

湖南省水资源开发利用程度综合评价

杨奇勇¹, 李景保¹, 王克林², 谢金宁³

(1. 湖南师范大学 资源环境科学学院, 湖南 长沙 410081; 2. 中国科学院 亚热带农业生态研究所, 湖南 长沙 410125; 3. 湖南科技大学 建筑与城乡规划学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要: 通过灰色关联分析建立湖南省水资源开发利用程度综合评价的指标体系, 利用层次分析法确定了各评价指标的权重, 对湖南省 14 个市州的水资源开发利用程度进行了评价。评价结果表明, 湖南省大多数市州的水资源开发程度综合指数低于 0.6, 因此认为湖南省水资源开发利用程度处于较低的水平。为使水资源的开发利用走可持续发展道路, 应注意水资源的保护, 节约用水, 加强水资源的管理。

关键词: 水资源开发利用程度; 综合评价; 层次分析法

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)02-0150-04

中图分类号: TV213, P343.3

Comprehensive Evaluation of Water Resource Development on AHP in Hu 'nan Province

YANG Qi-yong¹, LI Jing-bao¹, WANG Ke-lin², XIE Jin-ning³

(1. College of Resources and Environment Science, Hu 'nan Normal University, Changsha, Hu 'nan 410081, China; 2. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China;

3. School of architecture urban planning, Hunan university of science and technology, Xiangtan, Hu 'nan 411201, China)

Abstract: An evaluation index system for the development level of water resources in Hu 'nan Province is established through applying the grey relation analysis. By using the APH comprehensive evaluation method, the weight of each index is determined, and the development level of regional water resources is analyzed and evaluated. As a result, the comprehensive grade in most regions is less than 0.6, and thus it can be concluded that the development level of regional water resources in Hu 'nan Province is low. The study indicates that based on sustainable utilization of water resources, exploring and using the water resources in Hu 'nan Province should adopt reasonable measures such as water saving, water preserving and strengthened management.

Keywords: water resource development; comprehensive evaluation; APH

区域水资源开发利用程度综合评价涉及到区域资源、环境、人口、经济和社会等系统, 是一项复杂的系统工程。对某区域的水资源开发利用程度进行评价就是建立恰当的评价指标体系, 利用一定的数学模型计算, 将各指标数据耦合为一个综合指标, 即开发利用程度, 从而全面分析出其水资源开发利用程度状况^[1-2]。为水资源规划管理和水资源的可持续利用提供科学依据和决策支持。目前评价水资源承载力和开发利用程度的方法很多, 如投影寻踪法^[3]、系统动力学仿真模型法^[4]、模糊综合评判法^[5]、遗传投影寻踪插值模型(GPPIM)法等方法各有特点^[1]。本文通过全面收集湖南省各市州的数据, 利用灰色关联分析找出影响湖南省水资源综合开发利用程度的主要因子, 并在此基础上利用层次分析法^[6], 根据湖南的实际, 参照文献^[7]建立了湖南省水资源开发利用综

合评价指标体系的层次结构模型。并将湖南省 14 个市州作为评价单元对湖南省水资源开发利用程度进行综合评价^[7]。

1 综合评价模型框架

1.1 灰色关联分析法应用与评价指标体系确立

(1) 确定对研究区域水资源开发利用有显著影响的因素作为参考指标, 记为 $x_0(k)$, $k = 1, 2, \dots, m$, m 为研究区域的区域单元数, 其余因素作为比较指标, 记为 $x_i(k)$, $i = 1, 2, \dots, n$, n 为比较指标数目^[8]。

(2) 将各指标进行无量纲化, 消除因单位不同而造成的影响。无量纲化公式如下:

$$x_i(k) = \frac{x_i(k) - x_{imin}}{x_{imax} - x_{imin}} \quad (1)$$

$$x_i(k) = \frac{x_{imax} - x_i(k)}{x_{imax} - x_{imin}} \quad (2)$$

式中: $x_i(k)$ ——无量纲化后的新数列; x_{imax} , x_{imin} ——为数列中的最大者和最小者。与水资源开发利用程度正相关时用(1)式,与水资源开发利用程度负相关时用(2)式。

(3) 计算关联系数和关联度。各比较指标 $x_i(k)$ 对参考指标 $x_0(k)$ 的关联灰色关联系数计算公式:

$$o_i = \min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)| + \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)| / |x_0(k) - x_i(k)| + \max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|$$

