

山东省节水型社会建设指标体系与评价方法

张保祥¹, 黄继文¹, 黄 乾¹, 纪亚非², 党永良²

(1. 山东省水利科学研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省水利厅, 山东 济南 250013)

摘要 :在分析山东省水资源开发利用现状和确定不同规划水平年评价指标的基础上 ,建立了山东省节水型社会建设评价指标体系 ,包括综合、生活、生产、生态和管理 5 个方面的 25 个指标 ,涵盖了社会经济、居民生活、工农业生产、生态环境和水管理等节水型社会建设涉及的各个方面。采用模糊综合评判方法对节水型社会建设指标体系进行了评价 ,考察了各规划水平年山东省节水型社会建设的实现程度 ,并提出了节水型社会建设的保障对策措施。

关键词 :节水型社会建设 ;指标体系 ;模糊综合评判 ;实现程度 ;山东省

中图分类号 :F290 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-764X(2008)S1-0001-04

水资源是基础性的自然资源 and 战略性的经济资源 ,是生态环境的控制性要素 ,是经济社会可持续发展的基础。水资源的可持续利用 ,是实现经济社会可持续发展极为重要的保障。节水是实现水资源优化配置与可持续利用的前提和关键。

节水型社会是指人们在生活和生产过程中 ,在水资源开发利用的各个环节 ,通过政府调控、市场引导、公众参与 ,以完备的管理体制、运行机制和法律体系为保障 ,建立与水资源承载能力相适应的经济结构体系 ,促进经济社会的可持续发展^[1]。

节水型社会建设是以提高水资源利用效率和效益 ,促进经济、资源、环境协调发展为目标 ,以建设完备的节水工程体系和建立科学的节水管理制度为重点 ,以科学技术为支撑 ,通过水资源优化配置、非常规水源的联合调配、产业结构调整、经济手段调控、加强需水管理和推广新技术新工艺等措施 ,建设包括农业、工业、服务业和生活节水在内的节水型社会 ,逐步形成以节流为本的水安全保障体系 ,实现水资源的可持续利用 ,为实现经济、社会的可持续发展提供保障^[2]。

1 山东省水资源现状

山东省是我国沿海省市之一 ,经济发达 ,水资源短缺。根据水资源评价成果 ,1956 ~ 1999 年山东省多年平均年降水量为 676.5 mm ,地表水资源量为 222.90 亿 m³ ,地下水资源量为 152.57 亿 m³ ,重复量

69.65 亿 m³ ,水资源总量 305.82 亿 m³。

1.1 水资源特点

a. 水资源总量不足 ,人均和亩均水资源占有量偏低。山东省当地淡水资源总量仅占全国水资源总量的 1.1% ,全省人均水资源占有量为 336 m³ ,仅为全国人均占有量的 14.7% ,为世界人均占有量的 4.0% ,位居全国各省(市、自治区)倒数第三位。山东省亩均水资源占有量为 299 m³ ,仅为全国亩均占有量的 16.7%。

b. 水资源时空分布不均。全省降水量年际变化大 ,年内分配很不均匀 ,地区分布差异很大。全省各地最大降水量一般是最小年降水量的 3 ~ 6 倍 ,年降水量分布总的趋势是由东南沿海向鲁西北内陆递减 ,多年平均年降水量鲁东南为 810 mm 左右 ,鲁西北为 550 mm 左右。

c. 水资源年际变化剧烈 ,开发利用难度大。山东省各地降水量、水资源量的年际变化幅度较大 ,丰、枯水年交替出现 ,连丰和连枯现象明显。山东省具有 60 年左右的丰枯变化周期 ,水资源开发利用难度较大。

d. 黄河水是山东省重要的客水资源 ,但黄河入境水量和可利用量有减少趋势。由于受流域降水丰枯变化和流域内引黄用水量逐年增加的影响 ,黄河下游来水量呈减少趋势 ,特别是进入 20 世纪 90 年代以来 ,进入山东省的平均水量骤减至 222 亿 m³ ,比多年平均水量减少了 42.4%。

