

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第8期

Vol.36 No.8

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

基于16S rRNA 基因测序法分析北京霾污染过程中 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 细菌群落特征	王步英, 郎继东, 张丽娜, 方剑火, 曹晨, 郝吉明, 朱昕, 田埂, 蒋靖坤 (2727)
北京城区冬季降尘微量元素分布特征及来源分析	熊秋林, 赵文吉, 郭道宇, 陈凡涛, 束同同, 郑晓霞, 赵文慧 (2735)
北京市典型餐饮企业油烟中醛酮类化合物污染特征	程婧晨, 崔彤, 何万清, 聂磊, 王军玲, 潘涛 (2743)
基于实际道路交通流信息的北京市机动车排放特征	樊守彬, 田灵娣, 张东旭, 曲松 (2750)
夏季珠江三角洲地区 PM _{2.5} 化学组分特征及其对大气能见度的影响	杨毅红, 瞿群, 刘随心, 李雄, 钟佩仪, 陶俊 (2758)
隧道工人的 PM ₁₀ 职业暴露特征调查分析及其健康风险评价	向华丽, 杨俊, 仇珍珍, 雷万雄, 曾婷婷, 兰志财 (2768)
基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征	张英杰, 孔少飞, 汤莉莉, 赵天良, 韩永翔, 于红霞 (2775)
柴达木盆地东部降水氢氧同位素特征与水汽来源	朱建佳, 陈辉, 巩国丽 (2784)
长江口-浙闽沿岸沉积色素的分布特征及其指示意义	李栋, 姚鹏, 赵彬, 王金鹏, 潘慧慧 (2791)
“引江济太”过程中长江-望虞河-贡湖氮、磷输入特征研究	潘晓雪, 马迎群, 秦延文, 邹华 (2800)
重庆市典型城镇区地表径流污染特征	王龙涛, 段丙政, 赵建伟, 华玉妹, 朱端卫 (2809)
调水调沙对黄河下游颗粒有机碳运输的影响	张婷婷, 姚鹏, 王金鹏, 潘慧慧, 高立蒙, 赵彬, 李栋 (2817)
青藏高原冰川区可溶性有机碳含量和来源研究	严芳萍, 康世昌, 陈鹏飞, 柏建坤, 李洋, 胡召富, 李潮流 (2827)
岩溶区地下水补给型水库表层无机碳时空变化特征及影响因素	李建鸿, 蒲俊兵, 袁道先, 刘文, 肖琼, 于爽, 张陶, 莫雪, 孙平安, 潘谋成 (2833)
室内模拟不同因子对岩溶作用与碳循环的影响	赵瑞一, 吕现福, 段逸凡 (2843)
新乡市地表水体 HCHs 和 DDTs 的分布特征及生态风险评价	冯精兰, 余浩, 刘书卉, 刘梦琳, 孙剑辉 (2849)
青木关地下河系统中不同含水介质下正构烷烃对比研究	梁作兵, 孙玉川, 王尊波, 江泽利, 廖昱, 谢正兰, 张媚 (2857)
三峡库区长寿湖水体不同形态汞的空间分布特征	白薇扬, 张成, 赵锋, 唐振亚, 王定勇 (2863)
燃煤电厂周围渔业养殖行为对水生生态环境中汞形态变化的影响	梁鹏, 王远娜, 尤琼智, 高雪飞, 何杉杉 (2870)
运用硫同位素、氮氧同位素示踪厘清湖地下河硫酸盐、硝酸盐来源	李瑞, 肖琼, 刘文, 郭芳, 潘谋成, 于爽 (2877)
藻华聚集的生态效应: 对凤眼莲叶绿素和光合作用的影响	刘国锋, 何俊, 杨轶中, 韩士群 (2887)
DOM 对被动采样技术的影响与应用	于尚云, 周岩梅 (2895)
蛋白质对 PVDF 超滤膜污染行为的界面微观作用力解析	王旭东, 周森, 孟晓荣, 王磊, 黄丹曦, 夏四清 (2900)
水环境中碳纳米管对沙丁胺醇降解的影响	汪祺, 韩佳芮, 魏博凡, 周磊, 张亚, 杨曦 (2906)
β -In ₂ S ₃ 的制备及其太阳光下降解土霉素	艾翠玲, 周丹丹, 张嵘嵘, 邵享文, 雷英杰 (2911)
排水管道沉淀物氮释放特性的研究	陈红, 卓琼芳, 许振成, 王劲松, 魏清伟 (2918)
生物膜 CANON 反应器中沉积物影响及其成因分析	付昆明, 王会芳, 左早荣, 仇付国 (2926)
ABR-MBR 一体化工艺节能降耗措施优化研究	吴鹏, 陆爽君, 徐乐中, 刘捷, 沈耀良 (2934)
两个 CANON 污水处理系统中氨氧化古菌的丰度和多样性研究	高景峰, 李婷, 张树军, 樊晓燕, 潘凯玲, 马谦, 袁亚林 (2939)
ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥形成机制及其除污效能研究	巫恺澄, 吴鹏, 徐乐中, 李月寒, 沈耀良 (2947)
珠江三角洲地区土壤有机氯农药分布特征及风险评价	窦磊, 杨国义 (2954)
广西都安县耕地土壤重金属污染风险评价	吴洋, 杨军, 周小勇, 雷梅, 高定, 乔鹏伟, 杜国栋 (2964)
开封市公园地表灰尘重金属污染及健康风险	段海静, 蔡晓强, 阮心玲, 全致琦, 马建华 (2972)
我国西南地区氮饱和马尾松林土壤和植物 ¹⁵ N 自然丰度对长期氮施加的响应	刘文静, 康荣华, 张婷, 朱婧, 段雷 (2981)
黄土高原纬度梯度上的植物与土壤碳、氮、磷化学计量学特征	李婷, 邓强, 袁志友, 焦峰 (2988)
开顶式气室原位研究水稻根系对大气汞浓度升高的响应	陈剑, 王章玮, 张晓山, 秦普丰, 陆海军 (2997)
接种丛枝菌根真菌对蜈蚣草吸收砷的影响	郑文君, 王明元 (3004)
水稻种植对黑土微生物生物量和碳源代谢功能的影响	赵志瑞, 崔丙健, 侯彦林, 刘上千, 王岩 (3011)
固定化菌剂载体材料腐解产物对污染土壤中苄解吸的影响	全冬丽, 双生晴, 李晓军, 邓万荣, 赵然然, 贾春云, 巩宗强 (3018)
零价铁和碱激发矿渣稳定/固定化处理铬渣研究	陈忠林, 李金春子, 王斌远, 樊磊涛, 沈吉敏 (3026)
Fe ³⁺ 负载凹凸棒土 (Fe/ATP) 结构表征及其稳定化修复镉 (Cd) 机制研究	杨蓉, 李鸿博, 周永莉, 陈静, 王琳玲, 陆晓华 (3032)
原位生物修复提高多环芳烃污染土壤农用安全性	焦海华, 潘建刚, 徐圣君, 白志辉, 王栋, 黄占斌 (3038)
镉-八氯代二苯并呋喃复合污染土壤中紫茉莉对镉的修复能力	张杏丽, 邹威, 周启星 (3045)
不同水分条件对蜈蚣草修复砷污染土壤的影响	刘秋辛, 阎秀兰, 廖晓勇, 林龙勇, 杨静 (3056)
磷矿粉和腐熟水稻秸秆对土壤铅污染的钝化	汤帆, 胡红青, 苏小娟, 付庆灵, 朱俊 (3062)
洛克沙肿在青菜及土壤中的残留及降解特性	邵婷, 姚春霞, 沈源源, 张玉洁, 苏楠楠, 周守标 (3068)
3 种典型有机污染物对 2 种水生生物的急性毒性及安全评价	杨扬, 李雅洁, 崔益斌, 李梅 (3074)
石油污染物对海底微生物燃料电池性能的影响及加速降解效应	孟瑶, 付玉彬, 梁生康, 陈伟, 柳昭慧 (3080)
Cu-Mn-Ce/ 分子筛催化剂吸附甲苯后的微波原位再生及床层温度分布探究	虎雪姣, 卜龙利, 梁欣欣, 孟海龙 (3086)
热处理对猪粪高固厌氧消化产甲烷能力的影响	胡玉瑛, 吴静, 王士峰, 曹知平, 王凯军, 左剑恶 (3094)
磷石膏对麦田 CO ₂ 排放和小麦产量的影响及其经济环境效益分析	李季, 吴洪生, 高志球, 尚小厦, 郑培慧, 印进, Kakpa Didier, 任迁琪, Ogou Katchele Faustin, 陈素云, 徐亚, 姚童言, 李炜, 钱景珊, 马世杰 (3099)
全氟和多氟烷基化合物的环境风险评估研究现状、不确定性与趋势分析	郝薛文, 李力, 王杰, 曹燕, 刘建国 (3106)
《环境科学》征订启事 (2757)	
《环境科学》征稿简则 (2767)	
信息 (2734, 2783, 3073, 3079)	

