

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201602008

排放因子法构建机动车多环芳烃污染清单

——以江苏省为例

于英鹏, 邹 杰

(盐城师范学院 城市与规划学院, 江苏 盐城 224051)

摘要:基于江苏省 2009 年—2014 年不同类型机动车保有量统计数据,采用不同车型排放因子法构建江苏省不同年际汽车尾气多环芳烃排放清单。结果表明:汽车尾气多环芳烃排放总量分别为 138.97 t、167.27 t、194.65 t、215.55 t、239.24 t 和 274.04 t,呈现出逐年增加的趋势。其中,重型货车、轻型和小型汽车对多环芳烃的贡献比例在逐年增大,而中型、大型客车及中型货车对城市 PAHs 的贡献率在逐年减小。重型货车对 2-3 环多环芳烃的贡献比例是最大的。中型和大型客车对 4-6 环多环芳烃的贡献比例最小。

关键词:多环芳烃;机动车;排放清单

中图分类号:X51 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)02-0035-05

多环芳烃(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)是一类典型且极具生态和健康风险的持久性有机污染,广泛分布于环境各介质中,主要来源于有机物的不完全燃烧过程(汽车尾气、秸秆焚烧、煤炭燃烧等)。因其具有“致畸、致癌、致突变性”的毒理效应而被美国环保署(USEPA)列为优先控制的有毒有害物质^[1]。环境中 PAHs 污染监测、风险评价和迁移转化机理等研究备受科研工作者的重视^[2-11]。研究表明,现阶段城市汽车尾气排放已成为环境中 PAHs 的主要来源。LEE 等^[2]对美国 Hudson 河周围 3 个城市大气中 PAHs 进行分析,发现汽车尾气对空气中 PAHs 贡献量分别为 22%、25% 和 31%。HARRISON 等^[3]认为汽车尾气是伯明翰市空气中 PAHs 的主要来源,其中空气中苯并(a)芘(BaP)来源于汽车尾气。VASCONCELLOS 等^[4]认为汽车尾气是圣保罗市市区空气中 PAHs 的主要来源,其中,芘(Pyr)、蒎(Chry)、荧蒹(Fl)和苯并(k)荧蒹(BkF)主要来源于汽油和柴油汽车的尾气排放。此外,在美国马里兰州、德国柏林、日本东京、泰国曼谷和巴西圣保罗等城市开展的相关研究均认为,汽车尾气

是城市大气中 PAHs 的主要来源^[5-7]。近年来,我国学者也开展了相关研究。牛红云等^[8]研究发现,南京各功能区夏、冬季节大气中 PAHs 的来源组成存在差异,夏季各功能区的 PAHs 污染主要来自汽车尾气的排放,冬季则来源于汽车尾气和燃煤污染。李军等^[9]采用特征化合物与因子分析法对广州市大气中颗粒态 PAHs 的来源及其贡献率进行研究,认为机动车为广州大气中颗粒相 PAHs 主要来源,其贡献率为 69%。曾凡刚等^[10]测定了北京市两个公路隧道内的 PAHs,结果表明两个隧道内 PAHs 浓度极高,远远超过同时采集的隧道外的浓度,明显反映出机动车排放对 PAHs 的影响和贡献,表明机动车排放物是大气颗粒物中 PAHs 的主要来源。

近年来,伴随着经济的快速发展,江苏省汽车的保有量逐年增加,加剧了环境中 PAHs 污染。本文以江苏省汽车保有量统计资料、结合相关研究数据及不同车型排放因子研究 2009 年—2014 年江苏省汽车尾气对环境中 PAHs 的贡献量,并对不同车型进行了讨论分析然后提出建议,以期对江苏省大气中 PAHs 污染研究提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 汽车保有量统计

查阅江苏省年鉴^[11]整理出 2009 年—2014 年江苏省民用汽车保有量情况如表 1 所示。

表 1 2009—2014 年江苏省民用汽车保有量

Table 1 Civil car ownership of jiangsu province in 2009—2014 万辆

年份	载客汽车			载货汽车		
	大型	中型	小型	重型	中型	轻型
2009	6.83	11.03	333.83	15.62	17.93	27.15
2010	7.58	10.66	435.37	21.77	18.30	32.07
2011	8.35	10.83	547.38	26.97	18.52	36.63
2012	8.89	10.54	666.26	30.29	17.81	40.98
2013	9.26	9.69	801.72	34.35	17.12	45.14
2014	9.48	8.97	960.48	40.85	17.79	49.56

