

环境评价

基于 GIS 的地下水环境安全评价模型

赵 全, 赵新华, 董国凤, 单金林
(天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072)

摘 要: 对地下水资源的不合理开发会引发地面沉降、地下水位波动及水质恶化等问题。为此,借助层次分析法 (Analytic Hierarchy Process) 确定了地下水资源开发过程中各环境致灾因子的权重系数,并以天津市塘沽区的多年观测数据为基础,建立了该区地下水资源开发的环境安全评价模型,最后对评价结果进行了分析。

关键词: 环境安全评价模型; 地理信息系统; 层次分析法; 地下水资源

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000 - 4602 (2005) 03 - 0098 - 04

GIS Based Environmental Security Assessment Model for Groundwater Exploitation

ZHAO Quan, ZHAO Xin-hua, DONG Guo-feng, SHAN Jin-lin

(School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Unreasonable exploitation of groundwater resources will cause land subsidence, fluctuation of water level, and deterioration of water quality. Therefore, analytic hierarchy process was used to determine weight coefficients of various factors causing environmental disaster during exploitation of groundwater resources, and the environmental security assessment model was established for groundwater exploitation based on observed data over years in Tanggu District of Tianjin. And finally, the results of assessment were analyzed.

Key words: environmental security assessment model; GIS; analytic hierarchy process; groundwater resources

1 区域概况

塘沽区位于天津市东部,总面积为 701.7 km²,其中城区面积为 188 km²。该区的水文地质情况比较复杂,80~220 m 埋深内广泛分布咸水含水组,其上是第一含水组(),也称浅层水含水组。咸水含水层以下为粉细砂和细砂组成的第四系承压含水层,可分为第二()、第三()和第四()含水组。水化学类型主要有重碳酸型、重碳酸氯化物型

和重碳酸硫酸盐型。

2 相关环境因子分析

环境因子包括构成自然界环境的各种生物及非生物因素。通过对与地下水资源开发密切相关的各环境因子进行分析,可为环境安全评价模型选择合适的评价指标。

2.1 地面沉降

塘沽区是天津市沉降较严重的区域之一,全区

监测范围内 1967 年—2002 年的最大累计沉降值已达 3.15 m,建成区低于海平面的有 8 km²。以往的研究表明,超量开采地下水(包括地热水)是造成天津市地面沉降的主要原因^[1,2]。地面沉降造成的最大危害就是地面高程的不可逆损失,使塘沽区这类滨海地区易受到风暴潮等自然灾害的严重威胁。

2.2 地下水

大量开采地下水会造成短期内地下水水位的剧烈波动,长期则表现为地下水水位的显著下降,并对地面沉降过程产生直接影响。同时,还可能引发海水入侵造成地下淡水资源退化,加重土壤的盐渍化。不合理的越层开采,加之止水效果不佳破坏了天然隔水层,导致浅层地下水与深层承压水连通,大大增加了污染物由浅层地下水向深层地下水迁移的风险,并最终威胁到地下水资源的整体可利用性。

2.3 人口

环境安全评价是以人作为中心事物进行考虑的,环境问题所造成的损失也是通过人的主观判断来衡量的。为此,将人口密度作为潜在影响指标引入评价模型,而在现阶段使评价模型倾向于关注人口密度较大的区域。

3 建立环境安全评价模型

3.1 选择评价指标

模型评价指标分为显著可见、隐性不可见和潜在影响指标三类(见表 1)。

表 1 评价指标分类与对应的环境因子

Tab 1 Model index category and corresponding environmental factors

指标分类	环境因子	评价指标
显著可见影响指标	地面沉降	累计沉降量
		近期沉降趋势
	地下水水质	当年地下水水质情况
隐性不可见影响指标	地下水水位	地下水水位波动
		地下水水位敏感性
潜在影响指标	人口	当年人口密度

