

百方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2019

Vol.40 No.1

第40卷 第1期

目次

2015~2016年北京市3次空气重污染红色预警PM_{2.5}成因分析及效果评估..... 吕喆,魏巍,周颖,程水源,王晓琦(1)

长三角地区重点源减排对PM_{2.5}浓度的影响..... 于燕,王泽华,崔雪东,陈锋,徐宏辉(11)

上海市实施清洁空气行动计划的健康收益分析..... 戴海夏,安静宇,李莉,黄成,严茹莎,朱书慧,马英歌,宋伟民,阚海东(24)

京津冀及周边地区PM_{2.5}时空变化特征遥感监测分析..... 陈辉,厉青,李莹,张连华,毛慧琴,周伟,刘伟汉(33)

MODIS C006气溶胶光学厚度产品在京津冀典型环境背景下的适用性..... 王海林,刘琼,陈勇航,孙冉,李霞,张华,魏刚,胡俊,刘统强(44)

气象因素对香港地区臭氧污染的影响..... 赵伟,高博,刘明,卢清,马社霞,孙家仁,陈米国,范绍佳(55)

天津夏季边界层低层大气中PAN和O₃的输送特征分析..... 姚青,马志强,林伟立,刘敬乐,王晓佳,蔡子颖,韩素芹(67)

成都冬季PM_{2.5}化学组分污染特征及来源解析..... 吴明,吴丹,夏俊荣,赵天良,杨清健(76)

郑州市冬季天气PM_{2.5}传输路径和潜在源分析..... 段时光,姜楠,杨留明,张瑞芹(86)

常州春季PM_{2.5}中WSOC和WSON的污染特征与来源解析..... 李清,黄雯倩,马帅帅,黄红缨,叶招莲,陈敏东(94)

天津隧道机动车VOCs污染特征与排放因子..... 孙露娜,刘妍,赵静波,孙世达,宋从波,张静,李悦宁,林应超,王婷,毛洪钧(104)

机动车源大气颗粒物粒径分布及碳组分特征..... 梅德清,朱宗宁,孙天硕,王向丽,梅丛蔚,肖政臻(114)

超低排放路线下燃煤烟气可凝结颗粒物在WFGD、WESP中的转化特性..... 杨柳,张斌,王康慧,麻丁仁,盛文(121)

超低排放燃煤电厂颗粒物脱除特性..... 阮仁晖,谭厚章,段钰锋,杜勇乐,刘鹤欣,萧嘉繁,杨富鑫,张朋(126)

北京建筑施工裸地时空变化及扬尘污染排放..... 张立坤,李令军,姜磊,赵文慧,鹿海峰,王新辉,邱昀(135)

SCR装置对焦炉煤气燃烧废气中PCDD/Fs、PCBs和PCNs的协同脱除..... 任美慧,樊芸,王胜,许亮,张宁,张雪萍,陈吉平,张海军(143)

古浪河流域大气降水稳定同位素的时空特征及其环境意义..... 桂娟,李宗省,冯起,卫伟,李永格,吕越敏,袁瑞丰,张百娟(149)

夏季闽江CDOM的空间分布与降解特征..... 程琼,庄婉娥,王辉,陈苇,杨丽阳(157)

亚热带河口陆基养虾塘水体CDOM三维荧光光谱平行因子分析..... 朱爱菊,孙东耀,谭季,黄佳芳,罗敏(164)

基于UV-vis及EEMs解析周村水库夏秋季降雨不同相对分子质量DOM的光谱特征及来源..... 周石磊,张艺冉,黄廷林,刘艳芳,张磊,李贵霞,岳琳,罗晓(172)

分层型水源水库溶解性有机物质及其膜污染特性..... 李凯,王晓东,黄廷林,李舒,刘双(185)

重庆西部山区典型湖泊水-气界面CO₂交换通量及其影响因素..... 罗佳宸,倪茂飞,李思悦(192)

基于稀疏表达的水体遥感反射率高光谱重构及其应用..... 李渊,李云梅,郭宇龙,张运林,张毅博,胡耀霖,夏忠(200)

巢湖十五里河河床地貌单元沉积物硝化速率及污染特征..... 李如忠,阙凤翔,熊鸿斌,王莉(211)

特大城市河流表层沉积物磷形态分布及有效性:以成都市为例..... 丁瑶,欧阳莉莉,石清,高平川,赖承钺,陈舒平,贾滨洋,姚刚(219)

黄河中游(渭南—郑州段)全/多氟烷基化合物的分布及通量..... 李琦路,程相会,赵祯,郭萌然,袁梦,华夏,方祥光,孙红文(228)

重工业城市岩溶地下水中多环芳烃污染特征及来源..... 苗迎,孔祥胜,李成展(239)

沈抚新城地下水中PAHs的污染特征及健康风险评价..... 张士超,姚宏,向鑫鑫,刘殷佐,刘明利,鲁根涛,于晓华(248)

多环芳烃及其衍生物在北京纳污河流中的分布及健康风险..... 付璐婧,李一兵,乔梦,赵旭(256)

原水性质对新型含Ca²⁺复合混凝剂混凝过程的影响..... 曲江东,徐慧,徐建坤,段晋明,门彬,王东升(263)

水体中磺胺甲噁唑间接光降解作用..... 李聪鹤,车潇炜,白莹,石晓勇,苏荣国(273)

MoS₂/BiOI复合光催化剂制备及其光催化氧化还原性能..... 张亮,赵朝成,高先瑶,闫青云,王帅军,董培,侯亚璐(281)

纳米零价铜活化分子氧降解水中恩诺沙星..... 倪永炯,程永清,徐梦苑,邱春根,马晓雁,李军,邓靖(293)

不同类型LDHs负载改性麦饭石对Cr(VI)吸附性能..... 张翔凌,邓礼楚,方晨佳,雷雨,何春艳,高晨光,赵双杰,向洋(300)

单层硅烷负载磁铁矿纳米颗粒的制备及除磷性能..... 邢明超,谢强,陈守慧,吴德意(310)

新生态型聚硅酸铁锰处理染料废水的优化..... 唐立朋,魏群山,吕强,张弛,刘亚男,柳建设(318)

不同外加电压下自养型生物阴极还原硫酸盐的性能及生物膜群落响应..... 胡佳萍,曾翠平,骆海萍,刘广立,张仁铎,卢耀斌(327)

碳源对O/A-F/F模式积累内源聚合物及反硝化的影响..... 崔有为,金常林,王好韩,李晶(336)

进水C/P对SNEDPR系统脱氮除磷性能的影响..... 甄建园,于德爽,王晓霞,陈光辉,都叶奇,袁梦飞,杜世明(343)

不同污泥龄(SRT)对SNEDPR系统脱氮除磷影响..... 王晓霞,甄建园,赵骥,于德爽,都叶奇,杜世明,袁梦飞,张帆(352)

后置短程反硝化AOA-SBR工艺实现低C/N城市污水的脱氮除磷..... 巩秀珍,于德爽,袁梦飞,王晓霞,陈光辉,王钧,毕春雪,都叶奇(360)

缺氧-好氧连续流亚硝化颗粒污泥反应器的启动及稳定运行..... 李冬,郭跃洲,劳会妹,曹美忠,张杰(369)

低温SNAD颗粒污泥工艺启动方式..... 李冬,崔雅倩,赵世勋,刘志诚,张杰(376)

不同取样尺度和数量下针阔混交林土壤呼吸的空间异质性..... 严俊霞,孙琦,李君剑,李洪建(383)

轮作方式对冬水田温室气体排放的影响..... 冯夕,江长胜,彭小乐,李彦沛,郝庆菊(392)

紫色土N₂O排放及氨氧化微生物群落结构对玉米秸秆与化肥减量配施的响应..... 黄容,高明,王莹燕,黎嘉成,徐国鑫,罗梅,徐畅(401)

岩溶地区不同土地利用方式土壤固碳细菌群落结构特征..... 张双双,靳振江,贾远航,李强(412)

丹江口库区库滨带植被土壤细菌群落多样性及PICRUSt功能预测分析..... 孙峰,田伟,张菲,陈彦,任学敏,庞发虎,李玉英,姚伦广,陈兆进(421)

硫酸盐还原菌介导的吸附态砷的迁移转化..... 贾欠欠,李伟,王亚男,段晋明,刘玉灿(430)

