

# 上海城区交通干道苯系物污染初探

肖彬

(上海市静安区环境监测站, 上海 200072)

**摘要:**利用设置在上海市中心城区交通主干道旁的路边空气质量自动监测站2018年1—12月的连续观测数据,研究苯系物(BTEX)污染水平、变化特征以及其与CO、NO<sub>x</sub>和气象参数的关系。结果表明,观测期间BTEX小时均值为0.10~169.38 μg/m<sup>3</sup>,年均值为(13.66±0.14) μg/m<sup>3</sup>,甲苯占比最高。ρ(BTEX)受污染源排放强度和天气状况的影响大,其日变化呈单谷型,冬季值比夏季高。BTEX各化合物具有较好的同源性,ρ(苯)/ρ(甲苯)为(0.49±0.01)。BTEX与机动车尾气主要成分CO、NO<sub>x</sub>呈正相关,与风速负相关。其值低于北京、南京、郑州、杭州和西安等城市。

**关键词:**苯系物;交通干道;上海城区

中图分类号:X734.2;X823

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2020)01-0020-05

## Preliminary Study on Benzene Series Pollution of Urban Traffic Main Road of Shanghai

XIAO Bin

(Shanghai Jingan District Environmental Monitoring Station, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** The contamination level and variation characteristics of benzene series (BTEX) and their relationship with CO, NO<sub>x</sub> and meteorological parameters were studied by using the continuous observation data of roadside air quality automatic monitoring station located beside the main traffic road in downtown Shanghai from January 2018 to December 2018. The results showed that the hourly average concentration of BTEX was 0.10 ~ 169.38 μg/m<sup>3</sup> during the observation period. The yearly average concentration of BTEX was (13.66 ± 0.14) μg/m<sup>3</sup>, and toluene accounted for the highest proportion. The concentration of BTEX was greatly affected by the intensity of pollutant emission and weather conditions. The diurnal variation of BTEX concentration was single valley type, and the concentration in winter was higher than that in summer. The compounds of BTEX had good homology, and the B/T ratio was (0.49 ± 0.01). The concentration of BTEX was positively correlated with the concentration of CO and NO<sub>x</sub>, and negatively correlated with the wind speed. The concentration of BTEX was lower than that of Beijing, Nanjing, Zhengzhou, Hangzhou and Xi'an in China.

**Key words:** Benzene series; Main traffic road; Shanghai urban area

目前,机动车尾气排放已成为大气中挥发性有机化合物(VOCs)的重要来源,截止2017年末,上海市注册机动车保有量为390.5万辆,较上年增长8.5%<sup>[1]</sup>。苯系物(BTEX)是汽油车和柴油车VOCs成分谱主要物种<sup>[2-6]</sup>,不仅对人体具有潜在的危险性和致癌性<sup>[7-9]</sup>,而且还具有较高的光化学反应活性,对臭氧(O<sub>3</sub>)生成潜势和二次有机气溶胶的形成都有重要贡献<sup>[10-11]</sup>。

BTEX中含量最高、最具代表性的物种是苯、甲苯、乙苯和二甲苯。现利用设置在上海共和新路广中西路路口的路边空气自动监测站实时监测数

据,研究道路交通中BTEX的污染水平、变化特征,以及与一氧化碳(CO)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)和气象参数的关系,初步了解该测点BTEX对周围环境的影响,以期BTEX的污染防治提供科学依据。

### 1 研究方法

#### 1.1 采样时间

2018年1月1日—12月31日,24 h连续监测。

#### 1.2 采样地点

监测点位于上海共和新路广中西路路口空气质量自动监测站,采样高度4.3 m。测点东面的共

收稿日期:2019-06-10;修订日期:2019-07-09

作者简介:肖彬(1989—),男,助理工程师,本科,从事环境监测工作。

和新路和北面的广中西路是二条交通主干道,其中共和新路分地面和高架二层,车流量大。测点距共和新路8.2 m,距广中西路15.6 m。测点附近没有工业排放源,南面和西面是商业区和大型绿地公园。