e. 山东省的河流水质污染比较严重 ,大部分河

段水质为劣Ⅴ类。2003 年地表水河流水质评价监测河段共 70 个,总代表河长为 4 855.4 km。全省地表水河流水质评价的全年期超过 GB 3838—2002《地面水环境质量标准》中Ⅲ类标准的河长为 4 393.8 km,占总代表河长的 90.5%,劣Ⅴ类代表河长为 3488.8 km,占总代表河长的 71.9%。出现这种情况的主要原因是由于城市生活污水、工业废水排放污染,主要超标污染参数为高锰酸盐指数、氨氮、化学需氧量和溶解氧等。

1.2 供需平衡与节水潜力分析

山东省 2003 年总供水量为 219.35 亿 m³,其中地表水供水量 104.12 亿 m³,地下水供水量 113.95 亿 m³,其他水源供水量 1.28 亿 m³。用水量中农田灌溉、农牧渔畜、工业、城镇公共、居民生活、生态环境分别占总用水量的 65.13%,8.97%,14.42%,1.64%,9.22%和 0.62%。

通过计算,山东省 2010 年 50% 和 75% 保证率下缺水率分别为 12.8% 和 26.1%;2020 年 50% 和 75% 保证率下缺水率分别为 22.5% 和 33.4%;2030 年 50% 和 75% 保证率下缺水率分别为 25.2% 和 35.1%。可见在现状用水水平下,在充分挖掘当地水及客水潜力的基础上,各规划水平年山东省社会经济发展将面临水资源短缺的严峻挑战,在各种水源供水潜力越来越小的情况下,只有采取工程和非工程措施节约用水,提高有限水资源的利用效率,加快节水型社会的建设步伐,促进水资源的可持续利用,才能支撑经济、社会和环境的可持续发展。

农业节水的潜力主要在于调整农作物种植结构、改造大中型灌区、扩大节水灌溉面积、提高渠系水利用系数、改进灌溉制度和调整农业供水价格等措施。经计算,山东省现状农业节水潜力为 569459 万 m³;工

业节水潜力的大小与当地水资源条件、经济社会发展状况、科学技术水平、水价等因素有关,山东省现状工业节水潜力为 147 708 万 m³;城镇生活节水潜力取决于城市生活用水定额、城市管网漏失率和节水器具普及率等因素,山东省城镇生活节水器具的节水潜力为 10 751 万 m³,管网漏失节水潜力为 10355 万 m³,年节水潜力为 21 106 万 m³;建筑业目前节水潜力为 3 341 万 m³;第三产业节水潜力为 33440 万 m³。

2 指标体系的建立

由于节水型社会建设涉及面广,影响因素众多,需要建立一套节水型社会建设指标体系^[3],该指标体系应涵盖社会经济、生活、生产、生态等节水型社会建设过程中涉及的各个方面。结合山东省节水型社会建设的实际,综合考虑节水型社会建设的影响因素,建立节水型社会建设指标体系,该指标体系包括定性指标体系和定量指标体系。

节水型社会建设指标体系中定量指标体系共分为 3 个层次:目标层、系统层和指标层^[4]。系统层又分为综合指标、生活指标、生产指标、生态指标、管理指标,系统层的每个层次对应基础指标。节水型社会建设指标体系涵盖了社会经济、居民生活、工农业生产、生态环境、水管理等 5 个方面,评价指标体系共包括 25 个指标。节水型社会建设指标体系结构见表 1。

以节约用水为主要手段、以提高水资源利用效率为目标,根据社会经济发展目标和节水型社会目标以及以上供需水量预测结果共同确定规划水平年的控制指标,为山东省节水型社会建设提供依据。2003 年 2010 年 2020 年和 2030 年水平年指标见表 1。

