

# “双源”分布区地下水质量及生态价值评估

徐庆勇<sup>1</sup>, 林健<sup>1</sup>, 江岳<sup>1</sup>, 杨庆<sup>1</sup>, 王晓红<sup>2</sup>

(1. 北京市水文地质工程地质大队(北京市地质环境监测总站), 北京 100195;

2. 北京市地质矿产勘查开发局信息中心, 北京 100195)

**摘要:**以“双源”分布区为研究区域,分析风险源是否对地下水水质造成影响,表明该区域地下水所具有的重大生态价值,为地下水污染治理及对保护的更加高度关注提供依据和支撑。利用地下水实测数据,采用标准中规定的方法,评价了研究区地下水质量和非常规指标检出状况,并计算超标指标超标倍数;采用模型评估地下水调节径流、涵养水源的生态价值。总体评价结果表明,研究区地下质量较差,以IV类为主,主要超标指标是砷、锰和铁,其中铁超标倍数最大,达36.9倍;非常规指标中检出率较高的指标是荧蒽、二氯甲烷、萘和蒽,但检出浓度均为微量或痕量,地下水供水安全未受到威胁;分区评价结果表明,各子区超标指标与检出的非常规指标(萘除外)均不是风险源特征指标,研究区水源基本未受到化工类工业风险源的影响。地下水调节径流、涵养水源的生态价值巨大,不容忽视。

**关键词:**化工类工业风险源;“双源”分布区;地下水质量;生态价值评估;农村饮用地下水

中图分类号:X824

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2019)04-0063-08

## Assessment of groundwater quality and ecological value in “Double source” Distribution Area

XU Qingyong<sup>1</sup>, LIN Jian<sup>1</sup>, JIANG Yue<sup>1</sup>, YANG Qing<sup>1</sup>, WANG Xiaohong<sup>2</sup>

(1. Beijing Institute of Hydrogeology and Engineering Geology(Beijing Institute of Geo-Environment Monitoring), Beijing 100195, China; 2. Information Center of Beijing Geology Prospecting and Developing Bureau, Beijing 100195, China)

**Abstract:** This study analyzed the risk source affecting the quality of underground water source in “double source” distribution area to indicate the significant ecological value of groundwater and to provide basis and support for groundwater pollution control and more attention to protection. Based on the groundwater monitoring data and by using the method specified in the standard, groundwater quality and detection of unconventional indicators were evaluated, and multiples of the overproof indicators were calculated, ecological value of groundwater of regulating runoff and conserving water was evaluated. The results showed that groundwater quality in the study area is poor, mainly with a IV grade, and the metals As, Mn, and Fe are mainly exceeded indicators, among them, iron exceeded the standard by 36.9 times. The concentrations of fluoranthene, dichloromethane, naphthalene and anthracene all within the standards, indicating the water supply safety of groundwater were not threatened. The results showed that exceeded and detection indicators (except naphthalene) in the each of subarea aren't characteristic indicators of pollution sources, water resources in the study area aren't influenced by chemical industries pollution sources. Ecological value of groundwater of regulating runoff and conserving water is huge, and it should not be overlooked.

**Key words:** chemical industries risk source; “double source” distribution area; groundwater quality; ecological value assessment; rural drinking ground water

## 1 研究背景

这里的“双源”指存在于农村地下水饮用水源

补给区或周边2 km范围内的化工类工业风险源及补给区或周边2 km范围内存在化工类工业风险源的农村地下水饮用水源。“双源”所在的行政区是

收稿日期:2019-01-08; 修回日期:2019-03-21

基金项目:北京市自然科学基金项目(8181002);北京市财政项目(PXM2017\_158305\_000006);原环境保护部项目(1741STC61512)

作者简介:徐庆勇(1975-),女,黑龙江人,硕士,高级工程师,主要从事地下水环境污染调查评价。

北京未来城市发展的重要区域。在北京的多源供水格局中地下水占据半壁江山,但北京市地下水环境压力较大,特别是平原区地下水污染形势严峻,部分地区已危及城乡居民饮水安全<sup>[1]</sup>。而该区因可用的地表水资源为零面临着水资源不足的困境,目前水源供给主要依赖地下水<sup>[2]</sup>。但据有关监测成果显示,该区是北京平原区各区县中地下水水质很差的区县之一<sup>[1]</sup>。

