

室内空气中多环芳烃(PAHs)的源及贡献率

刘勇建,朱利中*,王静,沈学优,陈娴(浙江大学环境科学系,杭州 310028, E-mail: Lzzhu@mailhz.zj.cn)

摘要:采用因子分析及多元线性回归对杭州市室内外空气中 PAHs 的来源及其贡献率进行研究,求得 PAHs 总量与公共因子间的特征方程.结果表明,影响室内外空气中 PAHs 浓度的主要因子依次为烹调、卫生球的挥发、吸烟及加热、汽车尾气.在吸烟者家庭中,室内吸烟是影响室内空气中 PAHs 浓度的最重要的影响因子,其对室内空气中苯并(a)芘 BaP 的贡献率为 25.8%.

关键词:多环芳烃;因子分析;室内空气;来源分析;贡献率

中图分类号:X513 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)06-05-0039

Sources Analysis and Contribution Identification of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Indoor and Outdoor Air of Hangzhou

Liu Yongjian, Zhu Lizhong, Wang Jing, Shen Xueyou, Chen Xian (Department of Environmental Science of Zhejiang University, Hangzhou 310028, E-mail: Lzzhu@mailhz.zj.cn)

Abstract: Twelve polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) were measured in eight homes in Hangzhou during the summer and autumn in 1999. The sources of PAHs and the contributions of the sources to the total concentration of PAHs in the indoor air were identified by the combination of correlation analysis, factor analysis and multiple regression, and the equations between the concentrations of PAHs in indoor and outdoor air and factors were got. It was indicated that the factors of PAHs in the indoor air were domestic cuisine, the volatility of the mothball, cigarette smoke and heating, the waste gas from vehicles. In the smokers' home, cigarette smoke was the most important factor, and it contributed 25.8% of BaP to the indoor air of smokers' home.

Key words: PAHs; factor analysis; indoor air; source analysis; contribution identification

室内空气中 PAHs 的污染源较多,且受房屋的建筑结构、通风换气频率及住户生活习惯等的影响,因此对 PAHs 的分布类型、来源判识及贡献率的研究比较困难.人们多采用受体模型、用比值法、轮廓图法及特征化合物法等对空气中 PAHs 进行定性^[1],但这些方法较简单,仅可粗略地识别污染源;用化学质量平衡法(CMB)及多元统计法(主成分分析、因子分析等)对空气中 PAHs 进行定量^[2-3].其中 CMB 法需要不同源排放 PAHs 的标准谱图,且排放出的 PAHs 易和空气中 O₃、NO_x 等反应,因此应用较少.因子分析是一种多变量的统计分析方法,在统计大量数据的基础上,将反映某事物的多个变量用少数几个反映该事物的潜变量来代替.由于其简便易行,近年来在环境科学领域中得到越来越多的应用.

本文采集并测定了杭州市城市居民室内及室外空

气中的 PAHs,分析了空气中 PAHs 的污染现状,采用因子分析及多元线性回归对不同类型家庭室内空气中 PAHs 的污染特征、来源及贡献率进行了研究.

1 实验部分

1.1 室内采样点基本情况

于 1999 年夏、秋 2 季分别采集杭州市城区 8 户居民家中 12 种 PAHs 样品,相同类型的房屋均对照采集了吸烟者与不吸烟者 2 户家庭.其中吸烟者家庭均用萘含量高的卫生球作衣物防护剂,不吸烟者家庭均用萘含量低的衣物防护剂.每户吸烟者家庭中均只有一

基金项目:浙江省科技计划资助项目(97-2-087)

作者简介:刘勇建(1975~),男,博士,现在中国科学院生态环境研究中心,主要研究方向为环境分析化学.

收稿日期:2000-11-27

* 联系人

人吸烟,每日吸烟量平均约为 5 支.每户家庭室内布 3 个采样点,分别放在厨房、卧室、客厅,在阳台上设一个采样点作为室内各点的对照点.采样高度为 1.0~1.5 m,采样泵流量为 1.0 L/min,采样时间为 8 h.采样时居民家中均开窗,烹调、加热(如烧水、洗浴等)及吸烟等活动均正常进行.

