

长江经济带社会经济发展与水资源保护水平研究

史安娜^{1,2}, 陆添添¹, 冯楚建³

(1. 河海大学商学院, 江苏南京 211100; 2. 沿海开发与保护协同创新中心, 江苏南京 210098;

3. 科技部科技法规事务服务中心, 北京 100038)

摘要:随着我国“三大战略”的实施, 长江经济带生态走廊建设引起了广泛关注。以长江经济带 11 省市社会经济发展、水环境、水生态为研究对象, 运用 DPSIR 框架模型, 从驱动力-压力-状态-影响-响应的相互作用机制出发, 选取 2005—2014 年 11 省市 26 个相关指标, 预测长江经济带水资源综合保护水平。结果显示: 长江经济带中下游的水资源保护水平整体较高, 而整个经济带水质、水量与水生态保护水平均面临较大压力。

关键词:长江经济带; 经济发展; 水资源保护; DPSIR 模型

中图分类号: F293.1; TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-4970(2017)01-0024-05

一、引言

随着我国经济的高速发展, 水资源面临的水多、水少、水脏问题已成为制约社会经济可持续发展的主要瓶颈。长江经济带作为我国人口最密集、经济水平最发达的地区, 产业分布密集、水资源消耗大、排污强度高, 水资源可持续利用水平面临巨大压力。2014 年长江经济带、“一带一路”、京津冀协同发展成为我国新一轮区域经济发展战略, “三大战略”的实施成为发挥长江黄金水道独特优势、建设水生态文明、长江经济带经济社会可持续发展的重要保障。

随着我国最严格水资源制度的实施, 水资源管理研究受到国内外学者关注。冯宝平等于早期提出区域水资源可持续利用分析的相关概念, 建立复合评价系统^[1]; 戴崇标等运用最大熵原理对淮河流域水资源状况进行评价^[2]; 曹琦等使用 DPSIR 模型, 以甘州地区为考察对象建立城市水资源安全评价体系^[3]; 肖新成等以农业面源污染视角为出发点, 构建 DPSIR 模型并使用结构方程模型方法对三峡库区重庆段水资源安全进行评价^[4]; 谭圣林等通过构建可变模糊集评价模型对珠江三角洲水资源的可再生性进行评估^[5]; 韩美等利用层次分析法对黄河三角洲水资源可持续利用水平进行预测^[6]; 张昆等使

用数据包络分析法对长江经济带 11 省市进行水资源综合效率分析^[7]; 崔木花构建 IPAT 方程模拟长江经济带污染排放的影响^[8]; 汪克亮等进行基于环境压力的长江经济带生态效率的研究^[9]; 童纪新等使用 DEA 模型测算我国 31 个省级单位的水资源可持续利用状况^[10]。从已有成果看, 综合研究流域社会经济、环境压力、资源利用等方面的水资源保护文献较少, 由此, 笔者以长江经济带 11 个省市经济可持续发展为着眼点, 研究水资源、水环境对长江经济带经济社会发展的支撑, 测算长江经济带各省市在经济发展中水资源综合保护水平, 为水生态环境友好、水资源有效保护和合理利用、社会经济发展新格局的长江经济带建设提供支撑。

二、长江经济带水资源保护分析框架

1. DPSIR 框架模型

DPSIR 是“驱动力-压力-状态-影响-响应”(Driving Force - Pressure - State - Impact - Response)概念框架模型, 由欧洲环境署基于 PSR 和 DSR 框架模型提出。DPSIR 模型以由环境问题所引发的因果链为研究对象, 将人口增长与社会经济发展作为长期驱动力, 用以考察其对环境所产生的压力以及环境变化所带来的反馈作用。模型通过不同层级的细化指标,

收稿日期: 2016-11-15

基金项目: 水利部科技推广计划项目(TG1523); 国家自然科学基金项目(71540014)

