

不同动力公交流动微环境苯系物 (BTEX) 的浓度水平及健康风险*

童宏胜¹ 姚超英^{1,2*}

(1. 杭州职业技术学院, 杭州, 310018 2. 浙江大学环境科学系, 杭州, 310027)

现代城市人出行大都依赖汽车等交通工具, 交通工具使用频率高, 影响人群广. 目前杭州有 532 条公交线路, 6889 辆公交车, 全年的客运量有 12.44 亿人次, 日平均客运量已达到 242.09 万人次. 城市公交车流动微环境的空气质量好坏将严重影响城市整体空气质量水平以及市民的身心健康.

机动车尾气是城市大气污染中苯系物 (BTEX) 的重要来源之一. 城市公交车司机、乘客在流动微环境中受 BTEX 污染的健康风险值得探讨. 本文对杭州市现有不同动力公交车 (汽油车、柴油车、电车、液化天然气车、油电混合车) 车厢和城区主要公交车站进行 BTEX 采样和测量, 对不同动力公交车司机的致癌风险进行估算并作出相应的健康风险评价.

1 材料与方 法

1.1 仪器和试剂

福立 9790 气相色谱仪; 福立 9700 热解析仪; 兴宇 DDY-1.5 型电子时控大气采样器; 硬质玻璃采样管 (11 cm × 6 mm). 苯系物标准液购自国家标样中心; 60—80 目聚 2 6-二苯基对苯醚 (Tenax-TA) 吸附剂; 二硫化碳 (AR) 经纯化后使用.

1.2 样品采集

选取杭州市不同动力公交车 50 辆 (汽油车、柴油车、电车、液化天然气车、油电混合车各 10 辆). 选取杭州城区 10 个主要公交车站. 采样日期为 2010 年 3 月 5 日—5 月 30 日.

采样时, 采样器距离地面 1.5 m, 采样时间 30 min, 气体流量 0.5 L·min⁻¹. 采样完毕, 用封口膜密封采样管两端, 立即带回实验室处理. 采样时同步记录温度、湿度、采样时间、天气状况、车厢和车站人群数量等信息.

1.3 实验方法

硬质玻璃管洗净烘干, 每支内装 0.2—0.3 g Tenax-TA 吸附剂. 玻璃管两端用封口膜封口, 采样前在 280°C 下通 N₂ 处理 1 h. 采样后, 将采样管放入热解析器中, 250°C 下热解析 10 min, 进行气相色谱分析. 以保留时间定性, 峰面积定量.

2 健康风险评价方法

苯系物对人体的健康风险主要表现为致癌风险, 苯是具有强致癌性的物质, 即使浓度很低, 长期接触也存在致癌风险. 呼吸作用是苯系物进入人体的有效途径, 占人体每天摄入量的 95% 以上. 假定吸入体内的苯 90% 被吸收, 则苯系物的人体吸入量 I (mg·kg⁻¹·d⁻¹) 计算式为:

$$I = (CA \times R \times ED \times EF \times L) \times 0.9 / (BE \times ATL \times 365) \quad (1)$$

式中, CA 为污染物浓度 (mg·m⁻³); R 为吸入空气量 (m³·h⁻¹), 成人每分钟约吸入 4.5 L 空气, 即 0.27 m³·h⁻¹; ED 为暴露时间 (h·d⁻¹); EF 为暴露频率 (d·a⁻¹); L 为暴露期 (a), 取 30 a; BE 为暴露者体重 (kg), 男性取 65 kg 女性取 55 kg; ATL 为平均暴露年限 (a), 为杭州市人群平均寿命 79.78 a.

采用致癌风险计算公式估算微环境苯系物暴露对人体造成的致癌风险, 致癌风险值 (R) 计算式为:

$$R = I \times PF \quad (2)$$

式中, PF 为斜率因子 (kg·d·mg⁻¹), 对于苯, 其值为 0.0273. R 值小于 1×10^{-6} 表明不存在致癌风险, R 值大于 1×10^{-4} 表明风险较高, 必须采取一定的措施. 若 R 值介于两者之间, 则表明存在致癌风险, 但在可接受范围之内.

3 结果与讨论

3.1 不同动力公交车 BTEX 监测

杭州市不同动力公交车流动微环境中 BTEX 的浓度水平见表 1. 结果表明, 苯系物总平均浓度为 (59.27 ± 19.54)

2010 年 8 月 16 日收稿.

* 杭州市科技局社会发展科研攻关资助项目 (20091133B01).

** 通讯联系人, 13867422196 E-mail: ycy581@126.com

$\mu\text{g m}^{-3}$, 其中苯 (14.75 ± 6.12) $\mu\text{g m}^{-3}$, 甲苯 (21.19 ± 6.21) $\mu\text{g m}^{-3}$, 乙苯 (5.22 ± 3.58) $\mu\text{g m}^{-3}$, 对二甲苯为 (3.33 ± 2.01) $\mu\text{g m}^{-3}$, 间二甲苯为 (7.15 ± 3.21) $\mu\text{g m}^{-3}$, 邻二甲苯为 (5.83 ± 2.74) $\mu\text{g m}^{-3}$. 甲苯是车厢内最主要的污染物, 其次是苯. 不同动力公交车流动微环境中 BTEX 的浓度水平对比结果表明, 汽油车 > 柴油车 > 油电混合车 > 液化天然气车 > 电车, 其中汽油车苯含量最高为 (21.02 ± 9.51) $\mu\text{g m}^{-3}$, 对人体健康影响最大.