1.2 行驶里程估算

据调查,我国小型汽车平均每天耗油约 3.5 L,按照汽车每消耗 1 L 汽油行驶 10 km 路程计算,每辆小型客车每年行驶路程约 1.28×10^4 km;轻型货车的年行驶里程取最小值 4×10^4 km,其它

4 类车型日均行驶时间及时速经合理假设,估算各类车的年行驶里程^[12]如表 2 所示。

表 2 不同类型汽车年行驶里程

Table 2 Traveling distance of different vehicles

车型	行驶时间/ (h · d ⁻¹)	平均时速/ (km · h ⁻¹)	里程/ (10 ⁴ km · a ⁻¹)
小型客车	—	—	1.28
中型客车	6	40	8.76
大型客车	6	50	11
轻型货车	—	—	4
中型货车	8	60	17.52
重型货车	8	60	17.52

1.3 排放因子确定

汽车尾气 PAHs 排放量常见的估算方有实测法、物料恒算法、排放因子法,本文采用不同车型排放因子法。按照江苏省统计年鉴中汽车划分方法及文献中整理的排放因子分类,本文把汽车尾气中 16 种 PAHs 排放因子分成 4 种类型:轻型和小型汽油车排放因子、中型和大型客车排放因子、中型货车排放因子以及重型货车排放因子,如表 3 所示。

表 3 汽车尾气中 16 种 PAHs 的排放因子^[12]

Table 3 Emission factor of 16 kinds of PAHs in vehicle exhaust $\mu\text{g}/\text{km}$

PAHs	轻型和小型汽油车	中型和大型客车	中型货车	重型货车
蒎(Ace)	28	70.2	70.2	70.2
二氢蒎(Acy)	6.9	19.4	19.4	19.4
蒎(An)	28	13.4	23.5	1.6
芘(Pyr)	31	13.2	160.5	271
荧蒎(Fl)	48.2	22.6	109.5	189
芴(Fluo)	43	44.2	44.2	44.2
蔡(Nap)	112	617	617	617
菲(Phe)	140	295	140.2	12.1
䟽(Chry)	55.6	2.6	18.8	26
苯并(a)蒎(BaA) ^e	73.6	0.3	10.6	56
苯并(a)芘(BaP) ^e	43.5	11.4	1.4	1.4
苯并(b)荧蒎B[b]F ^c	37.8	0.29 ^a	0.2 ^a	10
苯并(k)荧蒎B[k]F ^c	40.7			2.8
苯并(ghi)芘(BghiP) ^e	145.4	0.2	1.6	1.6
茚并(1,2,3-cd)芘(InP) ^e	6.5	0.05	0.23	0.23
二苯并(a,h)蒎(DahA)	8.4	NS ^b	NS ^b	NS ^b

a. 为苯并(b)荧蒎和苯并(k)荧蒎之和
b. NS = not a significant source,表示非显著源可忽略不计
c. 被国际癌症研究组织(International Agency for Research on Cancer, IARC)确定为动物致癌物的 PAHs。

1.4 PAHs 排放量计算

依据各类汽车的年行驶里程(见表 2)及 PAHs 排放因子数据(见表 3),应用公式(1)和(2)^[12],估算 2009 年—2014 年江苏省年机动车尾气中 PAHs 的排放量,如图 1 所示。

$$E_i = \sum_j D_j \times e_{ij} \tag{1}$$

$$E = \sum_i E_i = \sum_{i=1}^{16} \sum_{j=1}^4 D_j \times e_{ij} \tag{2}$$

上述公式中, E 为 PAHs 的年排放量,t; D 为各类汽车每年行驶的路程,km; e 为各类汽车尾气中 PAHs 的排放因子数值; i 为汽车尾气中 16 种 PAHs; j 为 4 种不同的汽车类型。