作者简介: 史安娜(1962—), 女, 江苏丹阳人, 教授, 博士, 从事水资源经济与管理研究。

揭示经济活动与环境之间存在的因果关系与影响。

根据 DPSIR 框架模型基本原理,围绕长江经济带 11 个省市,构建人口-经济-社会-水环境的水资源保护复合系统框架模型(图 1)。复合系统由驱动力模块、压力模块、状态模块、影响模块、响应模块 5 个模块组成。“驱动力”通过社会经济发展、人类活动的水资源需求来反映;“压力”通过社会进步和人类发展对水资源供给能力和对水环境的破坏状况来反映;“状态”通过水资源利用状态和水资源损耗来反映;“响应”通过设置科技、政策来回水污染、水资源耗费和水生态破坏等问题;“影响”通过经济社会、生态的影响程度等来反映。5 个模块之间有两条相互作用的交互链:第一,从驱动→响应→状态→影响→响应的因果链;第二,从响应模块作用(响应→驱动响应→压力响应→状态响应→影响)的反馈链,两条交互链相互作用,对各省市水资源保护水平产生影响。

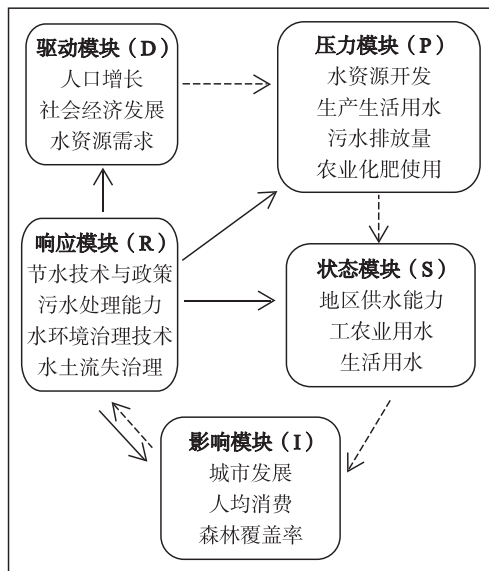


图 1 长江经济带水资源 DPSIR 分析框架

2. DPSIR 框架模型细化指标选取

按照国家最严格水资源管理制度及新时期对水资源保护的任务和要求,为保障长江经济带战略实施的水安全,从水质、水量、水生态问题 3 个角度细化长江经济带 DPSIR 框架模型各组成模块的内涵指标。选取细化指标以《全国水资源保护规划技术大纲(2012 年)》为依据,充分考虑长江经济带农业和工业产业发展以及长江生态走廊建设需要:①压力模块,考虑长江经济带农作物播种面积比例大(占全国 40%)、地区农业用水比例高(占总用水量超过 50%)的特点,选取“化肥使用强度”和“农业用水量”等指标;考虑长江经济带是我国重要钢铁、炼油工业带聚集区,常年位于酸雨带,除“工业用水

量”和“工业废水排放量”外,加入“二氧化硫排放量”指标。②响应模块,考虑长江流域尤其是上游绿化率降低导致草地沙化和水土流失等现象,加入“水土流失治理面积”和“除涝面积”指标。③影响模块,考虑长江经济带人口密集多个城市圈存在地区发展水平差异的情况,加入“城市化水平”“城镇居民消费水平”“城市污水处理率”和“城市节约用水量”指标。综合系统性、科学性和可操作性原则,共筛选出 26 项相关指标(表 1),以此解释长江经济带 11 个省市水资源保护综合水平的内涵。

表 1 长江经济带 DPSIR 模型水资源保护指标体系

总指标	一级指标	二级指标
驱动(D)	驱动(D)	人均水资源/m ³
		人口密度/人
		经济增长率/%
		年均降水量/mm
压力(P)	压力(P)	万元产值耗水量/m ³
		水资源开发利用/%
		万元产值工业废水排放量/t
		化肥使用强度/t
		化学需氧量排放量/10 ⁴ t
		二氧化硫排放量/10 ⁴ t
状态(S)	状态(S)	日供水能力/10 ⁴ m ³
		人均日生活用水量/10 ⁻³ m ³
		农业用水量/m ³
		工业用水量/m ³
影响(I)	影响(I)	生态环境用水量/m ³
		城市化水平/%
		森林覆盖率/%
		建成区绿化覆盖率/%
		城镇居民消费水平/元
		日污水处理量/10 ⁴ m ³
响应(R)	响应(R)	节水灌溉面积/10 ⁻² km ²
		城市节约用水量/m ³
		水土流失治理面积/km ²
		除涝面积/10km ²
		城市污水处理率/%
		废水治理设施数/套

