

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2016.06.017

# 基于压力-状态-响应模型和“五水共治” 决策的浙江省水环境安全评价

何月峰, 沈海萍, 冯晓飞, 陈佳, 卢瑛莹

(浙江省环境保护科学设计研究院, 浙江 杭州 310007)

**摘要:** 基于压力-状态-响应 (pressure-state-reponse, PSR) 模型和“五水共治”决策构建评价指标体系, 应用 AHP 方法, 对浙江省的水环境安全进行测度与评价。结果显示: 浙江省水环境安全的 PSR 评价指数体系中, 治污水指数的权重最大, 主要污染物排放负荷、规模以上高耗水型行业生产总产值比重、工业废水达标排放率等指标的权重相对较高, 反映了典型的工业经济活动对水资源环境安全的威胁; PSR 评价模型的压力、状态、响应指数变化中, 以响应指数增幅最大, 而压力、状态指数则显示平稳波动特征, 反映了基于工业经济发展背景下相关政府职能部门积极采取应对措施所产生的良好效果。认为在经济快速发展压力下, 降低主要污染物排放量、减小规模以上高耗水型行业生产总产值比重、提高工业废水排放达标率、增加环保资金投入等, 是提高水环境安全的关键点; 建议浙江省以“五水共治”为契机, 加快产业结构调整升级, 降低用水消耗, 加大科技与环保投入, 改善水环境质量, 保证供水能力, 实现水环境系统的良性发展。

**关键词:** PSR 模型; 水环境安全; 五水共治; AHP; 浙江省

中图分类号: X820.3 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2016)06-0104-06

## Assessment of water environmental security in Zhejiang Province based on PSR model and policy of co-governance of five water categories

HE Yuefeng, SHEN Haiping, FENG Xiaofei, CHEN Jia, LU Yingying

(Environmental Science Research and Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China)

**Abstract:** Based on the pressure-state-response (PSR) model and the policy of co-governance of five water categories, we constructed an evaluation index system and used the analytic hierarchy process (AHP) method to examine and assess the water environmental security in Zhejiang Province. In the PSR evaluation index system, the water pollution control index has the largest weight, and the indices of discharge loads of the major pollutants, the proportion of GDP of high water-consuming industries, and the rate of industrial wastewater discharge standards have relatively large weights, indicating that the typical industrial economic activities are the threats to the water environmental security. The response index increases to the largest extent, and the pressure and state indices show stable fluctuations. These are favorable results from positive measures taken by the related government departments with the development of the industrial economy. With the rapid development of the economy, reducing the discharge loads of the major pollutants, reducing the proportion of GDP of high water-consuming industries, improving the rate of industrial wastewater discharge standards, and increasing investment in environmental protection are key factors in the improvement of water environmental security. It is suggested that, with the co-governance of five water categories, we should speed up the adjustment and upgrade of industrial structure, reduce industrial water consumption, increase investment in environmental protection, improve the water environment, and ensure water supply capability, in order to promote the healthy development of the water environment system for Zhejiang Province.

**Key words:** PSR model; water environmental security; co-governance of five water categories; AHP; Zhejiang Province

基金项目: 浙江省科技计划项目(2015F30024)

作者简介: 何月峰(1989—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事环境政策研究。E-mail: huangongsb@163.com

水环境恶化、水资源短缺和洪涝灾害形成的水危机,是制约我国可持续发展的重要因素,成为影响经济社会发展的基础性、全局性和战略性的重大问题<sup>[1-3]</sup>。随着社会经济持续快速发展,浙江省区域水环境安全问题日益突出。首先,浙江省主要水系的部分断面水环境问题严重,地表水环境监测断面达标情况普遍不理想,水环境质量得到全面根本性改善仍有相当难度;其次,浙江省水环境与经济发展的矛盾非常突出,长期形成的高消耗、高排放增长模式,以及大量人口和经济活动密集分布于沿江沿海狭长地带的客观限制,造成浙江省区域性、结构性污染问题突出。2011年以来,新安江苯酚泄漏、苕溪水质异常、杭州自来水异味等水安全事件频发,在不同程度上给城市居民饮水安全造成了影响。2013年10月上旬,“菲特”强台风正面袭击浙江,引发余姚等地严重的洪涝灾害。同时,浙江省人均水资源量仅1760 m<sup>3</sup>,低于全国平均水平,只有世界人均的1/4,已逼近世界缺水警戒线<sup>[4]</sup>。针对水环境恶化、水资源短缺、水灾害加剧及供水安全频频受到威胁等一系列区域水安全问题,浙江省委、省政府深刻认识到必须治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水,“五水共治”,才能从根本上解决水的问题。

