

滹滏平原地下水资源脆弱性时变分析

严明疆, 申建梅, 张光辉, 聂振龙, 王金哲

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061)

摘要: 采用灰色关联度法和 BP 神经网络法计算各指标权重, 然后用综合指数法分别对滹滏平原 1984 年和 2000 年地下水资源脆弱性进行了评价。2000 年相对于 1984 年, 地下水资源脆弱性分布特征发生了明显的变化, 而且脆弱性级别升高。地下水资源脆弱性具有时变性, 制定地下水合理利用模式时应当结合现状实际地下水资源脆弱性。

关键词: 地下水资源脆弱性; 评价指标; 时变性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2006)05-0046-03

中图分类号: TV213

Analysis of Changes in Vulnerability of Shallow Groundwater Resource with Time in the Hufu Plain

YAN Ming-jiang, SHEN Jian-mei, ZHUANG Guang-hui, NIE Zheng-long, WANG Jin-zhe

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050061, Hebei Province, China)

Abstract: This paper computed the weight of influence factors by gray pertinence method and BP network, and assessed shallow groundwater resource vulnerability in the Hufu Plain in 1984 and 2000 by the integrated method. The changes in vulnerability grade and its spatial characteristics in 2000 were significant compared with those in 1984. The advices to exploit properly groundwater should be based on current groundwater resource vulnerability because of its changes with time.

Keywords: groundwater resource vulnerability; influence factors; change with time

脆弱性一词作为术语最早出现于医学界^[1], 其本意是人体系统或某一部位易患病性或受伤害性, 脆弱性一词目前已应用于生态、环境和地学等许多学科。20 世纪 70 年代, 法国学者首次将脆弱性引入地下水并提出地下水脆弱性^[2], 其后, 许多学者又提出了水资源脆弱性一词。本文借鉴水资源脆弱性概念^[3-6], 提出地下水资源脆弱性: 是指地下水在循环过程中, 受社会、经济发展和环境变化影响, 地下水资源易于遭受人类活动、自然灾害威胁和损失的性质和状态, 受损后难于恢复到原来状态和功能的性质。

影响地下水资源脆弱性的因素有很多, 在特定的时空上, 其脆弱性是不变的, 但随着时空的变化, 其脆弱性就会发生变化, 这种变化由其影响因素的时空变化来决定, 这就构成了地下水资源脆弱性与影响因素之间的函数关系: $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ 。某一或全部影响因素在时间或空间上的变化, 必将导致地下水资源脆弱性综合指数在时间或空间上的变化。在 1987 年的“土壤与地下水脆弱性国际会议”上, Sotornikova 和 Vrba 在定义地下水脆弱性时, 已经

考虑了地下水脆弱性的时间效应^[7]。本文以滹滏平原为典型区, 深入讨论地下水资源脆弱性随时间的变化特征。

1 研究区概况

研究区位于河北省中西部, 西靠太行山, 东邻低平原, 南部以洮河和滏阳新河为界, 北邻磁河, 面积约 8 820 km², 地势由西向东倾斜, 地形坡度为 0.5%~1‰。山前地带地形略有起伏, 平原中部及东部广大地区, 地势较为开阔平坦。该地区属大陆性季风气候区, 冬春多风, 夏季多雨。年平均气温在 13℃ 左右, 全年无霜期约 180~210 d。多年平均降雨量在 500~600 mm, 降雨多集中在每年的 7—9 月份, 约占全年降水量的 70% 左右, 且多为暴雨。

研究区属于太行山东麓的山前冲积倾斜平原, 主要由滹沱河冲洪积扇组成。第四系厚度由山前 200 m 增至东部的 600 m, 一般在地质分层的基础上, 并考虑含水层与隔水层的分布状况、水动力条件、水化学特征的垂向变化及开采利用条件等, 将含水层分为

4 个含水组,使含水层在空间上的分布具有明显的差异性和规律性。在水平方向上,由西向东含水层厚度由厚变薄,粒度由粗变细,层次由少增多,分选性由差到好,透水性由强至弱。在垂直方向上,含水层的变化是:上部及下部砂层粒度较细,厚度小;中部砂层粒度较粗,厚度大。本次研究的目标层是第一、二含水组,它在地层上相当于全新统和上更新统,底界深度西部一般在 40~60 m,在山前平原,由于人为沟通、混合开采,浅层水底界埋深延伸至 120~150 m。含水层岩性西部多为厚层砂砾石,下部为砾卵石,向东逐渐变细,以中粗砂为主。在东部及扇缘交错地带,