2 结果与讨论

2.1 PAHs 年际排放量

经计算,2009 年—2014 年江苏省机动车尾气中 16 种优控 PAHs 的年排放量分别为 138.97 t、

167.27 t、194.65 t、215.55 t、239.24 t 和 274.04 t,呈现出逐年增加的趋势。2014 年机动车尾气中 16 种 PAHs 的排放量约为 2009 年的 2 倍,增长速度非常明显。16 种优控 PAHs 中排放量最大的是 Nap,其排放量依次为 52.87 t、61.9 t、70.18 t、75.11 t、80.68 t 和 90.66 t,分别占 2009 年至 2014 年 PAHs 总排放量的 38%、37%、36.1%、34.8%、33.7% 和 33.1%,所占比例均超过了三分之一,但是逐年下降;其次为 Phe(19.77 t、22.49 t、24.86 t、27.34 t、30.62 t)、Pyr(17.84 t、20.88 t、22.79 t、25.11 t、29.07 t)和 Fl(14.42 t、16.99 t、18.78 t、20.9 t、24.23 t)。在各种致癌物排放中,BaP 排放量分别为 2.6 t、3.3 t、4 t、4.8 t、5.6 t 和 6.6 t,呈现出逐年增加的趋势,虽然相较于其它污染物含量较低,但因其具有极强的致癌性应引起关注。

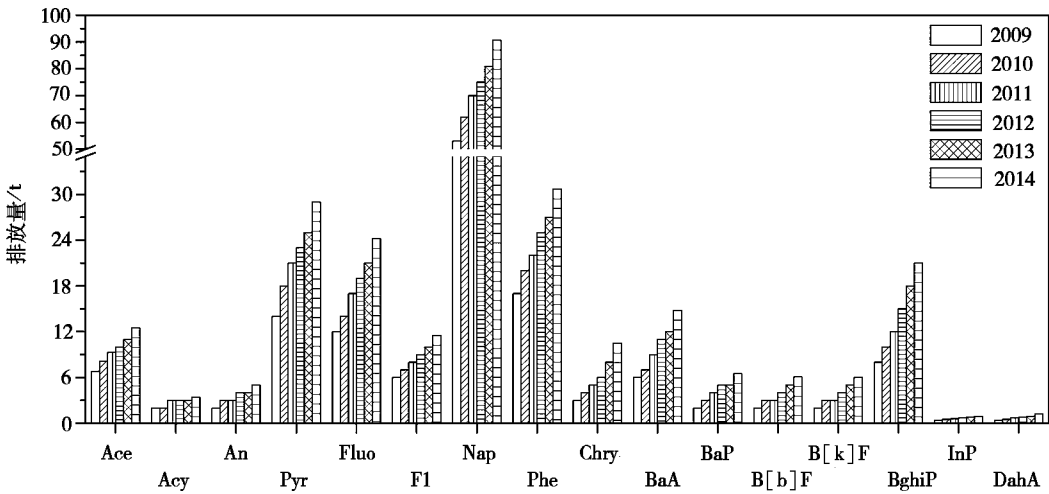


图 1 2009—2014 年江苏省汽车尾气中 16 种 PAHs 的排放量

Fig.1 Emissions of 16 kinds of PAHs from automobile exhaust in Jiangsu province from 2009 to 2014

2.2 不同车型 PAHs 排放分析

不同车型 PAHs 排放比例见图 2,不同车型不同环 PAHs 排放量见表 4。由于小型载客汽车数量庞大,加之逐年增加的速率较其它类型车辆快,故轻型和小型汽油车对 PAHs 的贡献比例最大且逐年增加;重型货车对 PAHs 的贡献比例也逐年增大;而中型、大型客车及中型货车对 PAHs 的贡献率逐年降低。此外,由表 4 可以看出,轻型和小型汽油车对 2-3 环 PAHs(苎、二氢苎、蒎、荧蒎、芴、蒽和菲)和 4-6 环 PAHs(苈、苯并[ghi]苈、蒾、

苯并[a]蒎、苯并[a]苈、苯并[k]荧蒎、苯并[b]荧蒎、二苯并[a,h]蒎和茚并[1,2,3-cd]苈)的贡献都很大,而重型货车对 2-3 环 PAHs 的贡献最大,中型和大型客车以及中型货车对 4-6 环 PAHs 的贡献很小。除轻型和小型汽油车,各类车型 2-3 环 PAHs 的排放量要远大于 4-6 环 PAHs,中型和重型货车因为依靠的是柴油的燃烧,排放出大量的 2-3 环 PAHs,与其它研究成果相一致^[13-14]。此外,汽车在低速行驶时更容易造成较多的 PAHs 排放。

