

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2018.04.009

# 江苏省 PM<sub>2.5</sub> 污染现状分析及建筑室外 PM<sub>2.5</sub> 设计质量浓度确定

季银炼,张钧波,宋 佳

(南京师范大学泰州学院,江苏 泰州 225300)

**摘要:**根据“中国空气质量在线监测分析平台”发布的 2014—2016 年的 PM<sub>2.5</sub> 监测数据,从空气质量指数、PM<sub>2.5</sub> 日均极大值、年均值及日均质量浓度的分布情况综合分析了江苏省 2014—2016 年 PM<sub>2.5</sub> 污染状况。在统计分析 3 年的数据的基础上,采用“保证率”的概念,计算并绘制江苏省 13 个地级市的 PM<sub>2.5</sub> 保证率曲线。按此保证率曲线确定的 PM<sub>2.5</sub> 室外设计质量浓度,对通风空调系统过滤器设计选型过程有一定的工程实际应用价值。

**关键词:**PM<sub>2.5</sub>;污染;室外设计质量浓度;保证率

**中图分类号:**TU 83

**文献标志码:**A

**文章编号:**2095-0411(2018)04-0053-06

## Analysis of PM<sub>2.5</sub> Pollution in Jiangsu Province and Determination of Building Outdoor PM<sub>2.5</sub> Design Concentration

JI Yinlian, ZHANG Junbo, SONG Jia

(School of Taizhou, Nanjing Normal University, Taizhou 225300, China)

**Abstract:** The concentration data of PM<sub>2.5</sub> from 2014 to 2016 is obtained on the “China Air Quality Online Monitoring and Analysis Platform”. The pollution status in Jiangsu area is evaluated and analyzed on the aspects of air quality, daily maximum, annual average concentration and daily average frequency of PM<sub>2.5</sub>. Based on the research of three years data, “guarantee rate” is used to calculate and plot the PM<sub>2.5</sub> guarantee rate curve of 13 prefecture-level cities in Jiangsu. The outdoor design concentration of PM<sub>2.5</sub> is confirmed by that curve, which has significant engineering reference value for the filter design in air condition system.

**Key words:** PM<sub>2.5</sub>; pollution; outdoor design concentration; guarantee rate

**收稿日期:**2017-12-19。

**基金项目:**泰州市科技支撑计划(社会发展)指导性项目(SSF20160088);江苏省大学生创新训练项目(201713843006Y)。

**作者简介:**季银炼(1983—),女,江苏南通人,硕士,讲师。E-mail: jiyinlian@163.com

**引用本文:**季银炼,张钧波,宋佳. 江苏省 PM<sub>2.5</sub> 污染现状分析及建筑室外 PM<sub>2.5</sub> 设计质量浓度确定[J]. 常州大学学报(自然科学版),2018,30(4):53-58.

近年来,中国雾霾天气频发已成为备受关注的环境问题和社会问题。PM2.5,即动力学当量粒径小于 2.5  $\mu\text{m}$  的颗粒物,是引起雾霾天气的主要污染物。PM2.5 对人体健康有很大的危害,不仅会损害呼吸道系统、心血管系统、中枢神经系统、免疫系统,而且会增加癌症患病率和死亡率。现代生活中,人们每天在建筑室内的时间可达 90%,因此针对性地采取措施控制室内 PM2.5 污染是亟需研究和解决的问题。研究表明<sup>[1-4]</sup>,室外 PM2.5 浓度直接影响室内浓度的高低。不论建筑内是否存在污染源,其中 55%~75% 的 PM2.5 直接来自室外<sup>[5-6]</sup>。目前,控制室外 PM2.5 进入室内有效的方法是利用空调系统过滤器的过滤作用。而过滤器的设计选型与室外 PM2.5 质量浓度有关,因此在设计中需先明确室外 PM2.5 的质量浓度。

对颗粒物室外设计质量浓度的确定,国内外已经逐步开展相关研究。瑞典 Carlson 将某市全年 PM10 质量浓度的 98% 作为过滤器的室外计算浓度<sup>[7]</sup>;美国、日本等发达国家采用全年不保证 5% 天数的原则确定室外设计质量浓度<sup>[8]</sup>。而中国室外 PM2.5 设计质量浓度主要根据年均质量浓度和日均质量浓度最大值确定<sup>[9-10]</sup>。但这两种确定方法都有一定的弊端,年均质量浓度值作为室外设计质量浓度会使不保证天数增加,导致室内空气品质下降;日均最大值作为室外设计质量浓度又会使设计质量浓度取值偏大,进而影响过滤器选型偏大、能耗增大等问题。从设计合理性和室内空气品质保证性角度出发,根据“保证率”的概念确定室外 PM2.5 设计质量浓度,进而得到江苏省各城市室外 PM2.5 设计质量浓度。

