

内蒙古准格尔旗地下水环境承载力评价

刘 圣^{1,2}, 娄华君², 贾绍凤², 项洋旭³, 娄俊鹏³

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101;
3. 北京林业大学, 北京 100083)

摘要: 地下水环境承载力是水环境承载力研究的重要组成部分, 是衡量人类社会经济发展与区域水环境协调程度的判别依据。以内蒙古自治区准格尔旗为研究区, 建立地下水环境承载力评价体系, 并利用层次分析法(AHP)判断矩阵确定各指标的权重值, 进行研究区地下水环境承载力评价。结果表明, 准格尔旗地区地下水环境承载力在0.308 3~0.731 1之间, 平均为0.521 5, 属于中等偏弱程度。评价结果与研究区水文地质条件和社会经济发展现状基本吻合, 可为准格尔旗在未来工业化进程中地下水资源管理和地下水环境保护决策提供依据。

关键词: 准格尔旗; 地下水环境承载力; 层次分析法; 指标体系

中图分类号: X821 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)01-0045-06

Assessment of groundwater environment carrying capacity in Zhungeer County of Inner Mongolia

LIU Sheng^{1,2}, LOU Hua jun², JIA Shaofeng², XIANG Yang xu³, LOU Jun peng³

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 3. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Groundwater environment carrying capacity is an important component of the research in water environment carrying capacity, and it can be used to characterize the harmonious degree between the economic development and regional water environment. In order to evaluate the groundwater environment carrying capacity in Zhungeer County, we have adopted a well known method of analytic hierarchy process (AHP) to build up the index system, which consists of the natural indexes and social indexes. The indexes include the topographic slope, aquifer thickness of groundwater, groundwater level, nature of unsaturated zone, hydraulic conductivity, population density, the per capita GDP, crops sown area, water consumption per 10000 yuan GDP, and per capita groundwater exploitation. AHP matrix method was used to determine the weight for each index. The results showed that the numerical groundwater environmental carrying capacity in Zhungeer County is between 0.308 3 and 0.731 1 with an average value of 0.521 5, which belongs to the moderately weak degree. The evaluation results were consistent with the hydrogeological conditions and socio economic development in the study area, which suggested that the study can provide a theoretical basis for the groundwater resources management and groundwater environment protection decisions in the future of the industrialization process in Zhungeer County.

Key words: Zhungeer County; groundwater environmental carrying capacity; analytic hierarchy process; indexes system

地下水环境承载力的概念是在水资源承载力、环境承载力、水环境承载力等相关领域研究基础上逐渐发展形成。水资源承载力是区域最大可利用水资源支持条件下获得综合效益最大的社会经济与环境发展模式^[1-2]。地下水资源承载力的综合评价模型、地下水水资源承载力综合评价的投影跟踪模型、水资源承载力多目标分析模型^[3-6]等的提出, 推动了

地下水资源承载力的研究。环境承载力包含了资源、环境和社会系统对人类发展的支持能力, 目前环境承载力仍没有形成统一的理论体系^[7]。水环境承载力是近年提出的一个新概念^[8], 用以定量描述水资源和水污染及其有关参数。一般认为, 水环境承载力是指在某一时期, 一定的自然环境条件和特定的社会经济发展模式下, 某一区域水环境对其社会经

收稿日期: 2014-04-23 修回日期: 2014-10-31 网络出版时间: 2014-05-26

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.20140526.002.html>

基金项目: 国家科技支撑计划项目“柴达木循环经济示范区水资源保障与生态保护研究”(2012BAC09B00)

作者简介: 刘 圣(1983-), 男, 辽宁大连人, 博士研究生, 主要从事地下水科学与工程方面的研究。E-mail: liusheng198317@163.com

通信作者: 娄华君(1956-), 男, 山东济南人, 研究员, 博士(后), 主要从事水资源与环境方面的研究。E-mail: louhj@igsnr.ac.cn

