

下辽河平原区辽阳-鞍山地段浅层地下水污染评价

赵 岩

辽宁省地质矿产调查院, 辽宁 沈阳 110031

摘 要 随着城市规模和城市化进程的扩大与加快,工业化程度的不断提高,区域地表水和地下水受到不同程度的污染,人类赖以生存的淡水资源面临威胁。20 世纪 90 年代以来,我国开始关注农业污染和有机污染的研究工作。结合研究区研究情况,本次评价主要应用单因子污染指数法及综合污染指数法。综合分析了地下水评价的各种方法后,本次评价选择了单指标污染指数评价法和地下水污染综合评价法对该区进行评价。在研究区展开了野外调查,采集了浅层地下水样品 110 组(其中包括平行样、加标样和监控样合计 20 组),每个样品测试了 35 项指标。评价结果表明,研究区 67.4%浅层地下水受到不同程度的污染。根据本次评价,基本上反映了研究区地下水污染状况,并为有针对性的治理提供依据。

关键词 地下水;污染;评价;下辽河平原

DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.04.018

EVALUATION OF SHALLOW GROUNDWATER POLLUTION IN LIAOYANG-ANSHAN SECTION OF LOWER LIAOHE RIVER PLAIN

ZHAO Yan

Liaoning Institute of Geological and Mineral Survey, Shenyang 110031, China

Abstract : With the expanded city scale, accelerated urbanization and improved industrialization, regional surface water and groundwater are polluted in varying degrees and freshwater resources for human survival is threatened. Since 1990s, China has focused on researches about agricultural pollution and organic contamination. Considering the situation in the study area, the evaluation mainly adopts single factor pollution index and comprehensive pollution index methods. After a comprehensive analysis on the various methods of groundwater evaluation, the evaluation selects single pollution index and comprehensive evaluation index of groundwater pollution for the region. The author collects 110 groups of shallow groundwater samples in the study area, and tests 35 indicators for each sample. The evaluation results show that 67.4% of the shallow groundwater are subject to contamination in different degrees, which basically reflects groundwater pollution status and provides the basis for targeted treatment in the study area.

Key words groundwater; pollution; evaluation; Lower Liaohe River Plain

0 引言

地下水环境质量评价研究从 20 世纪 70 年代开始逐渐受到重视。国外在地下水污染方面的研究主要是加强污染质运移机理的基础理论研究^[1]。地下水污染评价采用的方法与水质评价基本一致。国内地下水污染评价工作起步较晚,但是发展比较迅速。

在我国,20 世纪 50 年代地下水质量问题就引起了关注。1959 年北京开展了西郊首钢含酚、氰废水对

地下水造成的污染调查与监测研究^[2]。20 世纪 70~80 年代,逐步开展了呼和浩特、上海、长春、沈阳、西安、武汉等一些大中城市地下水污染调查工作,并进行了硬度、硝酸盐、砷、铁、酚等地下水污染机理的实验研究,为地下水保护和污染治理提供科学的理论依据^[2]。20 世纪 90 年代以来,我国开始关注农业污染和有机污染的研究工作。

国内外区域地下水污染评价方法较多,主要有单

收稿日期 2014-09-20,修回日期 2015-03-28. 编辑 李兰英.

作者简介 赵岩(1982—),男,工程师,主要从事水工环地质调查研究.通信地址 沈阳市皇姑区宁山中路 42 号,E-mail//zhaoyan_8@163.com

因子污染指数、综合污染指数法^[3]、参数分级评分叠加指数法^[4]、层次分析评价法^[5]、统计分析方法^[6-7]、灰色系统和模糊数学方法等^[8-9]。结合研究区研究情况,本次评价主要应用单因子污染指数法及综合污染指数法。

1 地下水污染评价方法

1.1 单指标污染指数评价法

以环境背景值和《地下水质量标准》(GB/T 14848-1993)^[10]中 III 类水的水质指标为参考对照,构建如下计算公式:

$$P_{ki} = \frac{C_{ki} - C_0}{C} \quad (1)$$

式中: P_{ki} — k 水样第 i 个指标的污染指数; C_{ki} — k 水样第 i 个指标的测试结果; C_0 —代表 k 水样无机组分 i 指标的背景值或有机组分 i 指标的检出限; C —《地下水质量标准》中指标 i 的 III 类指标限值。

