

## 河南省新密市农村饮水安全综合评价

肖芳,谷红梅,雷宏君,潘红卫

(华北水利水电学院,河南 郑州 450011)

**摘要:**在农村饮水安全调查和饮水不安全因素分析的基础上,建立了3层农村饮水安全评价指标体系,应用改进的熵权法对新密市农村饮水安全状况进行评价。结果表明,该法不仅能够较好地体现农村饮水安全的真实状况,还能体现出水质、水量、供水状况的空间差异特征,对农村饮水安全可以有更加全局性的把握,从而为农村饮水安全总体决策提供一定的帮助。

**关键词:**农村饮水安全;综合评价;改进熵权;河南省新密市

**中图分类号:** X824

**文献标识码:** A

目前,在农村饮水安全评价中,应用过层次分析法,模糊物元法,变导系数法,但这些大多数是对农村饮水的某几个指标或者某个方面进行评价的,很少进行全局性评价。该文根据河南省新密市农村饮水调查和对饮水不安全因素分析,建立了3层农村饮水安全评价指标体系,应用改进的熵权法对新密市农村饮水安全状况进行评价。能够较好地体现农村饮水安全的真实状况和水质、水量、供水状况的空间差异特征,对农村饮水安全可以有更加全局性的把握,从而为农村饮水安全总体决策提供一定的帮助。

## 1 模型原理

### 1.1 改进熵权法确定权系数

对于标准化后的数据,利用熵权法确定客观权重,以反映各区域评价指标样本值差异信息对饮水安全保障的影响程度。

(1) 采用级差法对评价指标进行标准化处理。

(2) 计算第  $j$  项指标的信息熵值:

$$e(k, j) = -\frac{1}{\ln M} \sum_{i=1}^m [p(k, i, j) \cdot \ln p(k, i, j)] \quad (1)$$

式中:  $e_j$  为信息熵值,  $M$  为指标样本数; 当  $y_{ij} = 0$  时, 取  $y_{ij} = 1 \times 10^{-5}$ 。

(3) 初步确定各个指标的客观权重: 设  $W_j$  为第  $j$  项指标的权系数, 则:

$$W(k, j) = [1 - e(k, j)] / \sum_{j=1}^{n_k} [1 - e(k, j)] \quad (2)$$

式中: 第  $j$  项指标的差异系数  $D_j = 1 - e_j$ 。差异性系数反映了各指标下各个被评价对象的指标数据的差异性大小。若某指标下的数据差异性越大, 则差异系数越大, 说明该指标的权重也越大。

(4) 通过改进方法确定客观权重

金菊良等<sup>[1-3]</sup>认为上式确定的权重相互独立, 没有体现出由信息熵所反映的各指标初步权重的一致性关系, 将其改进为通过构造模糊互补判断矩阵  $A_k$  来实现, 即:

$$A_k = (a_{ij}^k)_{n_k \times n_k}$$

$$(a_{ij}^k) = [1 - e(k, i)] / [1 - e(k, i) + 1 - e(k, j)] \quad (3)$$

式中:  $i = 1 \sim n_k, j = 1 \sim n_k, k = 1 \sim m$ 。

对于上述模糊互补矩阵必须予以一致性检验, 若满足一致性要求, 则说明初步确定的权重一致性较好, 可作为评价中所确定的客观矩阵。若满足:

$$\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} |0.5(n_k - 1)[W(k, i) - W(k, j) + 0.5 - b_{ij}^k]| / n_k^2 = 0 \quad (4)$$

则该互补矩阵具有完全的一致性, 徐泽水<sup>[4]</sup>把上式中左端定义为  $A_k$  的一致性指标, 若不大于 0.1, 则满足一致性要求, 否则修正上述矩阵, 修正矩阵  $B_k$

\* 收稿日期: 2011-03-11; 修订日期: 2011-03-29; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 河南省重点科技攻关计划项目 092102110032; 国家水体污染控制与治理科技重大专项 2009ZX07106-03-01。