1 2014—2016 年 PM2.5 污染状况分析

1.1 空气质量指数状况

根据《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》,空气质量以空气质量指数划分为 6 个级别,即优、良、轻度污染、中度污染、重度污染、严重污染。表 1 为空气质量指数分类及对应 PM2.5 的日均质量浓度限值。

表 1 空气质量指数(AQI)及对应的 PM2.5 日均质量浓度限值

空气质量 指数	空气质量 指数类别	PM2.5 的 24h 平均质量 浓度限值/ $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$
0~50	优	35
51~100	良	75
101~150	轻度污染	115
151~200	中度污染	150
201~300	重度污染	250
301~	严重污染	350

根据表 1 及监测 2014—2016 年江苏省 13 个城市的日均浓度值,得到各城市逐年空气质量情况(图 1),进而分析出江苏省各城市的空气质量变化情况。根据统计,江苏省每年 70% 左右天数的空气质量为“优”和“良”,但 13 个城市都有 25%~30% 左右的天数存在不同程度的污染。由图 1 可知,江苏省各城市的空气质量呈现逐年好转的

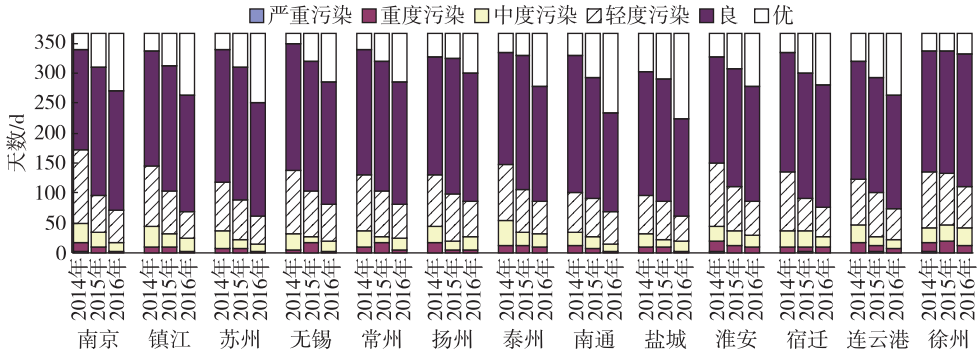


图 1 2014—2016 年江苏省日空气质量分布

趋势,空气质量“优”、“良”的天数逐年增加,相应的“污染”天数逐年降低。以南京为例,2014年空气质量“优”和“良”的总天数为194 d,2015年为269 d,2016年为294 d。

统计各城市3年PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度值,列出各城市中不同空气质量所对应天数,将前3位城市列于表2。盐城、南通、苏州空气质量“优”和“良”的天数均达到了75%;徐州、无锡、南京是空气质量为轻度污染的前3位,占比都达到20%以上;中度污染前3位城市为泰州、徐州、镇江,天数占比7%左右;

而重度污染,徐州市天数最多,在统计期内达到45 d(占4.11%);对于严重污染,主要集中在江苏北部的城市,严重污染天数的比例也只有0.36%。

### 1.2 PM<sub>2.5</sub>日均极大值和年均值

图2为江苏省13个地级市每年(2014—2016年)PM<sub>2.5</sub>年均质量浓度及最大日均值分布,13个城市PM<sub>2.5</sub>年均值范围在43~74 μg/m<sup>3</sup>,最小年均质量浓度是2016年盐城(43.2 μg/m<sup>3</sup>),最大年均质量浓度是2014年南京(73.8 μg/m<sup>3</sup>)。《环境空气质量标准》规定二级标准要求PM<sub>2.5</sub>年均值小于35 μg/m<sup>3</sup>,江苏省所有城市均未达到此标准。但由图2可见,各城市每年的年均质量浓度值都有所下降。以南京为例,2014年年均质量浓度为73.8 μg/m<sup>3</sup>,2015年为56.6 μg/m<sup>3</sup>,2016年为47.8 μg/m<sup>3</sup>。统计期内,日均质量浓度最大值也呈下降趋势。2014年PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度最高值为297.2 μg/m<sup>3</sup>,2015年为262.2 μg/m<sup>3</sup>,2016年为216.1 μg/m<sup>3</sup>。

