

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

**2016**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

编者按 ..... (403)

我国化学品的风险评价及风险管理 ..... 王铁宇,周云桥,李奇锋,吕永龙 (404)

土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 ..... 吴健生,谢舞丹,李嘉诚 (413)

中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 ..... 黄宝荣,崔书红,李颖明 (420)

关中地区冬季PM<sub>2.5</sub>中碳气溶胶的污染特征及来源解析 ..... 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心 (427)

利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 ..... 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育 (434)

南京夏季市区VOCs特征及O<sub>3</sub>生成潜势的相关性分析 ..... 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨 (443)

北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 ..... 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环 (452)

重庆市垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 ..... 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌 (459)

三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 ..... 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫 (466)

长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 ..... 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌 (475)

青藏高原内陆典型冰川区“冰川-径流”汞传输过程 ..... 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓 (482)

西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 ..... 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波 (490)

坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 ..... 余成,陈爽,张路 (499)

近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 ..... 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗 (507)

舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 ..... 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄煊芳 (513)

模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 ..... 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌 (520)

中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 ..... 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强 (527)

江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 ..... 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞 (534)

巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 ..... 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华 (542)

合肥城郊典型农田溪流系统沉积物磷形态及释放风险分析 ..... 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖 (548)

桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 ..... 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏 (558)

苏州市古城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 ..... 李淮,吴玮,田永静,黄天寅 (565)

洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 ..... 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维 (573)

三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 ..... 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松 (580)

pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 ..... 王辉,孙波,关小红 (588)

EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 ..... 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健 (595)

镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 ..... 王婷,朱春山,胡承志 (602)

微生物对砷的氧化还原竞争 ..... 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍旻,王明星,袁林江 (609)

处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 ..... 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏 (615)

污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 ..... 景明,王磊 (622)

异养硝化-好氧反硝化菌 *Burkholderia* sp. YX02 强化连续流反应器中微生物群落结构解析 ..... 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫渊辉 (630)

基于新一代测序技术的A<sup>2</sup>O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 ..... 田美,刘汉湖,申欣 (638)

1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 ..... 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津 (647)

纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 ..... 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军 (655)

3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 ..... 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹 (662)

合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 ..... 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏 (668)

芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 ..... 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁 (680)

芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 ..... 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸 (689)

季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 ..... 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国 (697)

增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 ..... 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华 (703)

基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 ..... 王幼奇,白一茹,王建宇 (710)

不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 ..... 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰 (717)

紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸持特征及影响因素 ..... 王强,宋娇艳,曾微,王法 (726)

几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 ..... 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东 (734)

河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 ..... 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶澍,刘文新 (740)

湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 ..... 罗鹏程,李航,王曙光 (750)

溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 ..... 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义 (756)

自组装哑铃状Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 ..... 黄鑫辰,宗刚,刘焯焯,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金 (765)

盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N<sub>2</sub>O产生的影响 ..... 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强 (775)

污泥直接干化尾气中恶臭污染物重要性评价:以指标权重评分法为例 ..... 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新 (782)

《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)

# 利用 SPAMS 研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分

刘慧琳, 宋红军, 陈志明, 黄炯丽, 杨俊超, 毛敬英, 李宏姣, 梁桂云, 莫招育\*

(广西壮族自治区环境保护科学研究院, 南宁 530022)

**摘要:** 利用单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪 (SPAMS) 对南宁市 2015 年冬季 2 月 15 ~ 24 日期间大气  $PM_{2.5}$  进行观测. SPAMS 所测得大气  $PM_{2.5}$  数浓度与  $PM_{2.5}$  质量浓度线性相关系数为 0.76, 在一定程度上颗粒物数浓度可反映大气污染状况. 利用自适应共振神经网络分类方法 (Art-2a) 对  $PM_{2.5}$  化学成分进行分类, 确定  $PM_{2.5}$  化学成分主要为元素碳、有机元素碳混合颗粒、有机碳、富钾颗粒、矿物质、富钠颗粒、二次无机颗粒、左旋葡聚糖以及其它重金属共 9 类. 成分占比最高的是元素碳, 其次是有机碳和富钾颗粒. 监测到 80% 以上的  $PM_{2.5}$  粒径主要集中在 0.2 ~ 1.0  $\mu m$  之间, 峰值出现在 0.62  $\mu m$  处, 各化学成分的粒径分布特征与总颗粒数粒径分布特征相似. 各化学成分数浓度与  $PM_{2.5}$  质量浓度随时间变化趋势较一致, 化学成分数浓度占比变化在一定程度上可反映瞬时的污染来源.

**关键词:** SPAMS; 单颗粒气溶胶; 冬季; 化学成分; 粒径分布

中图分类号: X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)02-0434-09 DOI: 10.13227/j.hjxx.2016.02.005

## Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS

LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, HUANG Jiong-li, YANG Jun-chao, MAO Jing-ying, LI Hong-jiao, LIANG Gui-yun, MO Zhao-yu\*

(Scientific Research Academy of Guangxi Environmental Protection, Nanning 530022, China)

**Abstract:** Single Particle Aerosol Mass Spectrometry (SPAMS) was performed to characterize the  $PM_{2.5}$  in Nanning from 15 to 24 February 2015. The correlation ( $R^2$ ) between the  $PM_{2.5}$  number concentration and the mass concentration of  $PM_{2.5}$  obtained using SPAMS was 0.76. The particle number concentration could reflect the atmospheric pollution situation to some degree. The Art-2a classification method was used to classify the chemical composition of  $PM_{2.5}$ . The results showed that the principal chemical constituents were elemental carbon, organic elements carbon hybrid particles, organic carbon, rich potassium particles, mineral substance, rich sodium particles, second inorganic particles, levoglucosan and other heavy metals. Among them, the composition of elemental carbon was the highest, followed by organic carbon and rich potassium particles. The particle size of 80% of  $PM_{2.5}$  was mainly concentrated in the range of 0.2  $\mu m$  to 1.0  $\mu m$  with a peak value occurring at 0.62  $\mu m$ . The particle size distribution characteristics of different chemical components were similar. The number concentration of the chemical components in  $PM_{2.5}$  had the same variation trend with the mass concentration of  $PM_{2.5}$  over time. To a certain extent, the change in chemical composition could reflect the instantaneous pollution source.

**Key words:** SPAMS; single particle aerosols; winter; chemical component; particle size distribution

大气气溶胶是大气的重要组成部分, 它通过吸收和散射太阳辐射影响气候系统<sup>[1]</sup>, 同时会降低能见度、危害人体健康, 因而引起人们的广泛关注<sup>[2]</sup>. 单颗粒气溶胶的来源和化学过程不同, 其形态、大小、化学组成也会不同, 研究其粒径、化学成分和变化特征, 有助于了解气溶胶的来源. 传统的气溶胶研究方法依赖于将颗粒物采样到滤膜上进行离线分析, 通常需要较长的采样时间, 且难以反映短时的突发污染事件<sup>[3]</sup>. 因此, 在线气溶胶质谱仪具有高时间分辨率、高灵敏度和信息量大的优势而得到广泛应用<sup>[4]</sup>.

