

建议纳入地下水调查指标体系的有机污染物 ——基于迁移性和致病风险的分析

王 昭^{1,2} 石建省² 张兆吉² 费宇红² 李亚松² 张凤娥²

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境学院, 北京 100083;

2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

提要:在地下水有机污染调查中,如何准确地选择测试项目,对于正确认识和评价地下水的污染状况是十分必要的。本文通过参照不同标准或规范中所选择的有机指标,依据它们的迁移性和致病风险,从 258 种有机物中遴选出了 29 种“地下水污染调查评价规范”(2006)中尚未包括的有机物(主要是除草剂和杀虫剂)。建议在进行地下水有机污染调查时,依据当地的污染源情况,增加相应的监测指标,特别是要加强对致病风险高和迁移性较高有机物的重视。

关键词:地下水有机污染;污染物迁移性;致病风险

中图分类号:X523 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2009)05-1175-04

1 前 言

人类活动中开采石油、施用过量化肥和农药等,都向环境中输入了有机污染物质,在一些地方导致了严重的地下水有机污染。许多有机污染物对人体健康有严重影响,具有致癌、致畸、致突变的危害。目前世界上许多国家都对水土环境的污染调查与治理投入了大量的财力,如美国始于 1991 年的“全国水质评价计划”(NAWQA)。近年中国政府也加强了地下水有机污染调查与研究的工作^[1]。为了规范地下水污染调查与评价工作,中国地质调查局在 2006 年制订并发布了“地下水污染调查评价规范(1:50000~1:250000)”(以下简称“规范”)^[2]。“规范”中规定了在区域和重点区地下水污染调查中应当监测的有机物分别为 36 和 37 种,其中重点区另有 51 种有机物可供选测。

由于有机污染物种类繁多,多数指标的测试方法复杂、仪器条件要求高、测试费用大,不可能测定环境中全部的有机污染物,因此正确地选择代表

性强、生态环境意义明确的有机污染物作为地下水调查的测试指标,可以使地下水调查更加经济有效,评价成果具有更强的实际应用性,如可将饮用水标准中可能对人体有害的微量有机物(如西玛津等)作为监测指标^[3-5]。笔者分析了“规范”及国内外相关标准与规范包含的 258 种有机物,根据有机污染物在水土中的迁移性和对人类的健康风险,遴选出在地下水有机污染调查中,特别是饮用地下水源调查时,应当考虑的有机污染物指标。

2 有机污染物的遴选

2.1 相关标准与规范所包含的有机指标

有机物对人体健康的危害性是确定饮用水水质标准指标的主要依据。目前具有国际权威性和代表性的饮用水水质标准有 3 部:世界卫生组织(WHO)的《饮用水水质准则》(有机指标 72 项)^[6]、欧盟(EC)的《饮用水水质指令》(有机指标 11 项(组))^[7]以及美国环保局(USEPA)的《国家饮用水水质标准》(一级规程

收稿日期:2009-05-08;改回日期:2009-07-15

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(1212010634611)和基本科研业务费项目(SK07013)共同资助。

作者简介:王昭,女,1969年生,副研究员,博士,主要从事环境水文地质方面的研究;E-mail:bike2002d@yahoo.com.

通讯作者:石建省,研究员,博士生导师;E-mail:tiger7886@263.net.

中有机指标 54 项)^[8]。其他国家或地区的饮用水标准大都参照这 3 个标准制订。

考虑到中国的具体情况,在有机指标遴选中参照了中国制订的《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)、《城市供水水质标准》(CJ/T 206-2005)和《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2006)。同时鉴于地下水有机污染调查与美国地质调查局正在进行的“全

国水质评价计划(NAWQA)”工作的相似性,在指标的遴选中也参照了其进行地下水有机污染监测时的有机测试项目。

在进行有机指标的对比分析中,参照了各类标准迄今的最新版本(见表 1 中各项指标所参照的相应文献)。根据各有机指标在所选参考资料中出现的频率及其致病风险等因素,遴选出了“规范”中没有

表 1 建议纳入地下水有机污染监测的有机物(新增)

Table 1 Additional organic compounds suggested for groundwater contamination monitoring

