

北京市平原区地下水有机污染时空分布特征

陆海燕, 辛宝东, 孙 颖, 郭高轩, 纪轶群
(北京市水文地质工程地质大队, 北京 100095)

摘要: 2007~2008 年进行的北京市平原区地下水污染调查, 发现该地区地下水有机污染具有检出种类多、检出率高、浓度低的特点。主要的有机污染物为三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯丙烷、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、甲苯和苯并[a]芘。对这 8 种主要有机污染物的时间和空间分布特征进行了研究。研究显示, 平面上, 有机污染物分布广泛, 主要为点状分布, 局部地区集中检出。垂向上, 随深度增加地下水有机污染减轻(1,2-二氯乙烷除外)。与枯水期相比, 丰水期有机物检出率和浓度更高(三氯甲烷除外), 四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯受枯、丰水期变化影响最小, 检出重现性好, 污染较严重。与 2001 年相比, 2008 年四氯化碳检出率降低, 对地下水的污染有所减轻, 而三氯甲烷、三氯乙烯、四氯乙烯的检出率变化较小。最后, 从污染源、有机物理化特性、水文地质条件等方面对有机污染时空分布特征的成因进行了阐述。

关键词: 地下水; 有机污染; 时空分布; 北京平原

中图分类号: P641.3; X131.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2014)01-0034-07

有机物是最常见、治理最困难的一类污染物。绝大多数有机物为有毒有害物质, 对人体健康十分不利。随着社会经济的发展, 各种工农业以及日常生活产生的废气、废水、固体废弃物大量进入环境, 造成了地下水的污染。

地下水有机污染的研究开始于 20 世纪 70 年代^[1]。中国地下水有机污染的研究起步较晚。近年来相继在鄂尔多斯盆地、华北平原、长江三角洲、西北内陆盆地等十多个重要平原(盆地)开展了以平原(盆地)为单元的地下水资源及环境地质调查评价工作。20 世纪 80 年代, 北京市开始了农药厂、化工区、污灌区等地下水有机污染调查研究^[2~4]。在 2000~2001 年北京城区近郊区地下水有机污染调查中, 发现浅层地下水已发生有机污染, 污染物主要为三氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯和四氯乙烯^[5]。2007~2008 年开展的北京市地下水有机污染调查工作, 又把监测、研究范围扩展到了深层及基岩地下水。本文在以上研究成果基础上, 分析北京市平原区地下水有机污染时空分布特征, 探讨其发生及发展规律, 为地下水资源的科学管理提供依据。

1 地下水特征

北京平原是由永定河、潮白河、温榆河、拒马河、沟错河等几大河流冲、洪(湖)积作用形成的。平原区地下水分为第四系地下水及隐伏基岩水。第四系含水层颗粒自西北向东南由粗变细, 层次由少变多, 地下水类型由潜水转变为承压水。根据井深、地层岩性、地下水埋藏条件、含水介质的分布规律, 结合目前地下水开采利用现状和开采层位, 将平原区第四系松散孔隙水在垂向上划分为浅层水(主要为潜水, 含水层底板埋深一般在 20~40m)、中层水(浅层承压水, 含水层底板埋深一般在 80~120m)、深层水(深层承压水, 含水层底板埋深一般在 120~250m)。基岩水主要为岩溶水, 隐伏于第四系含水层之下。

2 有机污染物检出

2007 年和 2008 年的枯水期(5~7 月)和丰水期(10~12 月), 在北京市平原区四个含水层中分别布点取样, 取样点密度 16 个/100km²。样品的有机物测试指标共 5 类 44 项, 包括卤代烃 19 项(三氯甲烷、四氯化碳、1,1,1-三氯乙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯丙烷、溴二氯甲烷、一氯二溴甲烷、溴仿、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、1,1,2,2-四氯乙烷、1,1-二氯乙烷、顺 1,3-二氯丙烯、反 1,3-二氯丙烯)、单环芳烃 5 项(苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯)、氯代苯 5 项(氯苯、邻二氯苯、间二氯苯、对二氯苯、1,2,4-三氯

收稿日期: 2013-05-02; 修订日期: 2013-06-20

基金项目: 北京市平原区地下水污染调查(PXM2009-158305-074498)

