

二连浩特市水资源与经济社会和谐度评价

宋一凡^{1,2}, 郭中小¹, 徐晓民¹, 李占河³

(1. 水利部牧区水利科学研究所, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100044;
3. 二连浩特市水务局, 内蒙古 二连浩特 012600)

摘要:以二连浩特市人水关系为研究对象,从取水总量和谐度、用水效率和谐度、水生态环境保护和谐度三个方面构建了二连浩特市水资源与经济社会和谐度评价体系。从评价结果可以看出,二连浩特市开展节水型社会建设以来,水资源与经济社会和谐度发生了较显著的改善。评价体系较好地反映了二连浩特市水资源与经济社会和谐度,对北方干旱缺水地区节水型社会建设具有借鉴意义。

关键词:水资源;经济社会;人水和谐;和谐度;评价体系

中图分类号:TV68

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2016)01-0066-05

水资源是支持经济社会可持续发展的重要基础,经济社会是保护水资源的重要主体,二者相辅相成^[1],相互促进,而又相互制约。本文从人水和谐的角度出发,结合二连浩特市节水型社会建设工作相关成果,对二连市水资源与经济社会和谐度进行评价。

1 人水和谐概念及评价体系

1.1 人水和谐概念及内涵

人水和谐概念由来已久,在不同的时期和研究领域中又有着不同的认识和侧重点。中国的水文化源远流长,“智者乐水,仁者乐山”、“水可载舟,亦可覆舟”、“水利万物而不争”,其核心诉求都流淌着人水和谐的声韵。Falkenmark 分析了水与生态系统间的相互作用,提出了“人水一体化”水资源管理理论框架^[2]。陈阿江将人水和谐归结为人与人的和谐,从“人水和谐”和“人水不谐”两种理想类型入手探讨了人水关系^[3]。左其亭将人水和谐定义为“人文系统与水系统相互协调的良性循环状态”^[4]。作者认为,无论是中国古代天人合一的水文化思想,还是当代更多地强调水资源合理开发利用,其内涵都体现了尊重自然,敬畏自然,顺势自然的自然观,这也是人类社会可持续发展的必然要求。

1.2 人水和谐评价体系

随着人水和谐理念逐步被人们所认识接受,国内

许多学者专家开始对人水和谐进行探讨研究。邓铭江针对干旱区内陆河流域提出了“人水和谐”的治水思想^[5];戴会超等分析了城市人水和谐的主要影响因素,从客观和谐和主观和谐建立了城市人水和谐模型^[6];左其亭提出“人水和谐量化研究框架”,开展了人水和谐量化研究^[7-8];梁士奎等以“人水和谐”为目标,在“三条红线”的目标要求下进行了水资源配置研究^[9]。

1.2.1 指标体系

根据系统性、代表性和可操作性原则,评价体系由目标层、准则层和指标层三个层次建立。其中目标层为水资源与经济社会和谐度 H_d ,准则层采用取水总量和谐度 I_d 、用水效率和谐度 U_d 以及水生态环境保护和谐度 E_d 对研究区水资源和经济社会和谐度进行评价。指标层结合地区实际,分别选取适当指标对准则层进行具体描述(见表1)。

1.2.2 指标的定量计算

指标的定量计算采用分段线性隶属度函数法^[7]。在评价每个指标的和谐度 SH_i 时,有5个分段点 $(a,0)$ 、 $(b,0.3)$ 、 $(c,0.6)$ 、 $(d,0.8)$ 、 $(e,1.0)$ 。其中, a 代表最差,所对应的和谐度值为0; b 代表较差,对应的和谐度值为0.3; c 代表及格,所对应的和谐度值为0.6; d 代表较好,相应的和谐度值为0.8; e 代表最好,对应和谐度值为1。这样,通过分段隶属度函数就将指标的和谐度 SH_i 映

收稿日期:2014-09-09

基金项目:中国水科院科研专项项目(MK2013J09)

作者简介:宋一凡(1990-),男,河南濮阳人,硕士研究生,研究方向为水资源优化配置与管理。E-mail: songyf_90@163.com

表1 二连浩特市水资源与经济社会发展和谐度评价体系

Table1 The evaluation system on the harmonious degree of water resources and economic society development of Erenhot

