

宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力耦合关系分析

王永良¹, 唐莲^{1,2,3}, 张静¹, 黄天炎¹

(1. 宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 宁夏节水灌溉与水资源调控工程技术研究中心, 宁夏银川 750021; 3. 旱区现代农业水资源高效利用教育部工程研究中心, 宁夏银川 750021)

摘要: 针对宁夏沿黄经济区4市的水资源利用现状,利用改进熵值法,在分析水资源短缺与社会适应能力评价指标的前提下,建立耦合关系模型,从综合评价价值、协调度、耦合协调度3个方面对宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力耦合协调关系进行分析。结果表明:对宁夏沿黄经济区4市水资源短缺的综合评价分析结果,优良排序依次为银川市、石嘴山市、中卫市和吴忠市;社会适应能力综合评价结果由大到小排序为银川市、吴忠市、石嘴山市和中卫市;2016年宁夏沿黄经济区各市的水资源短缺与社会适应能力协调度基本处于中度失调和优质耦合2个阶段,处于优质耦合的有银川市、石嘴山市和中卫市,仅吴忠市处于中度失调状态;2016年宁夏沿黄经济区的水资源短缺与社会适应能力耦合协调度基本上处于耦合协调时期和失调衰退时期2个阶段,其中银川市、石嘴山市和中卫市分别处于良好耦合协调时期、中级耦合协调时期和勉强耦合协调时期;仅吴忠市处于极度失调衰退时期。

关键词: 水资源短缺; 社会适应能力; 协调度; 耦合协调度; 沿黄经济区; 宁夏

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)06-0245-05

Analysis of coupling relationship between water shortage and social adaptation in the economic zone along the Yellow River in Ningxia

WANG Yongliang¹, TANG Lian^{1,2,3}, ZHANG Jing¹, HUANG Tianyan¹

(1. Department of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Ningxia Water - Saving Irrigation and Water Resources Regulation and Control Engineering Technology Research Center, Yinchuan 750021, China; 3. The Ministry of Education Engineering Research Center of Modern Agriculture and Efficient Utilization of Water Resources in Arid Areas, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In view of the current situation of water resources utilization in four cities along the Yellow River Economic Zone in Ningxia, the coupling relationship model was set up on the premise of analyzing the two indexes of water shortage and social adaptation ability by the entropy method, and the water resources shortage and social adaptability in the economic zone along the Yellow River in Ningxia were made from three aspects: the comprehensive evaluation value, coordination degree and coupling coordination degree. The relationship of capacity coupling and coordination was analyzed. The results were as follows: the comprehensive evaluation of water resources shortage for four cities along the Yellow River Economic Zone in Ningxia were ranked in order of Yinchuan, Shizuishan, Zhong Wei and Wuzhong. The comprehensive evaluation of social adaptation from large to small were Yinchuan, Wu Zhong, Shizuishan and Zhong Wei. The degree of coordination between water shortage and social adaptation in Ningxia in 2016 was basically in two stages: moderate imbalance and high quality coupling. Yinchuan, Shizuishan and Zhong Wei were in high quality coupling, but Wuzhong City was in a moderate state of imbalance; The coupling coordination degree of water shortage and social adaptability in Ningxia Economic Zone in

收稿日期:2018-05-28; 修回日期:2018-07-15

基金项目:宁夏自然科学基金项目(NZ17032);宁夏高等学校一流学科(水利工程学科)项目(NXYLXK2017A03);国家自然科学基金项目(51269022)

作者简介:王永良(1990-),男,河南许昌人,硕士研究生,研究方向为旱区水资源调控理论及技术。

通讯作者:唐莲(1975-),女,宁夏银川人,博士,教授,硕士生导师,主要从事旱区水资源调控理论及技术。

2016 was basically in two stages: coupling coordination and imbalance decline, with Yinchuan, Shizuishan and Zhong Wei were in good coupling and coordination period, intermediate coupling coordination period and reluctant coupling period, respectively, and Wuzhong in a period of extreme misalignment.

