

# 渭河流域陕西段水资源承载力分析

张成<sup>1</sup>, 杨建康<sup>2</sup>

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水利与建筑学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 随着社会的发展, 水资源越来越成为制约经济发展的重要因素。本文根据渭河水资源现状及特点, 以渭河流域中下游陕西区域为研究对象, 运用层次分析法建立了渭河流域中下游陕西区域水资源承载能力的指标体系, 对人口密度、单位面积水资源占有量和灌溉定额等 11 个指标进行计算和综合评价。研究表明: 陕西省是一个缺水省份, 水资源已经成为制约经济发展的瓶颈因素, 要使经济保持又好又快发展, 必须采取措施提高水资源保障能力。本研究结果可为渭河流域水资源开发利用提供科学依据。

**关键词:** 水资源; 综合评价; 承载力; 层次分析法

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)05-0165-04

## Analysis of water resources carrying capacity in Shaanxi section of Weihe river basin

ZHANG Cheng<sup>1</sup>, YANG Jiankang<sup>2</sup>

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China; 2. College of Water Resources and Architecture Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** With the social development, the water resources is increasingly becoming an important factor of restricting the economic development. Based on the status and characteristics of water resources in Weihe river, took Shaanxi region of the Weihe river basin as the research object, the paper established the index system of water resources carrying capacity by using analytic hierarchy process in Shaanxi region of the middle and lower reaches of Weihe river basin, calculated and comprehensively evaluated 11 indicators such as the density of population, irrigation rate and so on. The research results show that Shaanxi is a water shortage province, water resources has become the bottleneck factor of restricting the economic development. In order to keep the economy development better and faster, it is necessary for us to take measures to improve the support ability of water resource. The evaluation results can provide scientific basis for the development and utilization of water resources in Weihe river basin.

**Key words:** water resources; comprehensive evaluation; carrying capacity; analytical hierarchy process

## 1 渭河流域概况

渭河是黄河最大的一级支流, 发源于甘肃乌鼠山, 流域涉及甘肃、宁夏、陕西三省(自治区), 在陕西省潼关县港口注入黄河。流域面积 13.48 万 km<sup>2</sup>, 包括甘肃、宁夏、陕西 3 省(区)的 10 个市(地区、州、盟), 共 72 个县(旗、市)。2005 年, 流域人口约 3 251 万, 城镇化率 29.7%。流域内 GDP 约 0.52 万亿元, 人均 GDP 为全国平均水平的 90%。渭河在陕西省内总长度 502 km, 流域面积 6.8 万 km<sup>2</sup>, 主要流经陕西经济中枢关中地区。关中地区位于陕西省

的中部, 地处渭河中下游, 以渭河平原(亦称关中平原)为主体, 大致以秦岭主脊与陕南地区为界, 以子午岭、黄龙山与陕北地区相邻。行政上包括西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、铜川市等 5 市 1 区的 54 个县(市、区)。面积约 5.5 万 km<sup>2</sup>, 约占全省总面积的 26.9%。该地区是全省经济最发达、人口最集中的地区, 集中了全省 60% 的人口、56% 的耕地、72% 的灌溉面积和 70% 的经济总量。关中地区水资源缺乏, 多年平均水资源总量为 82.03 亿 km<sup>3</sup>, 其中地表水 73.697 亿 km<sup>3</sup>, 地下水 53.41 亿 km<sup>3</sup>, 重复量 45.08 亿 km<sup>3</sup>。按关中水资源总量多年平均量计算,

水资源量仅占全省地表水资源总量的 17.7%, 人均亩均水资源量仅为全省人均亩均水资源量的 29% 和 34%, 属水资源贫乏地区, 为资源型缺水地区, 也有工程性缺水 and 污染性缺水问题<sup>[1]</sup>。

## 2 评价指标体系的建立

指标体系可以看成是一个信息系统, 该信息系统的构造主要包括系统元素的配置和系统结构的安排。系统中的元素即指标, 结构即指标元素之间的相关关系<sup>[2-3]</sup>。本文建立的水资源承载力指标体系包括以下几个部分。