作者简介: 肖芳(1985—), 山东聊城人, 在读研究生, 主要从事区域水资源高效利用研究; E-mail: xiaof1221@126.com。

$= (b_{ij}^k)_{n_k \times n_k}$ , 其中:

$$\begin{aligned} \min CIC(n_k) &= \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} |b_{ij}^k - a_{ij}^k| / n_k^2 + \\ &\sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} |0.5(n_k - 1)[W(k,i) - W(k,j) + 0.5 - b_{ij}^k]| / n_k^2 \\ s. t. &\begin{cases} b_{ij}^k = 0.5 & (i = 1 \sim n_k) \\ 1 - b_{ij}^k = b_{ji}^k & (i = 1 \sim n_k, j = 1 \sim n_k) \\ \sum_{j=1}^{n_k} W(k,j) = 1 (0 \leq W(k,j) \leq 1, j = 1 \sim n_k) \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

$CIC(n_k)$  为一致性指标系数 (Consistency Index Coefficient),  $CIC(n_k)$  最小时,  $B_k$  为  $A_k$  的最优模糊一致性判断矩阵,  $CIC(n_k)$  越小,  $A_k$  则一致性越高, 当小于某一临界值时, 可认为具有满意的一致性。徐泽水<sup>[4]</sup> 认为一致性指标临界值为 0.1, 宋光兴等<sup>[5]</sup> 认为取 0.2, 该文取后者。当修正矩阵确定时, 客观权重  $W_s(k, j)$  也随之确定。

### (5) 确定主观权重

该文采用专家打分法的 3 标度原理, 确定模糊互补判断矩阵, 仿照上述方法, 可确定其主观权重  $W_s(k, j)$ , 然后根据最小相对熵原理:

$$\begin{aligned} \min F &= \sum_{j=1}^{n_k} W_c(k, j) [\ln W_c(k, j) - \ln W(k, j)] \\ &+ \sum_{j=1}^{n_k} W_s(k, j) [\ln W_c(k, j) - \ln W_s(k, j)] \\ s. t. &\sum_{j=1}^{n_k} W_c(k, j) = 1, W_c(k, j) > 0, j = 1 \sim n_k \quad (6) \end{aligned}$$

可得最优解为:

$$W_c(k, j) = \frac{[W(k, j) \cdot W_s(k, j)]^{0.5}}{\sum_{j=1}^{n_k} [W(k, j) \cdot W_s(k, j)]^{0.5}} \quad (j = 1 \sim n_k) \quad (7)$$

上式即为最优的组合权重。

## 1.2 饮水安全综合指数的确定

### ① 子系统饮水安全指数的计算

$$Z(k, j) = \sum_{j=1}^{n_k} W_c(k, i, j) \cdot \gamma(k, i, j) \quad (8)$$

### ② 某地区综合指数的确定

$$S(i) = \sum_{k=1}^t W_s(k) \cdot z(k, i) \quad (i = 1 \sim n) \quad (9)$$

## 1.3 饮水安全等级划分

参考《农村饮水安全评价指标体系》有关水质、水量、方便程度及保证率单指标安全和基本安全的最低值以及研究区饮水安全其他指标的实际情况,

结合相关文献, 对于目标层: 若  $Z(k, j)$  分别落在  $[0, 1]$  的子区间  $0 \sim 0.4, 0.4 \sim 0.6, 0.6 \sim 0.8, 0.8 \sim 0.9$  和  $0.9 \sim 1$ , 分别定义为“很不安全”、“不安全”、“基本安全”、“较安全”和“安全”5 个饮水安全等级, 准则层同上。

## 2 实例研究——以新密市为例

### 2.1 研究区概况

新密市地处河南省会郑州市西南部, 全市农村饮水安全状况比较复杂, 工矿企业几十年污水排放使地下水资源污染严重, 水质恶化; 呈点状分布于全市范围内的氟超标问题; 分散于全市的高盐水即苦咸水, 部分地区水质严重超标; 非污染区供水井总硬度超标; 山丘区面积大, 群众饮水困难; 现有水源及供水工程落后。