累计沉降量指标选取 1985 年至评价年的地面沉降累计观测值;近期沉降趋势用以描述地面沉降的变化速率,采用近两年与近五年累计沉降值之比。当年地下水水质情况可反映地下水水质受外界影响的程度和整体可利用水平。为此选择了部分有代表性的水质监测项目,包括:pH、总硬度、硫酸盐、氯化物和氨氮。选用全年平均值并参照《地下水质量标

准》(GB/T 14848—93)中地下水质量评价的相关规定计算综合评价分值 F 并将其作为评价指标。

地下水水位波动是指 1985 年至评价年的地下水位序列的标准偏差,用以描述水位波动的幅度。地下水水位敏感性是指地下水水位与开采量之间的相关关系(对 1985 年至评价年的水位和开采量数据序列进行线性回归分析,所得相关系数作为地下水水位敏感性指标)。

潜在影响指标为当年人口密度,即评价年农业和非农业人口与相应的乡村面积及城区面积的比值。

3.2 层次分析法确定权重

层次分析法为人们处理复杂问题提供了一种均衡的方式:既保持数学上的简化,又使人的思想和经验得以包含于层次结构之中。通过对地下水资源开发相关环境因子的分析以及模型评价指标的选择,最终确定了如表 2 所示的递阶层次结构,并采用 1—9 标度方法建立了各层次的判断矩阵(均通过了一致性检验),结果见表 3~5。

表 2 层次分析法的递阶层次结构

Tab 2 Index system of AHP

目标层 A	准则层 B	子准则层 C
环境系统安全现状	B1:显著可见影响	C1:累计沉降量
		C2:近期沉降趋势
		C3:当年地下水水质情况
	B2:隐性不可见影响	C4:地下水水位波动
		C5:地下水水位敏感性
	B3:潜在影响	C6:当年人口密度

表 3 目标层 A 的判断矩阵

Tab 3 Judgment matrix of aim layer A

A	B1	B2	B3	W
B1	1	3	2	0.539
B2	1/3	1	1/2	0.164
B3	1/2	2	1	0.297

表 4 准则层 B1 的判断矩阵

Tab 4 Judgment matrix of guideline layer B1

B1	C1	C2	C3	P
C1	1	1/5	1/3	0.110
C2	5	1	2	0.581
C3	3	1/2	1	0.309

表 5 准则层 B2 的判断矩阵

Tab 5 Judgment matrix of guideline layer B2

B2	C4	C5	P
C4	1	1/3	0.250
C5	3	1	0.750

其中,准则层权重 (W)和子准则层权重 (P)的计算采用了先对判断矩阵的每列进行归一化,再对各行求平均的方法。各评价因子在评价模型中的权重即为合成权重 (R),其值等于所在层次对应的 W 和 P 的乘积,结果见表 6。

表 6 层次分析法权值结果

Tab 6 Weighting results of indexes in AHP

项目	R_{C1}	R_{C2}	R_{C3}	R_{C4}	R_{C5}	R_{C6}
数值	0.059	0.313	0.167	0.041	0.123	0.297

3.3 建立评价模型

引入环境安全综合评价指数 (S),建立地下水资源开发的环境安全评价模型。S 的定义为:在地下水资源开发过程中,任一地面分析单元中受到影响的各评价因子对该地环境安全影响的总和。模型见下式:

$$S = \sum_{i=1}^6 C_i \times R_i \tag{1}$$

式中 S——环境安全综合评价指数,其取值为 [0, 1] (0 表示环境安全度相对最高,1 表

示相对最差)

C_i ——第 i 个评价因子的观测值与历史最不利值相比 (归一化) 所得的无量纲值,其取值为 [0, 1]

R_i ——第 i 个评价指标在模型中的权重

3.4 概念模型在地理信息系统中的实现

借助 ArcGIS8.2 软件的空间数据处理与分析功能,采用二阶反距离权重插值法^[3],结合已知控制点的观测值计算研究区内所有地面单元的相应数值,得到单个评价因子的完整栅格数据图层;对各评价因子数据图层进行加权叠加,从而得到研究区环境安全综合评价图,实现概念评价模型的可视化。

