

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第39卷 第1期

Vol.39 No.1

2018

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

2006~2015年北京市不同地区 O₃ 浓度变化 王占山, 李云婷, 安欣欣, 李倩, 孙乃迪, 王步英, 潘锦秀 (1)
南京北郊黑碳气溶胶的来源解析 肖思晗, 于兴娜, 朱彬, 何镓祺, 吕睿, 沙丹丹 (9)
电镀厂周边大气 PM₁₀ 中重金属季节性分布特征及生态风险评价 赵珍丽, 赵委托, 黄庭, 程胜高, 余葱葱, 尹伊梦 (18)
广西玉林市大气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 中有机碳和元素碳污染特征分析 黄炯丽, 陈志明, 莫招育, 李宏姣, 杨俊超, 刘慧琳, 毛敬英, 梁桂云, 张达标, 吴熊平, 郝爽 (27)
青岛近海及黄渤海大气气溶胶中不同形态氮磷质量浓度及组成特征 张瑞峰, 祁建华, 丁雪, 谢丹丹 (38)
大气环境分区管理: 以广东省为例 杨柳林, 李敏辉, 廖程浩, 曾武涛, 张晖, 张永波 (49)
基于高分影像的城市黑臭水体遥感识别: 以南京为例 温爽, 王桥, 李云梅, 朱利, 吕恒, 雷少华, 丁潇蕾, 苗松 (57)
基于 SWAT 模型的流域河道硝酸盐 δ¹⁵N 和 δ¹⁸O 模拟 王康, 冉宁, 林忠兵, 周祖昊 (68)
程河流域非点源污染负荷估算及其控制对策 陈学凯, 刘晓波, 彭文启, 董飞, 黄智华, 冯顺新, 王若男 (77)
陆浑水库饮用水源地水体中金属元素分布特征及健康风险评价 余葱葱, 赵委托, 高小峰, 程胜高, 谢地, 马鹏途 (89)
天津供水系统中抗生素分布变化特征与健康风险评价 张新波, 宋姿, 张丹, 刘楠楠, 李楠, 温海涛 (99)
西南丘陵区村镇典型供水水源有机物分布特征及对饮水水质的影响 王琼, 李乃稳, 李磊, 李龙国, 苟思, 杨凌肖 (109)
以 HKUST-1 为模板制备铜电极物活化过一硫酸氢钾降解罗丹明 B 陈卫平, 彭程伟, 杨阳, 吴玉梅 (117)
黄河岸边土壤中类二噁英类多氯联苯污染现状及风险 姚宏, 卢双, 张旭, 裴晋, 鲁垠涛 (123)
淹水落干下三峡水库消落带土壤无机磷形态转化特征 周健, 李春辉, 张志永, 胡红青, 万成炎, 胡莲, 潘晓洁 (130)
磷酸盐对铁锰复合氧化物膜去除地表水中氨氮的影响 卓瑞双, 黄廷林, 张瑞峰, 文刚 (137)
K₂S₂O₈ 强化 g-C₃N₄ 薄膜光电催化降解 Cu(CN)₂ 并同步回收 Cu 党聪哲, 李一兵, 王彦斌, 赵旭 (145)
以 HKUST-1 为模板制备铜电极物活化过一硫酸氢钾降解罗丹明 B 蒲嘉懿, 万金泉, 王艳, 马邕文, 武书彬 (152)
氮化松香基交联聚合树脂对水中诺氟沙星的吸附性能 马亚红, 黄婉婷, 刁开盛, 李鹏飞, 谭学才, 董慧岭, 覃方夸, 雷福厚, 刘绍刚 (161)
铁锰泥除砷颗粒吸附剂对 As(V) 的吸附去除 曾辉平, 吕赛赛, 杨航, 尹灿, 曹瑞华, 王艳菊, 李冬, 张杰 (170)
水铁矿及其胶体对砷的吸附与吸附形态 马玉玲, 马杰, 陈雅丽, 雷梅, 郭华明, 翁莉萍, 李永涛 (179)
阳(阴)离子复配修饰两性磁性膨润土的表面特征差异及对苯酚吸附的影响 任爽, 孟昭福, 王腾, 张洋, 田凯, 刘伟, 闫东旭 (187)
典型城市污水中对羟基苯甲酸酯的污染特征 赵雪, 张子峰, 祝富杰, 李一凡, 马万里 (195)
水力停留时间对活性炭生物转盘处理污水的影响 许雯佳, 戚小英 (202)
环丙沙星对膜生物反应器运行效能的影响及其去除特性 戴琦, 刘锐, 舒小铭, 张永明, 陈吕军 (212)
AAO 工艺低氧条件下的运行及其模拟 曹特特, 王林, 李咏梅 (219)
磷酸盐对亚硝化系统的抑制及恢复 顾澄伟, 陈方敏, 李祥, 张程锦 (227)
碳源对污水处理厂 SAD 工艺小试的影响 李冬, 赵世勋, 王俊安, 朱金凤, 关宏伟, 张杰 (232)
容积负荷对 ABR-MBR 工艺反硝化除磷性能的影响 吕亮, 尤雯, 韦佳敏, 吴鹏, 沈耀良 (239)
DNBF-O₃-GAC 组合工艺深度脱除氮磷及代谢产物 钟丽燕, 郝瑞霞, 王卫东, 万京京, 朱晓霞 (247)
交替好氧/缺氧运行模式对生物脱氮效能及活性污泥胞外聚合物的影响 孙洪伟, 陈翠忠, 吴长峰, 赵华南, 于雪, 方晓航 (256)
纳米零价铁对升流式颗粒污泥床反硝化性能的影响 周丰, 王翻翻, 钱飞跃, 黄慧敏, 沈耀良, 周建民 (263)
高含固污泥厌氧消化中 Fe/S 及 pH 对原位抑硫效率影响及其交互作用 韩芸, 曹玉芹, 卓杨, 王晓飞, 韩雅婷, 彭党聪 (269)
浑河流域贮存污泥成分特征及演变规律分析 刘甜甜, 崔崇威, 赫俊国, 唐建 (276)
去除城市生活污水中有机络合态金属强化其厌氧生物制气 卢怡清, 许颖, 董滨, 戴晓虎 (284)
污泥飞灰中重金属不同浸出方法比较及综合毒性评价 王丰, 李润东, 李彦龙, 赵云斌, 杨天华 (292)
初冬时期闽江河口区养殖塘排水后的 CH₄ 和 N₂O 通量日变化特征 杨平, 谭立山, 黄佳芳, 何清华, 全川 (300)
3 种土壤改良剂对河套灌区玉米田温室气体排放的影响 武岩, 红梅, 林立龙, 刘梅, 刘宇杰 (310)
有机质替代比例对冬小麦/夏玉米轮作体系作物产量及 N₂O 排放的影响 侯苗苗, 吕凤莲, 张弘毅, 周应田, 路国艳, Ayaz Muhammad, 黎青慧, 杨学云, 张树兰 (321)
拔节期水稻光合碳输入的动态变化及其对施氮的响应: ¹³C-CO₂ 脉冲标记 陈珊, 祝贞科, 袁红朝, 王久荣, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水 (331)
陕北黄土丘陵区不同土地利用方式下土壤碳剖面分布特征 兰志龙, 赵英, 张建国, 李会杰, 司炳成, 焦瑞, Muhammad Numan Khan, Tanveer Ali Sial (339)
不同地表条件下生物炭对土壤氮挥发的影响 邹娟, 胡学玉, 张阳阳, 陈窈君, 王向前, 刘扬 (348)
秸秆与生物炭还田对土壤团聚体及固碳特征的影响 徐国鑫, 王子芳, 高明, 田冬, 黄容, 刘江, 黎嘉成 (355)
县域尺度土壤铜的有效性及相关影响因素评估 李锦芬, 瞿明凯, 刘刚, 黄标 (363)
基于改进 LUR 模型的区域土壤重金属空间分布预测 曾菁菁, 沈春竹, 周生路, 陆春峰, 金志丰, 朱雁 (371)
沈北新区土壤中多环芳烃污染特征及源解析 李嘉康, 宋雪英, 魏建兵, 王颖怡, 李玉双, 郑学昊 (379)
磷酸盐、腐殖酸与粉煤灰联合钝化模拟铅镉污染土壤 赵庆圆, 李小明, 杨麒, 陈灿, 钟振宇, 钟宇, 陈飞, 陈寻峰, 王祥 (389)
控源及改良措施对稻田土壤和水稻镉累积的影响 封文利, 郭朝晖, 史磊, 肖细元, 韩晓晴, 冉洪珍, 薛清华 (399)
典型土壤双季稻对 Cd 吸收累积差异 李欣阳, 龙坚, 王树兵, 陈齐, 董霞, 蒋凯, 侯红波, 彭佩钦, 廖柏寒 (406)
松花江上游夹皮沟金矿开采区芦苇叶片汞分布特征 张曼胤, 李梦洁, 崔丽娟, 王贺年, 郭子良, 徐卫刚, 魏圆云, 杨思, 肖红叶 (415)
硝酸盐对土壤反硝化活性及厌氧降解的影响 代军帅, 左小虎, 王明霞, 姚炎红, 周志峰 (422)
长期施肥对稻田土壤微生物量、群落结构和活性的影响 王伟华, 刘毅, 唐海明, 孙志龙, 李宝珍, 葛体达, 吴金水 (430)
海洋沉积物中硫酸盐还原菌和硫酸化菌群落分析方法的比较 张玉, 米铁柱, 甄毓, 陈焯, 付璐璐, 王勋功 (438)
鄱阳湖微囊藻毒素时空分布格局及其与理化及生物因子的关系 袁丽娟, 廖且根, 张莉, 张大文, 罗林广, 刘聚涛 (450)
畜禽粪便中多重耐药细菌及耐药基因分布特征 张昊, 王盼亮, 杨清香, 俞宁 (460)
烟气净化工艺和焚烧炉类型对生活垃圾焚烧飞灰性质的影响 章骅, 于思源, 邵立明, 何晶晶 (467)
《环境科学》征稿简则(17) 《环境科学》征订启事(26) 信息(160, 255, 338)

