

DOI: 10.19797/j.cnki.1000-0852.20200037

基于 DPSIR 模型的地下水饮用水源地 安全评价指标体系研究

陈珂^{1,2}, 郝奇琛², 邵景力¹, 钱永², 崔亚莉¹, 张秋兰¹

(1.中国地质大学(北京),北京 100083; 2.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:为系统客观的评价地下水饮用水源地的安全状态,基于“驱动力-压力-状态-影响-响应”(DPSIR)框架初步建立备选评价指标,运用专家咨询法对备选指标进行筛选及合理性检验,采用层次分析法确定指标权重,构建地下水饮用水源地安全度综合评价体系。以滹沱河浅层孔隙水水源地为例,确定了包含5个准则层,18个指标的地下水饮用水源地安全评价指标体系。滹沱河浅层孔隙水水源地实例研究表明,准则层中压力系统和状态系统所占权重较大,分别为0.257和0.339;水源地安全度为0.67,尽管处于较安全级别,但非常接近警戒值(0.4~0.6)。通过实例分析可知,筛选的指标具有一定的实用性,可以为评价浅层孔隙水水源地安全状态及面临的风险提供参考。

关键词:DPSIR模型;地下水源地;专家咨询;安全评价

中图分类号:P641

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2021)02-0020-06

1 引言

水是人类生产生活和社会发展的基础,饮用水源地作为饮水之源受到了广泛的关注^[1]。Souro D Joardar^[2]在城市发展规划进程中从城市供水角度研究水安全问题;Michiel A Rijsberman^[3]等则以水资源承载力为指标对水安全进行评价。我国也对水源地安全评价展开了研究,并取得了长足的进展,主要涉及水量水质安全、生态环境和监控管理等^[4]。朱党生^[5-6]等于2010年分析了城市饮用水源地的安全现状,从水质、水量等方面出发论述了城市饮用水源地可能面临的问题;王丽红^[7]等于2007年以城市地下水饮用水源地为例建立了包含水量水质安全、脆弱性评价和生态环境研究在内的水源地安全评价体系。众多学者考虑了影响水源地安全和水安全的多种因素,事实上这些因素之间有一定的因果关系,对各影响因素内在联系的分析有待加强。

与地表水相比,地下水凭借水质良好、储量稳定而受到青睐。但由于其更新和自净速度缓慢,随着地下水资源需求量与开采量急剧增加,地下水水源地面临着

诸多威胁,水源地安全评价迫在眉睫^[8]。近年来,国内外学者提出了包括模糊综合评价法、主成分分析法和DPSIR概念模型等若干综合评价方法^[9-10]。其中,DPSIR概念模型自身为一条因果链,在研究地下水源地安全问题时能够识别出威胁水源地安全的具体环节。另外,频度分析法和专家咨询法相结合,基于已有文献的指标选择和专家的知识经验,对评价指标进行分析处理,简单易行;层次分析法适用于具有分层交错评价指标的目标系统,是一种系统的分析方法,方便实用。本文基于DPSIR概念模型构建地下水源地安全评价初选指标,结合专家咨询法和层次分析法分别进行指标筛选和权重确定,从而建立地下水饮用水源地安全评价指标体系和评价方法,并将其应用于滹沱河浅层孔隙水水源地安全分析。

2 地下水源地安全评价指标体系构建

2.1 DPSIR概念模型

DPSIR概念模型于1993年提出^[11],是对PSR和DSR两种模型的完善,自2000年在国内应用之后,由

收稿日期:2020-03-03

基金项目:国家科技基础资源调查专项(2017FY100405);中国地质调查局地质调查项目(DD2016023,DD20190303)

作者简介:陈珂(1997-),女,河南郑州人,硕士研究生,主要从事水文地质、地下水资源评价与管理方面的工作。E-mail:chenke_cugb@163.com

通讯作者:邵景力(1959-),男,山东滕州人,教授,主要从事水文学及水资源专业方面的教学和科研工作。E-mail: jshao@cugb.edu.cn

于评价效果好而迅速得到认可。该模型充分考虑了社会发展、人类行为及环境状态之间的相互关系,因此本文基于 DPSIR 模型提出了地下水饮用水源地安全评价指标体系及评价方法。

