233
带 PDPF	第 1 次检测	0.785	0.072	4.382	0.098
	第 2 次检测	0.797	0.087	4.345	0.099

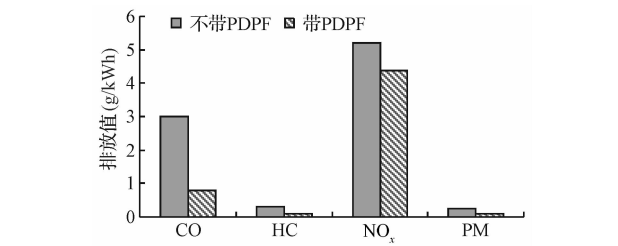


图 3 PDPF 对 ETC 排气污染物影响

Fig. 3 Effect of PDPF on ETC exhaust pollutants

3.2 排烟气度

表 3 是全负荷烟度的检测结果,发动机转速从 1 000 ~ 3 600 r/min,比较了带 PDPF 和不带 PDPF 时的滤纸式烟度和不透光烟度。可以看出,带 PDPF 与不带 PDPF 相比,滤纸式烟度相差不大,而不透光烟度略低。

表 3 全负荷烟度检测结果

Table 3 Test results of smoke at full load				
转速 (r/min)	不带 PDPF(平均值)		带 PDPF(平均值)	
	滤纸式烟度 (FSN)	不透光烟度 (m ⁻¹)	滤纸式烟度 (FSN)	不透光烟度 (m ⁻¹)
1 000	0.40	0.140	0.37	0.091
1 500	0.33	0.170	0.63	0.139
1 800	0.17	0.045	0.20	0.054
2 160	0.40	0.093	0.40	0.071
2 400	0.20	0.048	0.33	0.043
2 800	0.40	0.092	0.50	0.067
3 200	0.67	0.101	0.50	0.076
3 600	0.40	0.101	0.50	0.091

表 4 是自由加速烟度的检测结果。可以看出,带 PDPF 与不带 PDPF 相比,滤纸式烟度下降了 38.7%,不透光烟度下降了 3.75%。

表 4 自由加速烟度检测结果

Table 4 Test results of smoke at free acceleration			
滤纸式烟度 (FSN)	不带 PDPF(平均值)		带 PDPF(平均值)
	不透光烟度 (m ⁻¹)	滤纸式烟度 (FSN)	不透光烟度 (m ⁻¹)
0.93	0.480	0.57	0.462

3.3 总功率

表 5 是总功率的检测结果,发动机转速从 1 000 ~ 3 600 r/min,比较了带 PDPF 和不带 PDPF 时的校正有效功率、校正有效扭矩、燃油消耗量、校正燃油消耗率以及排气压力。可以看出,PDPF 对发动机的校正有效功率、校正有效扭矩、燃油消耗量、校正燃油消耗率基本没有影响,带 PDPF 与不带 PDPF 相比,发动机的动力性和经济性没有明显变化;同时,排气压力有所增加,带 PDPF 时最大排气压力为 33.93 kPa(3 600 r/min),不带 PDPF 时最大排气压力为 10.11 kPa(3 600 r/min)。

表 5 总功率检测结果
Table 5 Test results of gross power

转速 (r/min)	校正有效功率(kW)		校正有效扭矩(N·m)		燃油消耗量(kg/h)		校正燃油消耗率(g/kWh)		排气压力(kPa)	
	不带	带	不带	带	不带	带	不带	带	不带	带
	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF	PDPF
1 000	21.8	22.2	208	212	5.20	5.30	238	239	0	0.59
1 500	43.8	44.1	279	281	9.60	9.62	219	218	0	3.70
1 800	53.0	53.0	281	281	11.25	11.25	212	212	0.54	7.10
2 160	58.4	58.4	258	258	13.75	13.71	236	235	2.96	15.04
2 400	69.9	69.6	278	277	15.78	15.71	226	226	3.79	17.86
2 800	75.5	75.0	258	256	18.64	18.53	247	247	6.21	24.29
3 200	84.1	82.9	251	248	21.13	20.90	251	252	8.53	29.83
3 600	91.6	90.6	243	240	22.75	22.77	248	251	10.11	33.93

在汽车排气系统中安装 PDPF,可以替代汽车排气系统中的消声器,该研究将在别处说明。一方面,从降低噪声的角度来看,PDPF 可以替代汽车排气系统中的消声器,排气系统的噪声可以得到控制;另一方面,PDPF 的排气背压与消声器的排气背压相当,替代消声器后不会增加整个排气系统的背压。

4 PDPF 的可靠性试验研究

对上述类型的 PDPF(FINKAT 产品)进行了可靠性试验研究,试验在芬兰 VTT 的过程技术研究进行。

试验用车辆是 1986 年生产的奔驰 814,发动机排量 5.95 L,功率 100 kW,车辆总重量 7 500 kg,总里程 370 000 km。试验在道路模拟底盘测功机上进行。考察 PDPF 性能时,用其替代原车消声器。PDPF 的尺寸为直径 140 mm,长度 150 mm,体积 0.0023 m³。

