

# 北京顺义区地下水饮用水源地安全评价

姚治华<sup>1</sup>,王红旗<sup>1</sup>,李仙波<sup>1,2</sup>,王 帅<sup>1</sup>

(1. 北京师范大学水科学研究院 北京 100875 2. 中海石油环境咨询中心 北京 100107)

**摘要** 在概括地下水饮用水源地安全内涵的基础上,从水质安全、水量安全、源安全、生态安全和管理安全五个方面构建地下水饮用水源地安全评价指标体系,用灰关联分析方法对北京顺义区 6 个地下水饮用水源地进行评价。结果表明,第二水源地安全状况最好,其他 5 个水源地也处于较安全状态,但是每个水源地依然存在不同方面的安全隐患。文中所构建的基于灰色关联分析的地下水饮用水源地安全评价指标体系,可以较为准确地反映研究区水源地的安全现状,具有实际应用价值。

**关键词** 地下水;饮用水源地;安全评价;灰关联分析

中图分类号:P641.8 文献标识码:A 文章编号:1004-693X(2009)04-0091-04

## Safety assessment of underground drinking water sources in Shunyi district of Beijing

YAO Zhi-hua<sup>1</sup>, WANG Hong-qi<sup>1</sup>, LI Xian-bo<sup>1,2</sup>, WANG Shuai<sup>1</sup>

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. China National Offshore Oil Environmental Service limited, Beijing 100012, China)

**Abstract**: Based on review of the safety contents of underground drinking water sources, a system of safety assessment indexes was established with the following five goals: water quality safety, water quantity safety, source safety, ecological safety and management safety. Six underground drinking water sources in the Shunyi district of Beijing were assessed according to the safety assessment system using the grey correlation analysis method. The results showed that the second underground drinking water source was the most secure and the other five were also in a relatively safe state, but there existed different security risks in each underground drinking water source. The index system established in this paper, based on the grey correlation analysis method for the safety assessment of the underground drinking water sources, can correctly reflect the current safety status of the study area and has practical value.

**Key words**: underground water; drinking water sources; safety assessment; grey correlation analysis method

饮用水是人类生存和发展的基本物质需求,地下水作为重要的饮用水源,在城市供水中发挥着不可替代的作用。但是近年来随着人类工程活动的加剧,地下水开采量迅速增加,污染日趋严重,加之地下水污染具有隐蔽性,造成目前地下水饮用水安全面临着诸多直接和间接的威胁。为了切实维护人民群众的根本利益,促进经济社会可持续发展,加强地下水饮用水源地安全评价工作刻不容缓<sup>[1-3]</sup>。目前国内对水安全的研究较多,在国家、流域、区域等不同的层次都展开了深入研究<sup>[4-7]</sup>。但是专门针对

饮用水水源地的安全研究还处于起步阶段,相关工作主要是对单纯的水质、水量的基本评价,较少考虑水源地的生态状况和污染源的潜在风险等,而且在这些为数不多的水源地安全评价中,研究对象多是地表水水源地,地下水饮用水源地安全评价研究更是少之又少<sup>[8-11]</sup>。基于以上分析,本文以北京顺义区 6 个地下水饮用水源地为例,从水质安全、水量安全、源安全、生态安全和管理安全五个方面对其安全性进行评价,旨在探索地下水饮用水源地安全评价的方法体系,为地下水饮用水源地的保护提供有益

作者简介 姚治华(1981—),女,山东泰安人,博士研究生,研究方向为水资源评价、规划与管理。E-mail: yaozh1026@gmail.com  
通讯作者 王红旗,男,教授,E-mail: ambaw@bnu.edu.cn

