

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2010.06.010

郑州市水安全模糊综合评价

张华乔¹, 窦明¹, 赵辉², 郑宝强¹

(1. 郑州大学水利与环境学院, 河南 郑州 450001; 2. 水利部水资源管理中心, 北京 100053)

摘要 针对目前郑州市水安全现状, 提出以水供需安全、水环境安全、社会经济安全和灾害防治安全作为水安全评价的准则, 选取代表性指标构建水安全评价指标体系, 运用模糊数学方法对郑州市的水安全状况进行分区综合评价。结果表明 2000 年和 2005 年郑州市的水供需安全度较低, 灾害防治安全度变化较大, 具有一定的随机性, 环境和社会经济安全度处于稳定水平, 2000 年郑州市水安全隶属于基本安全的临界状态, 2005 年较 2000 年有所提高, 处于基本安全状态以上。

关键词 水安全; 模糊评价; 郑州市

中图分类号 :TV213.4 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2010)06-0042-05

Fuzzy comprehensive evaluation of water security in Zhengzhou City

ZHANG Hua-qiao¹, DOU Ming¹, ZHAO Hui², ZHENG Bao-qiang¹

(1. College of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. Water Resources Management Center, Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract :Based on the current status of water safety in Zhengzhou, the water supply and demand security, water environment security, socio-economic security, and disaster prevention and control security are proposed as the system criteria for water security evaluation. The representative indicators were selected to construct a water security evaluation index system, and a comprehensive evaluation of the water security status of Zhengzhou was conducted using the fuzzy mathematical method. Evaluation results showed that water supply and demand security was low in 2000 and 2005, disaster prevention and control security showed significant changes and a certain randomness, and environmental and socio-economic security stayed at a stable level. The water safety was basically in a critical state in 2000 and was above the basic security status in 2005.

Key words :water security; fuzzy evaluation; Zhengzhou City

近年来, 随着我国城市化进程的加快, 一系列新的问题和矛盾也相继出现, 其中水安全问题成为制约社会经济可持续发展的一个重要方面。水安全评价是对区域水资源、水环境和水灾害所带来综合效应的合理评估, 其评价目的是确保人人都有获得安全用水的设施和经济条件, 所获得的水能满足清洁和健康的要求, 满足生活和生产的需要, 同时可使自然环境得到妥善保护。目前, 水安全问题已引起社会各界广泛关注, 许多学者就水安全的概念、内涵、

指标体系、评价方法等展开研究并取得相应成果, 如贾绍凤等^[1-3]对水安全的概念、内涵做了解释, 初步划定了水安全研究的范畴, 陈绍金等^[4-5]提出了水安全系统理论框架以及水安全评价指标体系框架等, 为全面、准确地评价水安全奠定了基础。此外, 国内外还先后发展了主层次分析法^[6]、人工神经网络^[7]和模糊综合评价方法^[8]等水安全评价方法。地处华北平原的郑州市, 是河南省的经济、文化中心, 多年来受自然、人为等因素的影响, 同样面临着严峻的水

基金项目: 郑州市科技攻关计划项目(083SGYG26122-6)水利部 2009 年度《地下水保护行动》项目

作者简介: 张华乔(1983—)男, 河南林州人, 硕士, 主要从事水资源与水环境研究。E-mail: zhanghuaqiao_2008@126.com

通讯作者: 窦明, 博士。E-mail: douming@zzu.edu.cn

安全问题。笔者结合郑州市实际情况,提出了城市水安全评价指标体系,运用模糊综合评价方法对郑州市的水安全状况进行量化研究。

1 水安全评价指标体系及标准的构建

1.1 评价指标体系的构建

水安全评价指标体系的构建主要遵循科学性、完备性、实用性、可操作性、定性和定量相结合的原则来进行选取。笔者结合郑州市的社会背景和水资源特点,并参照已有相关研究成果,将郑州市水安全评价指标体系分为目标层、准则层和指标层3个层次。

目标层为最终评价的结果,反映水安全的量化结果,以及水资源开发利用与社会经济发展的协调程度。

准则层是目标层所要具体协调的因素,包括4个方面:①水供需安全:针对水资源现状和利用状况,反映供需之间的平衡关系,保障用水的连续性。②水环境安全:维系水生环境的健康发展,改善人类赖以生存的环境。③社会经济安全:提高对水资源的管理水平,保障经济稳步增长和社会安定,不能因为水问题影响整体的可持续发展。④灾害防治安全:减少因水少或水多问题带来的自然灾害造成的损失,提高灾害防御能力。