基于在线监测的江苏省大型固定燃煤源排放清单及其时空分布特征

张英杰¹, 孔少飞^{1*}, 汤莉莉², 赵天良¹, 韩永翔¹, 于红霞³

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 南京 210044; 2. 江苏省环境监测中心, 南京 210029; 3. 南京大学环境学院, 南京 210093)

摘要: 大气污染物排放清单是了解各地区大气污染物排放及其时空分布, 精确模拟该地区环境空气质量的最基础资料。现有大气污染物排放清单的粗时空分辨率, 极大地限制了空气质量数值预报的准确性。本研究以江苏省大型固定燃煤源为例, 以 2012 年为基准年, 收集江苏省电力企业在线监控系统数据及江苏省大气核算表数据, 结合相关文献的排放因子, 分析了江苏省大型固定燃煤源主要污染物的总排放量和月变化特征。分析结果表明: ① SO_2 、 NO_x 、TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、CO、EC、OC、NMVOC、 NH_3 等大气污染物的排放总量分别达到 106.0、278.3、40.9、32.7、21.7、582.0、3.6、2.5、17.3、2.2 kt。② 呈现 2~3、7~8、12 月排放量高, 9~10 月排放量低的月变化特征, 可能原因是 2~3 月处于春节阶段, 为保证节日供应, 在此期间居民取暖、用电等都有可能增加; 7~8 月高温天气用电量增加, 12 月北方城市冬季燃煤取暖导致的煤炭消耗量增加。另外, 由于部分污染物排放因子取自国内外相关文献, 是本研究清单不确定性的主要因素。今后的工作可以在排放因子实测更新以及将排放清单纳入空气质量预报模式等方面进行更为深入的研究。

关键词: 大型固定燃煤源; 大气污染物; 排放清单; 月变化; 空间分布

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)08-2775-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.2015.08.007

Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data

ZHANG Ying-jie¹, KONG Shao-fei^{1*}, TANG Li-li², ZHAO Tian-liang¹, HAN Yong-xiang¹, YU Hong-xia³

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disaster, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing 210029, China; 3. School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Emission inventory of air pollutants is the key to understand the spatial and temporal distribution of atmospheric pollutants and to accurately simulate the ambient air quality. The currently established emission inventories are still limited on spatial and temporal resolution which greatly influences the numerical prediction accuracy of air quality. With coal-fired stationary sources considered, this study analyzed the total emissions and monthly variation of main pollutants from them in 2012 as the basic year, by collecting the on-line monitoring data for power plants and atmospheric verifiable accounting tables of Jiangsu Province. Emission factors in documents are summarized and adopted. Results indicated that the emission amounts of SO_2 , NO_x , TSP, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, CO, EC, OC, NMVOC and NH_3 were 106.0, 278.3, 40.9, 32.7, 21.7, 582.0, 3.6, 2.5, 17.3 and 2.2 kt, respectively. They presented monthly variation with high emission amounts in February, March, July, August and December and low emissions in September and October. The reason may be that more coal are consumed which leads to the increase of pollutants emitted, to satisfy the needs of heat and electricity power supply in cold and hot periods. Local emission factors are needed for emission inventory studies and the monthly variation should be considered when emission inventories are used in air quality simulation.

Key words: coal-fired stationary sources; atmospheric pollutant; emission inventory; monthly variation; spatial distribution

大气污染物排放清单是了解各地区大气污染物排放及其时空分布的重要资料, 也是精确模拟大气环境和空气质量的瓶颈难题。国内外对大气污染物排放清单的研究始于 20 世纪 70 年代, 最早的是美国建立的有毒化学品排放清单, 以有效地对工业部门削减有毒化学品排放量进行监测和控制^[1]。此

外, 美国国家环保署还发展了一套比较完整的排放

收稿日期: 2014-07-01; 修订日期: 2015-03-18

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41305119); 教育部博士点基金项目(20133228120001); 江苏省科技支撑计划项目(BE2012771); 江苏省高校自然科学基金重大基础研究项目(11KJA170002)

作者简介: 张英杰(1988~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为大气环境, E-mail: zyjnuist@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: kongshaofei@126.com

系数 AP-42,对源排放清单的建立工作具有重要的指导意义^[2]. 欧洲排放清单的工作开展较美国晚,在实施欧洲监测和评估计划的前提下,编制了一套以完整、一致、透明为目标的排放清单手册,为欧洲区域污染排放控制计划的提出提供了科学依据^[3]. 20 世纪末和本世纪初,国内一些研究者陆续建立了烟尘^[4]及大气颗粒物的气态前体物如 $\text{SO}_2^{[4]}$ 、 $\text{NO}_x^{[5]}$ 、 $\text{VOC}_s^{[6]}$ 的排放清单,也引入了一些国外机动车排放清单模型^[7]. 随后生物质燃烧排放气态污染物清单^[8~12]、机动车排放气态污染物和颗粒物清单^[13~19]、工业源排放烟尘中盐基阳离子清单^[20]、燃煤排放有害组分如汞^[21]、砷^[22]、硒^[23]、锑^[24]清单、燃烧源排放 PAHs 清单^[25]等相继被报道. 近年来,随着大气颗粒物污染减排工作面临的严峻态势,对于燃烧源排放 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 清单的研究也引起了广泛关注. 张强等^[26]建立了 2001 年我国人为源排放 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 清单;曹国良等^[27]建立了中国区域主要污染源排放 $\text{PM}_{2.5}$ 清单;雷宇等^[28]建立了我国水泥工业大气 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放清单. 同时颗粒物中黑碳气溶胶排放清单的研究也受到广泛关注^[29,30].

2008 年以来,长三角地区的大气污染物清单研究开始受到重视. 黄成等^[31]在收集整理长江三角洲地区各城市人为大气污染源资料的基础上,采用以“自下而上”为主的方法建立了 2007 年长三角地区人为源大气污染物 SO_2 、 NO_x 、CO、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、VOCs 和 NH_3 排放清单;吴晓璐^[32]针对长江三角洲地区的 16 个城市,对各类大气污染物的排放源进行识别与分类,建立了 2004 年长江三角洲地区的大气污染物排放清单;程真等^[33]结合 2004 年长三角地区燃煤电厂 SO_2 排放清单以及十一五期间的脱硫计划,测算了 2010 年长三角地区燃煤电厂的 SO_2 排放量,并利用美国 CALPUFF 模型模拟了脱硫前后大气中 SO_2 的年均浓度变化;董艳强等^[34]根据各类氨排放源的活动水平和排放因子,估算了 2004 年长江三角洲地区 16 个城市的氨排放量;张树宇等^[35]使用 1996 年全国排污申报登记表,按 $(1/6)^\circ \times (1/6)^\circ$ 精度估算了 1995 年长江三角洲地区 SO_2 、 NO_x 、CO 和 HC 的固定燃烧源网格排放清单. Zhang 等^[36]在开展全国尺度的 NO_x 排放清单工作中,对于固定燃煤源,将燃煤电厂及工业锅炉,根据不同功率、工艺、煤的类别等参数将 NO_x 的排放系数进行统计平均,进而进行排放清单的建立.

