

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2018.0124

钟姗姗刘鹂. 2007-2015年湖南省水资源安全状态与短板要素甄别[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(5): 50-56. ZHONG S S, LIU L. Water resources security state of Hunan Province during 2007-2015 and the short board factors[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2018, 16(5): 50-56. (in Chinese)

2007-2015年湖南省水资源安全状态与短板要素甄别

钟姗姗^{1,2}, 刘鹂¹

(1. 长沙理工大学 水利学院, 长沙 410004; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 长沙 410004)

摘要: 根据水资源安全内涵, 构建湖南省水资源安全评价指标体系, 采用水资源安全综合指数辨识 2007-2015 年湖南省水资源安全状态; 根据短板要素理论, 构建湖南省水资源安全评价体系多木桶模型, 采用均衡度指标度量各桶片(指标)的长度差异, 将指标分为优势要素、限制性要素和短板要素, 辨识系统短板。从纵向(年际)和横向(指标)比较分析湖南省水资源安全现状与发展趋势。结果表明: (1) 湖南省水资源安全系统, 2011 年为较不安全状态, 2015 年为较安全状态, 其余年份为临界安全状态, 2007-2015 年间湖南省水资源安全呈现前期形势较为严峻、后期矛盾缓和的特点; (2) 绘制湖南省水资源安全短板要素图, 甄别出防洪治涝形势严峻、废水及有机污染物排放量较多和工农业及生活用水量较大是当前影响湖南省水资源安全的主要短板要素。

关键词: 水资源安全; 安全状态; 短板要素; 多木桶结构; 湖南省

中图分类号: TV 213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2018) 05-0050-07

Water resources security state of Hunan Province during 2007-2015 and the short board factors

ZHONG Shanshan^{1,2}, LIU Li¹

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410004, China;

2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410004, China)

Abstract: First, based on the connotation of water resources security, we built an evaluation index system for water resources security of Hunan province, and determined the water resources security state during 2007-2015 with the integral index of water resources security. Second, we built a multi-bucket model for the evaluation system based on the short board factors theory, and measured the length difference between bucket staves (indexes) with the "equilibrium degree" index. The indexes were divided into dominant factors, restrictive factors, and short board factors. Then we compared and analyzed the status quo and development trend of water resources security of Hunan province from longitudinal (interannual) and lateral (index based) perspectives. The results indicated: (1) The water resources security system of Hunan province was in a somewhat unsafe state in 2011, and was in a somewhat safe state in 2015, and was in a critically safe state in the other years. The water resources security of Hunan province during 2007-2015 was in a severe situation in the earlier stage and it eased up in the later stage. (2) We drew a short board factors diagram of water resources security of Hunan province, and found that the main short board factors were severe flood control situation, large amounts of waste water and organic pollutants emissions, and large consumption of water for industrial, agricultural, and domestic use.

Key words: water resources security; security state; short board factors; multi-bucket structure; Hunan province

收稿日期: 2018-05-08 修回日期: 2018-07-11 网络出版时间: 2018-07-26

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20180725.1148.002.html>

基金项目: 湖南省哲学社会科学规划基金(14YBB004); 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室开放基金(2014SS08); 湖南省水利科技项目(湘水科计[2016]194-39)

Funds: Philosophy and Social Science Planning Foundation of Hunan Province (14YBB004); Open Foundation of Key Laboratory of Water Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province(2014SS08); Hunan Water Conservancy Science and Technology Project (Xiang Shui Ke Ji [2016] 194-39)

作者简介: 钟姗姗(1981-): 女, 辽宁人, 讲师, 博士, 主要从事流域规划与管理、经济评价方面研究。E-mail: zsszhong@163.com

水资源安全问题是人类水资源可持续开发利用中面临的重大挑战。区域水资源安全是指一个国家或地区拥有的水资源能够保障该地区社会经济及生态环境可持续健康发展^[1,2],关系着社会经济的平稳发展和人类生活的有序进行,同时也决定着一个国家或地区的安全与稳定。因此,分析评价区域水资源安全状态,对实现水资源合理配置、确保环境经济社会协调发展具有重要的现实意义。

水资源安全状态的度量是水资源安全问题研究中的重要领域, Henry J. F. Penn^[3]构建了四维水资源安全度量框架:可利用性、可获取性、实用性和稳定性; 闻豪等^[4]研究了经济发展与水资源安全的耦合关系; 贡力等^[5]构建了水资源安全评价指标体系; 一些水资源安全综合评价方法, 如: DPSIR 模型^[6]、水贫乏指数^[7]、vague 集相似度量模型^[8]、联系数法^[9]、熵权法^[10-11]等相继被提出。还有一些学者研究了水资源安全的实现途径, Adewale Giwa^[12]提出了水资源可持续利用及安全的一些可行性建议: 水资源再利用、建立反映成本的水资源价格机制、可持续建造规范等; 窦明^[13]从提高水资源安全保障能力角度, 设计了基于发展模式驱动的水资源安全调控模型; 邵东国等^[14]运用协调度和发展度指标分析了水资源安全系统的发展规律。但已有成果在指标要素对水资源安全状态的影响效果及短板要素识别方面的研究还较少。

