

# 渭河关中段水环境安全评价

丁劲<sup>1</sup>, 李怀恩<sup>1\*</sup>, 刘铁龙<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西西安 710048; 2. 陕西省渭河流域管理局, 陕西西安 710018)

**摘要** 为了对河流的水环境安全进行评价, 评价出沿河城市对河流水环境安全的影响情况, 以渭河关中段即渭河所流经宝鸡、咸阳、西安和渭南4个城市段为例, 选取2000~2013年各市与水环境安全有关的14个指标为研究对象, 基于压力-状态-响应模型(PSR模型), 利用综合指数评价法, 计算4个城市段水环境综合安全指数及影响水环境安全程度的权重值, 并以此评价渭河关中段的水环境安全, 找到影响水环境安全的主要因素。结果表明, 2000~2013年间渭河关中段的水环境安全状态基本在“较差”和“良好”两个安全等级间波动; 2011年之后关中段水质呈逐步上升趋势; 适当增加人均绿地面积、适当减少化肥的施用将有利于渭河关中段水环境的改善。

**关键词** 渭河关中段; 水环境安全; PSR模型; 综合指数评价法

**中图分类号** S181.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)31-239-04

## Water Environment Security Evaluation in Shaanxi Section of Weihe River

DING Jin<sup>1</sup>, LI Huai-en<sup>1\*</sup>, LIU Tie-long<sup>2</sup> (1. State Key Laboratory Base of Eco-Hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048; 2. Weihe River Administration of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710018)

**Abstract** For evaluating water environment security of river, the influence of cities along the river on water environment safety was evaluated. Taking Shaanxi section of Weihe River as an example, which flowing through Baoji City, Xianyang City, Xi'an City and Weinan City, choosing 14 indexes which all related to water environment security from each city during 2000-2013, based on the PSR model and the comprehensive index evaluation method to get the comprehensive index of water environment security in every city each year and the weight value that reflects the influence degree to water environment security. The results showed that: the water environment security state of Shaanxi section of Weihe River fluctuated between "Pool" and "Good" during 2000-2013; the water quality in Shaanxi section of Weihe River was going up after 2011; increasing per capita green area and reducing pure using quantity of chemical fertilizer appropriately would improve the water environment security degree.

**Key words** Shaanxi section of Weihe River; Water environment security; PSR model; Comprehensive index evaluation method

研究河流水环境问题、对河流的水环境安全及其影响因子进行评价有重要的意义: 首先, 研究河流的水环境安全能指导水资源的配置, 指导河流治理的方针政策; 其次, 保障了河流的水环境安全也能够实现社会的经济效益和环境效益。目前国内外学者已经对河流水环境、河流水资源安全评价和区域水资源安全评价进行了研究。王瑞芳等评价了山西省的水资源安全, 得出山西11个市人均水资源量是最优指标, 对山西水资源安全进行了预警<sup>[1-2]</sup>。周安康等研究了宝鸡峡灌区的水资源安全, 找到了供水工程效率低等5个指标是影响灌区水资源安全的主要因素<sup>[3]</sup>。解雪峰等用PSR模型研究了东阳江流域的水生态安全, 发现水生态安全主要问题是城区人为活动干扰<sup>[4]</sup>。闫正龙等用PSR模型研究了平原区河流系统的健康评价指标, 得出其受人类活动影响较明显<sup>[5]</sup>。吕龙龙等基于PSR模型评价了刁口河流路生态完整性, 得到该河2009和2012年完整性分别处于较差和一般差的水平<sup>[6]</sup>。刘燕等分析了渭河陕西段的生态安全, 发现水生态问题与水资源的开发利用有着密不可分的关系<sup>[7]</sup>。刘子刚等估算了渭河陕西段的水资源、水生态、水环境三方面的生态承载力综合评价指数<sup>[8]</sup>。Richard Lawford等根据卫星同步观察及模型模拟, 综合监测了全球水循环的趋势和变异的数量、质量<sup>[9]</sup>。Wendy Jepson研究了美国-墨西哥边境低