铅锌冶炼厂周边农田土壤重金属污染空间分布特征及风险评估..... 王洋洋,李方方,王笑阳,杨志辉,韩科,阮心玲(437)

新疆干旱区某矿冶场对周围土壤重金属累积的影响..... 杨伟光,王美娥,陈卫平(445)

九龙江流域水稻土重金属赋存形态及污染评价..... 林承奇,黄华斌,胡恭任,于瑞莲,郝春莉,林颖(453)

草海典型高原湿地食物链中汞同位素组成特征..... 许议元,何天容(461)

Cd、Zn交互作用对三七景天根系形态和重金属吸收积累的影响..... 郭俊梅,杨俊兴,杨军,陈同斌,李厚恩,徐铁兵,周小勇,叶勇,于豹(470)

不同浓度镉处理对铅胁迫下玉米生长和铅吸收的影响..... 王起凡,郭伟,常青,潘亮,周昕南,杨亮,李娥(480)

广西龙江鱼类镉含量分布特征及生物积累特性分析..... 王俊能,赵学敏,胡国成,钟松雄,姚玲爱,马千里,许振成(488)

6种消解方法对荧光测定生物体内聚苯乙烯微塑料的影响..... 邹亚丹,徐擎擎,张智,李富云,李锋民(496)

一种负载功能型微生物的营养缓释填料的制备及性能评价..... 冯克,徐丹华,成卓韦,於建明,陈建孟(504)

《环境科学》征订启事(113) 《环境科学》征稿简则(238) 信息(93, 262, 342)

北京建筑施工裸地时空变化及扬尘污染排放

张立坤^{1,2}, 李令军^{1,2}, 姜磊^{1,2}, 赵文慧^{1,2}, 鹿海峰^{1,2}, 王新辉^{1,2}, 邱昀^{1,2}

(1. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 2. 大气颗粒物监测技术北京市重点实验室, 北京 100048)

摘要: 近年来北京城市格局逐步调整, 伴随城市扩张与功能疏解, 大规模建设工程使建筑施工裸地广泛分布于城市内部, 施工扬尘带来的颗粒物污染已经成为影响空气质量的重要因素. 选取北京平原区为研究区域, 遥感反演了 2013~2017 年的建筑施工裸地, 并分析了其时空分布特征. 结合地面颗粒物浓度进行相关性分析, 探讨城市建筑施工裸地对空气质量的影响. 在此基础上, 估算北京平原区 2013~2017 年建筑施工裸地的扬尘排放量. 结果表明, 北京建筑施工裸地沿中心城区向四周辐射, 呈现出环形的带状分布, 以城乡结合部最为集中. 2013~2017 年建筑施工裸地面积呈现先减后增的变化趋势, 2015 年后重心向东南偏移, 逐步呈现出不均衡的分布特征. 建筑施工裸地面积与 PM_{10} 呈正相关, 23 个地面自动监测站点的相关系数均在 0.80 以上. 2017 年北京平原区建筑施工裸地颗粒物排放量核算结果如下: TSP 排放量为 39.5×10^4 t、 PM_{10} 排放量为 19.4×10^4 t、 $PM_{2.5}$ 排放量为 4.0×10^4 t. 单元网格的建筑施工裸地颗粒物排放强度向两级化发展, 建筑施工裸地的局部集中导致高污染单元网格排放强度进一步增大. 以标准化的 PM_{10} 网格排放量为依据, 将北京平原区分为低污染排放区、较低污染排放区、中污染排放区、较高污染排放区及高污染排放区 5 个级别, 分级管控可以更有效地减轻扬尘污染影响.

关键词: 北京; 建筑施工裸地; 扬尘; 遥感监测; 网格化管理

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2019)01-0135-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201804236

Spatial and Temporal Distribution Characteristics and Fugitive Dust Emission of Building Sites in Beijing

ZHANG Li-kun^{1,2}, LI Ling-jun^{1,2}, JIANG Lei^{1,2}, ZHAO Wen-hui^{1,2}, LU Hai-feng^{1,2}, WANG Xin-hui^{1,2}, QIU Yun^{1,2}

(1. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2. Beijing Key Laboratory of Airborne Particulate Matter Monitoring Technology, Beijing 100048, China)

Abstract: Because of the continuous expansion of the city and the evacuation of non-core functions, the city pattern of Beijing has gradually changed in recent years. Based on many construction projects, building sites are widely distributed within the city. Therefore, fugitive dust emission is an important factor affecting the air quality in Beijing. This article focuses on the plain area in Beijing. Remote sensing was used to extract building sites from 2013 to 2017, analyze the spatial and temporal distribution characteristics of the building sites, estimate the fugitive dust emission, and propose a grid-based emission classification management program. Research shows that the building sites form a belt surrounding the central urban area, mainly distributed in the urban-rural integration area. From 2013 to 2017, the area of the building sites first decreased and then increased. After 2015, the center of the building sites in Beijing shifted to the southeast and started to show an uneven distribution. The area of the building sites is positively correlated with the PM_{10} concentration. The correlation coefficients of 23 automatic ground monitoring stations are all above 0.80. Combined with the building site activity levels and emission factors, the estimated air pollutant emissions of TSP, PM_{10} , and $PM_{2.5}$ from building sites in 2017 were 39.5×10^4 , 19.4×10^4 , and 4.0×10^4 t, respectively. The emission intensity of the pollution in the grid has developed towards polarization, which further increased the emission intensity of high-strength pollution grids. Based on standardized PM_{10} grid emissions of building sites, the plain area of Beijing can be divided into five categories: lower pollution, low pollution, medium pollution, high pollution, and higher pollution.

Key words: Beijing; building site; dust; remote sensing; grid management

2017 年, 北京市 $PM_{2.5}$ 年均浓度达到 $58 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 同比下降 20.5%; 而 PM_{10} 浓度仅同比下降 8.7%, 下降幅度远低于 $PM_{2.5}$, 通州等城市建筑规模集中的区域甚至不降反升^[1], 扬尘类排放源的治理已经成为北京空气质量进一步改善的重要环节^[2~4]. 研究表明, PM_{10} 中扬尘排放占比达到 80% 左右^[5], 扬尘源对于粗颗粒物的贡献尤为显著. 建筑施工扬尘是城市扬尘源的重要类别, 是指在建筑施工、道路施工等过程中产生的粉尘颗

颗粒物^[6~8], 属于无组织排放源, 具有复杂性、随机性和不确定性^[9~11]. 明确建筑施工裸地的时空分布特征, 核算污染排放量, 对于城市扬尘污染防治和改善城市空气质量具有重要意义^[12~14]. 多年以来, 国内外在建筑施工扬尘污染方面开展了多

收稿日期: 2018-04-28; 修订日期: 2018-07-16

基金项目: 北京市公益科技项目(Z161100001116013); 国家重点研发计划项目(2018YFC0706000, 2018YFC0706004)

作者简介: 张立坤(1988~), 女, 硕士, 主要研究方向为环境监测工作, E-mail: zhanglikun07@163.com

样的研究,包括建筑施工扬尘污染排放因子的探究^[15-16]、建筑施工扬尘污染扩散规律的研究与排放模型的建立^[17-20]、以及建筑施工扬尘污染的排放量测算^[21-23]等,取得了丰富的研究成果.但是在建筑施工裸地的时空分布特征及其对环境的影响评估方面研究较少,相关研究的时间滞后性强,对环境管理的支撑作用不足.本研究采用遥感技术手段分析了2013~2017年北京平原区建筑施工裸地的时空分布特征,采用排放清单推荐的方法^[24]核算了全市的扬尘污染物(TSP、PM₁₀、PM_{2.5})排放量,评估了其对空气质量的影响,并提出了基于网格的扬尘污染排放分级思路与方法,以为扬尘污染管控提供参考.

1 材料与方法

1.1 研究区范围

受到地形、交通、资源等多种因素的影响,平原地区成为人类生存与活动的主要区域,是城市建设的高度集中区.根据北京市统计年鉴显示^[25],仅9.0%的人口生活在以山区为主的生态涵养区(图1).因此,选取北京平原区作为研究区,探究建筑施工过程中扬尘对城市环境的影响.

