

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第3期

Vol.35 No.3

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

青岛近海生物气溶胶中可培养微生物浓度及群落多样性的季节变化	祁建华, 武丽婧, 高冬梅, 金川 (801)
基于重庆本地碳成分谱的 PM _{2.5} 碳组分来源分析	张灿, 周志恩, 翟崇治, 白志鹏, 陈刚才, 姬亚芹, 任丽红, 方维凯 (810)
重庆市北碚城区大气污染物浓度变化特征观测研究	徐鹏, 郝庆菊, 吉东生, 张军科, 刘子锐, 胡波, 王跃思, 江长胜 (820)
基于气溶胶光学特性垂直分布的一次浮尘过程分析	王苑, 邓军英, 史兰红, 陈勇航, 张强, 王胜, 徐婷婷 (830)
基于悬铃木叶片重金属累积特性的大气污染分析和评价	刘玲, 方炎明, 王顺昌, 谢影, 汪承润 (839)
典型染整企业定型机废气排放特征及潜在环境危害浅析	徐志荣, 王鹏, 王浙明, 许明珠, 吴剑波, 李嫣 (847)
火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究	王占山, 潘丽波 (853)
国IV天然气公交车实际道路颗粒物排放特性	楼狄明, 成伟, 冯谦 (864)
稻草和玉米秸秆烟尘中的正构脂肪醇	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (870)
河口湿地近地面大气 CO ₂ 浓度日变化和季节变化	张林海, 仝川, 曾从盛 (879)
三峡库区库中干流及支流水体夏季二氧化碳分压及扩散通量	李双, 王雨春, 操满, 钱慧君, 许涛, 周子然, 邓兵, 汪福顺 (885)
施用畜禽粪便堆肥的蔬菜地 CH ₄ 、N ₂ O 和 NH ₃ 排放特征	万合峰, 赵晨阳, 钟佳, 葛振, 魏源送, 郑嘉熹, 鄢玉龙, 韩圣慧, 郑博福, 李洪枚 (892)
干湿交替条件下不同晶型铁氧化物对水稻土甲烷排放的影响	张天娇, 汤佳, 庄莉, 熊格生, 刘志, 周顺桂 (901)
长江口邻近海域沉积物中生物硅溶解行为研究	吴彬, 吕伟香, 鲁超, 刘素美 (908)
汾河中游浮游藻类群落特征及水质分析	王爱爱, 冯佳, 谢树莲 (915)
基于三维荧光光谱-平行因子技术联用的湖泊浮游藻化学分类学研究	陈小娜, 韩秀荣, 苏荣国, 石晓勇 (924)
三峡库区典型消落带土壤及沉积物中溶解性有机质 (DOM) 的紫外-可见光谱特征	李璐璐, 江韬, 闫金龙, 郭念, 魏世强, 王定勇, 高洁, 赵铮 (933)
黄河口湿地表层沉积物中磷赋存形态的分析	于子洋, 杜俊涛, 姚庆祯, 陈洪涛, 于志刚 (942)
太湖和呼伦湖沉积物对磷的吸附特征及影响因素	揣小明, 杨柳燕, 程书波, 陈小峰, 穆云松 (951)
黄浦江溶解有机质光学特性与消毒副产物 NDMA 生成潜能的关系	董倩倩, 张艾, 李咏梅, 陈玲, 黄清辉 (958)
纳米零价铁降解水中多溴联苯醚 (PBDEs) 及降解途径研究	杨雨寒, 徐伟伟, 彭思侃, 卢善富, 相艳, 梁大为 (964)
铸铁还原氯乙酸的影响因素与机制研究	唐顺, 杨宏伟, 王小任, 解跃峰 (972)
磷回收对厌氧/好氧交替式生物滤池蓄磷/除磷的影响	张顺, 田晴, 汤曼琳, 李方 (979)
预处理方法对玉米芯作为反硝化固体碳源的影响	赵文莉, 郝瑞霞, 李斌, 张文怡, 杜鹏 (987)
陶粒 CANON 反应器的接种启动与运行	付昆明, 左早荣, 仇付国 (995)
冬季低温下 MBR 与 CAS 工艺运行及微生物群落特征	黄菲, 梅晓洁, 王志伟, 吴志超 (1002)
烷基多苷促进污泥水解产酸的研究	陈灿, 孙秀云, 黄诚, 沈锦优, 王连军 (1009)
高温厌氧消化中底物浓度对病原指示微生物杀灭的影响	操宏庆, 章菲菲, 李健, 童子林, 胡真虎 (1016)
兰州市大气降尘重金属污染评价及健康风险评价	李萍, 薛粟尹, 王胜利, 南忠仁 (1021)
珠江河口水域有机磷农药水生生态系统风险评价	郭强, 田慧, 毛潇萱, 黄韬, 高宏, 马建民, 吴军年 (1029)
海州湾表层沉积物重金属的来源特征及风险评价	李飞, 徐敏 (1035)
再生水无计划间接补充饮用水的雌激素健康风险	吴乾元, 邵一如, 王超, 孙艳, 胡洪营 (1041)
瓦埠湖流域庄墓镇农田土壤氮磷分布及流失风险评估	李如忠, 邵阳, 徐晶晶, 丁贵珍 (1051)
三峡库区消落带土壤汞形态分布与风险评价	张成, 陈宏, 王定勇, 孙荣国, 张金洋 (1060)
基于棕地的居民小区土壤重金属健康风险评价	陈星, 马建华, 李新宁, 刘德新, 李一蒙 (1068)
干旱区绿洲土壤氟污染生态风险评估研究	薛粟尹, 李萍, 王胜利, 南忠仁 (1075)
缙云山 3 种典型森林降雨过程及其氮素输入	孙素琪, 王玉杰, 王云琦, 张会兰, 于雷, 刘婕 (1081)
三峡库区兰陵溪小流域土地利用及景观格局对氮磷输出的影响	韩黎阳, 黄志霖, 肖文发, 田耀武, 曾立雄, 吴东 (1091)
黄土丘陵区县域农田土壤近 30 年有机碳变化及影响因素研究: 以甘肃庄浪县为例	师晨迪, 许明祥, 邱宇洁, 张志霞, 张晓伟 (1098)
天然林土壤有机碳及矿化特征研究	杨添, 戴伟, 安晓娟, 庞欢, 邹建美, 张瑞 (1105)
不同土壤湿润速率下中性紫色土磷素淋溶的动态变化	张思兰, 石孝均, 郭涛 (1111)
硫脲对酸性红壤 pH 值与金属元素有效性的影响	杨波, 王文, 曾清如, 周细红 (1119)
6 种陕北适生豆科植物生长对原油污染土壤的响应	山宝琴, 张永涛, 曹巧玲, 康振妍, 李淑媛 (1125)
基于 N:P 化学计量特征的高寒草甸植物养分状况研究	张仁懿, 徐当会, 陈凌云, 王刚 (1131)
人工生物结皮的发育演替及表土持水特性研究	吴丽, 陈晓国, 张高科, 兰书斌, 张德禄, 胡春香 (1138)
农田土壤自养微生物碳同化潜力及其功能基因数量、关键酶活性分析	陈晓娟, 吴小江, 简燕, 袁红朝, 周萍, 葛体达, 童成立, 邹冬生, 吴金水 (1144)
中亚热带马尾松林凋落物分解过程中的微生物与酶活性动态	宋影, 辜夕容, 严海元, 毛文韬, 吴雪莲, 万宇轩 (1151)
苏南地区香樟树皮中有机氯农药 (OCPs) 的污染水平及来源解析	周丽, 张秀蓝, 杨文龙, 李玲玲, 史双昕, 张利飞, 董亮, 黄业茹 (1159)
UV-B 辐射增强与 1,2,4-三氯苯污染复合胁迫对青菜生长的影响	刘翠英, 樊建凌, 徐向华 (1164)
Cu 和 Cd 胁迫下接种外生菌根真菌对油松根际耐热蛋白固持重金属能力的影响	张英伟, 柴立伟, 王东伟, 汪杰, 黄艺 (1169)
对硝基苯胺耐盐降解菌 S8 的筛选及特性研究	宋彩霞, 邓新平, 厉阍, 肖伟 (1176)
克雷伯氏菌生产絮凝剂 M-C11 的培养优化及其在污泥脱水中的应用	刘杰伟, 马俊伟, 刘彦忠, 杨娅, 岳东北, 王洪涛 (1183)
铅元素人为循环环境释放物形态分析	梁静, 毛建素 (1191)
污染排放与环境质量关系模型构建与应用	李名升, 孙媛, 陈远航, 张建辉 (1198)
微囊藻毒素微生物降解途径与分子机制研究进展	闫海, 王华生, 刘晓璐, 尹春华, 许倩倩, 吕乐, 马万彪 (1205)
《环境科学》征订启事 (809) 《环境科学》征稿简则 (819) 信息 (971, 978, 1050, 1175)	

火电厂大气污染物排放标准实施效果的数值模拟研究

王占山¹, 潘丽波²

(1. 北京市环境保护监测中心, 北京 100048; 2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

摘要: 建立了 2010 年火电厂大气污染物排放清单, 在此基础上设计了实施 2003 版标准和实施新版标准的模拟情景, 运用 Models-3/CMAQ 模型系统分别预测其到 2015 年和 2020 年的 NO_2 、 SO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度以及氮、硫沉降量, 探讨新版火电排放标准对我国大陆地区空气质量的改善。研究表明, 新版火电标准的实施能够有效地改善我国的空气质量状况, 相比于实施 2003 版标准情景, 到 2015 年和 2020 年全国 NO_2 浓度超过国家二级标准的面积分别减少了 53.9% 和 55.2%; SO_2 浓度超过国家二级标准的面积均减少了 40.0%; 氮沉降强度超过 $1.0 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 的面积分别减少了 75.4% 和 77.9%; 硫沉降强度超过 $1.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 的面积分别减少了 37.1% 和 34.3%。

关键词: 排放标准; 数值模拟; NO_x ; 酸沉降; $\text{PM}_{2.5}$

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)03-0853-11 DOI: 10.13227/j.hjxx.2014.03.007

Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants: a Numerical Simulation

WANG Zhan-shan¹, PAN Li-bo²

(1. Beijing Municipal Environmental Monitoring Center, Beijing 100048, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: The emission inventory of air pollutants from the thermal power plants in the year of 2010 was set up. Based on the inventory, the air quality of the prediction scenarios by implementation of both 2003-version emission standard and the new emission standard were simulated using Models-3/CMAQ. The concentrations of NO_2 , SO_2 , and $\text{PM}_{2.5}$, and the deposition of nitrogen and sulfur in the year of 2015 and 2020 were predicted to investigate the regional air quality improvement by the new emission standard. The results showed that the new emission standard could effectively improve the air quality in China. Compared with the implementation results of the 2003-version emission standard, by 2015 and 2020, the area with NO_2 concentration higher than the emission standard would be reduced by 53.9% and 55.2%, the area with SO_2 concentration higher than the emission standard would be reduced by 40.0%, the area with nitrogen deposition higher than $1.0 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ would be reduced by 75.4% and 77.9%, and the area with sulfur deposition higher than $1.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ would be reduced by 37.1% and 34.3%, respectively.