三、长江经济带水资源保护综合水平测算方法与步骤

在 26 个指标的基础上,进一步测算水资源综合保护水平,具体方法步骤如下。

第一,数据无量纲化处理。采用阈值法,依照正指标和逆指标性质,对选取的指标数据进行无量纲

化处理。

$$\text{正指标: } x'_{ji} = \frac{(\bar{x}_{ji}(t) - \min x_{ji})}{(\max x_{ji} - \min x_{ji})} \quad (1)$$

$$\text{逆指标: } x'_{ji}(t) = \frac{(\max x_{ji}(t) - \bar{x}_{ji}(t))}{(\max x_{ji}(t) - \min x_{ji}(t))} \quad (2)$$

式中 $x_{ji}(t)$ 为第 J 模块内第 i 项指标序列数值, $\bar{x}_{ji}(t)$ 为第 i 个指标序列数值的平均数, $x'_{ji}(t)$ 即为标准化处理之后的数值 (J=D、P、S、I、R, D 为驱动模块、P 为压力模块、S 为状态模块、I 为影响模块、R 为响应模块)。

第二, 指标权重确定。为避免少数指标对总体评价的过度干扰, 选用变异系数法计算模块内单一指标权重。第 i 项指标变异系数公式为

$$v_{ji} = \frac{\delta_{ji}}{\bar{x}'_{ji}(t)} \quad (3)$$

式中 δ_{ji} 为标准差, $\bar{x}'_{ji}(t)$ 为平均数。

第 J 模块内单一指标 i 的权重为

$$w'_{ji} = \frac{v_{ji}}{\sum_{i=1}^n v_{ji}} \quad (4)$$

第三, 计算每一模块指标综合指数。在变异系数计算基础上采用加权平均法计算每个模块的综合指数数值, 计算公式为

$$f(J)_i = \sum_{i=1}^n x'_{ji}(t) \cdot w'_{ji} \quad (5)$$

第四, 五大模块综合指标预测。由于指标序列样本数据较少, 故使用灰色预测法 GM(1,1) 模型, 针对驱动、压力、状态、影响和响应模块的综合数值序列进行预测。设某单一模块综合指数为

$$f(J)^{(0)} = \{f(J)^{(0)}(1), f(J)^{(0)}(2), \dots, f(J)^{(0)}(N)\} \quad (6)$$

其预测方程为

$$\hat{f}(J)^{(0)}(k+1) = \hat{f}(J)^{(1)}(k+1) - \hat{f}(J)^{(1)}(k) \quad (7)$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{其中, } \hat{f}(J)^{(1)}(k+1) = \left[f(J)^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}$$

第五, 水资源保护水平测算。将五大模块预测综合值加权求和, 计算得出水资源保护水平的未来评价:

$$F(\theta)_t = W_D \cdot f(D)_t + W_P \cdot f(P)_t + W_S \cdot f(S)_t + W_I \cdot f(I)_t + W_R \cdot f(R)_t \quad (8)$$

式中 W_J 是单一模块权重, 为 $W_J = \frac{\sum_{i=1}^n v_{ji}}{\sum_{j=D}^m \sum_{i=1}^n v_{ji}}$ 。

四、长江经济带水资源保护综合水平测算与分析

以长江经济带 11 省市为对象, 以 DPSIR 框架模型为基础, 收集 2005—2014 年 26 个指标数据。数据主要来源为国家统计局官网、《中国城市年鉴》《中国环境统计年鉴》等。运用水资源保护测算方法, 计算水资源保护水平影响程度, 并以此为依据测算长江经济带各省市水资源保护水平 (表 2~4)。

