

# 基于 DPSIR 模型的甘肃省 2000—2018 年水安全评价

张洋<sup>1</sup>, 李鹏<sup>2,3</sup>, 杨志<sup>4</sup>, 李占斌<sup>2</sup>, 李才文<sup>5</sup>

(1.西安国际港务区农业农村和水务局, 陕西 西安 710026; 2.西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室, 陕西 西安 710048; 3.旱区生态水文与灾害防治国家林业局重点实验室, 陕西 西安 710048; 4.宁夏回族自治区水土保持监测总站, 宁夏 银川 750002; 5.国家林业和草原局西北调查规划设计院, 陕西 西安 710048)

**摘要:** [目的] 对甘肃省水安全状况进行评价, 为该省相关部门制定相应的区域水安全措施提供科学依据。[方法] 通过构建 DPSIR 评价指标体系, 运用熵值法和单指标量化—多指标综合—多准则综合的方法对甘肃省 2000, 2005, 2010, 2015 和 2018 年水安全进行评价。[结果] 甘肃省水安全健康指标由 2000 年的不安全上升至 2018 年的较不安全, 总体呈上升趋势, 但幅度较小, 处于基本安全线以下。对于准则层而言, 驱动力上升缓慢, 压力依然较大, 而响应水平有限, 是甘肃省水安全健康指标向更好状态发展的主要限制因素。该省水安全状态和影响虽处于较不安全状态, 但逐年稳步上升, 是推动甘肃省水安全健康指标向更高水平发展的重要动力。[结论] 甘肃省水安全现状不容乐观, 处于不安全状态。需要从水资源、生态环境和社会经济 3 方面入手改变水安全现状。

**关键词:** 水安全; DPSIR 模型; 熵值法; 甘肃省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)06-0127-06

中图分类号: TV213.4

**文献参数:** 张洋, 李鹏, 杨志, 等. 基于 DPSIR 模型的甘肃省 2000—2018 年水安全评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 127-132. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.018; Zhang Yang, Li Peng, Yang Zhi, et al. Water security evaluation of Gansu Province during 2000—2018 based on DPSIR model [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 127-132.

## Water Security Evaluation of Gansu Province During 2000—2018 Based on DPSIR Model

Zhang Yang<sup>1</sup>, Li Peng<sup>2,3</sup>, Yang Zhi<sup>4</sup>, Li Zhanbin<sup>2</sup>, Li Caiwen<sup>5</sup>

(1. Agriculture Rural and Water Bureau, Administration Committee of Xi'an International Trade & Logistics Park, Xi'an, Shaanxi 710026, China; 2. Xi'an University of Technology, State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 3. Key Laboratory National Forestry Administration on Ecological Hydrology and Disaster Prevention in Arid Regions, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 4. Ningxia Soil and Water Conservation Monitoring Station, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 5. Northwest Surveying, Planning and Design Institute of National Forestry and Grassland Administration, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** [Purpose] The water safety in Gansu Province was evaluated, in order to provide scientific basis for local departments to formulate corresponding regional water safety measures. [Methods] By constructing DPSIR evaluation index system, water safety of Gansu Province in 2000, 2005, 2010, 2015 and 2018 was evaluated by using the method of entropy value and single index quantification, multi-index synthesis and multi-criteria synthesis. [Results] The water safety and health of Gansu Province had increased from unsafe in 2000 to less unsafe in 2018, showing an upward trend on the whole but to a lesser extent, it was still below the basic safety line. As for the criterion level, the driving force rose slowly and the pressure was still high, while the response level was limited, which was the main limiting factor for the development of water safety and health to a better state. Although the state and influence were in a less safe state, they increased

收稿日期: 2021-08-06

修回日期: 2021-09-09

资助项目: 清洁能源与生态水利工程研究中心科技项目“黄河上中游流域生态修复与环境保护”(QNZX-2019-03); 省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室开放基金项目(2018KFKT-1)

第一作者: 张洋(1986—), 男(汉族), 陕西省陇县人, 博士, 工程师, 主要从事雨洪侵蚀与城市水土保持方面的研究。Email: peace-eternity@qq.com.

通讯作者: 李鹏(1974—), 男(汉族), 山东省烟台市人, 博士, 教授, 主要从事旱区水文过程与生态响应关系的研究。Email: lipeng74@163.com.

steadily year by year, which was an important driving force for the development of water safety and health to a higher level. [Conclusion] The current situation of water safety in Gansu Province is not optimistic and unsafe. It is necessary to change the current situation of water safety from three aspects: water resources, ecological environment and social economy.