### 1.3 监测项目和仪器

苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯和对/间二甲苯的监测采用 GC 5000 苯系物在线气相色谱分析系统(德国 AMA 公司)。CO、NO<sub>x</sub>的监测采用 48i 一氧化碳分析仪和 42i 氮氧化物分析仪(美国 ThermoFisher 公司)。相对湿度、风向、风速、气压和气温的测定采用 WS-5005 参数气象测定仪(德国 LUFFT 公司)。按《环境空气质量自动监测技术规范》(HJ/T 193—2005)做好数据采集和审核,对各分析仪进行定期巡检、维护、单点校准和多点校准,确保各分析仪线性状况、精度和运行状况正常。

## 2 结果与讨论

### 2.1 BTEX 小时均值分布特征

2018 年 BTEX 小时均值有效数据 8 425 个,为 0.10 ~ 169.38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,年均值为  $(13.66 \pm 0.14) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。其中苯、甲苯、乙苯、邻二甲苯和对/间二甲苯年均值依次为  $(1.74 \pm 0.01)$ ,  $(5.32 \pm 0.07)$ ,  $(1.56 \pm 0.02)$ ,  $(1.45 \pm 0.01)$  和  $(3.59 \pm 0.04) \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,占 BTEX 年均值比例依次为 12.7%, 38.9%, 11.4%, 10.6% 和 26.3%,甲苯占 BTEX 的比例最高,其次是对/间二甲苯和苯。

对 BTEX 小时均值频率分布统计见图 1。由图 1 可见,BTEX 小时均值呈右偏态分布,中值  $9.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

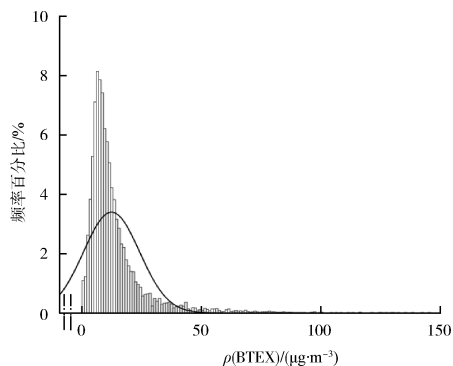


图 1 2018 年 BTEX 小时均值频率总体分布

### 2.2 $\rho(\text{BTEX})$ 及变化趋势

BTEX 日均值有效数据产生天数 360 d,日均值为 0.32 ~ 62.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,平均值为  $(13.62 \pm 0.50) \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,第 50 百分位值为 10.83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,第 90 百分位值为 24.89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。图 2 是 BTEX 日均值时间序列变化,由图 2 可见,BTEX 日均值变化较大,年内出现过多次高污染过程,尤其是 2018 年 1 月 31 日、11 月 29 日、12 月 18 和 19 日 BTEX 日均值分别达到了 52.29, 61.35, 62.06 和 59.18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  的异常高值,BTEX 污染程度极高,可能是受污染源排放强度和天气状况的影响。

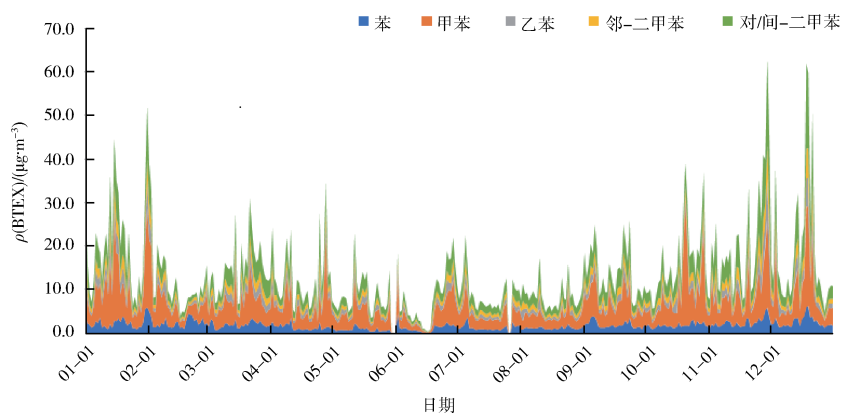


图 2 BTEX 日均值时间序列变化

$\rho(\text{BTEX})$  日变化受污染物的源、汇和大气边界层稳定程度的影响。图 3 为 BTEX 各组分日均日变化特征。由图 3 可见,BTEX 各组分日变化基本上呈单谷型,变化趋势也比较一致。在 13:00 有

