

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第38卷 第6期

Vol.38 No.6

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

PM _{2.5} 浓度空间分异模拟模型对比:以京津冀地区为例	吴健生,王茜,李嘉诚,涂媛杰(2191)
北京地区近35年大气污染扩散条件变化	郭淳薇,孙兆彬,李梓铭,张小玲,杨慧玲(2202)
北京市典型区域夏季降水及其对大气污染物的影响	韩力慧,张海亮,向欣,张鹏,程水源,魏巍(2211)
北京山谷风环流特征分析及其对PM _{2.5} 浓度的影响	董群,赵普生,王迎春,苗世光,高健(2218)
北京市建筑施工扬尘排放特征	薛亦峰,周震,黄玉虎,王堃,聂滕,聂磊,秦建平(2231)
生物质成型燃料锅炉挥发性有机物排放特征	吴昌达,张春林,白莉,沈雨冉,王伯光,刘军,杨立辉(2238)
广州番禺大气成分站复合污染过程VOCs对O ₃ 与SOA的生成潜势	邹宇,邓雪娇,李菲,殷长泰(2246)
南京北郊大气臭氧周末效应特征分析	王俊秀,安俊琳,邵平,邹嘉南,林旭,张玉欣(2256)
亚热带稻区大气氨/铵态氮污染特征及干湿沉降	王杰飞,朱潇,沈健林,曾冠军,王娟,吴金水,李勇(2264)
宣威肺癌高发区燃煤排放颗粒物中铁的价态及其氧化性	王强翔,谭正莹,赵慧,李继华,田林玮,王青曜,米持真一,吕森林(2273)
垃圾焚烧厂区二噁英污染及厂区工人呼吸暴露评估	杜国勇,汪倩,张姝琳,张素坤,邓春萍,张洪铭,朱盟翔,蒋昕,朱成旺,任燕玲(2280)
重庆市新型干法水泥厂汞排放特征	张成,张雅惠,王永敏,王定勇,罗程钟,徐凤,何秀清(2287)
轻型汽油车简易瞬态工况法与定容全流稀释采样法(CVS)的排放相关性	王鸿宇,黄成,胡馨遥,李莉,陈勇航,徐健(2294)
不同排放标准公交车燃用生物柴油颗粒物排放特性	楼狄明,赵成志,徐宁,谭丕强,胡志远(2301)
西江水氢氧同位素组成的空间变化及环境意义	许琦,李建鸿,孙平安,何师意,于爽(2308)
基于SWAT与DNDC模型对比研究亚热带流域氮淋溶与输出过程	韩宁,陈维梁,高扬,郝卓,于贵瑞(2317)
三峡库区澎溪河与磨刀溪电导率等水质特征与水华的关系比较	姜伟,周川,纪道斌,刘德富,任豫霜,Douglas Haffner,谢德体,张磊(2326)
滇池草海间隙水与上覆水氮磷时空变化特征	王一茹,王圣瑞,焦立新,张云,高秋生,杨枫(2336)
香溪河沉积物、间隙水的磷分布特征及释放通量估算	罗玉红,聂小倩,李晓玲,戴泽龙,胥焘,黄应平(2345)
大冶湖表层水和沉积物中重金属污染特征与风险评价	张家泉,田倩,许大毛,占长林,刘婷,姚瑞珍,刘先利,肖文胜(2355)
海水淡化低温多效蒸馏工艺(LT-MED)沿程溴代消毒副产物的生成	齐菲,孙迎雪,杨哲,胡春芳,常学明,胡洪营(2364)
两种水体铜配合容量测试方法的适用性比较及应用	王晨烨,姜括,谢文龙,汪磊(2373)
高地下水位地区透水铺装控制径流污染的现场实验	金建荣,李田,时珍宝(2379)
稳定型纳米零价铁去除地下水中2,4-二氯苯酚	张永祥,常杉,李飞,徐毅,高维春(2385)
超声、紫外增强H ₂ O ₂ /KI降解磺胺甲基嘧啶	魏红,孙博成,杨小雨,李克斌(2393)
不同铅负载量改性膨润土对水中磷酸盐吸附作用的对比	姜博汇,林建伟,詹艳慧,邢云青,黄宏,储鸣,王星星(2400)
铁炭内电解垂直流人工湿地对污水厂尾水深度脱氮效果	郑晓英,朱星,周翔,徐亚东,王菊,韦诚,高雅洁,周橄(2412)
组合生物滤池对养殖废水的净化效率及影响因素分析	张世羊,张胜花,张翔凌,王广军(2419)
温度对聚磷菌活性及基质竞争的影响	张玲,彭党聪,常蝶(2429)
海洋厌氧氨氧化菌的富集培养及其脱氮特性	冯莉,于德爽,李津,单晓静,杨振琳(2435)
不同生物过滤系统铵态氮转化速率及生物膜特性分析	周洪玉,韩梅琳,仇天雷,高敏,孙兴滨,王旭明(2444)
磷酸盐对厌氧氨氧化活性污泥脱氮效能的影响	周正,刘凯,王凡,林兴,李祥,黄勇,顾澄伟(2453)
碳源胁迫下脱氮除磷颗粒污泥性能变化及其机制	秦诗友,陈威,马兆瑞,刘小英,陈晓国,余文韬,夏媛媛,黄健(2461)
外源Ca ²⁺ 对SBR启动期活性污泥胞外多聚物的动态影响	任丽飞,杨新萍,张雯雯(2470)
膨胀污泥中丝状菌的分离鉴定与特性分析	张崇森,牛全睿,徐雨梅,王陇梅,王岱,武少华(2477)
反硝化悬浮填料适用性及其微生物群落结构解析	谭阳,李激,徐巧,付磊,尤世界,王硕(2486)
硫代硫酸钠对排硫硫杆菌固碳能力的影响及其作用机制	李欢,王磊,王亚楠(2496)
关帝山森林土壤真菌群落结构与遗传多样性特征	乔沙沙,周永娜,柴宝峰,贾彤,李鑫(2502)
基于受体模型与地统计的城市居民区土壤重金属污染源解析	陈秀端,卢新卫(2513)
基于蒙特卡罗模拟的土壤环境健康风险评价:以PAHs为例	佟瑞鹏,杨校毅(2522)
Eh、pH和铁对水稻土钾释放的影响机制	钟松雄,尹光彩,陈志良,林亲铁,黄润林,刘德玲,彭焕龙,黄玲,王欣,蒋晓璐(2530)
典型土壤不同提取态Cd与水稻吸收累积的关系	陈齐,邓潇,陈珊,侯红波,彭佩钦,廖柏寒(2538)
复合改良剂对Cd污染稻田早晚稻产地修复效果	陈立伟,杨文骏,辜娇峰,周航,高子翔,廖柏寒(2546)
两种钝化剂对土壤Pb、Cd、As复合污染的菜地修复效果	田桃,雷鸣,周航,杨文骏,廖柏寒,胡立琼,曾敏(2553)
大豆和小麦根系对非的吸持作用及其生物有效性	王红菊,李倩倩,沈羽,顾若尘,盛好,占新华(2561)
源自腐殖土的溶解性有机质组分对棕壤和黑土吸附苯并三唑的影响	杨宁伟,毕二平(2568)
地形、树种和土壤属性对喀斯特山区土壤胞外酶活性的影响	罗攀,陈浩,肖孔操,杨利琼,文丽,李德军(2577)
长期定位有机物料还田对关中平原冬小麦-玉米轮作土壤N ₂ O排放的影响	郝耀旭,刘继璇,袁梦轩,周应田,杨学云,顾江新(2586)
基于大气被动式采样的人体头发中类二噁英多氯联苯暴露的途径	袁浩东,白瑶,李秋旭,王英,金军(2594)
广西刁江野生鱼类重金属积累特征及其健康风险评价	王俊能,马鹏程,张丽娟,陈棉彪,黄楚珊,柳晓琳,胡国成,许振成(2600)
活性炭在中高温条件下对玉米秸秆厌氧发酵的影响	甘荣,葛明民,刘勇迪,贾红华,闫志英,雍晓雨,吴夏荒,周俊(2607)
工艺过程源和溶剂使用源挥发性有机物排放成分谱研究进展	王红丽,杨肇勋,景盛翱(2617)
《环境科学》征稿简则(2452) 《环境科学》征订启事(2560) 信息(2201, 2230, 2384)	

