

基于物元分析法的水资源管理现代化评价

黄显峰¹, 钟婧玮¹, 方国华¹, 陈颖钦²

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学文天学院, 安徽 马鞍山 243031)

摘要:为科学合理地评价区域水资源管理现代化水平,从水资源保障、用水效率、水资源保护、水资源公共管理能力、水资源支撑能力 5 个方面构建评价指标体系,将模糊层次分析法(FAHP)和熵权法耦合,确定评价指标综合权重,基于物元理论建立水资源管理现代化评价模型。以南京市高淳区为例进行评价,结果表明,南京市高淳区水资源现代化管理水平处于初等现代化阶段,与实际情况相符,验证了所构建评价模型的可行性和有效性。

关键词:水资源管理现代化;评价指标体系;熵权法;物元分析法;模糊层次分析法

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2017)03-0022-07

Evaluation on water resources management modernization based on matter element analysis//HUANG Xianfeng¹, ZHONG Jingwei¹, FANG Guohua¹, CHEN Yingqin²(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Wentian College, Hohai University, Ma'anshan 243031, China)

Abstract: In order to evaluate the modernization level of regional water resources management, an evaluation index system was established from five aspects, including water resources guarantee, water utilization efficiency, water resources protection, public management ability of water resources, and supporting capacity of water resources. The fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) and entropy method were used to determine the weights of indices. An evaluation model of water resources management modernization was constructed based on the matter element theory. Using the Gaochun District of Nanjing City as an example, the results show that the water resources management in the Gaochun District was in the preliminary modernization stage, which is consistent with the actual situation and verifies the feasibility and effectiveness of the established evaluation model.

Key words: water resources management modernization; evaluation index system; entropy weight method; matter element analysis method; fuzzy analytic hierarchy process

水资源管理现代化是水利现代化重要组成部分,是经济社会发展的重要支撑和保障。在其动态发展过程中,以水资源开发利用与经济社会和谐持续发展为目标,通过改革创新、发展完善来实现水资源管理效率和效益最大化^[1]。水资源管理现代化必须以现代水利观念为指导思想,以科学发展观和可持续发展为理论基础,将传统水利转变为现代水利,实现水资源与经济、社会、环境协调可持续发展,人与自然和谐相处^[2]。

我国十分重视水资源管理工作,近年来不断加大投入力度,各区域正在逐步建立符合水的自然属性与客观规律、适应水资源管理和可持续利用要求的现代水管理体制,国内一些学者也对水资源管理现代化建设提出了自己的见解,左其亭等^[3]指出了

构建现代化水资源管理体系的指导思想和必要性,季红飞等^[4]探讨了水资源管理现代化建设的主要目标和工作任务,裘江海等^[5]提出了与城市化进程相适应的水资源管理现代化目标及措施。与此同时,水资源管理现代化评价也具有十分重要的意义,可以分析水资源管理水平,找到其现有水平与现代化要求的差距,从而推进区域水资源管理现代化建设。但是,目前关于水资源管理现代化的评价指标体系以及评价方法的研究较少。

本文拟构建水资源管理现代化评价指标体系,其目标层从整体上反映水资源管理现代化水平,指标层中各指标反映水资源管理各部分工作的现代化实现程度。由于指标间存在一定的不相容问题,选择物元分析法对水资源管理现代化水平进行评价,

并以南京市高淳区为实例进行研究,以期为水资源管理现代化评价提供思路与方法。

1 水资源管理现代化内涵及要求

水资源管理现代化在不同时期具有不同的内涵,现代水资源管理更加注重水资源的开发、利用、治理、配置、保护和管理,以科学发展观为指导,全面落实最严格水资源管理制度,坚持人水和谐治水理念,围绕水资源配置、节约和保护“三个环节”,通过健全制度、落实责任、提高能力、强化监管“四项措施”,建立健全用水总量控制、用水效率控制、水功能区限制纳污控制、水资源管理责任和考核“四项制度”,以水资源的可持续利用保障经济社会的可持续发展,以水资源管理现代化建设和保障水利现代化及国家经济社会发展现代化目标的实现。

水资源管理现代化的建设要坚持以人为本、民生优先的原则,把群众对水资源管理的满意度放在优先地位;根据区域的自然地理条件和经济社会发展要求,因地制宜、科学管理,强化建设管理改革,将工作内容项目化,提高对经济社会发展的综合保障能力;坚持政府的主导地位,建立健全以公共财政投入为主的投入稳定增长机制,保证地方财力用于水资源管理建设的比例,加强相关部门的沟通协调,有序引导和鼓励社会资本参与水资源管理建设,形成政府社会协同管理水资源的合力;实行水资源管理、节约、保护并举,水资源管理队伍建设和管理能力建设并进,促进区域与流域、农村与城市水利协调发展;进行水资源管理重点领域和关键环节改革,推进水资源管理体制、机制创新,加强人才队伍建设和行政执法力度。