目前国际上得到广泛推广的在线气溶胶质谱仪器主要有美国 Aerodyne 公司生产的 AMS (aerosol mass spectrometer) 和 ACSM (aerosol chemical

speciation monitor), 用于大气气溶胶质谱分析<sup>[5-8]</sup>, 以及 TSI 公司生产的 ATOFMS (aerosol time-of-flight mass spectrometer)<sup>[3]</sup>. 我国对单颗粒飞行时间质谱仪的研发与应用起步较晚, 广州禾信分析仪器有限公司于 2010 年研制出单颗粒飞行时间质谱仪 (SPAMS, single particle aerosol mass spectrometer)<sup>[9]</sup>. SPAMS 能够同时获得单颗粒的空

收稿日期: 2015-08-15; 修订日期: 2015-09-16

基金项目: 广西环境保护厅项目(广西天气  $PM_{2.5}$  特性及控制对策研究); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科合 14125008-2-11); 广西壮族自治区环境保护科学研究院 2014 年科研创新基金项目; 广西危险废物处置产业化人才小高地科研项目; 2015 年广西自然科学基金项目(2015GXNSFBA139203)

作者简介: 刘慧琳(1986~), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为大气环境研究与污染防治, E-mail: 517507123@qq.com

\* 通讯联系人, E-mail: 65678503@qq.com

气动力学直径和正负离子质谱数据,已被国内应用于气溶胶研究,如何俊杰等<sup>[10]</sup>对鹤山灰霾期间大气单颗粒气溶胶特征进行了初步研究;李梅等<sup>[11]</sup>运用单颗粒气溶胶质谱仪技术初步研究广州大气矿尘污染;李磊等<sup>[12]</sup>运用单颗粒气溶胶质谱仪分析柴油车排放颗粒物;牟莹莹等<sup>[4]</sup>利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态等. 针对广西的省会南宁市的相关研究还未见报道,因而使用 SPAMS 在线质谱仪器开展南宁市的气溶胶研究,将填补这一空白.

2013 年以来,南宁城市空气质量有下降趋势,特别是秋冬季节污染天数和污染程度均有所增加,因而开展南宁市大气颗粒理化特性研究非常有必要. 本研究利用 SPAMS 对南宁市 2015 年冬季大气  $PM_{2.5}$  进行观测,测定单颗粒气溶胶的粒径分布、化学组成和变化规律,并对单颗粒气溶胶进行分类,通过进一步分析冬季各类单颗粒气溶胶的来源和污染特征,以期为进一步开展大气细颗粒物源解析研究提供基础数据,也为大气环境管理提供科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 实验观测

本研究采样设置在广西南宁市广西环科院大气科学观测站,距地面约 30 m. 该采样点位周围主要为办公楼、居民楼、学校和街道,无工业源. 本次观测时间为 2015 年 2 月 15 ~ 24 日(2 月 19 日为春节),使用 SPAMS 0515(广州禾信分析仪器公司生产)对南宁市冬季  $PM_{2.5}$  的数浓度、粒径、离子和化学组分的占比及变化规律等进行监测.

### 1.2 SPAMS 工作原理

单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪其原理<sup>[5,7]</sup>是利用空气动力学透镜实现单气溶胶粒子的聚焦,利用

双激光测径技术对 0.1 ~ 3  $\mu\text{m}$  的粒子进行粒径测量,同时触发一束激光,对测径粒子进行电离,最后通过双极飞行时间质谱技术对电离产生的正负离子进行检测. 该技术可以获得每个颗粒物的正负质谱图,可以分析颗粒物中的金属、硫酸盐、硝酸盐、铵盐、有机碳、元素碳等成分.

### 1.3 数据处理

质谱仪采集数据软件为 YAADA (Version 2.1, 基于 Matlab 平台),软件核心为 ART-2a 法则,运行 3 个主要参数为警戒因子、学习因子和迭代次数,分别为 0.75、0.05 和 20. 本次所测颗粒粒径范围: 0 ~ 2.5  $\mu\text{m}$ ; 颗粒粒径检测速度: 20 个  $\cdot\text{s}^{-1}$ ; 击打率: >20%; 质谱分辨率: 优于 500 FWHM; 化学成分可测量范围: 1 ~ 500 u; 266 nm 激光电离,电离激光器能量: 0.5 ~ 0.6 mJ,能量密度: 108  $\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ; 气体进样标准流量: 75  $\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ . 共采集 3 390 248 个颗粒物,其中同时被测径和带有正负离子信息的颗粒物 833 363 个.

## 2 结果与讨论

### 2.1 细颗粒物数浓度与质量浓度相关性分析

观测结果表明,单颗粒气溶胶质谱仪所测得  $PM_{2.5}$  数浓度(数浓度指单位时间内仪器所检测到的单颗粒数量)变化趋势与大气  $PM_{2.5}$  质量浓度高低变化趋势较为一致,见图 1,即  $PM_{2.5}$  质量浓度高时相应的数浓度也较高,质量浓度低时数浓度也低. 根据线性关系分析,去除掉 2 月 19 日(春节)凌晨 00:00 ~ 02:00 这 3 h 左右的瞬时污染影响,  $R^2 = 0.76$ , 细颗粒物的质量浓度与数浓度相关性较好,见图 2,质谱仪的监测数据一定程度上可反映大气污染状况.

研究同时将  $PM_{2.5}$  中部分离子在 SPAMS 数浓度数据与滤膜采样质量浓度分析结果进行了对比<sup>[3]</sup>,

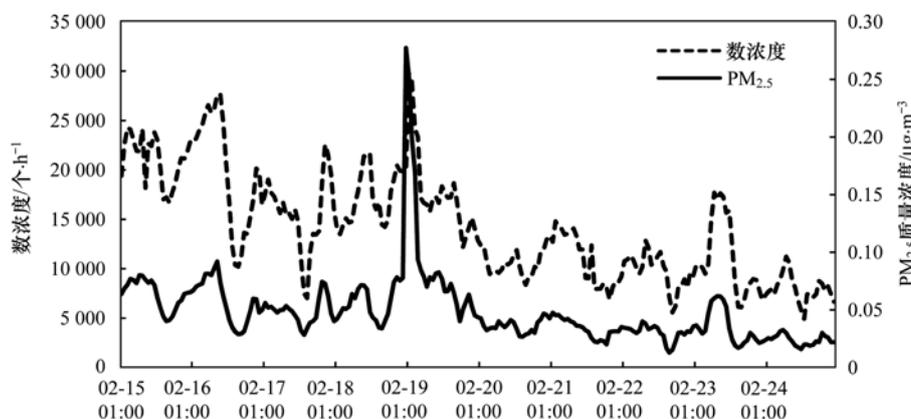


图 1  $PM_{2.5}$  数浓度与质量浓度的变化趋势对比

Fig. 1 Comparison of the changing tendency between number concentration and mass concentration of  $PM_{2.5}$

