

基于模糊集对评价模型的云南省水资源监测能力评价

王 静¹, 何 幸², 刘艳慧³, 张云英⁴, 张连根¹, 柏 勇²

(1. 云南农业大学水利学院, 昆明 650201; 2. 云南农业大学资源与环境学院, 昆明 650201;
3. 云南农业大学建筑工程学院, 昆明 650201; 4. 云南省水文水资源局, 昆明 650106)

摘要:为给云南省水资源的可持续利用和管理提供科学依据,基于模糊集对评价模型,选择取用水户水量监测覆盖率、水功能区水质监测覆盖率等 11 项指标构建云南省水资源监测能力评价指标体系,确定分级标准,应用层次分析法得出各项指标权重值,然后通过联系度对云南省 16 个州(市)水资源监测能力进行评价。评价结果表明,云南省总体水资源监测能力属于中级,综合情况较好。并将评价结果与模糊综合评价法相比较,结果证明模糊集对评价模型理论严谨,计算简洁,评价结果合理可靠,为评价水资源监测能力提供了一种新方法。

关键词:模糊集对评价;水资源监测;云南省;层次分析法

中图分类号:X832

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)06-0055-05

1 引言

随着人口的不断增长以及经济社会的快速发展,云南省需水量呈持续增长趋势,水资源供需矛盾突出,并且水污染形势严峻,这在很大程度上制约了经济社会发展目标的实现^[1]。云南省当前严峻的水资源形势迫切需要全面加强水资源统一管理,开展水资源监测是水资源管理的一项重要基础性工作,而对区域水资源监测能力进行评价有助于云南省进一步强化水资源管理约束力,促进水资源可持续利用,支撑经济社会的可持续发展,因此对云南省水资源监测能力进行分析评价具有十分重要的现实意义。

评价结果的合理性取决于评价方法的科学性,经过多年的完善与经验的积累,多数评价方法已日趋成熟,典型的评价方法有模糊数学评价法、灰色系统评价法、物元评判法等。这些方法本质上都是从同一性单方面来描述事物之间的联系,然而水资源和水环境系统是一个十分复杂、随机的系统,其中存在大量的不确定因素,虽然模糊数学评价法采用模糊理论来处理这类不确定性问题,但模糊理论中隶属度的确定常常带有主观随意性,往往会将模糊不确定性在一定范围内不

确定的信息丢弃^[2],影响评价结果的准确性。而集对分析法是一种用于处理随机、模糊和信息不完全所导致的不确定性系统的理论和方法,其核心思想是把不确定性与确定性视为一个既确定又不确定的同异反系统来进行分析和数学处理。目前集对分析法在水安全评价、水资源可持续利用评价、用水水平评价和水环境质量评价等水文水资源评价中均有初步应用。卢喜^[3]等利用集对分析理论中联系度去描述有关不确定性问题,充分利用研究问题中所包含的信息,准确反映出评价区域的水安全趋势;尹志杰^[4]等应用集对分析理论建立了区域水资源可持续利用系统评价的集对分析模型,通过计算区域水资源可持续利用系统评价的 N 元联系度,确定了区域水资源可持续利用系统的综合评价级别;焦士兴^[5]等运用集对分析理论对黄河下游沿黄地区的用水水平进行定量研究,并将评价结果与多层次灰关联综合评价模型相对比,结果证明了集对分析法具有简单实用、评价结果客观等特点;杨红卫^[6]等将集对分析理论用于水质评价,结果证明该法更能清楚地反映出水体污染的综合情况,是一种有效的水质评价方法;陈丽燕^[7]等利用基于五元联系度的系统态势对湖泊富营养化程度进行等级评价,

收稿日期:2015-12-02

基金项目:云南省应用基础研究计划项目(2011FZ088)

作者简介:王静(1973-),女,云南曲靖人,讲师,主要从事水土保持及水资源的教学与研究工作。E-mail:wang_jing69@163.com

评价结果与其他评价方法基本一致,符合实际情况。但一般集对分析法往往没有充分考虑到等级标准边界的模糊性和评价指标的不同权重,而模糊集对评价法可避免这些问题。鉴此,本文采用模糊集对评价模型对云南省水资源监测能力进行评价,为评价水资源监测能力提供了一种新方法。

