

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.017

机动车颗粒物排放控制策略研究

郭 栋, 商 强, 高 松, 王晓原, 房海涛

(山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东 淄博 255049)

摘 要: 颗粒物已经成为造成环境污染和影响人体健康的主要污染物之一, 而机动车颗粒物排放占污染物的 60% 以上。目前中国对机动车颗粒物排放的研究较少, 没有系统提出相应的控制策略。文章首先分析了机动车颗粒物的生成机理及影响因素; 根据《中国机动车污染防治年报》统计数据, 使用 MATLAB 建立了汽车、低速汽车及机动车数量与颗粒物排放量之间的数学模型, 预测未来 5 a 内的机动车颗粒物的排放总量。结果表明机动车颗粒物排放逐年增加, 2015 年将达到 1.0322×10^6 t; 而低速汽车数的 PM 排放量会逐年缓慢降低, 这主要受国家政策影响。最后, 根据分析预测结果, 提出了机动车颗粒物排放控制策略。

关键词: 颗粒物; 机动车保有量; 数学模型; 排放控制

中图分类号: U491.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2013)S2-0069-04

Strategy to Control Motor Vehicle Emission Particulate Matter

Guo Dong, Shang Qiang, Gao Song, Wang Xiaoyuan, Fang Haitao

(School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255049, P. R. China)

Abstract: Particulate matter has become one of the major pollutants causing environmental pollution and affects human health. Motor vehicle particulate matter emissions accounted for more than 60% of the pollutants. At present, research on motor vehicle particulate matter emissions has inadequate systematic control strategies. This paper first analyzes the draw of the motor vehicle particulate matter formation mechanism and influencing factors. According to the statistics of the China Motor Vehicle Pollution Prevention Annual Report, mathematical models of the number of cars, the number of low speed motor vehicles and the number of motor vehicles with particulate matter emissions are presented using MATLAB, and the total amount of motor vehicle particulate emissions in the next five years is predicted. The results show that the motor vehicle particulate emissions increases every year and reached 1.0322 million tons in 2015. Low-speed vehicle number PM emissions will gradually be reduced slowly, mainly influenced by national policies. Finally, according to the analysis and forecasting results, an effective motor vehicle particulate matter emission control strategy is put forward.

Key words: particulate matter; motor vehicle ownership; mathematical model; control emission

PM_{2.5}是指大气中直径小于或等于 2.5 μm 的颗粒物, 也称为可入肺颗粒物, 其对环境的污染和对人类的危害已被国内外研究证实^[1-5]。其主要来源是汽车尾气排放及工业生产, 其中机动车尾气排放的 PM_{2.5} 占 60% 以上, 尤其是柴油机动车尾气。相关研究表明, PM_{2.5} 占据机动车 PM 排放的 90% 以上, 由于 PM_{2.5} 的测试试验数据较少, 相关研究主要针对 PM 的排放。

许多世界发达国家都展开了针对 PM 的研究和检测。美国和欧洲一些国家早在十多年前就展开了对 PM 质量浓度的时空分布、排放清单、排放特征谱、源解析以及对大气能见度和人体健康影响等方面的深入研究^[6]。一些欧美及亚洲国家、澳大利亚等也都已经出台相应的有关 PM₁₀ 甚至 PM_{2.5} 的空气质量标准^[7]。国内针对 PM 的研究起步较晚, 仅仅集中在大城市的环境保护和检测部门以及少数的大学。

中国环境保护科学院在过去十多年的时间里对柳州、广州、云冈、北京和厦门等地的细微颗粒物进行过短期研究。北京市环保局组织了相关专题: “北京市蓝天工程—能见度及其影响因素和改善途径研究”, 研究了关于北京市的 PM_{2.5} 与大气的能见度之间的关系, 同济大学、清华大学和通用汽车公司研发中心一起在上海与北京对 PM_{2.5} 进行取样和分析, 对 1 a 里两城市的颗粒物污染特征进行研究^[7-8]。但是目前针对机动车 PM 生成机理及控制策略的研究不够系统。

文章首先研究了机动车 PM 的化学生成机理以及影响其生成的各种因素, 包括柴油的品质、柴油机的转速和负荷、喷油提前角和喷油速率等。然后统计了近几年汽车、低速汽车及机动车保有量和 PM 的排放总量之间的关系, 并建立数学模型, 运用 MATLAB 预测出未来 5 a 内的机动车 PM 的排放总量。最后结合上述分析和预测情况, 提出了相应的

收稿日期: 2013-09-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(61074140), 山东省高等学校科技计划项目(J12LI02)

