

水文地质环境地质

岩溶水系统地下水资源保护区划研究

——以聊城东阿岩溶水系为例

李扬^{1,2}, 孙彦伟¹, 康凤新³

(1.山东省物化探勘查院, 山东 济南 250013; 2.山东大学土建与水利学院, 山东 济南 250061; 3.山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013)

摘要:针对地下水水质恶化的现象,以东阿岩溶水系统为研究区域,建立地下水资源保护区划模型,对水系统内浅层和岩溶地下水分别进行水资源保护区划,结果表明:浅层地下水无自然防护区,均需要人为防护与治理,重点防护区占总区域面积的1/2;岩溶地下水下马头水源地及其影响区域为重要水源地防护区,一般防护区占总区域面积的60%,重点防护区占23.66%,刁山坡监测点及其影响区域为浅层和岩溶地下水的修复治理区。

关键词:水资源保护区划;区划评价模型;浅层地下水;岩溶地下水;聊城东阿

中图分类号: P641

文献标识码: B

引文格式:李扬,孙彦伟,康凤新.岩溶水系统地下水资源保护区划研究——以聊城东阿岩溶水系为例[J].山东国土资源,2017,33(9):45-50.LI Yang, SUN Yanwei, KANG Fengxin. Research on Protection Division of Groundwater Resources in Karst Water System——Setting Dong'e Karst Water System in Liaocheng City as an Example[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(9): 45-50.

地下水作为聊城市主要供水水源,位于东阿岩溶水系统的下马头水源地为聊城市及周边县区供水。但是随着近年来当地工农业的飞速发展,生活污水、工业废水以及化肥农药的过量使用均威胁着水源地的供水质量^[1-3];而地下水严重超采,地下水水质下降也将会严重影响到区域人民生命健康以及社会的可持续发展^[4-6],因此开展地下水资源保护工作刻不容缓,而对地下水资源保护区划是直接且重要的手段^[7-9]。近年来,相关学者做了一系列的研究,张卓等^[10]利用层次分析综合法对南四湖平原地区地下水污染进行了区划;杨磊等^[11]基于地下水资源的自然属性和社会属性建立指标体系,并根据指标体系对研究区地下水污染防治进行区划;邢立亭等^[12]首先计算了相关指标,用计算后的因子构建改进DCAT指标体系来评价济南岩溶水系统的抗污性;王义生等^[13]建立了水溶质运移模型,利用模型将滕州岩溶水水源保护区划按重要性分为3个等

级,分别为一级保护区、二级保护区以及准保护区;许保海等^[14]采用GIS对贵阳市地下水资源进行了合理区划,这些研究成果均为该次研究提供了有益的借鉴。

1 研究区概况

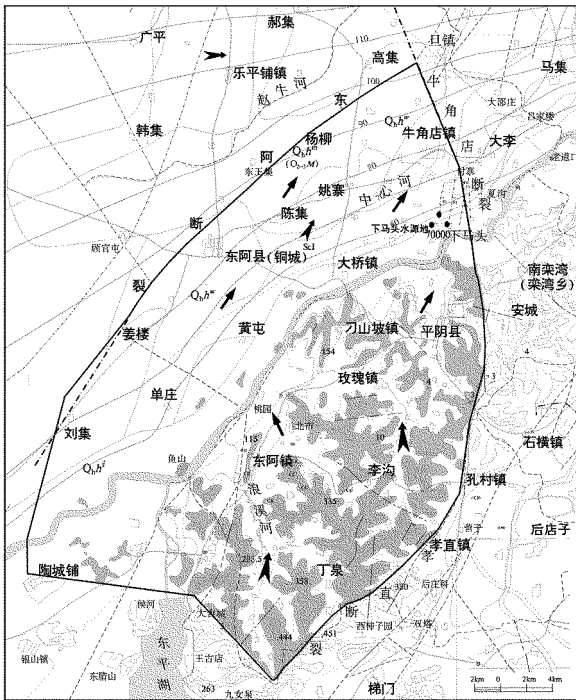
研究区为东阿岩溶水水文地质单元,位于聊城市东部,范围跨聊城市东阿县、泰安东平县和济南市平阴县3个县,面积约1 000 km²。研究区位置如图1所示,地形地貌的基本格局受地质构造的控制,纵向上东南高,西北低,自东南向西北依次由丘陵区过渡到山前倾斜平原区和黄河冲积平原区。研究区内最大降雨量为979.6 mm,最小降雨369.2 mm,年际分布不均匀;最大蒸发量为1 512.9 mm,最小蒸发量为966.2 mm。

