基于 AHP—模糊综合评价方法的泉州市水资源可持续利用评价

李俊晓[1,2], 李朝奎[1,2], 罗淑华[1,2], 陈 果[1,2]

(1. 湖南科技大学 地理空间信息技术国家地方联合工程实验室, 湖南 湘潭 411201;
2. 湖南科技大学 地理空间信息湖南省工程实验室, 湖南 湘潭 411201)

摘 要: [目的] 构建适合泉州市水资源评价的指标体系,并对泉州市水资源可持续利用进行综合评价。[方法] 结合平水年内泉州市的自然、经济、社会以及水资源资料,采用层次分析法 AHP(Analytic Hierarchy Process)—模糊综合评价方法。[结果] 泉州市水资源可持续利用综合评价结果处于中等水平,这说明泉州市水资源可持续利用状况比较良好。[结论] AHP—模糊综合评价方法简单实用,评价结果与实际情况相符合,对泉州市以及类似地区水资源的管理有一定的参考作用。

关键词: AHP; 多级模糊综合评价; 水资源可持续利用; 泉州市

文献标识码: B **文章编号**: 1000-288X(2015)01-0210-05 **中图分类号**: TV213

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.01.039

Sustainable Utilization Evaluation of Water Resources in Quanzhou City Based on AHP and Fuzzy Synthetic Judgment

LI Junxiao[1,2], LI Chaokui[1,2], LUO Shuhua[1,2], CHEN Guo[1,2]

(1. *National-local Joint Engineering Laboratory of Geo-spatial Information Technology, Hu'nan University of Science and Technology, Xiangtan, Hu'nan* 411201, *China*; 2. *Hu'nan Provincial Engineering Laboratory of Geospatial Information, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hu'nan* 411201, *China*)

Abstract: [Objective] To establish an evaluation index system for the water resources in order to analyze and evaluate the sustainable utilization of water resources in Quanzhou City. [Methods] Based on the data of environment, economy, society and water resources of Quanzhou City at the normal flow year, the AHP and fuzzy synthetic judgment method were used. [Results] The comprehensive evaluation result of sustainable utilization of water resources was in the medium level. And it showed that the sustainable utilization of water resources in Quanzhou City was in good condition. [Conclusion] The AHP—fuzzy synthetic evaluation method was simple and available, and its results accorded with actual situation. It provided certain reference function for the management of water resources in Quanzhou City.

Keywords: AHP; multilevel fuzzy synthetic judgment method; sustainable utilization of water resources; Quanzhou City

水是人类和地球上一切生物生存环境的重要支撑,也是人类社会及其经济活动发展中的重要因素[1-3]。水资源可持续利用综合评价是在区域水资源影响因素综合分析和水资源供需分析的基础上,建立相应的评价指标体系,制定评价等级标准,将研究区域各评价指标的实际值与相应的各级标准值进行比较,来判断和识别所研究区域水资源可持续利用系统达到的发展程度和发展水平的等级[4]。评价结果可揭示区域水资源可持续利用与经济、社会、环境持续发展之间的关系,能够提高区域可持续发展的可测性和可操作性。因而水资源可持续利用评价是当前可持续发展研究中的核心问题之一。

收稿日期:2014-02-10 **修回日期**:2014-02-26

资助项目:湖南科技大学研究生创新基金资助项目"车载激光扫描点云数据的分割和特征点线面的处理研究"(S130034);湖南省研究生创新基金资助项目(CX2013 B405);国土资源部公益性行业科研专项课题(201211039-4)

第一作者:李俊晓(1987—),女(汉族),河北省邯郸市人,硕士研究生,研究方向为 GIS 应用及区域水资源评价方法。E-mail:ljxiaoGIS@163.com。

通信作者:李朝奎(1967—),男(汉族),湖南省汉寿县人,博士,教授,博士生导师,主要从事三维地理建模及其应用研究。E-mail:chkl_hn@163.com。