浙江省“五水共治”的决策,将保障水环境安全上升到水质、水量、水灾害全方位的考量,对浙江省区域水环境安全状况进行评估,对恢复良好水环境、保障“五水共治”决策目标实现具有重要的现实意义。压力-状态-响应(pressure-state-reponse, PSR)模

型是联合国环境规划署和经济合作与发展组织等部门发明的一项反映可持续发展机理的概念框架。本研究基于PSR模型和“五水共治”决策背景,开展浙江省水环境安全评价,分析浙江省水环境安全动态演变趋势,以期对浙江省“五水共治”工作提供科学依据。

## 1 评价体系与分析方法

### 1.1 PSR模型指标体系的构建

PSR模型涉及压力、状态与响应3个因素,其中,压力是指造成发展不可持续的人类活动、消费模式或经济系统中的一些因素;状态反映资源环境中各系统的状态,它既反映经济的状态,又反映资源环境的状态;响应表明人类在促进资源环境保护进程中所采取的有效对策<sup>[5]</sup>。PSR模型指标体系包括压力、状态和响应3个准则的目标体系,其中,压力准则反映人类社会活动对水环境造成的负荷,状态准则反映水环境的当前状态,响应准则反映人类针对水环境问题所采取的措施<sup>[6-7]</sup>。每个准则下面包括治污水,防洪水、排涝水,保供水和抓节水4个指数。每个指数下面根据科学性、完整性、系统性、独立性、代表性和可操作性的原则选取若干个评价指标。本研究选取39项评价指标,涵盖自然资源、生态环境和社会经济的各个方面,构建浙江省水环境安全评价的PSR模型(表1)。评价指标的数据来源为2005—2014年浙江省统计年鉴、浙江省水资源公报、浙江省环境质量报告书、浙江省环境统计年鉴。

表1 浙江省水环境安全PSR模型指标体系及年份值

目标层	准则层	指数层	指标层	指标效力	年份值									
					2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
水环境安全综合评价	治污水		人口密度/(人·km <sup>-2</sup> )	正	481	455	458	460	463	466	470	471	474	440
			单位GDP废水排放量/(万t·亿元 <sup>-1</sup> )	逆	23.43	21.13	18.03	16.33	15.88	14.24	13.01	12.14	11.16	10.42
			人均废水排放量/(t·a <sup>-1</sup> )	逆	63.96	71.40	72.52	74.83	77.44	83.22	87.82	87.80	86.85	93.28
			主要污染物排放负荷/(万t·亿t <sup>-1</sup> )	逆	0.18	0.20	0.20	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24
			城市化水平/%	正	55.0	56.5	57.2	57.6	57.9	61.6	62.3	63.2	64.0	64.9
			年平均降水量/mm	正	1463.00	1339.10	1374.30	1353.50	1419.40	1835.20	1302.50	1959.50	1442.80	1767.20
			森林覆盖率/%	正	60.50	60.65	60.49	60.49	60.58	60.58	60.58	60.58	60.82	60.82
			城市绿化覆盖率/%	正	32.10	34.00	35.10	36.50	37.18	37.80	38.10	39.46	39.88	40.53
			水网密度指数/%	正	53.00	59.78	60.23	59.48	61.52	76.66	56.14	78.23	66.00	69.00
	防洪水、排涝水		全年供水总量/亿m <sup>3</sup>	正	209.91	208.26	210.98	216.62	217.07	220.08	222.24	222.31	224.75	220.24
			城市供水综合生产能力/(万m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	正	1256.78	1477.10	1624.22	1636.83	1678.65	1803.74	1853.61	1680.90	1932.10	1678.50
			农村人均生活年用水量/m <sup>3</sup>	正	34.60	37.40	37.00	37.00	38.50	40.20	40.50	42.90	42.40	43.00
	保供水		单位GDP用水量/(万m <sup>3</sup> ·亿元 <sup>-1</sup> )	逆	156.44	132.49	112.50	100.93	94.42	79.39	68.76	64.13	59.82	54.79
			规模以上高耗水型行业生产增加值比重/%	逆	33.25	33.16	33.05	33.30	33.66	33.44	34.87	34.95	34.95	35.22
			农田灌溉用水负荷/%	逆	44.90	43.10	41.40	39.00	38.30	36.60	34.80	34.10	33.70	33.20