1.2 建筑施工裸地活动水平获取

使用多源卫星的高分辨率影像,采取人机互译的模式对2013~2017年北京平原区建筑施工裸地进行提取.其中2013年的影像来源为GF-1,2014年与2015年的影像来源为SPOT-6,2016年与2017年的影像来源为BJ-2,云覆盖低于10%,影像分辨率保持在2~2.5 m,保证多年数据具有可比性.自

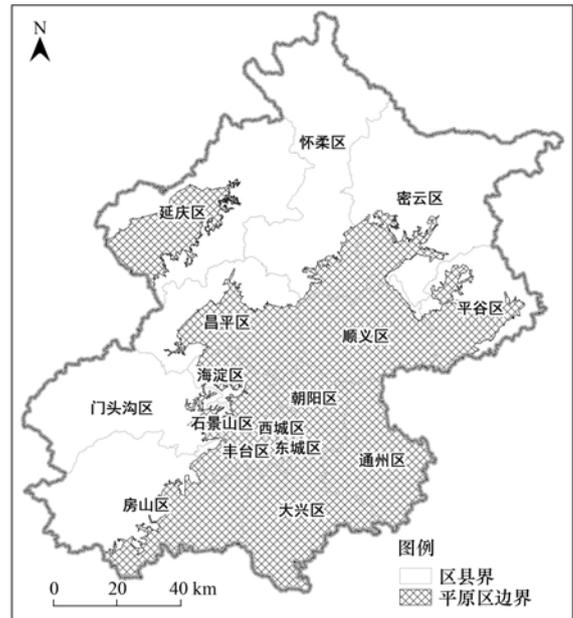


图1 研究区范围示意

Fig. 1 Map of the study area

2016年起,北京对裸露地面实施绿网苫盖措施,冬春季由于季节性植被裸露苫盖带来的影响可能导致误判情况,因此影像时相均选取夏秋季(8~10月).规定统一的信息提取原则,最小上图面积为800 m²,解译比例尺为1:6 000~1:7 000,并在1:10 000比例尺下进行边界检查,保障图斑属性及边界精度达到90%以上.

根据建筑施工裸地的施工阶段进行分类精细化提取,包括拆迁平整阶段、土石方阶段、主体施工阶段、主体完工未绿化阶段和城区其他裸地5种类型.具体类型及定义见表1.

表1 建筑施工裸地分类

Table 1 Classification of the building sites

类型	定义
拆迁平整阶段	指处于房屋拆迁及土地平整阶段的土地
土石方阶段	指处于挖土阶段及地基完成之前的建筑施工用地
主体施工阶段	指处于地基施工完成与建筑主体封顶之间的建筑施工用地
主体完工未绿化阶段	指房屋主体施工完成与小区未完成绿化或硬化之间的建设施工用地,并包括周边与该建筑施工相关的裸地
城区其他裸地	指五环内两期内未变化并无植被覆盖的计划施工裸地

1.3 污染物排放量估算

以文献[24]为科学依据,估算北京建筑施工裸地颗粒物排放量,计算公式如下:

$$W_{Ci} = E_{Ci} \times A_C \times T \quad (1)$$

$$E_{Ci} = 2.69 \times 10^{-4} \times (1 - \eta) \quad (2)$$

式中, W_{Ci} 为施工扬尘源中 PM_i 总排放量, t·a⁻¹; E_{Ci} 为整个施工工地 PM_i 的平均排放系数, t·(m²·mon)⁻¹; A_C 为施工区域面积, m². 通过遥感解译获取; T 为工地的施工月份数; η 为污染控制

技术对扬尘的去除效率,%. 多种措施同时开展的,取控制效率最大值. TSP、PM₁₀ 和 PM_{2.5} 排放量根据施工积尘的粒径分布情况估算获得,参考粒径系数:TSP为1、PM₁₀为0.49、PM_{2.5}为0.1.

1.4 建筑施工裸地的网格化与标准化

1.4.1 网格化方法

使用2013、2015及2017年的解译结果,计算不同斑块建筑施工裸地的面积,计算结果转换为5 m×5 m的栅格数据,形成北京建筑施工裸地面积

的栅格化结果. 同时将北京整体划分为 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 的网格, 以网格为单元统计建筑施工裸地的面积, 并根据公式(1)、(2)计算网格的建筑施工裸地 PM_{10} 排放量, 实现不同年度建筑施工裸地 PM_{10} 排放量的网格化.

1.4.2 标准化方法

标准化处理能够把不同来源的数据统一到一个参考系中, 增加数据的可比性. 选取离差标准化方法, 对建筑施工裸地 PM_{10} 排放量的网格化结果进行线性变化, 使数据落在 $[0, 1]$ 之间, 转化函数为:

$$x_1 = (x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (3)$$

式中, x_1 为标准化后的建筑施工裸地 PM_{10} 排放量; x 为核算的建筑施工裸地 PM_{10} 排放量; x_{\max} 为建筑施工裸地 PM_{10} 排放量的最大值; x_{\min} 为建筑施工裸地 PM_{10} 排放量的最小值.

2 结果与讨论

2.1 北京平原区建筑施工裸地分布特征

2017年北京平原区建筑施工裸地面积 174.9 km^2 , 占平原区总面积的 2.4% . 建筑施工裸地的分布与城市发展方向一致, 主要分布在南部的大兴区、通州区, 北部的昌平区以及城六区的朝阳区和丰台区(图2), 面积分别达到 43.1 、 24.7 、 13.8 、 19.1 和 14.6 km^2 .

从施工阶段来看, 建筑施工裸地主要处于土石方阶段及主体施工阶段, 面积分别达到 53.7 km^2 和 45.1 km^2 , 占全市建筑施工裸地面积比例分别达到 38.7% 和 32.8% . 土石方阶段砂土裸露面多, 施工强度大, 更易产生扬尘污染, 对大气颗粒物的贡献更为显著. 统计结果显示大兴区、通州区、房山区及朝阳区处于土石方阶段的建筑施工裸地面积较大, 东城区、朝阳区、平谷区和昌平区处于土石方

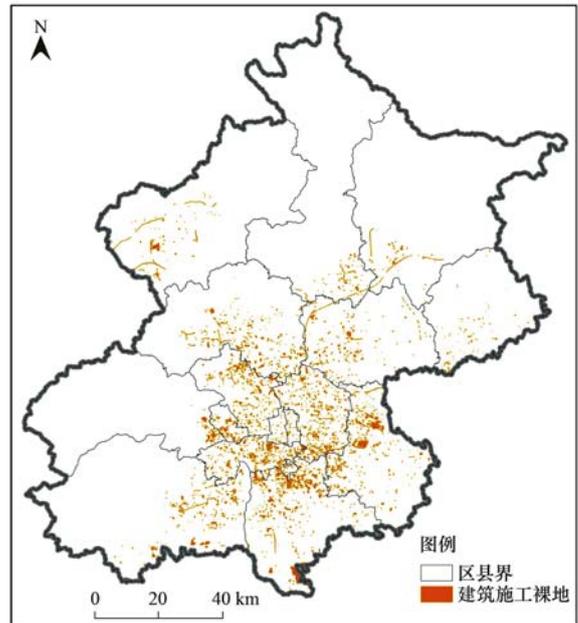


图2 2017年北京平原区建筑施工裸地分布

Fig. 2 Building sites area distribution of the plain area in 2017

阶段的建筑施工裸地比例较高(见图3).

建筑施工裸地密度总体呈现城市功能拓展区最高, 发展新区次之, 核心区与生态涵养区较低的趋势, 与其沿中心城区向四周发散辐射, 在城乡结合地区集中的分布特征保持一致(图4). 建筑施工裸地的密度反应了单位面积建筑施工裸地的分布情况, 密度越大、扬尘污染面越广、污染程度越高, 措施控制的意义越重要.