大气环境分区管理：以广东省为例

杨柳林^{1,2}, 李敏辉^{1,2}, 廖程浩^{1,2}, 曾武涛^{1,2}, 张晖^{1,2}, 张永波^{1,2}

(1. 广东省环境科学研究院, 广州 510045; 2. 广东省环境保护大气环境管理与政策模拟重点实验室, 广州 510045)

摘要: 从区域大气环境管理的角度出发, 提出大气环境分区管理的理念. 以广东省地区为例, 利用空气质量数值模拟和卫星遥感反演分析相结合的方法, 从气象要素模拟场、浓度要素模拟场和卫星图像解译中筛选出关键因子, 形成大气环境管理分区指标体系, 在此基础上, 利用层次聚类分析法将广东省划分为严格控制区、持续改善区和协调发展区这 3 种大气环境管理分区类型. 结果表明, 广东省大气环境管理严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占 16.3%、28.0% 和 55.7%. 严格控制区在珠三角、粤东、粤西和粤北所占的比例分别为 27.9%、19.3%、4.4% 和 12.5%, 区域内应实施最严格的大气环境管理政策以推动空气质量改善; 持续改善区在珠三角、粤东、粤西和粤北所占的比例分别为 34.4%、15.8%、7.8% 和 34.5%, 区域内应实施相对严格的大气环境管理政策以保障持续稳定达标; 协调发展区在珠三角、粤东、粤西和粤北所占的比例分别为 37.7%、64.9%、87.8% 和 53.0%, 区域内应实施较为宽松的大气环境管理政策以保障相对良好的空气质量. 总体而言, 广东省大气环境管理压力主要集中在珠三角地区, 粤北、粤东地区次之, 粤西地区大气环境管理压力最小.

关键词: 大气环境; 分区管理; 层次聚类分析; 空气质量模拟; 卫星遥感; 广东省

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2018)01-0049-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201706055

Air Quality Subarea Management: A Case Study of Guangdong Province

YANG Liu-lin^{1,2}, LI Min-hui^{1,2}, LIAO Cheng-hao^{1,2}, ZENG Wu-tao^{1,2}, ZHANG Hui^{1,2}, ZHANG Yong-bo^{1,2}

(1. Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China; 2. Guangdong Provincial Environmental Protection Key Laboratory of Atmospheric Environment Management and Policy Simulation, Guangzhou 510045, China)

Abstract: To meet the requirements of regional air quality management (AQM), the Air Quality Subarea Management (AQSM) system was proposed. A case study was conducted for Guangdong Province. By using the method of air quality numerical simulation and satellite remote sensing inversion analysis, the key factors were selected from the meteorological simulation field, the pollutant concentration simulation field, and the satellite image interpretation to form the index system for AQSM. On this basis, a hierarchical cluster analysis method was used to divide Guangdong Province into three types of AQSM: Strict Control Subarea, Continuous Improvement Subarea, and Coordinated Development Subarea. It was shown that the Strict Control Subarea, Continuous Improvement Subarea, and Coordinated Development Subarea in Guangdong Province covered 16.3%, 28.0%, and 55.7%, respectively. The Strict Control Subarea in the Pearl River Delta, Eastern Guangdong, Western Guangdong, and Northern Guangdong accounted for 27.9%, 19.3%, 4.4%, and 12.5%, respectively, and the subarea should implement the most stringent AQM policies to promote air quality improvement. The Continuous Improvement Subarea in the Pearl River Delta, Eastern Guangdong, Western Guangdong, and Northern Guangdong accounted for 34.4%, 15.8%, 7.8%, and 34.5%, respectively, and the subarea should implement relatively strict AQM policies to ensure sustained and stable standards. The Coordinated Development Subarea in the Pearl River Delta, Eastern Guangdong, Western Guangdong, and Northern Guangdong accounted for 37.7%, 64.9%, 87.8%, and 53.0%, respectively, and the subarea could implement more liberal AQM policies to ensure relatively good air quality. In general, the strict AQM policies in Guangdong Province should be mainly concentrated in the Pearl River Delta region, followed by Northern Guangdong, Eastern Guangdong, and Western Guangdong in order.

Key words: atmospheric environment; subarea management; hierarchical cluster analysis; air quality simulation; satellite remote sensing; Guangdong Province

大气环境分区管理是指大气环境在开发、利用和保护过程中,按照一定的评价标准和分区方法,将具有相似的大气环境利用状况以及相似的大气环境效应的区域单元作为一个管理区域进行管理,以便提高不同管理分区内大气环境的利用效率和管理精度,获得较好的社会和经济效益.如何划定和落实大气环境管理分区,国内外不少机构或学者对其进行了深入的研究.20世纪80年代,由于监管不力等原因,美国仍有96个地区O₃超标,58个地区空气

颗粒物超标,41个地区CO超标,为解决这一问题,美国将环境空气质量区域分为达标区和未达标区两类,同时以污染严重程度为指标,在对未达标地区进行分类细化的基础上,用分区管理的方法来控制污染物的达标排放^[1-3].20世纪90年代,英国政府为

收稿日期: 2017-06-07; 修订日期: 2017-07-04

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2014BAC21B04); 广东省环境科学研究院科技创新项目(HKYKJ-201401)

作者简介: 杨柳林(1987~),男,硕士,工程师,主要研究方向为区域大气环境, E-mail: snsqs@163.com

为了保护公众健康与环境,将无法达到空气质量目标的地区视为“污染热点”,同时将其列为空气质量区域,该区域范围可以是一两条街道,整个城区,或者更大。空气质量区域所属地方政府要制定相应的行动计划以提高其空气质量。截至目前,空气质量分组已在全英国范围内完成^[4]。为了解决交通污染造成的空气质量恶化问题,瑞典首都斯德哥尔摩在 2002 年开展了环境分区研究,依据不同区域空气污染浓度的差异进行划分,其用于交通规划及尾气控制,取得了良好的成效^[5,6]。