2 水资源管理现代化评价指标体系

根据水利现代化及水资源管理现代化的目标任务,结合近些年一些地区对水资源管理现代化建设的实践探索,水资源管理现代化的主要建设内容概括为:严格控制取用水量,落实水资源论证制度,加强取水许可监督管理,加快推进区域联网供水,强化农田水利保障体系建设,优化水源地布局,使农业、工业、生活供水保证率达标,提高水资源调控水平和供水保障能力;建设更高水平节水型社会,加强非传统水源利用,推进计划用水管理与考核,提高节水管理水平,进一步优化水资源配置,提升用水效率;开展饮用水源地达标建设,保障饮用水安全;加强地下水保护和地下水取水许可监督管理;加强河湖管理,推进河湖健康评估;强化水功能区管理,核定

水功能区纳污能力,落实纳污总量控制;健全和严格落实水资源管理规划体系,加强规范管理,开展自动监测站网建设,提高水资源监测能力;构建河湖健康评价体系,开展河湖健康评估;建设水资源管理信息系统工程,完善水资源管理应用系统,提高水资源公共管理能力;推进涉水事务一体化管理,加强队伍建设,完善人才专业结构,强化水资源费征收,加强水行政执法工作和队伍建设,提高依法行政能力。

水资源管理现代化评价指标体系的构建是为了合理地监测和评估水资源管理现代化发展水平,为逐步实现水资源管理现代化目标服务。应遵循科学性、公认性、独立性、针对性、可行性、可比性、导向性等原则,构建科学量化、精简明了、操作性强、能够反映水资源管理现代化发展方向性与目标性的评价指标体系,既要选择可以适用于各区域水资源管理现代化评价的普适性指标,也要选择反映区域水资源管理现代化特色的特色指标,使评价结果具有针对性。

从水资源管理现代化内涵、目标任务以及主要建设内容出发,参照《江苏省水资源管理现代化指标体系》,并结合评价指标体系建立原则,从水资源保障、用水效率、水资源保护、水资源公共管理能力、水资源支撑能力5个方面构建区域水资源管理现代化指标体系,包括18项普适性指标和4项特色指标,共22项指标,指标体系及各指标含义见表1。在实际应用中,应根据水利发展现状、区域自然经济条件、经济社会发展布局及水资源管理现代化建设的要求与发展目标,结合区域水资源管理特色进行指标的选取和修改。

3 水资源管理现代化评价模型

3.1 组合权重法确定指标权重

权重是一个指标在整个指标体系中的重要程度,权重愈大,说明该指标在这个评价体系中愈重要。确定指标权重的方法可以分为根据专家经验确定的主观赋权法和直接根据评价对象的属性值数列的离散程度确定的客观赋权法^[6]。主观赋权法易受到专家经验的限制与影响,有时不能完全真实反映事物之间的实际关系。客观赋权法依据指标真实数据计算确定指标权重,避免了主观因素对指标权重的影响,但在指标权重计算中忽略人的价值,往往造成了指标权重计算的片面性。主客观组合赋权法结合决策者个人意志与样本数据真实关系,有效地规避了上述两种赋权方法的弊端,因此,本文将模糊层次分析法和熵权法耦合以确定评价指标综合权重。

表 1 水资源管理现代化评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标含义
水资源管理现代化水平	水资源保障	用水总量控制制度	年度用水总量与用水总量控制指标之比
		供水保证率	农业供水保证率采用供水保证率达标面积与总面积之比计算 工业和生活供水保证率按实际保证率与设计保证率之比折算
		区域供水覆盖率*	区域供水覆盖面积与总面积之比
	用水效率	万元 GDP 用水量	年度地区用水总量与 GDP 之比
		万元工业增加值用水量	年度地区工业用水量与工业增加值之比
		灌溉水利用系数*	灌入田间的有效水量与灌溉水源引进的总水量之比
	水资源保护	再生水回用率	污水处理厂再生水回用量与处理量之比
		水功能区达标率	水功能区水质达标个数与监测个数之比
		集中式饮用水源地达标率	集中式饮用水源地达标个数与总个数之比
		入河污染物总量控制	年度重点河湖入河污染物量与上年度入河量之差与上年度入河量之比
	水资源公共管理能力	地下水管理 水平	地下水超采面积与地区面积之比和地下水水位控制水平
		城市污水集中处理率*	城市污水集中处理量与污水排放总量之比
		规划编制与实施	水资源综合规划、节水型社会建设、水资源保护规划等编制与实施程度
		规范管理	建设项目水资源论证、取水许可管理、入河排污口审批管理等制度的执行率
	水资源支撑能力	水资源监测能力	河湖水量和水质监测覆盖率
		河湖健康评估	开展健康评估河湖数与列入区域骨干河道湖泊名录的河湖数之比
		管理信息化	重点用水户自动监测和水资源管理业务系统应用率
		组织机构	机构设置、管理网络、涉水事务统一管理能力
		管理设施	工作制度、档案管理、公众宣传、办公场所、设备配置等基础工作完备率
		经费投入	水资源费征收到位率、水资源投入占比
		人员结构	专业人才、专业结构达标率
		执法能力*	水资源违法立案、行政处罚执行到位率

