

山东省地下水污染特征与初步评价

张中祥¹, 徐建国², 彭玉明¹, 罗斐¹

(1. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014; 2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要:以 20 世纪 80 年代以前地下水水质测试资料为背景, 利用近几年工作中取得的大量水质测试资料, 采用“污染指数法”进行区域地下水污染综合评价。研究表明: 目前地下水仍以无机污染为主, 但有机污染危害程度更大。“三氮”是浅层地下水的主要无机污染指标, 其中又以硝酸盐污染为最。有机污染指标主要为 1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷和四氯化碳等, 裂隙岩溶水较孔隙水更容易受到有机物污染。

关键词:地下水; 污染评价; 山东省

中图分类号: X523

文献标识码: B

0 引言

地下水污染是指在人类活动影响下, 地下水的组分超过其天然背景值的现象和过程^[1]。地下水是山东省重要的供水资源, 2000 年以来全省地下水供水量占总供水量的 45%~53%, 全省大部分城市及大中型企业都是以地下水为主要供水水源, 90% 以上的农村居民以地下水作为唯一饮用水源^[2]。

山东省地下水污染主要始于 20 世纪 70 年代末期, 农业污染是当时地下水污染的主要特点, 但污染程度不高, 地下水中有硝酸盐检出。80 年代中期以来, 随着地下水中工业污染物和生活污染物检出污染程度开始加剧, 污染特点是由早期的点状污染向线状污染、面状污染演化, 浅层污染向深层污染推进。造成地下水污染的原因是多方面的, 农业对地下水质的影响长期以来没有得到足够重视, 大量使用化学品在地下水中慢慢积累, 对地下水构成极大危害。工业和生活污染随着经济发展水平的提高不断加重, 据历年城乡生活和工业污水排放量统计数据, 1981 年全省废污水排放总量 $10.48 \times 10^8 \text{ m}^3$, 1995 年达到 $15.85 \times 10^8 \text{ m}^3$, 2010 年更是高达 $43.60 \times 10^8 \text{ m}^3$, 近 30 年间排放量增长了 3 倍多, 部分地区出现的有机污染与工业排污有直接关系。在

鲁中南和胶东地区, 矿山闭坑引发的地下水串层污染也是山东省地下水污染的重要方式, 部分地区已造成周围居民饮用水困难。

1 地下水无机污染

1.1 无机污染主因子分析

地下水无机污染因子较多, 但不同的污染因子对污染的贡献不同。据不同时期地下水水质资料, 人为污染造成了很多地区浅层孔隙水和裂隙岩溶水中水化学类型发生了变化, 无机指标含量也发生了较大变化。一般阳离子毫克当量百分比变化不大, 而阴离子毫克当量百分比变化较大, 其中硝酸根、氯离子、硫酸根含量大幅增高。

1.1.1 浅层孔隙水无机污染

浅层孔隙水因含水层埋藏浅, 防污性能较差, 容易受到污染。以济宁市区为例, 济宁市区附近生活和工业污染源密度大, 浅层孔隙水受到严重污染。1977 年和 2006 年分别在该区开展了地下水污染调查工作, 两期浅层孔隙水质资料对比分析表明, 矿化度呈现整体面状增高, 1977 年矿化度平均值 600 mg/L , 2006 年增加到 1102 mg/L , 增长近 1 倍; 硝酸根、氯离子、硫酸根含量增幅明显, 其中硝酸根平均含量由 1977 年的 36 mg/L 增长为 134 mg/L , 增

收稿日期: 2012-11-27; 修订日期: 2013-03-31; 编辑: 王秀元

基金项目: 山东省重大水文地质问题研究基金资助项目(20090511)

作者简介: 张中祥(1967—), 男, 山东聊城人, 高级工程师, 主要从事水文地质、环境地质及地热勘查研究工作; E-mail: zhongxiangz67@

163.com。

加了近 3 倍。其他无机组分含量变化不明显。

为开展进一步的分析,在 1977 年和 2006 年采样井中选取位置、采样深度相近的 4 组采样井并进行水质资料的对比。在 Piper 三线图中(图 1),4 组对比水样水质点由 1977 年的 A 区向 2006 年的 B 区转移,阳离子的 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 毫克当量百分比变化不大,而阴离子的 Cl^- , SO_4^{2-} 毫克当量百分比增高, HCO_3^- 毫克当量百分比降低。