目标层	准则层	指标层	含义
水资源 与经济 社会和 谐度 H_d	取水总量 和谐度 I_d	人均水资源量/ m^3 地下水开采程度/ $\%$ 取水总量控制率/ $\%$	反映当地水资源禀赋条件 反映地下水开发利用程度 反映当地节水水平
	用水效率 和谐度 U_d	万元 GDP 取水量/ m^3 万元工业增加值取水量/ m^3 工业水重复利用率/ $\%$ 灌溉水利用系数 节水器具普及率/ $\%$ 城市供水管网漏失率/ $\%$	反映综合用水效率 反映工业用水效率 反映工业用水效率 反映农业用水效率 反映生活用水效率 反映供水管网输水效率
	水生态环 境保护和 谐度 E_d	城市生活污水处理率/ $\%$ 工业废水达标排放率/ $\%$ 非常规水源替代率/ $\%$	反映城市污水再生利用情况 反映工业污染物排放情况 反映非常规水利用情况

射到[0,1]的区间内。 a 、 b 、 c 、 d 、 e 的取值可以参照行业公认的标准、国际和国内组织的研究报告、国家或地区指定的发展规划、国内的平均水平及最优最差水平、发达国家先进水平,以及人们对各个指标的期望值来确定^[1]。这样,根据每个指标所对应的区间,就由式(1)计算出相应的和谐度。这里需要对式(1)说明的是,上边的公式适用于正向指标,即指标和谐度 SH_i 随指标值 x 的增大而增大(图 1-i);下边的公式适用于逆向指标,即指标和谐度 SH_i 随指标值 x 的增大而减小(图 1-ii)。

$$SH_{i正} = \begin{cases} 0 & x_i \leq a_i \\ 0.3 \left(\frac{x_i - a_i}{b_i - a_i} \right) & a_i < x_i \leq b_i \\ 0.3 + 0.3 \left(\frac{x_i - b_i}{c_i - b_i} \right) & b_i < x_i \leq c_i \\ 0.6 + 0.2 \left(\frac{x_i - c_i}{d_i - c_i} \right) & c_i < x_i \leq d_i \\ 0.8 + 0.2 \left(\frac{x_i - d_i}{e_i - d_i} \right) & d_i < x_i \leq e_i \\ 1 & e_i < x_i \end{cases} \quad (1)$$

$$SH_{i逆} = \begin{cases} 1 & x_i \leq e_i \\ 0.8 + 0.2 \left(\frac{d_i - x_i}{d_i - e_i} \right) & e_i < x_i \leq d_i \\ 0.6 + 0.2 \left(\frac{c_i - x_i}{c_i - d_i} \right) & d_i < x_i \leq c_i \\ 0.3 + 0.3 \left(\frac{b_i - x_i}{b_i - c_i} \right) & c_i < x_i \leq b_i \\ 0.3 \left(\frac{a_i - x_i}{a_i - b_i} \right) & b_i < x_i \leq a_i \\ 0 & a_i < x_i \end{cases}$$

1.2.3 权重的确定及和谐度的计算

评价体系由三层构成,其中指标层先由熟悉研究

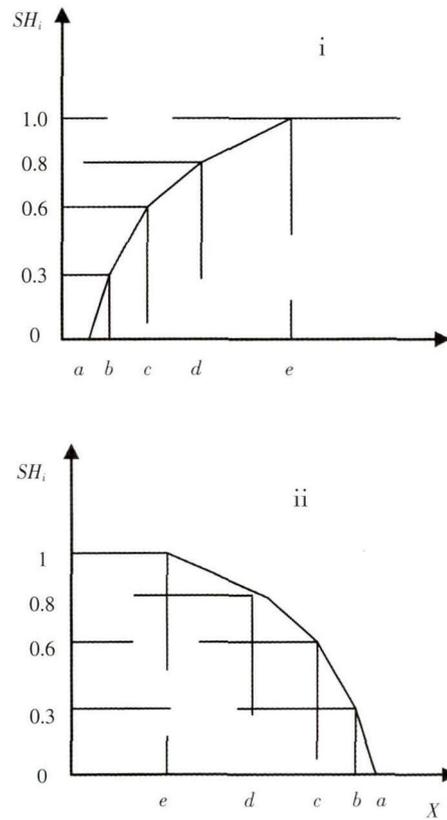


图1 指标值和和谐度曲线

Fig.1 The harmony degree curve of evaluation index

区的专家、当地水行政管理决策者打分确定基础权重(AHP),再采用模糊变权法动态调整得到最终权重。其中模糊变权法能够根据评价向量的变化动态调整基础权重,突出评价值较低的项,使权值在合理性的基础上更具科学性。