湖南省水资源丰富, 拥有的平均水资源总量居全国第六位, 但水资源在时间和空间上分布极不均匀, 且与人口、耕地和工业布局极不匹配, 水资源供需矛盾较为尖锐。本文通过判别湖南省水资源安全状态, 识别水资源安全系统短板要素, 从纵向(年际)和横向(指标)两个方面分析湖南省水资源安全发展趋势, 对优化水资源配置, 提高水资源利用程度, 促进湖南省经济社会发展具有重要意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

湖南省国土面积 211 829 km², 分属长江流域(占总面积的 97.6%)和珠江流域(占总面积的 2.4%)。湘、资、沅、澧四水及汨罗江、新墙河等分别从东、南、西三面汇入洞庭湖, 并由城陵矶注入长江。湖南省属亚热带季风气候区, 雨量充沛, 降水量极为丰富。全省多年平均降水量为 1 668.9 mm, 水资源总量 2 197 亿 m³, 属于我国天然富水区之一。近年来, 随着湖南省经济建设快速发展, 各行各业对水资源开发利用都提出了新的要求, 省水资源供需矛盾

日益突出。

本研究数据来源于 2007 年至 2015 年《湖南省水资源公报》、《湖南省统计年鉴》和《湖南省环境状况公报》。

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系

根据水资源安全内涵, 水资源安全系统包括供水安全、防洪安全、水环境安全、水生态安全和社会经济安全五大安全子体系^[1]。针对湖南省水资源开发利用现状和各种统计数据获取情况, 结合相关参考文献^[15-16], 考虑指标的代表性和可获得性, 构建湖南省水资源安全评价指标体系, 见表 1。

1.2.2 水资源安全综合指数与评判等级

(1) 指标无量纲化。

表 1 所示指标体系各数据属性可划分为两类: 一类是正向指标(表 1 中记为“+”), 其取值越大, 对水资源安全综合指数影响越好; 另一类是逆向指标(表 1 中记为“-”), 其取值越小, 对水资源安全综合指数影响越好。为了消除不同量纲和量纲单位一同处理带来的不利影响, 将各指标按下式进行标准化处理^[17], 从而得到指标无量纲矩阵 $Y = \{y_{it}\}$ 。

若为“正向指标”, y_{it} 表达式如下:

$$y_{it} = [x_{it} - \min x_i] / [\max x_i - \min x_i] \quad (i = 1, 2, \dots, m \quad t = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

若为“逆向指标”, y_{it} 表达式如下:

$$y_{it} = [\max x_i - x_{it}] / [\max x_i - \min x_i] \quad (i = 1, 2, \dots, m \quad t = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: x_{it} 为第 i 个指标在第 t 个样本中的值; y_{it} 为 x_{it} 的标准化值; $\max x_i$, $\min x_i$ 分别为第 i 个指标在各样本中的最大值和最小值。

(2) 权重计算。

每一指标对水资源安全综合指数影响不同, 需对指标进行加权处理。各指标权重的计算采用熵值法^[18-19]。

计算第 i 个指标的第 t 个样本因子占所有样本因子之和的比重 y'_{it}

$$y'_{it} = \frac{y_{it}}{\sum_{i=1}^m y_{it}} \quad (3)$$

记指标 X_i 的熵值 E_i 为:

$$E_i = - \left(\frac{1}{\ln n} \right) \sum_{t=1}^n y'_{it} \ln y'_{it} \quad E_i \in [0, 1] \quad (4)$$

指标 X_i 的权重 λ_i 如下:

$$\lambda_i = \frac{1 - E_i}{\sum_{i=1}^m (1 - E_i)} \quad (5)$$

将计算得到的权重向量 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m)$ 乘以指标无量纲矩阵 Y , 从而得到赋权指标矩阵 W 为:

表 1 湖南省水资源安全评价指标体系及指标取值

Tab. 1 Evaluation index system for water resources security in Hunan province and indexes values

