

城市街区可吸入颗粒物污染防治规划策略

李 绥¹ 朱 蕾¹ 石铁矛^{1,*} 王 炜² (1. 沈阳建筑大学 建筑与规划学院, 辽宁 沈阳, 110168; 2. 辽宁省大气污染防治管理中心, 辽宁 沈阳, 110161)

【摘要】当前可吸入颗粒物已成为我国城市空气的首要污染物,对其防治不仅是保障城市健康发展的环境问题,而且是影响公共安全的社会问题。重点分析了城市领域对可吸入颗粒物污染防治研究的发展趋势与存在问题。在城市规划视角下,从城市形态结构、街道空间布局、建筑形体轮廓入手,提出对颗粒物污染起到防控作用的城市街区空间布局优化方法,形成城市空间多尺度规划应对技术框架。使人类活动最为密集的街区空间产生合理的流场,有效防控可吸入颗粒物的扩散污染,从城市规划角度为解决严峻的大气污染问题提供新的思路。

【关键词】可吸入颗粒物; 污染防治; 城市规划; 空间策略

【中图分类号】TU984 **【文献标识码】**A

大气中的悬浮颗粒近年来已逐渐成为城市空气的首要污染物,不仅对人体健康产生严重危害,还能大量吸收可见光使大气能见度降低,形成酸雨与热岛效应,目前已经受到全世界的高度重视。

对大气悬浮颗粒物可以根据粒径、检测方法及对人体健康影响效应来划分类别(表1)。1985年,美国国家环保局将原始颗粒物质指示物总悬浮颗粒物(TSP)项目确定为PM₁₀。随着认识发展,美国环保局在1997年又提议修改美国国家大气质量标准,规定了PM_{2.5}的最高限制值,以降低这些

细颗粒物对人体健康和大气能见度的影响。根据英国环境部门的研究,PM_{2.5}在大气中停留的时间为7~30天,可以长距离地传输而污染更远的地方,所造成的污染也更大。近年来,我国随着以煤炭为主的能源消耗大幅攀升、机动车保有量急剧增加,很多区域灰霾现象频发。自2013年1月开始,包括京津冀、长三角、珠三角等大气污染重点城市群的74个城市,实施了新的空气质量标准,新增了PM_{2.5}等重要指标,其他指标也相应更加严格。我国大气可吸入颗粒物的防治已成为城市环境领域亟待解决的重要课题。

表1 大气悬浮颗粒物划分标准与特征对比

颗粒物名称	缩写符号	定义	划分标准
悬浮颗粒物	SPM	为所有大气颗粒物的通用术语	中华人民共和国国家标准: 大气环境标准, GB3095-82
总悬浮颗粒物	TSP	指悬浮在空气中的空气动力学当量直径 $\leq 100\mu\text{m}$ 的颗粒物	指空气动力学直径小于或等于 $100\mu\text{m}$ 的大气颗粒物
可吸入颗粒物	PM ₁₀	通过呼吸系统可以吸入人体的颗粒	指空气动力学直径小于或等于 $10\mu\text{m}$ 的大气颗粒物
可入肺颗粒物	PM _{2.5}	通过呼吸系统可以吸入人体的颗粒	指空气动力学直径小于或等于 $2.5\mu\text{m}$ 的大气颗粒物

1 研究背景

1.1 我国城市大气颗粒物污染的严峻现状

基金项目: 国家自然科学基金(51208312); 国家科技支撑计划(2012BAJ15B06); 辽宁省高等学校杰出青年学者成长计划资助项目(LJQ2013064)

* 通讯作者: 石铁矛(1957-),男,教授,博士生导师。主要研究方向: 城市生态规划。E-mail: tiemaos@sjzu.edu.cn

2011年,中国环境科学院发表的一份研究报告称: 珠三角、长三角、京津冀、四川盆地和沈阳等地城市群,大气颗粒物污染日益严重,中国已成为世界上大气污染最严重的国家之一; 据美国国家航空暨太空总署公布的一张世界空气质量地图显示,全球颗粒物污染最高的地区是北非以及中国的华北、华东和华中全部,中国大部分地区颗粒物平均浓度接近 $80\mu\text{g}/\text{m}^3$,超出世界卫生组织规定的有关污染指标的8倍。以上事实充分表明,当前我国的空气颗粒物污染防治

面临前所未有的压力。空气颗粒物污染防治不仅是保障城市健康发展的重要环境问题,而且已成为确保城市公共安全的重大社会问题^[1]。

1.2 城市街区是可吸入颗粒物污染的重点区域

城市街区是城市下垫面的重要组成部分,是使用频率最高的城市公共空间之一,也是空气污染物最易集聚的城市空间^[2]。机动车保有量的激增,使临街建筑物附近和行人呼吸高度处的污染物浓度急剧提高,极大地加剧了街区空气污染的危害性。因此,街区往往是城市空气颗粒物污染的重灾区^[3]。城市街区的空气环境质量研究成为城市规划、城市气候以及城市空气质量控制等领域的共同课题^[4]。