济发展和人类活动支撑能力的阈值^[9]。

地下水环境承载力是水环境承载力研究的重要组成部分,是衡量人类社会经济发展与区域水环境协调程度的判别依据。目前此领域的研究主要集中在地下水环境风险评价和地下水环境脆弱性评价^[10-12],专门针对地下水环境承载力的研究较少^[13]。因此,本文采用指标体系评价与层次分析(AHP)相结合的方法,对内蒙古准格尔旗地区地下水环境承载力进行评价,提出水资源利用和水环境保护对策及建议,为该地区的社会经济发展及地下水资源可持续利用提供科学的依据。

1 研究区概况

1.1 自然地理概况

准格尔旗位于内蒙古自治区西南部鄂尔多斯高原东端的晋、陕、蒙三省交界处,在地理分区上位于西北干旱区与华北区分界处(图 1),北、东、东南三面被黄河环抱。黄河流经区内 197 km,其中平原段河道长度 81 km,峡谷段河长 116 km。全旗面积为 7 535.02 km²,包括 3 乡 6 镇,人口约为 27.8 万。

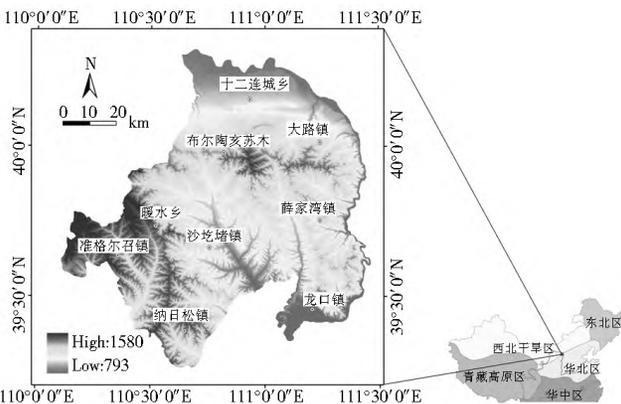


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographic location of the study area

本地区属于典型的温带大陆半干旱气候,年平均气温 7.3℃,区内降水量少而集中,多年平均降水量 352 mm,雨季降水量(6月-9月)占全年的 76%左右,多年平均蒸发量 1 992.5 mm。准格尔旗地区属于典型的丘陵沟壑地貌,由北向南分为黄河南岸冲积平原区、库布齐沙漠区、丘陵沟壑砂岩区以及黄土丘陵沟壑区,主要的沟川有浒斯太河、大沟、十里长川、纳林川、塔哈拉川、孔兑沟、黑岱沟、罐子沟、饽牛川等。除浒斯太河和大沟外,其它沟川均为季节性沟川。

全区水资源空间分布不均,由东南向西北递减,形成南多北少的趋势,黄河过境水资源量相对充沛。根据水资源评价结果,准格尔旗自产地表水资源 3.22 亿 m³,地下水资源量为 1.04 亿 m³,扣除两者重复计算量 0.58 亿 m³,水资源总量为 3.68 亿 m³(不含过境黄河可用水量指标 2.00 亿 m³)平均径流模数只有 4.86 万 m³/(km²·a),为全国平均值的 15%,人均占有水资源量是全国人均值的 59%,因此属于水资源短缺地区。