**Keywords:** water safety; DPSIR model; entropy method; Gansu Province

水资源是人类社会发展不可或缺的战略资源,对于维护生活、生产、生态良好发展具有重要的意义<sup>[1]</sup>。近年来,由于用水量的激增以及不合理的开发利用导致水资源安全面临严重的挑战,同时伴随着水环境污染以及水灾害频发,水安全问题变得更为严重<sup>[2]</sup>。水安全最早于 20 世纪 70 年代被提出,目标为使水资源管理朝着可持续方向发展,其重点是满足社会和生态用水需求<sup>[3-4]</sup>。2019 年习近平总书记提出黄河流域生态保护和高质量发展国家战略,甘肃省是黄河流域重要的涵养区,必将扮演着举足轻重的作用<sup>[5]</sup>。近 20 a,甘肃省经济在西部大开发中得到迅猛发展,与此同时,也面临着水资源匮乏、生态环境破坏、各行各业争水等一系列问题,导致水安全问题日趋突出<sup>[5]</sup>。因此,通过采用科学合理的水安全评价指标体系,明确水安全状态的变化趋势,确定现阶段水安全状况,找出影响水安全的制约因素,对于促进甘肃省在新的国家战略中全面健康持续发展具有重要的现实意义。国内外学者<sup>[2-3,6]</sup>对于水安全的研究首先从其定义以及保护对策进行分析和探讨。随着学者对于水安全定义及其基础理论研究的不断深入,大量学者开始从水安全指标体系的构建对水安全进行定量评价,主要的评价角度包括水贫困指数法<sup>[7]</sup>、水压力指数法<sup>[8]</sup>、PSR(压力、状态、响应)模型法<sup>[9-10]</sup>等。评价方法则包括层次分析法<sup>[11]</sup>、主成分分析法<sup>[8]</sup>、模糊综合评价法<sup>[12-13]</sup>等。本研究从综合评价指标体系的角度进行度量,采用最新的 DPSIR 模型,运用熵值法和单指标量化—多指标综合—多准则综合的方法对甘肃省水安全进行综合评价,旨在为甘肃省在面向西部大开发新格局和“一带一路”新机遇的政策下提供更多的理论依据。

## 1 构建基于 DPSIR 框架模型的甘肃省水安全评价指标体系

### 1.1 研究区概况

甘肃省位于中国西北部,属于典型的温带大陆性气候,降雨量自东往西由 500 mm 降至 50 mm,相差极大,甘肃省水资源自产量为  $2.89 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,人均水资源与全国相比约为全国人均的 1/2,耕地平均水资源量仅为  $378 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ,与全国相比,约为全国平均水

平的 1/4。该省河川径流年内分配不均,汛期(5—9 月)水量集中,冬春季水量小,全省水资源开发利用程度在 2018 年达到 31.6%。

### 1.2 指标体系的构建

本研究数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及《甘肃省水资源公报》。选取年份为 2000,2005,2010,2015 和 2018 年。

DPSIR 模型最早由欧洲环境署(EEA)提出,在 DSR(驱动力、状态、响应)和 PSR 模型的基础上纳入新的指标进行扩展,同时具备两者的特点<sup>[14]</sup>。DPSIR 模型的优点在于能够对社会环境与经济之间的相关信息进行有效的捕捉,同时能够较好的展现两者的关系,从而对某一地区生态环境和资源变化进行客观系统的评估。具体来说,DPSIR 模型对应的逻辑结构如图 1 所示。

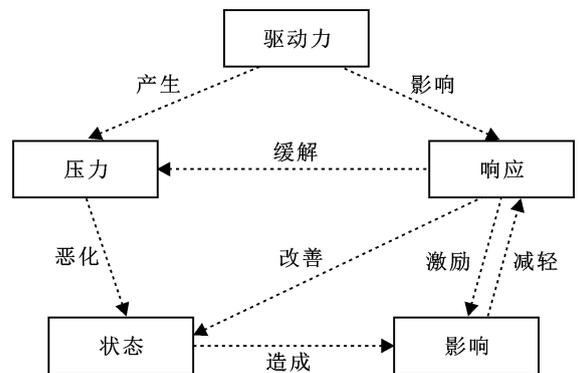


图 1 DPSIR 模型框架

本研究基于 DPSIR 模型,将甘肃省水安全评价体系分解为目标层、准则层、指标层 3 个层次,为了能够准确描述甘肃省 2000,2005,2010,2015 和 2018 年水安全变化趋势,选取了 22 个能够反映甘肃省水安全问题的典型指标<sup>[15]</sup>。驱动力子系统主要指由社会因素和自然因素共同对区域水安全的作用;压力子系统是由人类生活生产活动在驱动力的推动下对区域水安全的影响;状态子系统是区域的生态、环境以及社会发展在驱动力和压力作用下所处的环境;影响子系统是上述指标对社会发展以及生态环境的影响;响应子系统是对水安全状态所采取的措施体现。指标的选取原则遵循科学性、系统性、静态动态结合以及可操作性的原则<sup>[16]</sup>。具体指标详见表 1。

