

张新钰, 王晓红, 辛宝东, 等. 2011. 典型场地四氯化碳污染的健康风险评价[J]. 环境科学学报, 31(11): 2578-2584

Zhang X Y, Wang X H, Xin B D, et al. 2011. A typical carbon tetrachloride contaminated site and health risk assessment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 31(11): 2578-2584

典型场地四氯化碳污染的健康风险评价

张新钰, 王晓红, 辛宝东, 叶超*, 郭高轩

北京市水文地质工程地质大队, 北京 100195

收稿日期: 2010-12-25

修回日期: 2011-03-28

录用日期: 2011-03-30

摘要: 以华北某污染场地为研究区域, 采集了场地内大气、土壤、地表水和地下水 4 个类别共 196 个样品. 分析了 25 项挥发性有机物在不同区域的分布特征, 探讨了超标污染物的污染来源. 最后, 应用美国环保局的健康风险评价方法, 对场地超标污染物进行了健康风险评价. 结果表明, 场地超标污染物仅为四氯化碳; 主要赋存于地下水中, 其污染晕的平面分布与地下水流向显著相关, 垂向分布与深度相关; 四氯化碳致癌危害程度总体表现为饮水途径 > 洗浴呼吸吸入途径 > 洗浴皮肤接触途径. 其中饮水暴露途径致癌危害指数最大达到了 3.03×10^{-5} , 超出了可接受的风险水平, 由此将导致每百万人 30.3 个癌症患者的可能. 村民长期以目前水井作为主要的水源, 身体健康将受到严重影响; 洗浴呼吸吸入途径和皮肤接触途径的致癌危害指数在 $(10^{-10} \sim 10^{-7})$ 范围, 在可接受风险水平之内. 四氯化碳非致癌危害指数均小于 1, 风险较低.

关键词: 场地; 有机污染调查; 四氯化碳; 健康风险评价; 暴露途径; 致癌风险指数; 非致癌风险指数

文章编号: 0253-2468(2011)11-2578-07

中图分类号: X820.4

文献标识码: A

A typical carbon tetrachloride contaminated site and health risk assessment

ZHANG Xinyu, WANG Xiaohong, XIN Baodong, YE Chao*, GUO Gaoxuan

Hydrogeology and Engineering Geology Team of Beijing, Beijing 100195

Received 25 December 2010;

received in revised form 28 March 2011;

accepted 30 March 2011

Abstract: This study was focused on characterization of organic pollutants in a typical site of north China. A total of 196 samples, including soil, air, surface water and groundwater, were collected from the site. Based on the analysis results, the distribution characteristics and possible sources of 25 volatile organics at various regions were analyzed. The health risk assessment standard of the US Environmental Protection Agency was applied to assess the health risk of the pollutants in the site. The results showed that carbon tetrachloride was the only non-attainment pollutant and mainly distributed in the groundwater. The horizontal distribution of the pollution plume was highly related with the direction of the groundwater flow and the vertical distribution was affected fairly by the samples' depth. The largest carcinogenic potentials of the carbon tetrachloride were known to be from drinking water, with the carcinogenic index value of 3.03×10^{-5} . It exceeded the acceptable risk level and may result in the increase of 30.3 cancer patients per one million people. If the residents in the region drink the groundwater every day, their health will be affected greatly. The carcinogenic hazard index of the other two pathways, breathing and skin contact, were in the range 10^{-10} to 10^{-7} , which were both below the acceptable risk level. The non-cancer hazard index of carbon tetrachloride is less than 1, indicating low non-cancer hazard health risk.

Keywords: site; organic pollution investigation; carbon tetrachloride; health risk assessment exposure pathways; carcinogenic hazard index; non-carcinogenic hazard index

1 引言(Introduction)

四氯化碳毒性较高, 长期接触可引起肝癌, 被国际癌症研究中心 IARC 列为“对人类有致癌可能”的 B₂ 类化学物(U. S Department of Energy 2005). 被美国列为 129 种“水中优先控制污染物黑名单”之中, 同时也居于中国 68 种“水中优先控制污染物黑

名单”中(傅德黔等, 1990; 韩宝平等, 2004; 项玮等, 2007). 四氯化碳不但能长时间存留于土壤中, 难以消除, 而且会不断地扩散下渗, 污染地下水源, 给公众造成巨大的健康风险(赵永胜等, 1995; 刘菲等, 2010). 场地环境一旦受到四氯化碳污染, 其治理和恢复十分困难(韩宝平等, 2004; 项玮等, 2007, 2009).