北京市建筑施工扬尘排放特征

薛亦峰¹, 周震¹, 黄玉虎^{1*}, 王堃², 聂滕¹, 聂磊¹, 秦建平¹

(1. 北京市环境保护科学研究院, 国家城市环境污染控制工程技术研究中心, 北京 100037; 2. 北京市劳动保护科学研究所, 北京 100054)

摘要: 颗粒物是北京市首要空气污染物, 其排放控制是大气污染防治的重要内容, 施工扬尘是北京市大气颗粒物的重要来源。由于人口增长及经济的发展, 住宅及办公场地的需求不断增加, 使得北京市房屋建筑施工面积居高不下, 建筑施工扬尘污染受到越来越多的关注, 但有关量化施工扬尘排放量及其对北京市空气污染贡献的研究相对较少。本文建立一套建筑施工扬尘排放量的估算方法, 采用本地化排放因子估算了北京市 2000~2015 年建筑施工扬尘排放量, 识别施工扬尘的排放特征和规律, 并定量了排放量的不确定性范围。采用 WRF/CMAQ 模式系统模拟量化建筑施工扬尘对空气质量的影响, 提出施工扬尘污染控制对策和建议, 为环境决策提供参考。结果表明, 多年来北京市建筑施工扬尘排放量呈波浪式上升, 近年来施工面积有所回落, 但仍处于高位, 颗粒物排放量仍然较大, 需要引起足够的重视; 在时间分布上, 夏季和秋季的施工扬尘排放量较大, 在空间分布上, 施工扬尘主要集中在城市功能拓展区和近郊区, 与人类活动的外延和城镇化的逐步向外发展有关。建筑施工扬尘对全市环境空气中 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 浓度贡献可达 31.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 9.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。通过污染控制情景设置和分析, 本研究认为要使 2030 年施工扬尘排放得到较好地削减, 应执行更加严格的绿色施工管理规程和加强施工环境监管。

关键词: 建筑施工扬尘; 颗粒物; 排放清单; 大气污染; 排放因子

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)06-2231-07 DOI: 10.13227/j.hjks.201612071

Fugitive Dust Emission Characteristics from Building Construction Sites of Beijing

XUE Yi-feng¹, ZHOU Zhen¹, HUANG Yu-hu^{1*}, WANG Kun², NIE Teng¹, NIE Lei¹, QIN Jian-ping¹

(1. National Engineering Research Center of Urban Environmental Pollution Control, Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 2. Beijing Municipal Institute of Labour Protection, Beijing 100054, China)

Abstract: Particulate matter (PM) is the primary air pollutant in Beijing, and its emission control is an important direction of air pollution prevention and control. Construction dust plays a significant role in the source of airborne particulate matter in Beijing. Due to population growth and economic development, the demand for residential and office space has been increasing which results in a high construction area in Beijing and dust pollution caused by construction activities. However, there are few studies focusing on fugitive dust emissions from construction sites and their contribution to air pollution in Beijing. Under this background, this paper established an estimation model of dust emission from construction sites, and used the localized emission factor to calculate the dust emission from 2000 to 2015 in Beijing, identified the emission characteristics and laws of construction dust emission and quantified the uncertainty range of the emissions. The WRF/CMAQ model system was used to simulate the contribution of dust pollution to quantify its influence on air quality. The results showed that the dust emission from construction sites in Beijing has been increasing, but the construction area is falling in recent years. However, the emission of PM is still high and needs to be paid enough attention. In the spatial distribution, the dust emissions in summer and autumn are larger than those in other seasons. As for spatial distribution, the construction dust is mainly concentrated in the urban function extension area and suburban area, which is related to the extension of population activities and the gradual development of urbanization. The contribution of construction dust to PM₁₀ and PM_{2.5} concentration in the ambient air can reach 31.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ and 9.6 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively. Through scenarios analysis, for further reduction of the emission from construction sites in 2030, more stricter standard for green construction and powerful supervision are needed.

Key words: fugitive dust at construction site; particulate; emission inventory; air pollution; emission factor

施工活动是人类最重要的生存活动之一^[1,2], 但施工过程(拆除、挖槽、结构和装修)中会由于物料粉碎及地面的扰动排放颗粒物, 粒径较大的颗粒在扬起后沉降到工地附近, 形成降尘。粒径较小的颗粒会随风飘逸, 进入大气中形成悬浮物(扬尘)^[3,4], 引起可见度的下降并影响周边的空气质量^[5,6]。

根据北京市 2014 年 PM_{2.5} 来源解析结果, 扬尘

源对 PM_{2.5} 污染贡献达 14.3%, 是重要的大气污染源^[7~9]。施工扬尘排放是扬尘源的重要组成部分

收稿日期: 2016-12-08; 修订日期: 2017-01-13

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAC17B01, 2014BAC23B02, 2014BAC06B05)

作者简介: 薛亦峰(1983~), 男, 博士研究生, 副研究员, 主要研究方向为大气污染防治, E-mail: xueyf_iej@163.com

* 通信作者, E-mail: huangyuhu@sina.com

分^[10, 11],但目前对该类源的排放定量化与时空分布特征的研究较少. 此前研究多集中施工扬尘排放模型的建立方法,不同施工阶段的排放因子及施工扬尘迁移转化等方面^[12~14]. 对于施工扬尘污染排放特征,时间及空间变化规律及与空气质量影响关系等方面的研究比较缺乏.

本研究采用自下而上的排放因子法,估算了2000~2015年北京市建筑施工扬尘(TSP、PM₁₀和PM_{2.5})的排放量,分析其颗粒物排放的时空分布特征. 采用蒙特卡罗分析方法定量评估了施工扬尘排放量不确定性范围,基于控制管理水平设置了不同情景,预测了北京市2030年建筑施工扬尘排放情况. 采用WRF/CMAQ模式系统模拟建筑施工扬尘不同季度污染贡献,量化其对空气质量的影响,提出施工扬尘污染控制对策和建议,以期对环境决策提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

北京市位于华北平原北部,西部为太行山脉西山,北部和东北部为燕山山脉,地形上不利于污染的扩散. 全市面积16 410.54 km²,常住人口2 151.6万,机动车保有量561万辆,煤炭消耗量1 728万t·a⁻¹,天然气用量113.7亿m³·a⁻¹,大量的燃料燃烧及机动车尾气排放,再加上量大面广的扬尘源(施工扬尘、道路扬尘等),导致北京市颗粒物、气态污染物(SO₂、NO_x、VOCs)排放量大^[15, 16].