### 2.1 水资源系统指标

包括水资源量、人均水资源占有量、水资源开发利用程度、供水费用、水资源利用率、回用率、供需比等。

### 2.2 经济系统指标

包括工业总产值、工业用水定额、工业重复利用率、工业节水指标、工业用水损失率、单位水资源工业产值、工业废水排放量等, 农业灌溉用水定额、人均灌溉面积。

### 2.3 社会系统指标

包括人均 GDP、人口增长率、人均供水量、人均工业产值、生活用水定额、城镇化程度等。

### 2.4 生态环境系统指标

包括生态用水率、化学需氧量 (COD)、生物需氧量 (BOD)、氨氮、高锰酸钾、单位人口 COD 排放量、污径比等。

## 3 指标体系权重的确定, 层次总排序

本文根据协调性、客观性、保序性准则对指标进行筛选, 构成水资源承载力指标体系。指标体系的基本结构可以是多指标集合、树形结构、丛形结构和矩阵结构形式。本次研究将采用树形结构。如图 1 所示。

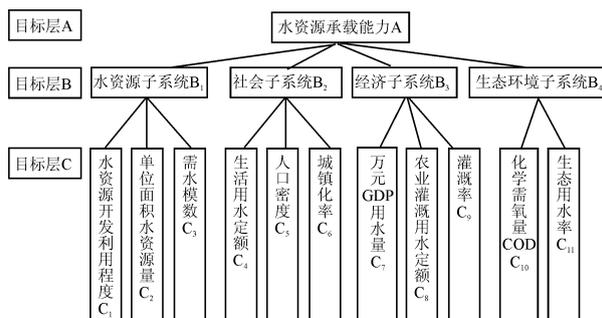


图 1 渭河流域关中水环境承载力评价指标体系框架

水资源承载力评价方法有背景分析法、供需平衡法与多目标决策模型、模糊综合评判法、系统分析法 - 动态模拟递推算法、系统动力学方法与系统动力学仿真模型 5 种方法<sup>[4-8]</sup>。

本文采用最后一种方法即层次分析法, 该方法是一种定性定量相结合的决策分析方法<sup>[9]</sup>, 是在 20 世纪 70 年代由美国运筹学家 A. L. Saaty 提出的 (Analytical Hierarchy Process, 简称 AHP 方法), 是一种将决策者对复杂系统的决策思维过程模型化、数量化的过程。本文应用这种方法将复杂问题分解为若干层次和若干因素, 在各因素之间进行简单的比较和计算, 就可以得出不同方案的权重, 为最佳方案的选择提供依据。由层次分析法确定各指标权重, 各指标权重见表 1。

表 1 层次总排序

层次	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	C 层次权重的结果
C <sub>1</sub>	0.46				0.23
C <sub>2</sub>	0.24				0.11
C <sub>3</sub>	0.26				0.12
C <sub>4</sub>		0.49			0.07
C <sub>5</sub>		0.16			0.02
C <sub>6</sub>		0.35			0.05
C <sub>7</sub>			0.45		0.07
C <sub>8</sub>			0.40		0.06
C <sub>9</sub>			0.15		0.02
C <sub>10</sub>				0.75	0.19
C <sub>11</sub>				0.25	0.06

## 4 综合评价计算

指标数据分为两种<sup>[10-11]</sup>: 正效益指标, 也就是该指标数据越大, 水环境评价就越高; 负效益指标, 也就是该指标数据越小, 水环境评价就越高。评价指标共 11 项, 其性质、量值、量纲差异很大, 要进行综合评价, 必须通过评分法实现统一, 消除上述差异。

根据所构建的渭河流域陕西段环境承载力评价计算指标体系, 以陕西省水利发展“十二五”规划<sup>[1]</sup>、渭河流域综合治理五年规划<sup>[12]</sup> (2008 - 2012)、陕西省水资源综合规划<sup>[13]</sup>、各主要城市水利信息网为基本数据源, 获得渭河流域陕西段的水资源承载力评价指标样本值, 数值如表 2。

