

山东省汶泗河冲洪积平原地下水 污染评价与安全供水对策*

徐建国,朱恒华,徐华,张卓,祁晓凡

(山东省地质调查院,山东 济南 250013)

摘要:在对汶泗河冲洪积平原水文地质条件和污染源现状进行阐述的基础上,对不同含水岩组无机组分指标进行了分析,表明浅层孔隙水和部分地区岩溶裂隙水无机组分含量大幅增高,深层孔隙水无机物含量则变化不大。在有机污染方面,浅层孔隙水有机物检出率26.8%,但含量很低,远未达到饮用水标准限值;岩溶裂隙水有机物检出率46.7%,检出率相对较高,局部地段有机物超标;深层孔隙水有机物基本未检出。该区地下水污染评价结果表明,浅层孔隙水和岩溶裂隙水无机污染呈面状污染特征,且污染程度较重,而有机污染则呈现点状污染特征,且污染程度总体较轻。对研究区地下水污染现状,提出了地下水安全供水对策。

关键词:冲洪积平原;地下水污染;污染评价;供水对策;汶泗河;山东省

中图分类号:X523

文献标识码:A

0 引言

汶泗河冲洪积平原是由多个大小不同的冲洪积扇组成的山前倾斜平原,是山东省规模最大的冲洪积扇群,总面积约5 750 km²。该区煤矿资源丰富,采煤、电力是该区经济的支柱产业,煤化工、机械、造纸、纺织等传统行业也具有一定规模。平原区南部的济宁市区、兖州市、邹城市、曲阜市构成济宁—曲阜都市区,目前已发展成为鲁西南地区工业、经济、文化综合性核心地区。

汶泗河冲洪积平原是山东省地下水资源最丰富的地区,可开采资源总量达13.4亿m³/a,可开采模数23.3万m³/a·km²。区内工业和居民饮用水源全部为地下水,除沿河、沿湖地区外,农灌溉水也全部取自地下水,地下水现状开采总量达11.7亿m³/a。优质的地下水是宝贵的资源,近些年随着该区工农业经济的快速发展,城市化进程的加快,地下水污染问题越来越突出,地下水水质有逐渐恶化的趋势,对研究区地下水资源可持续开发利用构成了较大威胁。

1 水文地质特征

研究区第四系、新近系松散地层厚度由冲洪积扇顶部向前缘地带增大,最大厚度达277 m。除山前地带外,垂向上一一般在埋深40~60 m处发育有相对稳定的粘土层,厚度一般5~20 m,具弱透水性,使其下部含水层具有承压性。据此以埋深40~60 m将松散孔隙含水层组分为浅层和深层孔隙含水层组。

浅层孔隙含水层组广泛分布于全区,在冲洪积扇的轴部和顶部颗粒粗,厚度大,富水性好,单位涌水量一般大于500 m³/d·m,并在郭仓—汶上、泗店—小孟—新驿、黄屯等地形成单位涌水量大于1 000 m³/d·m较强富水区。冲洪积扇扇缘和其他冲洪积、冲积平原地带富水性较差,单位涌水量一般在100~500 m³/d·m之间。浅层地下水位埋深一般2~6 m,在宁阳—兖州间和济宁市区附近地段埋深6~14 m。

深层孔隙含水层组分布于冲洪积平原中部,分布面积约2 300 km²,底板埋深在100~300 m之间,

* 收稿日期:2010-12-01;修订日期:2011-01-16;编辑:陶卫卫

作者简介:徐建国(1965—),男,山东微山人,高级工程师,主要从事水工环地质调查工作;E-mail:xjg_2008@yahooh.com.cn。

岩性多为中砂、粗砂或砾石,在冲洪积扇的轴部,砂层较多且连续性好,单位涌水量均大于 $500\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$,形成郭仓—汶上—辛店、兖州—柳行等较强富水区。冲洪积扇前缘及两侧地带含水砂层以中粗、细、粉砂为主,厚度较小,富水性相对较弱,单位涌水量一般 $100\sim 500\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 。

