

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第11期

Vol.35 No.11

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

南京北郊夏季近地层臭氧及其前体物体积分数变化特征	邵平, 安俊琳, 杨辉, 林旭, 吉东生 (4031)
亚青会期间南京污染气体与气溶胶中水溶性离子的分布特征	邹嘉南, 安俊琳, 王红磊, 邵平, 段卿, 薛国强, 庞博 (4044)
亚青会期间南京地区气溶胶浓度变化及其与能见度的关系	袁亮, 银燕, 李琦, 肖辉, 李力 (4052)
2013年10月长株潭城市群一次持续性空气污染过程特征分析	廖志恒, 范绍佳, 黄娟, 孙家仁 (4061)
在线单颗粒气溶胶质谱 SPAMS 对细颗粒物中主要组分提取方法的研究	付怀于, 闫才青, 郑玫, 蔡靖, 李小滢, 张延君, 周振, 傅忠, 李梅, 李磊, 张远航 (4070)
PM ₁₀ 可替代源成分谱的建立方法及其应用	陈强, 景毅, 吴焕波, 王芳 (4078)
夏季东海和南黄海一氧化氮的浓度分布、海-气通量和微生物消耗研究	王敬, 陆小兰, 杨桂朋, 徐冠球 (4085)
三峡库区典型农田小流域水体汞的时空分布特征	王娅, 赵铮, 木志坚, 王定勇 (4095)
浑太水系水体中不同粒径有机胶体荧光光谱特性	刘娜娜, 李斌, 刘瑞霞, 宋永会, 吴畏 (4103)
深圳湾流域 TN 和 TP 入海年通量变化规律研究	赵晨辰, 张世彦, 毛献忠 (4111)
滇池沉积物有机磷垂直分布特征及其生物有效性	熊强, 焦立新, 王圣瑞, 彭希琰 (4118)
金山湖闸坝型水体表层沉积物重金属分布特征及生态风险评价	周晓红, 刘龙梅, 陈曦, 陈志刚, 张金萍, 李义敏, 刘彪 (4127)
西藏普莫雍错湖芯沉积物中重金属的垂向分布特征及生态风险评估	谢婷, 罗东霞, 杨瑞强 (4135)
西安市雨水径流中重金属季节性污染特征及分析	袁宏林, 李星宇, 王晓昌 (4143)
城市不同下垫面降雨径流多环芳烃 (PAHs) 分布及源解析	武子澜, 杨毅, 刘敏, 陆敏, 于英鹏, 汪青, 郑鑫 (4148)
粗放型绿色屋面填料的介质组成对出水水质的影响	陈昱霖, 李田, 顾俊青 (4157)
饮用水处理中不同来源生物活性炭微生物群落多样性和结构研究	杜尔登, 郑璐, 冯欣欣, 高乃云 (4163)
压力强化混凝除藻工艺中藻毒素安全性研究	蒋新跃, 栾清, 丛海兵, 徐思涛, 刘玉娇, 朱学源 (4171)
基于膜特征参数变化的蛋白质超滤过程膜污染研究	王旭东, 张银辉, 王磊, 张慧慧, 夏四清 (4176)
臭氧氧化水溶液中对乙酰氨基酚的机制研究	曹飞, 袁守军, 张梦涛, 王伟, 胡真虎 (4185)
电辅助微生物反应器降解苯并噻唑效能的研究	刘春苗, 丁杰, 刘先树, 程旺斌 (4192)
铁铜复合氧化物纳米吸附剂的制备、表征及 As(Ⅲ) 吸附性能研究	张伟, 陈静, 张高生 (4198)
重金属铬胁迫下水蚯蚓的生理响应研究	楼菊青, 杨东叶, 曹永青, 孙培德, 郑平 (4205)
光质对蛋白核小球藻 (<i>Chlorella pyrenoidosa</i>) 生长特征及生化组成的影响研究	唐青青, 方治国, 嵇雯雯, 夏会龙 (4212)
常温低基质下碱度和溶解氧对厌氧氨氧化的影响	任玉辉, 王科, 李相昆, 马凯丽, 张杰 (4218)
Fe ²⁺ 和 Fe ³⁺ 对厌氧氨氧化污泥活性的影响	李祥, 黄勇, 巫川, 王孟可, 袁怡 (4224)
CSTR 中亚硝化颗粒污泥的变化过程研究	阴方芳, 刘文如, 王建芳, 吴鹏, 沈耀良 (4230)
盐度对好氧颗粒污泥硝化过程中 N ₂ O 产生量的影响	王珊珊, 梁红, 高大文 (4237)
硫酸盐还原反应器污泥驯化过程中微生物群落变化分析	曾国驱, 贾晓珊, 郑小红, 杨丽平, 孙国萍 (4244)
利用铅同位素方法量化不同端元源对南京土壤和长江下游悬浮物铅富集的影响	王成, 夏学齐, 张义, 廖启林, 杨忠芳, 季峻峰 (4251)
北京东南郊土壤剖面氟喹诺酮类抗生素分布特征	苏思慧, 何江涛, 杨蕾, 乔肖翠, 崔亚丰 (4257)
环境因素对土壤中几种典型四环素抗性基因形成的影响	张俊, 罗方园, 熊浩微, 焦少俊, 叶波平 (4267)
稻田土壤不同水分条件下硝化/反硝化作用及其功能微生物的变化特征	刘若萱, 贺纪正, 张丽梅 (4275)
典型岩溶土壤微生物丰度与多样性及其对碳循环的指示意义	靳振江, 汤华峰, 李敏, 黄炳富, 李强, 张家喻, 黎桂文 (4284)
变温环境对典型石灰土有机碳矿化的影响	王莲阁, 高岩红, 丁长欢, 慈恩, 谢德体 (4291)
铁氧化物与电子供体基质交互作用对红壤性水稻土中 DDT 还原脱氯影响	刘翠英, 徐向华, 王壮, 姚童言 (4298)
植物套种及化学强化对重金属污染土壤的持续修复效果研究	卫泽斌, 郭晓方, 吴启堂, 龙新宪 (4305)
不同取样尺度下亚高山草甸土壤呼吸的空间变异特征	李洪建, 高玉凤, 严俊霞, 李君剑 (4313)
不同开垦年限黑土温室气体排放规律研究	李平, 郎漫, 徐向华, 李煜珊, 朱淑娟 (4321)
转 Cry1Ac 基因抗虫棉与其亲本棉花根际真菌多样性的比较	潘建刚, 焦海华, 白志辉, 齐鸿雁, 马安周, 庄国强, 张洪勋 (4329)
天津污灌区内气态汞的污染特征及在叶菜类蔬菜中的富集	郑顺安, 韩允垒, 郑向群 (4338)
1-硝基芘和 1,2-萘醌的联合细胞毒性和致 DNA 损伤	尚羽, 蒋玉婷, 张玲, 李怡 (4345)
鸡粪堆肥有机物演化对重金属生物有效性影响研究	卜贵军, 于静, 邱慧慧, 罗世家, 周大寨, 肖强 (4352)
污泥预植重金属 Cu 炭化及炭中重金属的稳定性研究	窦晓敏, 陈德珍, 戴晓虎 (4359)
上层曝气式生物反应器填埋工艺特性的研究	田颖, 王坤, 徐期勇 (4365)
硝酸盐连续回灌对生物反应器填埋场 N ₂ O 产生的影响	卞荣星, 孙英杰, 李晶晶, 张欢欢 (4371)
中国碳强度下降和碳排放增长的行业贡献分解研究	蒋晶晶, 叶斌, 计军平, 马晓明 (4378)
泛长三角地区工业污染重心演变路径及其驱动机制研究	赵海霞, 蒋晓威, 崔建鑫 (4387)
基于污染防治技术模拟的造纸行业环境管理方法研究	张雪莹, 温宗国 (4395)
大气棕色碳的研究进展与方向	闫才青, 郑玫, 张远航 (4404)
《环境科学》征稿简则 (4094)	
《环境科学》征订启事 (4126)	
信息 (4243, 4266, 4274, 4328)	

