

# 太湖流域某区浅层地下水有机污染包气带防污性能初探

何江涛 陈鸿汉 刘菲 刘立才

中国地质大学(北京)水资源与环境学院(北京, 100083)

**摘要:** 污染物从地表进入浅层地下水, 必然要经过包气带, 包气带的防污性能好坏直接影响着地下水污染程度和状况。本文试图根据太湖流域某地区浅层地下水有机污染调查成果, 对该地区浅层地下水包气带的防护性能, 及浅层地下水有机污染特征形成原因进行初步探讨。研究表明, 研究区包气带土层主要为河湖三角洲沉积相的淤泥质粘土, 小于 0.005mm 的粘粒含量可达 45.2%~84.6%, 各种粘土矿物含量也多在 10% 以上, 从而表现出对污染物的良好吸附能力; 研究区包气带土层中有机质的含量大都介于 0.7%~3.0% 之间, 某些黑色泥炭层中有机质的含量甚至高达 12.2%, 由于土样中有机质的高含量, 入渗水中的有机污染组分大部分被吸附阻滞在有机质中, 从而表现出良好的防污性能; 土壤吸附量测试结果表明, 研究区某农药厂排污沟附近, 土样对有机污染物的吸附量高达数百甚至上千 mg/kg, 证实了研究区包气带土层对有机污染物具有很强的吸附阻滞能力, 包气带防污性能良好; 研究区与北方某城市浅层地下水污染状况及包气带条件对比表明, 由于包气带土层岩性、结构、厚度等差异, 导致浅层地下水包气带防污性能产生很大差异, 而正是由于包气带防污性能的明显差异造成了两地污染程度的巨大差异。

**关键词:** 浅层地下水; 有机污染; 包气带; 防污性能。

污染物从地表进入浅层地下水, 必然要经过包气带, 包气带的防污性能好坏直接影响着地下水污染程度和状况。一般来说, 浅层地下水包气带的防污性能与包气带的岩性、结构、厚度以及地形坡度等有着密切的联系, 有机污染物在进入包气带垂向入渗过程中, 主要受挥发、稀释、吸附、化学反应、生物或非生物降解等作用影响, 从而产生衰减、转化、去除以及迁移滞后等一些现象。这些作用和现象的产生无不与包气带的岩性、结构、厚度等包气带自身的特征结构密切相关。本文试图根据太湖流域某地区浅层地下水有机污染调查成果, 对研究区浅层地下水包气带的防护性能, 及浅层地下水有机污染特征形成原因进行初步探讨。

## 1 太湖流域某地区浅层地下水有机污染概况

太湖流域某区 300 km<sup>2</sup> 浅层地下水有机污染调查始于 2002 年 12 月, 共调查水井 141 个, 并根据调查结果, 选取了 36 个井点进行了取样分析(见表 1), 分析项目包括卤代烃类 5 种组分: 四氯化碳、三氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烯和三溴甲烷, 单环芳烃类 6 种组分: 苯、甲苯、乙苯、间对二甲苯、邻二甲苯和异丙苯。从检测情况看, 除三溴甲烷外, 研究区浅层地下水中各组分的检出率较高, 四氯乙烯全部检出, 检出率高达 100%, 但卤代烃的浓度较低, 大都为 10<sup>-1</sup> 数量级, 有检出的单环芳烃各组分的浓度值远大于卤代烃各组分的浓度值, 其浓度值全部为 10<sup>0</sup> 数量级。总体而言, 研究区浅层地下水有机污染比较普遍, 但污染程度较轻, 除苯在个别点处有超出美国 EPA 饮用水标准外, 其余卤代烃和单环芳烃组分均没有超标。此外, 从平面分布上看, 卤代烃和单环芳烃各组分的浓度高值点大都集中于研究区东南郊区的工业区内, 其污染程度在整个城近郊区中也较重, 这种空间分布特征与工业区分布具有明显的一致性, 说明有机污染物的来源主要为工业企业污水的不合理排放, 而研究区密集的河网渠道是地表排污的主要承接水体, 由于连同性好, 地表污染扩散范围较大, 导致浅层地下水污染普遍, 但同时由于地表水的稀释作用, 导致地下水有机污染物虽然检出率很高, 但浓度很低, 并且垂向上, 浅部地下水的污染程度相对较重, 深部地下水较轻。