1.2 水文地质条件

准格尔旗地下水资源在区域分布上有较大的差异^[14]。

根据岩性含水类型及富水性情况,全旗地下水分为六个区(图 2)。

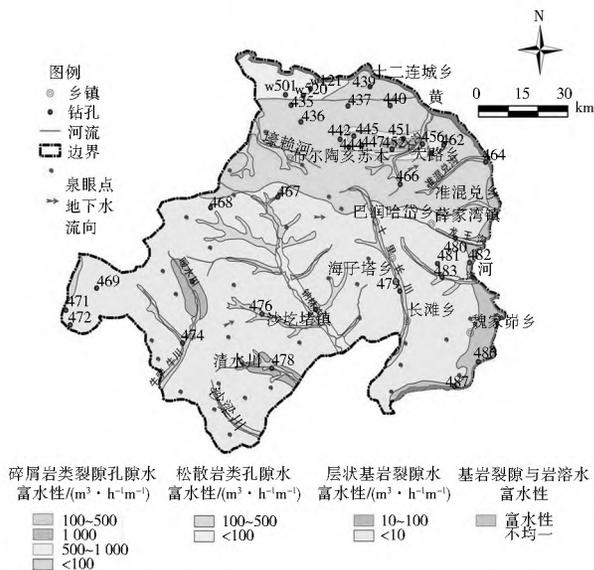


图 2 准格尔旗水文地质图

Fig. 2 Hydrogeological map of Zhungeer County

沟谷冲积洪积层潜水,分布于各大川及其主要支流的砂卵石层中,含水层厚度 2~15 m,水位埋深 2~7 m。由于沟谷排泄畅通,受降水影响本区水量较贫乏,一般只适宜于小规模开采利用。

冲积湖积层潜水,分布于北部黄河南岸库布其沙漠以北的蓆亥图、十二连城中部和北部的黄河冲积平原区,水位埋深 4~10 m,水质较好,水量丰富,单井出水量在 720 m³/d 左右,便于大量开发利用。

碎屑岩类裂隙孔隙水,分布于十二连城乡的南部、布尔陶亥苏木、大路镇南部区、薛家湾镇北部的窑沟地区,含水层薄,水量较小,且多以泉水形式排泄,不利于大量集中开采。

碎屑岩承压水富水区,分布范围以大路镇乌兰不浪一带为中心,向西延伸到圪条不拉,向东延伸至大路镇城壕村西部,东西长约 30 km,南北宽约 6 km,含水层厚度 80~100 m,水量丰富,单井出水量在 1 200~2 400 m³/d 左右(单井最大出水量 50 400 m³/d),适宜大量开采。

层状基岩裂隙水,在全旗范围内分布最为广泛,主要分布于布尔陶亥—玻璃圪旦—窑沟以南的大部分地区,含水层厚度小,水量贫乏,且多以泉水的形式流露,泉水流量一般小于 0.1 L/s,不便于大量集中开采利用。

基岩裂隙岩溶水,分布于东部黄河沿岸,富水性由地质构造、裂隙及岩溶发育程度决定,水位埋深不定,富水性不均,单井出水量一般大于 1 200 m³/d(单井最大出水量可达到 240 000 m³/d),水质好,便于大量开采(已建成的唐公塔、陈家沟门、苏计沟、马家塔、大塔、张家圪旦永兴店、龙口镇境内魏家峁和榆树湾的供水深井均属于该类型的地下水)。

1.3 水资源利用现状

目前,准格尔旗水资源主要有地表蓄水工程、引黄河水工程、地下水开采等三个主要来源,其供水现状见表 1,可以看出引黄河水工程是区域供水资源的主要来源,地下水资源

次之,占供水量的 37% 左右。地下水利用中工业用水量最大,其次是农业灌溉用水,而且城市用水以地下水为主。

表 1 水资源供水类型现状
Tab. 1 The status of water supply types

引水类型	农业灌溉用水	城市生活与环境用水	工业供水	林牧用水	农村人畜用水	供水总量	备注
地表蓄水	937	40				977	
引提黄河水	2 167		3 983			6 150	引黄水量为 4 458 万 m ³
地下水	1 331	708	1 409	168	182	3 798	排放污水 658 万 m ³
合计	4 643	748	5 392		182	10 965	

注:资料来源《内蒙古准格尔旗能源基地工业供水工程规划报告》^[15]

2 地下水环境承载力评价指标体系构建

地下水环境承载力指标体系是一个较为复杂的系统,涉及到地下水循环系统、社会人口承载力、社会经济要素等各方面。因此,所选择的指标应能够反映出研究区内地下水的现状和变化趋势,并且能够从不同角度客观地反映研究区地下水资源条件、开发利用状况、供需关系等方面,最终是为了指导研究区的水资源配置,解决供水资源短缺和社会经济的可持续发展问题。

