

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究 陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)

天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究 王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)

兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究 赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)

不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征 杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)

南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析 王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)

西北干旱区降水中 $\delta^{18}O$ 变化特征及其水汽输送 李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雷宁(711)

海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化 曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)

大辽河口痕量元素砷的河口混合行为 简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)

渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价 徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)

青岛近岸表层海水中PAHs的分布特征及物源初步解析 李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)

广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降 孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)

上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别 董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)

溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用 王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)

地下水污染风险评估中特征污染物量化方法探讨 王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)

用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究 高滢滢,张薛,赵璇,赵刚(777)

菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响 邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)

南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响 胡和兵,刘红玉,郝敬锋,安静(794)

上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征 王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)

不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化 何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)

新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究 何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)

改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制 李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)

卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究 江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)

芽孢杆菌B1胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究 李蕾,赵玲,尹平河(838)

底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究 储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)

新型无极准分子光源深度处理水相中含N-杂环化合物 叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)

La/Ce掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究 郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)

DTT对三苯基甲烷染料脱色的研究 潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)

pH及络合剂对亚铁活化 $S_2O_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究 张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)

臭氧降解高浓度腐殖酸动力学 郑可,周少奇,杨梅梅(879)

采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制 李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)

活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系 李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)

不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究 周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)

颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响 李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)

氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较 郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)

生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响 朱海凤,周立祥,王电站(916)

2种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物研究 钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锬(922)

微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响 范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)

干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征 贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)

密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究 王淑芳,王效科,欧阳志云(946)

外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响 莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)

低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用 姚佳佳,康福星,高彦征(958)

液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响 吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)

基于PPI的土地利用优化研究 武晓峰,李婷(971)

若尔盖高原湿地藻类多样性研究 陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)

3种杀真菌剂对AM真菌侵染和黄芩生长的影响 贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)

崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征 郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)

厌氧条件下2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解 卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)

重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响 熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)

有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究 林玉珍,曾光明,张娉,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)

高效木薯渣分解复合菌群RXS的构建及其发酵特性研究 何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)

四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征 童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)

上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究 陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刘,孔垂雪(1033)

《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)

南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析

王红磊, 朱彬*, 沈利娟, 康汉青, 刁一伟

(南京信息工程大学中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室, 南京 210044)

摘要: 研究了南京市夏季大气气溶胶数浓度的基本特征和气溶胶新粒子生成事件的形成条件及其影响因子. 应用宽范围颗粒粒径谱仪 (WPS) 和双光路差分吸收光谱仪 (DOAS) 对南京市 2010 年 7 月大气气溶胶数浓度谱分布和污染气体 (O_3 , SO_2 和 NO_2) 进行了观测, 并结合气象要素观测数据和后向轨迹模式模拟, 探讨了南京市夏季大气气溶胶新粒子生成的条件及其影响因子. 结果表明, 南京市夏季 10~500nm 气溶胶平均数浓度为 $1.7 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$, 与北美和欧洲的一些典型城市观测值相近; 10~25 nm 气溶胶粒子数浓度占总数浓度的比例为 25%. 观测期间共出现 6 次新粒子生成事件, 通过分析发现比较稳定的风速风向、较强的太阳辐射有利于南京夏季新粒子的形成. 南京夏季新粒子生成事件的相对湿度条件在 50%~70%, 通过后向轨迹模式模拟的结果发现偏东风或偏南风带来的海洋性洁净气团有利于新粒子的生成. 南京夏季新粒子生成事件发生时, 10~25 nm 气溶胶数浓度与 SO_2 的浓度呈正相关, 与 O_3 的浓度呈负相关, 而与 NO_2 的浓度相关性较差.

关键词: 新粒子生成; 大气气溶胶; 数浓度; 表面积浓度; 后向轨迹; 污染气体; 南京

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0701-10

Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010

WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, KANG Han-qing, DIAO Yi-wei

(Key Laboratory for Atmospheric Physics and Atmospheric Environment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Feature of aerosol particle number concentration, condition and impact factor of new particle formation (NPF) were investigated in Nanjing during summer. In this study, aerosol particle number concentration and gaseous pollutants (O_3 , SO_2 and NO_2) measurements were carried out by Wide-Range Particle Spectrometer (WPS) and Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS) in July 2010. Combining with observations from Automatic Weather Station and Backward Trajectory Simulation, the condition and impact factor of NPF were discussed. Results showed that the averaged 10-500 nm particle number concentration was $1.7 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$, similar to some typical observation values in North American and Europe; the 10-25 nm particle number concentration accounted for 25% of the total number concentration. Six NPF events occurred during observation. We analyzed that stable wind speed and direction, strong solar radiation promoted the NPF. The humidity during NPF event varied from 50% to 70%. Results indicated that clean ocean air mass brought from easterly and southerly wind promoted the NPF by Backward Trajectory Model Simulation. During the NPF event, the 10-25 nm particle number concentration positively correlated with the concentration of SO_2 , and negatively correlated with O_3 , whereas poorly correlated with NO_2 .

Key words: new particle formation; aerosol; number concentration; surface area concentration; back trajectory; pollutant gas; Nanjing

大气气溶胶粒子可以通过直接和间接辐射效应改变全球的气候^[1~3], 还可导致灰霾等天气现象从而影响大气能见度^[4,5], 还会携带有害物质或者成为病毒传播的媒介等而影响人体健康^[6,7]. 如果想要充分了解气溶胶粒子的这些影响, 需要对气溶胶粒子如何进入大气层且在被干、湿沉降去除之前又是如何转化的进行详尽的研究^[8]. 气溶胶新粒子的形成及其随后的增长过程是这方面研究的关键. 新粒子生成事件是指核模态颗粒物数浓度急剧增加并持续增长的现象. 新粒子生成事件是大气中过饱和蒸汽(如硫酸蒸汽)成核形成分子簇(最初生成的颗粒物), 并通过凝结与碰并等增长到可观测的颗粒物的现象^[9~12]. 目前文献报道的新粒子生成事件期间颗粒物的粒径主要是 3~25 nm^[13~17].

新粒子生成事件在全球范围内普遍存在, 并且通常会在较大范围内区域性发生^[13~26]. 到目前为止, 在极地地区^[18,19]、森林^[15,20,21]、城市^[22,23]、乡村^[24,25]、沿海^[26]等地区都观测到大量的新粒子生成事件. 以往的新粒子观测研究主要集中在十分洁净的大气环境中, 例如自由对流层, 尤其是在云附近和接近对流层顶的位置^[27~29]. 近年来, 对城市大气环

收稿日期: 2011-06-15; 修订日期: 2011-07-13

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2009CB426313); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY2008060011-1); 教育部博士点基金项目(20093228110003); 江苏省高校自然科学基金计划项目(10KJB610008); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 王红磊(1988~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为大气环境与大气化学, E-mail: hongleiwang_2009@163.com

* 通讯联系人, E-mail: binzhu@nuist.edu.cn

境中新粒子的形成开展了大量的观测研究^[30~36],但是这些观测研究主要集中在发达国家的一些城市. 近期在一些发展中国家的超大城市,如新德里、墨西哥、北京等城市也相继观测到了新粒子生成事件^[37~40]. 这些观测结果表明,在污染相对严重的城市大气中通过均相成核也可以发生新粒子事件,但在城市地区新粒子生成的条件相对清洁地区要更加复杂. 因此,在城市地区尤其是污染相对严重的城市还需开展更多的观测研究,以揭示在复合污染的环境中粒子是如何形成并增长的.