该区共有478个行政村,农村人口占常住人口的1/3多<sup>[3]</sup>,饮用水源全部为地下水。而在1997-2010年,该区工业经历了大发展,其中,属化工行业的化学原料及化学制品制造业占有较大比重<sup>[4]</sup>。虽然2017年加快退出不符合首都功能定位的产业,推进工业大院、低端产业、低端市场的退出<sup>[5]</sup>,但在农村饮用水源补给区内或周边仍存在一定数量的化工类工业企业。化工类工业企业主要指石油加工、炼焦及核燃料加工业、化学原料及化学制品制造业和医药制造业等化工类行业的工业园区外的企业。2015年4月2日,国务院印发的《水污染防治行动计划》中明确要求:定期调查评价集中式地下水型饮用水水源补给区等区域环境状况,切实保障农村饮用水源地水质安全。因此,开展一次全面的“双源”分布区地下水环境状况评估,掌握化工类工业风险源是否对农村地下水饮用水源造成影响以及影响程度,摸清农村地下水饮用水源及补给区环境状况十分必要。

然而以往关于该区地下水的研究多集中在整个区域地下水质量评价、水资源评价<sup>[6]</sup>、再生水利用<sup>[7]</sup>、水化学特征分析<sup>[8]</sup>、氟分布规律研究<sup>[9]</sup>及农村地下水个别指标如氟含量及氨氮污染<sup>[10]</sup>等研究方面;关于地下水价值,一直以来,其经济和社会价值备受关注,生态价值往往被忽视,仅个别研究人员提出了地下水生态价值的定义<sup>[11]</sup>和地下水生态系统价值评价的一些方法<sup>[12]</sup>,但主要还停留在观念阶段;还有一些研究人员<sup>[13-14]</sup>在进行水生态文明建设的不研究中,提出了水生态的指标,但对水(包括地下水)的生态价值并无阐述和评估。因此,迄今为止,评估“双源”分布区地下水环境质量和生态价值的研究较为鲜见。基于“双源”明确的位置关系,以其分布区为研究区域,评估地下水质量及其生态价值,分析风险源是否对地下水水质造成影响,表明该区域地下水所具有的重大生态价值,为地下水污染治理及对保护的更加高度关注提供依据和支撑,对切实保障农村供水安全、全方位认识地下水价值、促

进从观念到行动的转变及推进生态文明建设具有重要的理论与现实意义。

## 2 数据与方法

### 2.1 研究区概况

根据“双源”分布位置,研究区包括A~E5个子区,面积共约170 km<sup>2</sup>。区内共分布有17个农村地下水饮用水源,均为小型水源地,取水量共计约300×10<sup>4</sup> t/a,服务人口共约3.8×10<sup>4</sup>人。每个水源地都建有井房并设1名水管员专职看管、维护井房及供水井,以保证水源供水井正常运行;补给区或周边2 km范围内分布化工类工业风险源9个,化工类工业风险源以化学原料及化学制品制造业为主,目前已有4个停产,在生产的5个企业均建有污水处理设施。“双源”基本信息及对应关系见表1和图1。

研究区气候属温带大陆性半湿润季风气候,多年平均温度11.3℃,年降水量620 mm左右<sup>[15]</sup>。地处潮白河与永定河冲洪积扇下游地区,地势较为平坦,自西北向东南缓缓倾斜,第四系厚度大,最厚处位于子区A内,达600余m。地下水类型为第四系孔隙水,主要赋存于潮白河与永定河冲洪积作用形成的多层砂及少数砾石中<sup>[16]</sup>。含水层组岩性主要有两种,子区A的东北部、子区B和子区E含水层组岩性以多层砂层夹少数砾石层为主;子区A西南部、子区C区和子区D以多层砂层为主。5个区含水层组均为多层结构,层数多,单层厚度小。研究区富水性总体较好,水位下降5 m时,单井日涌水量除子区C和子区D南部为500~1 500 m<sup>3</sup>/d外,其他地区均为1 500~3 000 m<sup>3</sup>/d(图1)。地下水天然流向由北、西北流向东南。

### 2.2 数据来源

研究所用数据来源于:(1)2017年11月取样实测数据;(2)北京市水文地质工程地质大队(北京市地质环境监测总站)所承担的“北京市平原区地下水环境监测网年(2017)运行”项目中监测井测试的数据;(3)该区2016年国民经济和社会发展统计公报<sup>[3]</sup>。

### 2.3 研究方法

2.3.1 地下水质量评价方法 采样深度水源以开采层为主,风险源原则上以浅层为主。但受实际条件限制,有些风险源只能采深层水样。共采集地下水样品26件,其中水源17件,均为深层承压水;风险源9件,为潜水或承压水。测试指标63项,其中常规指标31项,非常规指标32项(表2)。