表 2 2013 渭河流域陕西段各城市水资源承载力评价指标样本值 % , 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>, L/(人·d), 人/km<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, mg/L

城市	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>
宝鸡市	45	30.34	9.12	140	182	45.61	202	425	35.33	19.48	10.80
咸阳市	42	11.08	7.45	135	426	40.90	195	415	25.76	61.73	11.12
铜川市	49	5.51	9.35	130	198	60.44	215	452	33.87	50.55	9.37
西安市	40	23.22	7.30	150	610	71.50	165	391	35.97	52.04	15.36
渭南市	48	15.79	8.18	114	366	33.00	190	395	21.98	43.10	8.09

将各指标的无量纲值乘以相应的相对重要性权值,最后 11 项求和即可得到渭河流域陕西段的综合得分值,其可表示为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} & x_{15} & x_{16} & x_{17} & x_{18} & x_{19} & x_{1,10} & x_{1,11} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} & x_{25} & x_{26} & x_{27} & x_{28} & x_{29} & x_{2,10} & x_{2,11} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & x_{34} & x_{35} & x_{36} & x_{37} & x_{38} & x_{39} & x_{3,10} & x_{3,11} \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & x_{44} & x_{45} & x_{46} & x_{47} & x_{48} & x_{49} & x_{4,10} & x_{4,11} \\ x_{51} & x_{52} & x_{53} & x_{54} & x_{55} & x_{56} & x_{57} & x_{58} & x_{59} & x_{5,10} & x_{5,11} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 45 & 30.34 & 9.12 & 140 & 182 & 45.61 & 202 & 425 & 35.33 & 19.48 & 10.80 \\ 42 & 11.08 & 7.45 & 135 & 426 & 40.90 & 195 & 415 & 25.76 & 61.73 & 11.12 \\ 49 & 5.51 & 9.35 & 130 & 198 & 60.44 & 215 & 452 & 33.87 & 50.55 & 9.37 \\ 40 & 23.22 & 7.30 & 150 & 610 & 71.50 & 165 & 391 & 35.97 & 52.04 & 15.36 \\ 48 & 15.79 & 8.18 & 114 & 366 & 33.00 & 190 & 395 & 21.98 & 43.10 & 8.09 \end{bmatrix}$$

本文按照以下方式进行无量纲化处理。取最优值为 1,最差值为 0,处于两者之间的指标数据按以下公式进行无量纲化处理。

正效益指标:

$$\delta_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (1)$$

负效益指标:

$$\delta_{ij} = \frac{x_{i\max} - x_{ij}}{x_{i\max} - x_{i\min}} \quad (2)$$

(i = 1, 2, …, 5, j = 1, 2, …, 11)

其中, x<sub>ij</sub> 为第 i 个指标的第 j 组数据; x<sub>i min</sub> 为第 j 个指标的 i 个数据中的最小值; x<sub>i max</sub> 为第 j 个指标的

i 个数据中的最大值; δ<sub>ij</sub> 为 x<sub>ij</sub> 无量纲化后的值。

用上述指标无量纲化的方法可以求得各指标的 δ<sub>ij</sub>。通过计算可以归纳得到 2013 年各指标无量纲化的结果,其值如下:

$$\Delta = \begin{bmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} & \delta_{14} & \delta_{15} & \delta_{16} & \delta_{17} & \delta_{18} & \delta_{19} & \delta_{1,10} & \delta_{1,11} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} & \delta_{24} & \delta_{25} & \delta_{26} & \delta_{27} & \delta_{28} & \delta_{29} & \delta_{2,10} & \delta_{2,11} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} & \delta_{34} & \delta_{35} & \delta_{36} & \delta_{37} & \delta_{38} & \delta_{39} & \delta_{3,10} & \delta_{3,11} \\ \delta_{41} & \delta_{42} & \delta_{43} & \delta_{44} & \delta_{45} & \delta_{46} & \delta_{47} & \delta_{48} & \delta_{49} & \delta_{4,10} & \delta_{4,11} \\ \delta_{51} & \delta_{52} & \delta_{53} & \delta_{54} & \delta_{55} & \delta_{56} & \delta_{57} & \delta_{58} & \delta_{59} & \delta_{5,10} & \delta_{5,11} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.55 & 1 & 0.89 & 0.28 & 1 & 0.33 & 0.74 & 0.44 & 1 & 0.98 & 0.37 \\ 0.22 & 0.22 & 0.80 & 0.42 & 0.43 & 0.21 & 0.26 & 0.61 & 0 & 0.99 & 0.42 \\ 1 & 0 & 1 & 0.56 & 0.96 & 0.71 & 0 & 0 & 0.72 & 0 & 0.18 \\ 0 & 0.94 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0.77 & 1 & 1 \\ 0.89 & 0.41 & 0.42 & 1 & 0.57 & 0 & 0.50 & 0.93 & 0.56 & 0.82 & 0 \end{bmatrix}$$