收入城乡居民家庭用水的水资源安全状况, 发现其中55%是“水不安全”<sup>[10]</sup>。Dunn等研究出一种简单方法来更好地了解气候和土地利用变化对水质的广泛影响<sup>[11]</sup>。

之前学者虽然对渭河关中段水环境进行过相关的研究, 但没有评价过渭河关中段的水环境安全程度。故笔者以研究渭河在关中段内流经的宝鸡、咸阳、西安和渭南4个市对渭河水环境的影响为内容, 选取以上4个城市对渭河水资源安全有影响的自然、经济、农业、工业和社会几个方面的若干指标, 对渭河关中段的水环境安全进行评价。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区域和资料** 渭河是黄河最大的一级支流, 发源于甘肃省鸟鼠山北侧, 自西向东经陕西省潼关港口注入黄河。渭河全长818 km, 流域面积13.48万km<sup>2</sup>, 其中陕西境内河长约502 km, 流域面积6.71万km<sup>2</sup>。笔者研究的区域为渭河流域关中段, 渭河关中段位于渭河中下游, 行政上主要包括宝鸡市、咸阳市、西安市、渭南市(图1)。该研究所采用的数据来自陕西省统计局编著的《陕西统计年鉴》<sup>[12]</sup>及《陕西区域统计年鉴》<sup>[13]</sup>中相应年份宝鸡市、咸阳市、西安市、渭南市的统计资料。

**1.2 研究方法** 水环境综合安全的评价是指对受人类活动影响而造成的水质降低程度、水资源承载能力破坏程度的评价, 并以其值评价河流水环境的安全程度。PSR模型(状态-压力-响应模型)在近些年的生态安全评价、土地资源质量评价及生态系统健康评价等领域得到广泛应用<sup>[14]</sup>。该模型由压力、状态和响应3个子模型构成。选取《陕西统计年鉴》和《陕西区域统计年鉴》中对渭河关中段水质、水生态