南京作为长江三角洲重要的综合性工业生产基地和交通枢纽,近年来城市化和工业化发展迅速,且位于长江岸边,是中国南方城市的典型代表. 南京在近几十年对大气气溶胶及其前体污染气体进行了大量的观测研究^[41~44],然而至今还几乎没有对气溶胶粒子的形成机制进行比较系统的研究. 在2010年夏天笔者对南京大气气溶胶粒子的数谱分布及其污染气体进行了观测,这是一个对中国城市群区域空气污染特征研究的一部分. 本研究通过对气溶胶粒子的数谱分布数据、前体污染气体数据以及相关的气象观测数据的分析,得到南京市夏季大气气溶胶数浓度的基本特征与大气气溶胶新粒子均相成核过程的条件及其随后增长过程的基本特征,研究结论可为气溶胶粒子核化机制和增长机制的研究提供依据.

1 材料与方 法

1.1 观测仪器和分析方法

观测仪器使用美国 MSP 公司生产的宽范围颗

粒粒径谱仪(WPS),测量直径在 $0.01 \sim 10 \mu\text{m}$ 之间的气溶胶粒子数浓度. 仪器原理介绍参见文献[45]. 由于WPS适应的环境湿度为 $0\% \sim 90\%$ 、非冷凝,根据观测的实施情况,经数据处理后剔除了部分无效数据.

污染气体的观测采用瑞典 OPSIS AB 公司的双光路差分吸收光谱仪(DOAS) AQM 系统-AR500 系统. 发射器光源采用高压氙灯(B类),氙灯发射出的平稳光谱所覆盖的波长:紫外波段约为 $200 \sim 400 \text{ nm}$,可见光波段约为 $400 \sim 700 \text{ nm}$. 在波长范围内包含了很多气体物质的特征吸收光谱. 仪器的原理介绍参见文献[46]. 依据 DOAS 自身的技术特点,将超出仪器检测范围和光强值或标准偏差范围^[47]的数据视为无效数据,经数据处理后剔除了部分无效数据. 同时本实验还使用了自动气象站记录了观测期间的主要气象要素的变化情况.

1.2 实验观测实施

观测地点位于南京北郊[具体位置见图1(a)]南京信息工程大学气象楼中国气象局大气物理与大气环境重点开放实验室,其东面500 m左右是宁六路,双向六车道. 实验室东南方约900 m是南京龙王山风景区,海拔约为100 m. 观测点西侧为南京信息工程大学校园主体,北侧为盘城镇住宅区和农田,没有明显的污染排放源. 观测点周边情况如图1(b)所示. WPS 位于气象楼12楼实验室,海拔62 m. DOAS 的接收端 RE150 安装在气象楼顶,海拔62 m,发射端 EM150 安装在与气象楼相距324 m的尚贤楼顶,测量气体有 O_3 、 SO_2 和 NO_2 . 观测时间为2010-07-07~2010-07-27.



源自 <http://maps.google.co.jp>, <http://www.googleearth.com>

图 1 观测点的地理位置及周边环境

Fig. 1 Location of observation and surrounding environment

2 结果与讨论

2.1 数浓度谱分布

表 1 为南京夏季不同粒径范围内大气气溶胶数浓度对比, 10 ~ 500 nm 的平均数浓度为 17 652

cm^{-3} , 和北美与欧洲的一些典型城市观测值 (500 ~ 25 000 cm^{-3}) 相近^[8,22,23,32~35,45], 但是远低于 Gao 等^[45] 在上海所测的值 (29 990 cm^{-3}). 由表 1 还可看出粒径 > 500 nm 的颗粒物数浓度非常少, 对总数浓度的贡献可以忽略.

表 1 南京 2010 年 7 月不同粒径范围内大气气溶胶数浓度比较/ cm^{-3}

Table 1 Comparison of different size particle number concentration in July of Nanjing / cm^{-3}

粒径/nm	最大值	最小值	平均值	标准偏差	累计百分比/%
10 ~ 25	31 091	59	4 884	3 761	25.00
25 ~ 50	27 728	48	6 047	4 311	30.96
50 ~ 100	20 130	5	4 975	3 182	25.47
100 ~ 200	13 522	12	2 859	1 930	14.64
200 ~ 500	3 001	12	592	363	3.03
500 ~ 1 000	632	11	167	109	0.85
10 ~ 500	60 256	1 140	17 652	10 171	90.37
10 ~ 1 000	60 342	1 260	17 780	10 170	91.03
1 000 ~ 2 500	284	1	9	15	0.05

由表 1 还可看出 10 ~ 25、25 ~ 50、50 ~ 100 和 10 ~ 500 nm 颗粒物的平均数浓度占总数浓度的累计百分比分别为 25.00%、30.96%、25.47% 和 90.37%; 1 000 ~ 2 500 nm 颗粒物的平均数浓度仅占总数浓度的 0.05%, 和其他粒径段颗粒物数浓度相比可以忽略不计. 10 ~ 100 nm 的超细粒子数浓度大约占 81.43%.

图 2 为观测期间 10 ~ 500 nm 气溶胶数浓度时

间序列及 10 ~ 100 nm 气溶胶数浓度时间变化图, 观测期间除 7 月 11 日、16 日、21 日和 22 日为雨天或阴天外基本为晴天. 在观测期间 10 ~ 100 nm 数浓度在 7 月 14 日、19 日、24 日和 26 日个别样本超过 49 000 cm^{-3} , 可以看出在这 4 d 里 100 nm 以下气溶胶数浓度存在明显的变化, 经过分析发现在这 4 d 分别发生了气溶胶新粒子形成事件, 在下文中将对观测期间这几次新粒子生成事件进行了分析.