对于区域水资源可持续利用综合评价常用的方法有基于 AHP 和模糊数学理论的综合评价方法[5]、基于 AHP 和神经网络理论(BP)的综合评价方法[6]、基于 AHP 和投影寻踪理论(PP)的综合评价方法[7]、基于 AHP 和贝叶斯网络(BN)的综合评价方法[8]等等。这些方法各有优缺点,例如神经网络法是一门高度交叉的学科,权重的编码和遗传算子的计算比较麻烦;投影寻踪方法能够在一定程度上解决对多指标样本分类等非线性问题,但是因为其采用较少的样本,建立模型对小样本问题容易产生误差。而模糊综合评判法是模糊数学所提供的解决模糊现象评估问题的一种数学模型[9]。由于影响区域水资源可持续利用的因素是多方面的,且评价指标等级划分本身具有中间过渡不分明性或者说相邻等级之间的界限具有模糊性,再加上评价指标体系本身是多级的,所以本文利用层次分析法和模糊数学综合评价相结合的方法,以泉州市为区域研究对象,建立适合泉州市水资源可持续利用评价的指标体系,并进行定量评价,以期反映泉州市水资源可持续利用的水平及其与当地社会、经济、环境的协调发展状况。

1　AHP—模数综合评价模型

1.1　层次分析法

美国运筹学家 T. L. Saaty 等人于 20 世纪 70 年代提出了层次分析法(AHP),并得到广泛应用。AHP 是一种把定性与定量分析相结合的多准则决策方法。它首先把复杂的系统分解成若干组成因素,并按它们之间的从属关系分组,建立有序的递阶层次结构;然后利用 1—9 标度法对同一层次的各元素进行两两比较,构建判断矩阵;最后进行一致性判断,因为只有通过一致性检验,才能进行后续计算;在上述步骤的基础上,进行层次总排序,得到各准则及各个指标的权重。

1.2　模糊综合评价模型

模糊综合评价分为一级和多级评价,由于水资源可持续利用本身是一个涉及社会、经济、环境的复杂系统,评价指标较多,所以采用多级模糊综合评价方法。以二级模糊综合评价方法为例,其基本原理和步骤如下:

(1) 确定被评价对象的因素集和评价集。设 $U=\{u_1,u_2,\cdots,u_k\}$ 为 n 种因素,$V=\{v_1,v_2,\cdots,v_m\}$ 为 m 种评价,由于人们对 m 种评价并不是绝对的肯定或否定,因此综合评价结果应该是 V 上的一个模糊子集,即

$$B=(b_1,b_2,\cdots,b_m)\in V$$

其中,$b_j(j=1,2,\cdots,m)$ 反映了第 j 种评价 V_j 在综合评价中所占的地位。

(2) 确定各个因素的权重值,获得权向量。确定 u_i 中 n_i 个因素的权重 A_i,$A_i=(a_{1i},a_{2i},\cdots,a_{ni})$,其中 $\sum a_{ni}=1$。

(3) 确定各个因素的隶属度向量,获得模糊评价矩阵,把权向量和模糊评价矩阵进行模糊运算,并进行归一化,得到模糊综合评价结果。

先对 u_i 中的因素进行单因素评价,根据从 U 到 V 的一个模糊映射,可以得到 u_i 中各个因素的单因素评价矩阵 R_i,其中,R_i 中第 i 行反应的是被评价对象的第 i 个因素对于评价集中各等级的隶属度;第 j 列反映的是被评价对象的各因素分别取评价集中第 j 个等级的程度。

例如,对 u_1 作模糊变换 $B_1=A_1\bigcirc R_1$,其中"○"表示广义的合成结果,$B_1=(b_1,b_2,\cdots,b_m)$ 就是对事物 u_1 的综合评价结果。

同理,可以得到 $B_2,B_3\cdots,B_k$,若 $u_1,u_2,\cdots,u_k$ 的权向量为 $A=(a_1,a_2,\cdots,a_k)$,则对 U 代表的事物的综合评价结果为 $B=A(B_1,B_2\cdots,B_K)^T$。

2　泉州市水资源可持续利用评价

2.1　研究区概况

泉州市地处福建省东南沿海,台湾海峡西岸,是福建三大中心城市之一。现辖鲤城、丰泽、洛江、泉港 4 个区,晋江、石狮、南安 3 个县级市,惠安、安溪、永春、德化、金门 5 个县和省级开发区泉州经济技术开发区。《泉州市城市总体规划(2008—2030)》的总体发展目标是将泉州建设成全国重要的先进制造业基地和海峡西岸经济区的中心城市,构建成具有国际影响力的产业集群,打造全国重要的先进制造业基地;建设海峡两岸交流合作的前沿平台,培育海峡西岸经济区重要的创业中心、文化中心、旅游名城和宜居城市。