目标变量层	指标层	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	指标属性
供水安全 (Z ₁)	地表水资源量 X ₁ /亿 m ³	1419.3	1593.1	1393.8	1899.0	1121.0	1981.0	1574.0	1792.0	1912.0	+
	地下水水资源量 X ₂ /亿 m ³	350.4	386.2	351.7	430.0	279.9	410.3	382.1	426.2	425.5	+
	供水总量 X ₃ /亿 m ³	324.3	323.6	322.3	325.2	326.5	328.8	332.48	332.41	330.41	+
	耗水率 X ₄ (%)	44.2	41.9	44.5	42.9	41.9	41.8	41.1	42.0	40.7	-
	用水普及率 X ₅ (%)	93.7	94.6	94.8	95.2	95.7	96.4	96.9	97.1	97.3	+
水环境安全 (Z ₂)	水质优于Ⅲ类河长比 X ₆ (%)	71.5	73.4	75.9	77.1	94	95.5	98.2	97.7	98.0	+
	污水处理率 X ₇ (%)	49.8	53.0	59.2	75.0	82.8	85.8	88.36	89.52	92.7	+
	废水排放总量 X ₈ /亿 t	25.21	25.03	26.03	26.81	27.90	30.40	30.72	31.00	31.41	-
水资源安全 防洪安全 (Z ₃)	COD 排放量 X ₉ /万 t	90.36	88.45	84.84	79.81	130.51	126.33	124.90	122.90	120.77	-
	氨氮排放量 X ₁₀ /万 t	9.14	8.47	8.40	7.53	16.50	16.13	15.77	15.44	15.11	-
	蓄水工程蓄水量 X ₁₁ /亿 m ³	194.9	225.2	177.4	221.8	165.7	232.3	206.1	217.7	245.6	+
水生态安全 (Z ₄)	旱灾受灾面积 X ₁₂ /10 ³ hm ²	1173.34	5435.00	1079.75	2011.33	689.50	1064.39	634.18	1041.13	757.40	-
	旱灾受灾面积 X ₁₃ /10 ³ hm ²	1416.54	9108.00	1043.67	407.30	1977.39	0.23	2165.15	0	0	-
	水资源利用率 X ₁₄ (%)	19.2	19.2	19.1	19.3	19.4	19.5	19.7	19.7	19.6	+
社会经济安全 (Z ₅)	生态环境用水量 X ₁₅ /亿 m ³	3.21	3.35	3.46	3.20	2.55	2.48	2.87	2.68	2.7	-
	渔业总产量 X ₁₆ /万 t	170.09	178.59	188.59	198.89	200.02	220.08	233.91	247.96	261.32	+
	工农业用水总量 X ₁₇ /亿 m ³	276.45	281.03	278.65	281.15	284.79	286	287.98	287.94	285.47	-
社会经济安全 (Z ₅)	人均用水量 X ₁₈ /m ³	476	473	467	495	495	495	497	493	487	-
	万元 GDP 用水量 X ₁₉ /m ³	355	285	249	204	166	148	136	123	114	-
	人均 GDP X ₂₀ /元	14492	17521	20428	24719	29880	33480	36763	40271	42754	+
	水利环保投入占总投入比重 X ₂₁ (%)	8.2	8.6	10.3	10.41	10.06	10.27	11.42	12.44	13.64	+

$$W = \begin{Bmatrix} W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ W_{m1} & W_{m2} & \cdots & W_{mn} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} y_{11} \cdot \lambda_1 & y_{12} \cdot \lambda_1 & \cdots & y_{1n} \cdot \lambda_1 \\ y_{21} \cdot \lambda_2 & y_{22} \cdot \lambda_2 & \cdots & y_{2n} \cdot \lambda_2 \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ y_{m1} \cdot \lambda_m & y_{m2} \cdot \lambda_m & \cdots & y_{mn} \cdot \lambda_m \end{Bmatrix}$$

则第 t 年的水资源安全综合指数 W_t 为:

$$W_t = \sum_{i=1}^m W_{it} \quad (6)$$

(3) 评判等级。

由于综合指数的数值表达方式不方便评判水资源是否安全,需要将综合指标值转化为等级值。根据相关研究成果,本研究采用等间距分级的方法,建立水资源安全综合指数与评价等级的对应关系^[15,17]: [0, 0.2] 不安全(水资源安全系统面临崩溃)、(0.2, 0.4] 较不安全(水资源安全问题经常发生)、(0.4, 0.6] 临界安全(水资源安全问题时有发生)、(0.6, 0.8] 较安全(较少出现水资源安全问题)、(0.8, 1.0] 非常安全(不出现水资源安全问题)。

1.2.3 短板要素分析

短板效应理论,也称木桶理论,最初由美国管理学家彼得提出^[20],其内涵是将某个系统效果看作是由数块长短不一的木板组成的木桶,其蓄水量是由最短的一块木板决定,其他木板再长也无用,即某个系统的效率往往受制于各构成要素的最低水平。图 1 描述了湖南省水资源安全评价体系“桶中桶”的多木桶结构,湖南省水资源安全系统为“大木桶”,木桶蓄水量由水资源安全综合指数 W 表示;五大水资源安全子体系为“小木桶”,共同构成“大木桶”的桶片;小木桶的每块桶片代表了各子系统的影响要素。湖南省水资源安全系统总容量取决于 5 个子系统容量最小的木桶,而小木桶容量取决于每个子系统内部构成指标最差的部分。因此,要提高大木桶整体效应,就要找到最短木板,想方设法补齐木桶短板,而不是增加较长桶片的长度。