从 20 世纪 80 年代起,我国先后制定并颁布了 3 个版本的空气质量标准(GB 3095-1982、GB 3095-1996 和 GB 3095-2012),将我国大气环境划分为 3 个或者 2 个质量功能等级,并提出不同等级的空气质量要求。为了适应不同社会经济发展需要,我国很多地方对其空气功能区划进行了修编。马安青等^[7]运用空间分析技术,将城市社会功能、气象特征以及环境现状叠加对兰州市环境空气质量功能区进行划分;李玲^[8]通过对珠海市空气质量现状、土地利用方式及污染源分布的分析,提出了城市环境空气质量功能划分的细化方案;付红玲等^[9,10]结合大气环境质量数值模拟技术,采用模糊综合评价法实现了唐山市区环境空气质量功能的区划;张华等^[11]建立了以工业类型、污染物排放密度、环境空气质量和人口密度这 4 个要素为判定集合的系统评判模型,并以此对太原市环境空气质量三类功能区进行了划分。此外,基于大气环境分区管理的理念,刘丽等^[12]和张南南等^[13,14]在宁大同等^[15]关于空气资源雏形的基础上,提出了空气资源禀赋的概念,并从气象要素场中筛选出关键因子作为空气资源的评价指标体系,再与地理信息系统相结合给出空间分布;薛文博等^[16-18]和武卫玲等^[19]提出了大气环境红线的概念,结合源头布局敏感区、污染易聚集区及敏感的环境受体,划定红、黄、绿三级大气环境红线体系,实施红线禁止、黄线限制和绿线引导的分级控制思路。综上,目前我国大气环境管理分区要么是功能导向型,要么是依据单一要素进行划分,并没有将地形地貌、污染排放、质量现状、敏感受体等管理范畴的关键要素有机地综合起来加以考虑,是一种不完整的大气环境管理分区。

为了科学指导产业合理发展布局,推动大气环境治理工作落实,取得空气质量改善的实际成效,基于科技进步的精细化大气环境管理已经成为必要手段。本研究以广东省为例,从辨析区域大气环境特

征及其社会经济背景的空间差异规律出发,根据各地区大气环境特征及其影响因素的相似性和差异性,进行网格化环境管理分区,把大气环境特征及其影响因素相似性较大或大气系统关系较为紧密的地区划分到同一个分区,并分区制订防治目标、明确防治政策措施,促进全省大气环境管理的分类分治和整体优化。

1 材料与方法

1.1 方法设计

从区域大气环境管理的需要出发,提出区域空气质量指标要素、等级划分及分区管控的理念。在深入分析该地区经济社会发展、污染排放信息^[20-22]和污染气象特征^[23,24]等因素基础上,利用空气质量数值模拟(WRF、SMOKE、CALPUFF、CMAQ等)和卫星遥感监测反演的综合性手段,从气象要素场、浓度要素场和卫星图像解析中筛选出影响大气环境管理的主要因子,得到大气环境管理分区指标体系,并利用聚类分析算法对不同网格单元进行类别划分,确定每一网格单元的管理分区属性。在此基础上,将大气环境管理分区的结果与地理信息系统相结合,给出其空间分布,强化分区管控政策的落地。具体研究技术路线见图 1。

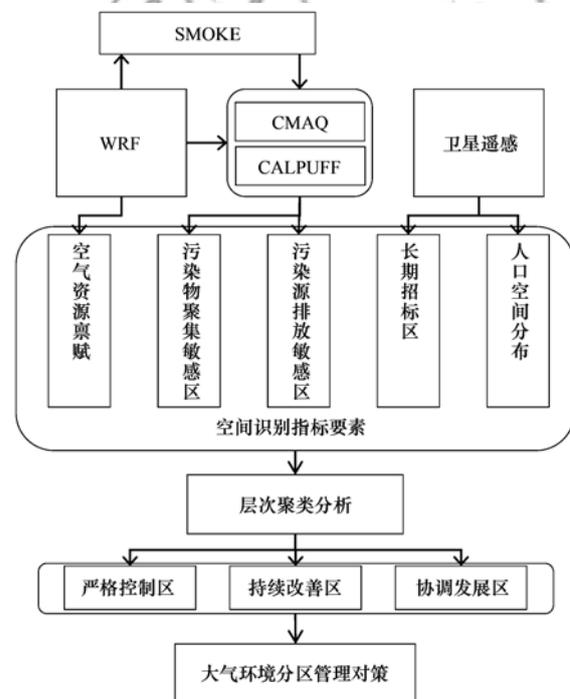


图 1 研究技术路线

Fig. 1 Technology route of the research

1.2 空气质量数值模拟

空气质量模型是人们基于大气中物理和化学过

程规律, 建立起来的数学计算方法, 用来模拟大气污染物的特征. 本研究的空气质量模型包括气象模型、排放模型和化学模型这 3 大部分, 其中气象模型使用国际领先的中尺度模式 WRF, 排放模型使用 SMOKE, 化学模型使用第三代空气质量模型 Models-3 的核心系统 CMAQ 和非稳态拉格朗日烟团模型系统 CALPUFF.

本研究空气质量数值模拟采用三重嵌套网格, 网格基于 Lambert 正形投影, 中心经纬度为 114°E 、 28.5°N , 两条标准纬线为 15°N 、 40°N , 第一层网格的分辨率为 27 km, 包括整个中国和东南亚等地区, 第二层网格的分辨率为 9 km, 包括珠三角和华南地区等区域, 第三层网格的分辨率为 3 km, 包括整个广东省地区. 垂直方向上, 网格分 23 层, 模式顶高为 100 hPa (~ 16 km), 垂直分辨率在近地层较高, 高层相对较低.

1.3 卫星遥感反演方法

目前, 广东省已具有较大规模的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 地面常规监测网, 每小时有约 110 个公开的监测站数据. 然而地面站监测因为建站和仪器设备及维护的昂贵等, 始终只能在有限的地点进行, 难以得到良好的空间覆盖和三维空间分布特征^[25]. 而且气溶胶浓度有着明显的空间变化, 单个站点数据并不足以完整反映城市各区的空气质量. 现有的稀疏的气溶胶监测资料难以满足人们对身边周围环境污染信息及污染治理的需求.

利用卫星遥感和激光雷达遥感可以弥补地面观测的不足. 卫星遥感作为一种先进的科学技术, 能够提供地面监测难以得到的气溶胶的空间分布信息. 气溶胶光学厚度 (aerosol optical depth, AOD) 定义为大气中气溶胶的消光系数在垂直方向上的积分, 用于描述气溶胶对光的衰减作用. 但是 AOD 是对大气柱总的测量, 不能直接提供污染物的垂直分布信息. 因此, 如何将地面颗粒物消光信息从卫星遥感得到的整层 AOD 中分离出来, 是地面颗粒物污染反演技术的重点^[26,27], 本研究的关键步骤如下: ① 利用目前中等分辨率成像光谱辐射计 (MODIS) 卫星遥感大气气溶胶的反演算法, 建立气溶胶光学厚度分析方法, 获得高空间分辨率的大气气溶胶光学厚度产品. ② 通过太阳光度计观测等方式获取地基气溶胶观测数据, 对卫星反演结果进行比对和校验, 对反演的气溶胶光学厚度进行垂直订正和湿度订正, 获得近地面的气溶胶消光系数, 并修正消除水汽对气溶胶消光系数的影响, 提高大气

气溶胶产品与地面颗粒污染物浓度的相关性. ③ 通过遥感反演和修正得到的近地面气溶胶消光系数资料与地面 PM 浓度的监测数据进行对比及统计分析, 建立近地面气溶胶消光系数与近地面 PM 浓度的相关关系模型, 建立近地面 PM 浓度遥感反演算法.

1.4 管理分区聚类方法

聚类分析是多元统计分析被引入分类学中逐步形成的一个新的数学分支, 是研究如何将一组样品 (对象、指标、属性等) 分成类内相近、类间有别的若干类群的一种多元统计分析方法^[28]. 聚类分析是数据挖掘中的一个活跃研究领域, 并提出了许多聚类算法. 层次聚类的基本思想是将待处理的数据集进行一层一层的分解, 将数据组织成若干组并形成相应的树状图然后进行聚类, 一旦满足用户预先设定的条件, 算法就结束^[29]. 依据层次分解聚类形成过程的不同, 又可以具体将层次分解分为聚合层次聚类和分解层次聚类两种方案. 聚合层次聚类的方法也称“自底向上”的方法, 一开始每一个数据对象都被当做一个原始聚类, 然后对这些原始聚类逐层进行聚合, 直至满足一定的终止条件为止. 分解层次聚类也称“自顶向下”的方法, 与前者相反, 初始时将所有的对象都看成一个聚类, 然后在每次循环中将其不断分解成多个更小的聚类, 直至满足算法设定的终止条件或者每个类簇只包含一个数据对象. 本研究采用聚合层次聚类法进行大气环境管理分区划分.

