

广州市宾馆室内空气中苯系物来源及健康风险初步评估

彭燕^{1,2}, 张艳利², 王新明^{2*}, 陈迪云¹, 曹小安¹ (1.广州大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510006; 2.中国科学院广州地球化学研究所, 有机地球化学国家重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 选择广州市 20 家不同星级的宾馆, 用不锈钢采样罐采集客房空气样品, 并用预浓缩-气相色谱/质谱联用系统检测. 宾馆客房空气中 8 种苯系物的总浓度平均值为 $273.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 范围为 $2.3\sim 1058 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 苯、甲苯、乙苯和二甲苯平均值分别为 $22.9, 151.6, 46.4$ 和 $60.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 苯平均值变动范围为 $0.7\sim 72.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 均低于我国室内空气质量标准 GB/T 18883-2002 的限值, 但初步计算表明苯暴露对宾馆工作人员和经常入住人群的致癌风险超过 1×10^{-6} . 甲苯平均浓度范围为 $1.4\sim 841 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 按我国空气质量标准超标率为 24%. 宾馆苯系物浓度与星级和装修时间没有显著相关性, 一些最近期装修的宾馆可能因采用环保装修材料, 苯系物浓度反而相对较低. 苯系物浓度最高的数个宾馆装修时间 2~5a, 其苯与甲苯浓度比值(B/T)都比较低, 苯系物来源以室内释放为主. 虽然因通风原因宾馆客房苯系物浓度受所处地段室外空气质量影响, 但我们的研究表明降低宾馆客房内苯系物水平的最关键因素是采用环保的室内装修材料和产品.

关键词: 苯系物; 室内空气; 宾馆; 健康风险; 评估; 广州市

中图分类号: X511

文献标识码: A

文章编号: 1000-6932(2012)05-0787-08

Sources and health risk assessment of aromatic hydrocarbons in the indoor of Guangzhou hotels. PENG Yan^{1,2}, ZHANG Yan-li², WANG Xin-ming^{2*}, CHEN Di-yun¹, CAO Xiao-an¹ (1.College of Environmental Science and Engineering, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China; 2.State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China). *China Environmental Science*, 2012, 32(5): 787~794

Abstract: With stainless-steel canisters, indoor air samples were taken from guestrooms of 20 different hotels in Guangzhou. The aromatic hydrocarbons (AHs) levels of these samples were later analyzed by a gas chromatography-mass selective detector (GC-MSD) coupled with a pre-concentrator. Total concentrations of eight AHs, including benzene, toluene, ethylbenzene, o-xylene, m/p-xylene, styrene, 1,3,5-trimethylbenzene and 1,2,4-trimethylbenzene, averaged $273.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and ranged $2.3\sim 1058 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Average levels of Benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes in rooms of the 20 hotels were $22.9, 151.6, 46.4$ and $60.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. Average benzene levels ranged $0.7\sim 72.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, all below the guideline level set in China's Indoor Air Quality Standard (GB/T 18883-2002). However, its cancer risks for hotel room-keeping workers and frequent dwellers were higher than 1×10^{-6} . Average toluene levels ranged $1.4\sim 841 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with 24% exceeding the GB/T 18883-2002 guideline level. No significant relationships were found between indoor AHs levels and hotels' star ranks or time intervals after its latest decorations. Some most recently renovated hotels had relatively lower AHs levels probably due to the usage of environment friendly materials and products. As for the hotels the highest indoor AHs levels, focused on those had the last decoration occurred 2~5 years ago, and in the meantime reflected a rather low benzene to toluene ratios (B/T), suggesting that indoor emission as the major AHs source. Though outdoor air quality can impact indoor AHs levels in hotels via ventilation, our results indicated that the most important factor to lower indoor AHs levels of the hotel guestrooms was to use environment friendly materials and products for the decoration or renovation.

Key words: aromatic hydrocarbons; indoor air; hotels; health risk; assessment; Guangzhou

收稿日期: 2011-08-29

基金项目: 国家自然科学基金-广东联合基金(U0833003); 国家自然科学基金项目(20677013, 21075024); 有机地球化学国家重点实验室开放基金

* 责任作者, 研究员, wangxm@gig.ac.cn

研究表明,人一生约有 85% 的时间在室内环境度过,因而室内环境对人体健康以及生活和工作质量影响巨大.广州市作为我国大型发达城市之一,近年来旅客量呈逐年增长趋势,商务人流也大幅增长.据统计 2010 年全年接待游客总人数达 1.27 亿人次,同比增长 7.13%;接待过夜旅游人数约 4506.38 万人次,同比增长 13.35%^[1].广州每年举办两次“中国进出口商品交易会”,每次与会中外客商多达数十万,这些因素使得广州宾馆业相当发达.目前,广州星级宾馆 300 多家,全市宾馆总床位达到 30 万张,其室内空气质量是影响旅店业服务水平和声誉的重要环节.