基金项目: 国家自然科学基金项目北京市地下水资源安全评价及污染防控技术研究与示范项目(No. D07050601510000)

Supported by the Studies of Safety Evaluation and Pollution Prevention Technology and Demonstration for Groundwater Resources in Beijing (No. D07050601510000)

作者简介: 张新钰(1979—), 女, E-mail: xinyuzhang2008@126.com 电话: 86-10-51560308; * 通讯作者(责任作者)

Biography: ZHANG Xinyu(1979—), female, E-mail: xinyuzhang2008@126.com; Tel: 86-10-51560308; * Corresponding author

资料表明,国外四氯化碳污染的事例屡见不鲜.美国汉福德(Hanford)从1955—1973年期间,西部地区遭到四氯化碳严重污染,地下水中四氯化碳平均质量浓度达 $1\,000\sim 2\,000\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.1986年,加利福尼亚地下水检测中发现38口井受到了四氯化碳污染,质量浓度达 $510\ \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.1999年10月到2000年10月,加利福尼亚州的饮用水检测中发现249个水样的四氯化碳浓度超标.1992年,西班牙、芬兰,也有城市的供水系统中检测出有四氯化碳污染物(韩宝平等2004;项玮等2007).2007年,我国北方某大型城市的岩溶含水层检测有四氯化碳污染(项玮等2007).2009年某市供水水源地岩溶地下水也遭受四氯化碳污染(项玮等2007).

针对包括四氯化碳在内的有机物的污染,20世纪80年代以后,欧美国家先后建立起了污染场地健康风险评价体系.美国环境保护局(USEPA)于20世纪80年代先后完成了法律、风险评价指南和技术细则的制定,并对典型污染场地开始了健康风险评价和治理工作(USEPA,1992,2002,2005).欧盟16国于1996年完成污染场地风险评价协商行动指南,制定了污染土壤修复计划,建立国家污染场地数据库.相对国外,国内的工作起步较晚.2007年1月,北京市环保局印发了《场地环境评价导则》;2009年9月,环保部颁布了《污染场地风险评估技术导则》(征求意见稿).场地环境污染调查与风险评估总体计划方案,我国基本上充分借鉴国际上发达国家的风险评估方法,结合我国实际进行集成创新,主要分为资料收集、污

染调查、污染风险评估和修复方案研究4个阶段;其中,污染风险评估方法中人体健康风险采用美国国家环保局(EPA)四步法,即危害鉴定、剂量-反应评价、暴露评价、风险表征四步(NEPC,1999;胡二邦,2000;谌宏伟等,2006;韩冰等,2006).

目前,国内对多环芳烃、石油烃、苯系物及重金属等的场地污染的研究较多(张厚坚等,2010;雷鸣等,2010;王东红等,2007;谌宏伟等,2006;韩冰等,2006).对于四氯化碳污染的研究有限.本文通过对场地环境中的四氯化碳污染进行详细调查与分析,对场地四氯化碳的分布特征进行详细的研究,进行了健康风险评价,从实践方面填补相关研究样例空白.为我国开展污染场地风险评估案例研究,科学评估场地污染风险,进行污染防治与决策提供依据.

2 材料与方法(Materials and methods)

2.1 场地概况

场地位于山前冲洪积扇的中上部,地下水循环交替条件良好.自北向南第四系厚度 $40\sim 100\text{m}$,由单层潜水含水层逐渐过渡为3~4层承压水含水层,含水层以砂卵石、粗砂为主,夹有粘土、粘砂层.场地内地下水主要补给来源有降水入渗补给、地表水、灌溉水入渗补给及侧向径流补给等.降水入渗补给是含水层最主要的补给来源.地下水排泄方式主要为人工开采,其次为向下游的侧向径流排泄.地下水径流方向与区域地下水径流方向一致,由北、西北流向南,水力梯度 $1\text{‰}\sim 2\text{‰}$.(如图1所示).

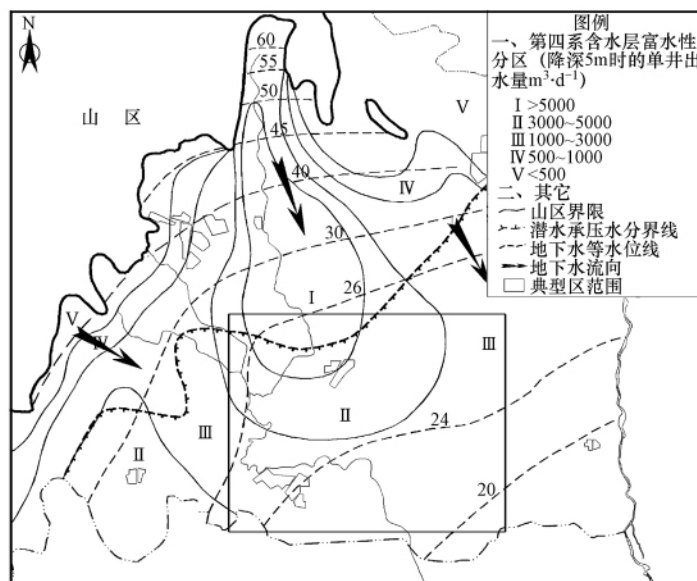


图1 场地水文地质示意图

Fig. 1 The hydrological of the typical site

场地调查面积约 140km² 区内有村庄 34 个, 垃圾场 6 座, 加油站 25 个, 河道排污口 9 个, 调查其中有两处历史上曾为颜料厂和生物药业基地的污水排污口, 现阶段为场地内雨水泄洪和生活污水排放口. 污水处理厂 3 座, 制药、造纸、化工、建筑、建材、食品等乡镇企业 40 多家, 还有农业、畜禽养殖业等污染源.