作者简介: 陆海燕(1982-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事水文地质和环境地质研究工作。

E-mail: lhy@bjswd.com

苯)、多环芳烃 1 项(苯并[a] 苈)、有机氯农药 14 项(总六六六、 α -BHC、 β -BHC、 γ -BHC、 δ -BHC4、总滴滴涕、p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p'-DDT、p,p'-DDT、六氯苯、七氯、环氧七氯、异狄氏剂)。

根据测试结果,丰水期样品的有机物检出率达到 80.02%,枯水期为 79.25%。测试指标中仅 1,1,2,2

-四氯乙烷、六氯苯未检出,其它 42 项均有不同程度检出(图 1)。检出率最高的是卤代烃,其次为单环芳烃。有机物检出浓度普遍较低,丰水期超标率为 6.98%,枯水期 2.74%,超标组分主要为 1,2-二氯丙烷和四氯化碳(表 1),其它指标仅个别点超标。

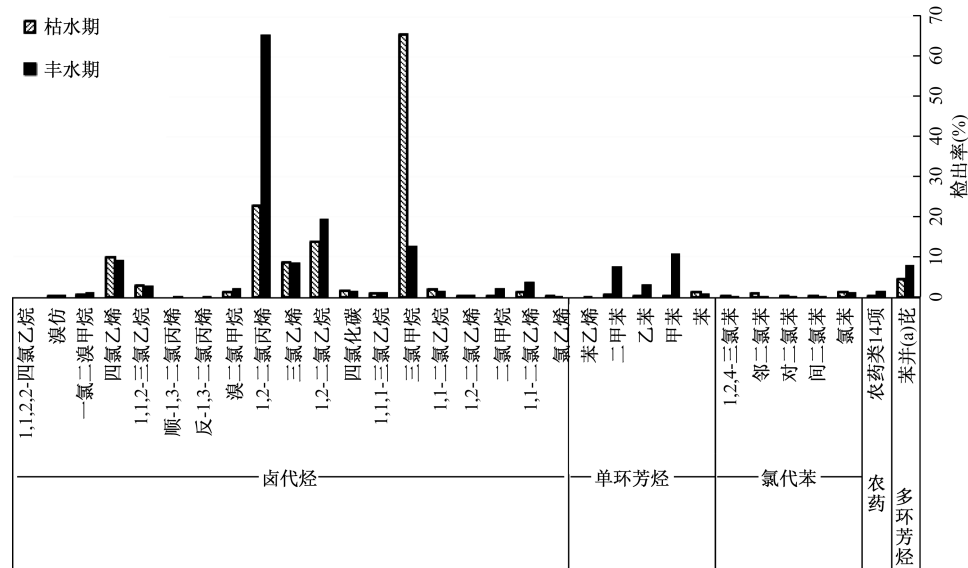


图 1 2007 ~ 2008 年北京市平原区地下水有机污染情况

Fig.1 Organic contamination in groundwater in the Beijing plain from 2007 to 2008

表 1 地下水中主要有机污染物检出情况

Table 1 Occurrence of main organic components in groundwater

有机指标	取样 时间	检测点数	检出点数	φ (%)	超标 点数	重现 点数	ρ ($\mu\text{g/L}$)			
				检出率			检出值范围	平均值	检出限	标准值
三氯甲烷	枯水期	1060	696	65.66	2	110	0.5 ~ 581.92	3.91	0.5	60 *
	丰水期	1060	136	12.83	1		0.51 ~ 713.06	7.34		
四氯化碳	枯水期	1060	16	1.51	7	14	0.52 ~ 7.88	2.40	0.5	2 *
	丰水期	1060	16	1.51	7		0.55 ~ 7.93	2.07		
1,2-二氯乙烷	枯水期	1060	148	13.96	5	86	0.2 ~ 528.26	9.44	0.2	30 *
	丰水期	1060	206	19.43	5		0.2 ~ 2668.3	20.31		
1,2-二氯丙烷	枯水期	1060	242	22.83	4	134	0.2 ~ 35.24	1.10	0.2	5 **
	丰水期	1060	636	65.47	58		0.21 ~ 45.63	2.15		
三氯乙烯	枯水期	1060	93	8.77	3	71	0.2 ~ 400.29	10.49	0.2	70 *
	丰水期	1060	89	8.40	2		0.2 ~ 545.8	11.12		
四氯乙烯	枯水期	1060	104	9.81	1	78	0.12 ~ 44.17	1.89	0.1	40 *
	丰水期	1060	96	9.06	0		0.1 ~ 85.68	2.93		
甲苯	枯水期	1060	5	0.47	0	2	0.75 ~ 3.46	1.38	0.5	700 *
	丰水期	1060	115	10.85	0		0.5 ~ 67.45	1.36		
苯并[a] 苈	枯水期	1060	48	4.53	2	4	0.0020 ~ 0.0124	0.0035	0.002	0.01 *
	丰水期	1060	84	7.92	4		0.0020 ~ 0.034	0.004		