目前关于宾馆空气质量的研究多从环境卫生角度出发,集中在对室内环境的微小气候、一氧化碳、二氧化碳、细菌、甲醛等参数的研究^[2],而对苯系物等毒害性挥发有机物研究相对较少.苯系物主要包括苯、甲苯、乙苯、二甲苯、三甲苯、苯乙烯等化合物,是室内环境中广泛检出的一类挥发性有机物^[3-5].室外大气中机动车尾气等来源的苯系物可通过室内外气体交换进入室内环境,而室内油漆、涂料、黏合剂等的使用以及抽烟、烹饪等人为活动,也是苯系物的重要来源^[6-7].苯系物对人类呼吸系统、造血组织、神经系统等有直接危害,而其中苯具有强致癌性,苯系物事实上已成为各类微环境中备受关注的一类污染物.本文选取广州不同星级水平的 20 家宾馆,采集客房室内空气样品,用预浓缩-气相色谱/质谱联用方法分析了其中挥发有机物,主要探讨了室内空气中苯系物的污染水平,来源及暴露风险.

1 实验部分

1.1 样品采集

综合考虑广州市宾馆分布状况,旅客入住习惯等情况,于 2008 年 3~12 月选择了广州市不同区域,周边环境,装修时间,星级水平的宾馆共 20 家(位置如图 1 所示),其中五星级宾馆 2 家,四星级宾馆 4 家,三星级宾馆 6 家,二星级宾馆 8 家.采样者以普通客人的身份入住所选宾馆,并选择标准双人房这类占宾馆客房比例

最大,客人最常选择的房型.采样期间采样者在室内进行正常活动,但禁止吸烟及其他燃料燃烧.

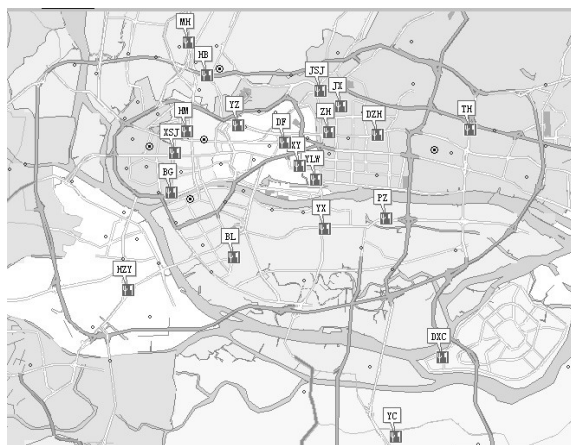


图 1 采样宾馆示意

Fig.1 Location of hotels for indoor air sampling

采用容积为 2L,内部经特殊抛光处理的不锈钢采样罐来采集空气样品.采样前,用高纯氮气清洗采样罐至少 3 次,然后将采样罐抽真空至 6 Pa 以下.样品采集时间是入住当天的 12:00~12:30, 15:00~15:30, 18:00~18:30, 21:00~21:30 以及次日 9:00~9:30.采样罐连接有限流阀,以保证样品采集时间约为 30min.采样时罐距离墙面大于 0.5m,并置于离地约 1.2m 呼吸高度,罐进气口避开通风口和污染源.采样同时对宾馆的开业时间,最后一次装修时间,通风情况,温度,相对湿度,室内装修情况及室外环境进行调查记录.每个宾馆采集 5 个样品,共 100 个样品.

1.2 实验室分析

样品的实验室分析由 ENTECH 7100 预浓缩仪-GC 6890A /Agilent 5973N MSD 联用系统完成.预浓缩仪从采样罐自动抽取标准状态下 250mL 空气样品,由程序控制经三级冷阱除水,除 CO₂ 和冷聚焦后,由 GC-MSD 进行定性定量分析.色谱柱为 HP-VOC (60m×0.32mm×1.0μm),载气为高纯氦气,流速为 1.2mL/min,升温程序:起始温度为 -50℃,保持 2min;以 15℃/min 速率升温至 120℃,然后以 5℃/min 升至 250℃,保留 10min.

质谱扫描方式为 SCAN,质量范围为 35~350amu. 目标化合物通过其保留时间和质谱图进行定性,并由外标法定量.VOCs 标气为购自美国 Spectra Gases Inc.的 TO-14 混合标气(39 种)和 PAMS 混合标气.采用动态稀释法用高纯氮气将标气稀释到 0×10^{-9} 、 10.0×10^{-9} 、 20.0×10^{-9} 、 50.0×10^{-9} 等不同浓度,在与实际样品相同条件下进行分析得到标准曲线.所有目标化合物标准曲线浓度-响应相关系数(R^2)均大于 0.9.目标化合物定量由质谱工作站利用工作曲线自动完成.