表 1 甘肃省水安全综合评价指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	指标类型
水安全(A)	驱动力(B <sub>1</sub> )	GDP 增长率(C <sub>1</sub> )	%	↑
		人口自然增长率(C <sub>2</sub> )	%	↓
		单位面积水资源量(C <sub>3</sub> )	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	↑
	压力(B <sub>2</sub> )	万元工业产值用水量(C <sub>4</sub> )	m <sup>3</sup> /万元	↓
		农业用水率(C <sub>5</sub> )	%	↓
		生态补水率(C <sub>6</sub> )	%	↓
		人均生活用水量(C <sub>7</sub> )	L/(人·d)	↓
		万元产值废污水排放量(C <sub>8</sub> )	m <sup>3</sup> /万元	↓
	状态(B <sub>3</sub> )	人均水资源量(C <sub>9</sub> )	m <sup>3</sup> /人	↑
		水资源利用率(C <sub>10</sub> )	%	↓
		水质监测断面达标率(C <sub>11</sub> )	%	↑
		人均 GDP(C <sub>12</sub> )	万元	↑
		恩格尔系数(C <sub>13</sub> )	%	↓
		森林植被覆盖率(C <sub>14</sub> )	%	↑
影响(B <sub>4</sub> )	城市化率(C <sub>15</sub> )	%	↓	
	建成区绿化覆盖率(C <sub>16</sub> )	%	↑	
	第三产业增加值比重(C <sub>17</sub> )	%	↑	
响应(B <sub>5</sub> )	用水普及率(C <sub>18</sub> )	%	↑	
	城市污水处理率(C <sub>19</sub> )	%	↑	
	工业固废综合利用率(C <sub>20</sub> )	%	↑	
	水利环保及公共设施投资占比(C <sub>21</sub> )	%	↑	
	万人在校大学生数(C <sub>22</sub> )	人	↑	

注:“↑”代表指标越大优势越大;“↓”代表指标越小优势越大。

## 2 材料与方法

### 2.1 熵值法

熵值是不确定的一种度量。利用熵值携带的信息分别对指标层和准则层进行权重的计算,为 DPSIR 模型综合评价水安全提供依据<sup>[17]</sup>。

具体计算步骤为:

(1) 数据的无量纲化。通过对原始数据进行无量纲化来消除数据的量纲及数量级不一致对结果的影响。

标准化公式为:

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (x_{ij} - \overline{x_{ij}})^2} \quad (1)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \overline{x_{ij}}}{\sigma_i} \quad (2)$$

式中: $\sigma_i$  为第  $i$  项指标的标准差; $\overline{x_{ij}}$  为第  $i$  个指标的平均数; $x'_{ij}$  为在第  $j$  年第  $i$  项标准化后数值。

采用坐标平移来消除标准化后的数值可能出现的正负值,具体方法为:

$$M_{ij} = x'_{ij} + L \quad (3)$$

式中: $M_{ij}$  是坐标平移后的值; $L$  是坐标平移值, $L$  取整数且取值范围为 $[0, 5]$ 。

(2) 指标比重  $R_{ij}$  根据公式(4)计算:

$$R_{ij} = \frac{M_{ij}}{\sum_{j=1}^m M_{ij}} \quad (4)$$

(3) 第  $i$  项指标的熵值  $e_i$  计算公式为:

$$e_i = -\frac{1}{\ln m} \sum_{j=1}^m R_{ij} \cdot \ln R_{ij} \quad (5)$$

(4) 第  $i$  项指标的差异性系数  $g_i$ :

$$g_i = 1 - e_i \quad (6)$$

(5) 第  $i$  项指标的权重  $\omega_{2i}$ :

$$\omega_{2i} = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad (7)$$

(6) 准则层的权重  $\omega_{2k}$  计算公式为:

$$\omega_{2k} = \frac{G_k}{\sum_{K=1}^N G_k} \quad (8)$$

式中: $G_k$  为各准则层指标的变异系数之和。

### 2.2 单指标量化—多指标综合—多准则综合

2.2.1 单指标量化 采用分段线性隶属度量化各指标的子安全度,大小为  $0 \sim 1$ 。采用 a, b, c, d, e 来分别表示各个指标的最差值、较差值、及格值、较优值和最优值<sup>[18]</sup>。水安全评价特征值标准划分主要遵循了以下原则:部分指标参考标准通过结合国际共识与中国国情,参考多年全国平均水平及国家和省级发展规划划定以及部分学者的研究成果<sup>[8,11,19]</sup>,结果详见表 2。正向指标的子安全度随指标值的增大而增大,反向指标则相反。相关计算公式为:

$$ISD_k = \begin{cases} 0 & (x_k \leq a_k) \\ 0.3 \left( \frac{x_k - a_k}{b_k - a_k} \right) & (a_k \leq x_k \leq b_k) \\ 0.3 + 0.3 \left( \frac{x_k - b_k}{c_k - b_k} \right) & (b_k \leq x_k \leq c_k) \\ 0.6 + 0.2 \left( \frac{x_k - c_k}{d_k - c_k} \right) & (c_k \leq x_k \leq d_k) \\ 0.8 + 0.2 \left( \frac{x_k - d_k}{e_k - d_k} \right) & (d_k \leq x_k \leq e_k) \\ 1 & (e_k \leq x_k) \end{cases} \quad (9)$$

$$ISD_k = \begin{cases} 1 & (x_k \leq a_k) \\ 0.8 + 0.2 \left( \frac{x_k - d_k}{e_k - d_k} \right) & (e_k \leq x_k \leq d_k) \\ 0.6 + 0.2 \left( \frac{x_k - c_k}{d_k - c_k} \right) & (d_k \leq x_k \leq c_k) \\ 0.3 + 0.3 \left( \frac{x_k - b_k}{c_k - b_k} \right) & (c_k \leq x_k \leq b_k) \\ 0.3 \left( \frac{x_k - a_k}{b_k - a_k} \right) & (b_k \leq x_k \leq a_k) \\ 0 & (a_k \leq x_k) \end{cases} \quad (10)$$

式中: $x_k, ISD_k$  分别为第  $k$  个指标的指标值和子安全度。

表 2 甘肃省水安全评价指标标准

指标层 C	单位	理想安全	较安全	临界安全	不安全	危险
GDP 增长率(C <sub>1</sub> )	%	10	7	6	5	4
人口自然增长率(C <sub>2</sub> )	%	1	3	4	6	8
单位面积水资源量(C <sub>3</sub> )	10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	300	232.5	165	97.5	60
万元工业产值用水量(C <sub>4</sub> )	m <sup>3</sup> /万元	30	40	50	80	100
农业用水率(C <sub>5</sub> )	%	40	50	55	60	75
生态补水率(C <sub>6</sub> )	%	1	2	3	4	5
人均生活用水量(C <sub>7</sub> )	L/(人·d)	90	160	240	320	400
万元产值废物水排放量(C <sub>8</sub> )	m <sup>3</sup> /万元	10	15	20	30	40
人均水资源量(C <sub>9</sub> )	m <sup>3</sup> /人	3 000	2 500	2 000	1 200	750
水资源利用率(C <sub>10</sub> )	%	10	20	30	40	50
水质监测断面达标率(C <sub>11</sub> )	%	100	85	75	65	50
人均 GDP(C <sub>12</sub> )	万元	10	8	6	4	3
恩格尔系数(C <sub>13</sub> )	%	20	30	40	50	60
森林植被覆盖率(C <sub>14</sub> )	%	60	55	40	40	30
城市化率(C <sub>15</sub> )	%	50	58	65	75	80
建成区绿化覆盖率(C <sub>16</sub> )	%	50	42	40	38	36
第三产业增加值比重(C <sub>17</sub> )	%	60	55	50	40	30
用水普及率(C <sub>18</sub> )	%	100	98	95	90	80
城市污水处理率(C <sub>19</sub> )	%	100	90	85	70	60
工业固废综合利用率(C <sub>20</sub> )	%	100	90	85	70	60
水利环保及公共设施投资比例(C <sub>21</sub> )	%	8	5	3	2	1
万人在校大学生数(C <sub>22</sub> )	人	600	350	250	150	100

2.2.2 多指标综合 利用熵值法确定指标权重大小, 7 个分类子系统的安全度计算为:

$$WD = \sum_{k=1}^{n_1} \omega_k ISD_K \quad (11)$$

$$WP = \sum_{k=1}^{n_2} \omega_k ISD_K \quad (12)$$

$$WS = \sum_{k=1}^{n_3} \omega_k ISD_k \quad (13)$$

$$WI = \sum_{k=1}^{n_4} \omega_k ISD_K \quad (14)$$

$$WR = \sum_{k=1}^{n_5} \omega_k ISD_K \quad (15)$$

式中:WD,WP,WS,WI,WR 分别为各准则层的安全度;  $\omega_k$  为第  $k$  个指标权重;  $n_1, n_2, n_3, n_4, n_5$  分别为各个的分类数量。

2.2.3 多准则综合 在此基础上,水安全度利用下式计算:

$$WSD = \beta_1 WD + \beta_2 WP + \beta_3 WS + \beta_4 WI + \beta_5 WR \quad (16)$$