岩溶裂隙含水层呈块状分布于区内,除北部、东部局部地段出露外,其余皆隐伏于第四系、新近系或石炭系之下,分布面积 1478km^2 ,顶板埋深由山前向平原区增加,一般大于 100m 。在嘉祥凸起、郭里集单斜、兖西断块、曲阜断块、大汶口断块,岩溶含水层厚度大,富水区单位涌水量一般 $500\sim 1000\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 之间,局部地段大于 $1000\text{m}^3/\text{d}\cdot\text{m}$ 。

根据研究区不同含水层组空间结构,将全区划分为单层(浅层孔隙含水层、岩溶裂隙含水层)结构区、双层(浅层孔隙含水层—深层孔隙含水层、浅层孔隙含水层—岩溶裂隙含水层)结构区和三层(孔隙含水层—深层孔隙含水层—岩溶裂隙含水层)结构区(图1)。

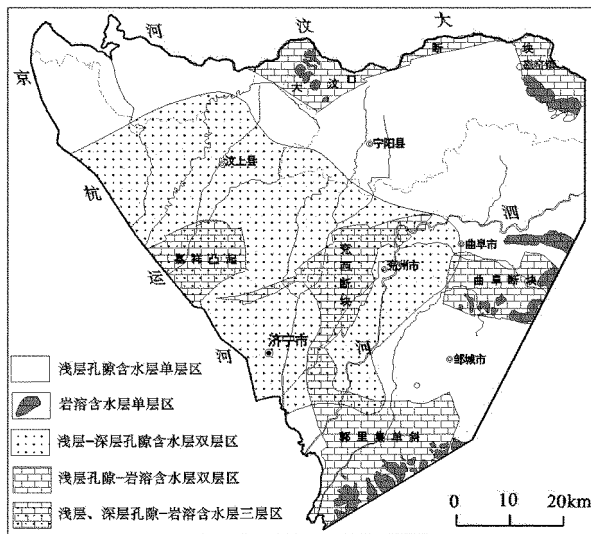


图1 研究区含水层组空间结构分区图

2 污染源概况

2.1 农业污染源

农业面状污染是地下水一种极为缓慢的污染形式,污染物暂存于土壤中,逐渐进入地下水,具有较强的隐蔽性,是造成大面积地下水污染的主要原因,主要是化肥、农药和污灌造成的。研究区近些年化肥、农药使用量呈逐年增长趋势,据统计,1988—

2008年化肥使用量年增长率 6.7% ;平均 $43.59\text{kg}/\text{亩}$;农药使用量年增长率 21.4% ,平均 $1.40\text{kg}/\text{亩}$ 。区内沿河、沿湖污灌现象较普遍,由于地表水污染严重,地表水污染物进入地下水。

农业点状污染主要指农村生活废弃物排放和畜禽养殖对地下水的污染。由于农村生活污染物未经处理,大量的农村生活污水、粪便通过渗井与化粪池渗入地下。由于绝大多数养殖场没有粪便、污水处理设施,畜禽粪便大多露天堆放,严重污染地下水,据估算,研究区人畜禽污染物排放使每公顷耕地进入地下水的总氮量达到 11.5kg ,成为地下水硝酸盐污染的主要来源。

2.2 城市生活及工业污染源

研究区城市工业、生活废水排放量较大,大部分工业及生活污水未经处理即排入河流,主要的污染企业包括造纸厂、农药厂、化工厂、热电厂、食品厂等。区内煤矿资源丰富,煤矿开采形成的废水大都直排入河流。以兖州煤田为例,矿坑水外排量达到 $1200\text{万}\text{m}^3/\text{a}$,主要排放去向为白马河、泗河、塌陷坑;煤炭开采和洗选过程中排出的固体废弃物煤矸石,大部分都是专场露天堆存,其淋滤液对环境造成污染。

