

# 中国北方典型城市空气中苯系物的污染特征<sup>\*</sup>

赵若杰<sup>1</sup> 史建武<sup>1,2</sup> 韩 斌<sup>1</sup> 彭 跃<sup>3</sup> 白志鹏<sup>1\*\*</sup>

(1. 南开大学国家环境保护城市空气颗粒物污染防治重点实验室, 天津, 300071;  
2. 昆明理工大学环境科学与工程学院, 昆明, 650093; 3. 辽宁省环境监测实验中心, 沈阳, 110031)

**摘 要** 为了研究中国北方典型城市大气中苯系物的污染状况和季节变化特征,于2008年4月—2009年1月间,选取沈阳和天津共11个监测点位分别采集大气样品,并利用三级冷阱预浓缩-GC-MS方法进行分析.结果表明,天津的苯系物污染浓度比沈阳高,这是因为天津的机动车保有量远远大于沈阳,机动车尾气排放量较大.苯系物的污染程度与不同季节的气候变化密切相关,两城市均表现为春秋两季污染严重,冬夏两季污染较轻.城市不同功能区采样点的比较和苯与甲苯(B/T)的比值以及各苯系物之间的相关性分析表明,两城市苯系物污染浓度均受到局部排放源的明显影响,但在大部分地区交通源仍为主要排放源.

**关键词** 城市空气, 天津, 沈阳, 苯系物, 污染特征.

挥发性有机物(Volatile Organic Compounds,简称VOCs)由于大多以气态存在,能够通过暴露人群的呼吸系统和皮肤进入人体而成为现在城市空气中一类很重要的污染物,苯系物(BTEX)就是其中一类.通常所指的苯系物(BTEX)是苯、甲苯、乙苯、二甲苯的统称,是重要的一组芳香烃,它具有强致癌作用<sup>[1-2]</sup>.研究表明,苯系物还具有较高的光化学反应活性<sup>[3]</sup>,与大气中光化学烟雾和气溶胶形成有着密切联系<sup>[4-5]</sup>.近年来,随着城市经济的发展和机动车保有量的迅速增加,苯系物的污染已经日益严峻.王宇亮<sup>[6]</sup>等采用Tenax-TA/吸附热解吸、光离子化气相色谱法(GC-PD)对北京大气中的苯系物进行了为期一年的观测,发现交通尾气排放是北京市大气中苯系物的主要来源.张俊刚<sup>[7]</sup>等对2006年北京市大气中苯系物在工作日和非工作日的浓度变化进行了研究,结果发现由于非工作日机动车数量的减少使用,使得苯系物的浓度低于工作日.

沈阳和天津是中国北方典型的工业城市,钢铁、化工、冶金等重工业企业较多,煤炭能源消费量大,是形成煤烟型大气污染的主要原因.机动车作为城市大气环境的重要排放源日益受到人们的关注,其保有量急剧增长,大气污染已由煤烟型向复合型污染转变.

本文通过检测沈阳和天津市市区大气环境中BTEX组成和浓度分布,分析了北方典型城市的大气有机污染来源和特征,可为城市区域大气有机污染管理和控制提供科学依据.

## 1 实验部分

### 1.1 采样仪器设备和材料

**仪器设备** 气相色谱-质谱联用仪:岛津QP2010,配有电子轰击源(EI);美国ENTECH大气预浓缩系统:3100A罐清洗仪、4600A动态稀释仪、7100A大气预浓缩仪、7016自动进样器;不锈钢采样罐:内壁经过剖光、硅烷化处理,容积3.2 L;限流装置:流量可调节;色谱柱:DB-624(60 m × 0.25 mm × 1.40 μm).

**试剂和材料** 校准标准气体:TO-15,美国Spectra Gases,含64种化合物,浓度 $10^{-6}$ (V/V);PAMS标气,美国Spectra Gases,含57种化合物,浓度 $10^{-6}$ (V/V);四溴氟苯:自校用标准气体,浓度 $10^{-6}$ (V/V),美国Spectra Gases标准气体;冷冻捕集剂:液氮(-196.0℃,沸点);仪器用气体:氦气,纯度99.999%以上;试剂水:超纯水,用作湿化的水蒸气来稀释样品.

