

# 基于PSR模型的长江流域水资源系统韧性分析

周申蓓<sup>1,2</sup>,汪心愿<sup>1</sup>,童建<sup>3</sup>

(1.河海大学商学院,江苏南京 211100; 2.河海大学水利经济研究所,江苏南京 211100;  
3.江苏省水土保持生态环境监测总站,江苏南京 210012)

**摘要:**为探究长江流域水资源系统韧性水平及其提升路径,基于PSR模型的研究框架,建立了长江流域水资源系统韧性评价指标体系,分析了长江流域11省市2008—2019年水资源系统韧性变化及其影响特征。结果表明:2008—2019年长江流域整体和各省市水资源系统韧性总体均呈上升趋势,其中江西、湖北、湖南和安徽的水资源韧性变化为压力驱动型,上海的韧性变化为状态驱动型,云南、贵州和浙江的韧性变化为响应驱动型,而重庆、四川和江苏的韧性变化为多重交替驱动型。建议在国家政策规划层面强化水资源韧性建设,并在长江流域各省市间形成区域韧性提升的联防联控机制,进而在流域规划、区域合作和措施落实方面共同促进长江流域水安全保障水平的提升。

**关键词:**水资源系统韧性;压力-状态-响应模型;水资源环境;水安全保障;长江流域

**中图分类号:**F205 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-9511(2023)03-0023-06

长江作为我国长度最长、流域面积最大的河流,水资源禀赋条件优越,但由于流域内社会繁荣、经济发达,导致水资源的取用和耗排量巨大,流域水资源及生态系统长期承压,严重制约了流域的可持续发展<sup>[1]</sup>。2016年以来,国家实施长江大保护战略,提出要“把修复长江生态环境摆在压倒性位置,共抓大保护,不搞大开发”,并用立法方式从流域系统性和生态完整性的角度对长江保护的规划管控、资源保护、污染防治、生态修复、绿色发展5个方面提出了具体要求。长江大保护以水为资源基础和生态载体,从流域整体角度考虑长江水资源系统的健康、安全和绿色发展,是我国长江流域高质量发展的关键所在。

随着水资源环境领域研究的不断深入和人们认知水平的提升,学者们引入“韧性”这一概念,对水资源系统抵抗压力和状态恢复的能力进行研究<sup>[2-3]</sup>。韧性一词最早源于拉丁文“Resilio”,指恢复到原始状态<sup>[4]</sup>。美国学者Holling将韧性概念引入生态学研究领域,将韧性描述为系统在吸收外界干扰后恢复稳定状态并适应变化,达到新的稳定状态的能力<sup>[5]</sup>。后来这一概念得到进一步拓展,学者们不再强调系统的稳定状态,而是强调系统在外来干扰发

生后不断进行自我调整、适应,以达到更优状态的非均衡动态过程<sup>[6-7]</sup>。水资源系统韧性强调水资源系统及其功能受到自然或人类干扰时,抵抗干扰并适应干扰带来的改变,达到更优状态的能力<sup>[8-9]</sup>。这一研究思路尚处于起步阶段,学者们多是从拓展水资源系统韧性的内涵角度出发,丰富水资源系统韧性理论<sup>[2,10]</sup>。其中,较多学者从洪水风险管理角度出发定义水资源系统韧性,如有学者从建筑单体、城市、流域、区域等不同角度定义水资源系统韧性<sup>[11]</sup>,强调水资源系统抵御自然灾害和灾后恢复的能力。

水资源系统韧性具备过程属性,根据原有系统状态是否发生改变,可以将水资源系统韧性改变的过程划分为3个阶段:①原有状态改变前:自然或人类活动使得系统受到干扰,面临退化压力;②原有状态改变中:由于受到干扰,水资源系统状态发生改变,进而带动其所属的整个生态环境系统状态的改变;③原有状态改变后:通过人为调节和系统自适应,系统吸收干扰,达到一个新的更优状态。现有研究在韧性评价的过程中,常见思路仍然只是从韧性的3大特征——抵抗性、恢复性、适应性出发构建指标体系<sup>[12]</sup>,或是将水资源系统分解为经济、社会、生态等子系统,侧重于观察不同系统之间各要素对韧