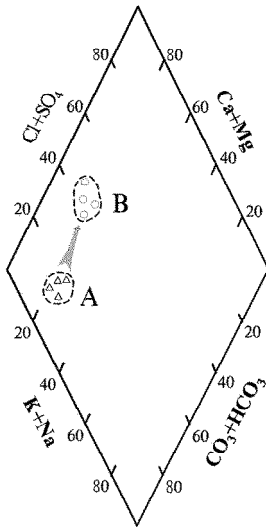


图 1 济宁城区浅层地下水水质变化 Piper 三线图

1.1.2 裂隙岩溶水无机污染

裂隙岩溶水防污性能受含水层埋藏条件控制,一般深埋型岩溶水(埋深大于 50 m)污染程度较轻,裸露型和浅埋型岩溶水因防污性能差,污染程度一般较重。如大武水源是典型的岩溶水污染区,由于水源地及其上游补给区分布有较多的工业和生活污染源,水源地地下水水质持续恶化。1977 年水源地岩溶水化学类型比较单一,主要有 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ 型和 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca}$ 型。2008—2009 年水源地岩溶水化学类型趋向复杂,出现了 $\text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^- - \text{Ca}$ 型、 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{SO}_4^{2-} - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型、 $\text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型、 $\text{SO}_4^{2-} \cdot \text{HCO}_3^- \cdot \text{Cl}^- - \text{Ca}$ 型等多种类型,主要无机指标钙、镁、钠、氯离子、硫酸根、硝酸根、重碳酸根含量均有较大变化,其他的无机指标含量则变化很小。在 Piper 三线图的左三角形图中(图 2),1977 年和 2008—2009 年水质点集中在相对较小的圆形区内,说明近 30 年来尽管 Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ 含量有不同程度增加,但毫克当量百分比变化不大。在 Piper 三线图的右三角形图中

(图 2),1977 年水质点呈直线排列, Cl^- 毫克当量百分比稳定在 10% 左右,说明整个水源地 Cl^- 含量变化不大,而 2008—2009 年水质点呈三角形分布,说明阴离子含量发生了较大变化, Cl^- 毫克当量百分比由 1977 年 10% 增加到 2008—2009 年的 20%~60%, SO_4^{2-} 毫克当量百分比由 10%~50% 增加到 2008—2009 年的 15%~55%, HCO_3^- 离子毫克当量百分比则由 40%~80% 减少到 2008—2009 年的 20%~60%。在 Piper 三线图的菱形图中(图 2),1977 年和 2008—2009 年水质点分别位于图中的 A 区、B 区,显然近 30 年水源地岩溶水质的变化经历了由 A 区向 B 区的飘移,矿化度普遍增大,碱土金属离子(Ca, Mg)与碱金属离子(K, Na)毫克当量百分比变化不大,分别稳定在 85% 和 15% 左右,而阴离子 $\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$ 毫克当量百分比增加,由 35% 左右增大到 60% 左右。

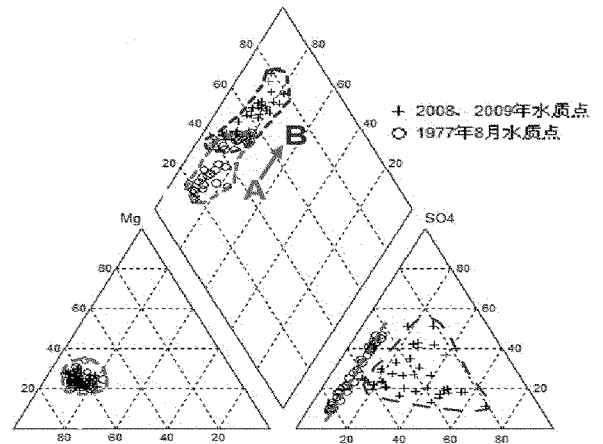


图 2 大武岩溶水水质变化 Piper 三线图

随着水源地及上游地区生活污染强度的加剧,硝酸根成为水源地岩溶水质变化较大的另一个无机指标。1977 年岩溶水硝酸根含量一般 2.0~9.6 mg/L,平均含量 5.1 mg/L;到 2008—2009 年硝酸盐含量大幅增高,一般 31.8~132.1 mg/L,平均含量高达 59.5 mg/L,增幅 11 倍(图 3)。