表1 “双源”基本信息及对应关系

子区名称	水源		水源补给区或周边 2 km 范围内风险源		
	编号	服务人口/10 <sup>4</sup> 人	编号	运行状况	特征污染物
A	W <sub>1</sub>	1.00	P <sub>1</sub>	停产	苯乙烯、丙烯酸
	W <sub>2</sub>	0.70			
	W <sub>3</sub>	0.30			
	W <sub>4</sub>	0.30			
	W <sub>5</sub>	0.02			
	W <sub>6</sub>	0.25			
	W <sub>7</sub>	0.21			
B	W <sub>8</sub>	0.07	P <sub>4</sub>	在生产	酯类、苯、铬、镉、汞
	W <sub>9</sub>	0.17			
	W <sub>10</sub>	0.03			
C	W <sub>11</sub>	0.09	P <sub>5</sub>	在生产	酯类、苯、铬、镉、汞
	W <sub>12</sub>	0.10			
D	W <sub>13</sub>	0.15	P <sub>6</sub>	停产	NH <sub>3</sub> 、胺
	W <sub>14</sub>	0.20			
	W <sub>15</sub>	0.10			
E	W <sub>16</sub>	0.03	P <sub>8</sub> /P <sub>9</sub>	停产/在生产	酯类、苯、铬/酯类、NH <sub>3</sub>
	W <sub>17</sub>	0.02			

按照《地下水质量标准》(GB/T 14848 - 2017)<sup>[17]</sup>中规定的方法进行地下水质量综合评价,即首先进行单指标评价,以《地下水质量标准》(GB/T 14848 - 2017)(优先采用)或《生活饮用水卫生标准》(GB 5749 - 2006)<sup>[18]</sup>中指标值所在的 III 类限值或限值确定地下水质量类别(不同地下水质量类别的指标相同时从优不从劣),然后以单指标评价结果的最高类别作为综合地下水质量类别。对于超过 III 类限值或限值的指标,其超标倍数的计算公式如下:

$$I = \frac{C - C_H}{C_H} \quad (1)$$

式中:  $I$  为某评价因子的超标倍数;  $C$  为地下水中某评价因子的实测浓度值, mg/L;  $C_H$  为评价因子在《地下水质量标准》(GB/T 14848 - 2017)中 III 类值或《生活饮用水卫生标准》(GB 5749 - 2006)中的限值, mg/L。

对于非常规指标及常规指标中的三氯甲烷、四氯化碳、苯和甲苯,除评价超标状况外,还评价检出状况,将实验室检出限作为评价检出限。

2.3.2 生态价值评价模型 生态价值指地下水在参与自然界水循环,并与其周围环境进行物质与能量交换过程中,对维持生态系统生命周期和生态环

境良性发展所起的作用<sup>[11]</sup>。地下水具有调节径流、涵养水源的直接生态功能以及释氧固碳、调节气候、防风固沙、保持水土、维持生物多样性等间接生态功能。地下水的生态功能决定了其具有重要的生态价值。采用替代工程法,用假想水库的造价替代地下水涵养水源的功能效益,并用发展阶段系数进行调整,公式如下<sup>[12]</sup>:

$$V = f \cdot Q \cdot C_r \cdot 10^{-8} \quad (2)$$

式中:  $V$  为地下水涵养水源的功能价值,元;  $f$  为当地发展系数;  $Q$  为该区域的地下水资源量, m<sup>3</sup>;  $C_r$  为贮水成本,为当地建水库等替代工程造价与工程库容量的比值,元/m<sup>3</sup>。

为了能够准确描述经济发展阶段对生态价值影响的特征,国内外学者经过多年研究,用皮尔生长曲线和恩格尔系数求出发展阶段系数 $f^{[19]}$ ,公式如下:

$$f = \frac{1}{1 + 1/e^{t-3}} \quad (3)$$

式中:  $e$  为自然对数的底,为常数;  $t$  为该区农村居民恩格尔系数的倒数。

## 3 结果与分析

### 3.1 地下水质量状况

3.1.1 总体质量状况 采用上述水质综合评价方

法,对 26 件水样分别进行了综合评价。结果表明,50%的水样超标,均为 IV 或 V 类水,以 IV 类水为主,其中水源超标 7 件,风险源超标 6 件,分别占水源和风险源水样的 41.2% 和 66.7%。超标指标 7 项均为常规指标,主要超标指标为砷、锰和铁,超标率分别为 19.2%、19.2% 和 15.4%。其中水源超标

指标 4 项,分别为砷、锰、铁和氟化物,超标率(占水源水样比率)分别是 17.6%、11.8%、11.8% 和 5.9%;风险源超标指标除此 4 项外,还包括总硬度、氨氮和 TDS,其中,总硬度、铁、锰和砷超标率(占风险源水样比率)均为 22.2%,氨氮、TDS 和氟化物超标率均是 11.1% (图 2)。研究区总体水质较差。