1.3 质量保证与控制

为保证采样罐清洁,采样罐清洗后充高纯氮放置 24h 后,以样品同样方式进行分析,目标化合物应该未检出或低于检测限.每个宾馆采样携带 6 个采样罐,除其中 5 个进行样品采集外,另 1 个为现场空白监控运输、贮存等过程中可能带来的污染.实验室分析系统进行实际样品分析前,首先以高纯氮气进样,确保仪器系统不会带来污染.每天进行样品分析前,以 10.0×10^{-9} 的标样进样 1 次,如果用工作曲线得到的浓度偏离实际浓度超过 10%,则需要重新做标准工作曲线.用浓度为 1.0×10^{-9} 的标样重复分析 7 次,计算得到目标化合物的方法检测限均小于 $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2 结果与讨论

2.1 苯系物浓度水平及影响因素

2.1.1 检出苯系物与浓度水平 本研究检测的苯系物包括苯、甲苯、乙苯、间/对二甲苯、邻二甲苯、1,3,5-三甲苯、1,2,4-三甲苯和苯乙烯等,下文中提到的苯系物总浓度是指这些苯系物的浓度之和.除苯乙烯在少数样品中未检出外,其他苯系物在所有样品中均有检出.表 1 列出了各宾馆苯系物浓度情况.苯系物总浓度范围为 $2.3 \sim 1057.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$,平均浓度为 $273.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.苯系物浓度之和超过 $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 的宾馆有 5 家,最高的是四星级宾馆 DXC 和三星级宾馆 JX,两者总浓度均超过 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.按照我国室内空气质量标准(GB/T 18883-2002)^[8],即使仅考虑这些苯系物浓度和,已有 4 家超过总挥发有机物(TVOC)8 小时限值 $0.6 \text{mg}/\text{m}^3$.苯系物浓度和最

低的是处在比较偏远地方的三星级酒店 MH 和二星级酒店 JSJ,均小于 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.各苯系物平均浓度按从高到低顺序,甲苯、乙苯、邻二甲苯、间/对二甲苯、苯乙烯、苯、1,2,4-三甲苯和 1,3,5-三甲苯,平均浓度分别为 $151.6, 46.4, 31.0, 9.5, 26.0, 22.9, 4.2, 1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.苯浓度均值范围为 $0.7 \sim 72.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$,均低于我国室内空气质量标准限值 $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$,但这一标准明显高于其他国家或地区的限值,如香港室内空气质量标准中对苯的限值 $16.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ^[9].与美国环保署一项研究建议的空气苯浓度 30 分钟均值限定值 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 相比较^[10],苯的超标率为 36%.甲苯,二甲苯平均值按照 GB/T 18883-2002 限值超标率分别为 24%和 9%.

2.1.2 苯、甲苯、乙苯和二甲苯(BTEX)浓度与其他研究的比较 作为室内空气中常见毒害污染物, BTEX 是前期很多室内空气质量研究中重点关注的挥发性有机物^[11].由表 2 可见,广州宾馆室内空气中 BTEX 的平均浓度普遍高于欧洲(办公室)^[12]、美国(餐厅、购物中心)^[13]、芬兰(住宅)^[14]、比利时(学校,住宅)^[15]和香港(餐厅,购物中心)^[16]以及杭州大学校园室内环境^[17],但低于新加坡办公室^[12]和南京新装修居室(甲苯除外)^[18].与广州一大型商场中检出的 BTEX 相比^[6],宾馆中的苯和间、对二甲苯比大型商场低,但甲苯,乙苯和邻二甲苯在宾馆中浓度则相对较高. Zuraimia 等^[12]的研究表明尽管建材中 BTEX 的释放速率相差不大,但新加坡办公室相对较低换气速率,导致了其 BTEX 等浓度相对欧洲办公室高出很多.许建华等^[18]对南京新装修后的居室空气中的苯系物浓度分析发现,刚装修后居室内空气中苯系物占总挥发性很高比例,主要来自于装修使用的油漆和胶黏剂等材料.值得关注的是,广州地处亚热带地区,室外比较炎热潮湿,宾馆客房一般关闭窗户而依靠空调系统调节室内温度.为管理方便和节能需要,客房都是插入房卡取电,客人入住前或外出时,客房中的空调系统及门窗都处于关闭状态,空气流通差.广州宾馆客房空气苯系物浓度较高,可能也正是与宾馆房间空气换气速率低有关.

