

典型产业集聚区地下水优先控制污染物筛选

刘沙沙^{1,2,3}, 李瑞杨^{1,2}, 郭林^{2,3*}, 郭晓静^{2,3}, 张晨^{1,2}, 唐辉^{2,3}, 王小娟^{2,3}, 何欣琳^{2,3}

(1. 河南省地质科学研究所, 河南 郑州 450001; 2. 河南省地下水污染防治与修复重点实验室, 河南 郑州 450001; 3. 河南省地质研究院, 河南 郑州 450001)

摘要:为明确地下水污染高风险区环境管控目标,快速识别优先控制污染物,于2022年以典型产业集聚区为研究对象,利用污染源排污状况和地下水基础环境状况调查结果,将污染评价和环境风险相结合,优选污染源超标率、地下水环境污染等级、生物毒性参数和环境迁移转化参数作为筛选因子,利用层次分析法和综合分析法,计算各污染指标综合得分,建立筛选地下水优先控制污染物的方法体系。筛选结果显示,该产业集聚区的优先控制污染物相关指标包括:硝酸盐、耗氧量、石油类、总硬度、亚硝酸盐、镍、锌、硫酸盐、甲苯、氨氮等。筛选结果与园区主导行业产排污特征和地下水质量现状相符,具有一定的可靠性,可为科学、精准管控高风险区地下水质量提供依据。

关键词:产业集聚区;地下水;优先控制污染物;筛选;层次分析法;综合评分法

中图分类号:X82

文献标志码:A

文章编号:1674-6732(2023)06-0070-07

The Identification of Priority Control Pollutants in Groundwater of the Typical Industrial Agglomerations

LIU Shasha^{1,2,3}, LI Ruiyang^{1,2}, GUO Lin^{2,3*}, GUO Xiaojing^{2,3}, ZHANG Chen^{1,2}, TANG Hui^{2,3}, WANG Xiaojuan^{2,3}, HE Xinlin^{2,3}

(1. Henan Institute of Geological Sciences, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Henan Key Laboratory of Prevention and Remediation of Groundwater Pollution, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3. Henan Institute of Geology Survey, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: In order to establish clear environmental management objectives for high-risk areas of groundwater pollution and identify priority control pollutants quickly, the study was conducted in 2022 focusing on industrial agglomerations. By utilizing investigation results on pollution sources and discharge conditions, as well as the basic environmental conditions of groundwater, a combination of pollution evaluation and environmental risk was employed. The key screening factors were selected such as the excessive rate of pollutants from pollution sources, groundwater pollution grades, parameters of biological toxicity, and parameters of environmental migration and transformation. Analytical methods including the Analytic Hierarchy Process (AHP) and comprehensive analysis were used to calculate the comprehensive scores of each pollution indicator, forming a methodological framework for prioritizing control pollutants in groundwater. The screening results indicated that the relevant indicators for priority control pollutants in this industrial agglomeration area included nitrates, biochemical oxygen demand, petroleum compounds, total hardness, nitrites, nickel, zinc, sulfates, toluene, and ammonia nitrogen. The results of recognition in this method are consistent with the sewage characteristics of leading industries and the status of groundwater quality. It can provide a basis for accurate and rapid monitoring of groundwater quality in high-risk areas.

Key words: Industrial agglomeration; Groundwater; Priority control pollutants; Identification; Analytic hierarchy process; Comprehensive scoring method

收稿日期:2022-10-26;修订日期:2023-08-02

基金项目:中央水污染防治资金项目(H2020410199S1-00001)

作者简介:刘沙沙(1989—),女,工程师,硕士,研究方向为水土污染防治。

* 通讯作者:郭林 E-mail:451931989@qq.com

0 引言

产业集聚区内污染源集中分布,工业“三废”产生量大,所涉行业类型众多,污染物种类繁多,是地下水污染的高风险区^[1],严重威胁人类健康。国内地下水调查和监测等工作主要以现行标准文件《地下水质量标准》(GB/T 14848—2017)为依据,根据地下水功能逐一分析检测基础指标,目标性弱,消耗大量人力、物力,造成资源浪费严重;此外还因遗漏特征指标,造成污染评价结果偏差^[2-4]。如何快速识别出区域内对人体和生态环境具有高危害、高风险的污染物进行优先控制,精准监控地下水质量变化情况,是地下水污染防治工作需要解决的关键问题之一。