研究区为一个独立的水文地质单元,其西北边界为东阿断裂,东北边界为牛角店断裂,东及东南边

收稿日期:2017-01-10;修订日期:2017-03-13;编辑:陶卫卫

基金项目:山东省地矿局地质勘查科研项目“岩溶地下水水质演化机制及趋势预测研究”(KY201515);山东省博士后创新项目专项资金“基于15N技术的岩溶地下水硝酸盐演化机理研究”(201502020)

作者简介:李扬(1986—),男,山东莒南人,高级工程师,主要从事地下水资源与环境研究;E-mail:liyngbfu@163.com



1—研究区边界;2—水源地位置;3—岩溶水流向;4—第四系孔隙水流向;5—岩溶含水层裸露区;6—岩溶含水层隐伏区;7—推测断层界线

图 1 研究区位置图

界为黄山岩脉及孝直断裂(北支),南及西南边界为平阴—东平交界处的地下(地表)分水岭。其中西北、东南为断层阻水边界,南及西南为分水岭边界,东北部的牛角店断裂及西南娄营北部一带为透水边界。该区主要为松散岩类孔隙含水岩组和碳酸盐岩类裂隙岩溶含水岩组。松散岩类孔隙含水岩组含水层包括第四系及新近系中的各类砂层、砂砾岩、碎石层等,主要分布在黄河以北冲积泛滥平原区,另有少量分布在黄河以南山前坡洪积平原区及丘陵山区的沟谷地带。岩溶含水层隐伏区主要分布在黄河以北,普遍被第四系或新近系所覆盖,覆盖层厚度一般在 30~200 m,自南往北逐渐增厚。岩溶含水层裸露区主要分布在黄河以南。下马头水源地处于地下水径流排泄区,含水层裂隙岩溶发育,富水性较强,并且由于上覆第四系下部粘土层的存在,使得含水层具有良好的承压性。水化学类型以 $SO_4 \cdot HCO_3 - Ca \cdot Mg$ 型或 $HCO_3 - Ca$ 型为主。

2 研究方法

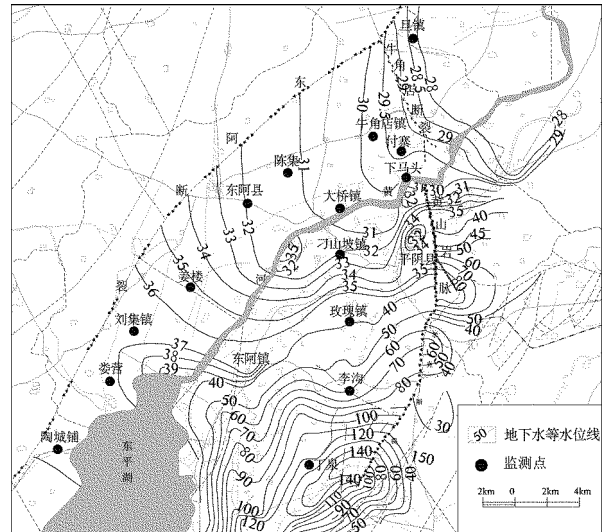


图 2 研究区监测点分布图

2.1 区划评价指标体系构建

2.1.1 指标体系结构阐述

地下水水资源保护区划指标体系从高到低可以分为目标层、属性层、准则层、约束层和指标层 5 个层次,其中充分考虑研究区监测点的自然属性与社会属性,最终分解成 12 个可量化指标。