因此,近3年江苏省空气质量整体情况有所好转,PM<sub>2.5</sub>污染浓度下降明显。

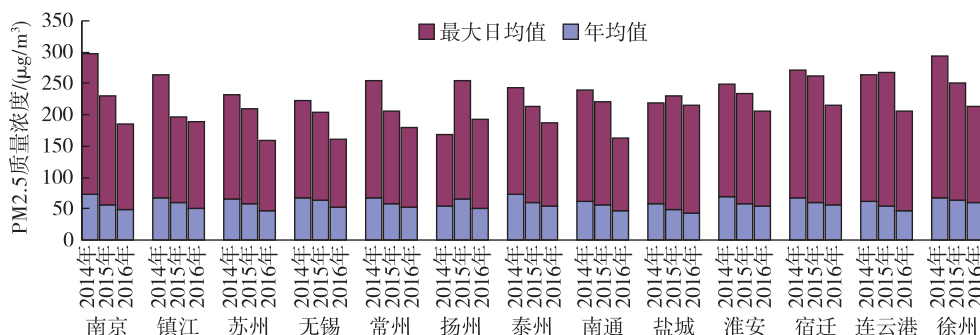


图2 PM<sub>2.5</sub>年均质量浓度值及最大日均值

### 1.3 PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度的频数与频率的分布特征

PM<sub>2.5</sub>日均浓度频数是指PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度出现在某个浓度区间内的天数,频率是频数与总天数的百分比。根据空气质量指数对应的PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度限值以及统计期间最大浓度值,将PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度划分为6个区间进行统计,即(0~35],(35~75],(75~115],(115~150],(150~250],(250~350]。

图3和图4为南京市和徐州市PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度频数和频率分布图。从图中可知,2014年全省PM<sub>2.5</sub>污染程度相同,PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度频数、频率分布也相同。2014—2016年间,全省各个城市PM<sub>2.5</sub>日均质量浓度在35 μg/m<sup>3</sup>以下的频数都在逐年递增;质量浓度在76~115 μg/m<sup>3</sup>和116~150 μg/m<sup>3</sup>区间的频数在2015和2016年基本维持不变;质量浓度在150 μg/m<sup>3</sup>以上区间的频数在逐

年减少。

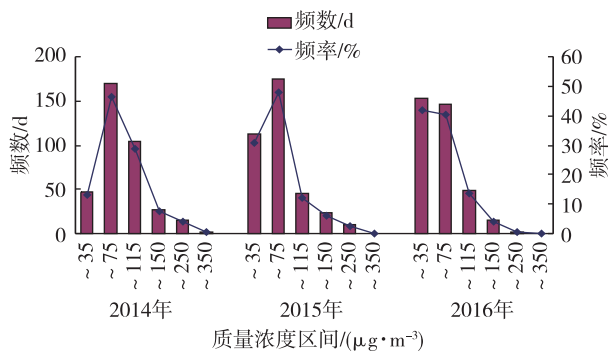


图3 南京市 PM2.5 日均质量浓度频数和频率分布

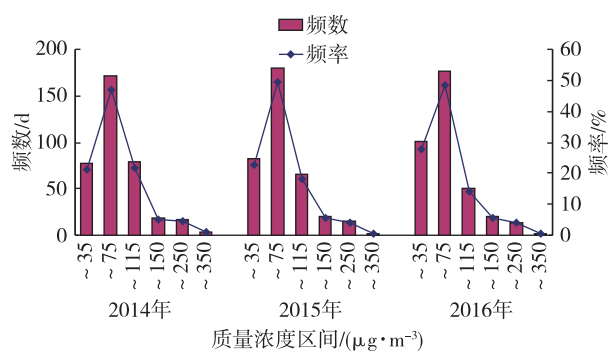


图4 徐州市 PM2.5 日均质量浓度频数和频率分布

## 2 PM2.5 室外设计质量浓度理论方法研究

### 2.1 以年均质量浓度确定室外设计质量浓度

通风系统过滤器设计选型过程中,通常采用式(1)确定过滤器的过滤效率

$$\eta = (1 - \frac{\rho_n}{\rho_w}) \times 100 \quad (1)$$

式中: $\eta$  为过滤器综合过滤效率,%; $\rho_n$  为 PM2.5 室内设计质量浓度(根据 GB3095—2012《环境空气质量标准》按照建筑功能需求进行确定), $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; $\rho_w$  为 PM2.5 室外设计质量浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。当室外 PM2.5 实际质量浓度小于室外设计质量浓度值时,该过滤器可以满足室内 PM2.5 设计质量浓度要求。

