

## 2014—2016年江苏省及典型区域臭氧污染分析

茅晶晶,张璘,杨雪,吴仲夏

(江苏省环境监测中心,江苏 南京 210036)

**摘要:**分析2014—2016年江苏省O<sub>3</sub>污染状况,以及苏北、苏中和苏南3个典型区域O<sub>3</sub>年度、季度、日变化和频度占比等分布特征。结果表明,江苏省的O<sub>3</sub>空间分布呈现北低南高,2014—2016年的O<sub>3</sub>超标占比由18.4%上升至34.9%;2016年苏北、苏中和苏南地区O<sub>3</sub>-8h第90百分位数与2014年相比,上升2.7%、21.8%和3.3%;3个区域夏季O<sub>3</sub>-8h均值最高,春、秋2季次之,冬季最低;O<sub>3</sub>-1h日变化呈单峰状态,最低值出现在06:00—07:00,最高值出现在15:00—16:00;2016年3个地区的O<sub>3</sub>频度占比均呈正态分布,主要集中在40~80 μg/m<sup>3</sup>,所占比例均>15%;苏中和苏南区域2016和2014年相比O<sub>3</sub>频率占比的变化幅度较大,苏北地区变化幅度不大。指出,江苏省的O<sub>3</sub>污染程度在逐年提高,污染范围从苏南逐渐往中部和北部城市扩大。

**关键词:**苏北;苏中;苏南;臭氧;污染特征;江苏省

**中图分类号:**X515

**文献标志码:**B

**文章编号:**1674-6732(2018)04-0042-04

### Analysis of Ozone Pollution in Jiangsu Province and Typical Areas from 2014 to 2016

MAO Jing-jing, ZHANG Lin, YANG Xue, WU Zhong-xia

(Jiangsu Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**Abstract:** This paper analyzes the ozone pollution in Jiangsu Province from 2014 to 2016, and the pollution distribution characteristics of ozone in Northern Jiangsu, Central Jiangsu and Southern Jiangsu three typical areas, focusing on yearly variation, seasonal variation, diurnal variation and frequency distribution. The results showed that the distribution of ozone in Jiangsu province presented a spatial distribution of higher in southern and lower in northern. The percentage of ozone exceeding the maximum allowable limit from 2014 to 2016 increased from 18.4% to 34.9%. In 2016, the 90th percentile of O<sub>3</sub>-8h in Northern, Central and Southern Jiangsu area increased by 2.7%, 21.8% and 3.3% compared with 2014. The highest concentration of ozone was in summer, followed by the spring and autumn, and the lowest in winter. The daily change of O<sub>3</sub>-1h was unimodal, the lowest value appeared at 06:00—07:00, the highest value appeared at 15:00—16:00. The proportion of ozone frequency in three typical areas in 2016 was normally distributed, mainly concentrated in 40~80 μg/m<sup>3</sup>, with a proportion of over 15%. Compared with 2014, Central Jiangsu and Northern Jiangsu showed great amplitude of variation of the frequency distribution of ozone, while Northern Jiangsu showed little change. The above analysis showed that the level of ozone pollution in Jiangsu is increasing year by year, and the pollution area spread gradually from Southern Jiangsu to central and northern cities.

**Key words:** Northern Jiangsu; Central Jiangsu; Southern Jiangsu; Ozone; Pollution characteristics; Jiangsu province

“十二五”以来,我国在大气环境保护与污染治理方面投入巨大、力度空前,不仅制订出台了更为严格的《环境空气质量标准》<sup>[1]</sup>和考核办法,同时也推动各省、直辖市和自治区先后建设了一批标准化空气质量自动监测站,将PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、O<sub>3</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>和CO作为例行指标开展长期连续监测。研究发现<sup>[2-4]</sup>,臭氧(O<sub>3</sub>)污染正日益突出,对城市空气质量和人体健康造成各种不利影响,尤其在京津冀、长三角和珠三角等人口高度密集的城市其污

染程度更为严重,与这些重点区域相比,2016年江苏省的ρ(O<sub>3</sub>)均高于长三角和珠三角地区,仅低于

收稿日期:2017-12-12;修订日期:2018-04-02

基金项目:江苏省环境监测基金资助项目(1307);江苏省环境监测基金资助项目(1624);大气环境监测数据共享技术及应用基金资助项目(2016YFC0201800);江苏省环保科研基金资助项目(2016001)