Key words: emission standards; numerical simulation; NO_x ; acid deposition; $\text{PM}_{2.5}$

近年来我国经济快速发展, 电力需求和供应持续增长。截至 2010 年底, 全国电力装机容量已达 9.62 亿 kW, 居世界第二位, 其中火电为 7.07 亿 kW, 占全国总装机容量的 73%^[1]。火电发电量约占我国全部发电量的 80% 以上, 共消耗燃煤 16 亿 t^[2]。我国的能源结构决定了在今后相当长的时间内火电机组装机容量仍将不断增长, 由火电厂排放的大气污染物若得不到有效控制, 将直接影响我国大气环境质量的改善以及电力工业的可持续和健康发展。新修订的《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223-2011) 已于 2012 年 1 月 1 日起开始实施, 本研究运用空气质量模型系统 Models-3/CMAQ 对新版火电标准的环境影响进行数值模拟研究。

1 情景设计与数据来源

1.1 情景设计

本研究以 2010 年作为模拟研究的基准年, 各情景的污染物排放量均在 2010 年的基础上估算得到。将污染源分为点源、面源和生物源^[3], 火电厂作为点源处理。根据不同版本火电标准的实施情况, 设计了两种方案 4 种情景分别进行模拟预测, 默认各情景的面源和生物源维持 2010 年的排放水平不变, 只考虑火电源在各情景的污染物排放量的变化, 以此来对比研究火电标准的环境影响。具体的情景设

收稿日期: 2013-07-24; 修订日期: 2013-10-29

作者简介: 王占山(1987~), 男, 硕士, 主要研究方向为大气环境研究与模拟, E-mail: 18701650609@163.com

置见表 1.

表 1 模拟情景设置

Table 1 Prediction scenarios of this study

方案	情景(年份)	点源(火电源)	面源和生物源
方案一	情景 1(QJ1-2015)	2003 版标准	2010 年排放强度
	情景 2(QJ2-2020)	2003 版标准	
方案二	情景 3(QJ3-2015)	新版标准	
	情景 4(QJ4-2020)	新版标准	

1.2 数据来源

本研究中大气污染物排放清单共由 7 种污染物组成: NO_x 、 SO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 CO 、 VOC 和 NH_3 . 火电源的 NO_x 和 SO_2 排放量根据 2007 年第一次污染源普查数据^[4]以及 2007~2010 年火电机容量的增加量^[5]来进行估算;其他污染物的排放量参考 INTEX-B 项目^[6]的数据推算. 生物源 VOC 的排放量参考了 GEIA-POET 项目^[7]的数据和池彦琪等^[8]的研究估算. 面源中 NH_3 的排放量参考了 REAS 项目^[9]的数据,其他污染物的排放量参考国内外学者对中国地区污染源清单的研究结果^[10~16]. 本研究估算的各模拟情景火电厂 NO_x 、 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放量见表 2.

表 2 各模拟情景火电厂 NO_x 、 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 排放量

Table 2 NO_x , SO_2 and $\text{PM}_{2.5}$ emission of thermal power plants in prediction scenarios

模拟情景	污染物排放量 $\times 10^4/\text{t}$		
	NO_x	SO_2	$\text{PM}_{2.5}$
2010	844	971	152
QJ1-2015	1 092	984	160
QJ2-2020	1 210	1 005	170
QJ3-2015	250	360	71
QJ4-2020	280	364	87

2 模型系统设置与验证

2.1 模型系统设置

本研究运行气象模型 MM5^[17]获得 CMAQ 需要的气象场,在处理污染源数据时用 SMOKE (sparse matrix operator kernel emissions) 模型将排放数据内插到 CMAQ 模型网格点上,并将年排放量转化为小时排放量^[18]. MM5 模型的中心点为 36°N 、 104°E ,水平网格分辨率为 60 km,垂直层次为 34 层,水平和垂直方向的网格数分别为 90 和 80,能覆盖中国大部分地区(不包括南海群岛);模型初始及边界资料为 NCAR (National Center for Atmospheric Research) 和 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 的再分析逐日资料 FNL^[19]数据,空间分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,时间分辨率是 6 h;地

形资料来自 USGS (United States Geological Survey) 的 30 s 全球地形资料. 在选用 MM5 模型的参数化方案时,本研究参考了香港科技大学多年的 MM5 模拟研究的最优设置^[20],包括:Simple Ice 显式水汽方案、KF 积云方案以及 RRTM 辐射方案等. 使用 MCIP (meteorology-chemistry Interface Processor)^[21]将 MM5 的输出结果插值到 CMAQ 模型区域和网格上,并将 MM5 的 34 层垂直网格映射为 CMAQ 模型的 19 层粗网格. CMAQ 采用 CB-IV^[22,23]气相化学机制,物理过程的水平平流和垂直对流采用 PPM 解法,垂直扩散采用 Crank-Nicholson 解法,并考虑了干沉降和湿沉降过程. CMAQ 各层的 Sigma 值分别为 1.000 0、0.997 5、0.995 0、0.990 0、0.980 0、0.970 0、0.960 0、0.940 0、0.920 0、0.900 0、0.875 0、0.850 0、0.820 0、0.755 0、0.685 0、0.580 0、0.510 0、0.440 0、0.320 0 和 0.000 0,大致对应高度 0、37、75、150、300、450、600、900、1 200、1 500、1 875、2 250、2 700、3 675、4 725、6 300、7 350、8 400、10 200 和 15 000 m.

2.2 模型系统验证

目前已有的科学研究中,一般使用地面观测数据、飞机航测数据或卫星遥感数据对模型结果进行验证,其中地面观测数据取自分散的地面监测点,数据分布范围广且有较高的准确度,是目前国内用于验证模型结果的主要数据来源^[24]. 本研究将选取的 30 个城市 2010 年年均浓度的模拟结果与监测数据^[25]进行对比,并计算其 MFB(平均相对偏差)、MFE(平均相对误差)、NMB(标准平均偏差)、NME(标准平均误差)^[26~28]以评价模型的模拟性能,结果见表 3. 图 1~3 分别为 NO_2 、 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的模拟值与监测值的比较.

表 3 模拟值与监测值的对比统计结果/%

Table 3 Statistical results of simulated and observed data/%

污染物	MFB	MFE	NMB	NME
NO_2	-28	39	-20	31
SO_2	-35	38	-30	32
$\text{PM}_{2.5}$	-38	39	-29	28

可以看出,CMAQ 对 NO_2 、 SO_2 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度的模拟表现较好,模拟值与监测值的峰值、谷值及变化趋势均具有良好的一致性,对于大部分城市来说,模拟值和监测值的绝对浓度没有显著差异. Wang 等^[29]对北京市 NO_2 浓度模拟结果的 NMB 在 $-61.2\% \sim -81.3\%$ 之间;Liu 等^[30]对中国地区 SO_2 浓度模拟结果的 NMB 和 NME 分别为 -31.3%

