

## 河北省衡水市地下水对地质环境的支撑能力评价

程双虎<sup>1</sup>, 李明良<sup>1</sup>, 李安娜<sup>2\*</sup>, 张俊芝<sup>1</sup> (1. 河北省水文水资源勘测局, 河北石家庄 050031; 2. 河北地质大学, 河北石家庄 050031)

**摘要** 依据衡水市水文地质条件和地质环境现状, 建立了地下水对地质环境支撑能力评价指标体系, 并采用专家打分法和层次分析法构建了各评价因子的权重, 利用综合评价指数法评价衡水地区地下水对地质环境支撑能力。结果表明: 该地区地面沉降、咸淡水界面下移严重, 大部分区域地下水对地质环境支撑能力为中等到弱, 从西北向东南的支撑能力越来越弱。

**关键词** 地质环境; 地下水资源; 指标体系

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)28-0065-03

### The Evaluation of Supporting Capacity of Groundwater for the Geological Environment in Hebei Hengshui Area

CHENG Shuang-hu<sup>1</sup>, LI Ming-liang<sup>1</sup>, LI An-na<sup>2\*</sup> et al (1. Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050031; 2. Hebei Geo University, Shijiazhuang, Hebei 050031)

**Abstract** According to the hydrogeological conditions and present situation of geological environment in Hengshui City, the index system for evaluating the supporting capacity of groundwater for the geological environment was established. Using expert scoring method and analytic hierarchy process, the weight of each evaluation factor was constructed. Using the comprehensive evaluation index method, the supporting capacity of groundwater for geological environment was evaluated. The results showed that: land subsidence, brackish water interface move down obviously, the supporting capacity of groundwater for the geological environment is from moderate to weak from northwest to southeast.

**Key words** Geological environment; Groundwater resources; Index system

衡水市地处河北平原中东部, 水资源缺乏, 地下水是该区主要供水水源, 地下水供水量占总供水量的 78%<sup>[1]</sup>。该区地下水通常划分为浅层地下水和深层地下水, 浅层地下水主要是咸水, 深层地下水是地下水主要开采层。由于深层地下水的严重超采, 使得地下水水头大幅度下降, 成为冀枣衡水地下水漏斗的主体<sup>[2]</sup>。由此引起了地面沉降、咸淡水界面下移等一系列环境地质问题。地下水对地质环境的支撑能力是指地下水系统对其所赋存的地质环境稳定性具有支撑或保护的作用或效应。笔者依据地下水与地质环境之间的内在关联性, 建立了地下水对地质环境支撑能力评价的指标体系, 评价了衡水市地下水对地质环境的支撑能力, 以期为实现地下水合理开发与地质环境保护提供科学依据。

## 1 评价指标体系的构建

**1.1 指标选取的原则** 要建立一个能够全面体现地下水对地质环境支撑能力的指标体系, 应从研究区地下水系统与地质环境之间的内在联系和互馈机制出发, 以科学性、层次性、主导性、动态性及可操作性的原则, 构建地下水对地质环境支撑能力评价的指标体系。

**1.1.1 科学性。** 指标体系的设计须建立在一定科学理论的基础上, 能够客观反映研究区地下水资源、地质环境、社会经济发展现状及相互之间的互馈、协调关系, 重点凸显衡水地区地质环境特征及地质环境演变与社会经济可持续发展的内在互馈机制。

**1.1.2 层次性。** 反映地下水对地质环境支撑能力的要素很多, 其表现形式和反映程度差别很大, 可根据各要素之间的内在联系分层次和类别进行标定, 将各要素归类为不同指

标, 评价地下水对地质环境的支撑能力。

**1.1.3 主导性。** 反映地下水对地质环境支撑能力的要素很多, 但在一个地区往往是几个地质环境问题制约着该地区的地质环境和社会环境可持续发展。因此, 在指标选择或权重确定时, 要给予充分思考, 体现主导要素的作用。

**1.1.4 动态性。** 在自然、人类活动等因素的影响下, 地下水系统中各水文地质要素和地下水资源的数量、质量处于不断变化中, 因此地下水对地质环境的支撑能力有变化。这种变化是动态、延续的。因此, 在设置评价指标和权重时, 要充分考虑这种变化的过程和趋势。