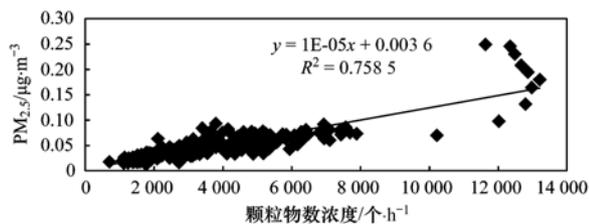


图2  $PM_{2.5}$ 数浓度与质量浓度线性关系

Fig. 2 Linear relationship between number concentration and mass concentration of  $PM_{2.5}$

见图3。图3(a)中离子占比表示为用SPAMS提取特征离子信号的颗粒物数浓度占比,图3(b)为膜采样分析中离子质量浓度占比结果。结果表明, $K^+$ 、 $Na^+$ 和 $SO_4^{2-}$ 离子差异最大, $NH_4^+$ 和 $NO_3^-$ 也存在一

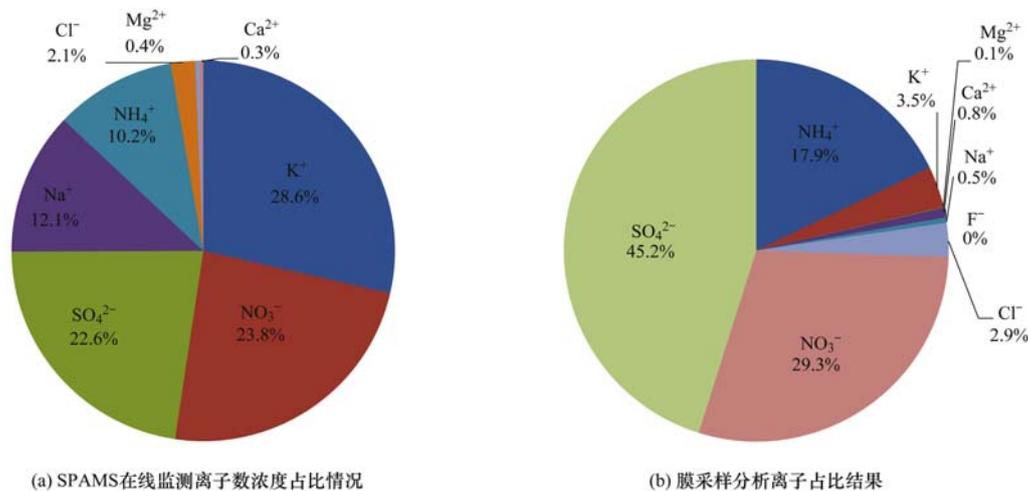


图3  $PM_{2.5}$ 中部分离子数浓度与质量浓度对比

Fig. 3 Comparison between the number concentration and mass concentration of some chemical components in  $PM_{2.5}$

## 2.2 细颗粒物化学成分分析

为研究南宁市细颗粒物  $PM_{2.5}$  的形成机制,根据  $PM_{2.5}$  化学成分结合形式的不同,利用自适应共振神经网络分类方法(Art-2a)对细颗粒物的化学成分进行分类。自适应共振神经网络分类方法<sup>[13,14]</sup>是一种模仿人脑认知过程而进行自组织聚类的一种非常有效的智能分类方法,利用这种方法能够根据  $PM_{2.5}$  化学成分之间的相似性进行归类。Art-2a 算法输入的是每个颗粒的质谱数据,输出的是每个颗粒所属的类别<sup>[14]</sup>。通过输入警戒因子和学习效率决定分类后同一类别颗粒物的相似程度,选取警戒因子越高,同一类别内颗粒物的差异越小,但总类别的数量会增加<sup>[15]</sup>。本研究选取警戒因子、学习因子和迭代次数,分别为0.75、0.05和20,Art-2a自动分为1539类,前603类占了总颗粒数的96%。

根据各颗粒物的质谱图信息分类后,再经过人

工合并603类,确定  $PM_{2.5}$  化学成分为元素碳、元素碳有机碳混合颗粒、有机碳、富钾颗粒、矿物质、富钠颗粒、二次无机颗粒、左旋葡聚糖以及重金属共9类,其成分平均质谱信息见图4。元素碳分类主要是参考其正负谱图中含有信号较强的碳族元素,即  $C_2^+$ 、 $C_3^+$ 、 $C_4^+$ 、 $C_5^+$ 、 $C_2^-$ 、 $C_3^-$ 、 $C_4^-$ 、 $C_5^-$  和  $C_6^-$ 。有机碳分类主要是参考其正谱图中含有  $C_2H_3^+$ 、 $C_3H^+$ 、 $C_2H_3O^+$ 、 $C_4H_3^+$  和  $C_5H_3^+$  等信号。元素碳有机碳混合颗粒即同时含有元素碳和有机碳质谱图信号的颗粒物。富钾颗粒分类主要是参考其正谱图中  $K^+$  信号明显高于其他信号,有时还伴有  $K_2Cl^+$ 、 $K_3SO_4^+$ ,在平均质谱图中不明显。富钠颗粒分类主要是参考其正谱图中  $Na^+$  信号明显高于其他信号,另外还含有  $Na_2O^+$ 、 $Na_2OH^+$  等信号。矿物质分类主要是参考其正谱图中含有  $Ca^+$ 、 $Al^+$ 、 $Fe^+$ 、 $Mg^+$  等矿物质离子信号,负谱图中含有  $SiO_3^-$  信号的颗

颗粒物. 重金属分类主要是参考其正谱图中含有明显的重金属离子信号, 如  $Mn^+$ 、 $Pb^+$ 、 $Cu^+$  等. 二次无机颗粒分类主要是参考其正谱图中只含有  $K^+$  和  $NH_4^+$  的信号, 负谱图中有较高的  $NO_2^-$ 、 $NO_3^-$ 、 $HSO_4^-$  信号, 成分比较单纯. 左旋葡聚糖分类主要是参考其正谱图中有明显的  $K^+$  信号, 负谱图中有  $CN^-$ 、 $CNO^-$ 、 $C_2H_3O_2^-$  和  $C_3H_5O_2^-$  等信号.