1.2 研究方法

建筑施工现场无组织扬尘源的排放速率难以定量化,田刚等^[13]通过大量基础研究,开发了一种“四维通量法”来测定施工扬尘排放强度,获取了北京市本土的建筑施工扬尘排放因子. 在此基础上,基于现有房屋建筑工地的统计现状,建立一套基于施工扬尘排放量的估算方法,如公式(1)、(2)所示.

$$E = \sum_i^n \frac{A_{\text{有效}} \times EF \times (1 - \eta)}{1\,000} \quad (1)$$

$$A_{\text{有效}} = A_{\text{施工面积}} - A_{\text{竣工面积}} \quad (2)$$

式中, E 为排放量,t; $A_{\text{有效}}$ 为活动水平,这里指有效房屋建筑面积,m²; $A_{\text{施工面积}}$ 为统计局或建委发布的房屋建筑施工面积,m²; $A_{\text{竣工面积}}$ 为统计局或建委发布的房屋建筑竣工面积,m²;EF为施工扬尘排放因子,kg·(m²·月)⁻¹; i 代表月份; η 为施工扬尘控制措施的去除率.

1.2.1 排放因子

黄玉虎等^[12]2005年对北京市40多个建筑工地扬尘进行测试,得到春夏秋冬4季节施工降尘量分别为(36.8±10.8)、(22.8±6.4)、(25.0±6.8)和(27.5±6.1)t·(m²·月)⁻¹,将施工降尘量和环境风速代入“四维通量法”施工扬尘排放因子模型^[13],得到北京市2005年控制状况下的施工扬尘排放因子. 结合2005年建筑工地扬尘控制措施使用情况和控制措施效率,得到2005年施工扬尘控制效率约为30%. 得到北京市春夏秋冬4季节未控制状况下的以建筑面积计算的施工扬尘(TSP)排放因子分别为0.331、0.159、0.163和0.198 kg·(m²·月)⁻¹(图1). 其中扬尘颗粒物的粒径分布参考美国加州空气资源委员会(CARB)推荐PM_{2.5}/PM₁₀/TSP=0.10/0.49/1.00^[17].

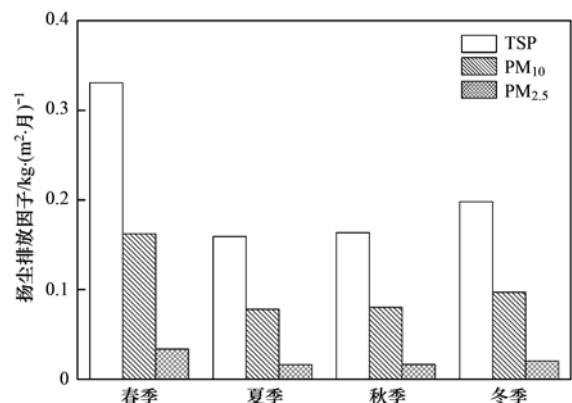


图1 北京市不同季节施工扬尘排放因子

Fig. 1 Fugitive dust emission factor from building construction sites of Beijing in different seasons

1.2.2 活动水平

从北京市统计局发布的北京市统计年鉴,获取了2000~2015年及分月度北京市房屋建筑施工面积、竣工面积数据,基于1.2节中施工扬尘的估算方法,得到2000~2015年及分季度的北京市有效施工面积. 由图2可见,北京市有效施工面积得到较大幅度的增加,从2000年的4 638万m²上升到2015年的15 839万m²,年增长9.2%. 有效施工面积的增加,使施工扬尘排放量得到快速增长. 对于污染控制水平,根据多年来现场调研及施工扬尘控制措施效率综合评估表情况来看,受绿色施工管理规范及工地扬尘收费的影响,施工现场采取围挡、路面硬化、土堆覆盖或绿化、洒水降尘等措施的比例在上升,控制水平在不断提高,施工扬尘控制效率从2000年20%增长到2015年的64%,年增长约8.1%.

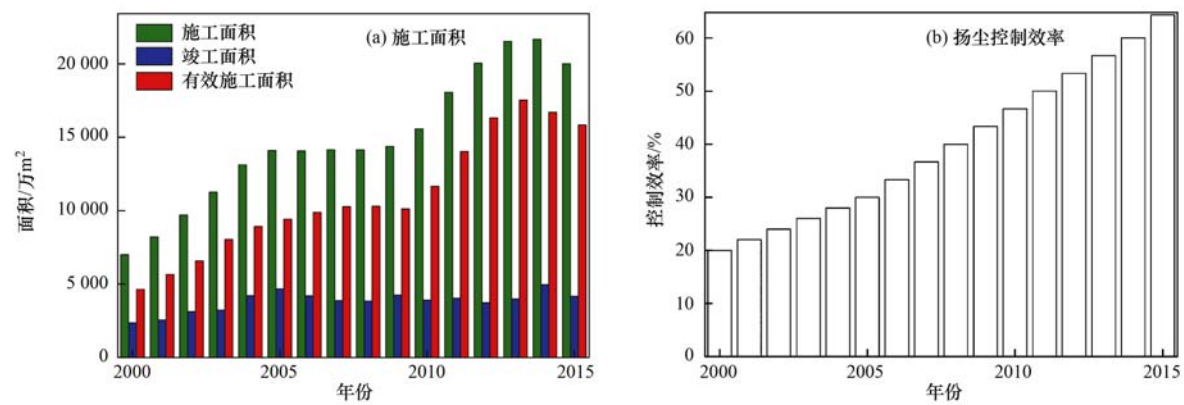


图2 2000~2015年北京市有效施工面积及扬尘控制效率变化情况

Fig. 2 Variation of area of construction and dust removal efficiency in Beijing from 2000 to 2015

1.3 模型设置

本研究采用 WRF/SMOKE/CMAQ 模式系统模拟施工扬尘对北京市空气污染的贡献. 模式系统水平方向采用三重嵌套模拟域(图3), 网格分辨率分别为 36、12、4 km, 其中第三重模拟域覆盖了本研究所关注的北京市全境以及周边的天津、河北和内蒙古部分地区、渤海部分海域. 垂直方向分为 13 层, 最低层高度约为 20 m.

WRF 模型使用 NCEP/NCAR 1°×1°全球分析资料生成第一次猜值场. SMOKE 模型第一重模拟域采用 INTEX-B 人为污染源排放清单^[18], 第二、三重模拟域采用北京市环境保护科学研究院建立的人为源排放清单, 包括 CO、SO₂、NO_x、PM₁₀、PM_{2.5}、VOCs、NH₃ 这 7 种污染物. 天然源的处理模块为 BEIS, 使用 MODIS 卫星反演的植被覆盖数据. CMAQ 模型选用 SAPRC99 气相化学反应机制和 AERO5 气溶胶机制^[19~21]. 模拟时, 设置两个模拟情景: 包含施工扬尘排放量的基准情景和不包括施工扬尘的情景, 其差值视为施工扬尘对空气质量的影响程度.