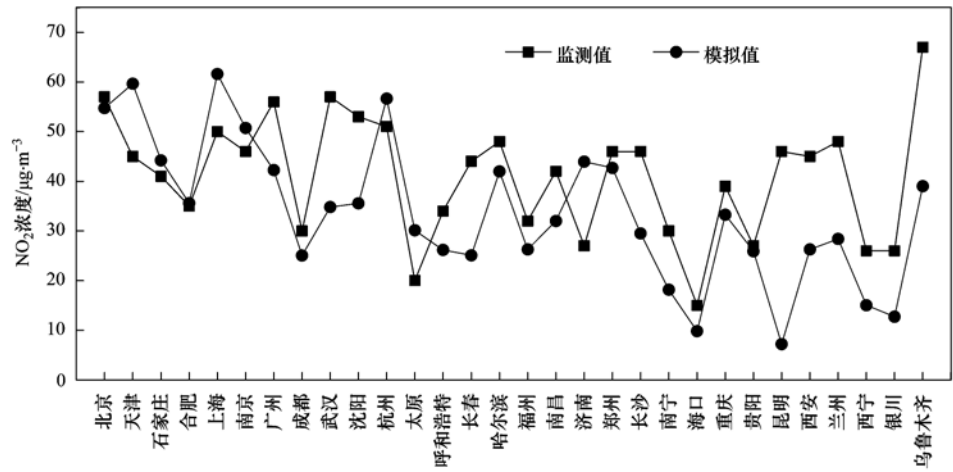


图1 30个城市空气NO₂浓度监测值与模拟值的比较

Fig. 1 Observed and simulated data of NO₂ in 30 cities

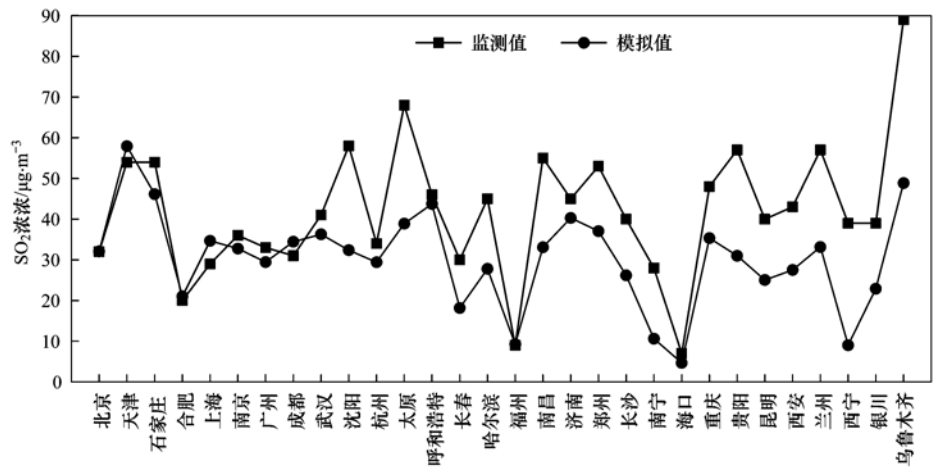


图2 30个城市空气SO₂浓度监测值与模拟值的比较

Fig. 2 Observed and simulated data of SO₂ in 30 cities

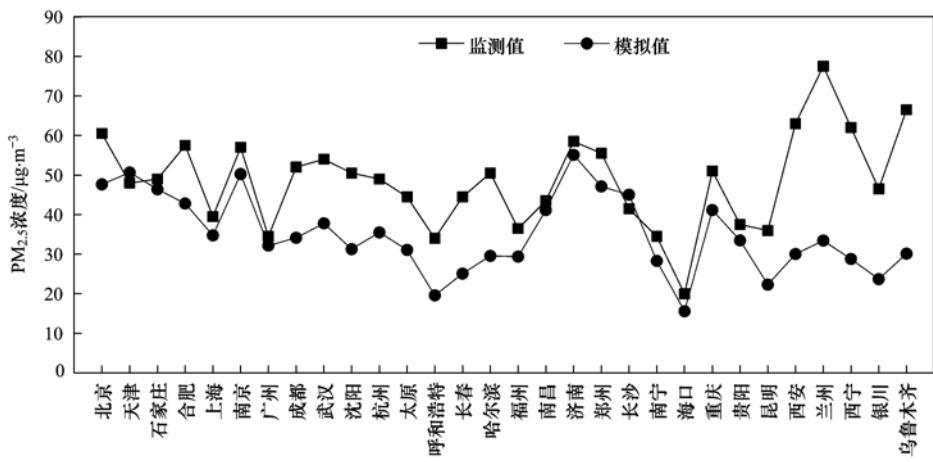


图3 30个城市空气PM_{2.5}浓度监测值与模拟值的比较

Fig. 3 Observed and simulated data of PM_{2.5} in 30 cities

和 68.1% ; Boylan 等^[31]的研究表明,若 MFE 小于 +75% 且 MFB 介于 ±60% 之间,则可判定模型对颗粒物的模拟性能较好. 本研究的模拟结果与其他学者的研究结果相当,并与 US EPA 推荐的评价标

准^[32]较一致. 因此本研究的模型模拟结果较为准确,能满足后续研究工作的需要.

但整体来说,模拟值较监测值偏低,这可能是由于污染源排放清单估算的偏差和气象因子模拟的偏差导致的,另外本研究采用的 60 km × 60 km 网格,面积大于部分城市的空气质量监测网所覆盖的面积,而包含了一些近郊区域,从而掩盖了局部地区污染的严重性. 从对比结果还可以看出,东部和中部城市的模拟值和监测值的吻合程度较高,而一些西北部城市,则出现模拟值明显偏低的情况,其原因可能是西部城市的城区面积小于东部,其环境监测网络的覆盖区域更小,模拟结果所反映的网格内污染物浓度在更大程度上受到城郊低浓度区的影响,从而低于监测值.

3 火电标准的实施效果

在研究火电排放标准的环境影响时,本研究主要探讨了我国大陆地区的 NO₂、SO₂ 和 PM_{2.5} 浓度超过国家二级标准的面积以及酸沉降总量和酸沉降影响范围,同时为研究城市尺度的空气质量变化,本研究从国内不同地区不同城市群中选取了 11 个城市进行分析,从而从区域和城市尺度评价新版火电厂大气污染物排放标准的实施对我国环境质量的影响.

3.1 NO₂

相比于实施 2003 版标准,火电新版标准能显著的改善我国的 NO₂ 污染状况. 方案二中到 2015 年我国大陆地区 NO₂ 年均浓度超过二级标准限值的面积以及 11 个城市的平均浓度相比于方案一分别下降了 53.9% 和 22.6%,NO₂ 的最高年均浓度降低

了 5.04 μg·m⁻³; 到 2020 年 NO₂ 年均浓度超过二级标准限值的面积以及 11 个城市的平均浓度相比于方案一分别下降了 55.2% 和 23.5%,NO₂ 的最高年均浓度降低了 5.06 μg·m⁻³,具体模拟值见表 4. 图 4 为 11 个城市在各模拟情景下的 NO₂ 浓度对比,不同城市间的浓度削减比例存在一定差异性,这与火电厂的地理位置分布以及各城市不同的气象条件有关. 图 5~8 为不同模拟情景下我国大陆地区的 NO₂ 模拟浓度分布. 可以看出,新版火电标准对我国 NO₂ 浓度的降低作用是十分明显的,但火电实施新标准后,我国未来仍有部分区域存在 NO₂ 浓度超标现象.

表 4 各方案情景年 NO₂ 模拟值

Table 4 Simulated data of NO ₂ of prediction scenarios			
情景	超标面积 × 10 ⁴ /km ²	最高浓度 /μg·m ⁻³	11 个城市平均浓度 /μg·m ⁻³
2010	46.80	82.66	45.53
QJ1-2015	64.08	85.31	52.14
QJ2-2020	75.60	86.82	53.74
QJ3-2015	29.52	80.27	40.34
QJ4-2020	33.84	81.76	41.10

3.2 SO₂

相比于实施 2003 版标准,火电实施新版标准后到情景年我国的 SO₂ 污染会得到进一步改善. 方案二中到 2015 年我国大陆地区 SO₂ 年均浓度超过二级标准限值的面积以及 11 个城市的平均浓度相比于方案一分别下降了 40.0% 和 40.5%,SO₂ 的最高年均浓度降低了 6.44 μg·m⁻³; 到 2020 年 SO₂ 年均浓度超过二级标准限值的面积以及 11 个城市的平均浓度相比于方案一分别下降了 40.0% 和 41.6%,SO₂ 的最高年均浓度降低了 5.54 μg·m⁻³,具体模

