

基于经济新常态的长春市水资源开发利用潜力评价

倪志楠^{1,2}, 李琼芳^{1,2}, 王凯燕³, 严方家¹, 沈红霞^{1,2}, 周正模^{1,2}

(1. 河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学国际河流研究所, 江苏 南京 210098;
3. 上海蓝泰信息咨询有限公司, 上海 200434)

摘要:以长春市为研究对象,基于未来经济处于新常态的发展态势,构建包含水资源、社会、经济、生态环境4个子系统的评价指标体系,并确定各指标的评价等级标准;基于模糊数学理论以及层次分析法构建包括目标层、准则层、指标层的3层模糊综合评价模型,以2015年为现状水平年,应用模型对长春市水资源开发利用潜力进行综合评价。结果表明:长春市水资源开发利用程度处于中等偏上水平,各辖区水资源开发利用规模不平衡,可通过产业结构调整提高全市用水效率,为经济持续增长提供保障。

关键词:水资源开发利用潜力;经济新常态;层次分析法;模糊综合评价模型;长春市

中图分类号:TV231.9

文献标识码:A

文章编号:1003-9511(2018)02-0010-05

我国是水资源严重缺乏的国家,特别是北方地区的人均水资源量远远低于全国平均水平。长春市地处吉林省中部,东北平原腹地,属于极度缺水地区。近年来,随着经济的快速发展,长春市各辖区水资源得到不同程度的开发。如今,经济增长的新常态是长春市在未来一段时间内所要面临的新的经济增长态势。在经济增长新常态下,经济产业结构不断优化升级,新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化的协同推进必然引起长春市各地区用水总量和用水结构的明显变化。为确保区域经济中高速增长以及水资源的可持续利用,有必要对其水资源开发利用潜力进行综合评价,使水资源在可利用范围内得到合理配置。

目前,已有学者开展了关于区域水资源可持续利用评价的相关研究,取得了一些进展。常用的评价方法主要分为包含综合指数法^[1]和层次分析法^[2]的主观赋权法;包含灰色聚类评价法^[3]、因子分析法^[4]、主成分分析^[5]、集对分析^[6]的客观赋权法;基于RBF网络模型^[7]、自组织神经网络^[8]、遗传投影寻踪模型^[9]的无赋权法以及主客观相结合赋权法。但主观赋权法易导致结论主观性较强,不具

有说服力;客观赋权法过于依赖于数据,普适性较差;无赋权法依靠指标间的数值关系进行评价,其结果可能与实际不符,但目前还没有公认的方法和规范。

本文以长春市为研究对象,基于层次分析法^[2]和模糊数学理论^[10]构建3层模糊综合评价模型,并应用于长春市2015年的水资源开发利用程度评价。该方法利用模糊集合的动态模糊可变性在一定程度上解决了由水资源评价的复杂性和不确定性引发的问题。研究结果全面反映了长春市水资源系统与社会、经济、生态系统的协调关系,为实现处于经济转型期的长春市水资源合理配置和长效利用提供决策支持。

1 研究方法

选取长春市为研究对象,依据可持续发展、可量性、科学性、动态性等原则^[11],结合当地实际情况,围绕“水资源开发利用程度评价”的目标层,确定包括“水资源、社会、经济、生态环境”4个子系统的准则层,以此为基础确定由13个评价指标组成的指标层,构成长春市水资源开发利用程度综合评价指标

基金项目:国家自然科学基金(41171220);长江学者和创新团队发展计划(IRT13062)

作者简介:倪志楠(1993—),女,硕士研究生,主要从事生态水文学及生态水力学研究。E-mail:nizhinan2@163.com

通信作者:李琼芳(1966—),女,教授,主要从事水文学及水资源研究。E-mail:qfli@hhu.edu.com

体系,参考国内外水资源评价标准^[12-13],确定各评价指标的分级标准;基于模糊数学理论及层次分析法构建包括目标层、准则层、指标层的3层模糊综合评价模型,以2015年为现状水平年,基于《吉林省统计年鉴》《长春市水资源公报》的数据资料,综合评价了长春市各辖区(九台区、榆树市、农安县、德惠市、双阳区、市区)的水资源开发利用程度,对比分析了长春市及各辖区的水资源可持续利用潜力,进而因地制宜地提出水资源进一步开发利用的建议。

2 长春市水资源开发利用潜力综合评价模型构建

2.1 研究区概况

长春市地处吉林省中部,东北平原腹地,松嫩平原与东部长白山区的过渡地带,是东北地区第二大中心城市。根据《长春市水资源公报》,长春市年平均降雨量 565.0 mm,多年平均水资源总量约 29.62 亿 m³,人均占有水资源量 355 m³,为吉林省人均占有水资源量的 1/4,更远远低于全国平均水平,属于极度缺水和生态缺水地区。随着长春市经济结构的发展转型,水资源供需矛盾进一步加深。为保障社会经济的又好又快发展,深入挖掘水资源开发利用潜力势在必行。因此,亟须定量评价长春市各辖区水资源开发利用潜力,明确未来水资源可持续利用的潜力所在,为水资源的合理开发和高效利用提供参考。

2.2 长春市水资源开发利用潜力指标体系构建与指标值及权重的确定

2.2.1 长春市水资源开发利用潜力指标体系构建

长春市水资源开发利用潜力指标体系的构建,需要以新常态经济为背景,围绕“水资源开发利用潜力评价”的目标层确定准则层,再以此为基础确定构成指标层的指标体系。

新常态经济的突出表现是产业结构的全方位优化升级。产业升级与水资源开发利用有着极为密切的联系。一方面,区域产业结构的变动依赖于水资源的支持,区域产业结构的升级也会反作用于水资源的开发结构;另一方面,只有在保证水生态环境良好的前提下才能保持经济的中高速增长。因此,在围绕“水资源开发利用潜力评价”的目标层确定准则层时应包括水资源、社会、经济、生态环境等4个子系统。

针对长春市的水资源特点、社会经济发展水平和生态环境现状,结合执行长春市最严格水资源管理制度的实际需要,确定对应准则层中各子系统的评价指标,构成指标层。鉴于人口密度、城镇化率、人均水资源量、产水模数是反映区域内水资源用量的重要指标,农田灌溉水有效利用系数、水资源开发率是反映水资源利用效率的重要指标,森林覆盖率和水功能区水资源达标率、污径比是反映生态环境质量的重要指标,均应纳入指标体系。考虑到地处北方半干旱地区的长春市地下水开采严重的事实,应选取地下水供水比例作为评价指标之一来反映供水结构的合理性。此外,长春市各辖区多以农业为主,正逐渐实现农业现代化转型,有必要选取单方水 GDP 来反映水资源的综合利用效益和长春市产业结构的合理性。综上,选取如表 1 所示的 13 个评价指标构成指标层。

2.2.2 评价指标分级标准

指标分级标准一般反映了一定时期人们对评价对象某一方面发展水平的要求,这种要求是一类或者某一个被评对象某一方面发展的客观可能性与人们对它主观期望的综合。参考国际^[13-14]和国家一些指标的发展规划值^[15],结合其他地区该指标的实际值^[16],依据长春市的区域特性及发展规划确定各指标的评价等级标准(如表 1 所示)。依照水资源

表 1 水资源开发利用潜力评价指标体系的评价标准

目标层	准则层	指标层	低等	中等	高等
长春市水资源开发利用程度评价	社会子系统	人口密度(人/km ²)	100 ~ 200	20 ~ 100	< 20
		城市化率(%)	35 ~ 50	50 ~ 70	> 70
		人均耕地(亩/人)	0.99 ~ 1.95	1.95 ~ 3	> 3
	经济子系统	人均 GDP(元)	< 4 000	4 000 ~ 10 000	> 10 000
		农业灌溉水有效利用系数	> 0.77	0.77 ~ 0.51	< 0.51
		单方水 GDP(元/m ³)	30 ~ 60	60 ~ 90	> 90
	水资源子系统	人均水资源量(m ³ /人)	1 100 ~ 1 700	1 700 ~ 2 300	> 2 300
		产水模数(万 m ³ /km ²)	40 ~ 60	20 ~ 40	< 20
		水资源开发率(%)	< 30	30 ~ 60	> 60
		地下水供水比例(%)	20 ~ 40	10 ~ 20	< 10
	生态环境子系统	污径比(%)	5.4 ~ 7.7	3.1 ~ 5.4	≤ 3.1
		森林覆盖率(%)	20 ~ 30	30 ~ 40	≥ 40
		水功能区水资源达标率(%)	40 ~ 60	60 ~ 80	> 80
评分			1	3	5

开发利用等级由低到高,即可利用潜力由大到小依次划分为“低等”、“中等”、“高等”3个等级,其相应指标评分值分别为1分、3分、5分(表1)。通过分级隶属函数法确定各指标所属等级,最终由综合评分值来反映水资源开发利用程度。

2.2.3 指标权重确定

根据层次分析法,充分考虑各指标的相互关系和相对重要程度,以确定各指标的权重。评价指标及权重如表2所示。

表2 长春市各层次指标权重

目标层	准则层及其权重		指标层及其权重	
	准则层	权重	指标层	权重
长春市水资源开发利用程度评价(A)	社会子系统(B ₁)	0.0917	人口密度(C ₁)	0.2385
			城市化率(C ₂)	0.1365
			人均耕地(C ₃)	0.6250
	经济子系统(B ₂)	0.2696	人均GDP(C ₄)	0.1804
			单方水GDP(C ₅)	0.4744
			农田灌溉水有效利用系数(C ₆)	0.3399
	水资源子系统(B ₃)	0.3889	人均水资源量(C ₇)	0.1857
			产水模数(C ₈)	0.4157
			地下水供水比例(C ₉)	0.1115
	生态环境子系统(B ₄)	0.2497	水资源开发率(C ₁₀)	0.2811
			污径比(C ₁₁)	0.2609
			森林覆盖率(C ₁₂)	0.2443
			水功能区水资源达标率(C ₁₃)	0.4824

2.3 长春市水资源开发利用潜力模糊综合评价模型的构建

基于经济新常态发展的要求,以长春市水资源开发利用程度评价为目标,由水资源、社会、经济、生态环境等4个子系统组成的准则层和由人口密度等13个评价指标组成指标层的3层评价指标体系,将该体系与模糊数学方法相耦合形成模糊综合评价模型。具体步骤如下:

a. 建立以长春市水资源开发利用程度为评价对象的指标因素集 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_{13}\}$, 即表2指标层中13个评价指标。

b. 建立评价对象所属等级的备择集 $V = \{V_1, V_2, V_3\}$, 对应表1中反映水资源开发利用潜力的“低等”、“中等”、“高等”3个等级。

c. 确定准则层各子系统相对于目标层的权重集 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ 和指标层各指标相对于目标层的权重集 $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ 。

d. 单因素模糊评价,即建立一个从 U 到 $F(V)$ 的模糊映射,以单因素评价集为行单因素指标评价矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

e. 评价指标处理。运用相乘相加复合运算将权重和关系矩阵合成得到,其基本模型是

$$B = WR = d_j \quad (j=1, 2, 3, \dots, n)$$

其中

$$d_j = \sum (a_j \wedge r_{ij})$$

f. 通过对评价指标体系的分层划分,可以将初始模型扩展为3层模糊综合评价模型,即把指标层的输出结果作为准则层评价的输入,计算得到准则层的输出作为目标层的输入,直到计算出目标层评价结果为止。最终根据最大隶属度法来确定评价等级。

3 结果评价与分析

根据上下层次指标间的隶属关系,利用层次分析法建立准则层各指标相对对目标层的判别矩阵,见表3,水资源、社会、经济、生态环境子系统各指标相对于准则层的判别矩阵见表4~7。

表3 准则层各指标相对于目标层的权重

A	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
B ₁	1	1/4	1/3	1/2
B ₂	4	1	2	3
B ₃	3	1/2	1	3
B ₄	2	1/3	1/3	1

表4 社会系统各指标相对于准则层的权重

B ₁	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	2	1/3
C ₂	1/2	1	1/4
C ₃	3	4	1

表5 经济系统各指标相对于准则层的权重

B ₂	C ₄	C ₅	C ₆
C ₄	1	2	1/3
C ₅	3	1	2
C ₆	3	1/2	1

表6 水资源系统各指标相对于准则层的权重

B ₃	C ₇	C ₈	C ₉	C ₁₀
C ₇	1	1/3	3	1/2
C ₈	3	1	5	2
C ₉	1/3	1/5	1	1/4
C ₁₀	2	1/2	4	1

表7 生态环境系统各指标相对于准则层的权重

B ₄	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃
C ₁₁	1	2	1/2
C ₁₂	1/2	1	1/3
C ₁₃	3	2	1

选取2015年为现状水平年,利用《吉林省统计年鉴》《长春市水资源公报》的数据资料确定各指标值;基于确定的水资源开发利用评价指标的权重和分级标准,应用构建的长春市3层模糊综合评价模型评价长春市各辖区(九台市、榆树市、农安县、德

惠市、双阳区、市区)的水资源开发利用程度,如图1所示。

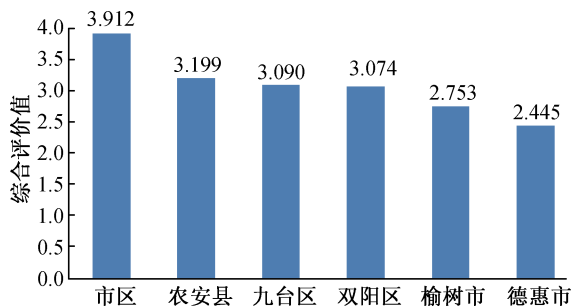


图1 研究区综合评价结果

从图1可以看出,长春市各辖区水资源开发利用程度由高到低排序为:长春市区>农安县>九台区>双阳区>榆树市>德惠市。结果分析如下:

a. 长春市区水资源开发利用程度综合评分值为3.912,为中等偏高,说明可用于开发的水资源潜力不大;农安县、九台区、双阳区水资源开发利用程度综合评分值分别为3.199、3.090、3.074,为中等水平,说明这些地区的水资源开发利用已形成一定规模,仍具备开发潜力;榆树市、德惠市水资源开发利用程度综合评分值分别为2.753、2.445,为中等偏低水平,说明这两个地区尚有较大的水资源开发利用潜力。

b. 从产业结构布局分析水资源开发潜力。长春市的产业结构为“二三一”,而用水总量结构为“一二三”。显然农业耗水量大,而产值较低,即用水效率低下,农业灌溉水有效利用系数还未达到《吉林省人民政府办公厅关于印发吉林省实行最严格水资源管理制度考核办法的通知》的要求,仍有较大的开发利用潜力;长春市工业用水所占比例相对较小,但用水量固定,可压缩空间小,在主导产业不变的条件下开发利用潜力很小;长春市第三产业本身用水效率较高,目前第三产业层次不高,随着第三产业比重的增加和高级化发展,其水资源开发潜力将会提高。

c. 农业是长春市的基础产业,但耗水量大,水资源污染、浪费严重。在经济新常态下,工业带动农业,逐步实现农业集约化、现代化、产业化,在保证灌溉面积的前提下,通过提高农业灌溉水的有效利用系数,挖掘农业节水潜力,改变灌溉模式,提高工业水利用率及污水处理能力等方式来促进水资源与社会经济、生态环境的协调发展。

d. 工业是长春市的主导产业,在保持现有工业发展趋势的条件下,有限的水资源难以为社会经济的可持续发展提供持续动力。因此应通过提高水资源利用效率来保证水资源的可持续利用,以创新驱动

汽车产业发展,减小资源投入,同时大力推动电子信息、生物医药、新能源、新材料等新兴产业的发展,减少以自然资源消耗为代价的粗放型经济增长,使得长春经济结构更为完善。

e. 长春市第三产业以批发和零售业、食宿和餐饮业等传统服务业为主,应增加计算机服务、软件、金融等知识和科技密集型现代服务业的比重,规范洗车、温泉等耗水量大的行业,依靠技术创新实现水资源高效利用。

综上,在现有水资源开发利用格局下,长春市水资源开发利用程度总体处于中等偏上水平,但各辖区的开发利用程度各有不同,存在的问题也不尽相同,但都仍具有一定的开发潜力,需要各相关部门统筹规划,以创新驱动发展,为加快长春市经济结构转型持续提供保障。

4 结 语

本文考虑了社会、经济和生态环境对水资源开发利用的影响,构建适用于长春市的水资源开发利用评价指标体系,确定了指标等级标准和权重,建立基于模糊数学理论以及层次分析法包括目标层、准则层、指标层的3层模糊综合评判模型,综合评价了长春市水资源开发利用程度,分析了水资源的可持续开发利用与新常态下经济转型发展的关系。结果表明:

a. 长春市各县市的评价结果与实际较为一致,所建评价指标体系和评价模型合理可行;

b. 长春市水资源开发利用程度处于中等偏上水平,各辖区开发利用程度不平衡,但各区仍具有一定的开发利用潜力;

c. 长春市应加快产业结构调整,优先发展耗水量低、产值高的产业,提高水资源的利用效率,在保护性开发水资源的同时促进经济的可持续发展。

评价结果对长春市在经济转型时期水资源进一步可持续开发利用和管理具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 王金祥,王琳,王亚娜.潍坊市水资源可持续利用评价[J].中国人口·资源与环境,2014,24(增刊1):316-318.
- [3] 黄初龙,邓伟,杨建锋.中国东北地区农业水资源利用水平灰色聚类评价[J].干旱区研究,2006,23(2):229-235.
- [4] 刘剑达.因子分析法在水资源承载力可持续利用研究[J].水科学与工程技术,2017(2):34-37.

- [5] 周蓓棋,徐向阳,贾晨,等.改进主成分分析法在区域水资源综合评价中的应用研究[J].中国农村水利水电,2014(3):88-91.
- [6] 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.
- [7] 杨晓华,杨志峰,沈珍瑶,等.区域水资源开发利用程度评价的RBF网络模型[J].环境科学,2004(增刊1):33-36.
- [8] 张先起,刘慧卿,梁川.云南水资源可持续利用程度评价的自组织神经网络模型[J].长江流域资源与环境,2007,16(4):456-460.
- [9] 曹雷,周维博,庄妍.基于遗传投影寻踪模型的延安市水资源利用效率分析[J].水资源与水工程学报,2015(2):126-128.
- [10] 陈守煜.区域水资源可持续利用评价理论模型与方法[J].中国工程科学,2001,3(2):33-38.
- [11] 李琼芳,任黎,夏自强,等.江苏沿海围垦区水资源开发利用潜力研究[J].水利经济,2012,30(3):47-50.
- [12] 马雪倩.黑龙江省水资源可持续利用评价研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2013.
- [13] SANDOVAL-SOLIS S, MCKINNEY D C, LOUCKS D P. Sustainability index for water resources planning and management [J]. Journal of Water Resources Planning & Management, 2015, 137(5):381-390.
- [14] SCHOEMAN J, ALLAN C, FINLAYSON C M. A new paradigm for water? A comparative review of integrated, adaptive and ecosystem-based water management in the anthropocene [J]. International Journal of Water Resources Development, 2014, 30(3):377-390.
- [15] 孙秀玲.水资源评价与管理[M].北京:中国环境科学出版社,2013.
- [16] 陈正虎.沿江区域水资源可持续利用评价研究[D].南京:河海大学,2006.

(收稿日期:2017-10-11 编辑:胡新宇)

(上接第9页)

能指标进行评价的缺陷,提高除险加固效果评价的系统性和精确性。然而,水闸病险成因复杂、种类多,导致各工程的加固治理目标、效益和影响具有一定的差异性,在实际使用本文建立的评价指标体系时,需要结合工程病险问题,对指标体系中的二级评价指标有所取舍。

参考文献:

- [1] 朴哲浩,宋力.我国病险水闸成因及除险加固工程措施分析[J].水利建设与管理,2011,31(3):71-72.
- [2] 秦毅,顾群.全国病险水闸成因分析及加固的必要性[J].水利水电工程设计,2010,29(2):25-26.
- [3] 康立荣,徐文俊,吝江峰.江苏大中型病险水闸概况及主要加固措施探讨[J].水利建设与管理,2014,34(3):56-58.
- [4] 张鹏,徐志雄,孙秀峰,等.广东省大中型病险水闸除险加固工程社会稳定风险评估方法的探讨[J].广东水利水电,2016(12):56-58.
- [5] SU Huaizhi, YANG Meng, KANG Yeyuan. Comprehensive evaluation model of debris flow risk in hydropower projects [J]. Water Resour Manage, 2016, 30(3):1151-1163.
- [6] 舒欢,刘文娜.基于组合赋权:TOPSIS模型的水利工程建设方案优选决策方法[J].工程管理学报,2013,27(4):83-86.
- [7] 闫滨,孙友良,高真伟.水闸安全综合评价研究综述[J].水电能源科学,2013,31(2):171-173.
- [8] 张建华,李海枫,周秋景,等.峡江水利枢纽工程典型泄水闸段抗滑稳定及加固措施研究[J].水利水电技术,2014,45(11):33-36.
- [9] 卢振园,唐德善,朱春光.宿迁闸除险加固工程影响评价[J].水利科技与经济,2011,17(2):42-44.
- [10] WU Zhongru, XU Bo, GU Chongshi, et al. Comprehensive evaluation methods for dam service status [J]. Science China Technological Sciences, 2012, 55(8):2300-2312.
- [11] 杨杰,郑成成,江德军,等.病险水库理论分析研究进展[J].水科学进展,2014,25(1):148-154.
- [12] 翁月娇,唐德善,王银银.基于F-AHP法的水利加固改造工程效果后评价[J].水电能源科学,2009,27(5):145-148.
- [13] 阮建清,刘忠恒,严祖文.基于风险的病险水库除险加固方案优化技术[J].中国水利水电科学研究院学报,2014,12(1):36-41.
- [14] 徐光磊,周克发.病险水库除险加固工程质量评价研究[J].大坝与安全,2010(1):11-14.
- [15] 綦中跃,周上梯.密云水库除险加固综合效益分析与评价[J].水利建设与管理,2009,29(5):43-45.
- [16] 吴焕新.病险水库除险加固治理效果综合评价体系研究[D].济南:山东大学,2009.
- [17] 卢欣.江西省土石坝除险加固后评价[D].南昌:南昌工程学院,2016.
- [18] 中小型水闸除险加固研究与处理措施编委会.中小型水闸除险加固研究与处理措施[M].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [19] 中华人民共和国水利部.水闸安全鉴定规定:SL 214—98[S].北京:中国水利水电出版社,1998.
- [20] 陈守煜,李庆国.多指标半结构性模糊评价法在水利工程后评价中的应用[J].水利学报,2004,35(3):27-32.
- [21] 方国华,高玉琴,谈为雄,等.水利工程管理现代化评价指标体系的构建[J].水利水电科技进展,2013,33(3):39-44.
- [22] XIAO Jianzhuang, LI Wengui, POON C. Recent studies on mechanical properties of recycled aggregate concrete in China-A review [J]. Science China Technological Sciences, 2012, 55(6):1463-1480.

(收稿日期:2017-08-16 编辑:胡新宇)