根据《福建省水资源公报》,泉州市多年平均水资源总量约 9.50×10^9 m^3,平均年降雨量 1 682 mm,人均占有水资源量 1 188 m^3(2006—2012 年平均值),远远低于全国和全省平均水平。按照国际通用标准,泉州市属于国际上通称的"水资源紧张地区(人年均水资源量介于 1 000～1 667 m^3)"。随着泉州市社会经济的迅速发展和人民生活水平的显著提高,水资源的供需矛盾日益突出,水资源不足已经成为泉州市社会经济发展中的一个重要限制性因素,因此,研究水资源的可持续发展刻不容缓,水资源可持续发展,才能促进社会经济和谐发展,才能保证社会经济的可持

续发展。

2.2 评价指标体系的构建

根据指标选取时要考虑系统性与层次性，全面性与概括性等相结合的原则，结合泉州市水资源和社会经济现状，利用层次分析法，咨询相关专家，从水资源自身条件、水资源与社会协调情况、水资源与经济协调情况、水资源与环境协调情况 4 个方面，构建了泉州市水资源可持续利用评价指标体系（见表 1）。

表 1 泉州市水资源可持续利用评价指标体系

目标层 A	准则层 B	领域层 C	指标层 D
泉州市水资源可持续利用水平 A	水资源系统发展水平指数 B_1	水量 C_1	人均水资源量 D_1
			单位面积水资源量 D_2
		水资源开发利用程度 C_2	水资源开发利用率 D_3
			地表水控制利用率 D_4
	水资源系统与社会发展水平协调指数 B_2	社会水平 C_3	人口密度 D_5
			城镇居民恩格尔系数 D_6
			人均粮食产量 D_7
		社会用水水平 C_4	人均用水量 D_8
			人均用水定额 D_9
	水资源系统与经济发展水平协调指数 B_3	经济水平 C_5	人均 GDP D_{10}
			第一产业占 GDP 比重 D_{11}
			第三产业占 GDP 比重 D_{12}
		经济用水水平 C_6	单位 GDP 用水量 D_{13}
			工业万元增加值用水量 D_{14}
	水资源系统与环境发展水平协调指数 B_4	生态环境 C_7	森林覆盖率 D_{15}
			水土流失率 D_{16}
		保护治理 C_8	污水处理率 D_{17}

2.3 指标权重确定

根据 AHP 方法中的 1—9 标度法构建评判矩阵，利用 Matlab 计算指标的权重值，并对矩阵进行一致性检验（表 2）。

表 2 A—B 的评判矩阵

A—B	B_1	B_2	B_3	B_4	权重
B_1	1	4	3	4	0.515 8
B_2	1/4	1	1/2	1/2	0.105 4
B_3	1/3	2	1	1	0.189 4
B_4	1/4	2	1	1	0.189 4

注：$\lambda max=4.020\ 6$ CI=0.006 9 RI=0.9 CR=0.008<0.1 具有满意的一致性。

用同样方法，可以求出领域层和指标层各个因素的权重值，并对指标进行层次总排序（见表 3）。

2.4 指标参考值的确定

根据泉州市的实际情况，参考大量文献[5,9,10]和国家相关标准以及我国部分城市的现状，根据指标的可持续发展能力，划分为“很弱 V_1”“较弱 V_2”“中等 V_3”“较强 V_4”“很强 V_5”5 个等级（表 4）。

2.5 评价指标的隶属度确定

在确立隶属度函数时必须考虑各单项指标的变化规律[11]，建立各评价指标对应各等级的函数。针对各等级之间数值相差不大、而评价等级相差一级的跳跃现象，需要对其进行模糊化处理：对于中间的级别，令其落在区间中点的隶属度为 1.0，而落在区间两侧边缘点的隶属度为 0.5，中间点向两侧按线性规律递减；对于最左和最右的两侧区间，则令距离临界值越远属于两侧等级的隶属度越大，在临界上则属于两侧等级的隶属度均为 0.5。例如，对于表 4 中类型为“+”的指标，构造的各级隶属函数如下：

$$u_{v1}(u_i)=\begin{cases}0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_1}{u_i-k_2}\right) & (u_i\geqslant k_1)\\ 0.5\left(1-\dfrac{k_1-u_i}{k_1-k_2}\right) & (k_2\leqslant u_i<k_1)\\ 0 & (u_i<k_2)\end{cases}\tag{1}$$