Key words: water resource shortage; social adaptability; coordination degree; coupling coordination; Yellow River Economic Zone; Ningxia

1 研究背景

水资源是人类社会发展的重要保障,随着人类活动的加剧,水资源问题已扩大到经济社会系统中,在处理水资源问题时,考虑水资源的社会属性是解决水资源问题的关键。目前国内外许多学者对水资源短缺的类型及程度进行了定量分析及评价。王浩等^[1]基于“自然-社会”二元水循环研究的基础上,阐述了内陆干旱区流域水循环的基本原理,为解决西北旱区水资源短缺的问题提供了理论依据;苏贤保等^[2]采用综合权重法,选取了水资源短缺的28个评价指标,对甘肃省水资源短缺现状进行了综合的评价分析,为旱区水资源的开发利用提供了参考依据。Ohisson^[3]界定了“第一资源短缺”(自然属性)和“第二资源短缺”(社会属性),把社会适应能力解释为自然资源稀缺的社会资源量;Liu等^[4]提出了人与自然两系统耦合的概念,把自然资源和社会资源组建在一起,对于二者而言,随着自然资源出现短缺,社会经济系统会受到影响,此时系统内部组分就会发挥作用并使损失降到最低。

本文结合宁夏沿黄经济区4个城市的水资源利用现状,采用改进熵值法,在分析水资源系统与社会适应能力系统评价指标的基础上,建立了耦合关系模型,并对结果进行了分析,为探明宁夏沿黄经济区4个城市的水资源短缺与社会适应能力发展间的互动反馈机制,有效地协调水资源的永续利用与经济社会的健康发展提供理论依据。

2 研究对象的界定和研究方法

2.1 研究对象的时空界定

宁夏沿黄经济区地处我国包昆通道的纵轴北部,以银川市为中心,涵盖吴忠市、石嘴山市、中卫市沿黄城市所辖行政区域。该区域属中温带干旱区,年平均降水量为180~400 mm,年平均蒸发量1 825 mm,是年降水量的10倍左右,黄河水是该区域地表水的主要来源,水资源短缺是影响该地区经济社会发展的重要因素之一。分析研究二者之间的耦合协调关系,对实现水资源的永续利用和促进经济社会

的健康稳态发展有着不可忽视的作用。

2.2 耦合协调度模型

系统耦合是指两个(或两个以上)的系统,通过某种介质,在一定条件下进化的过程^[5]。协调是指两种或两种以上要素之间的一种良性循环的关系^[6]。在社会经济系统中,周校培等^[7]建立了水资源与经济社会复杂系统评价指标体系,利用耦合协调度模型,分析研究了两系统间的耦合协调度,为区域的健康可持续发展提出了合理的建议。常玉苗^[8]以长江经济带为研究区域,基于系统分析方法,建立了水资源系统与城市生态经济系统的定量评价模型。

程怀文等^[9]以黑河流域为研究区域,建立了水资源系统与社会适应能力的定量评价模型。刘丽萍等^[10]从社会水循环的角度,采用主客观综合赋权的方法,建立了水资源短缺与社会适应能力的耦合协调关系模型。伏吉芮等^[11]以吐鲁番地区为研究区域,根据耦合协调关系模型,对水资源-经济-生态环境发展情况进行了研究分析。

一方面,水资源短缺是影响社会适应能力发展的主要制约因素;另一方面,社会适应能力的提高可以缓解或加剧水资源的供需矛盾。二者之间存在耦合发生的条件,即系统内部之间具有一定的联系。因此,对二者之间的作用关系进行分析探讨具有重要意义。

(1) 数据标准化。

为了消除不同量纲不可以比较的问题,将原始数据做标准化处理。公式如下:

正项指标:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_j\}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (1)$$

反向指标:

$$X'_{ij} = \frac{\max\{X_j\} - X_{ij}}{\max\{X_j\} - \min\{X_j\}} \quad (2)$$

式中: X'_{ij} 为标准化值; X_{ij} 为第 i 年第 j 个指标的原始数据; $\min\{X_j\}$ 为第 j 个指标的最小值; $\max\{X_j\}$ 为第 j 个指标的最大值。