作者简介: 郭栋(1984-), 男, 博士, 讲师, 主要从事机动车排放污染控制方面的研究, (E-mail) ghyuyu@163.com。

PM 排放控制策略。

1 机动车 PM_{2.5} 生成机理与影响因素

研究 PM 生成机理与影响因素,不仅能够从根源上制定控制策略,也可以为选取经济有效的控制手段提供依据。

1.1 生成机理

PM 是由排进空气中的一次微粒和空气中的气态污染物通过化学转化生成的二次微粒组成。柴油车排放污染颗粒物主要是 PM,其排放物中 PM_{2.5} 占 92.3%。微粒排放量是汽油机的 30~50 倍^[10]。

1) 烟粒生成机理。柴油机排放的烟粒主要由燃油中含有的碳产生。炭烟微粒生成过程如图 1 所示。

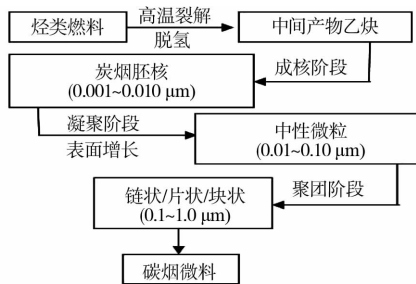


图 1 炭烟微粒生成机理

2) 烟粒的氧化。燃烧过程中生成的炭烟颗粒是可燃的,其中很大一部分在燃烧的后续过程中会被烧掉(氧化)。

1.2 影响因素

1) 柴油品质。柴油中十六烷值较高时,会有较大的冒烟倾向。柴油中硫的含量能明显影响 PM 的排放。

2) 转速和负荷。在整个转速范围内,间接喷射柴油机烟度比直接喷射柴油机要低,由于转速增加,会导致直接喷射柴油机混合气的形成和燃烧质量变差,在一定程度上增加烟度。如果转速恒定,随着负荷的增加柴油机的烟度也会随之增多。在低转速时,间接喷射柴油机的排烟情况不如直接喷射,但高转速时,间接喷射明显好于直接喷射^[11]。

3) 喷油提前角和喷油速率。直接喷射柴油机控制其它参数不变,增大喷油提前角能够使碳烟排放量降低。对于间接喷射柴油机,会因为喷油提前角的迁移和副燃烧室里混合气提前燃烧,使主副室间的产生压力差,阻碍空气由主室流进副室,降低涡流室中空气含量,对碳烟生成有利。

4) 喷油压力和喷孔直径。提高喷油压力和减小喷孔直径能明显降低 PM 中碳的排放。提高压力可使燃油喷雾有利,增大燃油与空气的接触面积减少蒸发时间,使混合气混和充分,浓度更均匀,适当地降低空气涡流运动、提高压缩比和采用可变定时燃油喷射,达到降低 PM 的效果。

2 机动车 PM 排放回归分析

2.1 数据来源

根据 2011 年发布的《中国机动车污染防治年报》,相关机动车的污染物排放分担率如图 2 所示。

按照《中国机动车污染防治年报》可知,中国机动车 PM 污染物的主要来源是汽车与低速汽车。根据统计的近几年 PM 排放数据和汽车数量、低速汽车数量及机动车保有量如表 1~3 所示。

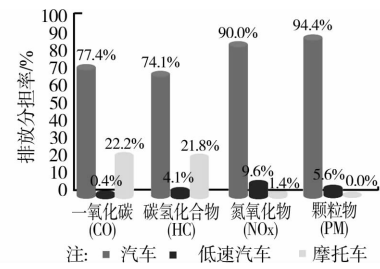


图 2 2011 年发布的机动车污染物排放分担率

表 1 汽车数量与 PM 排放量

年份	汽车数量/10 ⁴ 辆	PM 排放量/10 ⁴ t
2000	1 605	37.7
2001	1 898	39.8
2002	2 050	42.5
2003	2 406	43.7
2004	2 815	45.6
2005	3 170	47.2
2006	3 750	46.5
2007	4 352	48.9
2008	5 099	49.8
2009	6 210	54.1
2010	7 721	59.8

表 2 低速汽车数量与 PM 排放量

年份	低速汽车数量/10 ⁴ 辆	PM 排放量/10 ⁴ t
2005	1 167	2.3
2006	1 381	3.5
2007	1 449	3.6
2008	1 491	3.8
2009	1 330	3.1
2010	1 284	3.0