2 结果与讨论

本节以广东省为例, 探讨区域大气环境管理分区的技术方法和应用前景. 大气环境管理分区是为了各地区更好地、因地制宜地制定大气环境的开发利用和保护管理规划, 不同等级的管理分区要反映大气环境的地区差别, 而且在一定时期内要相对固定并带有强制性. 本研究从历史浓度超标情况、空气资源禀赋、污染物聚集敏感、污染源排放敏感以及人口分布等要素出发, 划分大气环境管控分区.

2.1 等级划分指标要素

2.1.1 区域长期超标区筛选

利用 MODIS 等卫星遥感数据, 优化改进本地大气气溶胶算法, 并结合地面观测站点的颗粒污染物的浓度实测数据进行对比分析, 建立区域大气颗粒污染物浓度的卫星遥感反演算法, 得到广东省地区高时空分辨率的近地面细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 浓度分

布信息,并对超标区域、超标程度及超标年份进行统计,结果如图2所示.广东省 $PM_{2.5}$ 污染从2013~2015年得到有效改善,超标区域不断缩小,超标程度也逐渐降低,总体而言,全省 $PM_{2.5}$ 高值区主要集中在佛山—广州南部—东莞一带,韶关、清远、云浮以及粤东三市中部的 $PM_{2.5}$ 浓度也较高,粤西、梅州南部、潮州北部、汕尾北部等区域 $PM_{2.5}$ 浓度相对较低.从超标区域统计数据来看,3a中出现过超标的区域占全省面积的60.4%,其中1a超标区域、2a超标区域和3a超标区域分别占11.6%、38.1%和10.7%.

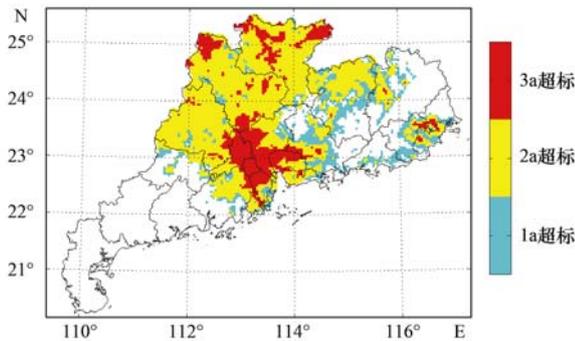


图2 广东省2013~2015年 $PM_{2.5}$ 超标区域分布

Fig. 2 $PM_{2.5}$ nonattainment area from 2013-2015 in Guangdong

2.1.2 空气资源等级划分

气象条件是大气环境中最重要的自然要素,其中,混合层高度、风速是气象条件的关键指标.混合层高度反映了污染物在垂直方向被热力湍流稀释的范围,混合层高度越高,表明污染物在铅直方向的稀释范围越大,越有利于大气污染物的扩散.风速反映了自然环境对污染物的自净能力,并对污染物起着整体输送和稀释冲淡的作用,风速愈大,单位时间内污染物被输送的距离愈远,混入的空气量愈多,大气扩散稀释能力愈强.空气资源禀赋是在不考虑大气污染源排放的情况下,对一个地区大气稀释、扩散、输送、清除等综合能力的度量^[13,14],本研究照国家环保部颁布的《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》(GB/T 13201-91)中规定的大气环境容量核算A值法中通风系数的计算方法,主要根据风速和混合层高度对空气资源禀赋进行综合评估.

$$A = 3.1536 \times 10^{-3} \frac{\sqrt{\pi UH}}{2} \quad (1)$$

式中, H 、 U 分别为混合层高度和混合层的平均风速, A 值越大空气资源越充裕.

利用气象诊断工具CALMET对2013~2015年

WRF运行结果进行混合层高度和混合层的平均风速的提取分析,得到广东省3a平均A值(无量纲)分布情况如图3所示.从中可以看出,空气资源禀赋充裕地区集中在粤西、珠三角南部及中部、粤东沿海和粤北与江西/湖南接壤边界等区域,空气资源禀赋较好及一般地区集中在韶关—清远—肇庆—云浮一带以及东莞—惠州—河源—梅州一带,全省基本没有空气资源禀赋稀少的地区.

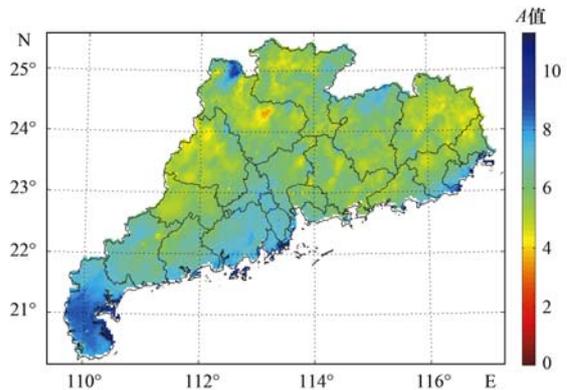


图3 广东省2013~2015年平均A值分布

Fig. 3 Distribution of average A values from 2013-2015 in Guangdong

2.1.3 污染物聚集敏感区识别

假定模拟范围内每个网格排放相同的污染物($0.25 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$),利用空气质量模型(CMAQ)模拟所有网格排放源的环境影响,依据污染物浓度的高低或聚集度,划定污染物聚集敏感区,结果如图4所示.在全省排放一致情况下,最容易受到污染的地区主要分布在佛山、广州、肇庆、清远以及韶关局部、河源局部、梅州局部、惠州局部等.聚集敏感区呈带状或片状分布,反映了区域内空气污染的输送特征,由此可见,影响珠三角空气质量有三条主要输送通道,分别是河源—惠州—广州通道、韶关—

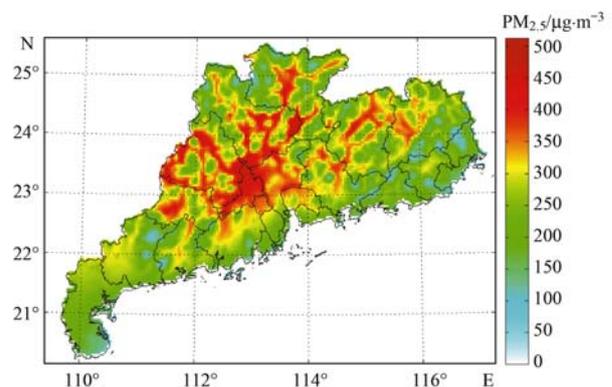


图4 广东省 $PM_{2.5}$ 污染聚集敏感分布

Fig. 4 Distribution of $PM_{2.5}$ pollution accumulation sensitivity in Guangdong

清远—广州通道和肇庆—佛山—广州通道。

2.1.4 污染源排放敏感区识别

假定广东省范围内每个网格排放相同的污染物 ($100 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$), 利用空气质量模型 (CALPUFF) 依次模拟每个网格排放源对全省所有空气监测站点及所有县 (区) 的浓度贡献, 依据对所有受体点的加权浓度贡献, 划定污染源排放敏感区, 结果如图 5 所示。在全省排放一致情况下, 容易对周边大气环境造成影响的区域主要分布在广州南部—佛山东部—中山北部一带、深圳东部—南部一带、广州东部—东莞北部一带、潮州南部—揭阳东部—汕头东北部一带, 其它城市市区中心一带也有小片区域分布。