2.1 数据来源

本文所选取的指标数据来源如下:自然指标中地下水含水层厚度、包气带岩性和地下水埋深等数据来自野外水文地质调查以及《内蒙古自治区伊克昭盟水文地质地质图集》,地形坡度提取自分辨率 30 m 的 DEM 数据;社会指标数据均来源于内蒙古自治区准格尔旗市 2011 年年鉴以及《准格尔旗水利发展“十二五”规划》。

2.2 评价指标选取

自然指标:选取能够客观反映研究区地下水环境的指标(表 2)。其中,地形坡度反映地表水的入渗程度,坡度越大地表水越不容易入渗,带入地下水的污染物越少,承载力越强;含水层越厚,地下水的纳污能力越强,地下水环境承载力越强;地下水埋深越大,污染物进入地下水的的时间越长,污染物浓度沿途衰减的程度越大,进入地下水的污染物越少,承载力越强;包气带岩性反映其渗透性好坏,渗透性越好,通过包气带进入地下水的污染物就越多,承载力越强;水力传导系数反映地下水含水层之间的传导能力,水力传导系数越大,污染物进入其他含水层的几率就越大,地下水承载力就越弱。

社会指标^[16]:选取能够客观反映研究区社会经济发展规模的指标(表 2)。其中,人口密度越大,对地下水环境产生的压力就越大,承载力越弱;人均 GDP 越高,现有产业规模越大,对地下水环境产生的压力越大,承载力越弱;农作物播种面积越大,灌溉用水对地下水的消耗就越大,农药污染物进入地下水的几率就越大,承载力越弱;万元 GDP 耗水量和人均地下水开采量越大,对地下水的开采程度越高,地下水环境承载力就越弱。

3 地下水环境承载力计算分析

本文确定研究区地下水水环境承载力的总体计算分析的思路是:采用层次分析法计算各项指标的权重,利用 ARC-GIS 地理信息系统软件将各项指标值进行归一化处理,对各

表 2 地下水环境承载力指标体系

Tab. 2 Evaluation indexes system of groundwater environment carrying capacity

目标	指标类别	指标名称
地下水承载力 A	自然指标 (B ₁)	(地下水补给要素)地形坡度 P ₁
		(地下水赋存条件)含水层厚度 P ₂
		(地下水补排要素)地下水埋深 P ₃
		(地下水污染防治能力)包气带岩性 P ₄
		(地下水传导能力)水力传导系数 P ₅
	社会指标 (B ₂)	人口密度 P ₆
		人均 GDP P ₇
		农作物播种面积 P ₈
		万元 GDP 耗水量 P ₉
		人均地下水开采量 P ₁₀

个评价指标进行加权计算最终得到研究区地下水环境承载力评价结果。

3.1 评价指标权重计算

3.1.1 构造判断矩阵

在综合分析各项评价指标对研究区地下水环境承载力影响程度强弱的基础上,结合准格尔旗地下水资源开发利用现状,并参照地下水科学研究领域专家的建议,根据层次分析法的判别标度(表 3)构造判断矩阵 A-B(表 4)、B₁-P(表 5)、B₂-P(表 6)。

表 3 判断矩阵标度准则

Tab. 3 Scaling criteria of the judgment matrix

标度	含义
1	两个因素相比,具有同样的重要性
3	两个因素相比,一个元素比另一个元素稍微重要
5	两个因素相比,一个元素比另一个元素明显重要
7	两个因素相比,一个元素比另一个元素强烈重要
9	两个因素相比,一个元素比另一个元素极端重要
2、4、6、8	需要在上述两个标度之间折中时的标度
倒数	两个元素的反比较

表 4 A-B 权重判断矩阵

Tab. 4 The judgment matrix of A-B index weights

A	B ₁	B ₂
B ₁	1	1/3
B ₂	3	1

3.1.2 确定权重

权重确定包括计算特征向量和一致性检验。本文采用

表 5 B_1 - P 权重判断矩阵

Tab. 5 The judgment matrix of B_1 - P index weights

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
P_1	1	3	3	2	2
P_2	1/3	1	1	1/3	1/3
P_3	1/3	1	1	1/3	1/3
P_4	1/2	3	3	1	1/3
P_5	1/2	3	3	3	1