济南趵突泉为济南泉域岩溶水主要排泄点,其水质的变化反映了济南泉域生活、工业、农业活动对岩溶水的污染特征。1958 年 12 月趵突泉水矿化度 297.4 mg/L,2011 年 9 月达到 561.58 mg/L。硫酸根、氯离子、硝酸根含量均大幅增高,其中硝酸根含量由 1959 年的 13 mg/L 增加到 2006 年的 36.3 mg/L。在 Piper 三线图中(图 4), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+

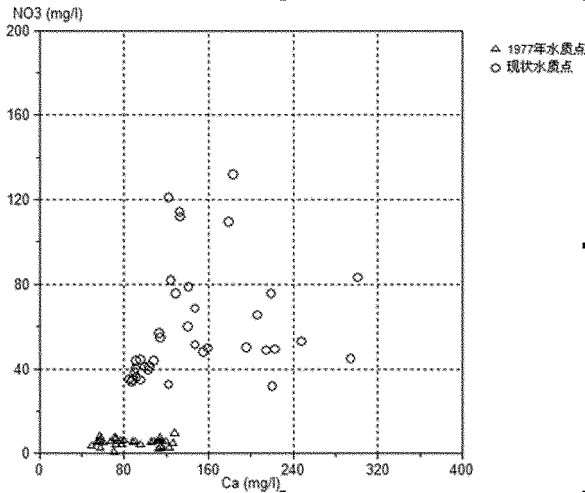


图 3 大武岩溶水不同时期 Ca^{2+} , NO_3^- 含量散点图

毫克当量百分比变化不大, Cl^- , SO_4^{2-} 毫克当量百分比不断增高, HCO_3^- 毫克当量百分比降低。

通过对典型污染区地下水污染特征的分析,表明地下水无机污染是以硝酸盐、氯离子和硫酸根含量的大幅增加为主要特征,而其他的无机指标含量一般变化不大,所以上述 3 个阴离子是地下水无机污染的主要污染因子。

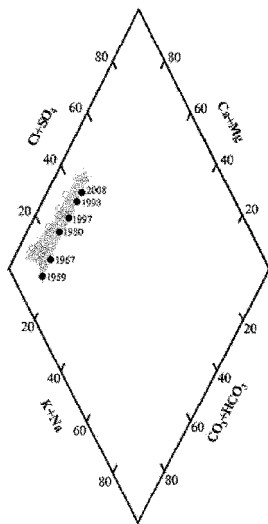


图 4 趵突泉历年水质变化 Piper 图

1.2 无机污染特征

1.2.1 硝酸盐污染

山东省早期的地下水硝酸盐含量测试数据很少,利用 20 世纪 80 年代前浅层地下水硝酸盐含量数据,剔除异常值后,确定浅层地下水硝酸盐含量

(以 N 计)背景值为 2 mg/L,即一般情况下地下水硝酸盐含量(以 N 计)超过 2 mg/L 时,说明受到硝酸盐污染。

2006—2011 年近 3 000 组浅层地下水(包含浅层孔隙水、岩溶水和基岩裂隙水)样品的硝酸盐测试数据显示,硝酸盐含量(以 N 计)大于 2 mg/L 的采样点大多分布于山前冲洪积平原、丘陵区的剥蚀平原和黄河三角洲平原,说明这些地区浅层地下水绝大部分已经被硝酸盐污染。黄河冲积平原、冲积湖积平原、冲积海积平原和鲁中南、鲁东山区绝大部分地区浅层地下水硝酸盐含量(以 N 计)含量小于 2 mg/L,说明基本未受硝酸盐污染。已污染区面积累计约为 8.288 万 km^2 ,占全省陆域面积的 53%,其中超标区面积累计达 16 440 km^2 ,占 10.5%。

1.2.2 氯离子污染

境内地下水氯离子背景值地区性差异受地下水形成环境影响,沿海地区和具有海相沉积特征的黄河三角洲、莱州湾南岸、胶州湾氯离子背景值一般较高,地下水补、径、排条件良好的鲁中南和鲁东丘陵山区基岩裂隙水、山前及山间孔隙水、岩溶水背景值低,而广大鲁西北黄泛平原区则介于两者之间。20 世纪 80 年代以前,鲁中南和鲁东丘陵山区地下水氯离子含量以低于 50 mg/L 的一类水为主,其次为二类水,鲁西北平原区则以二类水和三类水为主,黄河三角洲、莱州湾南岸、胶州湾等沿海地带及鲁西北平原的部分地区存在含量大于 250 mg/L 的超标水。该时期一、二、三、四、五类水分布面积占区域面积比例分别为 59%,19%,7%,4.0%和 11%。

