

焦化厂污染场地表层土壤有机-矿质复合体中 多环芳烃的分布*

赵芳妮^{1,2} 田文杰^{2,3,4} 汪群慧¹ 李发生^{2**}

(1. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京, 100083; 2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京, 100012; 3. 洛阳理工学院环境工程与化学系, 洛阳, 470123; 4. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京, 100083)

摘要 采用湿法物理分级方法将湖南省某焦化厂遗留场地表层土壤分成4种粒级的有机-矿质复合体组分,即粘粒(<2 μm)、粉粒(2—20 μm)、细砂(20—200 μm)和粗砂(>200 μm),并研究了美国EPA优先控制的16种多环芳烃(PAHs)在其中的分布特征及土壤不同有机-矿质复合体组分中有机质和矿物质组成的差异对PAHs赋存分布的影响. 研究表明,不同粒级有机-矿质复合体中PAHs的含量顺序为粗砂>粉粒>细砂>粘粒,低环PAHs(环数≤3)在粘粒中的含量较高,达到56.3%,而高环PAHs(环数≥4)在粉粒、细砂和粗砂中的分布较高含量分别是79.37%、72.7%和71.63%,各粒级矿质复合体中PAHs含量与土壤有机碳有较好的相关性. 通过对有机-矿质复合体进行X射线衍射分析发现,场地土壤粘粒和粉粒中粘土矿物含量较高,这也在一定程度上影响了污染物质在其中的分布.

关键词 焦化厂, 污染场地, 表层土壤, 有机-矿质复合体, 多环芳烃.

多环芳烃(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)是指两个或两个以上的苯环按线形、角状或簇状方式稠合在一起的一类中性或非极性有机化合物,它具有水溶性小,挥发性有限,难以降解,毒性大,甚至有些含有致癌和致突变的成分,易于在环境中累积到超过毒性效应浓度的水平等特点,在生物体脂类中也易于富集浓缩,有较高的生物富集因子(BCF)^[1]. 焦化作业在炼焦、出焦、焦油回收等工艺过程中产生大量的PAHs^[2],因此,焦化厂场地表层土壤中含有高浓度的PAHs,属于高污染土壤. 目前国内外学者对PAHs在农业土壤、城市和郊区土壤中的残留分布进行了大量的研究,对其在大气中的空间和时间分布情况也做了相应的跟踪研究^[3,4],但对于煤化工重污染场地的研究还不多见,特别是对于这类重污染场地中PAHs在土壤有机-矿质复合体组分中的分布报道较少.

研究表明^[5,6],土壤中有机质和矿物质通常是以有机-矿质复合体的形态存在,土壤对疏水性有机污染物的吸附实际上就是由土壤中的矿物质和有机质共同作用的结果. 因此采用物理或化学的方法,将土壤分成不同的有机-矿质复合体组分,研究PAHs在其中的赋存分布特征,对于了解其在土壤中的迁移转化具有重要的意义.

本文采集和分析了湖南某焦化厂表层土壤不同粒级有机-矿质复合体中有机质含量、PAHs的含量和矿物组成,并探讨了其中的矿物质和有机质对污染物赋存分布的影响,以了解此类场地土壤中PAHs的分布特征,进而为相应的环境风险管理和修复提供基础理论依据.

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验用土样采自湖南某煤气厂焦油回收车间附近,选取一个典型采样点,去除表层植物后采取表层0—20 cm土壤,土壤为红壤. 该厂1988年开工生产,主要生产焦炭、煤气、煤焦油和其它煤化工产品,2009年停产,有20多年的污染历史. 样品采集后自然风干,去除大粒径植物残体、砾石,研磨全部通过2 mm筛孔待用. 供试土壤的部分理化性质见表1,所给数据是平行样分析的算术平均值.

2011年10月25日收稿.

* 国家自然科学基金项目(20977088)资助.