续表 1

目标 层	准则 层	指数层	指标层	指标 效力	年 份 值									
					2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
水 环 境 安 全 综 合 评 价 响 应	状 态	治 污 水	水功能区水质 达标率/%	正	34.40	35.60	39.60	36.90	38.60	39.00	36.80	38.60	39.50	47.00
			地表水 I-III 类水质 断面比例/%	正	64.90	42.00	46.90	48.80	54.10	58.00	62.90	64.30	63.80	63.80
			劣 V 类水比例/%	逆	14.10	27.10	25.10	23.20	19.80	17.90	18.60	17.20	15.40	10.40
			环境信访频次/件	逆	63057	69455	74798	70800	58300	53586	53587	47415	59559	89781
	防 洪 水、 排 涝 水	洪涝台旱灾害受灾 人口数/万人	逆	2166	648.56	718	715.6	967.3	644.14	536	933	874.25	471.22	
		洪涝台旱灾害直接 经济损失/亿元	逆	422.30	146.10	75.00	72.90	104.50	65.80	149.20	283.80	691.37	55.35	
	保 供 水	城市用水普及率/%	正	99.10	99.40	99.58	99.70	99.81	99.79	99.84	99.88	99.83	99.90	
		农村自来水普及率/%	正	83.70	86.30	89.60	93.90	95.35	95.80	96.00	97.00	97.50	98.00	
			饮用水水源水质 达标率/%	正	67.00	78.00	79.10	82.40	81.10	88.20	86.40	86.70	86.10	87.80
	抓 节 水	人均水资源 量/m <sup>3</sup>	正	2204.10	1951.84	1914.76	1824.35	1974.80	1765.65	1556.50	3010.39	1928.57	2524.31	
		水资源开发 利用程度/%	逆	21.00	23.05	23.65	25.33	23.31	15.75	29.86	15.39	24.14	19.48	
	城 市 污 水 处 理 率		城市污水处理率/%	正	59.46	61.63	70.08	75.10	78.88	82.74	85.09	87.50	88.30	89.80
			工业废水达标 排放率/%	正	96.65	86.38	86.09	90.83	95.28	96.21	92.80	89.80	91.90	93.60
			农村污水处理率/%	正	4.00	15.90	35.39	39.60	40.00	45.00	55.00	60.00	65.00	37.00
			环境污染治理投资总 额占 GDP 百分比/%	正	1.22	1.01	1.06	2.53	0.96	1.28	0.74	0.94	1.03	1.37
	防 洪 水、 排 涝 水		水库年底总蓄水量/ 亿 m <sup>3</sup>	正	180.13	190.88	194.77	221.22	230.79	259.55	229.59	264.54	224.73	239.74
			排水管道长度/km	正	18607	21217	22064	23522	24456	26367	28103	29786	33502	36253
			除涝面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	正	489	492	495	496	497	529	500	501	507	496
		保 供 水	供水管道长度/km	正	32815	33902	39969	43351	45830	49543	52825	56819	61161	62661
			供水工程投资 额度/亿元	正	32.18	28.69	31.39	30.24	34.09	31.99	34.27	38.26	40.36	92.00
抓 节 水		工业重复用水率/%	正	37.95	48.36	63.00	62.20	60.60	57.40	63.30	66.70	65.40	67.50	
		污水再生水利用率/%	正	0.35	3.16	0.58	3.14	3.09	4.14	3.53	3.36	5.25	5.54	
		节水灌溉面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	正	1411	1422	1432	1436	1446	1451	1457	1471	1409	1460	
	节水措施投资额度/亿元	正	79.02	99.97	124.28	134.20	162.43	156.90	204.63	294.90	386.04	528.88		

## 1.2 基于 AHP 的指标权重确定

本文采用层次分析法(AHP)来确定水环境安全评价指标的权重系数。AHP 方法是指标权重确定的一种有效方法<sup>[8]</sup>,它将相互关联的要素按隶属关系划分为若干层次,建立层次清晰的指标体系结构,建立准则层-指数层、指数层-指标层的判断矩阵。然后,请多位专家分层对指标和指数分别进行独立打分,后取平均分,再利用 yaahp 层次分析法软件得到各层次各要素的相对重要性权重,并计算判断矩阵的随机一致性比例,要求一致性比例 CR 小于 0.1,最后求得各指标的综合权重。PSR 模型各指标权重见表 2。

## 1.3 指标数据标准化

对浙江省水环境安全的研究主要基于时间序列的分析,因此,采用线性插值法对指标数据进行标准化处理<sup>[9]</sup>。PSR 模型各指标无量纲标准化数值见表 3。

表 2 PSR 模型中各指标的权重系数

准则层及其权重	指数层及其权重	指标层	指标层权重
治 污 水 0.5608		人口密度	0.0417
		单位 GDP 废水排放量	0.2916
		人均废水排放量	0.2084
		主要污染物排放负荷	0.3750
		城市化水平	0.0833
防 洪 水、 排 涝 水 0.0474	压 力 0.3331	年平均降水量	0.2131
		森林覆盖率	0.2664
		城市绿化覆盖率	0.1707
		水网密度指数	0.3498
保 供 水 0.1079		全年供水总量	0.4835
		城市供水综合生产能力	0.3362
		农村人均生活年用水量	0.1803
抓 节 水 0.2839		单位 GDP 用水量	0.1097
		规模以上高耗水型行业 生产总值比重	0.5384
		农田灌溉用水负荷	0.3519