式中: o_i ——第 i 个因素在第 k 个评价区域对参考指标的关联系数; ρ ——分辨率,本文取值 0.5; $\min_k \min_i |x_0(k) - x_i(k)|$, $\max_k \max_i |x_0(k) - x_i(k)|$ ——分别表示 i, k 中两极最小差和两极最大差。

由于关联系数数量多,信息过于分散,不便于比较,故本文采取平均值作为信息集中的一种处理方法^[9],其公式为:

$$r(i) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m o_i$$

式中: $r(i)$ ——第 i 个比较指标对参考指标的关联度。

(4) 列出关联序,根据关联度的大小选出用于分析水资源开发利用程度的指标体系。

1.2 层次分析评价模型的建立

1.2.1 建立梯阶层次结构 根据对问题的了解和初步分析,将研究对象所含指标按属性分组,以形成不同层次。同一层次的指标作为准则,对下一层次的指标起支配作用,同时它又受上一层次指标支配。这种从上到下的支配关系形成了一个梯阶层次。

1.2.2 构造两两比较判断矩阵 梯阶层次结构建

立后,就确定了水资源开发利用程度上下层指标间的关系。因此可以用判断矩阵法算出各指标对于支配其上一层指标的相对重要程度,即权重。在本模型中,采用谢菲尔德法等专家咨询方法,经过专家两两比较,得到判断矩阵。其中, t_{ij} 就是指标 i 与 j 的重要性的比例标度, m 为参与权重分配的因子数。

1.2.3 权重计算方法^[10]

(1) 计算权重设 m 阶判断矩阵为:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & \dots & t_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ t_{m1} & \dots & t_{mm} \end{bmatrix}$$

先计算判断矩阵各行元素的积 T_i 。

$$T_i = \prod_{j=1}^m t_{ij}, i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

再计算 T_i 的 n 次方根 \bar{t}_i , 得到向量 \bar{t} ,

$$\bar{t}_i = \sqrt[m]{T_i}, i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

对 \bar{t}_i 进行归一化处理,即求得指标的权重系数:

$$B_i = \frac{\bar{t}_i}{\sum_{i=1}^m \bar{t}_i} \quad (5)$$

(2) 计算判断矩阵的最大特征根

$$\lambda_{max} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m M_i / m B_i, M = TB \quad (6)$$

(3) 一致性检验

权重系数是否合理,需要对判断矩阵进行一致性检验,采用以下公式:

$$C_R = C_I / R_I \quad (7)$$

$$C_R = (\lambda_{max} - m) / (m - 1) \quad (8)$$

式中: $C_R = C_I / R_I$ ——表示判断矩阵 B 的一致性指标; R_I ——同价的平均随机一致性指标,可以通过查表(表 1) 得到。

表 1 平均随机一致性指标

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R_I 值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

当随机一致性比率 $C_R = C_I / R_I < 0.10$ 时,说明所建立的判断矩阵 T 具有满意的一致性,模型关键因子 B_i 的值是可信的。否则,就认为初步建立的判断矩阵是不能令人满意的,需要重建判断矩阵 T ,直到具有满意的一致性为止。

2 综合评价模型在湖南省的应用与分析

2.1 湖南省水资源概况

根据湖南省 2005 年以前的数据统计,多年平均降水量为 1 493.6 mm,多年地表水(浅层)资源总量

为 $1.68 \times 10^{11} \text{ m}^3$,多年地下水资源总量为 $3.92 \times 10^{10} \text{ m}^3$,多年水资源总量为 $2.07 \times 10^{11} \text{ m}^3$,人均占有量为 $3\ 095.8 \text{ m}^3$,为全国人均水量的 1.3 倍,每 1 hm^2 耕地平均占有量为 $9\ 789.9 \text{ m}^3$,为全国平均水量的 2.7 倍。总的来说,湖南省水资源丰富。但是湖南省属亚热带季风气候区,降水的季节、年际变化大,空间分布不均匀,水旱灾害频繁,且由于人为的因素,很多河段都有了不同程度的污染。如何科学地利用丰富的水资源优势解决日益暴露出的水资源问题已摆在我们面前。

2.2 关联度分析

影响水资源开发利用程度的因素很多,包括资源、环境、人口、经济和社会等复杂巨大系统,因此,对其评价就涵盖了水资源的自然属性、社会属性等。本文从水资源系统、水资源开发利用系统、水资源生态

系统和水资源社会系统等方面选取了能很好地反映湖南省水资源状况的 24 个指标,并以水资源开发利用率作为参考,进行关联分析。根据关联分析的结果筛选出人均水资源可利用量等 14 个指标(表 2)对湖南省水资源开发利用程度进行综合评价。