$$u_{v2}(u_i)=\begin{cases}0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_1}{u_i-k_2}\right) & (u_i\geqslant k_1)\\ 0.5\left(1+\dfrac{k_1-u_i}{k_1-k_2}\right) & (k_2\leqslant u_i<k_1)\\ 0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_3}{k_2-k_3}\right) & (k_3\leqslant u_i<k_2)\\ 0.5\left(1-\dfrac{k_3-u_i}{k_3-k_4}\right) & (k_4\leqslant u_i<k_3)\\ 0 & (u_i<k_4)\end{cases}\tag{2}$$

表 3　泉州市水资源可持续利用评价指标的权重

准则层	权重	领域层	权重	指标层	权重	层次总排序
B_1	0.515 8	C_1	0.398 5	D_1	0.550	0.113 1
				D_2	0.450	0.092 5
		C_2	0.601 5	D_3	0.750	0.232 7
				D_4	0.250	0.077 6
B_2	0.105 4	C_3	0.404 9	D_5	0.235	0.010 0
				D_6	0.449	0.019 2
				D_7	0.317	0.013 5
		C_4	0.595 1	D_8	0.667	0.041 8
				D_9	0.333	0.020 9
B_3	0.189 4	C_5	0.410 8	D_{10}	0.518	0.040 3
				D_{11}	0.196	0.015 2
				D_{12}	0.284	0.022 1
		C_6	0.589 2	D_{13}	0.673	0.075 1
				D_{14}	0.327	0.036 5
B_4	0.189 4	C_7	0.6	D_{15}	0.500	0.056 8
				D_{16}	0.500	0.056 8
		C_8	0.4	D_{17}	1.000	0.075 8

表 4　泉州市水资源可持续利用水平评价指标分级标准

评价指标	类型	水资源可持续利用水平评价指标分级标准				
		很弱 V_1	较弱 V_2	中等 V_3	较强 V_4	很强 V_5
人均水资源量 D_1(m^3/**人**)	＋	＜500	500～1 000	1 000～2 000	2 000～4 000	＞4 000
单位面积水资源量 D_2/(m^3 · hm^{-2})	＋	＜6 000	6 000～15 000	1 000～30 000	30 000～60 000	＞60 000
水资源开发利用率 D_3/%	－	＞50	35～50	25～35	10～25	＜10
地表水控制利用率 D_4/%	－	＞25	20～25	10～20	5～10	＜5
人口密度 D_5/(**人** · km^{-2})	－	＞400	200～400	100～200	20～100	＜20
城镇居民恩格尔系数 D_6	－	＞0.59	0.50～0.59	0.40～0.50	0.30～0.40	＜0.30
人均粮食产量 D_7(kg/**人**)	＋	＜100	100～300	300～550	550～800	＞800
人均用水量 D_8(m^3/**人**)	＋	＜300	300～500	550～750	750～1 000	＞1 000
人均用水定额 D_9/(L · d^{-1})	＋	＜50	50～100	100～200	200～300	＞300
人均 GDP D_{10}(**元**/**人**)	＋	＜4 000	4 000～10 000	10 000～25 000	25 000～50 000	＞50 000
第一产业占 GDP **比重** D_{11}/%	－	＞30	15～30	12～15	3～12	＜3
第三产业占 GDP **比重** D_{12}/%	＋	＜20	20～40	40～50	50～60	＞60
单位 GDP **用水量** D_{13}(m^3/**万元**)	－	＞1 060	610～1 060	210～610	60～210	＜60
工业万元增加值用水量 D_{14}(m^3/**万元**)	－	＞350	200～350	100～200	50～100	＜50
森林覆盖率 D_{15}/%	＋	＜10	10～30	30～50	50～60	＞60
水土流失率 D_{16}/%	－	＞50	30～50	20～30	10～20	＜10
污水处理率 D_{17}/%	＋	＜20	20～40	40～60	60～80	＞80