国外有关优先控制污染物的研究开始较早,美国、日本和欧盟等率先发布了优先控制污染物清单,根据污染物毒性和人类暴露量等指标,筛选出水环境优先控制污染物^[5-7]。我国于 1990 年发布水环境优先污染物黑名单,共包括 68 种化学物质^[8-10]。已有优先污染物筛选方法主要集中在饮用水和地表水^[11-13]。地下水优先控制污染物筛选方法主要有 2 类:(1)地下水污染风险评价筛选方法,如李霖等^[11]以污染物的环境暴露、毒性危害和火灾、腐蚀性危害为分级赋值指标,通过多参数综合评分法,筛选化工园区环境水体优先控制有机污染物。此类方法主要考虑污染物毒理学性质和环境效应,未参照实际工作资料,忽略了区域污染源排放特性和地下水质量情况的差异;(2)地下水污染评价筛选体系,主要以研究区地下水污染调查水质分析结果为基础,未全面考虑污染源排放量、污染物性质和迁移转化特性方面的影响^[14-17]。赵鹏等^[17]以《GB/T 14848—2017》Ⅲ类标准限值和背景值为评价标准,对污染物进行单指标污染评价和污染级别概率统计,评分排序后筛选优先控制污染物。目前,有关地下水的优先控制污染物识别工作开展相对较少,方法体系不完善,评价全面性和客观性有待提高。

本研究以典型产业集聚区为对象,以园区内企业产排污情况、污水和地下水水质监测数据为基础,使用层次分析法,将地下水质量评价体系与污染风险评价体系相结合,从污染源排放特征、环境受体污染程度、污染物潜在危害性质和污染物迁移转化效应等方面建立“源-途径-受体”地下水优先污染物筛选体系,识别优先控制污染物,精准定位

控制对象,明确防控目标,为环境监控和规划管理工作提供理论支撑。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

本研究所选产业集聚区位于郑州市经济开发区,以汽车制造业、化学品制造业为主导产业,占比约为 85%,还涉及非金属矿物制品业、制药业和其他电子设备制造业等其他行业,企业总数为 22 家,占地面积为 105.63 km²。该园区所涉及原辅材料和产品多种,生产工艺多样,有毒有害物质众多。

研究区地表出露为第四系全新统,地表岩性为粉土,包气带岩性以粉砂、粉土为主,含水层岩性为粉砂、细砂。浅层地下水类型主要为松散岩类孔隙水,地下水水位埋深 8~22 m,水流方向西南至东北,地下水质量容易受到地表污染源的影响。根据区域含水层埋藏深度、岩性特征及开采现状将其划分为 4 个含水层(组):①浅层含水层(组),含水层埋深 70~100 m,含水层以细砂为主,局部有粗砂,分布稳定;②中深层含水层(组),含水层埋深 100~300 m,为承压水,其间有中细砂、细砂 3~5 层,累计厚度 50~70 m;③深层含水层(组),为新第三系湖湘地层,埋深 300~500 m,砂层分布相对稳定,中间有多层黏土层相隔,其间有微胶结细砂、中细砂 5~6 层,上部和下部均有黏土隔水层;④超深层含水层(组),该含水层(组)埋藏较深,且垂直深度跨度较大,根据埋藏深度和开采价值可分为上段和下段。上段含水层埋深 500~800 m,其间有中细砂、细砂 5~7 层,上下部均有黏土组成相对隔水层,砂层分布不够稳定,多呈透镜体状,半胶结,下端含水层埋深 800~1 000 m,局部可达 1 100 m,其底板为第三系厚层泥岩,顶板有厚层黏土,组成上下隔水层。