得到指标数据无量纲化及各指标权重后,先计算每个 c<sub>ij</sub> 值,然后进行加权求和,计算公式如下:

$$C_{ij} = U_j \delta_{ij} \quad (3)$$

$$c_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (4)$$

式中: U<sub>i</sub> 为各指标权重; U<sub>j</sub> = [0.23 0.11 0.12 0.07 0.02 0.05 0.07 0.06 0.02 0.19 0.06]; n 为指标个数(本文 n = 11, j = 1, 2, …, 5); C<sub>ij</sub> 为渭河干流的水环境综合评价指数; C<sub>ij</sub> 的数值越大,表示水环境的综合评价越高,当 C = 1 时,说明水环境综合评价最高,是最理想的水环境状态。结果见表 3、图 2

表 3 2013 - 综合评价计算值 C

城市	C <sub>1j</sub>	C <sub>2j</sub>	C <sub>3j</sub>	C <sub>4j</sub>	C <sub>5j</sub>	C <sub>6j</sub>	C <sub>7j</sub>	C <sub>8j</sub>	C <sub>9j</sub>	C <sub>10j</sub>	C <sub>11j</sub>	综合 C 值
权重(U <sub>i</sub> )	0.23	0.11	0.12	0.07	0.02	0.05	0.07	0.06	0.02	0.19	0.06	
宝鸡市	0.127	0.11	0.107	0.020	0.02	0.017	0.005	0.026	0.02	0.186	0.022	0.659
咸阳市	0.051	0.024	0.096	0.029	0.009	0.011	0.018	0.036	0	0.188	0.025	0.492
铜川市	0.230	0	0.120	0.039	0.019	0.036	0	0	0.015	0	0.011	0.464
西安市	0	0.103	0	0	0	0.05	0.07	0.06	0.017	0.19	0.06	0.543
渭南市	0.205	0.045	0.050	0.07	0.011	0	0.035	0.056	0.012	0.156	0.178	0.528

由得到指标数据无量纲化及各指标权重后,进行加权求和,得出各行政分区的 2013 的综合评价价值,根据各行政分区的计算面积所占的比重得到渭

河流域水资源承载力综合评价价值:

$$C = 0.565$$

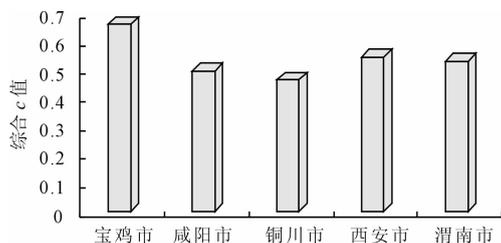


图2 2013 渭河干流水环境承载力综合评价计算结果

目前国内外对水环境承载力评价还没有一个统一的标准体系,本研究根据C值的大小将水环境承载力分为3级:承载性良好(Ⅰ级),可承载(Ⅱ级),不可承载(Ⅲ级)。本研究给定综合评价标准值是在参考全国平均水平以及国内部分经济、社会、环境协调发展,水环境开发利用实际水平的基础上确定的(见表4)。

表4 评价标准

> 0.6	0.1~0.6	< 0.1
承载性良好(Ⅰ级)	可承载(Ⅱ级)	不可承载(Ⅲ级)