指标层是反映准则层的影响因素,也是对目标层的充分论证。评价指标体系中选取了24个具体指标作为水安全评价的实体,全面反映区域水安全

程度。准则层下的指标分别包括:①水供需安全:根据评价地区的来水量、需水量、供水保障和水资源利用状况,选取了人均水资源占有量、万元产值用水量、地表水利用率、地下水利用率、城镇管网供水率、超采率6个指标,整体评价区域水资源供和需的安全度。②水环境安全:主要考虑在水的利用过程中,出现了诸多的生态环境问题直接影响水资源可利用程度以及社会长足的发展,通过人均BOD(COD)排放量、污水处理排放达标率、万元产值污水排放量、Ⅴ类以上水质级别占总河长比例、森林覆盖率和生态环境用水比例6个指标来评价生态环境安全度。③社会经济安全:由于饮用水水质安全是社会的基本保障,水作为一种有价值的商品,具有一定的经济效应,水资源的管理是水资源为人类更好有效利用的前提,通过城市饮用水水质达标率、农村受污染水影响人口比例、总用水弹性系数、水费支出比例、水价合理指数、水资源综合管理指数和群众节水意识指数7个指标来反映社会经济安全度。④灾害防治安全:水害是无法避免的灾害,如何减少水害对社会的影响是评价水安全的又一个重要因素,通过洪涝灾害损失占GDP百分比、多年平均干旱出现的几率、江河重点堤防标准达标率、水库防洪标准达标率、水利和农业投资占GDP百分比5个指标来反映评价地区的灾害防治安全度。具体的水安全评价指标体系见表1。

表1 水安全评价指标体系

| 目标层 | 准则层 | 指标层 | 指标描述 |
|------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 水安全 (A) | 水供需安全 (B ₁) | 人均水资源占有量(C ₁₁) | 水资源总量/人口总数 |
| | | 万元产值用水量(C ₁₂) | 国民总产值/总用水量 |
| | | 地表水利用率(C ₁₃) | 地表水供水量/地表水可利用量×100% |
| | | 地下水利用率(C ₁₄) | 地下水供水量/地下水可利用量×100% |
| | | 城镇管网供水率(C ₁₅) | 城市管网水量/总供水水量×100% |
| | | 超采率(C ₁₆) | (用水量-可供水量)/可供水量×100% |
| | 水环境安全 (B ₂) | 人均BOD(COD)排放量(C ₂₁) | 污染物排放总量/人口总数 |
| | | 污水处理排放达标率(C ₂₂) | 处理污水量/污水总量×100% |
| | | 万元产值污水排放量(C ₂₃) | 污水排放总量/GDP |
| | | Ⅴ类以上水质级别占总河长比例(C ₂₄) | Ⅴ类以上水质河段/河流总长×100% |
| | | 森林覆盖率(C ₂₅) | 林地覆盖面积/区域面积×100% |
| | | 生态环境用水比例(C ₂₆) | 生态用水量/用水总量×100% |
| | 社会经济安全 (B ₃) | 城市饮用水水质达标率(C ₃₁) | 达标饮用水/总饮水量×100% |
| | | 农村受污染水影响人口比例(C ₃₂) | 饮用污染水人数/总人数×100% |
| | | 总用水弹性系数(C ₃₃) | 总用水量变化率/GDP变化率×100% |
| | | 水费支出比例(C ₃₄) | 水费支出/家庭可支配消费×100% |
| | | 水价合理指数(C ₃₅) | 现行水价/理想水价 |
| | | 水资源综合管理指数(C ₃₆) | 水资源管理的能力 |
| | 灾害防治安全 (B ₄) | 群众节水意识指数(C ₃₇) | 对资源危机感的认识程度 |
| | | 洪涝灾害损失占GDP百分比(C ₄₁) | 洪涝灾害损失/GDP×100% |
| | | 多年平均干旱出现的几率(C ₄₂) | 出现干旱年数/相邻干旱年数×100% |
| | | 江河重点堤防标准达标率(C ₄₃) | (1-地区河流洪涝灾害隐患率)×100% |
| | | 水库防洪标准达标率(C ₄₄) | (1-水库灾害隐患率)×100% |
| | 水利、农业投资占GDP百分比(C ₄₅) | 水利、农业投资费用/GDP×100% | |
| | | 反映该地区缺水程度 | |
| | | 反映经济发展与用水量的关系 | |
| | | 反映地表水情况及其利用程度 | |
| | | 反映地下水情况及其利用程度 | |
| | | 反映输水过程的安全程度 | |
| | | 反映取水过量对整体的影响 | |
| | | 反映人均污染物排放水平 | |
| | | 反映该地区污水处理能力 | |
| | | 反映产业产值清洁度 | |
| | | 反映河道健康度及纳污能力 | |
| | | 反映该地区水土涵养程度 | |
| | | 反映生态用水需求度及重视度 | |
| | | 反映该地区城市健康饮水比例 | |
| | | 反映农村饮用水的健康程度 | |
| | | 反映用水与经济增长变化趋势 | |
| | | 反映水消费的合理性 | |
| | | 反映水市场发展健康程度 | |
| | | 定性反映职能部门管理水平 | |
| | | 定性反映社会进步的程度 | |
| | | 反映洪涝灾害对社会的危害性 | |
| | | 反映干旱灾害对社会的危害性 | |
| | | 反映该地区重要河段防洪能力 | |
| | | 该区水库发挥正常工作的能力 | |
| | | 反映相关基建服务性支出比例 | |