2 模糊集对评价模型

2.1 集对分析基本概念

集对分析理论(set pair analysis, SPA)是中国学者赵克勤于1989年提出的一种新的处理不确定性的方法^[2],其核心思想是对不确定系统的两个有关联的集合构建集对,再对集对的特性做同一性、差异性、对立性分析,然后建立集对的同异反联系度。集对分析的基础是集对的构建,关键是联系度的计算。集对指的是有一定联系两个集合组成的对子,设有联系的集合 X 和 Y , X 有 N 项表征其特性,即 $X=(x_1, x_2, \dots, x_N)$, Y 亦有 N 项表征其特性,即 $Y=(y_1, y_2, \dots, y_N)$ 。 X 和 Y 构成集对 $H(X, Y)$, 其联系度为^[8]:

$$\mu_{x-y} = a+bI+cJ = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}I + \frac{P}{N}J \quad (1)$$

式中: $a+b+c=1$, $S+F+P=N$; S/N 为集对 $H(X, Y)$ 的同一度,简记为 a ; $b=F/N$ 为差异度; $c=P/N$ 为对立度; I 为差异不确定系数,在 $(-1, 1)$ 区间视不同情况取值,有时仅起差异标记作用; J 为对立度系数,其值为 -1 , 起对立标记作用。

式(1)为常用的联系度,即3元联系度,若将其做不同层次展开,可得多元(K 元)联系度:

$$\mu_{x-y} = a+b_1I_1+b_2I_2+\dots+b_{k-2}I_{k-2}+cJ \quad (2)$$

2.2 模糊集对评价法

模糊集对评价法(FSPAAM)具体过程是首先通过咨询相关专家、查阅文献等,从系统性、科学性和代表性的角度选择评价指标,建立云南省水资源监测评价指标体系 x_1, x_2, \dots, x_m (m 为评价指标数);并根据水资源监测评价指标特性及其对社会、经济和生态环境的影响,参照国内先进地区监测水平,确定云南省水资源监测能力评价等级标准 s_k ($k=1, 2, \dots, K$; K 为评价等级数);然后进行集对的构造及联系度的计算,将评价样本第 i 指标值 x_i ($i=1, 2, \dots, m$) 看成一个集合 A_i , 第 k 级等级标准看成集合 B_k , 则 A_i 和 B_k 构成一个集对 $H(A_i, B_k)$ 。为提高评价结果的分辨率,在评价时将 B_k 定为该指标1级评价标准构成的集合 B_1 , 则 A_i 和 B_1

构成一个集对 $H(A_i, B_1)$ ^[8]。

当 $K=5$ 时,对于越大越优指标(效益型指标),集对 $H(A_i, B_1)$ 的 K 元联系度为:

$$\mu_{A_i-B_1} = \begin{cases} 1+0I_1+0I_2+0I_3+0J & x_i \geq s_1 \\ \frac{2x_i-s_1-s_2}{s_1-s_2} + \frac{2s_1-2x_i}{s_1-s_2} I_1+0I_2+0I_3+0J & \frac{s_1+s_2}{2} \leq x_i < s_1 \\ 0 + \frac{2x_i-s_2-s_3}{s_1-s_3} I_1 + \frac{s_1+s_2-2x_i}{s_1-s_3} I_2+0I_3+0J & \frac{s_2+s_3}{2} \leq x_i < \frac{s_1+s_2}{2} \\ 0+0I_1 + \frac{2x_i-s_3-s_4}{s_2-s_4} I_2 + \frac{s_2+s_3-2x_i}{s_2-s_4} I_3+0J & \frac{s_3+s_4}{2} \leq x_i < \frac{s_2+s_3}{2} \\ 0+0I_1+0I_2 + \frac{2x_i-2s_4}{s_3-s_4} I_3 + \frac{s_3+s_4-2x_i}{s_3-s_4} J & s_4 \leq x_i < \frac{s_3+s_4}{2} \\ 0+0I_1+I_2+0I_3+1J & x_i \leq s_4 \end{cases} \quad (3)$$