准则层的和谐度计算如下:

$$I_d = \sum_{i=1}^m w_i S H_i \quad (2)$$

$$U_d = \sum_{i=1}^n w_i S H_i \quad (3)$$

$$E_d = \sum_{i=1}^p w_i S H_i \quad (4)$$

式中: m 、 n 、 p 分别为取水总量和谐度、用水效率和谐度、水环境保护和谐度中所包含指标个数; w_i 为各自的权重。

目标层和谐度:

$$H_d = I_d^\alpha U_d^\beta E_d^\gamma \quad (5)$$

式中: α 、 β 、 γ 为指数权重。这样, 只有当取水总量、用水效率、水环境保护三者的和谐度都较大时, H_d 才会较大。

将得到的水资源与经济社会和谐度按照取值范围分为极不和谐、不和谐、较不和谐、较和谐、和谐五个等级, 分级方法如表 2 所示。

表2 水资源与经济社会和谐度等级划分

Table2 The harmony degrees of water resources and economic society development

和谐等级	H_d 取值范围
和谐	$0.8 \leq H_d \leq 1$
较和谐	$0.6 \leq H_d < 0.8$
较不和谐	$0.4 \leq H_d < 0.6$
不和谐	$0.2 \leq H_d < 0.4$
极不和谐	$0 \leq H_d < 0.2$

表3 评价指标节点值

Table3 The node values for evaluation indexes

指标层	最差 0	较差 0.3	及格 0.6	较优 0.8	最优 1
人均水资源量/ m^3	139	1 000	2 113	4 500	7 500
地下水开采程度/%	100	90	80	70	60
取水总量控制率/%	120	110	100	90	80
万元 GDP 取水量/ m^3	300	200	118	50	30
万元工业增加值取水量/ m^3	200	110	69	30	15
工业水重复利用率/%	25	40	55	70	85
灌溉水利用系数	0.3	0.4	0.5	0.7	0.85
节水器具普及率/%	30	50	80	90	100
城市供水管网漏失率/%	30	20	15	9	6
城市生活污水处理率/%	30	50	70	80	90
工业废水达标排放率/%	50	70	80	90	100
非常规水源替代率/%	10	15	20	25	30

2 实例研究

2.1 二连浩特市概况

二连浩特市位于内蒙古自治区中部, 行政区划隶属于内蒙古自治区锡林郭勒盟, 1986 年被内蒙古自治区批准为计划单列市, 1992 年 7 月被国务院批准为全国 13 个沿边开放城市之一, 北与蒙古国扎门乌德市隔界相望, 两市区间距离 9km, 是我国对蒙古国开放的最大公路、铁路口岸, 连接欧亚大陆最捷近的大陆桥, 也是我国实施向北开放战略的重要支撑点。

二连浩特市地处北方干旱地区, 多年平均降水量 142mm、蒸发量 2 673mm, 水资源禀赋条件极差, 境内既无地表水, 也无客水, 地下水是全市经济社会发展和生态环境保护的唯一水源。人均水资源量 $213m^3$ /人, 仅为全国人均拥有水资源量 ($2100m^3$ /人) 的十分之一。水资源短缺已成为制约二连浩特市经济社会发展的最大瓶颈, 人水和谐问题相当突出。对此, 二连浩特市从 2011 年开始, 开展了节水型社会建设, 建设期为 3 年。本文利用已建立的指标体系对二连浩特市开展节水型社会建设以来的水资源与经济社会和谐度进行评价。

2.2 二连浩特市水资源与经济社会和谐度计算

指标的定量计算, 参考《二连浩特市水资源公报 2009~2013》、《二连浩特市统计公报 2009~2013》、《锡林郭勒盟统计年鉴》、《全国水资源公报 2009~2012》、《2012 北京水资源公报》、《内蒙古水利公报 2009~2012》以及二连浩特市水务局、统计局提供的相关数据, 并结合二连浩特市实际情况建立指标体系, 见表 3。

在指标分段节点值设置中, 最差和较差值一般参

考节水水平较低地区或当地多年最低水平,及格值一般参考各指标 2012 年全国平均水平,较优和最优一般参考节水先进省市或节水先进国家水平,无文献资料可查的进行合理差值。其中地下水开采程度、取水总量控制率、万元 GDP 取水量、万元工业增加值取水量、城市供水管网漏失率 5 项指标为逆向指标,其余指标为正向指标,和谐度计算公式采用公式(1)。需要说明一下的是取水总量控制率=当年实际取水量/当年规划取水量,反映当年节水成效。

在权重计算中,采用层次分析法(AHP)计算基础权重,各指标重要性由长期从事水资源规划管理且熟悉二连浩特市水资源开发利用情况的专家、当地水务局水行政管理者、二连浩特市节水型社会建设试点验收自评报告编写人员等多名专家进行打分,这样能够比较客观全面的反映二连浩特市用水现状。经过一致性检验,均满足一致性要求。再利用模糊变权法计算最终权重,见表 4。