2012年6月6日收稿.

<sup>\*</sup> 环保部公益性行业专项(200709013)资助.

<sup>\*\*</sup> 通讯联系人, Tel:13072269946; E-mail:zbai@nankai.edu.cn

1.2 采样方法

根据地区的气候特点与污染源的季节性变化,在沈阳和天津共计 11 个采样站点进行了 4 次大规模区域环境采样,采样时间分别是,沈阳:2008 年 4 月 15—20 日,7 月 30 日—8 月 6 日,10 月 21—27 日,1 月 17—22 日;天津:2008 年 4 月 25—30 日,7 月 21—26 日,10 月 9—13 日,1 月 7—12 日,4 个月分别代表春、夏、秋、冬 4 个季节,每次采集是早 9:00 开始,第二天同一时间收集样品,采样方式为不锈钢罐,采样频率:1 罐/天,采样平均流量:0.13 L·h<sup>-1</sup>,各采样点信息如表 1.

表 1 天津和沈阳采样点  
Table 1 Sampling sites in Tianjin and Shenyang

| 城市 | 测点名称     | 经度             | 纬度            | 功能区     |
|----|----------|----------------|---------------|---------|
| 天津 | 市监测站(市站) | 117°09'4.44"E  | 39°05'49.32"N | 文化区     |
|    | 汇文中学     | 117°11'0.6"E   | 39°07'13.86"N | 商业区     |
|    | 河西       | 117°12'6.06"E  | 39°05'33.72"N | 居民区     |
|    | 北辰科技园    | 117°11'5.82"E  | 39°13'33.78"N | 工业居住混合区 |
|    | 梅江       | 117°12'32.4"E  | 39°04'3.18"N  | 工业居住混合区 |
|    | 东丽       | 117°21'41.86"E | 39°04'03.37"N | 工业区     |
| 沈阳 | 北陵       | 123°25'18.65"E | 41°50'22.42"N | 文化区     |
|    | 太原街      | 123°24'4.12"E  | 41°47'52.63"N | 商业区     |
|    | 二毛       | 123°21'2.23"E  | 41°48'40.42"N | 工业区     |
|    | 张士       | 123°17'25.09"E | 41°46'0.90"N  | 工业区     |
|    | 东北大学     | 123°24'58.88"E | 41°45'42.35"N | 文化区     |

1.3 样品分析

根据美国 EPA 推荐分析环境空气中有毒有机物的标准方法(TO-15),选择不锈钢罐采样-低温预浓缩-气相色谱-质谱技术对物质进行定性定量分析,所有样品从采集到最后分析完成的时间跨度小于 1 个月.

7100A 大气预浓缩仪分析过程:抽取 30 mL 样品,在第一级冷阱中(内装玻璃微球, - 150 ℃ 至 - 170 ℃)冷凝浓缩,之后冷阱被加热到 10 ℃—20 ℃,保持此温度同时通入高纯氮气,然后将其中的有机物传递到第二级冷阱(内装 Tenax 填料)中,此时第二级冷阱温度为 - 30 ℃ 至 - 40 ℃,用氮气将样品从第一级冷阱中吹到第二级冷阱中,并且携带的水分不足 0.5 L,此氮气也将 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 等从二级冷阱中吹出,之后,为了迅速将其注入分析柱中,第二级冷阱被加热至 180 ℃ 并反吹将其中捕集的物质进一步聚焦到第三级冷阱(一个体积小低温捕集管, - 170 ℃)中,再将第三级冷阱加热,载气将其带入气相色谱柱分离,即可将样品解析到分析柱中进行分析.

气相色谱条件:色谱柱:DB-624(60 m×0.25 mm×1.40 μm);升温程序:初始温度是 40 ℃(保持 3 min),以 8 ℃·min<sup>-1</sup>升温至 90 ℃(保持 1 min),再以 6 ℃·min<sup>-1</sup>升温至 200 ℃(9 min,保持直到所有目标化合物流出);载气:氮气,流速:1.2 mL·min<sup>-1</sup>;进样口温度:150 ℃;进样方式:不分流进样,进样时间:2 min,分流比为 13:7.