### 2.2 评价指标体系的构建

将指标体系划分为 3 层: 最高层  $A$  (即目标层)——河南省饮水安全状况, 中间层  $C$  (即准则层)——评价子系统因素 (即水质、水量与供水 3 个方面), 最底层  $P$  (即指标层)——影响饮水安全的最直接也是最具体的因素。根据选取指标的基本原则, 并结合 2004 年新密市农村饮水安全调查 (评价数据来源) 的具体实际, 筛选出 12 个指标 (表 1)。

### 2.3 权重计算

#### (1) 改进熵权法计算客观权重

① 初步确定各指标权重。由公式 (1) 和公式 (2) 计算出各指标的权系数为:  $w(i, j, k) = (0.315, 0.110, 0.141, 0.433, 0.123, 0.525, 0.214, 0.138, 0.391, 0.149, 0.173, 0.167, 0.120)$

② 求客观权重。由公式 (3) 和上一步初步求出的权重可建立 3 个准则层的模糊判断矩阵  $A_k (k = 1, 2, 3)$ 。上述判断矩阵对应的权向量分别为:

$$A = \begin{pmatrix} A_1 & & & \\ & A_2 & & \\ & & & \\ & & & A_3 \end{pmatrix}$$

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0.500 & 0.741 & 0.690 & 0.421 \\ 0.259 & 0.500 & 0.437 & 0.202 \\ 0.310 & 0.563 & 0.500 & 0.246 \\ 0.579 & 0.798 & 0.754 & 0.500 \end{pmatrix}$$

表 1 新密市农村饮水安全评价指标体系及指标等级划分

| 目标层      | 准则层 | 指标层                           | 标准划分 |      |     |      |      |
|----------|-----|-------------------------------|------|------|-----|------|------|
|          |     |                               | I    | II   | III | IV   | V    |
| 区域饮水安全状况 | 水质  | $p_1$ —氟超标人口比例(%)             | 0.1  | 0.5  | 1   | 5    | 10   |
|          |     | $p_2$ —苦咸水人口比例(%)             | 0.1  | 0.5  | 1   | 5    | 10   |
|          |     | $p_3$ —污染严重地表水人口比例(%)         | 0.01 | 0.05 | 0.1 | 1    | 5    |
|          |     | $p_4$ —污染严重地下水人口比例(%)         | 70   | 60   | 50  | 40   | 30   |
|          | 水量  | $p_5$ —水量不达标人口比例(%)           | 0.5  | 1    | 5   | 10   | 15   |
|          |     | $p_6$ —水源保证率不达标人口比例(%)        | 1    | 5    | 10  | 15   | 20   |
|          |     | $p_7$ —集中供水工程现状人均供水量(L/(人·天)) | 60   | 50   | 40  | 30   | 20   |
|          |     | $p_8$ —用水方便程度不达标人口比例(%)       | 0.3  | 0.2  | 0.1 | 0.05 | 0.01 |
|          | 供水  | $p_9$ —集中供水人口比例(%)            | 0.05 | 0.5  | 1   | 5    | 10   |
|          |     | $p_{10}$ —供水到户的人口比例(%)        | 90   | 85   | 80  | 75   | 70   |
|          |     | $p_{11}$ —饮用地下水的人口比例(%)       | 90   | 80   | 70  | 60   | 50   |
|          |     | $p_{12}$ —集雨工程人口比例(%)         | 80   | 75   | 70  | 60   | 50   |
|          |     | $p_{13}$ —集雨工程通村率(个/村)        | 2    | 1.5  | 1   | 0.8  | 0.6  |

$$A_2 = \begin{pmatrix} 0.500 & 0.189 & 0.364 & 0.471 \\ 0.811 & 0.500 & 0.710 & 0.792 \\ 0.636 & 0.290 & 0.500 & 0.608 \\ 0.529 & 0.208 & 0.392 & 0.500 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0.500 & 0.724 & 0.694 & 0.701 & 0.765 \\ 0.276 & 0.500 & 0.463 & 0.471 & 0.553 \\ 0.306 & 0.537 & 0.500 & 0.508 & 0.589 \\ 0.299 & 0.529 & 0.492 & 0.500 & 0.581 \\ 0.235 & 0.447 & 0.411 & 0.419 & 0.500 \end{pmatrix}$$