上述排放清单只建立了全年的污染物排放量,

对污染物排放量的月份、季节变化特征尚没有研究,因而在应用排放清单用于空气质量模型模拟时若未考虑月变化的影响,会影响数值模拟的准确性. 为此,本文以 2012 年为基准年,以江苏省为研究区域,建立该地区考虑月变化特征的大型固定燃煤源排放污染物清单,分析固定燃煤源排放主要污染物的时空分布特征.

1 材料与方法

1.1 研究区域选择

江苏省位于中国大陆东部沿海,与上海市、浙江省、安徽省、山东省接壤,主要包括南京市、扬州市、泰州市、南通市、镇江市、常州市、无锡市、苏州市、徐州市、盐城市、淮安市、连云港市和宿迁市等 13 个城市,常住人口为 7 866 万,土地面积 10.26 万 km^2 ,区域范围为 $116^\circ 18' \sim 121^\circ 57' \text{E}$, $30^\circ 45' \sim 35^\circ 20' \text{N}$.

1.2 清单建立方法

本研究关注的主要污染物为 SO_2 、 NO_x 、TSP、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、CO、EC、OC、NMVOC (non-methane volatile organic compounds) 和 NH_3 . 排放清单的计算是通过各点位排放源的综合计算而得到的. SO_2 、 NO_x 、TSP 的计算方法如下式,即:

$$E = \sum_j \sum_k A_{j,k} c_{j,k} \quad (1)$$

式中, E 为排放量,mg; A 为烟气排放量, m^3 ; c 为烟气中污染物浓度, $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$; j 、 k 分别为点位、日期.

CO、NMVOC、 NH_3 的计算方法如下式,即:

$$E = \sum_j A_j EF \quad (2)$$

式中, E 为排放量,g; A 为燃煤消耗量,kg; EF 为排放因子, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; j 为点位.

PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ /EC、OC 的计算方法如下式,即

$$E = \sum_j \sum_k A_{j,k} P \quad (3)$$

式中, E 为排放量,mg; A 为 TSP/ $\text{PM}_{2.5}$ 排放量,mg; P 为污染物在 TSP/ $\text{PM}_{2.5}$ 中的百分含量; j 、 k 分别为点位、日期.

1.3 源活动水平数据来源

本研究所用源活动水平数据主要包括以下两个来源.

(1)从江苏省电力企业锅炉在线监控系统获得 137 家重点企业的在线监测数据,包括 SO_2 、 NO_x 和 TSP 浓度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) 及烟气排放量 (m^3) 的日变化数据. 图 1 给出了这 137 家重点企业的点位.



图1 研究区域及固定燃煤源点位

Fig. 1 Research domain and the point of stationary coal-fired sources

(2)从江苏省 2012 大气核查核算表搜集整理了 137 家电厂经纬度、锅炉类型、燃料类型和消耗量、污染物控制措施等相关信息.

1.4 排放因子

本研究选取的排放因子以国内的研究成果为主,并且选取的是与本研究点位相似锅炉类型、装机容量和污染源末端治理技术的排放因子. 尽管如此,本研究所列举的排放因子大部分为较早期的研究成果,与江苏省现有的工业企业生产水平存在一定的差异,建议在今后的研究中深入开展本地的污染源排放研究,以加强排放因子的可靠性和代表性. 表 1 汇总了火电燃煤源主要污染物排放因子. 其中,CO、NMVOC、NH₃ 排放因子的选取为文献中相应排放因子的平均值.

表 1 火电燃煤源主要污染物排放因子

Table 1 Emission factors for stationary coal-fired sources

种类	排放因子	参考数据范围	文献
CO/g·kg ⁻¹	4.03	0.26~8	[32,37~43]
EC ¹⁾ /%	16.5	16.5	[26,44]
OC ¹⁾ /%	11.5	11.5	[26,44]
NMVOC/g·kg ⁻¹	0.12	0.032~0.15	[40,41,43,45,46]
NH ₃ /g·kg ⁻¹	0.015	0.015	[47,48]
PM ₁₀ ²⁾ /%	80.4	66.4~93.7	[26,49,50]
PM _{2.5} ²⁾ /%	52.7	36.7~70.5	[26,49,51]

1)烟气中 EC、OC 占 PM_{2.5}的比例; 2)烟气中 PM₁₀、PM_{2.5}占 TSP 的比例

1.5 月分配系数

为考虑污染物排放量的月变化特征,定义月分配系数($R_{i,j}$)如下:

$$R_{i,j} = E_{i,j} / \sum E_j \tag{4}$$

式中, $E_{i,j}$ 为污染物 j 的 i 月排放量; $\sum E_j$ 为污染物 j 的年总排量.

2 结果与讨论

2.1 2012 年江苏省大型固定燃煤源污染物排放量
利用公式(1)~(3)及在线监测数据计算得到,2012 年江苏省十三市大型固定燃煤源 SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、EC、OC、NMVOC、NH₃ 等大气污染物的排放总量分别为 106.0、278.3、40.9、32.7、21.7、582.0、3.6、2.5、17.3、2.2 kt. 表 2 所示为 2012 年江苏省大型固定燃煤源大气污染物排放的计算结果. 可以看出,排放量较高的几个城市为苏州、无锡、扬州、南通、徐州、南京,与城市用电需求及产业结构有关. 其与黄成等^[31] 2007 年建立的苏州市、南通市、无锡市、常州市、泰州市、镇江市、扬州市、南京市电厂 SO₂、NO_x、PM₁₀ 等的排放清单相比,数值明显偏低,一方面由于本工作未考虑小型、分散的固定燃煤源排放以及除煤外其他燃料类型的固定燃煤源排放; 另一方面国家“十一五”规划期间,长三角地区电厂陆续实施电厂烟气脱硫工程,2007 年末,长三角地区约有 40% 的发电机组完成脱硫设施安装,到 2010 年末,长三角地区已基本完成所有电厂的烟气脱硫,使得江苏地区电厂污染物排放进一步削减,而黄成等的研究是 2007 年的情况,长三角只有部分发电机组完成脱硫设施安装. 另外,黄成建立的清单中苏州、无锡、南京市排放量最高,与本研究基本一致.

2.2 基准年固定燃煤源污染物排放的月变化特征

图 2 为 2012 年江苏省大型固定燃煤源烟气排放量月变化特征,从中可见,存在 2~3、7~8、12 月排放量高,9~10 月排放量低的月变化特征,最高值(3 月)与最低值(9 月)的比例为 1.22; 同时也存在秋季排放量低,冬春季最高的季节变化特征,最高值(冬季)与最低值(秋季)的比例为 1.11. 12 月烟气排放量最大,可能与徐州等北方城市冬季燃煤取暖、用电量增加导致的煤炭消耗量增加有关; 7~8 月可能与高温天气用电量增加,锅炉负荷增加,导致煤炭消耗量增加有关. 2~3 月也与取暖有关,同时春节期间,为保证节日供应,在此期间居民取暖、用电等都有可能增加.

图 3 为 2012 年江苏省十三市大型固定燃煤源烟气排放量月变化特征,由图可见,苏州、无锡、徐州烟气排放量最高; 南京、镇江、南通、扬州烟气排放量较高; 盐城、常州、淮安、连云港、泰州、宿

迁烟气排放量最低. 其中大部分城市表现出与江苏省大型固定燃煤源相似的 2~3 月、7~8 月排放量高,9~10 月排放量低的月变化特征,至于江苏省 12 月的排放高值,则不同城市出现了不尽相同的情况.

