

柴油车排放颗粒物研究进展

姚志良, 刘荣

北京工商大学食品学院, 北京 100048

摘要 柴油车排放颗粒物污染对环境和人体健康有重要危害, 一直是研究的热点。本文对发动机运行工况、环境温度和燃油品质等因素对柴油车颗粒物排放的影响, 柴油车颗粒物排放的测试采样方法, 质量、形貌以及粒径分布等物理特征, 以及元素、EC/OC、无机离子和有机组分等化学特征的研究进展进行了综述, 对中国已有研究存在的问题进行了归纳, 并对未来相关研究进行了展望。目前, 中国柴油车颗粒物源成分谱、采样分析方法, 以及颗粒物组分的排放特征都需要进一步深入研究。

关键词 柴油车; 颗粒物; 排放特征

中图分类号 X513

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.08.013

Review on the Study of Particulate Emissions from Diesel Vehicle

YAO Zhiliang, LIU Rong

School of Food Science, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China

Abstract Particulate Matter (PM) emission from diesel vehicle has important harm on environment and human health, which has been the focus of the researchers. The studies about the impacts of the important factors including engine driving cycle, ambient temperature and fuel quality on the PM emission from diesel vehicle, the sampling and testing method, physical characteristics of particles from diesel vehicle mainly related to the quality, physical form and particle size distribution, and chemical characteristics such as elements, EC/OC, inorganic ions and organic components of diesel particles were reviewed. Currently, composition spectrum of particulate matter from diesel need to be completed and update, sampling and analysis methods to be more accurately, the emission characteristics of particulate matter components need to be more studied.

Keywords diesel vehicle; particulate matter; emission characteristics

0 引言

柴油车颗粒物(Particulate Matter, PM)排放对空气污染的加重是亚洲许多城市面临的最重要的问题之一^[1]。在中国, 随着对汽油车排放控制效果的显现, 柴油车排放污染问题日益突出, 在机动车排放污染中, 约 80% 的 PM 来自柴油车^[2]。近几年, 随着柴油车保有量的较快增加, 其 PM 排放分担率有明显上升趋势^[3]。

柴油车排放的颗粒物粒径绝大部分在 $1\mu\text{m}$ 以下^[4-5], 对环境和人体健康危害很大。颗粒物通过对光的散射降低物体与背景的对比度, 导致能见度下降, 当颗粒物粒径为 $0.1\sim 1.0\mu\text{m}$ 时, 对光的散射作用最强^[6]。柴油车排放颗粒物是大气中元素碳(Element Carbon, EC)的主要来源^[7], 颗粒物中 EC 对光的吸收效应是导致大气能见度下降的重要因素。颗粒物中碳黑组

分对光具有强吸收效应, 使其在温室效应中的贡献显著^[8]。 $\text{PM}_{2.5}$ (直径 $\leq 2.5\mu\text{m}$ 的颗粒物)能沉积在呼吸道深部肺泡内, 存留时间久, 造成肺部硬化, 极大威胁人体健康。颗粒物的化学组成, 特别是吸附在颗粒物表层的有害成分主要决定了其对人体健康和环境产生的负效应, 比表面积越大, 吸附重金属^[9]和有毒有害物质越多, 对人体健康的危害越大。此外, 柴油车颗粒物中多环芳烃为城区大气颗粒物中常见多环芳烃(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)的主要来源^[10-11], 影响大气环境和人体健康。

鉴于柴油车排放颗粒物对环境和人体健康的危害, 有关柴油车颗粒物排放的研究一直是热点。本文从柴油车颗粒物排放的影响因素、柴油车颗粒物的采样分析方法和排放特征的研究进展进行综述, 并对中国未来相关研究进行展望。