氯离子现状含量明显增高,不同质量类型地下水面积发生了变化,一类水面积的缩小与五类水面积的扩大表明区域地下水总体受到氯离子的污染。污染特点为:①污水排放造成河流冲洪积扇孔隙水污染。城市、工业等污水排放最终会通过大气降水—地表水—地下水的途径对山前、山间第四系孔隙水造成污染,部分与地表水、孔隙水水力联系密切的岩溶水也存在遭受污染的威胁。如大沽河、潍河中下游地区地下水中氯离子含量升幅 2~20 倍不等。②莱州湾南岸、胶州湾等沿海地区地下水开采引起的海(咸)水入侵造成了地下水的氯离子污染。③由于鲁西北平原大部地区水平方向呈淡—咸水相间分布和垂向上淡—咸—淡多层结构,地下淡水的开采易于造成相邻含水层串层污染,使淡水区(或淡水

含水层)氯离子含量增高。

1.2.3 硫酸盐污染

以 1978—1980 年浅层地下水水质测试数据为背景值、2009—2011 年水质数据为现状值对比分析,区域地下水大面积受到硫酸盐污染,总体上一类水面积大幅缩小,二类水和五类水面积大幅增加,三、四类水面积基本稳定。

鲁中南和鲁东地区的淄博诸河、汶河、泗河、沂河、沭河、胶莱河、大沽河流域污染面积较大,但污染程度相对较轻,一般由一类水演化成二类水,局部演化成三类水或超标水。从污染程度上来说,泰莱盆地、大汶口盆地、枣陶盆地、沂河下游、胶莱盆地南部及胶北沿海主要城市附近较为严重,不但出现面状三类水,局部出现了四类或五类水。黄河三角洲地区,硫酸盐高背景的基础上出现向西整体推进的趋势,原大于 350 mg/L 等值线推至宁津-商河-高青-桓台一带。鲁西北黄泛平原区浅层地下水硫酸根含量总体呈升高趋势,但升幅不大。值得注意的是,在淄博市出现了岛状五类水分布区,主要由部分煤矿相继闭坑后高 SO_4^{2-} 型矿坑水对奥灰水串层污染所致。

2 地下水有机污染

山东省地下水有机污染调查工作开始于 2006—2010 年。调查资料显示,山东省作为经济较发达的省份,工业、农业等人类经济活动强度较大,工业“三废”、城市和生活废弃物的大量排放以及农药的施用,使得地下水有机污染达到了足以引起重视的程度,局部地区甚至出现有机污染物超标现象。

2.1 有机物检出特征

在鲁西北平原区共采集有机污染测试样品 2 237 组,按照《地下水污染地质调查评价规范》(DD2008-01),选取 37 组有机物必测项目作为统计指标(表 1)。全区地下水有机物检出率为 20.8%。卤代烃类、单环芳烃类有机物检出率较高,氯代苯类、有机氯农药类有机物检出率较低。检出率较高的有机物依次为甲苯、三氯甲烷、二氯甲烷、1,2-二氯乙烷,三氯乙烯,均超过了 2%,其中甲苯检出率达到 6.3%。从区域分布看,城区附近、重要的工业污染源附近、主要排污河流沿岸地带、油田采油区是有机物检出率较高的地区,这充分说明地下

水有机污染与一定的污染源在空间上是对应的。

表 1 地下水有机物检出统计指标

指标类型	指标名称	指标数
卤代烃	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,1,2-三氯乙烷,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	15
氯代苯类	氯苯,邻二氯苯,间二氯苯,对二氯苯,1,2,4-三氯苯	5
单环芳烃类	苯,甲苯,乙苯,二甲苯,苯乙烯	5
有机氯农药	总六六六, α -BHC, β -BHC, γ -BHC, δ -BHC,滴滴涕, p, p' -DDE, p, p' -DDD, o, p -DDT, p, p' -DDT,六氯苯	11
多环芳烃	苯并(a)芘	1

2.2 有机物超标特征

该次调查有机物检出率虽高达 20.8%,但有机物含量很低,一般远低于生活饮用水卫生标准限值,仅零星存在有机物超标现象。测试数据表明,除 1,1,2-三氯乙烷有 19 个采样点超标外,四氯化碳、三氯甲烷等 10 个有机物指标超标样品数均不到 10 个,另有 26 个有机指标未见超标。

