

贵阳市大气细颗粒物中多环芳烃时空分布特征

高庚申¹, 迟峰^{1*}, 毛金群¹, 秦俊虎¹, 贾亚琪¹, 刘良琴¹, 徐兰²

(1. 贵州省环境科学研究设计院, 贵州 贵阳 550081; 2. 厦门隆力德环境技术开发有限公司, 福建 厦门 361008)

摘要:对贵阳市不同功能区在不同季节大气 PM_{2.5} 中多环芳烃(PAHs)进行了采样观测, 利用 UVD 和 FLD 双检测器串联 HPLC 法分析了 16 种优控 PAHs。结果显示, 在贵阳市主城区 PM_{2.5} 中 PAHs 有检出, 5 个采样点全年 $\rho(\Sigma \text{PAHs})$ 为 4.44 ~ 114 ng/m³, 平均值为 24.96 ng/m³, 其值呈现出夏季最低冬季最高的特征, 各个功能区在不同季节 $\rho(\text{PAHs})$ 不同, 大小趋势也不同; 四季 PAHs 单体中均以 4-6 环为主, 占 $\rho(\Sigma \text{PAHs})$ 的 68% 以上; PAHs 来源解析结果显示, 贵阳市大气 PM_{2.5} 中 PAHs 来源具有明显的季节特征, 春、夏和秋季主要来源是石油燃烧排放, 兼有少量的生物质燃烧排放, 冬季 PAHs 主要来源是燃煤和石油燃烧排放。PM_{2.5} 中 PAHs 毒性评价结果表明, 贵阳市大气中 PAHs 的春季、夏季和秋季健康风险较小, 冬季健康风险较大。四季各功能区 $\rho(\text{BaP})$ 大部分均低于《环境空气质量标准》(GB 3095—2012) 规定限值(2.50 ng/m³), 但冬季除背景点外, 其他监测点均超标, 最大超标倍数为 3.80 倍。

关键词:细颗粒物; 多环芳烃; 苯并[a]芘; 健康风险; 贵阳市

中图分类号: X820

文献标志码: B

文章编号: 1674-6732(2019)04-0043-05

Pollutant Characterization of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Atmospheric Fine Particulate Matter in Guiyang City

GAO Geng-shen¹, CHI Feng^{1*}, MAO Jin-qun¹, QIN Jun-hu¹, JIA Ya-qi¹, LIU Liang-qin¹, XU lan²

(1. Guizhou Environmental Scientific Research and Design Institute, Guiyang, Guizhou 550081, China; 2. Xiamen Lawlink Development CO. Ltd., Xiamen, Fujian 361008, China)

Abstract: Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in atmospheric fine particles in different seasons and different function areas of Guiyang city were sampled and observed, 16 priority PAHs were analyzed by using HPLC equipped with UVD and FLD dual detector. The results showed that PAHs of PM_{2.5} were found in Main Urban Area of Guiyang, the total annual concentration ranged from 4.44 ng/m³ to 114 ng/m³, of which the lowest concentration appeared in summer while the highest concentration in winter, and the average concentration was 24.96 ng/m³ in five sampling sites. In different seasons, the concentration of PAHs of the atmospheric PM_{2.5} in different functional areas was varied, and the change trend was different. PAHs were dominated by 4-6 ring monomers, which accounted for more than 68% of the total concentration. Sources apportionment results indicated that the source of PAHs in PM_{2.5} in Guiyang showed obvious seasonal characteristics, the main source was fossil oil combustion in spring, summer and autumn, there were also a small amount of biofuel combustion, and the main source in winter was coal and fossil oil combustion. The toxicity evaluation results of PAHs in fine particulate matter showed that PAHs in the atmosphere of Guiyang had lower health risks in spring, summer and autumn but higher health risks in winter. The concentrations of benzo[a]pyrene which is strong carcinogenic were below the GB 3095—2012 limits(2.50 ng/m³). However, except for the background sampling sites, the other sampling sites all exceeded the standard limits in winter, and the maximum value exceeded the standard ratio of 3.80 times.

