

# 淮河流域山东段地下水质量评价

李肖兰, 吕 华

( 济南大学资源与环境学院, 山东 济南 250022 )

**摘要** 通过调查淮河流域山东段地下水污染现状, 参照国家有关标准, 采用单项指标评价法和内梅罗指数法, 根据地下水区域分布特征和变化规律, 并参考水质分析结果, 选取了 27 项水质评价因子, 对该区域浅层地下水上层水质、浅层地下水下层水质和深层地下水水质进行评价。评价结果显示: 该区域地下水水质总体较差, 大部分为Ⅳ类水质。然后对该区域的地下水污染进行评价, 根据评价结果, 针对该区域的水质问题提出相应的建议和改善水质的措施, 为该区域的社会、经济的可持续发展提供科学依据。

**关键词** 地下水污染; 单项指标评价法; 内梅罗指数法; 评价因子; 水质评价

**中图分类号** :X824      **文献标识码** :A      **文章编号** :1003-9511(2012)01-0036-04

新中国成立初期, 淮河流域水资源丰沛, 地表水体发育, 水质总体良好。自 20 世纪 60 年代以来, 随着人口的增长、土地的大规模开发和工业的迅速发展, 尤其是 80 年代以来小城镇的建设和拓展, 城市化进程步伐加快, 生活污水和工业废水超标排放, 地下水开采强度不断增大, 环境水文地质问题日趋严重, 给当地居民身体健康和经济建设带来严重影响。为查明流域水资源现状, 为社会经济可持续发展提供科学依据, 笔者对淮河流域山东段进行了环境地质调查。

## 1 区域概况

淮河流域山东段包括鲁西冲积平原和鲁中南低山丘陵区, 西与河南省濮阳市隔黄河相望, 南部分别与河南省商丘市、安徽省砀山县、江苏省徐州市、连云港市接壤, 行政区划包括菏泽市、枣庄市全部, 济宁市绝大部分, 临沂市除莒南县东部、沂水县、临沭县的极小部分地区外的全部地区, 日照市莒县的大部和东港区小部分地区, 淄博市沂源县绝大部分地区, 泰安市宁阳县西部和东平县小部分地区, 新泰市的极小部分地区。

该地区地下水污染源大体可以划分为点源、线源和面源。点源主要来自于工业和生活污水的集中排放, 线源指污染河流、排污沟渠等, 面源主要指农

田的污染。该地区城镇集中, 工业污染源密集, 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、湖泊, 已造成了地下水的污染。目前该区域地下水水质总体上有向恶化方向演化的趋势。

## 2 地下水质量评价

本次评价目的层分为 3 层, 即浅层地下水上层(埋深 20 m 以上)、浅层地下水下层(埋深 20 ~ 50 m)和深层地下水(埋深 50 m 以下)。

### 2.1 评价方法

本次淮河流域平原区地下水水质评价工作是以国标《地下水质量标准(GB/T 14848—1993)》作为评价的主要依据<sup>[1]</sup>。在该标准中, 参与评价的水质指标共 39 项, 每一单项水质指标(或组分)根据其浓度值(或其他计量单位值)大小划分为 5 个等级, 规定每一单项等级的评价分值分别为 0, 1, 3, 6, 10。然后根据国际中推荐的内梅罗指数法<sup>[2-7]</sup>, 计算出某一水样点地下水质量的综合评价分值, 对照标准的“地下水质量级别表”中关于各级水质的综合评价分值范围, 确定出该水样点地下水的等级, 共分为优良、良好、较好、较差、极差 5 个等级。

### 2.2 评价因子的选择

根据地下水区域分布特征, 选取 27 项水质评价

因子:色、嗅和味、浑浊度、肉眼可见物、pH 值、矿化度、总硬度、硫酸盐、氯化物、铁、锰、铜、锌、铝、挥发酚、高锰酸钾指数、硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、氟化物、氰化物、汞、砷、硒、镉、铬、铅。

### 2.3 地下水质量等级的评价方法

本次地下水质量等级评价,主要采用了国标推荐方法(GB/T 14848—1993)进行评价。

a. 首先进行水质单项组分评价。根据标准中的“地下水质量分类指标”划分单项组分浓度所属质量类别(共 5 类),再根据表 1 确定出各单项组分的评价分值  $F_i$ 。

表 1 单项组分评价分值

类别	I	II	III	IV	V
$F_i$	0	1	3	6	10

b. 按下列公式计算出该水样点地下水的综合评价分值  $F$  :