式中:WSD 为区域水安全度;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  分别为各准则层的权重。

基于评价得到的水安全结果,等间距将区域水安全程度分为 6 个水平<sup>[20]</sup>,结果详见表 3。

## 3 结果与分析

### 3.1 指标权重

通过熵权法对甘肃省 2000,2005,2010,2015 和

2018 年 22 项指标进行处理,得到各指标权重及准则层权重结果详见表 4。在 22 项指标层中,驱动力 3 个指标中人口自然增长率权重占比 0.587 0,表明各年中人口对甘肃省水安全的驱动力影响较大;压力 5 个指标中农业用水率权重占比 0.228 0,表明农业用水率是导致水安全压力增大的重要影响因素;状态的 6 个指标中水质监测断面达标率的权重占比达到 0.280 5,表明水质是影响甘肃省水安全状态的重要因素;影响 4 个指标中城市化率和第三产业增加值比重的权重较大,说明驱动力和压力的变化对状态产生了强大的影响,而这种影响直接表现在城市化率和第三产业增加值比重上;响应 4 个指标中权重占比相差不大。准则层中响应权重值最低,仅为 0.09,一定程度上说明甘肃省整体水安全欠佳。状态准则层的权重最大,达到了 0.4,说明驱动力和压力的变化产生了很大的状态。上述结果表明水资源量对水安全优劣的决定性作用具有一定的上限,状态准则层的指标对甘肃省水安全评价有着重要意义,甘肃省水安全通过提高用水效率、绿化面积和控制人口数量来促进水安全的提升。同时,响应指标层的权重较低,则反映出在研究时段内,尽管甘肃省对于水安全的重视程度不断增强,但是效果还是不够理想。

表 3 区域水安全度(WSD)值水平划分标准

水安全水平	WSD 的取值范围
安全	0.83~1
较安全	0.67~0.83
基本安全	0.5~0.67
较不安全	0.33~0.5
不安全	0.17~0.33
严重不安全	0~0.17

表 4 甘肃省各指标权重及准则层权重结果

目标层	准则层	指标层	权重	准则层权重
水安全(A)	驱动力(B <sub>1</sub> )	GDP 增长率(C <sub>1</sub> )	0.203 1	0.22
		人口自然增长率(C <sub>2</sub> )	0.587 0	
		单位面积水资源量(C <sub>3</sub> )	0.209 8	
		万元工业产值用水量(C <sub>4</sub> )	0.193 6	
	压力(B <sub>2</sub> )	农业用水率(C <sub>5</sub> )	0.228 0	0.10
		生态补水率(C <sub>6</sub> )	0.182 5	
		人均生活用水量(C <sub>7</sub> )	0.204 7	
		万元产值废物水排放量(C <sub>8</sub> )	0.191 3	
	状态(B <sub>3</sub> )	人均水资源量(C <sub>9</sub> )	0.111 5	0.40
		水资源利用率(C <sub>10</sub> )	0.101 1	
		水质监测断面达标率(C <sub>11</sub> )	0.280 5	
		人均 GDP(C <sub>12</sub> )	0.163 8	
	影响(B <sub>4</sub> )	恩格尔系数(C <sub>13</sub> )	0.227 1	0.19
		森林植被覆盖率(C <sub>14</sub> )	0.116 0	
城市化率(C <sub>15</sub> )		0.270 6		
建成区绿化覆盖率(C <sub>16</sub> )		0.221 5		
响应(B <sub>5</sub> )	第三产业增加值比重(C <sub>17</sub> )	0.299 6	0.09	
	用水普及率(C <sub>18</sub> )	0.208 3		
	城市污水处理率(C <sub>19</sub> )	0.251 5		
	工业固废综合利用率(C <sub>20</sub> )	0.267 0		
		水利环保及公共设施投资占比(C <sub>21</sub> )	0.219 4	
		万人在校大学生数(C <sub>22</sub> )	0.261 8	

3.2 水安全总体评价结果

依据 DPSIR 模型对甘肃省 2000, 2005, 2010, 2015 和 2018 年 22 个指标进行收集整理, 通过标准化处理, 利用熵值法计算水安全各项指标的权重和单指标量化—多指标综合—多准则综合的方法计算甘肃省水安全。根据表 3 对甘肃省水安全得分情况进行划分, 结果详见表 5。由表 5 可以看出, 甘肃省水安全得分总体上呈现上升趋势, 2000—2010 年水安全得分围绕 0.26~0.29 波动, 全时段处于不安全状态; 2015 年水安全得分为 0.35, 水安全状态由不安全上升至较不安全; 2018 年水安全得分为 0.45, 虽有所上升, 但水安全测度值状态依然为较不安全。由甘肃省水安全测度值雷达图(图 2)可知, 甘肃省水安全测度值得分在 2018 年得到很大的提升, 接近基本安全状态。可见, 对于水资源的保护、环境治理、提高水资源利用效率等整治措施对于水安全状态的提升有一定