2.2 样品采集

结合场地水文地质条件、土地利用现状及企业分布特征, 2007 年 10 月—2009 年 9 月在场地开展取样工作:

取样布设方法为以已知污染点为中心, 沿地下水流向追踪, 重点是上游地区, 在污染物与检出点和未检出点之间加密取样, 定期取样监测, 丰水期适当增加取样频度, 严重超标点每月取样监测, 共采集水样 120 个, 其中, 2007 年 11 个, 2008 年 50 个, 2009 年 49 个, 2010 年 10 个, 120 个水样取自场地内的 67 个地下水井.

在污染区域施工勘探孔和监测井, 获取包气带土样、地下水样; 采集土样 33 件, 包气带样 5 件, 地下水样 6 件.

在排污河道取底泥土样、污水样、大气样, 取得 6 件地表污水样、13 件土样, 6 件大气样.

2.3 样品处理及分析方法

所有有机物样品, 送给国家地质试验测试中心, 检测方法采用 US EPA 8260B 标准, 检测仪器为气相色谱-质谱仪 (P&T-GC/MS), 按照国家饮用水标准 GB5749—2006 规定的有机物测试项目进行了测试.

2.4 健康风险评价方法

健康风险评价适用于评价不同类型污染物通过多种途径进入人体后所引起的健康风险, 包括致癌风险和非致癌风险.

本次评价参考美国环保局 1989 年公布的环境风险评价模型及 2009 年我国环境保护部颁布的《污染场地风险评估技术导则》(征求意见稿) 所规定的风险评价模型, 参数选取以国内的相关研究成果、地方环保部门制订的相关指导性文件和场地的实际调查为依据.

致癌风险考虑污染物的日摄入量小于 0.01 mg·kg⁻¹·d⁻¹, 采用式 (1) 计算 ((USEPA, 1997, 1999)):

$$CR = D_{ic} \times SF \quad (1)$$

式中: CR 为某种癌症发生的可能性 (无量纲); D_{ic} 为人体终生暴露于致癌物质的单位体重的平均日污染

物摄入量 (mg·kg⁻¹·d⁻¹); SF 为致癌斜率因子 (kg·d⁻¹·mg⁻¹).

对于致癌风险, USEPA 的致癌风险评价指南中认为风险水平处于 10⁻⁶ ~ 10⁻⁴ 时的风险是可以接受的. 参考我国 2009 年颁布的《污染场地风险评估技术导则》(征求意见稿) 对国内污染场地案例调查研究, 本次评价以 10⁻⁵ 致癌风险作为污染物暴露途径的可接受致癌风险水平 (US EPA, 2005).

非致癌风险采用式 (2) 计算:

$$HQ = E / RfD \quad (2)$$

式中: HQ 为危害系数, 当风险指数超过 1 时, 认为会对人体健康产生危害, 非致癌风险指数限定为 1 (US EPA, 1992; 赵勇胜等, 1995; 项玮等, 2007). E 为化学物质接触水平 (mg·kg⁻¹·d⁻¹, 取 0.0007 mg·kg⁻¹·d⁻¹); RfD 为污染物的参考剂量 (mg·kg⁻¹·d⁻¹), 取 0.13 mg·kg⁻¹·d⁻¹ (US EPA, 2005).

各暴露途径的污染物日摄入量计算模型如下:

① 饮水途径:

$$D_i = C_w \times IR_w \times ED \times EF / BW \times AT \quad (3)$$

② 洗浴皮肤接触途径:

$$D_i = \frac{K_p^w \times C_w \times SA \times EF \times ET \times ED \times CF}{BW \times AT} \quad (4)$$

③ 洗浴呼吸吸入途径: 室内呼吸途径风险的计算是比较复杂的, 主要原因是室内空气中污染物的浓度很低, 甚至低于测量仪器的检出限, 可采用式 (5)、(6) 计算.

$$C_a = C_w \times TF \times e^{-\lambda \times TH} \times k_c \quad (5)$$

$$D_i = \frac{C_a \times IR_a \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (6)$$