$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \quad (1)$$

其中  $\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$  为各单项组分分值  $F$  的平均值; $F_{\max}$  为单项组分评价分值  $F_i$  中的最大值; $n$  为参与水质评价因子(组分)数目。

c. 根据计算获得的  $F$  值,按规定(即不同级别水质的  $F$  值范围)确定地下水质量级别。

该方法的优点是数学过程简捷,运算方便,对于一个评价区,计算出它的综合指数,再对照分级标准,便可知评价地区地下水质量状况。但过于突出最大污染因子,由于公式中考虑最大污染因素,使参评项目中即使只有一项指标  $F_i$  值偏高,也会使综合评分值偏高;未考虑权重因素,将各污染因子等同对待,任何一项污染因子  $F_i$  值偏高都会使综合评分值偏高,而事实上如考虑不同污染因子对环境的毒性、降解难易及去除性难易程度等因素,那么同处一个质量级别的不同污染因子的  $F_i$  取值应区别对待,即增加权重因素<sup>[3-4]</sup>。

由于本区铁、锰等组分在地下水中含量普遍较高,为避免出现大面积“较差”、“极差”级别水质区,根据评价组分对人体健康的危害程度,对 IV、V 类地下水单项组分的评价分值作了适当修正,即把对人体健康影响相对较小的矿化度、总硬度、氯化物、硫酸根、铁、锰等常规组分的 IV、V 类水的评价分值由标准中的“3”、“6”和“10”,分别降低为“2”、“4”和“6”,对于其他对人体健康危害较大组分的评价分

值,仍沿用国标规定值。

### 2.4 水质评价结果及分析

#### 2.4.1 浅层地下水上层水质评价

淮河流域平原区浅层地下水上层水质较差,大部分区域为 IV 类水质,未出现 I 类水质,II ~ III 类水质仅零星分布,V 类水质样点只有 2 个。影响该区水质的除了常规组分矿化度、硬度、氯化物、硫酸根和锰外,主要为“三氮”和氟化物超标。

浅层地下水质量与地貌条件有很大的关系,黄河冲积平原区主要为氟化物超标,在冲积平原的决口扇和冲积沙垄区域含水层富水性较好,地下水径流条件较好,故水质较好,为 II ~ III 级水;冲积-湖积平原区水质较差,为 IV 级水,地下水中超标项目为氟化物与硝酸根;山前冲洪积平原区水质以 IV 级水为主,微地貌为冲洪积扇地区,水质较好,为 II ~ III 级水,其主要污染因素指标为硝酸根,冲洪积平原顶端,溶蚀-剥蚀丘陵,包气带颗粒粗,透气性好,反硝化作用弱;山间冲洪积平原区的沂沭河流域水质较好,该区地下水除一部分蒸发排泄外,大部分通过沂沭河排泄,地下水径流条件好,故该区地下水级别为 II ~ III 级水,临沂西山间剥蚀-溶蚀平原地貌区,地下水水质较好,大部分为 II 级水,该区为隐伏灰岩区,灰岩埋深 10 m 左右,灰岩区地下水径流条件好,岩溶水水质良好。

#### 2.4.2 浅层地下水下层水质评价

评价范围为南四湖流域平原区,149 件水样中,107 件为 IV 类水质,造成水质较差的因子除常规组分矿化度、硬度、氯化物、硫酸根和锰外,还有硝酸根、亚硝酸根和氟离子。

鲁西南平原区第四系较厚,20 ~ 50 m 含水层为微承压水层,水质好于上层。黄河冲积平原区及冲积-湖积平原区氟化物对地下水质量级别影响显著;山前冲洪积平原区硝酸根与亚硝酸根对地下水质量影响明显。沿黄地区地表水补给地下水,黄河的侧渗对地下水的水质影响较大,地下水径流条件好,地下水水质较好,为 III 级水;山前冲洪积平原地貌地区,颗粒粗,硝化作用强,硝酸盐含量高,水质较差,为 IV 级水,溶蚀-剥蚀丘陵、微弱切割丘陵地区,第四系厚度较薄,20 ~ 50 m 为基岩区,地下水径流条件好,基本无环境污染,为 II ~ III 级水。

#### 2.4.3 深层地下水水质评价

研究区深层地下水质量评价仅限于南四湖流域,82 件水样品中,62 件为 IV 类水质,影响该区水质的除了常规组分矿化度、硬度和硫酸根外,主要为氟化物超标。

深层地下水质量由山前到冲湖积平原地区由良好水变化为较差水,造成水质较差的主要因素是氟离子含量较高。梁山—嘉祥—鱼台—一线以西为较差水,局部为极差水,而宁阳、汶上、兖州附近地区水质较好,为良好级地下水。