表 2 灰色关联分析及其选择结果

评价指标	关联度	选择结果	评价指标	关联度	选择结果
人均水资源可利用量	0.758	选	每 1 hm ² 均水资源可利用量	0.691	
降水年内集中程度	0.614		水资源可开发利用率	0.999	选
地表水占总供水比重	0.712	选	产水模数	0.623	
单位 GDP 水资源可利用量	0.611		水资源综合消耗率	0.598	
人均供用水量	0.753	选	供水模数	0.943	选
城镇人均供用水量	0.731	选	农业用水比例	0.591	
植被覆盖率	0.583		工业用水定额	0.612	
城镇人均生态面积	0.705	选	农业用水定额	0.691	
生态用水量	0.744	选	人均 GDP	0.776	选
耕地率	0.837	选	城镇居民可支配收入	0.712	选
人口密度	0.872	选	人均粮食生产量	0.696	
耕地灌溉率	0.737	选	水资源开发利用率	参考指标	选

注:原始数据来源于湖南省统计年鉴和湖南省水资源公报。

2.3 水资源开发利用综合评价层次分析模型

基于以上分析,为了使分析系统化,我们根据所选指标的特征,把水资源开发利用综合评价的层次分析模型分为 3 个层次,如图 1 所示。

其中水资源系统表征了湖南省各市州水资源总量及其分布,体现了水资源对人口、耕地、经济的承载关系;水资源开发利用系统表征了各市州水资源的供用水平和人类对水资源的调控能力;水资源生态系统是自然界活跃的因子,联系了有机界和无机界,由于人工侧支水循环的影响,使水资源在质和量上都发生了很大的变化;水资源社会系统表征了水资源的社会属性,反映了水资源与社会经济发展的密切关系。湖南省的水资源开发利用程度综合评价指数采用下式计算:

$$a_i = b_{i1} w_{b1} + b_{i2} w_{b2} + \dots + b_{im} w_{bm}$$

$$= c_{i1} w_{c1} + c_{i2} w_{c2} + \dots + c_{ij} w_{cj}$$

式中: a_i ——第 i 个市州水资源综合开发利用程度评价的综合指数; b_{im} ——分别表示影响第 i 个市州水资源综合开发利用程度评价的资源、经济、环境、人口和社会等各级系统的量化值; b_{bm} ——分别表示上述各系统的权重; c_{ij} ——第 i 个市州水资源综合开发利用程度评价参评指标的量化值; w_{cj} ——各参评指标的权重。

2.4 湖南省水资源开发利用程度等级评价

根据上述计算公式分别计算出各层指标的权重,最后得出总的权重(表 3),然后统计出湖南省各市州的水资源开发利用程度综合评价指数(表 4)。

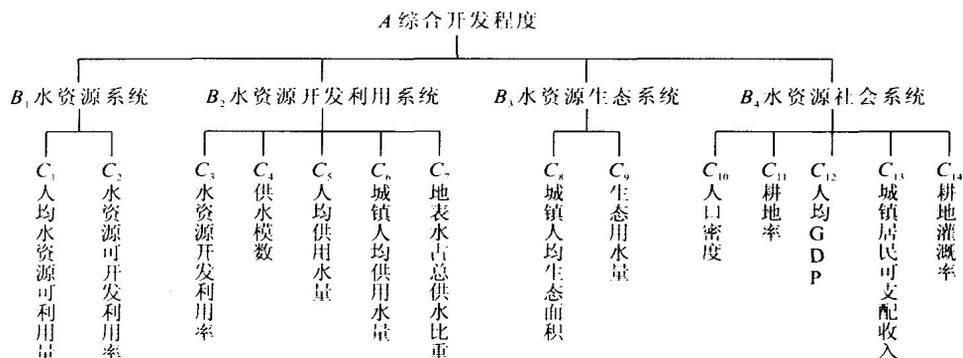


图 1 水资源开发利用综合评价指标体系的梯阶层次结构模型

表 3 权重计算结果总排序

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	综合权重 W _{ij}
C ₁	0.406	0.237	0.148	0.208	0.271
C ₂	0.667				0.135
C ₃	0.333	0.368			0.087
C ₄		0.206			0.049
C ₅		0.109			0.026
C ₆		0.207			0.049
C ₇		0.109			0.026
C ₈			0.500		0.119
C ₉			0.500		0.119
C ₁₀				0.347	0.082
C ₁₁				0.332	0.079
C ₁₂				0.118	0.028
C ₁₃				0.083	0.020
C ₁₄				0.120	0.028