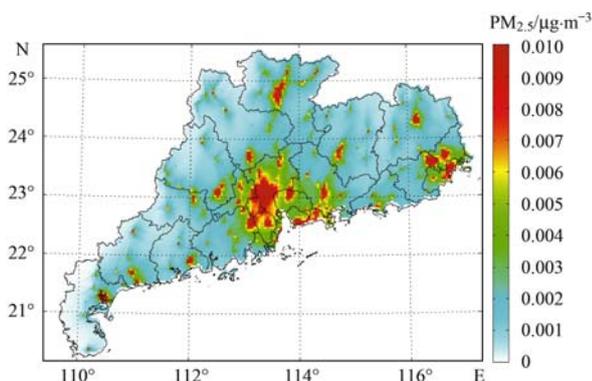


图5 广东省污染源排放敏感区分布

Fig. 5 Distribution of emission source sensitivity in Guangdong

2.1.5 人口聚集敏感区的识别

通过人口统计数据与遥感空间信息集成技术, 重构符合空气质量模型网格分辨率要求的人口空间分布特征。统计《广东省统计年鉴 2014 年》中各地级城市及其所辖区县 2013 年常住人口数据, 以同年度 MODIS Land Cover 数据为基础, 提取 IGBP 地物分类中的建成区域作为人口集聚的地理空间约束性图层, 将各区县人口总数分配于各城市所辖区县建成区域; 再基于 DMSP/OLS 遥感夜间灯光数据对全省所有区县构建“灰度密度-人口密度”模型, 将各区县人口进行本地化空间分配; 为匹配空气质量模型的空间精度要求, 按照模型网格空间分辨率规格对人口分布空间模型进行尺度转换重塑, 最终构建了表征截至 2013 年底的广东省人口集聚分布, 如图 6 所示。广东省人口高密度区主要分布在深圳、东莞、广州、佛山等珠三角城市以及潮州、汕头、揭阳区域中部。

2.2 大气环境管理分区

在取得大气环境管理分区各指标体系研究成果的基础上, 采用分解层次聚类方法对区域内单元进

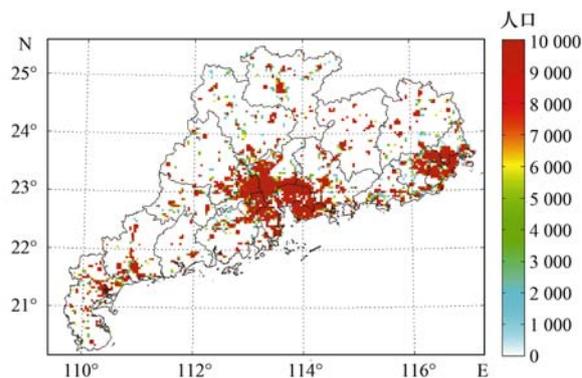


图6 广东省人口分布

Fig. 6 Distribution of population in Guangdong

行分区聚类 (图 7)。层次上分要素层、属性层和成果层, 要素层包括超标统计、空气资源 (A)、人口-污染聚集敏感 (CP, 人口·污染物聚集敏感 $\cdot 10^{-7}$, 人 $\cdot \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 和排放敏感 (EP, $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) 这 4 个要素, 属性层按每个要素的不同属性进行不同等级的划分, 成果层分严格控制区、持续改善区和协调发展区。

综合考虑超标情况、空气资源禀赋、基于人口的污染积聚敏感和排放源敏感等因素, 将 2013 ~ 2015 年均超标、空气资源禀赋“一般”、人口-污染聚集敏感大于 $3 \text{ 人}\cdot\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和污染源排放敏感大于 $0.006 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的区域划定为大气环境管理“严格控制区”, 将 2013 ~ 2015 年中有 1 ~ 2 a 超标、空气资源禀赋“较好”、人口-污染聚集敏感在 $2 \sim 3 \text{ 人}\cdot\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间和污染源排放敏感在 $0.005 \sim 0.006 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间的区域划定为大气环境管理“持续改善区”, 将 2013 ~ 2015 年中有 1 ~ 2 a 超标、空气资源禀赋“充裕”、人口-污染聚集敏感小于 $2 \text{ 人}\cdot\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和污染源排放敏感小于 $0.005 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 的区域划定为大气环境管理“协调发展区”。

严格控制区内现状浓度较高, 空气资源禀赋一般, 已经基本没有环境容量, 而且人口集中程度高, 部分地区还处在污染输送通道上, 内部排放源容易对周边空气质量造成较大影响, 该类分区主要集中在珠三角的东莞北部—广州南部—佛山东—顺德—中山北一带, 粤东潮安—湘桥—榕城—潮汕—揭阳—龙湖呈环状一带, 粤北韶关的中部、东部和清远的南部、北部等区域, 粤西及清远中部局部地区也有零星小斑块分布; 严格控制区应实施最严格的大气环境管理政策, 全面加强治污减排, 加快推动空气质量改善。持续改善区内空气资源禀赋较好, 聚集敏感性、排放敏感性和人口集中程度中等, 该类

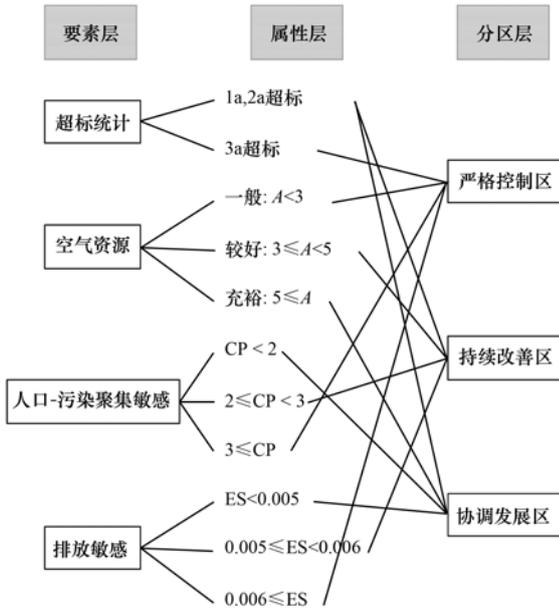


图7 大气环境管理分区层次聚类体系

Fig. 7 Hierarchical cluster system of air quality management subareas

分区主要集中在肇庆、云浮、江门北部、清远中—南部、广州中部、惠州东北、河源中部、梅州中部和韶关中部等区域；持续改善区应以保障持续稳定达标和推动空气质量持续改善为目标，实施相对严格的大气环境管理政策。协调发展区内空气资源禀赋相对充裕，聚集敏感性、排放敏感性和人口集中程度相对较小，该类分区在粤西、汕尾及周边、沿海地带、惠州—河源—韶关交界一带等分布广泛；协调发展区应着力保障相对良好的空气质量，并持

续推动空气质量的改善提高。从分区管理的角度总体而言(图8),广东省大气环境管理压力主要集中在珠三角地区,粤北、粤东地区次之,粤西地区大气环境管理压力最小。

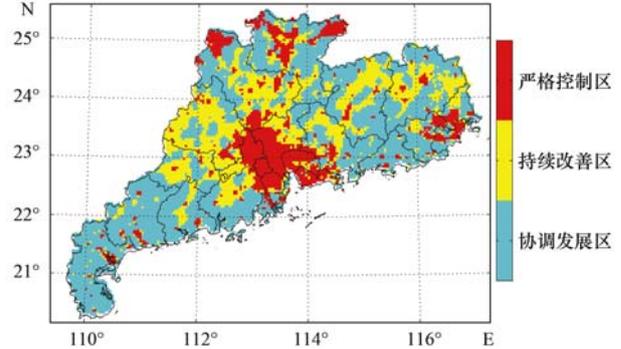


图8 广东省大气环境管理分区

Fig. 8 Air quality management subareas in Guangdong

从全省层面看(图9),广东省大气环境管理严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占全省国土面积的16.3%、28.0%和55.7%。从区域层面看,珠三角地区严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占国土面积的27.9%、34.4%和37.7%,粤东地区严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占国土面积的19.3%、15.8%和64.9%,粤西地区严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占国土面积的4.4%、7.8%和87.8%,粤北地区严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占国土面积的12.5%、34.5%和53.0%。从城市层面看,阳江、河源、云浮、梅州、茂名、湛江的严格控制区比例较