表 3 机动车数量与 PM 排放量

年份	机动车数量/10 ⁴ 辆	PM 排放量/10 ⁴ t
2005	11 955.8	49.5
2006	13 259.6	49
2007	14 520.5	52.7
2008	15 588.3	53.4
2009	16 995.1	57.2
2010	19 006.2	63.1

2.2 回归分析

根据表 1~3 中的数据,使用 MATLAB 分别对汽车数量、低速汽车数量及机动车保有量与其相应的 PM 排放量,进行数据回归,如图 3~5 所示。

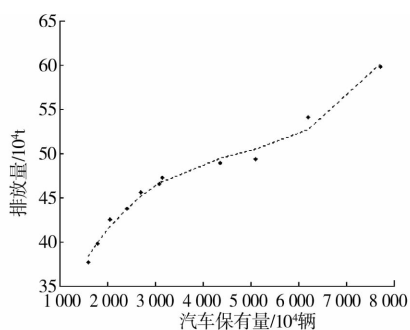


图 3 汽车保有量与 PM 排放量关系

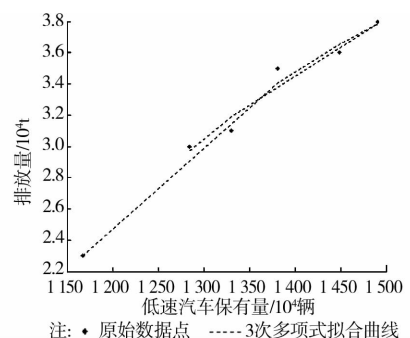


图 4 低速汽车保有量与 PM 排放量关系

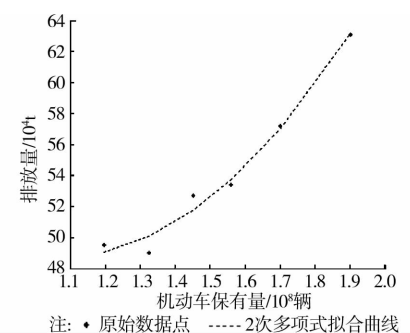


图 5 机动车保有量与 PM 排放量关系

2.3 预测机动车 PM 排放量

根据 2.2 小节中的所建立的汽车 PM 排放量模型,低速汽车 PM 排放量模型和机动车 PM 排放量模型,预测出未来 5 a PM 排放量情况如表 4 和 5 所示。汽车、低速汽车及机动车数量的预测也采用回归分析的方法,此处略去。

表 4 2011~2015 年汽车、低速汽车数量与 PM 排放量

年份	汽车数量/ 10 ⁴ 辆	PM 排放量/ 10 ⁴ t	低速汽车数量/ 10 ⁴ 辆	PM _{2.5} 排放量/ 10 ⁴ t
2011	8 229	69.13	1 302.0	2.86
2012	8 691	75.90	1 307.3	2.69
2013	9 253	83.36	1 310.5	2.50
2014	9 815	91.52	1 313.2	2.34
2015	10 377	100.63	1 316.9	2.16

表 5 2011—2015 年机动车数量与 PM 排放量

年份	机动车数量/10 ⁴ 辆	PM 排放量/10 ⁴ t
2011	21 236.1	72.01
2012	22 629.0	78.59
2013	24 022.3	85.99
2014	25 415.0	94.20
2015	26 805.0	103.22

数据分析可知,从 2011 年到 2015 年,机动车 PM 排放逐年增加,预测在 2015 年机动车 PM 的排放量将突破 10⁶ t,达到 1.032 2×10⁶ t;低速汽车的 PM 排放量会缓慢降低,这主要受国家政策影响。

3 机动车 PM 控制策略

结合分析的机动车 PM 生成机理及影响因素,以及机动车数量与 PM 的回归分析,提出以下的控制机动车 PM 生成的策略。

3.1 发展新能源汽车

新能源汽车大体可以分为 3 类:混合动力汽车、蓄电池电动汽车和燃料电池汽车。纯电动新能源汽车和燃料电池汽车相对于传统内燃机汽车来说实现了完全的零排放。

3.2 控制排放标准

有数据显示,每提高一次标准,单车污染减少 30%~50%,削减 PM 的排放从国 III 到国 IV,环保等指标进一步加严,其中硫含量从 50 mg/L 降到 10 mg/L,油品质量也进一步提高。以我国现在的排放控制水平,预计在 2015 年全国统一实行国 V 排放标准,柴油机对 PM 的极限值达到 0.012 5 g/km,在国 IV 水平上继续下降 50%左右^[12]。