表 6 B_2 - P 权重判断矩阵

Tab. 6 The judgment matrix of B_2 - P index weights

	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
P_6	1	2	3	2	3
P_7	1/2	1	2	2	3
P_8	1/3	1/2	1	1/3	2
P_9	1/2	1/2	3	1	3
P_{10}	1/3	1/3	1/2	1/3	1

方根法求特征向量, 具体计算公式如下。

(1) 计算判断矩阵 A 的每一行元素乘积。

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(2) 计算 M_i 的 n 次方根。

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$$

(3) 若 \bar{W}_i 标准化为 $W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j}$, 则 W_i 为所求特征向量。

(4) 计算矩阵的最大特征根 λ_{max} 。

$$\lambda_{max} \approx \frac{\sum_{i=1}^n (AW)_i}{n \sum_{i=1}^n W_i}$$

式中: $(AW)_i$ 为向量 AW 的第 i 个分量。

(5) 一致性检验。

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中: $CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$, RI 从表 7 中选取。当 $CR < 0.1$ 时, 矩阵 A 具有一致性, 符合层次分析法的要求。

表 7 平均随机一致性指标 RI 值

Tab. 7 The average random consistency index RI values

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.26	1.36	1.41	1.45

A - B 矩阵特征向量计算结果为: $W = (0.249, 0.751)$, $CR = 0$, 矩阵具有一致性, B_1 、 B_2 相对于 A 的权重为 0.249、0.751; B_1 - P 矩阵特征向量: $W = (0.3448, 0.0733, 0.0733, 0.1859, 0.3227)$, 矩阵的最大特征向量 $\lambda_{max} = 4.804$, $CI = 0.0199$, $RI = 0.9$, 则 $CR = 0.022 < 0.1$, 矩阵一致性满足要求, P_1 至 P_5 相对于矩阵 B_1 的权重为 0.3448、0.0733、0.0733、0.1859、0.3227; B_2 - P 矩阵特征向量: $W = (0.3562, 0.2489, 0.1120, 0.2046, 0.0783)$, $\lambda_{max} = 5.1914$, $CI = 0.0478$, $CR = 0.043 < 0.1$, 矩阵一致性满足要求, P_6 至 P_{10} 相对于矩阵 B_2 的权重为 0.3562、0.2489、0.1120、0.2046、0.0783。

$$CI = \sum_{i=1}^2 CL_{B_i} \times W_{B_i} = 0.0408, RI = \sum_{i=1}^2 RI_{B_i} \times W_{B_i} = 1.12,$$

$CR = 0.03648 < 0.1$, 一致性满足要求。各评价指标 P_1 至 P_{10} 相对于 A 的最终权重见表 8。

表 8 评价体系各指标权重

Tab. 8 The weights of evaluation indexes

指标	权重	权重值
P_1	W_1	0.0858
P_2	W_2	0.0183
P_3	W_3	0.0183
P_4	W_4	0.0463
P_5	W_5	0.0803
P_6	W_6	0.2675
P_7	W_7	0.1869
P_8	W_8	0.0841
P_9	W_9	0.1137
P_{10}	W_{10}	0.0988

3.2 数据标准归一化处理

在 ARCGIS 软件中, 利用 GRID 模块的数学计算功能, 将选定的指标数据进行标准归一化处理。转换后得到的 X'_i 值越大, 代表此因子对地下水环境承载力的影响程度越高。当因子值 X'_i 与地下水环境承载力呈正相关时, 采用公式 (1) 转换; 呈负相关时使用公式 (2)。

$$X'_i = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (1)$$

$$X'_i = 1 - \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} \quad (2)$$

式中: X'_i 为第 i 个指标的标准化值; X_i 为第 i 个指标的初始值; $X_{i\max}$ 、 $X_{i\min}$ 分别为第 i 个指标在研究区内的最大值和最小值。