表 1 节水型社会建设指标体系定量指标结构及现状和各规划水平年指标测算结果

年份	综合指标						生产指标						
	人均综合用水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	万元 GDP 取水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	城市计划用水率/%	用水结构指数/%	非常规水源替代水资源利用比例/%	综合用水定额/ ($\text{L} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	工业万元增加值取水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	工业用水重复利用率/%	节水灌溉面积率/%	灌溉水有效利用系数	农田灌溉用水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	第三产业万元增加值取水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	
2003	240.8	176.4	80.0	74.1	8.7	118	53	65	33.6	0.55	3405	58	
2010	260.0	100.0	90.0	70.0	12.0	120	30	75	55.0	0.60	3000	30	
2020	300.0	60.0	95.0	65.0	15.0	120	15	80	65.0	0.65	2700	20	
2030	320.0	40.0	99.9	60.0	20.0	120	10	85	80.0	0.70	2400	10	

年份	生活指标				生态指标				管理指标					
	城市自来水普及率/%	城市节水器具普及率/%	村镇自来水普及率/%	管网漏失率/%	污水处理回用率/%	排水率/%	城市污水处理率/%	水土流失治理率/%	地下水水质Ⅲ类以上比例/%	工业用水装表率/%		管理人员结构指数/%	节水投资占水利投资的比例/%	节水灌溉管理信息化程度/%
2003	98.2	52	42	20	14.2	32	49.6	68.5	97.0	90.0	80.0	60	1	20
2010	99.0	70	85	15	40.0	25	55.0	75.0	98.0	93.0	90.0	70	5	30
2020	99.9	80	90	10	60.0	20	70.0	80.0	99.0	95.0	95.0	80	20	50
2030	99.9	85	95	8	80.0	10	80.0	85.0	99.9	99.9	99.9	90	40	60

3 评价方法

3.1 模糊综合评判模型

模糊评判模型的一般形式为^[5]

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \tag{1}$$

式中元素 $x_j (j = 1, 2, \dots, n)$ 为评价对象。

又已知一个有限集合 K ,

$$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\} \tag{2}$$

式中元素 $k_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 为不同的评价指标。令 u_i 为第 i 个评价指标 $k_i \in K$ 的隶属函数,即

$$u_i = \mu(k_i), u_i \in [0, 1] \tag{3}$$

则 u_i 为一个有限的模糊子集,即

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \tag{4}$$

模糊评判问题的数学表达式即是寻求一个模糊集合 B :

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}, b_i \in [0, 1] \tag{5}$$

式中元素 b_j 为 j 个被评价对象的综合评价指数。由于隶属函数 u_i 适用于所有的评价对象 x_i , 则可以得到一个评价矩阵 R 称为模糊关系,即

$$R = U \times X \rightarrow [0, 1]$$
$$R = (r_{ij})_{m \times n} = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中 $r_{ij} \in [0, 1]$ 为 j 个被评价对象关于第 i 个评价指标的隶属度。

给定一个模糊向量

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\} \tag{7}$$

式中元素 $a_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 表示第 k 个模糊算子相当于评价的权重,且

$$\sum_{k=1}^m a_k = 1 \quad a_k \in [0, 1] \tag{8}$$

有了判别矩阵 R 和权重矩阵 A 两个矩阵后,即可进行复合运算进行评判,可得模糊子集

$$B = A \circ R = (b_j)_n = (b_1, b_2, \dots, b_n) \tag{9}$$

本文选用模糊算子是加权平均型模型,评语等级 $M = 5$, 分别为节水型社会的“不可能实现”、“可能实现”、“基本实现”、“实现”、“完全实现”5个等级。各单项节水指标是模糊综合评价的评价指标。

3.2 层次分析法权重计算模型

层次分析广泛应用于复杂系统的分析与决策。在专家打分的基础上,构造判断矩阵 T :

$$T = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{m1} & \dots & u_{mm} \end{bmatrix} \tag{10}$$