3.3 提高发动机技术

控制污染物排放的首要问题是发动机技术的改善和提高。柴油机是机动车 PM 的重要来源,特别是重型柴油机。柴油发动机排气净化措施有 3 个途径^[13]。

1)前处理。方法主要是改变燃料性质,在柴油中加入消烟添加剂、进气管喷水或者柴油掺水等。

2)机内净化。对燃烧过程本身进行改进,减少有害气体的产生,方法主要有推迟喷油、提高喷油速率、加强进气涡流、采用分隔式燃烧室等。

3)后处理。用除尘滤清净化装置、催化反应方法对排气最后处理,进一步降低有害排放物。

3.4 对在用车排气污染监控和治理

1)增设交通干线空气质量检测点。加强在用车排气污染的监督管理,积极鼓励机动车污染定期检测,强制维护保养。

2)对新生产车辆要实行严格的准入制度,加速淘汰高排放“黄标车”。

3)提高城市交通规划、管理水平,减轻交通拥堵;增加道路周边绿化。

3.5 限制机动车的增长和使用

限制机动车的数量和使用,是治理机动车 PM 等污染物排放的根本途径,具体措施如下:

1)发展公共交通,减少小汽车使用量;对道路资源和公

共设施合理规划,减少不必要的出行。

2)对机动车保有量的发展做出规划及私人汽车限行制度的实施。

3)充分利用经济手段进行调控。补贴淘汰老旧车,处罚高排放车辆,鼓励购买新能源汽车。

4 结 论

1)机动车 PM 排放主要来自柴油机,影响因素包括柴油品质、转速和负荷、喷油提前角和喷油速率及喷油压力和喷孔直径。

2)构建了汽车数量、低速汽车数量及机动车数量与 PM 排放量之间的数学模型,并通过回归分析预测了 2011~2015 年的 PM 排放量,结果表明 2011~2015 年,机动车 PM 排放逐年增加,预测在 2015 年机动车 PM 的排放量将突破 10^6 t,达到 1.0322×10^6 t;低速汽车的 PM 排放量会缓慢降低。

3)提出了控制机动车 PM 排放的手段,包含发展新能源汽车、控制排放标准、提高发动机技术、对在用车排气污染监控和治理。

参考文献:

- [1] Deng F R, Guo X B, Liu H, et al. Effects of dust storm $PM_{2.5}$ on cell proliferation and cell cycle in human lung fibroblasts [J]. *Toxicology in Vitro*, 2007, 21(4): 632-638.
- [2] 叶文波. 宁波市大气可吸入颗粒物 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的源解析研究 [J]. *环境污染与防治*, 2011, 33(9): 66-69.
- [3] 杨铁骥, 宋宏. 细颗粒物 ($PM_{2.5}$) 对呼吸系统的毒性作用 [J]. *毒理学杂志*, 2005, 19(2): 146-148.
- [4] Lu S L, Yao Z K, Chen X H, et al. The relationship between physicochemical characterization and the potential toxicity of fine particulates ($PM_{2.5}$) in Shanghai atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(31): 7205-7214.
- [5] 韩毓, 白志鹏, 孙韧. 颗粒物质量浓度对大气能见度水平影响分析 [J]. *环境监测管理与技术*, 2008, 20(4): 60-65.
- [6] 朱春, 张旭, Morawska L. 机动车细微颗粒物及气体污染物排放的隧道实测研究 [J]. *环境污染与防治*, 2010, 32(5): 19-25.
- [7] 王冰, 张承中. 大气可吸入颗粒物 $PM_{2.5}$ 研究进展 [J]. *中国科技信息*, 2009(8): 25-26.
- [8] Grimmer G. Environmental carcinogens: global emission projections of particulate matter (PM): I. Exhaust emissions from on-road vehicles [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(28): 4830-4844.
- [9] 尚伟, 黄超, 王菲. 超细颗粒物 $PM_{2.5}$ 控制技术综述 [J]. *环境科技*, 2008, 21(2): 77-79.
- [10] 孙吉树, 孙英兰. 柴油机排放污染中微粒物的生成机制及影响因素 [J]. *延边大学农学报*, 2005, 27(3): 212-216.
- [11] Liu X Z, Frey H C. Modeling of in-vehicle human exposure to ambient fine particulate matter [J]. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(27): 4745-4752.
- [12] 纪亮, 袁盈, 李刚, 等. 我国机动车排放标准的大气污染物减排效果研究 [J]. *环境工程技术学报*, 2011, 1(3): 237-242.
- [13] 姚志良, 王岐东, 张英志, 等. 负载对实际道路重型柴油车排放的影响研究 [J]. *环境污染与防治*, 2012, 34(3): 63-67.

(编辑 薛婧媛)