1.2 资料收集

收集园区内各企业有关生产状况、产排污情况、环境监测数据等相关资料。

1.3 样品采集与评价标准

根据该产业集聚区产排污环节、平面布置及水文地质条件,取 22 个企业排放口废水样品,19 个浅层地下水样品,共完成 41 个水样水质分析,测试指标与污染物原始清单一致。由于本研究以地下水为研究对象,采用风险最大化原则,忽略迁移转化过程中的折减率,污染源水质超过地下水标准要

求则对地下水环境产生不良影响,因此,污染源和地下水水质评价均采用《GB/T 14848—2017》中Ⅲ类水水质标准为评价标准。

2 方法体系建立

产业集聚区地下水优先控制污染物筛选方法流程图见图 1。由图 1 可见,流程包括:建立污染物原始清单,污染物污染现状与环境风险综合评价,建立地下水优先控制污染物清单。

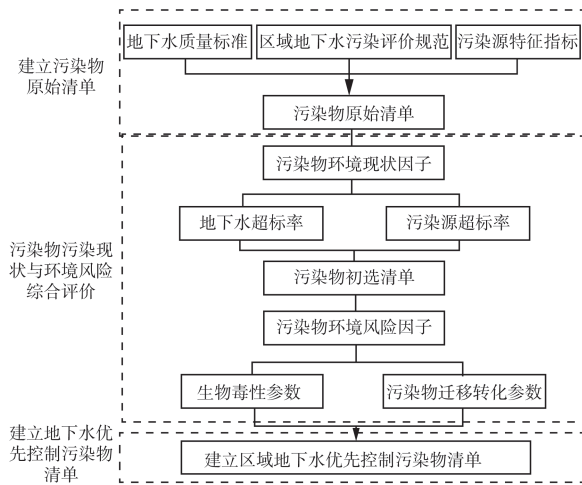


图 1 产业集聚区地下水优先控制污染物筛选方法流程

2.1 建立优先控制污染物原始清单

筛选《区域地下水污染调查评价规范》(DZ/T 0288—2015)中重点区域调查水样必测指标与《GB/T 14848—2017》中基本指标的重合指标,并增加产业集聚区内企业所涉及的特征污染物,建立原始清单。

2.2 污染现状与环境风险综合评价

利用层次分析法确定各因子权重,对各个评价因子分级赋值和权重打分;采用综合分析法对各评价因子定量迭代计算得分,以园区地下水超标率、污染源超标率作为污染现状评价因子,完成初步筛选,形成初选清单;以生物毒理性质、环境效应作为环境风险评价因子,完成二次筛选。

2.3 建立地下水优先控制污染物清单

根据综合评价评分结果,筛选该产业集聚区地下水优先控制污染物形成最终清单。

3 结果与讨论

3.1 建立优先控制污染物原始清单

以《DZ/T 0288—2015》中重点区调查水样必测指标与《GB/T 14848—2017》常规指标为依据,筛选 22 项无机指标和 29 项有机指标组成的重合指标,并增加其中未包含的特征污染物指标 19 项,原始清单各类指标见表 1^[2,18]。

表 1 原始清单各类指标

指标类型	指标名称	指标数量
无机指标	总硬度、溶解性总固体、硫酸盐、氯化物、铁、锰、铜、锌、铝、耗氧量、氨氮、钠、亚硝酸盐、硝酸盐、氟化物、碘化物、汞、砷、硒、镉、铬(六价)、铅	22
有机指标	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、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、氯苯、邻二氯苯、间二氯苯、对二氯苯、1,2,4-三氯苯、苯、甲苯、乙苯、二甲苯、苯乙烯、总六六六、滴滴涕、六氯苯、苯并(a)芘	29
特征污染物	镍、钴、铋、钒、铈、铍、钼、硫化物、氰化物、挥发性酚类、石油类、毒死蜱、百菌清、莠去津、1,1,1-三氯乙烷、多氯联苯、硝基苯、2,4-二硝基甲苯、2,6-二硝基甲苯	19

3.2 筛选因子确定

3.2.1 污染现状因子的确定

为提高筛选工作的区域针对性,减小二次筛选工作量,初步筛选以区域污染源及地下水污染现状为基础,评价因子选定为污染源污染物超标率和区域地下水污染现状等级,以污染源水质和地下水水质超《GB/T 14848—2017》Ⅲ类标准的因子综合形成污染物初选清单,具体因子见 3.3.3 节。