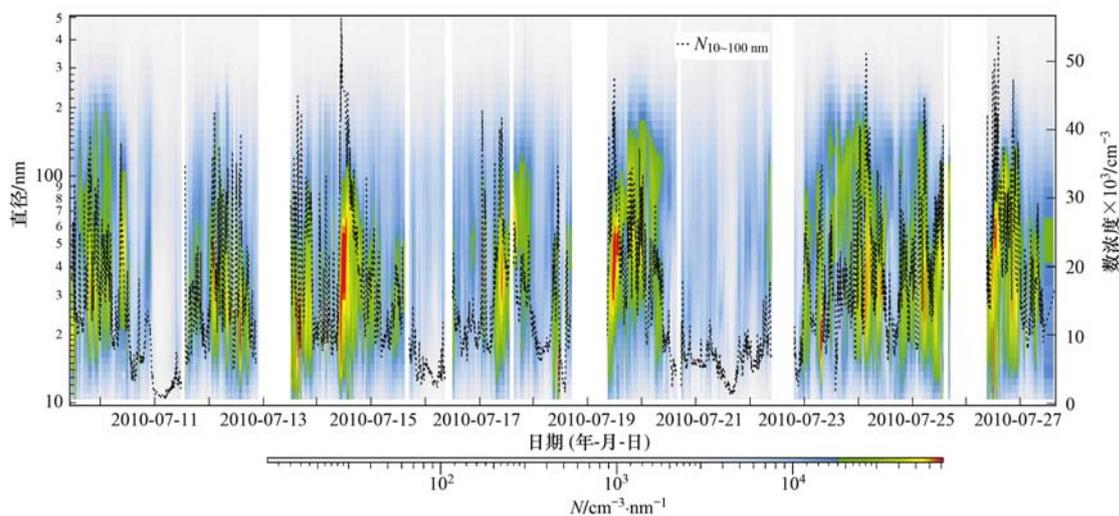


图 2 2010 年 7 月 10 ~ 500 nm 气溶胶数浓度时间序列及 10 ~ 100 nm 数浓度时间变化

Fig. 2 Time series of 10-500 nm particle number concentration and time varies of 10-100 nm particle number concentration in July of 2010

2.2 新粒子形成事件

基于之前其它地区研究新粒子形成事件的判断标准^[8,14,15,40,45,46]并结合南京地区自身的地理位置和气象条件本研究得出了南京市夏季新

粒子生成事件的判断标准: ①大气气溶胶数浓度谱分布中出现一个新的成核模态 (10 ~ 25 nm, WPS 所能观测到的最下限), 这个新形成的模态在大气中将存在一段时间, 并且以每小时几个

纳米的速度增长；②这个新形成的模态与交通或者能源使用过程中产生的 SO₂、CO 和 NO_x 等气态污染物的浓度无关，即当新模态产生时，气态污染物的浓度不同时增加；③新模态产生之前气溶胶表面积浓度较低，新模态开始产生时，大气气溶胶的表面积浓度和爱根核模态粒子数浓度没有明显的增加。

南京夏季大气中 10~25 nm 颗粒物的数浓度存在一定的背景值，大约在 3 000 cm⁻³ 左右，如果 10~25 nm 颗粒物数浓度超过 10⁴ cm⁻³，本研究则认为有新的模态产生。另外，由图 1 可见观测点周围没有固定的一次排放源，流动的交通源和不断变化的风向、风速使得由一次排放引起的 10~25 nm 颗粒物数浓度的增加不会持续太长时间。本研究在判断发生新粒子形成事件时，一般取新模态高数浓度持续 3 h 以上，这样可以尽可能的将由一次排放所引起的 10~25 nm 颗粒物数浓度增长的事件排除。由于 10~25 nm 气溶胶粒子极小，因此对气溶胶总表面积浓度的贡献十分微弱，且这些粒子的长大需要一定的时间，所以在新粒子生成过程中大气气溶胶的表面积浓度不会发生明显变化。标准中包含气态污染物与爱根核模态粒子，也是为了尽量将由一次排

放造成的超细粒子数浓度增加事件从新粒子形成事件中排除掉。

图 3 为 2010 年 7 月观测期间发生的 6 次比较明显的新粒子形成事件数浓度谱时间序列，由图可发现这 6 d 10~25 nm 气溶胶粒子均出现突然增加，且数浓度均超过 10⁴ cm⁻³，在 7 月 13 日、14 日和 19 日最大浓度甚至达到 10⁵ cm⁻³·nm⁻¹。这 6 次事件的持续时间基本均超过 3 h，尤其是 13 日、14 日和 19 日，新粒子生成事件非常明显。后 3 次新粒子事件因为当日风速较大，新粒子形成后迅速扩散稀释，因此其变化趋势不如前 3 次明显。下文将以 2010-07-14 的新粒子事件为例，对南京夏季大气气溶胶新粒子生成事件进行详细的分析。

图 4 为 2010-07-24~2010-07-25 数浓度和表面积浓度时间变化图，在这 2 d 中分别有新粒子生成事件发生，且在新粒子生成事件发生之前均有气溶胶数浓度的激增现象发生。由图 3 也可清晰的看到这种现象。由图 4 可发现，在 24 日 00:00~06:00，25 日 00:00~07:00 这段时间内 10~25 nm 的数浓度虽然有比较明显的增加，但是其表面积浓度和 30~210 nm 的数浓度也同时激增，由上文的新粒子生成事件的判断标准可知这段时间内的气溶胶粒子数浓度激增现象不

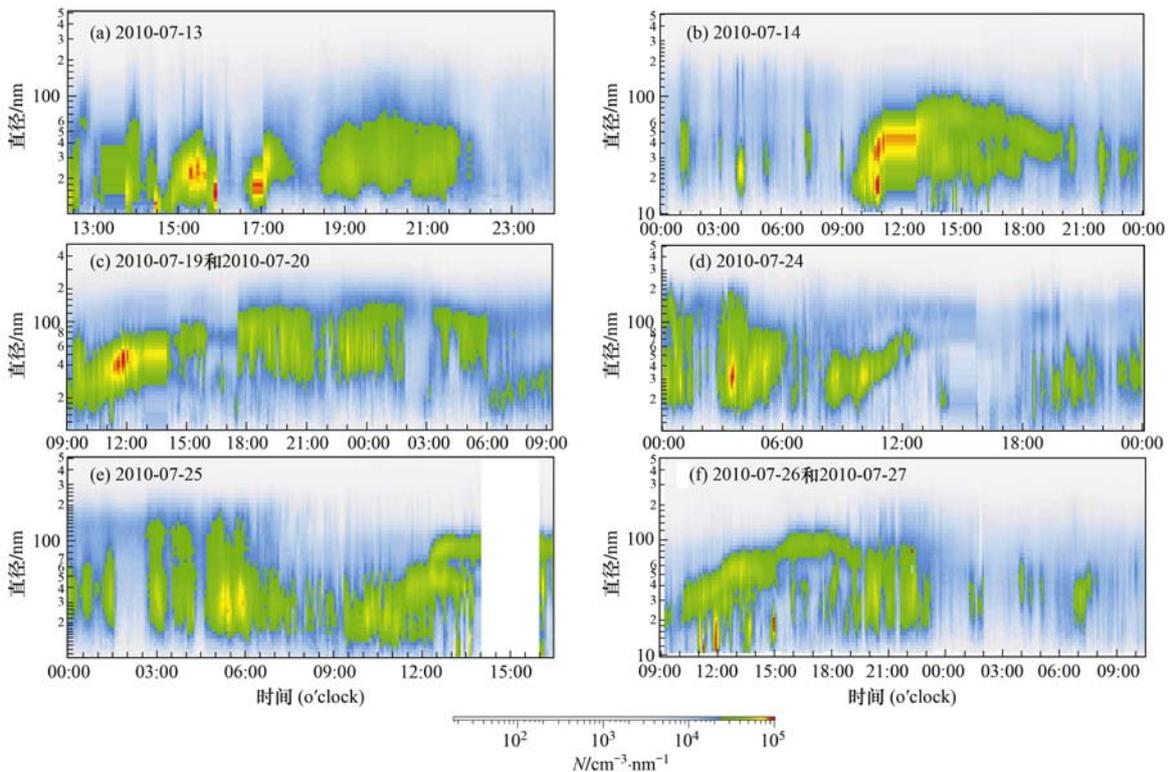


图 3 2010 年 7 月 6 次新粒子生成事件数浓度谱时间序列

Fig. 3 Time series of number concentration of six NPF events in July of 2010

是由新粒子生成事件造成的. 分析这 2 d 的气象要素发现, 24 日 00:00 ~ 06:00, 25 日 00:00 ~ 07:00 这段时间内相对湿度均在 80% 以上; 风速较小, 不超过 $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 该时段为夜晚, 存在逆温层; 且这 2 d 均为阴天. 因此, 在这 2 个时间段内气溶胶粒子容易在近地层积聚, 所以出现了气溶胶粒子激增的这种现象. 而白天, 风速较大, 天空放晴, 温度升高逆温消失, 由