表 1 研究区浅层地下水水样有机组分检出情况表

有机组分	取样点数(个)	检出点数(个)	检出率	最大值(μg/L)	最大值孔号	U.S.EPA 饮用水标准(μg/L) <sup>[1]</sup>
三氯甲烷	36	17	47.2%	13.91	106	80
四氯化碳	36	16	44.4%	0.64	128	5
三氯乙烯	36	11	30.6%	1.50	106	5
四氯乙烯	36	36	100%	0.39	128	5
三溴甲烷	36	0	0	/	/	/
苯	36	20	55.6%	8.05	128	5
甲苯	36	14	38.9%	7.52	132	1000
乙苯	36	15	41.7%	5.98	48	700
间对二甲苯	36	22	61.1%	6.99	38	10000
邻二甲苯	36	19	52.8%	9.43	127	
异丙苯	36	16	44.4%	6.06	130	/

## 2 研究区包气带防污性能的探讨

浅层地下水包气带的岩性和厚度对防污性能影响很大，包气带土壤沉积物中的粘土矿物和有机碳在吸附无机离子组分和有机污染物过程中发挥着非常重要的作用，特别是有机污染物，很容易分配到有机碳中，在一定条件下又能大量被粘土矿物所吸附。包气带土层对污染物的吸附可以阻滞有机污染物向地下水中迁移，且包气带的厚度越大，污染物越难以迁移进入地下水。因此，包气带土层的粘土矿物、有机碳的含量、厚度，在很大程度上制约着研究区浅层地下水受地表污染源的影响程度。

文献资料表明<sup>[2-9]</sup>：研究区包气带土层岩性普遍为上更新统棕黄色粘土，结构致密，坚硬可塑，且粘土层的厚度一般介于 8~10 米，但在晚更新世末期古地面的地势低洼处，上更新统的硬粘土层中局部夹有湖沼相沉积的泥炭层。调查过程中，某机车车辆厂的洛阳铲土孔取样结果与文献所述相同，覆盖层表层 50cm 内，为棕褐色粘土，结构致密坚硬，可塑，自上而下铁锰结核含量增加；50cm~130cm 为青灰色粘土，结构致密，硬可塑，铁锰结核含量逐渐变低；130cm~173cm 粘土颜色突变为棕黄色，为上更新统的硬可塑粘土，结构致密，裂隙内充填有黑褐色的铁锰结核。这种上更新统棕黄色粘土对有机污染物的吸附作用和分配作用很强，可以在很大程度上阻滞有机污染物的下渗迁移，据此我们推测，研究区浅层地下水有机污染普遍但并不严重的特征，很有可能是由包气带防污性能良好所造成，为研究包气带土样的防污性能，在研究区东南城近郊区选取了 8 个地点采集土样，并在某机车车辆厂和某制药厂附近排污沟边缘进行了垂直剖面取样进行分析。

### 2.1 粘粒含量和粘土矿物组成

在包气带土层中，粘粒含量和粘土矿物组成对污染物的吸附起着相当重要的作用。研究区上更新统棕黄色粘土在许多文献中又称为古土壤层，是河漫滩沉积和成土交替作用的产物。古土壤层发生了粘化作用，有粘粒生成，粘粒含量较高。文献资料表明<sup>[2-9]</sup>，古土壤母质层中粒径小于 0.001mm 的粘粒含量一般小于 18%，而古土壤层中粒径小于 0.001mm 的粘粒含量一般在 30% 以上，有的层位可达 40%。根据在研究区东南城近郊区所取包气带土样的测试结果（表 2），土样中的粘粒含量非常高，小于 0.005mm 的含量处于 45.2%~84.6% 之间。较高的粘粒含量增加了粘土矿物的比表面积，并由此增大了污染物在矿物质表面的吸附能力。