Key words: PM_{2.5}; Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs); Benzo[a]pyrene; Health risks; Guiyang

多环芳烃(PAHs)是环境中广泛存在的一类高致癌性污染物^[1], 因其高毒性、持久性、累积性、流动性大等特点, 被列为优先控制和治理的持久性有机污染物(POPs)。其主要来源于煤、石油、天然气、秸秆、木材、烟草等碳氢化合物的不完全燃烧所

收稿日期: 2019-01-16; 修订日期: 2019-04-11

基金项目: 贵州省科技厅科技基金资助项目(黔科合 J 字[2011]2090 号)

作者简介: 高庚申(1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 从事环境科研工作。

* 通讯作者: 迟峰 E-mail: 344823236@qq.com

产生。研究表明^[2-4],污染源排放的气态 PAHs,冷却后极易形成颗粒物或富集吸附在颗粒物上,伴随呼吸进入人体肺部,具有显著致癌性。

细颗粒物(PM_{2.5})是许多有毒有害有机污染物的载体,一般来说,粒径越小,比表面积越大,吸附污染物越多。除呼吸暴露外,吸附于颗粒物上的 PAHs 以干、湿沉降方式进入水体、土壤等环境介质及其生态系统中,会通过食物链进入人体,从而影响人体健康。目前 PAHs 成为当今世界研究的热点问题。我国许多发达城市已相继对 PM_{2.5}中的 PAHs 进行了研究,结果表明,以燃煤为主要能源的一些北方城市 PAHs 污染程度较高,而沿海一带污染相对较轻。

贵阳市是典型的喀斯特地貌城市,随着近年来城市化进程的加快,能耗也在增加,机动车保有量逐年增长,大气污染情况不容乐观。目前有关贵阳大气颗粒物的研究报道较多^[5-6],研究内容集中于大气颗粒物的污染特征、来源、季节变化规律、影响因素等方面;针对贵阳市大气颗粒物及道路灰尘中 PAHs 研究也有少量报道^[7-10],研究重点围绕贵阳市某个季节某个区域颗粒物中 PAHs 污染特征、来源解析、健康风险评价等开展,研究结果表明,贵阳市大气颗粒物中有部分 PAHs 组分有检出,含量较低,对人体健康风险处于较低水平,主要来源于燃煤和机动车尾气排放。但针对贵阳市老城区不同功能区四个季度大气 PM_{2.5}中 PAHs 分布特征的研究鲜有报道。

现在贵阳市 4 个不同功能区分四季连续 7 d 同步采集大气 PM_{2.5}样品,研究高原喀斯特地质环境 PM_{2.5}中 PAHs 的分布特征,并对颗粒物中 PAHs 污染物主要来源进行分析,旨在为贵阳市大气中 PM_{2.5}污染控制策略制定及后续研究提供参考。

1 研究方法

1.1 样品采集

选取贵阳市老城区 5 个典型点位,分别为省植物园、贵州师范大学、省政府、大西门和太慈桥,代表背景点、居民、交通、商业混合和工业区。

采样时间为 2012 年 4 月 11—18 日、2012 年 8 月 1—8 日、2012 年 10 月 23—30 日、2012 年 12 月 24—31 日,分别代表春、夏、秋和冬四季,每个季度均连续采样 7 d,从当日 14:00 到次日 14:00 (循环 4 次,每次间歇 30 min),累计采样 22 h,记录风

速、相对湿度、温度和气压等气象参数。

1.2 质量保证与质量控制

样品采集、运输、前处理过程中,各添加一组空白实验,作为现场、运输和方法空白,用来评价整个实验中可能存在的污染。美国环境保护局(EPA)各优控 PAHs 的标准曲线线性相关系数都 > 0.998;对空白和样品进行高低浓度加标回收实验,16 种 PAHs 的回收率为 75% ~ 108%,相对标准偏差为 0.27% ~ 7.42%,文中给出的数据均经过空白校正。

1.3 来源解析

目前关于大气颗粒物 PAHs 来源的定性研究方法较多,包括比值法、轮廓图法、特征化合物法等^[11]。燃料类型以及燃烧过程会影响 PAHs 组成,不同环数 PAHs 比值、烷基化和母核 PAHs 的分布常用来识别污染源,由于不同 PAHs 同分异构体的相对热稳定性有所差异,因此不同来源的 PAHs 有其相应的特征比例范围,依据这些数值可识别特征污染源,采用 $\rho[\text{苯并(a)芘}]/\rho[\text{苯并(ghi)芘}]$ 、 $\rho[\text{茚并(1,2,3-cd)芘}]/\rho[\text{苯并(ghi)芘}]$ 、 $\rho(\text{蒽})/\rho(\text{蒽} + \text{菲})$ 和 $\rho(\text{苯比蒽})/\rho(\text{苯比蒽} + \text{蒽})$ 判断 PM_{2.5}中 PAHs 的来源^[12]。