作者简介:茅晶晶(1982—),女,工程师,硕士,主要从事空气质量预报、综合分析等工作。

京津冀地区,因此 O<sub>3</sub> 已成为需要引起高度关注并开展深入分析的大气环境问题。

潘本锋等<sup>[5]</sup>研究了京津冀地区 2013—2014 年 O<sub>3</sub> 污染特征,京津冀地区夏季  $\rho(O_3)$  高,冬季低, $\rho(O_3)$  较高的月份集中在 5—9 月,12—次年 1 月最低。在 O<sub>3</sub> 污染较重的夏季,每日 06:00—07:00, $\rho(O_3)$  最低,15:00—16:00 最高。在空间分布上郊区点位的  $\rho(O_3)$  往往高于主城区点位。刘芷君等<sup>[6]</sup>研究发现长三角地区  $\rho(O_3)$  呈现夏季高、冬季低的季节变化特征,近海城市 O<sub>3</sub> 年均值较高,内陆城市较低,四季 O<sub>3</sub> 日变化皆为典型的单峰型,夏季日最小值出现在 06:00,其他季节推迟约 1 h,日最大值均出现在 15:00 前后。张莹等<sup>[7]</sup>根据国家城市环境空气质量监测网 2013—2015 年、粤港澳珠三角区域空气质量监测网 2006—2015 年研究结果显示, $\rho(O_3)$  呈逐年下降趋势,但是在广东省仍属于高值区域,其作为首要污染物的比例逐年上升,O<sub>3</sub> 污染呈现明显的季节性变化特征,在夏秋季浓度较高。

江苏省共有 13 个设区市,根据地理位置将江苏省划分为苏北(徐州、连云港、淮安、盐城、宿迁)5 市,苏中(南通、扬州、泰州)3 市和苏南(南京、无锡、常州、苏州、镇江)5 市,共 3 个区域。现对 2014—2016 年江苏省 O<sub>3</sub> 污染状况,以及苏北、苏中和苏南 3 个典型区域 O<sub>3</sub> 年度、季度、日变化和频度占比等分布特征进行分析。

## 1 数据来源与评价方法

### 1.1 数据来源

数据来自江苏省 72 个国控环境空气质量自动监测站,13 个设区市分别设有 4~9 个站点,每个站点对 O<sub>3</sub> 进行 24 h 实时监测,选取 2014—2016 年数据进行统计分析。

### 1.2 评价方法

评价方法按照文献[1]和《环境空气质量指数 AQI 技术规定》(HJ 633—2012),以二级标准判定是否超标。O<sub>3</sub> 的日均值为 O<sub>3</sub> 的 8 小时滑动平均的最大值(O<sub>3</sub>-8h),季节均值、年均值以时间范围内日均值的算术平均作为质量浓度值。

## 2 结果分析

### 2.1 江苏省 O<sub>3</sub> 污染总体状况

2014—2016 年江苏省  $\rho(O_3)$  及超标率变化见图 1,2014—2016 年江苏省首要污染物超标占比变化见图 2(a)(b)(c)。

由图 1 和图 2 可见,2014—2016 年江苏省  $\rho(O_3)$  呈上升的趋势,2015 年较 2014 年上升 8.4 个百分点,2016 年与 2015 年基本持平。O<sub>3</sub>-8h 第 90 百分位数,2014 年达标,2015—2016 年均超国家空气质量二级标准。从首要污染物超标占比看,O<sub>3</sub> 的超标占比从 2014 年 18.4% 大幅上升到 2015 年的 34.4%,2016 年达 34.9%,而 PM<sub>2.5</sub> 的超标占比逐年下降,到 2016 年 O<sub>3</sub> 的占比已接近 PM<sub>2.5</sub>。另外,作为 O<sub>3</sub> 的重要前体物 NO<sub>2</sub> 的超标占比也在逐年提高。