根据前人相关研究并结合研究区的实际情况,该研究的地下水防污性能指标采用改进的 DRAS-TIC 模型进行评价^[15-17],由于浅层地下水和岩溶地下水在水文地质条件上有着明显差别,因此在指标的选取上充分考虑差异性原则,在评价岩溶地下水时该研究选取地下水位埋深、净补给量、含水砂层厚度以及含水层厚度作为评价指标,在评价浅层地下水时则选取潜水位埋深、补给量、土壤介质、包气带岩性以及富水性作为评价指标。

2.1.2 指标权重确定

该研究指标权重的确定采用专家打分法与层次分析法相结合的方法。①构建评价指标的判断矩阵。根据研究区现状列出每一项影响研究区水资源保护的指标,之后两两比较,降低不确定因素,从而获取评价指标的判断矩阵。②权重值再分配。计算判断矩阵最大特征根,然后对其相对应的特征向量(权重值)进行分配。③权重一致性检验。权重分配需要具有一定的可信度,因此必须对判断矩阵进行一致性检验,只有权重通过检验后方可进行下一步的评价工作^[18-20]。通过以上 3 个步骤,分别确定了浅层地下水和岩溶地下水的指标权重(表 1,表 2)。

2.2 地下水保护区划

2.2.1 区划评价模型

地下水保护区划应当充分考虑评价的准确性、实用性以及指标的差异性,研究区可量化评价指标有 12 项,评价指标相对较多,该研究采用加权平均综合指数模型进行地下水资源保护区划,加权平均综合指数模型能够对各个评价指标的权重进行有根据的区分,极大地避免在指标权重计算中的人

为干扰因素,因此能够保证评价结果的准确性^[21-22],具体数学模型见公式(1):

$$P_i = \sum_{i=1}^n u_i \cdot \omega_i \quad (1)$$

式中: P_i —区划指数值; u —各个评价指标数值; ω —各个评价指标的权重值,具体权重值见表 1 和表 2; i —所有评价指标的计数, $i=1,2,3,\dots,n$; n —评价指标的总个数。

表 1 岩溶地下水保护指标权重及量化

| 属性层 | 准则层 | 约束层 | 指标层 | 权重 | 判别分值 | | | | |
|------|---|---------|----------------------------------|------|------|---------|---------|---------|-------|
| | | | | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 社会属性 | 重要性 | 水资源供给 | 地下水开发利用程度/% | 0.06 | >80 | 60~80 | 40~60 | 20~40 | <20 |
| | | | 地下水占供水比重/% | 0.10 | >80 | 60~80 | 40~60 | 20~40 | <20 |
| | | 经济发展水平 | 城镇化率/% | 0.08 | >60 | 45~60 | 30~45 | 15~30 | <15 |
| | 工业废水排放强度/ $10^4\text{t}/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$ | | 0.05 | >12 | 8~12 | 4~8 | 1~4 | <1 | |
| | 环境质量 | 地下水质量 | 地下水质量评价等级 | 0.16 | V类 | IV类 | III类 | II类 | I类 |
| | | 地下水污染 | 地下水污染评价等级 | 0.11 | 极重污染 | 严重污染 | 较重污染 | 中度污染 | 轻度未污染 |
| 自然属性 | 易污性 | 地下水防污性能 | 地下水位埋深/m | 0.09 | <10 | 10~30 | 30~50 | 50~80 | >80 |
| | | | 含水层净补给量/(mm/a) | 0.06 | >300 | 250~300 | 200~250 | 150~200 | <150 |
| | | | 含水层厚度/m | 0.03 | <5 | 5~10 | 10~20 | 20~30 | >30 |
| | | | 隔水层岩性 | 0.11 | 亚砂土 | 粉质粘土 | 胶砾岩泥岩 | 粘土 | 页岩 |