注: * 参考 GB5749—2006 生活饮用水卫生标准限值; ** 参考 2004 美国 EPA 饮用水标准。

卤代烃作为最常用的工业溶剂和化工原料,是北京平原区地下水中最主要的有机污染物。检出率最高的前 5 项为三氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯和四氯乙烯。1,2-二氯丙烷和四氯化碳是超标最多的两项指标,1,2-二氯丙烷丰水期超标点较多,复测没有超标,原因尚不明确。单环芳烃检出最多的是甲苯,丰水期检出率 10.85%;检出最低的是苯乙烯,仅有一次检出。除苯有 2 处超标外,其他指标检

出浓度较低。多环芳烃中的苯并[a]芘具有强致癌性,该次调查枯水期检出率 4.53%,丰水期检出率 7.92%,最大浓度为 0.034 $\mu\text{g/L}$ 。氯代苯检出率和检出浓度均较低,检出率最高的为氯苯,检出率 1.32%,浓度范围 0.2~16.21 $\mu\text{g/L}$ 。有机氯农药在北京市平原区的地下水中残留水平均较低,检出最多的 β -BHC 检出率为 0.53%,最大浓度 0.085 $\mu\text{g/L}$ 。

整体来看,北京市平原区地下水有机物检出种类多、检出率高,浓度低。主要的有机污染物为三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、甲苯和苯并[a]芘(表 1)。这些有机物均被列入美国环保署(USEPA)优先控制污染物“黑名单”,绝大多数被列入“中国环境优先污染物黑名单”,应当优先控制。以下将重点研究以上 8 种有机物的时空分布特征。

3 地下水有机污染的时空分布特征

3.1 有机污染物的空间分布特征

3.1.1 平面分布特征

北京市平原区地下水有机物分布广泛,呈点状污染、部分地区集中检出的分布特征。有机污染物丰、枯水期的分布特征基本一致,三氯甲烷较为特殊,枯水期检出率远高于丰水期,分布的范围更大(图 2)。

污染物的种类及分布特征,首先决定于污染源——人类的生产、生活过程是导致地下水有机污染的主要原因。根据有机物的用途、野外调查及相关研究^[6-7],将地下水有机污染源分为工业、农业、生活、垃圾场、污水排放(污灌)5 类。

从平面分布图可以看出,氯代烃污染物三氯甲烷(丰水期)、三氯乙烯、四氯乙烯主要集中在北京城四区、城南、丰台及石景山等人类生产生活频繁的区域,主要来源于工业、垃圾场和污水排放^[5]。

四氯化碳在平原区西南部某地超标点集中分布,根据调查与研究,其污染源位于地下水上游地区,分布范围可能是随着地下水径流迁移扩散形成的^[8]。

1,2-二氯乙烷主要分布在朝阳东南及东南郊等集中排污地区。东南郊化工企业集中,并且长期以来作为污水排放区,是北京市的主要污染源之一。根据调查,1,2-二氯乙烷在北京市平原区地表水(包括污水、再生水)中检出率达 56.67%,是检出率最高的氯代烃^[9],其分布与污水排放、污灌区的分布有一定关系。

1,2-二氯丙烷丰水期在城近郊区超标点相对集中,在平谷农业区有超标点,枯水期超标较少。作为常

用的杀虫剂,1,2-二氯丙烷污染可能跟农药以及夏季杀虫剂的广泛使用有关。

单环芳烃(甲苯)在西山山前地区检出较为集中,其它地区分布分散,在加油站、化工厂周边地下水中存在超标现象,苯、甲苯、乙苯、二甲苯同类物质往往同时检出,表明其来源于油类污染,其分布主要受工业污染控制。