表 2 2012 年江苏省大型固定燃煤源主要大气污染物排放量/kt

城市名称	污染物类型									
	SO ₂	NO _x	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	EC	OC	NMVOC	NH ₃
南京	12.9	18.0	2.8	2.3	1.5	72.6	0.2	0.2	2.2	0.3
扬州	7.0	31.9	3.1	2.5	1.6	27.2	0.3	0.2	0.8	0.1
镇江	8.0	19.7	4.2	3.4	2.3	25.3	0.4	0.3	0.8	0.1
常州	3.9	14.7	1.6	1.3	0.9	23.0	0.1	0.1	0.7	0.1
无锡	16.4	52.1	8.0	6.3	4.2	72.1	0.7	0.5	2.1	0.3
泰州	4.6	10.4	1.3	1.1	0.7	27.8	0.1	0.1	0.8	0.1
南通	9.6	31.1	3.7	3.0	2.0	56.2	0.3	0.2	1.7	0.2
苏州	18.1	51.0	8.6	6.9	4.6	137.9	0.8	0.5	4.1	0.5
徐州	14.4	27.5	4.7	3.8	2.5	89.3	0.4	0.3	2.7	0.3
连云港	3.0	6.6	0.8	0.7	0.4	7.4	0.1	0.0	0.2	0.0
淮安	4.7	9.9	1.0	0.8	0.5	21.8	0.1	0.1	0.6	0.1
盐城	3.4	5.4	1.0	0.8	0.5	16.6	0.1	0.1	0.5	0.1
宿迁	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.1	0.0
总量	106.0	278.3	40.9	32.7	21.7	582.0	3.6	2.5	17.3	2.2

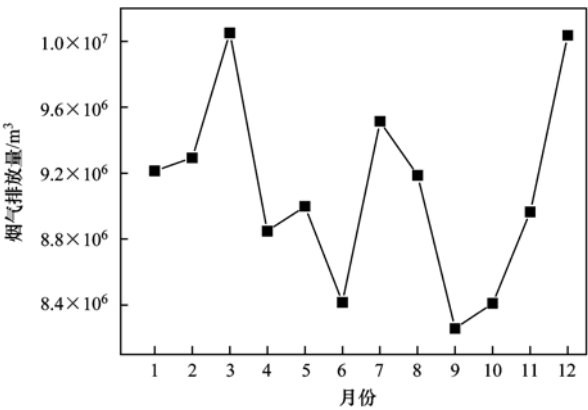


图 2 江苏省大型固定燃煤源烟气排放量月变化特征
Fig. 2 Monthly variation of smoke emissions from key stationary coal-fired sources in Jiangsu Province

鉴于南北取暖需求的差异,本研究将北方城市和南方城市分开,以淮河为分界线,探讨高取暖城市和低取暖城市各自固定燃煤源污染物排放量的月变化特征. 其中,苏南城市包括南京、扬州、镇江、常州、无锡、泰州、南通和苏州市,苏北城市包括徐州、连云港、淮安、盐城和宿迁市. 苏南、苏北大型固定燃煤源 SO₂、NO_x、TSP 排放量月变化特征见图 4 和图 5. 从中可见,苏南大型固定燃煤源污染物排放存在 3、7 月两个峰值,最高值与最低值的比例为 1.66~2.17,与江苏省烟气排放量相比,缺少一个 12 月的峰值,反映了 12 月高值与供暖的直接关系. 苏北大型固定燃煤源污染物排放存在 2~3、5、7、12 月 4 个峰值,最高值与最低值比例为 1.36~1.46,与江苏省大型固定燃煤源烟气排放量月变化

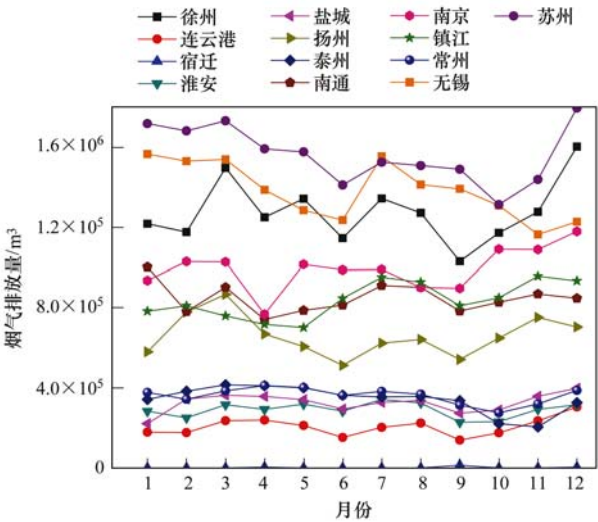


图 3 江苏省十三市大型固定燃煤源烟气排放量月变化特征
Fig. 3 Monthly variation of smoke emissions from key stationary coal-fired sources in cities in Jiangsu Province

趋势基本一致.
2.3 江苏省固定燃煤源污染物排放的强度分析
排放强度广义是指特定活动中特定污染物相对某一源的平均排放率,结合该地区的排放总量,综合考虑该区域的污染负荷状况. 计算公式为:
$$P = T/S$$

式中, P 为排放强度; T 为排放总量; S 为区域面积. 由于考虑了面积的因素,可以更精确地评估各城市的实际排放强弱,在区域联防联控过程中,排放强度高的城市可以适当较多控制,避免了单纯从排放量角度进行分析控制,从而更有效地进行污染物的

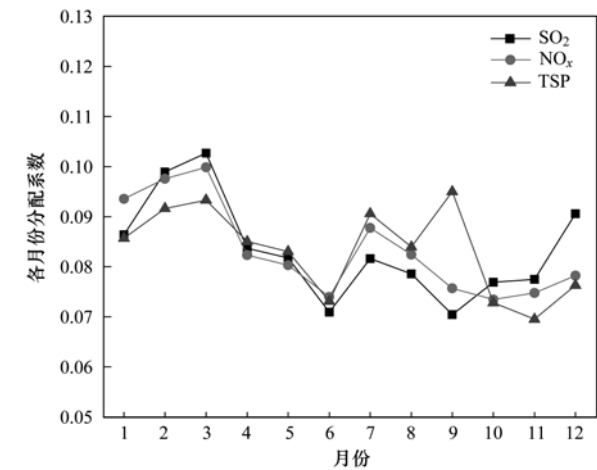


图4 苏南大型固定燃煤源 SO₂、NO_x 和 TSP 排放量月分配系数

Fig. 4 Monthly variation of SO₂, NO_x and TSP emissions from key stationary coal-fired sources in south of Jiangsu Province

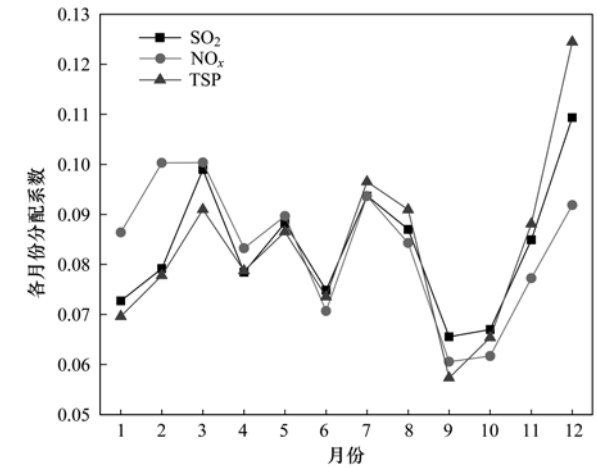


图5 苏北大型固定燃煤源 SO₂、NO_x 和 TSP 排放量月变化特征

Fig. 5 Monthly variation of SO₂, NO_x and TSP emissions from key stationary coal-fired sources in north of Jiangsu Province

排放控制^[52].

2012 年江苏省各市大型固定燃煤源主要污染物排放强度如图 6 所示, 括号中数字代表不同程度排放强度的城市个数. 总体来看, 大气污染物排放强度较高的城市人口相对密集、工业相对发达. 各种

污染物的排放强度分布基本一致, 排放强度较大的几个城市为无锡、常州、镇江、苏州. SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、EC、OC、NH₃、NMVOC 等大气污染物排放强度最高的城市是无锡, 数值分别为 3.55、11.26、1.73、1.36、0.91、15.59、0.15、0.10、0.45 和 0.06 t·km⁻²; 排放强度最低的城市是宿迁, 数值很低.