2 结果与分析

2.1 贵阳市大气 PM_{2.5}中 PAHs 时空变化

贵阳市大气 PM_{2.5}中 $\rho(\text{PAHs})$ 分布见表 1。表中 Nap、Acel、Ace、Flu、PhA、Ant、FluA、Pyr、BaA、Chr、BbF、BkF、BaP、DbA、BgHiP 和 IcdP 分别表示萘、苊烯、苊、苊、菲、蒽、荧蒽、芘、苯比蒽、蒽、苯比(b)荧蒽、苯比(k)荧蒽、苯并(a)芘、二苯(a,h)并蒽、苯并(ghi)芘和茚并(1,2,3-cd)芘。由表 1 可见,贵阳市春季各功能区 PM_{2.5}中 16 种 PAHs 大多数均有检出,未检出的 PAHs 为低环(2~3 环),且 4 环以上的 PAHs 含量占 PAHs 总量的比重较大;夏季各功能区 PM_{2.5}中大部分 PAHs 低环(2~3 环)未检出,可能是由于夏季温度较高,而且低环的 PAHs 易挥发,在气态中相对含量高于吸附于颗粒物中的相对含量,而环数高的 PAHs 则主要以吸附于颗粒物的形式存在;秋季各功能区 PM_{2.5}中 16 种 PAHs 中低环较多,且 16 种 PAHs 于各功能区大部分均有检出;冬季各功能区 PM_{2.5}中 16 种 PAHs 均有检出,可能是由于贵阳冬季气候较冷,相对湿度较大,混合层低,污染物不易扩散,导致 PAHs 被颗粒物吸附。

表 1 贵阳市大气 PM_{2.5} 中 PAHs 的空间变化^①ng/m³

	组分	Nap	Acel	Ace	Flu	PhA	Ant	FluA	Pyr	BaA	Chr	BbF	BkF	BaP	DbA	BghiP	IcdP	合计
	环数	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	5	6	
春季	背景区	0.01	0.34	—	0.02	0.36	0.03	0.52	0.54	0.20	0.29	0.59	0.24	0.38	0.02	0.59	0.31	4.44
	居民区	0.14	1.52	7.62 ^②	0.07	0.71	0.07	1.15	1.04	0.40	0.99	1.63	0.54	0.69	0.06	1.19	0.64	10.84
	交通区	0.05	5.13	0.08	0.10	1.00	0.12	1.65	1.60	0.73	1.73	2.47	0.81	1.27	0.15	2.26	1.02	20.20
	商业区	—	5.88	2.56 ^③	0.13	0.53	0.05	0.84	1.52	1.07	2.47	4.53	3.21	1.15	0.42	2.62	1.06	25.48
	工业区	—	0.40	7.35 ^③	0.08	0.76	0.08	1.63	1.50	0.49	1.72	1.91	0.61	0.89	0.15	1.18	0.91	12.32
夏季	背景区	1.29	—	—	—	0.30	—	0.42	0.55	0.28	1.32	1.39	0.34	1.15	0.22	0.92	0.62	8.80
	居民区	1.61	—	—	—	0.15	0.02	0.89	0.80	0.34	1.27	1.72	0.57	1.37	0.14	1.72	1.23	11.83
	交通区	1.68	0.89	—	—	0.61	0.06	1.13	1.14	0.57	2.40	2.08	0.68	1.68	0.10	2.16	1.21	16.39
	商业区	1.06	0.42	—	—	0.99	0.13	1.40	1.11	0.50	1.91	3.40	0.73	0.64	0.19	1.92	1.21	15.61
	工业区	0.13	—	—	—	0.10	0.15	1.41	1.35	0.68	2.06	2.88	0.97	1.74	0.23	2.25	1.62	15.57
秋季	背景区	—	1.89	0	0	0.30	—	1.58	1.79	1.00	2.24	2.69	1.22	2.04	0.34	2.09	1.97	19.15
	居民区	—	—	—	0.16	1.05	0.13	1.34	1.29	0.55	1.41	1.87	0.80	1.28	0.26	1.84	1.50	13.51
	交通区	—	—	—	0.33	1.77	0.31	1.81	1.69	0.70	1.50	1.82	0.77	1.47	0.45	1.95	1.41	15.98
	商业区	—	—	—	0.34	1.97	0.28	1.98	1.86	1.71	3.60	5.49	1.19	1.93	0.72	3.30	2.32	26.69
	工业区	—	—	—	0.27	1.81	0.31	2.07	1.98	0.87	1.67	1.98	0.88	1.60	0.22	1.97	1.74	17.37
冬季	背景区	5.66 ^③	0.38	0.17	0.04	0.57	0.06	0.10	0.84	0.42	0.55	0.54	0.06	0.82	—	0.52	0.45	5.53
	居民区	0.19	1.33	0.08	0.08	1.33	0.20	3.56	3.00	2.05	2.73	1.86	0.66	2.91	0.06	1.39	1.33	22.76
	交通区	0.34	1.41	0.06	0.15	2.36	0.30	3.55	4.29	2.41	3.48	2.47	1.05	4.08	0.07	2.55	2.11	30.68
	商业区	1.02	6.22	0.23	0.15	2.88	0.34	11.50	13.80	7.04	12.40	9.20	3.24	11.20	1.04	6.61	5.23	92.10
	工业区	0.15	5.47	0.17	0.22	4.84	0.64	17.21	16.63	10.84	15.52	12.00	4.26	12.00	0.41	6.57	6.67	114.00