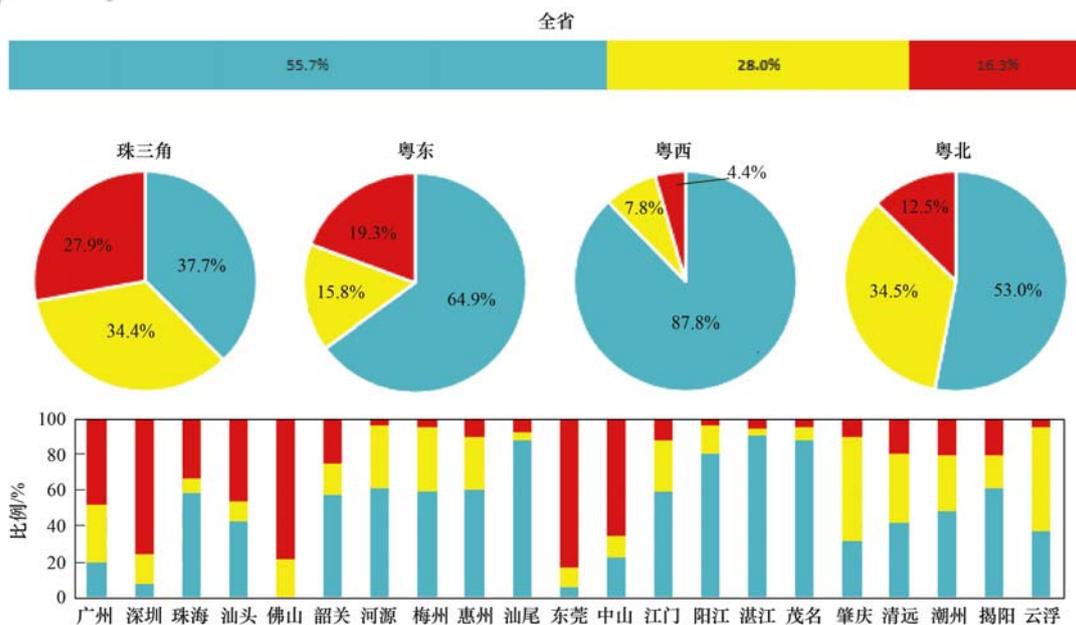


图9 大气环境管理分区比例

Fig. 9 Proportion of air quality management subareas at different levels

小,都在5%以内;东莞、佛山和深圳的严格控制区占比靠前,比例分别为82.8%、77.6%和75.2%。

3 结论

(1)从卫星遥感反演的结果来看,广东省 $PM_{2.5}$ 高值区主要集中在珠三角中部佛山—广州南部—东莞一带,粤北的韶关、清远、云浮以及粤东三市中部的 $PM_{2.5}$ 浓度也较高,粤西、梅州南部、潮州北部、汕尾北部等区域 $PM_{2.5}$ 浓度相对较低。

(2)广东省大气污染扩散条件整体较好,粤西、珠三角南部及中部、粤东沿海和粤北与江西/湖南接壤边界等区域的空气资源禀赋较为充裕,韶关—清远—肇庆—云浮一带以及东莞—惠州—河源—梅州一带的空气资源禀赋较好,全省基本没有空气资源禀赋稀少的地区。

(3)在污染源排放一致情况下,佛山、广州、肇庆、清远以及韶关局部、河源局部、梅州局部、惠州局部等地区最容易受到局地污染。聚集敏感区反映出的输送特征显示,珠三角的空气质量主要受“河源—惠州—广州”、“韶关—清远—广州”和“肇庆—佛山—广州”三条输送通道的影响。

(4)在污染源排放一致情况下,广东省的污染源排放敏感区主要分布在广州南部—佛山东部—中山北部一带、深圳东部—南部一带、广州东部—东莞北部一带、潮州南部—揭阳东部—汕头东北部一带,这些区域内的污染源较为容易对周边大气环境造成影响。

(5)广东省大气环境管理严格控制区、持续改善区和协调发展区分别占全省国土面积的16.3%、28.0%和55.7%。严格控制区主要集中在珠三角的东莞北部—广州南部—佛山东—顺德—中山北一带,粤东潮安—湘桥—榕城—潮南—潮阳—龙湖呈环状一带,粤北韶关的中部、东部和清远的南部、北部等区域;持续改善区主要集中在肇庆、云浮、江门北部、清远中—南部、广州中部、惠州东北、河源中部、梅州中部和韶关中部等区域;协调发展区主要分布在粤西、汕尾及周边、沿海地带、惠州—河源—韶关交界一带等地区。从分区管理的角度总体而言,广东省大气环境管理压力主要集中在珠三角地区,粤北、粤东地区次之,粤西地区大气环境管理压力最小。

参考文献:

[1] 余朝毅. 环境功能区划体系构建与应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2013. 2-4.

- Yu C Y. Construction and application of environmental function zoning system [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2013. 2-4.
- [2] 柴发合, 王晓, 罗宏, 等. 美国与欧盟关于 $PM_{2.5}$ 和臭氧的监管政策述评[J]. 环境工程技术学报, 2013, 3(1): 46-52.
Chai F H, Wang X, Luo H, et al. Review of supervision policies of USA and European Union on $PM_{2.5}$ and O_3 [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2013, 3(1): 46-52.
- [3] 孟露露, 单春艳, 李洋阳, 等. 美国 $PM_{2.5}$ 未达标区控制对策及对中国的启示[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2016, 49(1): 54-61.
Meng L L, Shan C Y, Li Y Y, et al. Control strategy of $PM_{2.5}$ nonattainment area in the United States and its enlightenment to China [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis, 2016, 49(1): 54-61.
- [4] Woodfield N K, Longhurst J W S, Beattie C I, et al. Regional collaborative urban air quality management: case studies across great Britain [J]. Environmental Modelling & Software, 2006, 21(4): 595-599.
- [5] Rapaport E. The Stockholm environmental zone, a method to curb air pollution from bus and truck traffic [J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2002, 7(3): 213-224.
- [6] Guo H C, Liu L, Huang G H, et al. A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for the lake Erhai basin [J]. Journal of Environmental Management, 2001, 61(1): 93-111.
- [7] 马安青, 刘道彬, 安兴琴. 基于GIS的多因子分析法对兰州市大气环境功能区划的研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(2): 262-267.
Ma A Q, Liu D B, An X Q. Atmospheric environment functional regionalization of the urban areas of Lanzhou city based on GIS [J]. Arid Land Geography, 2007, 30(2): 262-267.
- [8] 李玲. 区域环境空气质量功能区划体系构建及其应用研究——以珠海市环境空气质量功能区划为例[D]. 广州: 中山大学, 2008.
Li L. System construction of regional ambient air quality function district and application research—a case study of Zhuhai [D]. Guangzhou: Sun Yat-sen University, 2008.
- [9] 付红玲, 程水源, 李莉, 等. 唐山市区环境空气质量功能区划研究[J]. 安全与环境学报, 2011, 11(1): 109-113.
Fu H L, Cheng S Y, Li L, et al. Study on ambient air quality functional regionalization of Tangshan urban area [J]. Journal of Safety and Environment, 2011, 11(1): 109-113.
- [10] 付红玲. 唐山市区环境空气质量功能区划研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2010.
Fu H L. Study on ambient air quality functional regionalization of Tangshan urban area [D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2010.
- [11] 张华, 邱敏, 冯新宇. 系统评判法的建立及其在城市环境空气质量功能区划分中的应用[J]. 环境科学动态, 2001, 26(3): 16-18.
- [12] 刘丽, 王体健, 李宗恺, 等. 区域空气资源的评估方法及其在台湾海峡西岸地区的应用[J]. 环境科学学报, 2011, 31(9): 1872-1880.
Liu L, Wang T J, Li Z K, et al. The method of regional air resource assessment and its application in the west coast of