1.3 城市规划中缺乏对颗粒物污染防治的有效工具

在中国城市环境与公共安全问题日益突出的背景下,城市规划应该对空气颗粒物污染防治采取积极的应对策略以解决城市领域的重要问题。空气颗粒物污染治理是发展中国家城市环境保护工作面临的首要问题之一,但是基础设施的建设需要大量的资金和技术力量,难以在短期内改善环境^[5]。合理和科学的空气颗粒物污染治理规划是使城市环境较快得到改善的有效途径,因此要求城市规划具备前瞻性,在规划编制阶段就考虑城市的空间布局对于城市大气环境的适应性。

2 国内外相关研究进展

国外学者从1960年代开始研究街区空气流场对空气污染的影响。Kennedy通过实地监测证明:街区内部污染物浓度随街道的高宽比的增加而提高,在固定的高宽比下,污染物浓度在垂直方向上呈指数下降^[6-9]。DePaul的实测研究表明:影响街区内污染物扩散最重要的因素是街区几何结构及街道两侧建筑物屋顶风速特征^[10]。Lee通过数值模型模拟了街区内流场和污染物浓度场分布,发现不同的流场特征下污染物的扩散行为差别很大,浅街区内的扩散条件比较好,深厚街区内会形成更多涡旋^[11-13]。

我国在城市规划对空气污染影响领域的研究始于1990年代,佟华、刘辉志采用三维复杂地形中尺度数值模式,利用Landsat-TM卫星影像图和北京海淀区北部地区总体规划用地规划图,分别模拟了北京海淀区北部规划完成后和现状情况下的气象场和大气环境,预测规划区建成后会增加当地和其

下风方向的热岛强度和可吸入颗粒物浓度,进而提出规划区合理布局的建议^[14]。邱巧玲、王凌等研究了街区形态、街区外部环境与街区内污染浓度变化的关系,提出了合理的街道几何结构和理想状态下的城市街道布置模式^[2]。廖建军以衡阳为例,从气象学、环境工程学的角度,深入分析城区大气污染机制,探讨城市开敞空间与大气污染的关系;并针对氧源绿地、城市空气通道、大气环流、城市组团布局及绿地布局模式等问题,从生态机理上进行定性和半定量的分析和研究^[15]。王纪武、王炜对街区形态及其内部NO的扩散进行了三维模拟分析,并提出促进街区污染物扩散、稀释的规划设计策略^[16]。现有的城市大气污染综合治理的城市规划方法在完整性和系统性方面尚存在某些不足^[17],其主要原因是目前城市大气污染研究提供的数据尚不能满足城市规划人员的需求,城市规划中缺乏较为系统的方法和手段将“格局一效应”的研究成果应用于规划之中。城市规划师则需要更具可操作性的对策和技术手段,来实现有利于大气环境污染控制的理想城市空间结构与格局。

城市领域对可吸入颗粒物污染防治的研究起步较晚。目前研究成果较多集中于对可吸入颗粒物组份的解析,以形成对其污染足迹的追踪,通过数值模拟方法探讨城市空间对其适应性方面的研究成果较少。

3 城市规划对可吸入颗粒物防治的应对技术框架

本文结合对城市流场模拟的经验及其在城市规划应用的实践,提出系统的城市规划应对技术框架:以数值模拟技术为基础,耦合分析城市气象要素与街区下垫面空间环境对扩散效应的影响,揭示城市街区不同时空特征下可吸入颗粒物扩散规律,形成不同尺度的城市街区空间规划应对策略。

3.1 可吸入颗粒物防治的城市规划应对技术框架

应用GIS技术,提取典型城市街区下垫面信息,作为模拟的空间基础;统计可吸入颗粒物的历史监测数据,结合实地样点调查,耦合分析气象要素和下垫面环境对扩散效应的影响,确定扩散模型参数设置;基于计算流体力学原理,利用FLUENT软件对街区可吸入颗粒扩散的水平及垂直格局进行模拟,揭示在城市气候特征下可吸入颗粒的扩散范围、空间变化特征及分布规律,提出