① 商业区为商业混合区;② $\times 10^{-4}$;③ $\times 10^{-3}$ 。

贵阳市不同季节大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\sum \text{PAHs})$ 主要表现为春季:商业混合区 > 交通区 > 工业区 > 居民区 > 背景区;夏季:工业区 > 交通区 > 商业混合区 > 居民区 > 背景区;秋季:商业混合区 > 背景区 > 工业区 > 交通区 > 居民区;冬季:工业区 > 商业混合区 > 交通区 > 居民区 > 背景区。春、秋季大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\sum \text{PAHs})$ 最高值在商业混合区,分别为 25.48 和 26.69 ng/m³,主要原因可能是贵阳市春、秋季天气凉爽,进入旅游旺季,游人增加,商业混合区各类夜市急剧增多,燃煤、燃气用量以及汽车保有量也相应增加,故大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\sum \text{PAHs})$ 也明显升高。夏、冬季大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\sum \text{PAHs})$ 最高值为工业区,分别为 15.57 和 114 ng/m³,其原因主要是由于季节性生产过程中化石燃料不完全燃烧排放导致 PM_{2.5} 中 $\rho(\text{PAHs})$ 增高,贵阳冬季气候较为阴冷,工业燃煤发电、居民燃煤燃气取暖增加,也存在随意焚烧垃圾、边角料等生物质燃料,致使工业区 PM_{2.5} 中 $\rho(\sum \text{PAHs})$ 急剧升高。

2.2 大气 PM_{2.5} 中 PAHs 季节变化特征

由表 1 可见,贵阳市大气 PM_{2.5} 中 16 种 $\rho(\text{PAHs})$ 为 4.44 ~ 114 ng/m³,平均值为 24.96 ng/m³,与同时期国内其他典型城市对比,其研究结果远低于京

津冀地区城市大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\text{PAHs})$ (6.3 ~ 251.41 ng/m³),如北京 (120.23 ng/m³)、天津 (137.47 ng/m³) 和石家庄 (70.12 ng/m³) 等典型北方城市^[12],也低于长三角城市群大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\text{PAHs})$ (96.3 ng/m³) 等经济发达城市^[13];与早期珠江三角洲地区大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\text{PAHs})$ (5.87 ~ 63.36 ng/m³),如深圳 (32.68 ng/m³)、广州 (28.15 ng/m³) 等城市接近^[14]。