利用式(1)分别计算各水样点单指标污染指数 P_{ki} ,按表 1 中污染指标分级标准,确定每一个指标污染等级。

表 1 单指标污染指数分级标准

Table 1 Grading standard of single pollution index

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	$P \leq 0$	$0 < P \leq 0.2$	$0.2 < P \leq 0.6$	$0.6 < P \leq 1.0$	$1.0 < P \leq 1.5$	$P \geq 1.5$

1.2 地下水污染综合评价法

每个水样点地下水综合污染等级按单指标评价结果的最高类别确定。

本次地下水污染评价指标选择与人类活动密切相关的有毒有害物质,包括 8 项无机指标和 26 项有机指标。按三氮指标、毒性重金属指标、挥发性有机指标、半挥发性有机物指标分为 4 类(表 2)。运用上述地下水

表 2 地下水污染评价指标分类表

Table 2 Evaluation index classification of groundwater pollution

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、镉、铬、铅、汞
挥发性有机指标(22 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、三氯苯(总量)、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯
半挥发性有机物指标(4 项)	总六六六、总滴滴涕、六氯苯、苯并(a)芘

污染综合评价方法,分别对地下水样品进行分类指标影响分析。

1.3 对照值的确定

目前地下水背景值计算方法有很多种,但计算结果与实际相差较大。本次主要以 20 世纪 80 年代初鞍山市、辽阳市环境监测数据为基础,结合本次研究所取得的水化学测试数据,经过分析研究确定硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、砷、镉、铬、铅的地下水污染的对照值(见表 3)。

表 3 部分地下水污染评价指标对照值

Table 3 Some evaluation indexes of groundwater pollution

项目	硝酸盐	亚硝酸盐	氨氮	砷	镉	铬	铅
背景值	2.8	0.013	0.13	0.004	0.0019	0.05	0.08

含量单位: mg/L。

一般情况下,地下水有机物和毒性金属天然环境含量微少,人类活动为主要污染源。因此将毒性金属汞和有机物对照值设定为 0。

2 区域水文地质背景及样品采集

研究区属下辽河平原东部山前地带的一部分,全区地势极为开阔平坦。除区内东南一隅有零星丘陵点缀,均属一望无际的平原区,区内地下水是比较丰富的,太子河流经该地段。太子河扇地区为鞍山市与辽阳市主要地下水水源地分布区。随着城市规模和城市化进程的扩大与加快、工业化程度的不断提高,区域地表水和地下水受到不同程度的污染,人类赖以生存的淡水资源面临威胁。

2.1 水文地质背景

地下水的赋存内因是含水层几何形态,包括基底地形、含水层厚度、埋深、结构、颗粒粒度、分选、磨圆等。外因是地下水的补给条件,包括气象、水文、地形地貌、地表入渗能力等。本区第四系分布广、厚度大,粒度粗,地面入渗能力强(薄层亚砂、亚黏土),又有太子河、大气降水和河流地表水可直接补给地下水,因而赋存着极为丰富的地下水。

太子河冲洪积扇地处山前出口处,基底地形为一由东向西开放的簸箕状,东高西低,东窄西宽。含水层由粒径粗大的卵石、砾石、砂含砾石由东向西过度。含水层的渗透系数、导水能力、储水能力很强。地表为薄层亚砂土、亚黏土。上游局部或漫滩区为细砂或砂含砾。该区年平均降雨较多,垂向渗入补给量大,加之太子河上游段侧向补给和两侧丘陵区地表径流补给,使

得本区赋存着极丰富的地下水. 按含水层类型及地下水赋存状态, 将全区地下水分为 3 大基本类型, 即松散岩类孔隙水、碳酸岩类裂隙岩溶水和基岩裂隙水.

地下水的补给和运动, 即地下水的补给、径流、排泄作用作为一个统一的连续过程, 很难分开, 尤其在垂直向补给和排泄为主的条件下, 更是如此. 往往补给区有径流, 径流区有补给和排泄, 几种不同的地下水形成作用交织在一起.