表 1 杭州市不同动力公交车流动微环境中的 BTEX 质量浓度 ($\mu\text{g m}^{-3}$)

车辆类型	苯	甲苯	乙苯	对二甲苯	间二甲苯	邻二甲苯	BTEX
汽油车	21.02 ± 9.51	31.05 ± 8.68	7.08 ± 5.34	4.12 ± 2.02	9.26 ± 4.82	6.39 ± 3.19	80.76 ± 28.02
柴油车	17.05 ± 8.68	25.25 ± 7.42	6.05 ± 4.27	3.42 ± 2.17	9.21 ± 2.88	7.12 ± 3.27	70.15 ± 28.68
油电混合车	13.65 ± 6.18	18.31 ± 4.24	5.91 ± 3.19	2.83 ± 2.08	7.48 ± 3.13	6.51 ± 2.18	53.17 ± 20.01
液化天然气车	11.81 ± 3.68	16.17 ± 3.92	4.95 ± 2.21	3.29 ± 1.81	5.17 ± 2.05	5.02 ± 2.34	46.95 ± 12.21
电车	10.22 ± 2.57	15.20 ± 6.73	3.62 ± 2.88	2.98 ± 1.95	4.62 ± 3.16	4.12 ± 2.71	45.32 ± 8.77
平均	14.75 ± 6.12	21.19 ± 6.21	5.22 ± 3.58	3.33 ± 2.01	7.15 ± 3.21	5.83 ± 2.74	59.27 ± 19.54

城市公交流动微环境中 BTEX 的来源主要可分为室内源和室外源, 其中室内源为车内各种配件材料、装饰品、液体燃料等的挥发, 室外源主要为车辆的尾气排放. 汽油车以 93、97 号汽油为燃料, 燃料中的含苯量为 5%, 汽油比柴油分子量大, 沸点低, 更容易造成挥发污染.

3.2 公交车站台 BTEX 监测

杭州城区各主要公交车站台空气中的 BTEX 浓度水平监测结果表明, 杭州公交车站台空气中苯系物浓度较低, 总平均浓度为 (38.22 ± 15.81) $\mu\text{g m}^{-3}$, 其中, 苯 (7.11 ± 2.51) $\mu\text{g m}^{-3}$, 甲苯 12.84 ± 3.42 $\mu\text{g m}^{-3}$, 乙苯 4.36 ± 2.33 $\mu\text{g m}^{-3}$. 这是由于杭州在 2009 年底, 全部公交车辆都达到国 II 及以上排放标准, 其中, 国 III 及以上排放标准达到 57.08%, 国 IV 及以上排放标准达到 7.24%, 尾气排放标准及燃油质量标准的提高是公交车站空气中苯系物浓度降低的主要原因.

公交车流动微环境和公交车站台空气中 BTEX 的浓度水平进行对比的结果表明, 前者空气中苯的浓度是后者的 2.1 倍, 甲苯、乙苯、二甲苯的浓度是后者的 1.2—1.7 倍. 公交车车厢微环境中苯系物的浓度显著高于公交车站台空气中的苯系物浓度.

3.3 BTEX 的健康风险

根据我国《室内空气质量标准》(GB/T18883—2002), 苯、甲苯和二甲苯的 1h 浓度限值分别为 0.11、0.20 和 0.20 mg m^{-3} . 研究中, 不同动力公交车流动微环境中的 BTEX 均能达到国家标准. 然而, 美国 EPA 研究表明, 痕量的 BTEX 对人体健康也有较大影响, 尤其是苯, 在低浓度 (ppb 级) 下亦有较强的致癌性, 人体长期暴露于含有 0.13—0.23 $\mu\text{g m}^{-3}$ 苯的空气中, 将会使致癌风险增加百万分之一. 而公交司机每天工作达 8 h 长期暴露将会影响健康, 并存在一定的致癌风险, 采用致癌风险计算公式 (1) 和 (2) 估算值见表 2. 结果表明, 苯暴露对不同动力公交车司机都有致癌风险, 其中汽油车造成的致癌风险最高为 4.79×10^{-6} , 超过了美国 EPA 制定的人体致癌风险值 1×10^{-6} 近 5 倍.

表 2 杭州市不同动力公交车流动微环境中 BTEX 的致癌风险

评价对象	ED/(h d^{-1})	EF/(d a^{-1})	L/a	I/($\text{mg kg}^{-1} \text{a}^{-1}$)	R
汽油车司机	8	250	30	1.75×10^{-4}	4.79×10^{-6}
柴油车司机	8	250	30	1.42×10^{-4}	3.87×10^{-6}
液化天然气车司机	8	250	30	1.14×10^{-4}	3.11×10^{-6}
油电混合车司机	8	250	30	9.8×10^{-5}	2.67×10^{-6}
电车司机	8	250	30	8.5×10^{-5}	2.32×10^{-6}

4 结论

(1) 杭州市公交车苯系物总平均浓度水平为 (59.27 ± 19.54) $\mu\text{g m}^{-3}$, 其中苯 (14.75 ± 6.12) $\mu\text{g m}^{-3}$, 不同动力公交车, 苯系物的浓度水平不一, 从高到低分别是: 汽油车 > 柴油车 > 油电混合车 > 液化天然气车 > 电车.

(2) 杭州城区各主要公交车站台空气中的苯系物总平均浓度水平为 (38.22 ± 15.81) $\mu\text{g m}^{-3}$, 其中苯 (7.11 ± 2.51) $\mu\text{g m}^{-3}$, 站台空气中苯系物浓度水平明显低于公交车.

(3) 苯暴露对不同动力公交车司机都有致癌风险, 致癌风险限值为 2.32×10^{-6} — 4.79×10^{-6} , 其中汽油车造成的致癌风险最高为, 超过了美国 EPA 制定的人体致癌风险值 1×10^{-6} 近 5 倍, 要降低致癌风险, 应大力推广排放苯系物较少的清洁能源汽车.