收稿日期: 2010-09-13; 修回日期: 2011-02-25

作者简介: 姚志良, 讲师, 研究方向为机动车污染控制, 电子邮箱: yaozhl@th.btbu.edu.cn

1 影响柴油车颗粒物排放的因素

柴油车排放颗粒物是一个复杂、动态的过程。颗粒物排放的质量浓度和成分谱受发动机的工况特征、温度和燃油品质等因素影响。

1.1 发动机转速与负荷

在影响柴油机颗粒物排放的动力性能中,发动机转速和负荷最受关注。

柴油车排放颗粒物的质量浓度受工况影响较大,且高负荷下颗粒物的质量浓度排放远高于低负荷下的排放,而碳烟颗粒物中可溶有机组分(Soluble Organic Fraction, SOF)的含量随柴油机负荷的升高而下降^[1]。在低负荷时,排气中颗粒物数量和质量浓度在低转速时明显高于高转速,高负荷时则相反^[3]。Kweon 等^[4]研究了直喷式柴油发动机颗粒物排放特性,发现颗粒物排放总量随负荷增加而增加,其中,怠速时排放量最大,转速由 1200r/min 升高到 1800r/min 时,EC 占排放总量的比例从 10%增加到 90%,有机碳(Organic Carbon, OC)占排放总量的比例则从 80%降低到 10%。Zielinska 等^[5]的研究也发现了相似的规律。柴油机燃料燃烧包括预混合和扩散燃烧两种形式。较高的转速和负荷会导致混合不完全,因而加剧扩散燃烧,EC 排放量增加,怠速和低负荷时 OC 排放量增加^[4,6]。对于 PAHs,高分子 PAHs 多富集于颗粒物,低分子 PAHs 多存在于气相^[7]。PAHs 分布也与负荷有关,低负荷时 3~4 环的 PAHs 主要以气相存在,高负荷时会转化为粒子相^[5]。Riddle 等^[8]发现,大于 5~6 环的 PAHs 在急加速和怠速时以粒子相存在,但在更高负荷时很少发现。

1.2 温度与燃油品质

通常认为颗粒物排放量随环境温度降低而增加。Zielinska 等^[9]研究了汽油车和柴油车分别在 22 和 -1℃时颗粒物中 PAHs、藿烷和甾烷的排放特征。温度对这些污染物排放影响很大,尤其是 PAHs,在 -1℃时高分子 PAHs 排放量是 22℃时的 5~10 倍,可能是燃料的燃烧效率较低,燃烧不完全所致。

在燃油品质方面,柴油类型、硫含量和生物柴油含量等都会对柴油车颗粒物排放产生影响。硫会加速颗粒物的凝聚,在颗粒物成核过程中起重要作用。传统柴油是石油的蒸馏物,包括 75%烷烃(石蜡)和 25%芳香物。当燃料中这些物质的含量减少时,相应的 PAHs 也会减少^[9]。混合生物柴油后,整体 PM 排放量下降,但 SOF 增加,PAHs 排放量降低^[20]。

2 柴油车颗粒物的测试采样和分析方法

2.1 测试采样方法

柴油车颗粒物的测试采样方法主要包括台架测试、隧道实验、路边采样和车载测试。

台架模拟试验^[21]是目前确定机动车排放因子最可靠的方法。在底盘测功机(或发动机台架)上根据标准的测试规程模拟机动车行驶条件,对其排气进行取样与测试分析。台架测试的主要不足是测试难以反映车辆在实际道路的真实排放情况。

隧道实验是利用公路隧道进行机动车排放测试,类似于定容采样。在测量中,公路隧道用来控制汽车尾气的扩散,将采样点设在通风口,且出口与入口之间无其他通风口,通过测量隧道的汽车尾气污染物浓度得到平均排放因子。隧道中大量不同类型车辆排出的气体有足够时间混合并发生化学反应,可以模拟环境真实情况,数据具有代表性。但由于机动车工况较单一且车型复杂,隧道采样应用于排放清单和模型时有一定局限性^[21]。

路边采样通常选择在主干路、快速路、立交桥或者交叉路口等颗粒物浓度受机动车流影响较大的地点设置采样点,获得不同类型车辆的排放特征^[22]。得到机动车排放特征包括尾气管排放、扬尘排放和二次颗粒物等;但较难得到单一车型的排放因子,无法获得机动车瞬态排放特征。

车载测试^[23]是利用置于车上的排放分析仪器与工况测试仪器如 GPS,获取实际路上行驶机动车动态的颗粒物排放状况与对应的工况。研究表明^[24],当估算排放清单时,使用模型需对应不同的工况,不考虑工况会与排放清单的预测不符(差别高达 20 倍),特别是在重型柴油车密度大的区域。随着测试技术不断发展,车载采样系统对污染物的测量已从气态污染物排放因子发展到颗粒物排放因子^[21]。