表 2 浅层地下水保护区划指标权重及量化表

| 属性层 | 准则层 | 约束层 | 指标层 | 权重 | 判别分值 | | | | |
|------|---|---------|----------------------------------|------|-------|-----------|----------|----------|-------|
| | | | | | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 社会属性 | 重要性 | 水资源供给 | 地下水开发利用程度/% | 0.06 | >80 | 60~80 | 40~60 | 20~40 | <20 |
| | | | 地下水占供水比重/% | 0.10 | >80 | 60~80 | 40~60 | 20~40 | <20 |
| | | 经济发展水平 | 城镇化率/% | 0.08 | >60 | 45~60 | 30~45 | 15~30 | <15 |
| | 工业废水排放强度/ $10^4\text{t}/(\text{a}\cdot\text{km}^2)$ | | 0.05 | >12 | 8~12 | 4~8 | 1~4 | <1 | |
| | 环境质量 | 地下水质量 | 地下水质量评价等级 | 0.16 | V类 | IV类 | III类 | II类 | I类 |
| | | 地下水污染 | 地下水污染评价等级 | 0.11 | 极重污染 | 严重污染 | 较重污染 | 中度污染 | 轻度未污染 |
| 自然属性 | 易污性 | 地下水防污性能 | 潜水位埋深/m | 0.09 | <1 | 1~2 | 2~3 | 3~4 | >4 |
| | | | 含水层净补给量/(mm/a) | 0.06 | >300 | 250~300 | 200~250 | 150~200 | <150 |
| | | | 含水层厚度/m | 0.03 | <5 | 5~10 | 10~20 | 20~30 | >30 |
| | | | 包气带介质 | 0.11 | 粉、细砂 | 亚黏土粉砂互层 | 亚砂土 | 亚黏土亚砂土互层 | 亚黏土黏土 |
| | | | 富水性/(m^3/d) | 0.04 | >3000 | 1000~3000 | 500~1000 | 500~100 | <100 |

2.2.2 区划标准

在东阿岩溶水系统内布设 15 个监测点,分别对监测点浅层地下水和岩溶地下水各项指标进行分析评价,监测点分布如图 2 所示,根据地下水资源保护区划指数的区间范围,将东阿岩溶水系统地下水保护资源分为 4 个区,分别为重要水源地防护区($P_i \leq 2.0$)、一般防护区($2.0 < P_i \leq 2.5$)、重点防护区($2.5 < P_i \leq 3.0$)和修复治理区($P_i > 3.0$)(表 3)。

表 3 监测点区划分区

| 序号 | P_i | 区划类型 |
|----|----------------------|----------|
| 1 | $P_i \leq 2.0$ | 重要水源地防护区 |
| 2 | $2.0 < P_i \leq 2.5$ | 一般防护区 |
| 3 | $2.5 < P_i \leq 3.0$ | 重点防护区 |
| 4 | $P_i > 3.0$ | 修复治理区 |