利用 ARCGIS 将指标体系中的各评价因子数字化, 获取各指标的分布图。

4 评价结果与分析

对各个指标数据进行标准化处理, 得到各指标的数字化分布图, 利用 ARCGIS 软件将其栅格化后对各指标进行加权计算, 得到研究区内各点地下水环境承载力评价结果, 显示研究区地下水环境承载力分布在 0.1352~0.8868 之间, 平均为 0.5215。据此对承载力分布区间进行划分, 结果见表 9 和图 3, 可以看出准格尔旗地区地下水承载力水平较弱, 承载力中等、弱和很弱的区域面积达到 60% 以上, 主要分布在中东部及西北部地区, 承载力强和很强的区域主要集中在准格尔旗的东部、北部及东南部。具体分析如下。

表 9 地下水环境承载力评价结果

Tab. 9 Evaluation results of groundwater environment carrying capacity

等级	区间	区间面积/km ²	比例(%)
承载力很弱	< 0.2	1 195.72	15.71
承载力弱	0.2~0.4	2 719.50	35.74
承载力中等	0.4~0.6	791.52	10.41
承载力强	0.6~0.8	1 051.91	13.83
承载力很强	> 0.8	1 849.47	24.31

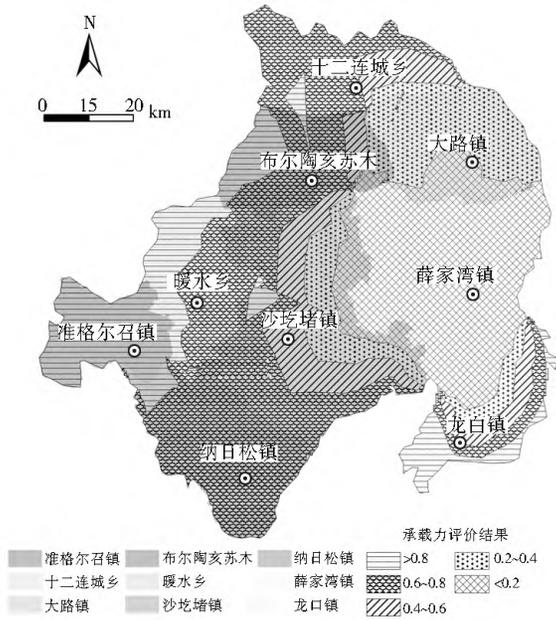


图3 地下水环境承载力分布

Fig. 3 Distribution map of groundwater environment carrying capacity

(1) 地下水环境承载力弱极弱区。主要分布在准格尔旗东部薛家湾镇及大路镇等周边地区,虽然该区赋存大量的潜水和承压水,但是由于人口密集,集中了大量的煤化工及能源企业,工业发展水平较高,对地下水环境造成了极大的压力,社会因素是主要的制约因素。因此,在经济发展建设中应当调整产业布局,减少高耗水产业,适当的开采沿黄河分布的深层岩溶地下水资源以及合理引采黄河水,缓解该区地下水环境压力。

(2) 地下水环境承载力中等区。主要分布在准格尔旗中部的布尔陶亥苏木、沙圪堵镇、西南部龙口镇部分区域。该区地下水资源丰富,主要赋存于各大沟谷冲洪积地带,人口密度较小,地下水开采利用程度较低,经济发展主要以农牧业以及第三产业为主,未来在加强地下水资源开发的规划和管理的的基础上,可适当的发展重工业等高耗水产业。

(3) 地下水环境承载力强很强区。主要分布在准格尔旗的西部暖水乡、准格尔召镇、纳日松镇、沙圪堵镇西部以及北部的十二连城地区。虽然该区地下水类型单一,地下水的补给缺乏、含水层发育较差,为准旗的饮用水超标与饮用水取水困难分布区,但是由于人口较少,工业发展程度低于中东部地区,地下水开采利用程度不高,所以地下水环境承载力相对较强。受制于自然因素的制约,地下水环境不具备支撑高耗水工业的建设,该区未来的经济建设中应维持地下水资源开发利用现状,继续发展传统农业生产,并对局部饮用水缺乏区采取工程措施,改善农村用水现状。