以颗粒物数浓度统计, 其成分分布情况见图 5,

主要化学成分为元素碳, 占  $PM_{2.5}$  总数的 73%, 主要来源与机动车尾气、燃煤以及生物质燃烧排放, 南宁市冬季元素碳较高, 可能是因为该时段燃煤及生物质燃烧取暖带来一定影响; 其次是有机碳, 占  $PM_{2.5}$  总数的 8%, 主要来源于燃煤、生物质燃烧排放<sup>[16]</sup> 以及工业工艺排放; 元素碳有机碳混合颗粒也占了 4.7%, 主要来源与元素碳和有机碳相同; 富钾颗粒占  $PM_{2.5}$  总数的 6.6%, 主要来源于生物质燃

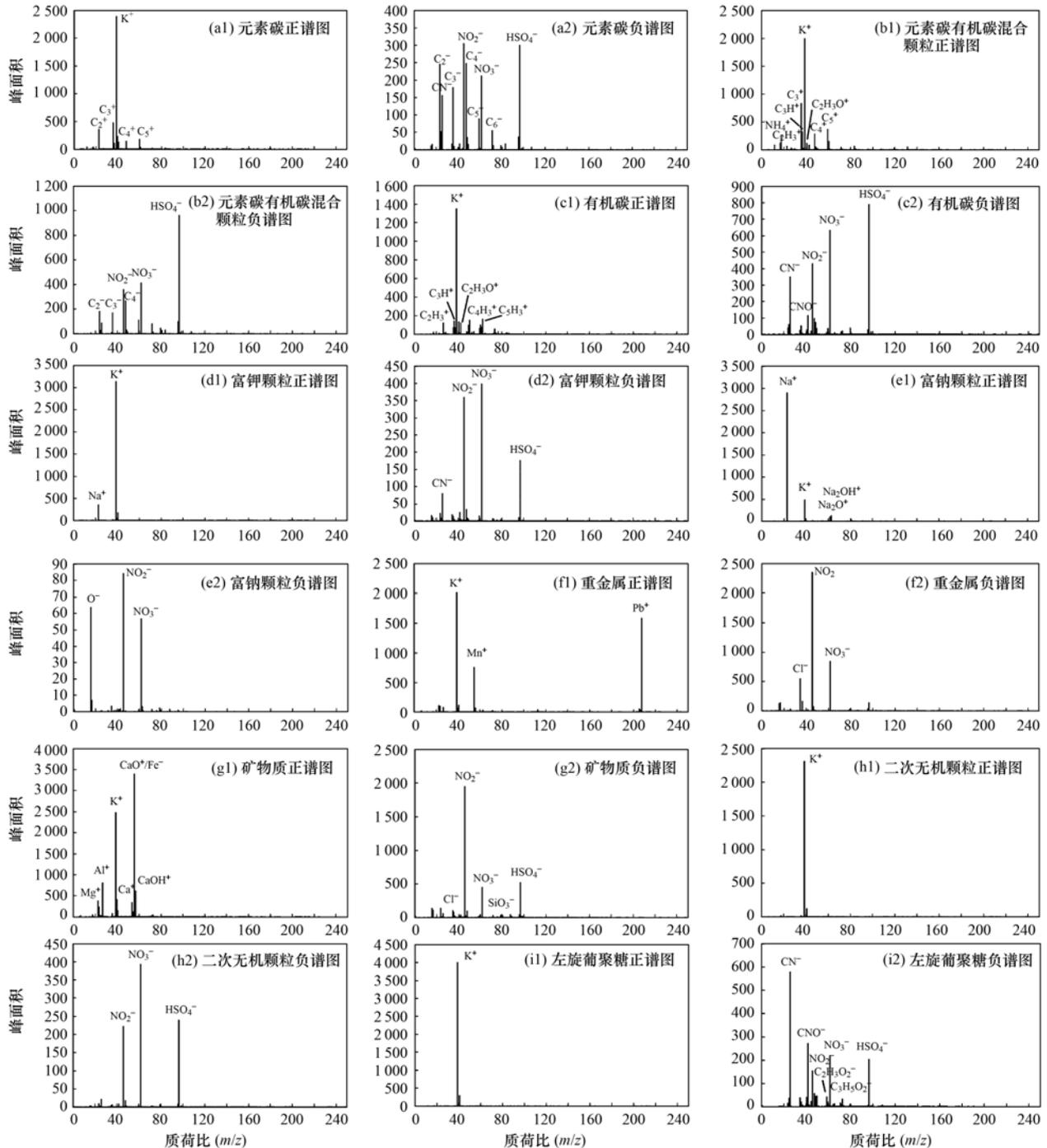


图 4  $PM_{2.5}$  化学成分平均质谱图

Fig. 4 Average mass spectrograms of chemical components in  $PM_{2.5}$

烧<sup>[17,18]</sup>,因观测时间为春节期间,所以存在烟花爆竹的燃放影响<sup>[19]</sup>;左旋葡聚糖同时也反映生物质燃烧的影响<sup>[20]</sup>,占了0.3%。说明南宁市冬季大气PM<sub>2.5</sub>主要受机动车尾气、燃煤以及生物质燃烧排放的影响。这些化学成分的百分含量中,南宁市元素碳占比高于陈多宏等<sup>[21]</sup>在广东大气超级站和牟莹莹等<sup>[4]</sup>在上海观测超级站的研究结果,可能由于南宁市观测站点位于街道旁,所处位置比广东大气超级站(农田和林地中)受的机动车尾气等污染影响大,广东大气超级站元素碳占比仅为35%左右,在杜娟等<sup>[22]</sup>对桂林市细颗粒物典型排放源单颗粒质谱特征研究中,柴油车的元素碳含量为74.7%,其质谱图特征与元素碳相似,也证明了南宁市观测点受机动车尾气的影响最大;与上海相比,南宁市冬季主要为一次排放污染,上海秋季污染过程中更多的是颗粒物的二次转化,其二次气溶胶颗粒占到了25.8%~45.6%,而元素碳占比仅为7.3%~17.4%左右。也可能是因为不同研究对图谱信息分类方式有差别,文献[4]的图谱分类中,二次气溶胶颗粒负谱图中含有碳族元素信号,本研究则将正负谱图中含有明显碳族元素的颗粒物都分类到元素碳中。

