

# 湖南省优质饮用水水源地模糊综合评价研究

徐幸仪, 袁艳梅, 何怀光

湖南省水利水电科学研究院, 湖南 长沙

收稿日期: 2022年4月28日; 录用日期: 2022年6月6日; 发布日期: 2022年6月29日

## 摘要

为保障居民饮水安全, 不断满足人民群众喝好水的迫切需要。以湖南省全省125个重要饮用水水源地为研究对象, 综合考虑水源地的水质稳定性、水量大小以及开发利用难易程度, 并据此采用设计供水人口、设计供水能力、年保持II类以上水质的月数、水源地位置、水源地实际供水量和设计供水能力的比值、水源地可利用水量分级共6个指标构建优质水源地评价指标体系。运用层次分析法计算各指标权重。采用模糊综合评价法对湖南省重要饮用水水源地进行评价。评价结果显示湖南省优质饮用水水源地(评价等级为V1和V2)共有43个, 占全部重要饮用水水源地的34.4%。

## 关键词

优质饮用水水源地, 重要饮用水水源地, 湖南省, 模糊综合评价

# Study on Fuzzy Comprehensive Evaluation of High-Quality Drinking Water Sources in Hunan Province

Xingyi Xu, Yanmei Yuan, Huaiguang He

Hunan Institute of Water Resources and Hydropower Research, Changsha Hunan

Received: Apr. 28<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jun. 6<sup>th</sup>, 2022; published: Jun. 29<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

To ensure the safety of drinking water for residents, and constantly meet the urgent needs of the people to drink good water. Taking 125 important drinking water sources in Hunan Province as the research objects, a evaluation index system of high-quality water source is constructed by comprehensively con-

作者简介: 徐幸仪(1986.11-), 女, 湖南常德人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水资源节约与保护研究, Email: 461416807@qq.com

sidering the water quality stability, water volume and difficulty of development and utilization of the water sources. This evaluation index system includes a total of 6 indicators: the design water supply population, design water supply capacity, and the number of months to maintain water quality above class II, the location of the water source, the ratio of the actual water supply volume, the grading of the available water volume of the water source. The weight of each indicator is calculated using the analytic hierarchy process. The fuzzy comprehensive evaluation method is used to evaluate the important drinking water sources in Hunan Province. The evaluation results show that there are 43 high-quality drinking water sources (the evaluation level is V1 and V2), accounting for 34.4% of all important drinking water sources.

## Keywords

High-Quality Drinking Water Source, Important Drinking Water Source, Hunan Province, Fuzzy Comprehensive Evaluation

Copyright © 2022 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. 引言

党的十九大报告做出我国社会主要矛盾已经转化的重大政治论断,提出了到2035年基本实现社会主要现代化的宏伟目标。社会主要矛盾的转化,在饮水安全方面集中体现为人民群众对喝好水的新需求和新期待。《湖南省水安全战略规划》(2020~2035年)提出“依托大水源、布局大水厂、建设大管网”的饮水格局,不断满足人民群众喝好水的迫切需要。然而湖南省水资源时空分布不均,尤其是优质水资源分布不均衡,部分水生态环境保护较好的城市,如永州、湘西等地水源水质较好,农田灌溉用水都是采用I类或II类优质原水,而湘江中下游局部以及洞庭湖区城市,水源水质整体较差,生活饮用水都是采用III类或者IV类水质原水,优质水源分配不均,出现了高质低配和低质高配的现象。为保障居民饮水安全,不断满足人民群众喝好水的迫切需要,需开展湖南省优质饮用水水源评价,为湖南省水资源优化配置及“大水网”建设提供技术支撑。

湖南省位于长江中游,省境绝大部分在洞庭湖以南,故称湖南;湘江贯穿省境南北,故简称湘[1]。属亚热带季风湿润气候,年平均气温 $16^{\circ}\text{C}\sim 18^{\circ}\text{C}$ 。全省多年平均降水量1450 mm,降雨时空分布不均,汛期(4~9月)降雨占全年70%以上,空间分布呈“三高二低”,东、西、南部山地较丰,中部丘陵、北部平原相对贫乏,衡邵娄与洞庭湖北部等局部地区季节性、水质性缺水较严重。全省多年平均地表水资源量1682亿 $\text{m}^3$ ,地下水资源量393.6亿 $\text{m}^3$ ,非重复计算量7.1亿 $\text{m}^3$ ,多年平均水资源总量1689亿 $\text{m}^3$ ,多年平均入境水量954亿 $\text{m}^3$ (其中长江三口入流500亿 $\text{m}^3$ );人均水资源量2440 $\text{m}^3$ ,略高于全国人均2100 $\text{m}^3$ 的水平。