续表 2

准则层及其权重	指数层及其权重	指标层	指标层权重	准则层及其权重	指数层及其权重	指标层	指标层权重
状态 0.1666	治污水 0.5608	水功能区水质达标率	0.3182	响应 0.5003	治污水 0.5608	城市污水处理率	0.2917
		地表水 I-III 类水质断面比例	0.4091			工业废水达标排放率	0.2084
		劣 V 类水比例	0.2273			农村污水处理率	0.1250
		环境信访频次	0.0455			环境污染治理投资总额占 GDP 比重	0.3750
		防洪台旱灾害受灾人口数	0.4167			水库年底总蓄水量	0.3470
	防洪水、排涝水 0.0474	防洪台旱灾害直接经济损失	0.5833		防洪水、排涝水 0.0474	排水管道长度	0.4545
		除涝面积	0.1986			供水管道长度	0.4001
	保供水 0.1079	城市用水普及率	0.3126		保供水 0.1079	供水工程投资额度	0.5999
		农村自来水普及率	0.1249			工业重复用水率	0.3913
	抓节水 0.2839	饮用水源地水质达标率	0.5625		抓节水 0.2839	污水再生水利用率	0.2609
		人均水资源量	0.6154			节水灌溉面积	0.1304
		水资源开发利用程度	0.3846			节水措施投资额度	0.2174

