

河北省滹沱河冲积平原地下水质量及污染特征研究

李亚松^{1,2)}, 张兆吉¹⁾, 费宇红^{1,2)}, 钱永^{1,2)},
王昭¹⁾, 陈京生¹⁾, 张凤娥¹⁾

1)中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061;

2)河北省地下水污染机理与修复重点实验室, 河北石家庄 050061

摘要: 地下水是河北省滹沱河冲积平原主要工农业及生活用水水源, 地下水质量状况直接影响到区内居民的日常生活。为阐明人类活动影响下该区地下水质量状况, 本次研究共采集了 482 组地下水样品进行测试分析, 测试指标包含了无机常规指标以及挥发、半挥发性有机指标, 共 64 项。利用改进的模糊数学综合评价法, 评价结果显示: 超 III 类水样点占到总取样点的 21.5%, 主要分布在工业聚集区和排污河流两侧, 且冲洪积扇轴部水质明显劣于中部和扇缘地带。影响地下水质量的主要为常规无机组分, 如溶解性总固体、总硬度、铁、锰、硝酸盐氮等, 有机组分超标点较少, 检出率较高的组分为三氯甲烷、四氯化碳、四氯乙烯和邻二氯苯等, 利用 EPI Suite 软件计算可知高检出组分 GUS 值均较高, 有较高的一致性。对地下水化学指标检出和超标因素进行分析, 得出原生水文地质环境和人类活动影响是造成毒性金属、三氮、有机检出和超标的重要因素。

关键词: 水文地质; 地下水; 模糊数学; 质量评价; 滹沱河平原; 污染因素

中图分类号: X523; X824 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2014.02.07

Groundwater Quality and Contamination Characteristics in the Hutuo River Plain Area, Hebei Province

LI Ya-song^{1,2)}, ZHANG Zhao-ji¹⁾, FEI Yu-hong^{1,2)}, QIAN Yong^{1,2)},
WANG Zhao¹⁾, CHEN Jing-sheng¹⁾, ZHANG Feng-e¹⁾

1) *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050061;*

2) *Hebei Key Laboratory of Groundwater Remediation, Shijiazhuang, Hebei 050061*

Abstract: As the main industrial, agricultural, and drinking water source in the Hutuo River alluvial plain area, Hebei Province, the groundwater has a direct bearing on the residents' daily life. In order to investigate the groundwater quality under the influence of human activities in this area, the authors collected 482 groundwater samples for tests and analyses. The evaluation using the improved fuzzy mathematics evaluation method shows that the samples whose quality exceeds grade III account for 21.5% of the total samples, and they are mainly distributed in the industry concentration area and on both sides of the sewage disposal river. Furthermore, the water quality in the alluvial-proluvial fan axle area is even worse than that in the middle and rim areas. The factors that mainly affect the water quality are the inorganic matters such as the total dissolved solid, total hardness, iron, manganese, and nitrate nitrogen. The organic matters with high detection rate include chloroform, carbon tetrachloride, carbon dichloride, ortho-dichlorobenzene etc. Computation with EPI Suite software shows that the GUS value of the component with high detection rate is comparatively high and the value has high consistency. Based on an analysis of the chemical component detection and the exceeding-standard factors of the groundwater, the authors found that the primary hydrogeological environment and the effects of the human

本文由国家 973 项目(编号: 2010CB428804)和中国地质调查局国土资源大调查项目(编号: 1212010634600)联合资助。

收稿日期: 2013-10-22; 改回日期: 2014-01-26。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 李亚松, 男, 1983 年生。助理研究员, 博士研究生。主要从事区域地下水污染方面的研究。通讯地址: 050061, 河北省石家庄市新华区中华北大街 268 号。电话: 0311-67598550。E-mail: liyasong712@126.com。

activities are the important factors leading to the detection and exceeding-standard phenomenon of the toxic metals, trichlorine, and organic matters.

Key words: hydrogeology; groundwater; fuzzy mathematics; quality evaluation; Hutuo River plain; pollution factor

地下水不仅是供给我们日常用水的主要来源,同时也是复杂的生态环境系统中敏感的组成因子之一,地下水的变化往往会影响生态环境系统的天然平衡状态。地下水对于北方地区有着至关重要的作用,如京津唐地区地下水对总供水的贡献率可达62%(聂振龙等, 2011),地下水一旦遭到污染,将会对人体健康造成直接或间接的危害(王晓燕等, 2002)。人类活动增强、降水量减少均可导致浅层地下水补给减少(王金哲等, 2010),水资源的质量优劣就尤为重要。

早期的地下水污染主要来源于常规组分、病原微生物和毒性重金属,但是近30年以来,伴随着工业的迅猛发展和大量有机试剂和产品的使用,水体有毒有机物污染成为了新的研究热点(蒋金花, 2003),地下水中的有机污染物对人体健康产生了不同程度的危害(石建省等, 2000; 李政红等, 2010; 高存荣等, 2011)。目前,全世界已经在水体中测定出2221种有机化学污染物,我国地下水中的单环芳烃、卤代烃和有机氯农药污染已有所显露(郭秀红等, 2006),有机污染所带来的危害不容忽视。