的指导和借鉴作用。

# 1 地下水饮用水源地安全评价指标体系

## 1.1 地下水饮用水源地安全内涵

与一般的水安全相比,饮用水水源地安全范畴略窄,它是水源地自身的属性。地下水饮用水源地安全指的是地下水饮用水源地处于一种不受威胁、没有危险的健康状态,它是水源地供水安全的重要保证<sup>[9]</sup>。地下水饮用水源地安全不仅要求地下水水质合乎地下水质量Ⅲ类水标准,水量不超过设计供水能力,还要求从源头上保障饮水安全,采取生态措施有效减缓安全饮水压力,从管理上满足社会公众对饮水安全的需求。其中水质安全和水量是地下水饮用水源地安全的核心内容,而污染源状况、生态环境以及水源地管理水平也会对水源地的总体安全构成一定程度的影响<sup>[8]</sup>。

## 1.2 指标体系框架

由于地下水饮用水源地安全评价涉及范围广,为了有效地反映水源地的安全状态,组织规划、水资源、环保等方面的技术人员和管理人员开展专家咨询,确定了指标体系的三层次结构,即目标层、准则层和指标层,体系结构见图1。其中,目标层反映了地下水饮用水源地安全状况,是各子系统综合作用运行的效果;准则层进一步详细刻画了系统的安全性能,由水质安全指数、水量安全指数、源安全指数、生态安全指数和管理安全指数五部分构成;指标层结合研究区域实际情况共选取了具有代表性和良好操作性的11个具体指标。

## 1.3 具体指标来源

选取指标充分考虑了顺义区地下水饮用水源地水资源、社会经济及生态环境的实际情况。水质安全选用地下水水质综合指数和地下水易污性指数2个指标,其中水质综合指数是根据2005年顺义区环境监测站对各水源地的pH值、高锰酸盐指数、总硬度、溶解性总固体、氨氮、硝酸盐氮、氯化物等14项指标的监测结果,按照地下水质量标准计算所得,而

易污性指数是利用顺义区水资源综合规划的数据,依照国际通用的DRASTIC方法确定,该模型包括地下水埋深、含水层的净补给、含水层的岩性、土壤类型、地形、非饱和带的影响及含水层导水系数7个水文地质参数。水量安全选用供水工程效率指标,即现状供水能力与设计供水能力的比值,其中现状供水能力和设计供水能力数据来自顺义区自来水公司。源安全主要是指对地下水影响较大的补给区的污染源状况,包括废水集中处理率、城镇生活垃圾无害化处理率、工业固废处置利用率、禽畜养殖场粪便综合利用率、违章建筑数目,这些数据参考顺义区2005年统计年鉴确定。生态安全选用林地草地和农业用地占水源地保护区的面积比2个指标。林业草地面积越大,可以减少污染物向下渗漏的数量;农业用地面积越小,可以减轻农业面源污染对地下数源地的影响,这组数据通过2005年顺义区土地利用图获得。管理水平的高低也是影响地下水饮用水源地的安全状况,由于管理水平无法用数值确定,所以通过咨询专家给出一个定性描述。

## 2 评价方法——灰关联分析法

由于资源环境系统的复杂性,其内部各要素之间的关系不明确,存在一定灰性,而实际评价过程中数据通常是在有限的时空范围内监测获得的,所提供的信息量并不完备。灰色系统理论正适用于这种信息不完全确知的小样本系统,所以本文拟采用灰关联分析法对地下水饮用水源地安全性进行评价<sup>[12]</sup>。该方法的原理是根据因素之间发展趋势的相似或相异程度,亦即“灰关联度”作为衡量因素间关联程度的依据,具体计算步骤参照文献<sup>[12]</sup>。其中权重采用特尔斐法,该方法是一种客观地综合多数专家的经验 and 主观判断技巧,对成组信息进行意见征询和评估,并最终取得协调一致的评估结果的方法。研究咨询的专家包括政府政策研究部门专家、科研单位地下水环境专家、环保部门、水务部门、自来水公司专家的意见。最终确定的各指标权重见表1。