## 2. 评价方法

### 2.1. 评价指标体系构建

优质饮用水水源评价指标体系是优质饮用水水源评价的依据。目前,国内外相关研究成果对优质水资源没有明确的定义,本研究根据划分的评价等级论域(见表1),将饮用水水源评价结果为V1和V2等级的重要水源定义优质饮用水源地,优质饮用水源地水质能够较长时间保持在II类以上,水量较多,开发利用潜力较大。按照系统性、科学性和实用性的原则,结合湖南省水源地的供水能力、水质情况、开发难易程度等,建立了一个能够反映湖南省水源地的综合情况的评价指标体系,见表2。

**Table 1.** Evaluation hierarchy domain**表 1.** 评价等级论域

评价等级	V1	V2	V3	V4	V5
论域	综合评分 $\geq 8.5$ 分	综合评分 $\geq 7.5$ 分	综合评分 $\geq 6$ 分	综合评分 $\geq 3$ 分	综合评分 $< 3$ 分
评价等级描述	该等级水源地水资源长时间稳定保持在 II 类以上水质, 且水量多, 开发利用的潜力大。	表示该水源地水质较长时间保持在 II 类以上水质, 水量较多, 开发利用潜力较大。	表示该水源地水质较稳定的保持在 II 类以上水质, 已进行了一定规模的开发, 但还有开发利用潜力。	表示该水源地水质不太稳定, 水质较长时间均在 II 类以下, 水量较小, 进一步开发利用空间较小。	表示该水源地水质极不稳定, 水质较长时间在 II 类以下, 水量较小, 进一步开发利用难度大。

湖南省优质饮用水水源地评价指标体系构建包括 3 个层次: 目标层、要素层、指标层。目标层为水源地水资源, 要素层分为供水能力、水质、开发难易程度三个要素, 指标层由设计供水人口、设计供水能力、年保持 II 类以上水质的月数、水源地位置、水源地实际供水量和设计供水能力的比值、水源地可利用水量分级组成。

**Table 2.** Evaluation index system of high-quality drinking water source**表 2.** 优质饮用水水源地评价指标体系

目标层	要素层	指标层	单位
优质饮用水水源地	供水能力	设计供水人口	万人
		设计年供水能力	万 $m^3$
	水质	年保持 II 类以上水质的月数	个
		水源地位置	定性指标
	开发难易程度	水源地实际供水量和设计年供水能力之比	/
		水源地可利用水量分级	定性指标

## 2.2. 评价标准

优质水源地评价过程中, 评价指标分级标准的确定是必不可少的一个步骤。根据指标评价标准才能确定优质水源地评价等级, 从而对水源地水资源进行定性定量分析。本次研究将水源地评价结果分为 5 个等级: (V1) 表示该水源地水资源长时间稳定保持在 II 类以上水质, 且水量多, 开发利用的潜力大; (V2) 表示该水源地水质较长时间保持在 II 类以上水质, 水量较多, 开发利用潜力较大; (V3) 表示该水源地水质较稳定的保持在 II 类以上水质, 已进行了一定规模的开发, 但还有开发利用潜力; (V4) 表示该水源地水质不太稳定, 水质较长时间均在 II 类以下, 水量较小, 进一步开发利用空间较小; (V5) 表示该水源地水质极不稳定, 水质较长时间在 II 类以下, 水量较小, 进一步开发利用难度大。

根据湖南省重要饮用水水源地实际情况, 参考国内外相关水资源评价指标及标准, 建立湖南省优质饮用水水源地评价指标分级标准, 见表 3。

**Table 3.** Evaluation index classification standard for high-quality drinking water sources in Hunan Province**表 3.** 湖南省优质饮用水水源地评价指标分级标准

评价指标	单位	指标等级				
		V1	V2	V3	V4	V5
设计供水人口	万人	$\geq 50$	15~50	5~15	2~5	$< 2$
设计年供水能力	万 $m^3$	$\geq 3650$	1825~3650	730~1825	548~730	$< 548$

Continued

年保持 II 类以上水质的月数	个	12	10~12	8~10	6~8	<6
水源地位置	定性指标	水源地为水库或位于四水流域上游支流	水源地位于四水流域上游	水源地位于四水流域中下游支流	水源地位于四水流域中游	水源地位于四水流域下游
水源地实际供水量和设计年供水能力之比	/	<0.2	0.2~0.5	0.5~0.8	0.8~1	≥1
水源地可利用水量分级	定性指标	水源地为大(1)型水库或河流位于四水流域下游	水源地为大(2)型水库或河流位于四水流域中游	水源地为中型水库或河流位于四水流域上游/中下游一级支流	水源地为小(1)型水库或河流位于四水流域上游一级支流	水源地为小(2)型水库或河流位于四水流域二级及以下支流