文献资料还表明<sup>[2-9]</sup>，古土壤层中的粘土矿物主要为伊利石、绿泥石、蒙脱石、高岭石和蛭石等。其中伊利石的含量最高，其它几种矿物在不同的层段其含量有所不同，上层以蒙脱石和绿泥石为主，下层乃至母岩则以蛭石、高岭石为主。根据 X 衍射测试试验，对粘土矿物进行了半定量分析。古土壤层粘土的矿物组合，以伊利石和蒙脱石为主，伴有绿泥石和高岭石。粘土矿物的含量较高，伊（利石）蒙（脱石）混层占 10~20%，绿（泥石）高（岭石）混层占 5~10%，伊利石占 15~25%。由于粘土矿物形成时的同晶替代作用，粘土颗粒表面带有永久电荷，具有较强的吸附能力。所以，在非饱水的情况下，研究区浅层地下水的包气带对非离子性有机污染物具有较强的吸附作用，且土层的含水率越低，吸附强度越大。

表 2 研究区东南城近郊区土样粘粒含量表

取样位置	土样深度 (cm)	粒径 ≤0.05mm	粒径 ≤0.01mm	粒径 ≤0.005mm
1 号制药厂排污沟附近	85-93	100.0	79.5	72.0
2 号化工供销公司水塘附近	18-36	98.4	60.3	47.0
3 号机车车辆厂附近	107-114	100.0	61.9	45.2
4 号染整厂排污管道泄漏处	26-42	100.0	66.3	49.9
1 号制药厂排污沟附近	119-134	100.0	92.3	84.6
5 号制药厂排污沟南缘	21-31	100.0	83.2	69.6
1 号制药厂排污沟附近	97-101	99.8	78.5	62.4
3 号机车车辆厂附近	131-138	99.8	68.4	52.8

## 2.2 有机碳的含量

除粘土矿物吸附外，分配作用也是非离子性有机化合物在水—沉积物体系中被沉积物吸附的主要机理，其中起主导作用的是沉积物中的有机碳，它以有机相的形式把水中溶解性相对小的非离子性有机物溶解其中，其作用相当于有机溶剂从水中萃取有机化合物。研究发现，在饱水的情况下，不同的有机化合物在有机碳和水之间的具有固定的分配比，并将分配比定义为有机化合物在有机碳和水之间的分配系数，以 $K_{oc}$ 表示。 $K_{oc}$ 与土壤或含水层介质的性质无关。当土壤或含水层介质中的有机碳含量 $f_{oc}$ 大于 0.1% 时，有机污染物在固相和液相之间的分配系数 (mL/g)  $K_d$ 与 $K_{oc}$ 存在以下关系：

$$K_{oc} = K_d / f_{oc}$$

式中： $K_{oc}$ 为有机污染物在水和有机碳（含 100%的碳）间的分配系数 (L/kg)； $K_d$ 为有机污染物在固相和液相之间的分配系数 (L/kg)； $f_{oc}$ 为土壤或含水层介质中有机碳的百分含量，无量纲。

由于土壤或含水层介质中的有机碳百分含量难以测得，通常人们用有机质含量 $f_{om}$ 替代 $f_{oc}$ ，二者之间存在以下关系：

$$f_{oc} = f_{om} / 1.724。$$

$K_{oc}$ 通常可以通过实测、根据有机物相关物理化学参数如水溶解度、辛醇—水分配系数 $K_{ow}$ 进行推算、根据有机物的化学结构进行估算，如分子连接指数、片断常数法等。

吸附作用是引起污染物迁移滞后的主要原因，通常用阻滞因子  $R$  表示，

$$R = V / V_c$$

式中： $R$ 为阻滞因子，无量纲； $V$ 为地下水平均线性流速； $V_c$ 为浓度为初始浓度一半的溶质峰平均迁移速度。

$R$  越大，表明吸附作用对有机污染物产生的阻滞越大，污染物越不容易迁移。多数情况下，有机污染物的吸附符合线性吸附等温方程，此时， $R$  可用下式计算。

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{n} \cdot K_d = 1 + \frac{\rho_b}{n} K_{oc} \cdot f_{oc}$$