4 实例

在天津市塘沽区多年观测资料的基础上,应用评价模型对 1992 年、1997 年和 2002 年度塘沽区地下水资源开发进行了环境安全评价,得到了如图 1 所示的环境安全综合评价图。

图 1 塘沽区地下水资源开发环境安全评价图

Fig 1 Environmental security assessment maps of groundwater exploitation in Tanggu District

对比三个年度的评价图可以发现不同区域的评价结果出现了分化,其中东北部的天津经济技术开发区和天津港保税区以及中西部靠近海河下游的区域都是环境安全状况恶化的地区。而南部地区的环境安全状况则有所改善。由于目前塘沽区的地下水

开采量已经低于补给量,故由大面积填土和大规模兴建建筑物引起的地面沉降以及城区人口密度的增长是东北部区域环境安全状况恶化的主要原因。海河中下游工业区长期大量取用地下水,对塘沽区中西部及相邻区域的相关环境因子产生了不利影响,

是使该区环境安全状况恶化的主要原因。可见,频繁的土地开发活动和地下水的大量取用使得地下水资源开发的环境安全状况受到了威胁,建议加强对地下水资源开发环境安全状况恶化地区的观测,并提高水资源利用效率,调整产业结构,压缩地下水取水量。

借助 ArcGIS 8.2 软件的空间统计分析功能,经计算得到了 S 的平均值 (见图 2)。

图 2 区内地下水开发环境安全整体水平

Fig 2 Mean levels of environmental security assessment results of groundwater exploitation

其中, S 均值修正 a 是排除人口密度增加影响因素后的 S 平均值, S 均值修正 b 是排除人口密度增加以及累计沉降量增长影响因素后的 S 平均值。可见,在 1992 年—2002 年这 10 年中,影响塘沽区地下水资源开发环境安全整体状况评价结果的主要因素是人口密度增加以及累计沉降量增长,其中人口密度的增加占到全部影响的 67%。如果排除这两个因素的影响,则区内的地下水资源开发环境安全状况在整体上保持平稳。建议对人口稠密、地下水资源开发环境安全状况相对较差的城区及其周边,不再批准新建开采井,严格控制地下水开采量,并建立环境危机处理中心协调突发灾害的救援及平时的宣传和教育工作。

5 结论

在建立地下水资源开发环境安全评价模型的过程中引入了层次分析方法,确定了地下水资源开发过程中的有关环境影响因子及其权重系数,通过地理信息系统实现了概念评价模型的可视化,并以年为周期建立了塘沽区地下水资源开发环境安全评价模型。通过对评价结果的分析发现:频繁的土地开发活动和工业对地下水的长期需求使得地下水资源开发的环境安全状况受到了威胁,其中人口密度增加和累计沉降量增长是影响塘沽区地下水资源开发环境安全整体状况的主要因素。建议对地下水资源开发环境安全状况恶化的地区加强观测,提高水资源利用效率,调整产业结构,压缩地下水取水量;对人口稠密、地下水资源开发环境安全状况持续相对较差的城区及其周边,不再批准新建开采井,严格控制地下水开采量,建立环境危机处理中心协调突发灾害的救援及平时的宣传和教育工作。

层次分析方法确定的指标评价系统与地理信息系统相结合,使得评价模型的应用极具可扩展性。在未来,如能配合适当的地下水预测技术,则该模型的应用将从目前的现状分析提高到开采预案评价的层次,从而在地下水资源管理中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 吴铁均,崔小东,牛修俊,等. 天津市地面沉降研究及综合治理 [J]. 水文地质工程地质, 1998, (5): 17 - 20.
- [2] 金爱善. 采用神经网络模型对天津滨海新区地面沉降预测的研究 [J]. 现代地质, 2000, 14 (4): 475 - 478.
- [3] Chang Kang-tsung 地理信息系统导论 [M]. 陈健飞译. 北京: 科学出版社, 2003.

电话: (022) 27400830

E-mail: zhaoquantj@eyou.com

收稿日期: 2004 - 11 - 13

珍惜水,保护水,实现人与自然和谐共处