表 3 PSR 模型各指标无量纲标准化数值

指标	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年
人口密度	1.0000	0.3659	0.4390	0.4878	0.5610	0.6341	0.7317	0.7561	0.8293	0.0000
单位 GDP 废水排放量	0.0000	0.1768	0.4151	0.5459	0.5805	0.7061	0.8009	0.8673	0.9432	1.0000
人均废水排放量	1.0000	0.7464	0.7082	0.6294	0.5402	0.3429	0.1860	0.1867	0.2191	0.0000
主要污染物排放负荷	1.0000	0.5986	0.7035	0.6949	0.6321	0.4912	0.3915	0.2045	0.1647	0.0000
城市化水平	0.0000	0.1520	0.2229	0.2634	0.2938	0.6687	0.7396	0.8308	0.9119	1.0000
年平均降水量	0.2443	0.0557	0.1093	0.0776	0.1779	0.8108	0.0000	1.0000	0.2135	0.7073
森林覆盖率	0.0303	0.4848	0.0000	0.0000	0.2727	0.2727	0.2727	0.2727	1.0000	1.0000
城市绿化覆盖率	0.0000	0.2254	0.3559	0.5219	0.6026	0.6762	0.7117	0.8731	0.9229	1.0000
水网密度指数	0.0000	0.2687	0.2866	0.2568	0.3377	0.9378	0.1245	1.0000	0.5153	0.6342
全年供水总量	0.1001	0.0000	0.1649	0.5070	0.5343	0.7168	0.8478	0.8520	1.0000	0.7265
城市供水综合生产能力	0.0000	0.3262	0.5441	0.5628	0.6247	0.8099	0.8838	0.6280	1.0000	0.6245
农村人均生活年用水量	0.0000	0.3333	0.2857	0.2857	0.4643	0.6667	0.7024	0.9881	0.9286	1.0000
单位 GDP 用水量	0.0000	0.2356	0.4323	0.5461	0.6102	0.7580	0.8625	0.9081	0.9505	1.0000
规模以上高耗水型行业生产总值比重	0.9063	0.9499	1.0000	0.8855	0.7170	0.8188	0.1604	0.1237	0.1263	0.0000
农田灌溉用水负荷	0.0000	0.1538	0.2991	0.5043	0.5641	0.7094	0.8632	0.9231	0.9573	1.0000
水功能区水质达标率	0.0000	0.0952	0.4127	0.1984	0.3333	0.3651	0.1905	0.3333	0.4048	1.0000
地表水 I-III 类水质断面比例	1.0000	0.0000	0.2140	0.2969	0.5284	0.6987	0.9127	0.9738	0.9520	0.9520
劣 V 类水比例	0.7784	0.0000	0.1198	0.2335	0.4371	0.5509	0.5090	0.5928	0.7006	1.0000
环境信访频次	0.6308	0.4798	0.3537	0.4480	0.7431	0.8543	0.8543	1.0000	0.7134	0.0000
防洪台旱灾害受灾人口数	0.0000	0.8954	0.8544	0.8558	0.7073	0.8980	0.9618	0.7275	0.7622	1.0000
防洪台旱灾害直接经济损失	0.4231	0.8573	0.9691	0.9724	0.9227	0.9836	0.8524	0.6408	0.0000	1.0000
城市用水普及率	0.0000	0.3750	0.6000	0.7500	0.8875	0.8625	0.9250	0.9750	0.9125	1.0000
农村自来水普及率	0.0000	0.1818	0.4126	0.7133	0.8147	0.8462	0.8601	0.9301	0.9650	1.0000
饮用水源地水质达标率	0.0000	0.5189	0.5708	0.7264	0.6651	1.0000	0.9151	0.9292	0.9009	0.9811
人均水资源量	0.4454	0.2719	0.2464	0.1842	0.2877	0.1439	0.0000	1.0000	0.2559	0.6657
水资源开发利用程度	0.6119	0.4708	0.4293	0.3132	0.4529	0.9751	0.0000	1.0000	0.3951	0.7174
城市污水处理率	0.0000	0.0715	0.3500	0.5155	0.6401	0.7673	0.8448	0.9242	0.9506	1.0000
工业废水达标排放率	1.0000	0.0275	0.0000	0.4489	0.8703	0.9583	0.6354	0.3513	0.5502	0.7112
农村污水处理率	0.0000	0.1951	0.5146	0.5836	0.5902	0.6721	0.8361	0.9180	1.0000	0.5410
环境污染治理投资总额占 GDP 比重	0.2680	0.1484	0.1754	1.0000	0.1223	0.3013	0.0000	0.1128	0.1622	0.3481
水库年底总蓄水量	0.0000	0.1274	0.1734	0.4868	0.6002	0.9409	0.5859	1.0000	0.5284	0.7062
排水管道长度	0.0000	0.1479	0.1959	0.2785	0.3315	0.4398	0.5381	0.6335	0.8441	1.0000
除涝面积	0.0000	0.0654	0.1529	0.1733	0.1844	1.0000	0.2623	0.3058	0.4532	0.1690
供水管道长度	0.0000	0.0364	0.2397	0.3530	0.4361	0.5605	0.6704	0.8043	0.9497	1.0000
供水工程投资额度	0.0552	0.0000	0.0427	0.0245	0.0854	0.0521	0.0882	0.1513	0.1844	1.0000
工业重复用水率	0.0000	0.3523	0.8477	0.8206	0.7665	0.6582	0.8579	0.9729	0.9289	1.0000
污水再生水利用率	0.0000	0.5415	0.0447	0.5383	0.5291	0.7312	0.6139	0.5813	0.9447	1.0000
节水灌溉面积	0.0269	0.2098	0.3628	0.4293	0.6000	0.6748	0.7693	1.0000	0.0000	0.8189
节水措施投资额度	0.0000	0.0466	0.1006	0.1227	0.1854	0.1731	0.2792	0.4799	0.6825	1.0000

## 1.4 综合评价指数的确定

水环境安全评价的综合指数计算主要是利用各子指标加权求和而成<sup>[10]</sup>。同时,参考了吴舜泽等编著的《国家环境安全评估报告》,采用综合指数分级方法,将水环境安全综合指数划分为5个等级<sup>[11]</sup>,水环境安全等级标准见表4。

表4 水环境安全等级标准

水环境安全度值	0~0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1
水环境安全等级	I	II	III	IV	V
表征状态	重警状态	中警状态	预警状态	较安全状态	安全状态

## 2 结果与分析

### 2.1 指标权重分析

宏观上,准则层中,压力、状态、响应三者权重的比为0.3331:0.1666:0.5003,这说明,PSR模型中的响应层对水环境安全具有最为重要的作用与影响,其次为水环境的压力,最后为状态。指数层中治污水指数,防洪水、排涝水指数,保供水指数,抓节水指数四者权重的比为0.5608:0.0474:0.1079:0.2839,治污水指数所占比重最大,这也符合浙江省治污水先行的政策,依次分别为治污水指数>抓节水指数>保供水指数>防洪水、排涝水指数。

在压力层中,对应4个指数的指标层中权重系数最大的依次为:主要污染物排放负荷(0.3750)、水网密度指数(0.3498)、全年供水总量(0.4835)和规模以上高耗水行业生产总值比重(0.5384),说明浙江省水环境安全压力层中困扰治污水的主要因素是目前社会上污染物的高负荷排放,而影响抓节水的主要威胁来自于规模以上高耗水型行业所占比重仍然较高。