DPSIR 模型(见图 1)包含驱动力(D)、压力(P)、状态(S)、影响(I)及响应(R)五个部分,是一个基于因果关系组成的指标框架^[12-13]。该模型自身这条因果链可概括为:经济社会发展作为最原始的驱动力,对资源环境产生了一定程度的压力,环境系统在这种压力的影响下难以维持原来的状态而发生相应的变化,从而影响水资源等生态环境的稳定,这些变化和影响促使人类对此做出响应,而响应是否可取又会间接的作用于驱动力、压力和状态系统使其向着更好或更坏的方向发展。

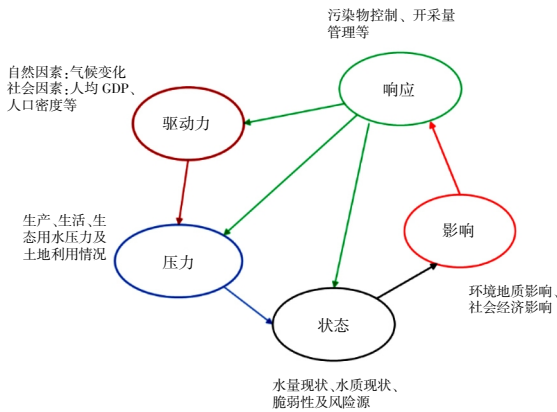


图1 基于DPSIR的地下水饮用水源地安全评价模型框架
Fig.1 Model framework for underground drinking water sources safety assessment based on DPSIR

2.2 水源地安全评价指标筛选及检验

水源地安全是保障饮水安全的第一道屏障,包含自然属性和社会属性两个方面。自然属性指水源地本身的物理化学状态,社会属性指水源地对人类活动影响做出的反映^[7]。因此,本文认为地下水饮用水源地安全是在不引发环境地质问题的前提下,能够承受自然和社会的双重压力,满足人类生产生活对水量水质的需求,并且具有较强的抗风险能力。本文通过查阅 14 篇有关水资源安全和承载能力评价、水安全评价指标体系的构建与运用、地下水可持续利用评价研究等方面的文献,对其中涉及的水源地安全评价指标进行频度分析^[14-15],将处理后的指标分配至 DPSIR 模型对应的准则层或要素层,确定了地下水饮用水源地安全评价初选指标 31 项(见表 1)。

由于各指标之间可能存在内涵的雷同,因此本研

究根据重要程度对所有初选指标进一步检验和筛选。通过邮件向 15 位相关领域知名专家进行咨询,得到了 DPSIR 模型子系统和频度分析所得各评价指标的重要程度(分极重要、很重要、重要、一般和不重要五级),避免了各指标之间不必要关系的相互影响,在依托已有文献数据的基础上充分吸纳了相关领域专家的知识经验,具有一定的信服力。以下从集中程度(E_{c_i})、离散程度(δ_i)、协调程度(V_i)三个方面对指标进行整体检验。公式如下:

$$E_{c_i} = \frac{1}{p} \sum_{j=1}^s E_j n_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

$$\delta_i = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{j=1}^s n_{ij} (E_j - E_{c_i})^2} \quad (i=1, 2, \dots, M) \quad (2)$$

$$V_i = \frac{\delta_i}{E_i} \quad (i=1, 2, \dots, M) \quad (3)$$

式中: E_{c_i} 为第 i 个指标的意见集中程度; E 为指标 i 第 j 级重要程度的量值($j=5, 4, 3, 2, 1$, 分别对应极重要、很重要、重要、一般、不重要); n_{ij} 为认为第 i 个指标是第 j 级重要的人数; p 为评分人数; δ_i 为第 i 个指标的意见分散程度; V_i 为第 i 个指标的意见协调程度。 E_{c_i} 越大 δ_i 越小表明意见越集中,指标越重要;当 E_{c_i} 与 δ_i 表示的结果不一致时,可用协调程度 V 来判别, V 越小该指标越重要。各子系统/指标层专家打分和检验结果见表 1。