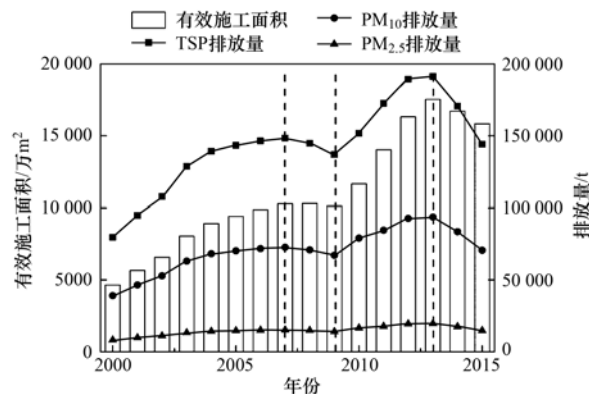


图3 2000~2015年北京市建筑施工扬尘排放量

Fig. 3 Emission of particulate from construction sites in Beijing, 2000-2015

2 结果与讨论

2.1 历史排放清单

结合每年施工工地污染控制调查情况及近几年排污申报的打分情况, 根据排放因子法, 估算了 2000~2015 年北京市施工扬尘不同粒径颗粒物 (TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5}) 的排放量(图3). 由图3可见, 北京市施工扬尘排放量大致经历了 4 个阶段, 2008 年奥运会之前, 施工面积逐年上升, 但工地扬尘污染控制水平较低^[22, 23], 施工扬尘逐年增加. 奥运年前后, 空气污染受到较大的关注, 工地扬尘控制水平得到提高, 受经济回落的影响, 施工面积基本稳定, 这一阶段扬尘排放量有所回落. 2010 年之后, 受固定投资的不断增加, 房地产市场不断升温, 施工面积急剧上升, 而扬尘污染控制水平未得到明显的提高, 扬尘排放量随施工面积的增长而大幅增加. 2015 年北京市开始实行施工工地的排污收费, 在经济杠杆的刺激下, 工地的扬尘控制有所提高, 且受可开发土地面积越来越少, 施工面积开始下降, 在双重的压力下扬尘排放量出现了较大幅度的下降. 2015 年北京市施工工地 TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放量分别为 14.41 万、7.06 万和 1.47 万 t, 比 2013 年下降了约 25%.

2.2 时空分布特征

2.2.1 空间分布

结合排污申报施工工地中心点的经纬度、施工面积信息, 获取了 2015 年北京市施工扬尘排放的空间分布, 如图4所示. 北京市南部的大兴区施工工地数量较多, 工地面积最大, 其扬尘排放量占全市的 14.4%, 该区人口数量较多, 可供开发土地存量较大, 且相对城区来讲, 房屋价格较低, 市场的需求量较大, 从而导致了扬尘排放量较大. 朝阳区作为城市功能拓展区, 受人口活动密集的影响, 施工面积也较

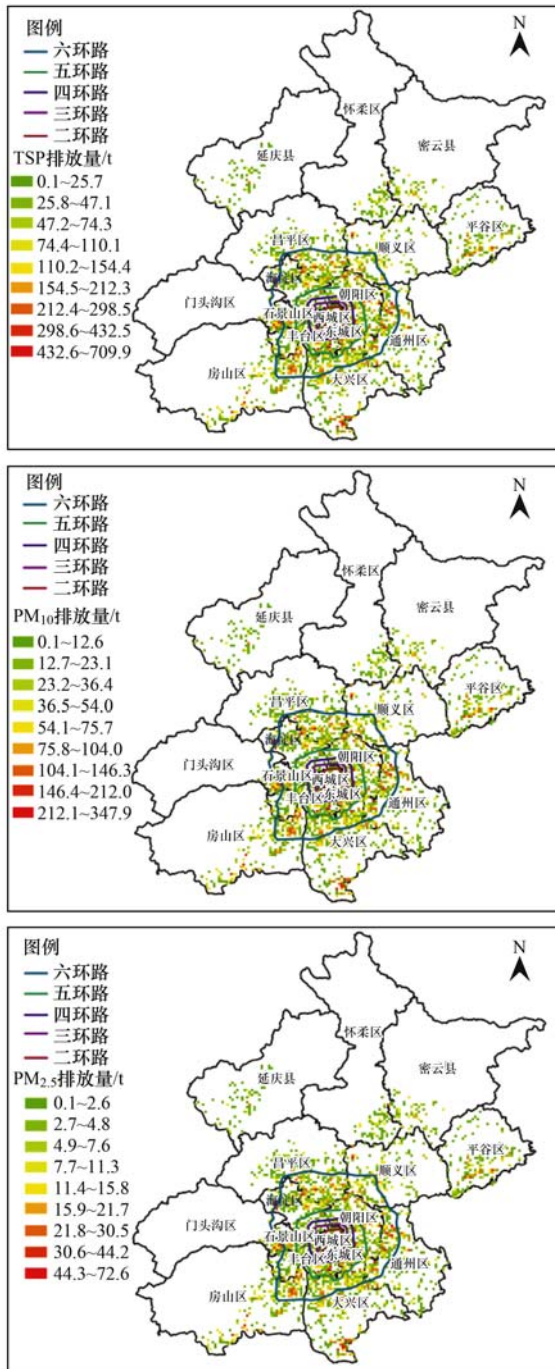


图4 2015年北京市建筑施工扬尘空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of particulate emission from construction sites in Beijing, 2015

大,扬尘排放量约占全市 11.9%。通州区作为城市的副中心,近几年土地开发程度较高,施工数量和面积均呈上升趋势,扬尘排放量约占全市 11.4%。相对来讲,作为生态涵养区的密云县和延庆县土地开发强度较小,施工面积少,扬尘排放量较小。城市核心区的东城区和西城区,由于开发程度基本饱和,基本上无可供开发的土地,因此施工面积很小,扬尘排

放贡献较小。

总体上来看,施工扬尘集中在六环内,主要原因是该区域内人口活动密度,住宅需求较大,导致施工工地面积较大。

2.2.2 月度分布

根据统计局提供的全市月度施工面积数据,得到 2015 年施工扬尘逐月排放量,如图 5 所示。从中可见,施工扬尘在夏季、秋季的排放量较大,春季和冬季由于气温较低,施工面积略少一些,其扬尘排放量相对较小。将施工扬尘的月度分布与环境空气中 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 月均浓度进行对比和相关性的分析,发现施工扬尘月排放量与 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 环境浓度不显著相关。间接说明了,虽然扬尘一次排放量较大,但对于整体的 $PM_{2.5}$ 的影响程度有限,前体物的二次转化在 $PM_{2.5}$ 形成方面占有较大的比例。

2.3 不确定性分析

影响建筑施工扬尘排放清单的不确定性因素较多,包括活动水平的可靠性及扬尘排放因子的适用性和准确性^[24~26]。为更好地理解排放清单的不确定性程度,采用蒙特卡罗不确定性分析方法对建筑施工扬尘排放清单的潜在的不确定度进行量化。通过重复抽样的方法,活动水平和排放因子不确定度通过模拟方程给出,从而获得排放清单的不确定性范围(95%的置信区间)。根据模拟结果,2015 年北京市建筑施工扬尘 TSP、 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的不确定性范围分别为 -72% ~ 83%、-75% ~ 84% 和 -72% ~ 86%。