2.4 江苏地区大气污染物排放的空间分布

高时空分辨率的源排放清单是准确研究区域空气质量问题的前提条件. 图 7 给出江苏地区大型固定燃煤源污染物排放的空间位置及排放量分布, 可以看出无论从点位密集程度还是从排放量大小来看, 途经南京、扬州、镇江等的长江沿线一带均为排放程度较大的地区.

由图 7 可知, 江苏地区大型固定燃煤源各种污染物排放量的空间分布基本一致, 主要分布在南京、镇江、扬州和淮安等江苏中西部地区, 排放量最为集中的地区为途经南京、扬州、镇江等的长江沿线一带. 这些区域在不利的气象条件下, 极有可能发生高浓度的区域性复合型大气污染, 影响整个区域的环境空气质量.

2.5 排放清单的不确定性分析

排放清单不确定性分析对于清单应用具有重要意义. 本研究结果的不确定性主要来自污染物缺少本地化排放因子, 只能采用国内外类似源的平均排放因子. 本研究采用 Streets 等^[44]提出的源排放清单不确定性的方法来计算本研所得清单的不确定性. 95% 置信度下排放清单的不确定性由下式计算:

$$CV = \frac{U}{Q} = 1.96 \times \sqrt{(1 + C_a^2)(1 + C_f^2) - 1}$$

式中, CV 为排放量的相对标准差, U 为排放量的不确定性, Q 为源排放量, C_a 为排放源活动水平的相对标准差, C_f 为源排放因子的相对标准差. 计算结果见表 3.

表 3 排放清单不确定性(95% 置信度)¹⁾

Table 3 Uncertainty of emission inventory in this study(±95% confidence intervals)										
污染物种类	SO ₂	NO _x	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	EC	OC	NMVOC	NH ₃
不确定性	21.8	21.8	16.3	16.3	16.3	153.2	16.3	16.3	84.1	12.0

1) 不确定性单位为%

翟一然等^[37]研究的 2008 年长江三角洲地区大气污染物排放特征, 最后得出的 SO₂、NO_x、TSP 和 CO 排放的不确定度分别为 15%、40%、60% 和 85%. 本研究中, SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀、PM_{2.5} 不确

定度计算均使用在线监测数据且仅考虑了一类源, 因而减少了不确定性. 由于本研究中不确定性的计算公式中考虑了排放因子的不确定性, 而 CO 在统计排放因子的过程中选取的排放因子相对标准差较

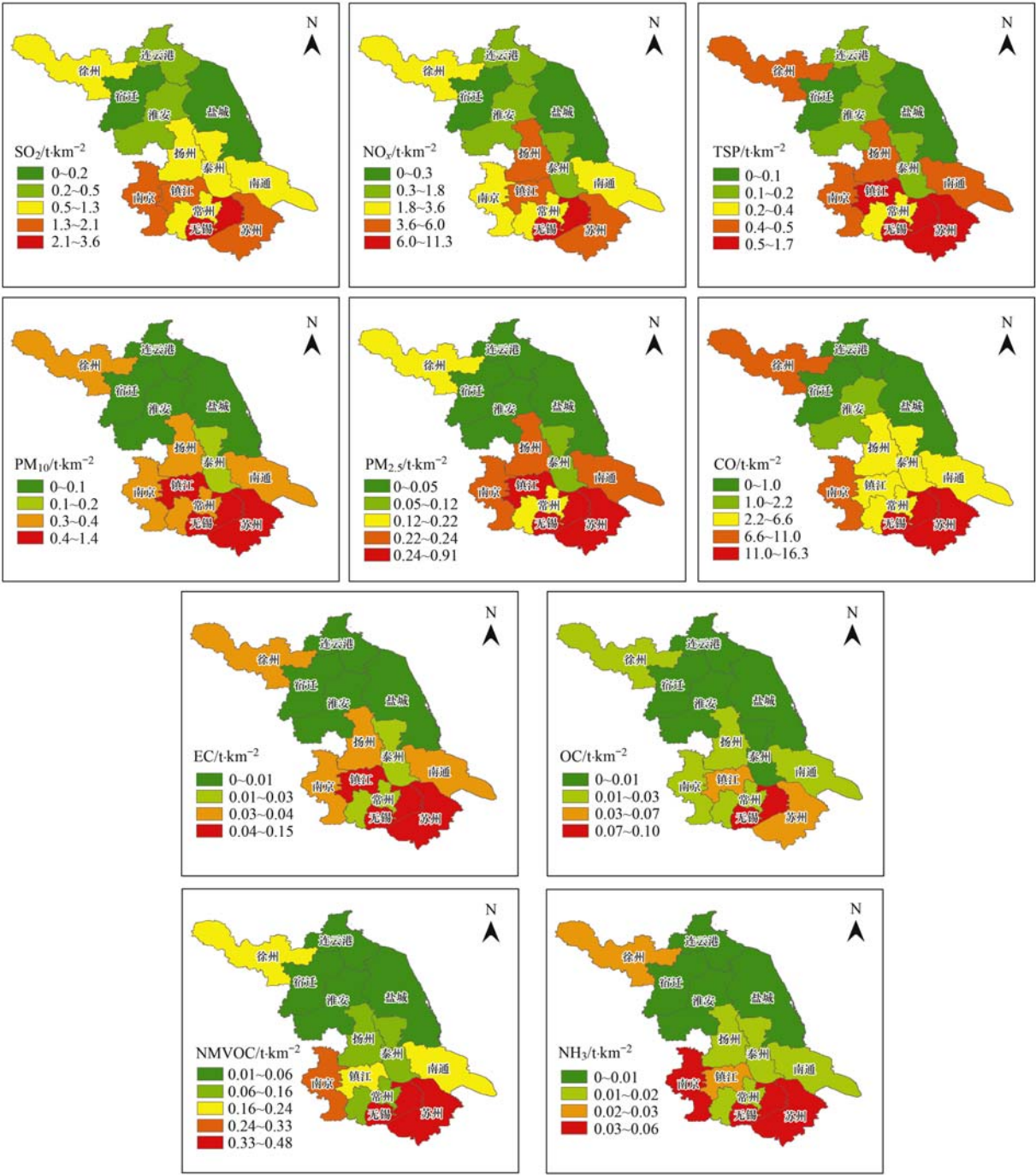


图 6 2012 年江苏省各市大型固定燃煤源主要污染物排放强度

Fig. 6 Main pollutants emission intensity of cities in Jiangsu Province in 2012

大,所以计算得出的 CO 不确定性相对较高.

3 结论

(1)2012 年江苏省大型固定燃煤源 SO₂、NO_x、TSP、PM₁₀、PM_{2.5}、CO、EC、OC、NMVOC、NH₃ 等大气污染物的排放总量分别达到 106.0、278.3、40.9、32.7、21.7、582.0、3.6、2.5、17.3、2.2 kt. 且呈现秋季排放量最低,冬春季最高的季节变化特

征以及 2~3、7~8、12 月排放量高,9~10 月排放量低的月变化特征.

(2)2012 年江苏省十三市大型固定燃煤源排放量较高的几个城市为苏州、无锡、扬州、南通、徐州. 排放强度较大的几个城市为无锡、常州、镇江、苏州.