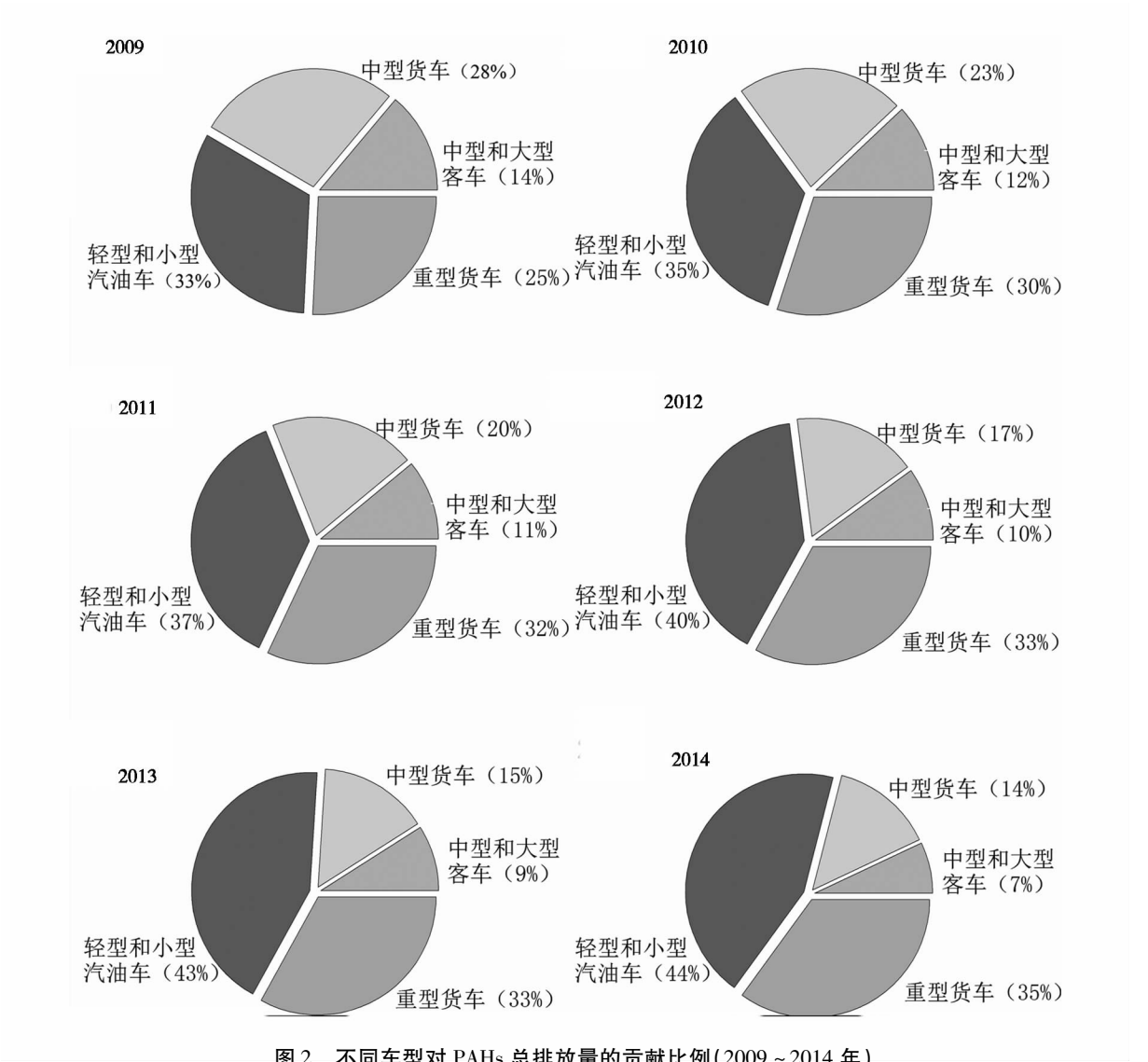


图 2 不同车型对 PAHs 总排放量的贡献比例(2009 ~ 2014 年)
Fig.2 Contribution ratio of PAHs emissions from different vehicles

表 4 各类车型的不同环 PAHs 排放量
Table 4 PAHs emissions of different ring number

年份	轻型和小型汽油车		中型和大型客车		中型货车		重型货车	
	2-3 环	4-6 环	2-3 环	4-6 环	2-3 环	4-6 环	2-3 环	4-6 环
2009	21.76	23.71	18.58	0.48	32.17	6.08	26.1	10.1
2010	27.84	30.34	19.1	0.5	32.83	6.2	36.37	14.08
2011	34.4	37.49	20.15	0.52	33.23	6.28	45.05	17.44
2012	41.29	44.99	20.57	0.53	31.95	6.04	50.6	19.58
2013	49.01	53.4	20.2	0.52	30.71	5.8	57.38	22.21
2014	57.98	63.17	19.78	0.51	31.92	6.03	68.24	26.41