的积极作用, 但同时由于经济的快速发展、人口的过度增长、城镇化的推进等社会用水因素对水安全状态的仍然会带来一定的负面影响, 总的来说甘肃省水安全状态具有很大的提升空间。

表 5 甘肃省水安全度值总体评价结果

项目	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2018 年
水安全得分	0.29	0.27	0.26	0.35	0.45
水安全等级	不安全	不安全	不安全	较不安全	较不安全

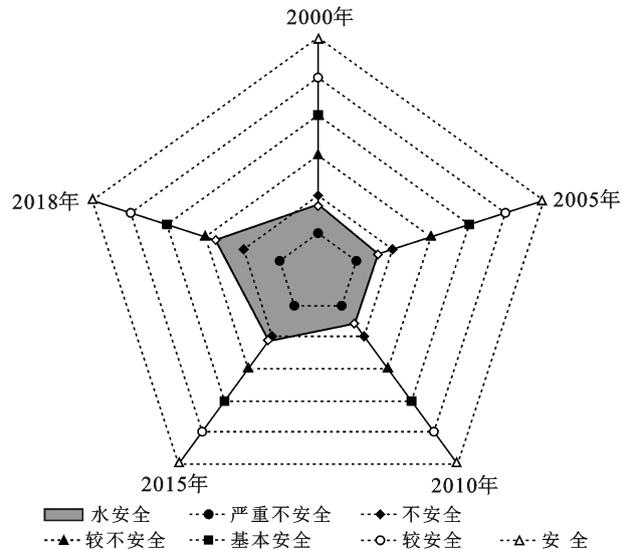


图 2 甘肃省水安全测度值总体评价结果

3.3 水安全 DPSIR 指数评价分析

依据上述甘肃省水安全评价结果, 针对 5 个准则层分别进行动态趋势分析, 结果详见表 6。可以依据分析结果找出影响甘肃水安全状况的主要因素, 从而找出问题及风险的症结所在, 为后续制定对策提供依据。

表 6 甘肃省水安全 DPSIR 评价结果

年份	驱动力(B <sub>1</sub> )	压力(B <sub>2</sub> )	状态(B <sub>3</sub> )	影响(B <sub>4</sub> )	响应(B <sub>5</sub> )
2000	0.37	0.36	0.20	0.39	0.18
2005	0.38	0.29	0.22	0.31	0.10
2010	0.38	0.17	0.18	0.35	0.30
2015	0.34	0.31	0.30	0.44	0.49
2018	0.45	0.26	0.49	0.45	0.55

甘肃省水安全准则层评价结果表明, 驱动力子系统在 2000, 2005, 2010, 2015 和 2018 年都处于较不安全状态。在 2015 年达到最差, 2018 年上升为 0.45。GDP 增长率、人口自然增长率和单位面积水资源量是影响驱动力子系统的主要因素。根据统计的原始数据发现 GDP 增长率虽有所下降, 但人口自然增长率处于变好趋势, 同时单位面积水资源量在增大。总的来说, 驱动力状态虽然在变好, 但依然处于较不安

全状态,需要引起重视。从图 3 可以看出,压力子系统在 2010 年处于最低值,为严重不安全,2010 年之后虽有转好趋势,但依然处于不安全状态。通过原始资料发现农业用水率和人均生活用水量高居不下是影响压力子系统处于不安全的重要因素,同时 2010 年较高的生态用水率(由 2000 年的 0.165% 上升至 2010 年的 11.2%)也是导致压力子系统变差的主要因素之一。由驱动力子系统和压力子系统导致的状态子系统自 2000—2018 年总体上缓慢上升,但 2010 年状态较差,主要原因在于 2010 年较高的水资源利用率(达到 56.6%)和恩格尔系数(达到 37.1%)。2018 年状态子系统得分为 0.49,但依然处在较不安全的边缘,变好的主要原因是由于人均 GDP、恩格尔系数、水质以及森林植被覆盖率在逐渐变好。影响子系统指上述 3 个子系统作用下所产生的结果,即自然资源、生态环境与社会经济发展对人们生产、生活所造成的影响。影响子系统虽有上升但一直处于较不安全的状态,主要取决于经济发展使得人们对于绿化和环境的重视程度越来越高,以及用水普及率的增高,使得影响子系统偏好。响应子系统总体在变好,由 2000 年的严重不安全到 2018 年为基本安全,取决于甘肃在水利环保方面的投资力度加大,使得响应子系统在 5 个准则层中处于较好状态。综上,甘肃省水安全 5 个准则层总体上呈上升趋势,但后劲不足,除了影响子系统外都处于较不安全的状态,尤其是驱动力和压力子系统。如果不重视驱动力和和压力子系统对水安全所带来的影响,后续不仅会导致响应子系统变差,更会导致甘肃省水安全总体健康值降低。