将一个日历年中室外 PM2.5 实际质量浓度值小于室外设计质量浓度值的天数定义为“保证天数”,保证天数与一个日历年总天数之比定义为“保证率”<sup>[11]</sup>。图 5 为南京市以 PM2.5 年平均质量浓度作为通风空调系统过滤器设计选型的 PM2.5 室外设计质量浓度时的保证天数和保证率曲线图。表 3 为江苏省 13 个城市以 PM2.5 年均质量浓度作为室外设计浓度时的保证天数和保证率。从中可以看出以年平均质量浓度作为 PM2.5 室外设计质量浓度时,江苏省 13 个城市的室内 PM2.5 的保证率都在 60% 左右,即全年有 2/5 左右天数的室内 PM2.5 质量浓度超过设计要求。

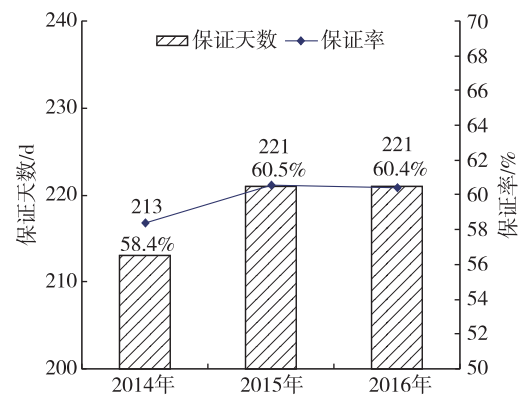


图5 以 PM2.5 年平均质量浓度作为室外设计质量浓度的保证天数和保证率曲线图

### 2.2 以保证率确定室外设计质量浓度

在统计分析日均质量浓度频数和频率的基础上,按“保证率”的概念确定江苏省 13 个地级市的 PM2.5 室外设计质量浓度。具体步骤如下:

1) 根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》中空气质量指数对应的 PM2.5 质量浓度区间确定分组区间。分组区间为(0,35],(35,75],(75,115],(115,150],(155,250],(251,350]。

2)统计 2014—2016 年1 096 d 的 PM2.5 日均质量浓度数据。并根据分组区间,确定 PM2.5 日均浓度出现在各分组区间内的天数,并计算其频率,按式(2)计算。

$$f_i=\frac{N_i}{\sum_1^n N_i}\times 100$$

(2)

式中: $f_i$  为第  $i$  组的频率,%; $N_i$  为第  $i$  组的频数。

3)按分组区间 PM2.5 日均质量浓度值的排序,计算各分组区间对应的累积频率,即第  $i$  组对应的累积频率为前  $i$  组频率之和,如式(3)所示。

$$F_i=\sum_1^i f_i$$

(3)

式中  $F_i$  为第  $i$  组的累积频率,%。

4)以累积频率为横轴,分组区间的上限值为纵轴,绘出累积频率曲线图,累积频率即为保证率。保证率所对应的 PM2.5 浓度值即为该保证率下的 PM2.5 室外设计浓度值。

2.3 基于保证率的方法计算室外设计质量浓度

图 6 为南京市 PM2.5 室外计算质量浓度保证率曲线图,由图 6 可以查到南京市 95%保证率对应的室外质量浓度设计值为 132  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。利用同样的方法确定其他 12 个城市在 95%保证率下的 PM2.5 室外设计质量浓度值,列于表 4。

3 结 论

通过分析江苏省近 3 年的 PM2.5 污染现状,采用保证率的概念确定了建筑室外 PM2.5 设计质量浓度,得到以下结论:

1)江苏省各城市均存在 PM2.5 污染超标的状况,2014—2016 年间平均约有 30%的天数 PM2.5 质量浓度值在 75  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以上,超过了 GB 3095—2012《环境空气质量标准》中的国家二级标准。

2)将 PM2.5 年均质量浓度值作为过滤器的室外设计质量浓度值,分析出江苏省 13 个城市大约都有 40%的天数室外实际质量浓度值大于该设计值,从而使室内 PM2.5 质量浓度无法满足设计要求。