2.4 对空气质量影响分析

在使用上文所述模型系统模拟施工扬尘对空气质量影响之前,首先利用观测数据对模型模拟性能进行验证,验证方法见文献[27]。所用观测数据为北京市 12 个国控站 2015 年 1、4、7、10 月 $PM_{2.5}$ 的日均浓度。结果显示,12 个站点的标准化平均偏差在 0.05 ~ 0.43 之间,标准化平均误差在 0.29 ~ 0.50 之间,相关系数在 0.64 ~ 0.80 之间。误差水平与文献报道持平,相关性则比较高,优于同类研究^[27],整体而言模拟效果可以接受。

2015 年建筑施工扬尘排放清单作为输入数据,结合北京市大气污染物排放清单,利用 WRF/CMAQ 模式先后模拟全市排放清单情景及假设无建筑施工扬尘排放情景的空气质量状况,其差值视为建筑施工扬尘对空气气量的贡献。图 6 为建筑施工扬尘对环境空气颗粒物(PM_{10} 和 $PM_{2.5}$) 浓度贡献分布。可以看出,建筑施工扬尘对大气环境的影响范围与排

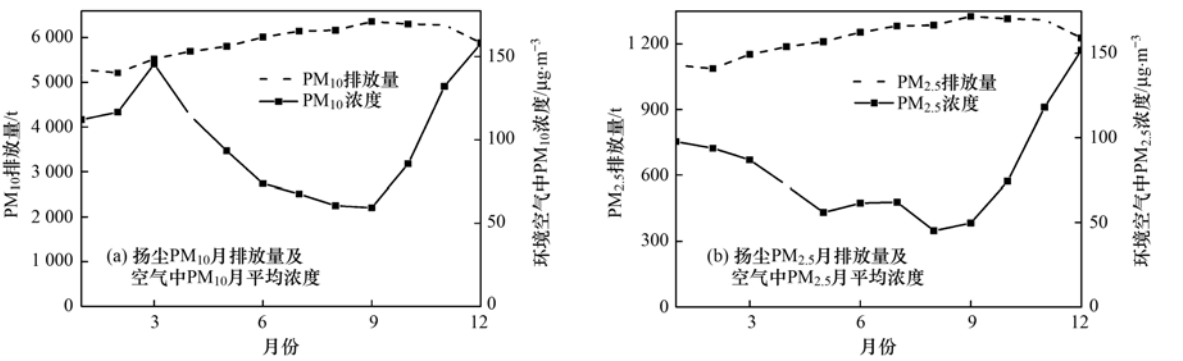


图5 2015年北京市建筑施工扬尘月度排放量和空气中颗粒物月平均浓度

Fig. 5 Monthly variation of dust emission from construction sites and atmospheric particulate concentration in Beijing, 2015

放量的空间分布基本相同,主要集中在城六区及郊区的建成区.由于空气质量国控站点也主要分布在其影响的区域内,因此建筑施工扬尘对空气质量的结果有较大的影响.建筑施工扬尘对全市环境空气中PM₁₀和PM_{2.5}浓度贡献可达31.3 μg·m⁻³和9.6 μg·m⁻³.对12个空气质量监测国控站点PM₁₀和PM_{2.5}浓度平均贡献了17.5 μg·m⁻³和6.2 μg·m⁻³,约占全市空气中PM₁₀和PM_{2.5}年平均浓度的17.2%和7.8%.

2.5 扬尘污染控制

建筑施工扬尘是可以控制和削减的,而且削减潜力很大.具体的建筑施工扬尘防治途径建议包括以下4个方面.

(1) 切实提高施工环境保护技术装备水平

通过行业主管部门,按照绿色施工和5个100%的要求,提高建筑施工全过程工艺水平,推行行之有效的扬尘控制技术和装备,如洗轮机、抑尘剂、防尘网、安全网、挡风抑尘墙、雾炮和塔吊喷淋系统等,将施工扬尘控制技术能力纳入建筑施工企业资质评定体系中.

(2) 加强环境保护法规标准建设

在《中华人民共和国大气污染防治法》和《北京市大气污染防治条例》中强化扬尘污染控制制度措施.对违规排放扬尘并污染环境的行为,可设定“行为罚”罚则,由相关部门即时制止,严格执法.制定《建筑施工扬尘污染排放标准》,采用现代化监测技术手段,对扬尘排放进行即时量化监测监控.

(3) 制定有利于落实企业主体责任的经济政策

建立和完善政府监管、企业负责、居民参与的机制,各区县政府和市建设、环保、城管等部门要切实负起监管责任.最为重要的是开展培训教育,要求施工企业树立环保意识,落实社会责任,将落实“五个100%”要求视为能否在首都施工市场立足的

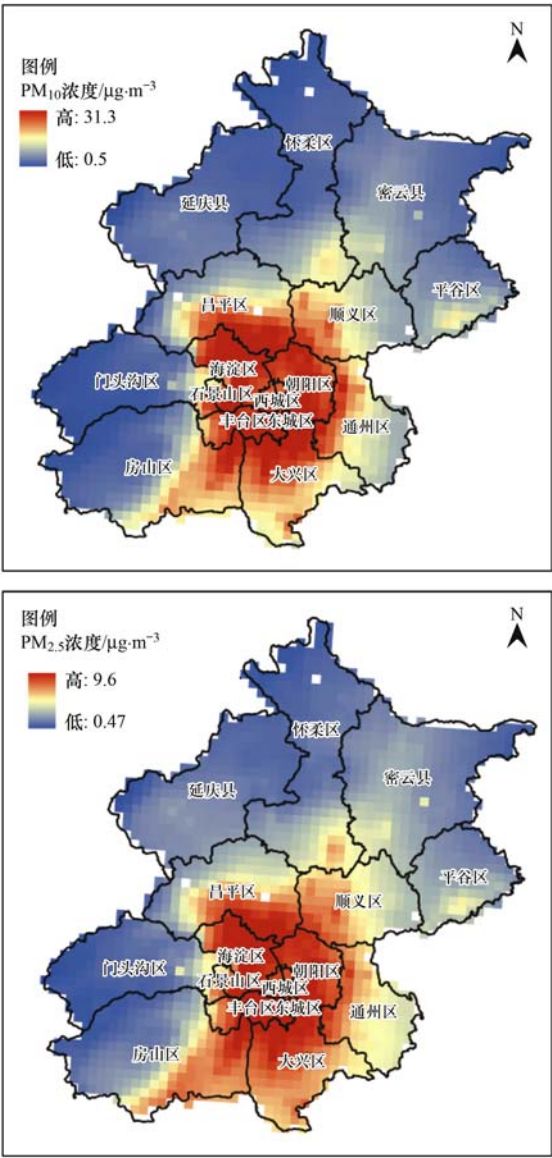


图6 2015年北京市建筑施工扬尘对环境空气颗粒物浓度贡献

Fig. 6 Contribution of particulate concentration from construction sites in Beijing, 2015

生命线. 严格落实《关于建设工程施工工地扬尘排污收费标准的通知》(京发改[2015]265号)和《关

于建设工程施工工地扬尘排污费征收有关工作的通知》(京环发[2015]5号),征收建设工程施工工地扬尘排污费,督促建筑行业加大扬尘污染控制投入.严格落实《北京市建设工程扬尘治理专项资金管理暂行办法》(京建法[2014]8号),督促工程项目建设单位保障施工现场扬尘治理费用的足额投入,督促施工单位按标准认真落实扬尘治理工作责任.