中细砂及粉细砂分布较多,部分地带则以中细砂及粉细砂为主。

2 指标体系

关于水资源脆弱性影响因素许多学者认为主要为气候和人类活动两大类^[3-5],由于地下水系统的特有属性,在考虑地下水资源脆弱性时,必须考虑地下水系统的特性,因此,将地下水资源脆弱性影响因素主要分为 3 大类:地下水系统内部结构条件、外部自然因素和社会因素。地下水资源脆弱性各影响因素如图 1 所示。

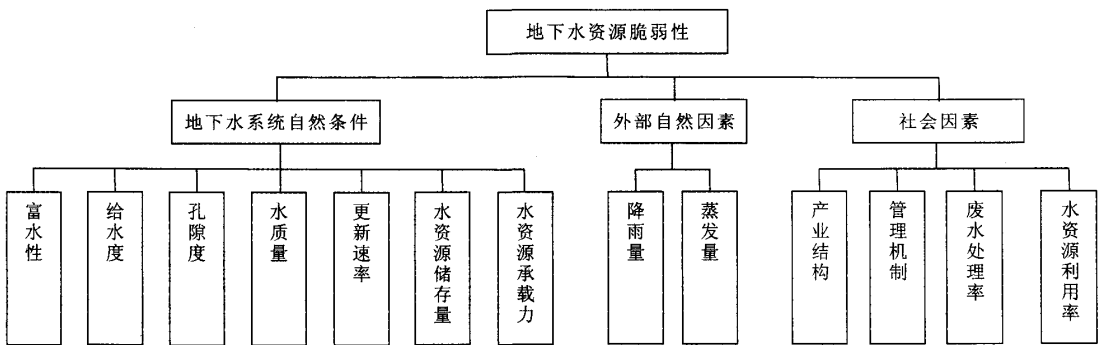


图 1 地下水资源脆弱性评价指标体系图

影响地下水资源脆弱性的地下水系统内部条件一般为与地下水属性有关的各要素,如富水性、给水度、含水层砂层厚度和更新速率等,这些是地下水所具有的一些固有属性,它们决定了地下水的存储状态、存储空间和更新状况等;外部自然因素主要是指气候,由于全球或区域性气候的变化决定了全球或地区降雨量的分布状况以及水量的蒸发状况,降雨是水循环的重要环节,也是地球上水资源补给的重要途径;社会因素主要是指与水有关的各种人类活动。在目前,人类活动已成为影响水资源脆弱性的一个重要因素,如经济活动、废水处理和资源利用率等,不同经济活动决定了不同的用水量,废水处理和资源利用率决定了水资源的节约状况,最终,社会活动决定了人类对地下水资源的开采状况,而人类对地下水资源的不合理开采和集中开采是影响地下水资源脆弱性最重要的因素之一。

本文地下水资源脆弱性评价指标为补给量、地下水开采强度、地下水质量(以矿化度表示)、地下水储量、给水度、富水性和地下水可采资源量。在该指标

体系中,地下水开采强度不断增强,必将导致其它指标的变化。例如,持续大量开采地下水,使地下水位埋深不断增加,将影响地下水的补给,同时改变潜水蒸发状况,改变地下水矿化度,另一方面,长期超采,使地下水储存资源量不能得到恢复,降低或丧失地下水多年调节功能。

3 评价模型及权重

本文采用的地下水资源脆弱性评价模型为:

$$R = \sum_{i=1}^n W_i X_i \quad (1)$$

式中: R ——综合评价指数; W_i ——评价指标的权重; X_i ——归一化的评价指标; n ——评价指标的个数。

目前,国内外对评价因子的权重求取一般根据专家意见或是采用数学模型计算,计算权重的数学模型主要有主成分—因子分析法、灰色关联度法、层次分析法和证据权法等。通过灰色关联度法和 BP 神经网络法来计算各指标权重并加以相互佐证(见表 1)。

表 1 浅层地下水资源脆弱性评价指标权重

评价指标	补给	开采强度	矿化度	可开采量	给水度	地下水储量	富水性
灰色关 计算值	0.630	0.659	0.670	0.522	0.696	0.728	0.588
联度 标准化	0.141	0.145	0.150	0.112	0.153	0.162	0.131
BP 神经网络	0.115	0.142	0.142	0.103	0.196	0.196	0.108
平均值	0.128	0.144	0.146	0.107	0.175	0.179	0.120

4 地下水资源脆弱性演变特征

本文根据 1984 年和 2000 年补给量、地下水开采强度、地下水质量、地下水储量、给水度、富水性和地下水可采资源量分布变化特征,分别进行了 1984 年和 2000 年地下水资源脆弱性评价(图 2,3),并分别统计了 2 个阶段不同等级脆弱区分布面积(表 2)。

部。2000 年,浅层地下水资源脆弱性分区特征有了明显的变化,由东西向转变为近呈南北向条带状分布且由西向东逐渐增高,极端脆弱区分布范围很小,主要为较低脆弱区,一般脆弱区和较高脆弱区。