滹沱河平原地区地下水资源研究较为深入,早在“六五”国家重点科技攻关项目第38项“华北地区水资源评价和开发利用研究”中,就对区域地下水质量状况进行了评价,并计算了相关参数,但是仅限于常规无机组分。大规模的地下水样品采集和测试分析工作,尤其是有机组分研究尚属空白。滹沱河平原地处华北平原西部(图1),处于山前补给区的第一个过流区,其地下水质量状况对于整个华北平原中部地区有着至关重要的意义。因此滹沱河

冲积平原地下水污染调查评价示范工作的开展对于该区地下水质量和污染研究有重要的理论价值和现实意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

研究区属于典型的山前冲洪积平原,地势西北高,东南低,属于暖温带半湿润半干旱大陆型季风气候区,多年平均气温13.3℃,降雨量年内和年际变化不均,多集中在6—8月份,多年平均降雨量为531.4 mm。

研究区东部与北北东走向的河道带冲积平原相接,北部和南部为冲积扇两翼,含水层发育渐差,呈扇间洼地相堆积,第四系松散堆积物厚度由山前的200 m增至东部的600 m。含水层岩性西部多为厚层砂砾石,部分为砾卵石,向东逐渐变细,以中粗砂为主。在东部及扇缘交错地带,中细砂及粉细砂分布较多,部分地带则以中细砂及粉细砂为主。地下水总体流向是西北向东南流,地下水主要补给方式为大气降水、河渠水入渗和灌溉回归等,主要排泄方式为人工开采。

自20世纪80年代以来,农业生产的发展、人口的增长以及工矿企业不断增多,对水资源的需求量越来越大,随着人口增长地下水开采量逐年加大,地下水水位埋深随之逐年降低(图2),地下水的持续过量开采已经在局部地区形成了水位降落漏斗,地下水位不断下降引发了一系列的环境地质问题,其中代表性的是水质变差、地面沉降等等(毕二平等, 2001)。由于工厂大都建立在透水性好,水量充足的河流两岸,且河床多为砂性土,大量工业及生活废水通过无防渗的沟渠排入河流,使得污染物随水连续渗漏,以直接或间接的方式进入地下含水层,造成地下水,特别是浅层地下水的污染,对安全和可持续供水带来了威胁。

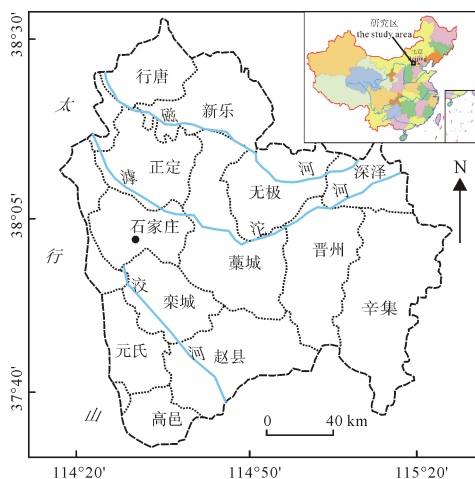


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of the study area

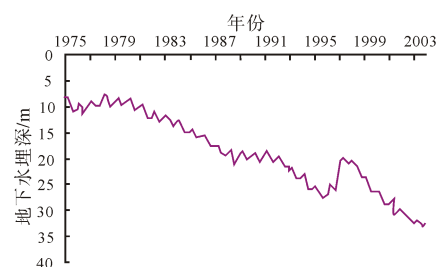


图2 正定县南牛村地下水动态

Fig. 2 Dynamic variation of groundwater in Nanni Village, Zhengding County

1.2 地下水样品采集与测试

本次工作在研究区内按照 3~4 组/km² 的采样要求(中国地质调查局, 2008), 共采集地下水样品 482 组, 其中浅层地下水 378 组, 深层地下水 104 组(图 3), 采样、送样和测试过程均经过了严格的质量控制。取样设备为自行研制的井口取样器, 材质为钢制管材与聚四氟乙烯软管, 取样前清洗井孔, 利用 WTW-Muti340i 现场测试水样的电导率、水温、pH 等, 待各项指标稳定之后再采集样品。采样时调整采样支路阀门使采样支管出水流速为 0.2~0.5 L/min, 样品采集完毕后放置于恒温 4℃ 的冷藏箱中低温保存, 并于 4 日内送至国土资源部地下水矿泉水及环境监测中心进行测试分析。参照相关规范, 测试指标为 64 项, 有机指标和无机指标分别为 37 项和 27 项。

