

# The Study of Regional Distribution Characteristics and Sources of PM<sub>2.5</sub> in China

Changbing Liu, Xiaofeng Luo, Wei Huang, Le Yu

Key Laboratory of Environmental Protection in Water Transport Engineering, Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Ministry of Transport, Tianjin  
Email: boyluoxfstudent@sina.com

Received: Dec. 28<sup>th</sup>, 2015; accepted: Apr. 4<sup>th</sup>, 2016; published: Apr. 11<sup>th</sup>, 2016

---

## Abstract

According to the distribution of PM<sub>2.5</sub>, the regional characteristics of PM<sub>2.5</sub> were summarized as follow: the north is higher than the south, the inland is higher than the coastal, and the plain is higher than the plateau. Focusing on several typical cities, the relationship among the source of PM<sub>2.5</sub>, industrial structure and the climate factors was studied. The characteristic and the sources of pollutants in our country were reviewed; the corresponding control measures were put forward.

## Keywords

PM<sub>2.5</sub>, Regional Distribution, Sources, Control Measures

---

# 我国PM<sub>2.5</sub>区域分布特征及来源研究

刘长兵, 罗小凤, 黄伟, 余乐

交通运输部天津水运工程科学研究所水路交通环境保护技术交通行业重点实验室, 天津  
Email: boyluoxfstudent@sina.com

收稿日期: 2015年12月28日; 录用日期: 2016年4月4日; 发布日期: 2016年4月11日

---

## 摘要

根据我国PM<sub>2.5</sub>分布现状, 总结了我国PM<sub>2.5</sub>的区域分布特征是北方高于南方、内陆高于沿海、平原高于高原, 重点研究了几个典型城市的PM<sub>2.5</sub>来源及其与产业结构、气候等因素的联系, 并对我国污染物的特征和来源进行了综述, 提出了相应的控制措施。

## 关键词

PM<sub>2.5</sub>, 区域分布, 来源, 控制措施

## 1. 引言

近年来,我国大部分城市地区雾霾天气加重,大气颗粒物是形成雾霾的重要成分。根据颗粒物的粒径的大小,一般将颗粒物分为总悬浮颗粒物(TSP)、可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>)和细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)。其中,TSP是指空气动力学直径小于100 μm的颗粒物,PM<sub>10</sub>是指空气动力学直径小于的10 μm颗粒物,PM<sub>2.5</sub>为空气动力学直径小于2.5 μm的颗粒物。相比PM<sub>10</sub>,PM<sub>2.5</sub>更易于富集空气中的有毒重金属、酸性氧化物、有机污染物、细菌和病毒,且颗粒物的粒子半径越小,其化学成分越复杂,毒性越大。一是因为小颗粒物较大的表面积使其能吸附更多的有害物质,并能使毒性物质有更高的反应和溶解速度;二是因为这些细颗粒物可以进入人的肺部,对人体健康的危害远比粗颗粒物大[1]。

## 2. 我国 PM<sub>2.5</sub> 区域分布现状

根据我国现行环境空气质量标准,PM<sub>2.5</sub>的年均浓度应小于35 μg/m<sup>3</sup>,日均浓度应小于75 μg/m<sup>3</sup>。从表1[2]-[11]可以看出,我国大部分城市已经远超过这个标准,其中污染最严重的城市聚集在京津冀和山东省范围,该地区,电力、钢铁、水泥、有色等企业是最主要的排放源。同时,从分布规律可看出,北方的污染水平整体高于南方,内陆地区(如武汉、西安、长沙)的污染水平要高于沿海(如杭州、广州、厦门),平原地区(武汉、成都)的污染水平高于高原地区(昆明、拉萨)。在我国,导致这种分布格局的主要

**Table 1.** The PM<sub>2.5</sub> distribution in some typical cities in our country, 2014

**表 1.** 2014 年我国部分典型城市 PM<sub>2.5</sub> 分布情况

城市	2014年PM <sub>2.5</sub> 年均值 (μg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>2.5</sub> 均值最大月份	最大月的PM <sub>2.5</sub> 值 (μg/m <sup>3</sup> )
石家庄	122.6	1月	212
济南	91	1月	138
天津	85.8	1月	112
北京	83.2	2月	148
武汉	79.5	1月	182
西安	75.7	2月	173
长沙	75	1月	160
南京	73.7	1月	128
成都	72.8	1月	179
哈尔滨	72.5	1月	128
乌鲁木齐	62.9	12月	139
重庆	62.8	1月	128
杭州	60.9	1月	103
广州	47.4	1月	90
呼和浩特	44	1月	131
厦门	35	1月	53
昆明	32.2	4月	51
拉萨	23.6	12月	37