1. 五大模块对水资源保护影响程度分析

表 2 结果反映了长江经济带 11 省市五大模块对水资源的影响程度。从现状看, 压力模块、响应模块和驱动模块指标对水资源保护影响最大, 说明长江经济带 11 省市在 2005—2014 年经济稳定增长, 控制单位产能耗水与污染排放是减轻水资源保护压力的重要原因, 而节水政策推广与污水处理技术的改善, 是响应能力提升的主要因素。此外, 每个模块对各省市水资源保护影响程度不同, 其改善水环境压力与实施水保护政策的提升空间存在差异。从驱动模块看, 驱动力模块对浙江省、上海市和湖南省影响最大, 主要原因是以上地区社会经济持续稳定发展。从压力模块上, 影响最高的上海市、湖南省、湖北省和四川省单位产值耗水与排污控制有明显效果, 而响应模块影响水平最高的贵州省、云南省, 在提升污水治理能力与和节约用水推广政策上有显著进步。

表 2 长江经济带 2005—2014 年 DPSIR 模块对水资源保护影响系数

地区	驱动(D)	压力(P)	状态(S)	影响(I)	响应(R)
上海	0.185 2	0.303 5	0.141 3	0.171 5	0.198 6
江苏	0.144 2	0.271 6	0.204 6	0.175 7	0.203 9
浙江	0.195 4	0.284 4	0.184 5	0.100 8	0.234 9
安徽	0.146 0	0.272 3	0.186 1	0.122 6	0.272 9
江西	0.177 6	0.248 5	0.178 3	0.103 5	0.292 1
湖北	0.170 1	0.302 3	0.216 1	0.123 2	0.188 3
湖南	0.190 1	0.353 3	0.109 3	0.118 4	0.229 0
重庆	0.140 1	0.275 7	0.142 6	0.161 0	0.280 5
四川	0.175 9	0.308 9	0.159 0	0.122 7	0.233 6
贵州	0.143 1	0.259 8	0.097 8	0.120 2	0.379 1
云南	0.154 6	0.232 9	0.191 1	0.126 6	0.294 7

2. 长江经济带水资源保护状况分析

表 3 显示, 长江经济带 11 省市水资源保护水平在 10 年内均有不同程度提升, 其中 2005—2009 年 5 年间, 安徽省、湖北省和江苏省绝对增幅最高, 主要

表现为对高耗水、高污染落后产能的淘汰升级以及节水政策的大力推广。而在 2009—2014 年阶段,由于 2011 年国家经济增速下滑、驱动力不足,致使多省市水资源保护水平在普遍回落后并无明显提升。此外,对比位于长江经济带上游的四川省与下游的上海市可以发现,两地在水资源保护水平上存在的不同特点:过去 10 年中,上海市水资源开发压力大、人均可用水量较少,尤其是后期经济增速下行的压力,限制了其水资源保护水平的进一步提升;而四川省丰富的水资源和后发经济增长优势以及水环境治理政策的有效施行,使其在水资源保护方面有更为突出的表现。可见,长江经济带各省市在未来需结合自身特点,对水资源保护采取更具针对性的加强措施。

3. 长江经济带水资源保护水平预测分析

长江经济带水资源保护水平未来预测见表 4。结果显示在 2017—2025 年大多数省市水资源保护水平仍存在提升空间,其中水资源保护水平基本持续稳定增长的是上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、四川和贵州,而湖南、重庆和云南的综合水平达到峰值后,如不能采取针对性措施,水资源保护水平将持

续下降。整体而言,长江中游及下游所在的数省份水资源保护水平是较高的。

此外,长江各省市在提升水资源保护水平上各有特点,如位于长江下游江苏省在治污减排、淘汰落后产业方面绩效最为突出,而未来必须在水资源节约、水循环利用和污水处理环节上深化改革与政策支持,才能继续满足当地社会经济可持续发展需求;而同样处于下游的上海市,由于未来经济增速放缓、水资源开发压力大,人均水资源数值逐年下降,在水环境保护工作上承载巨大压力,未来需要出台更积极的水环境保护政策并推广更先进的节水减排技术,才能确保上海市水资源保护水平在更长时间内满足其经济发展需求;位于长江中游的江西省和湖北省,必须在化肥使用、水土流失治理和排污控制方面取得更大改善,以求进一步提升中游地区整体水资源保护水平、保障社会经济发展;长江上游的贵州省、四川省和云南省,水资源相对丰富、未来经济增速预期更高,因此水资源保护驱动力增高,而由此带来的污染排放压力也更高,需要在产业转移中污水处理及水土流失治理方面的政策响应。