由表 1 中各子系统专家打分和检验结果可知:状态系统的集中程度最大,达 4.77,离散程度(0.36)和协调程度(0.08)最小,表明状态系统是专家公认最重要的子系统。原因是该系统可以比较全面的概括水源地脆弱性、水量水质现状及其影响因素。压力系统的重要程度大于影响系统,反映了生产、生活和生态对水资源的需求较大。借助协调程度分析可知驱动力系统的重要程度大于响应系统,主要是因为驱动力是促使水资源系统变化最原始最根本的指标,而响应系统包含的管理措施只是定性描述,不易量化。

应注意到,地下水水源地类型多样,水文地质条件各异,因而很难构建一个对所有地下水水源地都适用的指标体系^[16]。因此应根据地下水水源地的自然地理状况、水文地质条件和社会经济发展水平,对表 1 所列的指标进一步取舍。

2.3 安全度综合评价方法

权重的确定方法有主观赋权法和客观赋权法。其中,客观赋权法主要取决于所选数据的质量,当数据量足够大时权重趋于稳定,但实际情况往往因为不能

表1 地下水饮用水源地安全评价指标专家打分及检验结果(31项初选指标)

准则层	子系统/指标层	专家打分人数					检验指标		
		极重要(5分)	很重要(4分)	重要(3分)	一般(2分)	不重要(1分)	E_c	δ	V
驱动力系统	a 子系统	4	3	5	1	0	3.77	1.03	0.27
	1 地下水补给模数 *	4	7	4	0	0	4.00	0.57	0.14
	2 城镇化率	2	3	6	3	1	3.13	1.27	0.40
	3 人口密度	3	6	3	3	0	3.60	1.11	0.31
压力系统	b 子系统	4	7	2	0	0	4.15	0.47	0.11
	4 人均日生活用水量	3	6	6	0	0	3.80	0.60	0.16
	5 人均生活污水排放量	2	5	6	2	0	3.47	0.84	0.24
	6 工业废水(废渣)排放量	6	4	3	2	0	3.93	1.21	0.31
	7 单位面积农药化肥施用量	4	5	3	2	1	3.60	1.54	0.43
	8 原生劣质水含量 *	2	6	4	2	1	3.40	1.26	0.37
	9 污染物运移速率 *	4	6	3	2	0	3.80	1.03	0.27
状态系统	c 子系统	11	1	1	0	0	4.77	0.36	0.08
	10 区域地下水超采程度	8	2	5	0	0	4.20	0.89	0.21
	11 水源地地下水可开采模数	7	4	2	2	0	4.07	1.21	0.30
	12 水源地地下水开采率	8	6	1	0	0	4.47	0.41	0.09
	13 地下水埋深 *	7	6	1	1	0	4.27	0.78	0.18
	14 水源地水质状况	10	4	1	0	0	4.60	0.40	0.09
	15 水源地污染状况	8	7	0	0	0	4.53	0.27	0.06
	16 水源地防污性能	3	10	1	1	0	4.00	0.57	0.14
影响系统	d 子系统	4	7	0	2	0	4.00	1.00	0.25
	18 地下水位变化	3	4	3	4	1	3.27	1.64	0.50
	19 地面累计沉降量	0	7	5	2	1	3.20	0.89	0.28
	20 泉水流量衰减率	2	5	6	1	1	3.40	1.11	0.33
	21 含水层疏干程度 *	6	5	2	2	0	4.00	1.14	0.29
	22 生态退化程度 *	3	5	4	2	1	3.47	1.41	0.41
	23 岩溶塌陷频次	4	6	3	2	0	3.80	1.03	0.27
	24 地下水水质健康风险	5	5	3	1	1	3.80	1.46	0.38
	25 公众对水安全的满意度	5	5	3	1	1	3.80	1.46	0.38
响应系统	e 子系统	5	5	1	1	1	3.92	1.58	0.40
	26 水资源保护投入比	7	4	3	1	0	4.13	0.98	0.24
	27 地下水压采程度 *	2	5	6	1	1	3.40	1.11	0.33
	28 非常规水利用率	3	1	6	5	0	3.13	1.27	0.4
	29 污废水处理率	6	3	5	1	0	3.93	1.07	0.27
	30 保护区管理水平	8	5	2	0	0	4.40	0.54	0.12
31 监测预警能力	7	4	3	1	0	4.13	0.98	0.24	