在状态层中,对应4个指数的指标层中权重系数最大的依次为:地表水I~III类水质断面比例(0.4091)、洪涝台旱灾害直接经济损失(0.5833)、饮用水水源地水质达标率(0.5625)和人均水资源量(0.6154)。表明,提高各地水资源质量在当前浙江省治污水行动中具有重要地位。同时也表明,受地理位置的影响,浙江省人均水资源量较低,抓节水任重道远,保护饮用水水源地是保供水的重要前提。

在响应层中,对应4个指数的指标层中权重系数情况是:环境污染治理投资总额占GDP比重(0.3750)、排水管道长度(0.4545)、供水工程投资额度(0.5999)和工业重复用水率(0.3913)。可见,在环保、水利、市政等领域加大资金投入、调整经济结构,是政府职能部门对治污水、防洪排涝、保供水做出的积极响应,同时提高工业重复用水率是响应

抓节水的重要举措。

### 2.2 压力、状态、响应指数分析

利用AHP确定的权重与标准化数据,计算得到PSR模型中压力-状态-响应的各自指数变化情况,见图1。

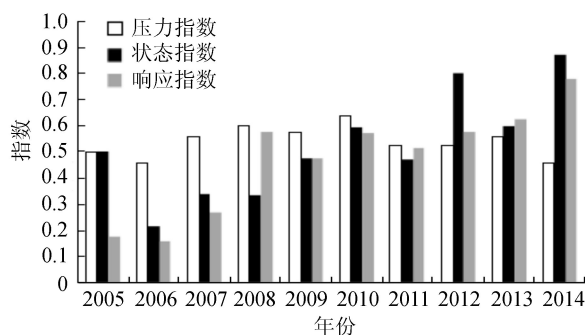


图1 2005—2014年浙江省水环境安全压力-状态-响应指数变化情况

从图1可以看出,压力指数波动较小,2010年之前有微弱的升高趋势,2010年达到了最大值,之后基本上保持在一个稳定的水平。压力指数的变化主要受污染物排放负荷、水网密度指数、全年供水总量和规模以上高耗水行业生产总值比重等指标的影响,如主要污染物排放负荷和规模以上高耗水行业生产总值比重两个指标在近10年都保持在一个稳定的区间,而水网密度指数在2010年之前有一个明显增加的过程,单位GDP废水排放量和单位GDP用水量在近10年都有明显的下降。这都体现了浙江省水资源环境的压力有所好转。

状态指数有一定的波动,在2006年降到了最低点,之后的时间段内呈现上升的趋势。状态指数的变化主要来自于地表水I~III类水质断面比例、洪涝台旱灾害直接经济损失、饮用水水源地水质达标率和人均水资源量等指标。地表水I~III类水质断面比例指标在2006年降到了最低的42.00%,比2005年降低了35.29%,直到2012年之后才恢复到之前的水平。洪涝台旱灾害直接经济损失和人均水资源量两个指标受气候等因素影响较大,对状态指数的变化趋势产生一定的干扰。饮用水水源地水质达标率在近10年都保持在较高的水平,这些都对浙江省水资源环境状态好转具有正面作用。

响应指数则表现出了显著的升高趋势,尤其是在2014年具有较高的增加幅度,这也符合2014年作为浙江省“五水共治”全面开展年的现实意义。响应指数的这一变化趋势对于浙江省水环境安全具有重要的正面意义,对于有效降低水资源环境威胁,提高水环境安全指数有较大的促进作用。结合表1中响应层指标组成来看,环境污染治理投资总额占

GDP 比重、供水工程投资额度和节水措施投资额度在“十二五”期间有较大增加,其中 2014 年增加幅度最大。这反映了政府注重并加强环保资金投入,其直接反应是,浙江省工业废水达标排放率和地表水 I ~ III 类水质断面比例等指标得到直观的改善。