3 地下水污染评价

3.1 评价方法

地下水污染评价包括单指标评价和综合评价。单指标评价是通过计算单因子污染指数,根据污染指数分级划分污染等级^[3]。综合评价是将水样各项单因子污染评价等级比对后,规定以其中污染等级最高因子的等级划分结果作为该水样点的地下水污染综合评价结果。

3.1.1 污染指数计算

以水质背景值和《地下水质量标准》^[4]中Ⅲ类水的水质标准为参考对照,计算各参评指标的污染指数公式如下:

$$P_{ki} = \frac{C_{ki} - C_0}{C_{III}}$$

式中: P_{ki} 为 k 水样第 i 个指标的污染指数; C_{ki} 为 k 水样第 i 个指标的测试结果; C_0 为水样所在位置第 i 个指标的背景值; C_{III} 为采用《地下水质量标准》中指标 i 的Ⅲ类指标限值。

3.1.2 单指标污染评价

利用污染指数公式分别计算各水样点单因子污染指数结果 P_{ki} ,并同表 2 中污染分级标准对照划分污染等级,得出各水样单因子污染等级划分结果。

表 2 单因子污染指数分级标准

污染类别	未污染	轻污染	中污染	较重污染	严重污染	极重污染
污染分级	I	II	III	IV	V	VI
指数范围	$P \leq 0$	$0 < P \leq 0.2$	$0.2 < P \leq 0.6$	$0.6 < P \leq 1.0$	$1.0 < P \leq 1.5$	$P \geq 1.5$

3.1.3 综合评价

对单因子污染评价完成并依次划分好等级后,将各水样单因子污染等级做比对,规定其中污染等级最高因子的等级划分结果作为该水样点的地下水污染综合评价结果,即 $P_k = \max(P_{hi})$ 。

3.2 评价指标的选取

在天然状态下,山东省黄河冲积平原、冲湖积平原、冲积海积平原区浅层地下水常规无机组分如氯离子、硫酸根含量无论在水平方向还是垂向上都变化较大,背景值的确定难度大。仅将“三氮”、砷、汞、铅、六价铬、镉等 8 项无机指标和 31 项有机物指标作为该次地下水污染综合评价指标(表 3)。

表 3 评价指标选取

指标类别	指标名称
三氮(3 项)	硝酸盐,亚硝酸盐、氨氮
毒性重金属指标(5 项)	砷、铅、汞、六价铬、镉
挥发性有机指标(21 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、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
半挥发性有机指标(10 项)	总六六六、 γ -BHC(林丹)、总滴滴涕、六氯苯、七氯、萘、蒽、荧蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)蒽

3.3 评价指标背景值的确定

山东省早期的毒性重金属指标、有机物指标测试数据极少,所以把检出限作为背景值。对于“三氮”的背景值,20 世纪 80 年代前地下水硝酸根、亚硝酸根、氨根离子有少量的测试数据。为了获取真实的地下水水质背景值,必须剔除异常值,剔除异常值的方法是进行背景值一致性检验,检验方法采用 3 倍标准差准则^[5],采用公式:

$$S_A = \bar{X} + 3S$$

式中: S_A 为异常下限; \bar{X} 为样本平均值; S 为样本标准差。

把大于平均值加上 3 倍标准差的样品视为可疑或受污染的样品,并予以剔除,最后将剔除异常数据后的异常下限值作为背景值(表 4)。从不同含水层

类型硝酸盐含量背景值看,浅层孔隙水硝酸盐含量变化不大,标准偏差较小,而岩溶水因防污性能较差,部分地段早期就被污染,所以其硝酸盐含量变化较大,其标准偏差也较大。亚硝酸盐和氨离子背景值根据早期少量测试数据结合前人调查研究数据确定,亚硝酸盐(氮计)取 0.04 mg/L,氨离子(氮计)取 0.25 mg/L。

表 4 硝酸盐(氮计)背景值计算成果(mg/L)

地下水类型	范围值	剔除异常数据后范围值	背景值
浅层孔隙水	0~20.0	0~12.0	2.7
岩溶水	0~31.3	0~21.6	4.8

3.4 综合评价

地下水污染是一个十分复杂而重要的水文地质和环境地质问题,它不仅与污染源、污染类型、排污量大小有关,其污染途径和污染机理严格受地形地貌、水文气象、地质构造、地层岩性、污染源分布等因素制约^[6]。根据上述评价方法,在计算各评价指标污染指数的基础上对浅层地下水进行污染综合评价,划分出未污染区、轻污染区、中污染区、较重污染区、严重污染区和极重污染区 6 种类型。