(2) 权重的确定及综合指数的计算。

$$W_j = \frac{\frac{\sigma_j}{\bar{X}_j}}{\sum_{j=1}^m \frac{\sigma_j}{\bar{X}_j}} \quad (3)$$

式中: W_j 为第 j 指标的权重值; \bar{X}_j 为第 j 个指标的均值; σ_j 为第 j 个指标的标准差; m 为评价指标个数。
水资源短缺综合指数:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n X'_{ij} W_x \quad (4)$$

社会适应能力综合指数:

$$g(y) = \sum_{i=1}^n Y'_{ij} W_y \quad (5)$$

式中: X'_{ij} 、 Y'_{ij} 分别为 X 、 Y 的标准化值; W_x 、 W_y 分别为 X 、 Y 的权重值; n 为评价对象。

(3) 协调度计算。为反映水资源短缺程度与社会适应能力间的协调发展水平,引入耦合度计算公式:

$$C = \left\{ \frac{f(x)g(y)}{[f(x) + g(y)]^2} \right\}^k \quad (6)$$

$$D = \sqrt{CT} \quad (7)$$

$$T = \alpha f(x) + \beta g(y) \quad (8)$$

式中: C 为协调度; k 为调节系数,且 $2 \leq k \leq 5$ (取 $k = 2$); D 为耦合协调度; T 为水资源短缺与社会适应能力协调发展水平; α 、 β 为待定系数 ($\alpha = \beta = 0.5$)。

2.3 耦合协调类型判别

根据耦合协调度 D 的计算结果,结合协调度 C 的取值,借助已有文献的划分标准^[12-15],同时考虑宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力发展的实际情况,将水资源短缺与社会适应能力的整体协调发展状况按以下类别进行划分(见表 1)。

表 1 耦合协调等级的区间划分

| 等级 | 区间 | 评价 | 等级 | 区间 | 评价 |
|----|------------|------|----|------------|--------|
| C | 0 ~ 0.09 | 极度失调 | D | 0 ~ 0.09 | 极度失调衰退 |
| | 0.1 ~ 0.19 | 严重失调 | | 0.1 ~ 0.19 | 严重失调衰退 |
| | 0.2 ~ 0.29 | 中度失调 | | 0.2 ~ 0.29 | 中度失调衰退 |
| | 0.3 ~ 0.39 | 轻度失调 | | 0.3 ~ 0.39 | 轻度失调衰退 |
| | 0.4 ~ 0.49 | 濒临失调 | | 0.4 ~ 0.49 | 濒临失调衰退 |
| | 0.5 ~ 0.59 | 勉强耦合 | | 0.5 ~ 0.59 | 勉强耦合协调 |
| | 0.6 ~ 0.69 | 初级耦合 | | 0.6 ~ 0.69 | 初级耦合协调 |
| | 0.7 ~ 0.79 | 中级耦合 | | 0.7 ~ 0.79 | 中级耦合协调 |
| | 0.8 ~ 0.89 | 良好耦合 | | 0.8 ~ 0.89 | 良好耦合协调 |
| | 0.9 ~ 1.00 | 优质耦合 | | 0.9 ~ 1.00 | 优质耦合协调 |

2.4 数据来源

宁夏沿黄经济区位于我国内陆西北地区,银川、吴忠、石嘴山、中卫 4 个沿黄城市存在着不同程度的

水资源短缺现象。原始数据均来源于 2016 年《宁夏统计年鉴》、《宁夏水资源公报》和《宁夏国民经济和社会发展统计公报》,并根据相关计算所得。

3 指标体系的构建及权值的确定

3.1 指标体系的构建

根据宁夏沿黄经济区的水资源短缺的现状和经济社会的发展水平,借鉴已有文献的研究成果^[16-18]建立宁夏沿黄经济区水资源和社会适应能力指标体系。水资源短缺系统的评价指标主要以用水量和用水效率为切入点,同时还考虑了污水回用等方面的因素,选取了 13 个评价指标。在社会适应能力方面,考虑社会、经济和资源环境等方面的因素,选取了 6 个评价指标,最终构建了宁夏沿黄经济区水资源短缺和社会适应能力协调耦合关系的指标体系,具体评价指标见表 2。