表 4 湖南省水资源开发利用程度综合评价指数

地区	综合指数	开发利用程度	地区	综合指数	开发利用程度
长沙	0.921	高	张家界	0.075	低
株洲	0.651	中	益阳	0.493	中
湘潭	0.954	高	郴州	0.488	中
衡阳	0.539	中	永州	0.385	低
邵阳	0.323	低	怀化	0.144	低
岳阳	0.699	中	娄底	0.546	中
常德	0.698	中	湘西土家苗族自治州	0.068	低

由评价结果可得到各市州水资源开发利用程度的排名由高到低依次为:湘潭>长沙>岳阳>常德>株洲>娄底>衡阳>益阳>郴州>永州>邵阳>怀化>张家界>湘西土家苗族自治州。杨晓华、贾嵘等在区域水资源开发利用程度综合评价中,对其影响因素的指标进行了分级,但是湖南省是丰水地区,其水资源开发利用程度研究还刚刚开始,我们对其规律和特性的了解还不够,等级划分还没有统一的标准。对各市州水资源开发利用程度可划为几个类型并无把握。因此,在本次评价中,只能通过对同一类型的各市州进行相互比较,来进行讨论,其评价的结果也只能是相对而言。

2.5 湖南省水资源开发利用程度综合评价结果

由于本评价是在湖南省内部各区域进行的,故本文采用散点图法,将湖南省 14 个市州的水资源开发利用程度进行了 3 级划分,即高中低三级开发程度。长沙、湘潭的水资源开发利用程度高,相对来说进一步开发利用潜力较小,区域发展下去可能会出现水源的短缺。其存在的问题是:水利投入少,工程建设

滞后,工业生产、生活排污量大,供水能力不足。因此应控制人口增长,加大排污控制,加大水利投入,节约用水和废水回收利用;永州、邵阳、怀化、湘西土家苗族自治州、张家界水资源开发利用程度低,水资源开发利用潜力较大,今后经济发展中水资源的供给较为乐观。但是,经济发展水平较低,在经济建设过程中,水环境恶化较快,在今后的水资源开发利用中,应加强水环境的保护力度。常德、岳阳、娄底、株洲、益阳、郴州、衡阳水资源开发利用程度居中,水资源的开发已有相当的规模,但仍有较大的开发潜力,水资源的供给能满足经济发展的需要。在今后的开发利用过程中注意排污的控制和加大水利工程建设。

3 结论

区域水资源开发利用程度综合评价是一个多层次、多目标的综合决策问题。本文在灰色关联分析的基础上,利用层次分析法对湖南各市州的水资源开发利用程度进行了综合评价。其方法简单易用,同时在确定各评价指标权重时又避免了人的主观性,使得权重的确定更合理,评价结果更符合实际。本文评价结果排名与《湖南省 2004 年水资源公报》中湖南省各市州水资源开发利用程度的表述基本一致。因此,本评价的结果是可信的,本文采用的模型是适用的。

[参 考 文 献]

- [1] 杨晓华,杨志峰,郦建强,等. 区域水资源开发利用程度综合评价的 GPPIM[J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 760—765.
- [2] 罗朝晖,陈丹,席会华,等. 区域水资源开发利用程度综合评价的 TOPSIS 模型及其应用[J]. 广东水利水电, 2004, 12: 17—18.
- [3] 王顺久,侯玉,张欣莉,等. 流域水资源承载力的综合评价方法[J]. 水利学报, 2003(1): 88—92.
- [4] 李丽娟,郭怀成,陈冰,等. 柴达木盆地水资源承载力研究[J]. 环境科学, 2000, 21(2): 20—23.
- [5] 贾嵘,薛小杰,薛惠锋,等. 区域水资源开发利用程度综合评价[J]. 中国农村水利水电, 1999, 11: 22—24.
- [6] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社, 1988.
- [7] 来海亮,汪党献,吴涤非,等. 水资源及其开发利用综合评价指标体系[J]. 水科学进展, 2006, 17(1): 95—101.
- [8] 刘思峰,郭天榜,党耀国,等. 灰色系统理论及其應用[M]. 2000. 47—48.
- [9] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1987.
- [10] 王为人,屠梅曾. 基于层次分析法的流域水资源配置权重测算[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2005, 33(8): 1133—1136.