表 2 水安全评价指标权重及等级划分

| 指标 | 单位 | 评价等级 | | | | | 权重 |
|-----------------|--------------------|----------|------------|-------------|------------|-----------|-------|
| | | I(不安全) | II(较不安全) | III(基本安全) | IV(安全) | V(非常安全) | |
| C ₁₁ | m ³ | < 250 | 500 ~ 250 | 750 ~ 500 | 1000 ~ 750 | ≥ 1000 | 0.361 |
| C ₁₂ | m ³ | > 300 | 200 ~ 300 | 100 ~ 200 | 50 ~ 100 | < 50 | 0.074 |
| C ₁₃ | % | < 20 | 20 ~ 40 | 40 ~ 60 | 60 ~ 70 | > 70 | 0.246 |
| C ₁₄ | % | > 80 | 70 ~ 80 | 60 ~ 70 | 50 ~ 60 | < 50 | 0.152 |
| C ₁₅ | % | < 30 | 30 ~ 50 | 50 ~ 70 | 70 ~ 90 | 90 ~ 100 | 0.054 |
| C ₁₆ | % | > 60 | 40 ~ 60 | 30 ~ 40 | 20 ~ 30 | 20 ~ 0 | 0.113 |
| C ₂₁ | kg·人 ⁻¹ | > 250 | 200 ~ 250 | 150 ~ 200 | 100 ~ 150 | < 100 | 0.192 |
| C ₂₂ | % | < 30 | 30 ~ 40 | 40 ~ 60 | 60 ~ 80 | 80 ~ 100 | 0.215 |
| C ₂₃ | t | > 80 | 60 ~ 80 | 50 ~ 60 | 30 ~ 50 | < 30 | 0.325 |
| C ₂₄ | % | < 20 | 20 ~ 30 | 30 ~ 40 | 40 ~ 60 | > 60 | 0.118 |
| C ₂₅ | % | < 10 | 10 ~ 15 | 15 ~ 20 | 20 ~ 25 | > 25 | 0.055 |
| C ₂₆ | % | < 15 | 15 ~ 20 | 20 ~ 25 | 25 ~ 30 | > 30 | 0.094 |
| C ₃₁ | % | < 85 | 85 ~ 90 | 90 ~ 95 | 95 ~ 98 | 98 ~ 100 | 0.258 |
| C ₃₂ | % | > 30 | 20 ~ 30 | 10 ~ 20 | 3 ~ 10 | < 3 | 0.102 |
| C ₃₃ | % | > 30 | 15 ~ 30 | 10 ~ 15 | 5 ~ 10 | < 5 | 0.056 |
| C ₃₄ | % | < 1 | 1 ~ 2 | 2 ~ 3 | 3 ~ 5 | 5 ~ 10 | 0.094 |
| C ₃₅ | | < 0.3 | 0.3 ~ 0.4 | 0.4 ~ 0.6 | 0.6 ~ 0.8 | 0.8 ~ 1 | 0.181 |
| C ₃₆ | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 0.211 |
| C ₃₇ | % | < 20 | 20 ~ 25 | 25 ~ 30 | 30 ~ 40 | > 40 | 0.098 |
| C ₄₁ | % | > 5 | 3 ~ 5 | 1 ~ 3 | < 1 | 0 | 0.130 |
| C ₄₂ | % | > 40 | 35 ~ 40 | 30 ~ 35 | 20 ~ 30 | < 20 | 0.372 |
| C ₄₃ | % | < 70 | 70 ~ 75 | 75 ~ 85 | 85 ~ 90 | > 90 | 0.266 |
| C ₄₄ | % | < 60 | 60 ~ 70 | 70 ~ 80 | 80 ~ 90 | > 90 | 0.158 |
| C ₄₅ | % | < 3 | 3 ~ 5 | 5 ~ 8 | 8 ~ 12 | > 12 | 0.073 |