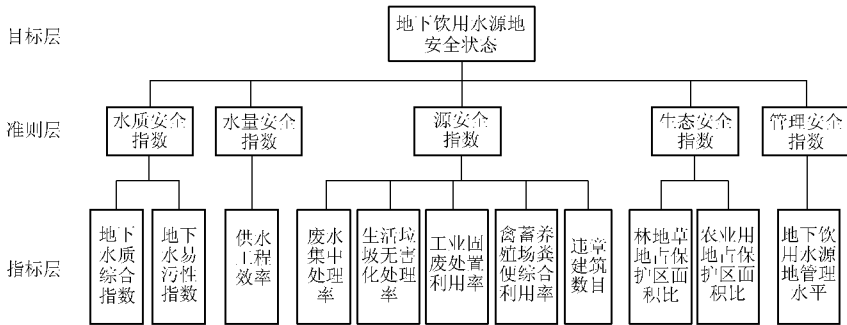


图1 地下水饮用水源地安全评价指标体系框架

表 1 北京顺义区地下水饮用水源地安全评价指标权重

一级指标	权重	二级指标	权重
水质安全	0.30	地下水水质综合指数	0.6
		地下水易污性指数	0.4
水量安全	0.30	供水工程效率	1.0
源安全	0.15	废水集中处理率	0.2
		生活垃圾无害化处理率	0.2
		工业固废处置利用率	0.2
		禽畜养殖场粪便综合利用率	0.2
		违章建筑数目	0.2
生态安全	0.15	林地草地占保护区面积比	0.5
		农业用地占保护区面积比	0.5
管理安全	0.10	地下水饮用水源地管理水平	1.0

3 实例研究

3.1 顺义区地下水饮用水源地概况

顺义区位于北京市区的东北部 ,地处燕山南麓和华北大平原北部边缘 ,东与平谷区接壤 ,西邻昌平区和朝阳区 ,北接怀柔区、密云县 ,东南为通州区及河北省三河市。地理坐标为东经 116°29′ ~ 116°59′ ;北纬 40°00′ ~ 40°23′ ,东西长 45 km ,南北宽 30 km ,略呈长方形 ,总面积 1 021 km<sup>2</sup>。顺义区现有集中地下水供水水源地 6 个 :第一水源地、第二水源地、第三水源地、东府水源地、第六水源地和北小营水源地 ,各水源地详细位置见图 2。

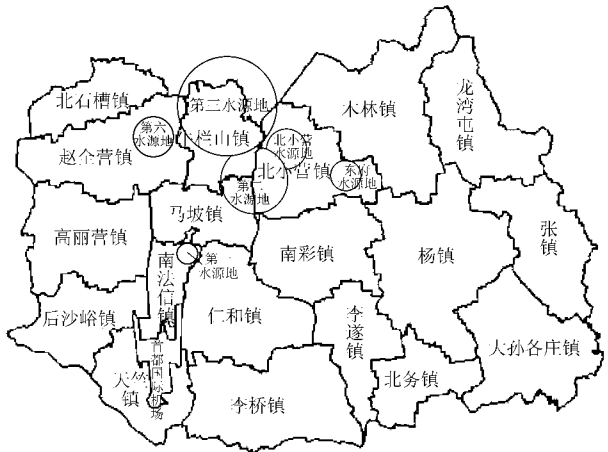


图 2 北京顺义区地下水饮用水源地分布

3.2 顺义区地下水饮用水源地安全状况评价

表 2 是顺义区地下水饮用水源地的现状值以及评价所用标准值 ,其中标准值是在充分考虑顺义区地下水源地现状的基础上 ,根据国内外相关标准以及优质水源地的指标值确定的 ,各标准值构成目标数列  $X_0$ 。计算结果的关联度分级意义见表 3。根据灰关联分析法 ,顺义区 6 个地下水饮用水源地的安全状况的最终的计算结果见图 3。

表 3 关联度分级

关联度	评价描述	意 义
0 ~ 0.4	低关联度	表明该指标所描述的专题要素与目标值有较大偏差 ,处于不安全水平
0.4 ~ 0.6	较低关联度	表明该指标所描述的专题要素与目标值有一定偏离 ,处于较不安全水平
0.6 ~ 0.8	较高关联度	表明该指标所描述的专题要素接近目标值 ,处于较安全水平
0.8 ~ 1.0	高关联度	表明该指标所描述的专题要素逼近目标值 ,处于安全水平