于积聚作用形成的气溶胶高数浓度开始消散, 此后新粒子生成现象发生造成气溶胶数浓度激增. 由图 4 可发现在新粒子生成期间, 10 ~ 25 nm 的数浓度增加, 大约 30 min 之后 30 ~ 210 nm 段的数浓度开始增加, 且期间表面积浓度几乎没有增加. 但是由于之前的积聚作用形成的气溶胶高数浓度的影响, 这 2 次新粒子生成事件不是很明显.

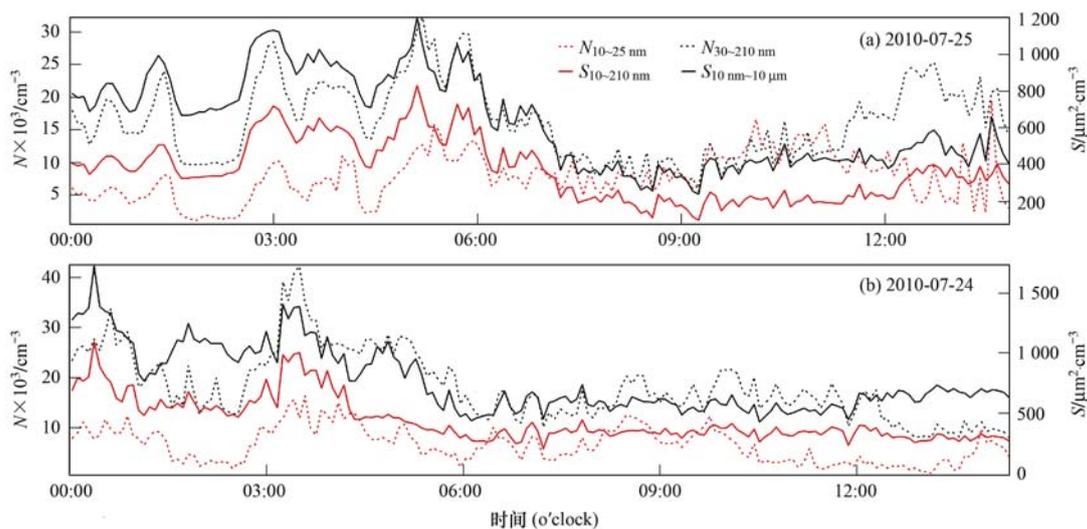


图 4 2010-07-24 和 2010-07-25 数浓度和表面积浓度时间变化图

Fig. 4 Time varies of number concentration and surface area concentration on July 24 and 25, 2010

2.2.1 新粒子生成事件中的气象要素

图 5 为 2010-07-14 新粒子生成事件数浓度、表面积浓度及气象要素时间变化图, 图 5(a) 为温度和相对湿度日变化, 图 5(b) 为风速和风向日变化, 图 5(c) 为 10 ~ 25 nm、30 ~ 210 nm 气溶胶粒子数浓度日变化和 0.01 ~ 10 μm 气溶胶粒子表面积浓度的日变化, 图 5(d) 为 10 ~ 200 nm 气溶胶粒子数浓度时间序列和 10 ~ 210 nm 气溶胶表面积浓度日变化. 由图 5(d) 可发现在 09:00 时 10 ~ 25 nm 气溶胶粒子数浓度开始增加, 大约在 09:30 时数浓度显著增加, 且 30 ~ 80 nm 气溶胶粒子数浓度也开始增加. 因此可初步判断在 09:00 开始产生新的模式, 即新粒子开始形成, 新粒子不断的产生并增长造成 10 ~ 50 nm 的气溶胶数浓度持续的增长, 并在 10:50 左右达到最大值, 此后新粒子形成速度开始减慢, 数浓度开始减低, 直到 18:00 左右 10 ~ 25 nm 气溶胶数浓度才恢复到背景浓度, 但爱根核模式粒子直到 20:00 左右才恢复到正常水平.

由图 5(c) 可看到 10 ~ 25 nm 气溶胶颗粒物在 1 d 中多次浓度超过 10^4 cm^{-3} , 但当其浓度激增时,

30 ~ 210 nm 的颗粒物的浓度均先于 10 ~ 25 nm 颗粒物的浓度增加, 这种增加现象同时伴随着总表面积浓度的激增, 且这种数浓度的激增的持续时间较短, 因此不是新粒子生成事件. 图 5(c) 可发现, 在 08:50 左右 10 ~ 25 nm 的颗粒物数浓度就开始增加, 此时新模式开始出现, 直到 10:30 新模式的浓度急剧增加, 并达到最大值 34865 cm^{-3} , 从 10:30 开始新模式数浓度由于新粒子增长老化开始降低, 直到 18:00 左右降为背景浓度. 由图 5(c) 还可看出 0.01 ~ 10 μm 表面积浓度直到 09:40 才开始增加, 且在整个新粒子生成事件的持续过程中, 表面积浓度没有明显变化, 表面积浓度值维持在较低水平, 与背景浓度相比几乎没有增加.

对比图 5(d) 中 10 ~ 210 nm 表面积浓度的变化可发现总表面积浓度的这种增加现象主要是由 10 ~ 210 nm 表面积浓度的增加造成的. 而 10 ~ 210 nm 表面积浓度的变化趋势与 30 ~ 210 nm 数浓度的变化趋势一致, 比 10 ~ 25 nm 数浓度变化要滞后大约 30 min 左右. 图 5(c) 在新粒子形成事件中 30 ~ 210 nm 数浓度的变化要比 10 ~ 25 nm 数浓度的变化滞后 30 min

左右,主要是因为新粒子的增长速度一般为每小时几个纳米,Kulmala 等^[8,14]总结的边界层中典型的新粒子增长速率为 $1 \sim 20 \text{ nm}\cdot\text{h}^{-1}$,Gao 等^[45]在上海观测的新粒子平均增长速率约为 $6 \sim 7 \text{ nm}\cdot\text{h}^{-1}$,Yue