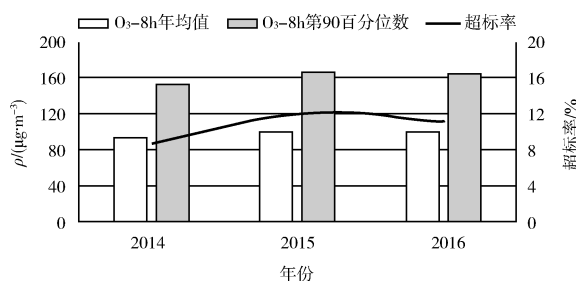


图 1 2014—2016 年江苏省 O<sub>3</sub> 污染状况及超标率

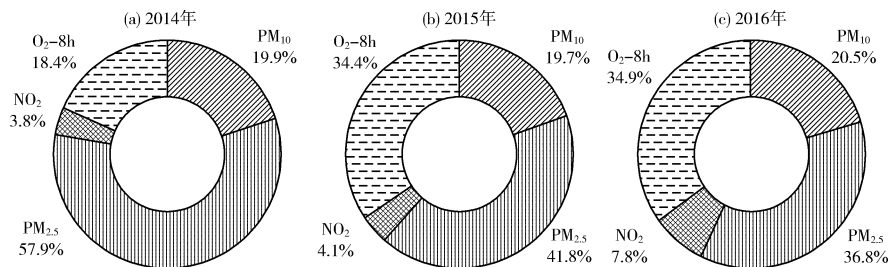


图 2 2014—2016 年江苏省首要污染物超标占比变化

## 2.2 苏北、苏中和苏南地区 $O_3$ 污染特征

### 2.2.1 年度变化

2014—2016年苏北、苏中和苏南区域  $O_3$  - 8h 第90百分位数见图3。由图3可见,2016年苏南地区  $O_3$  - 8h 第90百分位数最高,苏北最低,苏北、苏中和苏南地区较2014年分别上升2.7%, 21.8%和3.3%。3个区域3年的变化规律略有不同,苏中地区上升最为明显,尤其是2015年,比2014年上升幅度高达30.7%,2016年略有回落,其值已接近苏南水平。苏南地区  $O_3$  - 8h 第90百分位数3年都处于较高水平,且逐年小幅上升,均超过的国家二级标准( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )。苏北地区变化不大,2014年高于苏中地区,但是2015和2016年均低于苏中地区。

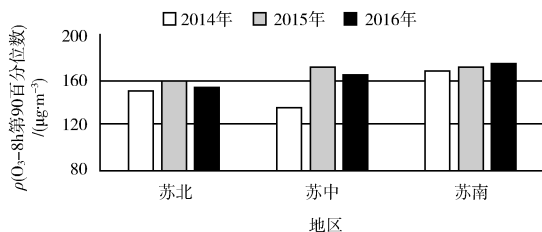


图3 2014—2016年苏北、苏中和苏南区域  $O_3$  - 8h 第90百分位数

### 2.2.2 季节变化

2014—2016年苏北、苏中和苏南区域  $O_3$  - 8h 季节均值分布见图4(a)(b)(c),其中春季(3—5月),夏季(6—8月),秋季(9—11月),冬季(12月至次年1—2月)。由图4可见,夏季  $O_3$  - 8h 均值最高,春、秋2季次之,冬季最低,因为在冬季太阳辐射弱,温度低,导致  $O_3$  的光化学过程较弱<sup>[8]</sup>。从近3年变化趋势来看,3个区域在冬季  $\rho(O_3)$  都在持续上升,升幅最大的是苏中和苏南地区,2016年较同期相比上升幅度都超过24个百分点,并且苏中地区冬季高于其他2个地区。

$O_3$  - 8h 季节均值高值都集中在夏季,2016年3个地区接近或超过  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,苏南较同期上升5.2个百分点,苏北和苏中略有下降,说明在夏季  $O_3$  污染已呈现全省范围性。2015年苏北、2016年苏北和苏中的  $O_3$  - 8h 均值都超过了苏南地区。春季的  $O_3$  - 8h 均值仅次于夏季,2015—2016年3个地区均超过  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,苏北和苏中地区3年都呈现上升趋势,2016年已与苏南地区持平或接近。