2.2 样品分析方法

对于颗粒物物理特性的分析,主要涉及质量、物理形态和粒径分布等。颗粒物质量测量最常使用的方法为重力分析法。此外,DMM-230 颗粒分析仪、颗粒物监测仪(TEOM)等也被用于柴油颗粒物质量排放的测试。对于物理形态,常使用带能谱的透射电镜(TEM)和扫描电镜(SEM)进行研究^[25]。对于粒径分布,主要测试方法包括扫描电迁移率颗粒物粒径谱仪(SMPS)和静电低压撞击器(ELPI)。

颗粒物的化学特征主要包括元素、EC/OC、无机离子及有机组分等。元素分析通常使用 X 射线荧光光谱法、等离子发射光谱-质谱法(ICP-MS)分析。使用聚四氟乙烯膜收集颗粒物样品需酸消解后测定。Kellog 和 Winberry^[26]使用 X 射线荧光光谱法检测到大气颗粒物中有位于元素周期表第二周期甚至更低行的 44 种元素。检测限随元素不同而变化,聚四氟乙烯膜收集样品检测限范围都在 ng/cm² 级以上。ICP-MS 具有较高的灵敏度,适用于检测金属元素,在测试前,样品需先进行微波消解^[27]。

目前国际上尚无公认的测定 EC/OC 的标准方法。实验室中应用较为普遍的方法有热分解法和热分解光学分析法等。热分解方法是测定大气颗粒物中碳的常用方法,通过程序升温测定不同温度段下,样品挥发和分解 CO₂ 和 CH₄ 的质量浓度来推算大气颗粒物中有机碳含量叫热分解程序升温法,这是对热分解法的进一步改进。热分解光学分析法利用元素碳的光学性质,通过测定滤膜样品对光的反射率,结合 CO₂ 和 CH₄ 的质量浓度变化测定出有机碳和元素碳浓度,通过改变气体媒介配比,把元素碳从有机碳中分离并准确测定。

无机离子,尤其是 SO₄²⁻,是柴油车排放颗粒物的重要组成

部分。离子分析时颗粒物样品收集到聚四氟乙烯膜。以水为提取液,样品经超声波提取后,水溶性的离子使用离子色谱法测定。通过色谱的保留时间定性,比对标准样品定量。

目前,颗粒物有机物的主要分析手段为气相色谱-质谱联用 GC/MS。颗粒物中部分有机物含量少、成分复杂,多数情况下样品不能直接上机分析,需进行预处理。

3 柴油车颗粒物排放特征研究

3.1 质量浓度和粒径分布研究

柴油机颗粒物是由于燃料燃烧不均匀或不完全,在高温缺氧条件下氧化、裂解而形成^[28]。柴油机的颗粒量高出汽油机 30~100 倍^[12]。柴油机燃烧产生的颗粒物主要以 3 种形态存在^[4-5]:成核态($5\text{nm}<D_p<50\text{nm}$)、聚积态($100\text{nm}<D_p<300\text{nm}$)和粗颗粒($D_p>1\mu\text{m}$),其中 D_p 为颗粒物的直径。成核态颗粒在颗粒物总质量分布中,只占 1%~20%,但在粒数分布中,所占比例可能超过 90%。聚积态颗粒物的粒数浓度较稳定,在实验中表现出很好的可重复性。粗颗粒物对于粒数浓度几乎没有影响,但对颗粒物的总质量有很大贡献。如利用车载测试试验,结果显示^[29],柴油车排放颗粒物直径小于 $0.3\mu\text{m}$ 的粒数目浓度占全部的 99% 以上。

研究显示,除个别极端情况,颗粒物粒径分布不随发动机类型和工况改变而变化^[30]。Su 等^[31]的研究表明,现代满足欧 IV 排放标准的发动机排放颗粒物粒径明显比老式发动机小。

3.2 来源和组分研究

柴油车排放颗粒物来源及组分的研究较早,始于 20 世纪 70 年代初。颗粒物主要源于柴油车排气管,轮胎,刹车和路面浮尘,主要组分包括含碳物质、硫酸盐和无机物质^[32]。