为甄别水资源安全系统的短板要素,提升湖南省水资源安全等级,通过计算各桶片(指标)的长度差异,辨识不符合评价系统目标要求的木桶短板,继而分析其发展趋势^[21-24]。

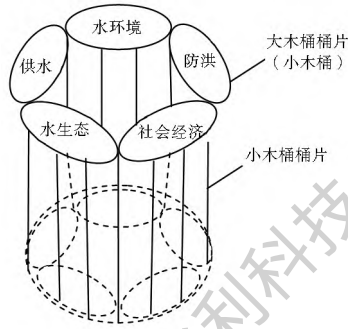


图1 水资源安全木桶模型

Fig.1 Buckets model of water resources security

记样本 t 的最优指标点为赋权指标矩阵第 t 列所有数值的最大值

$$w_i^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \{w_{it}\} = (w_1^+, w_2^+, \dots, w_n^+) \quad (7)$$

样本 t 的最劣指标点为赋权指标矩阵第 t 列所有数值的最小值

$$w_i^- = \min_{1 \leq i \leq n} \{w_{it}\} = (w_1^-, w_2^-, \dots, w_n^-) \quad (8)$$

计算各指标点到最优指标点与最劣指标点的距离

$$d_i^+ = w_i^+ - w_{it} \quad (9)$$

$$d_i^- = w_{it} - w_i^- \quad (10)$$

定义桶片均衡度 D 为:

$$D = \frac{d_i^+}{d_i^+ + d_i^-} \quad (11)$$

D 的取值范围为 $[0, 1]$ 。 D 越小,表示目标桶片与最长桶片的长度差异越小,桶片越均衡。建立短板要素判别标准^[25],见表2。

表2 水资源安全短板要素判别标准

Tab.2 Discriminating standard for short board factors of water resources security

均衡度 D	状态表征
$0 \leq D \leq 0.3$	优势要素
$0.3 < D < 0.6$	限制性要素
$0.6 \leq D \leq 1$	短板要素

2 结果与分析

2.1 湖南省水资源安全等级评价

根据前述建立的水资源安全评价模型,计算湖南省水资源安全评价指标标准值,得到各指标权重向量。

$$\lambda = (0.0317, 0.0256, 0.0503, 0.0380, 0.0361, 0.0574, 0.0449, 0.0636, 0.0712, 0.0828, 0.0356, 0.0202, 0.0203, 0.0472, 0.0468, 0.0510, 0.0673, 0.0889, 0.0295, 0.0462, 0.0454)$$

进而得到指标赋权矩阵 W ,见表3。

表3 湖南省水资源安全评价指标赋权矩阵

Tab.3 Index weight matrix of water resources security in Hunan province

指标层	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
地表水资源量 X_1 /亿 m^3	0.0110	0.0174	0.0101	0.0287	0.0000	0.0317	0.0167	0.0247	0.0292
地下水资源量 X_2 /亿 m^3	0.0120	0.0181	0.0122	0.0256	0.0000	0.0222	0.0174	0.0249	0.0248
供水总量 X_3 /亿 m^3	0.0099	0.0064	0.0000	0.0143	0.0208	0.0321	0.0503	0.0500	0.0401
耗水率 X_4 (%)	0.0030	0.0260	0.0000	0.0160	0.0260	0.0270	0.0340	0.0250	0.0380
用水普及率 X_5 (%)	0.0000	0.0090	0.0110	0.0151	0.0201	0.0271	0.0321	0.0341	0.0361
水质优于Ⅲ类河长比 X_6 (%)	0.0000	0.0041	0.0095	0.0120	0.0483	0.0516	0.0574	0.0563	0.0569
污水处理率 X_7 (%)	0.0000	0.0034	0.0098	0.0264	0.0346	0.0377	0.0404	0.0416	0.0449
废水排放总量 X_8 /亿 t	0.0618	0.0636	0.0536	0.0458	0.0350	0.0101	0.0069	0.0041	0.0000
COD 排放量 X_9 /万 t	0.0564	0.0591	0.0641	0.0712	0.0000	0.0059	0.0079	0.0107	0.0137
氨氮排放量 X_{10} /万 t	0.0679	0.0741	0.0747	0.0828	0.0000	0.0034	0.0067	0.0098	0.0128
蓄水工程蓄水量 X_{11} /亿 m^3	0.0130	0.0265	0.0052	0.0250	0.0000	0.0297	0.0180	0.0232	0.0356
洪灾受灾面积 X_{12} /10 ³ hm^2	0.0179	0.0000	0.0183	0.0144	0.0200	0.0184	0.0202	0.0185	0.0197
旱灾受灾面积 X_{13} /10 ³ hm^2	0.0172	0.0000	0.0180	0.0194	0.0159	0.0203	0.0155	0.0203	0.0203
水资源利用率 X_{14} (%)	0.0079	0.0079	0.0000	0.0157	0.0236	0.0315	0.0472	0.0472	0.0393
生态环境用水量 X_{15} /亿 m^3	0.0119	0.0053	0.0000	0.0124	0.0435	0.0468	0.0282	0.0373	0.0363
渔业总产量 X_{16} /万 t	0.0000	0.0048	0.0103	0.0161	0.0167	0.0279	0.0357	0.0435	0.0510
工农业用水总量 X_{17} /亿 m^3	0.0673	0.0405	0.0544	0.0398	0.0186	0.0116	0.0000	0.0002	0.0146
人均用水量 X_{18} / m^3	0.0622	0.0711	0.0889	0.0059	0.0059	0.0059	0.0000	0.0119	0.0296
万元 GDP 用水量 X_{19} / m^3	0.0000	0.0086	0.0130	0.0185	0.0232	0.0254	0.0269	0.0284	0.0295
人均 GDP X_{20} /元	0.0000	0.0049	0.0097	0.0167	0.0251	0.0310	0.0364	0.0421	0.0462
水利环保投入占总投入比重 X_{21} (%)	0.0000	0.0033	0.0175	0.0184	0.0155	0.0173	0.0268	0.0353	0.0454