序号	有机物	CAS#	种类	致病 风险 ^[9]	Koc	迁移性	包括所选组 分的资料
1	环氧氯丙烷(Epichlorohydrin)	106-89-8		B2	4.5	很高	[6-8; 12-14]
2	二溴化乙烯(Ethylene dibromide)	106-93-4		L	43.8	很高	[6; 8; 15]
3	丙烯腈(Acrylonitrile)	107-13-1		B1	8.3	很高	[15]
4	2,4-滴丙酸(Dichlorprop)	120-36-5	除草剂	-	48.6	很高	[6; 16]
5	西玛津(Simazine)	122-34-9	除草剂	N	149	高	[6; 8; 16]
6	顺 1,2-二氯乙烯(cis-1,2-DCE)	156-59-2		D	43.8	很高	[6; 8; 15]
7	反 1,2-二氯乙烯(trans-1,2-DCE)	156-60-5		D	43.8	很高	[6; 8; 15]
8	氟乐宁(Trifluralin)	1582-09-8	除草剂	C	9682	很低	[6; 16]
9	毒莠定(Picloram)	1918-02-1	除草剂	D	18.1	很高	[8; 16]
10	环草丹(Molinate)	2212-67-1	除草剂	-	286.3	中等	[6; 16]
11	草氨酰(Oxamyl)	23135-22-0	杀虫剂	N	10	很高	[8; 16]
12	毒死蜱(Chlorpyrifos)	2921-88-2	杀虫剂	D	6829	很低	[6; 12; 14; 16]
13	二甲戊乐灵(Pendimethalin)	40487-42-1	除草剂	-	2622	很低	[6; 16]
14	甲醛(Formaldehyde)	50-00-0		B1	1	很高	[12-14]
15	异丙甲草胺(Metolachlor)	51218-45-2	除草剂	C	291.6	中等	[6; 16]
16	对硫磷(Parathion)	56-38-2	杀虫剂	-	1779	低	[12-14; 16]
17	甲氧滴滴涕(p,p-Methoxychlor)	72-43-5	杀虫剂	D	42550	极低	[6; 8; 16]
18	丙烯酰胺(Acrylamide)	79-06-1		B2	10.5	很高	[6-8; 12-14]
19	毒杀芬(Toxaphene)	8001-35-2	杀虫剂	B2	99300	极低	[8; 16]
20	六氯丁二烯 (Hexachlorobutadiene)	87-68-3		L	993.5	低	[6; 13; 14; 16]
21	地乐酚(Dinoseb)	88-85-7	除草剂	D	3544	很低	[8; 16]
22	2,4,5-涕丙酸(2,4,5-TP)	93-72-1	除草剂	D	80.4	高	[6; 8; 16]
23	2,4,5-涕酸(2,4,5-T)	93-76-5	除草剂	D	48.6	很高	[6; 16]
24	地虫硫磷(Fonofos)	944-22-9	除草剂	N	836.3	低	[16]
25	2-甲基-4-氯苯氧乙酸(MCPA)	94-74-6	除草剂	N	29.4	很高	[6; 16]
26	2,4-滴(2,4-D)	94-75-7	除草剂	D	29.4	很高	[6; 8; 12-14; 16]
27	2,4-滴丁酸(2,4-DB)	94-82-6	除草剂	-	100.1	高	[6; 16]
28	1,2,4-三甲苯(1,2,4-TMB)	95-63-6		D	717.6	低	[15]
29	1,2-二溴-3-氯丙烷(DBCP)	96-12-8		B2	130.8	高	[6; 8; 15]

列出的有机物(表 1)。从遴选的有机物来看,主要为除草剂和杀虫剂,符合中国是农业大国这一国情。为了避免一种化合物多种名称的问题,表中注明了每种化合物唯一的 CAS 登记号。其致病风险和在水土中的迁移性分析如下。