贵阳市不同功能区四季大气颗粒物中 16 种 $\rho(\sum \text{PAHs})$ 变化趋势为:冬季 > 春季 > 秋季 > 夏季,与杨成阁等^[7]、王超等^[12]的研究结果相似。冬季 $\rho(\text{PAHs})$ 最高,其可能有明显的采暖期,而且以燃煤为主,同时冬季气温较低,易频繁出现逆温层,且风速较小可使大气中 PAHs 易于富集,不易向外扩散,导致 $\rho(\text{PAHs})$ 偏高。夏季 $\rho(\text{PAHs})$ 最低,可能是夏季温度较高,低环 PAHs 容易挥发到大气中,以气态形式存在,且夏季阳光较强,光照时间长易使某些 PAHs 发生光解,同时贵阳夏季雨天较多,在风速较大的情况下也能增加大气中 PAHs 的快速扩散作用。

不同功能区 PM_{2.5} 中 $\rho(\text{BaP})$ 为背景区:0.38 ~ 2.04 ng/m³;居民区:0.69 ~ 2.91 ng/m³;交通区:

1.27 ~ 4.08 ng/m³; 工业区: 0.89 ~ 12.00 ng/m³。商业混合区: 0.64 ~ 11.20 ng/m³; 各功能区春、夏、秋季 $\rho(\text{BaP})$ 均未超标, 冬季除背景区外, 均超过标准《GB 3095—2012》中 2.50 ng/m³ 限值规定^[15], 且工业区冬季 $\rho(\text{BaP})$ 最高。

2.3 PM_{2.5} 中 PAHs 来源解析

大气 PM_{2.5} 中 PAHs 综合特征比值分析结果见表 2、表 3。由表 2、3 可见, 贵阳市春、夏和秋季 $\rho(\text{BaP})/\rho(\text{BghiP})$ 平均值为 0.60 ~ 0.78, 均 < 0.90, 冬季平均值为 1.76, 在燃煤排放比值 0.90 ~ 6.60 内; 春、夏和秋季 $\rho(\text{BaA})/\rho(\text{BaA} + \text{Chr})$ 平均值为 0.21 ~ 0.31, 在燃煤排放比值 0.20 ~ 0.35 内, 冬季均 > 0.35, $\rho(\text{FluA})/\rho(\text{FluA} + \text{Pyr})$ 四季平均值为 0.48 ~ 0.50, 在石油燃烧排放 0.40 ~ 0.50

内; $\rho(\text{Ant})/\rho(\text{Ant} + \text{Pyr})$ 春、夏和冬季较低, 平均值为 0.09 ~ 0.11, 秋季稍高, 平均值为 0.13, 说明秋季的生物质燃烧排放较其他季节大。

特征化合物含量比值法解析结果表明, 贵阳市大气 PM_{2.5} 中 PAHs 来源具有明显的季节特征, 春、夏和秋季主要来源是石油燃烧排放, 兼有少量的生物质燃烧排放, 冬季 PAHs 主要来源是燃煤和石油燃烧排放。

据贵阳市国民经济和社会发展公报统计, 2012 年全市年末民用汽车拥有量达 67.36 万辆, 全市规模以上工业绝对数排在前 5 位的行业中, 原煤、水泥、化肥、发电等行业增长量较大, 分别为 31.21%, 22.90%, 55.80% 和 29.50%。分析结果与贵阳市的经济发展状况相吻合。

表 2 大气 PM_{2.5} 中 PAHs 各种来源的特征比值

特征比值	石油挥发	石油燃烧	燃煤	生物质燃烧
$\rho(\text{Ant})/\rho(\text{Ant} + \text{PhA})$				0.12 ~ 0.24
$\rho(\text{BaA})/\rho(\text{BaA} + \text{Chr})$	< 0.20	> 0.35	0.20 ~ 0.35	
$\rho(\text{BaP})/\rho(\text{BghiP})$		0.30 ~ 0.44	0.90 ~ 6.60	
$\rho(\text{Flu})/\rho(\text{Flu} + \text{Pyr})$	< 0.40	0.40 ~ 0.5	> 0.50	> 0.50