2.2 样品采集

在区域控制的基础上, 本次样品采集原则为优先选择重要地下水水源地、国家级、省级地下水监测孔、大泉(泉群)、有系列分析资料的农用井、大型工矿企业自备井、矿山排水、油田供水井、重要污染源附近的监测井等井孔或水点(图 1).

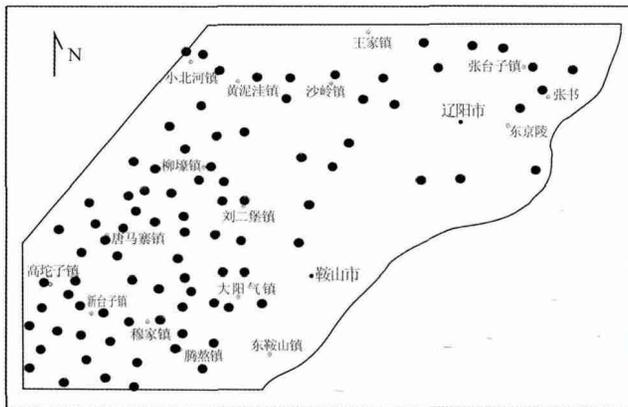


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Distribution of sampling sites

研究区采样点布设时重点考虑污染源、含水层分布、地下水流向, 并结合污染物的扩散形式来确定. 当现有井(泉)点不能满足采样密度时, 应采用人工揭露方法采集地下水样品.

水样品集中做出周密计划, 包括采样时间安排、采样人员安排、采样点位置与数量、采样行程与进度安排、检测项目、采样容器种类与数量、采样用试剂种类与用量、现场检测项目与仪器、采样设备、采样器材种类与数量、现场质控样品种类与数量、样品送检数和时间等. 采样前与送检实验室协商编制采样计划. 采样计划发放至工作组每个成员和承担检测任务的实验室.

采样准备, 从送检实验室获取所需数量的有机采样瓶、用于制作现场空白的纯水、制作现场基体加标回收样的标准溶液、现场所使用的各种保护剂, 自备了野外取样冷藏箱. 采样前做好现场用检测仪器的校准和采样泵等其他采样器材的准备工作. 采样中根据钻孔类型选择采样设备.

本次研究除去监控样、平行样和空白样品(合计 20), 共计采集了 89 组浅层地下水样品, 采样密度为每百平方公里 8~9 组样品. 检测指标为 42 项, 包括现场物理化学指标 7 项, 地下水无机指标 8 项, 地下水有机指标 27 项.

3 区域地下水污染评价

依据本次采样测试数据进行评价分析, 得出研究区遭受不同程度污染的地下水占总取样点数的 67.4%. 以极重污染为主, 占总取样点数的 33.7%. 轻度污染、中污染次之, 分别占总取样点数的 14.6%, 而较重污染、严重污染的地下水均未超过总取样点数的 5%(见表 4).

3.1 “三氮”

3.1.1 单指标评价

本次评价共利用样品 89 组. 从表 5 可以看出研究区三氮单指标地下水污染评价总体情况是 Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类数目少, 所占比例仅有 10%左右. 其中 NO_3^- Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类共 18 个样品点, 占有所有样品的 20.22%. NO_2^- Ⅲ类有 8 个样品点, 占有所有样品的 8.99%. NH_4^+ Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类共 13 个样品点, 占有所有样品的 14.61%. 其中, NO_3^- 在研究区 Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类样品普遍分布, 重点研究区内, 呈散布式分布. NO_2^- 在研究区 Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类样品分布比较普遍, 以 Ⅲ类样品为主零散分布在研究区. NH_4^+ 在研究区 Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类样品分布不多, 为零散分布. 研究区三氮指标单指标地下水污染评价总体比较严重, 集中在人口聚集的城市周边, 受人类生产生活影响较大.