### 2.3 水环境安全综合指数分析

利用 AHP 确定的权重与标准化数据,计算得到 2005—2014 年间浙江省 PSR 模型的水环境安全综合指数变化,见图 2,指数对应的安全等级见表 5。

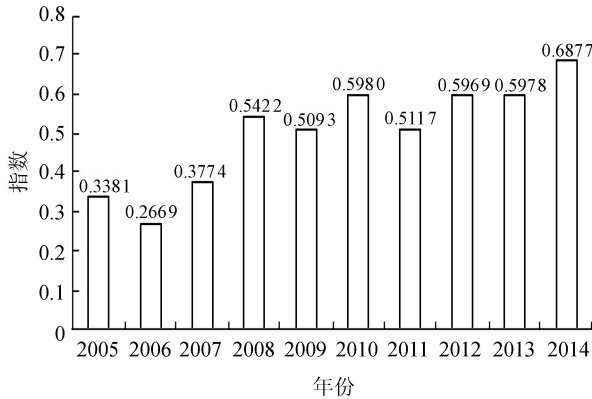


图 2 2005—2014 年浙江省水环境安全综合指数变化情况

从图 2 可以看出,浙江省近 10 年来水环境安全指数呈波动上升趋势,表明水环境总体趋于好转,反映了浙江省在“十一五”和“十二五”期间加强环境整治的成效。具体变化上,水环境安全指数最低值为 2006 年的 0.2669,而 2005—2007 年间水环境安全指数总体偏低且较波动,2008 年之后则呈现波动上升过程,且在 2014 年水环境安全指数具有较大增加幅度,达到最大值 0.6877。从表 5 可以看出,近 10 年中,仅在 2005 年、2006 年、2007 年这 3 年浙江省水环境安全呈中警状态;2008 年以来直到 2013 年水环境安全等级均维持在预警状态,状况有所好转;2014 年在“五水共治”行动各项举措实施的状况下,水环境安全等级首次呈现了较安全状态。

综合浙江省水环境安全指数可以发现,浙江省人居生活和农业活动对水环境产生的压力有了较大改观,表现在农村人均生活用水量和自来水普及率的持续增加,农田灌溉用水负荷的持续减少。而工业的快速发展使得水环境有较大幅度的波动,表明其有更大的优化调整空间。工业发展是造成水环境

压力的主要因素,已受到政府部门的重视与调控,体现在对工业用水的监督管理、环保资金投入力度加大等方面,这些积极应对有效降低了水资源消耗,并对水环境改善起到重要调节作用。同时,2014 年“五水共治”行动的全面铺开,在全社会加强水资源保护这一背景下,经济发展方式调整、环保意识增强、森林与城镇绿地覆盖率增加,以及地表水水质改善,使得浙江省水环境安全指数呈现较大上升趋势,验证了“五水共治”行动取得的积极成效。笔者认为,为提高浙江省水环境安全指数,降低水环境风险,水环境风险控制应当着重以下方面:首先,应当增加科技研发及环保投入,积极推动水污染治理技术的发展;其次,应当立足现有水资源与水环境条件,开源节流,提高企业环境准入门槛,严格控制高能耗与污染产业的发展,减少 GDP 增长所带来的水资源、水环境压力;最后,应进一步保证居民生活用水和水功能区水环境质量,建立饮用水与生态用水保障体系,并且加快产业结构调整与升级,降低工业用水消耗,优化水资源配置。

### 3 结论与建议

a. 浙江省水环境安全的 PSR 评价指标体系中,治污水,防洪水、排涝水,保供水,抓节水 4 个指数中权重最大的为治污水指数(0.5608),反映了“五水共治,治污先行”的正确举措。

b. 浙江省水环境安全的 PSR 评价指标体系中,主要污染物排放负荷、规模以上高耗水型行业生产总值比重、工业废水达标排放率等指标的权重相对较高,反映了典型的工业经济活动对水资源环境安全的威胁。

c. 浙江省水环境安全指数总体呈升高趋势,水环境趋于好转。PSR 评价模型的压力、状态、响应指数变化上,以响应指数增幅最大,而压力指数、状态指数则显示平稳波动特征,反映了基于工业经济发展背景下相关政府职能部门积极采取应对措施所产生的良好效果。

d. 为降低水环境风险,浙江省应立足现有水环境条件,以“五水共治”为契机,加快产业结构调整升级,降低用水消耗,加大科技与环保投入,改善水环境质量,保证供水能力,实现水环境系统的良性发展。

表 5 浙江省水环境安全等级变化情况

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
安全等级	II	II	II	III	III	III	III	III	III	IV
表征状态	中警状态	中警状态	中警状态	预警状态	预警状态	预警状态	预警状态	预警状态	预警状态	较安全状态