表 2 测试指标

指标类别		指标名称
常规指标	一般化学指标	色度,浑浊度,嗅和味,肉眼可见物, pH 值、总硬度、溶解性总固体(TDS)、硫酸盐、氯化物、铁、锰、铜、锌、铝、挥发酚(以苯酚计)、硫化物、阴离子合成洗涤剂、耗氧量、钠、氨氮
	毒理学指标	硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氰化物、氟化物、碘化物、汞、砷、硒、镉、铬(六价)、铅、三氯甲烷、四氯化碳、苯、甲苯
非常规指标	氯代烃	二氯甲烷、1,2-二氯乙烷、1,1,1-三氯乙烷、1,1,2-三氯乙烷、1,2-二氯丙烷、三溴甲烷、氯乙烷、1,1-二氯乙烯、1,2-二氯乙烯、三氯乙烯、四氯乙烯
	单环芳烃	乙苯、二甲苯、苯乙烯、2,4-二硝基甲苯、2,6-二硝基甲苯、2,4,6-三氯酚、五氯酚、六氯苯
	氯代苯	氯苯、邻二氯苯、对二氯苯、三氯苯(总量)
	多环芳烃	苯并[a]芘、萘、蒽、荧蒽、苯并[b]荧蒽

采用公式(1)分别计算了 7 项超标指标的超标倍数,其中超标倍数均值最大的指标是铁,最大超标倍数 36.9;其次是锰,最大超标倍数 21.7,铁、锰超标倍数最大的均是风险源水样。超标倍数均值最小的指标是砷,最大超标倍数仅 0.4,为水源水样;最小超标倍数 0.19,为风险源水样(图 3)。

进行检出评价的上述 4 项常规指标中仅三氯甲烷 1 项且仅 1 件水源水样有检出。非常规指标检出 7 项,检出率最高的是荧蒽,为 53.8%,其次是二氯甲烷,为 50%,再次是萘和蒽,均为 23.1%;检出率最低(仅 1 件水样)的指标是 1,2 二氯乙烷和三氯乙烯,均为 3.8%。其中水源检出 7 项,风险源检出 6 项。水源检出率(占水源水样比率)荧蒽为 41.2%、二氯甲烷为 47.1%、萘和蒽均为 11.8%;风险源检出率(占风险源水样比率)荧蒽为 77.8%、二氯甲烷为 55.6%、萘和蒽均为 44.4% (图 2),但检出浓度均为微量或痕量(表 3),地下水供水安全未受到威胁。

总体来看,地下水质量水源好于风险源。

### 3.1.2 分区评价

子区 A:有  $W_1 \sim W_7$  7 个农村地下水水源,水源补给区或周边 2 km 范围内存在  $P_1 \sim P_3$  3 个风险源(表 1,图 1)。超标水样 5 件,其中水源 3 件,均为 IV 类水,风险源 2 件,为 IV 和 V 类水;超标指标 6 项,其

中水源超标指标为砷和锰,超标倍数 0.06 ~ 0.4;风险源超标指标为锰、总硬度、铁、TDS 和氨氮 5 项,超标倍数铁最大,为 36.9, TDS 最小,为 0.07(图 3)。非常规指标检出 5 项,水源仅  $W_7$  检出,检出指标为二氯甲烷、萘、荧蒽和苯并[b]荧蒽 4 项,风险源  $P_1$  和  $P_3$  均有检出,检出指标除此 4 项外还包括三氯乙烯(表 3)。

水源  $W_1$  和  $W_2$  周边 2 km 范围内存在风险源  $P_1$ ,  $W_1$  和  $P_1$  均超标,分别为 IV 和 V 类水,但二者超标指标不同,  $W_1$  为砷,  $P_1$  为总硬度、铁、锰和氨氮;非常规指标水源均未检出,风险源检出萘、三氯乙烯和荧蒽 3 项。水源  $W_3 \sim W_6$  补给区或周边 2 km 范围内存在风险源  $P_2$ ,  $W_4$ 、 $W_5$  和  $P_2$  超标,均为 IV 类水,其中  $W_5$  和  $P_2$  有 1 项相同超标指标——锰,超标倍数  $P_2 > W_5$ ;非常规指标水源和风险源均未检出。水源  $W_7$  周边 2 km 范围内存在风险源  $P_3$ ,二者均未超标;非常规指标  $W_7$  检出 4 项,  $P_3$  检出 3 项,二者检出 3 项相同指标,即二氯甲烷、荧蒽和苯并[b]荧蒽,检出浓度水源  $\geq$  风险源(图 3,表 3)。总体来看,子区 A 地下水质量水源好于风险源。

子区 B:有  $W_8 \sim W_{10}$  3 个农村地下水水源,水源周边 2 km 范围内存在 1 个风险源  $P_4$ (表 1,图 1)。水源和风险源均超标,水源超标指标为铁、砷和锰,风险源为砷,但仅  $W_9$  与  $P_4$  有相同的超标指标 -

砷,超标倍数  $W_9 > P_4$ ;非常规指标检出4项,  $W_9$ 、 $W_{10}$ 及  $P_4$  均有检出,检出2项相同指标,即二氯甲烷和茚,且二氯甲烷检出浓度  $P_4 > W_9 > W_{10}$  (图3,表3)。总体来看,子区B地下水质量水源与风险源相当。

