第 26 卷第 6 期 地 质 与 资 源 Vol. 26 No. 6
2017 年 12 月 GEOLOGY AND RESOURCES Dec. 2017
文章编号:1671-1947(2017)06-0603-05 中图分类号:X143 文献标志码:A

内蒙古奈曼旗水环境承载力评价

马诗敏[1,2],李旭光[2],杨 泽[2],李 霄[2],何海洋[2],朱 巍[2],王长琪[2]
1.东北大学 资源与环境工程学院,辽宁 沈阳 110819;
2.中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034

摘 要:水环境评价模型指标体系的选取和权重的确定是研究水环境承载力模型的关键. 选取地下水脆弱性能,水环境质量,水体污染,开采程度,污染河水对地下水的影响等 5 个评价指标进行综合评价,利用层次分析法作为一种定量研究方法,运用专家评分法确定了评价指标体系中的各指标权重,并进行指标体系的可靠性和有效性判断,对区内地下水环境进行综合评价及可开采潜力分析. 根据取得分值分区,确定承载力评价分区图,为地下水资源的合理利用提供了依据.
关键词:水资源评价;开采程度;水环境质量;指标体系;分区图;内蒙古

EVALUATION ON THE WATER ENVIRONMENT BEARING CAPACITY IN NAIMAN QI, INNER MONGOLIA

MA Shi-min[1,2], LI Xu-guang[2], YANG Ze[2], LI Xiao[2], HE Hai-yang[2], ZHU Wei[2], WANG Chang-qi[2]
1. *College of Resources and Environmental Engineering, Northeastern University, Shenyang* 110819, *China*;
2. *Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang* 110034, *China*

Abstract: The selection of water environment evaluation model index system and the determination of weight are the keys to study the bearing capacity model. Based on five factors of groundwater vulnerability, water environmental quality, water pollution, exploitation degree and the effect of polluted river on groundwater, the comprehensive evaluation and exploitation potential of groundwater environment in the study area are analyzed, with AHP (analytic hierarchy process) as the quantitative research method, adopting the expert grading method to determine each index weight and judge the reliability and validity of the evaluation index system. According to the obtained assessment scores, the division map of bearing capacity evaluation is drawn for the rational utilization of groundwater resources.
Key words: water resources assessment; exploitation degree; water environmental quality; index system; division map; Inner Mongolia

1 概述

随着我国经济的发展,用水需求增长迅速,由于长期无节制地开采地下水资源,使得地下水严重超采,导致地下水存储量日渐减少,使地下水中原有的化学、物理成分发生改变. 水体的自净能力减弱, 从而水质变差,导致整个地下水环境恶化. 一旦水源恶化或枯竭,

收稿日期:2017-06-09;**修回日期**:2017-10-09. **编辑**:李兰英.
基金项目:中国地质调查局"西辽河平原地下水污染调查评价"项目(编号 1212011220980).
作者简介:马诗敏(1967—),女,硕士,高级工程师,现从事地下水污染调查评价工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号沈阳地质调查中心,E-mail//xamashimin@126.com

对其进行恢复和治理的时间很长，而且不能使水质指标恢复到原来的状态. 为了合理利用地下水资源,同时尽量避免和减少地下水污染，地下水环境承载力评价研究就显得十分重要[1].

在进行地下水环境承载力评价时，首要的问题是评价指标体系的选取. 只有在系统全面分析奈曼旗地下水环境的基础上,选取合理的指标体系,并准确地赋予各指标的参数,给予科学的评价标准,才能使评价结果真实准确[2].

2 工作方法

2.1 地下水环境承载力评价指标体系的建立

1)固有脆弱性:它反映含水层固有抵御污染的能力,只考虑奈曼旗水文地质内部因素(见图 1),而不考虑人类活动和污染源的影响，它是不可人为控制. 本次评价模型基于 Drastic 模型的基础上,根据奈曼旗平原区的地域特点,以 6 个关键因素作为评价因子,分别是含水层埋深、净补给量、含水层介质类型、土壤介质类型和渗流区(包气带)介质类型和含水层渗透系数[3-4].

2)人类活动产生的污染风险：本次水体污染评价作为评价因子.

3)地下水价值水平:反映水资源预期损害性. 评价因子有水环境质量、污染河水对地下水的影响及地下水开采程度.

