

基于可变模糊识别模型的辽宁省水资源安全评价研究

束月月, 盖 美, 耿雅冬

(辽宁师范大学 海洋经济与可持续发展研究中心, 辽宁 大连 116029)

摘要: 水资源的安全问题已成为制约辽宁省社会经济可持续发展的重要因素。选取 16 项评价指标构建指标体系, 选取辽宁省 2000—2009 年的统计数据, 采用改进的熵值法确定指标权重, 并划分评价等级, 运用可变模糊识别模型分别对其指标体系进行逐层评价。结果表明, 评价期间辽宁省水资源安全状况较严峻, 但总体呈现出改善的趋势。水源安全指标的系统分析显示辽宁省的水资源面临很大压力, 但大部分状态和响应指标逐渐改善。提出针对性的改善水资源安全的建议, 为辽宁省水资源管理和调控提供决策依据。

关键词: 辽宁省; 水资源安全; 可变模糊识别

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005- 8141(2013) 01- 0020- 04

Variable Fuzzy Recognition Applied to Liaoning Province Water Resource Security

SHU Yue- yue, GAI Mei, GENG Ya- dong

(Research Center of Marine Economy Sustainable Development, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract: Water resources security problem became a bottleneck restricting the Liaoning Province social economy sustainable development. This paper selected 16 evaluation indexes to build water resources safety evaluation index system of Liaoning Province. This paper used the statistical data from 2000—2009 and used the improved entropy value method to determine the index weight, to evaluate the index system by using variable fuzzy recognition model. The results showed that the water resource of Liaoning Province was facing severer challenges, although its general situation was improving slowly. Liaoning Province water resource were facing great pressure, while the values of state and response indices were improving gradually. Finally, suggestions were proposed to improve the water resource security status which would lay solid foundation for Liaoning Province water resource management and regulation.

Key words: Liaoning Province; water resource security; variable fuzzy recognition

随着辽宁省社会经济的发展, 人口的增长, 城市化水平和人民生活水平的不断提高, 工农业生产和城乡生活用水不断增加, 水资源供需矛盾日益突出。水资源短缺问题已成为制约辽宁省国民经济发展的的重要因素, 成为老工业基地社会经济持续、快速、健康发展的“瓶颈”^[1]。辽宁省水资源安全状况, 不仅直接影响资源、环境和生态安全, 社会经济安全, 甚至影响到粮食安全、国家安全等, 因此促进水资源与社会经济的和谐发展具有非常重要的战略意义。2011 年, 辽宁省水文会议分析总结了“十一五”期间辽宁省水资源、水文能力与水安全等工作进展, 并要求全省要按照“十二五”期间辽宁水文确立的目标与任务, 不断提升水服务社会能力, 提升水资源可持续的发展能力, 全面构建“五大服务体系”和“三大保障体系”。水资源安全对辽宁省社会经济可持续发展的制约已引起各级政府部门的高度重视, 成为水文学术界和相关管理部门研究的热

点^[2]。

本文在研究了相关文献资料的基础上, 采用迟静静、陈彬对水资源安全的定义: 某一区域水资源对其社会、经济、生态环境可持续发展的持续支持状态^[3]。近年来, 我国对水资源安全的理论研究不少。2003 年, 韩宇平、阮本清、解建仓等运用多层次多目标决策和模糊优选理论对我国部分省级行政区的水资源安全状况进行了评价^[4]。2010 年, 尹志杰、管玉卉利用分析理论构建了水资源安全综合评价模型, 对南京市水资源安全状况进行了综合评价^[5]。2012 年, 高媛媛、王红瑞等应用改进的层次分析法和基于因子分析的聚类分析法评价分析了泉州市近几年的水资源状况, 并对 2015 年和 2020 年的水资源安全进行了预测^[6]。目前, 对水资源安全评价分析的方法主要有层次分析法、系统动力学法、集对分析法、物元分析法等。本文采用陈守煜教授针对水资源系统的复杂性与不确定性最新提出的可变模糊识别模型, 该方法在水资源安全评价研究中的计算更简便, 评价结果更准确^[7]。

1 辽宁省水资源安全现状

近年来随着城市人口的增长、城市建设的发展, 辽

收稿日期: 2012- 11- 23; 修订日期: 2012- 12- 11

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地项目(编号:

11JJD790016); 教育部人文点研究基地项目(编号: 11JJD790051)。

第一作者简介: 束月月(1987-), 女, 江苏省扬州人, 硕士研究生, 主要从事水文与水资源研究。

宁省水资源面临着严峻的挑战。辽宁省用水指标与全国平均情况的比较见表 1。从表 1 可知, 辽宁省人均日生活用水量、万元 GDP 耗水量、单位面积农田灌溉用水量均远低于全国平均水平。由此可见, 辽宁省的节水工作相对于全国来说做得相对较好。但 2009 年辽宁省人均水资源量仅为 396m³, 仅相当于全国平均水平的 21. 8%, 远低于国际最低标准线 1000m³。因此, 辽宁省水资源严重匮乏, 供需问题严重, 属于重度缺水省份, 水量安全问题迫在眉睫。由表 1 可知, 辽宁省的水质达标河段低于全国平均水平的 8%, 水质安全状况令人堪忧。

表 1 辽宁省主要用水指标与全国平均水平的比较(2009 年)

分区	人均水资源量(m ³)	人均日生活用水量(L)	万元 GDP 耗水量(m ³)	单位面积农田灌溉用水量(m ³)	水质达标河段百分比(%)
辽宁	396	124	106	385	40. 9
全国	1816	176	178	431	58. 9

2 可变模糊识别理论的模型

可变模糊识别模型^[8]为:

$$u(\mu)_j = \frac{1}{1 + (\frac{d_{gj}}{d_{bj}})^{\alpha}} \dots\dots\dots (1)$$

式中, $u(\mu)_j$ 为方案集($j = 1, 2, \dots, n$; n 为方案数)综合相对优属度; α 为优化准则参数, $\alpha = 1$ 为最小一乘方准则, $\alpha = 2$ 为最小二乘方准则; d_{gj} 为方案 j 的距优距离, $d_{gj} = \{ \sum_{i=1}^m [\omega_i (1 - \mu_A(u)_{ij})^p]^{1/p}$; d_{bj} 为方案 j 的距劣距离, $d_{bj} = \{ \sum_{i=1}^m [\omega_i \mu_A(u)_{ij}]^p \}^{1/p}$; ω_i 为指标 i 的权重; $\mu_A(u)_{ij}$ 为方案 j 指标 i 的相对隶属度; p 为距离参数, $p = 1$ 为海明距离, $p = 2$ 为欧氏距离。

式(1)中, α, p 可搭配为以下 4 种模型: ① $\alpha = 1, p = 1$, 式(1)变为: $u(u)_j = \sum_{i=1}^m \omega_i \mu_A(u)_{ij}$, 相当于模糊综合评判模型。 ② $\alpha = 1, p = 2$, 式(1)变为: $u(u)_j = \frac{d_{ij}}{d_{bj} + d_{gj}}$, 此时相当于理想点模型, 是又一特例模型。 ③ $\alpha = 2, p = 1$, 式(1)变为: $u(u)_j = \frac{1}{1 + [1 - d_{bj}]/d_{ij}]^2}$ 为 sigmoid 型函数, 可用以描述神经网络系统中神经元的激励函数。 ④ $\alpha = 2, p = 2$, 式(1)变为: $u(u)_j = \frac{1}{1 + (\frac{d_{gj}}{d_{bj}})^2}$, 此时为模糊优选模型。最后计算出 4 个可变模型的均值, 得出安全度。

3 辽宁省水安全可变模糊识别评价

3.1 评价指标体系的构建

在研究水资源安全的过程中, 一般将水资源安全

系统看成一个由自然、环境、社会、经济子系统耦合而成的复合系统, 各个子系统间相互作用, 相互影响, 因此应综合考虑每个子系统的特征, 然后进行分析。据此, 本文运用“压力—状态—响应”模式(PSR), 根据选取指标的代表性、简明性、可操作性、综合性、可靠性原则构建了水资源安全综合评价指标体系(表 2), 测定了辽宁省水资源安全的权重。

表 2 辽宁省水资源安全综合评价指标选取及其权重

目标层	准则层	要素层	指标层	权重
水资源安全综合评价指标体系	压力指标	水资源压力 P_1	人均水资源量	0.0618
			地均水资源量	0.0620
		水环境压力 P_2	每公顷耕地化肥施用量(折纯)	0.0622
			污径比	0.0658
		社会经济压力 P_3	人均日生活用水量	0.0680
			万元 GDP 耗水量	0.0612
	状态指标	水资源状态 S_1	水资源供需比	0.0601
			单位面积农田灌溉用水量	0.0628
		水环境状态 S_2	径流系数	0.0694
			水质达标河段百分比	0.0723
		社会经济状态 S_3	工业废水排放达标率	0.0691
			人均 GDP	0.0682
响应指标	管理、投资政策、社会响应 R_1	第三产业比重		0.0671
			恩格尔系数	0.0613
		环保投资		0.0664
			第二产业比重	0.0623

注: ①地均水资源量= 水资源总量/土地面积; ②水资源供需比= 水资源总量/总供水量。

3.2 权值、相对隶属度的确定

在水安全评价指标体系中, 各个评价指标所发挥的作用有所不同, 因此其重要程度也存在差异, 这就需要选择一定的方法, 先确定各个指标的权重。本文运用的熵值法是较客观的权系数赋权方法, 其优点在于最大程度地利用了评价方案的目标值或属性值来计算各目标的权系数, 指标权重具有客观性和综合性, 但在极值或负值的情况下也会有一定的缺陷, 因此本文选取巴音达拉提出的改进熵值法来确定指标权重^[9], 计算各准则层下各评价指标的权重, 见表 2。在进行安全度综合评价时, 决策的目标通常分为特征值越大越优、越小越优型两类, 相对隶属度是以参考连续系统上的两极和中介的线性变化作为相对统一的参照系来衡量指标对系统的优属度。

相对隶属度计算公式为:

$$\mu_A(u)_j = \frac{x_j}{\max_j x_j + \min_j x_j} \dots\dots\dots (2)$$

$$\mu_A(u)_j = 1 - \frac{x_j}{\max_j x_j + \min_j x_j} \dots\dots\dots (3)$$

式中, x_{ij} 为方案 j 目标的实际值; $\max_j x_{ij}$ 为方案集中目标 i 的最大特征值; $\min_j x_{ij}$ 为方案集中目标的最小特征值。

表3 辽宁省水资源安全指标相对隶属度

准则层	指标层	年 份									
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
水资源压力	人均水资源量	0.270	0.498	0.289	0.429	0.561	0.730	0.504	0.502	0.508	0.321
	地均水资源量	0.267	0.495	0.288	0.428	0.560	0.733	0.508	0.509	0.517	0.332
	每公顷耕地化肥施用量(折纯)	0.555	0.552	0.544	0.531	0.512	0.473	0.497	0.471	0.465	0.445
	污径比	0.225	0.642	0.360	0.591	0.713	0.775	0.694	0.696	0.698	0.531
	人均日生活用水量	0.583	0.492	0.465	0.390	0.426	0.583	0.608	0.604	0.602	0.610
	万元GDP耗水量	0.258	0.321	0.381	0.441	0.492	0.561	0.595	0.652	0.713	0.742
水资源状态	水资源供需比	0.262	0.515	0.303	0.370	0.577	0.738	0.482	0.477	0.486	0.312
	单位面积农田灌溉用水量	0.506	0.521	0.528	0.521	0.515	0.472	0.482	0.477	0.489	0.488
	径流系数	0.262	0.483	0.300	0.360	0.475	0.575	0.494	0.738	0.462	0.317
	水质达标河段百分比	0.323	0.470	0.455	0.565	0.677	0.552	0.638	0.540	0.610	0.621
	工业废水排放达标率	0.457	0.484	0.502	0.523	0.537	0.543	0.531	0.528	0.505	0.491
	人均GDP	0.243	0.261	0.282	0.310	0.344	0.413	0.475	0.567	0.692	0.757
	第三产业比重	0.486	0.507	0.516	0.516	0.525	0.511	0.509	0.501	0.475	0.483
	恩格尔系数	0.482	0.494	0.506	0.498	0.485	0.506	0.506	0.518	0.508	0.516
社会响应	环保投资	0.305	0.222	0.379	0.594	0.521	0.683	0.778	0.557	0.770	0.743
	第二产业比重	0.489	0.507	0.514	0.509	0.533	0.511	0.501	0.494	0.467	0.471

3.3 辽宁省水安全现状的评价

根据各项指标,运用可变模糊识别模型,本文计算辽宁省水资源安全结果见表4。水资源安全判断标准是根据国内外相关规定与水资源安全的的相关文献和辽宁省的实际情况,最后结合辽宁省水资源安全多年的平均情况发展水平确定其水资源—社会经济可持续发展评价指标分级标准,见表5。从1—10级分别为极端不安全、严重不安全、中度不安全、轻度不安全、濒临不安全、勉强安全、初级安全、中级安全、良好安全和优质安全。

表4 基于可变模糊识别模型所得的辽宁省水资源安全度

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
水资源压力安全度	0.372	0.498	0.394	0.467	0.542	0.629	0.563	0.567	0.553	0.471
水资源状态安全度	0.361	0.459	0.407	0.452	0.528	0.548	0.522	0.551	0.541	0.501
社会响应安全度	0.440	0.432	0.477	0.530	0.516	0.554	0.573	0.518	0.555	0.554
综合安全度	0.391	0.463	0.426	0.483	0.529	0.577	0.553	0.546	0.550	0.509

表5 水资源安全判断标准

极端不安全	严重不安全	中度不安全	轻度不安全	濒临不安全	勉强安全	初级安全	中级安全	良好安全	优质安全
0—0.09	0.10—0.19	0.20—0.29	0.30—0.39	0.40—0.49	0.50—0.59	0.60—0.69	0.70—0.79	0.80—0.89	0.90—1.00

4 评价结果分析

4.1 辽宁省水资源安全各子系统分析

水资源压力系统:从水资源压力系统的评价结果来看,该系统近十年安全度起伏较明显。总的来说,2000—2005年辽宁省水资源压力呈大幅上升趋势,2005年后的下降趋势明显。受地形气候等因素影响,辽宁省水源主要取决于大气降水,水资源量时间分布不均,2000年是建国以来最严重的干旱年,而这5年

辽宁省降水量呈上升趋势,2005年比2000年降水量高出338.8亿m³,人均水资源量上升了1.7倍,地均水资源量上升了1.75倍。辽宁省积极采取水资源保护和政策调控,提高水资源利用率,节约用水,从而使万元GDP水耗下降了71万m³,人均日生活用水量也在降低,说明这5年水量压力在减小。水资源压力系统安全度2005年达到近十年顶峰,属于初级安全。结合各压力指标数据分析原因,2005年全省平均降水量比多年平均多8.9%,属平水偏丰年份。因此,2005年辽宁省的人均水资源量比多年平均高58.4%,地均水资源量也高58.1%,污径比和污水排放量占地表径流量的7.9%,小于其他年份,所以2005年水资源压力安全度比其他年份高。2006—2008年辽宁省水资源压力安全度在勉强安全限度内上下浮动,而在2009年辽宁省水资源压力安全度又有明显下降。2009年辽宁省水资源总量仅为170.98亿m³,比常年低,仅高于2000年和2002年干旱年;污径比是2005年的2.1倍,耕地化肥施用量(折纯)呈逐年递增趋势,2009年高达327.1kg/m²,显然水质压力大幅增加,因此该年的水资源压力安全度大幅下降,濒临不安全。

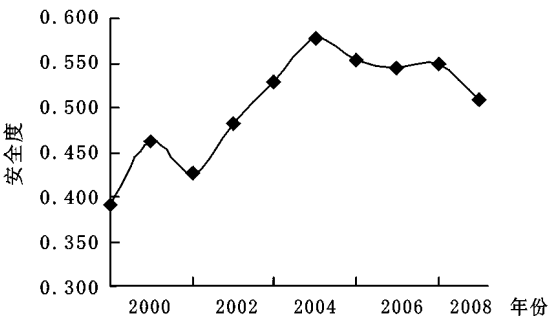


图1 辽宁省水资源综合安全度

水资源状态系统:从水资源状态系统看,评价年总体呈上升趋势,2000年辽宁省水资源状态安全度最低,仅为0.361,2007年安全度最高。2000年辽宁省污水排放量为10年最高的28.6亿t,而工业废水排放达标率仅为79.96%,远远低于其他年份,水质达标河段的百分比仅为21.3%,低于多年平均的15%,结合水资源压力系统分析可知,2000年水量和水质均不安全。水资源安全情况直接制约着社会经济的发展,该年辽宁省的GDP仅为GDP最高年份2009年的32%,农田灌溉用水量也较大。根据产业结构可见,该年工业所占比重为多年中较大,这就导致需水量大而可供水量少,进而致使2000年水资源供需比为近年最低值的1.007。2007年辽宁省完成水土流失综合治理面积13.72万hm²,使河流径流量增大。此外,大伙房水库工程建设取得重大进展,“引细入汤”工程全面完成并于当年11月份正式通水,这些使地表水可利用水资源

相对丰富,水资源状态安全度径流系数高达 0.402。而 2009 年辽宁省的水资源状态系统安全度有所降低,其原因是 2009 年平均降水量为 309.1mm,比多年均值 479mm 少 35.5%,主要控制站径流比常年大量减少,河道断流严重,全省 27 座大型水库总蓄水量 45.59 亿 m^3 ,比 2008 年同期的 61.29 亿 m^3 少 15.70 亿 m^3 ,致使水资源供需比仅为 0.197。值得一提的是,近 10 年来辽宁省人均 GDP 呈逐年递增趋势,2009 年人均 GDP 达到近 10 年的最高值 35222.27 元/人,比 10 年前提高了 74.3%;而工业废水排放达标量近年来呈上升趋势,2009 年却有所下降。辽宁省在经济得到大力发展的同时,水资源的压力也有所增大。

社会响应系统:从表 3 可知,辽宁省对社会响应系统的评价结果呈整体上升趋势,2001 年最低,2006 年达到最高值的 0.573。2001 年辽宁省环保投资仅为 723150 万元,低于近 10 年平均水平的 1/2。此后,环保投资呈逐年上升趋势,2006 年投资额为 2538849 万元。辽宁省第三产业对水资源压力较小,第二产业对水资源的压力较大,第三产业的比重自 2004 年以来呈上升趋势。2005 年国家提出“加快振兴东北老工业基地”的政策,辽宁省第二产业比重开始上升。为了在环渤海竞争中抢占先机,2008 年和 2009 年是辽宁省工业化的“补课阶段”,工业总产值分别达到 2 万亿元、2.8 万亿元。因此,辽宁省水资源压力有所增大,该系统安全度有所下降,而社会经济得以发展壮大,自 2005 年开始人均 GDP 逐年大幅度增加。根据居民恩格尔系数逐年减小来看,近年来辽宁省居民生活水平呈逐渐上升状态。

4.2 辽宁省水资源安全综合分析

2000—2009 年辽宁省水资源安全状况从轻度不安全上升到濒临不安全,再到勉强安全,2005 年达到极值,随后 4 年又呈下降趋势。究其原因,水资源压力系统安全度 2000—2005 年呈上升趋势,2005 年达到最高值 0.629,2005 年后又开始下降;水资源状态系统安全度 2000 年最低,2005 年为 0.548,仅略逊于 2007 年;社会响应系统安全度 2000 年为 0.440,仅好于 2001 年,而 2005 年略低于 2006 年,居第二位。因此,2005 年辽宁省的水资源安全度最高。从产业结构来看,2000—2005 年辽宁省第三产业结构比重由 2000 年的 39% 上升到 41%。由此可见,对水资源污染较大,且耗水量多的第一产业、第二产业比率明显下降,而耗水量较小的第三产业比重上升。2005 年之后辽宁省第二产业比重大幅上升,最高达到了 52.4%。随着产业结构的变化,水资源的压力也随之变化。辽宁省人口增长速

度之快,加上大量外来人口涌入,城镇化进程加快,人们对水资源的需求量加大,从水资源供需呈上升趋势,2005 年达到最高值 2.83,此后略有下降。随着社会的快速发展,2009 年辽宁省的人均 GDP 比 2000 年增加了 2 倍,虽然经济增长,耗水量却逐年降低,万元 GDP 耗水量 2009 年比 2000 年降低了 65.2%,但总用水量仍呈增加趋势,2009 年总用水量是 2000 年的 1.05 倍。2006—2009 年由于社会、人口、经济的快速发展,但辽宁省水资源压力增大,安全度小幅下降。

5 结论

本文采用可变模糊识别模型对辽宁省水资源安全状况进行综合评价。可变模糊识别模型在基本模型的基础上通过变换参数,组成四个新模型,分别对同一事物进行评价,并取得平均值,以此提高了评价结果的准确度和可信度。因此,基于可变模糊识别模型的评价方法在水资源安全综合评价中具有一定的优越性和较高的应用价值。

本文的研究结果表明,2000—2009 年辽宁省水资源安全状况由轻度不安全上升到濒临不安全,再到勉强安全,2005 年达到最高值,之后有小幅下降。通过对评价结果的分析可知,要提高辽宁省的水资源安全状况,必须在加大水利工程建设的同时积极调整产业结构,大力发展第三产业,以减轻对水资源的压力;加大科技投入,提高水资源利用率;采取以防为主、防治结合的措施减少对水质的污染,促进水资源与社会经济的和谐发展。

参考文献:

- [1] 韩友志. 辽宁省水资源可持续发展战略的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 2003.
- [2] 盖美, 赵晓梅, 田成诗. 辽宁沿海经济带水资源—社会经济可持续发展研究[J]. 资源科学, 2011, 33(7): 1225–1235.
- [3] 池静静, 陈彬. 基于 TOPSIS 的灰色关联法在水资源安全评价中的应用研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(2): 155–159.
- [4] 韩宇平, 阮本清, 解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用[J]. 资源科学, 2003, 25(4): 37–42.
- [5] 尹志杰, 管玉卉. 南京市水资源安全综合评价方法研究[J]. 水电能源科学, 2010, 28(6): 16–18.
- [6] 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.
- [7] 陈守煜. 可变模糊集合理论与可变模糊集[J]. 数学的实践与认识, 2008, 38(18): 146–153.
- [8] 王春泽, 崔振才. 区域水资源与社会经济协调程度评价研究[J]. 水文, 2004, (6): 25–29.
- [9] 巴音达拉. 基于熵值法和景观模型的精河县生态环境质量评价及预测研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学硕士学位论文, 2008.