2.2 2013~2017年北京平原区建筑施工裸地变化特征

2013~2017年, 北京平原区建筑施工裸地面积整体呈增长趋势, 累计增长率达到 27.6% . 前期略有回落, 由2013年的 137.0 km^2 减至2015年的 129.2 km^2 ; 2015年后快速增长, 至2017年达到 174.9 km^2 (图5). 各区变化趋势呈现多样化, 总体

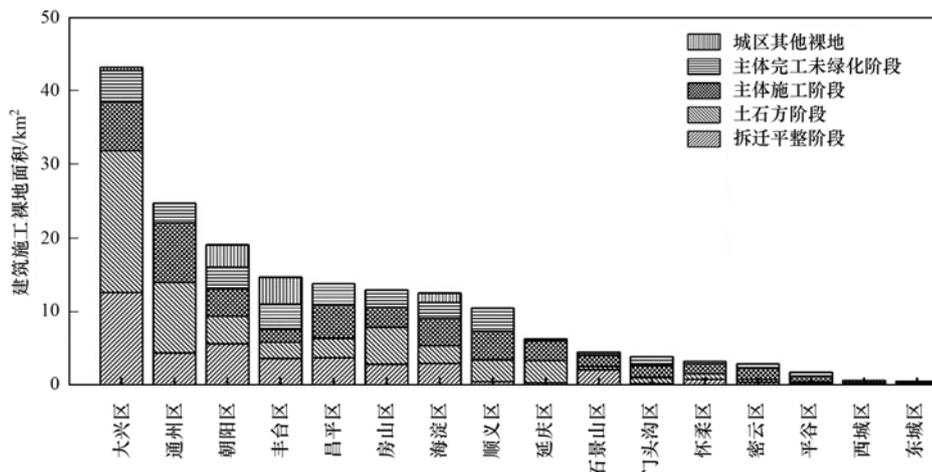


图3 各区不同施工阶段建筑施工裸地面积统计

Fig. 3 Building sites area for different construction stages in each district

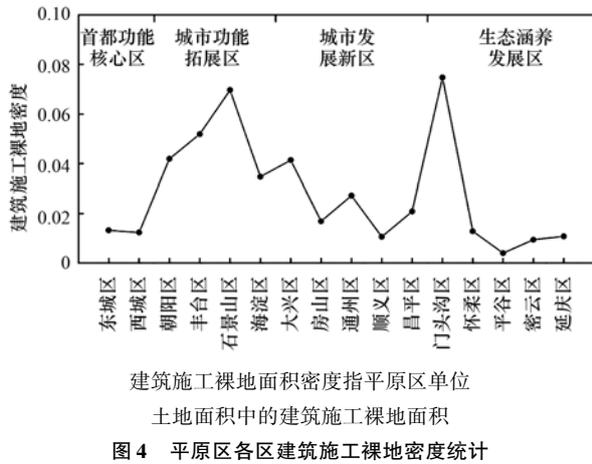


Fig. 4 Building sites density of the plain area in each district

表 2 环线间建筑施工裸地占全市建筑施工裸地的面积比例/%

Table 2 Proportion of building sites in different ring roads occupying the proportion of building sites in the whole city/%

项目	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
2 环内	0.6	0.5	0.4	0.2	0.5
2~3 环	2.2	2.3	1.9	1.8	1.9
3~4 环	5.0	4.0	3.1	2.8	3.5
4~5 环	13.7	11.0	10.6	9.5	12.2
5~6 环	41.9	43.4	41.5	38.0	38.4
6 环外	36.6	38.7	42.5	47.8	43.5

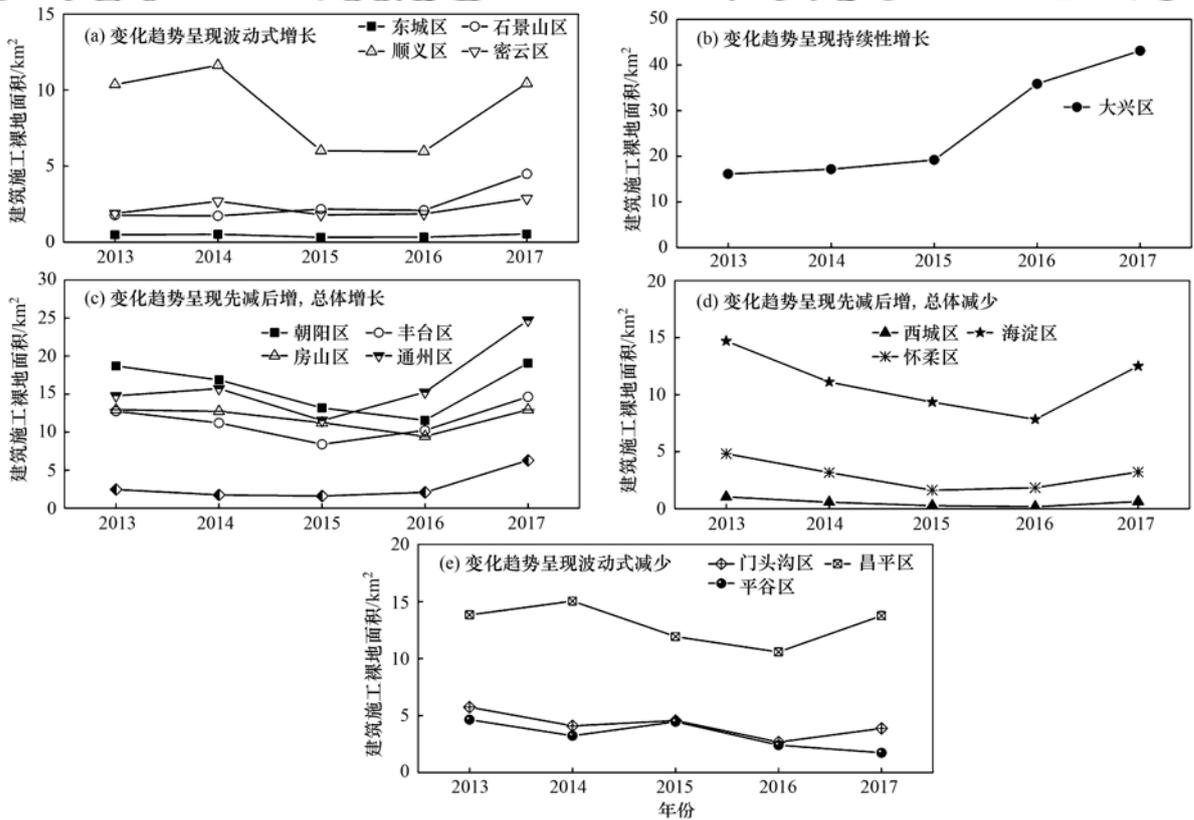


Fig. 5 Characteristics of the building sites in each district from 2013 to 2017

来看全市大部分区的建筑施工裸地面积有所增长。其中大兴区是唯一呈现持续性增长的地区，5 年间建筑施工裸地面积增长 167.4%；东城、石景山、顺义及密云区呈现波动式增长，朝阳、丰台、房山和通州变化趋势呈现先减少后增长的特征，在 2016~2017 年增长较为显著。呈现减少趋势的区主要分布在核心区和西北部区域，其中西城、海淀及怀柔区虽然在 2015 或 2016 年开始增长，但总体面积有所减少，门头沟、昌平及平谷三区呈现波动式减少。