苯并[a]芘来源广泛,汽车尾气、燃煤、垃圾焚烧等生产生活均会产生。在地下水中检出呈点状分散分布。

除了污染源,地下水有机污染物的分布还取决于地表污染源和污染物进入地下含水层的难易程度。因此有机物本身的迁移性能和地质、水文地质条件,也是污染物进入地下含水层和重要控制条件。如 1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯等具有较高的蒸汽压、较低的有机分配系数、粘度、界面张力的有机物,一旦释放到环境中,就会迁移到地下水中而污染地下水,因此,在地下水中检出率高,分布广泛^[10-11]。

山前地区,冲洪积扇上游,地层防护性能差,如果存在污染源,地下水易受人渗污染。如门头沟、密云怀柔工业区、房山燕山石化等地区,有机物检出较多。

3.1.2 垂向变化规律

北京市平原区第四系地下水中主要有有机物(1,2-二氯乙烷除外)呈现随深度增加检出率及浓度逐渐降低的趋势,浅层水检出最多,中、深层相对较少(表 2)。这是因为浅层水与地表水水力联系密切,受到的地表污水入渗、大气降水入渗、包气带土壤淋溶作用等的影响最大,因此污染最为严重;而中层、深层水受上部隔水层及弱透水层的保护,污染较小。

表 2 地下水有机物检出率随深度的变化

Table 2 Change in detection rate with depth in groundwater

有机指标	检出率(%)	浅层	中层	深层	基岩
三氯甲烷	枯水期	68.81	72.61	64.25	41.82
	丰水期	18.97	9.57	5.06	20.34
四氯化碳	枯水期	1.66	1.98	0	3.64
	丰水期	1.87	1.54	0	3.39
1,2-二氯乙烷	枯水期	13.51	14.52	16.74	3.61
	丰水期	18.50	18.52	24.51	11.86
1,2-二氯丙烷	枯水期	28.07	16.83	13.12	49.09
	丰水期	67.45	65.12	63.42	59.32
三氯乙烯	枯水期	11.23	7.92	3.62	9.09
	丰水期	12.65	6.48	1.95	15.25
四氯乙烯	枯水期	13.51	7.92	2.26	18.18
	丰水期	14.29	6.79	1.95	13.56
甲苯	枯水期	0.21	0.66	0.90	0
	丰水期	10.54	9.88	8.56	27.12
苯并[a]芘	枯水期	5.82	4.29	1.81	5.45
	丰水期	5.85	8.95	8.17	15.25