3.2.2 环境风险因子的确定

环境风险因子作为二次筛选因子,主要包含污染物的生物毒性参数和环境迁移转化参数,分别从污染

物对人体健康的危害效应和在环境介质中的迁移转化效应 2 个方面作为筛选。生物毒性参数见表 2。

表 2 生物毒性参数

序号	生物毒性参数	含义
1	急性毒性	哺乳动物经口摄入或经皮吸的半致死量(LD ₅₀),mg/kg
2	致癌性	参考国际致癌研究中心(IARC)的致癌物分级结果
3	生物累积性	化合物辛醇-水分配系数(K _{ow})相关的生物富集系数(BCF) ^[19]
4	中(美)优先控制污染物	污染物是否被列入中国或美国优先控制污染物黑名单 ^[5-6,10]

环境迁移转化参数主要包括:(1)迁移性^[20], 采用地下水污染指数 $GUS = \lg DT_{50} \times (4 - \lg K_{oc})$ 计算,式中:GUS——地下水污染指数; K_{oc} ——土壤有机碳吸附系数; DT_{50} ——半衰期,d;(2)持久性有机污染物,参考联合国环境规划署颁布的持久性有机污染物清单^[21]。

3.3 地下水污染现状因子的分级和赋值

3.3.1 地下水污染等级划分和赋值

以《GB/T 14848—2017》为依据,污染指数 (P_{ki}) 计算公式如下^[20]:

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

式中: P_{ki} —— k 水样 i 指标的污染指数; C_{ki} —— k 水样 i 指标的质量浓度,mg/L; C_0 —— i 指标的对照值,地下水中质量浓度微弱的组对照值按 0 计算,本研究使用地下水上游对照监测井测试结果作为对照值,mg/L; C_{III} ——Ⅲ类水标准限值,mg/L。

P_{ki} 分级标准见表 3。

表 3 P_{ki} 分级标准

项目	未污染	微污染	轻污染	中污染	重污染
分级	I	II	III	IV	V
范围	$P_{ki} \leq 0$	$0 < P_{ki} \leq 0.2$	$0.2 < P_{ki} \leq 0.6$	$0.6 < P_{ki} \leq 1.0$	$P_{ki} > 1.0$

依据每项污染指标在各污染级别的数量计算其分布频率。每个指标按照在相同污染类别分布频率排序,从小到大赋值计分。运用层次分析法计算 I—V 污染级别的权重,分别为 0,0.05,0.15,0.3,0.5。按照分级评分法叠加得到各个指标的地下水污染现状指数 A_i ,计算公式如下:

$$A_i = \sum V_j W_{ij} \quad (2)$$

式中: A_i ——污染指标 i 的地下水污染现状指数; V_j ——污染级别 j 的权重; W_{ij} ——污染指标 i 在污染级别 j 的赋值结果。

3.3.2 污染源超标等级划分和赋值

根据污染源污水样品测试结果,统计各个指标在不同污染源的超Ⅲ类标准的数量,计算超标率。污染源超标率等级划分和赋值见表 4。

3.3.3 初选因子总分计算

区域地下水污染等级和污染源超标率 2 个因子得分之和为初选因子总分 (B_i),地下水污染现状综合得分结果见表 5。由表 5 可见,33 种污染物

指标在区域地下水或污染源中存在污染,作为优先控制污染物的二次筛选指标,包括 18 个无机组分和 15 个有机组分。原始清单中其他污染物指标不存在污染,得分为 0。