上述判断矩阵对应的权向量分别为： $w(i, j, 1) = (0.315, 0.110, 0.141, 0.433)$ ,  $w(i, j, 2) = (0.180, 0.320, 0.300, 0.200)$ ,  $w(i, j, 3) = (0.300, 0.100, 0.200, 0.200, 0.200)$

经检验  $CIC < 0.2$ , 所以该权重即为准则层各指标对于准则的客观权重。

(2) 改进熵权法确定主观权重

①用专家打分法确定各指标对于准则层的权重。由专家打分法可得到 3 个准则所对应的模糊判断矩阵, 然后与改进熵权法求客观权重类似可求出各指标对准则的主观权重,  $CIC < 0.2$ , 主观权重为： $w_s(i, j, 1) = (0.280, 0.100, 0.320, 0.300)$ ,  $w_s(i, j, 2) = (0.300, 0.280, 0.200, 0.220)$ ,  $w_s(i, j, 3) = (0.200, 0.300, 0.190, 0.010, 0.300)$

②计算指标对于准则层的组合权重。由公式(7)计算准则层的组合权重, 可得： $w_c(i, j, 1) = (0.305, 0.108, 0.218, 0.370)$ ,  $w_c(i, j, 2) = (0.236,$

$0.303, 0.248, 0.213)$ ,  $w_c(i, j, 3) = (0.271, 0.192, 0.216, 0.050, 0.271)$

③用专家打分法求各准则对于目标层的权重。先由专家打分法构造模糊判断矩阵, 运用改进的熵权法, 可求得准则层对于目标层的权重集为： $w_s(k) = (0.4, 0.3, 0.3)$

2.4 综合评价

由公式(8)和公式(9)可求得各乡镇的综合权重(表 2)。

表 2 新密市各乡镇评价结果

| 乡镇  | 综合评价  |      | 水质评价  |      | 水量评价  |      | 供水评价  |      |
|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|     | 分值    | 安全状况 | 分值    | 安全状况 | 分值    | 安全状况 | 分值    | 安全状况 |
| 市辖区 | 0.771 | 基本安全 | 0.754 | 基本安全 | 0.761 | 基本安全 | 0.803 | 安全   |
| 牛店镇 | 0.485 | 不安全  | 0.541 | 不安全  | 0.452 | 不安全  | 0.443 | 不安全  |
| 超化镇 | 0.473 | 不安全  | 0.507 | 不安全  | 0.490 | 不安全  | 0.412 | 不安全  |
| 刘寨镇 | 0.609 | 基本安全 | 0.518 | 不安全  | 0.549 | 不安全  | 0.792 | 基本安全 |
| 曲梁乡 | 0.527 | 不安全  | 0.511 | 不安全  | 0.556 | 不安全  | 0.521 | 不安全  |
| 城关镇 | 0.40  | 基本安全 | 0.691 | 基本安全 | 0.593 | 不安全  | 0.618 | 基本安全 |
| 尖山乡 | 0.408 | 不安全  | 0.553 | 不安全  | 0.313 | 很不安全 | 0.309 | 很不安全 |
| 来集镇 | 0.503 | 不安全  | 0.526 | 不安全  | 0.548 | 不安全  | 0.427 | 不安全  |
| 袁庄乡 | 0.395 | 很不安全 | 0.526 | 不安全  | 0.413 | 不安全  | 0.201 | 很不安全 |
| 岳村镇 | 0.469 | 不安全  | 0.569 | 不安全  | 0.476 | 不安全  | 0.328 | 很不安全 |
| 白寨镇 | 0.399 | 很不安全 | 0.565 | 不安全  | 0.353 | 很不安全 | 0.223 | 很不安全 |
| 大隗镇 | 0.524 | 不安全  | 0.354 | 很不安全 | 0.568 | 不安全  | 0.706 | 基本安全 |
| 平陌乡 | 0.279 | 很不安全 | 0.277 | 很不安全 | 0.156 | 很不安全 | 0.405 | 不安全  |
| 苟堂镇 | 0.446 | 不安全  | 0.517 | 不安全  | 0.431 | 不安全  | 0.366 | 很不安全 |