式中: D_i 为污染物的平均日摄入量 (mg·kg⁻¹·d⁻¹); C_a 为空气中污染物的浓度 (mg·m⁻³); C_w 为水中污染物的浓度 (mg·L⁻¹); ET 为污染物的暴露时间 (h·d⁻¹); EF 为污染物的暴露频率 (d·a⁻¹); ED 为污染物的暴露期 (d); CF 为单位转换因子 (10⁻⁶ m³·cm⁻³); K_p^w 为污染物在皮肤中的渗透系数 (cm·h⁻¹), 取 0.001 cm·h⁻¹; SA 为与污染物接触的皮肤表面积 (cm²), 取 17120 cm²; IR_w 为污染物的摄取速率 (L·d⁻¹), 取 1.5 L·d⁻¹; IR_a 为污染物的呼吸摄取速率 (m³·d⁻¹), 取 0.633 m³·d⁻¹; TF 为污染物的残留率 (无量纲), 取 1; $e^{-\lambda \times TH}$ 为污染物自然衰减过程中的损耗 (无量纲); TH 为水的停留时间 (h), 取 6 h; λ 为污染物在供水系统中的残留率常数 (d⁻¹), 取 1; k_c 为污染物的挥发因子 (L·m⁻³), 取 0.5

$L \cdot m^{-3}$; BW 为暴露人群体重 (kg) 取 60 kg; AT 为人群平均暴露时间 (d), 对于非致癌物取 40 a, 即 14600 d, 对于致癌物计算取 72 a, 即 26280 d.

以上参数部分取自《工业企业土壤环境风险评价基准》推荐值, 人体参数参考了《2008 年卫生年鉴》四氯化碳毒理学参数参考美国环保局网站化学物质毒理学数据库.

3 场地调查结果 (Site organic pollution investigation results)

3.1 有机污染物检测结果

大气、地表水、土样检测结果为仅有苯系物有检出, 但未超标, 浓度值略高于检出限 $1.00 \text{ ng} \cdot \text{g}^{-1}$.

地下水样品的检测结果有 9 种有机物检出, 其中 8 种浓度均较低, 远小于国家饮用水标准规定的限值, 分别为二氯甲烷、氯仿、苯、1,2-二氯乙烷、三氯乙烯、1,2-二氯丙烷、甲苯、四氯乙烯; 超标物为四氯化碳, 120 个样品中, 有 40 个样品超标 (浓度大于 $2.0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), 浓度在 $2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (不含) 至 $5.0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 共 24 个; $5.0 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (不含) 至 $9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 共 14 个, 大于 $9 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的样品 1 个, 样品分布比较集中, 均位于研究区的南部.

3.2 场地四氯化碳的分布特征

场地四氯化碳的污染水平分布呈西北-东南方向羽状展布, 轴长约 10 km, 宽约 5 km, 与地下水流向一致 (见图 2).

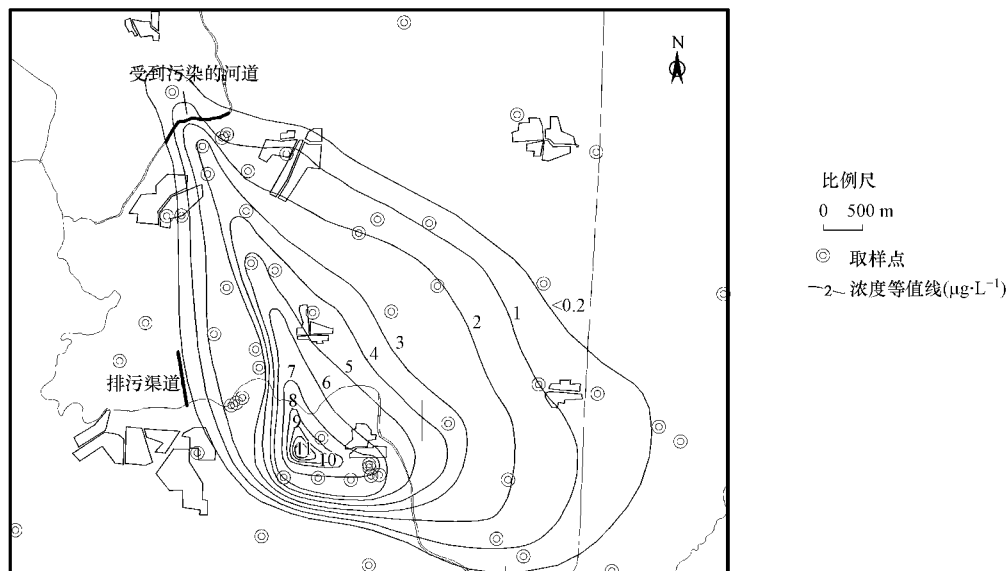


图 2 场地地下水中四氯化碳浓度等值线图

Fig. 2 Contours of carbon tetrachloride concentrations of groundwater in the site

场地四氯化碳浓度的垂直分布与深度显著相关, 检测结果显示不同层位的水质存在明显差别, 污染程度与深度密切相关, 表现为四氯化碳浓度随着取样深度的增加而升高 (结果见表 1 和图 3)

表 1 场地地下水四氯化碳检出水样个数与井深统计表

Table 1 Carbon tetrachloride concentration of different groundwater depth contrast table