表 4 污染源超标率等级划分和赋值

分值	0	2	4	6	8
污染源超标率	≤ 0	0~20%	20%~40%	40%~60%	>60%

表 5 地下水污染现状综合得分

序号	指标	地下水污染等级因子得分	污染源超标率因子得分	总得分 (B_i)
1	硝酸盐	6.2	2	8.2
2	总硬度	5.8	0	5.8
3	耗氧量	3.8	4	7.8
4	亚硝酸盐	3.1	2	5.1
5	溶解性总固体	2.7	0	2.7
6	硫酸盐	2.5	2	4.5
7	氨氮	2.2	2	4.2
8	氯化物	2.1	1	3.1
9	石油烃	0	6	6
10	锌	0	4	4
11	镍	0	4	4
12	甲苯	0	4	4
13	二甲苯(总量)	0	4	4
14	锰	0	2	2
15	铬(六价)	0	2	2
16	铁	0	1	1
17	钠	0	1	1
18	砷	0	1	1
19	苯	0	1	1
20	苯乙烯	0	1	1
21	苯并[a]芘	0	1	1
22	铜	0	1	1
23	钴	0	1	1
24	乙苯	0	1	1
25	氰化物	0	1	1
26	三氯甲烷	0	1	1
27	1,1,1-三氯乙烷	0	1	1
28	1,1,2-三氯乙烷	0	1	1
29	三氯乙烯	0	1	1
30	四氯乙烯	0	1	1
31	毒死蜱	0	1	1
32	百菌清	0	1	1
33	莠去津	0	1	1

3.4 环境风险因子的分级和赋值

3.4.1 污染物环境风险因子分级和赋值

环境风险因子的分级和赋值见表 6。参考国内外有毒化学品涉及的生物毒性和环境迁移转化效应分级标准,C1 和 C6 参数分为 2 级(分别赋值 0,8 分),其他 4 个参数分为 5 级(分别赋值 0,2,4,

6,8 分)。参考数据主要来自世界卫生组织国际化学品安全规划健康与安全指南、化学品毒性数据库、EPI 美国环保局化学品性质参数估算工具包、毒物及疾病登记署数据库、化学品安全技术说明书 (CSDS) 和突发性污染事故中常见危险品档案库等。

表 6 环境风险因子的分级和赋值

参数	0	2	4	6	8
是否中(美)国优先控制污染物(C1)	否				是
急性毒性(C2)/(mg·kg ⁻¹)	无数据	>1 000	500~1 000	5~500	≤5
致癌性(C3)	无数据	4类	3类	2B类	2A类和I类
生物累积性(C4)	无数据	≤3	3~4	4~5	>5
迁移性(C5)	无数据	≤1.8	1.8~2.8	2.8~3.8	>3.8
是否持久性有机污染物(C6)	否				是

3.4.2 污染物环境风险评价因子权重计算

污染物环境风险评价因子权重计算采用层次分析法,建立地下水优先控制污染物筛选的递阶层次结构模型(图 2),构造判断矩阵;经层次单排序、层次总排序及一致性检验,计算得各个评价因子权重。

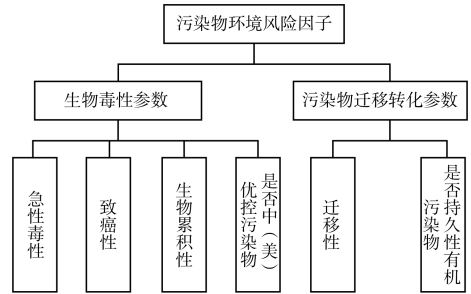


图 2 污染物环境风险筛选指标层次结构模型

污染物环境风险因子得分计算方法见下式。

$$P_i = 0.139 2C_1 + 0.074 6C_2 + 0.074C_3 + 0.044 4C_4 + 0.444 9C_5 + 0.222 2C_6 \quad (3)$$

式中: P_i ——污染物 i 的环境风险总得分; C_1 ——污染物 i 急性毒性得分; C_2 ——污染物 i 致癌性得分; C_3 ——污染物 i 生物累积性得分; C_4 ——污染物 i 是否中(美)优控污染物得分; C_5 ——污染物 i 迁移性得分; C_6 ——污染物 i 是否持久性有机污染物得分。