从空间分布来看，5 年间建筑施工裸地主要分布 5 环之外，面积占比始终超过 75%。2013~2017 年呈现出建筑施工裸地由内向外的发展趋势，且集

中区域由 5~6 环逐渐转向 6 环外。伴随城市的扩张，5~6 环的城乡结合区域已经不能满足城市建设的需求，城市建设逐步向 6 环外转移。

选取东西城中心点作为原点，探讨建筑施工裸地近年来的变化方向(图 6)。2013 年，建筑施工裸地在全市各方向的分布整体相对均匀，北部、东北

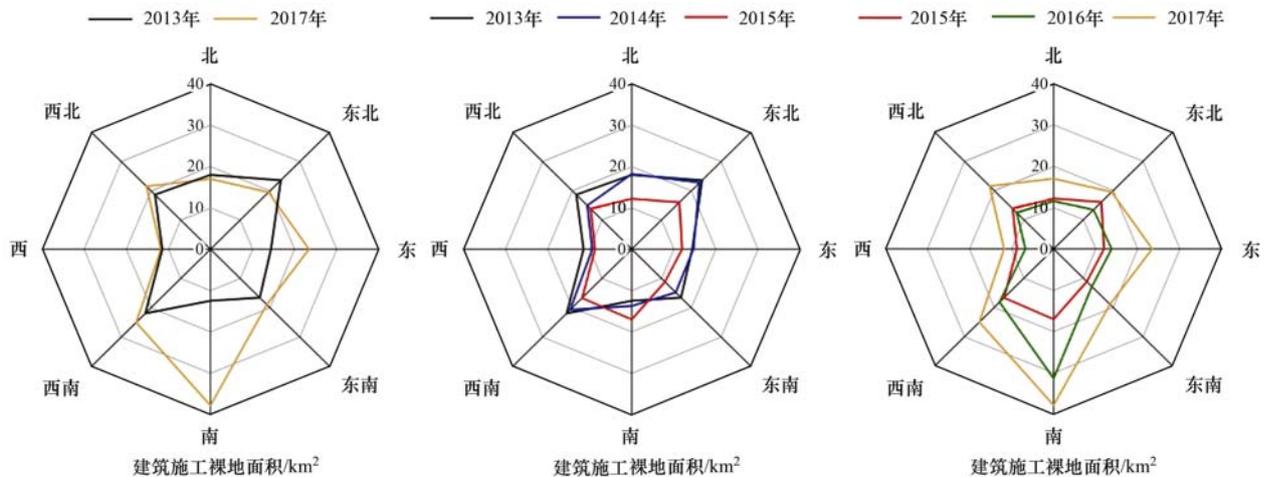


图6 2013~2017年北京建筑施工裸地发展方向

Fig. 6 Development direction of building sites from 2013 to 2017

部区域略为突出. 至2017年建筑施工裸地面积西部及北部变化不大, 东部、南部增长显著, 城市建设主要向南发展. 其变化可以分为两个阶段: 2013~2015年建筑施工裸地面积总体呈现减少趋势, 除南部区域外, 各个方向建筑施工裸地面积均有所萎缩. 2015~2017年由城市发展带来的大规模集中建设导致建筑施工裸地逐步呈现出显著的区域不均衡态势. 2016年, 南部区域受到国际机场进入全面建设期的影响, 建筑施工裸地面积同比增长84.3%, 其他方向无较为明显的变化. 2017年, 北京拆违腾退工作全面铺开, 导致建筑施工裸地迅速增长, 同比增长45.5%; 其中, 通州受城市副中心集中建设的带动, 增长幅度最为显著, 建筑施工裸地面积同比增长70.0%.

2.3 建筑施工裸地面积与大气 PM_{10} 浓度相关关系

为探究建筑施工裸地的扬尘排放对城市 PM_{10} 浓度的影响, 选取23个地面自动站, 以其为圆心统计周边半径1、5、10、15、20、30、40 km范围内的建筑施工裸地面积, 并与站点 PM_{10} 浓度进行相关性分析(表3). 结果显示建筑施工裸地的面积与监测站点 PM_{10} 浓度具有较为显著的相关性, 全部子站的相关系数均在0.80以上. 不同站点在不同范围内的相关程度具有差异性, 30.4%的子站在20 km范围内相关性最高, 26.1%与21.7%的监测站点分别在30 km及40 km范围内呈现出最高的相关性. 超过20 km范围后部分监测站点的相关性仍有提升, 但提升幅度均较为微小. 从分布上看, 城市中心区域的站点受到建筑施工裸地的影响范围小于远郊区, 4环内77.8%的子站相关性最高的范围在20 km之内; 5环外子站相关性最高的范围集中在30 km及40 km, 但怀柔镇、密云镇、延庆镇等位于山区的中心镇受建筑

施工裸地影响范围小于其他远郊地区, 相关性最高的范围在20 km以内.

表3 PM_{10} 浓度与不同范围建筑施工裸地的相关性分析Table 3 Correlation analysis between the concentration of PM_{10} and building sites in different ranges

站点名称	相关性最高的范围/km	相关系数
东城天坛	10	0.969 7
西城万寿西宫	10	0.968 7
怀柔镇	15	0.985 3
海淀万柳	15	0.951 4
房山良乡	15	0.938 1
东城东四	20	0.997 4
西城官园	20	0.975 9
朝阳奥体中心	20	0.970 8
朝阳农展馆	20	0.970 0
密云镇	20	0.886 1
延庆镇	20	0.835 3
海淀北部新区	20	0.827 3
通州新城	30	0.993 5
门头沟龙泉镇	30	0.988 1
丰台云岗	30	0.985 2
丰台花园	30	0.900 9
亦庄开发区	30	0.800 7
顺义新城	40	0.994 3
海淀北京植物园	40	0.923 6
昌平镇	40	0.921 7
大兴黄村镇	40	0.870 0
平谷镇	40	0.853 9
石景山古城	40	0.829 9

2.4 建筑施工裸地排放量估算与分级管理

2.4.1 建筑施工裸地排放量估算

使用遥感手段获取建筑施工裸地面积, 根据技术指南^[24]排放清单测算方法估算了北京平原区建筑施工裸地的多年排放量(表4), 结果表明: 2013~2017年建筑施工裸地的排放量变化趋势与面积保持一致, 呈现先减后增趋势. 2017年, 建筑施工裸地 PM_{10} 排放量较大的区为大兴、通州及朝阳区,

PM₁₀排放量分别达到 4.8、2.7 及 2.1 × 10⁴ t。核心区(东、西城)及远郊区(怀柔、平谷、密云、延庆区)建筑施工裸地 PM₁₀排放量始终保持在较低的水平,建筑施工裸地扬尘污染呈绕中心城区中空的环形带状分布。

表 4 2013~2017 年建筑施工裸地颗粒物排放量 × 10⁴/t

Table 4 Particle emissions of building sites from 2013 to 2017 × 10⁴/t

年份	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
2013	31.0	15.2	3.1
2014	29.2	14.3	2.9
2015	24.3	11.9	2.4
2016	27.2	13.3	2.7
2017	39.5	19.4	4.0

污染排放量的测算一方面服务于大气污染排放清单的编制,另一方面应用于污染源的监督管理。网格化的建筑施工裸地遥感数据是实现污染排放水平精准评估的有效手段,能够与社会、经济发展网格进行并行综合分析,促进污染治理效率的提升(图 7)。

将建筑施工裸地的 PM₁₀排放量划分为 1 km² 的网格,并对网格化的 PM₁₀排放量进行统计分析(排除无排放网格),结果显示:2013~2015 年建筑施工裸地网格污染排放向高分散、低强度方向发展,至 2017 年呈局部聚集、强度差增大的变化趋势(表 5)。2013~2017 年,存在建筑施工裸地 PM₁₀排放的网格逐年增加,建筑施工裸地的影响范围在扩大。单元网格污染排放的最大值变化显著,累计增长 51.6%,而平均水平变化不大,网格间 PM₁₀排放量差异增大,低污染排放网格始终占据主体地位,高污染排放网格局部集中,排放强度增大。

2.4.2 建筑施工裸地污染排放分级管理

对网格化后的建筑施工裸地 PM₁₀排放量进行标准化处理[公式(3)],使 PM₁₀排放量落在[0, 1]之间,并采用等分法将结果分为 5 级(图 8),提出相应的管理措施,有顺序、有针对性地开展环境治理工作。

低污染排放区:建筑施工裸地网格污染排在 0.0~0.2 之间,建筑施工裸地分布较少,污染排放强度低,排在污染治理顺序的后端。治理措施以动态监测为主,通过监测手段时刻关注污染强度的变