质谱条件:EI,电子轰击源;离子源温度:200 ℃;离子化能量:70 eV;接口温度:250 ℃.

检测器绝对电压:1.1 kV;溶剂延迟:2 min;扫描时间:2.5—38.5 min;质量范围:45—360 amu.

1.4 定性定量分析

相同实验条件下,将 PAMS 和 TO-15 标气用湿化的水蒸气稀释,配置成体积浓度为 2×10<sup>-9</sup>、5×10<sup>-9</sup>、10×10<sup>-9</sup>、20×10<sup>-9</sup>、50×10<sup>-9</sup>及 100×10<sup>-9</sup>的工作标气进行分析测试,建立外标工作曲线.计算目标化合物的峰面积,由标准曲线方程对目标化合物进行定量.结果计算中目标化合物的含量按如下公式进行计算:

$$C = Q_x \times \frac{M}{22.4}$$

式中,C 为目标化合物的含量,μg·m<sup>-3</sup>;Q<sub>x</sub>为样品中目标化合物经校准曲线计算出的含量,10<sup>-9</sup>(V/V);

$M$  为目标化合物的分子量.

2 结果与讨论

2.1 与国内外其它城市的比较

表 2 是两城市及与国内外其它城市大气环境中苯系物浓度水平的比较,可以看到天津的 BTEX 各化合物浓度均高于沈阳. 交通源是苯系物的主要排放源,查 2010 年《沈阳统计年鉴》和《天津统计年鉴》知 2009 年沈阳和天津的机动车保有量分别为 84.7 万辆和 155 万辆,天津的机动车数量将近是沈阳的两倍,造成交通尾气排放量大,污染严重;另外北京发展的饱和也使得更多的机械化工企业落户天津,北方的发展重心逐渐由北京转移向天津,推动了天津的经济发展,使得天津成为了中国北方的经济中心,虽然随着东北老工业基地振兴计划的实施,东北三省的经济也迅速发展起来,但相比较仍逊色于天津.

尽管各城市在气候、采样点环境、采样时间以及分析方法等方面存在差异,但是和别的城市仍然具有一定的可比性. 由表 2 可见,与国内城市相比,天津和沈阳的污染状况优于南京和上海,和连云港接近,比北京严重. 查 2010 年《北京统计年鉴》可知,北京 2009 年的机动车保有量约为 401.9 万辆,北京的交通污染源数量远远多于沈阳和天津. 另据查同一年鉴可知,天津和北京 2009 年工业的能源消耗总量等价值计量是 3962.03 万吨和 2392.4 万吨标准煤,说明工业排放源对苯系物污染有很大影响. 国外城市里,西班牙潘普洛纳的污染情况和这两个城市比较接近,西班牙拉科鲁尼亚郊区污染较轻,土耳其科喀艾里苯系物的浓度除苯外都很高,这是因为科喀艾里是土耳其很重要的一个工业城市,工业生产对 BTEX 污染有很大贡献.

表 2 与其它城市苯系物浓度的对比 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )  
Table 2 Comparison of BTEX concentrations with other cities ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