**基金项目** 国家重大科技专项专题(2009ZX07212-002-003-004); 全国水资源保护规划相关专题研究项目(环0202042012-2)。

**作者简介** 丁劲(1990-), 男, 内蒙古包头人, 硕士研究生, 研究方向: 生态水文和水资源保护。\*通讯作者, 教授, 博士, 从事水资源保护研究。

**收稿日期** 2015-09-29



图1 渭河关中段流域图

表1 水环境安全评价因子统计值

城市	指标	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
宝鸡	自然														
	造林面积//千 hm <sup>2</sup>	34.51	42.97	46.33	49.69	39.09	27.29	25.24	23.58	16.99	37.10	36.28	27.62	25.64	22.53
	人均绿地面积//m <sup>2</sup>	3.24	3.75	4.68	6.20	7.79	9.37	9.46	10.53	12.45	14.22	14.23	14.06	13.30	12.25
	经济														
	第一产业占 GDP 比重//%	12.89	11.53	10.81	10.67	11.34	10.69	10.14	10.52	10.97	10.56	10.68	10.93	10.42	10.20
	第二产业占 GDP 比重//%	50.33	51.78	52.79	53.70	55.68	57.93	59.85	59.77	60.88	60.89	62.95	63.73	65.19	65.82
	第三产业占 GDP 比重//%	36.78	36.69	36.39	35.63	32.98	31.38	30.01	29.72	28.16	28.55	26.38	25.34	24.39	23.99
	生产总值指数	110.50	109.70	110.50	112.90	115.10	113.00	113.10	114.80	115.50	115.00	114.40	114.50	115.10	113.00
	人均生产总值指数	109.10	107.00	110.20	112.50	114.40	113.10	112.70	114.50	115.90	115.40	114.00	114.30	114.80	112.70
	农业														
耕地面积//千 hm <sup>2</sup>	333.84	323.68	308.72	293.75	307.51	305.05	306.62	311.16	311.53	308.99	306.78	305.72	299.96	299.99	
主要农作物种植面积//千 hm <sup>2</sup>	483.60	455.78	452.06	439.21	461.07	465.39	472.60	430.54	441.84	443.59	444.77	420.34	420.00	419.21	
施用化肥折纯量//千 t	145.10	151.50	175.94	200.37	164.51	169.17	164.50	282.69	183.24	196.61	214.71	235.27	257.65	262.45	
工业															
工业废水达标排放率//%	64.39	74.13	92.02	95.11	96.64	96.50	87.06	96.85	99.32	99.72	99.67	94.24	88.82	/	
工业用水重复利用率//%	/	86.19	87.05	84.51	86.39	96.50	86.10	86.05	81.75	87.18	90.13	/	/	/	
社会															
人均生活日用水量//L/d	131.01	190.84	/	/	/	165.82	165.02	132.81	146.50	126.76	131.75	120.00	118.47	137.39	
废水治理设施处理能力//万 L/d	20.58	39.08	43.33	51.80	56.20	52.00	66.00	61.53	77.95	74.02	73.69	57.71	51.82	72.97	
咸阳	自然														
	造林面积//千 hm <sup>2</sup>	20.34	19.49	34.56	49.62	25.10	15.92	9.25	26.48	18.62	32.36	28.53	28.59	33.47	28.35
	人均绿地面积//m <sup>2</sup>	4.45	3.46	6.29	4.28	5.44	6.59	7.33	9.60	9.49	9.80	13.43	14.82	14.74	15.03
	经济														
	第一产业占 GDP 比重//%	22.37	20.86	19.64	19.08	19.96	20.60	20.32	20.46	19.48	18.03	18.50	18.55	17.99	16.96
	第二产业占 GDP 比重//%	43.64	42.50	43.34	44.45	45.30	44.39	45.55	46.12	50.05	49.70	52.18	54.39	55.72	57.85
	第三产业占 GDP 比重//%	33.98	36.64	37.02	36.47	34.74	35.01	34.12	33.43	30.47	32.27	29.32	27.07	26.30	25.20
	生产总值指数	111.70	109.00	112.00	113.20	114.90	112.60	111.50	112.30	116.00	114.20	114.50	114.20	114.50	113.10
	人均生产总值指数	107.80	107.80	111.30	112.00	113.50	110.10	111.60	112.10	115.60	114.10	114.30	113.90	114.10	112.70
	农业														
耕地面积//千 hm <sup>2</sup>	407.87	401.45	385.86	370.26	369.79	369.00	358.52	360.00	357.90	358.58	359.25	359.27	359.57	356.85	
主要农作物种植面积//千 mm <sup>2</sup>	577.57	559.97	562.10	555.61	557.45	561.80	566.28	543.52	534.10	539.93	552.41	519.27	522.27	524.24	
施用化肥折纯量//千 t	277.00	276.50	278.35	280.21	283.37	297.79	312.26	360.79	312.17	360.04	414.35	463.64	662.70	669.72	
工业															
工业废水达标排放率//%	46.67	85.23	85.90	91.45	99.78	95.12	96.35	96.94	93.74	100.00	100.00	93.59	87.18	/	
工业用水重复利用率//%	/	92.59	92.65	91.93	90.52	95.10	92.20	91.97	91.13	90.81	89.44	/	/	/	
社会															
人均生活日用水量//L/d	136.79	203.85	/	/	/	166.05	162.24	182.37	194.63	189.14	198.64	194.00	135.27	152.73	
废水治理设施处理能力//万 L/d	10.39	21.07	22.71	23.14	26.70	25.00	29.00	25.31	19.13	29.62	66.13	53.46	27.52	86.35	
西安	自然														
	造林面积//千 hm <sup>2</sup>	18.38	16.72	18.60	20.48	13.93	11.04	8.63	4.11	5.84	10.04	10.73	6.94	6.05	8.20
	人均绿地面积//m <sup>2</sup>	5.12	3.74	3.83	3.80	4.01	4.21	7.59	7.61	7.80	7.90	9.50	10.44	10.81	11.20
	经济														
	第一产业占 GDP 比重//%	6.91	6.24	5.78	5.36	5.46	5.02	4.58	4.44	4.46	4.05	4.32	4.48	4.48	4.46
	第二产业占 GDP 比重//%	42.89	42.58	42.77	43.03	43.26	41.14	41.95	42.12	42.34	42.02	43.39	43.35	43.10	43.36
	第三产业占 GDP 比重//%	50.20	51.18	51.45	51.61	51.28	53.84	53.47	53.44	53.19	53.92	52.28	52.17	52.42	52.18
	生产总值指数	113.00	113.10	113.30	113.50	113.50	114.00	114.00	115.60	116.30	114.50	114.50	113.80	111.80	111.10
	人均生产总值指数	111.40	111.40	112.10	111.70	111.70	112.20	112.90	113.90	115.30	113.70	113.80	113.20	111.30	110.60
	农业														
耕地面积//千 hm <sup>2</sup>	295.58	287.79	281.84	275.89	269.91	266.78	263.86	261.18	260.51	258.59	255.54	251.40	246.61	244.15	
主要农作物种植面积//千 hm <sup>2</sup>	511.07	495.74	500.73	491.37	502.55	505.99	505.37	511.59	504.04	505.73	501.16	469.42	467.71	466.32	
施用化肥折纯量//千 t	193.70	193.30	196.72	200.14	210.66	211.79	216.09	254.13	225.87	230.30	235.53	239.50	243.28	239.70	
工业															
工业废水达标排放率//%	67.03	77.56	77.05	80.45	89.71	95.56	85.43	96.24	97.59	91.94	88.54	88.72	88.90	/	
工业用水重复利用率//%	/	79.13	76.90	74.24	76.84	95.60	63.20	75.60	70.94	79.24	78.33	/	/	/	
社会															
人均生活日用水量//L/d	241.54	204.43	/	/	/	147.25	126.50	187.01	199.90	198.36	198.54	200.00	241.76	241.83	
废水治理设施处理能力//万 L/d	16.69	29.05	34.66	38.82	59.46	64.00	62.00	66.67	48.63	45.48	44.23	67.61	41.23	23.44	
渭南	自然														
	造林面积//千 hm <sup>2</sup>	27.80	25.50	45.54	65.58	32.59	25.60	14.90	16.33	26.07	29.40	31.76	36.50	34.24	36.68