注:“＋、－”符号表示该评价指标对水资源可持续利用评价的正负效应;“＋”表示正效应;“－”表示负效应。

$$u_{v3}(u_i)=\begin{cases}0 & (u_1\geqslant k_2)\\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_3}{k_2-k_3}\right) & (k_3\leqslant u_i<k_2)\\ 0.5\left(1+\dfrac{k_3-u_i}{k_3-k_4}\right) & (k_4\leqslant u_i<k_3)\\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_5}{k_4-k_5}\right) & (k_5\leqslant u_i<k_4)\\ 0.5\left(1-\dfrac{k_5-u_i}{k_5-k_6}\right) & (k_6\leqslant u_i<k_5)\\ 0 & (u_i<k_6)\end{cases}\tag{3}$$

$$u_{v4}(u_i)=\begin{cases}0 & (u_1\geqslant k_4)\\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_5}{k_4-k_5}\right) & (k_5\leqslant u_i<k_4)\\ 0.5\left(1+\dfrac{k_5-u_i}{k_5-k_6}\right) & (k_6\leqslant u_i<k_5)\\ 0.5\left(1+\dfrac{u_i-k_7}{k_6-k_7}\right) & (k_7\leqslant u_i<k_6)\\ 0.5\left(1-\dfrac{k_7-u_i}{k_6-u_i}\right) & (u_i<k_7)\end{cases}\tag{4}$$

$$u_{v5}(u_i)=\begin{cases}0 & (u_i\geqslant k_6)\\ 0.5\left(1-\dfrac{u_i-k_6}{k_6-k_7}\right) & (k_7\leqslant u_i<k_6)\\ 0.5\left(1+\dfrac{k_7-u_i}{k_6-u_i}\right) & (u_i<k_7)\end{cases} \quad (5)$$

同理，对于表 4 中类型为“－”的指标，也构造了各级隶属函数。根据构造的隶属函数，计算各个指标对应于各级的隶属度（表 5）。

表 5 泉州市水资源可持续利用水平评价指标隶属度

评价指标	水资源可持续利用水平评价指标隶属度				
	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
人均水资源量 D_1	0	0.27	0.73	0	0
单位面积平均水资源量 D_2	0	0	0	0.30	0.70
水资源开发利用率 D_3	0	0.18	0.83	0	0
地表水控制利用率 D_4	0.82	0.18	0	0	0
人口密度 D_5	0.88	0.12	0	0	0
城镇居民恩格尔系数 D_6	0	0	0.30	0.70	0
人均粮食产量 D_7	0.40	0.60	0	0	0
人均用水量 D_8	0.08	0.92	0	0	0
人均用水定额 D_9	0	0	0.87	0.13	0
人均 GDPD_{10}	0	0	0.32	0.68	0
一产占 GDP 比重 D_{11}	0	0	0	0.69	0.31
三产占 GDP 比重 D_{12}	0	0.69	0.31	0	0
单位 GDP 用水量 D_{13}	0	0	0.01	0.99	0
工业万元增加值用水量 D_{14}	0	0	0.76	0.24	0
森林覆盖率 D_{15}	0	0	0	0.63	0.87
水土流失率 D_{16}	0	0	0.13	0.87	0
污水处理率 D_{17}	0	0	0.20	0.80	0

注：计算隶属度时，文中各个评价指标原始数据来源于《福建省水资源公报》、《福建统计年鉴》、《泉州年鉴》、《泉州市环境质量状况公报》、《泉州水利志》以及“泉州统计信息网”。其中，指标 D_9 和 D_{17} 来源于参考文献[12]。

2.6 综合评价结果

根据计算得到的权向量和各指标的隶属度，将两者进行合成运算，得到泉州市水资源可持续利用综合评价结果如表 6 所示。

从评价结果来看，泉州市水资源可持续利用综合评价结果处于中等水平，这说明泉州市水资源可持续利用状况比较良好。这是由于近年来，泉州市针对缺水严重的情况，积极采取了相应的水管理措施，不断提高对水的利用综合效率，而且泉州市山区水资源较丰富，也使得泉州市整体的水资源利用状况较好。

表 6 泉州市水资源可持续利用水平综合评价

目标层 A	评价等级				
	很弱 V_1	较弱 V_2	中等 V_3	较强 V_4	很强 V_5
泉州市水资源可持续利用水平	0.084 3	0.150 0	0.373 8	0.308 6	0.114 0
归一化评价结果	0.080 0	0.150 0	0.360 0	0.300 0	0.110 0