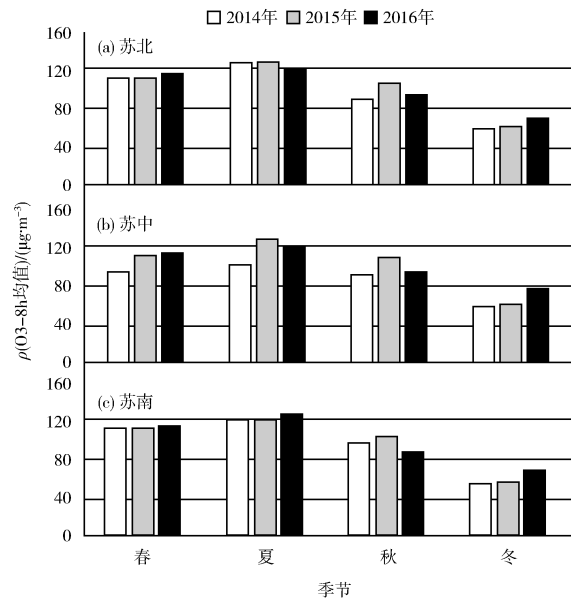


图4 2014—2016年苏北、苏中和苏南区域  $O_3$  - 8h 季节均值分布特征

### 2.2.3 日变化

2014—2016年苏北、苏中和苏南区域  $O_3$  - 1h 日变化分析见图5(a)(b)(c)。由图5可见,  $O_3$  - 1h 日变化呈单峰型,最低值出现在06:00—07:00,最高值出现在15:00—16:00。主要因为夜间  $\text{NO}_x$  持续消耗  $O_3$ ,使  $O_3$  - 1h 下降,日出以后  $O_3$  光化学反应开始使其值逐步上升,因此在日出前形成  $O_3$  - 1h 最低值,在午后光照较为充足时到达峰值<sup>[8]</sup>。

苏南地区日变化最大值出现在2016年15:00,最低值为2014年07:00,日变化的最大振幅出现在2014年,达  $98.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,最小振幅出现在2014年的苏中地区,为  $70.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

日变化较为明显的是苏中地区,2015年日变化曲线整体高于苏南地区,15:00的最高值超过了苏南地区  $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,较2014年同时段上升  $28.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,虽然2016年有所回落,但是仍处于较高水平。

苏南地区在近3年  $O_3$  - 1h 一直处于较高水平,15:00的最高值也是逐年上升,并且日变化的振幅范围均大于苏北和苏中地区,说明苏南地区在夜间消耗  $O_3$  和白天生成  $O_3$  的化学反应更为显著,使得日出前  $\rho(O_3)$  更低,午后更高。

苏北地区相较于苏中和苏南地区污染程度相对较小,振幅范围最小,在00:00—07:00和

21:00—23:00 的  $O_3$  - 1h 低值区, 苏北较苏中和苏南地区都要高; 在午后的高值区, 苏北地区与其他 2 个地区相当。

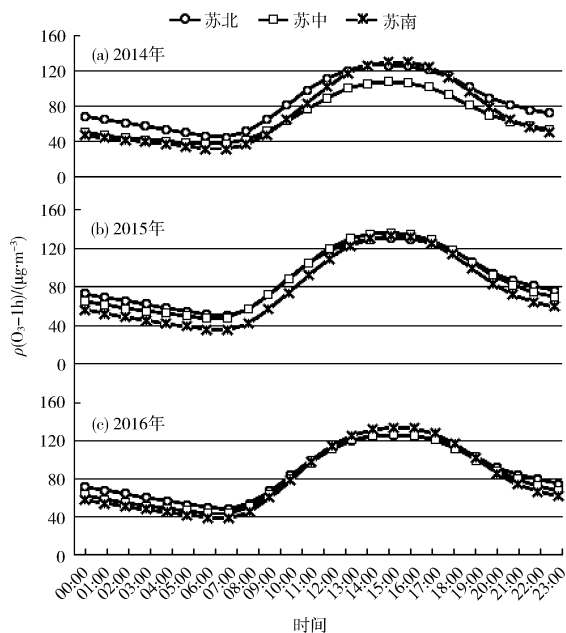


图 5 2014—2016 年苏北、苏中和苏南区域  $O_3$  - 1h 日变化

### 2.2.4 频度占比

以  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  为划分间隔, 计算苏北、苏中和苏南 3 个区域  $O_3$  小时值的频度占比。因 3 个区域的样本数各有不同, 所以以频度占比作为比较依据, 分析 3 个区域在不同  $\rho(O_3)$  所占频率, 同时比较 2016 与 2014 年的变化情况。