表 1 各宾馆星级和装修时间、采样客房室内平均温湿度以及苯系物浓度(平均值±标准偏差)

Table 1 Star ranks and time intervals after latest decorations of selected Hotels, indoor average temperature and relative humidity during sampling, and detected levels of aromatic hydrocarbons (mean ± S_d)

宾馆	装修时间(a)	星级	温度(℃)	RH(%)	苯系物浓度(μg/m ³)				
					苯	甲苯	乙苯	二甲苯	总浓度
DZH	3	五星	23.2	60.7	39.1±5.0	86.1±12.4	18.7±3.9	24.7±3.8	184.3±21.8
YZ	6	五星	21.6	65.8	28.4±7.2	96.1±29.8	21.0±7.5	35.9±9.6	208.0±54.8
YC	0.5	四星	24.9	45.9	10.1±2.1	21.5±2.1	5.4±0.7	7.9±0.8	70.3±11.3
DXC	2	四星	22.4	58.9	40.5±7.8	604.0±155.9	145.5±79.2	141.4±59.4	1057.8±196.8
JX	3	四星	22.3	77.7	72.2±6.2	459.2±56.1	176.4±17.6	222.3±43.3	1025.8±39.2
BL	6	四星	21.5	68.6	56.5±15.8	147.8±54.6	34.8±17.1	42.5±13.0	311.0±102.9
TH	0.5	三星	26.0	54.6	2.3±0.5	32.3±12.6	1.0±0.6	1.3±0.8	37.5±14.9
PZ	1	三星	25.8	51.8	7.7±0.9	32.4±1.5	2.8±0.1	4.3±0.4	49.2±2.3
XSJ	2	三星	27.4	68.6	3.0±1.2	10.4±3.0	64.2±22.6	66.9±17.5	177.7±39.2
MH	3	三星	27.6	51.0	1.4±0.9	4.3±1.8	0.23±0.1	0.3±0.2	6.4±2.9
YLW	5	三星	23.8	73.3	31.5±5.3	431.2±117.6	125.4±28.0	159.2±41.0	829.3±178.3
DF	6	三星	23.4	59.3	4.8±0.3	16.3±14.8	3.8±3.4	3.7±2.6	30.3±24.0
XY	0.5	二星	21.6	44.8	3.5±0.3	15.5±3.0	1.4±0.1	1.8±0.2	24.0±3.2
JSJ	2	二星	25.3	78.3	0.7±0.3	1.4±1.0	0.1±0.1	0.1±0.1	2.3±1.7
HZY	2	二星	24.0	69.6	2.3±1.3	1.7±0.4	4.0±1.5	14.2±4.8	30.5±4.7
HM	4	二星	24.0	55.5	2.3±2.0	5.6±0.3	3.4±2.3	17.7±4.0	49.2±8.0
ZH	5	二星	26.9	51.7	3.9±1.6	10.9±5.2	2.0±0.2	2.9±0.2	20.8±6.5
HB	4	二星	23.8	67.6	47.3±14.7	328.1±64.6	152.8±35.9	256.3±55.2	816.2±146.3
YX	5	二星	24.7	62.4	26.6±9.3	223.7±83.8	77.1±33.6	99.5±44.3	511.3±216.5
BG	6	二星	21.3	60.7	4.3±1.6	13.6±3.1	2.4±0.8	3.0±1.0	23.8±6.19

表 2 广州市宾馆与其他室内空气及环境空气中 BTEX 的浓度(μg/m³)水平比较

Table 2 Comparison of BTEX (μg/m³) between hotel rooms in Guangzhou and those of other indoor environments previously reported

采样地区	室内环境	苯	甲苯	乙苯	间、对二甲苯	邻二甲苯
本研究	宾馆	22.9	151.6	46.4	29.6	31.0
广州 ^[6]	大型商场	78.0	142.0	19.0	41.9	8.9
新加坡 ^[12]	办公室	87.1	287.3	—	143.0	43.4
欧洲 ^[14]	办公室	14.6	35.1	—	22.2	10.2
美国 ^[13]	商店	1.77	33.3	4.04	10.7	6.23
	餐厅	3.07	14.9	1.90	4.06	2.02
芬兰 ^[14]	住宅	2.23	20.35	2.89	7.84	2.46
比利时 ^[15]	学校	0.98	4.44	1.07	2.64	0.88
	住宅	2.20	4.25	0.62	1.6	0.68
香港 ^[16]	商场	11.54	127.85	11.86	14.88	9.34
	餐厅	10.34	85.77	8.59	10.93	5.94
杭州大学 ^[17]	宿舍	14.24	32.05	21.02	18.95	7.59
	食堂	16.42	14.51	2.51	5.68	1.68
	图书馆	4.78	17.35	1.39	2.99	1.95
南京 ^[18]	新装修居室	68	142	232	406	—
广州 ^[19]	环境空气	43.7	82.2	15.8	23.7	19.5