将三者结合起来综合分析形成地下水环境承载力评价结果. 基于上述理论，建立奈曼旗平原区地下水环境承载力评价指标体系(图 2). 在 GIS 操作环境下，形成地下水固有脆弱性分区图、水体污染分区图、水环境质量分区图、污染河水对地下水的影响分区图、地下水开采程度分区图，进而进行图形叠加综合分析. 根据评价因子分值的划分，形成水环境承载力评价分区图,使人们能够直观地了解各区域水环境的承载力.

2.2 评价方法

地下水环境承载力评价采用叠置指数方法进行计算，各指标的权重采用层次分析法及对各要素指标的重要性进行判断比较并打分计算.

2.3 地下水脆弱性评价因子及指标体系

地下水脆弱性是指地下水系统对人类和(或)自然的敏感性,一般分为固有脆弱性和特殊脆弱性. 根据本次工作研究的目的,以及《全国地下水资源及其环境问题调查评价》技术要求,本次评价仅对地下水固有脆弱性进行评价.

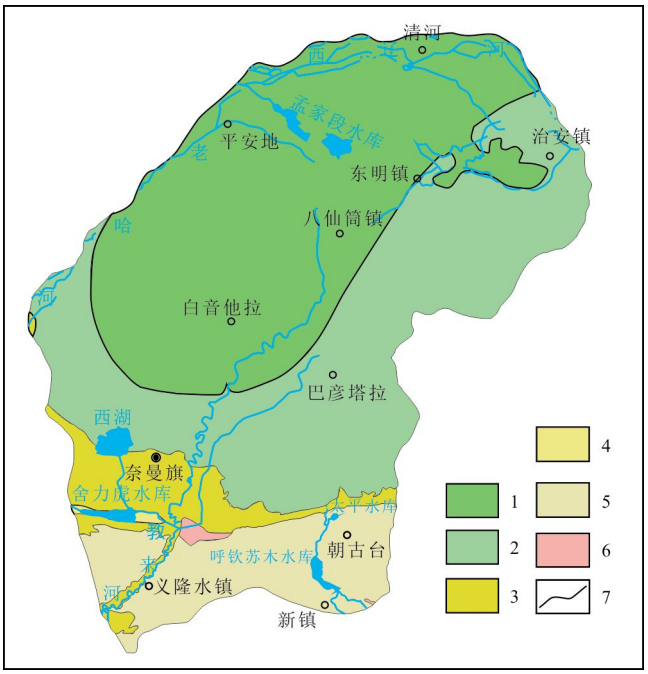

图 1 奈曼旗水文地质图

Fig. 1 The hydrogeological map of Naiman Qi

1—富水性极强，单位涌水量>30 $m^3/(h\cdot m)$ (very strong water yield property with unit inflow more than 30 $m^3/(h\cdot m)$)；2—富水性强,单位涌水量 10~30 $m^3/(h\cdot m)$ (strong water yield property with unit inflow of 10–30 $m^3/(h\cdot m)$)；3—富水性中等，单位涌水量 5~10 $m^3/(h\cdot m)$ (medium water yield property with unit inflow of 5–10 $m^3/(h\cdot m)$)；4—富水性弱，单位涌水量 1~5 $m^3/(h\cdot m)$ (weak water yield property with unit inflow of 1–5 $m^3/(h\cdot m)$)；5—富水性极弱，单位涌水量<1 $m^3/(h\cdot m)$ (very weak water yield property with unit inflow less than 1 $m^3/(h\cdot m)$)；6—基岩裂隙水 (bedrock fissure water)；7—水文地质界线 (hydrogeologic boundary)

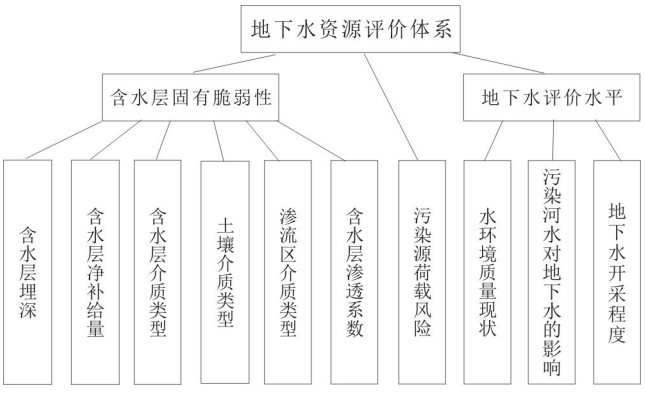

图 2 地下水环境评价指标体系

Fig. 2 Evaluation index system of groundwater environment

地下水埋深：本次评价通过地下水统测资料直接获得,单位为 m.