2 结果与分析

2.1 地下水质量状况分析

根据地下水污染调查评价相关规范和评价标

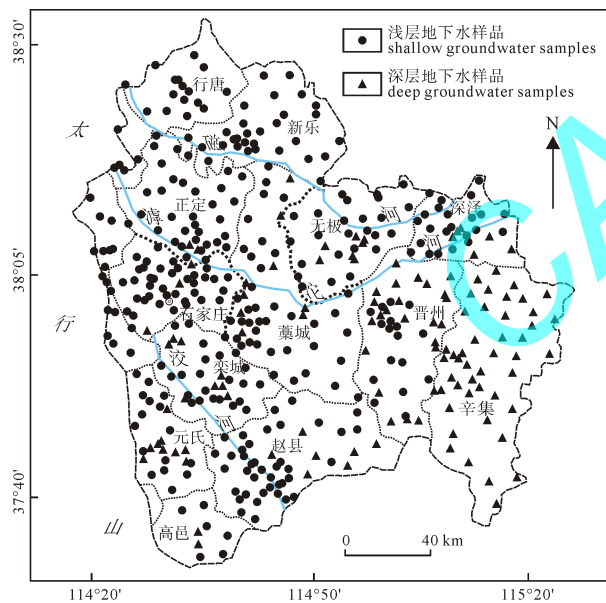


图 3 研究区地下水样品采集点分布图

Fig. 3 Distribution of groundwater samples in the study area

准, 选择 52 项指标参与综合评价, 参评指标见表 1。地下水质量评价方法是地下水质量评价的重要工具, 选取的评价方法是否合理也是地下水水质评价结果客观与否的关键。随着科学技术的不断进步, 近几十年来, 国内外专家、学者进行了深入的探索, 提出了多种水质评价的方法和模型, 如综合指数法、模糊综合评价法、灰色聚类法等多种基于数学模型的方法(李立军等, 2014; Yusuf, 2007; Alexander, 2008), 并有学者对其进行了对比和评价, 发现其各有优缺点(李亚松等, 2011), 在痕量指标较多的情况下评价结果可能会失真, 或评价结果的物理意义难以明确, 部分学者还对评价方法进行了改进(李亚松等, 2009, 2012a; 王昭等, 2009)。本次研究采用基于改进的模糊数学综合评价法, 可以较为客观地分析地下水质量状况。

传统意义上的模糊数学评价法是依据模糊变换原理, 以隶属度来描述地下水水质的模糊界线, 各污染物的单项指标对各水质级别的隶属度所构成的矩阵, 即为模糊关系矩阵, 参照各指标的理化性质及毒理特征可以得出参评指标的权重矩阵, 采用取小取大、相乘取大、取小相加和相乘相加四种算子复合可以得出地下水质量综合评价的结果, 在参评指标较多, 尤其是重金属指标、有机指标等痕量指标参评的情况下, 相乘相加算子的评价结果相对较为客观(李亚松, 2009), 但是同时也存在弊端, 评价结果容易受常规指标中的超标指标控制, 影响了评价结果的走向, 比如若某些样品只有单项重金属或有机组分超标, 且浓度较低, 则有可能由于参评指标较多而导致部分样品最终评价结果为 II 类或 III 类水, 然而重金属组分和有机组分的毒性不容忽视, 此部分评价结果会对地下水资源的利用产生误导。为客观评价地下水质量, 引导民众有效利用地下水资源, 对评价方法进行改进, 主要是对评价结果进行修正, 将存在毒理指标超标且评价结果为 I-III 类样品评价结果调整为 IV 类, 修正后的评价结果则可以客观反映区域地下水质量状况。

表 1 评价指标体系

Table 1 System of evaluation indexes

| 分类 | 指标名称 | |
|-------------|--|--|
| | 有机指标(26 项) | 无机指标(26 项) |
| 常规指标(25 项) | 三氯甲烷、四氯化碳 | pH、铁、锰、铜、锌、铝、钠、氯化物、硫酸盐、总硬度、溶解性总固体、耗氧量、砷、镉、铬、铅、汞、硒、氟化物、硝酸根盐、亚硝酸盐、氨氮、碘化物 |
| 非常规指标(27 项) | 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、三溴甲烷、氯乙烯、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、氯苯、邻二氯苯、对二氯苯、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、总六六六、 γ -BHC(林丹)、总滴滴涕、六氯苯、苯并(a)芘 | 钡、钼、镍 |

由综合评价结果分布图(图 4)可以看出,超 III 类水点占到总取样点的 21.5%, 主要分布在以下几个地区: (1)石家庄市东南部。该区为老工业基地及其他工业聚集区, 如华北制药厂、石家庄市焦化厂、第三棉纺厂、第六棉纺厂等几个大型企业均集中分布在石太铁路以南区域, 成为影响该区域地下水质量的主要影响因素; (2)排污河道两侧区域。受上游水库截流的影响, 研究区内大多数河流常年断流, 形成“有河皆干、有水皆污”的状况, 磁河、木刀沟、滹沱河、洺河等河流均成为沿线企业的纳污渠, 河流侧渗对浅层地下水影响较大, 而且部分地区采用污水灌溉加大了影响范围; (3)地下水防污性能较差地区。滹沱河冲积平原西部位于冲洪积扇顶的轴部, 包气带基本以砂性土为主, 这种包气带结构和岩性, 有利于地下水的补给, 但是其防污性能也相对较差, 工厂排污、垃圾填埋场渗滤液入渗、污水沟渠渗漏等均可造成地下水中各组分含量异常。