### 2.3 细颗粒物粒径分布特征

PM<sub>2.5</sub>主要是通过消光作用降低大气能见度,从

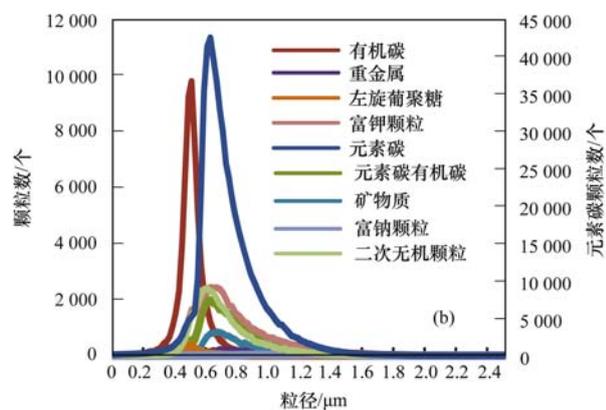
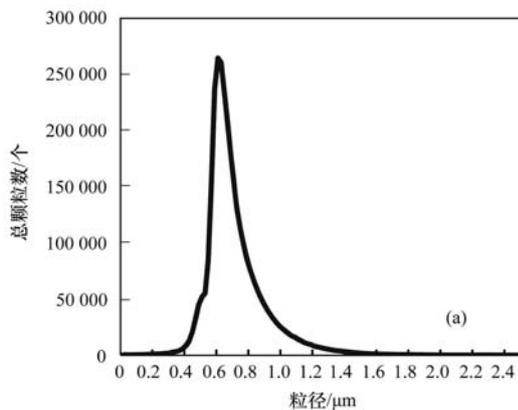


图6 PM<sub>2.5</sub>及各化学成分粒径分布

Fig. 6 Particle size distribution of PM<sub>2.5</sub> and the chemical components

图7为PM<sub>2.5</sub>中各化学成分粒径堆叠图,从中可以看出,有机碳和左旋葡聚糖在<0.45 μm粒径段分布较集中;富钾颗粒、矿物质和富钠颗粒主要集中在>0.9 μm粒径段;元素碳则呈双峰分布,主要集中在<0.4 μm和>0.6 μm两个粒径段;其余成分粒径分布较为均匀。对比元素碳在0~0.45 μm和0.45~2.5 μm粒径段平均质谱图,见图8。可以发现,正负谱图中碳族元素相对峰面

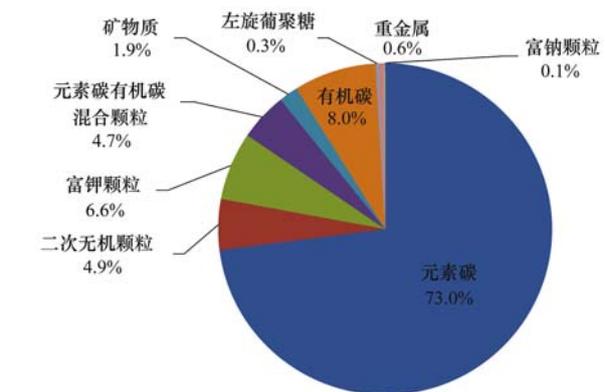
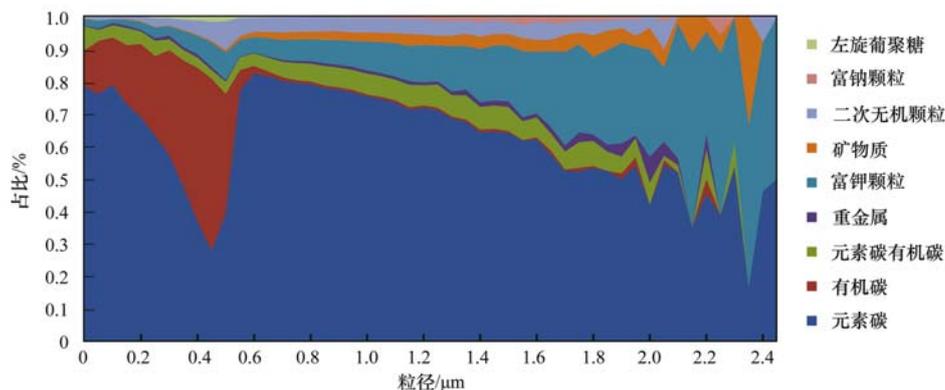
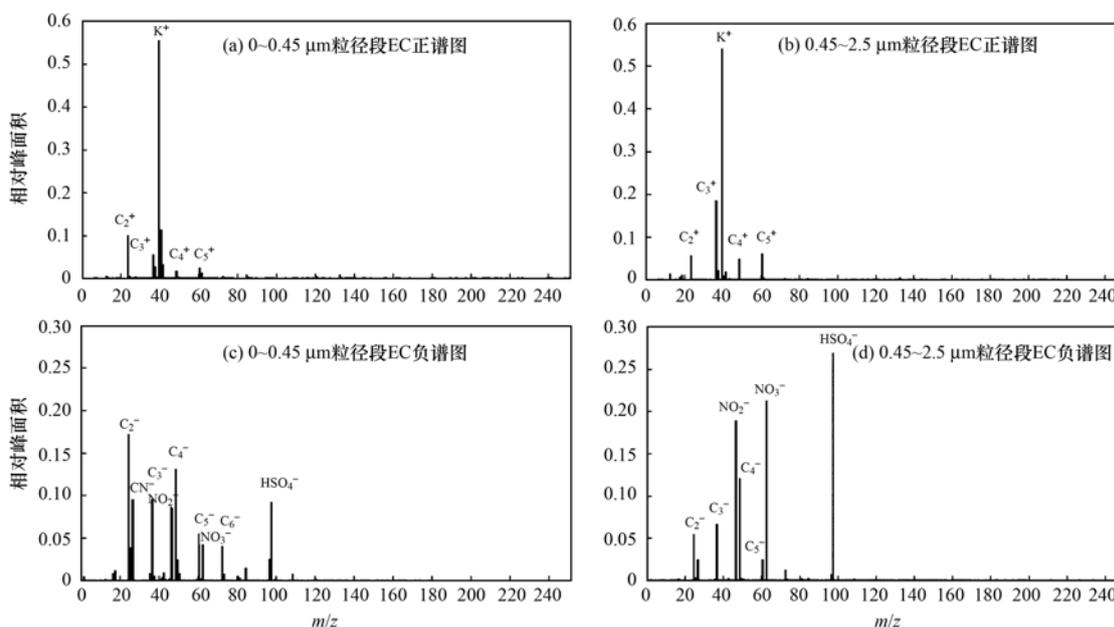


图5 PM<sub>2.5</sub>化学成分分布

Fig. 5 Distribution of chemical components of PM<sub>2.5</sub>

而造成灰霾。PM<sub>2.5</sub>消光能力与其浓度、粒径分布、化学成分及混合状态有关。0.1~1.0 μm粒径范围的颗粒对可见光有很强的散射能力。图6为监测期间PM<sub>2.5</sub>粒径分布,SPAMS对单颗粒的打击率主要集中在0.2~1.0 μm,<0.2 μm和>1.0 μm则很难打击到。由图6(a)可知,本次监测中PM<sub>2.5</sub>的粒径主要集中在0.2~1.4 μm之间,峰值出现在Da=0.62 μm处,其中80%以上的细颗粒物粒径在0.2~1.0 μm的小粒径范围内。由图6(b)可知,除有机碳和左旋葡聚糖粒径峰值在0.45 μm左右,其余化学成分的粒径分布规律和PM<sub>2.5</sub>粒径一致。