3.1.2 综合指标评价

本次评价共利用样品 89 组. 其中 Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类污染

表 4 地下水污染指标评价统计表

Table 4 Evaluation index statistics of groundwater pollution

指标类别	Ⅲ类		Ⅳ类		Ⅴ类		Ⅵ类		Ⅶ类		Ⅷ类	
	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比
浅层地下水	11	12.4	15	16.9	25	28.1	8	9.0	10	11.2	20	22.5

表 5 三氮单指标地下水污染评价统计表
Table 5 Statistics of groundwater pollution evaluation for single index of 3-N

项目	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺
参评数	89	89	89
I 类	样品数 56 比例 62.92%	80 89.89%	60 67.42%
II 类	样品数 5 比例 5.62%	0	10 11.24%
III 类	样品数 10 比例 11.24%	1 1.12%	6 6.74%
IV 类	样品数 4 比例 4.49%	0	5 5.62%
类	样品数 6 比例 6.74%	0	4 4.49%
类	样品数 8 比例 8.99%	8 8.99%	4 4.49%

点为 36 组, 占总数的 40.4%。研究区地下水三氮污染程度比较严重, 19 个 I 类样品点散布于研究区(见表 6)。三氮污染主要是工业污染和人类生活污染。研究区位于辽阳市和鞍山市西部太子河流域, 以工业为主, 工业废水量较大, 造成研究区地下水三氮指标污染较重的现状。

3.2 毒性金属指标污染评价

3.2.1 单指标评价

砷、镉、铬、铅、汞、硒 因其在地下水中的含量的多少与人类活动关系极为密切, 在总体分布上与其他离子相比, 个性突出。

研究区有毒重金属单指标地下水污染评价统计见表 7。

本次评价共利用样品 89 组。由表 7 可以看出, 研究区有毒重金属单指标地下水污染评价总体情况是 I 类、II 类、III 类数目少, 所占比例仅为 5%左右, 其中砷无 I 类、II 类样品, III 类有 1 个样品点, 占所有样品的 1.12%。镉、硒、铬和汞无 I 类、II 类、III 类样品。铅 I 类有 1 个样品点、II 类有 2 个样品点, 占所有样品的 3.37%。其中, 砷单指标在研究区仅有海城市腾鳌镇接官堡村采样点的样品为 I 类样品, 其余均没有超过 II 类样品。铅单指标在研究区仅有辽阳县灯塔县张台子

表 7 研究区有毒重金属单指标地下水污染评价统计表
Table 7 Statistics of groundwater pollution evaluation for single index of toxic heavy metals

项目	砷	镉	硒	铬	铅	汞
参评数	89	89	89	89	89	89
I 类	样品数 40 比例 44.94%	89 100%	89 100%	89 100%	89 100%	89 100%
II 类	样品数 29 比例 32.58%					
III 类	样品数 19 比例 21.35%					
IV 类	样品数				1 1.12%	
类	样品数					
类	样品数 1 比例 1.12%				2 2.25%	

镇新农村内和辽阳市太子河区东京陵乡沙坨子村采样点的样品为 I 类样品, 辽阳市辽阳县黄泥洼乡头台子村内采样点的样品为 II 类样品, 其余均没有超过 III 类样品。研究区有毒重金属指标单指标地下水污染评价较轻, 仅在个别点受人类生产生活影响。

3.2.2 综合指标评价

对 89 组样品测试结果进行地下水污染分类指标评价, 结果见表 8。

本次评价共利用样品 89 组, 其中 I 类、II 类、III 类污染点为 1 组, 占总数的 1.1%。研究区地下水有毒重金属污染程度比较轻, 1 个 I 类样品点散布于研究区。有毒重金属污染主要是工业污染和人类生活污染。

3.3 挥发、半挥发性有机物污染

3.3.1 单指标评价

本次评价共利用样品 89 组。研究区有毒有机物单指标地下水污染评价总体情况是(除苯并(a)芘外) I 类、II 类、III 类数目少, 所占比例仅有 5%左右。其中三氯甲烷无 I 类、II 类样品, III 类有 1 个样品点, 占所有样品的 1.12%。1,2-二氯乙烷和 1,2-二氯丙烷, 都无 I 类、II 类样品, III 类也只有 1 个样品点, 占所有样品的 1.12%。总六六六 I 类有一个样品点, II 类有两个样品点。苯并(a)芘有 29 个样品点的样品为 II 类, 占所有