1.2 室内外样品处理

样品的采集、前处理、分析测定方法的质量控制/保证体系参见文献[4,5].

2 结果与讨论

2.1 室内外空气 PAHs 污染现状

结果表明,所测家庭室内和室外空气中 12 种 PAHs 浓度几何平均值分别为 7.86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 6.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,其中萘 3.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 2.70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,苯并(a)芘 10 ng/m^3 及 7 ng/m^3 ,污染较为严重(表 1).除蒽和苯并(e)芘

外,其余 10 种 PAHs 在室内空气中的浓度均高于室外对照点.

研究表明,当室内空气中 PAHs 浓度与室外浓度比值(Indoor/Outdoor, I/O)大于 3 时,表明室内存在该种 PAHs 的显著污染源^[6].从表 1 可知,12 种 PAHs 的 I/O 值均小于 3.由此可知,所测家庭室内均没有显著的 PAHs 污染源.

香烟烟雾(Environmental Tobacco Smoking, ETS)中含有大量的 PAHs^[7].因此吸烟者家庭室内及室外空气中 PAHs 浓度大多高于不吸烟者家庭.尤其是萘和苯并(a)芘,计算可得室内和室外空气的平均浓度比不吸烟者家庭高 3.1 和 2.3 倍(表 2).由此表明,室内吸烟是室内空气中 PAHs 的一个重要来源.

空气中 PAHs 浓度受季节影响较大.在秋季由于能耗增加及气温降低,空气对流减弱等气象条件的影响,空气中 PAHs 浓度均高于夏季所测值(表 1).

表 1 室内外空气中 PAHs 浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
Table 1 The concentrations of PAHs in indoor and outdoor air/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

多环芳烃	室内		室外		室内/室外 中值	夏季		秋季		秋季/夏季 中值
	几何平	几何标	几何平	几何标		几何平	几何标	几何平	几何标	
	均值	准差	均值	准差		均值	准差	均值	准差	
萘	3.39	4.39	2.70	5.20	1.07	2.15	6.09	4.26	3.29	1.49
蒽	0.76	2.73	0.82	3.11	0.84	0.53	2.84	1.18	2.53	2.64
芴	0.06	3.84	0.06	2.55	1.26	0.05	4.28	0.08	1.89	1.61
菲	0.44	2.75	0.43	2.78	1.01	0.46	3.45	0.42	2.08	0.79
蒽	0.16	2.59	0.11	2.60	1.49	0.12	3.43	0.16	1.74	1.21
荧蒽	0.56	1.94	0.42	1.94	1.34	0.32	2.00	0.74	1.31	1.94
芘	0.44	1.80	0.30	1.81	1.42	0.26	1.86	0.50	1.0	1.89
苯并(a)蒽	0.12	3.04	0.13	2.3	1.05	0.09	3.17	0.17	1.96	1.29
蒽	0.11	1.92	0.10	2.00	1.12	0.09	1.96	0.13	1.88	1.45
苯并(e)芘	0.03	1.97	0.04	2.27	0.87	0.02	2.19	0.05	1.51	2.24
苯并(k)荧蒽	0.004	2.14	0.003	1.93	1.34	0.003	1.53	0.005	2.35	2.57
苯并(a)芘	0.01	2.12	0.007	2.60	1.21	0.07	2.44	0.10	2.27	1.38
$\sum$ PAHs	7.86	2.34	6.74	2.62	1.07	5.84	2.69	9.07	2.15	1.59

2.2 因子分析

研究表明,ETS 中苯并(a)芘与尼古丁之间有很好的相关性,因此采集吸烟者家庭室内空气中 PAHs 时可用苯并(a)芘作为 ETS 的标识物^[6].由于 ETS 中含有大量的三环/四环/五环 PAHs,因此吸烟者家庭室内空气中苯并(a)芘与蒽、荧蒽、芘、苯并(a)蒽、蒽、苯并(e)芘、苯并(k)荧蒽间有较好的相关性(表 3).而室外空气、不吸烟家庭室内外空气及总的家庭室内外空气中 PAHs,由于污染源较多,且影响因素复杂,彼此间相关性较差(表 4、表 5).