对于越小越优指标(成本型指标),集对 $H(A_i, B_1)$ 的 K 元联系度为:

$$\mu_{A_i-B_1} = \begin{cases} 1+0I_1+0I_2+0I_3+0J & x_i \leq s_1 \\ \frac{s_1+s_2-2x_i}{s_2-s_1} + \frac{2x_i-2s_1}{s_2-s_1} I_1+0I_2+0I_3+0J & s_1 < x_i \leq \frac{s_1+s_2}{2} \\ 0 + \frac{s_2+s_3-2x_i}{s_3-s_1} I_1 + \frac{2x_i-s_1-s_2}{s_3-s_1} I_2+0I_3+0J & \frac{s_1+s_2}{2} < x_i \leq \frac{s_2+s_3}{2} \\ 0+0I_1 + \frac{s_3+s_4-2x_i}{s_4-s_2} I_2 + \frac{2x_i-s_2-s_3}{s_4-s_2} I_3+0J & \frac{s_2+s_3}{2} < x_i \leq \frac{s_3+s_4}{2} \\ 0+0I_1+0I_2 + \frac{2s_4-2x_i}{s_4-s_3} I_3 + \frac{2x_i-s_3-s_4}{s_4-s_3} J & \frac{s_3+s_4}{2} < x_i \leq s_4 \\ 0+0I_1+I_2+0I_3+1J & x_i > s_4 \end{cases} \quad (4)$$

样本联系度的计算:设评价样本为集合 A , 所有指标1级评价等级标准为集合 B , 则集对 $H(A, B)$ 的 K 元联系度为:

$$\mu_{A-B} = \sum_{i=1}^m \omega_i \mu_{A_i-B_1} = \sum_{i=1}^m \omega_i a_i + \sum_{i=1}^m \omega_i b_{i,1} I_1 + \dots + \sum_{i=1}^m \omega_i b_{i,K-2} I_{K-2} + \sum_{i=1}^m \omega_i c_i J \quad (5)$$

令 $f_1 = \sum_{i=1}^m \omega_i a_i, \dots, f_{K-1} = \sum_{i=1}^m \omega_i b_{i,K-2}, f_K = \sum_{i=1}^m \omega_i c_i$, ω_i 表示指标 i 的权重。则式(5)变为:

$$\mu_{A-B} = f_1 + f_2 I_1 + \dots + f_{K-1} I_{K-2} + f_K J \quad (6)$$

式中: f_1 为评价样本隶属于1级标准的可能性; f_K 为评价样本隶属于 K 级标准的可能性。

最后对云南省水资源综合监测能力进行等级评判,为避免个人主观性影响评价结果,采用置信度准则^[9]评判样本所属的等级,其公式为:

$$h_k = (f_1 + f_2 + \dots + f_k) > \lambda, k=1, 2, \dots, K \quad (7)$$

式中: λ 为置信度。 λ 取值不宜过大,过大则评价结果趋向于保守、稳妥;亦不宜过小,过小则评价结果可靠性变差,风险变大。一般建议在 $[0.50\sim 0.70]$ 内取值。

3 云南省水资源监测现状评价

3.1 评价指标体系

根据《云南省实行最严格水资源管理制度考核办法》中对水资源监测要求,并重点考虑水量监测体系、水质监测体系两大体系,遵循科学、全面、客观、可行的原则构建了水资源监测评价指标体系,选择 11 个评价指标分别为取用水户水量监测覆盖率 $x_1(\%)$ 、行政区界出入境水量监测覆盖率 $x_2(\%)$ 、降雨量监测覆盖率 x_3 (站/250km²)、蒸发量监测覆盖率 x_4 (站/5 000km²)、水库湖泊蓄水量监测覆盖率 $x_5(\%)$ 、地下水水位水量监测覆盖率 x_6 (眼/1 000km²)、水功能区水质监测覆盖率 $x_7(\%)$ 、饮用水源地水质监测覆盖率 $x_8(\%)$ 、行政区界出入境水质监测覆盖率 $x_9(\%)$ 、入河排污口水质监测覆盖率 $x_{10}(\%)$ 、地下水水质监测覆盖率 x_{11} (眼/1 000km²)。

3.2 评价分级标准

评价的数据依据云南省水利统计年鉴、水资源公报、水质通报等公开统计资料及水利各专业年度统计资料,部分指标的数据由云南省水文局、水文分局及相关单位提供。

根据中华人民共和国水利行业标准《水文站网规划技术导则》(SL34—2013)、《云南省人民政府关于实行最严格水资源管理制度的意见》(云政发[2012]126号)及《云南省水资源监控能力建设项目技术实施方案(2012~2015年)》监测目标^[1],结合云南省水利发展现状,确定云南省水资源监测现状能力评价分级标准,并