1.2 评价标准的确定

为了能更准确、客观地反映出区域的水安全程度,按照目前国内外有关水安全指标等级划分的研究成果以及地方政府颁布的标准和规划区目标、河流域水系保护要求等,建立了郑州市水安全评价等级标准,如表 2 所示。同时,参照相应标准将水安全划分为 5 个等级:①“ 不安全 ”级别,水资源问题已经严重制约了社会、经济发展;②“ 较不安全 ”级别,水资源不能与社会、经济发展协调发展,已经威胁到社会、经济可持续发展的要求;③“ 基本安全 ”级别,水资源和水环境与社会耦合程度一般,能够满足正常的生活、生产的需要;④“ 安全 ”级别,水资源和水环境与社会耦合程度较好,满意程度较高;⑤“ 非常安全 ”级别,水资源和水环境与社会耦合程度很好,满意程度很高。

1.3 指标权重确定

选用层次分析法^[9]作为权重确定的方法,具体步骤是:①依据评价指标体系建立层次结构模型,将不同因素划分成目标层、准则层和指标层;②构造判断矩阵,反映各因素的相对重要性;③层次单排序及一致性检验;④层次总排序,计算同一层次所有因素对于最高层的相对重要性的排序权值;⑤层次重排序的一致性检验。通过层次分析法确定准则层各指标权重值为 $\omega = \{0.413, 0.187, 0.292, 0.108\}$,指标

层各指标权重值见表 2。

2 评价方法介绍

水安全综合评价指标体系内部层次多,定性指标和定量指标掺杂,各因素之间关系复杂,在对其进行评价的过程中,同一层次各指标、不同层次各指标以及层次与层次之间存在着不确定性和互不协调性。模糊数学方法^[10]是系统评价方法的一种,在满足每一个集合都必须由确定的元素所构成和元素对集合的隶属关系必须是明确的条件下,通过加权线性变换,弱化了指标和层次之间相互的独立性,使得评价结果向量中包括所有因素的共同作用,体现了评价方法综合性的特点。水安全模糊综合评价的方法步骤如下:

a. 按照划定的等级指标标准,建立评语集 $H =$

$$\begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{15} \\ \vdots & & \vdots \\ h_{n1} & \dots & h_{n5} \end{bmatrix}, h_{ij} \text{ 为第 } i \text{ 个指标第 } j \text{ 个安全级别 } (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, 3, 4, 5), \text{ 其中 } j = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ 分别代表“ 不安全 ”、“ 较不安全 ”、“ 基本安全 ”、“ 安全 ”和“ 非常安全 ”级别。}$$

b. 建立指标单因素评价矩阵 R , 根据各指标特征,拟定指标的隶属度函数。但是相邻的等级如果相差较小,评定指标隶属情况时会出现两个指标值

相差很小,却分属于不同等级的情况,给评价的结果带来一定的误差。笔者采用相对隶属度函数^[11]原理,细化评价分区,将指标按隶属于相邻等级的程度分别取值,确立各评价等级的隶属度函数,使隶属度函数在各等级平缓过渡。经过计算得出各评价要素的隶属度向量矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_i \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \Rightarrow R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} & \dots & r_{i5} \\ r_{i1} & \dots & r_{i5} \end{bmatrix} \quad (1)$$

c. 采用模糊数学方法加权线性变换,进行模糊层次综合评价

$$V = \sum_{i=1}^n (\omega_i R_i) \quad (2)$$

式中: ω_i 为权重向量; R_i 为隶属度向量矩阵; V 为评价向量。

d. 按照以上步骤得出一、二级的隶属度评价矩阵后,接着计算相应的安全等级评价,公式为:

$$C = W \times V \quad (3)$$

式中: C 为最终的评价等级; W 为安全等级特征值向量 $\{w_j\}$, $w_j = 1, 2, 3, 4, 5$, 分别代表“不安全”;“较不安全”;“基本安全”;“安全”和“非常安全”。