表 3 贵阳市大气 PM_{2.5} 中 PAHs 的特征比值^①

季节	$\rho(\text{BaP})/\rho(\text{BghiP})$		$\rho(\text{Ant})/\rho(\text{Ant} + \text{PhA})$		$\rho(\text{BaA})/\rho(\text{BaA} + \text{Chr})$		$\rho(\text{Flu})/\rho(\text{Flu} + \text{Pyr})$	
	范围	平均值 ± SD	范围	平均值 ± SD	范围	平均值 ± SD	范围	平均值 ± SD
春	0.44 ~ 0.75	0.60 ± 0.12	0.08 ~ 0.11	0.09 ± 0.01	0.22 ~ 0.41	0.30 ± 0.07	0.36 ~ 0.53	0.48 ± 0.07
夏	0.33 ~ 1.24	0.78 ± 0.32	0.09 ~ 0.13	0.11 ± 0.02	0.17 ~ 0.25	0.21 ± 0.03	0.43 ~ 0.56	0.50 ± 0.05
秋	0.58 ~ 0.98	0.76 ± 0.15	0.11 ~ 0.15	0.13 ± 0.02	0.28 ~ 0.34	0.31 ± 0.02	0.47 ~ 0.52	0.50 ± 0.02
冬	1.59 ~ 2.09	1.76 ± 0.21	0.09 ~ 0.13	0.11 ± 0.01	0.36 ~ 0.44	0.41 ± 0.03	0.45 ~ 0.54	0.50 ± 0.04

① SD 为标准偏差。

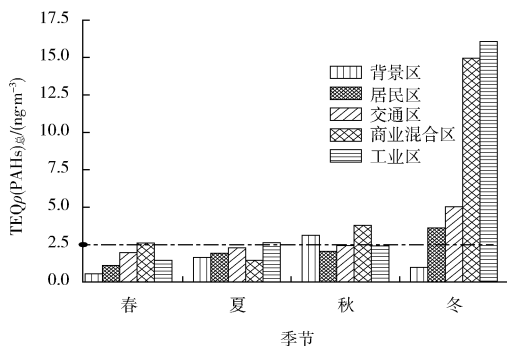
2.4 PM_{2.5} 中 PAHs 的毒性评价

PAHs 的毒性当量因子见表 4。按照致癌性的强弱, 将贵阳市四季不同功能区大气 PM_{2.5} 中 $\rho(\text{PAHs})$ 用 BaP 的毒性当量浓度进行评价^[16], 即以 BaP 作为毒性标准物质, 其他 PAHs 与 BaP 比值来计算每个 PAHs 单体的毒性当量浓度 (BEQ_i , $\text{BEQ}_i = c_i \times \text{TEF}_i, \text{ng/m}^3$) 及 $\text{TEQ}\rho(\text{PAHs})_{\text{总}} (\text{BaP} - \text{TEQ}, \text{ng/m}^3)$, 结果见图 1。

由图 1 可见, 贵阳市春、夏和秋季 $\text{TEQ}\rho(\text{PAHs})_{\text{总}}$ 较低, 为 0.55 ~ 3.80 ng/m³, 平均值为 2.06 ng/m³; 贵阳市冬季 $\text{TEQ}\rho(\text{PAHs})_{\text{总}}$ 较高, 为 0.98 ~ 16.06 ng/m³, 平均值为 8.12 ng/m³, 其中, 商业混合区和工业区最为严重, 分别为 14.94, 16.06 ng/m³。

表 4 PAHs 的毒性当量因子

PAHs	TEF _i
Nap	0.001
Acel	0.001
Ace	0.001
Flu	0.001
PhA	0.001
Ant	0.01
FluA	0.001
Pyr	0.001
BaA	0.10
CHR	0.01
BbF	0.10
BkF	0.10
BaP	1.0
DbA	1.0
IcdP	0.10
BghiP	0.01

图 1 贵阳市大气 $TEQ\rho(PAHs)$

评价结果说明贵阳市大气中 PAHs 的春季、夏季和秋季健康风险较小,冬季健康风险较大。

3 结论

(1) 贵阳市四季不同功能区 16 种 PAHs 大多数均有检出,16 种 $\rho(PAHs)$ 为 $4.44 \sim 114 \text{ ng/m}^3$, 平均值为 24.96 ng/m^3 , 且 PAHs 单体中均以 4~6 环为主,占 $\rho(\sum PAHs)$ 的 68% 以上。