(3)江苏地区的大型固定燃煤源大气污染物排放主要分布在南京、镇江、扬州和淮安等江苏中西

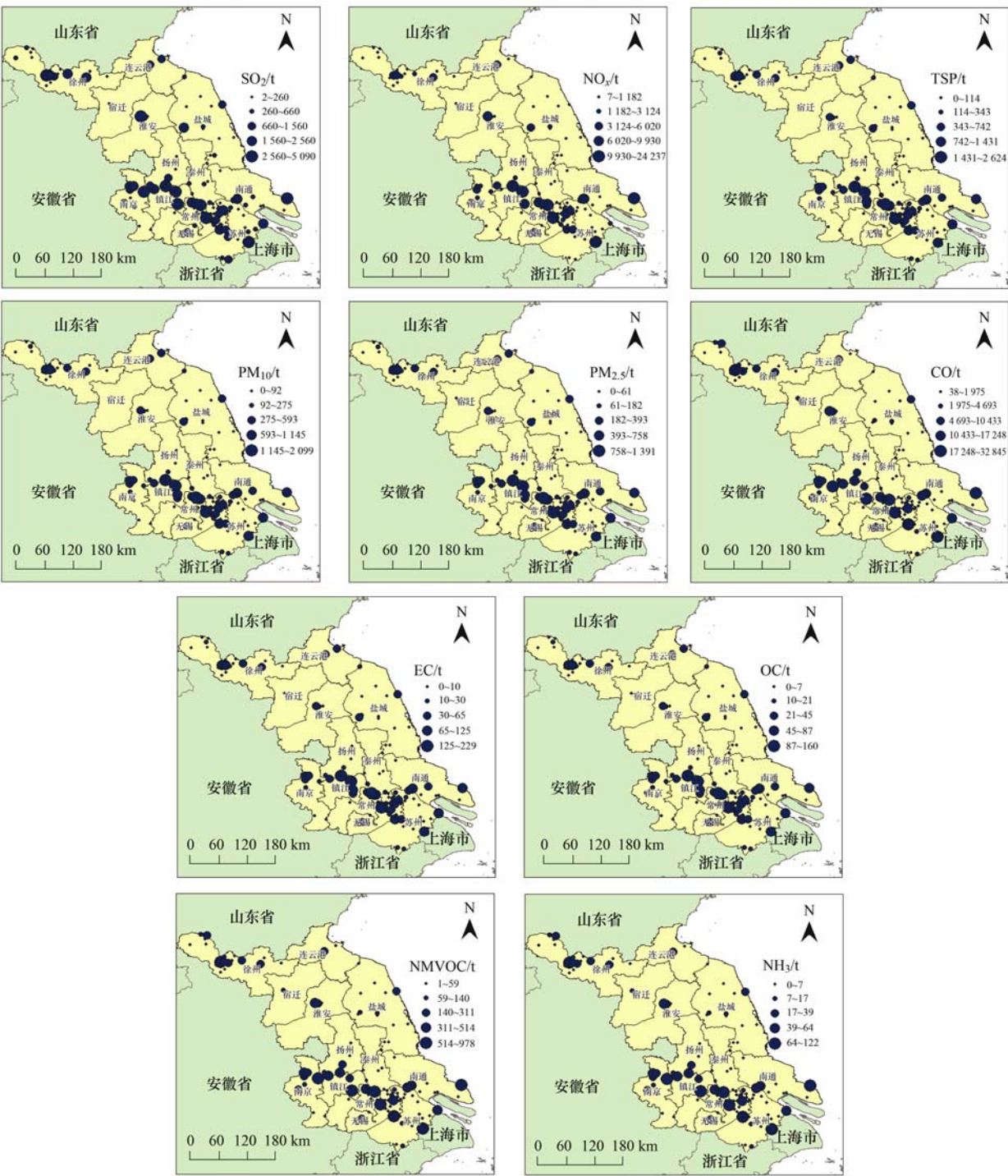


图7 江苏地区大型固定燃煤源污染物排放的空间位置及排放量分布

Fig. 7 Spatial distribution of main pollutants from major stationary coal-fired sources in Jiangsu Province in 2012

部地区,排放量最为集中的的地区为途经南京、扬州、镇江等的长江沿线一带。

(4) 尽管现有的固定燃煤源监测和统计资料对于建立月变化特征的污染物源排放清单仍显不足,但本研究建立的方法可为后续其它相关研究提供借鉴和参考。

参考文献:

[1] 郑梅. 美国利用国家排放清单尽力削减有毒化学品排放量[J]. 城市环境与城市生态, 1996, 9(1): 19.

[2] USEPA. Emission Inventory Improvement Program, Technical Report Series [EB]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/>, 1997-07.

[3] European Environment Agency. EMEP/CORINAIR Emission

- Inventory Guidebook-2006[OL]. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4>, 2006.
- [4] 房玉梅, 韩静. 空气污染预报污染物排放清单数据库的研究与建立[J]. 城市环境与城市生态, 2002, **15**(2): 39-45.
- [5] 田贺忠, 郝吉明, 陆永琪, 等. 中国氮氧化物排放清单及分布特征[J]. 中国环境科学, 2001, **21**(6): 493-497.
- [6] 胡泳涛, 张远航, 谢绍东, 等. 区域高时空分辨率 VOC 天然源排放清单的建立[J]. 环境科学, 2001, **22**(6): 1-6.
- [7] 王伯光, 祝昌健, 俞开衡, 等. 美国加州机动车排放清单模型介绍[J]. 广州环境科学, 1999, **14**(1): 35-39.
- [8] 田贺忠. 中国生物质燃烧排放 SO_2 、 NO_x 量的估算[J]. 环境科学学报, 2002, **22**(2): 204-208.
- [9] 田贺忠, 赵丹, 王艳. 中国生物质燃烧大气污染物排放清单[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(2): 349-357.
- [10] 陆炳, 孔少飞, 韩斌, 等. 2007 年中国大陆地区生物质燃烧排放污染物清单[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(2): 186-194.
- [11] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单[J]. 农业环境科学学报, 2005, **24**(4): 800-804.
- [12] 郑有飞, 田宏伟, 陈怀亮, 等. 河南省夏季秸秆焚烧污染物排放量的估算与分析[J]. 农业环境科学学报, 2010, **29**(8): 1590-1594.
- [13] 黄志辉, 汤大纲. 中国机动车有毒有害空气污染物排放估算[J]. 环境科学研究, 2008, **21**(6): 166-170.
- [14] 李伟, 傅立新, 郝吉明, 等. 中国道路机动车 10 种污染物的排放量[J]. 城市环境与城市生态, 2003, **16**(2): 36-38.
- [15] 吴烨, 郝吉明, 傅立新, 等. 澳门机动车排放清单[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002, **42**(12): 1601-1604.
- [16] 郭慧, 张清宇, 施耀, 等. 杭州市区机动车危险气态污染物排放的模式计算[J]. 浙江大学学报(工学版), 2007, **41**(7): 1223-1228.
- [17] 刘欢, 贺克斌, 王岐东. 天津市机动车排放清单及影响要素研究[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2008, **48**(3): 371-374.
- [18] 李珂, 王燕军, 王涛, 等. 乌鲁木齐市机动车排放清单研究[J]. 环境科学研究, 2010, **23**(4): 407-412.
- [19] 宋翔宇, 谢绍东. 中国机动车排放清单的建立[J]. 环境科学, 2006, **27**(6): 1041-1045.
- [20] 祝晓燕, 段雷, 唐桂刚, 等. 中国工业源大气盐基阳离子排放量估算[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, **44**(9): 1176-1179.
- [21] 蒋靖坤, 郝吉明, 吴烨, 等. 中国燃煤汞排放清单的初步建立[J]. 环境科学, 2005, **26**(2): 34-39.
- [22] 田贺忠, 曲益萍. 2005 年中国燃煤大气砷排放清单[J]. 环境科学, 2009, **30**(4): 956-962.
- [23] 田贺忠, 曲益萍, 王艳, 等. 2005 年度中国燃煤大气硒排放清单[J]. 中国环境科学, 2009, **29**(10): 1011-1015.
- [24] 田贺忠, 赵丹, 何孟常, 等. 2005 年中国燃煤大气锑排放清单[J]. 中国环境科学, 2010, **30**(11): 1550-1557.
- [25] 许姗姗, 刘文新, 陶澍. 全国多环芳烃年排放量估算[J]. 农业环境科学学报, 2005, **24**(3): 476-479.
- [26] 张强, Klimont Z, Streets D G, 等. 中国人为源颗粒物排放模型及 2001 年排放清单估算[J]. 自然科学进展, 2006, **16**(2): 223-231.
- [27] 曹国良, 张小曳, 龚山陵, 等. 中国区域主要颗粒物及污染气体的排放源清单[J]. 科学通报, 2011, **56**(3): 261-268.
- [28] 雷宇, 贺克斌, 张强, 等. 基于技术的水泥工业大气颗粒物排放清单[J]. 环境科学, 2008, **29**(8): 2366-2371.
- [29] 曹国良, 张小曳, 王亚强, 等. 中国大陆黑碳气溶胶排放清单[J]. 气候变化研究进展, 2006, **2**(6): 259-264.
- [30] 刘源, 邵敏. 北京市碳黑气溶胶排放清单估算及预测[J]. 科学通报, 2007, **52**(4): 470-476.
- [31] 黄成, 陈长虹, 李莉, 等. 长江三角洲地区人为源大气污染物排放特征研究[J]. 环境科学学报, 2011, **31**(9): 1858-1871.
- [32] 吴晓璐. 长三角地区大气污染物排放清单研究[D]. 上海: 复旦大学, 2009.
- [33] 程真, 陈长虹, 邱培培, 等. 长三角燃煤电厂烟气脱硫对二氧化硫污染的改善效果[J]. 能源技术, 2008, **29**(6): 318-322.
- [34] 董艳强, 陈长虹, 黄成, 等. 长江三角洲地区人为源氨排放清单及分布特征[J]. 环境科学学报, 2009, **29**(8): 1611-1617.
- [35] 张树宇, 白郁华, 李金龙. 长江三角洲固定燃烧源排放 SO_2 、 NO_x 、CO 和 HC 的分布[J]. 云南环境科学, 2000, **19**(增刊): 195-200.
- [36] Zhang Q, Streets D G, He K B, *et al.* NO_x emission trend for China, 1995-2004: the view from the ground and the view from space [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**: D22306.
- [37] 翟一然, 王勤耕, 宋媛媛. 长江三角洲地区能源消费大气污染物排放特征[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(9): 1574-1582.
- [38] Streets D G, Zhang Q, Wang L T, *et al.* Revisiting China's CO emissions after the Transport and Chemical Evolution over the Pacific (TRACE-P) mission: Synthesis of inventories, atmospheric modeling, and observations [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, **111**: D14306.
- [39] Ge S, Bai Z P, Liu W L, *et al.* Boiler briquette coal versus raw coal: Part 1. Stack gas emissions [J]. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 2001, **51**(4): 524-533.
- [40] Huang C, Chen C H, Li L, *et al.* Emission inventory of anthropogenic air pollutants and VOC species in the Yangtze River Delta region, China [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, **11**: 4105-4120.
- [41] 赵斌, 马建中. 天津市大气污染源排放清单的建立[J]. 环境科学学报, 2008, **28**(2): 368-375.
- [42] 王丽涛, 张强, 郝吉明, 等. 中国大陆 CO 人为源排放清单[J]. 环境科学学报, 2005, **25**(12): 1580-1585.
- [43] 黄成. 海峡西岸地区人为源大气污染物排放特征研究[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(8): 1923-1933.
- [44] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, *et al.* An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**(D21): 8809.