将各年赋权指标值求和, 得到 2007- 2015 年湖南省水资源安全指数

$$W = (W_{2007}, W_{2008}, W_{2009}, W_{2010}, W_{2011}, W_{2012}, W_{2013}, W_{2014}, W_{2015}) = (0.4194, 0.4541, 0.4805, 0.5404, 0.3928, 0.5146, 0.5247, 0.5892, 0.6642)$$

根据水资源安全评判等级标准进行判别, 2011

年为较不安全状态; 2007 年、2008 年、2009 年、2010 年、2012 年、2013 年、2014 年为临界安全状态, 且这几年的安全综合指数总体呈逐年增大态势; 2015 年为较安全状态。因此, 从年际综合指数来看, 湖南省水资源安全呈现前期形势较为严峻、后期矛盾缓和的特点。

2.2 湖南省水资源安全短板要素分析

计算指标均衡度 D , 见表 4。

表 4 指标均衡度矩阵

Tab. 4 Index equilibrium degree matrix

指标层	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
地表水资源量 X_1 /亿 m^3	0.8378	0.7651	0.8870	0.7041	0.9993	0.4129	0.7095	0.5629	0.4870
地下水资源量 X_2 /亿 m^3	0.8231	0.7559	0.8627	0.7450	0.9993	0.6107	0.6975	0.5602	0.5642
供水总量 X_3 /亿 m^3	0.8543	0.9134	1.0000	0.8911	0.5700	0.4047	0.1238	0.1132	0.2956
耗水率 X_4 (%)	0.9556	0.6488	1.0000	0.8691	0.4608	0.5104	0.4073	0.5580	0.3313
用水普及率 X_5 (%)	0.9999	0.8782	0.8760	0.8817	0.5841	0.5090	0.4409	0.3957	0.3649
水质优于Ⅲ类河长比 X_6 (%)	0.9999	0.9450	0.8939	0.9210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
污水处理率 X_7 (%)	0.9999	0.9549	0.8894	0.7341	0.2842	0.2886	0.2966	0.2622	0.2102
废水排放总量 X_8 /亿 t	0.0902	0.1421	0.3971	0.4811	0.2757	0.8628	0.8809	0.9316	0.9995
COD 排放量 X_9 /万 t	0.1698	0.2031	0.2788	0.1512	0.9993	0.9499	0.8635	0.8139	0.7593
氨氮排放量 X_{10} /万 t	0.0000	0.0000	0.1593	0.0000	0.9993	1.0000	0.8833	0.8300	0.7742
蓄水工程蓄水量 X_{11} /亿 m^3	0.8082	0.6421	0.9415	0.7521	0.9993	0.4551	0.6867	0.5909	0.3738
洪灾受灾面积 X_{12} /10 ³ hm ²	0.7356	1.0000	0.7939	0.8899	0.5859	0.6895	0.6483	0.6744	0.6535
旱灾受灾面积 X_{13} /10 ³ hm ²	0.7468	1.0000	0.7975	0.8246	0.6697	0.6492	0.7303	0.6414	0.6421
水资源利用率 X_{14} (%)	0.8840	0.8939	1.0000	0.8728	0.5111	0.4183	0.1779	0.1624	0.3086
生态环境用水量 X_{15} /亿 m^3	0.8239	0.9291	1.0000	0.9158	0.0994	0.0988	0.5091	0.3393	0.3614
渔业总产量 X_{16} /万 t	0.9999	0.9360	0.8839	0.8681	0.6532	0.4914	0.3788	0.2279	0.1038
工农业用水总量 X_{17} /亿 m^3	0.0092	0.4528	0.3877	0.5590	0.6142	0.8319	1.0000	1.0000	0.7423
人均用水量 X_{18} /m ³	0.0837	0.0404	0.0000	1.0000	0.8767	0.9488	1.0000	0.7931	0.4791
万元 GDP 用水量 X_{19} /m ³	0.9999	0.8843	0.8540	0.8366	0.5199	0.5447	0.5326	0.4970	0.4805
人均 GDP X_{20} /元	0.9999	0.9333	0.8911	0.8601	0.4791	0.4274	0.3663	0.2530	0.1883
水利环保投入占总投入比重 X_{21} (%)	0.9999	0.9551	0.8032	0.8378	0.6785	0.7134	0.5327	0.3738	0.2028