2.2.3 区划分区

根据区划指标体系,建立地下水水资源区划评

价指标的量化数据库,基于 MapGIS 空间分析模块计算各个监测点的区划指数,依据区划分区标准进行地下水资源保护区划分区。

3 结果与分析

根据区划模型计算, P 值的大小直接反映了地下水资源保护的难易程度,因此根据 P 值的划分区间对东阿岩溶水系统进行水资源保护区划。

3.1 浅层地下水水资源保护区划结果

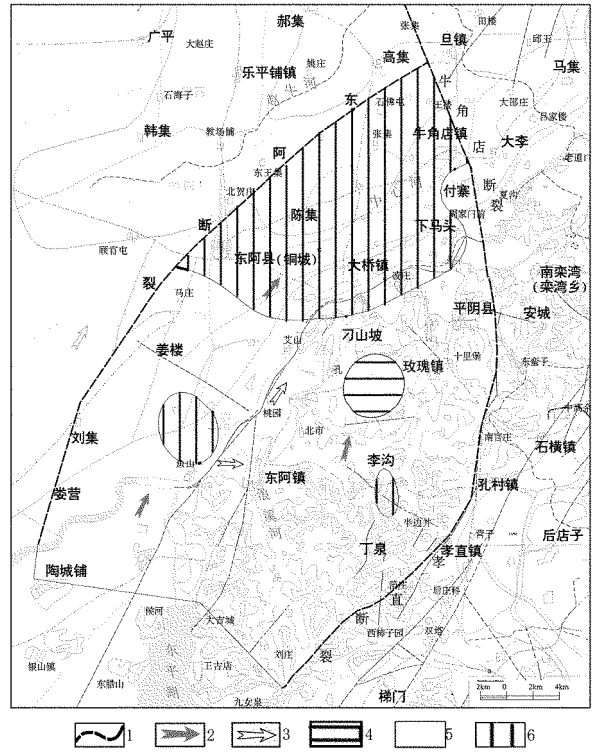
从图 3、图 4 和表 4 可知,就浅层地下水而言, P 值均大于 2.0,即东阿岩溶水系统内的浅层地下水均需要人为防护和修复治理。

一般防护区为娄营、刘集、东阿、陈集、牛角店、丁泉、玫瑰镇、下马头、付寨监测点及其影响区域,影响面积约占总区域面积的 40.67%,主要分布在东阿岩溶水系统的中部地区,上述地区地下水防污性能一般,加上农药化肥施用强度较高,区域内浅层地下水水质较差。

重点防护区为陶城铺、姜楼、李沟、大桥镇和旦镇监测点,上述地区浅层地下水污染程度严重,农药化肥施用强度较高,农业区农业面源污染程度较高,而且部分地区存在硝酸盐指标超标现象。修复治理区为刁山坡监测点及其影响区域,其水质为劣 V 类水,附近有养殖场等大型污染源,污染程度极为严重。

表 4 浅层地下水监测点区划分区结果

| 区划类型 | 监测点 | 影响区域百分比 |
|------------|-------------------------------|---------|
| 重要地下水源地防护区 | 无 | 0% |
| 一般防护区 | 娄营、刘集、东阿、陈集、牛角店、丁泉、玫瑰镇、下马头、付寨 | 40.67% |
| 重点防护区 | 陶城铺、姜楼、大桥镇、李沟、旦镇 | 50.66% |
| 修复治理区 | 刁山坡 | 8.67% |