** 通讯联系人, Tel:010-84915233; E-mail: lifs@crates.org.cn

表 1 供试土壤部分理化性质及 PAHs 含量

Table 1 Some physical and chemical characteristics and PAHs level of the tested red soil

pH	有机质(OM)/%	阳离子交换量(CEC) /($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	土壤密度 /($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	总有机碳(TOC) /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	PAHs 含量 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
8.00	3.86	16.4	2.91	52.65	1045.66

1.2 有机矿质复合体的提取与分析

样品分级参考 Edwards 等的方法^[7],用饱和 NaCl 溶液去除小粒径植物残体,超声法分散土壤颗粒,通过 Stokes 沉降公式计算出一定温度下各粒级复合体的沉降参数,按国际制分级标准划分粒级——粘粒($<2 \mu\text{m}$)、粉粒($2\text{—}20 \mu\text{m}$)、细砂($20\text{—}200 \mu\text{m}$)及粗砂($>200 \mu\text{m}$)4 个有机-矿质复合体组分,经离心分离、冷冻干燥后即可得到各粒级复合体.采用加速溶剂萃取仪(DIONEX ASE-200)提取,高效液相色谱仪(SHIMADZU LC20-A)分析各粒级复合体中美国 EPA 优先控制的 16 种 PAHs(Nap-萘、Acy-苊烯、Ace-苊、Fle-苈、Phe-菲、Ant-蒽、Fla-荧蒽、Pyr-芘、Baa-苯并[a]蒽、Chr-蒽、Bbf-苯并[b]荧蒽、Bkf-苯并[k]荧蒽、Bap-苯并[a]芘、Daa-茚并[1,2,3-cd]芘、Bgp-二苯并[a,h]蒽、Inp-苯并[g,h,i]芘).

加速溶剂萃取仪萃取条件为丙酮/正己烷,1/1(V/V),加热温度为 140°C ,静态萃取时间为 5 min,萃取压力为 1500 PSI,静态萃取循环次数为 3 次,萃取后浓缩液用层析柱方法净化,后经氮吹浓缩定容至 1 mL,采用高效液相色谱仪(HPLC)分析.

HPLC 色谱柱为 Supelco 公司的 LC-PAH 专用柱($25 \text{ cm} \times 4.6 \text{ mm ID}$).流动相为乙腈和高纯水,采用二元高压梯度洗脱条件对淋出液进行分析,流动相开始配以乙腈:水 = 6:4(V/V),流速 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,在洗脱 5 min 后,水以梯度陡度 $T=0.024 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-2}$ 线性梯度下降,25 min 内降到 0,柱温控制在 30°C .在 EPA 多环芳烃类方法 8310 基础上进行波长优化,紫外检测器设定波长为 254 nm.对美国 EPA 优先控制的 16 种 PAHs 根据保留时间进行定性,外标法峰面积进行定量,提取方法加标回收率在 79%—129% 之间.

土壤矿物组成分析采用 X 射线粉晶衍射仪(D/Max-RC),总有机碳含量(TOC)采用 Multi N/C 3100 meter 测定.

2 结果与讨论

2.1 有机矿质复合体的基本理化性质分析

分级研究样品的选择原则是土壤污染较为严重,所在功能区具有一定的代表性,通过现场调查和土壤样品的初步分析检测结果,确定对焦油回收车间附近表层土壤进行分级研究,该处土壤不同粒级有机-矿质复合体的理化性质如表 2 所示.

表 2 土壤有机-矿质复合体的基本性质

Table 2 Basic characteristics of soil organo-mineral aggregates

有机-矿质复合体	有机质/%	阳离子交换量/($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	复合体组成/%
粘粒($<2 \mu\text{m}$)	0.87	45.6	0.15
粉粒($2\text{—}20 \mu\text{m}$)	1.78	23.5	69.64
细砂($20\text{—}200 \mu\text{m}$)	2.55	7.5	17.08
粗砂($>200 \mu\text{m}$)	3.05	7.6	13.14

注:在分级提取过程中,土壤样品总损失率为 3.86%,小于 5%,在误差允许范围内.

由表 2 可知,粉粒占整个复合体组成的 69.64%;细砂次之,占 17.08%;粗砂占 13.14%;粘粒最少,仅为 0.15%.参照国际制土壤质地分类标准可知此土壤属砂质土壤(粘粒($<2 \mu\text{m}$) 在 0%—15%,粉粒($2\text{—}20 \mu\text{m}$) 在 0%—45%,砂粒($20\text{—}200 \mu\text{m}$) 在 55%—85%)^[8].土壤有机质含量随着粒径的增大而增大,阳离子交换量随着粒径的增大而减小.由于采样点所在位置为焦油回收车间附近,样品中含有较多的煤粒和焦油.不同粒级复合体提取时,采用湿法物理分级方法,土壤中的大部分焦油被去除,而煤粒主要为颗粒状,并且无法从土壤中完全分离出来,提取复合体之后,能明显看到粗砂中有煤粒,并且能观