2.1.3 星级、装修时间对室内苯系物浓度的影响 酒店星级的划分以酒店的建筑、装饰、设施设备及管理服务水平为依据。图 2 比较了所检测的不同星级水平宾馆客房苯系物平均水平。虽然本研究涉及五星级和四星级酒店数量相对较少,这样比较可能会有一些偏差,但因为这种星级酒店数量相对于三星级和二星级酒店要少得多,事实上本研究检测的四星级和五星级酒店数量占广州市区这两类酒店总数的比例,要远高于所研究的二星级和三星级酒店所占其总数的比例,因而这种结果比较可能有一定代表性。就苯浓度而言,由图 2 可以看出,四星级和五星级酒店苯浓度平均水平要高于二星级酒店和三星级酒店,主要原因可能是四星和五星级酒店处在交通密度相对比较大的繁华地段,苯在宾馆客房内部很少有释放源,主要通过引进新风时由室外大气进入室内环境,因而在交通密度相对较高地段的四星级和五星级酒店,其苯浓度受室外浓度影响也会相对较高^[19]。甲苯浓度以四星级平均最高,而其他星级平均水平相当。四星级和五星级宾馆客房内部装饰与设施水平比较高,由于墙纸、油漆和压制板材都可能导致甲苯排放,较高的装修与设施水平无疑会增加室内甲苯浓度水平。另外,如后文中所述,室内装修材料是否环保、是否有足够新风引入,都会影响甲苯浓度。四星级宾馆中有两个甲苯浓度达到了 $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上,远远高于一般室外浓度水平,说明室内有较高的排放源强,同时新风引入量也可能不足。

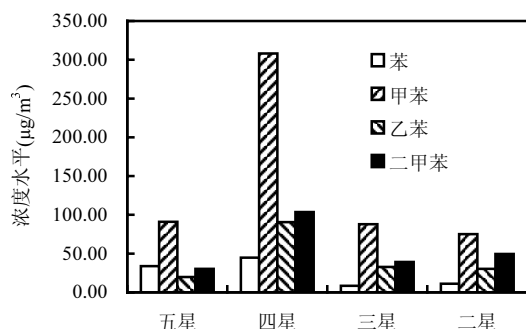


图 2 不同星级水平宾馆客房苯系物平均水平比较
Fig.2 Comparison of average BTEX levels in different star ranks hotels

BTEX 平均水平与距离上次装修时间长短之间并没有明显的趋势与相关性。理论上讲,室内装修材料释放甲苯等相关污染物的量会随时间递减,但即使 BTEX 以室内材料释放为主,由于不同宾馆使用装修材料的种类数量以及环保性能不一样,不同宾馆间甲苯等苯系物平均水平也因之不会随装修时间而一致性地递减。同为四星级的 4 个宾馆中,DXC、JX、BL 甲苯浓度水平虽随装修时间有递减趋势,但装修时间才半年的 YC 甲苯平均水平反而最低,主要是因为最近期的装修都有意识地选择了比较环保的材料和产品,同样原因,近期装修的三星级宾馆 TH 和 PZ 以及二星级宾馆 XY,甲苯水平相对都很低。

2.2 苯系物来源分析

宾馆客房中苯系物有内源和外源。内源包括客房内建筑和装修装饰材料的释放以及人为活动(抽烟、清洁等)^[4];外源主要是通过室内外气体交换,室外来自机动车尾气,工业排放废气等来源的苯系物进入了室内环境。室内空气中苯系物的最低水平应接近中央空调新风口的水平,由于室内存在苯系物额外来源,室内苯系物的浓度决定于室内源的强弱,一般比室外高。苯/甲苯浓度比值(B/T)可在一定程度上反映苯系物的来源^[20-21]。汽车尾气 B/T 一般在 0.5 左右^[22]。因为甲苯广泛作为工业溶剂使用,工业溶剂相关来源或装修材料释放一般 B/T 值会偏低^[20],但生物质燃烧、香烟烟雾及燃煤、炼焦烟气一般 B/T 值偏高^[23-24]。因此,B/T 值与其来源贡献有关,以室内装修材料为主要来源时,其值一般比较低,而受城区室外空气影响较大时此比值接近 0.5。本研究各宾馆客房 B/T 值如图 3 所示。JX、DXC、XLW、HB、YX 这 5 家宾馆苯系物浓度和超过 $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ (表 1),远高于一般室外空气中浓度^[19]。以苯系物浓度最高的 DXC 为例,其地处大学城,开业 2a,周边车流量较少,无明显室外污染源,其 B/T 比值仅为 0.07,表明其室内高浓度苯系物主要是室内源。另 1 家 B/T 值<0.2 的宾馆 TH,最近半年装修过,虽然 B/T 显示室内苯系物来源仍以室内材料释放为主,但因使用环保材