一个相对低的浓度谷值。一方面此时段机动车流量明显小于其他时段,另一方面此时段大气对流强烈,有利于污染物稀释扩散和运输,而且中午温度最高,阳光充足,有利于 BTEX 参与光化学反应而

被消耗。在 07:00—08:00 和 18:00 时段  $\rho(\text{BTEX})$  较高且与上下班高峰期一致, 此时车流量大, 机动车尾气排放量也大。除了甲苯在 02:00 时段可能

受高污染事件影响有一略高的峰值外, 00:00—06:00 及 19:00—23:00 时段  $\rho(\text{BTEX})$  变化范围不大。

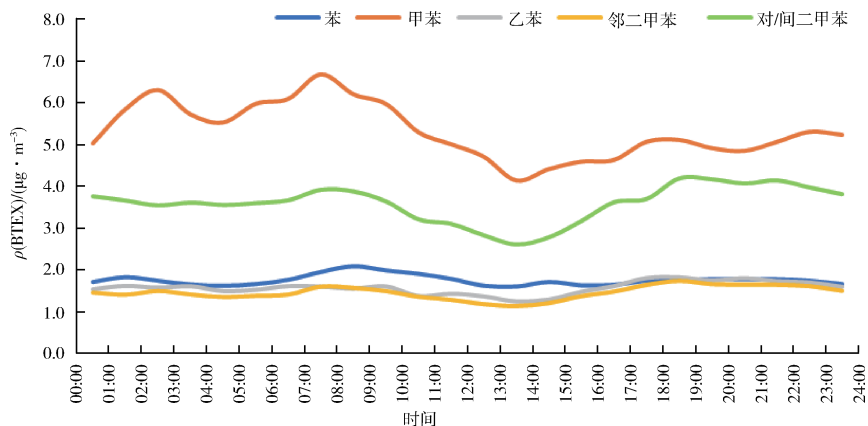


图 3 BTEX 各组分日变化特征曲线

$\rho(\text{BTEX})$  月度变化特征见图 4。由图 4 可见, BTEX 月均值为  $8.02 \sim 20.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 具有冬季高、夏季低的特点。每个月 BTEX 各化合物中  $\rho(\text{甲苯})$  最高, 占  $\rho(\text{BTEX})$  33.7% ~ 44.6%。1、11 和 12 月是 BTEX 污染最严重的 3 个月, 月均值分别为  $20.85, 20.14$  和  $18.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。2 月份  $\rho(\text{BTEX})$  明显低于 1 和 3 月, 可能因为春节长假, 道路上机动车流量减少,  $\rho(\text{BTEX})$  降低。5—8 月 BTEX 污

染较轻, 月均值为  $8.02 \sim 8.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 处于全年低值区域。BTEX 冬季月均值比夏季高 2 倍以上。文献[12]发现, 大气中 BTEX 的降解主要是通过和 OH 自由基快速反应完成的。夏季阳光充足、气温高, 有助于  $\text{O}_3$ 、醛类等化合物光分解产生 OH 自由基, 所以夏季的 OH 自由基浓度最高, 使得 BTEX 的降解速度加快。而冬季逆温现象不利于污染物扩散。因此, 冬季  $\rho(\text{BTEX})$  要比夏季高。