原因除了地理条件、人口水平、气候条件以外，还有产业结构和环境政策等。

图 1 显示的是根据国家环保部数据绘制的我国 2015 年不同季节 PM<sub>2.5</sub> 分布情况。从时间分布看，1 月份的全国范围整体污染水平明显高于其余三个月份，其中以华北、华中和四川省境内最为严重；7 月份整体污染程度最低，除了河北和新疆局部，全国大部分城市的空气质量处于优良状态。从空间分布看，新疆西部和河北大部分地区在四个季节的 PM<sub>2.5</sub> 浓度均处较高值，而海南、云南、西藏和大兴安岭地区在不同季节 PM<sub>2.5</sub> 浓度都很低，空气质量处于优的状态。此外，从图中还可看出，山东省威海市和浙江省舟山市，虽然都位于污染较严重的区域，但因为自身处于三面环海的位置，在四个月份里 PM<sub>2.5</sub> 浓度都很低。

### 3. 我国 PM<sub>2.5</sub> 来源分析

弄清 PM<sub>2.5</sub> 来源有助于更好地控制和治理 PM<sub>2.5</sub>。它可能来源于土壤扬尘、海盐、植物花粉和火山灰等自然源，也可能来源于发电、冶金、石油、化学、纺织印染工业过程以及汽车尾气等各种人为源。由于 PM<sub>2.5</sub> 来源和成分的复杂性，为来源解析也带来了一定的困难，表 2 [2]-[11] 根据目前已有的源解析成果，总结了我国部分城市的污染物来源情况。石家庄相关机构研究表明，燃煤排放是石家庄市 PM<sub>2.5</sub> 的首要污染来源，煤炭消费总量大、燃煤结构不合理是煤烟型污染严重的主要原因；工业排放也是石家庄

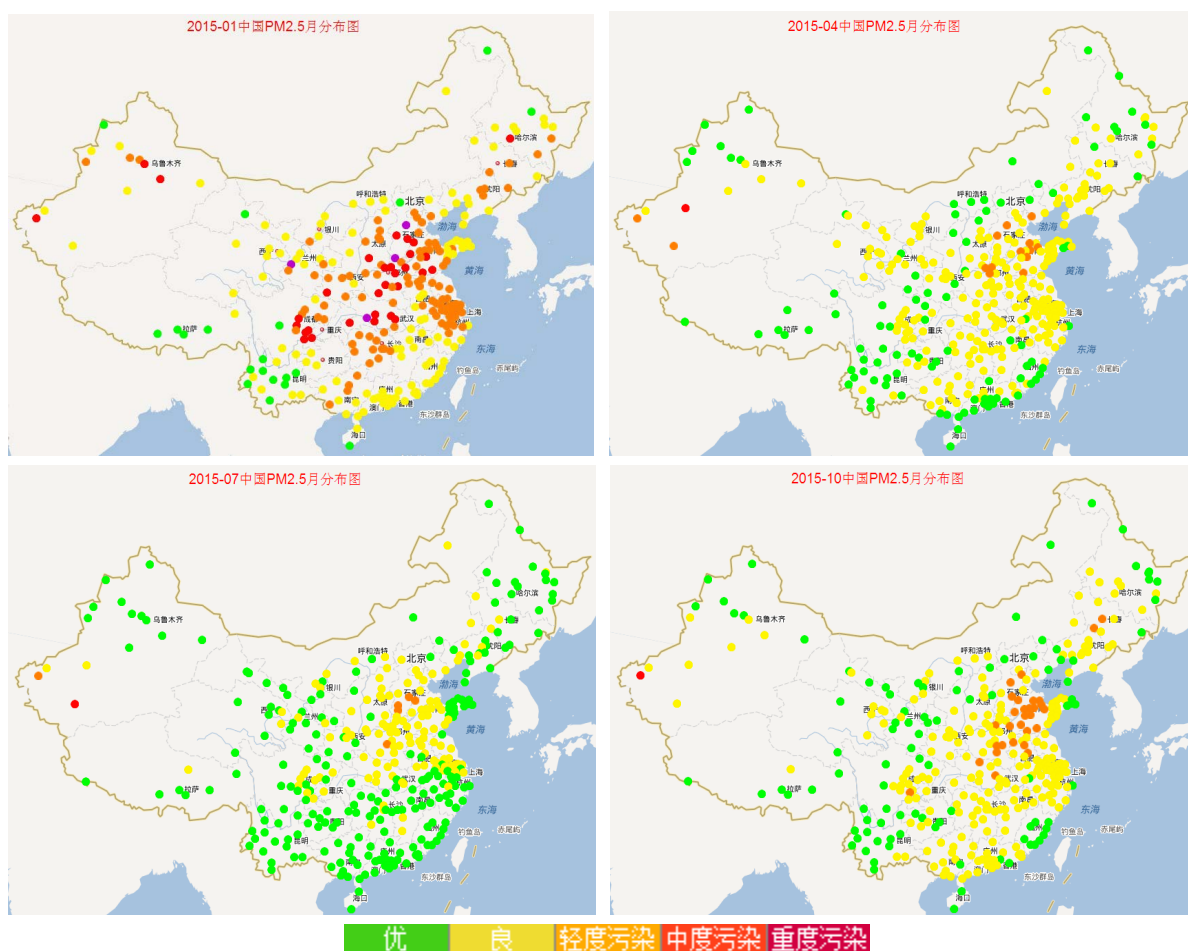


Figure 1. The PM<sub>2.5</sub> distribution throughout the country in January, April, July and October, 2015