3.4.3 二次筛选因子总分计算

按照以上环境风险评价方法,对初选清单中 33 个污染物进行综合计算,评分排名前 15 名的污染物环境风险因子得分结果见表 7。

表 7 污染物环境风险因子得分结果

污染指标	急性毒性 (C ₁)		致癌性 (C ₂)		生物累积性 (C ₃)		是否中(美)优先控制污染物 (C ₄)		迁移性 (C ₅)		是否持久性有机污染物 (C ₆)		总分	
	LD ₅₀ /(mg·kg ⁻¹)	得分	IARC 分类	得分	lgK _{ow}	得分	优先控制	得分	lgK _{oc}	GUS	得分	持久性		得分
硝酸盐	1 267	2		0	-0.79	0	否	0	1.12	5.27	8	否	0	3.71
总硬度		0		0		0	否	0		7.43	8	否	0	3.56
耗氧量		0		0		0	否	0		7.43	8	否	0	3.56
亚硝酸盐	175	6		0	-2.37	0	否	0	1.34	4.86	8	否	0	4.01
溶解性总固体		0		0		0	否	0		7.43	8	否	0	3.56
硫酸盐		0		0	-4.38	0	否	0	0.34	6.77	8	否	0	3.56
氨氮		0		0	-4.37	0	否	0	1.21	5.10	8	否	0	3.56
氯化物		0		0	-0.46	0	否	0	1.12	5.27	8	否	0	3.56
石油类	4 300	2	3	4	2.5	2	否	0	2.20	3.20	6	否	0	3.21
锌		0		0	-0.07	0	是	8	0.71	6.06	8	否	0	4.67
镍	5	8	2B	6	-0.87	0	是	8	1.34	4.86	8	否	0	5.72
甲苯	636	4	3类	4	2.67	2	是	8	2.36	2.89	6	否	0	4.47
二甲苯(总量)	4 300	2	3类	4	3.2	4	是	8	2.57	2.49	4	否	0	3.52
锰		0		0	1.2	2	否	0	0.23	2.49	4	否	0	1.87
铬(六价)	50	6	I类	8	2.23	2	是	8	1.50	2.49	4	否	0	4.03

3.5 识别结果与分析

3.5.1 识别结果

综合污染等级、污染源超标率、污染物生态毒

性和污染物迁移转化因子形成地下水中优控污染物筛选体系,依照污染评价数据、污染物生物毒性和环境迁移转化性资料,通过量化综合评分计

算最终得分,计算方法如下。

$$M_i = 0.333A_i + 0.667P_i \quad (4)$$

式中: M_i ——污染物 i 的综合评价得分; 0.333, 0.667——各评价因子的权重; A_i, P_i ——污染物 i 污染现状因子和环境风险因子的得分。

优先控制污染物筛选体系总分计算结果见表 8。

表 8 优先控制污染物筛选体系总分计算结果

序号	污染指标	污染现状因子得分	环境风险因子得分	总分
1	硝酸盐	8.2	3.71	6.70
2	耗氧量	7.8	3.56	6.39
3	石油类	6	3.21	5.07
4	总硬度	5.8	3.56	5.05
5	亚硝酸盐	5.1	4.01	4.74
6	镍	4	5.72	4.57
7	锌	4	4.67	4.22
8	硫酸盐	4.5	3.56	4.19
9	甲苯	4	4.47	4.16
10	氨氮	4.2	3.56	3.99
11	二甲苯(总量)	4	3.52	3.84
12	氯化物	3.1	3.56	3.25
13	溶解性总固体	2.7	3.56	2.99
14	铬(六价)	2	4.03	2.67
15	氰化物	1	5.72	2.57

由表 8 可见,总分排名前 10 的污染指标作为优先控制的对象,分别为硝酸盐、耗氧量、石油类、总硬度、亚硝酸盐、镍、锌、硫酸盐、甲苯、氨氮。

3.5.2 识别结果可靠性分析

产业集聚区地下水优先控制污染物识别结果反映了园区内现有企业产排污特征。调查资料显示,该产业集聚区以汽车制造业为主,占比约 50%,生产工艺主要由冲压、焊接、涂装、总装几个工序组成。其中,涂装中的脱脂、磷化、钝化和电泳等环节为产排污主要环节,有机污染物甲苯、二甲苯、石油类来自有机溶剂;重金属污染物锌盐、镍盐、铁盐、锰盐来自磷化剂主要成分;无机组分磷酸钠、碳酸钠、氢氧化钠、盐酸等,主要源自无机清洗液主要成分。识别结果中的污染物也与汽车制造相关行业产排污研究结果一致^[22-24]。此外,园区地下水调查中总硬度、溶解性总固体、耗氧量、亚硝酸盐、硝酸盐、铅等超过了《GB/T 14848—2017》中规定的Ⅲ类标准,在地下水中已出现浓度过高的现象。识别过程中还利用各类污染物的生物毒性和迁移转化性质进一步进行了排序。因此,本次优先