综上所述,准旗地下水环境承载力在全区的空间上有明显的规律性。在不考虑深层地下水(东部主要来自黄河东岸的地下水补给区)与黄河引提水等流域外部水源的情况下,承载力分布符合全区地下水资源分布规律。

5 结论

本文通过野外水文地质调查及相关资料收集,从自然因素和社会因素两个方面选取了10个指标,构建了内蒙古准

格尔旗地下水环境承载力评价体系,采用层次分析法对地下水环境承载力进行评价。结果表明:准格尔旗地区地下水环境承载力在0.135 2~0.886 8之间,平均为0.521 5,整体属于中等偏弱水平。中东部地区受到社会因素的制约地下水环境压力较大,承载力较弱;中部地区由于地下水资源丰富,工业发展程度较低,地下水环境承载力属于中等水平;西部地区虽然地下水资源相对缺乏,由于社会经济发展水平较低,地下水开发利用程度低,地下水环境承载力属于较强水平。

准格尔旗地下水环境承载力评价结果与区域水文地质条件和社会经济发展现状较为吻合,可为准格尔旗地区新农村与工业开发建设中地下水资源管理和地下水环境保护提供依据,并为水利发展规划的实施提供理论参考。

参考文献(References):

- [1] 周亮广. 水资源承载力研究进展与展望[J]. 水科学与工程技 术, 2009, 15(4): 24-28. (ZHOU Guang-liang. Some advances in study on water resource carrying capacity[J]. Water Sciences and Engineering Technology, 2009, 15(4): 24-28. (in Chinese))
- [2] 徐良芳, 孙德华. 区域水资源承载力计算问题探讨[J]. 水电能源科学, 2005, 23(2): 23-25. (XU Liang-fang, SUN De-hua. Study on calculation of resources carrying capacity[J]. Water Resources and Power, 2005, 23(2): 23-25. (in Chinese))
- [3] 张鑫, 王纪科, 周建召. 关中平原区地下水资源承载力现状及提高承载力的途径[J]. 地下水, 2001, 23(2): 65-75. (ZHANG Xin, WANG Ji-ke, ZHOU Jian-zhao. Status and improve approach on groundwater resources carrying capacity in Guanzhong plain[J]. Groundwater, 2001, 23(2): 65-75. (in Chinese))
- [4] 张鑫, 王纪科, 蔡焕杰, 等. 区域地下水资源承载力综合评价研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 24-27. (ZHANG Xin, WANG Ji-ke, CA Huan-jie, et al. Comprehensive evaluation on resources carrying capacity of regional groundwater[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(3): 24-27. (in Chinese))
- [5] 王顺久, 杨志峰, 丁晶. 关中平原地下水资源承载力综合评价的投影追踪方法[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 104-110. (WANG Shun-jiu, YANG Zhi-feng, DING Jing. Projection pursuit method of comprehensive evaluation on groundwater resources carrying capacity in Guanzhong plain[J]. Resources Science, 2004, 26(6): 104-110. (in Chinese))
- [6] 张建军, 赵新华, 李国金, 等. 城市水资源承载力多目标分析模型及其应用研究[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(11): 2112-2114. (ZHANG Jian-jun, ZHAO Xin-hua, LI Guo-jin, et al. Multi-objective analysis model for city's water resources carrying capacity and its application research[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2005, 33(11): 2112-2114. (in Chinese))
- [7] 刘仁志. 环境承载力理论的新认识[A]. 2010 中国环境科学学会学术年会论文集(第二卷)[C]. 北京: 2010. (LIU Ren-zhi. New understanding of the theory of environmental carrying capacity[A]. 2010 China Environmental Science Society Annual Meeting Proceedings (Volume II), Beijing: 2010. (in Chinese))
- [8] 唐剑武, 郭怀成, 叶文虎. 环境承载力及其在环境规划中的初步应用[J]. 中国环境科学, 1997, 17(1): 6-9. (TANG Jian-wu,