注:加“*”的指标为特色指标,其他为普适性指标。

3.1.1 模糊层次分析法

采用模糊层次分析法^[7-10]确定水资源管理现代化评价指标的主观权重,主要步骤如下:

步骤 1 确定评价目标与评价指标集。

步骤 2 建立模糊一致判断矩阵。设元素 a_1 、 a_2 、 $\cdots$ 、 a_n 两两之间相对重要程度的模糊一致判断矩阵为

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中 r_{ij} 为指标 a_i 比 a_j 重要的隶属度, r_{ij} 越大, a_i 比 a_j 越重要,采用 0.1~0.9 标度法(表 2)结合德尔菲法确定。

表 2 0.1~0.9 数量标度

标度	定义	说明
0.5	同等重要	两元素相比较,同等重要
0.6	稍微重要	两元素相比较,一元素比另一元素稍微重要
0.7	明显重要	两元素相比较,一元素比另一元素明显重要
0.8	重要得多	两元素相比较,一元素比另一元素重要得多
0.9	极端重要	两元素相比较,一元素比另一元素极端重要

注:若元素 a_i 与 a_j 的标度为 r_{ij} ,则元素 a_j 与 a_i 的标度为 $1-r_{ij}$ 。

模糊一致判断矩阵 R 具有如下性质:

- ① $r_{ii}=0.5(i=1,2,\cdots,n)$;② $r_{ij}+r_{ji}=1(i,j=1,2,\cdots,n)$;③ $r_{ij}=r_{ik}-r_{jk}+0.5(i,j,k=1,2,\cdots,n)$ 。

R 能成为模糊一致判断矩阵的充要条件是存在 n 阶非负归一化向量 $W=(\omega_1,\omega_2,\cdots,\omega_n)$ 及正数 a ,

使得 $\forall i,j$ 满足下式:

$$r_{ij} = a(\omega_i - \omega_j) + 0.5 \tag{2}$$

式中 $a \geq (n-1)/2$ (本文取 $a=(n-1)/2$), a 取值大小的选择反映了决策者的个人偏好, a 越小,表明决策者越重视元素间权重的差异^[11]。由于实际问题的复杂多样与众多专家认知上的差异,构造出的矩阵往往不一定满足上述性质与充要条件,可参考文献^[12]进行判断矩阵一致性的调整。

步骤 3 计算指标权重。由式(2)固定 i 得:

$$\omega_i = \frac{1}{a} \left(r_{ik} - \frac{1}{2} \right) + \omega_k \quad (k=1,2,\cdots,n) \tag{3}$$

对 k 求和得:

$$n\omega_i = \frac{1}{a} \sum_{k=1}^n r_{ik} - \frac{n}{2a} + \sum_{k=1}^n \omega_k \tag{4}$$

由权重向量归一化条件 $\sum_{k=1}^n w_k = 1$ 得:

$$\omega_i = \frac{1}{n} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{na} \sum_{k=1}^n r_{ik} \quad (i=1,2,\cdots,n) \tag{5}$$

其中 $0 \leq \omega_i \leq 1$

3.1.2 熵权法

熵权法是一种客观赋权方法,信息熵是系统无序程度的一个度量,即一个系统越是有序,信息熵就越低;反之,信息熵就越高^[13]。在评价过程中,其值越小,对应指标提供的信息量越大,在综合评价中所起的作用也越大,即权重也越高。

采用熵权法确定水资源管理现代评价指标的客

观权重,主要步骤如下:

步骤1 对层次分析法建立的判断矩阵 R 进行归一化处理,得到标准矩阵:

$$P = (p_{ij})_{n \times n} \quad (6)$$

其中
$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^n r_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n)$$

步骤2 计算第 j 个指标的熵值:

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

其中
$$k = \frac{1}{\ln n}$$

式中: $e_j (0 \leq e_j \leq 1)$ 为第 j 项指标的熵值; k 为信息熵系数。

步骤3 计算各指标的熵权:

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{m - \sum_{j=1}^n e_j} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

其中
$$0 \leq \omega_j \leq 1 \quad \sum_{j=1}^n \omega_j = 1$$

3.1.3 组合权重法

为了使评价指标权重的确定更加科学准确,评价结果更加客观可靠,既充分考虑专家的知识及经验,又可以减少主观随意性影响,采用式(9)将确定主、客观权重的两种方法进行耦合,计算综合权重:

$$\varphi_i = \frac{\omega'_i \omega''_i}{\sum_{i=1}^n \omega'_i \omega''_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

式中: ω'_i 为指标主观权重; ω''_i 为指标客观权重。

3.2 构建物元分析评价模型

物元分析法由我国蔡文教授提出,是用来处理在某些条件下用通常的方法无法达到预期目标的不相容问题的一种分析方法^[14]。对于任一事物均可用“事物的名称 N 、事物的特征 C 、该特征对应的量值 X ”3 个要素来描述,并组成有序三元组的基本元,即物元。可用有序三元组 $R = (N, C, X)$ 作为描述事物的基本单元^[15-6]。

步骤1 建立物元矩阵。水资源管理现代化评价指标体系中有多个评价指标,记为 n 个特征,则建立物元矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_0 & C_1 & X_1 \\ & C_2 & X_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_n \end{bmatrix} \quad (10)$$

式中: R 为 n 维水资源管理现代化物元; R_i 为 R 的分物元; P_0 为待评单元,即水资源管理现代化水平; $C_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 为第 i 项评价指标; $X_i (i = 1, 2, \dots,$

$n)$ 为对应评价指标 C_i 的量值。

步骤2 构造经典域和节域物元。水资源管理现代化的经典域物元 R_j 可表示为

$$R_j = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & X_{j1} \\ & C_2 & X_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{jn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_j & C_1 & [a_{j1}, b_{j1}] \\ & C_2 & [a_{j2}, b_{j2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{jn}, b_{jn}] \end{bmatrix} \quad (11)$$

式中: $N_j (j = 1, 2, \dots, m)$ 为水资源管理现代化评价的第 j 个等级; $X_{ji} = [a_{ji}, b_{ji}]$ 为经典域,表示第 j 个等级关于对应各评价指标所取的数值范围。

水资源管理现代化的节域物元 R_p 可表示为

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & X_{p1} \\ & C_2 & X_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & X_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & C_1 & [a_{p1}, b_{p1}] \\ & C_2 & [a_{p2}, b_{p2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & [a_{pn}, b_{pn}] \end{bmatrix} \quad (12)$$

式中: N_p 为评价等级的全体; $X_{pi} = [a_{pi}, b_{pi}]$ 为节域,表示各指标所有经典域取值范围之和。

步骤3 构造关联函数及关联度。关联函数表示当物元的量值取为实轴上的一点时,物元符合所要求的取值范围的程度。若用 $|X_0| = |b - a|$ 表示有界区间 $X_0 = [a, b]$ 的长度,则点 x_i 到 $X_{ji} = [a_{ji}, b_{ji}]$ 和 $X_{pi} = [a_{pi}, b_{pi}]$ 的距分别为

$$\rho(x_i, X_{ji}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{ji} + b_{ji}) \right| - \frac{1}{2}(b_{ji} - a_{ji}) = \begin{cases} a_{ji} - x_i & x_i \leq \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \\ x_i - b_{ji} & x_i > \frac{a_{ji} + b_{ji}}{2} \end{cases} \quad (13)$$

$$\rho(x_i, X_{pi}) = \left| x_i - \frac{1}{2}(a_{pi} + b_{pi}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pi} - a_{pi}) = \begin{cases} a_{pi} - x_i & x_i \leq \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \\ x_i - b_{pi} & x_i > \frac{a_{pi} + b_{pi}}{2} \end{cases} \quad (14)$$

关联函数 $K_j(x_i)$ 的计算公式如下:

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_i, X_{ji})}{|X_{ji}|} & x_i \in X_{ji} \\ \frac{\rho(x_i, X_{ji})}{\rho(x_i, X_{pi}) - \rho(x_i, X_{ji})} & x_i \notin X_{ji} \end{cases} \quad (15)$$