- [45] UK NAEI. The Methodology of the National Atmospheric Emissions Inventory, Appendix 1 (2. 3) [EB/OL]. http://www.aeat.co.uk/netcen/airqual/naei/annreport/annrep99/app1_23.html. 2006.
- [46] Bo Y, Cai H, Xie S D. Spatial and temporal variation of historical anthropogenic NMVOCs emission inventories in China [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2008, **8**: 7297-7316.
- [47] 尹沙沙, 郑君瑜, 张礼俊, 等. 珠江三角洲人为氨源排放清单及特征[J]. 环境科学, 2010, **31**(5): 1146-1151.
- [48] Roe S M, Spivey M D, Lindquist H C, *et al.* Estimating ammonia emission from anthropogenic nonagricultural source—Draft final report[R]. U. S. Emission Inventory Improvement Program (EIIP), 2004.
- [49] U. S. Environmental Protection Agency. Compilation of air pollutant emission factors[R]. Rep AP-42, Research Triangle Park, N. c. 1996.
- [50] Klimont Z, Cofala J, Bertok I, *et al.* Modeling particulate emissions in Europe: A framework to estimate reduction potential and control costs[R]. Interim Report, IR-02-076, Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 2002.
- [51] 吴忠标主编. 实用环境工程手册大气污染控制工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [52] 徐兴英, 段华平, 张丽, 等. 江苏省农业源甲烷排放清单研究[J]. 农业现代化研究, **33**(4): 498-501.

《环境科学》多项引证指标名列前茅

2014 年 9 月 26 日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了 2013 年度中国科技论文统计结果. 统计结果显示 2013 年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.

《环境科学》综合评价总分 76.6,排名第一,总被引频次 6 941,影响因子 1.266.

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分. 这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较. 根据发布的统计结果,2013 年度《环境科学》综合评价总分 76.6,在被统计的 33 种环境科学技术及资源科学技术类期刊中名列第一.