2016 年  $O_3$  小时值频度占比见图 6 (a) (b) (c)。由图 6 可见, 2016 年 3 个地区的  $O_3$  频度占比均呈正态分布, 主要集中在  $40 \sim 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 所占比例均  $> 15\%$ , 其中  $60 \sim 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  苏北地区占比最大, 苏中其次, 而在  $160 \sim 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  是苏南地区占比最大。由此看出苏北和苏中地区的  $\rho(O_3)$  主要集中在临近超标值附近, 高值区则在苏南地区。

2016 和 2014 年相比  $O_3$  频率占比变化百分率见图 7 (a) (b) (c)。

由图 7 可见, 苏北地区变化幅度不大, 增幅较大的主要集中在  $120 \sim 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 在  $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  略有下降。苏中和苏南区域变化幅度较大, 低值区  $0 \sim 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  在大幅度减少,  $80 \sim 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  都有不同程度增长, 其中苏中地区在  $180 \sim 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  高

值区增长幅度超过了苏南地区。

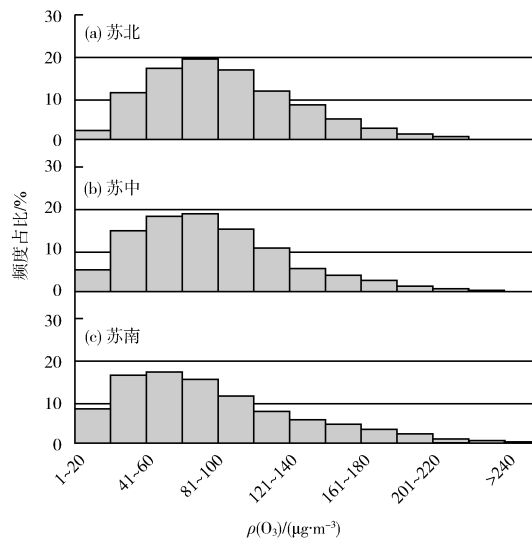


图 6 2016 年  $O_3$  小时值频度分布占比

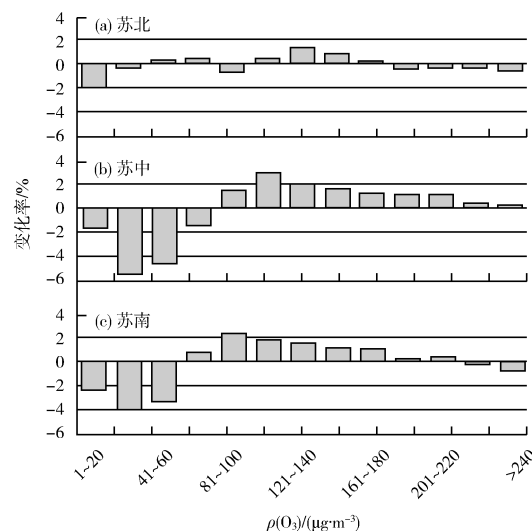


图 7 2016 和 2014 年相比  $O_3$  频率占比的变化百分率

### 3 结论

(1) 2014—2016 年江苏省  $\rho(O_3)$  呈上升的趋势, 2015 年较 2014 年上升 8.4 个百分点, 2016 年与 2015 年基本持平。  $O_3$  - 8 h 第 90 百分位数 2014 年达标, 2015—2016 年均超国家空气质量二级标准。  $O_3$  的超标占比从 2014 年 18.4% 大幅上升至 2016 年的 34.9%。

(2) 2016 年苏南地区  $O_3$  - 8 h 第 90 百分位数最高, 苏北最低, 苏北、苏中和苏南地区较 2014 年分别上升 2.7% , 21.8% 和 3.3%。

(3)  $O_3 - 8h$  季节均值高值都集中在夏季, 2016 年苏北、苏南和苏中区域接近或超过  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 苏南较同期上升 5.2 个百分点, 苏北和苏中略有下降, 在夏季  $O_3$  污染已呈现全省范围性。近 3 年变化趋势表明, 3 个区域在冬季  $\rho(O_3)$  都在持续上升, 升幅最大的是苏中和苏南地区。

(4) 3 个区域  $O_3 - 1 h$  日变化呈单峰型, 最低值出现在 06:00—07:00, 最高值出现在 15:00—16:00。苏南地区日变化最大值出现在 2016 年 15:00, 最低值为 2014 年 07:00, 日变化的最大振幅出现在 2014 年, 达  $98.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 最小振幅出现在 2014 年的苏中地区, 为  $70.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