- GUO Huai cheng, YE Wen wu. Environmental bearing capacity and its application on environmental planning[J]. China Environmental Science. 1997, 17(1): 6-9. (in Chinese)
- [9] 杨聪, 门宝辉, 陈庆伟. 评价地下水环境承载力的方法研究[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(1): 24-29. (YANG Cong, MEN Bao hui, CHEN Qing wei. Research on evaluation method of groundwater environmental bearing capacity [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2010, 8(1): 24-29. (in Chinese))
- [10] 李绍飞, 孙书洪, 王向余. 突变理论在海河流域地下水环境风险评价中的应用[J]. 水利学报, 2003, 8(11): 1312-1317. (LI Shao fei, SUN Shu hong, WANG Xiang yu. Application of catastrophe theory to risk assessment of groundwater environment for river basin[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 8(11): 1312-1317. (in Chinese))
- [11] 李梅, 孟凡玲, 李群, 等. 基于改进 BP 神经网络的地下水环境脆弱性评价[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(3): 245-250. (LI Mei, MENG Fan ling, LI Qun, et al. Modified BP neural network-based groundwater environmental vulnerability evaluation[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(3): 245-250. (in Chinese))
- [12] 张文国, 杨志峰. 基于指标体系的地下水环境承载力评价[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 541-544. (ZHANG Wen guo, YANG Zhi feng. Assessment on bearing capacity of groundwater environment based on indicator system[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(4): 541-544. (in Chinese))
- [13] 李垚奎, 张征, 娄华君, 等. 台州地区地下水环境承载力评价研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(5): 151-153. (LI Yao kui, ZHANG Zheng, LOU Hua jun. Study on the evaluation of groundwater environmental carrying capacity in Taizhou city [J]. Journal of Safety and Environment, 2012, 12(5): 151-153. (in Chinese))
- [14] 内蒙古自治区 104 地质队. 内蒙古自治区伊克昭盟水文地质图集[R]. 内蒙古: 内蒙古自治区 104 地质队, 1994. (104th Geological Team of Inner Mongolia. Inner Mongolia Yikezhao meng hydrogeological atlas [R]. Inner Mongolia: 104th Geological Team of Inner Mongolia, 1994. (in Chinese))
- [15] 内蒙古自治区 104 地质队. 内蒙古准格尔旗能源基地工业供水工程规划报告[R]. 内蒙古: 内蒙古自治区 104 地质队, 2007. (104th Geological Team of Inner Mongolia. The energy base of industrial water supply project planning report in Zhungeer County, Inner Mongolia [R]. Inner Mongolia: 104th Geological Team of Inner Mongolia, 2007. (in Chinese))
- [16] 准格尔旗水务局. 准格尔旗水利发展“十二五”规划[R]. 内蒙古: 准格尔旗水务局, 2011. (Zhungeer County Water Authority. Water resources development "Twelfth Five Year Plan" of Zhungeer County [R]. Inner Mongolia: Zhungeer County Water Authority, 2011. (in Chinese))

版权转让声明

本刊已加入万方数据数字化期刊群(www.wanfangdata.com.cn)、中国知网(www.cnki.net)、维普资讯网(dx1.cqvip.com)和龙源期刊网(www.qikan.com)等网站,并被中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊全文数据库、美国《化学文摘》(CA)等数据库收录。凡本刊录用的稿件将通过因特网进行网络出版或提供信息服务,稿件一经录用,将一次性支付作者著作权使用报酬(即包括印刷版、光盘版和网络版各种使用方式的报酬),作者将该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、汇编权等在全世界范围内转让给本刊。若有异议,请在投稿时作文字说明,编辑部将酌情处理。

特此声明!

《南水北调与水利科技》编辑部