对其 11 项指标提出 5 级评判等级,即强(1 级)、较强(2 级)、中(3 级)、较弱(4 级)、弱(5 级),详见表 1。

3.3 评价指标权重的确定

展开评价工作时,权重系数的合理与否直接影响到评价结果的可靠性。目前,权重系数确定方法主要分为主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法主要是由专家根据经验主观判断得到,如层次分析法、特征值法、两两比较法、专家评分法和 Delphi 法等,这些方法研究虽较成熟,但客观性较差。客观赋权法不依赖于人的主观判断,与原始数据密切相关,客观性较强,熵值法、变异系数法和主成分分析法等均为客观赋权法。这些方法均在评价工作中取得了较广泛的应用,但也有自身的局限性。本文尝试采取客观赋权法中的变异系数法进行权重计算,变异系数法是直接利用各项指标所包含的信息,通过计算得到指标的权重,但由于各指标项中指标值过于偏大或过于偏小,算出的权重与其实际重要程度相差很大,结果十分不合理,遂采用主观赋权法中的层次分析法^[10-11]计算权重。

依据层次分析法的原理,首先针对云南省水资源监测体系,建立包含指标层、准则层与目标层的综合评价体系,指标体系的目标层是云南省水资源监测体系,准则层有水量监测体系、水质监测体系两项,指标层有 11 项。然后采用 1~9 标度法,请有关专家分别给出各层次指标间的两两比较判断矩阵,依次确定评价模型各层次权重,并求出各个判断矩阵的 λ_{\max} 及其对应的特征向量,并将特征向量进行归一化处理,分析得到各个评价指标的权重,再接受一致性检验。最后综合各位专家经验,适当平衡后依次确定各项指标权重,结果见表 2。

表1 云南省水资源监测能力评价分级标准

Table1 The evaluation grading standard of the water resources monitoring ability in Yunnan province

项目	代码	1 级(强)	2 级(较强)	3 级(中)	4 级(较弱)	5 级(弱)
取用水户水量监测覆盖率 / %	x_1	>90	80~90	70~80	50~70	<50
行政区界出入境水量监测覆盖率 / %	x_2	>80	60~80	50~60	40~50	<40
降雨量监测覆盖率 / 站·(250km ²) ⁻¹	x_3	>2	1~2	0.8~1	0.6~0.8	<0.6
蒸发量监测覆盖率 / 站·(5 000km ²) ⁻¹	x_4	>2	1~2	0.8~1	0.6~0.8	<0.6
水库湖泊蓄水量监测覆盖率 / %	x_5	>90	80~90	70~80	50~70	<50
地下水水位监测覆盖率 / 眼·(1 000km ²) ⁻¹	x_6	>10	6~10	4~6	2~4	<2
水功能区水质监测覆盖率 / %	x_7	>90	80~90	70~80	50~70	<50
饮用水源地水质监测覆盖率 / %	x_8	>90	80~90	70~80	50~70	<50
行政区界出入境水质监测覆盖率 / %	x_9	>90	80~90	70~80	50~70	<50
入河排污口水质监测覆盖率 / %	x_{10}	>90	80~90	70~80	50~70	<50
地下水水质监测覆盖率 / 眼·(1 000km ²) ⁻¹	x_{11}	>1	0.6~1	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2

表2 云南省水资源监测能力评价指标权重

Table2 The index weight of the water resources monitoring ability in Yunnan province

项目	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
权重	0.137	0.137	0.077	0.077	0.045	0.028	0.159	0.159	0.092	0.055	0.034

3.4 联系度的计算

以云南省昆明市为例,定义水资源监测指标 $x_i(i=1,2,\dots,11)$ 为集合 A_i , 对应指标 1 级评价标准集合为 B_1 , 构建集对 $H(A_i, B_1)(i=1,2,\dots,11)$ 。根据分析所选水资源监测体系评价指标, 可知评价指标均为效益型指标即越大越优型, 选用式(3)计算各集对 $H(A_i, B_1)(i=1,2,\dots,11)$ 的 5 元联系度为:

$$\mu_{A_i-B_1} = a_i + b_{i,1}I_1 + b_{i,2}I_2 + b_{i,3}I_3 + c_i J \quad (8)$$

由式(8)计算的 5 元联系度结果见表 3。

表3 昆明市联系度计算结果

Table3 The results of the connection degrees in Kunming city

评价指标	$\mu_{A_i-B_1}$				
	a_i	$b_{i,1}$	$b_{i,2}$	$b_{i,3}$	c_i
x_1	0.000	0.682	0.318	0.000	0.000
x_2	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
x_3	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_4	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_5	0.000	0.800	0.200	0.000	0.000
x_6	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_7	0.000	0.960	0.040	0.000	0.000
x_8	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_9	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
x_{10}	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000
x_{11}	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000