料,释放强度相对比较小,值得注意的是,由于材料 VOC 释放过程往往是十分缓慢的过程,JX,DXC,YLW,HB,YX 这 5 家苯系物浓度比较高的“问题酒店”最近一次装修时间已过了 2~5a,室内材料等苯系物释放仍十分突出,这说明要降低客房苯系物水平,在装修装饰时选择比较环保的产品和材料是十分关键的。

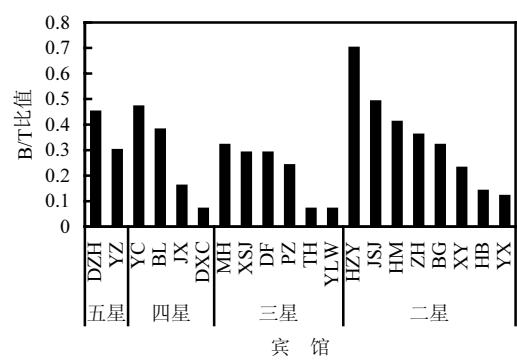


图3 不同宾馆客房苯/甲苯浓度比值
Fig.3 Ratios of benzene to toluene (B/T) in rooms of different hotels

B/T 值只有一个宾馆 HZY 明显高于 0.5(图 3),其他均低于 0.5.HZY 其 B/T 值较高,可能是因其附近有广州钢铁集团焦化分厂,炼焦废气 B/T 值较高^[25],受其影响室外空气 B/T 会相对较高,进而通过换气导致 HZY 的 B/T 值在所有宾馆中最高.DZH,YC,JSJ 等 3 个宾馆 B/T 比值非常接近 0.50,且其甲苯,乙苯和二甲苯等苯系物与以外源为主的苯之间,均表现出极显著的相关性 ($P<0.01$, $R^2>0.90$),因而其主要来源应是室外以机动车为主要来源的苯系物,通过换气进入了室内环境.实际情况也与观测结果吻合,DZH,YC,JSJ 三个宾馆均位于交通干线旁.以 DZH 为例,它地处广州主要商业区,前方是广州市区交通最繁忙,拥堵最严重的地带之一,仅经过的公交线路就有近 30 条,周边没有工业企业,街道空中苯系物以机动车尾气为主要来源.其他一些宾馆 B/T 值在 0.4 以下,甲苯,乙苯,二甲苯与苯的相关性也没有前述的 3 个宾馆明显,室内材料释放和室外机动车尾气来源的苯系物均有贡献。

2.3 苯致癌风险初步评价

表 3 不同类型人员苯致癌风险

Table 3 Carcinogenic risk due to benzene exposure in hotels for different categories of people

评价对象	性 别	<i>D</i> (h/d)	<i>F</i> (d/a)	<i>L</i> (a)	<i>I</i> [$\times 10^{-4}$ mg/(kg·d)]	Risk($\times 10^{-6}$)
工作	男	8	250	35	2.28	6.22
人员	女	8	250	30	2.31	6.30
宾馆客人	经常	男	12	150	2.05	5.60
	出差型	女	12	150	2.08	5.67
	一般	男	12	60	8.20	2.24
	需求型	女	12	60	8.30	2.27
	偶尔	男	12	10	1.37	0.373
	入住型	女	12	10	1.38	0.378

苯具有强致癌性,其致癌风险可用下式计算^[26-29]:

$$\text{Risk} = I \cdot \text{PF}$$

式中:PF 为斜率因子, kg/(d·mg),对于苯,其值为 0.0273; *I* 为苯的人体吸入量,假定吸入人体的苯 90%被吸收,则 *I* 可用下式计算:

$$I = (C \cdot R \cdot D \cdot F \cdot L) \cdot 0.9 / (W \cdot T \cdot 365)$$

式中: *C* 为污染物浓度, mg/m³; *R* 为吸入空气量,m³/h,成人为 0.27m³/h; *D* 为暴露时间, h/d; *F*

为暴露频率, d/a; *L* 为暴露期, a; *W* 为暴露者体重, kg,男性取 65kg,女性取 55kg;*T* 为平均暴露年限,a,对于致癌物质,取人群平均寿命 72a.污染物浓度 *C* 取本研究空气中苯的平均值,即 22.9μg/m³;暴露时间 *D* 根据人们入住宾馆的习惯取 12h/d,而暴露频率 *F* 根据人群对宾馆需求的实际情况分为:经常出差入住宾馆型(150d/a),一般需求型(60d/a)和偶尔入住型(10d/a);暴露期 *L* 按照人们的平均工作年限计算,男性 35a,女性 30a.另外,与

旅客相比较,宾馆工作人员暴露时间更长,按平均每天工作 8h、一年工作 250d 计,对工作人员苯暴露风险进行了计算,计算所得的不同类型人员的苯致癌风险见表 3。结果表明,经常入住宾馆的人群以及宾馆工作人员苯的致癌风险,均超过美国 EPA 制定的人体致癌风险限值 1×10^{-6} 的 5~7 倍;一般需求人群的致癌风险也高于 EPA 风险值的 2 倍多;而对于偶尔入住宾馆的客人来说,室内苯暴露对健康影响不大。此外,在同样环境暴露水平下,苯对女性的致癌风险略高于男性。