等^[11]、Wu 等^[40]和胡敏等^[48]在北京观测到的夏季新粒子增长速率约为 $8 \sim 12 \text{ nm}\cdot\text{h}^{-1}$,因此经过 30 min 左右新粒子大约增长 $4 \sim 6 \text{ nm}$,所以 $30 \sim 210 \text{ nm}$ 的数浓度增加要滞后 $10 \sim 25 \text{ nm}$ 数浓度 30 min 左右。

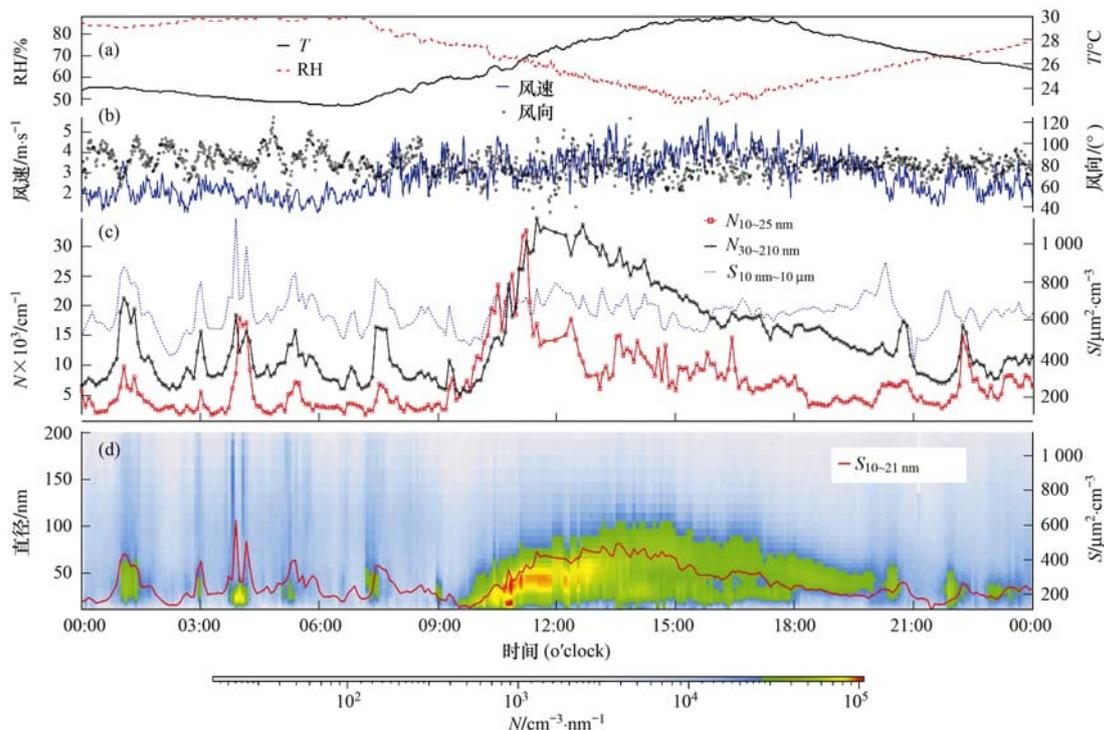


图5 2010-07-14 新粒子生成事件数浓度、表面积浓度及气象要素时间变化

Fig. 5 Time varies of number concentration, surface area concentration and meteorological elements

图5(b)为风速、风向随时间变化图,由图可见7月14日主要为偏东风,平均风速低于 $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 新粒子形成事件发生前2 h左右风速明显增加,平均风由 $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 变为 $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,整个新粒子生成事件风速维持在 $3.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,当新粒子生成事件结束时风速开始变小.从7月14日24 h后向轨迹图可发现,100 m的气流来自东海,且气流较短,因此南京地区外来气团比较清洁,有利于新粒子生成事件的观测.在新粒子生成事件发生时风速增大,使得由交通源等排放的一次颗粒物被稀释,也有利于新粒子的生成.

图5(a)为温度和相对湿度随时间变化图,可发现在新粒子生成事件发生时相对湿度较低,相对湿度在 $50\% \sim 70\%$ 左右,明显高于胡敏等^[48]在北京所测得新粒子生成事件发生时的 $10\% \sim 40\%$ 的相对湿度,与Gao 等^[45]在上海观测到新粒子生成事件发生时的相对湿度 $50\% \sim 76\%$ 比较一致.主要因为上海靠近东海,而长江横穿南京,且南京夏季新粒子生成事件发生时的气流来向偏东,因此其相对湿度较

高.新粒子发生时温度开始升高,伴随着温度的升高太阳辐射也开始增加,因此光化学反应开始增强,有利于新粒子的生成.

2.2.2 新粒子生成事件中的辐射和污染气体

图6为7月14日 $10 \sim 10 \mu\text{m}$ 气溶胶表面积浓度时间序列,由图可发现09:00~10:00新粒子形成阶段 $10 \sim 30 \text{ nm}$ 颗粒物表面积浓度几乎没有变化,直到10:30左右 30 nm 以上的颗粒物表面积浓度才开始增加,其变化与图5(c)、5(d)所示一致.

图7为7月14日污染气体、太阳辐射和 $10 \sim 25 \text{ nm}$ 气溶胶数浓度时间变化,从中可见,日出后太阳辐射增强,但在08:30左右有一个低值,之后太阳辐射较快增加,08:50左右开始观测到新粒子的生成,太阳辐射11:00左右达到最大值,此时 $10 \sim 25 \text{ nm}$ 颗粒物数浓度也达到最大值,之后太阳辐射开始减弱, $10 \sim 25 \text{ nm}$ 颗粒物数浓度也开始降低.新粒子形成事件中 $10 \sim 25 \text{ nm}$ 颗粒物数浓度与太阳辐射的相关系数为0.704,相关性较好.14日 SO_2 的浓度变化比较剧烈,尤其是在新粒子生成事件期间, SO_2 浓度