设昆明市水资源监测能力指标值构成集合 A , 11 个指标的 1 级等级标准构成集合 B , 用式(6)计算出集对 $H(A, B)$ 的联系度为:

$$\mu_{A-B} = f_1 + f_2 I_1 + f_3 I_2 + f_4 I_3 + f_5 J = 0.313 + 0.321I_1 + 0.174I_2 + 0.000I_3 + 0.192J \quad (9)$$

由此, 可计算出其余 15 个州(市)集对 $H(A, B)$ 的联系度, 结果见表 4。

3.5 综合评价

根据置信度准则评判样本所属的等级, 即由式(7)计算 h_k 值, 计算结果见表 4 的 7~11 列。针对昆明市, 本文取 $\lambda=0.5, h_1=0.313 < 0.5, h_2=0.634 > 0.5$, 由置信度准则可判断昆明市水资源监测能力为 2 级(较强)。同理, 可判断出其它 15 个州(市)水资源监测能力等级, 其评价结果见表 5。为对比分析, 将模糊综合评价法的评价结果^[12]亦列入表 5 中。

由表 5 可知, 模糊集对评价法的评价结果与模糊综合评价法基本一致, 其中模糊集对评价法的评价结果与模糊综合评价法有 4 个地区相差一级, 其原因应该是模糊综合评价法采用最大隶属度原则判定, 但是没有考虑到隶属度的具体分布情况, 造成了一部分数据的丢失, 影响了评价的准确性, 而且模糊综合评价法主要强调“主因素”的影响, 往往导致评价结果有点

表4 各州(市)联系度计算结果及 h_k 值

Table4 The connection degrees and h_k of each region

州(市)	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
昆明市	0.313	0.321	0.174	0.000	0.192	0.313	0.634			
曲靖市	0.368	0.064	0.513	0.000	0.055	0.368	0.432	0.945		
玉溪市	0.353	0.000	0.141	0.133	0.373	0.353	0.353	0.494	0.627	
昭通市	0.449	0.029	0.085	0.063	0.374	0.449	0.478	0.563		
楚雄州	0.254	0.026	0.209	0.215	0.296	0.280	0.489	0.704		
红河州	0.408	0.000	0.250	0.205	0.137	0.408	0.408	0.658		
文山州	0.203	0.182	0.302	0.126	0.187	0.203	0.385	0.687		
普洱市	0.120	0.100	0.381	0.228	0.171	0.120	0.220	0.601		
西双版纳州	0.618	0.081	0.093	0.071	0.137	0.618				
大理州	0.520	0.121	0.171	0.143	0.045	0.520	0.641			
保山市	0.417	0.180	0.161	0.159	0.083	0.417	0.597			
德宏州	0.638	0.152	0.069	0.068	0.073	0.638				
丽江市	0.346	0.224	0.271	0.000	0.159	0.346	0.570			
怒江州	0.427	0.157	0.155	0.000	0.281	0.427	0.584			
迪庆州	0.388	0.026	0.344	0.080	0.162	0.388	0.414	0.758		
临沧市	0.383	0.157	0.146	0.060	0.254	0.383	0.530			
全省	0.274	0.102	0.266	0.246	0.112	0.274	0.376	0.642		

表5 云南省水资源监测能力评价结果

Table5 The results of water the resources monitoring ability in Yunnan province

州(市)	昆明市	曲靖市	玉溪市	昭通市	楚雄市	红河州	文山州	普洱市	西双版纳州	大理州	保山市	德宏州	丽江市	怒江州	迪庆州	临沧市	云南省
FSPAAM	2	3	4	3	3	3	3	3	1	2	2	1	2	2	3	2	3
FCEM	2	3	5	3	4	4	4	3	1	2	3	1	2	2	3	2	3

偏高。而模糊集对分析法将差异度引入函数中,即把等级之间的模糊过渡性描述出来,但它又有别于模糊综合评价的隶属度法,集对分析法是一种“宽域式”的函数结构,能充分提高信息的利用率^[13],所以评价结果较模糊综合评价结果更合理。