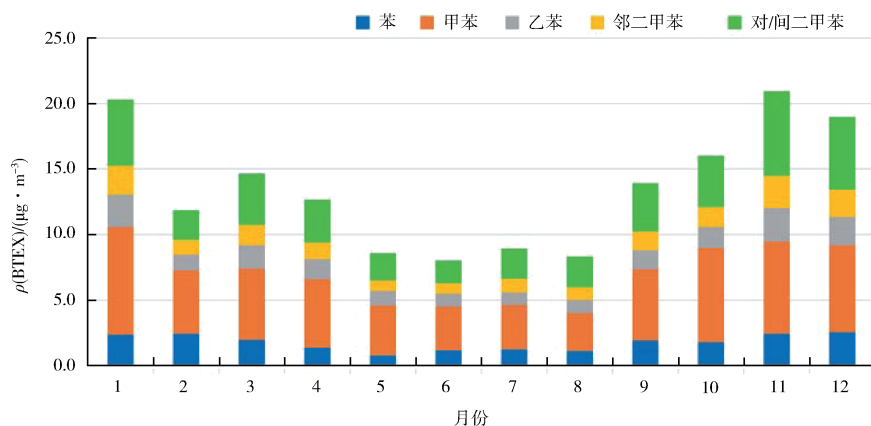


图 4 BTEX 月均值变化

### 2.3 BTEX 各化合物之间相关性和比值

利用 SPSS 软件计算 BTEX 各化合物之间的相关性, 见表 1。由表 1 可见, 各化合物之间存在显著正相关, 相关系数 ( $R$ ) 均  $>0.64$ 。特别是乙苯、邻二甲苯和对/间二甲苯之间相关性极强,  $R >$

0.93。说明 BTEX 各化合物具有较好的同源性。

利用  $\rho(\text{苯})/\rho(\text{甲苯})$  可以初步判断 VOCs 中 BTEX 的来源, 文献 [13-15] 表明,  $\rho(\text{苯})/\rho(\text{甲苯}) \approx 0.5$ , 交通源是城市大气中 BTEX 的主要来源。经统计, 2018 年  $\rho(\text{苯})/\rho(\text{甲苯})$  年均值为

表 1 BTEX 之间的相关性<sup>①</sup>

R	苯	甲苯	乙苯	邻二甲苯	对/间二甲苯
苯	1				
甲苯	0.644 **	1			
乙苯	0.721 **	0.779 **	1		
邻二甲苯	0.743 **	0.805 **	0.952 **	1	
对/间二甲苯	0.716 **	0.796 **	0.933 **	0.981 **	1

① \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

( $0.49 \pm 0.01$ ), 接近 0.5, 说明此测点的机动车尾气是 BTEX 的主要来源。 $\rho(\text{苯})/\rho(\text{甲苯})$  月变化见图 5。由图 5 可见, $\rho(\text{苯})/\rho(\text{甲苯})$  月均值为 0.23 ~ 1.32, 2 月份明显高于其他月份, 可能此阶段测点受到燃煤污染源的影响<sup>[16-17]</sup>。

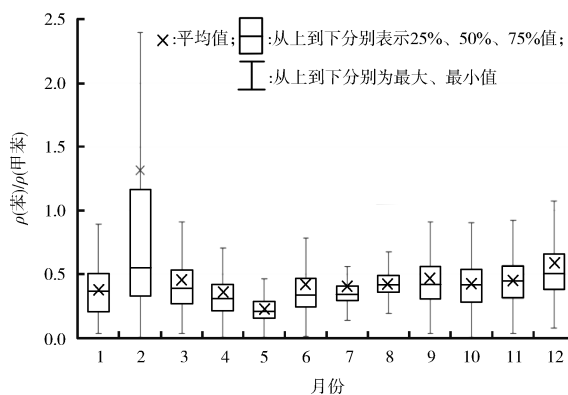


图 5  $\rho(\text{苯})/\rho(\text{甲苯})$  月变化

2.4 BTEX 与 CO、NO<sub>x</sub> 的相关性

交通主干道上的 CO、NO<sub>x</sub> 主要来自机动车排放的尾气。利用 SPSS 软件计算 BTEX 各化合物与 CO、NO<sub>x</sub> 的相关性, 结果见表 2。由表 2 可见, BTEX 与 CO、NO<sub>x</sub> 都显著正相关。相比之下, BTEX 与 CO 的相关性要强一些。这可能是在机动车污染物排放量中, 汽油车是 CO 和 VOCs 的主要排放

源, 而柴油车是 NO<sub>x</sub> 的主要排放源<sup>[18]</sup>, BTEX 与 CO 的同源性更好。

表 2 BTEX 各化合物与 CO、NO<sub>x</sub> 的相关性<sup>①</sup>

R	苯	甲苯	乙苯	邻二甲苯	对/间二甲苯
CO	0.726 **	0.653 **	0.753 **	0.752 **	0.728 **
NO <sub>x</sub>	0.400 **	0.417 **	0.540 **	0.615 **	0.633 **