注: *表示在文献统计指标的基础上,针对地下水水源地特点增加的指标,可能受区域水文地质条件的影响。

满足样本数足够多而造成指标不合理^[7];主观赋权法充分吸纳了专家的知识经验,避免了各指标之间不必要的关系对权重的影响。因此,本文根据专家咨询所得各子系统及指标的重要程度,采用主观赋权法中比较常用的层次分析法来确定各指标的权重值。

采用综合指数法计算安全度,该方法将不同性质

量纲的指标无因次化,转化为某种标准形式,其指标值称为“综合指数”^[18]。计算时运用层次分析法建立层次结构模型,将指标分为目标层、准则层和指标层,根据专家咨询结果为该项赋权。最终统计各项权重及指标指数,加权求和即可得到准则层综合指数及目标层综合指数(安全度)。计算公式如下:

$$E = \sum_{i=1}^n W_i P(x_i) \quad (4)$$

式中: E 为安全度,是综合反映水源地安全状况的指数; W_i 为各指标的权重; $P(x_i)$ 为各指标的标准化值; n 为指标的总项数。因所有指标均已标准化,故安全度数值应在0~1之间。根据均分法,将安全度分为以下五个等级:极不安全: $0 < E \leq 0.2$;不安全: $0.2 < E \leq 0.4$;警戒: $0.4 < E \leq 0.6$;较安全: $0.6 < E \leq 0.8$;安全: $0.8 < E \leq 1$ 。

3 滹沱河浅层孔隙水水源地实例分析

3.1 研究区概况

滹沱河水源地位于滹沱河冲洪积扇中上部,地势西高东低。研究区普遍覆盖第四系松散堆积物。地下水主要赋存于砂层、卵砾石层孔隙之中,水资源相对丰富,为浅层孔隙水。含水层的岩性自西向东由厚层砂砾石逐渐过渡到中砂、粉砂。至2009年,经过40a超采形成的石家庄市地下水降落漏斗分布在市区一带,地下水平均埋深大于40m,滹沱河水源地地下水埋深已达55~58m^[19-20],地下水开采成本上升,并产生了一定的环境地质问题。近些年,因实施了多项超采治理措施,地下水位趋于稳定。

3.2 滹沱河浅层孔隙水水源地安全评价指标体系构建及安全评价

根据对研究区社会经济及水文地质条件的分析,

结合上文指标检验结果,进一步对建立的地下水饮用水源地安全评价初选指标进行筛选。做出以下处理:删除无关指标,如城镇化率、地面累计沉降量、泉水流量衰减率和岩溶塌陷频次等;合并相似指标,如人均地下水资源量并入人均日用水量、工业废水排放量并入工业废水排放强度、水源地污染状况并入水源地水质状况、平原区生态退化程度并入植被覆盖率、常规水利用率并入污废水处理率等。建立的滹沱河浅层孔隙水水源地安全评价指标体系见表2,共包含18项指标。

由《石家庄市统计年鉴2017》、《石家庄市2016年国民经济和社会发展统计公报》、《滹沱河冲积平原地下水污染调查评价》和《石家庄市地质环境监测报告》及相关资料,获得滹沱河水源地各指标的具体数据。其中,《石家庄市地质环境监测报告》涵盖2010~2015年多年平均数据,对于涉及社会经济发展和短期内变幅较小的指标参考2016~2017年的数据。标准阈值主要根据国内同类条件下的经验值确定。各指标的权重、标准化指标值、准则层综合指数和安全度计算结果见表2。