表 3 长江经济带 2005—2014 年水资源保护指数评价

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2005	0.257 7	0.216 7	0.303 4	0.186 3	0.284 8	0.206 5	0.318 9	0.249 2	0.243 0	0.285 0	0.263 4
2006	0.360 4	0.358 7	0.415 6	0.240 6	0.370 0	0.241 3	0.437 9	0.231 5	0.323 9	0.395 9	0.357 7
2007	0.450 2	0.542 5	0.447 1	0.408 7	0.351 7	0.407 5	0.442 2	0.426 7	0.434 0	0.452 4	0.435 3
2008	0.466 7	0.499 6	0.526 1	0.528 1	0.445 2	0.466 9	0.515 2	0.512 6	0.488 3	0.505 5	0.550 4
2009	0.581 7	0.477 5	0.420 7	0.571 2	0.514 5	0.487 2	0.541 9	0.537 6	0.493 9	0.519 5	0.489 3
2010	0.631 7	0.577 7	0.645 2	0.716 5	0.724 6	0.646 7	0.741 4	0.634 0	0.613 2	0.648 6	0.658 1
2011	0.511 7	0.598 4	0.463 9	0.661 9	0.545 3	0.556 1	0.586 7	0.568 6	0.610 4	0.534 7	0.494 5
2012	0.502 1	0.572 4	0.571 1	0.689 7	0.647 2	0.594 8	0.693 5	0.541 5	0.679 0	0.578 6	0.499 7
2013	0.499 0	0.576 9	0.537 0	0.687 0	0.604 3	0.629 2	0.675 5	0.570 0	0.746 5	0.600 5	0.506 4
2014	0.581 9	0.683 8	0.583 9	0.778 7	0.652 3	0.742 3	0.717 2	0.636 3	0.748 5	0.673 6	0.631 8
均值	0.484 3	0.510 4	0.491 4	0.546 9	0.514 0	0.497 9	0.567 0	0.490 8	0.538 1	0.519 4	0.488 7
年均增长率/%	8.49	12.18	6.77	15.37	8.64	13.65	8.44	9.83	11.91	8.98	9.14

表 4 2017—2025 年长江经济带水资源保护水平预测

年份	上海	江苏	浙江	安徽	江西	湖北	湖南	重庆	四川	贵州	云南
2017	0.646 3	0.761 1	0.699 0	0.845 2	0.762 1	0.825 2	0.726 9	0.712 5	0.810 6	0.707 6	0.771 4
2018	0.641 4	0.781 4	0.716 8	0.849 4	0.773 6	0.826 1	0.721 4	0.725 2	0.833 2	0.712 8	0.778 1
2019	0.638 3	0.801 3	0.737 4	0.853 6	0.786 0	0.827 0	0.713 7	0.736 3	0.857 8	0.715 6	0.771 5
2020	0.636 7	0.814 8	0.760 7	0.858 1	0.799 3	0.827 9	0.706 5	0.749 5	0.825 8	0.718 5	0.765 2
2021	0.636 7	0.830 4	0.773 8	0.862 8	0.813 3	0.829 0	0.699 6	0.750 1	0.842 6	0.721 6	0.759 2
2022	0.638 3	0.848 2	0.787 7	0.867 6	0.817 3	0.830 1	0.693 0	0.746 8	0.860 4	0.724 7	0.753 4
2023	0.641 4	0.864 4	0.803 6	0.872 6	0.821 8	0.831 3	0.686 8	0.743 6	0.879 1	0.727 9	0.747 8
2024	0.646 0	0.868 2	0.821 5	0.877 8	0.826 9	0.832 5	0.680 9	0.740 5	0.882 3	0.731 2	0.742 4
2025	0.652 2	0.872 2	0.841 5	0.883 2	0.832 6	0.833 8	0.675 3	0.737 5	0.902 2	0.734 7	0.737 3