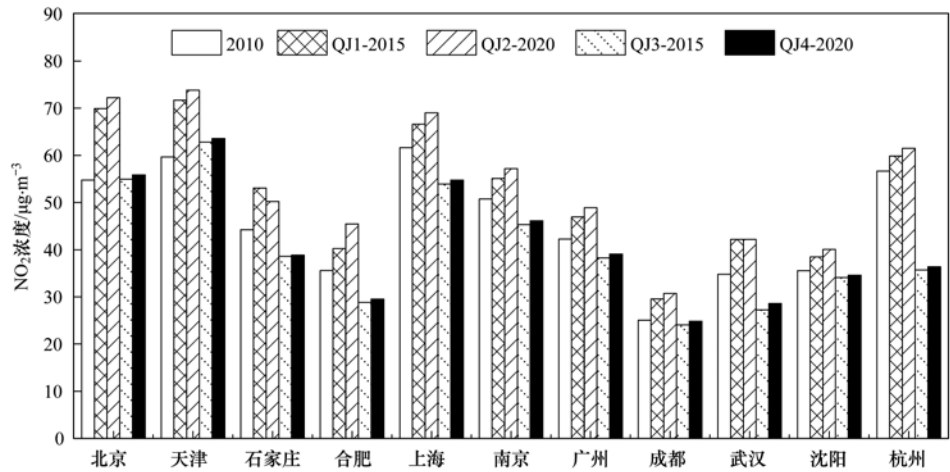


图 4 11 个城市在各模拟情景下的 NO₂ 浓度对比

Fig. 4 NO₂ concentration of 11 cities in prediction scenarios

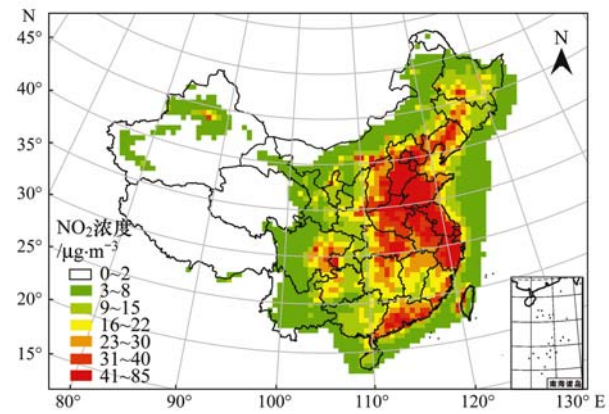


图5 QJ1-2015 年我国大陆地区 NO₂ 模拟浓度分布

Fig. 5 Predicted concentration of NO₂ in mainland China of QJ1-2015

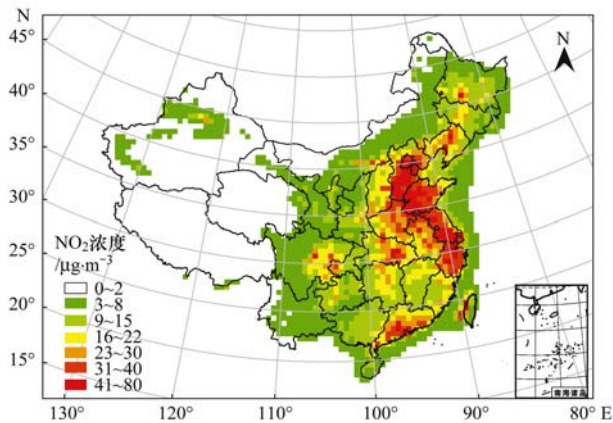


图6 QJ3-2015 年中国大陆地区 NO₂ 模拟浓度分布

Fig. 6 Predicted concentration of NO₂ in mainland China of QJ3-2015

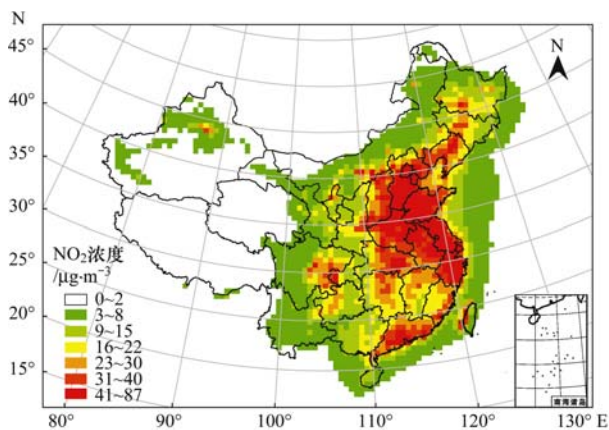


图7 QJ2-2020 年中国大陆地区 NO₂ 模拟浓度分布

Fig. 7 Predicted concentration of NO₂ in mainland China of QJ2-2020

拟值见表 5。图 9 为 11 个城市在各模拟情景下的 SO₂ 浓度对比,图 10 ~ 13 为不同模拟情景下我国大

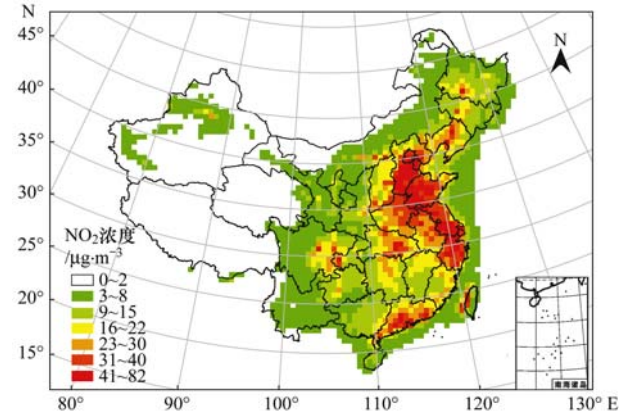


图8 QJ4-2020 年中国大陆地区 NO₂ 模拟浓度分布

Fig. 8 Predicted concentration of NO₂ in mainland China of QJ4-2020

陆地区的 SO₂ 模拟浓度分布。可以看出,火电实施新版标准后到情景年我国的大部分地区 SO₂ 浓度能够达到国家二级标准。

表 5 各方案情景年 SO₂ 模拟值

Table 5 Simulated data of SO ₂ in prediction scenarios			
情景	超标面积 × 10 ⁴ /km ²	最高浓度 /μg·m ⁻³	11 个城市平均浓度 /μg·m ⁻³
2010	1.44	79.14	35.14
QJ1-2015	1.80	79.35	39.39
QJ2-2020	1.80	79.51	41.21
QJ3-2015	1.08	72.91	23.42
QJ4-2020	1.08	73.97	24.05

3.3 PM_{2.5}

细颗粒物 PM_{2.5}的来源包括一次源和二次源,一次源 PM_{2.5}是由地面上自然或人为活动直接排放的 PM_{2.5},如火山爆发、地面扬尘、建筑排放和燃煤排放等;二次源 PM_{2.5}是指大气成分发生化学反应的生成物,如 SO₂ 和 NO_x 通过反应生成相应的固体盐,NO、CO 和烃类等通过光化学反应生成有机成分等^[33]。火电厂并不是我国 PM_{2.5}的主要一次排放源^[34~36],但火电厂排放的大量 NO_x 和 SO₂ 等污染物是形成二次源 PM_{2.5}的重要前体物,因此可以通过情景年 PM_{2.5}浓度的变化来研究其他大气污染物的减排对 PM_{2.5}浓度的影响,从而体现出大气污染物的协同控制对降低 PM_{2.5}浓度的作用。

方案二中到 2015 年我国大陆地区 PM_{2.5}年均浓度超过二级标准限值的面积以及 11 个城市的平均浓度相比于方案一分别下降了 8.2% 和 6.5%,PM_{2.5}的最高年均浓度降低了 1.53 μg·m⁻³;到 2020 年 PM_{2.5}年均浓度超过二级标准限值的面积以及 11 个城市的平均浓度相比于方案一分别下降了 9.3%

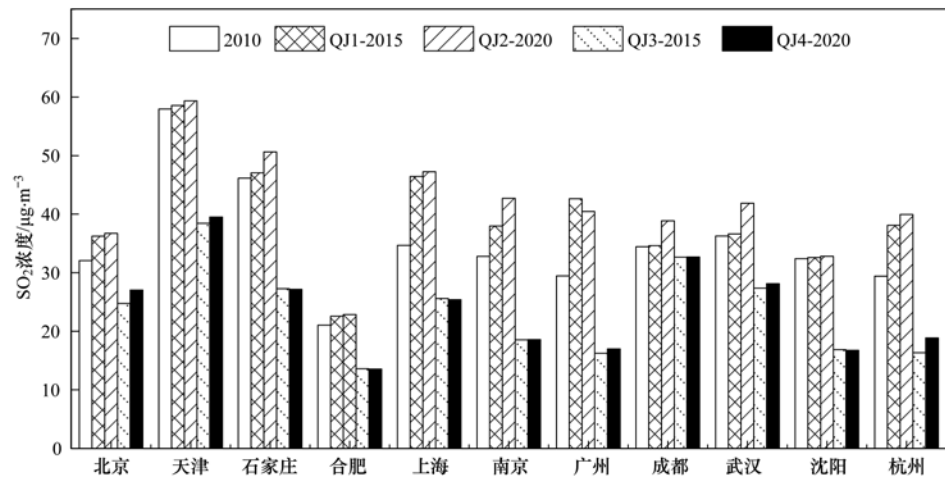


图 9 11 个城市在各模拟情景下的 SO_2 浓度对比

Fig. 9 SO_2 concentration of 11 cities in prediction scenarios

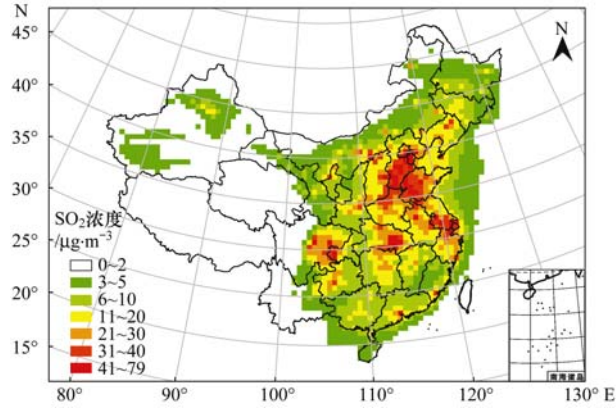


图 10 QJ1-2015 年中国大陆地区 SO_2 模拟浓度分布

Fig. 10 Predicted concentration of SO_2 in mainland China of QJ1-2015

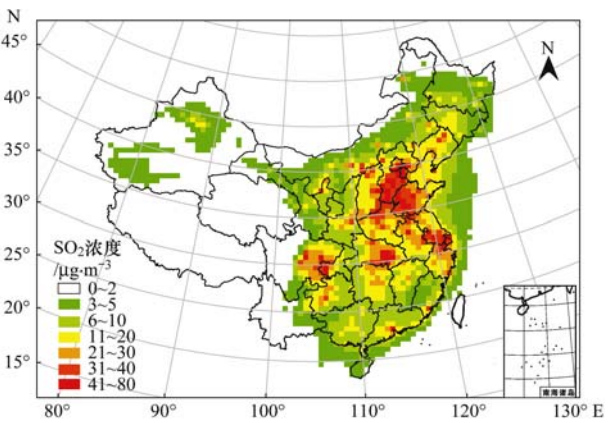


图 12 QJ2-2020 年中国大陆地区 SO_2 模拟浓度分布

Fig. 12 Predicted concentration of SO_2 in mainland China of QJ2-2020

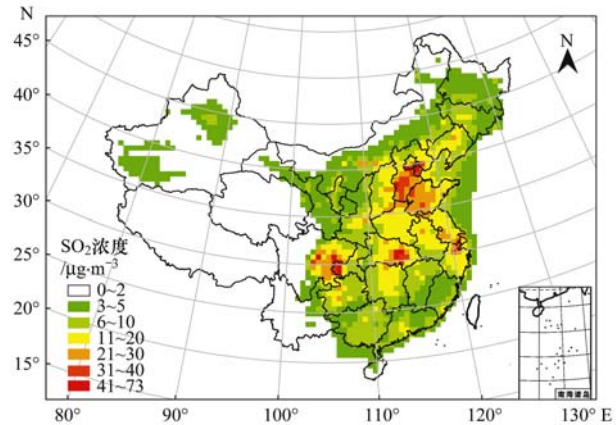


图 11 QJ3-2015 年中国大陆地区 SO_2 模拟浓度分布

Fig. 11 Predicted concentration of SO_2 in mainland China of QJ3-2015

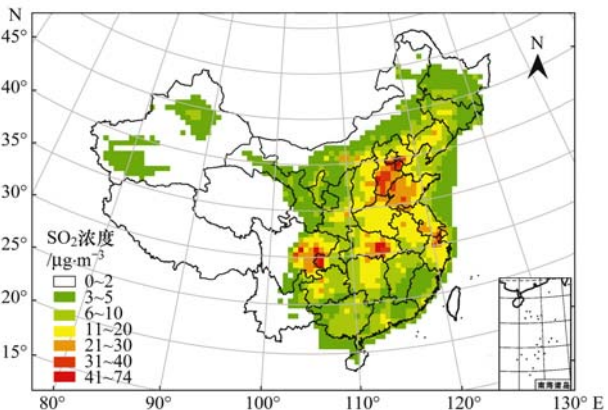


图 13 QJ4-2020 年中国大陆地区 SO_2 模拟浓度分布

Fig. 13 Predicted concentration of SO_2 in mainland China of QJ4-2020

和 7.0%， $\text{PM}_{2.5}$ 的最高年均浓度降低了 1.57 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ，具体模拟值见表 6。图 14 为 11 个城市在