由最终权重计算出准则层和谐度并由此计算出水资源与经济社会和谐度如表 5 所示。

从表 5 可以看出,在 2009、2010 年,二连浩特市水资源与经济社会和谐度处于一个极低的水平,这与

当时二连浩特市水资源禀赋较差、用水结构单一、水资源利用效率偏低的情况相符。

为增加供水能力、提高用水效率,为经济发展拓展空间,二连浩特市进行了用水结构和产业结构调整,积极开发利用非常规水资源,不再引进高耗水企业,并对市内主要工业产业选矿业和木材加工业进行节水改造。(1)从取水总量来看,随着用水效率不断提高以及非常规水资源的大量利用,在用水总量增加不大的情况下地下水开采量逐年下降,地下水开采程度由 2009 年的接近 80% 下降到 2013 年的 60%,取水总量和谐度有了进一步的提高。(2)用水效率方面,由于二连浩特市近些年来积极推行企业节水改造、农业节水设施建设、城市供水管网改造,用水效率也有了较明显的提高,万元 GDP 取水量和万元工业增加值取水量分别由 2009 年的 21m³ 和 20.7m³ 降低到 2013 年的 11.98 m³ 和 11.95 m³,工业水重复利用率由 2009 年的 47% 上升到 2013 年的 78%。通过这些举措,二连浩特市水资源与经济社会和谐度有了明显的改善,由 2009、2010 年的不和谐提高到 2011、2012、2013 年的较和谐。(3)水环境保护方面,随着一批微咸水井、企业用水工艺升级改造以及生活污水处理厂工程的相继

表4 指标和谐度及最终权重

Table4 The harmony degree of evaluation indexes and the final weights

指标	指标和谐度 SH _i					最终权重				
	2009	2010	2011	2012	2013	2009	2010	2011	2012	2013
人均水资源量/m ³	0.003	0.001	0.001	0.000	0.001	0.190	0.199	0.249	0.248	0.263
地下水开采程度/%	0.626	0.646	0.993	0.956	0.997	0.369	0.379	0.336	0.347	0.353
取水总量控制率/%	0.442	0.538	0.780	0.798	0.915	0.441	0.422	0.415	0.406	0.383
万元 GDP 取水量/m ³	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.151	0.180	0.213	0.222	0.238
万元工业增加值取水量/m ³	0.924	0.955	1.000	1.000	1.000	0.101	0.117	0.132	0.138	0.147
工业水重复利用率/%	0.440	0.558	0.621	0.711	0.907	0.177	0.181	0.199	0.187	0.162
灌溉水利用系数	0.987	0.991	1.000	1.000	1.000	0.016	0.019	0.022	0.023	0.025
节水器具普及率/%	0.245	0.333	0.404	0.470	0.520	0.126	0.134	0.145	0.140	0.142
城市供水管网漏失率/%	0.000	0.098	0.336	0.358	0.419	0.429	0.367	0.288	0.290	0.286
城市生活污水处理率/%	0.551	0.580	0.682	0.830	0.847	0.216	0.228	0.222	0.213	0.221
工业废水达标排放率/%	0.360	0.570	0.740	0.940	1.000	0.353	0.316	0.370	0.334	0.330
非常规水源替代率/%	0.000	0.000	0.628	0.609	0.675	0.431	0.456	0.408	0.453	0.449

表5 几年来二连浩特市水资源与经济社会和谐度计算

Table5 Computation of the harmony degrees between water resources and economic society development of Erenhot in recent years

年份	取水总量和谐度	用水效率和谐度	水环境保护和谐度	水资源与经济社会和谐度	和谐等级
2009	0.426	0.369	0.246	0.338	不和谐
2010	0.472	0.492	0.312	0.417	较不和谐
2011	0.658	0.646	0.681	0.661	较和谐
2012	0.656	0.686	0.767	0.701	较和谐
2013	0.703	0.751	0.820	0.756	较和谐

完成,非常规水替代率由2009年的0%提高到2013年的23.08%,工业废水达标排放率和城市污水处理率大幅提高,不仅使工业缺水问题得到了有效缓解,还极大地减轻了废污水排放对水环境的影响,体现在表5中水环境保护和谐度显著提高。

从指标和谐度(表4)来看,除代表水资源禀赋的人均水资源量和谐程度较低外,节水器具普及率($SH_i=0.520$)以及城市供水管网漏失率($SH_i=0.419$)仍具有相当大的节水潜力,有待进一步挖掘,这也是二连浩特市节水型社会建设今后的工作方向。