绘制湖南省水资源安全短板要素图(图 2), 对湖南省水资源安全五大子系统短板要素进行分析。

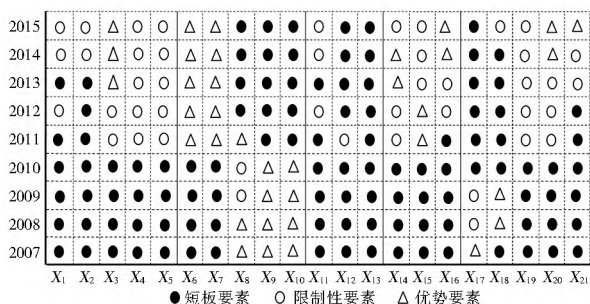


图 2 湖南省水资源安全短板要素

Fig. 2 Short board factors of water resources security in Hunan province

(1) 供水安全。

供水安全子系统 5 项指标(X_1 至 X_5) 在 2007- 2010 年均均为短板要素; 2011- 2013 年, 供水总量(X_3)、耗水率(X_4)、用水普及率(X_5) 指标均转为限制性要素或优势要素; 2014- 2015 年, 5 项指标均为限制性要素或优势要素。从 2007- 2015 年 7 年间的数据变化及发展趋势来看, 湖南省供水能力有了较大的提升, 不仅水资源总量有所增长, 供水及用水效率也明显提高。

(2) 水环境安全。

水环境安全子系统 5 项指标(X_6 至 X_{10}) 总体呈现两类发展趋势。水质优于Ⅲ类河长比(X_6) 和污水处理率(X_7) 指标在 2007- 2010 年间为短板要素; 2011- 2015 年为优势要素。说明湖南省在水资源管理制度实施和水污染控制方面取得了明显成

效,水质得到了明显改善,污水处理率也得到提高。另一方面,废水排放总量(X_8)、COD排放量(X_9)和氨氮排放量(X_{10})在2007-2010年间为限制性要素或优势要素;2011-2015年为短板要素(除2011年的废水排放总量)。主要是由于随着经济社会发展,工农业发展增速,随之而来的废水、废弃物等排放量也逐年增加。因此,总体来看,湖南省水环境安全向稳步提高趋势发展。

(3) 防洪安全。

防洪安全子系统3项指标(X_{11} 至 X_{13})在大多数年份里均为短板要素。蓄水工程蓄水量(X_{11})指标在2012年、2014年和2015年为限制性要素,其余年份为短板要素,说明蓄水工程的修建数量在提高,蓄水能力也在逐年增大。洪灾受灾面积(X_{12})和旱灾受灾面积(X_{13})在所有年份中几乎均为短板要素。分析其原因主要由于湖南省是水资源大省,但水资源的年际分布却不均衡,导致水灾和旱灾时有发生。因此,洪灾受灾面积和旱灾受灾面积两项指标并不呈现一定的规律性。

(4) 水生态安全。

水生态安全子系统3项指标(X_{14} 至 X_{16})2007-2010年均均为短板要素;2011-2015年,转变为限制性要素或优势要素。水资源利用率(X_{14})、生态环境用水量(X_{15})以及渔业总产量(X_{16})均呈现转优趋势。

水生态安全与水环境安全子系统变化方向是一致的,均为安全状态总体改善,说明近几年湖南省整体环境状态较为良好。

(5) 社会经济安全。

社会经济安全子系统5项指标(X_{17} 至 X_{21})总体呈现两种发展趋势。

工农业用水总量(X_{17})和人均用水量指标(X_{18})在2007-2009年间为限制性要素或优势要素(除2007年的人均用水量外);在2010-2015年间为短板要素。虽然近几年湖南省执行了最严格的水资源管理制度,对用水总量进行了控制,但用水量指标仍旧呈现逐年增长趋势,主要是由于社会经济发展、工农业发展需求,各类用水总量明显增多。

万元GDP用水量(X_{19})指标呈现前多后少的现象,2007-2009年间为短板要素,2010-2015年间为限制性要素,说明虽然用水总量增多,但用水效率却提高了。水利环保投入占总投入比重(X_{21})指标在2007-2012年间为短板要素,2013-2014年为限制性要素,2015年为优势要素,表明了湖南省对水利环保产业的重视。