2.2 有机物致病风险

有机物致病风险是从其本身的毒性来评价它对人类健康的影响,特别是其致癌性。所遴选的有机物的致病风险资料主要引自美国环保局(USEPA)“饮用水标准和健康咨询(2006 年版本)”^[9](表 1),其致癌性分类为:A 类为人类致癌物;B 类为可能的人类致癌物,其中,B1 具有有限人类致癌证据,B2 人类致癌证据不足或无证据,但动物致癌证据充足;C 类为可疑的人类致癌物;D 类为尚不能进行人类致癌分类的有机物;E 类为有对人类无致癌证据的有机物。在新的致癌分类中:H 类为人类致癌物;L 类为对人类可能致癌;L/N 类为在高于一定的剂量时可能对人类致癌,但低于该剂量时不会致癌;S 有建议性的证据说明为可疑的人类致癌物;I 类为由于信息不足尚不能进行人类致癌分类的有机物;N 类为有对人类无致癌证据的有机物。目前,新的分类评价工作还没有完成,故而表中分类大多仍沿用以往分类结果。

对结果的统计表明:所选有机物中有 8 种为可能的人类致癌物,2 种为可疑的人类致癌物。有 5 种有机物还没有致癌研究方面的资料,但这不表明它们对人类健康风险不大。

2.3 有机污染物在饱水土壤中的迁移性

除了有机污染物本身的毒性外,另一个需要考虑的因素是它进入环境后迁移至地下水的难易程度,即其在地下水环境中的迁移性。迁移性高的有机物,其从污染源到达水源并最终危害人体健康的风险就大。对于有机污染物来说,岩土对它的吸附程度决定了它在地下水系统中的迁移能力。有机炭吸附常数(K_{oc})是反映有机物在水土中迁移性的一个重要参数。Roy 和 Griffin^[10]提出的运用有机物的 K_{oc} 评估有机溶剂在饱水土壤中迁移性的方法,已被研究人员用于评估有机物的迁移性^[11]。依据前人的成果^[10-11],有机物 K_{oc} 与其迁移性的关系为:

$K_{oc} \leq 50$	迁移性很高;
$50 < K_{oc} \leq 150$	迁移性高;
$150 < K_{oc} \leq 500$	迁移性中等;

$500 < K_{oc} \leq 2000$	迁移性低;
$2000 < K_{oc} \leq 20000$	迁移性很低;
$20000 < K_{oc}$	迁移性极低。

对于筛选出的有机物,用 EPI (Estimation Programs Interface) Suite(V3.2)^[17]计算了它们的有机炭吸附系数(K_{oc}),并对计算结果进行了迁移性分级(表 1)。结果表明:13 种有机物的迁移性很高,4 种迁移性高,2 种迁移性为中等,在确定监测项目时要根据当地的污染源情况,重视迁移性高的有机物。

综合致癌风险和迁移性分级的结果可以看出,环氧氯丙烷、二溴化乙烯、丙烯腈、甲醛、丙烯酰胺、1,2-二溴-3-氯丙烷对人类具有致癌作用,而且它们的迁移性也高,因此,当工作区有这类有机污染源时,应当加以特别重视。

3 结论与建议

为了使地下水有机污染监测更加真实地反映实际情况,对致病风险做出更为准确的评价,笔者通过对一些标准和规范的对比,遴选出了 29 种“地下水污染调查评价规范”(2006)中没有涉及的有机物,并对它们的致病风险和在水土中的迁移性进行了分析和分级。结果表明其中的 17 种有机物具有高的迁移性,其中 6 种(环氧氯丙烷、二溴化乙烯、丙烯腈、甲醛、丙烯酰胺、1,2-二溴-3-氯丙烷)对人类还具有致癌作用。

建议在地下水有机污染调查监测时,如果当地存在可能产生上述有机物的污染源时,依据当地的实际水文地质条件和水利用情况(是否饮用),确定需要增加监测的有机污染指标,以便更加准确地进行污染和风险评价。

参考文献 (References):

- [1] 文冬光,林良俊,孙继朝,等.区域性地下水有机污染调查与评价方法[J].中国地质,2008,35(5):814-819.
Wen Dongguang, Lin Liangjun, Sun Jichao, et al. Approach to investigation and assessment of organic contaminants in regional groundwater [J]. Geology in China, 2008, 35 (5): 814-819 (in Chinese with English abstract).
- [2] 中国地质调查局.地下水污染调查评价规范(1:50000-1:250000)[S].2006.
Geological Survey of China. Guideline for investigation and assessment of groundwater contamination (1:50000-1:250000)[S]. 2006 (in Chinese).
- [3] Heberer T. Tracking persistent pharmaceutical residues from