图 1. 2015 年 1、4、7、10 月份全国 PM<sub>2.5</sub> 分布情况

PM<sub>2.5</sub> 的主要污染来源, 制药、冶金、石化、建材等是大气颗粒物主要排放行业。天津市作为历史悠久的老工业城市, 能源结构以燃煤为主, 天津市区大气颗粒物污染类型总体上都属于燃煤源与流动源共存的复合型污染, 特别是冬季, 由于煤炭燃烧量的增加, 煤烟尘对 PM<sub>2.5</sub> 的贡献最高; 二次粒子和机动车尾气也是天津市颗粒物防治重点关注的对象。北京市环保局于 2014 年发布了北京 PM<sub>2.5</sub> 来源解析的研究成果, 显示全年 PM<sub>2.5</sub> 来源中, 区域传输贡献约占 28% 至 36%, 本地污染排放贡献占 64% 至 72%, 在一些特定的空气重污染过程中, 通过区域传输进京的 PM<sub>2.5</sub> 会占到总量的 50% 以上; 在北京本地污染贡献中, 机动车、燃煤、工业生产、扬尘为主要来源。武汉市大气中 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度水平在我国城市中处于中等偏高水平, 秋冬值较高; 秋季是武汉市灰霾的频发季节, 灰霾天气发生时, 大气边界层较低, 不利于污染物的扩散; 而冬季由于采暖, 燃煤的使用量增高, 颗粒物的排放增加, 并且在冬季大气边界层较稳定, 逆温现象多, 污染物不易扩散。成都的 PM<sub>2.5</sub> 浓度季节变化明显, 其中生物质燃烧源贡献率在四个季节均维持在较高水平; 土壤尘及扬尘的贡献率在春季较高, 是因为成都春季降雨较少, 难以清除土壤尘所携带的细颗粒, 且细颗粒经干、湿沉降聚集在地面后仍可在自然力或人为活动的影响下以扬尘形式再次进入大气; 机动车源的贡献率在夏季中表现突出, 这可能是由于夏季较为频繁的降雨不仅抑制了扬尘的生成, 且能减少周边生物质燃烧气溶胶对城区的影响, 从而突显了城区机动车源排放的贡献; 而二次硝酸盐/硫酸盐的贡献率在秋冬季中则最为显著, 这表明了成都秋冬季边界层稳定和降雨少等天气条件更加有利于二次污染的形成, 进而使它成为秋冬季高 PM<sub>2.5</sub> 浓度水平的重要因素。

从表 2 可以看出, 在我国范围内, 二次粒子(硫酸盐、硝酸盐)对 PM<sub>2.5</sub> “贡献”非常大, 二次粒子中的硫酸盐主要是空气中的二氧化硫转化而来, 而二氧化硫则主要来源于化工、电厂、家用燃煤、集中供热锅炉的排放; 硝酸盐则主要是由空气中的氮氧化物转化而来, 氮氧化物主要来源于化工厂、供热锅炉、机动车尾气的排放。我国当前是以煤炭为主要的能源结构, 而煤炭在使用燃烧时会产生一氧化碳、二氧化硫。因此, 如果要想从根本上解决大气污染问题, 必须应该调整我国目前的能源利用结构, 推广洗煤选煤工业, 积极投入生产和使用, 就此来降低对大气中排放的污染有害物体, 降低对大气环境的污染。