**1.1.5 可操作性。** 设置的评价指标物理意义要明确, 数据易于获取, 易于定量计算、比较和分析; 确保评价结果能正确反映客观实际条件, 指标的设置尽可能简单, 以保证评价工作的顺利进行。

**1.2 评价指标体系的建立** 根据上述评价指标选取的原则, 结合衡水地区的实际情况<sup>[1-4]</sup>, 地下水对地质环境的支撑能力评价体系共选取了 3 个指标 8 个要素(图 1)。

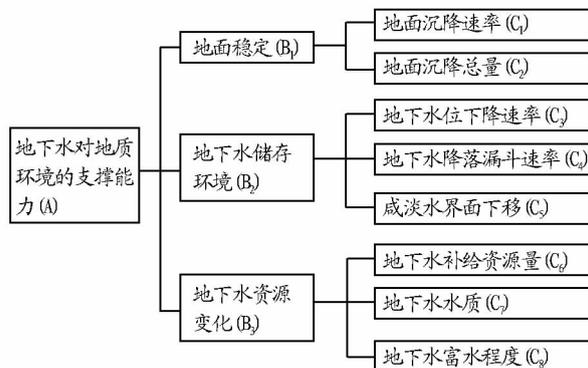


图 1 地下水对地质环境支撑能力评价指标体系

Fig. 1 Evaluation index system of supporting capacity of groundwater on geological environment

**基金项目** 河北省地下水超采综合治理试点项目地下水业务支持系统。

**作者简介** 程双虎(1963-), 男, 河北辛集人, 正高级工程师, 从事水文水资源研究。\* 通讯作者, 讲师, 从事地下水水资源研究。

**收稿日期** 2016-08-11

**1.3 指标要素** 根据上述建立的评价指标体系,结合衡水地区地质环境状况及工作区现有的资料程度,确定研究区地下水对地质环境支撑能力的评价指标要素体系。

**1.3.1 评价目标。**地下水对地质环境的支撑能力(A)是指地下水系统对与其相关联的地质环境稳定性具有支撑或保护的作用或效应。当地下水系统发生变化时,与地下水相关联的地质环境仍处于相对稳定或变化甚微,说明地下水对地质环境支撑能力强,有利于地下水的持续利用;相反,当地下水系统发生变化时,与其相关联的地质环境随之出现明显变化,甚至出现灾变,说明地下水对地质环境支撑能力弱,制约着地下水的持续利用。

**1.3.2 地下水对地质环境的支撑能力评价指标及要素。**地面稳定(B<sub>1</sub>)是指由于地下水位的变化致使其上地面发生不稳定的状况。评价区反映地面稳定的主要指标要素有地面沉降速率(C<sub>1</sub>)和地面沉降总量(C<sub>2</sub>)。笔者将其作为该评价指标(B<sub>1</sub>)的评价要素。

地下水储存环境(B<sub>2</sub>)是指由于地下水位的变化引起地下水含水空间的变化。评价区与此有关的常见的地质环境问题主要有地下水水位下降(C<sub>3</sub>)、地下水降落漏斗(C<sub>4</sub>)和咸淡水界面下移(C<sub>5</sub>)。前二者均使含水空间变小,后者是地下淡水储存空间被咸水占据。因此,可将地下水水位下降速率(C<sub>3</sub>)、地下水降落漏斗扩展速率(C<sub>4</sub>)和咸淡水界面下移(C<sub>5</sub>)作为该评价指标(B<sub>2</sub>)的评价要素。