察到粗砂中有少量小粒径的植物残体,因此样品有机质含量表现为粗砂中含量最高,粉粒和细砂居中,粘粒中含量最小的分布趋势. 供试土壤的阳离子交换量为 $16.4 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (表 1),粘粒高达 $45.6 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,粗砂为 $7.6 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,且随粒度增大呈减小的趋势,研究表明阳离子交换量与 2:1 型粘土矿物显著相关^[9],粘粒是阳离子交换量的主要来源物,除粘粒外,粉粒对阳离子交换量也有影响^[10],这与本文的研究结果相吻合.

2.2 土壤有机-矿质复合体中 PAHs 的分布

不同粒级有机-矿质复合体中 PAHs 的含量见图 1. 由图 1 可知,PAHs 在不同粒级复合体中的分布是不均匀的,就 Σ PAHs 而言(图 1(A)),其在各粒级复合体中的分布顺序为:粗砂 > 粉粒 > 细砂 > 粘粒,也就是说粒径越大,其中的 Σ PAHs 含量越高. 这与 Zhou 等^[11]人的研究结果不同,这主要是由于 Zhou 等研究的土壤中 PAHs 主要是通过吸附作用存在,而本实验所用土壤中含有大量的 PAHs,属于过饱和吸附且土壤中含有一些煤粒. 煤主要以颗粒状存在,白向飞等^[12]研究了 4 种典型的煤样,结果表明大于 $200 \mu\text{m}$ 的煤粒占到 70% 以上,且本实验中提取复合体后能明显观察到粗砂中有煤粒,而 ASE 固相萃取过程中高温高压的条件使煤粒中部分 PAHs 释放,对粗砂中 PAHs 含量影响较大. 粉粒里含有较高 PAHs 可能因为粉粒中有机质含有丰富的芳香结构和脂肪结构,对 PAHs 有较高亲合力的缘故,粉粒对 PAHs 是优先的吸附剂^[13]. 从图 1(B)中可知,各粒级复合体中,萘是含量最高的单体,芘、荧蒹、苯并[b]荧蒹、苯并[a]芘、蒽、苯并[a]蒽等含量也比较高,而芴、菲、蒽的含量相对较低.

图 2 为不同环数 PAHs 在场地表层土壤不同粒级有机-矿质复合体中的百分含量,从环数上看,高环 PAHs(环数 ≥ 4)对土壤中 Σ PAHs 的贡献比较大. 低环 PAHs(环数 ≤ 3)在粘粒、粉粒、细砂和粗砂中的含量分别为 56.3%、20.63%、27.3%、28.37%. 在粘粒中有较多的低环 PAHs,可能因为供试土壤采自焦油回收车间附近而含有焦油,复合体的提取前期用 NaCl 去除植物残体时会去掉大部分焦油,后经过长时间的浸泡焦油游离于水中,剩余少量焦油在提取粘粒时首先被分离,有研究表明^[14]焦油中主要含有萘、芘、芴、菲、蒽等低环 PAHs,因此混有的少量焦油对于粘粒中低环 PAHs 含量有影响. 本实验其它 3 种复合体中高环 PAHs 的含量比低环 PAHs 的含量高,可能因为低环 PAHs 有较低的辛醇-水分配系数,较大的水溶性、易变性和生物降解性,而高环 PAHs 能更好地吸附到土壤矿物质和有机质上,并且在运输的过程中表现很迟钝,这与 Li 等^[15]的研究结果一致. 粗砂中含有煤粒,而姚艳等^[16]研究了 20 种典型的原煤表明煤样中高环 PAHs 含量普遍比低环 PAHs 高,而本实验粗砂中含有的煤粒也可能影响了粗砂中高环 PAHs 的含量.