净补给量：奈曼旗地下水的补给主要为大气降水入渗补给，占补给量的 80%以上. 本次采用大气降水入渗量代替净补给量,单位为 mm.

含水层介质类型和包气带岩性：对第四系松散地层进行修改,取得级别及特征值.

土壤介质类型:根据地表岩性分布图,取得级别与特征值.

渗透系数：根据地下水环境评价中的含水层渗透系数分布图取得,单位为 m/d.

地下水脆弱性评价因子指标体系见表 1.

表 1　地下水脆弱性评价因子指标体系

Table 1　Evaluation factor index system of groundwater vulnerability

地下水水位埋深		净补给量		土壤介质类型	
范围/m	评分	范围/mm	评分	范围	评分
>30	1	0	1	非胀缩和非凝聚性黏土	1
30~22.5	2	51	2	垃圾	2
22.5~15	3	71.4	3	粘土质亚黏土	3
15~9	5	91.8	4	粉砾质亚黏土	4
9~4.5	7	117.2	5	亚黏土	5
4.5~1.5	9	147.6	6	砾质亚黏土	6
1.5~0	10	178	7	胀缩或凝聚性黏土	7
		216	8	泥炭	8
		235	9	砂	9
		254	10	砾	10

包气带岩性		渗透系数		含水层介质类型	
范围	评分	范围/(m/d)	评分	范围	评分
黏土为主	1	0	1	黏土	1
粉质黏土为主	2	4.1	2	粉质黏土	2
粉土为主	3	12.2	3	粉土	3
粉砂为主	4	20.3	4	粉砂	4
粉细砂为主	5	28.5	5	粉细砂	5
细砂为主	6	34.6	6	细砂	6
中砂为主	7	40.7	7	中砂	7
粗砂为主	8	61.1	8	粗砂	8
砂砾石为主	9	71.55	9		
卵砾石为主	10	81.5	10		

这次评价奈曼旗平原区的地下水脆弱性 6 个因子的权重分别是：水位埋深 0.4306；地下水净补给量 0.1336;含水层介质 0.1051;土壤介质 0.0399;渗流区介质类型 0.1574；渗透系数 0.1334. 利用 GIS 图件处理功能进行图形叠加分析，取得地下水脆弱性分区图(图 3a).

2.4　地下水环境质量评价方法及指标体系

地下水环境质量评价主要研究地下水环境质量现状,它可为保护地下水环境、改善水环境质量,防止水质恶化以及合理开发利用水资源提供科学依据，是水环境评价的重要组成部分. 对于多要素环境系统作环境质量综合评价,采用模糊概率法模型比较恰当[5].

根据奈曼旗样品分析结果，选取 F^-、Hg、Pb、Cd、As、总硬度及溶解性固体 7 个指标,利用地下水污染调查数据处理与分析系统进行评价分区(表 2,图 3b).

表 2　水质指标分级标准

Table 2　Grading standards of groundwater quality indexes

指标	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类	执行标准
F^-	1	1	1	2	2	GB/T 14848-93
Hg	0.000.05	0.00.05	0.00.1	0.00.1	0.00.1	GB/T 14848-93
Pb	0.00 5	0.0 1	0.0 5	0. 1	0. 1	GB/T 14848-93
Cd	0.0001	0.001	0.01	0.01	0.01	GB/T 14848-93
As	0.005	0.01	0.05	0.05	0.05	GB/T 14848-93
总硬度	150	300	450	550	550	GB/T 14848-93
溶解性固体	300	500	1000	2000	2000	GB/T 14848-93

含量单位:mg/L.

2.5　地下水开采程度

地下水资源量是随着自然变化，人为因素的影响而变化. 地下水开采系数是用于衡量地下水开采程度的一个标准，地下水开采系数也称开采程度. 开采程度=地下水开采量/可开采资源量. 当开采系数为 1,达到平衡，说明该地区地下水开采潜力为零. 根据这一理念,通常认为开采系数小于 0.3 为潜力巨大地区,开采系数大于 1.2 为严重超采区[6-8].