3 地下水无机污染特征

3.1 孔隙地下水无机污染

汶泗河冲洪积平原地下水径流排泄条件良好,天然状况下浅层孔隙水化学类型主要为重碳酸盐型水,其次为重碳酸氯化物型水,扇缘地带一般为氯化物重碳酸型水,地下水水质优良,适宜饮用。据1980年左右水质分析资料,研究区浅层孔隙水矿化度、总硬度、硫酸根离子、氯离子含量均较低。随着区内国民经济的发展,居民生活污染、农业污染、工业污染强度的逐渐加大,地下水水质不断恶化。表现为浅层孔隙水无机物含量均大幅增加(表1),一般增加 $2\sim 3$ 倍,部分无机指标超标严重。在所有的无机组分指标中,超标最严重的是总硬度、硝酸盐和矿化度,超标率分别达到 67.9% , 59.4% , 46.6% ,其他无机组分超标率较低(图2)。

3.2 岩溶裂隙水无机污染

由于灰岩裸露—半裸露区和灰岩浅埋区岩溶含水层防污性能较差,研究区岩溶地下水污染较重,部

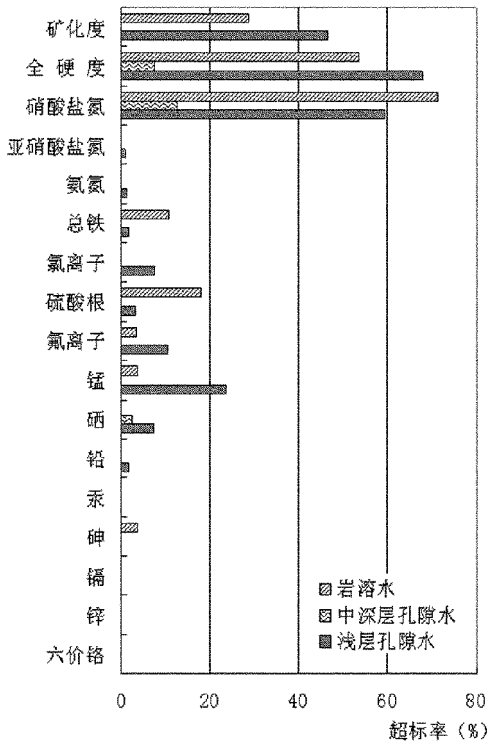


图 2 地下水无机指标超标率图

表 1 浅层孔隙水无机指标变化统计

时间	项目	Cl	SO ₄ ²⁻	硝酸盐	总硬度	矿化度
1980 年	均值	31.2	36.6	—	230.4	473.1
	区间	3~469	3~414	—	49.3~754	173~1519
现状	均值	127.6	119.9	119.7	602.8	1092.3
	区间	9~654	5~641	0~564	187~2210	414~3110

分指标大幅增高,超标组分主要有硝酸盐、总硬度和矿化度,超标率分别达到 71.4%、53.6%、28.6%。

相对浅层孔隙水,中深层孔隙水水质优良,由于埋藏较深,地下水不易污染,近 30 年除部分地段深层孔隙水总硬度、硝酸盐含量略有增高外,其他指标变化不大。在所有无机指标中仅硝酸盐和总硬度存在超标现象,超标率分别为 12.7%、7.7%。

由于水文地质条件差异,不同岩溶断块、同一断块内不同地段地下水污染程度有差别,兖西断块岩溶含水层埋深较大,各项无机组分含量较低,未见超标,说明该断块岩溶水水质优良,未受污染。

曲阜断块灰岩埋深 0~110 m,硝酸盐含量略偏高,其他未见超标,说明因第四系厚度较小,且靠近

补给区,岩溶水已被污染,但目前水质较好。郭里集单斜灰岩埋深 0~120 m,由南部裸露区向北部深埋区岩溶水污染程度减轻,靠近裸露区硝酸盐超标严重。大汶口断块灰岩埋深较小,特别是大汶河部分河段河床灰岩裸露,岩溶水与河水水力联系密切,由于大汶河污染严重,造成该断块岩溶水污染,各项无机组分超标严重,SO₄²⁻、NO₃⁻、总硬度、矿化度超标率分别为 33%、100%、78%、67%。嘉祥凸起在研究区内灰岩埋深 75~170 m,总硬度超标率 100%,SO₄²⁻ 局部地段超标,“三氮”含量很低,说明岩溶水基本上未受人为污染,矿化度、总硬度偏高原因与该断块岩溶水径流条件较差,原生水化学条件较差有关。