取样井井深 /m	未检出 样品数/个	检出 样品数/个	未超标 样品数/个	超标 样品数/个
6 ~ 32	26	0	26	0
35 ~ 40	3	6	7	2
40 ~ 60	11	15	23	3
60 ~ 80	4	24	11	17
> 80	4	9	6	7

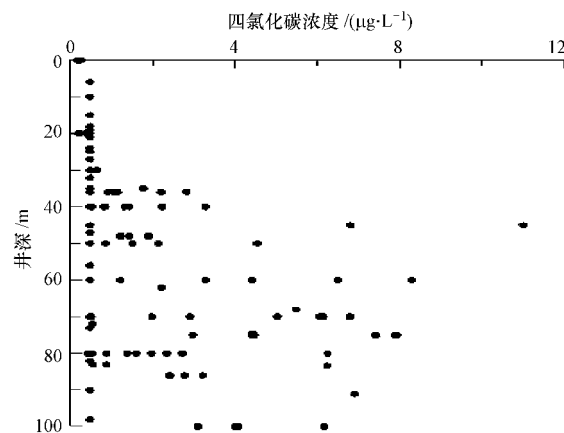


图 3 场地地下水四氯化碳浓度与取样深度关系图

Fig. 3 Relationship between carbon tetrachloride concentration and samples' depth of groundwater in the site

表 2 不同取水层位地下水中四氯化碳检出浓度对比表

Table 2 Carbon tetrachloride concentration of different groundwater depth

编号	取水层位	$\rho(\text{四氯化碳})/(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$
第一组	浅	0.21
	深	3.11
第二组	浅	0.87
	中	1.79
	深	7.42
第三组	浅	<0.2
	深	3.22

3.3 四氯化碳的健康风险评价结果

场地内的地下水主要用途是居民生活用水,包括饮用和洗浴.由此应用健康风险评价模型对场地四氯化碳浓度大于 $1\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 14 个村庄的井水四

氯化碳污染进行了饮水途径、洗浴皮肤接触途径和洗浴呼吸吸入途径的人体健康风险评价,评价结果见表 3.

场地评价区 3 种途径的非致癌风险指数都远远小于 1,危害很低,危害程度总体表现为饮水途径 > 洗浴呼吸吸入途径 > 洗浴皮肤接触途径.

场地评价区饮水途径的致癌风险指数部分超出了可接受的风险水平(10^{-5} 数量级),危害较大,污染危害最严重的点为村 1 的水井,四氯化碳的浓度平均值达到了 $9.31\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,致癌风险指数达到 3.03×10^{-5} .受影响较大的村庄总人口 5000 人左右,终生暴露虽然不会致死,但是村民长期以目前水井作为主要的水源,身体健康将受到严重影响.

表 3 场地地下水中四氯化碳的致癌和非致癌健康风险计算结果表

Table 3 The carcinogenic and non-carcinogenic health hazard indices of Carbon tetrachloride

序号	四氯化碳浓度 平均值/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$	饮水途径		呼吸吸入途径		皮肤接触途径	
		致癌风险	非致癌风险	致癌风险	非致癌风险	致癌风险	非致癌风险
1	9.31	3.03×10^{-5}	3.33×10^{-1}	3.19×10^{-9}	3.51×10^{-5}	3.50×10^{-11}	3.85×10^{-7}
2	6.79	2.21×10^{-5}	2.43×10^{-1}	2.33×10^{-9}	2.56×10^{-5}	2.55×10^{-11}	2.81×10^{-7}
3	6.47	2.10×10^{-5}	2.31×10^{-1}	2.22×10^{-9}	2.44×10^{-5}	2.43×10^{-11}	2.67×10^{-7}
4	4.7	1.53×10^{-5}	1.68×10^{-1}	1.61×10^{-9}	1.77×10^{-5}	1.77×10^{-11}	1.94×10^{-7}
5	4.2	1.37×10^{-5}	1.50×10^{-1}	1.30×10^{-9}	1.43×10^{-5}	1.58×10^{-11}	1.74×10^{-7}
6	3.8	1.24×10^{-5}	1.36×10^{-1}	1.44×10^{-9}	1.58×10^{-5}	1.43×10^{-11}	1.57×10^{-7}
7	2.99	9.72×10^{-6}	1.07×10^{-1}	1.03×10^{-9}	1.13×10^{-5}	1.12×10^{-11}	1.24×10^{-7}
8	2.34	7.61×10^{-6}	8.36×10^{-2}	8.02×10^{-10}	8.82×10^{-6}	8.80×10^{-12}	9.67×10^{-8}
9	2.1	6.83×10^{-6}	7.50×10^{-2}	7.20×10^{-10}	7.91×10^{-6}	7.90×10^{-12}	8.68×10^{-8}
10	1.97	6.40×10^{-6}	7.04×10^{-2}	6.75×10^{-10}	7.42×10^{-6}	7.41×10^{-12}	8.14×10^{-8}
11	1.46	4.75×10^{-6}	5.21×10^{-2}	5.01×10^{-10}	5.50×10^{-6}	5.49×10^{-12}	6.03×10^{-8}
12	1.43	4.65×10^{-6}	5.11×10^{-2}	4.90×10^{-10}	5.39×10^{-6}	5.38×10^{-12}	5.91×10^{-8}
13	1.31	4.26×10^{-6}	4.68×10^{-2}	4.49×10^{-10}	4.94×10^{-6}	4.93×10^{-12}	5.41×10^{-8}
14	1.08	3.51×10^{-6}	3.86×10^{-2}	3.70×10^{-10}	4.07×10^{-6}	4.06×10^{-12}	4.46×10^{-8}