接下表

续表 1

城市 指标	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
经济														
人均绿地面积//m <sup>2</sup>	1.50	0.40	2.46	2.73	2.73	2.72	3.93	7.51	7.61	9.83	11.88	12.13	12.17	12.20
第一产业占 GDP 比重//%	22.62	21.74	20.62	19.25	18.87	17.77	16.73	17.55	17.09	15.79	16.09	15.60	15.60	15.00
第二产业占 GDP 比重//%	36.51	35.58	36.68	39.53	42.68	45.04	45.53	45.09	45.50	46.23	49.23	52.98	52.93	55.09
第三产业占 GDP 比重//%	40.87	42.68	42.70	41.22	38.45	37.19	37.74	37.36	37.40	37.99	34.68	31.42	31.47	29.90
生产总值指数	108.20	108.30	110.40	109.50	112.60	112.43	112.88	114.15	116.34	114.30	115.00	115.00	114.50	112.00
人均生产总值指数	107.20	107.40	110.00	109.20	112.20	111.20	112.70	114.70	116.60	114.20	115.10	114.90	114.10	111.70
农业														
耕地面积//千 hm <sup>2</sup>	534.61	527.54	522.84	518.13	514.72	514.80	513.09	517.91	519.19	520.13	521.04	521.65	521.45	519.41
主要农作物种植面积//千 hm <sup>2</sup>	701.36	639.70	673.97	673.98	674.68	700.11	701.41	652.26	704.83	754.28	758.77	721.79	703.67	696.67
施用化肥折纯量//千 t	298.60	289.90	298.89	307.89	321.16	336.42	341.99	341.04	358.96	383.97	488.54	507.77	582.50	600.55
工业														
工业废水达标排放率//%	72.24	89.36	90.68	89.09	86.68	85.91	93.08	93.51	94.07	92.91	93.95	/	/	/
工业用水重复利用率//%	/	94.15	93.76	94.60	86.86	85.90	93.50	92.45	93.20	90.84	91.92	/	/	/
社会														
人均生活日用水量//L/d	177.13	181.56	/	/	/	166.83	112.95	104.92	105.62	105.86	125.11	160.00	146.89	146.43
废水治理设施处理能力//万 t/d	38.31	49.81	56.41	55.07	82.78	52.00	56.00	49.73	63.64	50.68	49.52	47.81	42.84	53.98