各模拟情景下的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度对比，图 15 ~ 18 为不同模拟情景下的我国大陆地区 $\text{PM}_{2.5}$ 模拟浓度分布。

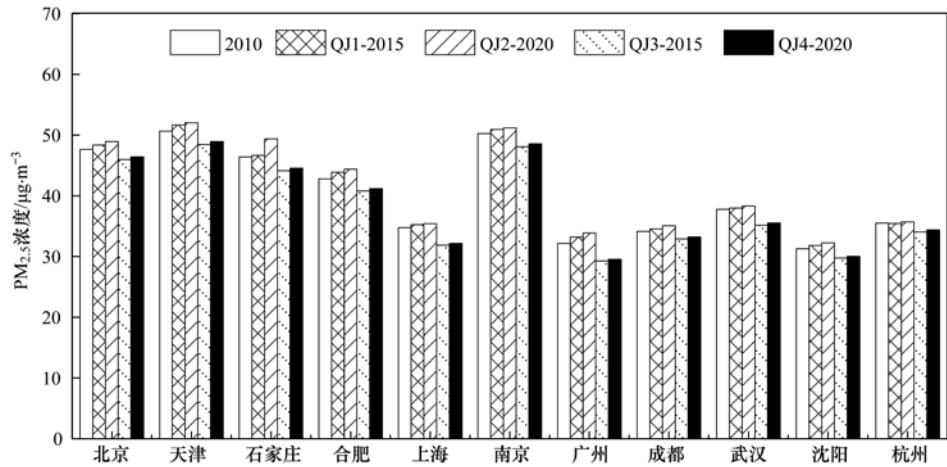


图 14 11 个城市在各模拟情景下的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度对比

Fig. 14 $\text{PM}_{2.5}$ concentration of 11 cities of prediction scenarios

表 6 各方案情景年 $\text{PM}_{2.5}$ 模拟值

Table 6 Simulated data of $\text{PM}_{2.5}$ in prediction scenarios			
情景	超标面积 $\times 10^4$ /km ²	最高浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	11 个城市平均浓度 / $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
2010	85.32	69.12	40.31
QJ1-2015	88.56	70.36	40.89
QJ2-2020	91.08	71.29	41.51
QJ3-2015	81.26	68.83	38.22
QJ4-2020	82.64	69.72	38.60

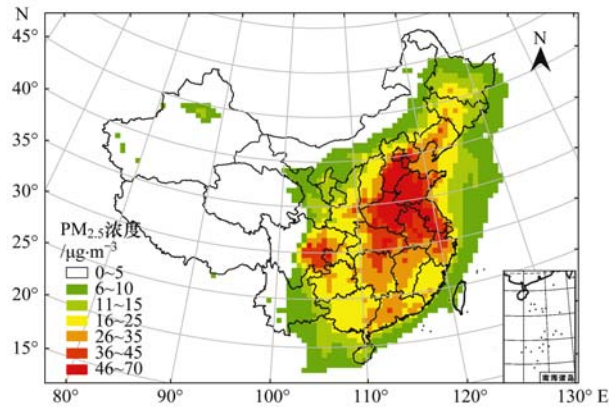


图 15 QJ1-2015 年中国大陆地区 $\text{PM}_{2.5}$ 模拟浓度分布

Fig. 15 Predicted concentration of $\text{PM}_{2.5}$ in mainland China of QJ1-2015

可以看出, NO_x 和 SO_2 等污染物的减排对 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度也起到了一定的降低作用但并不十分明显, 要想进一步解决我国的 $\text{PM}_{2.5}$ 污染问题, 还需采取措施减少一次源 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放。

3.4 氮沉降

氮沉降主要由 NH_3 和 NO_x 两种污染物的排放引起, 其中 NH_3 的主要排放源是生物源和农业源, 燃煤和汽车尾气的排放只占到 3% ~ 4% [37]。本研

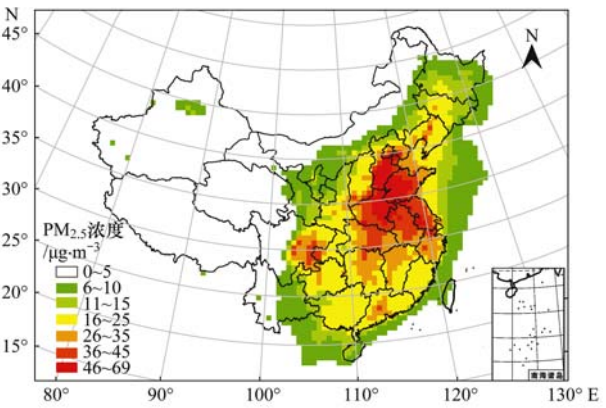


图 16 QJ3-2015 年中国大陆地区 $\text{PM}_{2.5}$ 模拟浓度分布

Fig. 16 Predicted concentration of $\text{PM}_{2.5}$ in mainland China of QJ3-2015

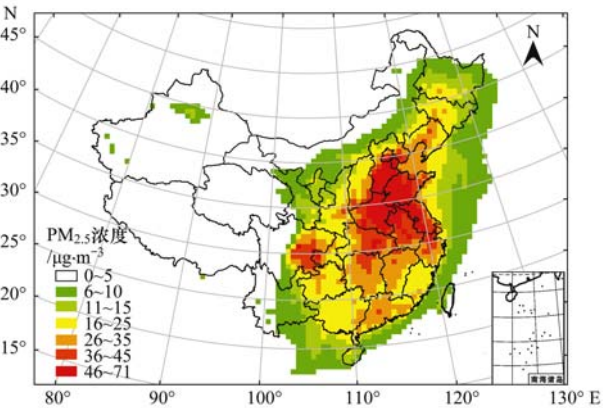


图 17 QJ2-2020 年中国大陆地区 $\text{PM}_{2.5}$ 模拟浓度分布

Fig. 17 Predicted concentration of $\text{PM}_{2.5}$ in mainland China of QJ2-2020

究中氮沉降指的是工业源氮沉降, 即将酸沉降模拟结果中的硝态氮质量之和作为氮沉降量。相比于实施 2003 版标准, 火电实施新版标准后到情景

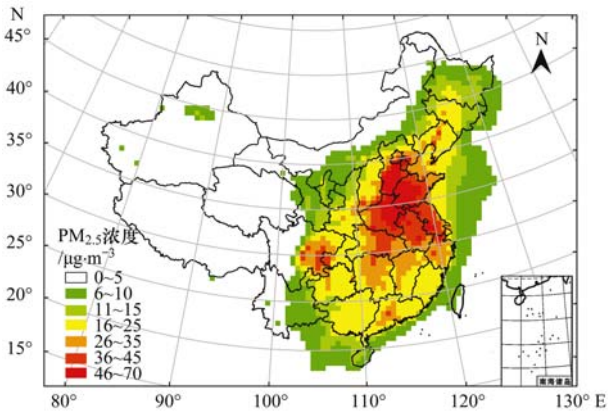


图 18 QJ4-2020 年中国大陆地区 PM_{2.5} 模拟浓度分布

Fig. 18 Predicted concentration of PM_{2.5} in mainland China of QJ4-2020

年我国大陆地区的氮沉降量会得到大幅度的减少. 方案二中到 2015 年氮沉降强度超过 $1.0 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 的面积以及氮沉降总量相比于方案一分别减少了 75.4% 和 27.7%; 11 个城市的平均氮沉降强度减少了 $0.3387 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$; 到 2020 年氮沉降强度超过 $1.0 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 的面积以及氮沉降总量相比于方案一分别减少了 77.9% 和 28.0%; 11 个城市的平均氮沉降强度减少了 $0.3614 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$, 具体模拟值见表 7. 图 19 为各模拟情景 11 个城市氮沉降强度对比, 图 20~23 为各模拟情景下我国大陆地区氮沉降分布. 可以看出, 火电实施新版标准有效地减轻了我国的氮沉降污染.

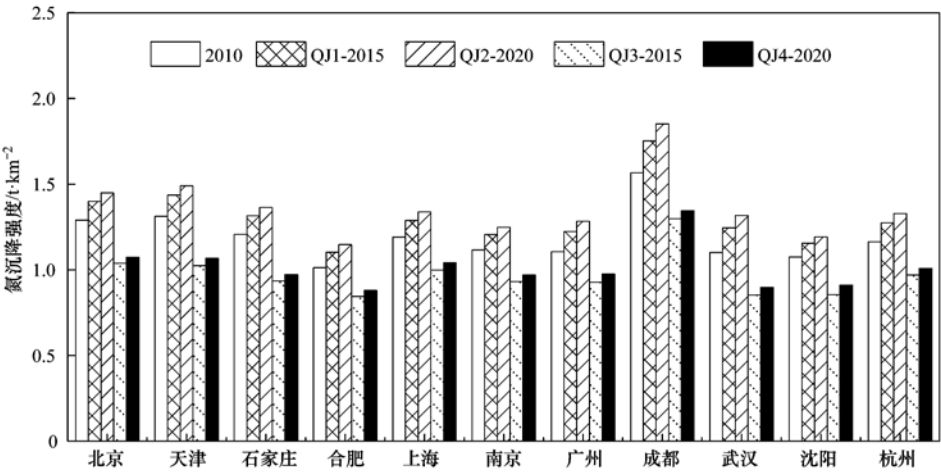


图 19 11 个城市在各模拟情景下的氮沉降强度对比

Fig. 19 Nitrogen deposition of 11 cities in prediction scenarios

表 7 各方案情景年氮沉降模拟值

情景	超过 $1.0 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 面积 $\times 10^4/\text{km}^2$	全国沉降总量 $\times 10^4/\text{t}$	11 个城市平均沉降强度 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$
2010	166.68	431.44	1.1950
QJ1-2015	198.04	480.57	1.3093
QJ2-2020	227.56	505.07	1.3646
QJ3-2015	41.04	347.40	0.9706
QJ4-2020	50.40	363.35	1.0032