早期研究主要针对汽油车与柴油车排放特征比较^[33],机动车排放颗粒物中能被识别的成分约 80% 是含碳化合物,主要来自重型柴油车^[32]。含碳物质(元素碳和有机碳)是颗粒物质量的主要组成,相同油耗量下重型柴油车排放颗粒物量约是汽油车排放的 20 倍,柴油机排放 EC 约占颗粒物总质量 50%~70%,汽油车约占 30%~40%,硫酸盐仅占 PM 总量的小部分(<5%)。对于 EC/OC,柴油车排放率要高于汽油车^[34]。

柴油机排放的颗粒物包括液体和固体物质,液体物质主要是未燃烧的润滑油和柴油油滴,柴油油滴主要以含在碳烟颗粒物内的形式存在,而润滑油是独立存在的颗粒。固体物质包括粉尘颗粒、碳颗粒和金属颗粒。粉尘颗粒包括大气中的飘尘、燃油中硫分燃烧而成的盐类。活塞、活塞环与气缸套摩擦磨损会产生金属颗粒^[35]。邹建国等^[12]采用过滤分离、超声洗脱和气质联用等技术,测定了柴油机尾气碳烟颗粒物的质量浓度可溶性有机组分在颗粒物中的质量分数和可溶性有机组分的化学组成,认为柴油机尾气中碳烟颗粒物的质量浓度为 $32.6\sim 143.6\text{mg}/\text{m}^3$ 。SOF 在颗粒物中的质量分数 18.5%~89.4%。李芳等^[36]按照十三工况法采集柴油机颗粒物样品,得到了无机离子的排放特征,阳离子钠离子和铵根离子的含量较高,平均值分别为 $30.93, 25.07\text{mg}/\text{g}$,钙离子和钾离子含量

较低,平均值为 $20.10, 17.27\text{mg}/\text{g}$,各样品的阳离子含量随发动机型号的改变无显著变化。与其他阴离子相比所有样品硫酸根含量均较高,最大值为 $139.89\text{mg}/\text{g}$,最小值为 $92.52\text{mg}/\text{g}$ 。

3.3 有机组分研究

与颗粒物中无机组分相比,人们对其中有机组分的化学组成、浓度水平和形成机制还不清楚,因为是由上百种有机化合物组成,化学性质和热力学性质相差很大,给研究带来一定困难。

20 世纪 80 年代中期 Cass 等对机动车颗粒物排放特征进行了全面深入研究^[37-38],大力发展示踪剂技术,定量了超过 100 种有机化合物,包括正构烷烃、正构烷酸、苯甲酸、苯甲醛、PAHs、oxy-PAHs、甾、五环萜和萘,认为颗粒物中有机物来源于燃烧不完全的燃料和润滑油,其中部分氧化产物,燃料和油品添加剂的金属灰烬。

有机示踪剂选择是依据排放源,主要包括催化和无催化装置的汽油车、柴油车、木炭烟,烧烤,排放藿和甾(来自非合成润滑油)机动车等^[39-40]。但有机示踪剂会随着工况,负荷和颗粒物粒径的变化而变化^[17-18,41],如高负荷下藿烷和甾烷容易富集在细粒子上。大气温度和采样条件也会影响示踪剂样品的稳定性^[38-40,42]。

PAHs 为有毒污染物,也是淘汰含铅汽油后机动车的潜在示踪剂,汽油车安装催化转化器之后,PAHs 排放量有下降的趋势^[43]。

相比较汽油车,柴油车排放颗粒物有机组分被提取部分可以用色谱法分辨的不到 10%,而其中约 50% 的物质是难以识别的复杂化合物。粗略估计机动车颗粒物中被解析定量的有机物有 100 多种,仅占总有机物质量的 5% (如图 1)^[44]。尽管如此,其为发动机和燃料类型对于颗粒物排放影响提供了非常有用的信息。

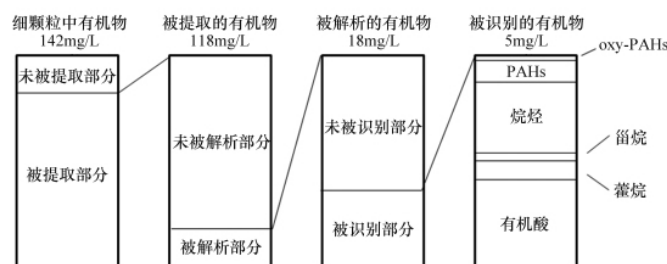


图 1 在洛杉矶 van Nuys 隧道机动车排放颗粒物中有机化合物物质平衡图

Fig. 1 Material balance for the organic composition of motor vehicle PM in the van Nuys Tunnel, Los Angeles