3 应用研究

郑州市位于中原腹地,受自然气候条件因素的影响,该地区水资源短缺、时空分布不均、人均水资源量不足全国水平的十分之一,水质恶化严重,水安全状况不容乐观。此次以郑州市 2000 年和 2005 年统计年鉴资料为基础,将郑州市按照行政和水资源划分为郑州市区、中牟县、巩义市、荥阳市、新密市、新郑市和登封市 7 个独立的评价单元,确定各指标

的现状值,对其水安全状态进行综合评价。

通过查阅 2000 年度和 2005 年度的《郑州市统计年鉴》、《郑州市水利年鉴》等相关资料,确定出各评价指标的具体数值,再运用隶属度计算公式^[12]求得 2 个年份的隶属度向量矩阵,以郑州市区为例,其隶属度向量见表 3。

由表 2 可知指标层各指标的权重集为 $\omega_1 = (0.361, 0.074, 0.246, 0.152, 0.054, 0.113)$, $\omega_2 = (0.192, 0.215, 0.325, 0.118, 0.055, 0.094)$, $\omega_3 = (0.258, 0.102, 0.056, 0.094, 0.181, 0.211, 0.098)$, $\omega_4 = (0.130, 0.372, 0.266, 0.158, 0.073)$ 。按照式(2)计算求得 2000 年和 2005 年郑州市区二级(准则层)水安全评价的模糊评价矩阵如下:

$$V_1^2 = \begin{bmatrix} 0.4362 & 0.1356 & 0.1298 & 0.1276 & 0.1697 \\ 0.0000 & 0.0765 & 0.5277 & 0.3948 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.1147 & 0.5048 & 0.3805 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.8006 & 0.1984 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

$$V_2^2 = \begin{bmatrix} 0.4362 & 0.0768 & 0.0162 & 0.2689 & 0.2020 \\ 0.0000 & 0.0365 & 0.3925 & 0.5249 & 0.0451 \\ 0.0000 & 0.0000 & 0.0098 & 0.4361 & 0.5541 \\ 0.0292 & 0.0438 & 0.5050 & 0.3114 & 0.1096 \end{bmatrix}$$

在二级评价矩阵的基础上,已知准则层各指标的权重为 $\omega = \{0.413, 0.187, 0.292, 0.108\}$,由式(2)计算得出 2 个年份郑州市区一级(目标层)水安全评价的模糊评价矩阵如下:

$$V_1^1 = [0.1802 \quad 0.0703 \quad 0.2722 \quad 0.2954 \quad 0.1812]$$

$$V_2^1 = [0.1833 \quad 0.0433 \quad 0.1375 \quad 0.3702 \quad 0.2655]$$

最后,对其 2000 年、2005 年准则层的 4 个指标因素和目标层进行安全等级评价,由式(3)计算

表 3 郑州市区各指标隶属度向量值

| 2000 年郑州市区评价指标 | | | | 2005 年郑州市区评价指标 | | | |
|----------------|-------------------|----------|-------------------|----------------|-------------------|----------|-------------------|
| 指标 | 隶属度向量 | 指标 | 隶属度向量 | 指标 | 隶属度向量 | 指标 | 隶属度向量 |
| C_{11} | (0.80 0.20 0 0 0) | C_{31} | (0.63 0.37 0 0 0) | C_{11} | (0.80 0.20 0 0 0) | C_{31} | (0 0 0 0 1.00) |
| C_{12} | (0 0.26 0.74 0 0) | C_{32} | (0 0.23 0.77 0 0) | C_{12} | (0 0 0.02 0.98 0) | C_{32} | (0 0 0 0.64 0.36) |
| C_{13} | (0 0 0 0.31 0.69) | C_{33} | (0.50 0.50 0 0 0) | C_{13} | (0 0 0 0.19 0.81) | C_{33} | (0 0 0 0.12 0.88) |
| C_{14} | (0.97 0.03 0 0 0) | C_{34} | (0 0 0 0.08 0.92) | C_{14} | (0.97 0.03 0 0 0) | C_{34} | (0 0 0 0.85 0.15) |
| C_{15} | (0 0 0.05 0.95 0) | C_{35} | (0.55 0.45 0 0 0) | C_{15} | (0 0 0 0.95 0.05) | C_{35} | (0 0 0 0.50 0.50) |
| C_{16} | (0 0.35 0.64 0 0) | C_{36} | (0 0.38 0.62 0 0) | C_{16} | (0 0 0.13 0.87 0) | C_{36} | (0 0 0 0.50 0.50) |
| C_{21} | (0 0.09 0.91 0 0) | C_{37} | (0 0 0.10 0.90 0) | C_{21} | (0 0.19 0.81 0 0) | C_{37} | (0 0 0.10 0.90 0) |
| C_{22} | (0 0 0.25 0.75 0) | C_{41} | (0 0.25 0.75 0 0) | C_{22} | (0 0 0 1.00 0) | C_{41} | (0 0 0 0.40 0.60) |
| C_{23} | (0 0 0.50 0.50 0) | C_{42} | (0 0 0 0.75 0.25) | C_{23} | (0 0 0.40 0.60 0) | C_{42} | (0 0 1.00 0 0) |
| C_{24} | (0 0 0.50 0.50 0) | C_{43} | (0 0 0 0.80 0.20) | C_{24} | (0 0 0.59 0.41 0) | C_{43} | (0 0 0.50 0.50 0) |
| C_{25} | (0 0 0.78 0.22 0) | C_{44} | (0 0 0.82 0.18 0) | C_{25} | (0 0 0.68 0.32 0) | C_{44} | (0 0 0 0.80 0.20) |
| C_{26} | (0 0.63 0.37 0 0) | C_{45} | (0 0 0.02 0.98 0) | C_{26} | (0 0 0 0.52 0.48) | C_{45} | (0.40 0.60 0 0 0) |

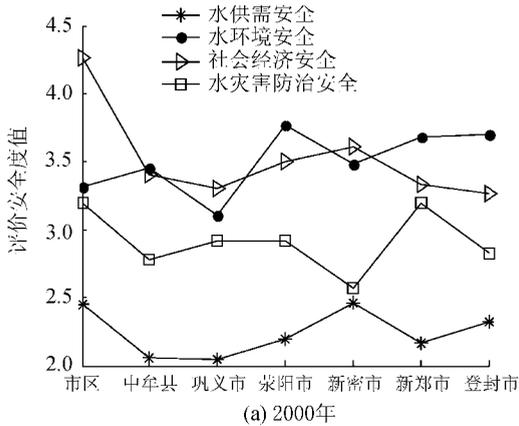
得出：

$$C_1^2 = [2.456 \quad 3.315 \quad 4.266 \quad 3.195]$$

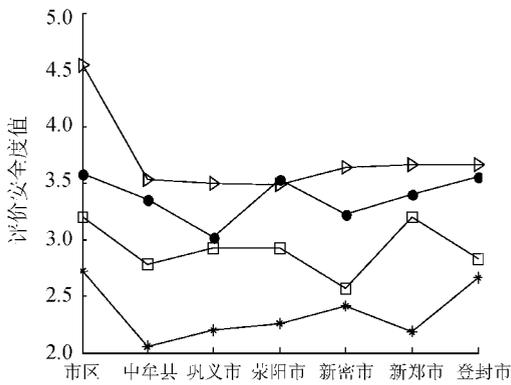
$$C_2^2 = [2.724 \quad 3.576 \quad 4.544 \quad 3.425]$$

$$C_1^1 = 3.225 \quad C_2^1 = 3.490$$

同理,可求得 2000 年和 2005 年郑州市其他各评价单元的一、二级的水安全模糊评价矩阵以及安全等级评价结果。对求得的安全评价等级值用 MATLAB 分析并绘图即得图 1、2。