**Table 2.** The source of PM<sub>2.5</sub> in some typical cities in our country

**表 2.** 我国部分典型城市 PM<sub>2.5</sub> 来源分析

城市	PM <sub>2.5</sub> 主要来源
石家庄	燃煤尘(28.5%)、工业排放(25.2%)、扬尘(22.5%)、机动车尾气(15.0%)
济南	土壤尘(22.8)、二次粒子(20%)、燃煤尘(18.7)、工业排放(17.5%)
天津	开放源(城市扬尘(17.4%)、土壤尘(10.6%)和建筑水泥尘(2.0%))合计贡献40%、二次粒子(28%)、煤烟尘(19.6%)、机动车尾气(15.9%)
北京	土壤尘(18.1)、煤烟尘(16.4)、二次粒子(9.6)、机动车尾气(5.6)
武汉	机动车源(27.1%)、二次粒子(26.8%)、工业源(26.4%)、生物质燃烧(19.6%)
长沙	二次粒子(27.8%)、土壤扬尘(24.1%)、工业排放(16.4%)、家用燃油(16.1%)、垃圾焚烧(11.0%)和交通排放(5.8%)
南京	扬尘(37.28)、煤烟尘(30.34)、硫酸盐(9.87)、建筑尘(7.95%)、汽车尘(2.98%)
成都	土壤尘及扬尘(14.3%)、生物质燃烧(28.0%)、机动车源(24.0%)、二次粒子(31.3%)
哈尔滨	燃煤尘(44.97%)、燃油和汽车尾气源(37.52%)、动力和电机工业(14.91%)
杭州	机动车尾气(21.6%)、硫酸盐(18.8%)、煤烟尘(16.7%)、燃煤尘(10.2%)
厦门	二次颗粒(55.96%)、土壤及建筑尘(10.74%)、生物质燃烧(6.55%)

## 4. 我国 PM<sub>2.5</sub> 污染特征及治理措施

一个国家的大气污染特征与其在工业结构、城市化进程密切相关。西方发达国家的历程告诉我们，在以劳动密集型产业为主的工业化早期，城市大气一般以粉尘污染为主，总体上并不突出；进入重工业化阶段后，能源、原材料、机械制造等产业的迅猛发展使二氧化硫成为主要污染物；在以知识密集型产业为主的后工业化时代，污染物则主要来源于交通源放、化石燃料燃烧等多种途径，大气污染表现为复合污染[12]。我国目前还处于重工业化向知识密集型产业过渡的时期，工业污染是重点，但快速的发展也让复合污染的问题进一步凸显，治理的难度加大。

因此我国 PM<sub>2.5</sub> 的治理，必须通过产业结构升级、空间结构优化和生态环境建设等手段，并辅之以有针对性的治理措施方能取得好的效果。从当前来看，可首先从以下几个方面入手：

- 1) 要加快能源结构调整，推进使用清洁能源，推广洗煤选煤工业；
- 2) 加大节能减排力度，加强对钢铁、石化等行业的污染排放监控；
- 3) 提高环境准入门槛，在重点区域试试严格的大气污染排放限值，加大监管力度；
- 4) 进行区域联防联控，制定相关法规、政策、标准，建立区域大气污染联防联控机制。一旦监测到某区域有气流停滞区时，该地区的工业气体排放都将受到控制，而当大气条件好、空气扩散能力强时，则可充分排放。

## 基金项目

感谢交通运输部应用基础研究项目(2013329224310)对本论文的支持。

## 参考文献 (References)

- [1] 经正. 大气中可吸入颗粒物对人体健康的影响[J]. 职业与健康, 2006, 22(23): 2045-2048.
- [2] 陈媛, 岑况, Norra, S. 北京市区大气气溶胶 PM<sub>2.5</sub> 污染特征及颗粒物溯源与追踪分析[J]. 现代地质, 2010, 24(2): 345-354.
- [3] 张智胜, 陶俊, 谢绍东. 成都城区 PM<sub>2.5</sub> 季节污染特征及来源解析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(11): 2947-2952.
- [4] 包贞, 冯银厂, 焦荔. 杭州市大气 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 污染特征及来源解析[J]. 中国环境监测, 2010, 26(2): 44-48.
- [5] 智颖. 呼和浩特市空气颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 污染特征分析[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.
- [6] 盛涛. 昆明市大气 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 比值特征及来源研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
- [7] 黄辉军, 刘红年, 蒋维楣. 南京市 PM<sub>2.5</sub> 物理化学特性及来源解析[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(6): 713-722.
- [8] 肖致美, 毕晓辉, 冯银厂. 宁波市环境空气中 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 来源解析[J]. 环境科学研究, 2012, 25(5): 550-555.
- [9] 吴琳, 冯银厂, 戴莉. 天津市大气中 PM<sub>10</sub>、PM<sub>2.5</sub> 及其碳组分污染特征分析[J]. 中国环境科学, 2009, 29(11): 1134-1139.
- [10] 成海容, 王祖武, 冯家良. 武汉市城区大气 PM<sub>2.5</sub> 的碳组分与源解析[J]. 生态环境学报, 2012, 21(9): 1574-1579.
- [11] 任丽红, 周志恩, 赵雪艳. 重庆主城区大气 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 来源解析[J]. 环境科学研究, 2014, 27(12): 1387-1394.
- [12] 耿海清, 任景明. 我国 PM<sub>2.5</sub> 污染控制策略及环境影响评价的应对建议[J]. 环境保护科学, 2012, 38(6): 56-59.