积相似,而负谱图中,0.45~2.5 μm粒径段元素碳的亚硝酸根、硝酸根和硫酸根的相对峰面积均大于0~0.45 μm粒径段元素碳,大粒径段的元素碳可能是小粒径元素碳吸附了硝酸根和硫酸根等二次气溶胶物质而老化增大。CN<sup>-</sup>源于不完全燃烧,小粒径段的元素碳CN<sup>-</sup>相对峰面积大于大粒径段的,可能由于小粒径段元素碳更源于一次燃烧排放源。

图7  $PM_{2.5}$ 各化学成分粒径堆叠Fig. 7 Stack map of the particle diameter of all chemical components in  $PM_{2.5}$ 图8 元素碳在  $0 \sim 0.45 \mu m$  和  $0.45 \sim 2.5 \mu m$  粒径段平均质谱Fig. 8 Average mass spectrograms of the EC in the particle size ranges of  $0-0.45 \mu m$  and  $0.45-2.5 \mu m$ 

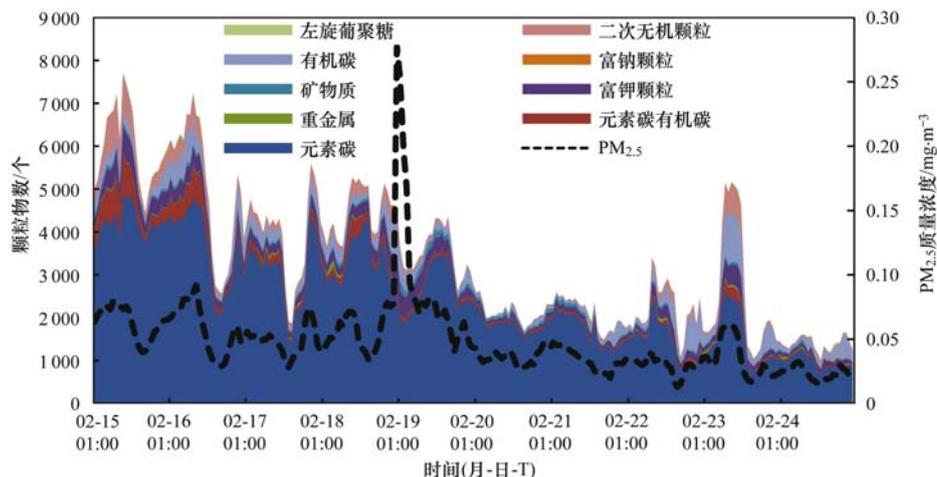
#### 2.4 细颗粒物化学成分随时间变化特征

图9和图10为 $PM_{2.5}$ 中各化学成分浓度和数量百分比随时间变化情况。图9中 $PM_{2.5}$ 质量浓度日变化呈现双峰分布,即凌晨01:00左右至上午09:00左右和晚上20:00左右至凌晨00:00左右出现两个高峰,峰值出现在08:00左右和21:00左右,说明有早晚高峰现象。各化学成分中,元素碳、有机碳、矿物质、重金属、富钾颗粒和左旋葡聚糖数浓度与 $PM_{2.5}$ 质量浓度随时间变化趋势较为一致,说明工作日受上下班高峰机动车尾气和道路扬尘污染影响较大,一般零时左右,渣土货运车辆往来频繁,加重机动车尾气和扬尘的污染影响。假日人们同样的出行规律,但较工作日趋势略不明显。而二次无机颗粒和元素碳有机碳颗粒,则是主要在早

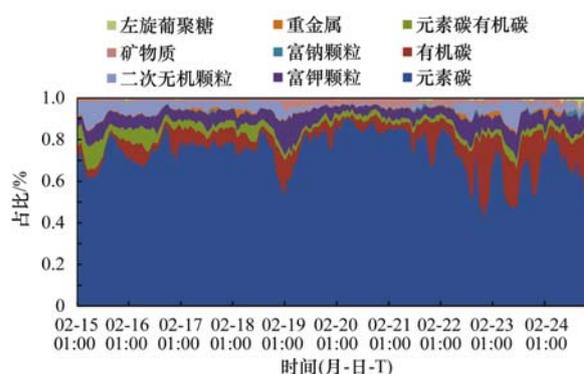
上06:00左右至11:00左右相对较高,可能是由于一次气溶胶在凌晨至早上不断老化增大,到接近中午时段二次气溶胶呈现小高峰。

而在出现污染的时候,如在2月15日凌晨04:00至上午11:00和16日凌晨05:00至上午09:00 $PM_{2.5}$ 小幅污染过程中,各化学成分浓度也随之变高。但在2月19日凌晨01:00左右(00:00~02:00之间),此时正是春节燃放烟花的时候, $PM_{2.5}$ 质量浓度发生突变过程中,各化学成分浓度没有体现出明显变化,而图1中,被检测到的总颗粒物数浓度增高,可能是由于污染过程发生时间较短,且成因复杂,ART-2a分类没有将其归纳到9类主要化学成分中,而是以其他特征形式存在。

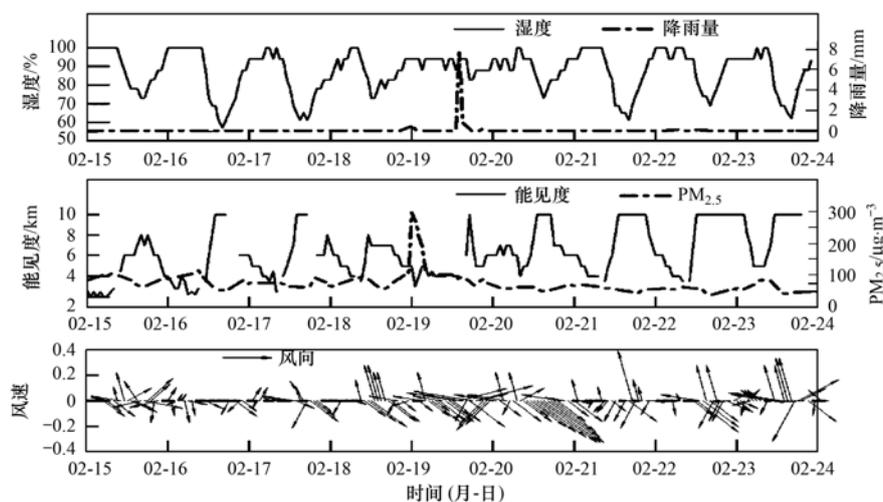
再根据图10中各化学成分浓度占比变化情

图9  $PM_{2.5}$ 各化学成分数浓度随时间变化趋势Fig. 9 Variation of number concentration of each chemical component in  $PM_{2.5}$  over time

况来看,2月15日和16日的小污染过程中,二次无机颗粒和元素碳有机碳混合颗粒占比变化较大,在一定程度上反映了这两个染过程主要受机动车尾气、燃煤及工业工艺源的影响.在2月19日凌晨01:00左右,有机碳、富钾颗粒和矿物质数浓度占比变大,从原先的7%、7%和0.1%左右增长到16%、15%和6%左右,在一定程度上反映了该污染过程受燃烧、生物质燃烧和扬尘污染影响.此时正是春节放烟花的时段,也印证了烟花燃放对 $PM_{2.5}$ 浓度贡献大<sup>[23,24]</sup>, $PM_{2.5}$ 浓度从 $77 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 突增到 $277 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,3 h后下降到 $93 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ,因此是瞬时影响.烟花燃放会使得气溶胶中的 $K^+$ 等的浓度急剧上升<sup>[24]</sup>,其带来的这些污染物与SPAMS监测到的化学成分变化能较好地对应上.