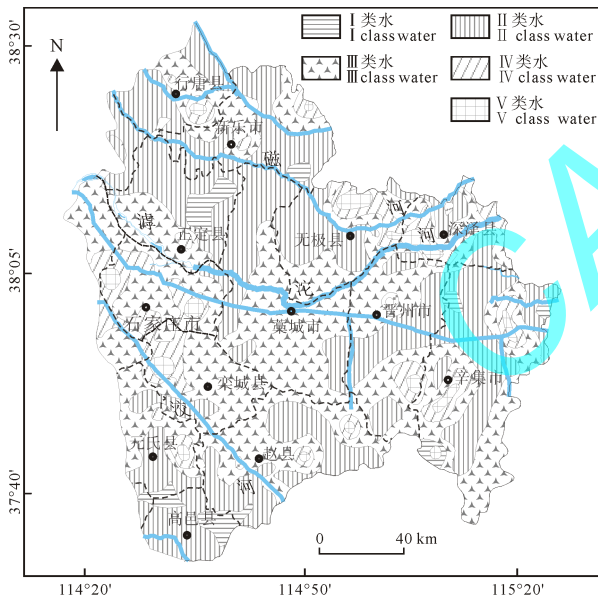


图 4 评价结果分布图
Fig. 4 Distribution of evaluation results

2.2 无机组分超标统计

无机组分中总硬度、铁、锰、碘化物、溶解性总固体、硫酸根离子和硝酸盐超标率相对较高(图 5), 其中铁和锰可能受天然环境影响所致, 总硬度和溶解性总固体则主要是由于人类活动影响所导致, 除去受地表垃圾场淋滤液渗漏及污水河流入渗影响外, 本区浅层地下水由于过量开采, 已经形成了地下水降落漏斗, 包气带厚度增大, 地下水过量开采引起水动力场和水文地球化学环境的改变、污染载体与包气带和含水围岩之间发生一系列的水文地球化学作用, 这些作用促使土壤及其下层沉积物中的钙镁易溶盐、难溶盐及交换性钙镁由固相向水中转移, 从而使得地下水硬度和溶解性总固体含量增加。

研究区三氮污染主要发生在浅层地下水中, 主要污染形式为硝酸盐氮, 超标率偏高, 超标点多集中在滹沱河冲洪积扇顶轴部, 包气带岩性基本以砂性土为主, 属于防污性能较差区域, 工厂排污、农业氮肥施用、生活垃圾填埋等均可造成地下水中三氮组分含量过高。浅层地下水个别点显示亚硝酸盐氮超标, 可判定有新近污染组分的排入。

本区毒性重金属指标中铅和六价铬检出率较高, 分别为 65.07%和 14.35%, 仅有个别点超标, 砷、镉和汞则在区域内几乎未检出, 毒性重金属的检出受垃圾填埋场分布、工厂排污等影响较大。

2.3 有机组分检出统计

区内检出的有机组分种类为 22 种, 检出率较高的为三氯甲烷、四氯乙烯和四氯化碳等卤代烃组分和邻二氯苯(图 6), 三氯甲烷检出率达 13.13%, 四氯乙烯和四氯化碳相对较低, 分别为 2.71%和 2.29%(表 2), 其他组分如三氯乙烯、1,2-二氯乙烷和邻二氯苯等则有零星检出, 检出率均在 1.5%左右。半挥发组分总体检出较少, 5 组水样总六六六检出, 1 组水样总滴滴涕检出。浅层水有机组分检出种类和检出数量均高于深层井, 浅层地下水主要检出

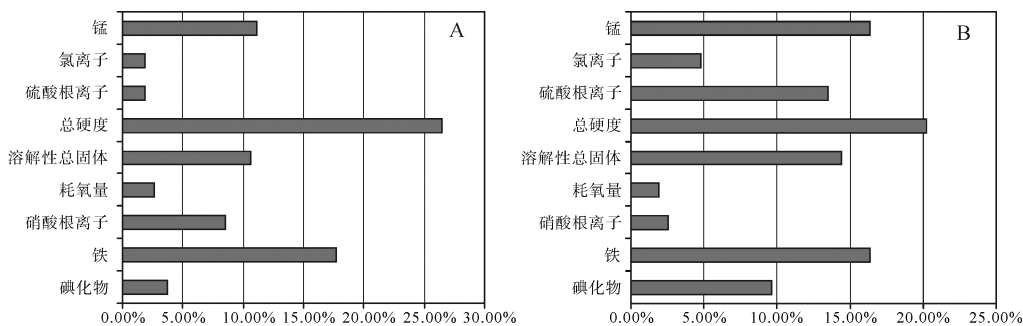


图 5 无机组分超标率对比图
Fig. 5 Comparison of exceeding-standard rates for inorganic components
A-浅层地下水; B-深层地下水
A-shallow groundwater samples; B-deep groundwater samples

组分为三氯甲烷、四氯乙烯、四氯化碳和 1,1,2-三氯乙烷, 深层地下水中四氯乙烯无检出, 其他组分检出率相对浅层水也较小。纵观全区, 有机污染主要以卤代烃和氯代苯类为主, 苯系物、单环芳烃和多环芳烃则检出相对较少或无检出迹象。