子区C:有  $W_{11}$ 、 $W_{12}$  两个农村地下水水源,水源补给区或周边2 km范围内存在1个风险源  $P_5$  (表1,图1)。 $W_{12}$  氟化物超标1.2倍,  $P_5$  未超标;非常规指标水源和风险源均检出二氯甲烷和茚,检出二氯甲烷浓度  $P_5 > W_{12}$ ,茚浓度  $P_5 >$  (或  $<$ )  $W_{12}$  (图3,表3)。总体来看,子区C地下水质量风险源好于水源。

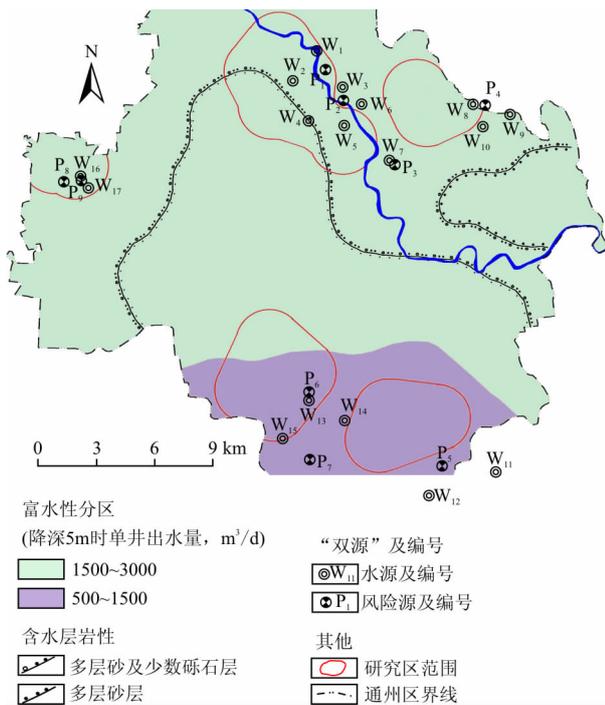


图1 研究区水文地质条件及“双源”分布图

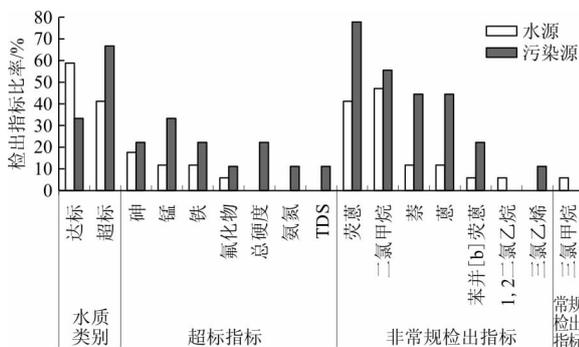


图2 “双源”各类别水质、超标指标及非常规(常规)检出指标比率

子区D:有  $W_{13}$  ~  $W_{15}$  3个农村地下水水源地,水源补给区或周边2 km范围内存在  $P_6$  和  $P_7$  2个风

险源(表1,图1)。水源均未超标;风险源均超标,超标指标为砷、锰和氟化物。非常规指标检出4项,且水源和风险源检出4项相同指标,分别为二氯甲烷、萘、茚和茚(图3,表3)。

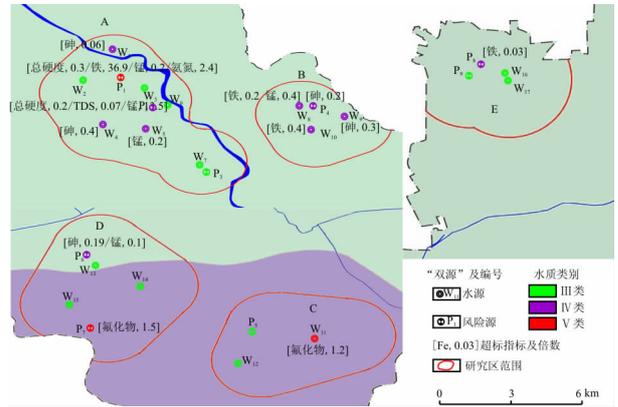


图3 “双源”地下水质量、超标指标及超标倍数评价图

水源  $W_{13}$  和  $W_{14}$  补给区内存在风险源  $P_6$ ,  $W_{13}$  和  $W_{14}$  均未超标,  $P_6$  砷、锰超标,超标倍数 0.10 ~ 0.19;非常规指标  $W_{13}$ 、 $W_{14}$  和  $P_6$  均有检出,但  $W_{13}$  和  $W_{14}$  均检出二氯甲烷,  $P_6$  检出茚和茚。水源  $W_{15}$  周边2 km范围内存在风险源  $P_7$ ,  $W_{15}$  未超标,  $P_7$  氟化物超标1.5倍;非常规指标  $W_{15}$  和  $P_7$  均有检出,且有3项相同指标,即萘、茚和茚,检出浓度萘和茚  $P_7 > W_{15}$ ,茚  $W_{15} > P_7$  (图3,表3)。