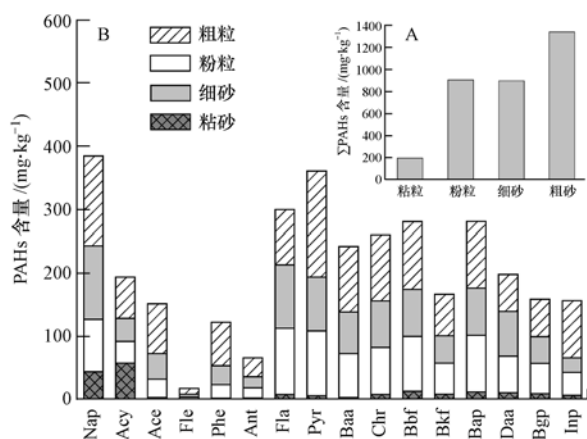


图 1 PAHs 在土壤不同粒级有机-矿质复合体中的分布
(A) Σ PAHs; (B) 美国 EPA 优先控制的 16 种 PAHs

Fig. 1 Distribution of PAHs in different particle-size fractions of soil organo-mineral aggregates

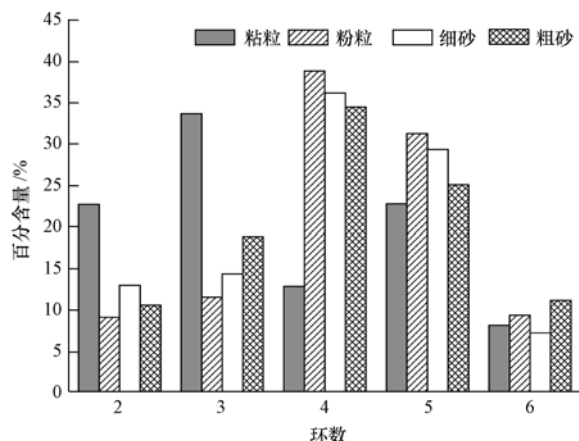


图 2 不同环数的 PAHs 在土壤不同粒级有机-矿质复合体中的百分含量

Fig. 2 Percentage of PAHs with different rings in different particle-size fractions of soil organo-mineral aggregates

2.3 土壤有机-矿质复合体中有机质与 PAHs 分布的关系

普遍认为疏水性有机污染物在土壤中的吸附行为实质上是在土壤有机质中的分配,并用土壤/水分

配系数 K_{oc} [17] 来描述, $\lg K_{oc}$ 值大小表示疏水性有机化合物被土壤吸附的能力. 图 3 为不同粒级有机-矿质复合体中 16 种 PAHs 的 $\lg K_{oc}$ 与其含量间的关系. 由于萘、苊烯和苊属于低环 PAHs, 挥发性较强, 在实验过程中会导致大量的损失, 测量值的误差较大, 为了避免实验误差的影响, 因此图 3 中不包括萘、苊烯和苊 3 个低环 PAHs 点.