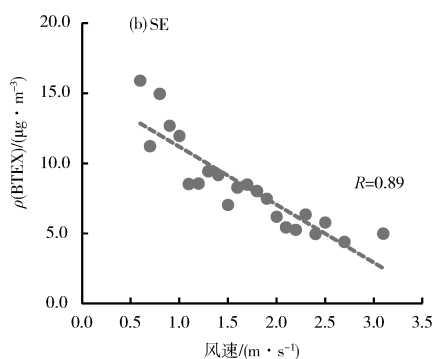
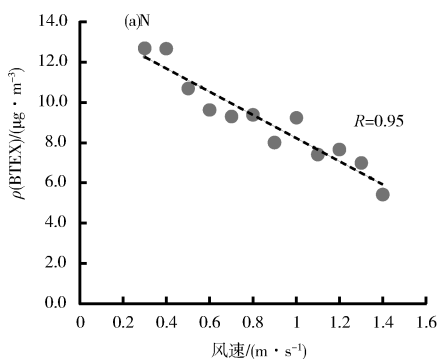
① \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

2.5 BTEX 与风向、风速的关系

2018 年静风频率为 35.3%。主导风向是 N 风, 频率为 30.7%。其他主要风向和频率分别是 SE 10.0%、ENE 8.4% 和 NE 4.1%。此风向监测结果可能是测点位置比较低, 其他方向的风受到高架桥、高大的商业建筑物和绿地公园高大茂密的树木遮挡。静风状态下 BTEX 均值为 ( $18.74 \pm 0.31$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , N、SE、ENE 和 NE 风向的 BTEX 均值分别为 ( $11.53 \pm 0.18$ ), ( $10.31 \pm 0.31$ ), ( $10.63 \pm 0.34$ ) 和 ( $11.48 \pm 0.76$ )  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。静风状态下 BTEX 的污染程度是其他风向的 1.6 ~ 1.8 倍, 污染物的扩散受大气流动的影响较大。N、SE、ENE 和 NE 4 个主要风向下 BTEX 均值与风速的关系见图 6(a)(b)(c)(d)。由图 6 可见, BTEX 变化受风速影响显著, 其值随风速增大而逐步减小。

2.6 上海与国内城市交通干道  $\rho(\text{BTEX})$  比较

上海与国内一些城市交通干道上 BTEX 污染水平比较见表 3。由表 3 可见, 测点除了对/间二甲苯值略高于南京外, 其他监测结果都低于其他 5 个城市。这是由于上海市历年来不断加大机动车污染防治力度, 严抓机动车排气污染年检、积极开展路检、抽检, 加强对汽车维修企业的监管、强化旧车交易环保指标的监管、加强燃料管理, 加大老旧车辆的更新、报废力度等一系列措施有效控制和降低了大气中  $\rho(\text{BTEX})$ 。