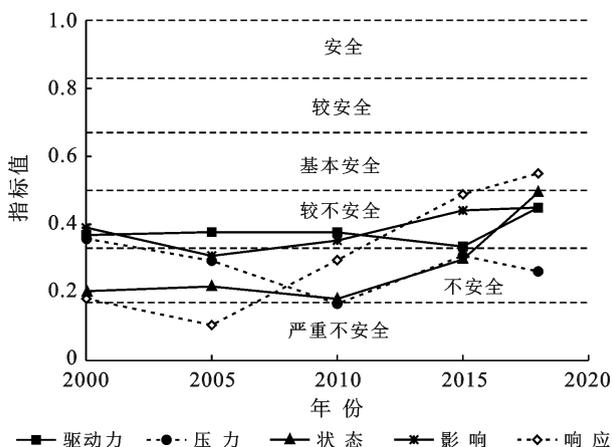


图 3 甘肃省 2000—2018 年水安全准则层评价结果

## 4 结论与建议

本研究基于 DPSIR 模型,综合考虑了人口、社会经济、自然资源和生态环境,建立以驱动力、压力、状

态、影响、响应 5 个准则层和 22 个指标为基础的甘肃省水安全测度值健康评价系统。通过运用熵值法计算各个指标权重,结合单指标量化—多指标综合—多准则综合的方法分析甘肃省水安全健康值的动态变化。结果表明甘肃省水安全健康值由 2000 年的不安全上升至 2018 年的较不安全,总体上虽呈上升趋势,但幅度依然较小,处于基本安全线以下,情况不容乐观。导致水安全健康值整体水平较低的主要原因是驱动力较弱,导致压力较大,从而响应水平有限;状态和影响虽然也处于较不安全,但逐年稳步上升,是推动甘肃省水安全健康值向更高水平发展的重要动力。

为改善甘肃省水安全状况,可以从水资源、水环境和社会经济方面 3 个方面入手。水资源方面通过修建相关工程措施来改善和调节水资源时空分布不均状况,在提高防洪和水资源利用能力的同时提高各业供水保障能力,同时加强社会各行业节水宣传,形成节水优先的良好社会风尚和理念,建立精心用水和管水的激励机制。水环境方面应提高绿化建设水平,提高污水处理率和污水回收利用率,降低水治理的各种成本。社会经济方面应该合理控制主城区人口,有序引导人口向节点城市汇聚,调整产业结构,提高产业用水效率,增加对水利环保事业的投资力度,建立健全取水和用水规章制度,从而提升甘肃省水安全水平。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 东剑.全球呈现治水护水新景象[J].决策与信息,2011(5):5-6.
- [2] 史正涛,黄英,刘新有.水安全及城市水安全研究进展与趋势[J].中国安全科学学报,2008,18(4):20-27.
- [3] 张翔,夏军,贾绍凤.水安全定义及其评价指数的应用[J].资源科学,2005,27(3):145-149.
- [4] 夏军,石卫.变化环境下中国水安全问题研究与展望[J].水利学报,2016,47(3):292-301.
- [5] 陈晓雨婧.甘肃省资源环境承载力评估预警研究[D].北京:中央民族大学,2019.
- [6] 夏军,朱一中.水资源安全的度量:水资源承载力的研究与挑战[J].自然资源学报,2002,17(3):262-269.
- [7] 李兆龙.基于水贫困指数的水资源安全评价研究[D].黑龙江 哈尔滨:黑龙江大学,2020.
- [8] 李奕霖.广东省水安全评价及保障模式研究[D].陕西 西安:西安理工大学,2019.
- [9] 江红,杨小柳.基于熵权的亚太地区水安全评价[J].地理科学进展,2015,34(3):373-380.
- [10] 曹源圆.基于 DPSIR 模型的西北地区水生态安全评价研究[J].水资源开发与管理,2021(1):17-23.