图10  $PM_{2.5}$ 各化学成分数量占比随时间变化趋势Fig. 10 Variation of percentage of each chemical component in  $PM_{2.5}$  over time

同时结合气象数据来分析,见图11,污染过程多发于凌晨至上午时段,此时湿度相对较大,在



箭头的长短表示风速的大小

图11 气象参数随时间变化

Fig. 11 Variation of meteorological parameters over time

90%以上,有助于细颗粒物吸湿增长<sup>[25,26]</sup>,使得能见度降低,呈现湿霾状态. 随着相对湿度降到80%以下,风速上升到 $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右,湿霾情况有所好转. 而晚上污染时段,随着太阳落山,辐射减弱,冬季地表冷却较快,容易出现逆温现象,易导致细颗粒物瞬间累积叠加. 在2月15日和2月16日的小污染过程中,均为凌晨至上午时段,此时相对湿度大,风速较小,能见度低,呈现湿霾状态,随着湿度降低,污染有所好转.

### 3 结论

(1) SPAMS 所测得  $\text{PM}_{2.5}$  数浓度变化趋势与大气  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度高低变化趋势较为一致,相关系数为 0.76,质谱仪的监测数据一定程度上可反映大气污染状况.

(2) 根据  $\text{PM}_{2.5}$  化学成分结合形式的不同,利用 Art-2a 分类方法对  $\text{PM}_{2.5}$  的化学成分进行分类,确定  $\text{PM}_{2.5}$  化学成分为元素碳、有机元素碳混合颗粒、有机碳、富钾颗粒、矿物质、富钠颗粒、二次无机颗粒、左旋葡聚糖以及其它重金属共 9 类. 数浓度占比最高的是元素碳,其次是有机碳和富钾颗粒.

(3) 本次监测 80% 以上的细颗粒粒径在  $0.2 \sim 1.0\ \mu\text{m}$  的小粒径范围内,峰值出现在  $0.62\ \mu\text{m}$  处,各化学成分的粒径分布规律和  $\text{PM}_{2.5}$  粒径较一致. 其中,有机碳和左旋葡聚糖在  $<0.45\ \mu\text{m}$  粒径段分布较集中;富钾颗粒、矿物质和富钠颗粒主要集中在  $>0.9\ \mu\text{m}$  粒径段;元素碳则呈双峰分布,主要集中在  $<0.4\ \mu\text{m}$  和  $>0.6\ \mu\text{m}$  两个粒径段,大粒径段的元素碳较小粒径段的元素碳发生了老化过程;其余成分粒径分布较为均匀.

(4)  $\text{PM}_{2.5}$  各化学成分数浓度与  $\text{PM}_{2.5}$  质量浓度随时间变化趋势较为一致. 化学成分数浓度占比随时间变化情况,在一定程度上可反映瞬时的污染来源. 春节除夕夜燃放烟花的 2 h 瞬时污染中,有机碳、富钾颗粒和矿物质数浓度占比变大,在一定程度上反映了该时段受燃烧、生物质燃烧和扬尘污染影响.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 石广玉,王标,张华,等. 大气气溶胶的辐射与气候效应[J]. 大气科学, 2008, **32**(4): 826-840.
- [ 2 ] IPCC. Climate Change 2011: the scientific basis [ M ]. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [ 3 ] 付怀于,闫才青,郑玫,等. 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[J]. 环境科学, 2014, **35**(11): 4070-4077.
- [ 4 ] 牟莹莹,楼晟荣,陈长虹,等. 利用 SPAMS 研究上海秋季气溶胶污染过程中颗粒物的老化与混合状态[J]. 环境科学, 2013, **34**(6): 2071-2079.
- [ 5 ] Budisulistiorini S H, Canagaratna M R, Croteau P L, *et al.* Real-time continuous characterization of secondary organic aerosol derived from isoprene epoxydiols in downtown Atlanta, Georgia, using the aerodyne aerosol chemical speciation monitor [J]. Environmental Science & Technology, 2013, **47**(11): 5686-5694.
- [ 6 ] Bauer S E, Ault A, Prather K A. Evaluation of aerosol mixing state classes in the GISS modelE-MATRIX climate model using single-particle mass spectrometry measurements [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2013, **118**(17): 9834-9844.
- [ 7 ] Robinson E S, Saleh R, Donahue N M. Organic aerosol mixing observed by single-particle mass spectrometry [J]. Journal of Physical Chemistry A, 2013, **117**(51): 13935-13945.
- [ 8 ] Pratt K A, Heymsfield A J, Twohy C H, *et al.* In situ chemical characterization of aged biomass-burning aerosols impacting cold wave clouds [J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2010, **67**(8): 2451-2468.
- [ 9 ] Li L, Huang Z X, Dong J G, *et al.* Real time bipolar time-of-flight mass spectrometer for analyzing single aerosol particles [J]. International Journal of Mass Spectrometry, 2011, **303**(2-3): 118-124.
- [ 10 ] 何俊杰,张国华,王伯光,等. 鹤山灰霾期间大气单颗粒气溶胶特征的初步研究[J]. 环境科学学报, 2013, **33**(8): 2098-2104.
- [ 11 ] 李梅,李磊,黄正旭,等. 运用单颗粒气溶胶质谱技术初步研究广州大气矿尘污染[J]. 环境科学研究, 2011, **24**(6): 632-636.
- [ 12 ] 李磊,谭国斌,张莉,等. 运用单颗粒气溶胶质谱仪分析柴油车排放颗粒物[J]. 分析化学, 2013, **41**(12): 1831-1836.
- [ 13 ] Song X H, Hopke P K, Fergenson D P, *et al.* Classification of single particles analyzed by ATOFMS using an artificial neural network, ART-2a [J]. Analytical Chemistry, 1999, **71**(4): 860-865.
- [ 14 ] 张莉,李梅,李磊,等. 基于单颗粒质谱信息气溶胶分类方法的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2013, **36**(3): 190-195.
- [ 15 ] 蔡靖,郑玫,闫才青,等. 单颗粒气溶胶飞行时间质谱仪在细颗粒物研究中的应用和进展[J]. 分析化学, 2015, **43**(5): 765-774.
- [ 16 ] 古金霞,白志鹏,刘爱霞,等. 天津冬季  $\text{PM}_{2.5}$  与  $\text{PM}_{10}$  中有机碳、元素碳的污染特征[J]. 环境污染与防治, 2009, **31**(8): 33-36.
- [ 17 ] Schauer J J, Kleeman M J, Cass G R, *et al.* Measurement of emissions from air pollution sources. 3.  $\text{C}_1$ - $\text{C}_{29}$  organic compounds from fireplace combustion of wood [J]. Environmental Science & Technology, 2001, **35**(9): 1716-1728.
- [ 18 ] Hudson P K, Murphy D M, Cziczo D J, *et al.* Biomass-burning