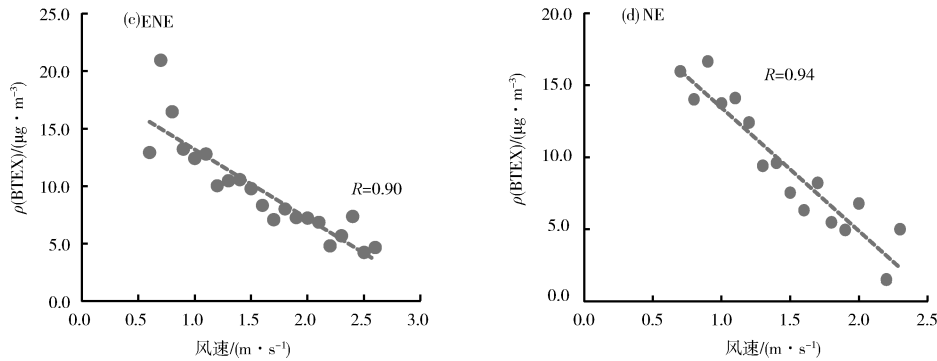


图 6 4 个主要风向下 BTEX 均值与风速的关系

表 3 上海与国内城市交通干道  $\rho$  (BTEX) 比较

城市	苯	甲苯	乙苯	邻二甲苯	对/间二甲苯	采样时间	采样高度/m	采样和分析方法
上海	1.74 ± 0.01	5.32 ± 0.07	1.56 ± 0.02	1.45 ± 0.01	3.59 ± 0.04	2018-01-01— 12-31	4.3	连续自动监测, GC/PID
北京 <sup>[19]</sup>	23.2 ± 12.9	64.8 ± 22.0	33.2 ± 6.8	20.5 ± 7.0	48.6 ± 15.1	2002-04-26	1.5	罐采样, GC/FID
南京 <sup>[20]</sup>	3.36 ± 0.55	9.37 ± 1.48	5.09 ± 2.11	2.12 ± 1.14	2.10 ± 1.09	2014-04-01	1.5	罐采样, GC/MS
郑州 <sup>[21]</sup>	22.53	31.55	8.19	6.95	23.7	2003 年冬季	1.5	罐采样, GC/MS
杭州 <sup>[22]</sup>	32.13 ~ 37.64	84.20 ~ 96.37	10.51 ~ 22.07	2.63 ~ 6.57	23.01 ~ 36.71	2001-10-19—20	1.5	活性炭管采样, GC/FID
西安 <sup>[23]</sup>	6.45 ~ 7.58	4.44 ~ 7.21	2.62 ~ 4.76	2.60 ~ 3.65	4.21 ~ 9.34	2016-07—08	1.5	活性炭管采样, GC/FID
	14.93 ~ 17.51	13.55 ~ 19.52	4.22 ~ 6.52	3.63 ~ 4.14	4.21 ~ 10.16	2015-12— 2016-01	1.5	活性炭管采样, GC/FID

### 3 结论

(1) 2018 年 BTEX 小时均值为 0.10 ~ 169.38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 年均值为  $(13.66 \pm 0.14) \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 呈右偏态分布。

(2) BTEX 日均值为 0.32 ~ 62.06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 平均值为  $(13.62 \pm 0.50) \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。BTEX 日间值变化规律与交通早晚高峰有关, 限制车流量可以有效降低大气中  $\rho$ (BTEX)。

(3) BTEX 的污染程度与污染源排放强度和气候变化密切相关, 年内出现过多次高污染过程。冬季污染严重, 夏季污染较轻。

(4) BTEX 各化合物之间存在显著正相关,  $\rho$ (苯)/ $\rho$ (甲苯) 为  $(0.49 \pm 0.01)$ , 表明机动车尾气是该测点 BTEX 的主要污染源。

(5) BTEX 与  $\text{NO}_x$ 、CO 显著正相关, 说明其有共同的来源, 主要都来源于机动车的尾气排放。

(6) BTEX 受风速影响显著, 其值随着风速的增大而逐渐减小。

(7) 上海  $\rho$ (BTEX) 低于北京、南京、郑州、杭州和西安等城市, 机动车污染治理和监管成效显著。

### [参考文献]

- [1] 上海市交通行业发展报告(2018) [R]. 上海: 上海市交通港航发展研究中心, 2018.
- [2] 乔月珍, 王红丽, 黄成, 等. 机动车尾气排放 VOCs 源成分谱及其大气反应活性[J]. 环境科学, 2012, 33(4): 1071-1079.
- [3] 鲁君, 王红丽, 陈长虹, 等. 上海市机动车尾气 VOCs 组成及其化学反应活性[J]. 环境污染与防治, 2010, 32(6): 19-26.
- [4] 姚森, 魏巍, 程水源, 等. 轻型汽油车 VOCs 排放特征及其大气反应活性[J]. 中国环境科学, 2016, 36(10): 2923-2929.
- [5] 陈天增, 葛艳丽, 刘永春, 等. 我国机动车排放 VOCs 及其大气环境影响[J]. 环境科学, 2018, 39(2): 478-492.
- [6] 刘丽莉, 姚志良. 机动车尾气排放 VOCs 研究进展[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(3): 68-74.
- [7] CHRISTENSEN C S, SKOV H, PALMGREN F. C5-C8, non-methane hydrocarbon measurements in Copenhagen: Concentrations, sources and emission estimates [J]. Science of the Total Environment, 1999, 236(1-3): 163-171.
- [8] READ R, READ C. Breathing can be hazardous to your health [J]. New Scientist, 1991, 129(1757): 24-37.

(下转第 43 页)