研究区有机污染组分可排除来自天然环境的可能, 主要来自于人类活动的影响, 绝大多数地下水有机污染异常区域均位于工业区或排污河流附近。至于为什么主要污染类型为卤代烃和氯代苯类, 利用有机污染组分污染指数(GUS)对比则可做出解答。GUS(groundwater ubiquity score)被认为是用来描述化学物质淋溶迁移性的最适用指数(Guzzella et al., 2006), 已经得到了国内外较多学者的使用(Primi et al., 1994; 王昭, 2008; 李亚松等, 2012b)。

$$\text{GUS} = \log \text{DT}_{50} \times (4 - \log K_{oc})$$

式中, DT_{50} 为有机物在土壤(或沉积物)中的半衰期(单位: 天), 表示有机物的持久性; K_{oc} 为土壤(或沉积物)有机碳吸附系数, 代表达到吸附平衡时有机物被土壤或沉积物中有机碳吸附的浓度与其水相浓度之比。

GUS 值代表了污染物的迁移性, GUS 值越高,

就代表了该组分的淋溶迁移性越强, 相对而言就越容易对地下水造成威胁。GUS 的数值主要分为 3 个区间, 分别为基本不淋溶迁移、过渡区间和高淋溶迁移性, 以 1.8 和 2.8 为分级界限。通过计算得出, 在地下水有机测试组分中, 三氯甲烷、四氯化碳、1,1,2-三氯乙烷、四氯乙烯、1,2-二氯乙烷和邻二氯苯六种组分的 GUS 值较高(表 3), 其中三氯甲烷在土壤中和沉积物中的 GUS 值分别为 4.71 和 6.31, 即为高淋溶迁移性组分, 同时大量的数据统计分析也可以得出三氯甲烷的检出率高达 14.02%, 这也为其在地下水中的高检出率提供了佐证。人类活动增多是导致有机物进入环境的主要因素, 但是有机物在地下水系统中的浓度在一定程度上是受其自身的理化性质影响和控制。

3 讨论

滹沱河冲积平原由于靠近山前补给区, 包气带颗粒相对较粗, 地下水循环更替速度快, 长期以来主要以浅层地下水作为主要供水水源, 水量丰富, 水质优良。但是随着城镇化进程加快以及工农业的迅速发展, 研究区地下水质量劣化较为明显, 地下

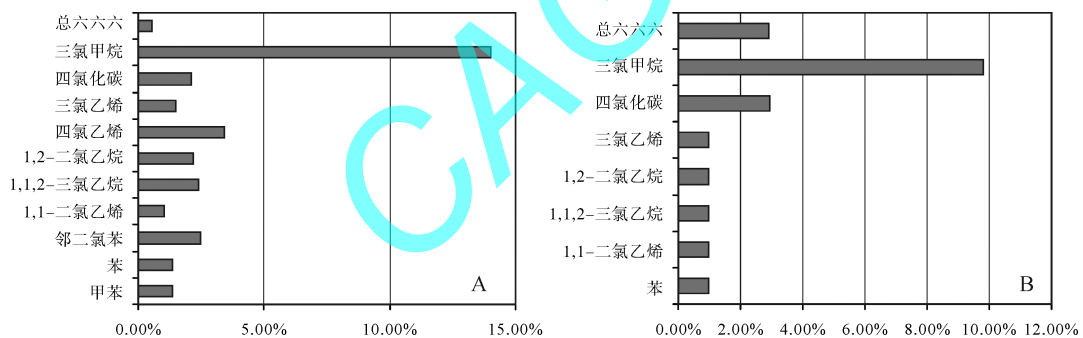


图 6 深层有机组分检出率对比图

Fig. 6 Comparison of detection rates with organic components in deep groundwater

A-浅层地下水; B-深层地下水

A-shallow groundwater samples; B-deep groundwater samples

表 2 研究区有机组分污染特征分析表

Table 2 Analyses of organic pollution characteristics

| 指标名称 | 检出限/($\mu\text{g/L}$) | 检出率/% | 平均检出浓度/($\mu\text{g/L}$) | III类水标准/($\mu\text{g/L}$) | 超标率/% | 平均超标浓度/($\mu\text{g/L}$) |
|------------|-------------------------|-------|----------------------------|-----------------------------|-------|----------------------------|
| 三氯甲烷 | 0.5 | 14.02 | 2.96 | 60 | 0 | 0 |
| 四氯乙烯 | 0.5 | 3.44 | 2.29 | 40 | 0 | 0 |
| 邻二氯苯 | 0.5 | 2.38 | 2.92 | 1000 | 0 | 0 |
| 1,1,2-三氯乙烷 | 0.5 | 2.38 | 13.20 | 5 | 0.26 | 109.6 |
| 1,2-二氯乙烷 | 0.5 | 2.12 | 1.00 | 30 | 0 | 0 |
| 四氯化碳 | 0.5 | 2.12 | 7.91 | 2 | 0.53 | 28.2 |

表 3 有机组分在土壤和沉积物中的污染指数

Table 3 Pollution indexes of halogenated hydrocarbons in soils and sediments

| 污染组分 | 三氯甲烷 | 四氯化碳 | 1,1,2-三氯乙烷 | 四氯乙烯 | 1,2-二氯乙烷 | 邻二氯苯 |
|------|------|------|------------|------|----------|------|
| 土壤 | 4.71 | 4.90 | 4.19 | 4.00 | 4.24 | 2.56 |
| 沉积物 | 6.31 | 6.41 | 5.61 | 5.29 | 5.78 | 3.45 |