在所有家庭中,影响室内空气中 PAHs 浓度主要

有 4 个因子(取特征根大于 1),其累积方差贡献率达 88.75%.其中第 1 个因子选蒽为代表化合物,主要来自烹调源,其对室内空气中蒽的贡献率为 29.7%.第 2 个因子选萘为代表化合物,主要来自室内衣物防护剂等的挥发,其对室内空气中萘的贡献率为 29.6%.第 3 个为苯并(e)芘,主要来自吸烟及加热源,其对室内空气中苯并(e)芘的贡献率达 52.4%.第 4 个选菲,主要来自室外汽车尾气的扩散,对室内空气中菲的贡献率达 61.3%.通过选定这 4 个影响因子,可明确室内空气中 PAHs 的主要污染源,定量计算出其对室内空气中 PAHs 的贡献率,同时可拟定出室内空气中 PAHs 的特

征方程,其相关系数达 0.999(表 6),通过测定这 4 种 特征 PAHs,可推算室内空气中 12 种 PAHs 的总量.

表 2 吸烟和不吸烟家庭室内外空气中 PAHs 浓度/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Table 2 The concentrations of PAHs in the indoor and outdoor air of smoking and non-smoking homes/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

多环芳烃	室内				室内吸烟/室 内不吸烟中值	室外				室外吸烟/室外 不吸烟中值
	几何平	几何标	几何平	几何标		几何平	几何标	几何平	几何标	
	均值 ¹⁾	准差 ¹⁾	均值 ²⁾	准差 ²⁾		均值 ¹⁾	准差 ¹⁾	均值 ²⁾	准差 ²⁾	
萘	7.59	2.72	1.51	4.40	2.69	6.92	3.09	1.05	4.90	3.57
芴	0.84	2.8	0.69	2.74	0.88	0.98	3.54	0.68	2.83	0.83
苊	0.10	2.65	0.04	4.67	1.67	0.09	1.98	0.05	3.04	1.60
菲	0.54	2.90	0.36	2.68	1.16	0.46	2.98	0.40	2.78	0.85
蒽	0.22	2.28	0.12	2.77	1.83	0.10	3.64	0.13	1.67	1.07
荧蒽	0.61	1.89	0.52	2.06	1.16	0.45	2.06	0.39	1.90	1.11
芘	0.49	1.50	0.39	2.10	1.40	0.35	1.98	0.26	1.63	1.70
苯并(a)蒽	0.11	2.69	0.14	3.61	0.66	0.09	2.35	0.17	2.21	0.83
蒽	0.11	1.82	0.12	2.09	1.31	0.12	1.55	0.09	2.45	0.92
苯并(e)芘	0.03	1.78	0.04	2.25	1.20	0.04	1.90	0.04	2.75	1.17
苯并(k)荧蒽	0.006	2.05	0.003	2.07	1.87	0.004	1.79	0.003	1.98	1.60
苯并(a)芘	0.02	1.28	0.006	2.16	2.80	0.01	1.42	0.005	3.24	1.87
∑ PAHs	12.28	2.11	5.02	2.07	1.75	10.74	2.59	4.23	2.16	1.95

1) 吸烟者家庭 2) 不吸烟家庭

表 3 吸烟与不吸烟家庭室内空气中变量间相关性¹⁾

Table 3 The correlations between the variables for indoor air of smoking and nonsmoking homes