| 城市                             | 苯                    | 甲苯                    | 乙苯                   | 间对-二甲苯               | 邻-二甲苯                | 备注                                  |
|--------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|
| 沈阳                             | 6.41<br>(0.32—18.10) | 9.66<br>(0.57—22.99)  | 4.21<br>(0.38—28.25) | 3.22<br>(0.25—25.43) | 1.66<br>(0.14—14.24) | 无                                   |
| 天津                             | 7.80<br>(0.28—32.59) | 11.39<br>(0.31—35.48) | 7.35<br>(0.21—34.22) | 5.20<br>(0.29—19.91) | 2.96<br>(0.28—15.50) | 无                                   |
| 北京 <sup>[8]</sup>              | 4.84                 | 7.66                  | 2.96                 | 4.55                 | 2.24                 | 2009 年全年平均                          |
| 连云港 <sup>[9]</sup>             | 6.89                 | 9.23                  | 2.12                 | 3.26                 | 0.47                 | 2006 年全年平均                          |
| 南京 <sup>[10]</sup>             | 10.58                | 25.89                 | 7.33                 | 10.31                | 2.56                 | 2005 年全年平均                          |
| 上海 <sup>[11,12]</sup>          | 13.23<br>11.21       | 43.66<br>42.06        | 13.50<br>12.09       | 16.49<br>18.03       | 5.52<br>6.32         | 文教区,2004 年 12 月<br>交通干道,2004 年 12 月 |
| 潘普洛纳<br>(西班牙) <sup>[13]</sup>  | 2.84                 | 13.26                 | 2.15                 | 3.38                 | 2.63                 | 2006 年 6 月—2007 年 6 月               |
| 科喀艾里<br>(土耳其) <sup>[14]</sup>  | 2.26                 | 35.51                 | 9.72                 | 36.87                | 12.46                | 2006 年 7 月                          |
| 拉科鲁尼亚<br>(西班牙) <sup>[15]</sup> | 1.62                 | 2.15                  | 0.60                 | 0.94                 | 0.47                 | 2005 年 6 月—2006 年 7 月,<br>郊区        |

2.2 苯系物的季节变化规律和比较

图 1 显示两城市 BTEX 各化合物都有明显的季节变化. 由于采样时间有限,测量数据只能对所有季节的变化作简要描述. 由图 1 可见,两城市均表现为春秋季节 BTEX 浓度大于夏冬季. 研究表明<sup>[16]</sup>,大气中 BTEX 的降解主要是通过与大气中的  $\cdot\text{OH}$  自由基快速反应来完成的,阳光的强烈照射有助于臭氧、醛类等化合物光分解产生  $\cdot\text{OH}$  自由基,夏季阳光充足,气温高,所以在夏季  $\cdot\text{OH}$  自由基的浓度最高,使得苯系物的降解速度加快;另外植被对污染的吸附、降水的湿沉降作用都是造成夏季污染浓度低的因素.

苯系物的主要源为汽车尾气、汽油挥发和冬季取暖燃煤的废气<sup>[17]</sup>. 在冬季两城市都存在典型的煤烟型污染,但是从图 1 看到,沈阳除苯外其它化合物的污染浓度在冬季并未出现峰值反而浓度最低,天津冬季也并没有出现污染高峰,可能是冬季的低温,尤其是在沈阳,限制了挥发源的挥发<sup>[18]</sup>;另外近些年取暖使用清洁能源天然气逐渐增多,集中供热高空排放等措施也降低了冬季低空的苯系物浓度;而沈

阳苯的浓度在冬季达到最高,甚至超过了甲苯,可能是由于增添了其它的排放源;两城市中苯系物污染的差异可能是由工业产业结构不同造成的,同时机动车不同的车种和运行条件也是造成两城市差异的原因.

天津的苯、甲苯和邻-二甲苯 3 种物质均在秋季出现高峰,乙苯和间、对-二甲苯在秋季浓度也只是略低于春季,沈阳秋季各化合物的浓度也较高,这是由于天津秋季气温较高,天气干燥,有利于苯系物的挥发,且降雨、大风天气较少,不利于苯系物的扩散;而沈阳 10 月份正值季节交换,气温变化范围大,易出现逆温、大气混合层高度下降等不利的气象条件,造成严重污染. 本研究春季的采样时间是 4 月份,供暖期结束不久,温度的回升有助于污染物的迅速挥发,另外春季风沙、扬尘天气也是加重污染的重要原因.