表 6 地下水污染综合指标评价统计表
Table 6 Comprehensive evaluation index statistics of groundwater pollution

指标类别	I 类		II 类		III 类		IV 类		类		类	
	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比
三氮指标	29	32.6	13	14.6	11	12.4	9	10.1	10	11.2	17	19.1

表 8 地下水污染综合指标评价统计表
Table 8 Comprehensive evaluation index statistics of groundwater pollution

指标类别	样品数		百分比		样品数		百分比		样品数		百分比	
	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比
有毒重金属指标	40	44.9	29	32.6	19	21.3	0	0	0	0	1	1.1

样品的 32.9%。其余指标都没有超过 Ⅲ 类样品。研究区苯并(a)芘污染较重,呈零散分布在研究区,受人类生产生活影响较大。研究区有毒有机物指标单指标地下水污染评价较轻,仅在个别点受人类生产生活影响。

3.3.2 综合指标评价

89 组样品测试结果进行地下水污染分类指标评价,结果见表 9。

本次评价共利用样品 89 组,其中半挥发性有机物因为受苯并(a)芘影响,Ⅲ 类污染点为 3 组,占总数的 3.4%;挥发性有机物 Ⅲ 类污染点为 2 组,占总数的 2.2%。总地来说,重点地段地下水有有机物污染程度比较轻,仅苯并(a)芘、1,2-二氯乙烷、1,2-二氯丙烷有个别点样品超过 Ⅲ 类。有机物污染主要是工业污染和人类生活污染。辽阳-鞍山重点调查区地下水挥发性有机物污染程度轻微,污染点一处分布在鞍山市西南、一处分布在柳壕公社西南。辽阳-鞍山重点调查区地下水挥发性有机物污染程度较轻。地下水半挥发性污染点分布比较零散,规律性较差。半挥发性有机物污染主要是农业生产过程中大量使用农药引起的,其次是工业污染。因此污染点具有零散分布,规律性差的特点。

4 地下水污染原因分析

研究区地下水污染是在人类剧烈活动下产生和加剧的。而人类活动主要表现为土地利用状况。不同的土地利用类型,其地下水污染形式和原因也有所不同。鞍山市地下水水质稳定,除铁污染倍数较大,属原生地下水环境因素造成外,其他指标污染倍数较小,是由于局部污染所致。如亚硝酸盐出现于浑河-太子河河间地块平原,为个别点污染所致。铁在河流山前冲洪积扇后缘、太子河流域冲洪积扇南部边缘和浑河-太子河河

间地块平原 3 个检出样品中污染程度较重。辽阳地区地下水污染项目主要为硝酸盐、亚硝酸盐、矿化度、硬度、氨氮、挥发性酚、铁、锰。辽阳地区水质较差的原因主要是地下水中铁、锰含量污染。

4.1 城市地区

城市用地引起地下水污染的原因有两方面:一是城市污水排放,二是城市垃圾污染。城市生活和工业污水排放对地下水污染,特别是化工、制药、农药生产及石油化工企业的污水排放,已造成对地下水的污染威胁。城市垃圾场选址或处理不当会污染地下水。调查发现许多城市垃圾场选在地下水补给源区或水源地附近,且多数垃圾场建场时未做防渗处理。本次研究表明,在距垃圾场最近的地下水中的污染物含量和种类最多,离 1000 m 处仍然存在较高浓度的污染物,特别是有机物苯(a)并芘的检出率高达 32.58%。而垃圾场附近的地下水样品中,苯并芘的检出率更高。

4.2 农村地区

农村用地污染包括农业用地污染和农村居民用地污染。农业用地引起地下水污染主要有两种方式:一是施用化肥和农药,二是污水灌溉。居民用地污染则指农村生活垃圾和生活污水造成的污染。一般说来,农业用地引起的污染多呈面状污染,农业化肥的不合理施用导致地下水三氮污染,NO₂⁻污染率已高达 25%,NO₃⁻和 NH₄⁺的污染率分别为 16.85%和 12.36%。农药大量使用也是造成区域地下水污染的一个重要因素。此外,城市周边及排污河附近地区污水灌溉也对地下水造成污染。