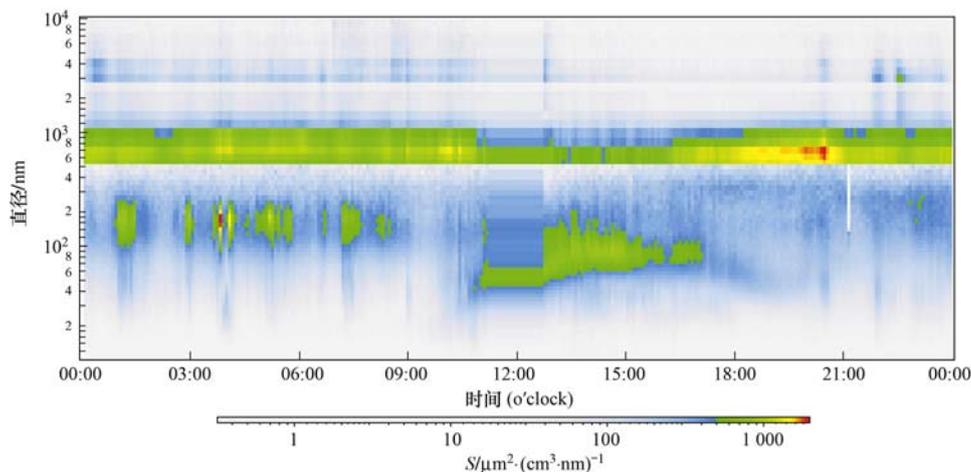


图 6 2010-07-14 表面积浓度时间序列

Fig. 6 Time series of surface area concentration on July 24, 2010

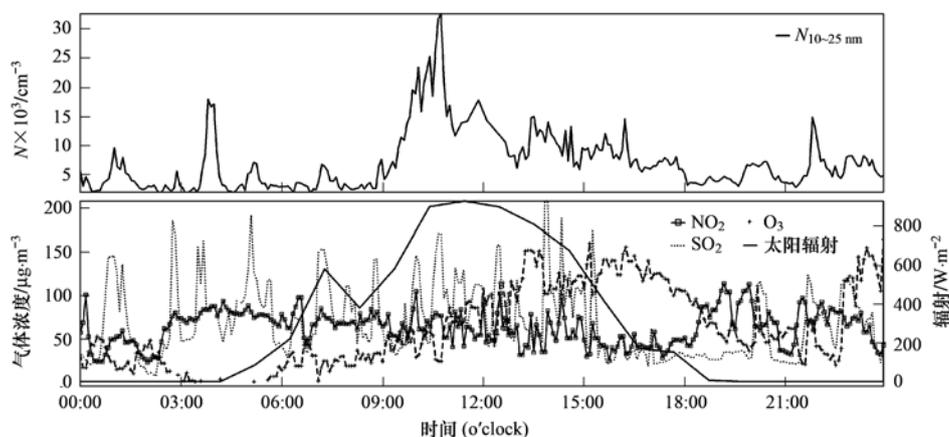


图 7 污染气体、太阳辐射和 10~25 nm 气溶胶数浓度日变化(2010-07-14)

Fig. 7 Diurnal variation of pollution gas, solar radiation, 10-25 nm particle number concentration

起伏较大,一般当 SO_2 为峰值时,10~25 nm 颗粒物数浓度也会出现峰值.在 09:00~11:00 新粒子的形成阶段, SO_2 与 10~25 nm 颗粒物数浓度的相关系数为 0.744,相关性较好;但是在 12:00~18:00 新粒子生成事件的消散阶段两者的相关系数仅为 0.257,相关性较差.8:00~18:00 新粒子生成事件期间 NO_2 和 O_3 与 10~25 nm 颗粒物数浓度的相关系数分别为 0.25 和 -0.306,09:00~11:00 新粒子形成阶段 NO_2 和 O_3 与 10~25 nm 颗粒物数浓度的相关系数分别为 0.351 和 -0.147,12:00~18:00 新粒子生成事件的消散阶段 NO_2 和 O_3 与 10~25 nm 颗粒物数浓度的相关系数分别为 0.062 和 0.024.但是在 11:00~13:00 新粒子老化阶段 O_3 与 10~25 nm 颗粒物数浓度的相关系数为 -0.805,而 NO_2 和 SO_2 与 10~25 nm 颗粒物数浓度的相关系数分别为 0.314 和 0.389.因此在新粒子形成阶段 SO_2

的影响比较重要, NO_2 和 O_3 的影响不大.在老化阶段主要是受 O_3 的影响, SO_2 和 NO_2 的影响不大.

表 2 为南京市夏季新粒子生成事件期间的持续时间、10~25 nm 气溶胶的平均数浓度、0.01~10 μm 气溶胶的平均表面积浓度和污染气体的浓度.从中可发现新粒子生成事件均发生在白天,由于判断新粒子生成事件开始和结束的时间主要是根据 3~10 nm 气溶胶数浓度的增加和降低的时间来确定^[25].当 3~10 nm 气溶胶数浓度上升或下降到最大浓度的 1/e 时认为新粒子开始生成或已经结束.由于本研究观测仪器的下限所致,只能根据 10~25 nm 气溶胶数浓度的值来判断,因此只能反映新粒子生成事件大致的开始或结束时间.笔者发现新粒子生成事件一般发生在白天,因此新粒子的发生与光化学过程密切相关,由上文的新粒子生成事件与太阳辐射之间的相关系数的计算也证明了光化学过程对新粒子形成的重要性.

表 2 南京市夏季新粒子生成事件中数浓度、污染气体

Table 2 Number concentration, pollution gas during NPF event in summer of Nanjing

日期(月-日)	开始时间 (o'clock)	结束时间 (o'clock)	$N_{10-25\text{ nm}}$ / cm^{-3}	$S_{10\text{ nm}-10\text{ }\mu\text{m}}$ / $\mu\text{m}^2 \cdot \text{cm}^{-3}$	O_3 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	SO_2 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$	NO_2 / $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
07-13	12:00	15:51	15 237	556	64.74	57.97	53.44
07-14	08:50	18:03	10 418	639	97.32	75.10	55.72
07-19	08:40	17:32	7 044	544	121.86	21.64	28.42
07-24	08:09	10:30	8 675	572	27.26	95.01	70.65
07-25	09:20	12:23	11 467	420	31.99	50.95	42.72
07-26	09:10	14:00	12 204	308	45.55	27.34	24.48

由表 2 可发现新粒子生成事件发生时 10 ~ 25 nm 颗粒物的数浓度较高,一般在 10^4 cm^{-3} 以上. 7 月 19 日新粒子生成后迅速老化,老化后的粒子持续时间较长, O_3 的浓度较高,由上文讨论可知 O_3 与 10 ~ 25 nm 颗粒物数浓度主要为负相关. 由图 8 后向轨迹图可知 19 日南京的气团来自南京市,污染较重,不利于 10 ~ 25 nm 的新粒子的生成. 因此 19 日 10 ~ 25 nm 的气溶胶浓度较低. 24 日虽然 SO_2 的浓度较高,但 23 日为阴天,大气中气溶胶浓度较高不利于新粒子的生

成,因此其持续时间较短,且 10 ~ 25 nm 颗粒物被迅速的碰并清除,故浓度较低. 因此,气象要素对新粒子生成事件起着十分重要的作用.

由表 3 南京市夏季新粒子生成事件中气象条件可发现,南京市夏季新粒子生成事件发生时温度较高,一般在 25 ~ 33°C; 相对湿度一般在 50% ~ 70%,比北京(10% ~ 40%)要高很多,主要是由南京所处的地理位置决定; 太阳辐射较大,一般在 $400 \sim 700 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$; 风速较小,一般在 $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,风向一般为偏东风.