3 结语

本文基于人水和谐理论对二连浩特市节水型社会建设前后的水资源和经济社会和谐度进行评价。从评价结果可以看出,评价体系从取水总量和谐度、用水效率和谐度和水环境保护和谐度三个方面较好的反映了二连浩特市水资源与经济社会和谐度变化情况,并能够进一步发掘节水潜力。水资源禀赋较差的二连浩特市经过多年的节水战略调整,特别是节水型社会建设以来,用水结构不断多样化,产业结构日趋合理,用水效率大幅度提高,水资源与经济社会和谐度有了很大的改善,但仍有潜力可挖。二连浩特市水资源与经济社会和谐度评价体系对北方干旱缺水城市节水型社会建设具有借鉴意义,北方干旱缺水城市经济社会和谐发展,需探寻一条多元取水、高效用水、无害排水的可持续发展之路。

评价体系利用线性隶属度函数的方法,能够对二连浩特市水资源与经济社会和谐度进行定量的描述,且描述结果与实际情况总体相符,但受限于指标较少,全面性有所降低。此外,评价指标节点的规定虽遵循一定的原则,但具体选择中仍具有一定的主观成分,可能对评价体系的适用性产生一定影响,这些不足也是今

后需要进一步改进的地方。

参考文献:

- [1] 左其亭,赵衡,马军霞. 水资源与经济社会和谐平衡研究[J]. 水利学报, 2014,(7):1-9. (ZUO Qiting, ZHAO Heng, MA Junxia. Study on harmony equilibrium between water resources and economic society development [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2014,(7):1-9. (in Chinese))
- [2] Falkenmark M. Water Management and Ecosystems: Living with Change [M]. Global Water Partnership, 2003.
- [3] 陈阿江. 论人水和谐[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2008,(4):19-24. (CHEN Ajiang. Theory of human-water harmony[J]. Journal of Hohai University(Natural Science), 2008,(4):19-24. (in Chinese))
- [4] 左其亭. 人水系统演变模拟的嵌入式系统动力学模型[J]. 自然资源学报, 2007,22(2):268-274. (ZUO Qiting. The embedded system dynamic model used to human-water system modeling [J]. Journal of Natural Resources, 2007,22(2):268-274. (in Chinese))
- [5] 邓铭江. 干旱区人水和谐治水思想的探讨[J]. 干旱区地理, 2007,30(2):163-169. (DENG Mingjiang. Water control thoughts based on man-water harmony at inland river basins in arid areas [J]. Arid Land Geography, 2007,30(2):163-169. (in Chinese))
- [6] 戴会超,唐德善,张范平. 城市人水和谐度研究[J]. 水利学报, 2013,44(8):973-978. (DAI Huichao, TANG Deshan, ZHANG Fanping. Research on the human-water harmony degree of metropolis [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013,44(8):973-978. (in Chinese))
- [7] 左其亭. 和谐论: 理论·方法·应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2012. (ZUO Qiting. Theory of Harmony: Theory·Method·Application [M]. Beijing: Science Press, 2012. (in Chinese))
- [8] 左其亭,高丹盈. 人水和谐量化理论及应用研究框架[A]. 人水和谐理论与实践[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006. (ZUO Qiting, GAO Danying. Quantitative theory and application research framework on human-water harmony [A]. Theory and Practice on Human-water Harmony[C]. Beijing: China WaterPower Press, 2006. (in Chinese))
- [9] 梁士奎,左其亭. 基于人水和谐和“三条红线”的水资源配置研究[J]. 水利水电技术, 2013,44(7):1-4. (LIANG Shikui, ZUO Qiting. Study on water resources allocation based on human-water harmony and “three red line” [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2013,44(7):1-4. (in Chinese))

Evaluation of Harmony Degree between Water Resources and Economic Society Development in Erenhot City

SONG Yifan^{1,2}, GUO Zhongxiao¹, XU Xiaomin¹, LI Zhanhe³

(1. Institute of Water Resources Science of Pasturing Area, Ministry of Water Resources, Huhhot 010020, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 3. Erenhot Water Authority, Erenhot 012600, China)

Abstract: The harmonious development of human and water is an important requirement for water resources development set forth by sustainable development. Taking the human-water relationship in Erenhot as a research subject, the evaluation index on water resources and economic society development of Erenhot has been established according to the total water intake, water use efficiency and water environment protection. The result shows that the harmony degree between water resources and economic society development of Erenhot has improved significantly since constructing the water-saving society. The evaluation system is feasible and can provide reference for the construction of water-saving society in the northern areas of China which is short of water.

Key words: water resources; economic society; human-water harmony; harmony degree; evaluation system