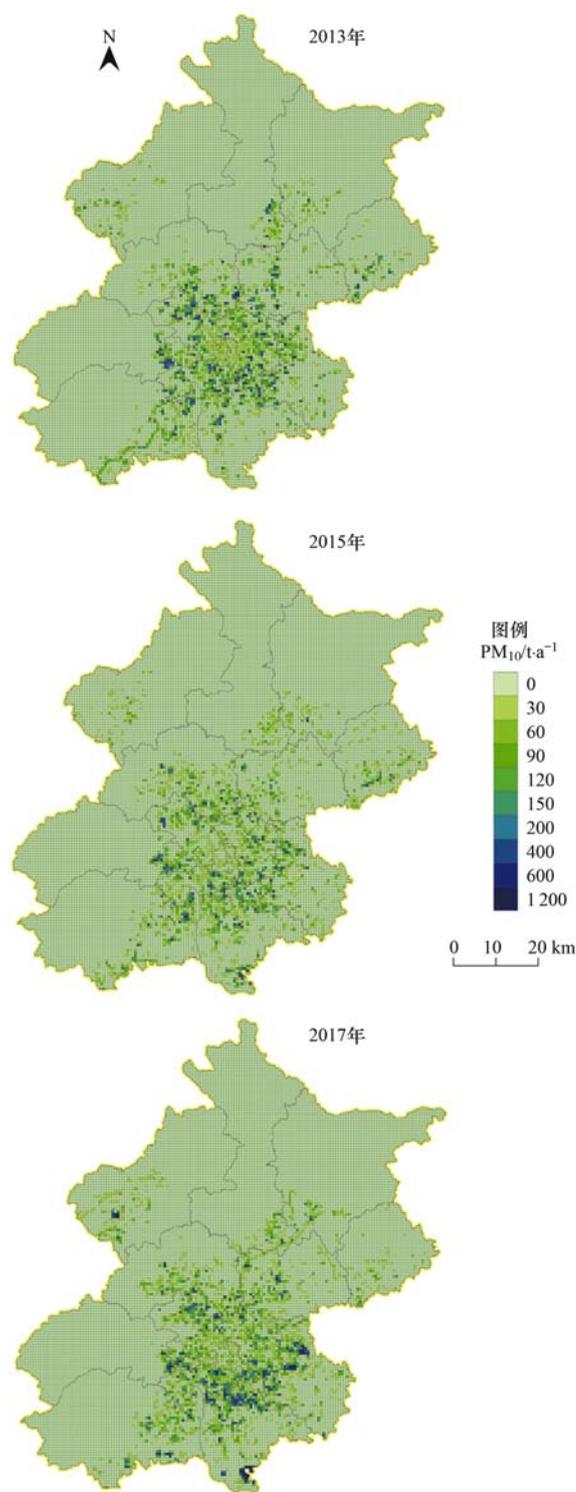


图 7 2013、2015、2017 年北京建筑施工裸地 PM₁₀排放量网格化结果

Fig. 7 PM₁₀ emissions based on the grid of building sites in 2013, 2015, and 2017

表 5 2013~2017 年单元网格 PM₁₀排放量统计结果/t·a⁻¹

Table 5 Statistics of PM₁₀ emissions based on the grid from 2013 to 2017/t·a⁻¹

年份	个数	最小值	最大值	平均值	中位数	标准偏差
2013	2 477	0.7 × 10 ⁻⁴	730.5	61.2	30.0	79.8
2015	2 549	1.7 × 10 ⁻⁴	532.5	46.7	22.4	63.8
2017	2 945	0.8 × 10 ⁻⁴	1 107.2	65.7	27.3	111.3

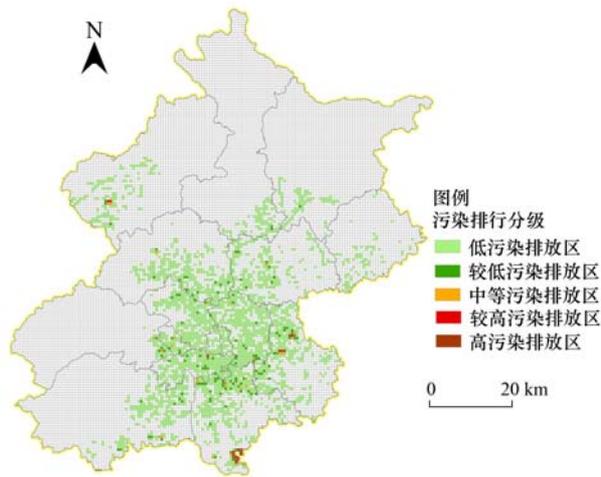


图8 2017年建筑施工裸地 PM_{10} 污染排放分级

Fig. 8 Hierarchical management of PM_{10} emissions from building sites in 2017

化,评估排放等级。

较低污染排放区:建筑施工裸地网格污染排在0.2~0.4之间,污染排放强度较低,排在污染治理顺序的较后端。治理措施在动态监测的基础上,加强扬尘排放措施管控,要求其实行工地围挡、道路硬化、防尘网覆盖、车辆冲洗等措施。

中等污染排放区:建筑施工裸地网格污染排在0.4~0.6之间,建筑工程在网格中较为集中,有一定污染排放强度,属于潜在风险源。治理措施加入抽样巡查,针对高污染强度阶段(土石方阶段)开展环保监察,通过执法队伍的不定期巡查保障工程实施中的防尘措施切实落地。

较高污染排放区:建筑施工裸地网格污染排在0.6~0.8之间,建筑施工裸地集中度高,污染排放强度较大,排在污染治理顺序的次位,是重点关注对象。制定专项扬尘污染防治方案,采取专人管理、定期巡查的方式,全过程监督工程实施中扬尘措施的落实情况。

高污染排放区:建筑施工裸地网格污染排在0.8~1.0之间,建筑施工裸地高度集中在网格中,是全市建筑施工裸地排放强度最大的区域,为首要治理对象。执行最大力度的扬尘管控措施,采用布设摄像头的方式,实现全方位、全时次的实时动态监控。

采用污染排放分级管理的方法对2017年建筑施工裸地数据进行分析,分级结果呈现不同级别网格数量梯队递增的趋势,达到了提取重点污染区域的目的,对于有序有针对开展污染治理具有重要意义。2017年北京平原区建筑施工裸地污染排放高污染排放网格总计10个(表6),分别分布

在通州中部、大兴南部以及延庆西部。较高风险区紧邻高风险区分布,呈现区域分散局部集中的分布特征。

表6 2017年建筑施工裸地网格污染排放分级结果

Table 6 Classification results of PM_{10} emissions based on the grid from building sites in 2017

建筑施工裸地污染排放分级	网格数量	网格数量占全部网格的比例/%
高污染排放区	10	0.3
较高污染排放区	10	0.3
中等污染排放区	30	1.0
较低污染排放区	136	4.6
低污染排放区	2 758	93.7

3 结论

(1)2013~2017年,北京建筑施工裸地面积整体呈现先减后增的变化趋势,5年累计增长27.6%。2015年后北京建筑施工裸地面积快速增长,其发展方向逐步向东南方向偏移,呈现出显著的不均衡分布特征。

(2)北京建筑施工裸地面积与大气 PM_{10} 浓度呈正相关,23个地面自动监测站点的相关系数均在0.80以上。不同站点在不同范围的相关程度有差异性,相关性最高的范围处于20 km的监测子站占比最大。

(3)2017年北京平原区建筑施工裸地的TSP排放量为 39.5×10^4 t, PM_{10} 排放量为 19.4×10^4 t, $PM_{2.5}$ 排放量为 4.0×10^4 t。近年来单元网格的建筑施工裸地污染排放强度向两级化发展,建筑施工裸地的局部集中导致高污染网格的排放强度进一步增大。

(4)通过建筑施工裸地的分级管理方法,提取2017年高污染排放网格10个,主要分布在通州、大兴及延庆的重点工程建设区域。

参考文献:

- [1] 北京市环境保护局. 2017年北京市环境空气质量状况[EB/OL]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjhrb/xxgk/ywdt/hjzlk/dqhlz/829056/index.html>, 2018-02-07.
- [2] Zhao P S, Feng Y C, Zhu T, et al. Characterizations of resuspended dust in six cities of North China[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(30): 5807-6814.
- [3] Bi X H, Feng Y C, Wu J H, et al. Source apportionment of PM_{10} in six cities of Northern China [J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(5): 903-912.
- [4] 马国鑫,韩豫,陆建飞,等.基于无人机的施工扬尘污染源自动监测系统设计与实现[J].中国环境监测,2018,34(1): 151-156.
Ma G X, Han Y, Lu J F, et al. Design and implementation of automatic monitoring system for construction fugitive dust pollution sources based on UAV[J]. Environmental Monitoring in China, 2018, 34(1): 151-156.
- [5] Watson J G, Chow J C. Reconciling urban fugitive dust emissions