2.5.1　天然地下水总补给量(可开采资源量)

计算公式为 $Q_{总补}=Q_{降}+Q_{径}+Q_{河}+Q_{田}$

1)大气降水入渗补给量($Q_{降}$)计算公式如下：

$$Q_{降}=F\cdot a\cdot X$$

式中,$Q_{降}$为大气降水年渗入量 (m^3/a);F 为大气降水渗入计算面积 (m^2);a 为多年平均降水渗入系数;X 为多年平均降水量 (m).

2)侧向径流补给量($Q_{径}$)

侧向径流补给量是指山丘区山前地下水径流补给

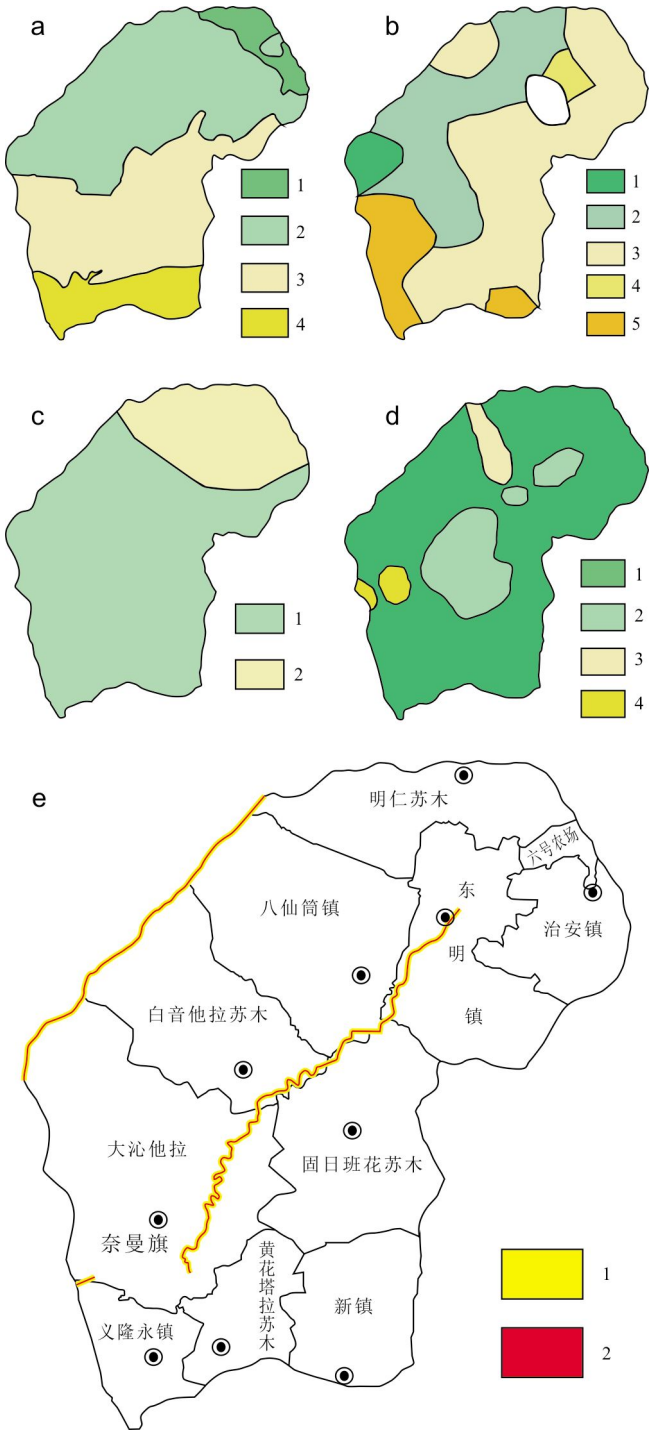

图 3 奈曼旗水环境评价分幅图

Fig. 3 Water environmental assessment maps of Naiman Qi

a—地下水脆弱性分区图 (groundwater vulnerability division): 1—脆弱性极低 (极难污染)(very low), 2—脆弱性略低 (略难污染) (slightly low), 3—脆弱性稍低(稍难污染) (low), 4—脆弱性稍高(稍易污染) (slightly high); b—地下水环境质量评价分区图(groundwater environmental quality assessment division): 1 级(level-1), 2 级(level-2), 3 级(level-3), 4 级(level-4), 5 级(level-5); c—地下水开采程度分区图(exploitation degree division of groundwater): 1—开采系数 <80% (exploitation coefficient less than 80%); 2—开采系数 80% ~90% (exploitation coefficient of 80% -90%); d—水体污染分区图(water pollution division): 1—非污染 (non-pollution), 2—轻度污染(mild pollution), 3—中度污染 (medium pollution), 4—重度污染(heavy pollution); e—污染河水对地下水的影响分区图 (the effect of polluted river on groundwater): 1—中度污染(medium pollution), 2—重度污染 (heavy pollution)

平原区浅层地下水的水量. 采用地下水动力学法计算,计算公式如下:

$$Q_{径}=K\cdot I\cdot B\cdot M\cdot T$$