注：“/”表示该值未搜集到相关数据。

环境有胁迫和有影响的自然、经济、工业、农业和社会方面若干指标,结合 PSR 模型,构建一个针对渭河关中段水环境安全的评价体系,用综合指数评价法计算各指标对水环境影响的权重值和渭河关中段水环境综合安全评价价值,以此对所得各年、各市的水环境综合安全评价价值进行分析和评价。

## 2 结果与分析

**2.1 指标的选取** 渭河关中段主要流经宝鸡、咸阳、西安和渭南 4 市,该研究统计整理了 2000~2013 年以上 4 个城市自然、经济、农业、工业和社会 5 方面共 14 个指标作为渭河关中段水环境评价的因子,其中 5 项压力子模型因子(造林面积、人均绿地面积、耕地面积、主要农作物种植面积和施用化肥折纯量)、5 项状态子模型因子(第一、第二、第三产业分别占 GDP 的比重、生产总值指数和人均生产总值指数)和 4 项响应子模型因子(工业废水达标排放率、工业用水重复利用率、人均生活日用水量和废水治理设施处理能力),统计数据见表 1。

**2.2 指标的规范化处理及权重值和综合安全评价价值的计算** 从以上选取的各个指标可知,指标之间的单位不同、量纲不同,不能直接进行统计比较。参考之前学者进行的研究,采用综合指数评价法,并利用极差标准化方法对选取的指标进行量化统一。对量纲进行量化统一之后,针对综合评价体系中权重问题,采取均方差权值法进行权重的计算<sup>[15]</sup>。

首先,利用极差标准化法对指标进行标准化:对于正向指标(值越大,水环境越安全的指标),如造林面积、人均绿地面积、第三产业所占 GDP 比重、工业废水达标排放率、工业用水重复利用率和废水设施处理能力:

$$Y_{ij} = \frac{10 \times (X_{ij} - X_{j\min})}{(X_{j\max} - X_{j\min})} \quad (1)$$

对于负向指标(值越小,水环境越安全的指标),除上述 6 项所余指标:

$$Y_{ij} = \frac{10 \times (X_{j\max} - X_{ij})}{(X_{j\max} - X_{j\min})} \quad (2)$$

式中, $X_{ij}$ 和 $Y_{ij}$ 分别代表第 $i$ 年第 $j$ 个指标的原值和标准化后的数值; $X_{j\max}$ 和 $X_{j\min}$ 分别代表第 $j$ 个指标在研究年份内的最大值和最小值。

其次,利用均方差权值法计算每个指标的权重:

$$K_j = D_j \times \sqrt{Y_j} \quad (3)$$

$$A_j = \frac{K_j}{\sum_{j=1}^n K_j} \quad (4)$$

式中, $Y_j$ 和 $D_j$ 分别代表第 $j$ 个指标标准化后数值的均值和均方差; $K_j$ 和 $A_j$ 分别代表第 $j$ 个指标的变异系数和权重值。