根据风险值计算结果及当地地下水的利用状况.场地四氯化碳致癌高风险区见图 4 中的灰色阴影部分.

4 讨论(Discussion)

4.1 四氯化碳污染的可能来源方向

根据分析结果,初步推测场地四氯化碳污染方向为侧向,为地下水的上游地区,排污河道可能为污染源进入地下水的直接通道.

场地调查结果显示,场地潜水含水层的补给主要来自于大气降水,浅层承压水的补给来源为地下水的侧向径流,潜水与承压水之间存在着较厚的粉

质粘土隔水层,上下层水力联系较弱,水质差别明显,浅层承压水已受到四氯化碳污染,而潜水含水层未受到污染.此外,从场地四氯化碳污染羽扩散的范围和方向与地下水流向的关系来看,污染源可能在离目前羽状体高浓度区较远的地方,或潜水与承压水过渡带,长期的地下水径流迁移而来.当污染源从河道进入含水层,在地下水流的作用下向下游迁移,当含水层由二至三层过渡到多层、岩性由砂卵石渐变为中细砂时,污染物迁移的速度逐渐变缓,污染物不断聚集,浓度出现最高点,与场地四氯化碳浓度高点位于场地南部相一致.

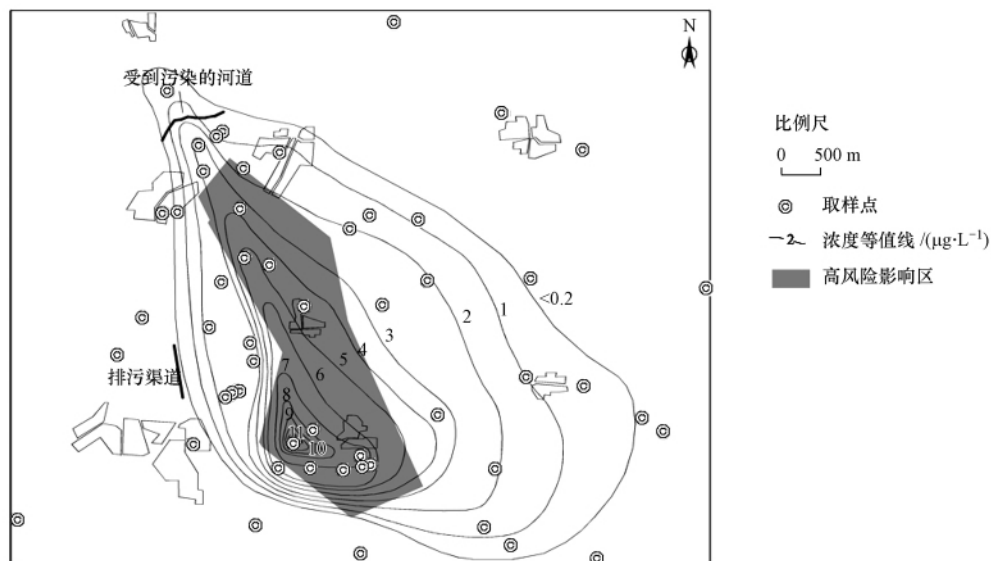


图4 场地地下水四氯化碳污染高风险区范围分布图

Fig. 4 Carbon tetrachloride pollution high risk range of groundwater in the site

4.2 四氯化碳浓度随时间变化的规律

对同一水井进行了多次采样分析取样次数超过3次的井水中四氯化碳的浓度并没有明显的下降或上升的规律,同一批次的样品,结果可能同时偏大或偏小,这可能与地下水位变化有关系;要进一步分析四氯化碳随时间的变化是历史性的还是间歇性的,尚需进一步监测,并进行平行样的对比。此外进行各种可能性的数值模拟,以明确污染源是否还存在。

4.3 场地四氯化碳污染与人体健康

健康风险评价结果表明,场地饮水途径摄入的污染物已经对人体健康构成威胁。评价过程采用的是以目前的平均浓度为最大暴露浓度,由于目前工作污染源的排放和污染物的迁移变化规律尚还不能明确,因此,研究结果还存在一定不确定性。因此要追本溯源,进一步开展污染源辨识工作,识别污染源,切除污染源,消除水中的污染物,彻底解除对当地居民身体健康的危害。四氯化碳为易挥发的有机物,而饮用开水在很大程度上能降低饮用该地区地下水的风险,所以在还没有找到彻底解决办法之前,建议当地居民尽量饮用开水。村庄1的水井,致癌危害性很大,建议严格限制该井的使用功能。