- Taiwan strait[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, **31**(9): 1872-1880.
- [13] 张南南, 万军, 苑魁魁, 等. 空气资源评估方法及其在城市环境总体规划中的应用[J]. *环境科学学报*, 2014, **34**(6): 1572-1578.
Zhang N N, Wan J, Yuan K K, *et al.* Air source assessment method and its application in urban environmental master planning[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, **34**(6): 1572-1578.
- [14] 张南南, 吴舜泽, 万军, 等. 全国空气资源评估及其与空气质量相关性分析[J]. *环境科学学报*, 2016, **36**(6): 2223-2230.
Zhang N N, Wu S Z, Wan J, *et al.* National air resources assessment and its impact on air quality [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, **36**(6): 2223-2230.
- [15] 宁大同, 袁军, 张良, 等. 空气资源观杂论[J]. *环境科学*, 1997, **18**(5): 88-90, 96.
Ning D T, Yuan J, Zhang L, *et al.* Viewpoint on the air resources[J]. *Environmental Science*, 1997, **18**(5): 88-90, 96.
- [16] 薛文博, 汪艺梅, 王金南. 大气环境红线划定技术研究[J]. *环境与可持续发展*, 2014, **39**(3): 13-15.
Xue W B, Wang Y M, Wang J N. On determining methodology of the red line of atmospheric environment[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2014, **39**(3): 13-15.
- [17] 薛文博, 吴舜泽, 杨金田, 等. 城市环境总体规划中大气环境红线内涵及划定技术[J]. *环境与可持续发展*, 2014, **39**(1): 14-16.
Xue W B, Wu S Z, Yang J T, *et al.* Connotation and division technique of atmospheric red-line system in the urban environmental master plan [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2014, **39**(1): 14-16.
- [18] 薛文博, 付飞, 吴舜泽, 等. 福州市大气环境红线空间区划研究[J]. *环境与可持续发展*, 2014, **39**(6): 19-23.
Xue W B, Fu F, Wu S Z, *et al.* Study on spatial division of atmospheric environmental red line in Fuzhou[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2014, **39**(6): 19-23.
- [19] 武卫玲, 薛文博, 雷宇. 宜昌市大气环境红线研究[J]. *环境与可持续发展*, 2016, **41**(6): 182-185.
Wu W L, Xue W B, Lei Y. Study on the atmospheric red lines in Yichang [J]. *Environment and Sustainable Development*, 2016, **41**(6): 182-185.
- [20] 杨柳林, 曾武涛, 张永波, 等. 珠江三角洲大气排放源清单与时空分配模型建立[J]. *中国环境科学*, 2015, **35**(12): 3521-3534.
Yang L L, Zeng W T, Zhang Y B, *et al.* Establishment of emission inventory and spatial-temporal allocation model for air pollutant sources in the Pearl River Delta region [J]. *China Environmental Science*, 2015, **35**(12): 3521-3534.
- [21] 朱倩茹, 廖程浩, 刘剑筠, 等. 广东省典型内河港区主要大气污染物排放特征研究[J]. *安全与环境学报*, 2015, **15**(3): 191-195.
Zhu Q R, Liao C H, Liu J J, *et al.* Research on the air pollutant emission in the typical river ports and harbors, Guangdong [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2015, **15**(3): 191-195.
- [22] 朱倩茹, 刘剑筠, 廖程浩, 等. 基于 COPERT 模型的重型柴油货车排放因子敏感性分析研究[J]. *环境科学与管理*, 2017, **42**(5): 52-56.
Zhu Q R, Liu J J, Liao C H, *et al.* Sensitivity analysis of heavy-duty diesel truck emission factors basic on COPERT model [J]. *Environmental Science and Management*, 2017, **42**(5): 52-56.
- [23] 吴兑, 廖国莲, 邓雪娇, 等. 珠江三角洲霾天气的近地层输送条件研究[J]. *应用气象学报*, 2008, **19**(1): 1-9.
Wu D, Liao G L, Deng X J, *et al.* Transport condition of surface layer under haze weather over the Pearl River Delta [J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2008, **19**(1): 1-9.
- [24] 范绍佳, 祝薇, 王安宇, 等. 珠江三角洲地区边界层气象特征研究[J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2005, **44**(1): 99-102.
Fan S J, Zhu W, Wang A Y, *et al.* Analysis on the boundary layer meteorological features of the Pearl River Delta [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2005, **44**(1): 99-102.
- [25] 孙林. 城市地区大气气溶胶遥感反演研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(遥感应用研究所), 2006. 4-5.
Sun L. Remote sensing of aerosols over urban areas [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications), 2006. 4-5.
- [26] Li Y, Lin C Q, Lau A K H, *et al.* Assessing long-term trend of particulate matter pollution in the Pearl River Delta region using satellite remote sensing [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **49**(19): 11670-11678.
- [27] Kaufman Y J, Tanré D, Boucher O. A satellite view of aerosols in the climate system [J]. *Nature*, 2002, **419**(6903): 215-223.
- [28] 王斌会. 多元统计分析及 R 语言建模[M]. (第三版). 广州: 暨南大学出版社, 2014. 131-132.
Wang B H. Multivariate statistical analysis and modeling for R language (3rd ed.) [M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2014. 131-132.
- [29] 段明秀. 层次聚类算法的研究及应用[D]. 长沙: 中南大学, 2009. 15-18.