其中 $|X_{ji}| = |a_{ji} - b_{ji}|$

步骤4 计算综合关联度:

$$K_j(P_0) = \sum_{i=1}^n \omega_i K_j(x_i) \quad (16)$$

式中 $K_j(P_0)$ 为第 j 个评价等级的综合关联度。

步骤5 等级评定。若 $K_j = \max \{K_j(P_0)\} (j=1, 2, \cdots, m)$, 则该区域的水资源管理现代化水平处于第 j 级。当 $0 \leq K_j(P_0) \leq 1$ 时, 表示该区域的水资源管理现代化水平符合该标准等级的要求; 当 $-1 < K_j(P_0) < 0$ 时, 表示其不符合该标准等级的要求, 但是具备转化为该等级的条件, 其值越小, 越易转化; 当 $K_j(P_0) \leq -1$ 时, 表示其不符合该标准等级的要求, 而且又不具备转化为该等级的条件; 当 $K_j(P_0) > 1$ 时, 表示其超过标准等级的上限。

3.3 评价标准

为了使水资源管理现代化与经济社会发展、全面小康社会建设相联系, 将水资源管理现代化水平按照其现代化实现程度划分为起步期、基本小康、全面小康、初等现代化和基本现代化5个等级^[17], 其对应的水资源管理现代化评价标准取值范围分别为 $[0, 40)$ 、 $[40, 60)$ 、 $[60, 80)$ 、 $[80, 90)$ 和 $[90, 100]$ 。

4 实例分析

4.1 南京市高淳区水资源及水资源管理概况

南京市高淳区位于南京市最南端, 地处北纬 $31^{\circ}13' \sim 31^{\circ}26'$ 、东经 $118^{\circ}41' \sim 119^{\circ}12'$, 土地总面积 801.8 km^2 , 其中陆地面积 566.5 km^2 , 占总面积的 70.65% ; 水域面积 235.3 km^2 , 占总面积 29.35% 。区域水资源具有“四多四少”的特点, 即: 本地水少, 过境水多; 冬春水少, 夏秋水多; 东部丘陵山区水少, 西部圩区水多; 优质水少, 受污染水多。全区多年平均本地径流量约为 2.86 亿 m^3 , 多年平均过境水量约为 23.11 亿 m^3 , 2010—2012年年平均地表水水资源量约为 3.724 亿 m^3 , 平均水资源总量为 3.997 亿 m^3 。

高淳区现状地产水资源量相对短缺再加上水资源污染现象日益严重, 属于工程型缺水 and 水质型缺水并存的地区。近年来, 高淳区十分重视水资源的合理开发与高效利用, 积极开展水资源管理能力建设, 水资源保障能力、公共管理能力、支撑保障能力逐步提高, 用水效率稳步提升, 水资源保护扎实推进, 逐步由水利水务分开管理向水务一体化转变, 初步建立了符合水的自然属性与客观规律、适应水资源管理和可持续利用要求的现代水管理体制。

根据高淳区水资源管理现代化特点和发展目标, 从第2节构建的水资源管理现代化评价指标体系中选取普适性指标和特色指标共20项, 基于2012年现状调查统计、水利普查以及《南京市高淳区水资源管理现代化建设实施方案》, 高淳区水资源管理现代化各评价指标现状值、现代化目标值以及现状年现代化实现程度见表3。

表3 高淳区水资源管理现代化评价指标体系及指标值

目标层 A	准则层 B	指标层 C	2012 年现状值	现代化目标值	现状年现代化实现程度
水资源管理现代化水平	水资源保障(B ₁)	用水总量控制度(C ₁)	100%	100%	100.00%
			80%	85%	
		供水保证率(C ₂)	95%	95%	96.06%
			(农业)(工业)(生活)	(农业)(工业)(生活)	
	用水效率(B ₂)	万元GDP用水量(C ₃)	85.4 m ³	70 m ³	81.97%
		万元工业增加值用水量(C ₄)	18 m ³	15 m ³	83.33%
		灌溉水利用系数(C ₅)	0.62	0.68	91.18%
		再生水回用率(C ₆)	12%	30%	40.00%
	水资源保护(B ₃)	水功能区达标率(C ₇)	75%	85%	88.24%
		集中式饮用水源地达标率(C ₈)	100%	100%	100.00%
		入河污染物总量控制(C ₉)	4.5%	5%	90.00%
		地下水管理水平(C ₁₀)	100%	100%	100.00%
	水资源公共管理(B ₄)	规划编制与实施(C ₁₁)	65%	80%	81.25%
		规范管理(C ₁₂)	85%	100%	85.00%
		水资源监测能力(C ₁₃)	70%	80%	87.50%
		河湖健康评估(C ₁₄)	22.22%	100%	22.22%
	水资源支撑能力(B ₅)	管理信息化(C ₁₅)	85%	95%	89.47%
		组织机构(C ₁₆)	75%	85%	88.24%
		管理设施(C ₁₇)	77%	90%	85.56%
		经费投入(C ₁₈)	75%	85%	88.24%
		人员结构(C ₁₉)	60%	80%	75.00%
		执法能力(C ₂₀)	83%	95%	87.37%