基于可吸入颗粒物扩散控制的城市街区空间布局 优化方法(图1)。

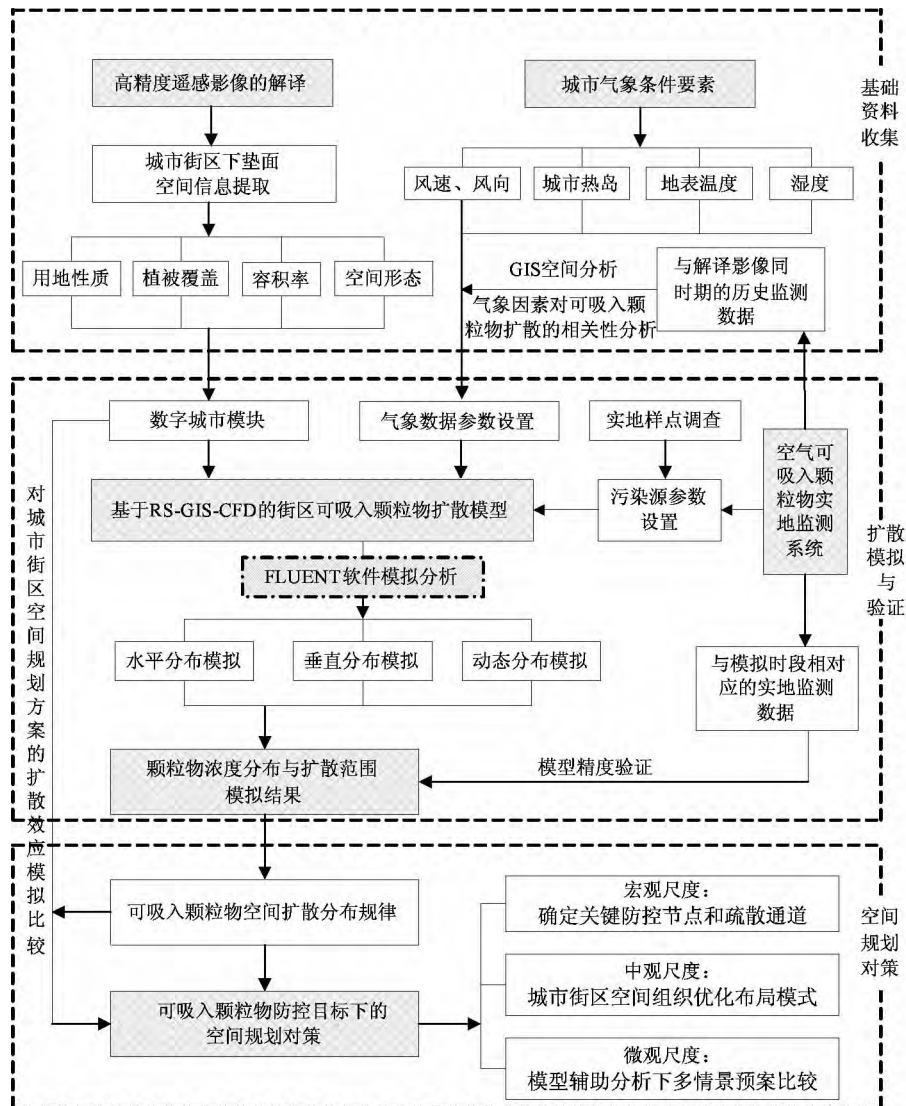


图1 城市街区可吸入颗粒物防治的规划应对技术框架

3.2 不同城市空间尺度的研究重点

(1) 城市尺度: 市区是污染防控的主要区域, 城市周边的防护屏障与生态用地对防治风沙扬尘具有重要作用, 而城市的空间形态与街道布局方式则对疏散城市内部由于汽车尾气排放、燃煤产生的污浊空气影响显著。该尺度的研究重点在于分析市区的整体布局及其与周边生态环境的关系, 重点制定区域联防措施, 确定城市排污疏散廊道和关键防控节点, 构建以降尘和释氧为目标的绿色屏障与生态网络, 对城市进气通道、氧源绿地及街区隔离带进行整体布局, 形成系统的城市排污降尘生态系统。

(2) 城市不同功能区尺度: 市区中典型的工业区、商业区、居住区可吸入颗粒物的来源与组份都

不相同, 防控的措施应根据不同成因有所侧重。该尺度的研究中, 可以对典型的燃煤污染、街道汽车尾气污染分别进行模拟, 根据模拟结果确定主要污染源的空间影响范围, 对不同空间形态、排放方式的排放效果进行比较, 提出城市不同功能区在满足控制目标下的污染排放控制优化方案。

(3) 街区尺度: 研究街区的空间形态与下垫面环境对可吸入颗粒物空间分布的影响, 提出包括街区空间形态、建筑密度、朝向肌理、绿地布局以及植物配置的系统设计方法, 探讨有利于降低颗粒物污染的街区空间布局优化模式。在具体街区的空间规划设计中, 在模型模拟的辅助分析下进行多情景预案比较, 结合城市多年气象数据, 调整空间形态