3.2 指标权重的确定

文中采用改进熵权法对两系统进行指标权重的计算。根据指标权重值的大小判断其重要性程度,同时结合各个指标变量的变异性程度,计算出各个指标变量的最终权重值,结果见表 2。

3.3 耦合协调度计算

根据公式(4)、(5)将指标标准化数值乘以对应的权重,可分别得到水资源短缺与社会适应能力综合评价价值。然后由公式(6)~(8)计算协调度 C 、耦合协调度 D 和水资源短缺与社会适应能力协调发展水平 T 值,并依据耦合协调等级的区间划分(表 1),将宁夏沿黄经济区 4 市的水资源短缺和社会适应能力综合评价价值进行排序,见表 3。

4 结果与分析

(1) 综合评价价值分析。由表 3 可知,宁夏沿黄经济区 4 个城市排名次序为银川市、石嘴山市、中卫市和吴忠市。一般来说,一个地区污水处理回用量越大,则相应的水资源短缺程度就越小;而万元 GDP 耗水量越高,则水资源的短缺程度就越严峻。银川市 2016 年的污水处理回用量达到 $0.097 \times 10^8 \text{ m}^3$,处于宁夏沿黄 4 市的首位,而万元 GDP 耗水量为 50 m^3 ,处于宁夏沿黄 4 市的末位,因而水资源短缺综合评价价值最大。

从社会适应能力综合评价价值 $g(y)$ 来看,由表 3 可知,宁夏沿黄经济区 4 个城市排名由大到小次序为银川市、吴忠市、石嘴山市和中卫市。由耦合协调度模型分析确定的指标权重可知,绿地面积和人均

GDP 在社会适应能力方面占有较大的权重,银川市
的绿地面积处在宁夏沿黄 4 个城市首位,人均 GDP
相对较大,故而社会适应能力综合评价价值最大;中卫
市的绿地面积和人均 GDP 相对偏小,故而社会适应
能力最为薄弱。

(2)协调度分析。由表 3 可以看出,2016 年宁
夏沿黄经济区各市的水资源短缺与社会适应能力协
调度基本处于中度失调和优质耦合 2 个阶段。根据
协调度 C 的计算结果来看,宁夏沿黄经济区,处于
优质耦合的有银川市、石嘴山市和中卫市,其数值均
在 0.9 ~ 1.0 之间,说明该地区水资源短缺与社会适

应能力发展程度差别不大,反映了宁夏沿黄经济区
水资源与社会适应能力二者相互协调。仅吴忠市处
于中度失调状态。银川市、石嘴山市和中卫市水资
源短缺与社会适应能力基本呈现双优型极度耦合关
系,虽然水资源总量、年降水量受自然条件限制,但
该地区经济社会发展较好,人均耗水量、农业亩均耗
水量所占比例低,污水处理回用量较高等特点,缓解
了水资源短缺的程度。吴忠市水资源短缺程度相对
严重,农业用水量所占比例高,污水处理回用量、城
镇化率相对落后很大程度上阻碍了经济社会的进一
步发展,因而出现中度失调的现象。