综上所述,近5年湖南省水资源安全系统短板

主要为防洪安全子系统,其次为水环境子系统的“废水、COD、氨氮排放总量”以及社会经济安全子系统的“用水量”。

3 结论与建议

通过对湖南省水资源安全进行等级评定、短板要素识别分析,得出结论:(1)湖南省水资源总体安全等级呈逐年提高趋势;(2)防洪治涝形势严峻、废水及有机污染物排放量较多和工农业及生活用水量较大是当前影响湖南省水资源安全的主要短板要素。

针对湖南省水资源年内及年际分布不均、洪涝灾害时有发生现状,可适当扩展水利设施建造规模,以支撑经济社会发展对水资源的需求。但与此同时应进一步优化用水结构,完善水资源管理,提高水资源开发利用率。虽然湖南省水资源充沛,但仍应注重节约集约用水,进一步减少工农业耗水,提高节水水平,减少水资源损耗率。目前,湖南省水环境和生态环境趋于好转,但在社会经济发展过程中,仍需严格控制工农业污染排放,减少生活用水排放,减少污染物入河量,进一步提升水环境质量。

参考文献(References):

- [1] 夏军,石卫.变化环境下中国水安全问题研究与展望[J].水利学报,2016,47(3):292-301.(XIA J,SHI W. Perspective on water security issue of changing environment in China,China[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2016,47(3):292-301.(in Chinese))
- [2] 陈筠婷,徐建刚,许有朋.非传统安全视角下的城市水安全概念辨析[J].水科学进展,2015,26(3):443-450.(CHEN J T,XU J G,XU Y P. Conceptual discrimination on the urban water security under the perspective of non traditional security,China[J]. Advances in Water Science,2015,26(3):443-450.(in Chinese))
- [3] HENRY J F P,PHILIP A L,WILLIAM E S. Diagnosing water security in the rural North with an environmental security framework[J]. Journal of Environmental Management,2017(199):9F98. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.04.088.
- [4] 闻豪,倪福全,邓玉,等.四川省区域经济发展与水安全时空格局的耦合研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2017,38(4):33-42.(WEN H,NI F Q,DENG Y,et al. Investigation on the spatial-temporal coupling of regional economic development and water security in Sichuan province,China[J]. Journal of north China University of Water Resources and Electric Power (Natural Science edition),2017,38(4):33-42.(in Chinese). DOI: 10.3969/j.issn.1002-5634.2017.04.005.
- [5] 贡力,靳春玲.基于水贫困指数的城市水安全评价研究[J].水力发电学报,2014,33(6):84-90.(GONG L,JIN C L. Urban water security evaluation system based on water poverty index,China[J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2014,33(6):84-90.(in Chinese))
- [6] 乔旭宁,杨娅琳,杨永菊,等.基于DPSIR模型与Theil系数的河南省可持续发展评价[J].地域研究与开发,2017,36(1):18-22,28.(QIAO X N,YANG Y L,YANG Y G,et al. Applying