由表2可知,人口和社会经济的发展给环境施加了相当大的压力,相应的造成了环境状态的改变,由

表2 权重、综合指数及安全度计算结果
Table2 Weight, composite index and safety calculation results

准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	水源地实际值	标准阈值	标准化指标值	准则层综合指数	安全度
驱动力系统	0.088	地下水补给模数	0.0303	20	10~50×10 ⁴ m ³ /km ² ·a	0.25	0.41	
		人口密度	0.0577	1048	100~2000人/km ²	0.5		
压力系统	0.257	人均地下水资源量	0.0314	220	100~1000m ³ /人	0.13	0.35	
		人均生活污水排放量	0.0591	40.16	7.44~74.8m ³ /人·a	0.51		
		工业废水排放强度	0.1028	24	2.01~24.58m ³ /万元	0.03		
		单位面积农药化肥用量	0.0637	0.01	0.002~0.054t/hm ²	0.85		
状态系统	0.339	水源地地下水开采率	0.0831	0.85	0.85~1.30	1	0.77	0.67
		地下水埋深	0.0464	40	0~50m	0.2		
		水源地水质状况	0.1363	0.8	0.8~7.2	1		
		水源地防污性能	0.0268	2	0~5	0.6		
		植被覆盖率	0.0464	0.2	0.05~0.5	0.33		
影响系统	0.18	地下水水位变化	0.0257	0.5	0~1 m/a	0.5	0.9	
		含水层疏干程度	0.0697	0.5	0~0.5	1		
		地下水水质健康风险	0.0423	1.1×10 ⁻⁵	1×10 ⁻⁵ ~5×10 ⁻³	1		
		公众对水安全的满意度	0.0423	80	0~90	0.89		
响应系统	0.136	水资源保护投入比	0.0511	4	1.5~4	1	0.9	
		污废水处理率	0.0338	0.88	0.30~0.90	0.97		
		监测预警能力	0.0511	4	1~5	0.75		

此对应准则层中权重较大的压力系统和状态系统,结果分别为 0.257 和 0.339, 并且随着工业化进程的加剧, 导致其指标层中权重最大的 3 项依次为工业废水排放强度、水源地地下水开采率、水源地水质状况。

3.3 安全度分析及建议

由表 2 可知, 滹沱河浅层孔隙水水源地安全度为 0.67, 属于较安全级别, 但比较接近警戒值, 结合表 2 分析影响安全度的指标可知标准化值较低的指标主要集中在压力系统和驱动力系统, 其综合指数分别为 0.35 和 0.41, 是主要的影响因素。其中:

(1) 工业废水排放强度的标准化指标值低至 0.03, 这主要是工厂数量大幅度增加和排放措施的不完善造成的。建议进一步制定工业污废水处理与排放标准, 完善污水处理设备和体系, 下一步尽量将工业废水排放强度降低到 $15\text{m}^3/\text{万元左右}$ 。

(2) 人均地下水资源量的标准化指标值低至 0.13, 其直接原因主要是人口数量的急剧增长和地下水资源的持续超采。建议逐步完善多水源联合调配机制及节水措施, 在控制地下水开采量的基础上将人均地下水资源量提高到 $400\sim 600\text{m}^3/\text{人之间}$ 。

(3) 地下水补给模数标准化指标值为 0.25, 主要是由于气候变化和人类活动打破了原有的水文循环, 地下水补给量减少。建议适当采取水库蓄截、地表水引渗等机制人工补给地下水, 将地下水补给量增加到 $3\times 10^5\text{m}^3/\text{km}^2\cdot\text{a}$ 左右。

4 结论

(1) 本文在 DPSIR 概念模型的基础上, 结合专家咨询法和层次分析法, 建立了一套包含驱动力、压力、状态、影响和响应 5 个系统及 31 项初选指标的地下水水源地安全评价指标体系, 该评价体系简洁实用, 能够从定性定量两个方面充分显示人类社会和环境之间相互作用的关系, 且关键控制指标对改善水源地状态具有指示意义。