### 3 地下水污染评价

#### 3.1 评价方法

评价时采取从劣不从优的原则,将某水分析点各项指标所求算的  $I$  值最大值作为该采样点地下水污染的  $I$  值, $I$  值越大污染程度越重。根据  $I$  值确定污染分级采用表 2。

表 2 地下水污染分级

污染程度	未污染	轻度污染	中度污染	重度污染	严重污染
$I$ 值	$I \leq 1$	$1 < I \leq 5$	$5 < I \leq 10$	$10 < I \leq 50$	$I > 50$

计算公式为:

$$I = \frac{C}{C_0} \quad (2)$$

式中: $I$  为某项指标的变化指数; $C$  为某项指标的实测含量; $C_0$  为某项指标的背景值。

#### 3.2 评价指标的选取

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,作为本次污染评价的评价指标。

#### 3.3 地下污染起始值确定

地下水污染起始值通常采用地下水背景值,背景值原则上依据最早的地下水分析资料来确定,即地下水未受到或很少受到人类活动影响时评价组份的天然含量,由于工作区是人类活动较强烈的地区,很难找到未受人为因素影响的地下水,所以本次评价对  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、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,本次评价将地下水中  $NO_3^-$ -N、 $NH_4^+$ -N、 $NO_2^-$ -N 的污染判别标志分别确定为 4.4 mg/L、0.2 mg/L、0.02 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。 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、总硬度、矿化度背景值确定步骤如下。

##### 3.3.1 基准值的选择

地下水背景值选取 20 世纪 70 年代末 1:20 万区域水文地质调查报告中的地下水水质分析数据,1:20 万区域水文地质调查报告淮河流域数据较全,水质分析数据较多,70 年代地下水受人为污染影响较小,可以作为淮河流域地下水化学背景值研究确

定基准值的依据。

##### 3.3.2 异常值剔除

为了获取真实的地下水环境背景值,必须剔除异常值。为了剔除异常值,就要进行元素背景值一致性检验,检验的方法多种多样,对于大样本(样本容量  $> 100$ )的异常值判断,通常采用 2 倍或 3 倍标准差准则;对于小样本( $n < 100$ )的异常值判断,一般使用狄克松法(Dixon)、格鲁布斯法(Grubbs)和  $t$  检验法,但后 3 种方法检验的严格程度不同,狄克松法是极差型检验,检验不严格,保留一些异常值的可能性较大; $t$  检验法中的标准差和平均值是在去除可疑值后计算出来的,数值变小,检验的灵敏度提高了,这样就有可能把有些正常值判为异常值,可见此法偏严,格鲁布斯法的标准差和平均值是由包括可疑值在内的全部数据计算得出的,数值较大,严格度适中,检验效果最好。

在此采用 Grubbs 检验法(取显著水准为  $\alpha = 0.05$  时判断为异常值),对统计单元内数据进行检验,对那些表明异常数据予以剔除。

###### a. 平均值加标准差法 ( $n > 100$ )

$$S_A = \bar{X} + 3S \quad (3)$$

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。

###### b. 格鲁布斯(Grubbs)法 ( $n < 100$ )

$$G = \frac{X_k - \bar{X}}{S} \quad (4)$$

式中: $X_k$  为样本中的可疑值; $\bar{X}$  为包括可疑值在内的样本平均值; $S$  为包括可疑值在内的样本标准差。

查格鲁布斯检验临界值表(表 3),若  $G > G_{\alpha, n}$ , 则  $X_k$  为异常值,需要剔除。

表 3 Grubbs  $G_{\alpha, n}$  值

$n$	$\alpha$		$n$	$\alpha$		$n$	$\alpha$	
	0.05	0.01		0.05	0.01		0.05	0.01
3	1.15	1.16	13	2.33	2.61	23	2.62	2.96
4	1.46	1.49	14	2.37	2.66	24	2.64	2.99
5	1.67	1.75	15	2.41	2.70	25	2.66	3.01
6	1.82	1.94	16	2.44	2.75	30	2.74	3.10
7	1.94	2.10	17	2.48	2.78	35	2.81	3.18
8	2.03	2.22	18	2.50	2.82	40	2.87	3.24
9	2.11	2.32	19	2.53	2.85	50	2.96	3.34
10	2.18	2.41	20	2.56	2.88	60	3.41	3.03
11	2.23	2.48	21	2.58	2.91	80	3.52	3.14
12	2.28	2.55	22	2.60	2.94	100	3.17	3.59

#### 3.4 地下水污染评价结果及分析

根据本次调查浅层地下水 469 件样品分析结

果,分别计算这些采样点的  $I$  值,然后采用 MAPGIS 软件自动生成等值线,最后以地貌图、水文地质图、包气带岩性图、地表水污染评价图为基础对等值线进行修改,完成污染评价图。