- [10] 方国华,黄显峰.多目标决策理论、方法及其应用[M].北京:科学出版社,2011,162-168.
- [11] 何伟.基于投影寻踪法的江苏城市经济国际化水平评价[J].经济管理,2008(8):59-63.(HE Wei. Assessment of Jiangsu urban economic internationalization level based on project pursuit method [J]. Economic Management,2008(8):59-63.(in Chinese))
- [12] 金菊良,杨晓华,丁晶.基于实数编码的加速遗传算法[J].四川大学学报(工程科学版),2000,32(4):20-24.(JIN Juliang,YANG Xiaohua,DING Jing. Real coding based acceleration genetic algorithm [J]. Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition),2000,32(4):20-24.(in Chinese))
- [13] 褚克坚,仇凯峰,贾永志,等.长江下游丘陵库群河网地区城市水生态文明评价指标体系研究[J].四川环境,2015,34(6):44-51.(CHU Kejian,CHOU Kaifeng,JIA Yongzhi,et al. Evaluation indicator system of city water ecological civilization in-reservoir and river network region in hilly areas of the lower Yangtze River [J]. Sichuan Environment,2015,34(6):44-51.(in Chinese))
- [14] 刘海娇,黄继文,仕玉治,等.黄河下游典型城市水生态文明评价[J].人民黄河,2013(12):64-67.(LIU Haijiao,HUANG Jiwen,SHI Yuzhi,et al. Water ecological civilization evaluation on the typical urban of the lower Yellow River [J]. Yellow River,2013(12):64-67.(in Chinese))
- [15] 郭宇杰,王学超,周振民.我国城市污水处理回用调查研究[J].环境科学,2012,33(11):3881-3884.(GUO Yujie,WANG Xuechao,ZHOU Zhenmin. National survey of urban sewage reuse in China [J]. Environmental Science,2012,33(11):3881-3884.(in Chinese))
- [16] 姜帅,吴雪,刘书明.我国部分城市供水管网漏损现状分析[J].北京水务,2012(3):14-16.(JIANG Shuai,WU Xue,LIU Shuming. Leak study on some urban water supply pipe networks [J]. Beijing Water,2012(3):14-16.(in Chinese))

(收稿日期:2016-06-10 编辑:彭桃英)

(上接第109页)

## 参考文献:

- [1] 史正涛,刘新有,彭海英.气候变化对中国水安全的挑战[J].云南师范大学学报(哲学社会科学版),2008,40(2):11-16.(SHI Zhengtao,LIU Xinyou,PENG Haiying. The challenge of water safety to China under the climatic changes[J]. Journal of Yunnan Normal University (Humanities and Social Sciences),2008,40(2):11-16.(in Chinese))
- [2] 朱元生.水资源可持续发展的道路[J].水利水电科技进展,2015,35(1):54-56.(ZHU Yuansheng. The road of sustainable development of water resources[J]. Advances in Sciences and Technology of Water Resources,2015,35(1):54-56.(in Chinese))
- [3] 梁福庆.中国水利现代化的思考与对策[J].水利经济,2014,32(2):1-3.(LIANG Fuqing. Thoughts and countermeasures about modernization of Chinese water resources [J]. Journal of Economics of Water Resources,2014,32(2):1-3.(in Chinese))
- [4] 朱法君,王亚红.浙江省水资源可持续利用总体思路及对策研究[J].浙江水利科技,2010(4):1-4.(ZHU Fajun,WANG Yahong. Sustainable usage of water resources in Zhejiang Province: overall idea and strategy [J]. Zhejiang Hydrotechnics,2010(4):1-4.(in Chinese))
- [5] 陈甲球.PSR模型在资源环境保护中的应用分析[J].石材,2006(7):28-30.(CHEN Jiaqiu. Application of PSR model in resource environmental protection [J]. Stone,2006(7):28-30.(in Chinese))
- [6] 刘焱序,李春越,任志远,等.基于LUCC的生态型城市土地生态敏感性评价[J].水土保持研究,2012,19(4):125-130.(LIU Yanxu,LI Chunyue,REN Zhiyuan,et al. Land eco-sensitivity assessment based on LUCC in ecological city [J]. Research of Soil and Water Conservation,2012,19(4):125-130.(in Chinese))
- [7] 叶正伟,孙艳丽.基于PSR模型的江苏沿海大开发地区水环境安全评价:以盐城市为例[J].水土保持研究,2013,20(6):197-202.(YE Zhengwei,SUN Yanli. Assessment on water environment security in the coastal development region in Jiangsu based on PSR model[J]. Research of Soil and Water Conservation,2013,20(6):197-202.(in Chinese))
- [8] MASKREY A. Disaster mitigation: a community based approach[M]. Oxford: Oxfam,1989.
- [9] 崔明哲,杨凤海,李佳.基于组合赋权法的哈尔滨市耕地生态安全评价[J].水土保持研究,2012,19(6):184-187.(CUI Mingzhe,YANG Fenghai,LI Jia. Analysis of cultivated land ecological security assessment of Harbin City based on combination weighting method[J]. Research of Soil and Water Conservation,2012,19(6):184-187.(in Chinese))
- [10] 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(20):267-272.(HAN Yuping,RUAN Benqing. Research on evaluation index system of water safety[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2003,23(20):267-272.(in Chinese))
- [11] 吴舜泽,王金南,周劲松,等.国家环境安全评估报告[M].北京:中国环境科学出版社,2006.

(收稿日期:2016-03-16 编辑:彭桃英)