水受到了不同程度的污染。地下水污染质的污染状况及分布是受何种因素影响,是需要讨论的关键。

3.1 原生水文地质环境,是大部分污染组分分布的主要控制因素

区域原生水文地质条件对污染组分的赋存和迁移有一定的制约作用。滹沱河冲洪积扇的顶部,包气带岩性较粗,渗透性好,如石家庄市区、新乐和栾城等地,地表污染物极易进入地下含水层,三氮超标点集中,有机组分检出点较多,且检出项数也相对明显较多;位于冲洪积扇中部大部分地区,如藁城和无极等,由于表层岩性颗粒变细,粘性土夹层增多,渗透性降低,因而垂向污染减小,无机超标点仅在城镇区及排污河流两侧出现,并仅有个别点检出有机组分;而位于冲洪积扇前缘的深泽、辛集等地,由于包气带岩性主要以粘土为主,垂向渗透性非常小,因而防护性能较好,地表污染物难于进入含水层,而且侧向污染物经过过渡带的截留和吸附,到达扇缘部分浓度已经非常小,且绝大部分样品未检出有机组分。

3.2 人类活动加剧,是造成毒性重金属、三氮、有机物检出、超标的重要因素

滹沱河平原自 20 世纪 70 年代末期以来,社会经济发展迅速,城市化进程加快,城市规模逐渐扩大,人口不断膨胀。随着人类活动的加剧,石油类污染,城市垃圾和生产生活污水的不合理处置以及农业生产农药、化肥的大量使用,同时环境保护立法、管理等方面相对滞后,导致地下水污染状况日趋加重。纵观地下水水质劣质地区,均为人口集中、工业密集、人类活动频繁的地区,可以说人类活动强度和地下水质量优劣有着直接的关系。

3.2.1 地表水体污染严重,直接威胁地下水质量

研究区内大部分河流为季节性河流,并且受到上游修建水利工程和气候趋于干旱的影响,绝大部分河流常年干涸,仅靠近山前地区河流在汛期有短时间过流,冲洪积扇扇缘地区河流大多成为沿线城镇及工矿企业的纳污渠。大部分的工业废水都就近排入了排污渠,城市生活污水则由下水道进入了排污渠,大部分河流污染较为严重,依据河北平原 62 个河流水质监测断面测试数据显示,有 48 个断面地表水达到了 V 类标准,占 77.42%, III 类地表水仅有 8 个断面,仅占 12.90%。研究区内多条河流污染严重,如滹沱河、洺河、磁河、木刀沟等,河水中除常规离子浓度偏高,毒性重金属部分存在超标现象以外,绝大多数地表水样品均检测出苯、乙苯、甲苯、二甲苯、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、三氯甲烷、苯并(a)芘等有机污染组分,甚至存在超标现象。河水中的污染质通过渗滤进入地下,对浅层地下水

水质带来直接的威胁。

3.2.2 悠久污水灌溉,对土壤、地下水造成极大的影响

石家庄市污水灌溉区位于东明渠和洺河两岸,年排放的污水量为 3.04 亿立方米,灌溉总面积 438.8 km²,主要为工业废水和生活污水,污染物为氯化物、COD_{Mn}、BOD₅、SS、硫化物等。栾城、元氏和赵县等位于污水河两岸的农田,常年引污水灌溉农田,导致土壤肥力下降、农作物减产,对浅层地下水造成的危害更是无法估量。

3.2.3 工业、生活污水处理率低,在城乡结合部大量排放,对土壤、地下水产生点状、线状污染

滹沱河冲洪积扇全区零散分布有 800 多家企业,工业、生活污水处理率低,无序排放,野外调查发现部分乡镇企业产生的污水,未加处理通过偷排、漏排向地下、地表排放,造成河流、土壤、地下水呈点状、线状污染。

3.2.4 工业区、生活垃圾场对土壤、地下水造成严重的点状污染

生活垃圾广泛分布,城市的生活垃圾、废塑料、废纸、金属、煤灰等等,含有较多硫酸盐、氯化物、氨混杂物和腐败的有机质,这些废物在生物降解和雨水淋滤的作用下,产生 Cl⁻、SO₄²⁻、NH₄⁺、COD、Mn 和悬浮固体含量高的淋滤液,这些垃圾的随意堆放,大多数没有采取防渗措施,最终以污水形式补给并污染地下水。

3.2.5 农业过量使用化肥、农药,对区域土壤、地下水质量产生直接影响

滹沱河平原年施用化肥总量约为 170 万吨(实物量),农药总量约为 1.3×10⁴ 万吨。过量施用化肥和农药,在降水或灌溉过程中,通过农田地表径流、排水和地下渗漏,使其大量进入土壤和地下水所造成污染,化肥、农药进入水体后在水流的作用下稀释扩散,污染范围逐渐扩大,造成大面积的水体污染,会对地下水质量构成重大威胁。

4 结论

通过对研究区地下水质量以及防污性能研究,可以得出以下结论:

1)水质评价结果显示超 III 类水样点占总取样点的 21.5%,主要位于工业集散地以及排污河流沿线,此外区域水文地质条件对于地下水质量也造成一定的影响,冲洪积扇轴部水质要明显劣于中部以及扇缘地带;

2)研究区地下水无机组分超标率较高的为总硬度、铁、锰、碘化物、溶解性总固体、硫酸根离子和硝酸盐,有机组分检出率较高的为三氯甲烷、四

氯乙烯和四氯化碳等卤代烃组分和邻二氯苯, 高检出率组分污染指数值均较高, 有较好的一致性;

3)通过地下水化学指标检出与超标因素分析, 得出原生水文地质环境和人类活动影响是造成毒性金属、三氮、有机检出和超标的重要因素, 地表水体污染、污水灌溉、垃圾堆放和农业中过量施用化肥、农药均是导致地下水中污染组分异常的根源。

参考文献:

- 毕二平, 母海东, 陈宗宇, 王昭. 2001. 人类活动对河北平原地下水水质演化的影响[J]. 地球学报, 22(4): 365-368.
- 高存荣, 王俊桃. 2011. 我国 69 个城市地下水有机污染特征研究[J]. 地球学报, 32(5): 581-591.
- 郭秀红, 陈玺, 黄冠星, 孙继朝, 刘景涛, 汪珊, 荆继红, 支兵发, 陈慧川, 杜海燕, 何俊美, 梁向阳, 刘昱. 2006. 珠江三角洲地区浅层地下水中有机关氯农药的污染特征[J]. 环境化学, 25(6): 798-799.
- 蒋金花. 2003. 水体有机污染物对人体健康的影响[J]. 国外医学卫生学分册, 30(6): 321-325.
- 李立军, 马力, 张晶, 赵彦宁, 陈初雨, 王怀远, 宇庆华, 孙春. 2014. 吉林省松原市地下水污染评价及污染因素分析[J]. 地球学报, 35(2): 156-162.
- 李亚松, 张兆吉, 费宇红, 钱永, 孟素花, 郭春艳. 2012a. 改进的灰色聚类法在地下水质量评价中的应用[J]. 水资源保护, 28(5): 25-28.
- 李亚松, 张兆吉, 费宇红, 钱永. 2011. 地下水质量综合评价方法优选与分析——以滹沱河冲积扇为例[J]. 水文地质工程地质, 38(1): 6-10.
- 李亚松, 张兆吉, 费宇红, 王昭, 陈京生, 张凤娥, 钱永. 2012b. 滹沱河冲积平原浅层地下水有机污染研究[J]. 干旱区资源与环境, 26(8): 52-56.
- 李亚松, 张兆吉, 费宇红, 王昭. 2009. 内梅罗指数评价法的修正及其应用[J]. 水资源保护, 25(6): 48-50.
- 李亚松. 2009. 地下水质量综合评价方法研究[D]. 北京: 中国地质科学院: 42-47.
- 李政红, 张胜, 毕二平, 于娟, 王文中, 马丽莎, 马琳娜, 何泽, 张翼龙. 2010. 某储油库地下水有机污染健康风险评估[J]. 地球学报, 31(2): 258-262.
- 聂振龙, 陈江, 王金哲, 严明疆, 田言亮. 2011. 地下水在京津唐区域社会经济发展中的作用[J]. 干旱区资源与环境, 25(10): 75-79.
- 石建省, 张发旺, 秦毅苏, 李瑞敏, 叶浩, 刘祖植, 安立忠, 裴捍华, 郭振中, 赵云章, 王彦俊. 2000. 黄河流域地下水资源、主要环境地质问题及对策建议[J]. 地球学报, 21(2): 114-120.
- 王金哲, 张光辉, 母海东, 严明疆, 聂振龙, 王莹. 2010. 浅层地下水补给对人类活动影响的响应特征研究[J]. 地球学报, 31(4): 557-562.
- 王晓燕, 尚伟. 2002. 水体有毒有机污染物的危害及优先控制污染物[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 23(3): 73-78.

王昭, 石建省, 张兆吉, 费宇红, 李亚松, 张凤娥, 陈京生, 钱永. 2009. 关于饮用地下水水质评价标准的探讨——以华北平原地下水水质调查结果为例[J]. 地球学报, 30(5): 659-664.

王昭. 2008. 华北平原地下水质量评价及微量有机污染物淋溶迁移性研究[D]. 北京: 中国地质科学院.

中国地质调查局. 2008. 地下水污染调查评价规范[S/OL]. [2008-02-14]. <http://www.docin.com/p-75363392.html>.