参数,探讨包括街区长度、高宽比、开口方向、沿街屋顶形式及街区界面表皮特征等要素的合理街区空间布局方案。

4 结论

可吸入颗粒物污染防治问题的解决需要多学科交叉研究和多种技术方法的综合应用,本文从城市规划角度为解决严峻的大气颗粒物污染问题提供新的思路,从城市结构形态、功能布局、街道的方向、建筑形体轮廓入手,采用模拟—实测—验证—规划调控的技术方法,提出城市下垫面空间的优化模式,形成城市空间不同尺度的规划应对策略,使人类活动最为密集的街区空间产生合理的流场,有效防控可吸入颗粒物扩散引发的城市污染。△

【参考文献】

- [1] 张惠远,饶胜. 城市景观格局的大气环境效应研究进展[J]. 地球科学进展, 2006, 21(10): 1021-1032.
- [2] 邱巧玲,王凌. 基于街道峡谷污染机理的城市街道几何结构规划研究[J]. 城市发展研究, 2007, 14(4): 78-82.
- [3] 王纪武,张晨,冯余军. 街谷空气污染研究评述及城市规划应对框架[J]. 城市规划, 2013, 2(4): 77-83.
- [4] 王宝民,柯咏东,桑建国. 城市街谷大气环境研究进展[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(1): 146-153.
- [5] 方栋,王晓东,陈文颖. 城市大气污染治理规划方法[J]. 城市环境与城市生态, 1994, 7(3): 31-36.
- [6] FRANZESE P. Lagrangian stochastic modeling of a fluctuating plume in the convective boundary layer [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, 37(12): 1691-1701.
- [7] HANNA S R, EGAN B A, PURDUM J, et al. Evaluation of the ADMS, AERMOD, and ISC3 dispersion models with the OPTEX, Duke forest, Kincaid, Indianapolis, and Lovett field datasets [J]. *International Journal of Environment and Pollution*, 2001, 16(1/6).
- [8] MANOMAIPHIBOON K, RUSSELL A G. Effects of uncertainties in parameters of a Lagrangian particle model on mean ground level concentrations under stable conditions [J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(33): 5529-5543.
- [9] RAMA KRISHNA T V B P S, REDDY M K, REDDY R C, et al. Impact of an industrial complex on the ambient air quality: Case study using a dispersion model [J]. *Atmospheric Environment*, 2005, 39(29).
- [10] DePaul F, Shei C. A study of pollutant dispersion in an urban street canyon [J]. *Atmospheric Environment*, 1984, 23: 1759-1764.
- [11] Lee I Y, H M Park. Parameterization of the pollutant transport and dispersion in urban street canyons [J]. *Atmospheric Environment*, 1994, 28: 2643-2649.
- [12] Hitoshi K A. Micro-scale dispersion model for motor vehicle exhaust gas in urban areas—omg volumes—source model [J]. *Atmospheric Environment*, 1990, 24B(2): 243-251.
- [13] OWEN B, EDMUNDS H A, CARRUTHERS D J, et al. Use of a new generation urban scale dispersion model to estimate the concentration of oxides of nitrogen and sulphur dioxide in a large urban area [J]. *The Science of the Total Environment*, 1999, 235(1/3): 277-291.
- [14] 佟华,刘辉志,胡非,等. 城市规划对大气环境变化及空气质量的影响[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(2): 167-179.
- [15] 廖建军,叶勇军,李晟. 城市大气污染机制分析及开敞空间规划研究[J]. 环境保护, 2009, 28(14): 62-65.
- [16] 王纪武,王炜. 城市街道峡谷空间形态及其污染物扩散研究——以杭州市中山路为例[J]. 城市规划, 2010(12): 57-63.
- [17] 迟妍妍,张惠远. 大气污染物扩散模式的应用研究综述[J]. 环境污染与防治, 2007, 29(5): 376-381.

作者简介: 李绥(1977-),男,博士,赴德国访问学者,副教授,硕士生导师。主要研究方向:城镇生态规划与绿色建筑。

收稿日期: 2013-11-05

The Counter Measures of Urban Street Planning Based on The Pollution Prevention of Inhalant Particle

LI Sui, ZHU Lei, SHI Tiemao, WANG Wei

【Abstract】The inhalant particle has become the main urban air pollutants in China. Prevention of the inhalant particle is not only an important environmental problem in guaranteeing the healthy development of city, it is also a serious social problem of public safety. This paper analyzes current situation, trend and existent problem of particle pollution in urban street based on researching the extensive literature, and research the structure of urban, layout of street, shape of building, to come up with the means for the prevention of inhalant particle and framework of response technology in urban planning. The good flow field should be in the street space which includes the intensive human activity to reduce the air pollution new method is provided to solve the air pollution from the viewing angle of the urban planning.

【Keywords】Inhalant Particle; Pollution Prevention; Urban Planning; Counter Measures