地下水资源变化(B<sub>3</sub>)是指由于自然和人为因素的影响使地下水资源产生质和量的变化。这种变化体现在地下水

补给资源量(C<sub>6</sub>)、地下水水质(C<sub>7</sub>)及地下水富水程度(C<sub>8</sub>)的变化方面,可将其作为该评价指标(B<sub>3</sub>)的评价要素。

## 2 评价方法

**2.1 权重计算** 地下水与地质环境之间具有复杂的关联性,相互关联、相互制约的因素众多。评价地下水对地质环境支撑能力的强弱,首先将众多因素按照其相互关系分级别、分层次地建立起一个评价指标系统。该复杂的系统中,各因素的权重选取是评价的关键。该研究在专家打分的基础上,利用层次分析法(AHP)确定评价权重的选取。AHP是美国著名运筹学家T. L. Saaty于1977年提出,它是一种定性和定量相结合的决策方法,把复杂的问题分解为多个组成因素,通过两两比较确定层次中诸因素的相对重要性,然后通过综合判断以决定诸因素相对重要性总的顺序。AHP的核心是利用1~9的整数及其倒数作为标度来构造两两比较判断矩阵。一般,对n个因素来说,就可得到两两判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。通过求其最大特征值,及其对应的特征向量W,归一化后,即为某一层指标对于上一层某相关指标的相对重要性权重。

**2.2 综合评价** 获得各层元素的总排序权值后,需要计算各层各元素的综合评价指数,建立相应的评价分级标准,进行目标层、指标层和要素层的综合评价。该研究中,笔者首先利用专家打分法和层次分析法建立各评价参数(指标)的权重,计算各单元的综合指数,建立地下水对地质环境支撑能力评价的综合指数划分标准,确定各单元的综合评价级别,形成地下水对地质环境支撑能力的综合评价体系。

表1 要素层各要素对指标层影响的划分标准

Table 1 The classification standard of each factor in element layer on index layer

对指标层的影响 Influence to index layer	近5a地面 沉降速率 Land subsidence rate in recent 5 years//mm/a	地面沉降累计量 Land subsidence accumulation mm	近5a地下水 位下降速率 Groundwater level decline rate in recent 5 years m/a	降落漏斗区水 头埋深 Landing funnel area head buried depth//m	咸淡水界面下 移速率 Brackish-water interface decline rate m/a	补给模数 Supply module $\times 10^7 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$	地下水质量 分级标准 Classification standard of groundwater quality	深层地下水 富水性 Deep groundwater enrichment $\text{m}^3/\text{d}$
一般 General	<20	<400	<0	<20	<0.125	$\geq 35$	I	$\leq 5000$
略强 Slightly stronger	20 ~ <30	400 ~ <600	0 ~ <0.3	20 ~ <40	0.125 ~ <0.250	25 ~ <35	II	3000 ~ $\leq 5000$
比较强 Relatively strong	30 ~ <40	600 ~ <800	0.3 ~ <0.7	40 ~ <60	0.250 ~ <0.375	15 ~ <25	III	1000 ~ $\leq 3000$
非常强 Very strong	40 ~ <50	800 ~ <1000	0.7 ~ <1.0	60 ~ <80	0.375 ~ <0.500	5 ~ <15	IV	500 ~ $\leq 1000$
绝对强 Absolutely strong	>50	>1000	>1.0	>80	>0.500	<5	V	<500

表2 地下水对生态环境支撑能力评价分级标准

Table 2 Evaluation and classification standard of supporting capacity of groundwater on ecological environment

级别 Level	状况分级 Classification	支撑能力 Supporting capacity
I	0 ~ <0.17	强
II	0.17 ~ <0.34	较强
III	0.34 ~ <0.67	中等
IV	0.67 ~ <0.84	较弱
V	0.84 ~ <1.00	弱