3.5 硫沉降

本研究中将酸沉降模拟结果中的所有含硫物种中的硫元素质量之和作为硫沉降量. 相比于实施 2003 版标准, 火电实施新版标准后到情景年我国大陆地区的硫沉降量会明显减少. 方案二中到 2015 年硫沉降强度超过 $1.6 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 的面积以及硫沉降总量相比于方案一分别减少了 37.1% 和 15.6%, 11 个城市的平均硫沉降强度减少了 $0.2758 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$;

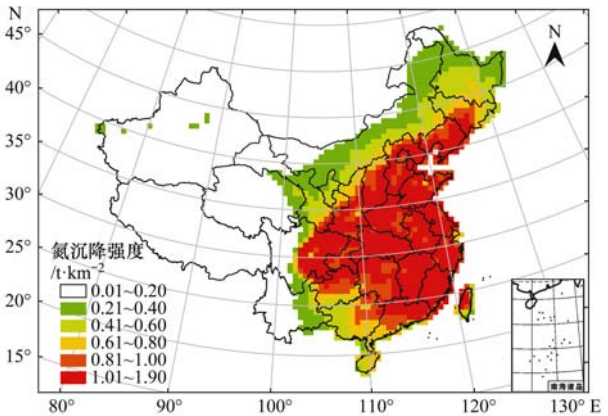


图 20 QJ1-2015 年中国大陆地区氮沉降模拟分布

Fig. 20 Predicted of nitrogen deposition in mainland China of QJ1-2015

到 2020 年硫沉降强度超过 $1.6 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 的面积以及硫沉降总量相比于方案一分别减少了 34.3% 和

15.5%, 11 个城市的平均硫沉降强度减少了 0.269 6 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$, 具体模拟值见表 8. 11 个城市中上海市的硫沉降强度降幅比较明显, 这是因为相对来说上海

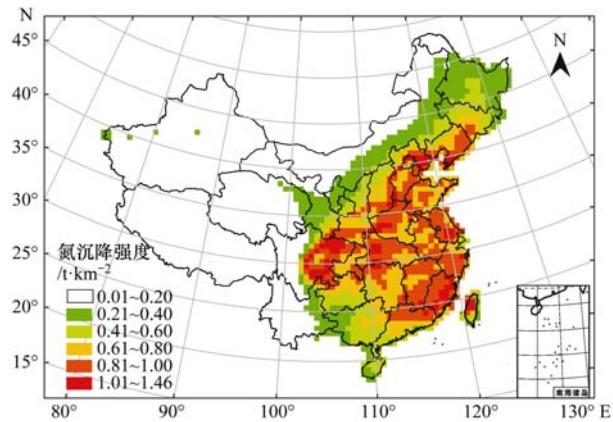


图 21 QJ3-2015 年中国大陆地区氮沉降模拟分布
Fig. 21 Predicted of nitrogen deposition in mainland China of QJ3-2015

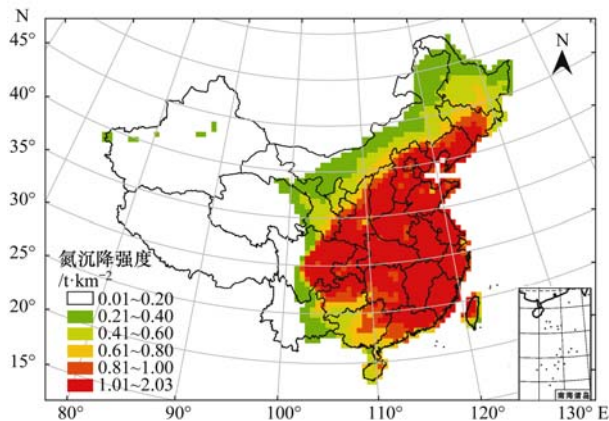


图 22 QJ2-2020 年中国大陆地区氮沉降模拟分布
Fig. 22 Predicted of nitrogen deposition in mainland China of QJ2-2020

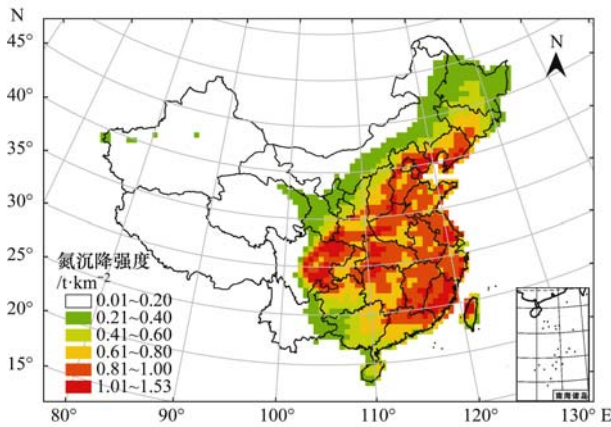


图 23 QJ4-2020 年中国大陆地区氮沉降模拟分布
Fig. 23 Predicted of nitrogen deposition in mainland China of QJ4-2020

市周边有较多的火电厂, 硫沉降量受火电厂排放的影响较大; 另一方面上海市的面积相对较小, 同样沉降量的变化导致的沉降强度的变化会更加明显. 图 24 为各模拟情景 11 个城市硫沉降强度对比, 图 25 ~ 28 为各模拟情景下我国大陆地区的硫沉降分布. 可以看出, 火电新版标准的实施对我国的硫沉降污染起到了较好的改善作用.

表 8 各方案情景年硫沉降模拟值			
Table 8 Simulated data of sulfur deposition in prediction scenarios			
情景	超过 $1.6 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}$ 面积 $\times 10^4/\text{km}^2$	全国沉降总量 $\times 10^4/\text{t}$	11 个城市平均沉降强度 $\text{t}\cdot\text{km}^{-2}$
2010	62.64	490.13	1.292 7
QJ1-2015	70.92	526.15	1.509 3
QJ2-2020	71.28	526.50	1.509 5
QJ3-2015	44.64	444.19	1.233 5
QJ4-2020	46.80	444.85	1.239 9

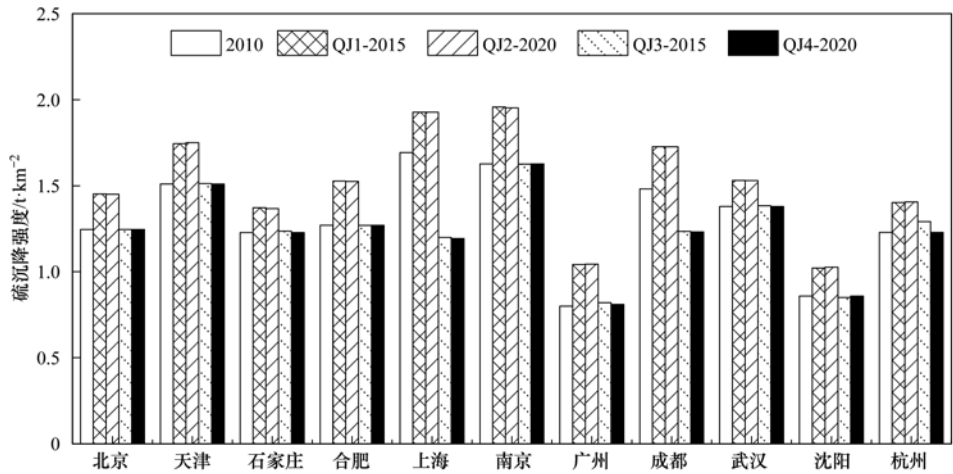


图 24 11 个城市在各模拟情景下的硫沉降强度对比
Fig. 24 Sulfur deposition of 11 cities in prediction scenarios