最后,根据以上计算权重值得到水环境综合安全评价价值:

$$W_i = \sum_{j=1}^n A_j Y_{ij} \quad (5)$$

式中, $W_j$ 为第 $j$ 项指标的水环境综合安全评价价值。同理,可计算得到各年的水环境综合安全评价价值。

其中,各指标的权重值可表示该指标对于水环境的影响程度,权重值越大,对水环境影响越严重;水环境综合安全评价价值则表示水环境的安全程度,具体评估标准见表 2。

表 2 综合安全评价价值与安全等级的关系<sup>[15]</sup>

综合安全评价价值	水环境安全评价等级	安全状态
0~2	I	恶劣
2~4	II	较差
4~6	III	一般
6~8	IV	良好
8~10	V	理想

计算所得渭河各城市段水环境综合安全评价价值如表 3 所示。从水环境综合安全评价价值的年际变化可知:①渭河关

表 3 各年水环境综合安全评价价值

城市	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
宝鸡段	5.610	6.468	5.123	5.606	3.904	4.393	3.853	4.545	5.171	6.154	5.752	4.763	5.093	5.469
咸阳段	4.847	6.406	4.736	5.712	4.354	5.700	5.094	4.031	4.177	4.608	4.728	4.318	5.187	6.394
西安段	2.549	3.556	3.244	3.891	3.686	7.619	5.562	5.391	4.408	4.760	3.722	5.916	6.917	7.483
渭南段	5.222	8.971	6.037	6.230	4.873	3.658	5.967	6.138	5.954	5.375	4.763	2.683	2.892	4.005

中段的水环境安全状态基本在“较差”和“良好”两个安全等级间波动,未达到过“恶劣”状态;②在2011年以后,4市的安全评价价值均呈上升趋势,说明水环境在相应年份有所改善;③渭河渭南段的水环境整体恶化严重,西安段的水环境安全程度呈上升趋势;④渭河宝鸡和咸阳段水环境安全状态基本保持在“一般”状态,没有太大波动。

计算所得各指标在每个市对水环境安全影响的权重值见表4。表4反映出在不同的城市段,选取指标对水环境安全影响的程度有所不同。指标中人均绿地面积和施用化肥折纯量两项对渭河4个城市段的水环境均有重要影响,此外渭河宝鸡段的工业废水达标排放率、咸阳段的耕地面积、西安段的废水治理设施处理能力和渭南段的人均生活日用水量也对该段的水环境安全影响程度比较大。

**2.3 水环境安全评价结果的检验** 为了检验该研究所得渭河中段水环境安全的变化趋势与实际是否相符,将所得综合安全值变化趋势与环保部公布的相应年份渭南潼关吊桥断面水质情况进行比对。因潼关吊桥断面水质从2005年开始监测,且每周公布一次,故取该断面每年的污染物浓度均与该研究结果比对。公布的潼关吊桥断面主要污染物浓度的年平均值的变化趋势如图2所示。

表4 指标在各市所占权重

类型	指标	宝鸡段	咸阳段	西安段	渭南段
自然	造林面积	0.066	0.052	0.072	0.044
	人均绿地面积	0.088	0.081	0.082	0.085
经济	第一产业占GDP比重	0.068	0.062	0.079	0.077
	第二产业占GDP比重	0.071	0.085	0.056	0.072
	第三产业占GDP比重	0.082	0.085	0.076	0.075
	生产总值指数	0.064	0.053	0.060	0.067
	人均生产总值指数	0.053	0.065	0.072	0.066
农业	耕地面积	0.062	0.093	0.075	0.064
	主要农作物种植面积	0.075	0.072	0.069	0.063
	施用化肥折纯量	0.079	0.082	0.082	0.089
工业	工业废水达标排放率	0.091	0.085	0.077	0.079
	工业用水重复利用率	0.051	0.057	0.054	0.088
社会	人均生活日用水量	0.081	0.078	0.065	0.089
	废水治理设施处理能力	0.070	0.049	0.081	0.042