亚青会期间南京污染气体与气溶胶中水溶性离子的分布特征

邹嘉南, 安俊琳*, 王红磊, 邵平, 段卿, 薛国强, 庞博

(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)

摘要: 使用 β 射线测尘仪、EMS 污染气体监测系统、安德森 9 级采样器和 IC 型离子色谱分析仪对 2013 年 8 月 10 ~ 28 日南京市亚青会期间 $PM_{2.5}$ 、污染气体和水溶性离子进行了观测分析. 结果表明, 在亚青会期间 $PM_{2.5}$ 、 NO_2 、 O_3 和 CO 的浓度分别为 37.0、19.3、48.1 和 $0.7 \times 10^3 \mu g \cdot m^{-3}$, 分别比亚青会前降低了 26.0%、42.6%、36.1% 和 46.1%. 亚青会期间, 细粒子段主要水溶性离子为 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} , 占 80.6%; 粗粒子段主要水溶性离子为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} , 占 77.9%. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^- 在亚青会期间为双峰型分布, 其余离子为三峰型分布; 亚青会前和后水溶性离子均为三峰型分布. 由 NO_3^-/SO_4^{2-} 的值判断亚青会前和后南京市 SO_2 和 NO_x 主要来自于移动源, 在亚青会期间主要来自固定源.

关键词: 气溶胶; $PM_{2.5}$; 污染气体; 水溶性离子; 亚青会

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)11-4044-08 DOI: 10.13227/j.hjks.2014.11.002

Distribution Characteristics of Pollution Gases and Water Soluble Ion in Aerosol During the Asian Youth Games of Nanjing, China

ZOU Jia-nan, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, SHAO Ping, DUAN Qing, XUE Guo-qiang, PANG Bo

(Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Water soluble ions were observed by an Andersen cascade impactor (Andersen) and ion chromatography in Nanjing during the Asian Youth Games (AYG), and $PM_{2.5}$, NO , NO_2 , O_3 and CO were observed by ray β dust instrument, EMS pollution gases monitoring system. Concentrations of $PM_{2.5}$, NO_2 , O_3 and CO, were 37.0, 19.3, 48.1 and $0.7 \times 10^3 \mu g \cdot m^{-3}$ during the AYG period, 26.0%, 42.6%, 36.1% and 46.1% lower than the value before the AYG period. During the AYG period, the main water-soluble ions in $PM_{2.1}$ were Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} and SO_4^{2-} , accounting for 80.6%; the main water-soluble ions in $PM_{2.1-10}$ were Na^+ , Ca^{2+} , NO_3^- and SO_4^{2-} , accounting for 77.9%. The spectral distribution of Ca^{2+} , Mg^{2+} and NO_3^- were bimodal during the AYG period, other ions were three models. Before and after the AYG period, all ions were three models. From NO_3^-/SO_4^{2-} , we can judge SO_2 and NO_x mainly come from the mobile source before and after the AYG period, from stationary sources during the AYG period.

Key words: aerosol; $PM_{2.5}$; pollution gases; water soluble ion; Asian Youth Games

近年来, 大气环境污染问题日益突出, 其中大气复合型污染的特征表现为以气溶胶和臭氧为核心的区域性污染, 以及气溶胶中硫酸盐、硝酸盐和铵盐等二次组分问题^[1]. 其中大气气溶胶已成为城市环境污染的首要污染物之一^[2,3], 而气溶胶粒子的产生又与气体分子有着密切的关系. 水溶性离子是大气气溶胶的重要化学组分, 其对大气光学、地气辐射等会产生直接或间接的影响^[4,5]. 因此研究大气气溶胶中所含水溶性离子的组成及其分布特征, 对于判断气溶胶的来源及减少其对人类的影响有着十分重要的意义.

近年来, 一些学者对我国主要城市, 如北京^[6]、南京^[7]、广州^[8]等地的气溶胶污染特征展开了深入的研究. 刘新春等^[9]和黄怡民等^[10]发现, 不同的天气条件对大气中 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 等水溶

性离子的浓度和谱分布具有明显影响. 在北京奥运会期间, 调控措施使得 $PM_{2.5}$ 中水溶性离子浓度有明显降低, 一次无机离子受源排放变化的影响程度更加明显^[11~13]. 2010 年广州亚运会期间, 高值时段 NO_x 和 O_3 平均体积分数较 2009 年同期有明显下降, 表明减排限行等空气质量保障措施取得一定成效^[14,15]. 这都说明气象条件和人为因素的变化都会对当地气溶胶理化特性产生一系列的影响^[16~19].

南京市位于长江下游中部, 北连江淮平原, 东接长江三角洲, 是我国东部重要城市之一. 同时以南

收稿日期: 2014-04-02; 修订日期: 2014-06-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41305135); 中国科学院战略先导科技专项(B类)(XDB05020206); 江苏省江苏高校优势学科建设工程项目(PAPD)

作者简介: 邹嘉南(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境与大气化学, E-mail: jiananzou@126.com

* 通讯联系人, E-mail: junlinan@nuist.edu.cn

京为典型代表的长三角地区,也是目前我国大气污染最严重的区域之一。研究表明,近年来南京地区的霾日数和细颗粒物浓度呈上升趋势^[20~22]。本研究在2013年8月10~28日,江苏省南京市举办第二届亚洲青年运动会期间(亚青会),在夏季气象背景和人为影响排放源的影响下,对南京市大气气溶胶中PM_{2.5}、污染气体和水溶性离子进行了采样,分析了该时段气溶胶中PM_{2.5}、污染气体和水溶性离子的浓度变化规律及水溶性离子的粒径谱分布等特征,以期对南京市大气气溶胶粒子的化学特性、来源解析及长三角雾霾等方面的研究提供帮助。

1 材料与方法

1.1 观测点和实验实施

采样点位于南京信息工程大学气象楼楼顶(32°207'N, 118°717'E),海拔高度62 m。其偏东方位500 m是宁六路,双向六车道;东南方位约900 m是南京龙王山风景区,海拔约为100 m。观测点及周边环境详见图1。常规气象资料数据来源于南京信息工程大学校内中国气象局综合观测培训实习基地。

β射线测尘仪、EMS污染气体监测系统和安德森9级撞击式采样器采样时间为2013年8月10~28日。8月10~15日定义为亚青会前,8月16~24日定义为亚青会期间,8月25~28日定义为亚青会后。其中β射线测尘仪的时间分辨率为30 min,EMS污染气体监测系统为5 min,安德森采样器为23 h(09:00~次日08:00)。亚青会期间,南京市制定了《环境质量保障临时管控措施》,共有15家企业实施不同程度的限产,41家企业全部或部分停

产,限产停产企业涉及扬子石化、南钢、梅钢、南京卷烟厂等大型企业。在比赛期间对不符合环保标准的社会车辆,尤其是黄标车实行限行措施。

1.2 仪器与分析方法

污染气体监测仪器为美国Thermo Scientific公司生产的EMS系统(包括42i化学发光NO-NO₂-NO_x分析仪、49i紫外发光O₃分析仪、48i红外吸收法CO分析仪)。NO和NO₂分析仪的最低检测限0.5 μg·m⁻³,零漂<0.5 μg·(m³·d)⁻¹,跨漂:±1.0%·d⁻¹。O₃分析仪的最低检测限3.9 μg·m⁻³,零漂<0.4%·d⁻¹,跨漂:±1.0%·d⁻¹。CO分析仪的最低检测限46.0 μg·m⁻³,零漂<115.0 μg·(m³·d)⁻¹,跨漂:±1.0%·d⁻¹。仪器的原理及详细介绍参见文献[23]。PM_{2.5}观测仪器为美国热电公司生产的FH62C14型β射线测尘仪,仪器采用C-14密封发射源来感知堆积在移动滤带上的尘粒,时间分辨率为0.5 h。仪器的原理及详细介绍参见文献[24]。