PAHs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1)萘		0.297	-0.110	-0.009	-0.257	-0.219	-0.170	-0.857*	-0.470	-0.155	0.410	-0.360	0.980*
(2)芴	0.794		-0.270	-0.222	-0.264	-0.452	-0.448	-0.52	-0.276	-0.054	-0.178	-0.415	0.404
(3)苊	0.908*	0.743		0.915*	0.839*	0.322	0.389	0.026	-0.060	-0.257	-0.110	0.183	0.001
(4)菲	0.196	0.158	0.336		0.785	0.170	0.244	-0.127	-0.342	-0.332	-0.262	-0.123	0.099
(5)蒽	0.745	0.533	0.779	0.412		0.618	0.519	0.146	0.208	0.119	0.039	0.318	-0.134
(6)荧蒽	0.128	0.423	0.280	-0.087	-0.073		0.885*	0.422	0.728	0.666	0.677	0.800	-0.185
(7)芘	0.161	0.517	0.322	0.002	0.080	0.961*		0.492	0.501	0.695	0.669	0.653	-0.133
(8)苯并(a)蒽	0.582	0.520	0.479	0.092	0.732	-0.229	-0.129		0.558	0.440	-0.010	0.517	-0.892*
(9)蒽	0.632	0.561	0.392	-0.321	0.584	0.054	0.135	0.711		0.508	0.479	0.937*	-0.480
(10)苯并(e)芘	0.253	0.258	0.274	-0.264	0.067	-0.315	-0.321	0.335	0.032		0.666	0.408	-0.143
(11)苯并(k)荧蒽	0.223	0.384	0.208	-0.398	-0.266	0.578	0.532	-0.463	0.050	0.120		0.559	0.378
(12)苯并(a)芘	0.941*	0.885*	0.822	0.253	0.763	0.195	0.272	0.699	0.726	0.124	0.115		-0.366
(13)∑ PAHs	0.948	0.922*	0.912*	0.281	0.728	0.346	0.413	0.561	0.594	0.165	0.274	0.966*	

1) 上三角数据代表吸烟家庭,下三角数据代表不吸烟家庭;*代表置信度为 99%,其余为 95%

表 4 室内外空气中变量间的相关性¹⁾

Table 4 The correlations between the variables for indoor and outdoor air

PAHs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1)萘		0.106	0.134	-0.125	-0.067	-0.169	-0.114	-0.753	-0.047	-0.215	0.777	0.357	0.982*
(2)芴	0.739		0.545	0.408	0.443	0.507	0.576	0.196	0.60	0.068	0.153	0.320	0.281
(3)苊	0.347	0.554		0.216	0.862*	0.612	0.357	0.067	0.065	0.420	0.603	0.743	0.254
(4)菲	-0.123	-0.022	0.647		0.539	0.176	0.497	0.267	-0.046	0.096	-0.205	-0.059	-0.015
(5)蒽	-0.155	0.225	0.622	0.517		0.650	0.399	0.140	0.399	0.379	0.282	0.463	0.056
(6)荧蒽	-0.044	0.332	0.659	0.539	0.796		0.748	0.491	0.820	-0.069	0.104	0.556	-0.033
(7)芘	0.716	0.649	0.078	-0.446	-0.243	0.089		0.687	0.635	-0.105	0.020	0.443	0.034
(8)苯并(a)蒽	-0.754	-0.344	-0.333	-0.270	0.377	0.200	-0.302		0.421	0.080	-0.472	0.087	-0.668
(9)蒽	0.032	0.359	0.314	0.001	0.717	0.752	0.13	0.420		-0.218	0.217	0.724	0.089
(10)苯并(e)芘	0.180	-0.022	0.671	0.700	0.432	0.187	-0.390	-0.435	-0.084		0.210	-0.096	-0.196
(11)苯并(k)荧蒽	0.457	0.114	-0.119	-0.532	-0.092	-0.118	0.325	-0.122	0.405	-0.022		0.713	0.789
(12)苯并(a)芘	0.319	0.131	0.712	0.465	0.373	0.125	-0.225	-0.436	-0.010	0.934*	0.196		0.432
(13)∑PAHs	0.984*	0.839*	0.461	-0.045	-0.025	0.097	0.720	-0.702	0.135	0.184	0.380	0.321	