(2) 空间分布上,大气 $PM_{2.5}$ 中 $\rho(PAHs)$ 不同功能区在不同季节规律不一致,总体来看交通区、商业混合区、工业区在不同季节其值均较高,季节性变化呈现夏季最低,冬季最高的特点,这主要与 PAHs 本身的化学性质、人为排放及气象条件有关。

(3) 贵阳市大气 $PM_{2.5}$ 中 PAHs 来源结果显示,贵阳市大气 $PM_{2.5}$ 中 PAHs 来源具有明显的季节特征,春、夏和秋季主要来源是石油燃烧排放,兼有少量的生物质燃烧排放,冬季大气 $PM_{2.5}$ 中 PAHs 主要来源为燃煤和石油燃烧排放。

(4) 贵阳市春季、夏和秋季各功能区 $\rho(BaP)$ 大部分均低于《GB 3095—2012》规定 24 h 限值 (2.50 ng/m^3),冬季除背景区外,其他点位均超标,最大超标倍数为 3.80 倍,说明贵阳市冬季 BaP 污染较严重;毒性评价结果表明,贵阳市冬季 $TEQ\rho(PAHs)$ 较高,为 $0.98 \sim 16.06 \text{ ng/m}^3$, 平均值 8.12 ng/m^3 ,其中,商业混合区和工业区值最高,分别为 $14.94, 16.06 \text{ ng/m}^3$,说明贵阳市冬季大气中

PAHs 的健康风险较大。

【参考文献】

- [1] 张强华,石莹莹,李东,等.南京市大气可吸入颗粒物中多环芳烃的分布状况[J].环境科学与技术,2007,30(10):42-44.
- [2] 白志鹏,王宝庆,王秀艳,等.空气颗粒物污染与防治[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [3] 沈学优,刘建勇.空气中多环芳烃的研究进展[J].环境污染与防治,1999,21(6):31-35.
- [4] DIANA J, FREE M, FRANK C R C. Wood burning as a source of atmosphere polycyclic aromatic hydrocarbon [J]. Environ Sci Technol, 1990, 24:1581-1585.
- [5] 史莉,尹璐,郭苛,等.贵阳市中心城区大气颗粒物特征分析[J].环境科学与管理,2008,33(6):123-127.
- [6] 刘娜,冯新斌, MATTHEW L,等.贵阳市大气颗粒物($PM_{2.5}$)污染特征及气象参数的影响[J].地球与环境,2014,42(3):311-315.
- [7] 杨成阁,胡菁,郭军,等.贵阳市冬、夏季 $PM_{2.5}$ 中多环芳烃污染特征及来源解析[J].环境化学,2014,33(1):161-162.
- [8] 王姬,贺华中,林野,等.贵阳市道路地表灰层中多环芳烃的分布特征及生态风险评估[J].华中师范大学学报(自然科学版),2012,46(4):484-487.
- [9] 张勇,陈卓,沈烨冰,等.贵阳市大气中多环芳烃的来源分析及健康风险评价[J].安全与环境学报,2013,13(3):106-110.
- [10] 高庚申,徐兰,安裕敏.紫外-荧光检测器高效液相色谱法测定 $PM_{2.5}$ 中 16 种多环芳烃[J].环境污染与防治,2013,35(5):53-57.
- [11] 房春生,刘多,温卓,等.吉林省典型城市大气中 PAHs 来源解析[J].生态环境学报,2013,22(6):1009-1014.
- [12] 王超,张霖琳,刀谱,等.京津冀地区城市空气颗粒物中多环芳烃的污染特征及来源[J].中国环境科学,2015,35(1):1-6.
- [13] 胡珊,张远航,魏永杰.珠江三角洲大气细颗粒物的致癌风险及源解析[J].中国环境科学,2009,29(11):1202-1208.
- [14] 张利飞,杨文龙,董亮,等.利用 PUF 被动采样技术研究长三角城市群大气中多环芳烃的时空分布及来源[J].环境科学,2013,34(9):3339-3346.
- [15] 环境保护部.环境空气质量标准:GB 3095—2012[S].北京:中国环境科学出版社,2012.
- [16] 王伟.鞍山市大气中多环芳烃健康影响评价[J].环境科学与管理,2013,38(6):192-194.