(a) 2000年



(b) 2005年

图 1 郑州市各评价单元水安全二级评价结果

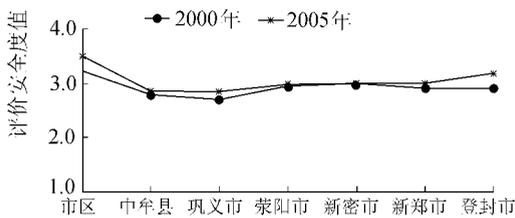


图 2 郑州市各评价单元水安全一级评价结果

笔者以基本安全(对应纵坐标值 3)作为分析评价结果的基准,由图 2 可以看出:①综合比较:因多数评价单元的评价值较低,2000 年郑州市整体的水安全度隶属于较不安全与基本安全的临界状态,2005 年比 2000 年有所提高,达到基本安全状态。②横向比较:2000 年综合评价曲线变化幅度大,表明各单元水安全状况存在较大差异,影响到郑州市的整体发展;2005 年的评价曲线较为缓和,表明区

域之间水安全状况趋于平均化,表明郑州市水安全整体协调度提高。③纵向比较:各单元水安全度在 2005 年较 2000 年均有提高。显然,随着各评价单元之间差距的逐渐缩小,郑州市整体的水安全状况也在稳步提高。

对水安全评价的结果进一步分析,其主要受到准则层各指标因素的影响,从图 1(a)(b)两图比较可得:①水供需安全曲线较低,处于不安全与安全之间,是影响最终结果的重要因素。各单位 2 个年份的值变化较小,说明水资源供需相对稳定;灾害防治安全曲线变化幅度较大,和各单元不同年份的自然灾害发生强度、几率有关,一旦发生后果非常严重,对结果影响较大;水环境安全和社会经济安全曲线变化幅度较小,且其值处于较安全水平,表明该区域在这两方面相关工作做的较好。②郑州市区的值较高,尤其在社会经济安全方面,可以推断地方政府的重视程度以及工作的重点;其他各单元在 2000 年不同拐点值的落差较大,初步肯定在准则层中的各因素协调度较差。同时,单元之间的同一指标的差异较大,说明地区发展不均衡;与 2000 年相比,2005 年有所改善,整体都在基本安全水平之上,区域差异变小,指标间协调度高。由此可见,水供需安全曲线与最终评价曲线变化基本吻合,表明其对最后结果起到决定性作用;自然灾害防治安全是导致评价单元之间出现较大差异的主要因素;其他两个因素差异较小与评价结果显示的一致。

4 结 论

经济社会的可持续发展离不开水资源可持续利用的保障,如何协调人与人、人与自然之间基于水资源的关系,在整体上求得最佳(即最安全)是研究水安全的一致目标。通过对郑州市水安全进行综合评价,全面了解该区域水安全状况,为合理地保护、利用水资源,实现水资源、水环境系统与社会经济协调发展提供决策依据。因此,本研究对保障区域水安全具有实际意义和应用价值。

参考文献：

- [1] 贾绍凤,张军岩,张士峰.区域水资源压力指数与水资源安全评价指标体系[J].地理科学进展,2002,21(6):538-545.
- [2] 阮本清,魏川江.首都圈水资源安全保障体系建设[M].北京:科学出版社,2004.
- [3] 陈绍金.水安全概念辨析[J].中国水利,2004(17):13-15.
- [4] 陈绍金,施国庆,顾琦仪.水安全系统的理论框架[J].水资源保护,2005,21(3):9-11.
- [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.

(下转第 74 页)

区域污染物的排放标准,严格环境影响评价制度、总量控制制度和清洁生产审计,严格环境执法力度。综合采取管理和工程措施,控制石臼湖流域农业面源污染,大力发展现代农业和生态农业,提高绿色、无公害和有机食品基地比重。全面治理畜禽养殖污染,严格控制畜禽养殖规模,湖泊周围要划定畜禽禁养区。加强水产养殖污染的监管,推广生态养殖。提高船舶污染物的收集能力,尽快建立船舶污染事故应急响应体系。

加快环保基础设施建设。石臼湖流域应大力推行雨污分流,加强对现有雨污合流管网系统改造,重视污水处理厂的污泥处理处置。新建城镇污水处理厂必须配套脱氮除磷工艺,已建污水处理厂要尽快完成脱氮除磷升级改造。完善污水处理收费制度,确保已建成的污水处理设施正常运营。对村庄生活污水因地制宜地采用生态组合处理技术,优先建设水源保护区范围内的村镇生活污水处理设施。