4 结论

目前,发展中国家在利用化学质量平衡模型进行 PM 源解析时,主要使用北美的源成分谱图^[45-46]。由于国内柴油车在技术和燃油品质上与国外都有很大差异,应用国外的成分谱图(颗粒物中含有的物质与含量),如无机离子、有机物

等^[45-46]可能会给源解析带来误差。而国内关于柴油车颗粒物理化特征研究还尚少,建立源成分谱的数据还不足;且随着发动机技术和燃油品质的改进,源成分谱也需要及时更新,因此非常有必要进一步开展相关研究。

在采样方法上,目前主要基于实验室台架测试,可能无法准确反映实际道路的真实情况,因此,有必要利用车载测试技术开展柴油车颗粒物理化特征研究。

在颗粒物组分特征研究方面,中国有关柴油车颗粒物有机成分的研究主要针对 PAHs,对其他有害有机物的研究还有待加强,且柴油车动力性能、油品质量、环境温度、润滑油、排放后净化处理技术等对柴油车颗粒物理化特征的影响还需深入研究。

明确颗粒排放物的来源并有针对性地采取控制是满足未来排放法规的需要。因此,建立颗粒排放物的组成与来源分析技术是颗粒排放研究工作的重要一环,仍需要在颗粒采集, SOF 色谱图解谱,各组分来源与发动机性能设计的相关性等方面开展更为细致的研究和积累工作。

参考文献 (References)

- [1] Kim Oanh N T, Upadhyaya N, Zhuang Y H, *et al.* Particulate air pollution in six Asian cities: Spatial and temporal distributions, and associated sources[J]. *Atmospheric Environment*, 2006, 40(18): 3367-3380.
- [2] 傅立新, 程玲琳, 粘桂莲, 等. 移动污染源大气环境影响研究报告[R]. “十五”国家重大科技专项课题(2002BA906A15). 北京: 清华大学环境工程系, 2005: 57-93.
Fu Lixin, Cheng Linglin, Nian Guilian, *et al.* Study of the mobile sources of atmospheric environmental impact [R]. Study "Fifeen" special issue of major national science and technology (2002BA906A15). Beijing: Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, 2005: 57-93.
- [3] 吴烨, 郝吉明, 李伟, 等. 应用 PART5 模式计算机动车尾气管的颗粒物排放[J]. 环境科学, 2002, 23(1): 6-10.
Wu Ye, Hao Jiming, Li Wei, *et al.* *Environmental Science*, 2002, 23(1): 6-10.
- [4] Kittelson D B. Engines and nanoparticles: A review[J]. *Aerosol Sci*, 1998, 29(5/6): 575-588.
- [5] Brown J E, Clayton M J, Harris D B, *et al.* Comparison of the particle size distribution of heavy-duty diesel exhaust using a dilution tailpipe sampler and an in-plume sampler during on-road operation [J]. *J Air Waste Manage Assoc*, 2000, 50: 1407-1416.
- [6] Beckett K P, Freer-Smith P H, Taylor G. Urban woodlands: Their role in reducing the effects of particulate pollution [J]. *Environmental Pollution*, 1998, 99(3): 347-360.
- [7] Harley R A, Marr L C, Lehner J K, *et al.* Changes in motor vehicle emissions on diurnal to decadal time scales and effects on atmospheric composition [J]. *Environmental Science and Technology*, 2005, 39(14): 5356-5362.
- [8] Jacobson M Z. Strong radiative heating due to the mixing state of black carbon in atmospheric aerosols[J]. *Nature*, 2001, 409: 695-697.
- [9] Mohanral R, Azeez P A, Priscilla T, *et al.* Heavy metals in airborne particulate matter of urban Coimbatore [J]. *Environmental Contamination and Toxicology*, 2004, 47(2): 162-167.
- [10] Rhead M M, Hardy S A. The sources of polycyclic aromatic compounds