由表 2 可以看出,随着开采量的不断增加,地下水资源脆弱性发生了很大的变化,1984 年主要为较低脆弱区和一般脆弱区,说明在当时的开采状况下,地下水资源具有较强的恢复能力,局部地区仍具有适量增大开采的潜力,由于当时继续加大开采,至 2000 年,地下水资源储量大幅减少,甚至部分地区浅层地下水已疏干,降低或丧失了地下水资源多年调节功能,增大了地下水资源脆弱性,以一般脆弱性和较高脆弱性为主。

由此可见,漳滏平原浅层地下水资源脆弱性分布特征发生了明显的变化,这种变化与地下水开采状况以及由此改变地下水补、径、排循环方式有关。位于山前平原的石家庄是河北的政治、经济、文化中心,自 20 世纪 80 年代以来,石家庄市地下水开采强度已大于 $5.00 \times 10^5 \text{ a}^3/\text{km}^3$,其周围地区也在 $3.00 \times 10^5 \sim 5.00 \times 10^5 \text{ a}^3/\text{km}^3$ 之间,整个淡水区域地下水开采强度大于 $1.50 \times 10^5 \text{ a}^3/\text{km}^3$,长期大量开采地下水,使地下水位大幅下降,减少了地下水储存资源,甚至部分地区地下水疏干,降低地下水资源恢复能力。

通过对漳滏平原浅层地下水资源脆弱性评价结果分析,1984 年相对于 2000 年,地下水资源脆弱性有以下变化并得出以下结论。

(1) 地下水资源脆弱性由 1984 年呈东西向条带状分布演变为 2000 年呈近南北向条带状分布,递变趋势由南向北升高演变为由西向东升高。

(2) 地下水资源脆弱性明显升高,1984 年以一般脆弱性和较低脆弱性为主,演变为 2000 年以一般脆弱区和较高脆弱区为主,并出现高脆弱区。

(3) 由上述结论可进一步得出地下水资源脆弱性具有时变性,因此,应当依据现状地下水资源实际脆弱性,制定地下水合理开发策略以实现地下水可持续利用。

(下转第 74 页)

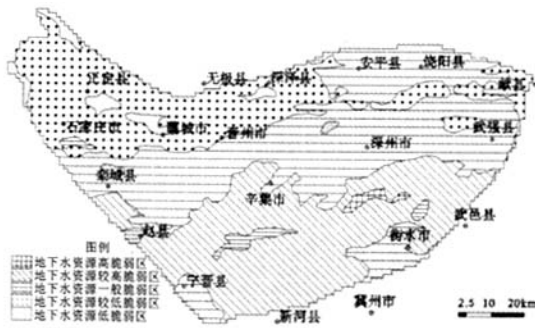


图 2 1984 年地下水资源脆弱性

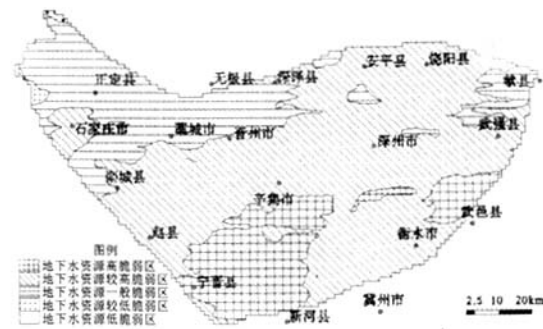


图 3 2000 年地下水资源脆弱性

表 2 漳滏平原不同时期地下水资源脆弱区分布面积 km^2

年份	低脆弱区	较低脆弱区	一般脆弱区	较高脆弱区	高脆弱区
1984	197	2 157	3 727	2 657	65
2000	0	51	2 024	5 378	1 368

据评价结果(图 2,3),1984 年,漳滏平原浅层地下水资源脆弱性分区呈东西向条带状分布,较低脆弱区主要分布在漳滏河两岸,一般脆弱区分布在平原南

4 结 论

通过上述分析,可以看出 GTOPO30 和 SRTM DEM30 高程异常差异主要分布在地形复杂地区、DCW 为数据源的地区和 SRTM DEM 的无数据区域。对于地形复杂地区,由于雷达成像自身的特点,容易低估或高估实际高程。在此次试验中,本文只对大小 15×15 的区域做了研究,没有做大面积的分析,因此,对地形复杂地区 SRTM DEM30 的精度是否高于 GTOPO30,还有待进一步验证。

总的来说,通过对 2 种 DEM 数据的精度分析,说明 SRTM DEM30 精度高于 GTOPO30。但考虑到 SRTM DEM30 中无数据区域的精度较低,因此在具体使用时,需要针对不同研究区域和具体应用问题,选择合适的 DEM 数据。研究对于 SRTM DEM 在我国的应用具有重要的参考价值。