(5) 2016 年 3 个地区的  $O_3$  频度占比均呈正态分布, 主要集中在  $40 \sim 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 所占比例均  $> 15\%$ , 其中  $60 \sim 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  苏北地区占比最大, 苏中其次, 而在  $160 \sim 240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  是苏南地区占比最大。苏北地区 2016 和 2014 年相比  $O_3$  频率占比的变化幅度不大, 苏中和苏南区域变化幅度较大。

(上接第 38 页)

业送样, 样品 5 为环境管理执法部门样品。

表 5 染整加工废水中总锑质量浓度测定结果

样品	测定值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$		平均值/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	评价 <sup>①</sup>
	1	2		
3-1	0.05	0.06	0.06	合格
3-2	0.04	0.05	0.04	合格
4-1	0.24	0.24	0.24	超标
4-2	0.19	0.18	0.18	超标
5-1	0.08	0.09	0.08	合格
5-2	0.07	0.07	0.07	合格

① 根据《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012) 总锑排放控制要求。

### 3 结论

建立了全自动石墨消解-电感耦合等离子体发射光谱法测定染整企业废水中总锑的方法。试验结果表明, 该方法简单、易操作, 检出限与测定下限较低, 加标回收率为  $96.1\% \sim 103.8\%$ , 有证标准样品试验结果在保证值范围内, 符合技术规范要求。测定下限符合《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012) 修改单对总锑含量评价的要求。

#### [参考文献]

[1] SCHEINOST A C, ROSSBERG A, VANTELON D, et al. Quan-

#### [参考文献]

- [1] 环境保护部, 国家质量监督检验检疫总局. 环境空气质量标准: GB 3095—2012[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [2] 张远航, 邵可声, 唐孝炎, 等. 中国城市光化学烟雾污染研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1998, 34(2-3): 392-400.
- [3] 孔琴心, 刘广仁, 李桂忱. 近地面臭氧浓度变化及其对人体健康的可能影响[J]. 气候与环境研究, 1999, 4(1): 61-66.
- [4] 殷永泉, 李昌梅, 马桂霞, 等. 城市臭氧浓度分布特征[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 16-20.
- [5] 潘本锋, 程麟钧, 王建国, 等. 京津冀地区臭氧污染特征与来源分析[J]. 中国环境监测, 2016, 23(5): 17-23.
- [6] 刘芷君, 谢小训, 谢旻, 等. 长江三角洲地区臭氧污染时空分布特征[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(3): 445-450.
- [7] 张莹, 岳珂利, 江明, 等. 珠江三角洲臭氧污染特征与趋势初步分析[J]. 广东化工, 2016, 43(12): 152-153.
- [8] 刘小正, 楼晟荣, 陈勇航, 等. 基于 OMI 数据的中国中东部城市近地面臭氧时空分布特征研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(8): 2811-2818.

titative antimony speciation in shooting-range soils by EXAFS spectroscopy[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2006, 70(13): 3299-3312.

- [2] 环境保护部. 纺织染整工业水污染物排放标准: GB 4287—2012[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [3] 客绍英, 石洪凌, 刘冬莲. 锑的污染及毒性效应和生物有效性[J]. 化学世界, 2005(6): 382-384.
- [4] WHO. Antimony in drinking-water[M]. London: Water Sanitation Health, 2003.
- [5] FU Z Y, WU F C, AMARASIRIWARDENA D, et al. Antimony, arsenic and mercury in the aquatic environment and fish in a large antimony mining area in Hunan, China[J]. Science of The Total Environment, 2010, 408(16): 3403-3410.
- [6] 俞梁敏, 顾唯希, 霍帅文, 等.  $\text{Fe}_3\text{O}_4 @ \text{ILs} - \beta$ -CDPC 磁固相萃取-电感耦合等离子体发射光谱法同时测定环境水样中铅和锑[J]. 分析科学学报, 2017, 33(4): 461-466.
- [7] 严慧, 王干珍, 汤行, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定锑矿石中 14 种元素的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2017, 53(1): 34-38.
- [8] 环境保护部. 水质 32 种元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法: HJ 776—2015[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2015.
- [9] 环境保护部. 水质 金属总量的消解 硝酸消解法: HJ 677—2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2013.
- [10] 环境保护部. 环境监测 分析方法标准制修订技术导则: HJ/T 168—2004[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.