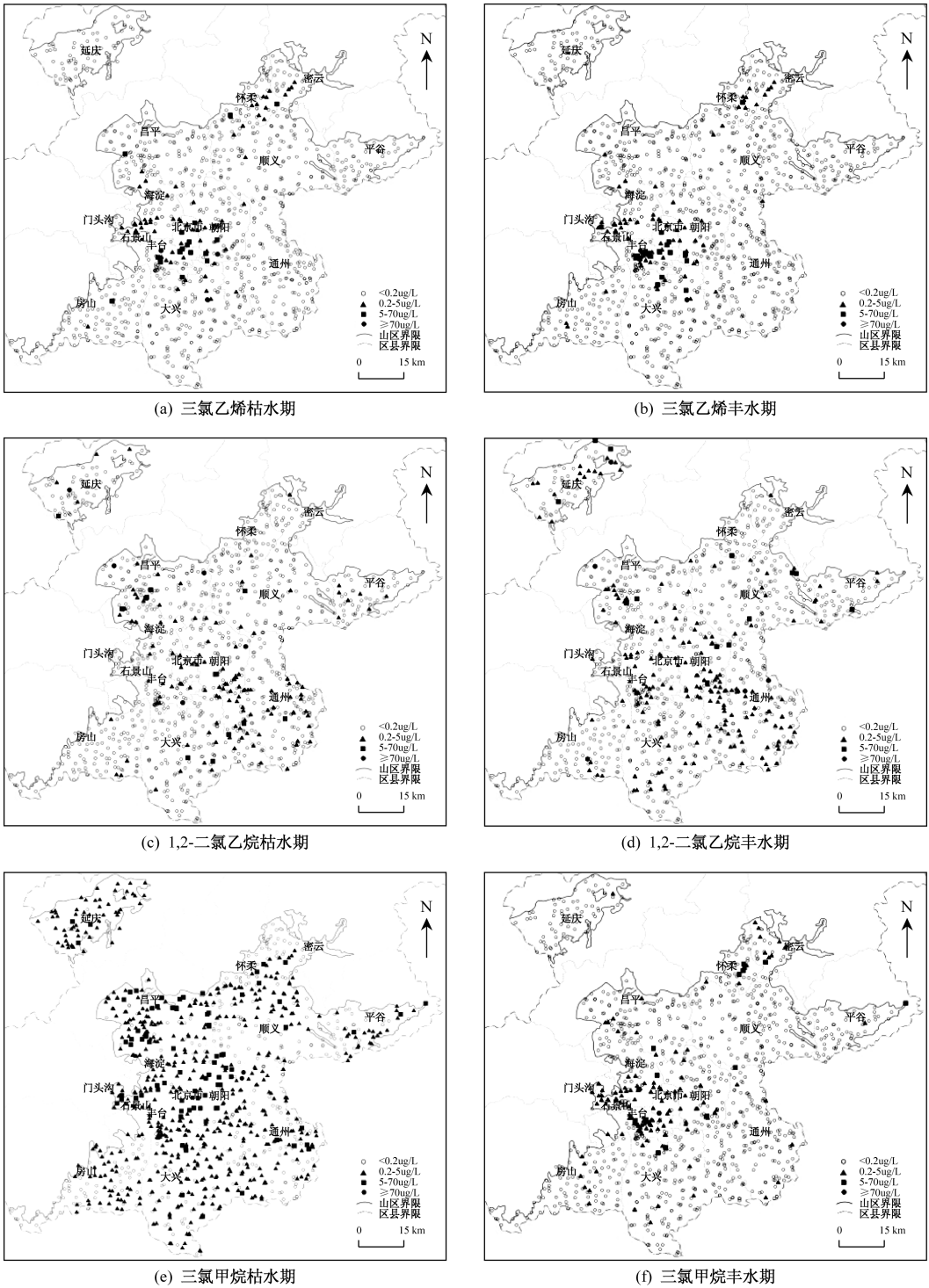


图 2 检出物平面分布图

Fig. 2 Spatial distributions in rainy or dry seasons

由于某些污染物本身的特征及其污染途径的特殊性等原因,其在垂向上的变化规律呈现复杂的情况。在 8 项主要污染物中,三氯甲烷(枯水期)、1,2-二氯丙烷(丰水期)深层检出率略低于浅层,但各层地下水

中检出率均较高;1,2-二氯乙烷污染其检出率及检出浓度随层位加深有增高趋势。

分析造成污染物深层地下水检出率和浓度居高的原因,主要有以下几种情况:(1)垂向渗透污染。如氯

代烃属于非水相重液类,污染物浓度高时,浓度超过其溶解度时,会在含水层底部富集,其迁移受重力的影响,并因粘度小在含水层中的迁移能力强,它们有可能会穿透隔水底板而污染更深部的含水层。(2)多层水混采污染。由于原生地层结构遭到破坏,沟通了水质不同的含水层,浅层污染物进入深层。(3)人为污染。氯化消毒是获得微生物方面安全饮水的主要措施,研究发现,氯与原水中有机物生成三氯甲烷等系列氯化消毒副产物^[12]。据野外调查,有些井水加氯消毒时,操作不当,直接将消毒药品投入井中,严重污染地下水。

平原区隐伏基岩地下水取样点主要布置于山前地带的碳酸盐岩地层中,其有机物检出种类较多,这表明山前岩溶地下水的开放性较好,与第四系地下水水力联系密切,补给与更新速率较快。

3.2 时间变化规律

3.2.1 枯、丰水期变化规律

地下水中有有机物含量及检出率具有明显的季节性变化特征,与枯水期相比,丰水期检出种类更多、检出率和平均浓度更高,如 1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、甲苯、苯并[a]芘。