大气气溶胶膜采样使用美国热电公司生产的Andersen型9级撞击采样器,采样流量为28.3 L·min⁻¹,粒径范围分别为9.0~10.0、5.8~9.0、4.7~5.8、3.3~4.7、2.1~3.3、1.1~2.1、0.65~1.1、0.43~0.65和0.0~0.43 μm。采样膜使用Whatman公司石英滤膜(英国),采样前在马弗炉中以800℃焙烧5 h,冷却至室温后放入恒温恒湿箱中平衡24 h,用十万分之一的精密电子天平称重后放入冰箱中低温保存。采样后将采样膜放入恒温恒湿箱中24 h,称重后同样将样品低温保存在冰箱中等待分析。将采样后的滤膜取1/2,剪碎,置于15 mL的PET瓶中,加入10 mL去离子水。超声处理1 h,超声后振荡1 h,静置24 h。用注射器取静置后样品约7 mL上层清液,用0.22 μm微孔水系滤头过滤后分析。实验用水均使用Million Q仪器超滤至电阻率达18.2 MΩ·cm的超纯水。

水溶性离子使用瑞士万通公司850professional IC型离子色谱分析仪。检测出10种水溶性无机离子,分别为:Na⁺、NH₄⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、NO₃⁻和SO₄²⁻。阴、阳离子分离柱型号分别为Supp5-150和Metrosep C4-150。阳淋洗液为1.7 mmol·L⁻¹的HNO₃溶液和0.7 mmol·L⁻¹吡啶二羧酸水溶液。阴淋洗液为3.2 mmol·L⁻¹的Na₂CO₃溶液和1.0 mmol·L⁻¹的NaHCO₃溶液。流速:1.0 mL·min⁻¹,进样体积:20 μL。仪器原理详见文献



图1 观测点的地理位置示意

Fig. 1 Location of the observation site

[25].

2 结果与讨论

2.1 气象背景介绍

由香港天文台 (<http://gb.weather.gov.hk/contentc.htm>) 公布的天气图显示观测期间南京主要受副热带高压影响,天气形势比较稳定. 南京地区 8 月 10~18 日和 8 月 25~28 日多处于均压场; 8 月 18~24 日受到潭美台风外围影响,南京主要受低压

控制,期间并出现短时阵雨天气. 由图 2 可知 8 月 10~18 日以偏南风为主,平均风速为 $1.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 8 月 18 日之后以偏东风为主,平均风速为 $2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 观测期温度较高,平均为 30.4°C , 8 月 18 日后由于台风“潭美”过境造成温度略有下降,平均温度比 8 月 18 日之前降低了 4.2°C . 观测期间相对湿度较高,平均为 65.0%. 能见度平均为 8.8 km, AQI 在 8 月 10~13 日较高,主要污染物为 O_3 ,之后 AQI 均较低,8 月 21 日仅为 51,且主要污染物主要为 PM_{10} .

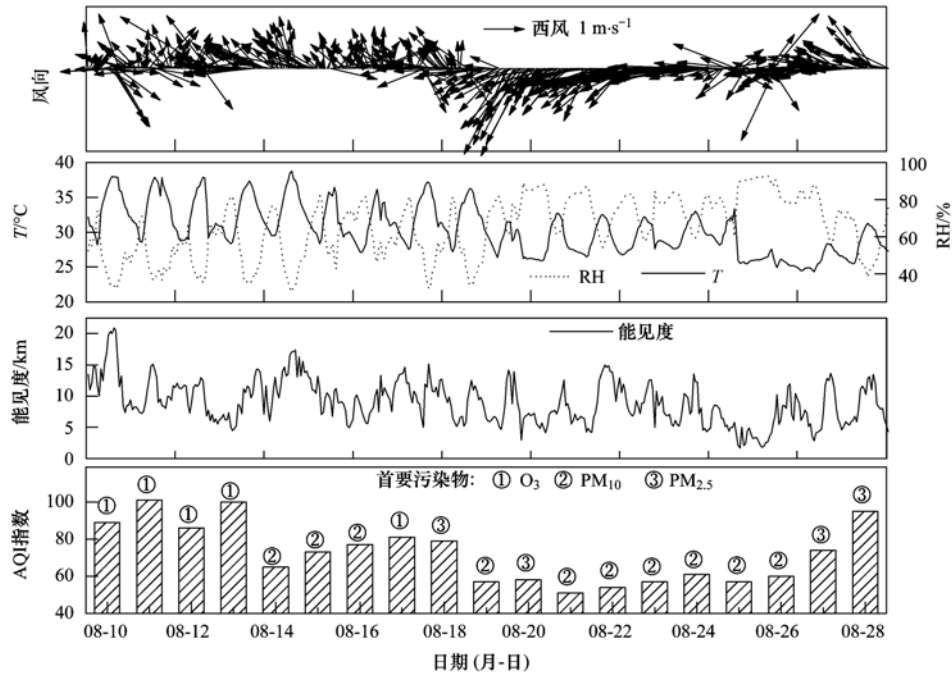


图 2 气象要素及 AQI 随时间变化
Fig. 2 Time variation of meteorological and AQI

2.2 $\text{PM}_{2.5}$ 与污染气体污染特征

由表 1 可知观测期间 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO 、 NO_2 、 O_3 和 CO 的平均浓度分别为 41.0 、 3.4 、 13.4 、 28.9 和 $0.9 \times 10^3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. $\text{PM}_{2.5}$ 在亚青会期间的浓度为 $37.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,比亚青会前降低了 26.0%,但是亚青会后其浓度又升高了 10.8%. O_3 在亚青会前平均浓度为 $75.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,而在亚青会期间下降了

36.1%,在观测期间有 5 d 为主要污染物. NO 的浓度在亚青会期间只上升了 5%. NO_2 在亚青会期间平均浓度为 $19.3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,比亚青会前降低了 42.6%,受人为调控的影响较大. CO 的浓度在亚青会期间处于较低值 $0.7 \times 10^3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,比亚青会前降低了 46.1%. 这主要受到亚青会期间的污染调控措施和台风过境的影响.

表 1 $\text{PM}_{2.5}$ 及主要气体数据
Table 1 Data of $\text{PM}_{2.5}$ and the main gas

项目	最大值	最小值	中位数	平均值	标准偏差	前期	期间	后期
$\text{PM}_{2.5}/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	97.0	4.0	40.0	41.0	16.0	50.0	37.0	41.0
$\text{NO}/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	27.3	0.4	1.7	3.4	4.0	4.0	4.2	— ¹⁾
$\text{NO}_2/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	50.8	1.7	11.7	13.4	8.3	33.6	19.3	—
$\text{O}_3/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	163.8	0.2	17.7	28.9	29.1	75.3	48.1	47.7
$\text{CO}\times 10^3/\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	7.5	0.1	0.5	0.9	0.9	1.3	0.7	1.3

1) “—”表示缺测

由图 3 可知观测期间 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度多在 $80.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以下, 均符合国家二级标准 (24 h 均值 $< 75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 由表 1 可知 $\text{PM}_{2.5}$ 最大值为 $97.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 但是由图 3 可发现观测期间 $\text{PM}_{2.5}$ 的时间变化较明显, 亚青会前浓度较高, 亚青会期间浓度最低, 亚青会后浓度略有升高. 这与辛金元等^[26]在北京奥运会期间, CO 、 O_3 、 SO_2 和 NO_2 的变化规律相类似. 污染气

体的变化与 $\text{PM}_{2.5}$ 的变化基本一致, 原因已在上文表述. 由图 3 可发现亚青会前 O_3 的浓度较高, 由表 1 可知平均浓度为 $75.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 但最大浓度高达 $163.8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 存在明显的日变化特征. 但是由图 2 可发现该期间能见度较高, 平均为 10.8 km . 反映出在污染减排过程中既要关注对能见度影响较大的颗粒物污染, 也应该关注高浓度的气态污染物污染.