浅层地下水污染评价结果表明,本次调查采样区均为已受到污染的地区,未发现未污染区( $I \leq 1$ )。湖西冲积湖积平原大部分为轻污染区,梁山县官里乡—鄄城县玉皇庙乡—鄄城县引马乡、巨野县王牌坊乡—定陶县冉固镇、曹县曹城镇—单县高韦庄镇、单县徐寨镇—金乡县雷云乡、东明县城以西沿黄地区、小井乡附近、巨野—嘉祥—济宁一带为中等污染区和重度污染区,其中嘉祥县纸坊镇—济宁市任城区喻屯镇一带为严重污染区。

山前冲洪积平原区大部分地区为中等污染区和重度污染区,其中汶泗河冲洪积扇中部、沂沭河冲洪积平原下游、费县西部、临沂市河东区八湖镇—重沟镇、微山县部分滨湖地带为轻度污染区,其他地区均为中等污染区和重度污染区。

湖西平原区大部分地区浅层地下水为轻度污染,原因是该区污染源以农业污染为主,尽管地下水位埋深小,但包气带岩性颗粒细,不利于污染物下渗,且浅层地下水多处于还原条件,不利于硝酸根离子的蓄积,所以污染程度相对较轻。湖东山前冲洪积平原区和丘陵区总体上污染程度较重,原因是人口密度大,经济较发达,厂矿企业较多,污染物排放量较大,同时第四系分布区包气带岩性颗粒较粗,灰岩分布区浅部溶隙、裂隙发育有利于污染物渗补给地下水,浅层地下水多处于还原条件,有利于硝酸根离子的蓄积,造成浅层地下水污染程度较重。湖东山前冲洪积平原区的汶泗河冲洪积扇中部地下水污染程度为轻度,这是因为该区浅层地下水埋深较大,地下水径流条件较好,不利于污染物下渗补给地下水,同时良好的径流条件不利于污染物的蓄积。沂沭河冲洪积平原轻度污染区的出现也与污染源以农业污染为主,地下水径流条件好有关。

#### 4 对策与建议

地下水水质是淮河流域当前和今后一个时期面临的重大问题,建议对城市、重要经济区、特别是以集中供水水源的地下水水质调查为重点,系统开展地下水无机污染和有机污染调查。查明地下水水质状况,制定地下水水质防治规划,建立地下水水质与污染预警系统,为地下水污染防治和地下水资源保护、保障饮水安全提供科学决策依据。针对该区域的地下水水质问题提出以下改善措施:

a. 坚持“预防为主、治理为辅”的方针,优化水资源配置,提高工业用水重复利用率,对固体废弃物应加大综合利用力度,加强危险废物无害化处理。

b. 控制污染源,实现污水资源化,加强工业“三废”综合治理,改革生产工艺和流程,做好资源回收,使“三废”资源化,提高废水处理率和循环利用率,严禁超标排放。加强城市工业、生活排污管理。消除渗井、旱厕、坑塘、洼淀等就地排污。完善污水管道体系,防渗、防漏,增加污水处理厂。科学使用化肥、农药,控制施放量,研究低毒和无害农药,禁用长效、剧毒、高残留农药化肥。采用短效、低残留、易降解的有机磷农药,代替高残留农药。

c. 建立优质饮用地下水源地保护区。在地下水重要补给地段和城市主要供水水源地,建立不同类型、不同级别的水源地保护区和卫生防护带,严禁污染企业,对已建的应进行迁址。

#### 参考文献:

- [1] GB/T14848—1993 地下水质量标准[S]. 1993.
- [2] 李亚松,张兆吉,费宇红. 地下水质量综合评价方法优选与分析:以滹沱河冲洪积扇为例[J]. 水文地质工程地质, 2011, 38(1): 6-10.
- [3] 谷朝君,潘颖,潘明杰. 内梅罗指数法在地下水水质评价中的应用及存在问题[J]. 环境保护科学, 2002, 28(1): 45-47.
- [4] 王博,韩合. 内梅罗指数法在水质评价中的应用及缺陷[J]. 中国城乡企业卫生, 2005(6): 16-19.
- [5] 马成有,曹剑锋,姜纪沂,等. 改进的尼梅罗污染指数法及其应用:以磐石市地下水环境质量评价为例[J]. 水资源保护, 2006, 22(4): 53-55.
- [6] 李亚松,张兆吉,费宇红. 内梅罗指数评价法的修正及其应用[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 48-50.
- [7] 程继雄,程胜高,张炜. 地下水质量评价常用方法的对比分析[J]. 安全与环境工程, 2008, 15(2): 23-25.

(收稿日期 2011-07-21 编辑 陈玉国)