四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯受季节影响最小,枯、丰水期的检出率、平均浓度变化小,检出点重现性最高,表明这三种有机物在地下水中的存在相对稳定、污染较严重。三氯甲烷具有特殊性,枯水期检出率是丰水期的 5.12 倍。

地下水中有有机物枯、丰水期的变化,主要受降雨、气温升降、农业生产等的影响。降雨通过冲刷大气、加快地表径流、入渗作用,携带大气、地表或滞留于土壤中的有机物,进入含水层;降雨作用下地下水位抬升,部分吸附于有机质的污染物通过解吸作用向下迁移进入地下水。温度是影响环境中有机物含量的又一重要因素。一般情况下,有机物的挥发及其在水中的溶解度随着温度的升高而升高,而气温降低有利于有机物的凝结、下沉。北京夏季气温高、降雨多,大气中主要的有机污染物甲苯随降雨到达地表^[13],并通过包气带进入地下水^[14],因而在丰水期地下水中甲苯的检出率较高。而枯水期地下水接受的补给减少,甲苯通过挥发、吸附、降解等作用逐渐减少。

3.2.2 多年变化规律

20 世纪 70 年代以前,北京地区主要的有机污染物以六六六、滴滴涕等有机农药为主。20 世纪 80 年代起,随着工业迅猛发展,工业三废排放加剧,三氯甲

烷、四氯乙烯等各种有机原料、有机溶剂大量进入空气、土壤及水环境中。20 世纪 90 年代后期,人们环境保护意识加强,城市产业结构调整,废气、废水的排放得到一定控制,但环境污染问题仍在逐年加剧。

2000~2001 年,在北京城区及城近郊区开展了有机污染调查。对不同含水层的地下水进行取样分析,测试指标包括单环芳烃(苯、甲苯、乙苯、二甲苯)、卤代烃(三氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯、三溴甲烷、二氯甲烷、顺式-1,2-二氯乙烯)、多环芳烃 16 项和有机农药 8 项。结果卤代烃检出最多的是三氯甲烷,检出率 57.53%,其次是三氯乙烯、四氯乙烯、四氯化碳。单环芳烃检出点数最多的为甲苯,检出率 6.3%。多环芳烃中检出率最高的为苯并[a]芘。调查结果还发现地下水中存在六六六、滴滴涕等农药残留问题。

表 3 城区地下水中有有机物不同年份检出率对比

Table 3 Comparison of detection rates between different years in groundwater in the urban area

有机组分	2000~2001 年		2007~2008 年	
	检出限 ($\mu\text{g/L}$)	检出率 (%)	检出限 ($\mu\text{g/L}$)	检出率 (%)
三氯甲烷	0.05	57.53	0.5	63.74
四氯化碳	0.05	25.27	0.5	1.42
三氯乙烯	0.05	32.8	0.2	26.07
四氯乙烯	0.05	31.18	0.1	31.28

注:2000~2001 年,由中国地质大学(北京)水资源与环境工程实验室,采用 HP-6890 气相色谱仪测试;2007~2008 年,由中国地质科学院水文地质环境地质研究所有机分析实验室,采用气相色谱-质谱联用仪测试。

2007~2008 年开展的北京市平原区有机污染调查测试工作,采取了与 2001 年不同的检出限(表 3),但总体上可看出,全市平原区地下水中有有机物的检出情况与城区及城近郊区基本一致。其中三氯甲烷、四氯化碳、三氯乙烯、四氯乙烯、甲苯、苯并[a]芘是地下水中主要的有机污染物,在两次调查中检出率均较高。

而有机污染物的检出率及浓度变化,也各不相同。以四氯化碳为例,其检出率和浓度呈大幅降低趋势(2008 年四氯化碳最大检出浓度 $3.78\mu\text{g/L}$,而 2001 年高达 $31.70\mu\text{g/L}$)。分析其原因,除受检出方法和检出限不同影响外,污染物的来源变化也起到了重要作用。20 世纪 90 年代后,四氯化碳的产量及使用量下降,对环境的污染输入减少,因此四氯化碳浓度降低。四氯化碳在环境中浓度的降低,除了污染源的减少,还受到还原性脱氯、共代谢、非生物作用等降解作用的影