### 2.3. 模糊综合评价法

水源地综合评价方法众多,例如常规趋势法[2]、系统动力学法[3],优化模型法[4]、模糊评价法[5]、主成分法[6]、神经网络法[7]等。论文采用模糊综合评价法对湖南省优质饮用水水源地进行评价。评判步骤如下[8]:

- 建立评价因素集  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_6\}$  和评价集  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_5\}$ ;
- 确定评价指标的权重向量集  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_6\}$ , 论文采用层次分析法计算指标权重[9];
- 综合 3 位水资源行业专家根据表 3 确定各指标隶属度, 建立模糊关系矩阵  $R$ , 通过合适的合成算子进行模糊运算得到模糊综合评价结果  $B$ ;
- 为了更加直观地评价优质饮用水水源地, 采用公式(1)计算各年份优质饮用水水源地的综合评分值:

$$A = \frac{\sum_{v=1}^5 u_v \cdot a_v}{\sum_{v=1}^5 u_v} \quad (1)$$

式中:  $A$  为优质饮用水水源地综合评分值;  $u$  为模糊综合评价法的隶属度;  $v$  为优质饮用水水源地等级;  $a$  为各个等级的影响系数。

评价结果根据综合评分划分评价等级论域(见表 1), 按 5 个等级划分, 取 4 个临界值, 即  $A \geq 8.5$  时, 优质饮用水水源地为 I 级,  $8.5 < A \leq 7.5$  时, 优质饮用水水源地为 II 级;  $7.5 < A \leq 6$  时, 优质饮用水水源地为 III 级,  $6 < A \leq 3$  时, 优质饮用水水源地为 IV 级;  $A < 3$  时, 优质饮用水水源地为 V 级。

## 3. 结果分析

### 3.1. 指标权重计算

利用层次分析法计算各指标权重如图 1。

### 3.2. 评价结果

根据 2.3 的模糊评价综合法的计算步骤以及各指标评价标准, 对全省 125 个重要饮用水水源地进行评价, 其中有 11 个饮用水水源地因为关停、重金属超标等原因直接一票否决, 不再进行分项指标评价。其余 114 个水源地评价结果见表 4。

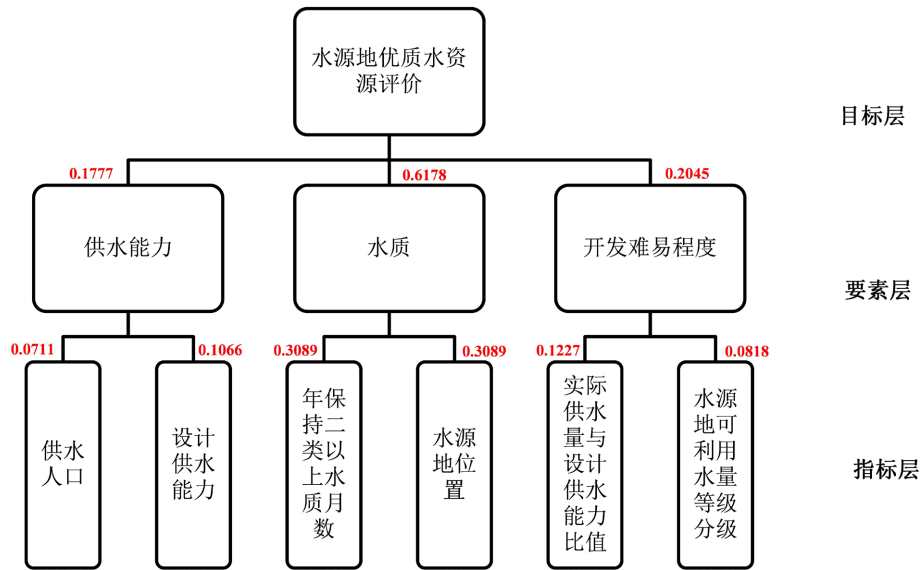


Figure 1. Hierarchical weight graph  
图 1. 分层权重图

Table 4. Statistical of high-quality and important drinking water sources in the province  
表 4. 全省优质重要饮用水水源地统计表