- in diesel engine emissions[J]. *Fuel*, 2003, 82(4): 385-393.
- [11] Valavanidis A, Fiotakis K, Vlahogianni T, *et al.* Characterization of atmospheric particulates, particle-bound transition metals and polycyclic aromatic hydrocarbons of urban air in the centre of Athen(Greece) [J]. *Chemosphere*, 2006, 65(5): 760-768.
- [12] 邹建国, 钟秦. 柴油机排放颗粒物组成分析 [J]. 中国环境监测, 2006, 22(3): 23-26.
Zhou Jianguo, Zhong Qin. *Environment Monitoring in China*, 2006, 22(3): 23-26.
- [13] 屠晓栋, 王嘉松, 张华, 等. 直喷式二冲程柴油机超细颗粒物排放特性的实验研究[J]. 内燃机工程, 2007, 28(5): 75-78.
Tu Xiaodong, Wang Jiasong, Zhang Hua, *et al.* *Chinese Internal Combustion Engine Engineering*, 2007, 28(5): 75-78.
- [14] Kweon C B, Foster D E, Schauer J J, *et al.* Detailed chemical composition and particle size assessment of diesel engine exhaust [C]. SAE Technical Paper 2002-01-2670. SAE Powertrain and Fluid Systems Conference and Exhibition, San Diego, CA, USA, 2002, doi: 10.4271/2002-01-2670.
- [15] Zielinska B, Sagebiel J, Arnott W P, *et al.* Phase and size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel and gasoline vehicle emissions[J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(9): 2557-2567.
- [16] Kweon C B, Okada S, Stetter J C, *et al.* Effect of injection timing on detailed chemical composition and particulate size distributions of diesel exhaust[J]. *SAE transactions*, 2003, 112(4): 991-1005.
- [17] Shi J P, Mark D, Harrison R M. Characterization of particles from a current technology heavy-duty diesel engine [J]. *Environmental Science & Technology*, 2000, 34(5): 748-755.
- [18] Riddle S G, Robert M A, Jakober C A, *et al.* Size distribution of trace organic species emitted from heavy-duty diesel vehicles [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(6): 1962-1969.
- [19] Ball J C, Lapin C, Buckingham J, *et al.* Dimethoxy methane in diesel fuel: Part 1. The effect of fuels and engine operating modes on emissions of toxic air pollutants and gas/solid phase PAH [C]. SAE Technical Paper 2001-01-3627. SAE International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition, San Antonio, Tx, USA, 2001, doi: 10.4271/2001-01-3627.
- [20] Lin Y C, Lee W J, Wu T S, *et al.* Comparison of PAH and regulated harmful matter emissions from biodiesel blends and paraffinic fuel blends on engine accumulated mileage test [J]. *Fuel*, 2006, 85 (17-18): 2516-2523.
- [21] 胡京南. 机动车尾气 PM_{2.5} 排放特征研究[D]. 北京: 清华大学, 2005.
Hu Jingnan. Study on characteristics of vehicular exhaust PM_{2.5} emissions[D]. Beijing: Tsinghua University, 2005.
- [22] Phuleria H C, Sheesley R J, Schauer J J, *et al.* Roadside measurements of size-segregated particulate organic compounds near gasoline and diesel-dominated freeways in Los Angeles, CA[J]. *Atmospheric Environments*, 2007, 41(22): 4563-4671.
- [23] Cocker III D R, Shah S D, Johnson K J, *et al.* Development and application of a mobile laboratory for measuring emissions from diesel engines. 1. Regulated gaseous emissions [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(7): 2182-2189.
- [24] Cocker III D R, Shah S D., Johnson K C, *et al.* Development and application of a mobile laboratory for measuring emissions from diesel engines. 2. Sampling for toxics and particulate Matter [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, 38(24): 6809-6816.
- [25] 王冰, 张承中. 大气可吸入颗粒物 PM_{2.5} 研究进展 [J]. 能源与环境, 2009(8): 25-26.