- municipal sewage to drinking water [J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 266(3):175–189.
- [4] Ternes T A, Joss A. Human Pharmaceuticals, Hormones and Fragrances—The challenge of micropollutants in urban water management [M]. London: IWA Publishing, 2006:472.
- [5] Wintgens T, Salehi F, Hochstrat R, et al. Emerging contaminants and treatment options in water recycling for indirect potable use [J]. *Water Science and Technology*, 2008, 57(1):99–107.
- [6] World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]:incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed [S]. 2006.
- [7] The Council of the European Union. Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption [S]. 1998.
- [8] U.S. Environmental Protection Agency. National Primary Drinking Water Regulations, EPA 816-F-03-016 [S]. 2003.
- [9] U.S. Environmental Protection Agency. 2006 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories (EPA 822-R-06-013) [S]. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 2006.
- [10] Roy W R, Griffin R A. Mobility of organic solvents in water-saturated soil materials [J]. *Environmental Geology and Water Sciences*, 1985, 7(4): 241–247.
- [11] Fetter C W. *Applied Hydrogeology* (4th Edition) [M]. Prentice Hall, 2000:598.
- [12] 地表水环境质量标准(GB3838-2002) [S]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.
- Environmental Quality Standards for Surface Water (GB3838-2002) [S]. Beijing:China Environment Science Press, 2002 (in Chinese).
- [13] 城市供水水质标准(CJ/T 206-2005) [S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- Standards Press of China. Water Quality Standard for Urban Water Supply (CJ/T 206-2005) [S]. Beijing:Standards Press of China, 2005 (in Chinese).
- [14] 生活饮用水卫生标准(GB5749-2006) [S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- Drinking Water Quality Standard (GB5749-2006) [S]. Beijing:Standards Press of China, 2006 (in Chinese).
- [15] Zogorski J S, Carter J M, Ivahnenko T, et al. The quality of our Nation's waters –Volatile organic compounds in the Nation's ground water and drinking-water supply wells: U.S. Geological Survey Circular 1292 [M]. 2006:101.
- [16] Gilliom R J, Barbash J E, Crawford C G, et al. The Quality of Our Nation's Waters –Pesticides in the Nation's Streams and Ground Water, 1992–2001 [M]. U.S. Geological Survey Circular 1291, 2006:172.
- [17] 王昭, 石建省, 费宇红,等. 我国“水中优先控制有机物”对地下水污染的预警性研究 [J]. *水资源保护*, 2009, 25(1): 90–94.
- Wang Zhao, Shi Jiasheng, Fei Yuhong, et al. Risk assessment of groundwater contamination caused by China priority organic pollutants in water [J]. *Water Resources Protection*, 2009, 25(1): 90–94 (in Chinese with English abstract).

Mobility and pathogenic risks of some organic compounds in groundwater and soils

WANG Zhao^{1,2}, SHI Jian-sheng², ZHANG Zhao-ji²,
FEI Yu-hong², LI Ya-song², ZHANG Feng-e²

(1. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, Hebei, China)*

Abstract: In the investigation of groundwater contamination, the selection of monitoring target organic compounds is very important for the correct assessment of the real situation of groundwater contamination. According to organic compounds involved in the main standards currently used in the world, 29 items, which are not included in the “Guidelines of Groundwater Contamination Investigation” (CGS, 2006), are put forward in this paper in the hope that they can be wholly or partly considered in the groundwater contamination investigation in terms of the actual hydrogeological condition and the contaminant sources in the study area. It is suggested that more attention should be paid to the compounds with high mobility and high pathogenic risks.

Key words: organic contamination of groundwater; mobility of contaminant; pathogenic risk

About the first author: WANG Zhao, female, born in 1969, Ph.D., senior researcher, engages in the study of environmental hydrogeology; E-mail: bike2002d@yahoo.com.