4.4 健康风险评价不确定性分析

场地的有机污染研究起步较晚,缺少场地大气、土壤、地表水、地下水中有有机污染物的长期监测资料,无法获得场地及其周围的历史污染状况和多年的污染变化趋势。由于长期监测资料的欠缺,对

污染变化趋势难以有确凿的把握,暴露浓度量化采用了本研究阶段多次取样的平均值,有一定的代表性,但也增加了不确定性。此外暴露模型的一些参数比如暴露人群的体重、日饮水量、接触皮肤表面积等不同的人群有不同的值,这些都增加了评价结果的不确定性。受目前流行病学、动物实验学等研究水平的影响,参考剂量采用的是呼吸进入肺、表皮接触和进入肠胃等人体组织可能吸收化学物质的数量表示,而不是进入人体体液参与新陈代谢的化学物质数量,对评价结果有一定的影响。由于客观原因,评价结果具有一定的不确定性,但基本上能反应研究区的实际情况。

5 结论(Conclusions)

1) 该典型污染场地的有机污染物为四氯化碳,分布于场地地下水中,水平分布与地下水流向一致,垂向上四氯化碳浓度随取样深度增加而升高,推测污染源方向可能为上游侧向,可能与上游排污河道相关。

2) 该典型污染场地健康风险评价表明饮水暴露途径致癌风险较大,致癌危害指数最大达到了 3.03×10^{-5} ,超出了可接受的风险水平,由此将导致每百万人30.3个癌症患者的可能。村民长期以目前水井作为主要的水源,身体健康将受到严重。场地评价区皮肤接触途径和呼吸吸入途径的致癌风险指数远远低于可接受的风险水平,在可接受的风险水平之内,洗浴过程中,呼吸吸入途径的致癌危害(10^{-5})高

于皮肤接触途径危害(10^{-7})约2个数量级.

3) 该典型污染场地评价区3种途径的非致癌危害指数都远远小于1,风险很低,危害程度总体表现为饮水途径>洗浴呼吸吸入途径>洗浴皮肤接触途径.

参考文献(References):