响。根据已有研究,四氯化碳的非生物作用半衰期为41年,而三氯甲烷、四氯乙烯、三氯乙烯等则为几千甚至几十万年^[15]。四氯化碳发生还原性脱氯会生成三氯甲烷,有可能导致地下水中三氯甲烷增多。

4 结论与建议

(1)北京市平原区地下水有机污染经历了早期农业污染到中后期工业及生活污染的过程,目前地下水中有有机物具有种类多、检出率高、浓度低、分布广泛的特点,形成集中检出、点状污染相结合分布特征。

(2)主要污染指标为三氯甲烷、四氯化碳、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷、三氯乙烯、四氯乙烯、甲苯和苯并[a]芘8项。污染程度随季节性变化明显,大部分在丰水期检出率高于枯水期。浅层地下水受到的有机污染最大,由浅至深受到的污染减小。据水文地质条件不同,污染来源、途径及其迁移转化规律的不同,有些有机物(如三氯甲烷、1,2-二氯乙烷)在地下水中的分布及变化规律具有特殊性。

随着城市环境保护工作的加强,工业及家庭能源结构改善、兴建污水处理厂、关闭与搬迁重污染企业等,北京市的空气与地表水质量得到越来越高的重视和保护,地下水中有有机物的来源受到控制。而进一步查明地下水中有有机污染物的来源及其迁移规律,必将对改善地下水环境质量和提高城市供水安全保证程度,起到积极作用。

参考文献:

- [1] 李纯,武强.地下水有机污染的研究进展[J].工程勘察,2007(1):27-30. [LI C, WU Q. Research progress of organic contamination in groundwater[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2007(1):27-30. (in Chinese)]
- [2] 郑瑶青,官宜文,牛景金,等.乐果农药厂周围地下水有机磷化合物污染的研究-1.主要污染物的气相色谱定性[J].北京大学学报:自然科学版,1980(2):90-96. [ZHENG Y Q, GUAN Y W, NIU J J, et al. Studies of the organophosphorus pollutants in the well water near a dimethoate plant [J]. Scientiarum Naturalum Universitatis Pekinesis, 1980(2):90-96. (in Chinese)]
- [3] 赵国栋,魏爱雪.北京市东南郊地下水有机污染深入探讨[J].环境科学丛刊,1986,7(6):42-46. [ZHAO G D, WEI A X. In-depth discussion on organic contamination in groundwater in southeast of Beijing [J]. Environmental Science Series, 1986, 7(6):42-46. (in Chinese)]
- [4] 许征帆,雷世寰,何大为,等.污灌区地下水有机污染物的分离鉴定与致突变活性研究[J].环境科学学报,1986,6(4):499-507. [XU Z F, LEI S H, HE D W, et al. Identification and mutagenic tests of organic chemicals in groundwater from sewage irrigated area [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 1986, 6(4):499-507. (in Chinese)]
- [5] 谢振华,王翊虹,张少才,等.首都地区地下水资源和环境调查评价[R].北京:北京市地质调查研究院,2003:165. [XIE Z H, WANG Y H, ZHANG S C, et al. Research and evaluation of source and environment of groundwater in the capital [R]. Beijing: The Geology Research Academy of Beijing, 2003:165. (in Chinese)]
- [6] 王昭,杨国华,陈玺,等.污灌对地下水的污染及防治对策[J].水文地质工程地质,2008,35(3):99-103. [WANG Z, YANG G H, CHEN X, et al. Groundwater contamination caused by wastewater irrigation and its controlling countermeasures [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, 35(3):99-103. (in Chinese)]
- [7] 吕晓立,邵景力,刘景涛,等.某石油化工污染场地地下水中挥发性有机物污染特征及成因分析[J].水文地质工程地质,2012,39(6):97-102. [LV X L, SHAO J L, LIU J T, et al. Contamination characteristics and causes of volatile organic compounds in the groundwater at a petrochemical contaminated site [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39(6):97-102. (in Chinese)]
- [8] 张新钰,王晓红,辛宝东,等.典型场地四氯化碳污染的健康风险评估[J].环境科学学报,2011,31(11):2578-2584. [ZHANG X Y, WANG X H, YE C, et al. A typical carbon tetrachloride contaminated site and health risk assessment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2011, 31(11):2578-2584. (in Chinese)]
- [9] 陆海燕,辛宝东.北京平原典型地区地下水有机污染途径研究[R].北京:北京市水文地质工程地质大队,2009:30. [LU H Y, XIN B D. Analysis on characteristics of organic pollutants in groundwater in typical sites of Beijing plain [R]. Beijing: Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 2009:30. (in Chinese)]
- [10] 刘玉龙,缪德仁,刘菲,等.1,2-二氯乙烷和1,2-二氯丙烷在某污染场地包气带的吸附-解吸特性