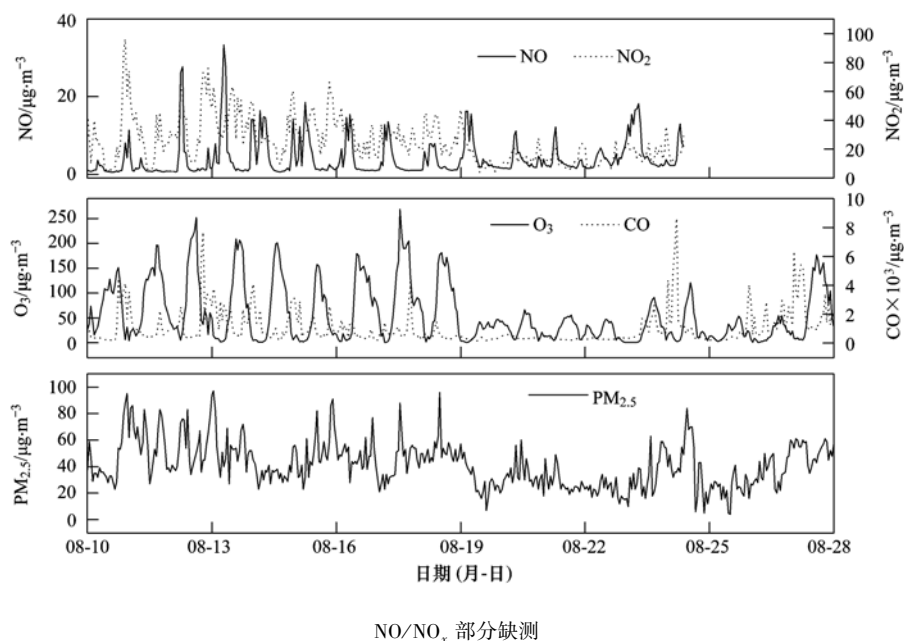


图 3 $\text{PM}_{2.5}$ 和污染气体时间变化

Fig. 3 Time variation of $\text{PM}_{2.5}$ and the main gas

图 4 给出了 $\text{PM}_{2.5}$ 和污染气体的亚青会前、期间、后的日变化特征, 从中可发现污染气体在亚青会前、期间、后的日变化特征基本一致, 仅浓度存在差异. NO 为单峰型分布, 峰值出现在 07:00, 峰值约为 $11 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. NO_2 在夜间出现单峰, 在亚青会期间夜间浓度明显下降. NO_2 在白天光化学反应消耗后, 在 14:00 左右出现最低值, 约为 $12 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. O_3 为单峰型分布, 亚青会期间的峰值出现在 13:00, 早于亚青会前、后约 1 h. CO 在夜间的浓度高于白天, 亚青会期间在 05:00 出现最大值. 由图 4 可发现 $\text{PM}_{2.5}$ 的日变化特征比较复杂, 亚青会期间 10:00 ~ 15:00 浓度较高, 远大于亚青会前和后该时间段浓度.

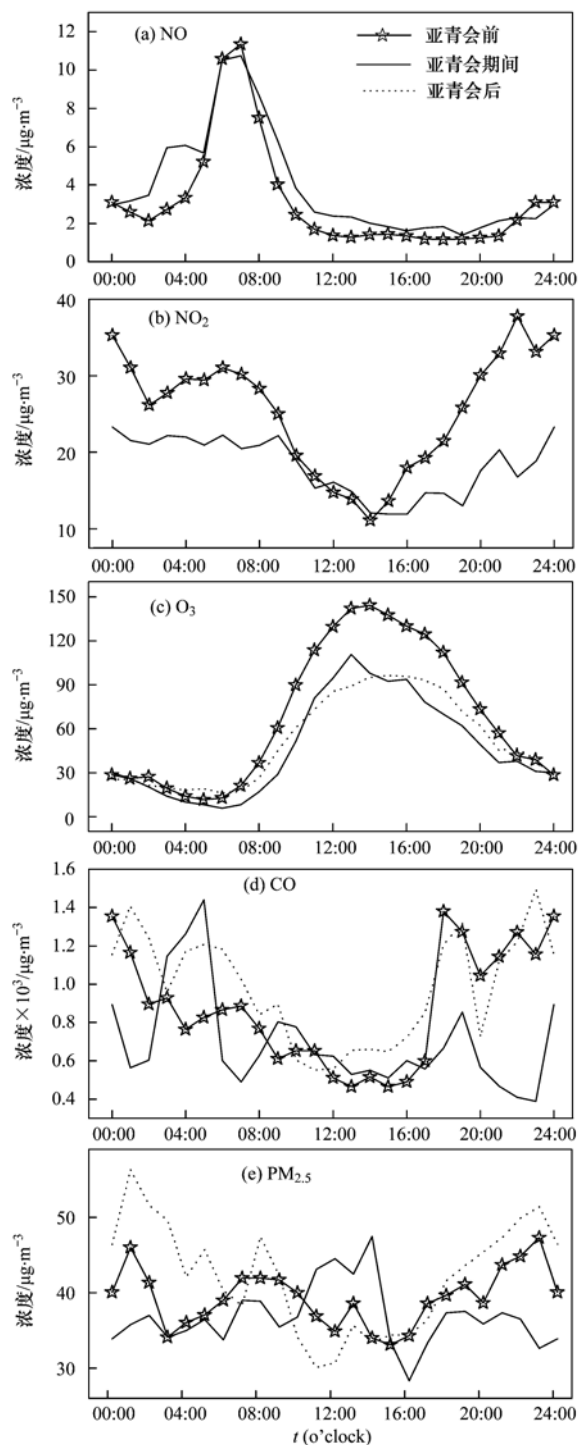
2.3 水溶性离子的变化特征

2.3.1 水溶性离子的浓度变化

本研究中将 $D_p < 2.1 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.1}$) 的粒子定义为细粒子, $2.1 \mu\text{m} < D_p < 10 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.1-10}$) 的粒子定义为粗粒子. 文中“2010 夏”数据为 2010 年 7 ~ 9 月在该观测点的观测数据^[27].

由图 5(a)可知, 亚青会期间细粒子段水溶性离子浓度比亚青会前增加了 $13.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 其中 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 浓度分别升高了 4.4、1.8、4.4 和 $2.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 达到 5.6、4.7、9.7 和 $7.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 这与天气条件和本地排放源的变化有关. 由图 5(b)可发现, 亚青会前的细粒子段主要成分为 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} , 分别占 14.3%、26.8% 和 26.7%; 亚青会期间为 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} , 分别占 16.4%、13.7%、28.8% 和 21.7%; 亚青会后为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} , 分别占 13.1%、24.0%、14.5% 和 22.5%. 可以发现, 亚青会期间 NH_4^+ 、 SO_4^{2-} 和 Ca^{2+} 的百分含量变化不大; 而 Na^+ 占水溶性离子浓度由亚青会前 5.7% 增加到亚青会期间 16.4%, 这与海洋性气流和本地排放源有关^[28].