2.3 不同功能区采样点苯系物浓度对比

图 2 是两城市不同采样点之间的苯系物污染浓度对比图. 从图 2 可以看到,沈阳市内张士和二毛的 BTEX 污染浓度明显高于其它 3 个采样点,是因为这两地都属于工业区,二毛采样点位于红梅味精厂内,张士周围有不同的化工、机械及制造业,它们对区域空气中 BTEX 污染有很大贡献. 天津市东丽开发区的 BTEX 污染最为严重,北辰和梅江次之,河西略低,汇文中学和市站污染最轻,主要原因是由于采样点周围有不同的排放源. 东丽属于工业区,地处天津滨海开发带、海河重化工带、京津塘高速公路高新技术开发带,交通流量大,采样点周围多工矿企业,故污染严重;北辰采样点位于博克林药业包装有限公司大院内,距交通流量大的外环线不到 1000 m,北面 100 m 处有排污河及建筑施工现场,且此地区多化学制药类工厂;梅江属工业居住混合区,采样点位于友谊路沿线,交通流量大,周围建筑密集,不利于污染物扩散;河西采样点虽无明显工业聚集,但地处人口密集区,周围交通流量较大;汇文中学周围多小商贩及餐饮业,不过大多是平房建筑,市站周围无明显排放源,地势较开阔,两处都较利于污染物扩散,所以苯系物浓度最低.

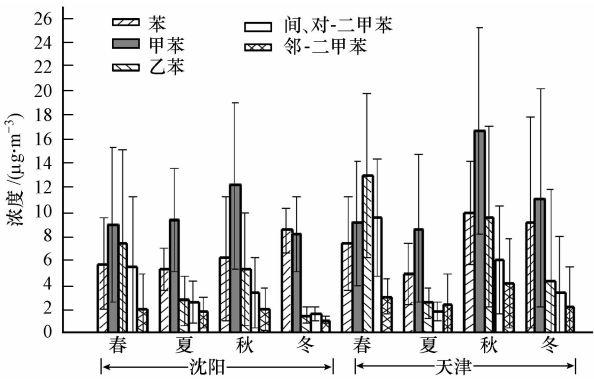


图 1 BTEX 季节变化规律  
Fig. 1 Seasonal variation of BTEX

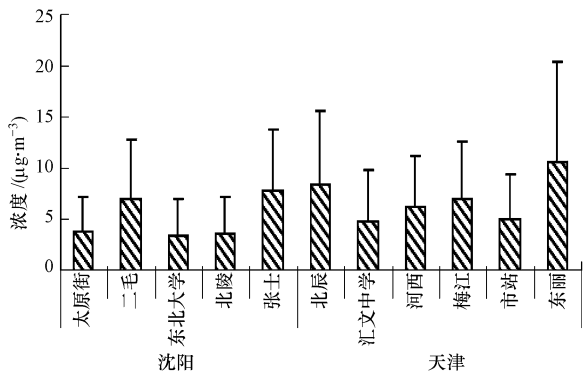


图 2 不同采样点苯系物浓度对比  
Fig. 2 Comparison of BTEX concentrations  
at different sampling sites

2.4 苯系物之间的比值及相关性分析

研究表明,利用 BTEX 物质之间的比值及相关性分析可以估计 BTEX 可能的来源<sup>[19]</sup>. 苯和甲苯是汽油的组成成分,可以通过汽车尾气排入大气,本研究所测不同采样点的苯与甲苯(B/T)比值结果见表 3. 资料表明<sup>[20]</sup>,B/T 值在 0.5 左右时,交通源为城市大气中 BTEX 的主要来源. Barbara Barletta<sup>[21]</sup> 等人为验证了这一比值是否适合中国城市,测定了我国 25 个城市的 27 个道路采样点的 B/T 值,平均值为 0.6 ( $\sigma=0.2$ ). 表 3 中沈阳太原街和北陵及天津河西、梅江和市站的 B/T 值表明交通源是这几处采样点苯系物的主要来源,其它采样点中张士、二毛和东丽的 B/T 值明显高于 0.6,因为这 3 处都位于工业区,周围的工业排放源改变了大气中苯和甲苯的组成比例;东北大学 B/T 值是 0.77,可能是由于采样点位于校园内,苯系物部分来自实验室有机溶剂的使用和挥发;北辰和汇文中学两采样点交通源占主导地位,但同时不能忽略其它排放源的作用,北辰区多化学制药类工厂,汇文中学周围多商贩及餐饮业.