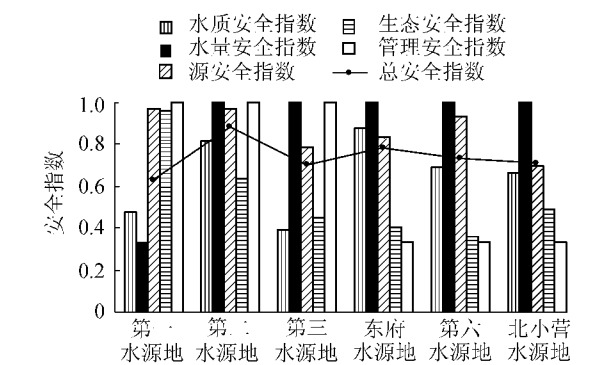


图 3 顺义区地下水饮用水源地安全指数

图 3 第一组柱状图显示 ,第一水源地和第三水源地水质安全指数分别为 0.474 和 0.398 ,处于较不安全和不安全状态。这是因为这两个水源地污染均较为严重 ,超过了地下水Ⅲ类水质标准 ,而且第三水源地的易污性指数偏高 ,导致污染物进入含水层的风险较大 ,从而造成第三水源地水质安全状况最差。另外 ,第六水源地和北小营水源地处于较安全状态 ,水质安全指数分别为 0.694 和 0.667 ,而第二水源地和东府水源地处于安全状态 ,水质安全指数分别为 0.814 和 0.875。

表 2 顺义区地下水饮用水源地现状值

指标	地下水水质综合指数	地下水易污性指数	供水工程效率/%	废水集中处理率/%	生活垃圾无害化处理率/%	工业固废处置利用率/%	畜禽养殖场粪便综合利用率/%	违章建筑数目/个	林地草地占保护区面积比/%	农业用地占保护区面积比/%	管理水平
第一水源地	4.36	137	140	80	100	100	90	0	17.5	9.4	很好
第二水源地	2.15	153	100	80	100	100	90	0	15.6	20.9	很好
第三水源地	4.35	159	50	80	100	100	70	1	12.3	32.7	很好
东府水源地	2.31	124	100	0	100	100	90	0	8.0	29.1	较差
第六水源地	3.24	119	100	60	100	100	100	0	7.2	36.1	较差
北小营水源地	2.65	140	100	0	100	100	90	1	11.2	23.3	较差
标准值	2.15 <sup>①</sup>	119	50 ~ 100	80	100	100	100	0	18.0	9.4	很好

注 :①2.15 为标准理想值。对于 ≥4.25 的值 ,在归一化处理中 ,按 0 计(因为 4.25 是地下水质量标准中Ⅲ类水限值)。

图3第二组柱状图显示,除第一水源地外,其他水源地的水量安全指数均为1,处于安全状态。根据现状调查分析,第一水源地的现状供水能力大于设计供水能力,导致供水工程效率大于100%,因此该水源地水量安全存在较大隐患。

图3第三组柱状图显示,6个水源地的源安全指数均在0.7以上,其中第一、第二、第六水源地以及东府水源地由于在其保护区内生活垃圾无害化处理率、工业固体废物处置利用率以及畜禽养殖场粪便综合利用率较高,加之又没有违章建筑,因此处于安全状态;第三水源地和北小营水源地在其保护区内都存在1个违章建筑,第三水源地畜禽养殖场粪便综合利用率低于其他水源地,而北小营水源地废水集中处理率为0,因此这两个水源地的安全指数相比较略低一些,分别为0.792和0.7。

图3第四组柱状图显示,各水源地的生态安全状况相差较大。第一水源地生态安全指数最高,为0.965;第二水源地次之,处于较安全状态,生态安全指数为0.636;第三水源地、东府水源地和北小营水源地均处于较不安全状态,生态安全指数在0.4到0.5之间;生态安全状况最差的是第六水源地,相关指数为0.357。这是因为该水源地林地草地面积较低,导致地下水对污染缺乏有效的净化屏障,而较高的农业用地面积,又导致面源污染较为严重。二者共同作用,导致第六水源地生态环境处于最不安全状态。