CONTENTS

Characterizing Beijing's Airborne Bacterial Communities in PM _{2.5} and PM ₁₀ Samples During Haze Pollution Episodes Using 16S rRNA Gene Analysis Method	WANG Bu-ying, LANG Ji-dong, ZHANG Li-na, <i>et al.</i> (2727)
Distribution Characteristics and Source Analysis of Dustfall Trace Elements During Winter in Beijing	XIONG Qiu-lin, ZHAO Wen-ji, GUO Xiao-yu, <i>et al.</i> (2735)
Pollution Characteristics of Aldehydes and Ketones Compounds in the Exhaust of Beijing Typical Restaurants	CHENG Jing-chen, CUI Tong, HE Wan-qing, <i>et al.</i> (2743)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Beijing Based on Actual Traffic Flow Information	FAN Shou-bin, TIAN Ling-di, ZHANG Dong-xu, <i>et al.</i> (2750)
Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Visibility in Summer in Pearl River Delta, China	YANG Yi-hong, QU Qun, LIU Sui-xin, <i>et al.</i> (2758)
Health Risk Assessment of Tunnel Workers Based on the Investigation and Analysis of Occupational Exposure to PM ₁₀	XIANG Hua-li, YANG Jun, QIU Zhen-zhen, <i>et al.</i> (2768)
Analysis on Emission Inventory and Temporal-Spatial Characteristics of Pollutants from Key Coal-Fired Stationary Sources in Jiangsu Province by On-Line Monitoring Data	ZHANG Ying-jie, KONG Shao-fei, TANG Li-li, <i>et al.</i> (2775)
Hydrogen and Oxygen Isotopic Compositions of Precipitation and Its Water Vapor Sources in Eastern Qaidam Basin	ZHU Jian-jia, CHEN Hui, GONG Guo-li (2784)
Distribution Characteristics of Sedimentary Pigments in the Changjiang Estuary and Zhe-Min Coast and Its Implications	LI Dong, YAO Peng, ZHAO Bin, <i>et al.</i> (2791)
Nutrients Input Characteristics of the Yangtze River and Wangyu River During the "Water Transfers on Lake Taihu from the Yangtze River"	PAN Xiao-xue, MA Ying-qun, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (2800)
Pollution Characteristics of Surface Runoff of Typical Town in Chongqing City	WANG Long-tao, DUAN Bing-zheng, ZHAO Jian-wei, <i>et al.</i> (2809)
Effect of Water and Sediment Regulation on the Transport of Particulate Organic Carbon in the Lower Yellow River	ZHANG Ting-ting, YAO Peng, WANG Jin-peng, <i>et al.</i> (2817)
Concentration and Source of Dissolved Organic Carbon in Snowpits of the Tibetan Plateau	YAN Fang-ping, KANG Shi-chang, CHEN Peng-fei, <i>et al.</i> (2827)
Variations of Inorganic Carbon and Its Impact Factors in Surface-Layer Waters in a Groundwater-Fed Reservoir in Karst Area, SW China	LI Jian-hong, PU Jun-bing, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2833)
Modeling the Influencing Factors of Karstification and Karst Carbon Cycle in Laboratory	ZHAO Rui-yi, LÜ Xian-fu, DUAN Yi-fan (2843)
Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of HCHs and DDTs in Surface Water Bodies in Xinxiang	FENG Jing-lan, YU Hao, LIU Shu-hui, <i>et al.</i> (2849)
Comparison Study of the Alkanes in Different Aquifer Medium Under Qingmuguan Underground System	LIANG Zuo-bing, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (2857)
Spatial Distribution Characteristics of Different Species Mercury in Water Body of Changshou Lake in Three Gorges Reservoir Region	BAI Wei-yang, ZHANG Cheng, ZHAO Zheng, <i>et al.</i> (2863)
Influence of Marine Aquaculture Around Coal Power Plant on Mercury Species Change in Aquatic Ecological Environment	LIANG Peng, WANG Yuan-na, YOU Qiong-zhi, <i>et al.</i> (2870)
Using $\delta^{34}\text{S}\text{-SO}_4^{2-}$ and $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$, $\delta^{18}\text{O}\text{-NO}_3^-$ to Trace the Sources of Sulfur and Nitrate in Lihu Lake Underground Water, Guangxi, China	Li Rui, XIAO Qiong, LIU Wen, <i>et al.</i> (2877)
Ecological Effects of Algae Blooms Cluster: The Impact on Chlorophyll and Photosynthesis of the Water Hyacinth	LIU Guo-feng, HE Jun, YANG Yi-zhong, <i>et al.</i> (2887)
Influence of Natural Dissolved Organic Matter on the Passive Sampling Technique and Its Application	YU Shang-yun, ZHOU Yan-mei (2895)
Adhesion Force Analysis of Protein Fouling of PVDF Ultrafiltration Membrane Using Atomic Force Microscope	WANG Xu-dong, ZHOU Miao, MENG Xiao-rong, <i>et al.</i> (2900)
Influence of CNTs on Photodegradation of Salbutamol in Water Environment	WANG Qi, HAN Jia-rui, WEI Bo-fan, <i>et al.</i> (2906)
Preparation of $\beta\text{-In}_2\text{S}_3$ and Catalytic Degradation of Oxytetracycline Under Solar Light Irradiation	AI Cui-ling, ZHOU Dan-dan, ZHANG Rong-rong, <i>et al.</i> (2911)
Nitrogen Release Performance of Sediments in Drainage Pipeline	CHEN Hong, ZHUO Qiong-fang, XU Zhen-cheng, <i>et al.</i> (2918)
Analysis of Precipitation Formation in Biofilm CANON Reactor and Its Effect on Nitrogen Removal	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (2926)
Optimization of Energy Saving Measures with ABR-MBR Integrated Process	WU Peng, LU Shuang-jun, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2934)
Abundance and Community Composition of Ammonia-Oxidizing Archaea in Two Completely Autotrophic Nitrogen Removal over Nitrite Systems	GAO Jing-feng, LI Ting, ZHANG Shu-jun, <i>et al.</i> (2939)
Formation Mechanism of Aerobic Granular Sludge and Removal Efficiencies in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, XU Yue-zhong, <i>et al.</i> (2947)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of Organochlorine Pesticides in Surface Soil of Pearl River Delta Economic Zone	DOU Lei, YANG Guo-yi (2954)
Risk Assessment of Heavy Metal Contamination in Farmland Soil in Du'an Autonomous County of Guangxi Zhuang Autonomous Region, China	WU Yang, YANG Jun, ZHOU Xiao-yong, <i>et al.</i> (2964)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Its Health Risk of Surface Dusts from Parks of Kaifeng, China	DUAN Hai-jing, CAI Xiao-qiang, RUAN Xin-ling, <i>et al.</i> (2972)
Responses of Soil and Plant ^{15}N Natural Abundance to Long-term N Addition in an N-Saturated <i>Pinus massoniana</i> Forest in Southwest China	LIU Wen-jing, KANG Rong-hua, ZHANG Ting, <i>et al.</i> (2981)
Latitudinal Changes in Plant Stoichiometric and Soil C, N, P Stoichiometry in Loess Plateau	LI Ting, DENG Qiang, YUAN Zhi-You, <i>et al.</i> (2988)
Open-top Chamber for <i>in situ</i> Research on Response of Mercury Enrichment in Rice to the Rising Gaseous Elemental Mercury in the Atmosphere	CHEN Jian, WANG Zhang-wei, ZHANG Xiao-shan, <i>et al.</i> (2997)
Influence of Uranium in <i>Pteris vittata</i> L. Inoculated by Arbuscular Mycorrhizal Fungus	ZHENG Wen-jun, WANG Ming-yuan (3004)
Impact on the Microbial Biomass and Metabolic Function of Carbon Source by Black Soil During Rice Cultivation	ZHAO Zhi-rui, CUI Bing-jian, HOU Yan-lin, <i>et al.</i> (3011)
Effect of Decomposing Products of Immobilized Carriers on Desorption of Pyrene in Contaminated Soil	TONG Dong-li, SHUANG Sheng-qing, LI Xiao-jun, <i>et al.</i> (3018)
Solidification/Stabilization of Chromite Ore Processing Residue (COPR) Using Zero-Valent Iron and Lime-Activated Ground Granulated Blast Furnace Slag	CHEN Zhong-lin, LI Jin-chunzi, WANG Bin-yuan, <i>et al.</i> (3026)
Stabilization of Cadmium Contaminated Soils by Ferric Ion Modified Attapulgite (Fe/ATP): Characterizations and Stabilization Mechanism	YANG Rong, LI Hong-bo, ZHOU Yong-li, <i>et al.</i> (3032)
Improving Agricultural Safety of Soils Contaminated with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by In Situ Bioremediation	JIAO Hai-hua, PAN Jian-gang, XU Sheng-jun, <i>et al.</i> (3038)
Competence of Cd Phytoremediation in Cd-OCDF Co-contaminated Soil Using <i>Mirabilis jalapa</i> L.	ZHANG Xing-li, ZOU Wei, ZHOU Qi-xing (3045)
Effects of Soil Moisture on Phytoremediation of As-Contaminated Soils Using As-Hyperaccumulator <i>Pteris vittata</i> L.	LIU Qiu-xin, YAN Xiu-lan, LIAO Xiao-yong, <i>et al.</i> (3056)
Effects of Phosphate Rock and Decomposed Rice Straw Application on Lead Immobilization in a Contaminated Soil	TANG Fan, HU Hong-qing, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3062)
Residue and Degradation of Roxarsone in the System of Soil-Vegetable	SHAO Ting, YAO Chun-xia, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (3068)
Acute Toxicity and Safety Assessment of Three Typical Organic Pollutants to Two Aquatic Organisms	YANG Yang, LI Ya-jie, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (3074)
Effects of Oil Pollutants on the Performance of Marine Benthonic Microbial Fuel Cells and Its Acceleration of Degradation	MENG Yao, FU Yu-bin, LIANG Sheng-kang, <i>et al.</i> (3080)
Microwave In-situ Regeneration of Cu-Mn-Ce/ZSM Catalyst Adsorbed Toluene and Distribution of Bed Temperature	HU Xue-jiao, BO Long-li, LIANG Xin-xin, <i>et al.</i> (3086)
Impact of Thermal Treatment on Biogas Production by Anaerobic Digestion of High-solid-content Swine Manure	HU Yu-ying, WU Jing, WANG Shi-feng, <i>et al.</i> (3094)
Impact of Phosphogypsum Wastes on the Wheat Growth and CO ₂ Emissions and Evaluation of Economic-environmental Benefit	LI Ji, WU Hong-sheng, GAO Zhi-qiu, <i>et al.</i> (3099)
Status Quo, Uncertainties and Trends Analysis of Environmental Risk Assessment for PFASs	HAO Xue-wen, LI Li, WANG Jie, <i>et al.</i> (3106)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年8月15日 第36卷 第8期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 8 Aug. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行