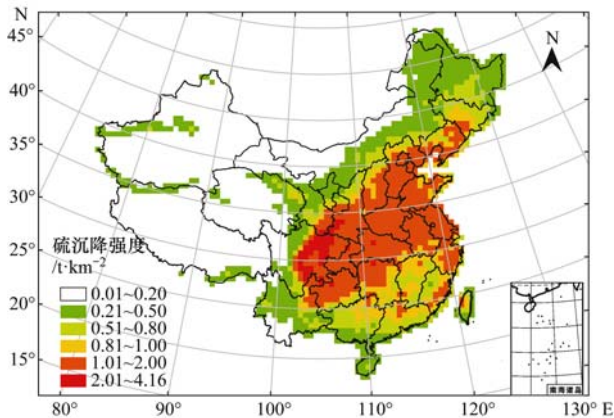


图 25 QJ1-2015 年中国大陆地区硫沉降模拟分布

Fig. 25 Predicted of sulfur deposition
in mainland China of QJ1-2015

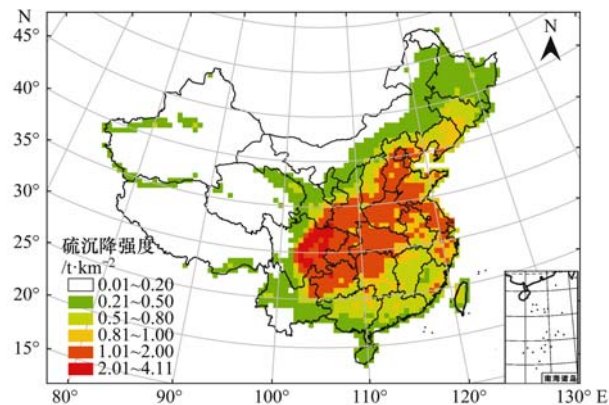


图 26 QJ3-2015 年中国大陆地区硫沉降模拟分布

Fig. 26 Predicted of sulfur deposition
in mainland China of QJ3-2015

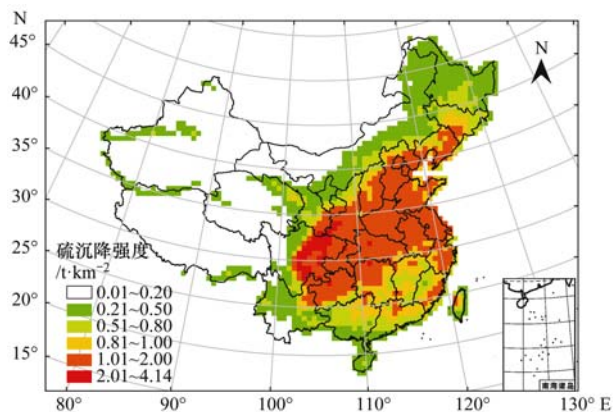


图 27 QJ2-2020 年中国大陆地区硫沉降模拟分布

Fig. 27 Predicted of sulfur deposition
in mainland China of QJ2-2020

4 结论

(1) 新版火电厂大气污染物排放标准能够有效减轻我国的 NO_x 和 SO_2 污染. 火电厂实施新版标

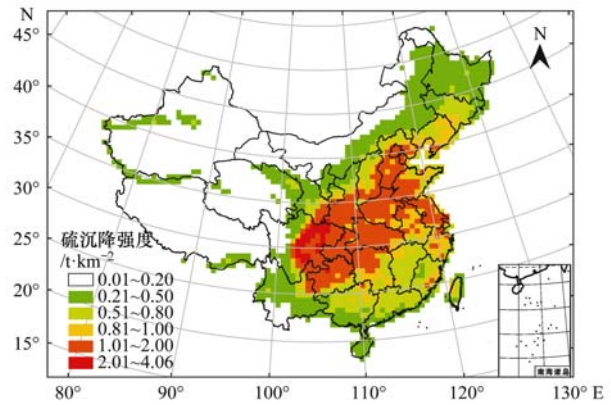


图 28 QJ4-2020 年中国大陆地区硫沉降模拟分布

Fig. 28 Predicted of sulfur deposition
in mainland China of QJ4-2020

准后到情景年 2015 年和 2020 年,我国大陆地区 NO_2 浓度超标面积相比火电实施 2003 版标准情景下的减幅分别为 53.9% 和 55.2%; SO_2 浓度超标面积的减幅均为 40.0%.

(2) 新版火电厂大气污染物排放标准能够显著地改善我国的酸沉降状况. 火电厂实施新版标准后到情景年 2020 年,我国大陆地区氮沉降强度超过 $1.0 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 的面积以及氮沉降总量相比火电实施 2003 版标准情景分别减少了 77.9% 和 28.0%; 硫沉降强度超过 $1.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2}$ 的面积以及硫沉降总量分别减少了 34.3% 和 15.5%.

(3) 火电厂实施新版标准后,我国整体空气质量状况得到了很大的改善,但仍存在区域性的 $\text{PM}_{2.5}$ 及 NO_x 污染,未来还需进一步加强其他工业源和机动车源的排放控制.

参考文献:

- [1] 燕中凯,滕静,张倩. 火电厂新标准对环保产业的拉动分析[J]. 环境保护, 2012, (9): 34-37.
- [2] 刘振亚. 中国电力行业年度报告: 2011[R]. 北京: 中国电力企业联合会, 2011. 48-54.
- [3] 程艳丽,李焜焜,白郁华,等. 珠江三角洲区域大气二次有机气溶胶的数值模拟[J]. 环境科学, 2009, 30(12): 3441-3447.
- [4] 第一次全国污染源普查公报[R]. 北京: 中华人民共和国环境保护部, 2010. 8-9.
- [5] 周宏,陈丽娟,米建华. 全国发电机组手册[M]. 北京: 国家电力监管委员会电力可靠性管理中心, 2012. 44-207.
- [6] Zhang Q, Streets D G, Carmichael G R, et al. Asian emissions in 2006 for the NASA INTEX-B mission[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2009, 9(14): 5131-5153.
- [7] Benkovitz C M, Scholtz M T, Pacyna J, et al. Global gridded inventories of anthropogenic emissions of sulfur and nitrogen[J]. Journal of Geophysical Research, 1996, 101(D22): 29239-

- 29253.
- [8] 池彦琪, 谢绍东. 基于蓄积量和产量的中国天然源 VOC 排放清单及时空分布[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012, **48**(3): 475-782.
- [9] Ohara T, Akimoto H, Kurokawa J, *et al.* An Asian emission inventory of anthropogenic emission sources for the period 1980-2020 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2007, **7**(16): 4419-4444.
- [10] 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.
- [11] Wei W, Wang S X, Chatani S, *et al.* Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, **42**(20): 4976-4988.
- [12] Klimont Z, Cofala J, Xing J, *et al.* Projections of SO₂, NO_x and carbonaceous aerosols emissions in Asia[J]. *Tellus B*, 2009, **61**(4): 602-617.
- [13] Lu Z, Streets D G, Zhang Q, *et al.* Sulfur dioxide emissions in China and sulfur trends in East Asia since 2000[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(13): 6311-6331.
- [14] 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 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2003, **108**(D21): 8809-8832.
- [15] Zhang Q, Streets D G, He K B, *et al.* NO_x emission trends for China, 1995-2004: The view from the ground and the view from space [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D22): D22306.
- [16] 《火电厂大气污染物排放标准》编制组. 《火电厂大气污染物排放标准》编制说明[R]. 北京: 中国环境科学研究院, 2011. 21-26.
- [17] 张金善, 钟中, 黄瑾. 中尺度大气模式 MM5 简介[J]. 海洋预报, 2005, **22**(1): 31-40.
- [18] 邓涛, 邓雪娇, 吴兑, 等. 珠三角灰霾数值预报模式与业务运行评估[J]. 气象科技进展, 2012, **2**(6): 38-44.
- [19] 李葳. NECP FNL 资料解码及数据格式转换[J]. 气象与减灾研究, 2011, **34**(1): 63-68.
- [20] Huang J P, Fung J C H, Lau A K H. Integrated processes analysis and systematic meteorological classification of ozone episodes in Hong Kong [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2006, **111**(D20): D20309.
- [21] 樊琦, 蒙伟光, 王雪梅, 等. 美国环保局第三代空气质量预报和评估系统[J]. 三峡环境与生态, 2003, **25**(11): 134-137.
- [22] Gery M W, Whitten G Z, Killus J P, *et al.* A photochemical kinetics mechanism for urban and regional scale computer modeling [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1989, **94**(D10): 12925-12956.
- [23] Jimenez P, Baldasano J M, Dabdub D. Comparison of photochemical mechanisms for air quality modeling [J]. *Atmospheric Environment*, 2003, **37**(30): 4179-4194.
- [24] 雷宇. 中国人为源颗粒物及关键化学组分的排放与控制研究[D]. 北京: 清华大学, 2008. 113.
- [25] 马建堂. 中国统计年鉴-2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011. 412.
- [26] Wang L T, Jang C, Zhang Y, *et al.* Assessment of air quality benefits from national air pollution control policies in China. Part II: Evaluation of air quality predictions and air quality benefits assessment [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(28): 3449-3457.
- [27] Smyth S C, Jiang W, Roth H, *et al.* A comparative performance evaluation of the AURAMS and CMAQ air-quality modeling systems [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(5): 1059-1070.
- [28] Eder B, Yu S C. A performance evaluations of the 2004 release of Models-3/CMAQ [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(26): 4811-4824.
- [29] Wang K, Zhang Y, Jang C, *et al.* Modeling intercontinental air pollution transport over the trans-Pacific region in 2001 using the Community Multiscale Air Quality modeling system [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2009, **114**(D4): D04307.
- [30] Liu X H, Zhang Y, Cheng S H, *et al.* Understanding of regional air pollution over China using CMAQ, part I performance evaluation and seasonal variation [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(20): 2415-2426.
- [31] Boylan J W, Russell A G. PM and light extinction model performance metrics, goals, and criteria for three-dimensional air quality models [J]. *Atmospheric Environment*, 2006, **40**(26): 4946-4959.
- [32] US EPA. Guidance on the Use of Models and Other Analyses for Demonstrating Attainment of Air Quality Goals for Ozone, PM_{2.5}, and Regional Haze [M]. North Carolina, US Environmental Protection Agency, 2005. 242-253.
- [33] 胡敏, 唐倩, 彭剑飞, 等. 我国大气颗粒物来源及特征分析[J]. 环境与可持续发展, 2011, **36**(5): 15-19.
- [34] 朱先磊, 张远航, 曾立民, 等. 北京市大气细颗粒物 PM_{2.5} 的来源研究[J]. 环境科学研究, 2005, **18**(5): 1-5.
- [35] 王淑兰, 柴发合, 张远航, 等. 成都市大气颗粒物污染特征及其来源分析[J]. 地理科学, 2004, **24**(4): 488-492.
- [36] 张楚莹, 王书肖, 赵瑜, 等. 中国人为源颗粒物排放现状与趋势分析[J]. 环境科学, 2009, **30**(7): 1881-1887.
- [37] 李新艳, 李恒鹏. 中国大气 NH₃ 和 NO_x 排放的时空分布特征[J]. 中国环境科学, 2012, **32**(1): 37-42.