3)考虑 PM2.5 污染的时空特性,在统计分析江苏省近

表 3 以 PM2.5 年均质量浓度作为室外设计质量浓度的保证天数和保证率

城市	保证天数/d			保证率/%		
	2014 年	2015 年	2016 年	2014 年	2015 年	2016 年
南京	213	221	221	58.4	60.6	60.4
苏州	221	224	225	60.5	61.4	61.5
镇江	218	221	226	59.7	60.5	61.7
无锡	215	219	219	58.9	61.0	59.8
常州	216	231	220	59.2	63.3	60.1
扬州	229	212	232	62.7	58.1	63.4
泰州	215	223	226	58.9	61.1	61.7
南通	233	225	225	63.8	61.6	61.5
盐城	219	228	232	60	62.5	63.4
淮安	216	229	236	59.2	62.7	64.5
宿迁	219	226	242	60.0	61.9	66.1
徐州	223	227	239	61.1	62.2	65.3
连云港	225	221	226	61.6	60.5	61.7

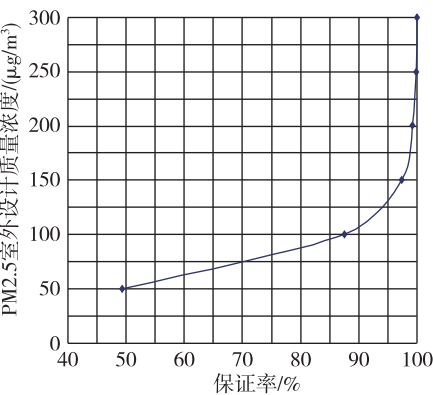


图 6 南京市 PM2.5 室外计算质量浓度保证率曲线图

表 4 95%保证率下江苏省各城市 PM2.5 室外设计质量浓度值  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

城市	PM2.5 室外设计质量浓度
南京	132
镇江	130
苏州	118
无锡	124
常州	134
淮安	139
连云港	135
南通	124
泰州	138
扬州	129
盐城	121
徐州	148
宿迁	137

3 年的 PM<sub>2.5</sub> 日均质量浓度的基础上,采用保证率的方法绘制的 13 个城市的 PM<sub>2.5</sub> 室外设计质量浓度保证率曲线,具有一定的工程应用价值。

### 参考文献:

- [1]DIAPOULI E, ELEFThERIADIS K, KARANASIOUA A, et al. Indoor and outdoor particle number and mass concentrations in Athens sources, sinks and variability of aerosol parameters [J]. Aerosol & Air Quality Research, 2011, 11(6):632-642.
- [2]MASSEY D, MASIH J, KULSHRESTHA A, et al. Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2.5 $\mu$ m (PM<sub>2.5</sub>) in residential homes locations in central Indian region [J]. Building and Environment, 2009, 44 (10): 2037-2045.
- [3]高军,房艳兵,江畅兴,等. 上海地区冬季住宅室内外颗粒物浓度的相关性[J].土木建筑与环境工程,2014,36(2): 110-114.
- [4]赵力,陈超,王平,等. 北京市某办公建筑夏冬季室内外 PM<sub>2.5</sub> 浓度变化特征[J].建筑科学,2015,31(4):32-39.
- [5]CYRYS J, PITZ M, BISCHOF W, et al. Relationship between indoor and outdoor levels of fine particle mass, particle number concentrations and black smoke under different ventilation conditions [J]. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2004,14(4):275-285.
- [6]熊志明,张国强,彭建国等.室内可吸入颗粒物污染研究现状[J].暖通空调,2004,34(4):32-36.
- [7]CARLSON T. Air filtration: Choosing the right filter class for HVAC systems [J]. Filtration & Separation,2008,45 (9):36-38.
- [8]徐文华.舒适性空调空气过滤器效率计算方法[J]. 暖通空调,2001,31(3):42-44.
- [9]王清勤,赵立,李国柱,等.建筑室内细颗粒物污染控制设计方法研究[J].暖通空调,2016,46(4):61-65.
- [10]王清勤,李国柱,朱荣鑫,等.建筑室内细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)污染现状、控制技术与标准[J].暖通空调,2016,46(2):1-7.
- [11]王清勤,李国柱,朱荣鑫,等.空气过滤器设计选型用 PM<sub>2.5</sub> 室外设计浓度确定方法[J].建筑科学,2015,31(12): 71-77.

(责任编辑:李艳)