表 3 南京市夏季新粒子生成事件中气象条件

Table 3 Meteorological condition during NPF event in summer of Nanjing

日期 (月-日)	开始时间 (o'clock)	结束时间 (o'clock)	温度 / $^{\circ}\text{C}$	相对湿度 /%	太阳辐射 / $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	风速 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	风向 / $(^{\circ})$
07-13	12:00	15:51	24.5	83	124.2	2.2	58
07-14	08:50	18:03	27.9	60	538.5	3.6	77
07-19	08:40	17:32	32.7	55	605.1	2.8	162
07-24	08:09	10:30	29.5	72	685.8	3.1	83
07-25	09:20	12:23	29.4	68	406	3.2	102
07-26	09:10	14:00	30.1	61	635.6	2.99	134

2.2.3 后向轨迹分析

Nilsson^[19]、胡敏^[48]、Sogacheva^[49]等研究了新粒子生成过程与气团之间的关系,发现新粒子生成与气团的来源和性质有密切相关. Nilsson 等^[19]在芬兰 Hyytiälä 观测发现新粒子生成事件发生时的气团一般来自于北极地区或者在某种程度上定义为极地地区的气团, Yue 等^[11]、Wu 等^[40]和胡敏等^[48]在北京的观测分析发现新粒子生成事件发生时的气团一般来自北京北和西北的清洁区域.

有关反向轨迹的数据以及所用的后向轨迹(HYSPLIT)模式源于 NOAA 网站(<http://www.ertcorp.com/HYSPLIT/>). 模式计算时选取 3 个高度(100、500 和 1 000 m),模拟时间为 24 h. 由于边界层的高度一般在 1 000 ~ 1 500 m 左右,本研究根据 NOAA 提供的模式数据,将边界层高度分为 3 层(100、500 和 1 000 m 因这 3 层气团来向一致,文中只给出 100 m 高度模拟结果),分析外来气团对南

京夏季新粒子生成事件的影响.

图 8 为观测期间 6 次比较明显的新粒子生成事件中 100 m 高度气团的 24 h 后向轨迹图,由图可

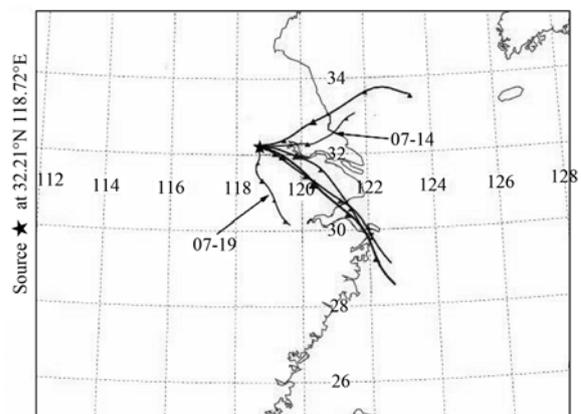


图 8 新粒子形成事件中 100 m 高度气团 24 h 后向轨迹

Fig. 8 Results of the 24 h back trajectory analysis at altitude of 100 m during NPF event

见,后向轨迹的长度较短,说明气团的移动速度较小.由表3也可看出在新粒子生成事件发生时的风速均较小,不超过 $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.由图8还可发现除7月19日新粒子生成事件的气团后向轨迹来自陆地外,其余5次新粒子生成事件的气团均来自海洋.来自海洋上空的气团比较清洁,有利于新粒子生成事件的发生.

3 结论

(1)南京夏季 $10 \sim 500 \text{ nm}$ 气溶胶的平均数浓度为 $17\ 652 \text{ cm}^{-3}$,和北美与欧洲的一些典型城市观测值相近.南京超细粒子数浓度占总数浓度的比例较高, $10 \sim 25$ 、 $25 \sim 50$ 、 $50 \sim 100$ 和 $10 \sim 500 \text{ nm}$ 颗粒物的平均数浓度占总数浓度的百分比分别为 25.00% 、 30.96% 、 25.47% 和 90.37% .

(2)观测到6次新粒子形成事件,对新粒子的形成及其增长过程进行了分析讨论.来自海洋的气团、比较稳定的风速风向、较强的太阳辐射有利于南京夏季新粒子的形成.南京夏季新粒子形成时的风向一般为偏东风或者偏南风,气团来自海洋;相对湿度一般在 $50\% \sim 70\%$,太阳辐射一般在 $400 \sim 700 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

(3)南京夏季新粒子生成事件发生时, $10 \sim 25 \text{ nm}$ 气溶胶数浓度与 SO_2 的浓度成正相关,与 O_3 的浓度成负相关, NO_2 的浓度相关性较差.

参考文献:

- [1] Ramanathan V, Crutzen P J, Kiehl J T, *et al.* Aerosols, climate, and the hydrological cycle [J]. *Science*, 2001, **294** (5549): 2119-2124.
- [2] Yu S C, Saxena V K, Zhao Z C. A comparison of signals of regional aerosol-induced forcing in eastern China and the southeastern United States [J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, **28**(4): 713-716.
- [3] Menon S, Genio A D D, Koch D, *et al.* GCM simulations of the aerosol indirect effect: sensitivity to cloud parameterization and aerosol burden [J]. *Journal of Atmospheric Sciences*, 2002, **59** (3): 692-713.
- [4] Russell P B, Hobbs P V, Stowe L L. Aerosol properties and radiative effects in the United States East Coast haze plume: an overview of the Tropospheric Aerosol Radiative Forcing Observational Experiment (TARFOX) [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, **104**(D2): 2213-2222.
- [5] Chow J C, Watson J G, Kuhns H, *et al.* Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study [J]. *Chemosphere*, 2004, **54**(2): 185-208.
- [6] Stieb D M, Judek S, Burnett R T. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season [J]. *Journal of the Air Waste Management Association*, 2002, **52**(4): 470-484.
- [7] Natusch D F S, Wallace J R. Urban aerosol toxicity: the influence of particle size [J]. *Science*, 1974, **186**(4165): 695-699.
- [8] Kulmala M, Vehkamäki H, Petäjä T, *et al.* Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations [J]. *Journal of Aerosol Science*, 2004, **35**(2): 143-176.
- [9] Birmili W, Wiedensohler A. New particle formation in the continental boundary layer: meteorological and gas phase parameter influence [J]. *Geophysical Research Letters*, 2000, **27**(20): 3325-3328.
- [10] Birmili W, Wiedensohler A, Plass-Dülmer C, *et al.* Evolution of newly formed aerosol particles in the continental boundary layer: a case study including OH and H_2SO_4 measurements [J]. *Geophysical Research Letters*, 2000, **27**(15): 2205-2208.
- [11] Yue D L, Hu M, Zhang R Y, *et al.* The roles of sulfuric acid in new particle formation and growth in the mega-city of Beijing [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, **10**(10): 4953-4960.
- [12] Sipilä M, Berndt T, Petäjä T, *et al.* The role of sulfuric acid in atmospheric nucleation [J]. *Science*, 2010, **327**(5970): 1243-1246.
- [13] 龚有国, 胡敏, 宋伟伟, 等. 珠江三角洲新垦大气核化速率研究 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(4): 930-935.
- [14] Kulmala M, Laakso L, Lehtinen K E J, *et al.* Initial steps of aerosol growth [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2004, **4**(11-12): 2553-2560.
- [15] Maso M D, Kulmala M, Riiipinen I, *et al.* Formation and growth of fresh atmospheric aerosols: eight years of aerosol size distribution data from SMEAR II, Hyttialä, Finland [J]. *Boreal Environment Research*, 2005, **10**(5): 323-336.
- [16] Hussein T, Junninen H, Tunved P, *et al.* Time span and spatial scale of regional new particle formation events over Finland and Southern Sweden [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, **9**(4): 4699-4716.
- [17] Wehner B, Siebert H, Stratmann F, *et al.* Horizontal homogeneity and vertical extent of new particle formation events [J]. *Tellus B*, 2007, **59**(3): 362-371.
- [18] Kulmala M, Petäjä T, Mönkkönen P, *et al.* On the growth of nucleation mode particles: source rates of condensable vapor in polluted and clean environments [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, **5**(2): 409-416.
- [19] Nilsson E D, Paatero J, Boy M. Effects of air masses and synoptic weather on aerosol formation in the continental boundary layer [J]. *Tellus B*, 2001, **53**(4): 462-478.
- [20] Mäkelä J M, Aalto P, Jokinen V, *et al.* Observations of ultrafine aerosol particle formation and growth in boreal forest [J]. *Geophysical Research Letters*, 1997, **24**(10): 1219-1222.