CONTENTS

Concentration and Community Diversity of Microbes in Bioaerosols in the Qingdao Coastal Region	QI Jian-hua, WU Li-jing, GAO Dong-mei, <i>et al.</i> (801)
Carbon Source Apportionment of PM _{2.5} in Chongqing Based on Local Carbon Profiles	ZHANG Can, ZHOU Zhi-en, ZHAI Chong-zhi, <i>et al.</i> (810)
Observation of Atmospheric Pollutants in the Urban Area of Beibei District, Chongqing	XU Peng, HAO Qing-ju, JI Dong-sheng, <i>et al.</i> (820)
A Floating-Dust Case Study Based on the Vertical Distribution of Aerosol Optical Properties	WANG Yuan, DENG Jun-ying, SHI Lan-hong, <i>et al.</i> (830)
Analysis and Assessment of Atmospheric Pollution Based on Accumulation Characterization of Heavy Metals in <i>Platanus acerifolia</i> Leaves	LIU Ling, FANG Yan-ming, WANG Shun-chang, <i>et al.</i> (839)
Study on the Emission Characteristics and Potential Environment Hazards of the Heat-setting Machine of the Typical Dyeing and Finishing Enterprise	XU Zhi-rong, WANG Peng, WANG Zhe-ming, <i>et al.</i> (847)
Implementation Results of Emission Standards of Air Pollutants for Thermal Power Plants; a Numerical Simulation	WANG Zhan-shan, PAN Li-bo (853)
On Road Particle Emission Characteristics of a Chinese Phase IV Natural Gas Bus	LOU Di-ming, CHENG Wei, FENG Qian (864)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanols in Smoke from Rice and Maize Straw Combustion	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (870)
Diurnal and Seasonal Variations of Surface Atmospheric CO ₂ Concentration in the River Estuarine Marsh	ZHANG Lin-hai, TONG Chuan, ZENG Cong-sheng (879)
Partial Pressure and Diffusion Flux of Dissolved Carbon Dioxide in the Mainstream and Tributary of the Central Three Gorges Reservoir in Summer	LI Shuang, WANG Yu-chun, CAO Man, <i>et al.</i> (885)
Emission of CH ₄ , N ₂ O and NH ₃ from Vegetable Field Applied with Animal Manure Composts	WAN He-feng, ZHAO Chen-yang, ZHONG Jia, <i>et al.</i> (892)
Effects of Different Iron Oxides on Methane Emission in Paddy Soil as Related to Drying/Wetting Cycles	ZHANG Tian-jiao, TANG Jia, ZHUANG Li, <i>et al.</i> (901)
Study on the Dissolution Behavior of Biogenic Silica in the Changjiang Estuary Adjacent Sea	WU Bin, LÜ Wei-xiang, LU Chao, <i>et al.</i> (908)
Phytoplankton Community Structure and Assessment of Water Quality in the Middle and Lower Reaches of Fenhe River	WANG Ai-ai, FENG Jia, XIE Shu-lian (915)
Lake Algae Chemotaxonomy Technology Based on Fluorescence Excitation Emission Matrix and Parallel Factor Analysis	CHEN Xiao-na, HAN Xiu-rong, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (924)
Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in Soils and Sediments of Typical Water-Level Fluctuation Zones of Three Gorges Reservoir Areas	LI Lu-lu, JIANG Tao, YAN Jin-long, <i>et al.</i> (933)
Distribution of Phosphorus in Surface Sediments from the Yellow River Estuary Wetland	YU Zi-yang, DU Jun-tao, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (942)
Characteristics and Influencing Factors of Phosphorus Adsorption on Sediment in Lake Taihu and Lake Hulun	CHUAI Xiao-ming, YANG Liu-yan, CHENG Shu-bo, <i>et al.</i> (951)
Linking Optical Properties of Dissolved Organic Matter with NDMA Formation Potential in the Huangpu River	DONG Qian-qian, ZHANG Ai, LI Yong-mei, <i>et al.</i> (958)
Reductive Debromination of Polybrominated Diphenyl Ethers in Aquifer by Nano Zero-valent Iron; Debromination Kinetics and Pathway ...	YANG Yu-han, XU Wei-wei, PENG Si-kan, <i>et al.</i> (964)
Influencing Factors and Reaction Mechanism of Chloroacetic Acid Reduction by Cast Iron	TANG Shun, YANG Hong-wei, WANG Xiao-mao, <i>et al.</i> (972)
Effect of Phosphorus Recovery on Phosphorous Bioaccumulation/Harvesting in an Alternating Anaerobic/Aerobic Biofilter System	ZHANG Shun, TIAN Qing, TANG Man-lin, <i>et al.</i> (979)
Effects of Pretreatment Methods on Corncob as Carbon Source for Denitrification	ZHAO Wen-li, HAO Rui-xia, LI Bin, <i>et al.</i> (987)
Start-Up by Inoculation and Operation of a CANON Reactor with Haydite as the Carrier	FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, QIU Fu-guo (995)
Diversity of Operation Performance and Microbial Community Structures in MBRs and CAS Processes at Low Temperature	HUANG Fei, MEI Xiao-jie, WANG Zhi-wei, <i>et al.</i> (1002)
Enhanced Hydrolysis and Acidification of Waste Activated Sludge by Alkyl Polyglycosides	CHEN Can, SUN Xiu-yun, HUANG Cheng, <i>et al.</i> (1009)
Effect of Substrate Concentration on Pathogen Indicators Inactivation During Thermophilic Anaerobic Digestion	CAO Hong-qing, ZHANG Fei-fei, LI Jian, <i>et al.</i> (1016)
Pollution Evaluation and Health Risk Assessment of Heavy Metals from Atmospheric Deposition in Lanzhou	LI Ping, XUE Su-yin, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1021)
Ecological Risk Assessment of Organophosphorus Pesticides in Aquatic Ecosystems of Pearl River Estuary	GUO Qiang, TIAN Hui, MAO Xiao-xuan, <i>et al.</i> (1029)
Source Characteristics and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Surface Sediments of Haizhou Bay	LI Fei, XU Min (1035)
Health Risk Induced by Estrogens During Unplanned Indirect Potable Reuse of Reclaimed Water from Domestic Wastewater	WU Qian-yuan, SHAO Yi-ru, WANG Chao, <i>et al.</i> (1041)
Distribution Characteristics and Erosion Risk of Nitrogen and Phosphorus in Soils of Zhuangmu Town in Lake Wabuhu Basin	LI Ru-zhong, ZOU Yang, XU Jing-jing, <i>et al.</i> (1051)
Distribution and Risk Assessment of Mercury Species in Soil of the Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	ZHANG Cheng, CHEN Hong, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (1060)
Health Risk Assessment of Soil Heavy Metals in Residential Communities Built on Brownfields	CHEN Xing, MA Jian-hua, LI Xin-ning, <i>et al.</i> (1068)
Study on Ecological Risk Assessment Technology of Fluoride Pollution from Arid Oasis Soil	XUE Su-yin, LI Ping, WANG Sheng-li, <i>et al.</i> (1075)
Rainfall Process and Nitrogen Input in Three Typical Forests of Jinyun Mountain	SUN Su-qi, WANG Yu-jie, WANG Yun-qi, <i>et al.</i> (1081)
Effects of Land Use and Landscape Pattern on Nitrogen and Phosphorus Exports in Lanlingxi Watershed of the Three Gorges Reservoir Area, China	HAN Li-yang, HUANG Zhi-lin, XIAO Wen-fa, <i>et al.</i> (1091)
Changes and Influencing Factors of the Soil Organic Carbon in Farmland in the Last 30 Years on Hilly Loess Plateau; A Case Study in Zhuanglang County, Gansu Province	SHI Chen-di, XU Ming-xiang, QIU Yu-jie, <i>et al.</i> (1098)
Organic Carbon and Carbon Mineralization Characteristics in Nature Forestry Soil	YANG Tian, DAI Wei, AN Xiao-juan, <i>et al.</i> (1105)
Dynamic Change of Phosphorus Leaching of Neutral Purple Soil at Different Re-wetting Rate	ZHANG Si-lan, SHI Xiao-jun, GUO Tao (1111)
Effects of Thiourea on pH and Availability of Metal Ions in Acid Red Soil	YANG Bo, WANG Wen, ZENG Qing-ru, <i>et al.</i> (1119)
Growth Responses of Six Leguminous Plants Adaptable in Northern Shaanxi to Petroleum Contaminated Soil	SHAN Bao-qin, ZHANG Yong-tao, CAO Qiao-ling, <i>et al.</i> (1125)
Plant N Status in the Alpine Grassland of the Qinghai-Tibet Plateau; Base on the N:P Stoichiometry	ZHANG Ren-yi, XU Dang-hui, CHEN Ling-yun, <i>et al.</i> (1131)
Development and Succession of Artificial Biological Soil Crusts and Water Holding Characteristics of Topsoil	WU Li, CHEN Xiao-guo, ZHANG Gao-ke, <i>et al.</i> (1138)
Carbon Dioxide Assimilation Potential, Functional Gene Amount and RubisCO Activity of Autotrophic Microorganisms in Agricultural Soils	CHEN Xiao-juan, WU Xiao-hong, JIAN Yan, <i>et al.</i> (1144)
Dynamics of Microbes and Enzyme Activities During Litter Decomposition of <i>Pinus massoniana</i> Forest in Mid-subtropical Area	SONG Ying, GU Xi-rong, YAN Hai-yuan, <i>et al.</i> (1151)
Levels and Possible Sources of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Camphor (<i>Cinnamomum camphora</i>) Tree Bark from Southern Jiangsu, China	ZHOU Li, ZHANG Xiu-lan, YANG Wen-long, <i>et al.</i> (1159)
Combined Stress of Enhanced UV-B Radiation and 1,2,4-Trichlorobenzene Contamination on the Growth of Green Vegetable	LIU Cui-ying, FAN Jian-ling, XU Xiang-hua (1164)
Effect of Ectomycorrhizae on Heavy Metals Sequestration by Thermostable Protein in Rhizosphere of <i>Pinus tabulaeformis</i> Under Cu and Cd Stress	ZHANG Ying-wei, CHAI Li-wei, WANG Dong-wei, <i>et al.</i> (1169)
Isolation and Characterization of a Halotolerant <i>p</i> -nitroaniline Degrading Strain S8	SONG Cai-xia, DENG Xin-ping, LI Tian, <i>et al.</i> (1176)
Optimized Cultivation of a Bioflocculant M-C11 Produced by <i>Klebsiella pneumoniae</i> and Its Application in Sludge Dewatering	LIU Jie-wei, MA Jun-wei, LIU Yan-zhong, <i>et al.</i> (1183)
Speciation Analysis of Lead Losses from Anthropogenic Flow in China	LIANG Jing, MAO Jian-su (1191)
Establishment and Application of Pollutant Discharge-Environment Quality Model	LI Ming-sheng, SUN Yuan, CHEN Yuan-hang, <i>et al.</i> (1198)
Advances in the Pathway and Molecular Mechanism for the Biodegradation of Microcystins	YAN Hai, WANG Hua-sheng, LIU Xiao-lu, <i>et al.</i> (1205)

《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 汤鸿霄 陈吉宁 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)

2014年3月15日 35卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 3 Mar. 15, 2014

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: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行