总体来看,子区D地下水质量水源好于风险源。萘是风险源特征污染物,地下水检出可能是受到风险源的影响,但属于痕量检出,地下水供水安全并未受到威胁,且目前该企业已停产,将来亦不会加重污染程度。

子区E:有  $W_{16}$ 、 $W_{17}$  2个农村地下水水源,水源补给区或周边2 km范围内存在2个风险源  $P_8$ 、 $P_9$  (表1,图1)。

水源未超标,风险源  $P_8$  铁超标0.03倍;非常规指标检出5项,  $W_{16}$ 、 $W_{17}$  为二氯甲烷、茚、茚和三氯甲烷,  $P_8$ 、 $P_9$  除此4项外还包括萘,水源与风险源检出3项相同指标——二氯甲烷、茚和茚,检出浓度风险源  $\geq$  (或  $<$ ) 水源 (图3,表3)。总体来看,子区E地下水水质水源好于风险源。

由上述对风险源的调查分析及分区评价可知,各子区超标指标与检出的非常规指标(萘除外)均不是风险源特征污染指标,因此研究区内水源基本未受到化工类工业风险源的影响。

### 3.2 地下水生态价值

首先采用公式(3),根据该区农村居民恩格尔

系数,计算得出 $f$ 为0.543;然后采用公式(2),评价得出研究区地下水调节径流、涵养水源的生态价值约为人民币1.256元。可见,在研究区地下存在着

一座生态价值巨大的地下水库,并且这还只是一种生态价值,如果对地下水生态价值全面、完整地评价,数值还会更大。

表3 各子区地下水非常规(常规)检出指标及浓度统计表

子区名称	水源名称	取样深度/m	有机检出指标	限值/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	浓度/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	风险源名称	取样深度/m	有机检出指标	限值/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )	浓度/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ )
A	W <sub>1</sub>	200	无			P <sub>1</sub>	17	萘		0.014
			无					三氯乙烯		0.6
	W <sub>3</sub>	300	无			P <sub>2</sub>	21	无		0.03
			无							
			无							
	W <sub>7</sub>	200	二氯甲烷	20	3.6	P <sub>3</sub>	180	二氯甲烷	20	2.6
			萘	100	0.014			茚	240	0.01
茚			240	0.013						
苯并[b]茚			4	0.004	苯并[b]茚			4	0.004	
B	W <sub>8</sub>	180	无		P <sub>4</sub>	180	二氯甲烷	20	7.6	
			无					茚	240	0.008
	W <sub>9</sub>	260	1,2-二氯乙烷	30	0.8			苯并[b]茚	4	0.004
			二氯甲烷	20	0.9					
W <sub>10</sub>	260	二氯甲烷	20	0.8						
		茚	240	0.07						
C	W <sub>11</sub>	300	茚	240	0.005	P <sub>5</sub>	300	二氯甲烷	20	1.2
	W <sub>12</sub>	200	二氯甲烷	20	0.7			茚	240	0.006
D	W <sub>13</sub>	360	二氯甲烷	20	0.9	P <sub>6</sub>	150	茚	1800	0.018
			二氯甲烷	20	2.1			茚	240	0.008
	W <sub>15</sub>	300	萘	100	0.012	P <sub>7</sub>	100	二氯甲烷	20	0.6
		萘			萘			100	0.015	
		茚	1800	0.011	茚			1800	0.013	
E	W <sub>16</sub>	200	二氯甲烷	20	0.6	P <sub>8</sub>	85	二氯甲烷	20	0.9
								萘	100	0.037
								茚	1800	0.013
			茚	240	0.005	茚	240	0.004		
W <sub>17</sub>	200	二氯甲烷	20	0.8	P <sub>9</sub>	70	萘	100	0.023	
		三氯甲烷	60	0.5			茚	1800	0.006	

### 3.3 原因分析

影响指标超标(进而水质超标)的原因不外乎自然因素和人为因素两种。在北京市平原区,由

于地层沉积环境以及天然水岩作用,存在着砷、锰、铁和氟化物等指标的天然劣质水<sup>[20]</sup>,而研究区均处于天然劣质水分布区范围内。因此,砷、锰、铁和氟

化物4项指标超标主要是地质成因造成的,属自然因素导致。总硬度、氨氮、TDS超标主要受人为因素影响,根据北京市水文地质工程地质大队监测成果,研究区所在的行政区浅层水总硬度、TDS大部分地区超标,氨氮局部超标<sup>[2]</sup>,而本次总硬度、TDS和氨氮超标的风险源P1、P2均处于区域浅层水总硬度、TDS和氨氮超标区范围内。因此,总硬度、TDS和氨氮超标由区域浅层地下水环境即人类活动影响下的区域地下水环境导致,而非由企业造成。