[参 考 文 献]

- [1] 陈永良,刘大有,虞强源. 从 DEM 中自动提取自然水系[J]. 中国图象图形学报,2002,7(1):91—96.
- [2] 邓慧平,李秀彬. 地形指数的物理意义分析[J]. 地理科学进展,2002,21(2):103—110.
- [3] 冯兆东. 地形分析与地理信息系统在水文地貌学中的应用[J]. 干旱区地理,1996,19(2):84—90.
- [4] 郭利华,龙毅. 基于 DEM 的洪水淹没分析[J]. 测绘通报,2002,11:25—30.
- [5] 郝振纯,李丽. 基于 DEM 的数字水系的生成[J]. 水文,2002,22(4):8—10.
- [6] 任立良. 流域数字水文模型研究[J]. 河海大学学报,2000,28(4):1—7.
- [7] 任立良,刘新仁. 基于 DEM 的水文物理过程模拟[J]. 地理研究,2000,19(4):369—376.
- [8] 汤国安,刘学军,闫国年. 数字高程模型及地学分析的原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2005.2—5.
- [9] 吴险峰,王中根,刘昌明,等. 基于 DEM 的数字降水径流模型——在黄河小花间的应用[J]. 地理学报,2002,57(6):671—678.
- [10] 徐涛,胡光道. 基于数字高程模型自动提取水系的若干问题[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(5):11—14.
- [11] 杨昕,汤国安,王雷. 基于 DEM 的山地总辐射模型及实现[J]. 地理与地理信息科学,2004,20(5):41—44.
- [12] 赵帮元,喻权刚,马红斌,等. 不同比例尺数字高程模型在水土保持信息提取中的应用分析[J]. 中国水土保持,2004(2):33—34.
- [13] 赵士鹏. 基于 GIS 的山洪灾情评估方法研究[J]. 地理学报,1996,51(5):471—479.
- [14] 周贵云,刘瑜,邬伦. 基于数字高程模型的水系提取算法[J]. 地理学与国土研究,2000,16(4):77—81.
- [15] 周云轩,王磊. 基于 DEM 的 GIS 地形分析的实现方法研究[J]. 计算机应用研究,2002,12:50—53.
- [16] 惠凤鸣,田庆久,李应成. ASTER 数据的 DEM 生产及精度评价[J]. 遥感信息,2004(1):14—18.
- [17] 李志林,朱庆. 数字高程模型(第一版)[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1999.2—10.
- [18] 熊立华,郭生练,Kieran M,Connor O. 利用 DEM 提取地貌指数的方法述评[J]. 水科学进展,2002,13(6):775—780.
- [19] 余鹏,刘丽芬. 利用地形图生产 DEM 数据的研究[J]. 测绘通报,1998,10:16—18.
- [20] GTOPO30 Documentation, <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/README.asp>.
- [21] Shuttle Radar Topography Mission, <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.
- [22] 乔书波,李金岭,孙付平,等. InSAR 技术现状与应用[J]. 天文学进展,2003,21(1):11—25.
- [23] 刘国祥,丁晓利,李志林,等. 使用 InSAR 建立 DEM 的试验研究[J]. 测绘学报,2001,30(4):336—342.
- [24] Andy Jarvis, Jorge Rubiano, Andy Nelson, et al. Practical use of SRTM data in the tropics-Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data, Working Document,2004.198.
- [25] MA Long, DU Daosheng. Analysis and Evaluation of DEM products in GIS, Surveying Information and engineering[J]. 2003,28(3):4—6.

(上接第 48 页)

[参 考 文 献]

- [1] 邱仁宗. 脆弱性:科学技术伦理学的一项原则[J]. 哲学动态,2001(1):18—22.
- [2] Jaroslav Vrba, Alexander Zaporozec. Gudiebook on Mapping Groundwater Vulnerability[M]. International Contributions to hydrogeology Founded by G. Ceastany, E. Groba, E. Romijn. volume(16):
- [3] 刘绿柳. 水资源脆弱性及其定量评价[J]. 水土保持通报,2002,22(2):41—44.
- [4] 沈珍瑶,杨志峰,曹瑜. 环境脆弱性研究评述[J]. 地质科技情报,2003,22(3):91—94.
- [5] 刘春霖. 中国西北水资源的脆弱性[J]. 冰川冻土,2003,25(3):309—314.
- [6] 杨燕舞,张雁秋. 水资源的脆弱性及区域可持续发展[J]. 苏州城建环保学院学报,2005,15(4):85—88.
- [7] Thomas Harter, Leah G. Walker. Assessing vulnerability of groundwater[M]. 2001.