- particle measurements: Characteristic composition and chemical processing[J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2004, **109**(D23): D23S27.
- [19] 王红磊, 朱彬, 沈利娟, 等. 春节期间南京气溶胶质量浓度和化学组成特征[J]. *中国环境科学*, 2014, **34**(1): 30-39.
- [20] 岳建华, 陶俊, 林泽健, 等. 成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建[J]. *环境科学*, 2012, **33**(7): 2151-2157.
- [21] 陈多宏, 何俊杰, 张国华, 等. 不同天气类型广东大气超级站细粒子污染特征初步研究[J]. *地球化学*, 2014, **43**(3): 217-223.
- [22] 杜娟, 宋韶华, 张志朋, 等. 桂林市细颗粒物典型排放源单颗粒质谱特征研究[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(5): 1556-1562.
- [23] 李令军, 李金香, 辛连忠, 等. 北京市春节期间大气污染分析[J]. *中国环境科学*, 2006, **26**(5): 537-541.
- [24] 周变红, 张承中, 王格慧. 春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究[J]. *环境科学*, 2013, **34**(2): 448-454.
- [25] 叶兴南, 陈建民. 灰霾与颗粒物吸湿增长[J]. *自然杂志*, 2013, **35**(5): 337-341.
- [26] 王宗爽, 付晓, 王占山, 等. 大气颗粒物吸湿性研究[J]. *环境科学研究*, 2013, **26**(4): 341-349.

## 《环境科学》多项引证指标名列前茅

2015年10月21日,中国科学技术信息研究所在中国科技论文统计结果发布会上公布了2014年度中国科技论文统计结果.统计结果显示2014年度《环境科学》多项引证指标位居环境科学技术及资源科学技术类科技期刊前列.

《环境科学》综合评价总分76.00,排名第一,总被引频次7733,影响因子1.294.

综合评价总分是根据中国科技期刊综合评价指标体系,计算多项科学计量指标(总被引频次、影响因子、他引率、基金论文比、引文率等),采用层次分析法确定重要指标的权重,分学科对每种期刊进行综合评定,计算出每个期刊的综合评价总分.这项指标屏蔽了各个学科之间总体指标背景值的差异,使科技期刊可以进行跨学科比较.根据发布的统计结果,2014年度《环境科学》综合评价总分76.00,在被统计的33种环境科学技术及资源科学技术类期刊中名列第一.

## CONTENTS

Editor's comment .....	( 403 )
Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China .....	WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, <i>et al.</i> ( 404 )
Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution .....	WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng ( 413 )
Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010 .....	HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming ( 420 )
Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in PM <sub>2.5</sub> During Winter in Guanzhong Area .....	TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, <i>et al.</i> ( 427 )
Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS .....	LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, <i>et al.</i> ( 434 )
Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District .....	YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, <i>et al.</i> ( 443 )
Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area .....	MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> ( 452 )
Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing .....	DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, <i>et al.</i> ( 459 )
Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China .....	ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, <i>et al.</i> ( 466 )
Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha .....	XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, <i>et al.</i> ( 475 )
Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau .....	SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> ( 482 )
Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet .....	GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, <i>et al.</i> ( 490 )
Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika .....	YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu ( 499 )
Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang .....	SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, <i>et al.</i> ( 507 )
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qingbang Island, Zhoushan, China .....	ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, <i>et al.</i> ( 513 )
Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch .....	LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, <i>et al.</i> ( 520 )
Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed .....	WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, <i>et al.</i> ( 527 )
Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province .....	HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, <i>et al.</i> ( 534 )
Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake .....	XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, <i>et al.</i> ( 542 )
Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China .....	PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, <i>et al.</i> ( 548 )
Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay .....	ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, <i>et al.</i> ( 558 )
Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou .....	LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, <i>et al.</i> ( 565 )
Abundance of Toxic and Non-toxic <i>Microcystis</i> sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors .....	LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, <i>et al.</i> ( 573 )
Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas .....	JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, <i>et al.</i> ( 580 )
Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate .....	WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong ( 588 )
Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe .....	ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, <i>et al.</i> ( 595 )
Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property .....	WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi ( 602 )
Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic .....	YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> ( 609 )
Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water .....	ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, <i>et al.</i> ( 615 )
Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria .....	JING Ming, WANG Lei ( 622 )
Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium <i>Burkholderia</i> sp. YX02 .....	SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, <i>et al.</i> ( 630 )
Comparative Metagenomics of BIOLAK and A <sup>2</sup> O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology .....	TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin ( 638 )
Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment .....	SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, <i>et al.</i> ( 647 )
Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe .....	SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, <i>et al.</i> ( 655 )
Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water .....	XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, <i>et al.</i> ( 662 )
Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions .....	FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, <i>et al.</i> ( 668 )
Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions .....	WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, <i>et al.</i> ( 680 )
Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge .....	ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, <i>et al.</i> ( 689 )
Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period .....	LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, <i>et al.</i> ( 697 )
Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland .....	CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, <i>et al.</i> ( 703 )
Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City .....	WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu ( 710 )
Differential Effect and Mechanism of <i>in situ</i> Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas .....	ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, <i>et al.</i> ( 717 )
Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil .....	WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, <i>et al.</i> ( 726 )
Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies .....	LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, <i>et al.</i> ( 734 )
Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province .....	WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, <i>et al.</i> ( 740 )
Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment .....	LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang ( 750 )
Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms .....	WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, <i>et al.</i> ( 756 )
Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls .....	HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, <i>et al.</i> ( 765 )
Impact of Salinity on Leachate Treatment and N <sub>2</sub> O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor .....	LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, <i>et al.</i> ( 775 )
Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method .....	DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, <i>et al.</i> ( 782 )

# 《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

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

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年2月15日 第37卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 2 Feb. 15, 2016

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

中国标准刊号: ISSN 0250-3301  
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行