(1)未污染区:未污染区主要分布在鲁中南、鲁东山区和鲁西北平原区,累计面积约 59 772 km²,占区域总面积的 38%左右。鲁中南和鲁东基岩裸露的丘陵山区,以裂隙水为主,富水性差,水位埋深随地形起伏而变化,地下水补、排条件通畅,污染组分不易进入含水层或进入含水层后得到大气降水补给而稀释或排泄。鲁西北平原区地层结构复杂,垂向上含水层和隔水层相间分布,部分地区地表岩性为粘性土,对污染组分具有一定的阻隔作用,同时细颗粒岩性对污染组分也具备一定的吸附作用,不易对下部含水层造成污染。

(2)轻污染区:一般分布在未污染区周围,在山区则位于山麓或山间谷地,面积约 34 408 km²,占区域总面积的 22%。与未污染区相比,由于地形地貌、地层结构和地下水补、径、排条件发生了变化,地下水受到轻微污染,是未污染区向污染区的过渡地带。

(3)中污染区:鲁中南和鲁东分布在大型河流中下游及沿海城镇和工业区。鲁西北平原区无明显的污染规律可循,在沾化—东营一带分布大面积的中污染区。中污染区总面积约 23 060 km²,占区域面

积的 14.7%。

(4)较重污染区:鲁中南山区主要分布在汶泗河、沂沭河河谷、淄博和潍坊市、章丘白云湖等区域,鲁东分布在胶莱盆地、莱阳城区、莱州-龙口沿海地带,鲁西北平原以黄河三角洲入海口分布面积较大。该类型区总面积约 13 576 km²,占区域面积的 8.6%。

(5)严重污染区和极重污染区:严重污染区与极重污染区往往相生相伴,从评价过程来看,不仅是污染指数大,而且污染指标的类型多,对生活饮用和工农业生产会造成较大危害。地下水污染严重的区域位于淄博-潍坊山前冲洪积扇、潍河上游河谷地带、胶莱盆地腹地、汶泗河下游、两城河下游、沂沭河中游及黄河以北的德惠新河下游。严重污染区和极重污染区面积为 9 412 km², 9 700 km², 占 6% 和 6.2%。

4 结论

山东省地下水现状污染较为严重,目前仍以无机污染为主,但有机污染危害程度更大。“三氮”是浅层孔隙水和裂隙岩溶水的主要无机污染指标,其

中又以硝酸盐为最。有机污染指标主要为 1,2-二氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷和四氯化碳等。不同的含水层岩性所表现出的污染特征有所区别,相对于浅层孔隙水,岩溶水有机指标对污染的贡献较大,原因是岩溶水含水层防污性能相对较差,更容易受有机物污染。

针对山东省较为严重的地下水污染现状,深入开展区域地下水污染调查和防治工作势在必行。建议制定行之有效的防治对策,编制地下水污染防治规划。

参考文献:

- [1] 徐恒力. 环境地质学[M]. 北京:地质出版社,2009:163.
- [2] 康凤新,徐军祥,张中祥. 山东省地下水资源及其潜力分析[J]. 山东国土资源,2010,26(8):4-7.
- [3] 沈照理. 水文地球化学基础[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [4] GB/T14848-93. 地下水质量标准[S]. 1993.
- [5] 郭永海,沈照理,钟佐燊,等. 河北平原地下水有机氯污染与防污性能的关系[J]. 水文地质工程地质,1996,(1):40-42.
- [6] 姜建军. 中国地下水污染现状与防治对策[J]. 环境保护,2007,(19):16-17.

Characteristic and Preliminary Evaluation of Groundwater Pollution in Shandong Province

ZHANG Zhongxiang¹, XU Jianguo², PENG Yuming¹, LUO Fei¹

(1. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jinan 250014, China; 2. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Regarding data of water quality before 1980s and recent years as the background, based on water quality determination information, by using “pollution index method”, regional comprehensive evaluation of groundwater has been carried out. It is showed that main pollution is inorganic matter, but the pollution of organic compounds maybe more harmful. The three nitrogen is the main inorganic pollution indexes of shallow groundwater, while the nitrate pollution is the most serious. The organic pollution indexes is 1,2-dichloroethane, 1,1,2-trichloroethane and carbon tetrachloride, the fracture-karst water is more easily polluted than pore water by organic compounds.

Key words: Groundwater; pollution evaluation; Shandong province