3 结果分析

将新密市各乡镇安全状况评价的结果以柱状图

的形式给出(图 1),从图中可以看出:除新密市辖区

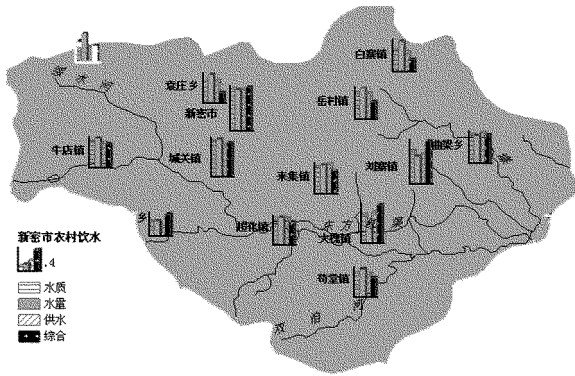


图 1 新密市农村饮水安全状况柱状图

饮水安全状况总体及水质水量供水状况均较好外,其他地区农村饮水安全状况均不乐观;该区农村饮水安全状况呈现出明显的地域格局特点,即位于城市边远地区的尖山乡、袁庄乡、岳村镇、白寨镇、苟堂镇等乡镇呈现水量较好、供水与水质较差的特点;中部地区的牛店镇、城关镇、来集镇、超化镇呈现出水质、水量、供水状况均较差的特点;另一部分就是位于这两者之间的地带,包括大隗镇、刘寨镇和平陌乡,这些地区呈现出供水较差,水质与供水更差的特点。因此,边远地区应以供水工程建设为中心,同时改善水质;中部地区应以水资源开发利用为中心实

现供水和水质问题的解决;中间地带则应以改善水质、开辟新水源地为中心解决水质为中心的水量缺乏问题。

## 4 结语

该文在建立饮水安全评价指标体系的基础上,采用改进的熵权法较为科学地确定了饮水安全的主客观权重,得出了新密市各乡镇农村饮水安全水质、水量、供水及综合状况,另外,通过 GIS 专题图得到了新密市农村饮水安全状况的空间分布状况,为新密市农村饮水安全总体把握和饮水安全建设重点提供一定的借鉴。

## 参考文献:

- [1] 金菊良,吴开亚,李如忠,洪天求. 信息熵与改进模糊层次分析法耦合的区域水安全评价模型[J]. 水力发电学报,2007,26(6):61-66.
- [2] 文俊,吴开亚,金菊良,程吉林. 基于信息熵的农村饮水安全评价组合权重模型[J]. 灌溉排水学报,2006,25(4):43-47.
- [3] 张先起,梁川. 基于熵权的模糊物元模型在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报,2005,36(9):1057-1061.
- [4] 徐泽水. 互补判断矩阵的两种排序方法—权的最小平方方法及特征向量法[J]. 系统工程理论与实践,2002,(7):71-75.
- [5] 宋光兴,杨德礼. 模糊判断矩阵的一致性检验及一致性改进方法[J]. 系统工程,2003,21(1):110-116.

# Comprehensive Evaluation of Rural Drinking Water Safety in Xinmi City of Henan Province

XIAO Fang, GU Hongmei, LEI Hongjun, PAN Hongwei

(North China University of Water Conservancy and Electric Power, Henan Zhengzhou 450011, China)

**Abstract:** Based on survey of rural drinking water safety and the analysis of water insecurity factors, the index system of rural drinking water safety evaluation is established including 3 layers. By using improved entropy method, water security evaluation of Xinmi city is carried out. It is showed that by using this method, it not only reflected the real situation of rural drinking water safety, but also reflected the disparity features of water quality, water quantity, and water supply situation. It can provide some references for making more wise decisions of rural drinking water safety construction.

**Key words:** Rural drinking water safety; comprehensive evaluation; improved entropy method; Xinmi city in Henan province