式中,$Q_{径}$为侧向径流流入量 (m^3/a);K 为渗透系数 (m/d);I 为水力坡度;B 为断面长度 (m);M 为含水层厚度(m);T 为补给时间(d),取 365 d.

3)河流入渗补给量($Q_{河}$)

计算公式如下:

$$Q_{河}=K\cdot I\cdot B\cdot M\cdot T$$

$Q_{河}$为河道渗漏补给量(m^3); K 为含水层平均渗透系数 (m/d); I 为地下水水力坡度; B 为断面宽度(m); M 为天然情况下,潜水含水层厚度(m); T 为地下水径流补给时间(d/a).

4)渠灌田间入渗补给量($Q_{田}$)

田间灌溉渗入量是指灌溉水进入田间后, 经包气带渗入补给地下水的水量. 计算公式如下:

$$Q_{田}=Q_a\cdot\beta\cdot F_{田}$$

$Q_{田}$为灌溉田间渗入量(m^3/a); Q_a 为灌溉定额($m^3/667\ m^2$); β 为灌溉田间入渗系数; $F_{田}$为实际灌溉面积($667\ m^2$).

2.5.2 地下水开采量

$$Q_{开采量}=nQ'T$$

$Q_{开采量}$为地下水开采量($10^4\ m^3/a$); $n=M/W$ 为可布井数(眼)(M 为布井区面积, W 为单井控制面积); Q'为平均单位涌水量($m^3/h\cdot m$); T 为总抽水时间(h).

通过计算得出地下水开采系数, 地下水开采程度分区如图 3c.

2.6 污染河水对地下水的影响

2010 年 12 月,内蒙古自治区水利厅,内蒙古自治区环境保护厅编制出内蒙古自治区水功能区划, 老哈河、教来河、孟克河在奈曼旗部分区段的水质现状为 4 级水和 5 级水, 主要影响带分布在沿河道向两侧展布约 200 m[9]. 本次研究也进行了分区(图 3d).

2.7 水体污染

根据样品测试结果, 本次采用矿化度作为指标体系. 其中矿化度大于 3 g/L,水质污染严重(10 分). 矿化度大于 1~3 g/L,水质中度污染(5 分). 水质轻度污染(2 分). 未受污染水质良好(0 分),本文对奈曼旗的

水体污染进行了分区(图 3e)[10-11].

3　奈曼旗水资源综合评价

利用专家打分法,对 5 个评价指标重要性进行判断,求出各参数的权重[12-15]. 水环境质量为 0.2636;地下水环境抗污性能为 0.4773;水体污染为 0.0531;地下水开采程度为 0.0988; 污染河水对地下水的影响为 0.1072. 在 GIS 操作环境下,对 5 个评价指标的分区图进行图形叠加分析,形成水环境承载力评价分区图(图 4), 及水环境承载力综合评价表(表 3).