图3第五组柱状图显示,第一、第二、第三水源地管理水平较好,另外3个水源地相对较差。

图3折线图是对5个安全指数综合评价得出的总安全指数,6个水源地的指数分别为0.632, 0.885, 0.706, 0.781, 0.735和0.712,其中第二水源地安全状况最好,其他5个水源地略差,但也均处于较安全状态。根据对上述五组柱状图的分析可知,每个水源地依然存在不同的安全问题,建议各水源地管理部门应该根据各自的问题,加强保护工作。第一水源地安全问题最大,水质和水量均存在较大隐患,因此应加强污染防治工作,力争水质达到地下水Ⅲ类标准,并应对其现状供水进行调整,使其低于设计供水能力;第三水源地的水质也低于Ⅲ类水质标准,因此污染防治是该水源地的重点;东府水源地和第六水源地应加强管理,另外重点做好生态环境保护工作;北小营水源地各项指标虽然不是最差,但水质、源、生态和管理安全指数普遍偏低,因此在这四个方面要加强保护。

## 4 结 论

a. 本文所构建的地下水饮用水源地安全评价指标体系是在借鉴了国内外各类环境指标体系,尤其是水安全评价指标的基础上,结合我国目前地下水饮用水源地的实际情况提出的。在北京顺义区6个地下水饮用水源地的应用表明,该指标系统能够较为准确地反映区域地下水饮用水源地安全状况,具有实际的应用价值,可以为政府部门的管理和决策提供信息支持。

b. 本文选用多级灰关联分析法对指标体系进行评价,由于该方法描述了比较数列与目标数列在总体上的相似性和贴近程度,因此,根据该方法提出的安全指数,具有综合性,可以对同时段不同水源地的安全状况进行比较,能够较为准确地反映指标体系各专题要素及综合特征的变化情况。

## 参考文献:

[1] KOBUS H. Soil and groundwater contamination and remediation technology in Europe[ C ]. SATO K, LWASA Y. Groundwater Updates. Hong Kong: Best-set Typesetter Ltd, 2000 3-8.

[2] 矫勇. 矫勇在全国城市饮用水水源地安全保障规划工作会议上的讲话[ EB/OL ]. [ 2005-07-29 ]. <http://www.hwcc.com.cn/newsdisplay/newsdisplay.asp?Id=132412>

[3] 陈鸿汉, 刘明柱. 地下水饮用水源保护的分析及建议[ J ]. 环境保护, 2007(2): 58-60.

[4] 韩宇平, 阮本清, 解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用[ J ]. 资源科学, 2003, 25(4): 37-42.

[5] 韩宇平, 阮本清. 区域水安全评价指标体系初步研究[ J ]. 环境科学学报, 2003, 23(2): 267-272.

[6] 张翔, 夏军, 贾绍凤. 水安全定义及其评价指数的应用[ J ]. 资源科学, 2005, 27(3): 145-149.

[7] 陈绍金. 水安全系统评价、预警与调控研究[ M ]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 153-154.

[8] 衣强. 集中式地表饮用水源地安全评价研究[ D ]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2007.

[9] 朱红云, 杨桂山, 董雅文. 江苏长江干流饮用水源地生态安全评价与保护研究[ J ]. 资源科学, 2004, 26(6): 90-96.

[10] 温国明, 李翔, 马红霞, 等. 洛阳市饮用水源地水质安全研究[ J ]. 中国安全科学学报, 2007, 17(3): 15-20.

[11] US EPA. Index of watershed indicators: an overview[ EB/OL ]. [ 2004-07-02 ]. <http://www.epa.gov/iwi/iwi-overview.pdf>.

[12] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国. 灰色系统理论及其应用[ M ]. 北京: 科学出版社, 1999: 40-41, 70-72.

( 收稿日期: 2008-01-12 编辑: 傅伟群 )