式中： $\rho_b$ 为土壤或含水层介质的容重 (g/cm<sup>3</sup>)； $n$ 为土壤或含水层介质的孔隙度，无量纲； $K_d$ 为有机污染物在固相和液相之间的分配系数 (L/kg) [10]。

从上式可以看出， $\rho_b$ 、 $f_{oc}$  和  $n$  为土壤或含水层介质参数，而 $K_{oc}$ 为有机化合物本身的性能参数。对于同一种有机污染物、不同的土壤或含水层介质而言， $\rho_b$ 、 $f_{oc}$  和  $n$  决定着有机污染物在水中的迁移能力，而对不同的有机污染物在同一种土壤或含水层介质的迁移而言，污染物本身的性能参数 $K_{oc}$ 则决定其在地下水中的迁移能力。因此，有机物在地下水中的迁移性能通常可以用 $K_{oc}$ 的大小进行描述， $K_{oc}$ 数值越大，含水层介质的阻滞能力越强，有机物的迁移能力越弱。表 3 列出了部分常见有机化合物的物理性质。

表 3 常见有机化合物物理性质表<sup>[10]</sup>

有机物	分子量	比重	水溶解度 (mg/L)	$K_H$ (atm·m <sup>3</sup> ·mol <sup>-1</sup> )	log $K_{ow}$	log $K_{oc}$	$K_{oc}$ (mL/g)	迁移性能分级
-----	-----	----	-------------	--	--------------	--------------	-----------------	--------

苯	78.11	0.874	1800	$5.48 \times 10^{-3}$	2.11	1.89	78	易
甲苯	92.14	0.862	490	$6.7 \times 10^{-3}$	2.69	2.12	132	较易
乙苯	106.17	0.870	187	$8.68 \times 10^{-3}$	3.15	2.41	257	较易
邻二甲苯	106.17	0.880	213	$5.27 \times 10^{-3}$	3.08	2.11	129	较易
间二甲苯	106.17	0.860	162	$7.0 \times 10^{-3}$	3.20	3.20	1585	较难
对二甲苯	106.17	0.860	200	$7.1 \times 10^{-3}$	3.15	2.31	204	较易
三氯甲烷	119.38	1.480	9300	$3.2 \times 10^{-3}$	1.95	1.64	44	易
四氯化碳	153.82	1.604	927	$2.4 \times 10^{-2}$	2.73	2.62	417	较易
三氯乙烯	131.39	1.464	1470	$0.9 \times 10^{-2}$	2.37	2.03	107	较易
四氯乙烯	165.83	1.623	485	$1.53 \times 10^{-2}$	2.88	2.42	263	较易
苯并[a]芘	252.32	1.351	0.004	$< 2.4 \times 10^{-6}$	6.50	5.95	891251	很难

根据文献资料<sup>[2~9]</sup>，太湖流域浅层地下水的包气带中的有机质的含量较高，为 0.17%~1.87%，有机碳的含量为 0.1%~1.09%。研究区 1 号制药厂排污河道附近的洛阳铲土孔垂直剖面土样、3 号机车车辆厂垂直剖面土样以及其它地点的土样测试结果证实包气带土样中含有丰富的有机质。从测定结果（表 4）看，土样中有机质的含量大都介于 0.7%~3.0%之间，有机碳的含量一般介于 0.4%~2.0%之间。在 1 号制药厂排污沟附近垂直剖面取样孔中发现有黑色泥炭层，其中有机质的含量高达 12.2%，有机碳的含量为 7.07%。泥炭的存在，说明此处为曾为湖相沉积。由于土样中有机碳的含量较高，入渗水中的有机污染组分在分配作用的驱使下会大量进入古土壤层的有机质中。