由图 5(c)可知, 亚青会前、期间、会后粗粒子段水溶性离子浓度分别为 28.3、35.0 和 $36.4 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 比 2010 年夏季的 $26.7 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 分别上升 6.0%、31.1% 和 26.6%. 由图 5(d)可知, 亚青会

图4 $\text{PM}_{2.5}$ 和主要气体日变化Fig. 4 Daily variation of $\text{PM}_{2.5}$ and the main gas

前的粗粒子段主要成分为 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} , 分别占 55.9%、7.6%、15.1% 和 8.5%; 亚青会期间为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} , 分别占 14.4%、36.9%、9.6% 和 17%; 亚青会后也为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} , 分别占 9.9%、41.0%、11.0% 和 16.7%。 NO_3^- 、 Ca^{2+} 在亚青会期间所占比

例比亚青会前下降了 36.3%、33.9%, 这与人为控制交通、建筑等排放源的变化有关。 K^+ 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 在不同粒径段内浓度变化不大。

由图 5 可知 2010 年夏季水溶性离子中 SO_4^{2-} 浓度最大, 在粗、细离子中分别为 $14.1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $11.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 占粗、细离子水溶性离子浓度的 66.7%、69.7%, 而观测期间 SO_4^{2-} 的浓度分别仅为 $6.0 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $9.6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 仅占粗、细离子水溶性离子浓度的 17.0%、24.6%。 SO_4^{2-} 主要来自二次气溶胶, 观测期间由于污染减排措施使得污染物浓度显著降低。

2.3.2 水溶性离子的谱分布特征

由图 6 中可知, Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 的谱分布在亚青会前、期间、会后峰型和峰值所在位置均一致, 离子谱分布呈三峰型, 峰值分别位于 $0.43 \sim 0.65$ 、 $4.7 \sim 5.8$ 和 $9.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 。 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 NO_3^- 在亚青会前和后呈三峰型分布, 峰值分别位于 $0.43 \sim 0.65$ 、 $3.3 \sim 4.7$ 和 $9.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$, 而在亚青会期间谱分布呈双峰型分布, 峰值位于 $0.43 \sim 0.65 \mu\text{m}$ 和 $9.0 \sim 10.0 \mu\text{m}$ 。 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 主要来源于建筑和土壤扬尘, NO_3^- 主要来源于工业和交通排放, 峰型的变化说明人为调控排放源对粗粒径离子分布影响较大。

2.3.3 二次气溶胶离子 SO_4^{2-} 和 NO_3^-

SO_4^{2-} 和 NO_3^- 是大气溶胶中两种非常重要的二次水溶性离子, 其浓度取决于大气中 SO_2 和 NO_x 的含量及其在大气中的转化速率和当地的气象条件。 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的比值可用于定性分析移动源和固定源对颗粒物浓度的相对贡献大小。若气溶胶中 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的比值较高, 说明机动车对大气中 SO_2 和 NO_x 的贡献较大; 若 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的比值较低, 则说明 SO_2 和 NO_x 主要来自于煤燃烧等工业排放^[29,30]。我国城市 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的值一般为 $0.3 \sim 0.5$ ^[31]。如图 7(a) 所示, 在粗粒子段的 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 在亚青会前较高, 平均值为 1.80, 最大值出现在 8 月 15 日为 2.2, 均高于 2010 年夏季 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的值, 说明观测期间主要受移动源的影响。在亚青会期间该比值显著降低, 平均值为 0.60, 这比 2010 年夏季 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的 0.99 降低了 39.4%, 说明亚青会期间由于限行措施使得移动源的贡献降低。但是在 8 月 23 日 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的值高达 1.2, 由图 2 可发现在 8 月 23 日 NO_x 、 O_3 和 CO 的浓度较高, 平均浓度分别为 25.2 、 52.6 和 $0.98 \times 10^3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 远高于其在亚青会期间

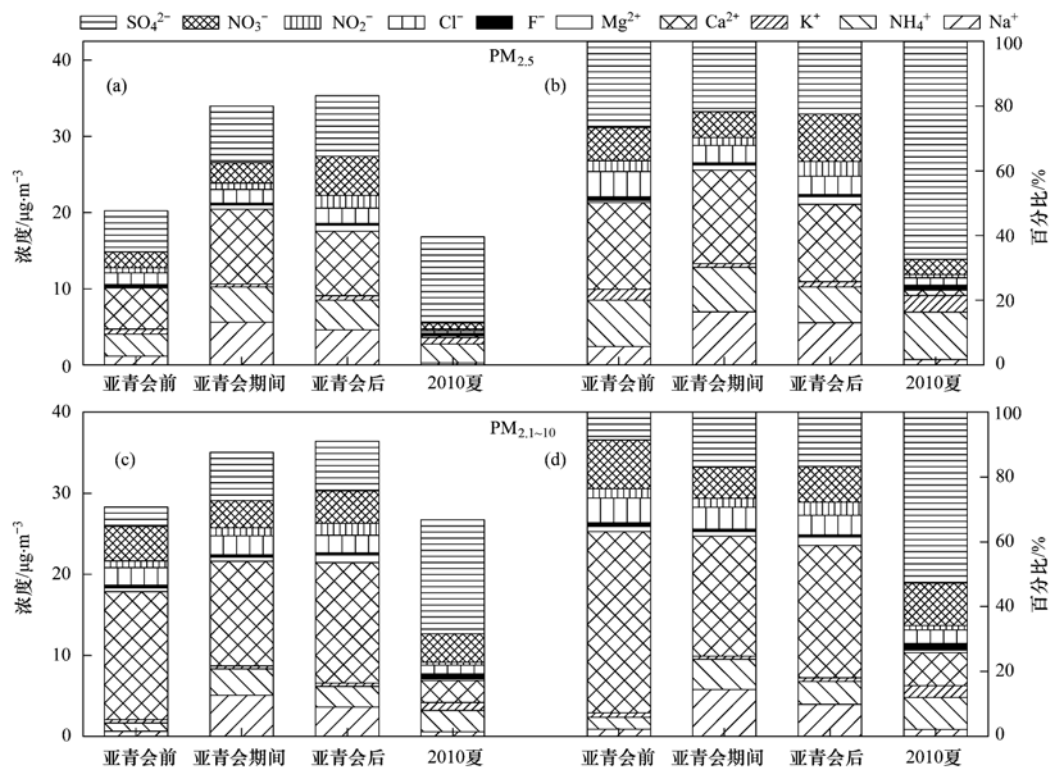


图5 不同粒径段内各水溶性离子浓度和百分比随时间变化

Fig. 5 Concentration and percentage of the water soluble ion in different sizes with time changes