- inventory and ambient source contribution estimates: Summary of current knowledge and needed research [R]. New York: DRT Document, 2000.
- [6] 吴丹, 刘仕杰, 王震宇. 城市建筑施工扬尘控制及其标准的研究进展[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2014, **41**(4): 380-384.
Wu D, Liu S J, Wang Z Y. A review on the construction dust control measures and emission standards[J]. Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition), 2014, **41**(4): 380-384.
- [7] 刘奥博, 吴其重, 陈雅婷, 等. 北京市平原区裸露地风蚀扬尘排放量[J]. 中国环境科学, 2018, **38**(2): 471-477.
Liu A B, Wu Q Z, Chen Y T, *et al.* Estimation of dust emissions from bare soil erosion over Beijing plain area [J]. China Environmental Science, 2018, **38**(2): 471-477.
- [8] 王海婷, 温杰, 徐娇, 等. 天津市城市扬尘及土壤尘单颗粒质谱特征[J]. 环境科学研究, 2018, **31**(5): 844-852.
Wang H T, Wen J, Xu J, *et al.* Characteristics of single urban raised dust and soil dust in Tianjin city [J]. Research of Environmental Sciences, 2018, **31**(5): 844-852.
- [9] 赵静琦, 姬亚芹, 张蕾, 等. 基于样方法的天津市春季道路扬尘 PM_{2.5} 中水溶性离子特征及来源解析[J]. 环境科学, 2018, **39**(5): 1994-1999.
Zhao J Q, Ji Y Q, Zhang L, *et al.* Characteristics and source apportionment of water-soluble inorganic ions in road dust PM_{2.5} during spring in Tianjin using the quadrat sampling method [J]. Environmental Science, 2018, **39**(5): 1994-1999.
- [10] 李贝贝, 秦建平, 祁丽荣, 等. 城市道路行道树池裸地扬尘排放特征[J]. 环境科学, 2018, **39**(3): 1031-1039.
Li B B, Qin J P, Qi L R, *et al.* Emission characteristics of wind erosion dust from topsoil of urban roadside-tree pool [J]. Environmental Science, 2018, **39**(3): 1031-1039.
- [11] 王燕, 彭林, 李丽娟, 等. 晋城城市扬尘化学组成特征及来源解析[J]. 环境科学, 2016, **37**(1): 82-87.
Wang Y, Peng L, Li L J, *et al.* Chemical compositions and sources apportionment of re-suspended dust in Jincheng [J]. Environmental Science, 2016, **37**(1): 82-87.
- [12] 赵普生, 冯银厂, 金晶, 等. 建筑施工扬尘特征与监控指标[J]. 环境科学学报, 2009, **29**(8): 1618-1623.
Zhao P S, Feng Y C, Jin J, *et al.* Characteristics and control indicators of fugitive dust from building construction sites [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2009, **29**(8): 1618-1623.
- [13] 余南娇, 黄渤, 李梅, 等. 大气细颗粒物扬尘源单颗粒质谱特征[J]. 中国环境科学, 2017, **37**(4): 1262-1268.
Yu N J, Huang B, Li M, *et al.* Single particle characteristics of fine particulate matter in dust [J]. China Environmental Science, 2017, **37**(4): 1262-1268.
- [14] 武媛媛, 李如梅, 彭林, 等. 运城市道路扬尘化学组成特征及来源分析[J]. 环境科学, 2017, **38**(5): 1799-1806.
Wu Y Y, Li R H, Peng L, *et al.* Chemical compositions and source apportionment of road dust in Yuncheng [J]. Environmental Science, 2017, **38**(5): 1799-1806.
- [15] Muleski G E, Cowherd C Jr, Kinsey J S. Particulate emissions from construction activities [J]. Journal of the Air & Waste Management Association, 2005, **55**(6): 772-783.
- [16] Cowherd C Jr, Axetell K Jr, Guenther C M, *et al.* Development of emission factors for fugitive dust sources, EPA-450/3-74-037 [R]. North Carolina: Research Triangle Park, 1974.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 赵普生, 冯银厂, 张裕芬, 等. 建筑施工扬尘排放因子定量模型研究及应用[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(6): 567-573.
Zhao P S, Feng Y C, Zhang Y F, *et al.* Modeling and impact study of fugitive dust emissions from building construction sites [J]. China Environmental Science, 2009, **29**(6): 567-573.
- [20] 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.
- [21] 薛亦峰, 周震, 黄玉虎, 等. 北京市建筑施工扬尘排放特征[J]. 环境科学, 2017, **38**(6): 2231-2237.
Xue Y F, Zhou Z, Huang Y H, *et al.* Fugitive dust emission characteristics from building construction sites of Beijing [J]. Environmental Science, 2017, **38**(6): 2231-2237.
- [22] 张雯婷, 王雪松, 刘兆荣, 等. 贵阳建筑扬尘 PM₁₀ 排放及环境影响的模拟研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2010, **46**(2): 258-264.
Zhang W T, Wang X S, Liu Z R, *et al.* Construction fugitive PM₁₀ emission and its influences on air quality in Guiyang [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, **46**(2): 258-264.
- [23] 徐谦, 李令军, 赵文慧, 等. 北京市建筑施工裸地的空间分布及扬尘效应[J]. 中国环境监测, 2015, **31**(5): 78-85.
Xu Q, Li L J, Zhao W H, *et al.* Spatial distribution of building sites and related emissions of particulate across Beijing, China [J]. Environmental Monitoring in China, 2015, **31**(5): 78-85.
- [24] 中华人民共和国环境保护部. 扬尘源颗粒物排放清单编制技术指南(试行)[Z]. 2014-12-31.
- [25] 北京市统计局, 国家统计局北京调查总队. 北京统计年鉴: 2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.