表 3 沈阳和天津不同采样点的 B/T 值

Table 3 B/T ratio at different sampling sites in Shenyang and Tianjin

|    |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 沈阳 | 太原街             | 二毛              | 东北大学            | 北陵              | 张士              |                 |
|    | 0.65(0.28—1.24) | 0.79(0.42—1.08) | 0.77(0.32—1.72) | 0.66(0.26—1.29) | 0.86(0.16—1.46) |                 |
| 天津 | 北辰              | 汇文中学            | 河西              | 梅江              | 市站              | 东丽              |
|    | 0.74(0.47—1.11) | 0.74(0.41—1.50) | 0.55(0.31—1.27) | 0.66(0.41—1.01) | 0.62(0.46—1.51) | 0.88(0.27—1.60) |

取实验数据,利用 SPSS 软件作出 BTEX 各化合物之间相关性,见表 4. 天津苯与其它化合物较沈阳呈现出更高的相关性,表明在天津它们具有较好的同源性. 从表 4 中可以看到两城市中乙苯和间、对-二甲苯均具有极好的相关性,说明了它们有共同的排放源,这与两化合物季节变化趋势所表明的一致.

表 4 BTEX 之间的相关性

Table 4 The correlation coefficients between BTEX

|    |         | 苯        | 甲苯       | 乙苯       | 间、对-二甲苯  | 邻-二甲苯 |
|----|---------|----------|----------|----------|----------|-------|
| 沈阳 | 苯       | 1.000    |          |          |          |       |
|    | 甲苯      | 0.730 ** | 1.000    |          |          |       |
|    | 乙苯      | 0.506 ** | 0.674 ** | 1.000    |          |       |
|    | 间、对-二甲苯 | 0.497 ** | 0.651 ** | 0.973 ** | 1.000    |       |
|    | 邻-二甲苯   | 0.509 ** | 0.638 ** | 0.855 ** | 0.915 ** | 1.000 |
| 天津 | 苯       | 1.000    |          |          |          |       |
|    | 甲苯      | 0.768 ** | 1.000    |          |          |       |
|    | 乙苯      | 0.631 ** | 0.650 ** | 1.000    |          |       |
|    | 间、对-二甲苯 | 0.612 ** | 0.611 ** | 0.984 ** | 1.000    |       |
|    | 邻-二甲苯   | 0.659 ** | 0.816 ** | 0.782 ** | 0.736 ** | 1.000 |

注: \* \* 代表显著相关( $P < 0.01$ ).

3 结论

- (1) 两城市中,天津的苯系物整体污染水平高于沈阳,与国内外其它城市比较,两城市的污染程度虽不是最严重,但是仍需加大控制力度.
- (2) 苯系物的污染程度与不同季节的气候变化密切关联,两城市均为春秋两季污染较为严重,冬夏两季污染较轻.
- (3) 城市不同功能区采样点的对比和苯系物之间的比值及相关性分析表明,苯系物浓度受局部排放源影响明显,但大部分地区交通源仍占据主导地位.

参 考 文 献

[ 1 ] Fishbein L. An overview of environmental and toxicological aspects of aromatic hydrocarbons. I. Benzene[J]. Science of the Total Environment, 1984, 40(1):189-218

[ 2 ] Guerra G, Iemma A, Lerda D, et al. Benzene emissions from motor vehicle traffic in the urban area of milan: hypothesis of health impact assessment[J]. Atmospheric Environment, 1995, 29:3559-3569

[ 3 ] Seinfeld John H, Pandis Spyros N. Atmospheric chemical and physics: from air pollution to climate change[M]. Hoboken, New Jersey: A Wiley-Interscience Publication, 1997:277-282

[ 4 ] Kwagsam Na, Yong Pyo Kim, Kil Choo Moon. Diurnal characteristics of volatile organic compounds in the Seoul atmosphere[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37:733-742

[ 5 ] Pandis Spyros N, Harley Robert A, Cass Glen R, et al. Secondary organic aerosol formation and transport[J]. Atmospheric Environment, 1992, 26(13):2269-2282