1) 上三角数据代表室内,下三角数据代表室外;*代表置信度为 99%,其余为 95%

表 5 吸烟与不吸烟家庭室外空气中变量间相关性¹⁾

Table 5 The correlations between the variables for outdoor air of smoking and nonsmoking homes													
PAHs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
(1) 萘		0.900 [*]	0.173	-0.087	-0.078	-0.014	0.492	-0.536	-0.493	0.207	-0.051	0.032	0.993 [*]
(2) 芴	0.800		-0.029	-0.289	-0.368	-0.128	0.507	-0.589	-0.339	0.087	-0.081	0.005	0.909 [*]
(3) 苊	0.596	0.712		0.819	0.812	0.704	0.520	0.250	-0.281	0.187	-0.285	0.043	0.250
(4) 菲	-0.064	0.117	0.614		0.922 [*]	0.405	0.043	0.229	-0.432	-0.168	-0.556	-0.046	-0.021
(5) 蒽	0.705	0.732	0.856 [*]	0.536		0.588	0.148	0.459	-0.257	-0.078	-0.285	-0.216	-0.025
(6) 荧蒽	0.375	0.759	0.547	0.160	0.399		0.713	0.749	0.432	0.383	0.373	-0.209	0.062
(7) 芘	0.257	0.591	-0.032	-0.334	0.115	0.678		0.188	0.178	0.231	0.298	-0.294	0.559
(8) 苯并(a)蒽	0.460	0.456	0.018	-0.287	0.190	0.316	0.668		0.717	0.174	0.451	-0.329	-0.490
(9) 蒾	0.836 [*]	0.886 [*]	0.584	0.177	0.732	0.475	0.465	0.582		0.325	0.785	-0.128	-0.479
(10) 苯并(e)芘	-0.235	-0.029	-0.108	0.184	-0.291	0.034	0.097	0.344	0.154		0.513	0.686	0.195
(11) 苯并(k)荧蒽	0.023	0.204	-0.077	-0.330	-0.032	-0.150	0.178	-0.077	0.147	0.017		-0.064	-0.080
(12) 苯并(a)芘	0.094	0.367	0.777	0.652	0.564	0.312	-0.125	-0.029	0.237	0.184	0.110		0.004
(13) ΣPAHs	0.931 [*]	0.947 [*]	0.755	0.161	0.815	0.620	0.408	0.470	0.922 [*]	-0.099	0.033	0.316	