**2.2.1 综合指数计算。**评价综合指数可利用下式计算:

$$R = \sum_{i=1}^n c_i X_i$$

式中,R为综合评价指数; $c_i$ 为评价参数的权重(由层次分析法获得); $X_i$ 为评价参数(为归一化后的参数值);n为评价参数的个数。

**2.2.2 各要素对指标层影响的划分标准。**影响研究区地质环境的因素很多,为了在层次分析中构造两两比较判断矩阵,更科学地比较两两要素,结合研究区地质环境的实际情况,参考专家打分值,建立要素层各要素对指标层影响的划分标准(表1)。

**2.2.3 综合指数分级标准。**根据衡水地区的实际情况并参考

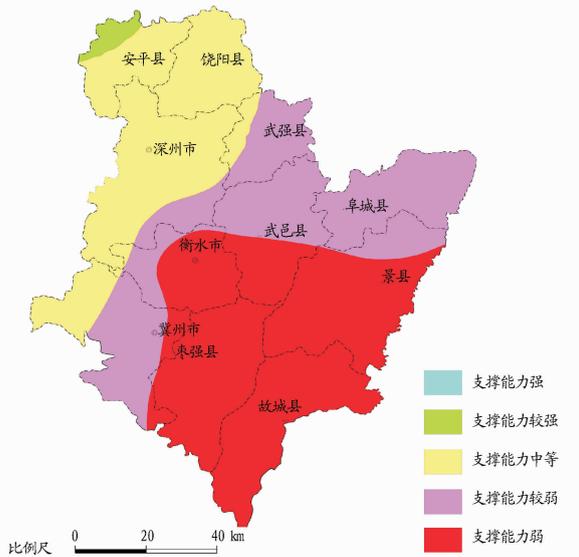


图2 衡水地区地下水对地质环境支撑能力评价

Fig.2 Evaluation of supporting capacity of groundwater on geological environment in Hengshui region

相关的国家或行业标准和前人研究成果,将地下水对生态环境支撑能力评价的综合指数划分为5级,其划分标准见表2。

### 3 评价结果

根据层次分析的基本理论和方法,结合衡水市的实际情况,对衡水地区进行了地下水对生态环境支撑能力评价,评价结果见图2。从图2可以看出,由于衡水地区深层地下水严重超采,出现了区域性的深层地下水降落漏斗,特别是冀枣衡漏斗和德州景县漏斗,使得该地区地面沉降、咸淡水界面下移严重,大部分区域地下水对地质环境支撑能力处于中等到弱的级别,从西北向东南支撑能力越来越弱。该评价结果可作为该地区合理开发深层地下水资源、防治地质环境进一步恶化的依据。

### 参考文献

- [1] 张兆吉, 费宇红, 陈宗宇, 等. 华北平原地下水可持续利用调查评价[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
- [2] 许广明, 刘立军, 费宇红, 等. 华北平原地下水调蓄研究[J]. 资源科学, 2009(3): 375-381.
- [3] 张宗沈, 沈照理, 薛禹群, 等. 华北平原地下水环境演化[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [4] 陈望和. 河北地下水[M]. 北京: 地震出版社, 1999.

(上接第64页)

展预测分析,由于氯甲烷储罐管线泄露预测结果中 $LC_{50}$ 预测影响范围介于 $AEGLs-3$ 和 $AEGLs-2$ ,考虑到 $LC_{50}$ 存在一定局限性,且超过 $AEGLs-2$ 表现为导致持久不良健康影响或逃生能力受损,而超过 $AEGLs-3$ 则表现为直接造成生命健康影响或死亡。综合以上分析,采用在 $AEGL-2$ 标准下计算所得的1554 m作为氯甲烷泄露事故风险影响范围。

该项目泄露的氯甲烷发生火灾或爆炸后产生光气事故预测结果表明, $LC_{50}$ 预测结果影响范围远小于 $AEGLs$ 标准下的影响范围,且 $LC_{50}$ 存在一定局限性,因此建议实际工作中采用 $AEGLs-2$ 标准计算所得的9528 m作为伴生光气事故风险影响范围。事实上,由于光气毒性显著,各类光气健康允许浓度较低,同时考虑到模式的预测精度和应急措施的可行性,推荐《常用危险化学品应急速查手册》中的经验值,若发生火灾爆炸产生光气,隔离距离不少于1.6 km<sup>[13]</sup>。