- [J]. 地学前缘, 2008, 15(6): 185 - 191. [LIU Y L, MIAO D R, LIU F. Adsorption and desorption of 1,2-dichloroethane and 1,2-dichloropropane by soils in an unsaturated zone[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(6): 185 - 191. (in Chinese)]
- [11] 高霏, 刘菲, 陈鸿汉. 三氯乙烯污染土壤和地下水污染源区的修复研究进展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(8): 821 - 829. [GAO F, LIU F, CHEN H H. Progress on Remediation of Trichloroethylene (TCE) in soil and groundwater contaminated source area[J]. Advances in Earth Science, 2008, 23(8): 821 - 829. (in Chinese)]
- [12] 林辉, 刘建平. 饮水氯化消毒及其副产物的研究进展及展望[J]. 中国公共卫生, 2001, 17(11): 1042. [LIN H, LIU J P. Progress and perspectives on the chlorinated drinking water disinfection by-products[J]. China Public Health, 2001, 17(11): 1042. (in Chinese)]
- [13] 毛婷, 王跃思, 姜洁, 等. 2004 年国庆假期北京大气挥发性有机物浓度监测及气象条件对其浓度变化影响研究[J]. 分析测试学报, 2006, 25(2): 47 - 51. [MAO T, WANG Y S, JIANG J, *et al.* A case study of VOCs concentrations and their variability caused by meteorological parameters in Beijing during the 2004 national holidays[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2006, 25(2): 47 - 51. (in Chinese)]
- [14] 李炳华, 陈鸿汉, 何江涛, 等. 长江三角洲某地区浅层地下水单环芳烃污染特征及其原因分析[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 1124 - 1130. [LI B H, CHEN H H, HE J T, *et al.* Characteristics and cause of monocyclic aromatic hydrocarbon contamination in shallow groundwater in an area of the Yangtze River delta[J]. Geology in China, 2006, 33(5): 1124 - 1130. (in Chinese)]
- [15] 王焰新. 地下水污染与防治[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 307. [WANG Y X. Groundwater Contamination [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2007: 307. (in Chinese)]

Temporal and spatial distribution characteristics of organic contamination in groundwater in the Beijing plain

LU Hai-yan, XIN Bao-dong, SUN Ying, GUO Gao-xuan, JI Yi-qun

(Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Beijing 100195, China)

Abstract: Investigation of groundwater contamination was carried out in the Beijing plain from 2007 to 2008. The results show that the characteristics of organic contamination in groundwater in this area are ‘diversity of detections’, ‘high detection rate’ and ‘low concentration’. The majority of the organic contaminants are chloroform (CF), carbon tetrachloride (CT), 1,2-dichloropropane (1,2-DCA), 1,2-dichloroethane (1,2-DCP), trichloroethylene (TCE), perchloroethylene (PCE), toluene and benzo(a)pyrene. This study mainly focuses on analyzing the temporal and spatial distribution characteristics of the above-mentioned compounds. In a plan view, the organic contaminants are spread widely in space. They mainly spread in punctate distribution and are concentrated in particular areas. Vertically, the trend of groundwater contamination is lighten (except 1,2-DCP) with increasing depth. Compared with dry season, concentration and detection rate of organic contamination are higher in rain season (except chloroform). The characteristics of CT, TCE and PCE are least affected by different seasons. They have high reappear rate and the pollution is more serious. The detection rate of CT gets lower and the pollution is reduced in the groundwater in 2008, compared with those in the year of 2001. However, the changes in detection rates of CF, TCE and PCE are small. It demonstrates the effect of the temporal and spatial distribution by some factors, including contaminate sources, physical and chemical properties of organic contaminants and hydrogeological conditions.

Key words: groundwater; organic contamination; temporal and spatial distribution

责任编辑: 张若琳