4.2 指标权重的计算

根据模糊层次分析法、熵权法步骤以及式(9)计算各指标主、客观权重及综合权重, 并得到指标层各评价指标对于目标层的最终权重值: $W = (\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_n) = (0.051, 0.040, 0.022, 0.022, 0.018, 0.019, 0.043, 0.018, 0.019, 0.018, 0.079, 0.102, 0.079, 0.041, 0.060, 0.100, 0.114, 0.052, 0.052, 0.052)$ 。各评价指标权重值见表4。

4.3 待评物元、经典域和节域的确定

根据第2.3节构建的评价标准, 结合江苏省以及全国平均水平和先进水平、国际通行指标以及相关文献^[18-20], 确定高淳区水资源管理现代化评价分级标准, 以此建立待评物元、经典域和节域, 见表5。

4.4 评价结果与分析

将待评物元中的数据输入物元模型, 计算各评价指标关于各评价等级的关联度, 结果见表6。

由表6可知, $K_j = 0.0479$, 故高淳区水资源管理现代化水平处于初等现代化阶段, 并有进入基本现代化阶段的趋势。由各指标关联度可以看出, 大部分指标都达到了初等现代化水平, 尤其在用水总量控制、供水保证率、集中式饮用水源地达标率、地下水管理等方面都已基本达到现代化目标值, 但仍有

表 4 评价指标权重值

准则层 B	主观权重 ω'_i	客观权重 ω''_i	综合权重 φ_i	指标层 C	主观权重 ω'_i	客观权重 ω''_i	综合权重 φ_i	最终权重 ω_i
B_1	0.158	0.126	0.091	C_1	0.530	0.530	0.560	0.051
				C_2	0.470	0.470	0.440	0.040
B_2	0.148	0.118	0.080	C_3	0.258	0.262	0.270	0.022
				C_4	0.258	0.262	0.270	0.022
				C_5	0.238	0.234	0.222	0.018
				C_6	0.245	0.242	0.237	0.019
				C_7	0.313	0.362	0.437	0.043
B_3	0.163	0.130	0.098	C_8	0.227	0.210	0.183	0.018
				C_9	0.233	0.218	0.196	0.019
				C_{10}	0.227	0.210	0.183	0.018
				C_{11}	0.210	0.212	0.218	0.079
				C_{12}	0.230	0.252	0.284	0.102
B_4	0.263	0.305	0.360	C_{13}	0.210	0.212	0.218	0.079
				C_{14}	0.160	0.144	0.113	0.041
				C_{15}	0.190	0.180	0.167	0.060
				C_{16}	0.228	0.244	0.270	0.100
				C_{17}	0.238	0.267	0.308	0.114
B_5	0.268	0.322	0.371	C_{18}	0.178	0.163	0.141	0.052
				C_{19}	0.178	0.163	0.141	0.052
				C_{20}	0.178	0.163	0.141	0.052

表 5 高淳区水资源管理现代化评价待评物元、经典域及节域

评价指标	X_i	五级经典域 X_{ji}					节域 X_{pi}
		起步期 X_{1i}	基本小康 X_{2i}	全面小康 X_{3i}	初等现代化 X_{4i}	基本现代化 X_{5i}	
U_1	100.00	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_2	96.06	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_3	81.97	[0, 60]	[60, 70]	[70, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_4	83.33	[0, 60]	[60, 70]	[70, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_5	91.18	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_6	40.00	[0, 35]	[35, 45]	[45, 60]	[60, 75]	[75, 100]	[0, 100]
U_7	88.24	[0, 50]	[50, 60]	[60, 80]	[80, 95]	[95, 100]	[0, 100]
U_8	100.00	[0, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 95]	[95, 100]	[0, 100]
U_9	90.00	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{10}	100.00	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{11}	81.25	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{12}	85.00	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{13}	87.50	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{14}	22.22	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{15}	89.47	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{16}	88.24	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{17}	85.56	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{18}	88.24	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{19}	75.00	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]
U_{20}	87.37	[0, 40]	[40, 60]	[60, 80]	[80, 90]	[90, 100]	[0, 100]

少部分指标,如再生水回用率、河湖健康评估水平距离现代化目标值还有较大的差距,有关部门应积极推进再生水回用工程的建设工作,提高用水效率,积极建立河湖健康评估体系,制订河湖健康标准,科学合理开展河湖健康评估,提高水资源公共管理能力。另外,由表 4 可以看出规范管理、组织机构、水资源监测能力 3 项指标所占的权重较大,高淳区在水资