PDPF 老化前,用 Braunschweig 驾驶循环考察其性能。然后进行 100 h 柴油快速老化,老化使用 Sisudiesel 涡轮增压 75 kW 的发动机,老化载荷为 75%,转速 1 400 r/min,扭矩 280 N·m。此条件下,平均排气温度约为 360 ℃。老化用燃油硫含量为 2.89×10⁻⁴。PDPF 老化后,分别用 Braunschweig 驾驶循环和恒定速度(72 km/h)考察其性能。

表 6 是 PDPF 老化前排放测试结果。可以看出,PDPF 对 PM 有较高的转化率,Braunschweig 循环条件下,转化率达 60.6%。表 7 和表 8 是 PDPF 老化后排放测试结果,表 7 采用的是 Braunschweig 循

环,表 8 采用的是恒定速度 72 km/h。可以看出,经过 100 h 快速老化后,2 种测试条件下,PM 的转化效率均高于 60%。

表 6 老化前排放测试结果,Braunschweig 循环
Table 6 Emission test results before aging,
Braunschweig cycle

	无 PDPF (g/km)	有 PDPF (g/km)	转化率 (%)
PM	0.58	0.23	60.6
CO	2.81	0.20	92.9
THC	*	*	
NO _x	4.90	4.45	9.2
CO ₂	532	534	

注:* 由于分析系统问题,未获该项数据

表 7 老化后排放测试结果,Braunschweig 循环
Table 7 Emission test results after aging,
Braunschweig cycle

	无 PDPF			有 PDPF			转化率 平均值 (%)
	测试 1	测试 2	平均值	测试 1	测试 2	平均值	
	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	(g/km)	
PM	0.58	0.62	0.60	0.21	0.22	0.22	63.9
CO	2.65	2.60	2.63	0.37	0.41	0.39	85.1
THC	0.67	0.76	0.72	0.25	0.21	0.23	67.9
NO _x	5.42	5.39	5.40	5.10	5.03	5.06	6.3
CO ₂	531	519	525	540	537	538	-2.5

表 8 老化后排放测试结果,恒定速度 (72 km/h)

Table 8 Emission test results after aging, constant speed (72 km/h)

	无 PDPF (g/km)	有 PDPF (g/km)	转化率 (%)
PM	0.58	0.19	67.3
CO	1.22	0.08	93.4
THC	0.32	0.05	84.1
NO _x	3.39	3.17	6.4
CO ₂	352	345	2.0

上述可靠性试验研究表明,PDPF 利用催化燃烧的方式进行再生,具有一定的抗老化性能,显示出良好的应用前景。

5 结 论

本文介绍了用于柴油车排气后处理的装置 PD-PF 的结构和工作原理,并依据国家标准进行试验考察了 PDPF 的性能,得到以下结论:

- (1)ETC 试验表明,PDPF 能有效降低颗粒污染物,对 PM 的降低效率达 57.5%,对 CO、HC 和 NO_x 的转化效率也分别达 73.6%、74.4% 和 16.1%;
- (2)全负荷烟度试验表明,带 PDPF 与不带 PD-

- PF 相比,滤纸式烟度相差不大,而不透光烟度略低;
- (3)自由加速烟度试验表明,带 PDPF 使得滤纸式烟度下降了 38.7%,不透光烟度下降了 3.75%;
- (4)总功率检测表明,PDPF 对发动机的动力性和经济性几乎没有影响,排气压力有所增大。

PDPF 的 100 h 快速老化试验研究结果,显示出该产品的良好应用前景。

参 考 文 献

- [1] 贺泓,翁端,资新运. 柴油车尾气排放污染控制技术综述. 环境科学,2007, 28(6): 1169 ~ 1177
- [2] Jan Kaspar, Paolo Fornasiero, Neal Hickey. Automotive catalytic converters: Current status and some perspectives. Catalysis Today, 2003, 77: 419 ~ 449
- [3] 张春润,姜大海,资新运,等. 柴油机排气微粒捕捉器燃气再生技术的研究. 内燃机学报,2002, 20(5): 391 ~ 394
- [4] 王宪成,孙坦,高希彦. 柴油机红外再生微粒捕集系统试验研究. 大连理工大学学报,2007, 47(2): 180 ~ 184
- [5] 袁守利,杜传进,颜伏伍. 基于添加剂和电加热的柴油机 DPF 再生技术研究. 车用发动机,2007,(3): 75 ~ 78
- [6] 刘泉山,董红霞,徐小红,等. 柴油硫含量对排放和排放控制技术的影响. 润滑油与燃料,2007, 17(5): 6 ~ 9