该区人口众多,常住人口约 $138 \times 10^4$ <sup>[3]</sup>,生活污水、生活垃圾排放量大,相应地,医疗卫生、文化教育、餐饮服务生活附属设施数量亦较多,人类活动产生的大量污水、固体废弃物通过渗漏、淋溶、自然下渗等途径进入地下,成为地下水重要的风险源。北运河是北京市的重要排污河,处于通州区内的河段接纳其上游多个污水处理厂退水,氨氮常年超出地表水V类标准,浓度亦高于地下水,并且由于河水水位高,呈现补给地下水的特征<sup>[21]</sup>,因而河道两侧一定范围内地下水还受河流侧向补给的影响,加重了地下水污染。该区地势平坦,河渠众多,大小河渠在以前作为城市生产、生活污水的主要排污场所,污水下渗造成地下水污染。历史上绝大部分地区曾是北京的污灌区,灌溉回渗补给地下水,农业污水是地下水又一风险源。而研究区地下水天然防污性能总体为“中等”,河道两岸一定范围内为“较差”<sup>[22]</sup>,故污染物易下移。多种污染物输入补给,现实原因、历史因素与包括地下水埋深、含水层岩性、渗透系数、土壤类型、包气带岩性、地形坡度等多个因素在内的地下水天然防污性能是影响通州区浅层地下水超标的重要原因。处于该区内的风险源P1、P2的浅层地下水总硬度、TDS和氨氮也就可能超标。

## 4 结论与讨论

(1)总体评价结果表明,研究区总体水质较差,地下水以IV类为主,主要超标指标是砷、锰和铁;超标倍数均值最大的指标是铁,最大达36.9倍,为风险源水样;有机检出指标主要是荧蒽、二氯甲烷、蔡和蒽,但均为微量或痕量检出,地下水供水安全未受到威胁。从水源与风险源分别来看,总体上地下水质量水源好于风险源。

(2)分区评价结果表明,各子区超标的常规指标与检出的非常规指标(蔡除外)均不是风险源特征污染指标,因此研究区内水源基本未受到化工类工业风险源的影响。蔡虽是风险源特征污染物,但

属痕量检出,且目前该企业已停产,将来亦不会继续影响水源。

(3)地下水生态价值评价表明,地下水调节径流、涵养水源的生态价值巨大,不容忽视。

本次调查的化工类风险源虽未对周边水源造成影响,但对于地下水超标现象仍不可忽视。不同的水质类别应区别对待,对于目前为Ⅲ类水质的水源,应着重注意保护,避免污染,防止向高一级类型的水质转化;对于目前为Ⅳ类水质的水源,建议采用净水技术去除超标因子,达标后供水;对于目前为Ⅴ类水质的水源,建议纳入到农村饮用水安全巩固提升工程“十三五”规划进行改水,并加快应急水源地建设,因地制宜建设备用水源或相邻水厂调水管道。

同时,对于主要由人为因素导致超标的水源建议加强对水源周边区域环境的治理,包括河道水质治理、进一步完善污水处理系统、加强生活垃圾管理、严禁随意填埋、城市污水管网渗漏核查、区域污染企业进一步排查等,以去除风险源头、阻断污染途径,切实保障饮用水源安全。工业上,二氯甲烷用作涂料溶剂、脱漆剂等,虽不是风险源特征污染指标,但对于B、C、D和E区二氯甲烷普遍检出的状况,建议加强监测,随时关注发展变化,防患于未然。生态文明的核心是人与自然的和谐发展<sup>[13]</sup>,以生态文明为视角,全方位关注地下水价值,进行地下水保护,满足人水和谐的要求,实现可持续利用和人与自然(包括地下水)共同发展的美好愿景。

以“双源”分布区为例,对地下水质量进行了评价,但受实际条件限制,本次个别风险源采样深度较大,水质评价结果可能较为理想。新建充分满足评价要求的监测井才能更加科学、准确地分析“双源”关系。同时对地下水调节径流、涵养水源的生态价值进行的评价,还只是一种探索和尝试,其值是粗略的估算值,还具有一定的不确定性:(1)评价模型中 $f$ 的不确定。目前对 $f$ 的计算模型还存在争议,如有相关人员<sup>[23]</sup>指出, $f$ 的计算模型中位移值的确定缺少理论支撑;(2)评价是对某一特定时间段内地下水所具有的生态价值的估算,评价值是静止的。实际上生态价值是动态变化的,其随着经济社会发展水平、自然条件及人类活动的变化而变化。由经济社会发展水平决定的人民生活水平越高,人们对生态价值的相对支付意愿就越强,生态价值越大;自然条件主要包括降水量、蒸发量、入渗量,降水量和入渗量越大、蒸发量越小即地下水资源量越大,生态价值越大;人类活动主要指地下水开采、水利工程建