然后对其重要性进行排序,最后需要对判断矩阵进行一致性和随机性检验。检验公式为

$$C_R = C_I / R_I \tag{11}$$

式中 C_R 为判断矩阵的随机一致性比率; C_I 为判断矩阵一致性指标,它由下式计算:

$$C_I = \frac{1}{m-1}(\lambda_{\max} - m) \tag{12}$$

式中 $\lambda_{\max}$ 为最大特征根; m 为判断矩阵阶数; R_I 为判断矩阵的平均随机一致性指标。

R_I 由大量试验给出,对于低阶判断矩阵, R_I 取值列于表 2。

表 2 层次分析法的平均随机一致性指标值

m	R_I	m	R_I	m	R_I
1	0.00	5	1.12	9	1.45
2	0.00	6	1.24	10	1.49
3	0.58	7	1.32	11	1.51
4	0.90	8	1.41		

对于一阶和二阶判断矩阵,由于肯定可以通过一致性判断,故不必进行随机性和一致性检验。对于高于 12 阶的判断矩阵,需要进一步查资料或采用近似方法。

当 $C_R < 0.1$ 时,即认为判断矩阵具有满意的一致性,说明权数分配是合理的;否则,就需要调整判断矩阵,直到取得满意的一致性为止。

4 应用

根据已经建立的层次结构体系,结合山东省各水平年指标值(表 1)及分级标准值(表 3),对山东省 2003 年、2010 年、2020 年和 2030 年的节水型社会建设情况进行评价。

首先对目标层和系统层之间构造判断矩阵,采用 9 级标度法, A-B 判断矩阵即目标层(A)与系统层(B)的判断矩阵见表 4。在节水型社会评价中,系统层的重要性程度可以按照如下排序:综合指标大于生活指标大于生产指标大于生态指标大于管理指标。其重要性排序的原则:一是满足对象的重要性,二是节水效果的明显性。

建立好 A-B 判断矩阵后,利用层次分析法(AHP)确定权重 w_{A-B} ,用 MatLab 编程可计算出 A-B 矩阵的特征值,归一化后的特征向量即为 A-B 的权重值。

$$w_{A-B} = [0.4185 \quad 0.2625 \quad 0.1599 \quad 0.0973 \quad 0.0618]$$

对其进行一致性检验: $C_R = 0.0152$,满足一致性要求。

对于系统层与指标层,即 B-C 层的权重,由于指标之间重要性程度不易判断,所以不用 AHP 法定权

表 3 山东省节水型社会建设指标体系分级标准

M	综合指标						生产指标					
	人均综合用水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{人}^{-1}$)	万元 GDP 取水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	城市计划用水率/%	用水结构指数/%	非常规水源替代水资源利用比例/%	综合用水定额/ ($\text{L} \cdot \text{人}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)	工业万元增加值取水 量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)	工业用水重复利用率/%	节水灌溉面积率/%	灌溉水有效利用系数	农田灌溉用水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	第三产业万元增加值取水 量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1}$)
不能实现	150	300	65.0	80	3	75	80	55	20	0.45	6750	75
可能实现	225	150	75.0	73	8	125	50	65	40	0.55	5250	60
基本实现	275	75	85.0	67	13	175	30	75	60	0.65	3750	40
实现	325	35	95.0	60	17	225	15	85	80	0.75	2700	20
完全实现	400	15	99.5	50	22	300	8	95	90	0.85	1950	7

M	生活指标				生态指标				管理指标					
	城市自来水普及率/%	城市节水器具普及率/%	村镇自来水普及率/%	管网漏失率/%	污水处理回用率/%	排水率/%	城市污水处理率/%	水土流失治理率/%	地下水水质Ⅲ类以上比例/%	工业用水装表率/%		管理人员结构指数/%	节水投资占水利投资的比例/%	节水灌溉管理信息化程度/%
不能实现	75.0	40	20	30	10	35	45	50	93.0	85	75	55	0.5	10
可能实现	85.0	55	50	20	30	30	55	65	95.5	90	85	65	3.0	30
基本实现	93.0	70	70	13	50	22	65	75	97.0	95	92	75	5.0	50
实现	97.0	85	90	8	70	15	75	85	99.0	97	95	85	8.0	70
完全实现	99.5	97	95	3	90	8	85	95	99.8	99	99	95	12.0	90