表 4 研究区东南城近郊区土样有机质含及有机碳含量表

取样位置	土样深度 (cm)	有机质含量 $f_{om}(\%)$	有机碳含量 $f_{oc}(\%)$
1 号制药厂排污沟附近	12-22	1.55	0.90
	34-43	1.57	0.91
	59-63	1.68	0.98
	70-78	0.88	0.51
	85-93	2.85	1.66
	97-101	1.53	0.89
	102-110	2.60	1.51
	119-134	2.64	1.53
	147-155 (泥炭夹粘土)	12.20	7.07
155-172 (泥炭)	5.89	3.42	
3 号机车车辆厂附近	14-22	1.03	0.60
	32-41	0.72	0.42
	51-63	1.57	0.91
	107-114	1.98	1.15
	131-138	1.20	0.69
	168-173	1.10	0.64
4 号染整厂排污管道泄漏处	26-42	1.54	0.89
5 号制药厂排污沟南缘	21-31	1.23	0.71
6 号印染厂排污沟西侧	26-36	0.78	0.45

表 5 研究区部分包气带土样干容重和孔隙度一览表

取样地点	土层深度(cm)	干容重 $\rho_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙度 $n$
1 号制药厂排污沟附近	85-93	1.5186	0.3985
	97-101	1.4641	0.4201
	119-134	1.2372	0.5100
3 号机车车辆厂附近	107-114	1.5909	0.3699
	131-138	1.4015	0.4449
5 号制药厂排污沟南缘	21-31	1.4179	0.4384
4 号染整厂排污管道泄漏处	26-42	1.3662	0.4589
2 号化工供销公司东南水塘边	18-36	1.3597	0.4615
平均值		1.4195	0.4378

为了定量描述研究区包气带土层对不同有机污染物迁移的阻滞作用，除测定包气带土层中的有机碳  $f_{oc}$  的含量外，还应测定包气带土层的干容重  $\rho_b$  及其孔隙度  $n$ 。为此，对研究区东南城近郊区部分土样采集点的土样进行了干容重和孔隙度的测定，测定结果见表 5。

从测定的包气带土样的干容重  $\rho_b$  及其孔隙度  $n$  的数值来看，8 个土样之间两指标的差异不大，所以，

取其平均值可以大致反映研究区域近郊区包气带土层的干容重或孔隙度，干容重  $\rho_b$  平均值为  $1.4195\text{g/cm}^3$ ，孔隙度  $n$  的平均值为  $0.4378$ 。据此依据上述公式可以计算出表 4 中各土样对氯代烃和苯系物组分的阻滞因子。表 6 列出了表 4 中各土样对各有机污染物的阻滞因子计算结果。由表中数据可见，土样中有机碳的含量对浅层地下水中的有机污染组分的迁移具有强烈的阻滞作用。

**表 6 研究区东南城近郊区各土样对各有机污染物的阻滞因子计算结果**

有机物		苯	甲苯	乙苯	邻二甲苯	间二甲苯	对二甲苯	三氯甲烷	四氯化碳	三氯乙烯	四氯乙烯
阻滞因子 $R$	最小值	2.06	2.80	4.50	2.76	22.58	3.78	1.60	6.68	2.46	4.58
	最大值	5.20	8.10	14.83	7.94	86.31	11.98	3.37	23.44	6.76	15.16
	平均值	3.28	4.86	8.52	4.78	47.40	6.97	2.29	13.21	4.13	8.70