表 2 水资源短缺与社会适应能力评价指标数据标准化及权重

| 目标层 | 指标层 | 银川 | 吴忠 | 石嘴山 | 中卫 | 权重 |
|------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 水资源 短缺 | 区域面积 | 0.7103 | 0.0000 | 1.0000 | 0.2028 | 0.1395 |
| | 水资源总量 | 0.3257 | 0.0000 | 1.0000 | 0.8048 | 0.0642 |
| | 年降水量 | 0.7177 | 1.0000 | 0.0000 | 0.8952 | 0.0239 |
| | 径流深 | 1.0000 | 0.0000 | 0.6907 | 0.2784 | 0.0637 |
| | 农业用水量 | 0.0734 | 0.0000 | 1.0000 | 0.5508 | 0.0230 |
| | 工业用水量 | 0.0000 | 0.9239 | 0.2201 | 1.0000 | 0.0936 |
| | 总供水量 | 1.0000 | 0.8559 | 0.0000 | 0.3175 | 0.0228 |
| | 万元 GDP 用水量 | 1.0000 | 0.0216 | 0.6840 | 0.0000 | 0.1020 |
| | 人均耗水量 | 1.0000 | 0.0000 | 0.3840 | 0.1461 | 0.0435 |
| | 万元 GDP 耗水量 | 1.0000 | 0.0000 | 0.8025 | 0.0000 | 0.1832 |
| | 农业亩均耗水量 | 0.7179 | 0.1538 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0060 |
| | 工业万元增加值 | 0.2143 | 0.0000 | 0.5714 | 1.0000 | 0.0176 |
| | 污水处理回用量 | 1.0000 | 0.0000 | 0.2278 | 0.2911 | 0.2170 |
| | 人口自然增长率 | 0.3744 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0771 | 0.0616 |
| 社会适 应能力 | 绿地面积 | 1.0000 | 0.9484 | 0.4527 | 0.0000 | 0.6779 |
| | 城镇登记失业率 | 1.0000 | 0.7600 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0012 |
| | 城镇化率 | 0.0000 | 0.7862 | 0.0723 | 1.0000 | 0.0987 |
| | 人均 GDP | 0.7357 | 0.0000 | 0.5804 | 1.0000 | 0.1489 |
| | 城镇居民恩格尔系数 | 0.9063 | 0.7813 | 1.0000 | 0.0000 | 0.0117 |

表 3 2016 年宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力协调度与耦合协调度类型判别

| 城市名称 | $f(x)$ | 排名 | $g(y)$ | 排名 | C | D | T | 协调度 | 耦合协调度 |
|------|--------|----|--------|----|--------|--------|--------|------|----------|
| 银川市 | 0.7791 | 1 | 0.8223 | 1 | 0.9985 | 0.8942 | 0.8007 | 优质耦合 | 良好耦合协调发展 |
| 吴忠市 | 0.1330 | 4 | 0.7306 | 2 | 0.2716 | 0.3425 | 0.4318 | 中度失调 | 极度失调衰退 |
| 石嘴山市 | 0.5903 | 2 | 0.4737 | 3 | 0.9761 | 0.7206 | 0.5320 | 优质耦合 | 中级耦合协调发展 |
| 中卫市 | 0.3198 | 3 | 0.2523 | 4 | 0.9724 | 0.5274 | 0.2861 | 优质耦合 | 勉强耦合协调发展 |

(3)耦合协调度分析。由表 3 可知,2016 年宁
夏沿黄经济区的水资源短缺与社会适应能力耦合协
调度基本上处于耦合协调时期和失调衰退时期 2 个
阶段。依据协调度、耦合协调度计算结果,结合宁夏
沿黄 4 市水资源短缺程度与经济社会水平现状,基

本上可以反映宁夏沿黄 4 市的实际状况。银川市耦
合协调程度最高,处于良好耦合协调发展阶段,银川
市水资源短缺程度与经济社会适应能力发展水平居
于 4 市首位,在水资源有效利用、污水处理回用等方
面处于高水平地位。经济社会的发展一定程度上提

高了地区节水措施、节水政策的制定,二者发挥良性作用,促进了水资源与经济社会的整体协调发展。石嘴山市、中卫市水资源短缺与社会适应能力耦合协调度总体处于居中水平,其数值均处在0.5~0.8之间,且万元GDP耗水量和人均耗水量、污水处理回用量、径流深处于宁夏沿黄4市中间位置,但中卫市的绿地面积和人均GDP相对偏小,阻碍了水资源的高效利用,二者相互影响、耦合协调度相对较差;吴忠市社会适应能力较强,但水资源短缺的状况影响了经济社会的进一步发展,故而表现出极度失调衰退现象。

5 结 论

(1)从评价结果来看,在水资源短缺综合评价方面,选取反映宁夏沿黄经济区水资源短缺程度的13个指标进行分析评价,优良排序结果为银川市、石嘴山市、中卫市和吴忠市;在社会适应能力方面,包含人口自然增长率、绿地面积、城镇登记失业率、城镇化率、人均GDP、城镇居民恩格尔系数的6个指标,结果排序为银川市、吴忠市、石嘴山市和中卫市。表明银川市水资源利用水平较高,而中卫市社会适应能力最为薄弱。