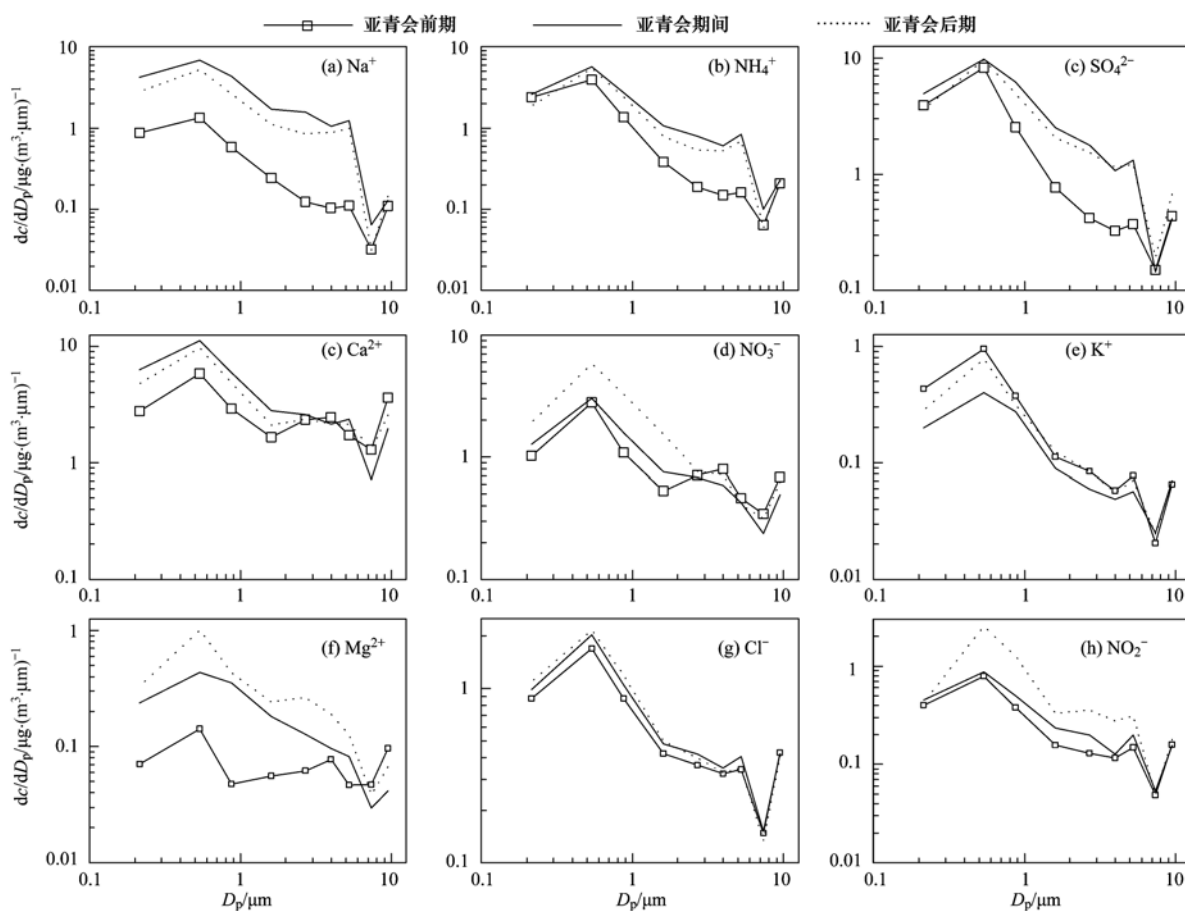


图6 各离子粒径谱分布

Fig. 6 Spectrum distributions of ions

的浓度,高健等^[32]发现, NO_x 和 CO 的主要来自交通排放,所以 8 月 23 日 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的高值可能主要与交通排放有关. 在亚青会后又明显升高,平均值为 0.75,说明随着亚青会结束后限行措施取消,移动源的贡献又变大.

如图 7(b)所示,细粒子段 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 值的变化

与粗粒子段相似,在亚青会前和后较高,平均值分别为 0.38 和 0.67,分别是 2010 年夏季的 5.5 倍和 9.7 倍;亚青会期间较低,平均值为 0.29,是 2010 年夏季的 4.2 倍,说明近年来移动源贡献有所增加,但亚青会期间受人为调控影响,移动源贡献有明显降低.

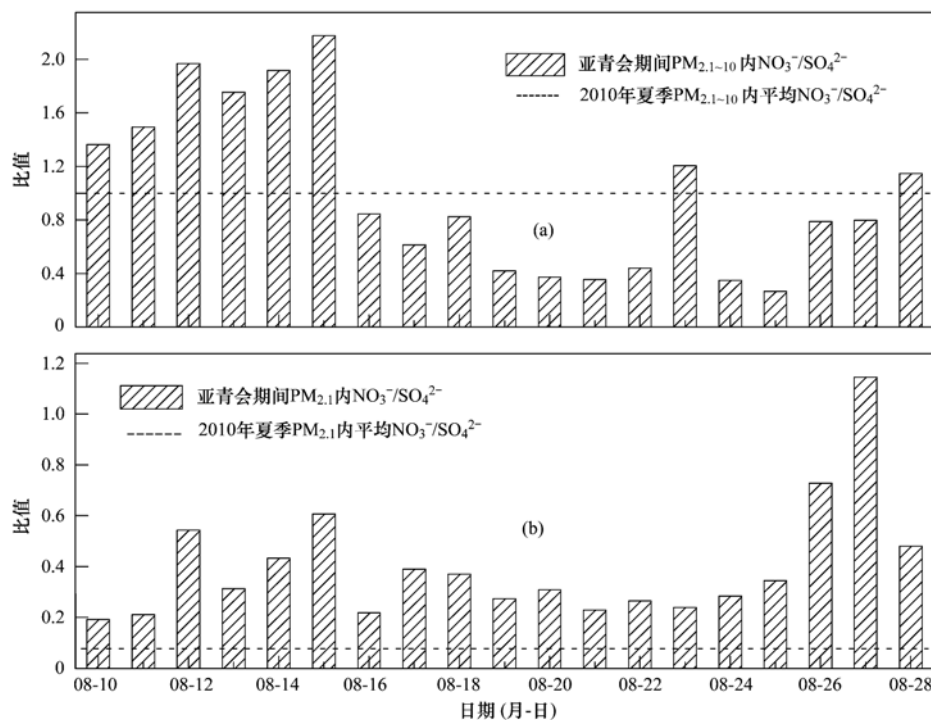


图 7 $\text{PM}_{2.1-10}$ 和 PM_{10} 中 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 比值的时间变化

Fig. 7 Time variation of NO_3^- and SO_4^{2-} ratio ions in $\text{PM}_{2.1-10}$ and PM_{10}

3 结论

(1)在亚青会期间 $\text{PM}_{2.5}$ 、 NO_2 、 O_3 和 CO 的浓度分别为 37.0、19.3、48.1 和 $0.7 \times 10^3 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 分别比亚青会前降低了 26.0%、42.6%、36.1% 和 46.1%, 其中 $\text{PM}_{2.5}$ 在亚青会后浓度又升高了 10.8%. $\text{PM}_{2.5}$ 、污染气体在亚青会前、期间、会后的日变化特征基本一致,仅浓度存在差异.

(2)亚青会期间, Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 和 SO_4^{2-} 为细粒子段水溶性离子的主要成分,分别占 16.4%、13.7%、28.8% 和 21.7%;粗粒子段水溶性离子的主要成分为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} , 分别占 14.4%、36.9%、9.6% 和 17%;水溶性离子浓度在不同粒径段与 2010 年夏季平均相比均上升.

(3) Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Cl^- 、 NO_2^- 和 SO_4^{2-} 的谱分布在亚青会前、期间、会后峰型和峰值所在位置均一致,离子谱分布呈三峰型. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 NO_3^-

在亚青会前和会后呈三峰型分布,而在亚青会期间谱分布呈双峰型分布.

(4)粗粒子段中 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的值在亚青会前、期间和会后分别为 1.80、0.60、0.75,细粒子段中 $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ 的值在亚青会前、期间和会后分别为 0.38、0.67、0.29. 在亚青会前和后南京市 SO_2 和 NO_x 主要来自于移动源,在亚青会期间主要来自固定源.

参考文献:

- [1] 唐静玥,曾立民,胡敏,等. 利用气体-气溶胶在线测量技术研究乌鲁木齐颗粒物水溶性组分与气体污染[J]. 环境科学学报, 2009, 29(11): 2250-2258.
- [2] Eyring V, Isaksen I S A, Bernsten T, et al. Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping [J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(37): 4735-4771.
- [3] Dua H H, Kong L D, Cheng T T, et al. Insights into summertime haze pollution events over Shanghai based on online water-soluble ionic composition of aerosols [J]. Atmospheric Environment, 2011, 45(29): 5131-5137.