五、结 语

在对长江经济带 11 省市水资源保护水平的研究中,运用 DPSIR 框架模型,将社会经济、水环境与水治理、水生态和水资源开发程度等属性纳入考查要素,避免了以往研究中只考察水环境、只关注水资源自然属性的不足。研究显示,当前长江经济带各省市水资源保护水平主要受压力模块下单位产值耗水量与污水排放量以及响应模块中节水政策推广程度和污水处理能力的影响。预测结果显示,长江经济带社会经济发展受水资源保护水平提升的影响,对于水资源相对丰富的长江上游省市,需要加强产业转移中的政策响应;对于长江中游省份,需要加强产业结构调整中节水和治污能力的政策响应;对于经济发展水平较高的长江下游省市,未来更需要节水与污水处理技术的突破以及与之相关的政策支持。

参考文献:

- [1] 冯宝平,张展羽,贾仁辅. 区域水资源可持续利用机理分析[J]. 水利学报,2006,37(1):16-20.
- [2] 戴崇标,丛日凡,姜志群. 淮河流域水资源可持续利用评价指标[J]. 水土保持应用技术,2010(4):20-22.
- [3] 曹琦,陈兴鹏,师满江. 基于 DPSIR 概念的城市水资源安全评价及调控[J]. 资源科学,2012,34(8):1591-1599.
- [4] 肖新成,何丙辉,倪九派,等. 农业面源污染视角下的三

峡库区重庆段水资源的安全性评价:基于 DPSIR 框架的分析[J]. 环境科学学报,2013,33(8):2324-2331.

- [5] 谭圣林,周月英,梁剑喜,等. 基于可变模糊集理论的珠江三角洲水资源可再生性评价[J]. 中山大学学报(自然科学版),2014,53(5):126-133.
- [6] 韩美,杜焕,张翠,等. 黄河三角洲水资源可持续利用评价与预测[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(7):154-160.
- [7] 张昆,马静洲,吴泽斌,等. 长江经济带 11 省市水资源利用效率评价[J]. 人民长江,2015,46(18):48-51.
- [8] 崔木花. 长江经济带污染排放问题及情景规划[J]. 学术界,2015(4):218-227.
- [9] 汪克亮,孟祥瑞,杨宝臣,等. 基于环境压力的长江经济带工业生态效率研究[J]. 资源科学,2015,37(7):1491-1501.
- [10] 童纪新,梁斐然. 我国水资源可持续利用能力评价[J]. 水利经济,2015,33(6):55-60.

(责任编辑:高虹)



《水利经济》征订启事

中国科技核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊
全国水利系统优秀期刊 全国农业系统优秀期刊
(邮发代号 28-252, CN32-1165/F, 双月刊)

《水利经济》是由河海大学与中国水利经济研究会共同主办的全国唯一的水利经济研究方面的专业性期刊。主要刊登内容:水经济学理论;水权、水市场与水价研究;水利工程建设中的经济效益、社会效益和环境效益评价与分析,水利工程经济评价和财务评价,水利工程资本运作与费用分摊研究;水利工程管理研究,以及水利事业和水利建设的管理体制体制改革研究;水库移民经济研究;农业经济与管理研究;生态与环境经济研究,生态建设领域中的水资源可持续发展研究;水利风景区管理与水文化研究等。

主要读者对象:从事水经济、水利水电技术、经济管理、生态、环境、农业经济及管理工作的有关工程技术人员、科研人员、管理人员以及高等院校师生。

订阅办法:读者可通过邮局订阅,也可直接向编辑部订阅。2017 年每期定价 15 元,全年 6 期共计 90 元。

编辑部地址:南京市西康路 1 号 河海大学《水利经济》编辑部

邮政编码:210098

电话/传真:025-83786350

E-mail:jj@hhu.edu.cn

网址:www.hehaiqikan.cn/sljj/ch/index.aspx