3 结论

3.1 选取广州 20 家不同星级的宾馆,对其客房空气中苯系物的检测表明,苯浓度平均水平 $22.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$,虽然没有超过我国室内空气质量标准限值,但对宾馆工作人员和经常入住人群的致癌风险值超过 1×10^{-6} ;甲苯、二甲苯的超标率分别为 24%和 9%。

3.2 苯系物来源主要有室内材料释放和室外以机动车尾气来源为主的苯系物通过换气进入室内环境。虽然受所处地理位置的影响,室外空气污染较重可能导致宾馆客房空中苯系物变高,但从 B/T 以及苯系物之间相关性来看,所有“问题宾馆”其高苯系物浓度均主要来源于室内装修材料释放。一些最近期装修但采用比较环保装修装饰材料 and 产品的宾馆,其苯系物浓度水平相对较低;反之,一些宾馆即使装修时间过了 2~5a,其室内仍有极高苯系物水平,说明降低宾馆客房内苯系物水平的最关键因素是采用环保的室内装修装饰材料 and 产品,而其所处地段室外空气中浓度水平不是高浓度苯系物“问题宾馆”出现的决定性因素,也不是可控的因素。

参考文献:

[1] 广州 2010 年旅游业总收入首超千[EB/OL].<http://roll.sohu.com/20110303/n303868322.shtml>[2011-03-03].

[2] 王志伟,钟 巍,杨轶骥,等. 2007 年度广州市星级宾馆客房卫生质量监测结果及分析 [J]. 热带医学杂志, 2008,8 (11):1190-1192.

[3] Clifford P, Shahnaz A, Paul F. Indoor air VOC concentrations in suburban and rural New Jersey [J]. Environmental Science and

Technology, 2008,42(22):8231-8238.

- [4] 戴树桂,张 林,白志鹏,等.室内空气中苯系物的测定与模拟研究 [J]. 中国环境科学, 1997,17(6):485-488.
- [5] 骆 娜,刘晓途,闫美霖,等.医院和实验室室内环境中挥发性有机污染物的比较 [J]. 中国环境科学, 2011,31(7):1102-1108.
- [6] Tang J H, Chan L Y, Wang X M, et al. Volatile organic compounds in a multi-storey shopping mall in Guangzhou, South China [J]. Atmospheric Environment, 2005,39:7374-7383.
- [7] 吕辉雄,文 晟,蔡全英,等.广州市医院空气中苯系物的污染状况与来源解析 [J]. 中国环境科学, 2008,28(12):1127-1132.
- [8] GB/T 18883-2002 室内空气质量标准 [S].
- [9] Hong Kong Environmental Protection Department (HKEPD), 1999. Guidance notes for the management of indoor air quality in offices and public places. [R]Indoor Air Quality Management Group, The Hong Kong Government of Special Administrative Region.
- [10] National air toxics information clearinghouse. [S] EPA-453/R-92-008. USEPA, 1992.
- [11] 骆 娜,刘晓云,谢 鹏,等.北京市医院候诊区空气中 VOCs 的污染特征 [J]. 中国环境科学, 2010,30(7):992-996.
- [12] Zuraimi M S, Roulet C A, Tham K W, et al. A comparative study of VOCs in Singapore and European office buildings [J]. Building and Environment, 2006,41:316-329.
- [13] Miranda M L, Houseman E A, George M G. Measured concentrations of VOCs in several non-residential microenvironments in the United States [J]. Environmental Science Technology, 2006, 40 (22):6903-6911.
- [14] Edwards R D, Jurvelin J, Saarela K, et al. VOC concentrations measured in personal samples and residential indoor, outdoor and workplace microenvironments in EXPOLIS-Helsinki, Finland [J]. Atmospheric Environment, 2001,35(27):4531-4543.
- [15] Stranger M, Potgieter-Vermaak S, van Grieken R. Comparative overview of indoor air quality in Antwerp, Belgium [J]. Environmental International, 2007,33(6):789-797.
- [16] Guo H, Lee S C, Li W M, et al. Source characterization of BTEX in indoor microenvironments in Hong Kong [J]. Atmospheric Environment, 2003,37:73-82.
- [17] 李 爽,陈凤君,朱利中,等.大学校园室内 BTEX 的浓度水平、来源及健康风险 [J]. 环境科学学报, 2009,29(3):511-515.
- [18] 许建华,薛光璞,杨丽莉.新装饰装修房屋室内空气中的苯系物调查 [J]. 污染防治技术, 2007,20(4): 48-49.
- [19] 赵利容,王新明,封少龙等.广州市冬季城区街道行人 VOCs, PM10 和 CO 暴露水平 [J]. 环境科学研究, 2003,16(5):18-20.
- [20] 付 强,吕怡兵,吕天峰.北京市车辆管制前后大气中挥发性有机污染物的变化 [J]. 环境化学, 2008,27(6): 826-829.
- [21] Barletta, B., Meinardi, S., Simpson, I. J., et al. Ambient mixing ratios of nonmethane hydrocarbons (NMHCs) in two major urban