控制污染物识别结果基本能够反映园区污染源和地下水状况特征,具有一定的可靠性。

3.5.3 识别方法合理性分析

目前,最常用的优先控制污染物筛选方法包括潜在危害指数法和综合评分法^[25-27]。潜在危害指数法主要应用于区域的地表水体或地下水有机污染物筛选,多以毒性性质为基础识别参数^[28-29]。综合评分法以危害指数法为基础,增加致癌因子、急性毒性等参数,仅以地下水环境中污染物超标率作为二级筛选因子进行进一步优化^[15,22-23]。产业集聚区优先控制污染物的筛选工作,具有区域覆盖面积小、区域地质条件差异小、污染源聚集、行业类型集中单一和污染监测资料全面详实等特点。本研究采取以污染源检出污染物和地下水超标污染物作为初始筛选因子,利用实际水样采集测试结果,确定与本区域污染源、地下水受体相关的污染物作为初选清单。初选清单除具有更强的针对性,关注毒性较大的污染外,重视耗氧量、总硬度等常规污染指标,与污染源头和地下水功能紧密结合。除以污染现状作为初选因子外,本研究还增加污染物毒性因子(急性毒性、致癌性和生物累积性等)和污染物迁移转化因子(迁移速率常数、是否为持久性污染物)组成的环境风险筛选因子作为二次筛选内容。此外,在利用综合评分法过程中,量化筛选因子,采用层次分析法计算各因子权重,克服因子赋值过程中的主观性,保障计算结果的科学性。

4 结论

(1) 以产业集聚区为筛选范围,筛选因子结合以污染源、地下水环境中污染物超标情况为指标的污染现状因子和以污染物毒性、污染物迁移转化为指标的环境风险因子,覆盖“源-途径-受体”全过程,融合“质和量”的污染效应,建立了科学、合理、全面的地下水优先污染物筛选体系。

(2) 该体系在充分利用已有资料和水环境调查结果的基础上,采用综合评分法和层次分析法,增加了筛选结果的客观程度。

(3) 该识别体系应用于某产业集聚区的优先控制污染物筛选,识别结果主要包括硝酸盐、耗氧量、石油类、总硬度、亚硝酸盐、镍、锌、硫酸盐、甲苯、氨氮等,该结果与园区主导行业产排污特征、污染源和地下水现状相符,具有一定的可靠性。

[参考文献]