表 6 高淳区水资源管理现代化评价指标

对各评价等级的关联度					
评价 指标	$K_j(x_i)$				
	起步期	基本小康	全面小康	初等现代化	基本现代化
C_1	-1.0000	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.0000
C_2	-0.9343	-0.9015	-0.8030	-0.6060	0.3940
C_3	-0.5493	-0.3990	-0.0985	0.1970	-0.3081
C_4	-0.5833	-0.4443	-0.1665	0.3330	-0.2858
C_5	-0.8530	-0.7795	-0.5590	-0.1180	0.1180
C_6	-0.1111	0.5000	-0.1111	-0.3333	-0.4667
C_7	-0.7648	-0.7060	-0.4120	0.4507	-0.3650
C_8	-1.0000	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.0000
C_9	-0.8333	-0.7500	-0.5000	0.0000	0.0000
C_{10}	-1.0000	-1.0000	-1.0000	-1.0000	0.0000
C_{11}	-0.6875	-0.5313	-0.0625	0.1250	-0.3182
C_{12}	-0.7500	-0.6250	-0.2500	0.5000	-0.2500
C_{13}	-0.7917	-0.6875	-0.3750	0.2500	-0.1667
C_{14}	0.4445	-0.4445	-0.6297	-0.7223	-0.7531
C_{15}	-0.8245	-0.7368	-0.4735	0.0530	-0.0479
C_{16}	-0.8040	-0.7060	-0.4120	0.1760	-0.1302
C_{17}	-0.7593	-0.6390	-0.2780	0.4440	-0.2352
C_{18}	-0.8040	-0.7060	-0.4120	0.1760	-0.1302
C_{19}	-0.5833	-0.3750	0.2500	-0.1667	-0.3750
C_{20}	-0.7895	-0.6843	-0.3685	0.2630	-0.1723
$K_j(P_0)$	-0.7202	-0.6485	-0.3791	0.0479	-0.1924

源管理现代化建设中硬件投入相对较大,重点强化水资源管理制度,规范水资源管理行为,完善机构设置,提高涉水事务管理能力,提高全区水资源监测能力。

总体而言,本文评价结果与高淳区水利现代化评价相适应,与《南京市高淳区水资源管理现代建设实施方案》中“高淳区 2012 年水资源管理尚未实现现代化”的评价结果一致,评价结果具有一定的可信度,评价指标体系和评价方法具有一定的可靠性和适用性。

5 结 语

水资源管理现代化是水利现代化重要组成部分,是经济社会发展现代化的重要支撑和保障,其重要性越来越突出。水资源管理现代化涉及范围较广且内容较多,目前对其评价指标体系的建立和评价方法的研究比较少。本文构建了水资源管理现代化评价指标体系,将物元分析法运用到水资源管理现代化评价中,以各个指标的现状年现代化实现程度作为指标的量值,使构建的物元分析模型更具有通用性,计算更加便捷,结果清晰明了。采用主、客观权重相结合得到综合权重,同时考虑决策者个人偏好与客观情况,使所确定的权重更加科学合理。将水资源管理现代化评价模型应用于南京市高淳区中,评价结果与实际情况相符,说明物元分析法作为水资源管理现代化评价的一种方法具有一定的可行性和有效性,也说明所建立的水资源管理现代化评

价指标体系具有一定的科学性和合理性。在具体应用中,所构建的水资源管理现代化指标体系应充分考虑各区域实际情况以及当地水资源管理特色,并进行适当的调整或补充。另外评价指标的经典域与节域范围界定等问题也有待进一步研究。

参考文献:

[1] 宋建军. 水资源管理现代化实现途径探讨[J]. 江苏水利,2013(8):30-32. (SONG Jianjun. Discussion on the methods to realizing water resources management modernization [J]. Jiangsu Water Resources,2013(8):30-32. (in Chinese))

[2] 张亮,张金萍,陈卫宾. 关于我国水资源管理现代化建设的几个问题[J]. 华北水利水电学院学报,2011,32(1):14-16. (ZHANG Liang, ZHANG Jinping, CHEN Weibin. Discussion on issues of modernization of water resource management in China[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2011,32(1):14-16. (in Chinese))

[3] 左其亨,马军霞,陶洁. 现代水资源管理新思想及和谐论理念[J]. 资源科学,2011,33(12):2214-2220. (ZUO Qiting, MA Junxia, TAO Jie. New thoughts of modern water management and harmony ideas[J]. Resources Science, 2011,33(12):2214-2220. (in Chinese))