3 结 论

本文采用 AHP—模糊综合评价方法对泉州市水资源可持续利用情况进行评价。构建了指标体系、确定了评价指标权重、确定了指标隶属度函数。评价结果表明，泉州市水资源在水平年内可持续利用状况良好，评价等级处于中等（V_3）。由于评价结果与实际情况相符合，进一步证明了此方法对区域水资源可持续利用综合评价具有适用性。评价结果对泉州市水资源可持续利用具有一定的指导意义。

（下转第 286 页）

究综述[J]. 环境科学与管理,2006,31(4):60-64.
[3] 蔡运龙. 土地利用/土地覆被变化研究:寻求新的综合途径[J]. 地理研究,2001,20(6):645-652.
[4] 吴健生,冯喆,高阳,等. CLUE-S 模型应用进展与改进研究[J]. 地理科学进展,2012,31(1):3-10.
[5] Gobin A, Campling P, Feyen J. Logistic modelling to derive agricultural land use determinants: A case study from southeastern Nigeria[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002,89(3):213-228.
[6] 索俊锋,赵军. 基于 CLUE-S 模型的千岛湖镇土地利用动态模拟分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(5):522-528.
[7] 王济川,郭志刚. Logistic 回归模型:方法与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
[8] Verburg P H, Soepboer W, Veldkamp A, et al. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model[J]. Environmental Management, 2002, 30(3):391-405.
[9] Veldkamp A, Fresco L O. CLUE: a conceptual model to study the conversion of land use and its effects[J]. Ecological Modelling, 1996,85(2):253-270.
[10] 张永民,赵士洞. CLUE-S 模型及其在奈曼旗土地利用时空动态变化模拟中的应用[J]. 自然资源学报,2003,18(3):310-318.
[11] Curtis I A. Valuing ecosystem goods and services: A new approach using a surrogate market and the combination of a multiple criteria analysis and a Delphi panel to assign weights to the attributes[J]. Ecological Economics, 2004,50(3):163-194.
[12] De Groot R S. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management and decision making[M]. Wolters-Noordhoff BV, 1992.
[13] Costanza R, d'Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. 1998,25(1):3-5.
[14] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.
[15] 摆万奇,张永民,阎建忠,等. 大渡河上游地区土地利用动态模拟分析[J]. 地理研究,2005,24(2):206-212.
[16] 方创琳,杨玉梅. 城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J]. 干旱区地理,2006,29(1):1-8.
[17] 段瑞娟,郝晋珉,王静. 土地利用结构与生态系统服务功能价值变化研究:以山西省大同市为例[J]. 生态经济,2005(3):60-62.

(上接第 214 页)

[参 考 文 献]

[1] 徐良芳. 区域水资源可持续利用评价指标体系及其评价方法研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2002.
[2] 盖美,李伟红. 基于可变模糊识别模型的大连市水资源与社会经济协调发展研究[J]. 资源科学,2008,30(8):1141-1146.
[3] 高媛媛,王红瑞,许新宜,等. 水资源安全评价模型构建与应用:以福建省泉州市为例[J]. 自然资源学报,2012,27(2):204-214.
[4] 金菊良,洪天求,王文圣. 基于熵和 FAHP 的水资源可持续利用模糊综合评价模型[J]. 水力发电学报,2007,26(4):22-28.
[5] 郜彗,金辉. 基于 AHP 和模糊综合评价的区域水资源可持续利用评价:以广东省江门市为例[J]. 水资源与水工程学报,2007,18(3):50-55.
[6] 张代凤. 基于 AHP-BP 模型的文山州水资源可持续利用评价分析[J]. 水资源与水工程学报,2013,24(4):203-209.
[7] 孙才志,李红新. 基于 AHP-PP 模型的大连市水资源可持续利用水平评价[J]. 水资源与水工程学报,2007,18(5):1-5.
[8] 李维乾,解建仓,李建勋等. 基于 AHP-BN 的陕西经济可持续发展水资源保障研究[J]. 水力发电学报,2012,31(5):6-13.
[9] 马艳. 基于 AHP 的西安市水资源可持续开发利用模糊综合评价[D]. 西安:长安大学,2008.
[10] 宋松柏. 区域水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2003.
[11] 卜楠楠,唐德善,尹笋. 基于 AHP 法的浙江省水资源承载力模糊综合评价[J]. 水电能源科学,2012,30(3):42-44.
[12] 王红旗,秦成,张文文. 泉州市水资源风险评价[J]. 中国农村水利水电,2010(11):18-21.