(2) 运用以上指标体系和方法, 对滹沱河浅层孔隙水水源地进行了安全度评价, 结果表明该水源地安全度为 0.67, 属于较安全级别, 但很接近警戒值。进而对该水源地进行了安全度分析, 提出了相应的建议。通过该实例表明, 所提出的安全评价指标体系和方法能够为同类水源地的安全状况评估提供一定的参考价值。

(3) 在对地下水饮用水源地进行安全评价的基础上, 还应考虑用水需求与区域水资源供给条件的关系,

定量分析未来人类活动和水文地质条件变化对饮用水源地安全的影响程度, 加强风险评价, 对水源地未来的安全形势进行评估预测。

参考文献:

- [1] 邵东国, 杨丰顺, 刘玉龙, 等. 城市水安全指数及其评价标准[J]. 南北水北调与水利科技, 2013, 11(1): 122-126. (SHAO Dongguo, YANG Fengshun, LIU Yulong, et al. Urban water security index and its evaluation criterion [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(1): 122-126. (in Chinese))
- [2] Souro D J. Carrying capacities and standards as bases towards urban infrastructure planning in India [J]. Habitat International, 1998, 22(3).
- [3] Michiel A R, Frans H M van de Ven. Different approaches to assessment of design and management of sustainable urban water systems [J]. Environmental Impact Assessment Review, 2000, 20(3).
- [4] 刘博. 城镇地下水水源地安全评价方法及应用[D]. 长春: 吉林大学, 2015. (LIU Bo. Technique and Application on Security Evaluation of Groundwater Frinking Source in Towns [D]. Changchun: Jilin University, 2015. (in Chinese))
- [5] 朱党生, 张建永, 程红光, 等. 城市饮用水水源地安全评价(I): 评价指标和方法[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 778-785. (ZHU Dangsheng, ZHANG Jianyong, CHENG Hongguang, et al. Security assessment of urban drinking water sources I: Indicator system and assessment method [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(7): 778-785. (in Chinese))
- [6] 朱党生, 张建永, 史晓新, 等. 城市饮用水水源地安全评价(II): 全国评价[J]. 水利学报, 2010, 41(8): 914-920. (ZHU Dangsheng, ZHANG Jianyong, SHI Xiaoxin, et al. Security assessment of urban drinking water sources II: Security assessment for cities in China [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(8): 914-920. (in Chinese))
- [7] 王丽红, 王启田, 王开章. 城市地下水饮用水水源地安全评价体系研究[J]. 地下水, 2007, (6): 99-102+121. (WANG Lihong, WANG Qitian, WANG Kaizhang. Research on evaluation indices system for urban well field protection [J]. Ground Water, 2007, (6): 99-102+121. (in Chinese))
- [8] 吴庆, 郭永丽, 滕彦国, 等. 基于过程模拟的李官堡水源地地下水污染预警[J]. 水文, 2017, 37(1): 19-24. (WU Qing, GUO Yongli, TENG Yanguo, et al. Groundwater pollution early-warning of Liguangpu water source based on process simulation [J]. Journal of China Hydrology, 2017, 37(1): 19-24. (in Chinese))
- [9] 王珮. 村镇饮用水水源地安全评价技术研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2014. (WANG Pei. Research on Safety Evaluation Technology of the Rural Township Drinking Eater Sources [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2014. (in Chinese))
- [10] 赵自阳, 李王成, 王霞, 等. 基于主成分分析和因子分析的宁夏水资源承载力研究[J]. 水文, 2017, 37(2): 64-72. (ZHAO Ziyang, LI Wangcheng, WANG Xia, et al. Study on water resources carrying capacity in Ningxia based on principal component analysis and