4 地下水有机污染特征

采集有机物测试水样 172 组,有机物测试项目共 89 项,其中卤代烃类 28 项、单环芳烃类 14 项、多环芳烃类 14 项、氯代苯类 9 项、有机氯农药类 24 项。从总体检出情况看,多环芳烃类检出率最高,其次为有机物农药类,检出率最高的有机污染物为芘,检出率达 18.7% (图 3)。

检出率 (%)

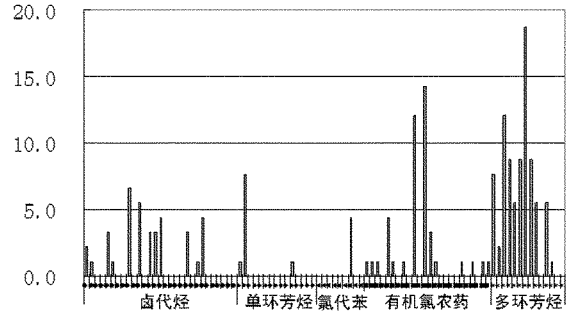


图 3 地下水有机物检出情况图

4.1 孔隙地下水有机污染特征

浅层孔隙水共采集有机物测试样品 97 组,其中 26 组检出有机污染物,检出率 26.8%,说明浅层孔隙水已受有机物污染。在 26 组有机物检出样品中,仅 1 组出现有机物超标现象,超标指标为多环芳烃,总量为 6.45 μg/L,其他检出的有机物含量很低,远未达到饮用水标准限值。从有机污染物检出区域分布看,城区附近及重要的污染河流两侧检出率较高。检出率最高的有机污染物为芘,达 11.4%,其次为七氯检出率 7.6%,总滴滴涕和茚检出率 6.6%,这说明区内浅层孔隙水有机污染以多环芳烃

类和有机氯农药类为主。

中深层孔隙水共采集有机物测试样品19组,仅2组样品分别检出4项、5项有机物,检出有机物类别为多环芳烃类和有机氯农药类,其他16组样品均未检出有机污染物,表明中深层孔隙水因埋深较大,基本未受有机物污染。

4.2 岩溶地下水有机污染特征

岩溶地下水共采集有机污染物测试样30组,有14组检出有机污染物,有机物检出率46.7%。存在有机物超标现象的3眼采样井均分布于宁阳县磁窑某农药化工区附近,超标项目为四氯化碳、1,1,2-三氯乙烷,其中的HL441水源井检出有机污染物15项,四氯化碳超标1.5倍,1,1,2-三氯乙烷超标6倍,这说明农药厂已造成附近岩溶地下水严重污染。从全区来看,检出有机污染物的岩溶水样多分布于大汶口断块,该断块岩溶水与大汶河水力联系较密切,由于大汶河受上游地区企业排污影响,有机污染严重。其他4个岩溶断块除个别样品检出有机污染外,绝大部分未检出。

5 地下水污染评价

5.1 无机污染评价

5.1.1 评价方法

(1) 评价指标与背景值确定

选取 Cl^- , SO_4^{2-} , 总硬度, 矿化度, NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , 酚, 氰, As, Hg, Cr^{6+} , Cu, Pb, Cd, Zn 共16项, 作为该次污染评价指标。

地下水污染起始值通常采用地下水背景值, 背景值原则上采用地下水未受到或很少受到人类活动影响时评价组分的天然含量, 故该次评价对 Cl^- , SO_4^{2-} , 总硬度, 矿化度采用20世纪70年代末水分析数据作为背景值。天然条件下地下水中“三氮”主要来源于大气降水和土壤水, 此次评价将地下水中 NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- 的污染判别标志分别确定为 19.5 mg/L, 0.26 mg/L, 0.07 mg/L。对毒物类指标酚, 氰, As, Hg, Cr^{6+} , Cu, Pb, Cd, Zn 以检出限作为背景值。