(2)宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力协调关系基本上处于优质耦合和中度失调2种状态。由此可以看出,宁夏沿黄经济区经济社会的发展在水资源利用的承受范围之内,并且还具有较大的潜力。因此,宁夏沿黄经济区在未来的发展中,应逐步用水效率,加大水资源整治力度,推动公众参与,努力实现水资源短缺与社会适应能力的协调健康发展。

(3)空间上,宁夏沿黄经济区4市耦合协调发展可划分为良好耦合协调发展、中级耦合协调发展、勉强耦合协调发展和极度失调衰退4种类型。同时,在对2016年宁夏沿黄4市水资源短缺与社会适应能力耦合协调度的类别划分中可以看出,耦合协调度与区域水资源短缺具有较大的关联。除吴忠市外,其他3市水资源短缺综合评价值较高的地区,耦合协调度也相应的较好,这充分证明了宁夏沿黄经济区水资源短缺与社会适应能力耦合协调度在空间上产生了良性互动。

参考文献:

[1] 王浩,贾仰文.变化中的流域“自然-社会”二元水循环理论与研究方法[J].水利学报,2016,47(10):1219-

1226.

- [2] 苏贤保,李勋贵,刘巨峰,等.基于综合权重法的西北典型区域水资源脆弱性评价研究[J].干旱区资源与环境,2018,32(3):112-118.
- [3] OHISSON L. Water conflicts and social resource scarcity [J]. Physics & Chemistry of the Earth Part B Hydrology Oceans & Atmosphere, 2000, 25(3):213-220.
- [4] LIU Jianguo, DIETZ T, CARPENTER S R, et al. Coupled human and natural systems [J]. Ambio, 2007, 36(8):639-649.
- [5] 李娜,孙才志,范斐.辽宁沿海经济带城市化与水资源耦合关系分析[J].地域研究与开发,2010,29(4):47-51.
- [6] 潘安娥,陈丽.湖北省水资源利用与经济协调发展脱钩分析——基于水足迹视角[J].资源科学,2014,36(2):328-333.
- [7] 周校培,陈建明.南京市水资源与社会经济耦合协调发展研究[J].水利经济,2016,34(4):26-30+34+74.
- [8] 常玉苗.水资源环境与城市生态经济系统耦合模型及评价[J].水电能源科学,2018,36(2):55-58+27.
- [9] 程怀文,李玉文,徐中民.水资源短缺的社会适应能理论及实证——以黑河流域为例[J].生态学报,2011,31(5):1430-1439.
- [10] 刘丽萍,唐德善.水资源短缺与社会适应能力评价及耦合协调关系分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(6):13-19.
- [11] 伏吉芮,瓦哈甫·哈力克,等.吐鲁番地区水资源-经济-生态耦合协调发展分析[J].节水灌溉,2016(12):94-98+102.
- [12] 徐祥功,任丽军,刘明,等.黄河三角洲地区城市化测度与水环境系统耦合关系[J].水资源保护,2015,31(3):33-39.
- [13] 秦煜世.干旱区内陆河流域城镇化与水资源耦合关系研究——以石羊河流域为例[D].兰州:西北师范大学,2012.
- [14] 车忠坤.大连沿海经济带城市化与水资源耦合关系探讨[J].水利规划与设计,2017(6):4-6.
- [15] 王飞,蒋文杰,李景保,等.皖江城市带产业结构与用水结构的互动耦合关系[J].水资源保护,2017,33(6):60-64+73.
- [16] 杜湘红,张涛.水资源环境与社会经济系统耦合发展的仿真模拟——以洞庭湖生态经济区为例[J].地理科学,2015,35(9):1109-1115.
- [17] 华春莉,王应武.云南省水资源潜力与社会经济发展耦合协调关系分析[J].人民珠江,2018,39(6):93-97.
- [18] 张凤太,苏维词.水资源与经济社会系统耦合协调时空分异研究——以贵州省为例[J].人民长江,2016,47(10):25-30.