农村居民用地引起的污染主要表现为农村污水或垃圾随意排放引起的地下水污染。调查发现,农村垃圾、粪便等到处都有散布,尤其村中原来的壕塘等都作为村中的垃圾堆放池使用,这是引起农村地下水污染重要方式之一。

表 9 地下水污染综合指标评价统计表
Table 9 Comprehensive evaluation index statistics of groundwater pollution

指标类别	样品数		百分比		样品数		百分比		样品数		百分比	
	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比	样品数	百分比
半挥发性有机物	60	67.4	24	27	2	2.2	3	3.4				
挥发性有机物	82	92.91	4	4.75	1	1.1			2	2.2		

4.3 工矿地区

工矿企业引起的污染主要表现在污水的排放对地下水的污染。大量排放的工业废水中,含有浓度较高的硝酸根离子、亚硝酸根离子、铵根离子、铅离子、COD、挥发酚及氯代溶剂等,造成地下水,尤其是浅层地下水的污染。而工业垃圾的堆置主要产生重金属离子,重金属离子进入地下水中将导致总硬度、溶解性总固体值的增加。

一般说来,企业对地下水的污染多为点状污染,但由于企业排的污染物集中、浓度高,其对地下水污染的影响是巨大的,尤其是当企业污染排往地表河流时,工矿企业引起的污染就转变为线状污染。当被用于农业灌溉时,工矿企业引起的污染就转变为面状污染。工矿企业污水主要排放途径是地表水系及邻近坑塘。乡镇企业及矿产资源开发也是工矿企业对地下水污染的重要方面。乡镇企业和矿产资源开发往往具有生产集中、影响局部、防污意识差的特点,在冶炼、加工、存储过程中已导致周边地区地下水重金属污染、有机污染等,如:鞍山市达到湾镇达到湾村采样点样品Fe和苯并(a)芘均为Ⅲ类,辽阳市辽阳县唐马寨镇古家台村采样点样品Fe、Mn、NH₄⁺、苯并(a)芘为Ⅲ类。

5 结语

采用单指标污染指数法及地下水污染综合指数法对下辽河平原辽阳鞍山地段地下水污染状况进行了系统评价。评价结果表明,研究区遭受不同程度污染的地

下水占总取样点数的67.4%,以极重污染为主,占总取样点数的33.7%。轻度污染、中污染次之,分别占总取样点数的14.6%。而较重污染、严重污染的地下水均未超过总取样点数的5%。根据本次评价,基本上反映了研究区地下水污染状况,并为有针对性的治理提供依据。

参考文献:

- [1]张兆吉,费宇红,郭春艳,等.华北平原区域地下水评价[J].吉林大学学报:地球科学版,2012,42(5):1456—1461.
- [2]文冬光,林良俊,孙继朝,等.中国东部主要平原地下水质量与污染评价[J].地球科学:中国地质大学学报,2012,37(2):220—227.
- [3]马成有,曹剑锋,姜纪沂,等.改进的内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.
- [4]马振民,石冰,高宗军.泰安市地下水污染现状与成因分析[J].山东地质,2002,18(2):24—28,41.
- [5]张佳林,尉晓军.基于AHP法的地下水体综合评价[J].湖南大学学报:自然科学版,2006,33(5):136—140.
- [6]高春雨,汤岩,任永泰.基于改进层次分析法的哈尔滨市地下水水质影响因素分析[J].国土与自然资源研究,2010(3):87—89.
- [7]许榕,徐悦,马苏华.应用主成分分析法研究海洲湾的污染状况[J].海洋环境科学,1995,14(2):29—32.
- [8]杨宁,曹剑锋,石娜,等.基于GIS的磐石市地下水环境质量分析[J].吉林大学学报:地球科学版,2006,36(增刊1):47—50.
- [9]房春生,孟赫,单玉书,等.基于GIS吉林地下水水质模糊评价[J].吉林大学学报:地球科学版,2001,41(增刊1):293—297.
- [10]GB/T14848-1993,地下水质量标准[S].北京:中国标准出版社,1994.