造,地下水开采量越小、回渗、补给、蓄水与保水等的水利工程越多,生态价值越大。但尽管如此,对“双源”地下水质量进行的评价,可促进对化工类工业风险源更有针对性地监管,去除污染隐患;对地下水生态价值的评估充分说明了地下水对生态环境所做出的重大贡献,其生态价值不容忽视。

根据 GB/T 14848 - 2017 中“地下水水质分类”,不同类别水质生态价值应是有区别的,分类分质评价才更科学、合理。即使不能(或没有必要)精确定量评价每一类水的生态价值,但区分达标水和超标水还是十分必要的。达标水的生态价值应大于超标水,如果达标水采取上述评价模型,则超标水应在此基础上乘以一个小于 1 的系数,具体系数的大小还有待进一步讨论和研究。

“绿水青山就是金山银山”,单纯考量地下水的社会经济价值已远远不够了,只有同时关注地下水的生态价值,才是符合生态文明建设的要求。探索一种更加科学、完善的地下水生态价值评估模型,是今后研究的重要内容。

#### 参考文献:

- [1] 北京市水文地质工程地质大队. 北京市平原区地下水环境监测网运行 2017 年度成果报告[R]. 北京:2017.
- [2] 高晓龙,马东春,王宇欣. 通州区节水型社会建设现状及对策建议[J]. 水利经济,2017,35(1):51-54+77-78.
- [3] 通州区统计局. 通州区 2017 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2018-04-12)[2018-12-27]. [http://www.bjtzh.gov.cn/bjtz/xxfb/2018-08/08/content\\_1160737.shtml](http://www.bjtzh.gov.cn/bjtz/xxfb/2018-08/08/content_1160737.shtml)
- [4] 慧聪表面处理网. 让你们搬走还要等多久? 北京市通州区化工企业异味治理见真效,但企业搬迁仍无明确时间表[EB/OL]. (2015-06-18)[2018-12-28]. <http://info.pf.hc360.com/2015/06/181444506736-all.shtml>.
- [5] 新华社. 北京城市副中心加快退出不符合功能定位的产业[EB/OL]. (2017-07-29)[2018-12-28]. [http://www.xinhuanet.com/2017-07/29/c\\_1121400240.htm](http://www.xinhuanet.com/2017-07/29/c_1121400240.htm).
- [6] 张久川. 基于 GIS 的水资源评价方法的应用研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [7] 韦玲,郝少魁,王彩霞,等. 基于 GIS 的通州区再生水利用对地下水水位的影响研究[J]. 灌溉排水学报,2014,33(S1):301-305.
- [8] 孙峰,毛萌,周东,等. 北京市通州区浅层地下水水化学特征时空变化分析[J]. 中国农业大学学报,2017,22(11):83-93.
- [9] 刘永清. 北京市通州区第四系地下水氟分布规律研究[J]. 北京水务,2018(3):28-31.
- [10] 郭宝萍,唐一清,方友春,等. 北京市通州区农村地下水氟含量分析[J]. 卫生研究,2007,36(4):487-488.
- [11] 杨泽元,王文科,王雁林,等. 干旱半干旱区地下水引起的表生生态效应及其评价指标体系研究[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(3):105-111.
- [12] 李山梅. 地下水生态系统价值评价方法研究[J]. 生态经济,2016,32(11):27-31.
- [13] 皮家骏,欧阳澍,张带琴,等. 基于 PSR-物元模型的水生态文明评价研究——以南昌市为例,2018,29(1):55-61.
- [14] 徐梦珂,陈星,王好芳,等. 青岛市水生态文明建设评价[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(6):109-114.
- [15] 汪涌,蔡运龙. 快速城市化地区耕地资源保有量研究——以北京市通州区为例[J]. 国土与自然资源研究,2007(3):16-17.
- [16] 张安京,叶超,李宇,等. 北京地下水[M]. 北京:中国大地出版社,2008:1-60.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 地下水质量标准:GB/T 14848-2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
- [18] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 生活饮用水卫生标准:GB 5749-2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [19] 李金昌. 生态价值论[M]. 重庆:重庆大学出版社,1999:31-32.
- [20] 陈忠荣,林健,赵微. 北京地下水污染调查评价成果报告[R]. 北京:北京市地质调查研究院,北京市水文地质工程地质大队,2010.
- [21] 徐庆勇,石思宇,陈忠荣. 北运河典型污染河段对地下水环境的影响行为研究[R]. 北京市水文地质工程地质大队,2017.
- [22] 北京市水文地质工程地质大队. 北京市地下水水文地质调查及水质评价[R]. 2016,12.
- [23] 邵金凤. 中外生态价值发展阶段系数的理论探讨及对比研究[D]. 北京:北京工商大学,2006.