## 5 结 语

计算结果显示,渭河流域陕西段水资源承载力的综合价值为0.565,说明该流域整体在2013年属于可承载水平,有向可承载性良好方向发展的趋势。近些年来渭河流域在水环境、节水省水、实施分类供水方面取得初步成效。2013年主要水污染物化学需氧量排放量控制在4.99万t以内,比2010年削减8.2%;氨氮排放量控制在0.51万t以内,比

2010年削减11.2%。宝鸡市的综合c值最高,为0.659,说明宝鸡市的水资源承载力在5个城市中最强。渭河流域今后应加强污染控制和生态治理,不断提高水资源对社会经济的支撑能力。

### 参考文献:

- [1] 陕西省水利厅. 陕西省水利发展“十二五”规划[R]. 2011.
- [2] 马英,石瑞杰. 基于模糊层次分析法的水环境承载力评价[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11405-11407.
- [3] 李如忠. 基于指标体系的区域水环境动态承载力评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(9): 42-46.
- [4] 彭静,李翀,廖文根等. 水环境可持续承载评价方法及实证研究[J]. 中国人口. 资源与环境, 2006(4): 55-58.
- [5] 傅鸿源,胡焱. 城市综合承载力研究综述[J];城市问题, 2009(5): 27-31.
- [6] 冯兰刚,焦彦臣,都沁军. 基于AHP的河北省水资源承载力分析[J]. 工业技术经济, 2009(7): 90-93.
- [7] 杨秋林. 基于模糊综合评价的水资源承载力分析[J]. 国土与自然资源研究, 2009(3): 65-66.
- [8] 李坤峰,谢世友. 基于主成分分析重庆水资源承载力影响因素评价[J]. 水科学与工程技术, 2008(S2): 38-41.
- [9] 宋全香,左其亭. 水环境承载能力预测模型及其在郑州市的应用[J]. 水资源保护, 2004, 20(4): 22-24.
- [10] 崔树彬. 河流水环境承载力及其量化研究[J]. 水问题论坛, 2003, 38(1): 28-32.
- [11] 唐剑武,叶文虎. 环境承载力的本质及其量化初步研究[J]. 中国环境科学, 1998, 18(3): 227-230.
- [12] 陕西省水利厅. 渭河流域综合治理五年规划(2008-2012)[R]. 2008.
- [13] 陕西省水利厅. 陕西省水资源综合规划[R]. 2009.
- [5] 闫宁霞,姜宗科. 掺纤维固化土强度变化的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(8): 146-148.
- [6] Prabakar J, Sridhar R S. Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil[J]. Construction and Building Materials, 2002, 16(2): 123-131.
- [7] Khosrow G, Romildo D, Toledof F, et al. Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres[J]. Cement and Concrete Composites, 1999, 21(1): 39-48.
- [8] 唐朝生,施斌,高玮. 聚丙烯纤维和水泥对黏性土强度的影响及机理研究[J]. 工程地质学报, 2007, 15(1): 108-113.
- [9] 李晓华. 棕榈纤维的基本性能研究[D]. 重庆: 资源纤维学, 2012: 20-24.
- [10] JTG E40-2007. 中华人民共和国交通部. 公路土工试验规程[S].
- [11] 刘晓霞,茅深. 棕叶纤维性能研究[J]. 上海纺织科技, 2006, 34(9): 20-21.
- [12] 喻泽红,魏红卫,邹银生. 加筋红砂岩风化土强度和变形特性[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(15): 2770-2779.
- [13] 魏丽,柴寿喜,蔡宏州,等. 麦秸秆加筋滨海盐渍土的抗剪强度与偏应力应变[J]. 土木工程学报, 2012, 45(1): 109-113.
- [14] 包承纲,丁金华. 纤维加筋土的研究和工程应用[J]. 土工基础, 2012, 26(1): 80-83.
- [15] Benson CH, Khire MU. Reinforcing sand with strip with strips of reclaimed high high-density polyethylene[J]. Geotechnical Engineering, 1994, 120(5): 835-855.

(上接第164页)