CONTENTS

Variation of O ₃ Concentration in Different Regions of Beijing from 2006-2015	WANG Zhan-shan, LI Yun-ting, AN Xin-xin, <i>et al.</i>	(1)
Source Apportionment of Black Carbon Aerosol in the North Suburb of Nanjing	XIAO Si-han, YU Xing-na, ZHU Bin, <i>et al.</i>	(9)
Seasonal Characteristics and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in PM ₁₀ Around Electroplating Plants	ZHAO Zhen-li, ZHAO Wei-tuo, HUANG Ting, <i>et al.</i>	(18)
Characteristics of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ and PM _{2.5} in Yulin City, Guangxi	HUANG Jiong-li, CHEN Zhi-ming, MO Zhao-yu, <i>et al.</i>	(27)
Concentrations and Compositions of Different Forms of Nitrogen and Phosphorus in Atmospheric Aerosols in the Qingdao Coastal Region and over the Yellow and Bohai Sea	ZHANG Rui-feng, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(38)
Air Quality Subarea Management: A case study of Guangdong Province	YANG Liu-lin, LI Min-hui, LIAO Cheng-hao, <i>et al.</i>	(49)
Remote Sensing Identification of Urban Black-Odor Water Bodies Based on High-Resolution Images; A Case Study in Nanjing	WEN Shuang, WANG Qiao, LI Yun-mei, <i>et al.</i>	(57)
Simulation of Nitrate Isotopic ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{18}\text{O}$) by Coupling the Hydrology and Transport Processes Described by the SWAT Model	WANG Kang, RAN Ning, LIN Zhong-bing, <i>et al.</i>	(68)
Estimation of and Control Strategies for Pollution Loads from Non-point Sources in the Chenghai Watershed	CHEN Xue-kai, LIU Xiao-bo, PENG Wen-qi, <i>et al.</i>	(77)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Metals in Drinking Water Sources from the Luhun Reservoir	YU Cong-cong, ZHAO Wei-tuo, GAO Xiao-feng, <i>et al.</i>	(89)
Distribution Characteristics and Health Risk Assessment of Antibiotics in the Water Supply System in Tianjin	ZHANG Xin-bo, SONG Zi, ZHANG Dan, <i>et al.</i>	(99)
Organic Distribution Characteristics and Influence on Drinking Water Quality in the Typical Water Sources for Towns in the Southwest Hilly Area of China	WANG Qiong, LI Nai-wen, LI Lei, <i>et al.</i>	(109)
Health Risk Evaluation of Organochlorine and Organophosphorus Pesticides in Groundwater in Beijing	CHEN Wei-ping, PENG Cheng-wei, YANG Yang, <i>et al.</i>	(117)
Pollution Status and Risks of Dioxin-like Polychlorinated Biphenyls in the Soil of the Yellow River	YAO Hong, LU Shuang, ZHANG Xu, <i>et al.</i>	(123)
Effects of Flooding and Drying on the Transformation of Soil Inorganic Phosphorus in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir, China	ZHOU Jian, LI Chun-hui, ZHANG Zhi-yong, <i>et al.</i>	(130)
Effect of Phosphate on the Ammonium Removal Performance of Iron-Manganese Co-oxide Film in Surface Water Treatment	ZHUO Rui-shuang, HUANG Ting-lin, ZHANG Rui-feng, <i>et al.</i>	(137)
Enhanced Photoelectrocatalytic Oxidation of Cu(CN) ₃ ²⁻ and Synchronous Cathodic Deposition of Cu by Peroxydisulfate	DANG Cong-zhe, LI Yi-bing, WANG Yan-bin, <i>et al.</i>	(145)
Using HKUST-1 as a Template for Copper Oxides Preparation to Activate Peroxymonosulfate for RhB Degradation	PU Jia-yi, WAN Jin-quan, WANG Yan, <i>et al.</i>	(152)
Evaluation of Performance of an Aminated Rosin-based Resin for Adsorption of Norfloxacin from Aqueous Solutions	MA Ya-hong, HUANG Wan-ting, DIAO Kai-sheng, <i>et al.</i>	(161)
Arsenic(V) Removal by Granular Adsorbents Made from Backwashing Residuals from Biofilters for Iron and Manganese Removal	ZENG Hui-ping, LÜ Sai-sai, YANG Hang, <i>et al.</i>	(170)
Arsenic Adsorption and Its Species on Ferrihydrite and Ferrihydrite Colloid	MA Yu-ling, MA Jie, CHEN Ya-li, <i>et al.</i>	(179)
Comparison of Amphoteric-Cationic and Amphoteric-Anionic Modified Magnetic Bentonites: Characterization and Sorption Capacity of Phenol	REN Shuang, MENG Zhao-fu, WANG Teng, <i>et al.</i>	(187)
Pollution Characteristics of Parabens in Typical Sewage Wastewater	ZHAO Xue, ZHANG Zi-feng, ZHU Fu-jie, <i>et al.</i>	(195)
Influence of Hydraulic Retention Time on the Treatment of Polluted River Water by an Activated Carbon Rotating Biological Contactor	XU Wen-jia, CHENG Xiao-ying, <i>et al.</i>	(202)
Removal and Influence of Ciprofloxacin in a Membrane Bioreactor	DAI Qi, LIU Rui, SHU Xiao-ming, <i>et al.</i>	(212)
Operation of the AAO Process Under Low Dissolved Oxygen Conditions and Its Simulation	CAO Te-te, WANG Lin, LI Yong-mei, <i>et al.</i>	(219)
Inhibitory Effects of Phosphate and Recovery on a Nitrification System	GU Cheng-wei, CHEN Fang-min, LI Xiang, <i>et al.</i>	(227)
Effect of Carbon Source on Lab-scale SAD Process in a Wastewater Treatment Plant	LI Dong, ZHAO Shi-xun, WANG Jun-an, <i>et al.</i>	(232)
Effect of Volume Loading Rate (VLR) on Denitrifying Phosphorus Removal by the ABR-MBR Process	LÜ Liang, YOU Wen, WEI Jia-min, <i>et al.</i>	(239)
Combined Process of DNBf-O ₃ -GAC for Nitrogen and Phosphorus and Metabolite Advanced Removal	ZHONG Li-yan, HAO Rui-xia, WANG Wei-dong, <i>et al.</i>	(247)
Influence of Operating Modes for the Alternating Anoxic/Oxic Process on Biological Nitrogen Removal and Extracellular Polymeric Substances of Activated Sludge	SUN Hong-wei, CHEN Cui-zhong, WU Chang-feng, <i>et al.</i>	(256)
Effects of Nanoscale Zero-valent Iron (nZVI) on Denitrifying Performance of an Upflow Granular Sludge Bed Reactor	ZHOU Feng, WANG Fan-fan, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i>	(263)
Influence on Desulfurization Efficiency and Interactions of Fe/S and pH During H ₂ S in situ Depression of High Solid Anaerobic Digestion	HAN Yun, CAO Yu-qin, ZHUO Yang, <i>et al.</i>	(269)
Analysis of Storage Sludge Composition Characteristics and Evolutionary Regularity in the Hunhe River Basin	LIU Tian-tian, CUI Chong-wei, HE Jun-guo, <i>et al.</i>	(276)
Enhancement of Anaerobic Methane Production by Removal of Organic-bonding Metals from Sewage Sludge	LU Yi-qing, XU Ying, DONG Bin, <i>et al.</i>	(284)
Comparison of Different Leaching Methods for Heavy Metals in Sludge Fly Ash and Comprehensive Toxicity Evaluation	WANG Feng, LI Run-dong, LI Yan-long, <i>et al.</i>	(292)
Diurnal Variations of CH ₄ and N ₂ O Fluxes from the Drained Aquaculture Pond in the Minjiang River Estuary During Early Winter	YANG Ping, TAN Li-shan, HUANG Jia-fang, <i>et al.</i>	(300)
Effects of Three Soil Amendments on Greenhouse Gas Emissions From Corn Fields in the Hetao Irrigation District	WU Yan, HONG Mei, LIN Li-long, <i>et al.</i>	(310)
Effect of Organic Manure Substitution of Synthetic Nitrogen on Crop Yield and N ₂ O Emission in the Winter Wheat-Summer Maize Rotation System	HOU Miao-miao, LÜ Feng-lian, ZHANG Hong-tao, <i>et al.</i>	(321)
Dynamics of Rice Photosynthesized Carbon Input and Its Response to Nitrogen Fertilization at the Jointing Stage: ¹³ C-CO ₂ Pulse-labeling	CHEN Shan, ZHU Zhen-ke, YUAN Hong-zhao, <i>et al.</i>	(331)
Profile Distribution of Soil Organic and Inorganic Carbon Under Different Land Use Types in the Loess Plateau of Northern Shaanxi	LAN Zhi-long, ZHAO Ying, ZHANG Jian-guo, <i>et al.</i>	(339)
Effect of Biochar on Ammonia Volatilization from Soils of Different Surface Conditions	ZOU Juan, HU Xue-yu, ZHANG Yang-yang, <i>et al.</i>	(348)
Effects of Straw and Biochar Return in Soil on Soil Aggregate and Carbon Sequestration	XU Guo-xin, WANG Zi-fang, GAO Ming, <i>et al.</i>	(355)
Assessment of the Availability of Soil Copper and Related Influencing Factors at a County Scale	LI Jin-fen, QU Ming-kai, LIU Gang, <i>et al.</i>	(363)
Application of the LUR Model in the Prediction of Spatial Distributions of Soil Heavy Metals	ZENG Jing-jing, SHEN Chun-zhu, ZHOU Sheng-lu, <i>et al.</i>	(371)
Pollution Characteristics and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Soils of Shenyang North New Area	LI Jia-kang, SONG Xue-ying, WEI Jian-bing, <i>et al.</i>	(379)
Passivation of Simulated Pb- and Cd-Contaminated Soil by Applying Combined Treatment of Phosphate, Humic Acid, and Fly Ash	ZHAO Qing-yuan, LI Xiao-ming, YANG Qi, <i>et al.</i>	(389)
Distribution and Accumulation of Cadmium in Paddy Soil and Rice Affected by Pollutant Sources Control and Improvement Measures	FENG Wen-li, GUO Zhao-hui, SHI Lei, <i>et al.</i>	(399)
Differences in Cd Accumulation in Typical Soils Under the Double Rice System	LI Xin-yang, LONG Jian, WANG Shu-bing, <i>et al.</i>	(406)
Distribution Characteristics of Mercury in Reed Leaves from the Jiapigou Gold Mine in the Songhua River Upstream	ZHANG Man-yin, LI Meng-jie, CUI Li-juan, <i>et al.</i>	(415)
Effect of Nitrate Amendment on Soil Denitrification Activity and Anthracene Anaerobic Degradation	DAI Jun-shuai, ZUO Xiao-hu, WANG Ming-xia, <i>et al.</i>	(422)
Effects of Long-term Fertilization Regimes on Microbial Biomass, Community Structure and Activity in a Paddy Soil	WANG Wei-hua, LIU Yi, TANG Hai-ming, <i>et al.</i>	(430)
Analysis of Sulfate-Reducing and Sulfur-Oxidizing Prokaryote Community Structures in Marine Sediments with Different Sequencing Technologies	ZHANG Yu, MI Tie-zhu, ZHEN Yu, <i>et al.</i>	(438)
Seasonal and Spatial Variations of Microcystins and Their Relationships with Physicochemical and Biological Factors in Poyang Lake	YUAN Li-juan, LIAO Qie-gen, ZHANG Li, <i>et al.</i>	(450)
Distribution of Multidrug-Resistant Bacteria and Antibiotic-Resistant Genes in Livestock Manures	ZHANG Hao, WANG Pan-liang, YANG Qing-xiang, <i>et al.</i>	(460)
Influence of Air Pollution Control (APC) Systems and Furnace Type on the Characteristics of APC Residues from Municipal Solid Waste Incinerators	ZHANG Hua, YU Si-yuan, SHAO Li-ming, <i>et al.</i>	(467)