所属地市	序号	水源地名称	综合评价结果	
			综合评分	评价等级
衡阳市	1	耒阳市耒水水源地	7.6	V2
湘西自治州	2	湘西自治州吉首市峒河水源地	8.1	V2
	3	湘西自治州花垣县兄弟河水源地	7.6	V2
	4	湘西自治州永顺县猛洞河水源地	8.1	V2
	5	湘西自治州龙山县卧龙水库水源地	7.6	V2
	6	郴州市苏仙区山河水库水源地	8.9	V1
郴州市	7	郴州市北湖区四清水库水源地	7.9	V2
	8	资兴市东江水库水源地	8.9	V1
	9	郴州市安仁县大源水库水源地	8.2	V2
	10	郴州市桂阳县肖家山水库水源地	8.0	V2
	11	郴州市临武县长河水库水源地	8.0	V2
	12	郴州市汝城县龙虎洞水库水源地	8.5	V2
	13	郴州市桂东县沅菜水库水源地	8.8	V1
	14	郴州市永兴县龙潭水库水源地	8.7	V1
	15	郴州市宜章县黄岑水库水源地	9.2	V1
怀化市	16	怀化市舞水水源地	8.2	V2
	17	怀化市会同县渠水水源地	7.9	V2
	18	怀化市靖州县渠水水源地	7.5	V2

Continued				
怀化市	19	怀化市溆浦县溆水水源地	7.9	V2
	20	怀化市沅陵县酉水水源地	8.3	V2
娄底市	21	娄底市水府庙水库水源地	8.0	V2
	22	邵阳市邵阳县夫夷水水源地	7.7	V2
邵阳市	23	邵阳市城步县白云水库水源地	8.9	V1
	24	邵阳市隆回县赧水水源地	7.6	V2
	25	武冈市威溪水源地	8.5	V2
	26	邵阳市绥宁县虾子溪水源地	7.5	V2
	27	邵阳市新宁县夫夷水水源地	8.9	V1
永州市	28	永州市道县潇水水源地	8.4	V2
	29	永州市冷水滩区湘江水源地	8.4	V2
	30	永州市零陵区潇水水源地	8.4	V2
	31	永州市江华县潇水水源地	7.8	V2
	32	永州市祁阳县湘江水源地	8.2	V2
岳阳市	33	岳阳市铁山水库水源地	8.7	V1
	34	岳阳市云溪区双花水库水源地	8.1	V2
	35	汨罗市兰家洞水库水源地	8.1	V2
	36	临湘市龙源水库水源地	8.0	V2
张家界市	37	张家界市澧水水源地	7.8	V2
	38	张家界市索溪水源地	7.7	V2
	39	张家界市慈利县澧水水源地	7.8	V2
长沙市	40	长沙市株树桥水库水源地	9.2	V1
株洲市	41	株洲市茶陵县洣水水源地	7.94	V2
常德市	42	常德市临澧县道水水源地	7.56	V2
	43	常德市石门县澧水水源地	7.51	V2

参与评价的 114 个全省重要饮用水水源地, 评价结果为 V1 的有 9 个, 占全省重要饮用水水源地的 7.2%, 分别为郴州市苏仙区山河水库水源地、资兴市东江水库水源地、郴州市桂东县沅江水库水源地、郴州市永兴县龙潭水库水源地、郴州市宜章县黄岑水库水源地、邵阳市城步县白云水库水源地、邵阳市新宁县夫夷水水源地、岳阳市铁山水库水源地、长沙市株树桥水库水源地; 评价结果为 V2 的有 34 个, 占全省重要饮用水水源地的 27.2%; 评价结果为 V3 的有 43 个, 占全省重要饮用水水源地的 35.2%; 评价结果为 V4 的有 28 个, 占全省重要饮用水水源地的 22.4%; 参与评价的 114 个重要饮用水水源地中评价结果没有 V5 的水源地。全省优质重要饮用水水源地主要分布在湘、资、沅、澧四水的上游地区, 且以大中型水库和河流为主。

根据评价结果可知, 参与评价的 114 个重要饮用水水源地中, 评价结果为优质饮用水水源地(即评价等级为 V1 和 V2 的重要水源地)共有 43 个, 占全省重要饮用水水源地的 34.4%, 其中湘西州 4 个, 郴州市 10 个, 衡阳市 1 个, 怀化市 5 个, 娄底市 1 个, 邵阳市 6 个, 永州市 5 个, 岳阳市 4 个, 张家界市 3 个, 长沙市 1 个, 株洲

市 1 个，常德市 2 个。见图 2。



Figure 2. Distribution of high-quality and important drinking water sources in each city