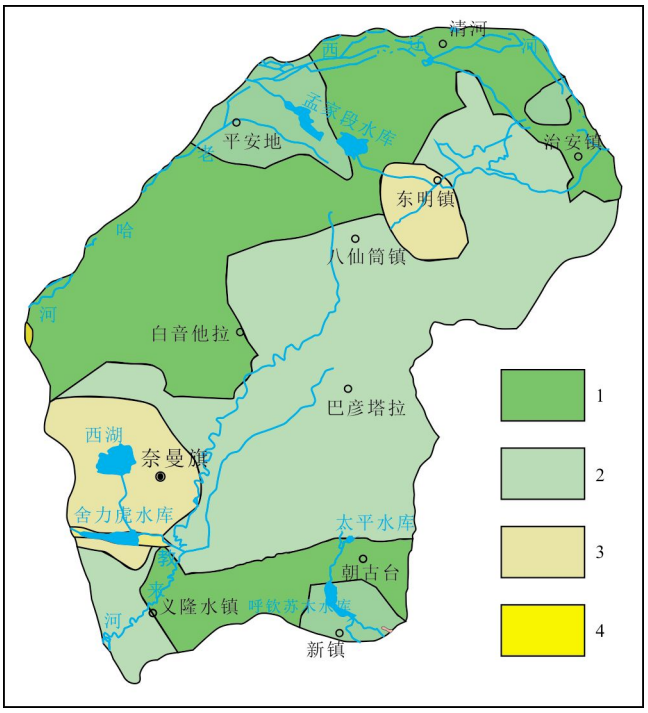

图 4　水环境综合评价图

Fig. 4　Comprehensive evaluation on groundwater environmental bearing capacity

1—很有潜力(great potential); 2—有潜力(potential); 3—可承载(loadable); 4—过载(overload)

表 3　水环境承载力综合评价表

Table 3　Comprehensive evaluation on the bearing capacity of groundwater environment

等级	取值范围	承载力状态
1 级	1~2	很有潜力
2 级	3	有潜力
3 级	4	可承载
4 级	5	过载

水环境承载力等级在 1 级、2 级区域水资源量丰富,水质良好,有很大的发展潜力;水环境承载力等级在 4 级区域有一定的发展空间;在 5 级区域水量不充足,水质较差, 处于可承载边缘. 从评价分析结果可以看出,奈曼旗平原区水资源承载力较好,有很大的发展潜力.

4　结语

大多数人对水环境只是从定性的角度去认识,带有一定的模糊性和主观性. 如何合理地分配水资源,更好地为社会服务, 地下水环境承载力评价指标体系的构建和水环境承载力评价分区为水资源规划提供了一个参考. 地下水环境承载力评价作为对水资源承载力判断的依据,随着人们生态环境意识的提高,越来越被广泛应用.

参考文献:

[1]徐明峰. 长春市地下水环境评价及保护研究[J]. 吉林水利,2006(11):7-9.

[2]李杰,李春燕. 邯郸市浅层地下水水环境评价及成果分析[J]. 地下水,2014,36(5):41-43.

[3]马芳冰,王烜,李春晖. 水资源脆弱性评价研究进展[J]. 水资源与水工程学报,2012,23(1):30-37.

[4]潘争伟. 区域水环境系统脆弱性评价的集对分析方法研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2010.

[5]庄立会,张碧星,暴向平,等. 丽江市城市地下水环境评价及可持续利用研究[J]. 环境科学导刊,2007,26(1):76-79.

[6]季叶飞,束龙仓,王振龙. 地下水可开采系数计算结果的可靠度与敏感性[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010(6):688-692.

[7]岳卫峰,贾书惠,高鸿永,等. 内蒙古河套灌区地下水合理开采系数分析[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2013,49(Z1):239-242.

[8]李霄,都基众,崔健,等. 浑河冲洪积扇浅层地下水资源评价与可开采潜力分析[J]. 中国农村水利水电,2012(12):49-54+58.

[9]寇文杰,江岳,林健,赵微. 污染河水对浅层地下水环境的影响范围研究[J]. 人民黄河,2012,34(12):88-90.

[10]刘书田,叶飞,肖洁,等. 水污染评价方法研究进展[J]. 农业环境与发展,2008(6):76-80.

[11]刘征,刘洋. 水污染指数评价方法与应用分析[J]. 南水北调与水利科技,2005,3(4):35-37.

[12]邵立南,何绪文,王春荣,等. 基于层次分析-模糊综合评价的矿井水质量评价[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版,2008,27(3):450-453.

[13]李韩笑,陈森林,胡士辉,等. 区域水资源承载力多目标分析评价模型及应用[J]. 人民长江,2007,38(2):58-60.

[14]仵彦卿. 西安市傍河水源地地下水环境评价[J]. 西安理工大学学报,2000,16(4):348-352+364.

[15]薛小杰,黄四霞,张泽中. 水资源承载力可拓评价模型的改进及应用[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(2):175-180,212.