4.4 开展湖泊生态修复,提高生物多样性水平

湖泊富营养化是湖泊生态系统结构失衡的结果,是湖泊自调节机制遭到破坏的表征现象。如果说洪涝灾害是一种急性病,那么湖泊富营养化就是一种慢性病^[1]。对湖泊富营养化的治理和生态恢复,要注重内部宏观生态系统结构的保护,加强湖泊内部的环境管理,特别是加强湖泊沿岸带湿地的保护,建立湿地缓冲系统,促进湖泊生态调节机制自我修复能力的提高。

a. 加强河荡生态修复。石臼湖流域江苏段河网密布、湖荡水塘纵横,水动力条件复杂,应利用已有的水利工程,充分利用河网水系对流稀释、动力复氧、沉降吸附能力,通过保育植被,恢复景观生态,有效发挥灌木和水生植物的水质净化功能,消除进入湖泊的污染物^[2]。充分发挥入湖河口的河-湖生态系统交界处生态系统高度活跃的特点,建设河口湿地屏障,阻滞、过滤污染物质进入湖泊。

b. 积极实施石臼湖江苏段入湖河流生态清淤。在加大环境基础设施建设、减少入河污染物的同时,实施清淤,减少内源污染,提高河水自净能力。科学制定新桥河和天生桥河入石臼湖的湖口处理局部水域进行底疏浚,同时在清淤过程中要加强淤泥资源化利用,避免污泥的二次污染。

致谢 笔者在本文的资料收集和野外调查过程中得到了南京市溧水县环境保护局徐连普、于小飞同志的协助,特此致谢!

参考文献:

[1] 江苏省水利厅.江苏省省管湖泊保护规划——石臼湖保

护规划报告[R].南京:江苏省水利厅,2006.

- [2] 虞孝感,姜家虎,贾绍凤.长江流域水环境演化规律研究平台与切入点初探[J].长江流域资源与环境,2001,10(6):485-489.
- [3] 范成新,羊向东,史龙新,等.江苏湖泊富营养化特征、成因及解决途径[J].长江流域资源与环境,2005,14(2):218-223.
- [4] 吉栋梁,兰林,吴江,等.石臼湖水生态环境现状及保护对策[EB/OL]. [2008-03-18]. http://www.paperedu.cn/paper_ggb75n.
- [5] 赵志凌,黄贤金,钟太洋,等.我国湖泊管理体制机制研究:以江苏省为例[J].经济地理,2009,29(1):74-78.
- [6] 贺晓英,贺维生.北美五大湖保护管理对鄱阳湖发展之启示[J].生态学报,2008,28(12):6235-6242.
- [7] 王海燕,葛建团,邢核,等.欧盟跨界流域管理对我国水环境管理的借鉴意义[J].长江流域资源与环境,2008,17(6):944-947.
- [8] 万军,张惠远,王金南,等.中国生态补偿政策评估与框架初探[J].环境科学研究,2005,18(2):40-43.
- [9] 黄锡生,潘璟.流域生态补偿的内涵及其体系[J].水利经济,2008,26(5):65-68.
- [10] 毛春梅,张首顺.南京市高淳县固城湖水源地生态补偿机制探讨[J].水资源保护,2009,25(2):87-90.
- [11] 姜家虎,黄群,孙占东.长江中下游湖泊保护和管理的若干建议[J].长江流域资源与环境,2005,14(1):40-43.
- [12] 田琦,王沛芳,欧阳萍,等.5种沉水植物对富营养化水体的净化能力研究[J].水资源保护,2009,25(1):14-17.

(收稿日期 2009-09-17 编辑 高渭文)

(上接第46页)

- [6] 程翠云,阎伍玖.安徽区域水资源可持续利用评价[J].环境科学研究,2006,19(5):154-158.
- [7] 刘树锋,陈俊合.基于神经网络理论的水资源承载力研究[J].资源科学,2007,29(1):99-105.
- [8] 王远坤,夏自强,曹升乐.水安全综合评价方法研究[J].河海大学学报:自然科学版,2007,35(6):618-621.
- [9] 赵焕臣,许树柏,和金生.层次分析法[M].北京:科学出版社,1986.
- [10] 吴万铎.模糊数学与计算机应用[M].北京:电子工业出版社,1988.
- [11] 陈守煜.工程模糊集理论与应用[M].北京:国防工业出版社,1998.
- [12] 楚文海,吴晓微,韩慧波,等.西南岩溶地区水资源可持续利用评价[J].资源科学,2008,30(3):468-474.

(收稿日期 2009-10-16 编辑 徐娟)