- [1] MORETTI E, NEIDELL M. Pollution, Health, and Avoidance Behavior[J]. *The Journal of Human Resources*, 2011, 46(1): 154-175.
- [2] 国家标准化委员会. 地下水质量标准: GB/T 14848—2017[S]. 北京: 中国质检出版社, 2017.
- [3] 熊向隍, 余良, 何伟彪, 等. 深圳市浅层地下水环境状况调查及保护对策[J]. *中国环境监测*, 2019, 35(6): 65-69.
- [4] 孙静, 王兰化, 陈启华, 等. 华北平原特大城市地下水环境现状评估及防治对策探讨[J]. *北方环境*, 2012, 28(6): 40-42.
- [5] HAELST V, ANNIEK G, HANSEN, et al. Priority setting for existing chemicals; automated data selection routing[J]. *Environmental Toxicology & Chemistry*, 2010, 19(9): 2372-2377.
- [6] 崔晓勇. 国内外化学污染物环境与健康风险排序比较研究[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [7] US Environmental Protection Agency. Screening procedure for chemicals of importance to the office of water[R]. Washington DC: Office of Health and Environmental Assessment, 1986.
- [8] HANSEN B G, HAELST A, LEEUWEN K V, et al. Priority setting for existing chemicals; European Union risk ranking method[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 1999, 18(4): 772-779.
- [9] LERCHE D, MATSUZAKI S Y, SORENSEN P B, et al. Ranking of chemical substances based on the Japanese pollutant release and transfer register using partial order theory and random linear extensions[J]. *Chemosphere*, 2004, 55(7): 1005-1025.
- [10] 周文敏, 傅德黔, 孙宗光. 中国水中优先控制污染物黑名单的确定[J]. *环境科学研究*, 1991, 4(6): 9-12.
- [11] 李霁, 刘征涛, 刘秀华, 等. 化工园区环境水体优先控制有机污染物的筛选[C]//环境安全与生态学基准/标准国际研讨会, 中国毒理学会环境与生态毒理学专业委员会第三届学术研讨会, 中国环境科学学会环境标准与基准专业委员会 2013 年学术研讨会. 工程科技 I 辑, 2013: 94-102.
- [12] 刘婕, 丁震, 郑浩, 等. 基于我国南方城市的饮用水优先控制污染物筛选[J]. *环境与健康杂志*, 2016, 33(4): 350-354.
- [13] 叶珍, 马云, 宋利臣, 等. 流域水环境优先控制污染物筛选方法研究[J]. *环境科学与管理*, 2010, 35(10): 17-19, 55.
- [14] 朱菲菲, 秦普丰, 张娟, 等. 我国地下水环境优先控制有机污染物的筛选[J]. *环境工程技术学报*, 2013, 3(5): 443-450.
- [15] 李煜婷, 许德刚, 李巨峰, 等. 典型石油炼制厂地下水中优先控制污染物识别方法的建立和验证[J]. *环境工程学报*, 2019, 13(11): 2770-2780.
- [16] 李沫蕊, 王伟舒, 任姝娟, 等. 运用改进综合评分法筛选典型污染物的研究——以大武水源地地下水典型污染物筛选为例[J]. *环境污染与防治*, 2014, 36(11): 72-77.
- [17] 赵鹏, 何江涛, 王曼丽, 等. 基于污染评价的地下水中优控污染物筛选[J]. *环境科学*, 2018, 39(2): 800-810.
- [18] 国家自然资源部. 区域地下水污染调查评价规范: DZ/T 0288—2015[S]. 北京: 地质出版社, 2015.
- [19] LANDRU M, PETER F. Bioavailability and toxicokinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons sorbed to sediments for the amphipod *Pontoporeia hoyi* [J]. *Environmental Science Technology*, 1989, 23(5): 588-595.
- [20] GUZZELLA L, POZZONI F, GIULIANO G. Herbicide contamination of surficial groundwater in Northern Italy [J]. *Environmental Pollution*, 2006, 142(2): 344-353.
- [21] GOBAS F A, WOLF W D, BURKHARD L P, et al. Revisiting bioaccumulation criteria for POPs and PBT assessments[J]. *Integrated Environmental Assessment and management*, 2010, 5(4): 624-637.
- [22] 黄金红. 某汽车制造厂建设项目环境影响评价研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.
- [23] 刘小艳, 何湘阳. 汽车制造的污染防治措施及环境评价[J]. *岳阳职业技术学院学报*, 2006, 21(6): 65-69.
- [24] 高磊. 汽车制造厂污染物总量控制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [25] 可欣, 包清华, 黄晓妍, 等. 辽河保护区表层沉积物风险污染物质清单筛选研究[J]. *中国环境科学*, 2017, 37(8): 3107-3113.
- [26] 叶珍, 马云, 宋利臣, 等. 流域水环境优先控制污染物筛选方法研究[J]. *环境科学与管理*, 2010, 35(10): 17-19.
- [27] 刘铮, 曹婷, 王璠, 等. 行业全过程水特征污染物和优控污染物清单筛选技术研究及其在常州市纺织染整业的应用[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(11): 2540-2553.
- [28] 李沫蕊, 王亚飞, 滕彦国, 等. 应用综合评分法筛选下辽河平原区域地下水典型污染物[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2015(1): 64-68.
- [29] 黄震. 综合评分指标体系在环境优先污染物筛选中的应用[J]. *上海环境科学*, 1997, 16(6): 19-21.