2.6 未来建筑施工扬尘排放量预测

通过梳理 2000~2015 年全市施工面积,可以看出,受城镇化和人口需求增加的推动,施工面积呈现出逐年升高的趋势,但在 2013 年出现拐点(图 7),此后施工面积开始下降,主要受可供开发土地的面积减少的影响,且城镇化已达到较高水平,继续增长的潜力受限等因素影响,基于当前的大气污染控制态势及施工开发发展规律,预测未来施工面积会保持稳中有降.因此基于 2013~2015 有效施工面积,采用对数形式对未来有效施工面积进行预测,2020、2025 和 2030 年有效施工面积分别为 1.46、1.38 和

1.33 亿 m^2 .

基于未来污染控制程度的不同,设置高、中、低这 3 种情景,对未来 2030 年北京市施工扬尘排放进行了预测,如图 7 所示.在低方案控制情景下,认为将继续维持现有的污染控制排放水平,污染排放仅受施工面积的变动影响,在 2016~2030 年间施工扬尘污染排放将稳定在一个较高水平上.在中方案控制情景下,受扬尘排污收费实施影响,绿色施工比例将有所提高,扬尘控制效率得到提升,从而减少扬尘排放.在高方案控制情景下,在市级及区县主管部门共同推进下,全市所有施工工地均能实现绿色生产,最大程度地减少颗粒物的排放,2030 年施工扬尘 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 排放将减少到 5.1 万 t、2.5 万 t 和 0.52 万 t.

3 结论

(1)多年来北京市建筑施工扬尘排放量呈波浪式上升,近年来施工面积有所回落,但仍处于高位,总体颗粒物排放量仍然较大.2015 年北京市施工工地 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 排放量分别为 14.41 万、7.06 万和 1.47 万 t,比 2013 年下降了约 25%.

(2)施工扬尘集中在六环内,主要原因是该区域内人口活动密度,住宅需求较大,导致施工工地面积较大.北京市南部的大兴区施工工地数量较多,工地面积最大,其扬尘排放量占全市的 14.4%.在年度的时间分布上,夏季和秋季的施工扬尘排放量较大.

(3)施工扬尘对大气环境的影响范围与排放量的空间分布基本相同,主要集中在城六区及郊区的建成区.施工扬尘对全市环境空气中 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度贡献可达 $31.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $9.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

(4)通过情景分析,在严格的绿色生产及有效的环境监管的制约下,能够较大幅度地减少扬尘的排放,2030 年施工扬尘 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 将减少到 2.5 万 t 和 0.52 万 t.

参考文献:

- [1] Wu Z Z, Zhang X L, Wu M. Mitigating construction dust pollution: state of the art and the way forward[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, **112**: 1658-1666.
- [2] Flagg C B, Neff J C, Reynolds R L, et al. Spatial and temporal patterns of dust emissions (2004-2012) in semi-arid landscapes, southeastern Utah, USA[J]. Aeolian Research, 2014, **15**: 31-43.
- [3] 田刚, 黄玉虎, 樊守彬, 等. 扬尘污染控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.

Tian G, Huang Y H, Fan S B, et al. Fugitive dust control[M].

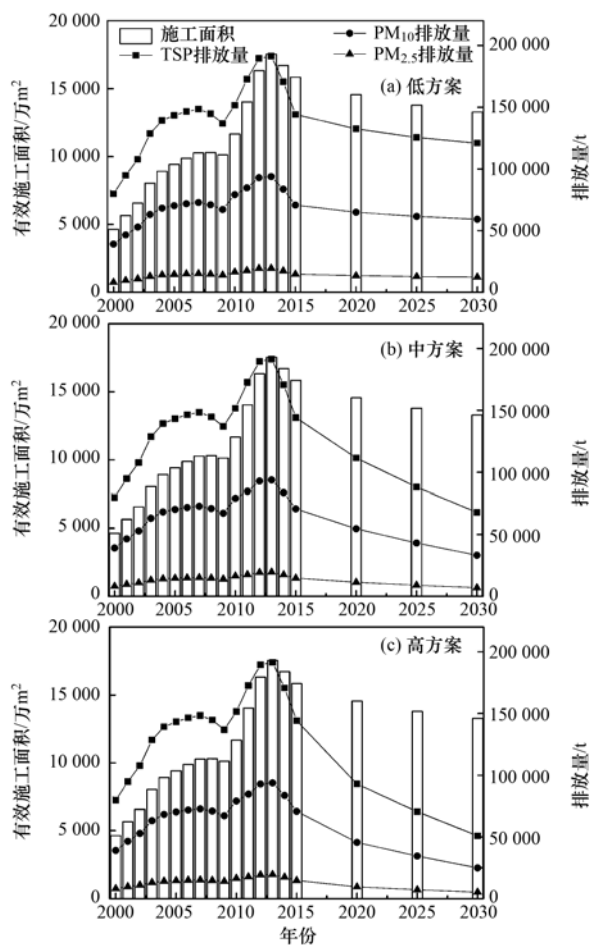


图 7 2030 年北京市建筑施工扬尘排放的 3 种情景

Fig. 7 Scenarios analysis for projecting the future dust emission from construction sites in Beijing, 2030