- 北京市环保局. 2007. 《场地环境评价导则》[Z]. 北京: 北京市环保局. 1-15
- Beijing Municipal Environmental Protection Bureau. 2007. Assessment guideline of site environment [Z]. Beijing: Beijing Municipal Environmental Protection Bureau. 1-15(in Chinese)
- 谌宏伟 陈鸿汉 刘菲 等. 2006. 污染场地健康风险评价的实例研究[J]. 地学前缘, 13(1): 230-235
- Chen H W, Chen H H, Liu F, *et al.* 2006. Health-based risk assessment of contaminated sites: A case study [J]. Earth Science Frontiers, 13(1): 230-235(in Chinese)
- 谌宏伟 陈鸿汉 何江涛 等. 2006. 污染场地健康风险评价的理论和方法[J]. 地学前缘, 13(1): 216-223
- Chen H W, Chen H H, He J T, *et al.* 2006. Health-based risk assessment of contaminated sites: Principles and methods [J]. Earth Science Frontiers, 13(1): 216-223(in Chinese)
- 傅德黔 孙宗光 周文敏. 1990. 中国水中优先控制污染物黑名单筛选[J]. 中国环境监测, 6(5): 48-50
- Fu D Q, Sun Z G, Zhou W M. 1990. The water priority control things blacklist in China [J]. Environmental Monitoring in China, 6(5): 48-50(in Chinese)
- 广东中毒急救中心. 2009. 毒物知识-四氯化碳[Z]. 2010-12-25. <http://www.gdpcc.com/toxi/toxi34.htm>
- Guangdong Poison Control Center. Poison knowledge-carbon tetrachloride [Z]. 2010-12-25. <http://www.gdpcc.com/toxi/toxi34.htm>(in Chinese)
- 胡二邦. 2000. 环境风险评价实用技术和方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社. 163-171
- Hu E B. 2000. Practical Technology and Measure of Environmental Risk Assessment [M]. Beijing: China Environment Science Press. 163-171(in Chinese)
- 韩冰 何江涛 陈鸿汉 等. 2006. 地下水有机污染人体健康风险评价初探[J]. 地学前缘, 13(1): 224-229
- Han B, He J T, Chen H H, *et al.* 2006. Primary study on health based risk assessment of organic pollution in groundwater [J]. Earth Science Frontiers, 13(1): 224-229(in Chinese)
- 韩宝平 王小英 朱雪强 等. 2004. 某市岩溶地下水四氯化碳污染特征研究[J]. 环境科学学报, 24(6): 983-988
- Han B P, Wang X Y, Zhu X Q, *et al.* 2004. Groundwater contamination by carbon tetrachloride in Karstic area in China [J]. Journal of Environmental Science, 24(6): 983-988(in Chinese)
- International Program on Chemical Safety (IPCS). 1999. Principle for the assessment of risk to human health from exposure to chemicals [EB/OL]. 2010-12-25. <http://www.who.int/ipcs>.
- 刘菲 王苏明 陈鸿汉. 2010. 欧美地下水有机污染调查评价进展[J]. 地质通报, 29(6): 907-917
- Liu F, Wang S M, Chen H H. 2010. Progress of investigation and evaluation on groundwater organic contaminants in western countries [J]. Geological Bulletin of China, 29(6): 907-917(in Chinese)
- 雷鸣 曾敏 王利红 等. 2010. 湖南市场和污染区稻米中 As、Pb、Cd 污染及其健康风险评价[J]. 环境科学学报, 30(11): 2314-2320
- Lei M, Zeng M, Wang L H, *et al.* 2010. Arsenic, lead, and cadmium pollution in rice from Hunan markets and contaminated areas and their health risk assessment [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 30(11): 2314-2320(in Chinese)
- U. S. EPA. 1992. Guidelines for exposure Assessment [EB/OL]. Federal Register, Washington DC. 2010-12-25. <http://www.epa.gov>, 57(104): 22888-22938
- U. S. EPA. 2005. Guidelines for carcinogen risk assessment [EB/OL]. 2010-12-25. EPA/630/P-03/001F, <http://www.epa.gov>.
- U. S. Department of Energy [US]. 2005. RAIS: Risk Assessment Information System [OL]. US Department of Energy, Office of Environmental Management. 2010-12-25. <http://rais.ornl.gov>
- U. S. EPA. 2002. A Review of the Reference Dose and Reference Concentration Processes [EB/OL]. U. S. Environmental Protection Agency Science Policy Council February, Federal Register, Washington DC. 2010-12-25. <http://www.epa.gov>
- U. S. EPA. 1999. Estimating the Drinking Water Component of a Dietary Exposure Assessment [EB/OL]. U. S. Environmental Protection Agency Science Policy Council February, Federal Register, Washington DC. 2010-12-25. <http://www.epa.gov>
- U. S. EPA. 1997. Standard Operating Procedures (SOPs) for Residential Exposure Assessments [EB/OL]. U. S. Environmental Protection Agency Science Policy Council February, Federal Register, Washington DC. 2010-12-25. <http://www.epa.gov>
- 王昭 王慧珍 石建省 等. 2008. 地下水有机污染研究进展[J]. 勘察科学技术, 6(6): 23-27
- Wang Z, Wang H Z, Shi J S, *et al.* 2008. Research advances of groundwater organic contamination [J]. Investigation Science and Technology, 6(6): 23-27(in Chinese)
- 王东红 原盛广 马梅 等. 2007. 饮用水中有毒污染物的筛查和健康风险评价[J]. 环境科学学报, 27(12): 1937-1943
- Wang D H, Yuan S G, Ma M, *et al.* 2007. Full scan analysis and primary risk assessment of drinking water [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 27(12): 1937-1943(in Chinese)
- 赵勇胜 曹玉清. 1995. 地下水的有机污染[J]. 工程勘察, 1(1): 28-31
- Zhao Y S, Cao Y Q. 1995. Volatile organic contamination of groundwater resources [J]. Geotechnical Investigation and Surveying, 1(1): 28-31(in Chinese)
- 项玮 韩宝平 朱雪强. 2007. 岩溶含水层四氯化碳人体健康风险评价[J]. 农业环境科学学报, 26(5): 1702-1706
- Xiang W, Han B P, Zhu X Q. 2007. Health-based risk assessment of carbon tetrachloride to human in Karst aquifer [J]. Journal of Agro-environment Science, 26(5): 1702-1706(in Chinese)
- 项玮 韩宝平 李超. 2009. 某水源地四氯化碳人体健康风险评价动态分析[J]. 环境科学与技术, 32(2): 175-178
- Xiang W, Han B P, Li C. 2009. Dynamic analysis of health risk assessment of carbon tetrachloride in a groundwater supply source [J]. Environmental Science & Technology, 32(2): 175-178(in Chinese)
- 张厚坚 王兴润 陈春云 等. 2010. 典型铬渣污染场地健康风险评价及修复指导限值[J]. 环境科学学报, 30(7): 1445-1450
- Zhang H J, Wang X R, Chen C Y, *et al.* 2010. The health risk assessment and remediation guide limit value of typical chromium slag contaminated sites [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 30(7): 1445-1450(in Chinese)
- 中华人民共和国国家统计局. 2008. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社
- National bureau of the People's Republic of China. 2008. China Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistical Publishing House(in Chinese)