- [21] Kulmala M, Toivonen A, Mäkelä J M, *et al.* Analysis of the growth of nucleation mode particles observed in Boreal forest [J]. *Tellus B*, 1998, **50**(5): 449-462.
- [22] Woo K S, Chen D R, Pui D Y H, *et al.* Measurement of Atlanta aerosol size distributions; observations of ultrafine particle events [J]. *Aerosol Science and Technology*, 2001, **34**(1): 75-87.
- [23] Dunn M J, Jimenez J L, Baumgardner D, *et al.* Measurements of Mexico City nanoparticle size distributions; observations of new particle formation and growth [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**(10): L10102. 1-L10102. 4.
- [24] Birmili W, Wiedensohler A. New particle formation in the continental boundary layer; meteorological and gas phase parameter influence [J]. *Geophysical Research Letters*, 2000, **27**(20): 3325-3328.
- [25] Birmili W, Berresheim H, Plass-Dülmer C, *et al.* The Hohenpeissenberg aerosol formation experiment (HAFEX): a long-term study including size-resolved aerosol, H₂SO₄, OH, and monoterpenes measurements [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2003, **3**(2): 361-376.
- [26] O'Dowd C D, McFiggans G, Greasey D J, *et al.* On the photochemical production of new particles in the coastal boundary layer [J]. *Geophysical Research Letters*, 1999, **26**(12): 1707-1710.
- [27] Perry K D, Hobbs P V. Further evidence for particle nucleation in clear air adjacent to marine cumulus clouds [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99**(D11): 22803-22818.
- [28] Clarke A D, Davis D, Kapustin V N, *et al.* Particle nucleation in the tropical boundary layer and its coupling to marine sulfur sources [J]. *Science*, 1998, **282**(5386): 89-92.
- [29] Twohy C H, Clement C F, Gandrud B W, *et al.* Deep convection as a source of new particles in the midlatitude upper troposphere [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, **107**(D21): AAC6. 1-AAC6. 10.
- [30] Kuang C, McMurry P H, McCormick A V. Determination of cloud condensation nuclei production from measured new particle formation events [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, **36**(9): L09822. 1-L09822. 5.
- [31] Lihavainen H, Kerminen V M, Komppula M, *et al.* Production of "potential" cloud condensation nuclei associated with atmospheric new-particle formation in northern Finland [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108**(D24): AAC11. 1-AAC11. 8.
- [32] Jeong C H, Hopke P K, Chalupa D, *et al.* Characteristics of nucleation and growth events of ultrafine particles measured in Rochester, NY [J]. *Environmental Science & Technology*, 2004, **38**(7): 1933-1940.
- [33] Zhuang H, Chan C K, Fang M, *et al.* Size distributions of particulate sulfate, nitrate, and ammonium at a coastal site in Hong Kong [J]. *Atmospheric Environment*, 1999, **33**(6): 843-853.
- [34] Shi J P, Evans D E, Khan A A, *et al.* Sources and concentration of nanoparticles (< 10 nm diameter) in the urban atmosphere [J]. *Atmospheric Environment*, 2001, **35**(7): 1193-1202.
- [35] Smith J N, Moore K F, Eisele F L, *et al.* Chemical composition of atmospheric nanoparticles during nucleation events in Atlanta [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, **110**(D22): D22S03. 1-D22S03. 13.
- [36] Vaattovaara P, Huttunen P E, Yoon Y J, *et al.* The composition of nucleation and Aitken modes particles during coastal nucleation events; evidence for marine secondary organic contribution [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2006, **6**(12): 4601-4616.
- [37] Mönkkönen P, Koponen I K, Lehtinen K E J, *et al.* Measurements in a highly polluted Asian mega city; observations of aerosol number size distribution, modal parameters and nucleation events [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2005, **5**(1): 57-66.
- [38] Dunn M J, Jiménez J L, Baumgardner D, *et al.* Measurements of Mexico City nanoparticle size distributions; observations of new particle formation and growth [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**(10): L10102.
- [39] Wehner B, Wiedensohler A, Tuch T M, *et al.* Variability of the aerosol number size distribution in Beijing, China; new particle formation, dust storms, and high continental background [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, **31**(22): L22108. 1-L22108. 4.
- [40] Wu Z J, Hu M, Liu S, *et al.* New particle formation in Beijing, China; statistical analysis of a 1-year data set [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2007, **112**(D9): doi: 10.1029/2006JD007406.
- [41] Wang G H, Huang L M, Gao S X, *et al.* Measurements of PM₁₀ and PM_{2.5} in urban area of Nanjing, China and the assessment of pulmonary deposition of particle mass [J]. *Chemosphere*, 2002, **48**(7): 689-695.
- [42] 张敏, 朱彬, 王东东, 等. 南京北郊冬季大气 SO₂、NO₂ 和 O₃ 的变化特征 [J]. *大气科学学报*, 2009, **32**(5): 695-702.
- [43] Wang G H, Kawamura K. Molecular characteristics of urban organic aerosols from Nanjing; a case study of a mega-city in China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2005, **39**(19): 7430-7438.
- [44] 梁保英, 马英. 南京市下关电厂周围地区气溶胶粒径分布规律研究 [J]. *环境科学*, 1991, **12**(2): 55-59.
- [45] Gao J, Wang T, Zhou X H, *et al.* Measurement of aerosol number size distributions in the Yangtze River delta in China; formation and growth of particles under polluted conditions [J]. *Atmospheric Environment*, 2009, **43**(4): 829-836.
- [46] 王东东, 朱彬, 王静. 利用差分吸收光谱系统对 O₃、SO₂ 和 NO₂ 的监测分析 [J]. *环境科学研究*, 2009, **22**(6): 650-655.
- [47] Opsis A B. Quality assurance and quality control using Opsis analysers for air quality monitoring (Version 1.4) [M]. Sweden: Opsis A B, 2003. 9-69.
- [48] 胡敏, 何凌燕, 黄晓峰, 等. 北京大气细粒子和超细粒子理化特征、来源及形成机制 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [49] Sogacheva L, Maso M D, Kerminen V M, *et al.* Probability of nucleation events and aerosol particle concentration in different air mass types arriving at Hyttälä, southern Finland, based on

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《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)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行