- [4] Pósfai M, Buseck P R. Nature and climate effects of individual tropospheric aerosol particles[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2010, **38**(1): 17-43.
- [5] Putaud J P, Dingenen R V, Alastuey A, *et al.* A European aerosol phenomenology-3 Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe[J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(10): 308-1320.
- [6] 王开燕, 王雪梅, 张仁健, 等. 气象条件对北京北郊冬季气溶胶污染的影响[J]. *过程工程学报*, 2006, **6**(22): 70-74.
- [7] 安俊琳, 朱彬, 李用宇. 南京北郊大气 VOCs 体积分数变化特征[J]. *环境科学*, 2013, **34**(12): 4504-4512.
- [8] Zhang G H, Bi X H, Chan L Y, *et al.* Size-segregated chemical characteristics of aerosol during haze in an urban area of the Pearl River Delta region, China[J]. *Urban Climate*, 2013, **4**: 74-84.
- [9] 刘新春, 钟玉婷, 何清, 等. 乌鲁木齐市不同天气条件下 TSP 水溶性离子特征分析[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2012, **6**(5): 60-66.
- [10] 黄怡民, 刘子锐, 陈宏, 等. 北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征[J]. *环境科学*, 2013, **34**(4): 1236-1244.
- [11] Tian Q W, Brimblecombe P. Managing air in Olympic cities[J]. *American Journal of Environmental Sciences*, 2008, **4**(5): 439-444.
- [12] 刘辉, 贺克斌, 马永亮, 等. 2008 年奥运前后北京城、郊 PM_{2.5} 及其水溶性离子变化特征[J]. *环境科学学报*, 2011, **31**(1): 177-185.
- [13] 郭照冰, 包春晓, 陈天蕾, 等. 北京奥运期间气溶胶中水溶性无机离子浓度特征及来源解析[J]. *大气科学学报*, 2011, **34**(6): 683-687.
- [14] 蒋德海, 吴兑, 邓雪娇, 等. 2010 年广州亚运限行减排对大气环境的影响[J]. *热带气象学报*, 2012, **28**(4): 527-532.
- [15] 吴兑, 廖碧婷, 吴晟, 等. 2010 年广州亚运会期间灰霾天气分析[J]. *环境科学学报*, 2012, **32**(3): 521-527.
- [16] Kumar A, Sarin M M. Atmospheric water-soluble constituents in fine and coarse mode aerosols from high-altitude site in western India: Long-range transport and seasonal variability [J]. *Atmospheric Environment*, 2010, **44**(10): 1245-1254.
- [17] Zhao J P, Zhang F W, Xu Y, *et al.* Characterization of water-soluble inorganic ions in size-segregated aerosols in coastal city, Xiamen[J]. *Atmospheric Research*, 2011, **99**(3-4): 546-562.
- [18] 陶俊, 柴发合, 高健, 等. 16 届亚运会期间广州城区 PM_{2.5} 化学组分特征及其对霾天气的影响[J]. *环境科学*, 2013, **34**(2): 409-415.
- [19] Wang H B, Shooter D. Water soluble ions of atmospheric aerosols in three New Zealand cities: seasonal changes and sources[J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(34): 6031-6040.
- [20] 康汉青, 朱彬, 樊曙先. 南京北郊冬季大气气溶胶及其湿清除特征研究[J]. *气候与环境研究*, 2009, **14**(5): 523-530.
- [21] Zhu B, Wang H L, Shen L J. Aerosol spectra and new particle formation observed in various seasons in Nanjing[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2013, **30**(6): 1632-1644.
- [22] 刘晓慧, 朱彬, 王红磊, 等. 长江三角洲地区 1980 ~ 2009 年灰霾分布特征及影响因子[J]. *中国环境科学*, 2013, **33**(11): 1929-1936.
- [23] 李用宇, 朱彬, 安俊琳, 等. 南京北郊秋季 VOCs 及其光化学特征观测研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(8): 2933-2942.
- [24] 王红磊, 朱彬, 沈利娟, 等. 春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征[J]. *环境科学*, 2014, **35**(2): 442-450.
- [25] 张秋晨, 朱彬, 苏继峰, 等. 南京 3 类不同大气污染过程下气溶胶水溶性无机离子的特征研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(6): 1944-1951.
- [26] 辛金元, 王跃思, 唐贵谦, 等. 2008 年奥运期间北京及周边地区大气污染物消减变化[J]. *科学通报*, 2010, **55**(15): 1510-1519.
- [27] 薛国强, 朱彬, 王红磊. 南京市大气颗粒物中水溶性离子的粒径分布和来源解析[J]. *环境科学*, 2014, **35**(5): 1633-1643.
- [28] 文彬, 银燕, 秦彦硕, 等. 2009 年夏季黄山云雾水化学特征及来源分析[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(12): 2113-2122.
- [29] Wang H B, Shooter D. Coarse-fine and day-night differences of water-soluble ions in atmospheric aerosols collected in Christchurch and Auckland, New Zealand [J]. *Atmospheric Environment*, 2002, **36**(21): 3519-3529.
- [30] Sun Y L, Zhuang G S, Wang Y, *et al.* The air-borne particulate pollution in Beijing-concentration, composition, distribution and sources[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, **38**(35): 5991-6004.
- [31] 银燕, 童尧青, 魏玉香, 等. 南京市大气细颗粒物化学成分分析[J]. *大气科学学报*, 2009, **32**(6): 723-733.
- [32] 高健, 王进, 程淑会, 等. 济南夏季大气颗粒物粒径分布特征及来源机理分析[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2007, **24**(5): 680-687.