注：表中统计计算结果中不含 1 号制药厂排污沟附近 147~172cm 的泥炭层。

### 2.3 土壤中有机污染物的吸附量

为进一步了解包气带土层对有机污染物的吸附阻滞情况，对典型污染源 7 号农药厂排污沟附近土壤进行了取样测试。7 号农药厂排污沟的边缘地带，在丰水季节处于浸淹状态，枯水季节则出露地表。本此采样是在枯水季节进行的，分别对边缘地带进行不同深度的包气带土层及地下水水面以下的土层采样。为了最大限度地萃取出包气带土样中吸附的有机污染组分，采用甲醇作为萃取剂浸泡土样，测试结果见表 7。测试结果表明：土样吸附量高达数百甚至上千  $\text{mg/kg}$ 。因在采样点处 50cm 的深度即见浅层地下水，在较浅的深度内，包气带土层中的有机污染组分的挥发作用较为强烈，吸附和挥发等诸多因素的共同作用，使得包气带不同深度的土层吸附量呈现出一定的波动变化，但在浅层地下水水面以下，各组分的吸附量呈现急剧增加的变化趋势（图 1、图 2）。这种变化趋势，很可能是有机污染组分的挥发性在地下水水面以下受到限制所造成。

**表 7 土样深度及土样吸附量一览表** 单位： $\text{mg/kg}$

土样位置	深度(cm)	甲苯	乙苯	间对二甲苯
包气带	7.5	217.07	158.97	0.00
	18.5	339.38	490.25	204.47
	25.5	324.35	202.83	220.31
	32.5	219.53	421.18	1069.53
	39.0	204.83	505.90	484.63
	46.5	311.53	292.08	461.94
地下水	55.5	151.02	499.47	1031.55
	60.0	680.40	3194.40	3949.20

上述检测结果从另一角度证实了研究区包气带土层对有机污染物具有很强的吸附阻滞能力，包气带防污性能良好。从而导致来自地表的有机污染物在垂直入渗过程中，绝大部分被包气带土层的粘土矿物和有机质所吸附，仅有少部分进入到浅层地下水中，所以，研究区浅层地下水有机污染物检出浓度并不高，污染不严重。同样的，在地下水中的水平迁移扩散过程中，含水层介质与包气带土层相似，也限制了有机污染物迁移扩散，典型污染源 7 号农药厂排污沟附近，浅层地下水有机污染物水平迁移扩散范围非常有限即是很好的证明。

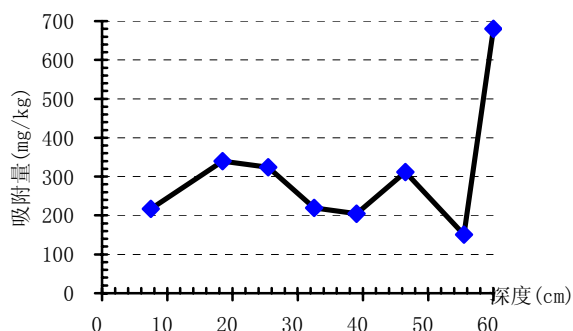


图 1 甲苯吸附量随深度变化曲线

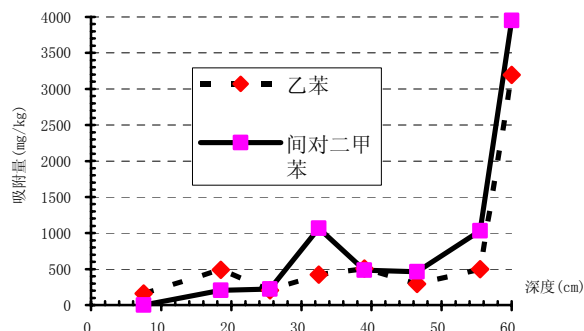


图 2 乙苯和间对二甲苯吸附量随深度变化曲线

### 3 不同地区防污性能对比

北方B市的西南郊区位于山前冲洪积扇的前缘,在B市城近郊区浅层地下水有机污染调查过程中发现,西南郊区的典型区浅层地下水已遭受严重的氯代烃污染,三氯乙烯和四氯乙烯部分采样点处超出U.S.EPA饮用水标准4~6倍,且在水动力场的作用下,已形成了面状污染,污染面积达10Km<sup>2</sup>[11]。B市西南郊典型区有机污染物检出情况见图3、4。与B市不同,研究区域近郊区浅层地下水中的氯代烃和单环芳烃组分均有检出,且检出率较高,但检出点的浓度很低,即使在地表污染严重的东南郊区,也仅有个别点出现个别组分超标现象。