- Wang Bing, Zhang Chengzhong. *Energy and Environment*, 2009(8): 25-26.
- [26] Kellogg R, Winberry W, Jr. EPA compendium method IO-3.3: Determination of metals in ambient particulate matter using X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy[S]. U.S. Environmental Protection Agency. 1999.
- [27] Lough G C, Schauer J J, Park J S, *et al.* Emissions of metals associated with motor vehicle roadways [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(3): 826-836.
- [28] 蒋德明. 内燃机燃烧与排放学[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2001. Jiang Deming. Combustion and emissions study [M]. Xi'an: Xi'an Jiaotong University Press, 2001.
- [29] 张远军. 机动车颗粒物排放测试与研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006. Zhang Yuanjun. Test and study on vehicle emission of PM [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006.
- [30] Harris S, Maricq M. Signature size distributions for diesel and gasoline engine exhaust particle matter [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2001, 32(6): 749-764.
- [31] Su D S, Müller J O, Jentoft R E, *et al.* Fullerene-like soot from EuroIV diesel engine: Consequences for catalytic automotive pollution control[J]. *Topics in Catalysis*, 2004,30/31(1-4): 241-245.
- [32] Szkarlat A C, Japar S M. Optical and chemical properties of particle emissions from on-road vehicles [J]. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1983, 33(6): 592-597.
- [33] Kirchstetter T W, Harley R A, Kreisberg N M, *et al.* On-road measurement of fine particle and nitrogen oxide emissions from light- and heavy-duty motor vehicles[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(18): 2955-2968.
- [34] Geller M D, Sardar S B, Phuleria H, *et al.* Measurements of particle number and mass concentrations and size distributions in a tunnel environment[J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39(22): 8653-8663.
- [35] 何元, 王恒. 柴油机排放颗粒物的观测及分析 [J]. 小型内燃机, 2000, 29(5): 35-38. He Yuan, Wang Heng. *Small Internal Combustion Engine*, 2000, 29(5): 35-38.
- [36] 李芳. 柴油发动机颗粒排放物的组份研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2009. Li Fang. Study on the group of particulate emissions from diesel engines [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2009.
- [37] Hildemann L M, Markowski G R, Cass G R. Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol [J]. *Environmental Science & Technology*, 1991, 25(4): 744-759.
- [38] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 5. C1-C32 organic compounds from gasoline-powered motor vehicles [J]. *Environmental Science & Technology*, 2002, 36(6): 1169-1180.
- [39] Fraser M P, Cass G R, Simoneit B R T. Gas-phase and particle-phase organic compounds emitted from motor vehicle traffic in a Los Angeles roadway tunnel [J]. *Environmental Science & Technology*, 1998, 32(14): 2051-2060.
- [40] Fraser M P, Cass G R, Simoneit B R T. Particulate organic compounds emitted from motor vehicle exhaust and in the urban atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(17): 2715-2724.
- [41] Zielinska B, Sagebiel J, McDonald J D, *et al.* Emission rates and comparative chemical composition from selected in-use diesel and gasoline fueled vehicles [J]. *Journal of the Air Waste Management Association*, 2004, 54(9): 1138-1150.
- [42] Gross D S, Barron A R, Sukovich E M, *et al.* Stability of single particle tracers for differentiating between heavy- and light-duty vehicle emissions[J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(16): 2889-2901.
- [43] Jr Benner B A, Gordon G E, Wise S A. Mobile sources of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: A roadway tunnel study [J]. *Environmental Science & Technology*, 1989, 23(10): 1269-1278.
- [44] Maricq M M. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review[J]. *Aerosol Science*, 2007, 38(11): 1079-1118.
- [45] Chowdhury Z, Zheng M, Schauer J J, *et al.* Speciation of ambient fine organic carbon particles and source apportionment of PM_{2.5} in Indian cities[J]. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 2007, 112(15): 14. doi:10.1029/2007JD008386.
- [46] Lee H, Park S S, Kim K W, *et al.* Source identification of PM_{2.5} particles measured in Gwangju, Korea[J]. *Atmospheric Research*, 2008, 88(3-4): 199-211. (责任编辑 岳臣)

· 学术动态 ·

第九届中国不确定系统年会

时间: 2011年7月27-31日

地点: 南京

主办: 中国运筹学会 承办: 南京理工大学

会议主题:

不确定理论、可信性理论、不确定分析、不确定规划、随机规划、模糊规划、最优化、对策、控制、人工智能、机器学习、知识表达、近似推理、数据挖掘、多值逻辑、不确定逻辑、信息扩散、智能系统、机器学习、决策科学、软计算、车辆调度问题、可靠性问题、存贮问题、排序问题、网络优化、风险分析、物流与供应链管理、金融工程。

通信地址: 南京理工大学理学院(210094); 电话: 025-84315878

电子信箱: email@infcom@mail.njust.edu.cn; 会议网址: infcom.njust.edu.cn/conference