1) 上三角代表吸烟家庭,下三角代表不吸烟家庭;^{*}代表置信度为 99%,其余为 95%

表 6 室内外空气中 PAHs 浓度因子分析

Table 6 Factor analysis of concentrations of PAHs in indoor and outdoor air									
PAHs 及 变量	室内				PAHs 及 变量	室外			
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4		因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
萘	-0.01	<u>0.983</u>	-0.131	-0.01	萘	<u>0.947</u>	0.05	-0.129	0.05
芴	0.549	0.149	0.08	0.567	芴	0.870	-0.01	0.131	0.04
苊	0.638	0.258	0.695	0.140	苊	0.348	0.865	0.182	0.164
菲	-0.01	-0.105	0.151	<u>0.945</u>	菲	-0.09	<u>0.936</u>	-0.118	0.08
蒽	0.457	0.04	0.678	0.432	蒽	0.04	0.893	0.245	-0.133
荧蒽	0.876	-0.159	0.120	0.194	荧蒽	0.283	0.454	0.705	0.03
芘	0.724	-0.168	-0.113	0.530	芘	0.669	0.04	0.570	-0.111
苯并(a)蒽	0.470	-0.788	-0.03	0.179	苯并(a)蒽	-0.392	0.03	<u>0.826</u>	-0.07
蒾	<u>0.967</u>	-0.01	-0.04	0.01	蒾	0.113	0.01	0.754	0.280
苯并(e)芘	-0.186	-0.135	<u>0.887</u>	0.01	苯并(e)芘	-0.155	-0.108	0.279	0.673
苯并(k)荧蒽	0.300	0.823	0.367	-0.199	苯并(k)荧蒽	0.272	-0.395	0.380	0.408
苯并(a)芘	0.807	0.410	0.185	-0.135	苯并(a)芘	0.267	0.361	-0.209	<u>0.785</u>
Σ PAHs	0.111	0.973	-0.09	0.129	Σ PAHs	0.931	0.149	-0.03	0.06
特征根	4.932	3.599	1.704	1.303	特征根	4.200	2.642	2.278	1.282
方差(%)	37.94	27.68	13.11	10.02	方差(%)	32.31	20.33	17.53	9.86
因子得分	0.297	0.296	0.524	0.613	因子得分	0.282	0.341	0.365	0.580
特征方程	PAHs = 1.02(±0.03) 萘 + 14.71(±2.95) 蒾 + 16.36(±11.81) 苯并(e)芘 + 3.49(±0.91) 菲 - 0.98(±1.10) R = 0.999				特征方程	PAHs = 1.25(±0.03) 萘 + 0.94(±0.56) 菲 + 8.18(±4.02) 苯并(a)蒽 + 45.35(±73.87) 苯并(a)芘 - 0.39(±1.19) R = 0.990			

对于室外空气,影响因子也有 4 个,累积方差贡献率达 80.03%,分别选定萘、菲、苯并(a)蒽、苯并(a)芘为代表化合物,依次来自衣物防护剂的挥发、室外汽车尾气扩散、烹调及加热、吸烟及室外汽车尾气扩散,这 4 种污染源对 4 种代表化合物在室外空气中的贡献率分别为 28.2%、34.1%、36.5%、58.0%。

对所测 4 户吸烟者家庭室内空气中 PAHs 浓度进行因子分析表明,影响吸烟者家庭室内空气中 PAHs 含量的因子主要有 3 个,累积方差贡献率为 85.51%。其中苯并(a)芘主要来自室内吸烟,贡献率为 25.8%;

萘来自衣物防护剂的挥发,贡献率为 30.2%;菲来自室外汽车尾气扩散,贡献率为 32.4%。

不吸烟者家庭室内空气中 PAHs 的影响因子有 4 个,其累积方差贡献率达 92.18%。代表化合物分别为萘、荧蒽、菲、苯并(e)芘,分别来自衣物防护剂的挥发、烹调源、汽车尾气、加热,其贡献率分别为 15.8%、30.6%、60.2%、64.6%。由于没有吸烟源,室外汽车尾气扩散对不吸烟者家庭室内空气中菲的影响更加显著。

由表 2、6、7 可知,由于吸烟者家庭大多采用萘含量高的卫生球作为衣物防护剂,其室内及室外空气中

萘浓度均高于不吸烟者家庭.卫生球挥发产生的萘对吸烟者家庭室内空气中萘的贡献率也明显高于不吸烟的家庭.但在这 2 种类型家庭中,萘始终都是一个重要的影响因子.