### 4 结论

该研究以丁基橡胶项目为例,通过风险源识别、评价标准比选、预测模式选取等方面对氯甲烷泄露及伴生光气进行污染预测,包括将丁基橡胶装置氯甲烷储罐管线泄露和泄露氯甲烷发生火灾或爆炸产生的伴生光气扩散作为最大可信事件进行预测;通过比选确定 $AEGLs-2$ 和 $AEGLs-3$ 限值作为评价标准,并用 $LC_{50}$ 做对比;氯甲烷和伴生光气为重质气体,采用SLAB重质气体模型进行预测。预测结果表明,氯甲烷泄露事故的影响范围: $AEGLs-2$ 为1554 m, $AEGLs-3$ 为806 m, $LC_{50}$ 为1011 m;伴生光气的影响范围: $AEGLs-2$ 为9528 m, $AEGLs-3$ 为7896 m, $LC_{50}$ 为1104 m。采用 $LC_{50}$ 标准计算结果偏小,存在适用局限性。因此,建议采用伴生光气的影响范围9528 m对环境风险防范区域进行敏感点的应

急防控。

### 参考文献

- [1] 国家环保总局环境工程评估中心. 建设项目环境风险评价技术导则: HJ/T 169—2004[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [2] 张鑫. 我国甲烷氯化物行业现状及发展趋势[J]. 中国农药, 2011(7): 21-28.
- [3] 魏颖, 汪健, 梁依玲, 等. 氯甲烷泄露事故的环境风险影响与应急防范[J]. 环境工程, 2015, 33(8): 132-135.
- [4] 广东省职业病防治院, 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 武汉科技大学. 职业性接触毒物危害程度分级: GBZ 230—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [5] 周国泰. 危险化学品安全技术全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 1997.
- [6] 中国安全生产科学研究院, 中石化青岛安全工程研究所. 危险化学品重大危险源辨识: GB 18218—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [7] 阮关心. 区域环境风险评价中最大可信事故的确定[J]. 能源与环境, 2012(3): 88-89.
- [8] 刘毅, 刘龙, 李王锋, 等. 石化园区规划大气环境风险模拟方法与案例[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2015, 55(1): 80-86.
- [9] 杨艳霞. 不利气象条件的确定方法在大气环境风险评价事故后果预测中的应用[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [10] 宁勇, 陈健, 唐颖. 光气生产装置中光气的职业病危害防护措施介绍[J]. 上海预防医学, 2016, 28(3): 191-193.
- [11] 宋慧杰. 光气生产装置光气泄露危险预测与预防对策研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2012.
- [12] 徐泽林. 基于风险的石油化工园区安全规划研究[J]. 引文版: 工程技术, 2016(8): 206.
- [13] 陈郁, 杨凤林, 宋国宝, 等. 化工企业突发大气环境风险评价标准的探讨[J]. 环境科学学报, 2012, 32(9): 2310-2318.
- [14] 马卫东. 兰州市西固化工园区大气环境风险研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [15] 刘佳亮. 工业园区危险化学品扩散数值模拟及应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
- [16] 苑丹丹, 李世刚, 黄义聪, 等. 石油化工气体泄漏扩散模型研究进展[J]. 化学工业与工程技术, 2013, 34(2): 21-26.
- [17] 李冰晶, 全纪龙, 潘峰, 等. 高斯烟团模型在石化类项目大气环境风险评价中的应用[J]. 环境工程, 2013, 31(3): 139-143.
- [18] 胡二邦. 环境风险评价使用技术、方法和案例[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
- [19] 刘诗飞, 詹子忠. 重大危险源辨识及危害后果分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [20] 陈冠荣. 化工百科全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [21] 张海峰. 常用危险化学品应急速查手册[M]. 北京: 中国石化出版社, 2006.