- DPSIR model and Theil coefficient to assess sustainable development in Henan province, China [J]. *Areal Research and Development*, 2017, 36 (1): 18-22, 28. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2017.01.004.
- [7] 邵骏, 欧应钧, 陈金凤, 等. 基于水贫乏指数的长江流域水资源安全评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(6): 889-894. (SHAO J, OU Y G, CHEN J F, et al. Water resources security of Yangtze river basin based on water poverty index, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(6): 889-894. (in Chinese) DOI: 10.11870/cjlyzyhj201606004.
- [8] 李永, 朱明, 李嘉. 基于 vague 集相似度量模型的城市水安全应急保障能力评价[J]. *水利学报*, 2009, 40(5): 608-613. (LI Y, ZHU M, LI J. Evaluation method of urban water security assurance capability for emergency rescue based on similarity measure of Vague sets, China [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(5): 608-613. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:0559-9350.2009.05.015.
- [9] 金菊良, 吴开亚, 魏一鸣. 基于联系数的流域水安全评价模型[J]. *水利学报*, 2008, 39(4): 401-409. (JIN J L, WU K Y, WEI Y M. Connection number based assessment model for watershed water security, China [J]. *Journal of Hydraulic Engineering* 2008, 39(4): 401-409. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:0559-9350.2008.04.003.
- [10] 申毅荣, 解建仓. 基于熵权和 TOPSIS 的水安全模糊物元评价模型研究及其应用[J]. *系统工程*, 2014, 32(7): 143-148. (SHEN Y R, XIE J C. Fuzzy matter element model for evaluating of water safety based on entropy weight and TOPSIS and application, China [J]. *Systems Engineering*, 2014, 32(7): 143-148. (in Chinese)
- [11] 江红, 杨小柳. 基于熵权的亚太地区水安全评价[J]. *地理科学进展*, 2015, 34(3): 373-380. (JIANG H, YANG X L. Entropy weight based water security assessment in Asia Pacific, China [J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(3): 373-380. (in Chinese) DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.03.012.
- [12] ADEWALE G, ABDALLAH D. An investigation of the feasibility of proposed solutions for water sustainability and security in water stressed environment [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017(165): 721-733. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.120
- [13] 窦明, 张华侨, 王偶. 基于发展模式驱动的水安全调控模型研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(9): 2442-2448. (DOU M, ZHANG H Q, WANG O. Research on water security regulation modelling driven by development mode, China [J]. *Systems Engineering Theory and Practice*, 2015, 35(9): 2442-2448. (in Chinese) DOI: 10.12011/1000-6788(2015)92442.
- [14] 邵东国, 杨丰硕, 刘玉龙, 等. 城市水安全指数及其评价标准[J]. *南水北调与水利科技*, 2013, 11(1): 122-126. (SHAO D G, YANG F S, LIU Y L, et al. Urban water security index and its evaluation criterion, China [J]. *South to North Water Transfers and Water Science And Technology*, 2013, 11(1): 122-126. (in Chinese)
- [15] 陆建忠, 崔肖林, 陈晓玲. 基于综合指数法的鄱阳湖流域水资源安全评价研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(2): 212-218. (LU J Z, CUI X L, CHEN X L. Assessment of water resource security in Poyang lake watershed based on composite index method, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(2): 212-218. (in Chinese) DOI: 10.11870/cjlyzyhj201502005.
- [16] 胡敬涛, 金峰, 申庆元, 等. 城市水资源安全综合评价体系研究——以山东省淄博市为例[J]. *安全与环境学报*, 2016, 16(3): 192-197. (HU J T, JIN F, SHEN Q Y. On a comprehensive evaluation system of urban water safety—a case study of Zibo City, Shandong, China [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2016, 16(3): 192-197. (in Chinese)
- [17] 余灏哲, 韩美. 基于模糊物元模型的山东省水资源安全 TOPSIS 评价[J]. *安全与环境工程*, 2015, 22(6): 1-6. (YU H Z, HAN M. TOPSIS evaluation of water resource security in Shandong province based on fuzzy matter element model, China [J]. *Safety and Environmental Engineering*, 2015, 22(6): 1-6. (in Chinese)
- [18] 吴宜进, 廖乐, 袁绪英. 基于信息熵的武汉市城市生态系统演化分析研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2013, 22(1): 21-26. (WU Y J, LIAO L, YUAN X Y. Evolution of Wuhan urban complex ecosystem based on information entropy, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze basin*, 2013, 22(1): 21-26. (in Chinese)
- [19] 牛东晓, 宋宗耘. 基于熵值法和物元可拓模型的核电站安全运行状态评价[J]. *安全与环境学报*, 2015, 15(5): 25-29. (NIU D X, SONG Z Y. Evaluation model for the nuclear power plant safety operation based on the matter element and entropy method, China [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2015, 15(5): 25-29. (in Chinese)
- [20] 周伟, 马书红. 基于木桶理论的公路交通与与经济发展适应性分析[J]. *中国公路学报*, 2003, 16(3): 77-82. (ZHOU W, MA S H. Adaptability study based on the barrel theory about highway transportation and economics, China [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2003, 16(3): 77-82. (in Chinese)
- [21] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. *农业工程学报*, 2017, 33(1): 238-249. (XIN G X, YANG C X, YANG Q Y, et al. Post evaluation of well-facilitated capital farmland construction based on entropy weight method and improved TOPSIS model, China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(1): 238-249. (in Chinese) DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.01.033.
- [22] 张凤太, 苏维词. 基于均方差-TOPSIS 模型的贵州水生态安全评价研究[J]. *灌溉排水学报*, 2016, 35(9): 88-92. (ZHANG F T, SU W C. Ecological security of water in Guizhou based on mean square deviation TOPSIS model, China [J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2016, 35(9): 88-92. (in Chinese)
- [23] 邹新波, 夏卫生, 黄道友. 基于密切值法的湖南省水资源利用现状评价[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(1): 165-168, 255. (ZOU X B, XIA W S, HUANG D Y. Evaluation on water resource use status in Hunan province: osculating value method, China [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011, 31(1): 165-168, 255. (in Chinese)
- [24] 李伟霄, 翁翎燕. 基于 TOPSIS 的城市经济与环境协调发展评价——以上海市为例[J]. *地球与环境*, 2014, 42(4): 550-554. (LI W X, WONG L Y. Evaluation of balanced development of urban economy and environment based on TOPSIS a case study in Shanghai city, China [J]. *Earth and Environment*, 2014, 42(4): 550-554. (in Chinese)
- [25] 朱凤武, 高永年, 鲍桂叶. 江苏沿海地区土地综合承载力指标预警与短板要素识别[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(21): 15-22. (ZHU F W, GAO Y N, BAO G Y. Determination of short board factors and early warning of land comprehensive carrying capacity in the coastal areas of Jiangsu province, China [J]. *Resources and Environment in the Yangtze basin*, 2015, 24(21): 15-22. (in Chinese)