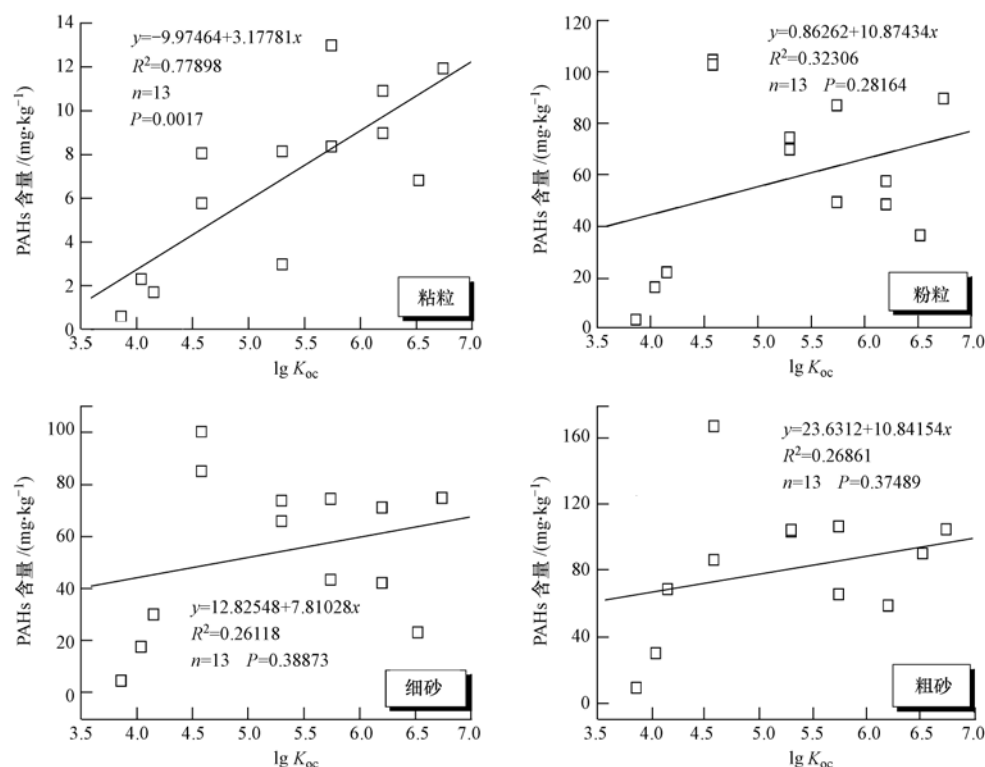


图 3 PAHs 的 $\lg K_{oc}$ 值与土壤有机-矿质复合体中 PAHs 浓度间的关系

Fig. 3 Relationship between $\lg K_{oc}$ and the concentrations of PAHs in soil organo-mineral aggregates

从图 3 可看出, 粘粒中 $\lg K_{oc}$ 与 PAHs 的浓度中度相关, 而粉粒、细砂和粗砂中 $\lg K_{oc}$ 与 PAHs 浓度之间的相关性较差. 这与丛鑫等的 [18] 研究一致, 有机氯农药的 $\lg K_{oc}$ 与其在粘粒中的残留量呈显著相关性, 而在砂粒中相关性较差. 粘粒中 $\lg K_{oc}$ 与 PAHs 有一定相关性说明粘粒中 PAHs 的存在主要是有机质的吸附作用, 可以用传统的吸附理论理解, 而相关度并不高的原因可能由于少量焦油的影响. 所采集土壤中有少量焦油和煤, 焦油裹挟在土壤颗粒上, 煤中又含有很高浓度 PAHs, 因此粉粒、细砂和粗砂中 $\lg K_{oc}$ 与 PAHs 的浓度相关性较差. TOC 可以反映土壤中有机质的含量, 而土壤中吸附 PAHs 的主要是有机质, 纵观 4 个粒级复合体中 TOC 与 Σ PAHs 含量之间存在一定的相关性 ($R^2 = 0.77$) (图 4). 对疏水性 PAHs 来说, 它们在土壤和沉积物中的滞留通常被认为是在土壤和沉积物有机质中的分配, 这与何耀武等的 [19] 研究, PAHs (荧蒽和菲) 在土壤中的吸附量与土壤有机质含量之间呈显著正相关结果一致, 但是本实验中相关度并不高的原因主要是焦化厂土壤中煤粒和焦油在不同粒径土壤中的分配差异所致.

2.4 土壤有机-矿质复合体中矿物质与 PAHs 分布的关系

所研究的场地土壤不同有机-矿质复合体的 X 射线衍射 (XRD) 图谱如图 5 所示. 从图 5 和表 3 可以看出, 在细砂和粗砂中, 矿物组分主要是石英, 分别占 85.4% 和 72.7%, 因石英具有坚实而稳定的晶格, 它们不具有物理-化学吸收性能, 因此污染物难以赋存. 在粉粒中, 石英占 66.5%, 长石占 2.7%, 云母占 9.0%, 其余为粘土矿物, 而粘粒中石英、长石、云母等原生矿物仅占 24.2%, 其余全部为粘土矿物, 可见随粒径减小, 复合体中原生矿物的含量逐渐降低, 粘土矿物的种类和含量都相应增加. 在粗砂、细砂、粉粒和粘粒中, 粘土矿物含量依次约为 2.6%、6.4%、21.9% 和 75.8%. 与原生矿物不同, 粘土矿物是土壤胶体的主体, 对污染物有较高的吸附能力. 研究表明当粘土矿物含量相对较高时, 粘土矿物对土壤中疏水性有机污染物的吸附有显著的影响 [20]. 本研究中各粒径组分的粘土矿物含量不同, 对 PAHs 的吸附

能力也存在一定的差异.