- Beijing; China Environmental Science Press, 2013.
- [4] Todd M C, Cavazos-Guerra C. Dust aerosol emission over the Sahara during summertime from Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization (CALIOP) observations [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, **128**: 147-157.
- [5] Sun J Q, Wang Q W, Zhuang S L, *et al.* Occurrence of polybrominated diphenyl ethers in indoor air and dust in Hangzhou, China; level, role of electric appliances, and human exposure[J]. *Environmental Pollution*, 2016, **218**: 942-949.
- [6] Anisimov A, Tao W C, Stenchikov G, *et al.* Quantifying local-scale dust emission from the Arabian Red Sea coastal plain[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2017, **17**(2): 1-43.
- [7] 张大伟. 北京市大气环境 PM_{2.5} 污染现状及成因研究[R]. 北京:北京市环境保护监测中心, 2014.
- Zhang D W. Investigation on the situation and source appointment of PM_{2.5} pollution in Beijing [R]. Beijing: Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, 2014.
- [8] Li R K, Li Z P, Gao W J, *et al.* Diurnal, seasonal, and spatial variation of PM_{2.5} in Beijing[J]. *Science Bulletin*, 2015, **60**(3): 387-395.
- [9] Yu L D, Wang G F, Zhang R J, *et al.* Characterization and source apportionment of PM_{2.5} in an urban environment in Beijing [J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2013, **13**(2): 574-583.
- [10] Meng J, Liu J F, Fan S M, *et al.* Potential health benefits of controlling dust emissions in Beijing [J]. *Environmental Pollution*, 2016, **213**: 850-859.
- [11] Zhang R, Jing J, Tao J, *et al.* Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} in Beijing; seasonal perspective [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, **13**(14): 7053-7074.
- [12] 黄玉虎, 田刚, 秦建平, 等. 不同施工阶段扬尘污染特征研究[J]. *环境科学*, 2007, **28**(12): 2885-2888.
- Huang Y H, Tian G, Qin J P, *et al.* Characteristics of fugitive dust pollution in different construction phases[J]. *Environmental Science*, 2007, **28**(12): 2885-2888.
- [13] 田刚, 黄玉虎, 李钢. 四维通量法施工扬尘排放模型的建立与应用[J]. *环境科学*, 2009, **30**(4): 1003-1007.
- Tian G, Huang Y H, Li G. Establishment and application of four-dimensional fluxes emission factor model for construction fugitive dust[J]. *Environmental Science*, 2009, **30**(4): 1003-1007.
- [14] 田刚, 李钢, 闫宝林, 等. 施工扬尘空间扩散规律研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(1): 259-262.
- Tian G, Li G, Yan B L, *et al.* Spatial dispersion laws of fugitive dust from construction sites[J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(1): 259-262.
- [15] 薛亦峰, 周震, 聂滕, 等. 2015 年 12 月北京市空气重污染过程分析及污染源排放变化[J]. *环境科学*, 2016, **37**(5): 1593-1601.
- Xue Y F, Zhou Z, Nie T, *et al.* Exploring the severe haze in Beijing during december, 2015: pollution process and emissions variation [J]. *Environmental Science*, 2016, **37**(5): 1593-1601.
- [16] 北京市统计局. 北京统计年鉴 2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- Beijing Municipal Bureau of Statistics. Beijing statistical yearbook 2015[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015.
- [17] Taylor C. Section 7.7 building construction dust [R]. California: CARB, 2002. 1-2.
- [18] Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, *et al.* Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(14): 5131-5153.
- [19] Bae S Y, Jeong J I, Park R J, *et al.* Weekly variability of precipitation induced by anthropogenic aerosols: a case study in Korea in summer 2004[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **541**: 1531-1539.
- [20] Park S U, Lee I H, Joo S J. Spatial and temporal distributions of aerosol concentrations and depositions in Asia during the year 2010[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **542**: 210-222.
- [21] Syrakov D, Prodanova M, Georgieva E, *et al.* Simulation of European air quality by WRF-CMAQ models using AQMEII-2 infrastructure [J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2016, **293**: 232-245.
- [22] Huang X F, He L Y, Hu M, *et al.* Highly time-resolved chemical characterization of atmospheric submicron particles during 2008 Beijing Olympic Games using an Aerodyne High-Resolution Aerosol Mass Spectrometer [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(18): 8933-8945.
- [23] Xu R G, Tang G Q, Wang Y S, *et al.* Analysis of a long-term measurement of air pollutants (2007-2011) in North China Plain (NCP); impact of emission reduction during the Beijing Olympic Games[J]. *Chemosphere*, 2016, **159**: 647-658.
- [24] Qiu P P, Tian H Z, Zhu C Y, *et al.* An elaborate high resolution emission inventory of primary air pollutants for the Central Plain Urban Agglomeration of China[J]. *Atmospheric Environment*, 2014, **86**: 93-101.
- [25] Tian H Z, Gao J J, Lu L, *et al.* Temporal trends and spatial variation characteristics of hazardous air pollutant emission inventory from municipal Solid waste incineration in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2012, **46**(18): 10364-10371.
- [26] Zhao Y, Nielsen C P, Lei Y, *et al.* Quantifying the uncertainties of a bottom-up emission inventory of anthropogenic atmospheric pollutants in China[J]. *Atmospheric Chemistry and Physical*, 2011, **11**(5): 2295-2308.
- [27] 李璇, 聂滕, 齐珺, 等. 2013 年 1 月北京市 PM_{2.5} 区域来源解析[J]. *环境科学*, 2015, **36**(4): 1148-1153.
- Li X, Nie T, Qi J, *et al.* Regional source apportionment of PM_{2.5} in Beijing in January 2013[J]. *Environmental Science*, 2015, **36**(4): 1148-1153.