图 2. 各市州优质重要饮用水水源地分布情况

### 3.3. 评价结果合理性分析

本次对于重要饮用水水源地的评价采用了设计供水人口、设计供水能力、年保持 II 类以上水质的月数、水源地位置、水源地实际供水量和设计供水能力的比值、水源地可利用水量分级共 6 个指标，综合考虑了水源地的水质稳定性、水量大小以及开发利用难易程度三个因素，由于国内对于优质水资源的研究还处于起步阶段，尚无可参考的指标选取及指标分级，因此，本次指标分级是根据本研究优质重要饮用水水源地的定义及全省 125 个重要饮用水水源地的每一项指标的取值区间划分的。同时，将评价结果与实地调研情况进行对比，评价结果与实际情况基本相符。

## 4. 结语

本文选取适当指标首次构建优质水源地评价指标体系，采用模糊综合评价法对湖南省 125 个重要饮用水源地进行评价，将评价结果与实地调研情况进行对比，评价结果与实际情况基本相符，说明本文构建的优质水源地评价指标体系较为合理。结论可以得出湖南省优质水源地分布情况，为湖南省优质水资源供给配给提供参考，有助于湖南省建立智能化的优质水资源供水水网系统。

## 基金项目

湖南水利科技重大项目(XSKJ2021000-10, XSKJ2019081-08); 湖南水利科技项目(XSKJ2019081-24, XSKJ2019081-21)。

## 参考文献

[1] 徐幸仪, 喻婷婷, 山红翠. 湖南省水利风景区建设发展思考[J]. 水资源开发与管理, 2017(2): 79-83.

- XU Xingyi, YU Tingting and SHAN Hongcui. Reflections on the construction and development of water conservancy scenic spots in Hunan Province. *Water Resources Development and Management*, 2017(2): 79-83. (in Chinese)
- [2] 曲耀光, 樊胜岳. 黑河流域水资源承载力分析计算与对策[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(1): 1-8.  
QU Yaoguang, FAN Shengyue. Analysis, calculation and countermeasures of water resources carrying capacity in the Heihe River Basin. *China Desert*, 2000, 20(1): 1-8. (in Chinese)
- [3] 赵壁奎, 杜欢欢, 邱静, 等. 基于系统动力学的水资源承载力模拟研究[J]. *广东水利水电*, 2017(11): 16-20.  
ZHAO Bikui, DU Huanhuan, QIU Jing, et al. Simulation of water resources carrying capacity based on system dynamics. *Guangdong Water Resources and Hydropower*, 2017(11): 16-20. (in Chinese)
- [4] 任冲锋. 不确定性条件下石羊河流域水资源承载力优化提升研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2017.  
REN Chongfeng. Research on optimization and improvement of water resources carrying capacity in Shiyang River Basin under uncertain conditions. Ph.D. Thesis, Beijing: China Agricultural University, 2017. (in Chinese)
- [5] MENG, L., CHEN, Y., LI, W. H., et al. Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim River Basin, Xinjiang, China. *Chinese Geographical Science*, 2009, 19(1): 89-95. <https://doi.org/10.1007/s11769-009-0089-x>
- [6] 傅湘, 纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价——主成分分析法的应用[J]. *长江流域资源与环境*, 1999(2): 168-173.  
FU Xiang, JI Changming. Comprehensive evaluation of regional water resources carrying capacity—Application of principal component analysis. *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*, 1999(2): 168-173. (in Chinese)
- [7] 杨琳琳, 李波, 付奇. 基于 BP 神经网络模型的新疆水资源承载力情景分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(2): 216-222.  
YANG Linlin, LI Bo and FU Qi. Scenario analysis of Xinjiang's water resources carrying capacity based on BP neural network model. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science Edition)*, 2016, 52(2): 216-222. (in Chinese)
- [8] 袁艳梅, 沙晓军, 刘煜晴, 等. 改进的模糊综合评价法在水资源承载力评价中的应用[J]. *水资源保护*, 2017, 33(1): 52-56.  
YUAN Yanmei, SHA Xiaojun, LIU Yuqing, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation method in water resources carrying capacity evaluation. *Water Resources Protection*, 2017, 33(1): 52-56. (in Chinese)
- [9] 吕棚棚, 毕远杰, 孔晓燕, 等. 基于模糊层次的微咸水滴灌西葫芦的最优灌水方案研究[J]. *节水灌溉*, 2020(1): 19-24.  
LV Pengpeng, BI Yuanjie, KONG Xiaoyan, et al. Research on the optimal irrigation scheme of brackish water drip irrigation for zucchini based on fuzzy hierarchy. *Water Saving Irrigation*, 2020(1): 19-24. (in Chinese)