[4] 季红飞,冯志祥,游洋,等. 关于江苏水资源管理现代化建设的思考[J]. 水利发展研究,2013(3):53-57. (JI Hongfei, FENG Zhixiang, YOU Yang, et al. Thoughts on water resources management modernization construction of Jiangsu Province [J]. Water Resources Development Research,2013(3):53-57. (in Chinese))

[5] 裘江海,王亚红. 对浙江省水资源管理现代化的几点认识[J]. 浙江水利水电专科学校学报,2000,12(4):13-14. (QIU Jianghai, WANG Yahong. Thoughts on modern water management in Zhejiang Province [J]. Journal of Zhejiang University of Water Resources and Electric Power,2000,12(4):13-14. (in Chinese))

[6] 高光贵. 多指标综合评价中指标权重确定及分值转换方法研究[J]. 经济师,2003(3):265-266. (GAO Guanggui. Study on the determination of index weight and the method of value conversion in multi-index comprehensive evaluation[J]. Economist,2003(3):265-266. (in Chinese))

[7] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.

[8] 樊治平,姜艳萍. 模糊判断矩阵排序方法研究的综述[J]. 系统工程,2001,19(5):12-18. (FAN Zhiping, JIANG Yanping. Review on the research of fuzzy judgment matrix ranking method[J]. Systems Engineering,2001,19(5):12-18. (in Chinese))

[9] 樊治平,姜艳萍,肖汉双. 模糊判断矩阵的一致性及其性质[J]. 控制与决策,2001,16(1):69-71. (FAN

Zhiping, JIANG Yanping, XIAO Sihan. Consistency of fuzzy judgement matrix and its properties[J]. Control and Decision,2001,16(1):69-71. (in Chinese))

[10] 张吉军. 模糊层次分析法(FAHP)[J]. 模糊系统与数学,2000,14(2):80-88. (ZHANG Jijun. Fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) [J]. Fuzzy Systems Mathematics,2000,14(2):80-88. (in Chinese))

[11] 吕跃进. 基于模糊一致矩阵的模糊层次分析法的排序[J]. 模糊系统与数学,2002,16(2):79-85. (LÜ Yuejin. Weight calculation method of fuzzy analytical hierarchy process[J]. Fuzzy Systems Mathematics,2002,16(2):79-85. (in Chinese))

[12] 陶余会. 如何构造模糊层次分析法中模糊一致判断矩阵[J]. 四川师范学院学报(自然科学版),2002,23(3):282-285. (TAO Yuhui. How to construct fuzzy consistent judgment matrix in fuzzy analytic hierarchy process [J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science),2002,23(3):282-285. (in Chinese))

[13] 杨力,刘程程,宋利,等. 基于熵权法的煤矿应急救援能力评价[J]. 中国软科学,2013(11):185-192. (YANG Li, LIU Chengcheng, SONG Li, et al. Evaluation of coal mine emergency rescue capability based on entropy weight method[J]. China Soft Science,2013(11):185-192. (in Chinese))

[14] 蔡文. 物元分析[M]. 广州:广东高等教育出版社,1987.

[15] FENG Lihua, HONG Weihua. Application of matter element analysis in weather forecasting[J]. Royal Meteorological Society,2014,21(2):398-402.

[16] 方国华,黄显峰. 多目标决策理论、方法及其应用[M]. 北京:科学出版社,2011.

[17] 叶健. 江苏水利现代化发展进程评估与展望[J]. 水利发展研究,2010,10(6):11-14. (YE Jian. Evaluation and prospect of the development of modernization of water conservancy in Jiangsu[J]. Water Resources Development Research,2010,10(6):11-14. (in Chinese))

[18] 王丹. 南昌市水生态文明建设评价研究[D]. 南昌:南昌大学,2015.

[19] 高玉杉,方国华,黄显峰,等. 基于模糊层次分析与可变模糊集的徐州市水资源管理现代化评价[J]. 水电能源科学,2014,32(4):155-158. (GAO Yushan, FANG Guohua, HUANG Xianfeng, et al. Water resources management modernization evaluation of Xuzhou City based on fuzzy AHP and variable fuzzy sets theory [J]. Water Resources and Power,2014,32(4):155-158. (in Chinese))

[20] 秦福兴,耿雷华,陈晓燕. 确定万元GDP取水量定额方法的探索[J]. 水利学报,2004,35(8):119-122. (QIN Fuxing, GEN Leihua, CHEN Xiaoyan. Investigation on method for determining water withdrawal quota per ten thousand Yuan GDP[J]. Journal of Water Conservancy, 2004,35(8):119-122. (in Chinese))

(收稿日期:2016-06-10 编辑:骆超)