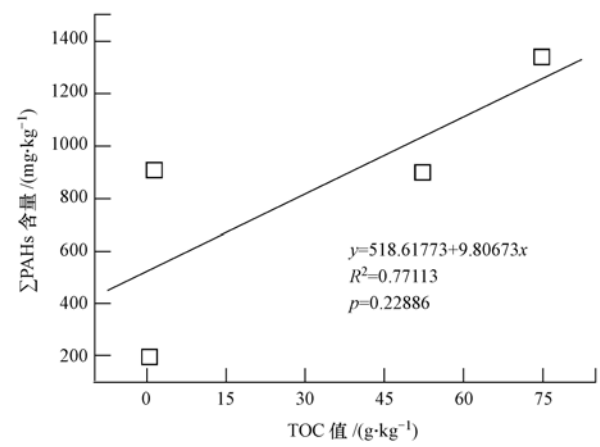


图4 土壤有机-矿质复合体中 TOC 值与ΣPAHs 的关系
Fig.4 Relationship between TOC and the concentrations of PAHs in organo-mineral aggregates

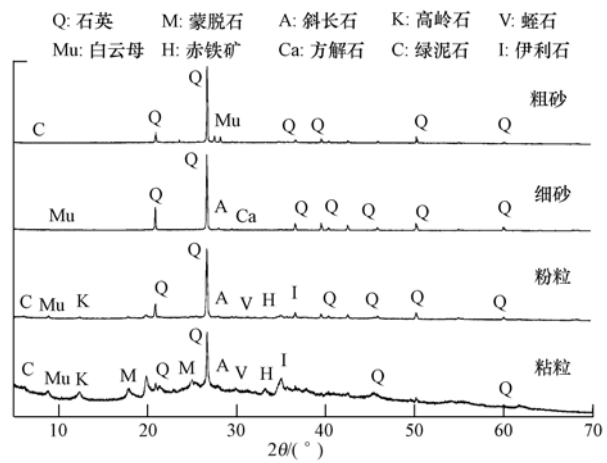


图5 土壤不同粒级有机矿质复合体的 XRD 图谱
Fig.5 X-ray diffraction patterns of different particle-size fractions of organo-mineral aggregates

表3 不同粒级有机矿质复合体中矿物相组成(%)

Table 3 Mineral composition of different particle-size fractions of organo-mineral aggregates										
	石英 Q	蒙脱石 M	斜长石 A	高岭石 K	蛭石 V	伊利石 I	白云母 Mu	赤铁矿 H	方解石 Ca	绿泥石 C
粘粒	16.5	27.1	2.6	10.5	8	17.3	5.1	2.7	—	10.3
粉粒	66.5	—	2.7	3.8	3.8	7.5	9.0	1.6	—	5.2
细砂	85.4	—	3.8	—	6.4	—	4.4	—	—	—
粗砂	72.7	—	—	—	—	—	22.6	—	2.1	2.6

注:—为未检出.

3 结论

- (1)焦化厂污染场地表层土壤经湿法物理法分级为粘粒(<2 μm)、粉粒(2—20 μm)、细砂(20—200 μm)和粗砂(>200 μm)4 种有机-矿质复合体,PAHs 在不同粒级有机-矿质复合体中的含量不同,分别是194.21 mg·kg⁻¹、906.82 mg·kg⁻¹、898.89 mg·kg⁻¹、1340.11 mg·kg⁻¹低环 PAHs(环数≤3)在粘粒中的含量较高,为56.3%,而高环 PAHs(环数≥4)在粉粒、细砂和粗砂中的含量较高,分别是79.37%、72.7%、71.63%.
- (2)粘粒中污染物 lgK_{oc} 与 PAHs 含量呈中度相关性,供试土壤各粒级复合体中 TOC 与 ΣPAHs 的含量之间具有一定的相关性,表明 PAHs 在土壤中的滞留量与土壤的吸附能力有较好的相关性.
- (3)土壤不同复合体的 X 射线衍射分析表明,随着复合体粒径由大到小,粘土矿物含量由粗砂中约 2.6% 增加至粘粒中约 75.8%. 不同粒级复合体中粘土矿物含量不同,对 PAHs 的吸附能力也存在差异.

参 考 文 献

[1] Gan S, Lau E V, Ng H K. Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 172(2-3):532-549

[2] 冯嫣,吕永龙,焦文涛,等.北京市某废弃焦化厂不同车间土壤中多环芳烃(PAHs)的分布特征及风险评价[J].生态毒理学报,2009,4(3):399-407

[3] He F P, Zhang Z H, Wan Y Y, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils of Beijing and Tianjin region: Vertical distribution, correlation with TOC and transport mechanism[J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21(5):675-685

[4] Ni J Z, Luo Y M, Wei R, et al. Distribution patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons among different organic carbon fractions of polluted agricultural soils [J]. Geoderma, 2008, 146(1-2):277-282

[5] Gunasekara A S, Xing B S. Sorption and desorption of naphthalene by soil organic matter: importance of aromatic and aliphatic components