References:

- ALEXANDER P. 2008. Evaluation of groundwater quality of Mubi town in Adamawa State, Nigeria[J]. African Journal of Biotechnology, 7(11): 1712-1715.
- BI Er-ping, MU Hai-dong, CHEN Zong-yu, WANG Zhao. 2001. Impacts of Human Activities on the Evolution of Groundwater Quality in Hebei Plain[J]. Acta Geoscientica Sinica, 7(13): 1780-1784(in Chinese with English Abstract).
- China Geological Survey. 2008. Specification for investigation and evaluation of groundwater pollution[S/OL]. [2008-02-14]. <http://www.docin.com/p-75363392.html>(in Chinese).
- GAO Cun-rong, WANG Jun-tao. 2011. Research on Groundwater Organic Contamination Characteristics in 69 Cities of China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(5): 581-591(in Chinese with English Abstract).
- GUO Xiu-hong, CHEN Xi, HUANG Guan-xing, SUN Ji-chao, LIU Jing-tao, WANG Shan, JING Ji-hong, ZHI Bing-fa, CHEN Hui-chuan, DU Hai-yan, HE Jun-mei, LIANG Xiang-yang, LIU Yi. 2006. Organo-chlorine pesticide pollution Characteristic of shallow groundwater in Pearl River delta[J]. Environmental Chemistry, 25(6): 798-799(in Chinese).
- GUZZELLA L, POZZONI F, GIULIANO G. 2006. Herbicide contamination of surficial groundwater in New Zealand[J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research. 38: 289-299.
- JIANG Jin-hua. 2003. Impacts of organic contamination campouts to human health[J]. Foreign Medical Sciences(Section of Hygiene), 30(6): 321-325(in Chinese).
- LI Li-jun, MA Li, ZHANG Jing, ZHAO Yan-ning, CHEN Chu-yu, WANG Huai-yuan, YU Qing-hua, SUN Chun. 2014. Groundwater Contamination Assessment and Analysis of Contamination Factors of Songyuan City in Jilin Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 35(2): 156-162(in Chinese with English Abstract).
- LI Ya-song, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, QIAN Yong, MENG Su-hua, GUO Chun-yan. 2012a. Application of an Improved Grey Clustering method to Groundwater Quality Evaluation[J]. Water Resource Protection, 28(5): 25-28(in Chinese with English Abstract).
- LI Ya-song, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, QIAN Yong. 2011. Optimal selection and analysis of groundwater quality evalua-

- tion methods: A case study in the Hutuo River alluvial pluvial fan[J]. *Hydrology & Engineering Geology*, 38(1): 6-10(in Chinese with English Abstract).
- LI Ya-song, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, WANG Zhao, CHEN Jing-sheng, ZHANG Feng-e, QIAN Yong. 2012b. Preliminary study on organic pollution of shallow groundwater in the alluvial plain of Hutuo River[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 26(8): 52-56(in Chinese with English Abstract).
- LI Ya-song, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, WANG Zhao. 2009. Improvement of Nemerow method and its application[J]. *Water Resource Protection*, 25(6): 48-50(in Chinese with English Abstract).
- LI Ya-song. 2009. Research on Comprehensive Evaluation Methods of Groundwater Quality—A case study in the Hutuo River alluvial pluvial fan[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences: 42-47(in Chinese with English Abstract).
- LI Zheng-hong, ZHANG Sheng, BI Er-ping, YU Juan, WANG Wen-zhong, MA Li-sha, MA Lin-na, HE Ze, ZHANG Yi-long. 2010. The Health Risk Assessment of Groundwater Organic Pollution at a Certain Oil Depot[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(2): 258-262 (in Chinese with English Abstract).
- NIE Zhen-long, CHEN Jiang, WANG Jin-zhe, YAN Ming-jiang, TIAN Yan-liang. 2011. Groundwater's role in regional economic and social development in the Beijing-Tianjin-Tangshan area[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 25(10): 75-79(in Chinese with English Abstract).
- PRIMI P, SURGAN M H, URBAN T. 1994. Leaching potential of turf care pesticides: A case study of Long Island Golf Courses[J]. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 14(3): 129-138.
- SHI Jian-sheng, ZHANG Fa-wang, QIN Yi-su, LI Rui-min, YE Hao, LIU Zu-zhi, AN Li-zhong, PEI Han-hua, Guo Zhen-zhong, ZHAO Yun-zhang, WANG Yan-jun. 2000. Groundwater Resources and Main Environment-Geological Problems in the Huanghe River Valley as well as Some Countermeasures[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 21(2): 114-120(in Chinese with English Abstract).
- WANG Jin-zhe, ZHANG Guang-hui, MU Hai-dong, YAN Ming-jiang, NIE Zhen-long, WANG Ying. 2010. The Shallow Groundwater Recharging Characteristics Responding to Human Activities[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(4):557-562 (in Chinese with English Abstract).
- WANG Xiao-yan, SHANG Wei. 2002. The harm of organic micro-pollutant on water body and priority pollutants[J]. *Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition)*, 23(3): 73-78(in Chinese with English Abstract).
- WANG Zhao, SHI Jian-sheng, ZHANG Zhao-ji, FEI Yu-hong, LI Ya-song, ZHANG Feng-e, CHEN Jing-sheng, QIAN Yong. 2009. A Tentative Discussion on the Assessment Standards of Groundwater Quality: A case Study of the Groundwater Quality in the North China Plain[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(5): 659-664(in Chinese with English Abstract).
- WANG Zhao. 2008. Groundwater Quality Assessment and Leachability of Investigated Organic Contaminants in the North China Plain[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences(in Chinese with English Abstract).
- YUSUF K A. 2007. Evaluation of Groundwater Quality Characteristics in Lagos-City[J]. *Journal of Applied Sciences*, 7(13): 1780-1784.