表 7 吸烟与不吸烟家庭室内空气中 PAHs 浓度因子分析

Table 7 Factor analysis of PAHs concentrations in indoor air of smoking and nonsmoking homes								
PAHs 及 变量	吸烟家庭			PAHs 及 变量	不吸烟家庭			
	因子 1	因子 2	因子 3		因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
萘	- 0.01	<u>0.975</u>	- 0.08	萘	<u>0.973</u>	0.115	0.02	0.208
芴	- 0.313	0.430	- 0.33	芴	0.832	0.407	- 0.02	0.159
苊	0.01	- 0.03	0.908	苊	0.866	0.222	0.266	0.212
菲	- 0.188	0.07	<u>0.969</u>	菲	0.279	- 0.160	<u>0.893</u>	- 0.260
蒽	0.267	- 0.136	0.882	蒽	0.876	- 0.225	0.143	- 0.166
荧蒽	0.898	- 0.175	0.355	荧蒽	0.118	<u>0.917</u>	- 0.01	- 0.248
苝	0.840	- 0.128	0.389	苝	0.219	0.875	0.01	- 0.310
苯并(a)蒽	0.343	- 0.89	- 0.01	苯并(a)蒽	0.785	- 0.456	- 0.251	- 0.06
苯并(b)蒽	0.744	- 0.476	- 0.128	苯并(b)蒽	0.718	- 0.04	- 0.652	- 0.181
苯并(e)苝	0.794	- 0.09	- 0.224	苯并(e)苝	0.197	- 0.214	- 0.135	<u>0.886</u>
苯并(k)荧蒽	0.900	0.386	- 0.120	苯并(k)荧蒽	- 0.01	0.835	- 0.184	0.413
苯并(a)苝	<u>0.910</u>	- 0.378	0.09	苯并(a)苝	0.929	0.116	- 0.02	- 0.01
∑ PAHs	- 0.01	0.948	0.02	∑ PAHs	0.941	0.297	0.09	0.09
特征根	5.411	2.968	2.737	特征根	6.350	2.854	1.646	1.134
方差/ %	41.62	22.83	21.06	方差/ %	48.85	21.95	12.66	8.72
因子得分	0.258	0.302	0.324	因子得分	0.158	0.306	0.602	0.646
特征方程	PAHs = 8.81 (±188.17) 苯并(a)苝 +			PAHs = 652.89(±63.53) 萘 + 2.61(±				
	1.02(±0.09) 蔡 + 1.07(±0.85) 菲 +			0.93) 荧蒽 + 1.05(±0.72) 菲 + 25.41				
	3.07(±1.73) R = 0.986			(±13.44) 苯并(e)苝 - 1.96(±1.11)				
				R = 0.991				

3 结论

- (1) 杭州市室内及室外空气中 PAHs 污染较为严重,但由于来源复杂,影响因素多,所测家庭室内及室外空气中均没有显著的 PAHs 污染源.
- (2) 室内吸烟对室内空气中 PAHs 尤其是苯并(a)苝有较大的贡献,其贡献率为 25.8%.
- (3) 因子分析表明,影响吸烟者家庭室内空气中 PAHs 浓度的最重要的因子为吸烟产生的香烟烟雾;而不吸烟者家庭室内空气中 PAHs 的最重要的影响因子为衣物防护剂的挥发.

参考文献:

1 Greenberg A, Yokoyama R, Giorgio P, Cannora F. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons on the airborne particulates of urban New Jersey (USA). Environ. Sci. Technol., 1981, 14: 895 ~ 902.

2 Venkataraman C, Sheldon K F. Source resolution of fine

particulate polycyclic aromatic hydrocarbons using a receptor model modified for reactivity. J. Air & Waste Manage. Assoc., 1994, 44: 1103 ~ 1108.

3 Matt F S, Steven J E, Paul J L. Source apportionment and source/sink relationships of PAHs in the coastal atmosphere of Chicago and Lake Michigan. Atmos. Environ., 1999, 33: 5071 ~ 5079.

4 朱利中,刘勇建,沈红心,沈学优. 城市道路交通 PAHs 污染现状及来源分析. 环境科学学报, 2000, 20(2): 183 ~ 186.

5 沈学优,刘勇建,沈红心,朱利中. 高效液相色谱自动分析空气中痕量多环芳烃. 应用化学, 1999, 19(6): 79 ~ 81.

6 Mitra S, Ray B. Patterns and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons and their derivatives in indoor air. Atmos. Environ., 1995, 29: 3345 ~ 3356.

7 Gundel L A, Mahanama K R R, Daisey J M. Semivolatile and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in environmental tobacco smoke: cleanup, speciation, and emission factors. Environ. Sci. Technol., 1995, 29: 1607 ~ 1614.