表 4 A-B 判断矩阵

A-B	综合指标	生活指标	生产指标	生态指标	管理指标
综合指标	1	2	3	4	5
生活指标	1/2	1	2	3	4
生产指标	1/3	1/2	1	2	3
生态指标	1/4	1/3	1/2	1	2
管理指标	1/5	1/4	1/3	1/2	1

重,而利用指标值法定权重。

$$w_i = \frac{x_i}{s_i} \quad s_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \quad (13)$$

式中: x_i 为评价指标值; s_i 为各评价指标等级代表值(a_j)的算术平均值; n 为分级数。

对所求得各单项指标权重进行归一化处理,即

$$\bar{w}_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (14)$$

依据式(13)和式(14)可以得到评判指标组成的权重矩阵 w_{B-C} 。根据 $A = \bar{w} \circ R$ 得到模糊判别矩阵,从而得到评价结果。

对于现状 2003 年,首先计算系统层年指标层(B-C 层)的权重及隶属函数矩阵,由此可以得到各层次判别向量,并可以求得 A-B 的权重:

$$w_{A-B} = [0.4185 \quad 0.2625 \quad 0.1599 \quad 0.0973 \quad 0.0618]$$

由 $A = w \circ R$ 得到 $A = [0.1309 \quad 0.6684 \quad 0.1312 \quad 0.0388 \quad 0.0306]$ 根据最大隶属度原则,山东省 2003 年节水型社会实现程度为“可能实现”节水型社会。

同理求得 2010 规划水平年 A-B 的权重:

$$w_{A-B} = [0.4185 \quad 0.2625 \quad 0.1599 \quad 0.0973 \quad 0.0618]$$

得到 $A = [0.0034 \quad 0.2438 \quad 0.5624 \quad 0.1450 \quad 0.0454]$ 因此,山东省 2010 年节水型社会实现程度为“基本实现”节水型社会。

2020 规划水平年 A-B 的权重:

$$w_{A-B} = [0.4185 \quad 0.2625 \quad 0.1599 \quad 0.0973 \quad 0.0618]$$

得到 $A = [0.0035 \quad 0.0316 \quad 0.3507 \quad 0.5231 \quad 0.0911]$ 因此,山东省 2020 年节水型社会实现程度为“实现”节水型社会。

2030 规划水平年 A-B 的权重:

$$w_{A-B} = [0.4185 \quad 0.2625 \quad 0.1599 \quad 0.0973 \quad 0.0618]$$

得到 $A = [0.0035 \quad 0.0315 \quad 0.0291 \quad 0.4889 \quad 0.4470]$ 因此,山东省 2030 年节水型社会实现程度为“实现”节水型社会。

5 结 语

山东省水资源总量不足,水资源短缺已成为制约社会经济发展的“瓶颈”因素。在各种水源开发利用潜力越来越小的情况下,只有通过采取各种工程和非工程节约用水措施,加快节水型社会的建设步伐,才能保障水资源的可持续利用,促进社会经济的可持续发展。

通过各个评价指标值可以直观地反映节水型社会建设过程中所取得的成就和不足,及时掌握全省节水型社会建设的进程,能对全省节水型社会建设起到指导作用,促进全省节水型社会工作的深入开展。

参考文献:

[1] 索丽生. 坚持科学发展观全面推进节水型社会建设[J]. 中国水利, 2005(13): 18-20.
[2] 王建华. 基于社会学的节水型社会建设理论纲要[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
[3] 李红梅, 陈宝峰. 宁夏节水型社会建设评价指标体系研究[J]. 水利水文自动化, 2007(2): 42-46.
[4] 杨玮, 陈军飞, 王慧敏, 等. 江苏省节水型社会建设评价研究[J]. 水利经济, 2008, 26(1): 5-8.
[5] 李安贵, 张志宏, 孟艳, 等. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2005.

(收稿日期: 2008-04-03 编辑: 方宇彤)