1—研究区边界;2—岩溶水流向;3—第四系孔隙水流向;4—修复治理区;5—重点保护区;6—一般保护区

图 4 浅层地下水水资源保护区划图

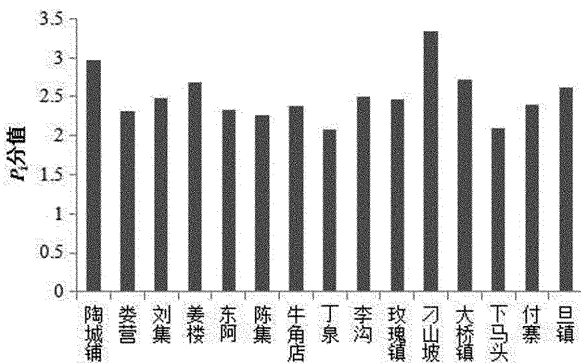


图 3 浅层地下水 P_i 值

3.2 岩溶地下水水资源保护区划结果

根据区划模型评价结果,由图 5、图 6 和表 5 可以看出,岩溶地下水水资源保护区具体分为以下几个区域。

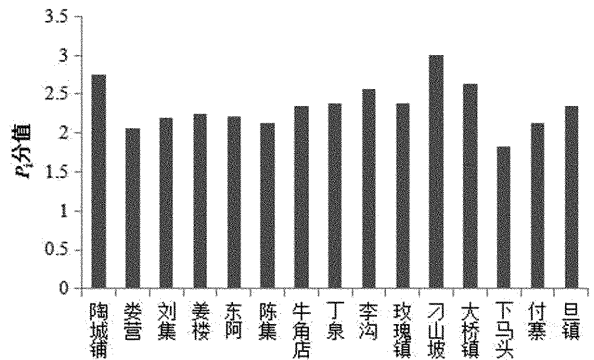


图 5 岩溶地下水 P_i 值

- [6] 许庆涛.聊城市深层淡水环境问题与可持续利用[J].地下水, 2014,36(1):101-102.
- [7] 陈敏,黄荣华,张远征.湖北省水功能区划和水资源保护研究[J].中国农村水利水电,2014,22(11):37-39.
- [8] 罗长军.东大岗地区地下水资源开发利用规划[J].资源科学, 2004,26(2):80-87.
- [9] 吕红,杜占德,王健.山东省地下水功能区划初探[J].水文, 2007,27(3):75-77.
- [10] 张卓,徐建国,于翠翠,等.层次分析综合法在地下水污染防治区划方面的应用——以南四湖平原区为例[J].山东国土资源, 2013,29(4):41-44.
- [11] 杨磊,黄敬军,陆徐荣.地下水污染防治区划研究[J].地质学刊, 2014,38(2):298-301.
- [12] 邢立亭,康凤新.岩溶含水系统抗污染性能评价方法研究[J].环境科学学报,2007,27(3):501-508.
- [13] 刘志涛,沙福建,蒋书杰.广饶县浅层地下水水化学演化分析研究[J].山东国土资源,2017,33(3):48-51.
- [14] 刘帅,马雪梅,刘志涛,等.鲁北平原高氟深层地下水的探究[J].山东国土资源,2017,33(6):30-37.
- [15] 李爱军,张丰.基于 DRASTIC 的山东省丘陵山区地下水防污性能评价[J].山东国土资源,2015,31(5):62-66.
- [16] 郝静,张永祥,丁飞,等.改进的 DRASTIC 模型在地下水易污染性模糊评价中的应用[J].水文地质工程地质,2013,40(5):34-39.
- [17] 张泰丽,冯小铭,刘红樱,等.基于 DRASTIC 的丽水市地下水防污性能评价[J].地球与环境,2012,40(1):115-120.
- [18] 李艳华.基于层次分析法的地下水脆弱性评价指标权重的确定[J].山西水利,2006,12(6):79-80.
- [19] 李立东,寇长林,郭战玲,等.地下水硝酸盐脆弱性评价指标权重确定方法的比较研究[J].河南农业科学,2013,42(7):46-51.
- [20] 刘博,肖长来,田浩然,等.灰色关联和层次分析法在地下水水质评价中的应用——以吉林市为例[J].节水灌溉,2013,42(1):26-29.
- [21] 李凡修,陈武,梅平,等.浅层地下水环境质量评价的综合指数模型[J].地下水,2004,26(1):36-37.
- [22] 张鉴,束龙仓,张琛,等.基于熵权的综合指数法在地下水水质评价中的应用[J].水电能源科学,2010,28(8):30-32.

Research on Protection Division of Groundwater Resources in Karst Water System

——Setting Dong'e Karst Water System in Liaocheng City as an Example

LI Yang^{1,2}, SUN Yanwei¹, KANG Fengxin³

(1. Shandong Geophysical and Geochemical Exploration Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Civil Engineering College of Shandong University, Shandong Jinan 250061, China; 3. Shandong Bureau of Geology and Mineral Resources, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Aiming at the deterioration of groundwater quality, the model of groundwater resources protection zoning has been established by taking the karst water system of Dong'e as the research area. The water resources protection zoning of shallow water and karst groundwater in the water system have been analyzed. It is showed that; shallow groundwater has no natural protection area. They all need human protection and management. The key protection area accounts for 1/2 of the of total areas. The Karst ground water source area and its impact area are important natural protection areas. The general protection area accounts for 60% of the total areas, while the key protection area accounts for 23.66%. Diaoshanpo monitoring areas and its impact areas are shallow and karst groundwater remediation areas.

Key words: Water resources protection zoning; zoning evaluation model; shallow groundwater; karst groundwater; Dong'e in Liaocheng city