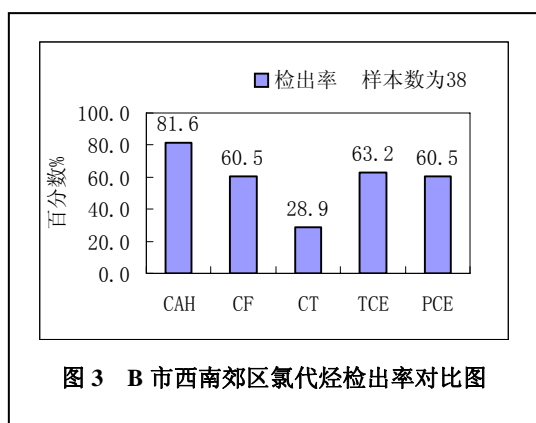


图 3 B市西南郊区氯代烃检出率对比图

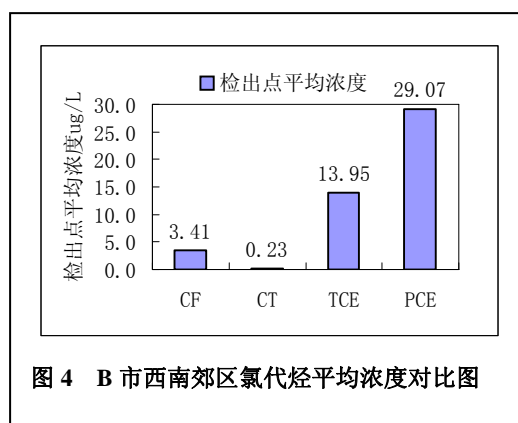


图 4 B市西南郊区氯代烃平均浓度对比图

由于B市的氯代烃污染严重的局部工业区位于冲洪积扇上缘,浅层地下水包气带的岩性主要为透水性非常好的砂卵砾石,地表污染物很容易入渗进入含水层,造成浅层地下水的严重污染。而研究区的东南郊区同为工业区,但地处长江三角洲冲洪积平原,浅层地下水包气带的岩性主要为透水性非常差的淤泥质粘土,尽管地表污染十分严重,但浅层地下水有机污染的程度较轻。

从南北两地包气带条件对比(表8)可以看出,B市土样中的粘粒含量很低,粒径小于0.075mm的粘粒含量最高仅为13.71%,而研究区土样中小于0.075mm的粘粒含量均接近100%。两城市城近郊区的包气带中有机碳的含量也存在很大的差异。B市污染典型区所取土样中的有机碳的含量最大仅为0.144%,而研究区东南城近郊区包气带中有机碳的含量的最低值为0.42%。所以,两地区浅层地下水包气带防污性能有很大的差异,B市西南郊区很差,研究区东南郊区较好,也正是由于包气带防污性能的明显差异造成了两地污染程度的巨大差异。

表 8 B 市西南郊区与研究区东南郊区包气带条件对比

地区	地形地貌	包气带 土层岩性	浅层地下 水埋深 m	<0.075mm 粘粒含量%	土壤有机 质含量%	粘土矿物百分含量%		
						蒙脱石	伊利石	高岭石
B 市市 西南郊区	冲洪积扇 上部	砂卵砾石、 中粗砂	14.32~ 19.97	1.56~ 13.71	0.14~ 0.25	<5	<8	<6
研究区 东南郊区	河湖三角洲 沉积平原	淤泥质粘土	2~5	>98	0.72~ 12.2	10~ 25	15~ 30	5~ 10