[ 6 ] 王宇亮,张玉洁,刘俊峰,等.2009 年北京市苯系物污染水平和变化特征[J]. 环境化学,2011,30(2):412-417

[ 7 ] 张俊刚,王跃思,吴方堃,等.北京市大气中 BTEX 工作日与非工作日的浓度变化[J]. 环境化学,2009,28(1):112-116

[ 8 ] 王宇亮.北京市苯系物污染水平和变化特征[D]. 北京:北京林业大学硕士学位论文,2010

- [9] 李海燕,张丽. 连云港市环境空气中苯系物的分布特征[J]. 江苏环境科技,2008,21(1):66-68
- [10] 陆晓燕. 南京市城市空气中苯系物污染的观测分析与研究[D]. 南京:南京林业大学硕士学位论文,2007
- [11] 唐雪芬,修光利,张爱东,等. 上海市文教区大气中苯系物冬季污染特征[J]. 环境科学与管理,2006,31(2):46-49
- [12] 张爱东,郭明明,修光利. 上海市交通干道空气中苯系物冬季污染特征初探[J]. 中国环境监测,2003,22(2):52-55
- [13] Parra M A, Elustondo D, Bermejo R, et al. Ambient air levels of volatile organic compounds (VOC) and nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) in a medium size city in Northern Spain[J]. Science of the Total Environment, 2009, 407:999-1009
- [14] Beyhan Pekey, Hande Yilmaz. The use of passive sampling to monitor spatial trends of volatile organic compounds (VOCs) at an industrial city of Turkey[J]. Microchemical Journal, 2011, 97:213-219
- [15] Debora Perez-Rial, Purificacion Lopez-Mahta, Soledad Muniategui-Lorenzo, et al. Temporal distribution behaviour and reactivities of BTEX compounds in a suburban Atlantic area during a year[J]. Journal of Environmental Monitoring, 2009, 11:1216-1225
- [16] Clarkson T S, Martin R J, Rudolph J, et al. Benzene and toluene in New Zealand air[J]. Atmospheric Environment, 1996, 30(4):569-577
- [17] 王跃思,周立,王明星,等. 北京大气中可形成气溶胶的有机物-现状及变化规律的初步研究[J]. 气候与环境研究,2000,5(1):13-19
- [18] 徐新,王跃思,刘广仁,等. 北京大气中 BTEX 的观测分析与研究[J]. 环境科学,2004,25(3):14-18
- [19] 刘明,孙成,苗欣,等. 南京市大气中挥发性有机物污染的研究(英文)[J]. 环境化学,2003,22(3):227-231
- [20] Roger Perry, Ivan L Gee. Vehicle emissions in relation to fuel composition[J]. Science of the Total Environment, 1995, 69:149-156
- [21] Barbara Barletta, Simone Meinardi, F Sherwood Rowland, et al. Volatile organic compounds in 43 Chinese cities[J]. Atmospheric Environment, 2005, 39:5979-5990

## Pollution characteristics of BTEX in typical urban air in northern China

ZHAO Ruojie<sup>1</sup>    SHI Jianwu<sup>1,2</sup>    HAN Bin<sup>1</sup>    PENG Yue<sup>3</sup>    BAI Zhipeng<sup>1\*</sup>

(1. State Environment Protection Key Laboratory for Urban Ambient Particulate Matter Pollution Prevention and Control, Nankai University, Tianjin, 300071, China; 2. Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, 650093, China; 3 Environment Monitoring Test Center in Liaoning Province, Shenyang, 110031, China)

### ABSTRACT

In order to study the contamination status and seasonal variations of BTEX in typical cities in northern China, the atmospheric samples were collected at 11 monitoring sites in Shenyang and Tianjin from April 2008 to January 2009. The samples were analyzed by three cold trap pre-enrichment-gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Results indicated that the concentrations of BTEX in Tianjin were higher than those of Shenyang, most probably because Tianjin has much more motor vehicles and exhaust emissions. The concentrations of BTEX were closely related with different seasons. BTEX pollution in spring and autumn was more serious than in winter and summer in both cities. The comparison of different functional sampling sites, the ratio of benzene/toluene (B/T) and correlation coefficients between BTEX suggested that concentrations of BTEX in the two cities were impacted by some additional emission sources significantly, but traffic emission was the main source of BTEX in most areas.

**Keywords:** urban air, Tianjin, Shenyang, BTEX, pollution characteristics.