CONTENTS

Cause and Effect Evaluation of PM _{2.5} During Three Red Alerts in Beijing from 2015 to 2016	LÜ Zhe, WEI Wei, ZHOU Ying, <i>et al.</i> (1)
Effects of Emission Reductions of Key Sources on the PM _{2.5} Concentrations in the Yangtze River Delta	YU Yan, WANG Ze-hua, CUI Xue-dong, <i>et al.</i> (11)
Health Benefit Analyses of the Clean Air Action Plan Implementation in Shanghai	DAI Hai-xia, AN Jing-yu, LI Li, <i>et al.</i> (24)
Monitoring and Analysis of the Spatio-temporal Change Characteristics of the PM _{2.5} Concentration Over Beijing-Tianjin-Hebei and Its Surrounding Regions Based on Remote Sensing	CHEN Hui, LI Qing, LI Ying, <i>et al.</i> (33)
Applicability of MODIS C006 Aerosol Products in a Typical Environmental Area of the Beijing-Tianjin-Hebei Region	WANG Hai-lin, LIU Qiong, CHEN Yong-hang, <i>et al.</i> (44)
Impact of Meteorological Factors on the Ozone Pollution in Hong Kong	ZHAO Wei, GAO Bo, LIU Ming, <i>et al.</i> (55)
Transport Characteristics of PAN and O ₃ in the Lower Atmosphere of the Boundary Layer in Tianjin in Summer	YAO Qing, MA Zhi-qiang, LIN Wei-li, <i>et al.</i> (67)
Analysis of Pollution Characteristics and Sources of PM _{2.5} Chemical Components in Chengdu in Winter	WU Ming, WU Dan, XIA Jun-rong, <i>et al.</i> (76)
Transport Pathways and Potential Sources of PM _{2.5} During the Winter in Zhengzhou	DUAN Shi-guang, JIANG Nan, YANG Liu-ming, <i>et al.</i> (86)
Characteristics and Sources of Water-soluble Organic Carbon/Nitrogen in PM _{2.5} During Spring in Changzhou	LI Qing, HUANG Wen-qian, MA Shuai-shuai, <i>et al.</i> (94)
Pollution Characteristics and Emission Factors of VOCs from Vehicle Emissions in the Tianjin Tunnel	SUN Lu-na, LIU Yan, ZHAO Jing-bo, <i>et al.</i> (104)
Size Distribution and Carbon Component Characteristics of Atmospheric Particulate Matter from Motor Vehicles	MEI De-qing, ZHU Zong-ning, SUN Tian-shuo, <i>et al.</i> (114)
Conversion Characteristics of Combustible Particles from Coal-fired Flue Gas in WFGD and WESP	YANG Liu, ZHANG Bin, WANG Kang-hui, <i>et al.</i> (121)
Particle Removal Characteristics of an Ultra-low Emission Coal-fired Power Plant	RUAN Ren-hui, TAN Hou-zhang, DUAN Yu-feng, <i>et al.</i> (126)
Spatial and Temporal Distribution Characteristics and Fugitive Dust Emission of Building Sites in Beijing	ZHANG Li-kun, LI Ling-jun, JIANG Lei, <i>et al.</i> (135)
Simultaneous Removal of Polychlorinated Dibenzo- <i>p</i> -dioxins/dibenzofurans, Polychlorinated Biphenyls, and Polychlorinated Naphthalenes From Flues Gases From Coke Gas Burning Using Selective Catalytic Reduction Equipment	REN Mei-hui, FAN Yun, WANG Sheng, <i>et al.</i> (143)
Space-Time Characteristics and Environmental Significance of the Stable Isotopes in Precipitation in the Gulang River Basin	GUI Juan, LI Zong-xing, FENG Qi, <i>et al.</i> (149)
Spatial Distribution and Degradation of CDOM in the Minjiang River in Summer	CHENG Qiong, ZHUANG Wan-e, WANG Hui, <i>et al.</i> (157)
Parallel Factor Analysis of Fluorescence Excitation Emission Matrix Spectroscopy of CDOM from the Mid-culture Period of Shrimp Ponds in a Subtropical Estuary	ZHU Ai-ju, SUN Dong-yao, TAN Ji, <i>et al.</i> (164)
Spectral Characteristics and Sources of Dissolved Organic Matter With Different Relative Molecular Weight from Rainwater From Summer and Autumn in the Zhoucun Reservoir Based on UV-Vis and EEMs	ZHOU Shi-lei, ZHANG Yi-ran, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (172)
Characteristics and Fouling Potential of Dissolved Organic Matter in a Stratified Source Water Reservoir	LI Kai, WANG Xiao-dong, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (185)
Water-Air Interface CO ₂ Exchange Flux of Typical Lakes in a Mountainous Area of the Western Chongqing and Their Influencing Factors	LUO Jia-chen, NI Mao-fei, LI Si-yue (192)
Reconstruction of Water Hyperspectral Remote Sensing Reflectance Based on Sparse Representation and Its Application	LI Yuan, LI Yun-mei, GUO Yu-long, <i>et al.</i> (200)
Nitrification Rates and Pollution Characteristics of Sediments with Different Geomorphic Features in the Shiwuli Stream, Chaohu Lake Basin	LI Ru-zhong, QUE Feng-xiang, XIONG Hong-bin, <i>et al.</i> (211)
Distribution and Bioavailability of Phosphorus in Surface Sediments in Megalopolis: A Case Study of Chengdu	DING Yao, OUYANG Li-li, SHI Qing, <i>et al.</i> (219)
Distribution and Fluxes of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances in the Middle Reaches of the Yellow River (Weinan-Zhengzhou Section)	LI Qi-lu, CHENG Xiang-hui, ZHAO Zhen, <i>et al.</i> (228)
Distribution and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Karst Groundwater System in a Strongly Industrial City	MIAO Ying, KONG Xiang-sheng, LI Cheng-zhan (239)
Pollution Characteristic and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Groundwater of Shen-Fu New City in the Hunhe River Basin	ZHANG Shi-chao, YAO Hong, XIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (248)
Distribution and Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Derivatives in Wastewater-Receiving Rivers in Beijing	FU Lu-jing, LI Yi-bing, QIAO Meng, <i>et al.</i> (256)
Influence of the Coagulation Mechanism on the Coagulation Performances Using New Composite Coagulants: Role of the Raw Water Characteristics	QU Jiang-dong, XU Hui, XU Jian-kun, <i>et al.</i> (263)
Indirect Photodegradation of Sulfamethoxazole in Water	LI Cong-he, CHE Xiao-wei, BAI Ying, <i>et al.</i> (273)
Fabrication of the Heterojunction Photocatalyst MoS ₂ /BiOI and Its Investigation of Its Photocatalytic Reduction and Oxidation Activities	ZHANG Liang, ZHAO Chao-cheng, GAO Xian-yao, <i>et al.</i> (281)
Nanoscale Zero-valent Copper-Activated Molecular Oxygen for the Degradation of Enrofloxacin in Water	NI Yong-jiong, CHENG Yong-qing, XU Meng-yuan, <i>et al.</i> (293)
Adsorption of Cr(VI) in Water by Malfanite Modified with Different LDHs Coatings	ZHANG Xiang-ling, DENG Li-chu, FANG Chen-jia, <i>et al.</i> (300)
Preparation of the Silane Monolayer on Magnetite Nanoparticles and Its Performance with Respect to Phosphate Removal from Water	XING Ming-chao, XIE Qiang, CHEN Shou-hui, <i>et al.</i> (310)
Optimization of Dyeing Wastewater Treatment with New Eco-friendly Polysilicate Ferromanganese	TANG Li-peng, WEI Qun-shan, LÜ Qiang, <i>et al.</i> (318)
Sulfate Reduction and Microbial Community of Autotrophic Biocathode in Response to Externally Applied Voltage	HU Jia-ping, ZENG Cui-ping, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (327)
Effect of Carbon Sources on the Accumulation of Endogenous Polymers and Denitrification in the O/A-F/F Mode	CUI You-wei, JIN Chang-lin, WANG Hao-han, <i>et al.</i> (336)
Effect of the Influent C/P Ratio on the Nutrient Removal Characteristics of the SNEDPR System	ZHEN Jian-yuan, YU De-shuang, WANG Xiao-xia, <i>et al.</i> (343)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) Operations on the Nutrient Removal Characteristics of a SNEDPR System	WANG Xiao-xia, ZHEN Jian-yuan, ZHAO Ji, <i>et al.</i> (352)
Denitrification and Phosphorus Removal from Low C/N Urban Sewage Based on a Post-Partial Denitrification AOA-SBR Process	GONG Xiu-zhen, YU De-shuang, YUAN Meng-fei, <i>et al.</i> (360)
Startup and Stabilization of Nitrosation in an Anoxic-aerobic Continuous-flow Reactor with Granules	LI Dong, GUO Yue-zhou, LAO Hui-mei, <i>et al.</i> (369)
Startup Strategies for the SNAD Granular Sludge Process at Low Temperature	LI Dong, CUI Ya-qian, ZHAO Shi-xun, <i>et al.</i> (376)
Effect of the Sampling Scale and Number on the Heterogeneity of Soil Respiration in a Mixed Broadleaf-conifer Forest	YAN Jun-xia, SUN Qi, LI Jun-jian, <i>et al.</i> (383)
Effects of the Crop Rotation on Greenhouse Gases from Flooded Paddy Fields	FENG Xi, JIANG Chang-sheng, PENG Xiao-le, <i>et al.</i> (392)
Response of the Soil N ₂ O Emission and Ammonia-oxidizing Microorganism Community to the Maize Straw Return with Reducing Fertilizer in Purple Soil	HUANG Rong, GAO Ming, WANG Ying-yan, <i>et al.</i> (401)
Community Structure of CO ₂ -fixing Soil Bacteria from Different Land Use Types in Karst Areas	ZHANG Shuang-shuang, JIN Zhen-jiang, JIA Yuan-hang, <i>et al.</i> (412)
Composition and Predictive Functional Analysis of Rhizosphere Bacterial Communities in Riparian Buffer Strips in the Danjiangkou Reservoir, China	SUN Feng, TIAN Wei, ZHANG Fei, <i>et al.</i> (421)
Migration and Transformation of Adsorbed Arsenic Mediated by Sulfate Reducing Bacteria	JIA Qian-qian, LI Wei, WANG Ya-nan, <i>et al.</i> (430)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Surface Farmland Soil Around a Lead and Zinc Smelter	WANG Yang-yang, LI Fang-fang, WANG Xiao-yang, <i>et al.</i> (437)
Effect of a Mining and Smelting Plant on the Accumulation of Heavy Metals in Soils in Arid Areas in Xinjiang	YANG Wei-guang, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping (445)
Assessment of the Speciation and Pollution of Heavy Metals in Paddy Soils from the Jiulong River Basin	LIN Cheng-qi, HUANG Hua-bin, HU Gong-ren, <i>et al.</i> (453)
Characteristics of Stable Mercury Isotopic Compositions in the Food Web of the Caohai Lake	XU Yi-yuan, HE Tian-rong (461)
Interaction of Cd and Zn Affecting the Root Morphology and Accumulation of Heavy Metals in <i>Sedum aizoon</i>	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i> (470)
Effects of Different Concentrations of Lanthanum on the Growth and Uptake of Pb by Maize Grown Under Moderate Lead Stress	WANG Qi-fan, GUO Wei, CHANG Qing, <i>et al.</i> (480)
Distribution and Bioaccumulation Characteristics of Cadmium in Fish Species from the Longjiang River in the Guangxi Autonomous Region	WANG Jun-neng, ZHAO Xue-min, HU Guo-cheng, <i>et al.</i> (488)
Influence of Six Digestion Methods on the Determination of Polystyrene Microplastics in Organisms Using the Fluorescence Intensity	ZOU Ya-dan, XU Qing-qing, ZHANG Ge, <i>et al.</i> (496)
Preparation of a Nutritional Slow-release Packing Material with Function Microorganisms and Its Characteristics Evaluation	FENG Ke, XU Dan-hua, CHENG Zhuo-wei, <i>et al.</i> (504)