综合评价结果表明,西双版纳州、德宏州综合评价等级为1级,监测较完善,为水资源监测水平相对较高的地区,昆明市、大理州、保山市、丽江市、怒江州、临沧市为2级,属于3级(中)的州(市)较多,玉溪市为4级,水资源监测现状相对滞后,整体属于监测较弱地区,水资源监测水平有很大提升潜力,全省整体监测能力为3级,情况较为乐观,仍有较大进步空间。属于1、2、3级的州(市)居多,其中同一级别的 h_k 值越大越接近于上一级别,由此也可以很直观的对处于同一级别各州(市)监测能力进行比较。

4 结论

模糊集对评价法通过联系度直观反映出云南省15个州(市)水资源监测能力,勿需复杂的数学知识,理论严谨、计算简洁,易于操作,评价结果合理可靠,在同类评价中具有一定的推广应用价值,也可推广应用于其他领域。但本文是探索性的,在评价指标的选取、分级标准的确定、指标权重分配方面今后还需进一步深入研究。

参考文献:

[1] 张云英,李靖. 基于最严格水资源管理的云南省水资源监测体系研究 [R]. 昆明: 云南省水文水资源局, 2015. (ZHANG Yunying, LI Jing. Research on water resources monitoring system in Yunnan based on the strictest water resources management [R]. Kunming: Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, 2015. (in Chinese))

[2] 赵克勤. 集对分析及其初步应用 [M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 2000.(ZHAO Keqin. Set Pair Analysis and Its Primary Application [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 2000. (in Chinese))

[3] 卢敏,张展羽,石月珍. 集对分析法在水安全评价中的应用研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006,34(5):505-508. (LU Min, ZHANG Zhanyu, SHI Yuezhen. Application of set pair analysis to evaluation of water safety [J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2006,34(5):505-508. (in Chinese))

[4] 尹志杰,管玉卉,胡晓雪. 区域水资源可持续利用系统评价的集对分析模型[J]. 水资源保护, 2010,26(6):28-31. (YIN Zhijie, GUAN Yuhui, HU Xiaoxue. Set pair analysis model for assessment of regional water resources [J]. Water Resources Protection, 2010,26(6):28-31. (in Chinese))

[5] 焦士兴,王腊春,李静,等. 区域用水水平评价中的集对分析方法研究[J]. 自然资源学报, 2009,24(4):729-736. (JIAO Shixing, WANG Lachun, LI Jing, et al. Study on the application of set pair analysis method in the evaluation of regional water utilization level [J]. Journal of Natural Resources, 2009,24(4):729-736. (in Chinese))

[6] 杨红卫,王晓燕,李萍,等. 基于集对分析理论的南京市饮用水水源地水质评价[J]. 水电能源科学, 2013,(6):66-68. (YANG Hongwei, WANG Xiaoyan, LI Ping, et al. Water quality assessment of drinking water resources in Nanjing city based on set pair analysis [J]. Water Resources and Power, 2013,(6):66-68. (in Chinese))

[7] 陈丽燕,付强,魏丽丽. 集对分析在水文水资源应用的研究进展[J]. 水利科技与经, 2007,13(2):104-106. (CHENG Liyan, FU Qiang, WEI Lili. Application of five-element connection number to the quality assessment of eutrophication in lakes [J]. Research of Environmental Sciences, 2007,13(2):104-106. (in Chinese))

[8] 王文圣,李跃清,金菊良,等. 水文水资源集对分析[M]. 北京: 科学出版社, 2010. (WANG Wensheng, LI Yueqing, JIN Juliang, et al. Set Pair Analysis for Hydrology and Water Resources Systems [M]. Beijing: Science Press, 2010. (in Chinese))

[9] 程乾生. 属性识别理论模型及其应用[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1997,33(1):12-20. (CHENG Qiansheng. Attribute recognition theoretical model with application [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 1997,33(1):12-20. (in Chinese))

[10] 汪红洲,段衍衍,傅春. 基于层次分析的安徽省水安全综合评价[J]. 南水北调与水利科技, 2014,12(1):37-41. (WANG Hongzhou, DUAN Yanyan, FU Chun. Water security evaluation of Anhui province based on analytic hierarchy process [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science &Technology, 2014,12(1):37-41. (in Chinese))

[11] 刘俊华,罗隆福,张志文,等. 基于模糊集对分析法的电能质量综合评估[J]. 电网技术, 2012,36(7):81-85. (LIU (下转第 69 页))

- [4] Hjaltason G R, Samet H. Properties of embedding methods for similarity searching in metric spaces [J]. *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003,25(5):530–549.
- [5] 朱跃龙, 彭力, 李士进, 等. 水文时间序列模体挖掘 [J]. *水利学报*, 2012,43(12):1422–1430. (ZHU Yuelong, PENG Li, LI Shijin, et al. Research on hydrological time series motifs mining [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012,43(12):1422–1430. (in Chinese))
- [6] Popivanov I, Miller R J. Similarity search over time-series data using wavelets [A]. *Proceedings of 18th International Conference on Data Engineering [C]*. 2002:212–221.
- [7] Berndt D J, Clifford J. Using dynamic time warping to find patterns in time series [J]. *KDD Workshop*, 1994,10(16):359–370.
- [8] 黄荣辉, 陈栋, 刘永, 等. 中国长江流域洪涝灾害和持续性暴雨的发生特征及成因 [J]. *成都信息工程学院学报*, 2012,(1):1–19. (HUANG Ronghui, CHEN Dong, LIU Yong. Characteristics and causes of the occurrence of flooding disaster and persistent heavy rainfall in the Yangtze River valley of China [J]. *Journal of Chengdu University of Information Technology*, 2012,(1):1–19. (in Chinese))
- [9] 朱跃龙, 王咏梅, 万定生, 等. 基于语义相似的水文时间序列相似性挖掘——以太湖流域大浦口站水位数据为例 [J]. *水文*, 2011,31(1):35–40. (ZHU Yuelong, WANG Yongmei, WAN Dingsheng, et al. Similarity mining of hydrological time series based on semantic similarity measures [J]. *Journal of China Hydrology*, 2011,31(1):35–40. (in Chinese))

Embedding-based Index Model for Hydrological Time Series Similarity Searching

SHEN Qiang, WAN Dingsheng, WANG Yaming

(College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Similar pattern mining has become an important research direction in the field of Hydrology. It is a significant work to process similarity mining in historical data that can be conducive to recognize the trend pattern of hydrological data and provide technical support for the flood forecasting and flood control. Thus, this paper proposed a quick similarity search model according to hydrological sequence features. This model employed series segment, serial cluster and reference training method to generate reference set, and transferred similarity search to European vector space search with indexed by reference set so as to improve the searching efficiency.

Key words: similarity analysis; time series segmentation; clustering; embedded index

(上接第 59 页)

- Junhua, LUO Longfu, ZHANG Zhiwen, et al. Comprehensive evaluation of power quality based on fuzzy set pair analysis [J]. *Power System Technology*, 2012,36(7):81–85. (in Chinese)
- [12] 徐健, 吴玮, 黄天寅, 等. 改进的模糊综合评价法在同里古镇水质评价中的应用 [J]. *河海大学学报 (自然科学版)*, 2014,(2):143–149. (XU Jiang, WU Wei, HUANG Tianyin, et al. Application of improved fuzzy comprehensive evaluation to water quality evaluation in Tongli town [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2014,(2):143–149. (in Chinese))
- [13] 董英伟, 刘志斌, 常欢. 集对分析法在河流水质评价中的应用 [J]. *安全与环境学报*, 2008,(6):84–86. (TONG Yingwei, LIU Zhibin, CHANG Huan. Application of set pair analysis in appraising the river water quality of Fuxin [J]. *Journal of Safety and Environment*, 2008,(6):84–86. (in Chinese))

Water Resources Monitoring Ability Evaluation for Yunnan Province Based on Fuzzy Set Pair Analysis Assessment Model

WANG Jing¹, HE Xing², LIU Yanhui³, ZHANG Yunying⁴, ZHANG Liangen¹, BAI Yong²

(1. College of Water Conservancy, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. College of Resources and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. College of Architecture and Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 4. Hydrology and Water Resources of Yunnan Province, Kunming 650106, China)

Abstract: In order to provide scientific basis for sustainable utilization of water resources and water resources management in Yunnan Province, this paper used fuzzy set pair analysis assessment model to select 11 indices including the water quantity monitoring coverage rate of water users, water quality monitoring coverage rate of water function area and so on for constructing a water resources monitoring ability evaluation index system, and determining the evaluation grading standard. AHP was used to get weight value of each index, and the water resources monitoring ability for 16 regions were evaluated. The results show that the water resources monitoring ability is at the middle level. The fuzzy set pair analysis method is not only simple for calculation, but also reasonable and reliable.

Key words: fuzzy set pair analysis method; water resources monitoring; Yunnan Province; analytic hierarchy process