(2) 评价方法

评价时首先对评价因子进行单项指标评价, 然后计算出地下水污染的综合评价指标, 值越大, 污染越重。计算公式为:

$$I = \frac{C}{C_0} \quad PI = \sqrt{\frac{I^2 + I_{max}^2}{2}}$$

式中: I —某项指标的变化指数; C —某项指标的实测含量; C_0 —某项指标的背景值; PI —综合指标。根据 PI 值确定污染分级采用表2。

表2 地下水污染分级结果

污染程度	基本未污染	轻度污染	中等污染	重度污染
PI 值	$PI \leq 1$	$1 < PI \leq 2.5$	$2.5 < PI \leq 5$	$PI > 5$

5.1.2 评价结果评述

汶泗河冲洪积平原浅层地下水无机污染总体上呈现面状污染的特征, 其污染程度与污染源分布、包气带岩性、含水层岩性、水动力条件等因素有关。冲洪积扇中部浅层孔隙含水层颗粒粗、厚度大、地下水径流条件好, 污染程度一般为轻度和中度污染; 冲洪积扇的边缘地带, 因含水层颗粒细、厚度小、地下水径流条件相对较差, 污染程度一般为重度(图4)。

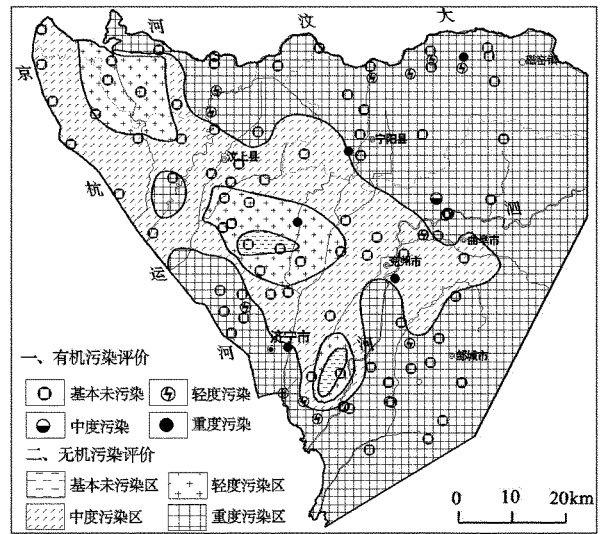


图4 浅层孔隙水污染评价图

深层孔隙含水层因埋深较大, 上覆地层厚度一般50 m以上, 污染程度为基本未污染或轻度污染。岩溶裂隙水充西断块和嘉祥断块灰岩含水层均埋藏于第四系之下, 无机污染程度较轻, 一般为轻度污染和中等污染, 其他几个灰岩断块采样点均为重度污染。

5.2 有机污染评价

5.2.1 评价方法

(1) 评价指标与背景值确定

该次有机物分析的89项测试指标均作为评价指标,背景值根据地下水质量标准(GB/T14848-2007)(报批稿)中水质指标I类水的限值及中国地质调查局地下水污染调查评价规范(1:50000~1:250000)中有机组分的检出限综合确定,取两者的较低值为有机组分的对照值。

(2) 评价方法

首先计算单项指标的污染指数,计算公式:

$$I = \frac{C_i}{C_0}$$

式中: I 为单因子水质指数,无量纲; C_i 为地下水中某种有机组分的实测浓度($\mu\text{g/L}$); C_0 为该有机组分背景值($\mu\text{g/L}$)。

然后计算综合指标污染指数,根据单因子污染指数(I)进行评分,评分标准如表3。最后计算多项指标综合污染指数,计算公式:

$$PI = \sum_{i=1}^n F_i$$

表3 F值评分结果

I 值	$1 \leq 1$	$1 < I \leq 5$	$5 < I \leq 10$	$I \geq 10$
F 值	1	10^2	10^4	10^6

根据 PI 值进行污染分级,分级标准见表4。

表4 地下水有机污染综合评价分级结果

取值范围	污染级别	污染特征
$1 < PI \leq 10^2$	基本未污染	各项有机物均未超对照值
$10^2 < PI \leq 10^4$	轻度污染	至少一项是对照值1~5倍
$10^4 < PI \leq 10^6$	中度污染	至少一项是对照值5~10倍
$10^6 < PI \leq 10^8$	重度污染	至少一项是对照值10倍以上