年 12 月),荒漠和沉陷区面积治理面积达 331 km<sup>2</sup>,植被覆盖率从开发建设初期的 3%~11% 提高到 60% 以上,不仅在荒漠化地区建成一片绿洲,而且取得了显著的生态效益、经济效益和社会效益。目前,神东上湾、哈拉沟等 6 座煤矿被命名为国家级“绿色矿山”;保德煤矿成为国家级“绿色矿山试点单位”;大柳塔煤矿被评为陕西省水土保持科技示范园,2017 年,被水利部命名为国家水土保持科技示范园。⑤各地重视水土保持工作,出台相关法律法规。如 1990 年山西省人民政府颁布实施了《山西省开发建设河保偏地区水土保持实施办法(试行)》,1988 年国务院发布了《开发建设晋陕蒙接壤地区水土保持规定》,有效减少了该区人为水土流失,保护了生态环境。为深入贯彻落实新水土保持法,山西省积极制定相关配套法规制度,先后颁发了《山西省实施〈中华人民共和国水土保持法〉办法(修正)》《山西省水土保持补偿费征收使用管理实施办法》等<sup>[7]</sup>,完善了当地水土保持法配套法规制度。加之各种水土保持相关法律法规出台后的大力宣传,水土保持科学知识的普及,以及水土保持示范项目的迅速增加,都切实增强了全社会的水土保持意识,为水土保持事业的稳固发展,创造了良好的社会氛围。

## 4 结论

1999—2020 年晋陕蒙接壤地区水土流失面积总体呈减少趋势,减幅达 47.98%,超过了该区域总土地面积的 1/3 多;1999—2020 年该区域水土流失强度明显减弱,土壤侵蚀等级很大程度上进行了转变,由高强度侵蚀等级为主转变为以非高强度侵蚀等级为

主。对比该区 1999 年和 2020 年的水土流失强度等级,等级之间变化以下降为主,近 3/4 的面积等级降低。对于以煤炭资源富集,能源资源开发建设项目为主的水土流失严重区,20 a 来能取得如此成效,与国家及地方政府制定的水土保持方针与政策、相关监管部门工作落实到位息息相关的。

尽管该区域水土流失状况在近 20 a 里得到改善,但结合该区域自然环境条件及目前生产建设规模及经济发展需求,认为该区域仍为水土流失严重区,对其生态环境的保护及恢复需要通过较大的投入和有效的水土保持措施才能实现。该区域水土流失防治和生态建设高质量发展刻不容缓,要根据该区域水土流失特点,探索建立具有区域特色的生态环境补偿机制,解决生态保护的深层次机制问题,解决接壤区生态保护问题。

### [参 考 文 献]

- [1] 文子祥.晋陕蒙接壤区土地退化及其治理预测[J].自然资源,1995(5):52-57.
  - [2] 查轩,黄少燕,唐克丽.晋陕蒙接壤区土地荒漠化问题及其防治对策[J].水土保持通报,1998(S1):28-32.
  - [3] 王丽云,王小燕,王义,等.神东矿区 2005—2018 年水土流失动态变化研究[J].中国水土保持,2021(1):60-62.
  - [4] 颜长珍,吴炳方.晋陕蒙接壤区林草覆盖变化的遥感分析[J].地理科学,2004,24(4):465-471.
  - [5] 张永江,刘琼海,田博,等.晋陕蒙接壤地区生产建设项目水土保持成效[J].中国水土保持,2021(5):5-7.
  - [6] 吴冠宇,晋陕蒙接壤地区煤矿矿区水土流失防治探索[J].陕西水利,2010(6):95-96.
  - [7] 冯也,常温花.晋陕蒙接壤地区(山西片)水土保持法律法规贯彻情况与存在问题[J].中国水土保持,2017(9):9-11.
- (上接第 132 页)
- [11] 张修宇,秦天,孙菡芳,等.基于层次分析法的郑州市水安全综合评价[J].人民黄河,2020,42(6):42-45.
  - [12] 张华侨,窦明,赵辉,等.郑州市水安全模糊综合评价[J].水资源保护,2010,26(6):42-46.
  - [13] 韩宇平,阮本清,解建仓.多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用[J].资源科学,2003,25(4):37-42.
  - [14] Bosch P, Gabrielson P. Environmental indicators: Typology and use in reporting [J]. European Environment Agency, Copenhagen, 2003.1-20.
  - [15] 韩宇平,阮本清.区域水安全评价指标体系初步研究[J].环境科学学报,2003,23(2):267-272.
  - [16] Hou Y, Zhou S, Burkhard B, et al. Socioeconomic influences on biodiversity, ecosystem services and human well-being: A quantitative application of the DPSIR model in Jiangsu, China [J]. Science of the Total Environment, 2014,490:1012-1028.
  - [17] 赵丽,朱永明,付梅臣,等.主成分分析法和熵值法在农村居民点集约利用评价中的比较[J].农业工程学报,2012,28(7):235-242.
  - [18] 张志强,左其亭,马军霞.基于人水和谐理念的“三条红线”评价及应用[J].水电能源科学,2015,33(1):136-140.
  - [19] 张修宇,秦天,杨淇翔,等.黄河下游引黄灌区水安全评价方法及应用[J].灌溉排水学报,2020,39(10):18-24.
  - [20] 王浩.我国水安全战略和相关重大政策研究[M].北京:科学出版社,2019.