CONTENTS

Comparison of Models on Spatial Variation of PM _{2.5} Concentration; A Case of Beijing-Tianjin-Hebei Region	WU Jian-sheng, WANG Xi, LI Jia-cheng, <i>et al.</i> (2191)
Change of Atmospheric Pollution Diffusion Conditions in Beijing in Recent 35 Years	GUO Chun-wei, SUN Zhao-bin, LI Zi-ming, <i>et al.</i> (2202)
Precipitation and Its Effects on Atmospheric Pollutants in a Representative Region of Beijing in Summer	HAN Li-hui, ZHANG Hai-liang, XIANG Xin, <i>et al.</i> (2211)
Impact of Mountain-Valley Wind Circulation on Typical Cases of Air Pollution in Beijing	DONG Qun, ZHAO Pu-sheng, WANG Ying-chun, <i>et al.</i> (2218)
Fugitive Dust Emission Characteristics from Building Construction Sites of Beijing	XUE Yi-feng, ZHOU Zhen, HUANG Yu-hu, <i>et al.</i> (2231)
Characteristics of Volatile Organic Compounds Emitted from Biomass-pellets-fired Boilers	WU Chang-da, ZHANG Chun-lin, BAI Li, <i>et al.</i> (2238)
Effect of VOCs on O ₃ and SOA Formation Potential During the Combined Pollution Process in Guangzhou Panyu Atmospheric Composition Station	ZOU Yu, DENG Xue-jiao, LI Fei, <i>et al.</i> (2246)
Characteristic Study on the "Weekend Effect" of Atmospheric O ₃ in Northern Suburb of Nanjing	WANG Jun-xiu, AN Jun-lin, SHAO Ping, <i>et al.</i> (2256)
Atmospheric Ammonia/Ammonium-nitrogen Concentrations and Wet and Dry Deposition Rates in a Double Rice Region in Subtropical China	WANG Jie-fei, ZHU Xiao, SHEN Jian-lin, <i>et al.</i> (2264)
Species of Iron in Size-resolved Particle Emitted from Xuanwei Coal Combustion and Their Oxidative Potential	WANG Qiang-xiang, TAN Zheng-ying, ZHAO Hui, <i>et al.</i> (2273)
Dioxin Pollution and Occupational Inhalation Exposure of PCDD/Fs in Municipal Solid Waste Incinerator	DU Guo-yong, WANG Qian, ZHANG Shu-lin, <i>et al.</i> (2280)
Characteristics of Mercury Emissions from Modern Dry Processing Cement Plants in Chongqing	ZHANG Cheng, ZHANG Ya-hui, WANG Yong-min, <i>et al.</i> (2287)
Correlations of Light-duty Gasoline Vehicle Emissions Based on VMAS and CVS Measurement Systems	WANG Hong-yu, HUANG Cheng, HU Qing-yao, <i>et al.</i> (2294)
Emission Characteristics of Particulate Matter from Diesel Buses Meeting Different China Emission Standards Fueled with Biodiesel	LOU Di-ming, ZHAO Cheng-zhi, XU Ning, <i>et al.</i> (2301)
Spatial Variation and Environmental Significance of δ ¹⁸ O and δD Isotope Composition in Xijiang River	XU Qi, LI Jian-hong, SUN Ping-an, <i>et al.</i> (2308)
Comparative Study of SWAT and DNDC Applied to N Leach and Export from Subtropical Watershed	HAN Ning, CHEN Wei-liang, GAO Yang, <i>et al.</i> (2317)
Comparison of Relationship Between Conduction and Algal Bloom in Pengxi River and Modao River in Three Gorges Reservoir	JIANG Wei, ZHOU Chuan, JI Dao-bin, <i>et al.</i> (2326)
Temporal and Spatial Variation Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in Sediment Pore Water and Overlying Water of Dianchi Caohai Lake	WANG Yi-ru, WANG Sheng-ru, JIAO Li-xin, <i>et al.</i> (2336)
Distribution and Emission Flux Estimation of Phosphorus in the Sediment and Interstitial Water of Xiangxi River	LUO Yu-hong, NIE Xiao-qian, LI Xiao-ling, <i>et al.</i> (2345)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Water and Sediment from Daye Lake	ZHANG Jia-quan, TIAN Qian, XU Da-mao, <i>et al.</i> (2355)
Formation of Brominated Disinfection By-products in Low Temperature Multi-effect Distillation (LT-MED) Process for Seawater Desalination	QI Fei, SUN Ying-xue, YANG Zhe, <i>et al.</i> (2364)
Applicability Comparison and Application Study of Two Methods for Determination of the Copper Complexing Capacity of Waters	WANG Chen-ye, JIANG Kuo, XIE Wen-long, <i>et al.</i> (2373)
Performance of Applying Scale Permeable Pavements for Control of Runoff Pollution in an Area with High Groundwater Level	JIN Jian-rong, LI Tian, SHI Zhen-bao, <i>et al.</i> (2379)
Removal of 2,4-dichlorophenol in Underground Water by Stabilized Nano Zero-valent Iron	ZHANG Yong-xiang, CHANG Shan, LI Fei, <i>et al.</i> (2385)
Enhancement of Sulfamerazine Degradation Under H ₂ O ₂ /KI System by Ultrasound and UVA Irradiation	WEI Hong, SUN Bo-cheng, YANG Xiao-yu, <i>et al.</i> (2393)
Comparison of Phosphate Adsorption onto Zirconium-Modified Bentonites with Different Zirconium Loading Levels	JINAG Bo-hui, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2400)
Removal of Nitrogen in Municipal Secondary Effluent by a Vertical Flow Constructed Wetland Associated with Iron-carbon Internal Electrolysis	ZHENG Xiao-ying, ZHU Xing, ZHOU Xiang, <i>et al.</i> (2412)
Purification Efficiency and Influencing Factors of Combined Bio-filters for Aquaculture Wastewater	ZHANG Shi-yang, ZHANG Sheng-hua, ZHANG Xiang-ling, <i>et al.</i> (2419)
Effect of Temperature on PAO Activity and Substrate Competition	ZHANG Ling, PENG Dang-cong, CHANG Die, <i>et al.</i> (2429)
Enrichment and Nitrogen Removal Characteristics of Marine Anaerobic Ammonium Oxidizing Bacteria	FENG Li, YU De-shuang, LI Jin, <i>et al.</i> (2435)
Ammonia Removal Rate and Microbial Community Structures in Different Biofilters for Treating Aquaculture Wastewater	ZHOU Hong-yu, HAN Mei-lin, QIU Tian-lei, <i>et al.</i> (2444)
Influence of Phosphate on Nitrogen Removal Efficiency of ANAMMOX Sludge	ZHOU Zheng, LIU Kai, WANG Fan, <i>et al.</i> (2453)
Characteristics and Mechanism of Biological Nitrogen and Phosphorus Removal Granular Sludge Under Carbon Source Stress	QIN Shi-you, CHEN Wei, MA Zhao-nui, <i>et al.</i> (2461)
Evolution of Extracellular Polymeric Substances of the Activated Sludge with Calcium Ion Addition During Set-up Period of Sequencing Batch Reactors	REN Li-fei, YANG Xin-ping, ZHANG Wen-wen, <i>et al.</i> (2470)
Isolation, Identification and Characterization of the Filamentous Microorganisms from Bulking Sludge	ZHANG Chong-miao, NIU Quan-rui, XU Li-mei, <i>et al.</i> (2477)
Applicability and Microbial Community Structure of Denitrification Suspended Carriers	TAN Yang, LI Ji, XU Qiao, <i>et al.</i> (2486)
Effect of Thiosulfate on the Carbon Fixation Capability of <i>Thiobacillus thioparus</i> and Its Mechanism	LI Huan, WANG Lei, WANG Ya-nan, <i>et al.</i> (2496)
Characteristics of Fungi Community Structure and Genetic Diversity of Forests in Guandi Mountains	QIAO Sha-sha, ZHOU Yong-na, CHAI Bao-feng, <i>et al.</i> (2502)
Source Apportionment of Soil Heavy Metals in City Residential Areas Based on the Receptor Model and Geostatistics	CHEN Xiu-duan, LU Xin-wei, <i>et al.</i> (2513)
Environmental Health Risk Assessment of Contaminated Soil Based on Monte Carlo Method; A Case of PAHs	TONG Rui-peng, YANG Xiao-yi, <i>et al.</i> (2522)
Influencing Mechanism of Eh, pH and Iron on the Release of Arsenic in Paddy Soil	ZHONG Song-xiong, YIN Guang-cai, CHEN Zhi-liang, <i>et al.</i> (2530)
Correlations Between Different Extractable Cadmium Levels in Typical Soils and Cadmium Accumulation in Rice	CHEN Qi, DENG Xiao, CHEN Shan, <i>et al.</i> (2538)
Remedying Effects of a Combined Amendment for Paddy Soil Polluted with Cd for Spring and Autumn Rice	CHEN Li-wei, YANG Wen-tao, GU Jiao-feng, <i>et al.</i> (2546)
Effects of Two Amendments on Remedying Garden Soil Complexly Contaminated with Pb, Cd and As	TIAN Tao, LEI Ming, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (2553)
Sorption of Phenanthrene to Soybean and Wheat Roots and the Bioavailability of Sorbed Phenanthrene	WANG Hong-ju, LI Qian-qian, SHEN Yu, <i>et al.</i> (2561)
Effects of Dissolved Organic Matter Fractions Extracted from Humus Soil on Sorption of Benzotriazole in Brown Soil and Black Soil	YANG Ning-wei, BI Er-ping, <i>et al.</i> (2568)
Effects of Topography, Tree Species and Soil Properties on Soil Enzyme Activity in Karst Regions	LUO Pan, CHEN Hao, XIAO Kong-cai, <i>et al.</i> (2577)
Effects of Long-term Organic Amendments on Soil N ₂ O Emissions from Winter Wheat-maize Cropping Systems in the Guanzhong Plain	HAO Yao-xu, LIU Ji-xuan, YUAN Meng-xuan, <i>et al.</i> (2586)
Exposure Route of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in Hair Based on Passive Sampling	YUAN Hao-dong, BAI Yao, LI Qiu-xu, <i>et al.</i> (2594)
Accumulation Characteristics and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Wild Fish Species from Diaojiang River, Guangxi	WANG Jun-neng, MA Peng-cheng, ZHANG Li-juan, <i>et al.</i> (2600)
Effect of Activated Carbon Addition on the Anaerobic Fermentation of Corn Straw in Mesophilic and Thermophilic Conditions	GAN Rong, GE Ming-min, LIU Yong-di, <i>et al.</i> (2607)
Volatile Organic Compounds (VOCs) Source Profiles of Industrial Processing and Solvent Use Emissions; A Review	WANG Hong-li, YANG Zhao-xun, JING Sheng-ao, <i>et al.</i> (2617)