5.2.2 评价结果

总体上浅层地下水有机污染程度较轻,中度、重度污染呈点状零星分布,仅占浅层地下水测试样品总数的5%,绝大部分为基本未污染,占83%,其次为轻度污染,占浅层地下水测试样品总数的12%。

深层孔隙水的18组样品除1组样品为轻度污染外,其他的样品均为基本未污染,说明深层孔隙水总体上未受有机污染。

岩溶裂隙水的20组样品有3组样品为重度污染,2组样品为中度污染,其他15组样品均为基本

未污染,重度污染样品位于大汶口断块磁窑附近,受农药厂污染,说明在主要工业污染源附近的岩溶水分布区容易被有机污染。

6 地下水安全供水对策

根据研究区不同含水层组分布、含水层防污性能及地下水水质现状,对该区地下水供水提出以下对策建议:

(1)浅层孔隙含水层单层结构区因含水层防污性能较差,污染较重,水质大多不符合饮用水标准,可以将浅层地下水作为供水水源,但需要进行净化处理,建议从外地引水解决居民吃水问题。

(2)岩溶含水层单层结构区、浅层孔隙含水层-岩溶含水层双层结构区居民饮水水源应选取岩溶裂隙水,由于该含水层防污性较差,污染严重,部分地段水质超标,应进行净化处理再饮用。

(3)浅层孔隙含水层-深层孔隙含水层双层结构区,浅层、深层孔隙含水层-岩溶含水层3层结构区,由于深层孔隙含水层和隐伏灰岩含水层防污性能较强,水污染程度较轻,水质优良,是优质的饮用水源,应作为当地和其他的水质型缺水地区居民的饮用水源。

(4)要加强对研究区深层孔隙水、隐伏岩溶水等优质饮用水源的保护力度,合理规划开发。污染防治重点是加强对水井施工的管理,杜绝施工过程中因止水不当造成的串层污染。

致谢:文中地下水有机污染评价采用了陈鸿汉老师课件中的评价方法,深表谢意。

参考文献:

- [1] 陈洪年,谭肖波. 山东省汶泗河冲洪积平原地下水资源潜力评价[J]. 工程勘察,2007,(2):28-31.
- [2] 文冬光,林良俊. 区域地下水有机污染调查与评价方法[J]. 中国地质,2008,(5):817-818.
- [3] 刘晓茹,冯惠华,张燕. 我国水环境有机污染现状与控制对策[J]. 水利技术监督,2002,(5):58-60.
- [4] 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,(3):99-102.
- [5] Cohen P, Alley W M, Wilber W G. National water-quality assessment—Future directions of the U. S. Geological Survey[J]. Water Resources Bulletin. 1988,24(6):1147-1151.

Countermeasures of Groundwater Pollution Assessment and Safety Water Supply in Alluvial – diluvial Plain in Wensihe River in Shandong Province

XU Jianguo, ZHU Henghua, XU Hua, ZHANG Zhuo, QI Xiaofan

(Shandong Geological Survey Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Based on exposition of hydro – geological condition and pollution sources status of alluvial – diluvial plain of Wensi river, indexes of inorganic components of different aquifers are analyzed in this paper. The conclusions show that contents of inorganic components of shallow pore water and karst fissure water in some areas increase greatly, while the content of inorganic matter of deep pore water changes slightly. From the aspect of organic pollution, the detection rate of organic compounds of shallow pore water is 26.8% and the content is very low, which is far from limit value of drinking water standard. The detection rate of karst fissure water is 46.7%, comparatively high, and the organic compounds are over standard in partial section. The organic compounds in deep pore water are basically not detected. As showed by the results of groundwater pollution assessment in this area, it is showed that the inorganic pollutions of shallow pore water and karst fissure water have characteristics of area shape feature and the pollutions are relatively severe. The organic pollutions have characteristics of point feature and the pollutions are milder overall. Countermeasures of safety groundwater supply are put forward based on groundwater pollution status in research area in this paper.

Key Words: Alluvial – diluvial plain; groundwater pollution; pollution assessment; water supply countermeasures; Wensihe river