- factor analysis [J]. Journal of China Hydrology, 2017,37(2):64–72. (in Chinese))
- [11] Organization of Economic Cooperation and Development. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Review [M]. Environmental Monograph No.83, OECD, Paris, 1993.
- [12] 曹琦,陈兴鹏,师满江.基于 DPSIR 概念的城市水资源安全评价及调控[J].资源科学, 2012,34(8):1591–1599. (CAO Qi, CHEN Xingpeng, SHI Manjiang. Evaluation of water resources security in the urban area and regulating methods based on DPSIR: A case of Zhangye city [J]. Resources Science, 2012,34(8):1591–1599. (in Chinese))
- [13] 向红梅,金腊华.基于 DPSIR 模型的区域水安全评价研究[J].安全与环境学报, 2011,11(1):96–100. (XIANG Hongmei, JIN Lahua. Study on regional water security assessment based on DPSIR model [J]. Journal of Safety and Environment, 2011,11(1):96–100. (in Chinese))
- [14] 徐良芳.区域水资源可持续利用评价指标体系及其评价方法研究[D].杨凌:西北农林科技大学, 2002. (XU Liangfang. Study on the Evaluation Indexes System of Regional Water Resource's Sustainable Utilization and Its Evaluation Method [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2002. (in Chinese))
- [15] 王华, 苏春海.水资源可持续利用指标体系研究 [J]. 排灌机械, 2003,3(1):33–36. (WANG Hua, SU Chunhai. Study on the index system for assessing the sustainable utilization water resources [J]. Drainage and Irrigation Machinery, 2003,(1):33–36. (in Chinese))
- [16] 王露露.地下饮用水水源地安全保障评价体系构建[J].水利科技与经济, 2015,21(11):56–61. (WANG Lulu. Safety Assessment Index System Construction of Underground Drinking Water Sources [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2015,21(11):56–61. (in Chinese))
- [17] 王研,唐克旺,翁建华,等.饮用水水源地水质标准研究[J].中国标准化, 2014,(3):70–74. (WANG Yan, TANG Kewang, WENG Jianhua, et al. Research on water quality standards of drinking water sources [J]. China Standardization, 2014,(3):70–74. (in Chinese))
- [18] 陈江.基于多指标体系的呼和浩特平原地下水可持续性研究[D].北京:中国地质科学院, 2012. (CHEN Jiang. Assessment of Groundwater Sustainability Using Multi-indicators in the Hohhot Plain [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences, 2012. (in Chinese))
- [19] 唐春雷.石家庄市滹沱河地下水源地与地下水联合调控研究[D].石家庄:石家庄经济学院, 2012. (TANG Chunlei. Study on the Joint Operation by Hutuohe Underground Water Source and Underground Reservoir in Shijiazhuang City [D]. Shijiazhuang: Shijiazhuang University of Economics, 2012. (in Chinese))
- [20] 史入宇,崔亚莉,赵婕,等.滹沱河地区地下水适宜水位研究[J].水文地质工程地质, 2013,40(2):36–41. (SHI Ruyu, CUI Yali, ZHAO Jie, et al. A study of the suitable groundwater level of the Hutuo River area [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2013,40(2): 36–41. (in Chinese))

Study on the Safety Assessment Index System of Underground Drinking Water Sources Based on the DPSIR Model: A Case Study of Shallow Aquifer in the Hutuo River Plain

CHEN Ke^{1,2}, HAO Qichen², SHAO Jingli¹, QIAN Yong², CUI Yali¹, ZHANG Qiulan¹

(1. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. The Institute of Hydrogeology and Environment Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: In order to systematically and objectively assessment the safety of underground drinking water sources, preliminary index were established based on the ‘Driving force–Pressure–State–Impact–Response’ (DPSIR) framework, and then the Delphi method was used to choose and rationality test, using the analytic hierarchy process to determine the indicator weights and the comprehensive assessment index was built for the safety assessment of groundwater drinking water sources. Taking the drinking water source in the shallow aquifer of the Hutuo River plain as an example, the safety assessment indexes include 5 criterion layers and 18 indexes. The case study shows that the pressure subsystem and the state subsystem of the criterion layer occupy high weights, 0.257 and 0.339 respectively. the degree of the safety for the groundwater sources in the Hutuo river plain is 0.67, which is at a relatively safe level, but very close to the alert value (0.4–0.6). Through the case study, it can be concluded that the selected indexes have certain practicability, which can provide a reference for evaluating the safety status and risks of drinking water sources in the shallow aquifer.

Key words: DPSIR model; groundwater source; expert consultation; safety assessment