- centers of the Pearl River Delta (PRD) region: Guangzhou and Dongguan [J]. *Atmospheric Environment*, 2008,42:4393-4408.
- [22] Wang X M, Sheng G Y, Fu J M, et al. Urban roadside aromatic hydrocarbons in three cities of the Pearl River Delta, People's Republic of China [J]. *Atmospheric Environment*, 2002,36:5141-5148.
- [23] Andreae MO and Merlet P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning [J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(4):955-966.
- [24] Xie J, Wang X M, Sheng G Y, et al. Determination of tobacco smoking influence on volatile organic compounds constituent by indoor tobacco smoking simulation experiment [J]. *Atmospheric Environment* 2003,37:3365-3374.
- [25] 何秋生,王新明,盛国英,等.炼焦过程中单环芳烃排放及源特征 [J]. *环境科学*, 2005,26(5):17-21.
- [26] US EPA. Integrated risk information system [OL]. US EPA: <http://www.epa.gov/iris.1998a>.
- [27] US EPA. Carcinogenic effects of benzene: an update. Office of Research and Development [S].
- [28] Guo H, Lee S C, Chan L Y, et al. Risk assessment of exposure volatile organic compounds in different indoor environments [J]. *Environmental Research*, 2004,94:57-66.
- [29] 张 平,陈坤洋,朱利中,等.公共场所 BTEX 的污染特征、源解析及健康风险 [J]. *环境科学学报*, 2007,27(5):779-784.
- 致谢:** 本实验分析得到李正悦高级工程师的大力协助,在此表示感谢.
- 作者简介:** 彭 燕(1976-),女,重庆潼南人,讲师,博士,主要从事大气环境研究.发表论文 18 篇.

确保重点区域大气污染防治规划更具前瞻性操作性

环境保护部日前组织召开《重点区域大气污染防治规划(2011~2015 年)》(以下简称《规划》)专家论证会,环境保护部副部长张力军出席会议并作重要讲话.

张力军指出,“十一五”以来,我国加大了大气污染治理力度,二氧化硫、二氧化氮和 PM_{10} 等常规污染物浓度持续下降,但随着经济社会的快速发展,能源消耗大幅攀升,机动车保有量急剧增加,社会污染物排放量呈现显著增长,在 PM_{10} 和 TSP 污染问题尚未完全解决的情况下,部分区域 $\text{PM}_{2.5}$ 和臭氧污染加重,灰霾现象频繁发生.尤其是去年 10 月以来,我国中东部地区持续多日出现灰霾天气,但由于我国现行环境空气质量标准偏松,使得各地公布的空气质量监测数据与公众感官存在较大差异,灰霾问题成为社会各界广泛关注的焦点.

张力军强调,党中央、国务院对此高度重视,做出了一系列重要批示和指示.2 月 29 日,温家宝总理主持召开国务院常务会,研究审议新的环境空气质量标准,强调要以更大的决心、更高的标准、更有力的措施,切实加强 $\text{PM}_{2.5}$ 、臭氧等大气污染问题综合防治,推动空气质量持续改善.根据国务院的要求,环境保护部发布了《环境空气质量标准》,新标准增加了 $\text{PM}_{2.5}$ 和臭氧八小时浓度限值监测指标,收严了二氧化氮、 PM_{10} 浓度限值,新的评价体系进一步与国际标准相接轨,实现了空气质量评价结果与人民群众切身感受相一致,也对我国大气污染防治提出了更高的要求.

张力军表示,为切实解决大气污染问题,2010 年 5 月,国务院办公厅发布了《关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见》,明确了当前和今后一个时期大气污染防治工作的方向.按照《指导意见》要求,决定组织编制重点区域大气污染防治规划.这项规划是我国第一部综合性的大气污染防治专项规划,将报国务院批准实施.从 2010 年开始,环境保护部全面启动了规划编制工作,成立了由环境规划院、环科院、清华大学、北京大学等 9 家单位,以及地方环保部门共同组成的规划编制组,经过多次研究、反复论证、数易其稿,通过“两上两下”,广泛征求了各有关部门、地方政府和环保部门的意见,并组织召开了两次部长专题会进行审议,最终形成了目前的《规划》.

摘自《中国环境报》

2012-04-12