CONTENTS

Variation Characteristics of Surface Ozone and Its Precursors During Summertime in Nanjing Northern Suburb	SHAO Ping, AN Jun-lin, YANG Hui, <i>et al.</i> (4031)
Distribution Characteristics of Pollution Gases and Water Soluble Ion in Aerosol During the Asian Youth Games of Nanjing, China	ZOU Jia-nan, AN Jun-lin, WANG Hong-lei, <i>et al.</i> (4044)
Aerosol Concentration Variation in Nanjing During Asian Youth Games and the Relationship Between Aerosol Concentration and Visibility	YUAN Liang, YIN Yan, LI Qi, <i>et al.</i> (4052)
Characteristic Analysis of a Multi-day Pollution Event in Chang-Zhu-Tan Metropolitan Area During October 2013	LIAO Zhi-heng, FAN Shao-jia, HUANG Juan, <i>et al.</i> (4061)
Application of On-line Single Particle Aerosol Mass Spectrometry (SPAMS) for Studying Major Components in Fine Particulate Matter	FU Huai-yu, YAN Cai-qing, ZHENG Mei, <i>et al.</i> (4070)
Establishment and Application of Replaceable Source Profiles of PM ₁₀	CHEN Qiang, JING Yi, WU Huan-bo, <i>et al.</i> (4078)
Distribution, Flux and Biological Consumption of Carbon Monoxide in the East China Sea and the South Yellow Sea in Summer	WANG Jing, LU Xiao-lan, YANG Gui-peng, <i>et al.</i> (4085)
Spatial and Temporal Distribution of Mercury in Water of a Small Typical Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Ya, ZHAO Zheng, MU Zhi-jian, <i>et al.</i> (4095)
Fluorescence Characteristics of Fractionated Colloidal Organic Matter in Freshwater from Hunhe and Taizihe Watersheds	LIU Na-na, LI Bin, LIU Rui-xia, <i>et al.</i> (4103)
Variations of Annual Load of TN and TP in the Deep Bay Watershed, Shenzhen	ZHAO Chen-chen, ZHANG Shi-yan, MAO Xian-zhong (4111)
Characteristics and Bioavailability of Organic Phosphorus from Different Sources of Sediments in Dianchi Lake	XIONG Qiang, JIAO Li-xing, WANG Sheng-rui, <i>et al.</i> (4118)
Heavy Metals Distribution Characteristics and Ecological Risk Evaluation in Surface Sediments of Dammed Jinshan Lake	ZHOU Xiao-hong, LIU Long-mei, CHEN Xi, <i>et al.</i> (4127)
Vertical Distribution Pattern and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in a Sediment Core from Pumoyum Co, Tibet	XIE Ting, LUO Dong-xia, YANG Rui-qiang (4135)
Heavy Metals Pollution and Analysis of Seasonal Variation Runoff in Xi'an	YUAN Hong-lin, LI Xing-yu, WANG Xiao-chang (4143)
Distribution and Source Apportionment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Urban Rainfall Runoff	WU Zi-lan, YANG Yi, LIU Min, <i>et al.</i> (4148)
Influence of the Substrate Composition in Extensive Green Roof on the Effluent Quality	CHEN Yu-lin, LI Tian, GU Jun-qing (4157)
Investigation of the Microbial Diversity and Structure of Biological Activated Carbon from Different Sources in Drinking Water Treatment Process	DU Er-deng, ZHENG Lu, FENG Xin-xin, <i>et al.</i> (4163)
Microcystin Safety Study During <i>Cyanobacteria</i> Removal by Pressure Enhanced Coagulation Process	JIANG Xin-yue, LUAN Qing, CONG Hai-bing, <i>et al.</i> (4171)
Membrane Fouling Based on Change of Membrane Characteristic Parameters During Ultrafiltration of Protein	WANG Xu-dong, ZHANG Yin-hui, WANG Lei, <i>et al.</i> (4176)
Impact Factors and Degradation Mechanism for the Ozonation of Acetaminophen in Aqueous Solution	CAO Fei, YUAN Shou-jun, ZHANG Meng-tao, <i>et al.</i> (4185)
Degradation of Benzothiazole in Electro-Assisted Microbial Reactor	LIU Chun-miao, DING Jie, LIU Xian-shu, <i>et al.</i> (4192)
Preparation and Evaluation of Fe-La Composite Oxide Nanoabsorbent for As(III) Removal from Aqueous Solutions	ZHANG Wei, CHEN Jing, ZHANG Gao-sheng (4198)
Physiological Responses of Tubificidae to Heavy Metal Chromium Stress	LOU Ju-qing, YANG Dong-ye, CAO Yong-qing, <i>et al.</i> (4205)
Effects of Light Quality on the Growth Characteristics and Biochemical Component of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	TANG Qing-qing, FANG Zhi-guo, JI Wen-wen, <i>et al.</i> (4212)
Influence of Alkalinity and DO on ANAMMOX Bioreactor at Normal Temperature and Low Substrate Concentration	REN Yu-hui, WANG Ke, LI Xiang-kun, <i>et al.</i> (4218)
Effect of Fe ²⁺ and Fe ³⁺ on the Activity of ANAMMOX	LI Xiang, HUANG Yong, WU Chuan, <i>et al.</i> (4224)
Research on Change Process of Nitrosation Granular Sludge in Continuous Stirred-Tank Reactor	YIN Fang-fang, LIU Wen-ru, WANG Jian-fang, <i>et al.</i> (4230)
Effects of Salinity on N ₂ O Production During Nitrification Using Aerobic Granular Sludge	WANG Shan-shan, LIANG Hong, GAO Da-wen (4237)
Analysis of Microbial Community Variation in the Domestication Process of Sludge in a Sulfate-reducing Reactor	ZENG Guo-qu, JIA Xiao-shan, ZHENG Xiao-hong, <i>et al.</i> (4244)
Quantifying the Influence of Different Matrices on Pb Accumulation in the Soil from Nanjing and Suspended Matter from the Lower of the Yangtze River with Pb Isotopic Technique	WANG Cheng, XIA Xue-qi, ZHANG Yi, <i>et al.</i> (4251)
Contamination Characteristics of Fluoroquinolones in Different Kinds of Soil Profiles in Southeast Suburb of Beijing	SU Si-hui, HE Jiang-tao, YANG Lei, <i>et al.</i> (4257)
Effect of Environmental Factors on the Formation of Several Typical Tetracycline Resistance Genes in Soil	ZHANG Jun, LUO Fang-yuan, XIONG Hao-hui, <i>et al.</i> (4267)
Response of Nitrification/Denitrification and Their Associated Microbes to Soil Moisture Change in Paddy Soil	LIU Ruo-xuan, HE Ji-zheng, ZHANG Li-mei (4275)
Microbial Community Abundance and Diversity in Typical Karst Ecosystem to Indicate Soil Carbon Cycle	JIN Zhen-jiang, TANG Hua-feng, LI Min, <i>et al.</i> (4284)
Effects of Variable Temperature on Organic Carbon Mineralization in Typical Limestone Soils	WANG Lian-ge, GAO Yan-hong, DING Chang-huan, <i>et al.</i> (4291)
Influence of the Interaction Between Iron Oxide and Electron Donor Substances on 1,1,1-Trichloro-2,2-bis(<i>p</i> -chlorophenyl)ethane (DDT) Reductive Dechlorination in Hydragic Acrisols	LIU Cui-ying, XU Xiang-hua, WANG Zhuang, <i>et al.</i> (4298)
Continuous Remediation of Heavy Metal Contaminated Soil by Co-Cropping System Enhanced with Chelator	WEI Ze-bin, GUO Xiao-fang, WU Qi-tang, <i>et al.</i> (4305)
Spatial Heterogeneity of Soil Respiration in a Subalpine Meadow at Different Sampling Scales	LI Hong-jian, GAO Yu-feng, YAN Jun-xia, <i>et al.</i> (4313)
Study on Regularity of Greenhouse Gas Emissions from Black Soil with Different Reclamation Years	LI Ping, LANG Man, XU Xiang-hua, <i>et al.</i> (4321)
Comparison Between Transgenic Insect-Resistant Cotton Expressing CryI _{Ac} Protein and Its Parental Variety in Rhizospheric Fungal Diversity	PAN Jian-gang, JIAO Hai-hua, BAI Zhi-hui, <i>et al.</i> (4329)
Concentrations of Mercury in Ambient Air in Wastewater Irrigated Area of Tianjin City and Its Accumulation in Leafy Vegetables	ZHENG Shun-an, HAN Yun-lei, ZHENG Xiang-qun (4338)
Combined Effects of 1-Nitropyrene and 1,2-Naphthoquinone on Cytotoxicity and DNA Damage in A549 Cells	SHANG Yu, JIANG Yu-ting, ZHANG Ling, <i>et al.</i> (4345)
Influence of Organic Matter Evolution During Composting on the Bioavailability of Heavy Metals	BU Gui-jun, YU Jing, DI Hui-hui, <i>et al.</i> (4352)
Carbonization of Heavy Metal Cu Implanted Sewage Sludge and Stability of Heavy Metal in the Resulting Char	DOU Xiao-min, CHEN De-zhen, DAI Xiao-hu (4359)
Technological Characteristics of Bioreactor Landfill with Aeration in the Upper Layer	TIAN Ying, WANG Shen, XU Qi-yong (4365)
Impact of Nitrate Continuous Injection on N ₂ O Releases from Bioreactor Landfill	BIAN Rong-xing, SUN Ying-jie, LI Jing-jing, <i>et al.</i> (4371)
Research on Contribution Decomposition by Industry to China's Carbon Intensity Reduction and Carbon Emission Growth	JIANG Jing-jing, YE Bin, JI Jun-ping, <i>et al.</i> (4378)
Shifting Path of Industrial Pollution Gravity Centers and Its Driving Mechanism in Pan-Yangtze River Delta	ZHAO Hai-xia, JIANG Xiao-wei, CUI Jian-xin (4387)
Method for Environmental Management in Paper Industry Based on Pollution Control Technology Simulation	ZHANG Xue-ying, WEN Zong-guo (4395)
Research Progress and Direction of Atmospheric Brown Carbon	YAN Cai-qing, ZHENG Mei, ZHANG Yuan-hang (4404)

《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11月15日 第35卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 11 Nov. 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