3 结论

对 2009 年—2014 年江苏省汽车尾气 PAHs 排放清单的构建发现,PAHs 的排放量呈现逐年增加的趋势。16 种优控 PAHs 中排放量最大的是

Nap,其次为 Phe、Pyr 和 Fl。致癌性最强的 BaP 排放量逐年增加需引起关注。不同类型汽车对 PAHs 的排放存在差异。轻型、小型汽油车和重型货车对 PAHs 的贡献比例也逐年增大。中型、大型客车及中型货车对环境 中 PAHs 的贡献率逐

年降低。轻型和小型汽油车对不同环数 PAHs 的贡献均较大,中型和大型客车对 4-6 环多环芳烃的贡献最小,而重型货车对 2-3 环 PAHs 的贡献是最大的。

参考文献:

[1] 曾凡刚. 大气环境监测[M]. 北京:化学工业出版社,2003:1-10.

[2] LEE J H, GIGLIOTTI C L, OFFENBERG J H, et al. Sources of polycyclic aromatic hydrocarbons to the Hudson River Airshed[J]. Atmospheric Environment, 2004, 38(35):5 971-5 981.

[3] HARRISON R M, SMITH D J T, LUHANA L. Source apportionment of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons collected from an urban location in Birmingham, UK[J]. Environmental Science and Technology, 1996, 30(3):825-832.

[4] VASCONCELLOS P C, ZACARIAS D, PIRES M A F, et al. Measurements of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles from the metropolitan area of Sao Paulo City, Brazil[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(21):3 009-3 018.

[5] Larsen R K, BAKER J E. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods[J]. Environmental Science and Technology, 2003, 37(9):1 873-1 881.

[6] FROMME H, LAHRZ T, PILOTY M, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons inside and outside of apartments in an urban area[J]. Science of the Total Environment, 2004, 326(S1-3):143-149.

[7] CHETWITTAYACHAN T, SHIMAZAKI D, YAMAMOTO K. A comparison of temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) concentration in different urban environments: Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand[J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(12):2 027-2 037.

[8] 牛红云,王荟,王格慧,等. 南京大气气溶胶中多环芳烃源识别及污染评价[J]. 中国环境科学,2005,25(5):544-548.

[9] 李军,张干,祁士华,等. 广州市大气中颗粒态多环芳烃(PAHs)的主要污染源[J]. 环境科学学报,2004,24(4):661-666.

[10] 曾凡刚,王玮,桀宝生,等. 机动车排放颗粒物中多环芳烃化合物研究[J]. 环境科学研究,2001,14(4):32-35.

[11] 江苏省统计局. 江苏省统计年鉴 2009—2014[DB/OL]. [2015-04-10]. <http://www.jssb.gov.cn/tjxxgk/tjsj/sjxxfb/>.

[12] 胡俊超. 上海市汽车尾气中多环芳烃排放与大气中多环芳烃暴露分析[D]. 大连:大连海事大学,2007.

[13] KHESINA A Y. Urban air pollution by carcinogenic and genotoxic polyaromatic hydrocarbons in the former USSR[J]. Environmental Health Perspectives. 1994, 102(4):49-53.

[14] PATHIRANA S, CONNELL D W, VOWLES P D. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in an urban roadway system[J]. Ecotoxicology and Environment Safety, 1994, 28(3):256-269.

The PHAs Pollution List of Vehicle Composed by the Emission Factors

——A Case Study of Jiangsu Province

YU Yingpeng, ZOU Jie
(School of Urban Planning, Yancheng Teachers University, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract:Based on the statistics of different types of vehicles released by Jiangsu province from 2009—2014, different Emission Factors of various vehicle is adopted to build different PAHs Emission list of the vehicle exhaust in different years in Jiangsu province. It turns out that the emission amount of the PAHs exhaust in Jiangsu province from 2009—2014 is respectively 138.97, 167.27, 194.65, 215.55, 239.24 and 274.04tons, which shows a trend of increasing year by year. Among the statistic, the contribution ratio to PAHs of heavy truck, light and small vehicles are increasing with years. While the contribution ratio of medium and large coaches and medium trucks to the city PAHs is reducing with years. The contribution ratio of heavy trucks to 2-3 PAHs is the highest among all the vehicles. While the contribution ratio of medium and large coaches to 4-6 PAHs is the lowest.

Keywords:PAHs; Vehicles; Emission List

(责任编辑:孙新华)