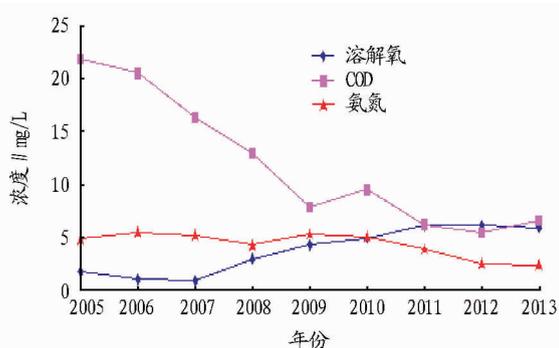


图2 潼关吊桥监测污染物浓度变化趋势

潼关吊桥所监测的COD浓度呈整体下降趋势,氨氮浓度2009和2010年略有波动,自2010年后呈下降趋势,溶解

氧浓度基本呈增加趋势,说明渭河潼关吊桥上游的水质近些年有所改善。这样结果与该研究所得渭河关中段水质的变化趋势大体相当,故认为该研究分析结果基本符合实际情况。

### 3 结论

(1)2000~2013年间渭河关中段的水环境安全状态基本在“较差”和“良好”两个安全等级间波动。

(2)2011年之后,渭河关中段水环境安全程度增加,即河流水质有所改善。

(3)渭河西安段水质在2004年之后有明显改善,渭南段水质先下降后有上升,宝鸡段和咸阳段水质基本保持在“一般”状态,波动不大。

(4)人均绿地面积和施用化肥折纯量两项对渭河关中段的水环境安全有较为明显的影响,适当增加人均绿地面积、适当减少化肥的施用将有利于水环境的改善。

笔者选取自然、社会、经济、工业和农业方面共14项指标作为因子,评价渭河关中段水环境综合安全,并比较了不同指标对宝鸡段、咸阳段、西安段和渭南段水环境安全不同的影响程度。通过与环保部公布数据进行比对,可知该研究结果与实际基本相符。之后的研究中可增加其他指标并结合渭河关中段的非点源污染特征,进行进一步的研究和分析。

### 参考文献

- 王瑞芳,秦大庸,张占庞,等.层次分析法在山西省水资源安全评价中的应用[J].人民黄河,2008,30(9):40-42.
- 李仰斌,畅明琦.水资源安全评价与预警研究[J].中国农村水利水电,2009(1):1-4.
- 周安康,严宝文,魏晓妹.宝鸡峡灌区农业水资源安全评价研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2011(3):203-210.
- 解雪峰,吴涛,肖翠,等.基于PSR模型的东阳江流域生态安全评价[J].资源科学,2014(8):1702-1711.
- 闫正龙,高凡,黄强.基于PSR模型和粗糙集的平原地区河流系统健康评价指标体系研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013(12):200-208.
- 吕龙龙,李新宝,蒋晓辉,等.基于PSR模型的刁口河流域生态完整性评价[J].人民黄河,2014,36(4):79-81.
- 刘燕,李佩成.渭河流域陕西段的生态安全分析[J].安全与环境学报,2006,6(5):64-68.
- 刘子刚,蔡飞.区域水生态承载力评价指标体系研究[J].环境污染与防治,2012,34(9):73-77.
- LAWFORD R, STRAUCH A, TOLL D, et al. Earth observations for global water security[J]. Current opinion in environmental sustainability, 2013, 5(6):633-643.
- JEPSON W. Measuring 'no-win' waterscapes: Experience-based scales and classification approaches to assess household water security in colonias on the US-Mexico border[R]. Geoforum, 2014:107-120.
- DUNN S M, TOWERS W, DAWSON J J C, et al. A pragmatic methodology for horizon scanning of water quality linked to future climate and land use scenarios[J]. Land use policy, 2015, 44(4):131-144.
- 陕西省统计局.陕西统计年鉴(2000-2013)[M].北京:中国统计出版社,2000-2013.
- 陕西省统计局.陕西区域统计年鉴(2012-2014)[M].北京:中国统计出版社,2012-2014.
- 邱微,赵庆良,李崧,等.基于“压力-状态-响应”模型的黑龙省生态安全评价研究[J].环境科学,2008,29(4):1148-1152.
- 陆建忠,崔肖林,陈晓玲.基于综合指数法的鄱阳湖流域水资源安全评价研究[J].长江流域资源与环境,2015(2):212-218.