## 4 结论

- 1) 研究区包气带土层主要为河湖三角洲沉积相的淤泥质粘土，小于 0.005mm 的粘粒含量可达 45.2%~84.6%，小于 0.075 的粘粒含量更是高达 98% 以上，各种粘土矿物含量也很高，多在 10% 以上，从而表现出对污染物的良好吸附能力；
- 2) 研究包气带土层中有机质的含量大都介于 0.7%~3.0% 之间，某些黑色泥炭层中有机质的含量甚至高达 12.2%，由于土样中有机质的高含量，入渗水中的有机污染组分在分配作用的驱使下大量进入古土壤层的有机质中，从而表现出良好的防污性能；
- 3) 土壤吸附量测试结果表明，7 号农药厂排污沟附近，土样对有机污染物的吸附量高达数百甚至上千 mg/kg，进一步证实了研究区包气带土层对有机污染物具有很强的吸附阻滞能力，包气带防污性能良好；
- 4) 南北两地浅层地下水污染状况及包气带条件对比表明，两地区浅层地下水包气带防污性能有很大的差异，B 市西南郊区很差，研究区东南郊区较好，正是由于包气带防污性能的明显差异造成了两地污染程度的巨大差异。

致谢：本论文为中国地质调查局资助完成。

## 参考文献

- 1 EPA 822-R-02-038, 2002 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, Office of Water U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 2002
- 2 陈庆强,李从先. 长江三角洲晚第四纪古土壤与古环境初探[J].沉积学报, 1995, 13: 报 79-87.
- 3 曾昭华. 长江中下游地区地下水中铁锰元素的形成及其分布规律[J].长江流域资源与环境, 1994, 3 (4): 326-328.
- 4 孙顺才. 长江三角洲全新世沉积特征[J].海洋学报, 1981, 3 (1): 97-113.
- 5 孙白云. 黄河、长江和珠江三角洲沉积物中碎屑矿物的组合特征[J].海洋地质与第四纪地质,1990,10(3):23-33.
- 6 方鸿琪. 长江中下游地区的第四纪沉积[J].地质学报, 1961, 41 (3-4): 354-365.
- 7 李萍,孙和平. 长江三角洲地区晚更新世地层中的古土壤特征[J].上海地质, 1991, (1): 16-23.
- 8 陈庆强,李从先. 长江三角洲地区晚更新世硬粘土层成因研究[J].地理科学, 1998, 18 (1): 53-57.
- 9 刘宝柱,李从先,业治铮. 长江三角洲晚更新世末期古土壤与古环境[J].青岛海洋大学学报, 1997, 27 (3): 397-404.
- 10 Fetter,C.W., Contaminants hydrogeology. Macmillan publishing company, N.Y.,1993.
- 11 B 市地下水有机污染调查报告, 中国地质大学(北京),2003

# Primary study of contamination preventing abilities of vadose to organic contamination in shallow groundwater in some area of Tai lake drainage area

Jiangtao He, Honghan Chen, Fei Liu, Licai Liu

School of water resources and environment,  
China University of Geosciences (Beijing,100083)

**Abstract:** From land surface to shallow groundwater, contaminants must infiltrate through vadose. The contamination preventing abilities of vadose directly impacts the shallow groundwater contaminating degree and status. This paper primarily studied the characteristic and genesis of organic contamination in shallow groundwater and the contamination preventing abilities of vadose, basing on the results of investigation. The results shows that, the medium of vadose in the research area primary are silt clay of rivers, lakes, and delta sedimentary facies, the content of clay particles (<0.005mm) is 45.2%~84.6%, and the content of different clay mineral is more than 10%, therefore the sorption capacity of the medium to contaminants are good. At the same time, the content of organic matters in the vadose medium is between 0.7%~3.0%, and 12.2% can be reached in some black turf layer. For this reason, most organic contaminants in infiltration water will be sequestered into the organic matters. Then, contamination preventing abilities of vadose are good. The result of sorption content of organic contaminants shows that, several hundreds even thousands mg/kg sorption content can be reached in the soil near the drainage pond of one pesticide factory. This confirmed the good contamination preventing abilities of vadose in this area. Comparison of contamination status in shallow groundwater and conditions of vadose between research area and north city in China shows that, the differences of vadose lithology, structure, and thickness are critical reasons for the contamination preventing abilities differences, and also for distinct discriminations of contaminating degree in the two areas.

**Key words:** shallow groundwater; organic contamination; vadose; contamination preventing abilities