- [J]. *Environ Qual*, 2003, 32(1): 240-246
- [6] Nam K, Kim J Y. Role of loosely bound humic substances and humin in the bioavailability of phenanthrene aged in soil [J]. *Environmental Pollution*, 2002, 118(3): 427-433
- [7] Edwards A P, Bremner J M. Dispersion of soil particles by sonic vibration [J]. *Soil Sci*, 1967, 18(1): 47-63
- [8] 戴树桂. 环境化学(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 271-272
- [9] Costa A C S, Bigham J M, Tormena C A, et al. Clay mineralogy and cation exchange capacity of Brazilian soils from water contents determined by thermal analysis [J]. *Thermochimica Acta*, 2004, 413(1-2): 73-79
- [10] 李海鹰, 姜小三, 潘剑君, 等. 土壤阳离子交换量分布规律的研究[J]. *土壤*, 2007, 39(3): 443-447
- [11] Zhou Y, Liu R, Tang H. Sorption interaction of phenanthrene with soil and sediment of different particle sizes and in various CaCl_2 solutions[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, 270(1): 37-46
- [12] 白向飞, 王兆文, 刘开明, 等. 煤的粒度特征及不同粒级煤的煤岩特征对炼焦煤性质的影响[J]. *洁净煤技术*, 1999, 5(4): 47-51
- [13] Müller S, Wilcke W, Kanchanakool N, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in particle-size separates of urban soils in Bangkok, Thailand [J]. *Soil Sci*, 2000, 165(5): 412-419
- [14] 陈敏, 燕慧, 杨文智, 等. 煤焦油主要组分测试方法探析[J]. *煤化工*, 2004, 114(5): 39-41
- [15] Li H L, Chen J J, Wu W, et al. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in different size fractions of soil from a coke oven plant and its relationship to organic carbon content[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 176(1-3): 729-734
- [16] 姚艳, 严建华, 陆胜勇, 等. 原煤中多环芳烃含量特性的初步研究[J]. *热力发电*, 2003, 32(4): 5-8
- [17] Mackay D, Shiu W Y, Ma K C. Illustrated handbook of physical-chemical properties and environmental fate for organic chemicals. Volume II: Polynuclear aromatic hydrocarbons polychlorinated dioxins, and dibenzofurans [M]. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1992: 232-238
- [18] 丛鑫, 薛南冬, 梁刚, 等. 有机氯农药污染场地表层土壤有机-矿质复合体中污染物的分布[J]. *环境科学*, 2008, 29(9): 2586-2591
- [19] 何耀武, 区自清, 孙铁珩. 多环芳烃类化合物在土壤上的吸附[J]. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 423-427
- [20] 倪进治, 骆永明, 魏然. 土壤有机和无机组分对多环芳烃环境行为影响的研究进展[J]. *土壤*, 2006, 38(5): 559-564

Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in organo-mineral aggregates of topsoil from a coking plant contaminated site

ZHAO Fangni^{1,2} TIAN Wenjie^{2,3,4} WANG Qunhui¹ LI Fasheng^{2*}

(1. School of Civil and Environmental Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing, 100083, China;
2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China; 3. Department of Environmental Engineering & Chemistry, Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang, 471023, China; 4. School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing, 100083, China)

ABSTRACT

In this paper, four different soil particle-size fractions from the topsoil in a coking plant contaminated site, i. e., clay ($< 2 \mu\text{m}$), silt ($2-20 \mu\text{m}$), fine sand ($20-200 \mu\text{m}$) and coarse sand ($> 200 \mu\text{m}$), were separated by wet physical classification method. And the distribution of 16 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in US EPA priority list was analyzed to investigate the effect of soil organic matter and mineral composition on the difference of PAHs distribution. The results showed that the concentrations of PAHs increased in the order of coarse sand $>$ silt $>$ fine sand $>$ clay. The content of PAHs with less than 3 aromatic rings was higher in clay, while PAHs with more than 4 rings had higher contents in the other fractions. Strong positive correlation between total PAHs concentration and TOC was observed. The analysis on X-ray diffraction of organo-mineral aggregates demonstrated that the contents of the clay mineral in clay and silt aggregates were higher than in the other fractions. PAHs distribution in organo-mineral aggregates was related to the difference in the content and composition of the clay minerals.

Keywords: coking plant, contaminated site, topsoils, organo-mineral aggregates, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs).