

基于熵值法的徐州市水利水务现代化评价研究

方国华,程发顺,黄显峰,刘羽

(河海大学 水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要:水利水务现代化是经济社会现代化的基础和保障。为科学合理评价徐州市水利水务现代化水平,构建徐州市水利水务现代化评价指标体系,提出了等级划分标准,采用主成分分析法从27个指标中提取4个主成分,并利用熵值法对各地区主成分进行分析,得出徐州市各地区水利水务现代化现状等级并进行排序。结果表明:本文评价结果符合实际情况,结果合理,论文研究扩展了水利现代化指标体系,并为水利水务现代化评价提供了新的思路和途径。

关键词:水利水务现代化;评价指标体系;主成分分析;熵值法;徐州市

中图分类号:S114

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2014)06-0034-05

Research on evaluation of modernization of water conservancy and affairs based on entropy method in Xuzhou

FANG Guohua, CHENG Fashun, HUANG Xianfeng, LIU Yu

(College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Water conservancy modernization is the foundation and guarantee for economic and social modernization. In order to objectively evaluate the level water conservancy modernization in Xuzhou, the paper put forward an evaluation index system and dividing standard of modernization stage. It picked up 4 main components from 27 indexes by use of the main components analysis, and analyzed the main components every region by means of entropy, and ranked the modernization current situation and level of water conservancy every region in Xuzhou. The result indicated that evaluation results of PCA-Entropy method are in accordance with the fact and reasonable. The research extended the index system of water conservancy modernization and provided a kind of new thought and way for evaluation of Xuzhou water conservancy modernization.

Key words: water conservancy modernization; evaluation index system; principal component analysis; entropy; Xuzhou

水利是经济社会可持续发展的支撑和保障,水利现代化是水利发展的方向,是水利发展到一定程度的必然阶段。我国21世纪第三步发展战略目标是达到中等发达国家水平,基本实现现代化^[1]。进入21世纪以来,江苏开展了多项水利现代化专题研究,提出了《江苏省水利现代化建设纲要》,2011年中共中央国务院出台了《关于加快水利改革发展的决定》,2012年江苏省水利现代化试点工作展开,以无锡、苏州、镇江、南通、徐州五市作为江苏水利现代化试点市^[2]。本文以徐州市为例,将主成分分析与熵值法相结合建立评价模型,分析各区县水利水务现代化水平,对客观评价徐州市水利水务建设现状、

准确把握水利水务发展方向具有重要的指导作用。

1 徐州市水利水务现代化评价指标体系

传统水利是以建设各种水利工程为主要手段来满足人类经济社会发展的需要,而现代水利则是注重水资源的优化配置,从而实现水与经济、社会、环境及其他资源持续协调发展^[3]。进入21世纪,我国经济社会现代化建设对水利建设提出新的要求,在传统水利现代化建设中增加水务一体化建设内容,由传统水利向现代水利转变,用现代水管理制度推动水利改革,最终实现水安全、水资源、水环境、水管

理、水文化“五位一体”的可持续发展的现代水利,以水利水务现代化促进和保障经济社会现代化^[4]。

水利水务现代化评价指标体系及评价方法是衡量水利现代化发展水平的核心问题,其评价指标体系和方法应包括定性评价、定量评价与综合评价三部分^[5]。水利水务现代化指标体系的确定,应能切实衡量、检验水利现代化发展水平,引导水利水务现代化建设。目前,针对水利现代化的研究指标体系

中较少涉及对水务一体化内容的体现^[6],本文结合徐州水利水务现代化管理实际,考虑水务一体化管理范围和要求,在江苏水利现代化22项指标的基础上增加城市污水处理回用率、城市供水水质综合合格率、区域供水覆盖率、城市雨水排水达标率、城市污水集中处理达标率等水务方面5项指标,形成了徐州市水利水务现代化评价7大指标体系27项指标^[7],具体见图1。

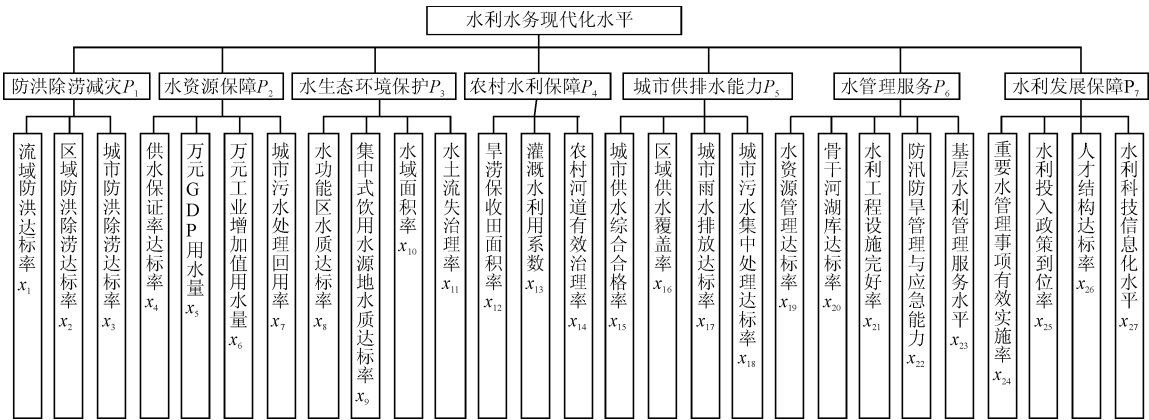


图1 徐州市水利水务现代化评价指标体系

2 徐州市水利水务现代化评价 PCA - 熵模型

目前关于水利现代化的评价方法主要有主成分分析法^[8]、投影寻踪法^[9]、神经网络模型^[10]、属性识别模型^[11]、模糊综合评价^[12]等,但现有评价方法均是对评价指标值进行分析评价,缺乏对评价指标值与现代化目标值之间关系的考虑。本文应用主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)将原来多个相关的水利水务现代化指标线性组合为少数几个彼此独立的指标,即主成分,它可以摒弃以往的传统经验法和回归法确定权重不足的问题,便于简化指标,进行综合分析^[13]。同时,通过熵来度量各待评价地区主成分的变化、衡量各地区主成分因子的离散程度^[14],得到徐州市各地区水利水务现代化现状水平,以便为水利水务现代化建设提供指导意见。

在信息论中,熵是对不确定性的一种度量,信息量越大,不确定性就越小,熵也就越小;信息量越小,不确定性越大,熵也越大。水利水务现代化受到社会经济、地区水资源、水环境、水政策与水管理等诸多因子制约,各因子彼此相关又具有不确定性,本文利用主成分分析法提取主成分,并借助熵值来判断各主成分因子的离散程度,构建水利水务现代化研究的PCA - 熵评价模型。模型步骤如下:

(1)主成分分析提取指标体系主成分。①样本数据标准化处理;②计算变量间相关系数,得到相关系数矩阵,只有变量间具有较强的相关性,主成分分析才具有意义;③计算样本相关矩阵特征值、方差以及累积方差贡献率,根据方差累积贡献率 $\geq 85\%$ 的原则确定主成分并求出各主成分的因子载荷和因子得分。以上计算过程可借助SPSS软件进行。

(2)主成分非负化处理。对各主成分因子数据进行非负化处理,设某一地区水利水务现代化第j个影响因子值为 x_{ij} ,为避免求熵值时对数无意义,取:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} + 1 \tag{1}$$

(3)计算评价区域因子比重。计算第i个评价区域第j项因子所占该因子所有评价区域因子综合比重。

$$P_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^n x'_{ij}} \tag{2}$$

$$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$$

(4)求各因子权重。

$$w = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j}, \quad (j = 1, 2, \cdots, m) \tag{3}$$

其中：

$$d_j = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^m e_j},$$
$$(0 \leq d_j \leq 1, \sum_{j=1}^m d_j = 1)$$

e_j 为第 j 项因子熵值：

$$e_j = -1/\ln(n) \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}), \quad e_j > 0$$

(5) 各评价区域水利水务现代化程度综合评价。

$$s_i = \sum_{j=1}^m w_j p_{ij} \tag{4}$$

水利水务现代化主成分的综合得分越高,现代化进程等级相对越高。根据不同区域综合得分的大小,可以判断徐州市及其县(市)水利水务现代化进程相对排序,并综合考虑指标等级,得出徐州市各区域水利水务现代化现状等级。

3 徐州市水利水务现代化评价

3.1 评价指标等级划分

徐州市地处江苏省西北部,东、东南与连云港、宿迁两市毗邻,南、西两面和北面分别与安徽、山东两省接壤,是苏北地区最大城市,总面积 11 258 km²。本文以徐州市及其所属铜山区、贾汪区、新沂市、邳州市、睢宁县、丰县、沛县作为评价对象,从防洪除涝减灾、水资源保障、水环境与河湖生态保护、农村水利保障、供排水工程、水管理服务和水利发展保障 7 个方面,应用改进 PCA 评价模型对徐州市水利水务现代化进行综合评价。

参照《江苏省水利现代化规划》、《徐州市水利水务现代化规划》,构建水利现代化评价指标体系,对徐州市及其 6 个区县(市)进行综合评价,具体见表 1。

表 1 徐州市水利水务现代化评价指标现状值及指标等级 %

指标	2010 年水利水务现代化实现程度								水利水务现代化等级					
	市区	铜山	贾汪	新沂	邳州	睢宁	丰县	沛县	I	II	III	IV	V	VI
x_1	89	89	89	92.7	95.3	88.6	90	88	100	90	75	70	60	40
x_2	67.7	72.2	67.7	56.1	65.7	61.5	20	24	100	80	75	70	60	40
x_3	62	65	52	55.7	53.2	35.3	47.6	45	100	80	75	70	60	40
x_4	86	85	86	81.7	97.1	85	81.2	82	95	76	71.25	66.5	57	38
x_5	98.0	112.5	88.0	181.0	130.0	194.0	150.0	126.0	90	100	120	129	150	225
x_6	18.0	21.2	26.0	26.4	22.0	44.0	24.0	26.0	18	22.5	24	26	30	45
x_7	60	60	60	40	50	50	45	50	30	24	22.5	21	18	12
x_8	67.1	32.5	67.1	64.7	53.5	88.2	33.6	40	85	68	63.75	59.5	51	34
x_9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	75	70	60	34
x_{10}	95	93.8	88.9	100	100	89.8	62.1	80.2	100	100	100	100	100	34
x_{11}	65.9	76.5	70.6	61.2	61.8	78.5	82.3	75.5	85	68	63.75	59.5	51	36
x_{12}	77.6	77.6	77.4	79.6	66.9	88.1	72.7	72.4	85	76.5	63.75	59.5	51	38
x_{13}	83.8	86.2	84.6	80	87.7	83.9	83.1	87.5	90	72	67.5	63	54	38
x_{14}	73.7	77.9	73.7	68.1	71.8	56.8	64.2	67.3	95	76	71.25	66.5	57	36
x_{15}	99	99	99	99	100	91.8	98	98	98	88.2	73.5	68.6	58.8	36
x_{16}	43.2	36.8	36.8	36.8	42.2	38.9	42.8	40.2	95	76	71.25	66.5	57	40
x_{17}	66.7	66.7	66.7	61.1	52	70.8	62.1	60.1	90	72	67.5	63	54	40
x_{18}	88.9	88.9	45.2	44.4	83	83.3	94.9	84.7	90	72	67.5	63	54	35.6
x_{19}	85	88	85	80	73	76.4	83.3	80	100	80	75	70	60	40
x_{20}	75	78	75	76	73.4	65	68.7	74	100	80	75	70	60	36
x_{21}	75	80	75	74.7	69	57.1	88.8	70	89	80.1	66.75	62.3	53.4	40
x_{22}	74.2	75	74.2	75	71.2	69.1	72	72	100	80	75	70	60	40
x_{23}	66.7	66.7	66.7	66.7	43.4	71.7	92.6	66.7	90	72	67.5	63	54	36
x_{24}	85	85	85	80	80	80	84	80	100	80	75	70	60	36
x_{25}	81	82	81	76	80.6	76.9	74	76	100	90	75	70	60	40
x_{26}	80	80	80	60.2	79.6	80.6	70	70	90	72	67.5	63	54	40
x_{27}	80	80	80	66.7	75	71	74.4	72	90	72	67.5	63	54	40

参照有关学者对水利现代化进程的阶段划分^[11,13],将水利现代化等级分为 6 级,分别代表全面现代化、基本现代化、中期现代化、初期现代化、现代化起步和传统水利阶段,并确定各评价指标不同等级的标准值,见表 1。

3.2 水利水务现代化 PCA-熵模型评价

对各指标进行主成分分析。根据表 1,对全部 27 个指标值进行分析表明, x_9 集中式饮用水源地水质达标率、 x_{15} 城市供水综合合格率两项指标值均接近 100%, x_{10} 水域面积率虽各评价地区指标值有所不同,但目标均为不低于现状,所以该指标各等级均为 100%。因此,在主成分分析前剔除该 3 项指标,并不会影响最终评价结果。

利用 SPSS 软件进行主成分分析,根据累计方差 $\geq 85\%$ 的原则,最终提取 4 个主成分,见表 2。根据主成分分析结果,见表 3,主成分 C_1 主要与 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_7 、 x_{14} 、 x_{19} 、 x_{20} 、 x_{22} 、 x_{24} 、 x_{25} 、 x_{27} 等 11 项指标呈较强

的相关关系,主要表征用水效率、供水、经济发展水平和水利基础设施建设水平等指标;主成分 C_2 主要与 x_{11} 、 x_{17} 、 x_{19} 、 x_{23} 、 x_{24} 等 5 项指标呈明显相关关系,主要表征生态环境安全及政策水平等指标;主成分 C_3 主要与 x_2 、 x_7 、 x_8 、 x_{12} 、 x_{17} 、 x_{25} 、 x_{26} 等 7 项指标呈明显相关关系,主要表征减灾能力、用水效率与科技水平指标;主成分 C_4 主要与 x_{11} 、 x_{13} 、 x_{16} 、 x_{18} 等 4 项指标呈明显相关关系,主要表征供水安全指标。可见 4 个主成分基本表征了水利水务现代化指标体系,以 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 构建评价框架。

表 2 主成分特征值及方差

主成分	特征值	方差/%	累积方差/%
C_1	8.376	34.898	34.898
C_2	5.132	21.384	56.283
C_3	4.356	18.152	74.434
C_4	3.684	15.351	89.786

表 3 主成分因子载荷

主成分	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}
C_1	-0.007	0.472	0.874	0.287	0.890	0.810	0.745	-0.381	-0.279	-0.39	0.321	0.972
C_2	-0.83	-0.276	-0.027	-0.832	0.060	-0.115	0.211	-0.147	0.716	0.485	-0.359	-0.114
C_3	-0.316	0.659	-0.228	0.311	0.061	-0.526	0.584	0.691	0.069	0.601	0.206	-0.111
C_4	-0.173	-0.421	-0.263	0.247	0.228	0.087	0.203	-0.42	0.538	-0.45	0.688	-0.133

主成分	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	x_{26}	x_{27}
C_1	-0.043	-0.047	-0.006	0.618	0.802	0.466	0.717	-0.311	0.721	0.810	0.394	0.832
C_2	-0.197	0.774	0.111	0.770	-0.128	0.415	0.235	0.869	0.592	-0.240	-0.054	0.219
C_3	-0.224	0.588	-0.009	-0.084	-0.275	-0.700	-0.329	-0.279	0.074	0.522	0.785	0.326
C_4	0.701	-0.195	0.847	-0.125	-0.397	0.087	-0.562	0.125	0.098	-0.062	0.446	0.341

将徐州市水利水务现代化 4 个主成分分别用 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 表示,其计算表达式为:

$$F_i = \sum_{j=1}^4 f_{ij} Z_{sj}, \quad (i = 1, 2, \cdots, 8) \tag{5}$$

式中: f 表示每个因子的载荷系数; Z_s 为指标数据标准化值,利用以上表达式可计算出徐州市 13 个地区的 4 个 F 值,结果见表 4。

表 4 主成分分析结果表

地区	F_1	F_2	F_3	F_4
徐州市区	1.614	0.641	1.313	-0.102
铜山区	2.014	1.499	0.713	-0.219
贾汪区	1.521	0.819	1.461	-1.458
新沂市	0.985	-0.683	-1.110	-2.346
邳州市	0.371	-2.087	0.149	1.282
睢宁县	-2.362	0.429	2.496	0.778
丰县	-1.521	2.373	-2.713	2.121
沛县	-1.053	0.008	-1.310	1.347

将表 1 中水利水务现代化六等级指标进行主成分分析,得到水利水务现代化综合主成分的分级标准,见表 5。

表 5 综合主成分的分级标准

现代化阶段	全面现代化	基本现代化	中期现代化	初期现代化	现代化起步	传统水利
现代化等级	I	II	III	IV	V	VI
综合主成分	6.785	2.598	0.997	-0.181	-2.574	-7.625

将各地区 F 因子值代入(1)~(4)式,可得出徐州市各地区水利水务现代化综合得分,根据各地区得分,可对徐州市各县(市)水利水务现代化进程进行排序,并结合表 4 确定其水利水务现代化现状等级,见表 6。同时将徐州市各地区水利水务现代化报告中由简单加权法得出的现代化水平得分列于表 6 中。

表 6 徐州市水利水务现代化评价等级及排序

地区	改进 PCA 法			简单加权法	
	S_i	排序	等级	得分/%	排序
徐州市区	1.128	2	Ⅲ	77.5	1
铜山区	1.142	1	Ⅲ	76.0	2
贾汪区	1.083	3	Ⅲ	75.0	3
新沂市	0.963	7	Ⅳ	70.7	7
邳州市	1.057	4	Ⅲ	73.6	4
睢宁县	1.003	5	Ⅲ	71.0	5
丰县	0.996	6	Ⅳ	70.7	6
沛县	0.877	8	Ⅳ	70.2	8

3.3 评价结果分析

由表 6 评价结果可知,徐州市各地区中徐州市区、铜山区、贾汪区、邳州市及睢宁县水利水务现代化水平处于Ⅲ级——中期现代化水平,新沂市、丰县及沛县水利水务现代化水平处于Ⅳ级——初期期现代化水平,但即将达到中期现代化;铜山区水利水务现代化程度最高,在各地区的排序第 1,其次为徐州市,与徐州市各地区的水利水务现代化报告中的现代化等级排序结果及等级划分结果基本一致,不同之处在于改进 PCA 方法中铜山区排序为第 1、徐州市区为第 2,简单加权法中徐州市区排序为第 1、铜山区为第 2。以上不同可解释为:由表 1 中可见,铜山区反映减灾能力、供水安全、生态环境安全、基础设施建设水平及科技水平等多项指标现状值高于徐州市区;同样在表 4 中,铜山区累积贡献率较大的主成分 F_1 、 F_2 的值大于徐州市区,可知铜山区水利水务现代化程度高于徐州市区。

4 结 语

水利水务现代化建设在我国尚处于起步阶段,徐州市作为我国水利水务现代化规划的试点地区,研究其现代化水平并对其正确评价具有重要现实意义。本文采用主成分分析方法,在复杂的指标体系中提取出 4 个能代表现代化内涵的主成分,并用熵对其进行分析,研究结果表明徐州市各地区 2010 年

水利水务现代化现状水平基本达到中期现代化或接近中期现代化。

利用基于熵的改进 PCA 方法评价过程中,不需对各项指标进行赋权,从而避免了主观赋权对评价结果的影响,利用熵对各地区主成分进行离散程度分析,得到各地区水利水务现代化综合评价结果,评价结论更为客观,且符合实际。

参考文献:

[1] 傅 春,杨志峰,刘昌明. 水利现代化的内涵及评价指标体系的建立[J]. 水科学进展,2002,13(4):502-506.

[2] 江苏省水利厅. 江苏省水利现代化规划[R]. 2010.

[3] 杨增文,郑金刚,杨 婷,等. 关于水利现代化的探讨[J]. 水利发展研究,2011, 11(5):44-48.

[4] 中国水利现代化研究课题组. 中国水利现代化的内涵及其评价指标体系[J]. 中国水利, 2004(4): 31-34.

[5] 任 苹,李楠. 评价方法研究进展[J]. 沈阳大学学报, 2005,17(6): 65-68.

[6] 张海涛,谢新民,杨丽丽. 水利现代化评价指标体系与评价方法研究[J]. 中国水利水电科学研究院学报,2010,8(2):107-113.

[7] 徐州市水利局. 徐州市水利水务现代化规划[R]. 2010.

[8] 欧建峰,叶 健,程吉林. 主成分分析法在江苏水利现代化评价中的应用[J]. 人民长江,2010,41(2):97-100.

[9] 朱成立,陈科巨. 基于 PSO-PPGE 模型的农村水利现代化评价[J]. 灌溉排水学报,2012,31(6):117-120.

[10] 欧建峰,程吉林. 基于 AHP 与 BP 神经网络的农村水利现代化评价[J]. 中国农村水利水电,2010(11):94-97+100.

[11] 牟 萍,艾 萍. 熵权和属性识别模型在水利现代化评价中的应用[J]. 水利经济,2011,29(5):1-4.

[12] 邹长国,陈 翔. 水利现代化模糊综合评价模型及其应用[J]. 浙江水利科技,2013,41(3):69-72.

[13] 张丽平,贾绍凤. 上海市郊区水利现代化综合评价方法[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2004,25(1):66-70.

[14] 楼成君,陈有才,吕有名. 熵权多目标决策法在水资源系统决策分析中的应用[J]. 浙江水利科技,2005(1):20-22.