**基金项目:**中央高校基本科研业务费专项(B200204045);国家重点研发计划(2019YFC0409000)

**作者简介:**周申蓓(1974—),男,教授,博士,主要从事水利经济研究。E-mail:shenbei@hhu.edu.cn

性的影响<sup>[13]</sup>,而忽略了韧性的过程属性。

在资源环境研究领域,除了韧性分析之外,还有一种常用的研究范式:“压力-状态-响应”(PSR)模型,通过研究压力、状态、响应3个层次之间相互作用的过程,探究生态环境系统与社会经济系统之间的动态联系<sup>[14]</sup>。其中,压力指的是人类社会经济活动和自然本身对生态环境造成的负荷,状态指自然环境系统状态及其变化,响应指人类为改善环境状态而采取的一系列环境治理措施<sup>[15]</sup>。这一模型反映了人类活动或自然本身给自然环境施加压力,影响自然环境和资源状态,人类采取措施对压力做出响应,从而改善自然环境状态,减缓其压力的过程<sup>[16]</sup>。由于水资源系统韧性改变的过程是一个典型的“压力-状态-响应”过程,利用PSR模型进行韧性评价,可以更好地从韧性变化的角度衡量水资源系统受到压力冲击、状态发生改变、恢复原有状态并达到更优状态的过程,弥补现有研究的不足。

因此,基于韧性的过程属性及其与PSR模型的逻辑关联性,本文构建了基于PSR模型的长江流域水资源系统韧性分析指标体系。从水资源系统面临的压力、水资源系统及其所属的生态环境系统状态变化和人类为改善系统状态而做出的响应3个方面出发,探究长江流域水资源系统韧性水平及其变化趋势,识别影响各省市水资源系统韧性水平的主要因素,并提出针对性政策建议。

## 1 研究设计

在PSR模型的框架下,本文将水资源系统韧性的概念定义为:区域或流域内水资源系统面临水资源状况退化压力时,通过自然调节或人为调控对退化压力做出响应,使水资源系统恢复原有状态,并提高自身对干扰和退化压力的适应能力,以达到一种更优状态的能力。水资源系统总体韧性水平由压力、状态和响应3个准则层共同影响。为了更好地反映水资源系统韧性以及压力、状态、响应状况相对于原有状态的变化,本文以各省市研究初始年份的韧性状况及压力、状态、响应状况作为初始水平,以此定为该研究时段内水资源系统韧性和压力、状态、响应状况原有状态初始,观察后续年份各省市水资源系统韧性水平和压力、状态、响应状况相对于原有状态(初始水平)的变动趋势。

### 1.1 模型总体思路及指标体系构建

在PSR模型的框架下,探究压力、状态、响应之间相互作用过程及其所导致的韧性变化。PSR模型分为压力、状态、响应3个准则层,准则层之间互相影响、互相作用,构成一个有机整体,3个准则层得

分之之和为水资源系统韧性得分。在本文所构建的长江流域水资源系统韧性评价指标体系中,三者之间的相互作用关系如图1所示:水资源系统及其所属的生态环境系统为人类社会提供资源,人类活动和自然波动(包括自然灾害)对水资源系统产生影响、造成压力,改变水资源系统及其所属的生态环境系统状态;压力的产生和状态的改变促使社会采取响应措施,以改善状态、减缓压力。

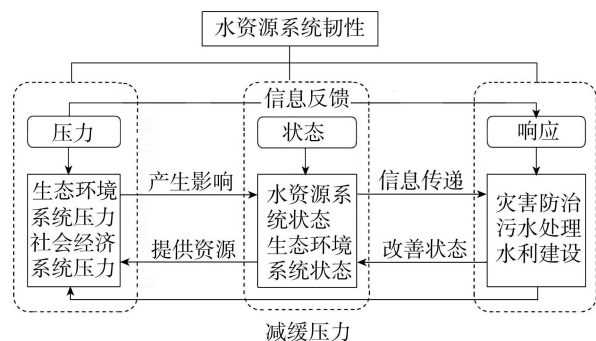


图1 PSR模型各准则层相互作用关系

PSR模型中的压力指使流域内水资源系统稳定状态受影响的压力,包括生态环境系统和社会经济系统两方面压力。生态环境系统压力包括洪涝、干旱、水土流失等自然波动,具有不可控性;社会经济系统压力包括水资源利用压力、人口压力等由于人类经济社会发展而导致的水资源需求对水资源系统造成的压力,可通过各种措施进行人为干预、调控。因此,本文选取洪灾受灾面积和旱灾受灾面积2个自然灾害相关指标,表明水资源系统所承受的来自生态环境系统的压力;选取人均用水量、用水总量、灰水足迹(指吸收人类活动产生的污水所需要的淡水水量,即稀释水中污染使水体达到指定水质标准所需要的水量)、万元国内生产总值用水量4个水资源开发利用相关指标,表明水资源系统所承受的水资源开发利用压力;选取人口密度这一指标,表明水资源系统面对的人口压力。人均用水量、用水总量、灰水足迹、万元国内生产总值用水量和人口密度5个指标共同构成社会经济系统压力。

PSR模型中的状态指流域内水资源系统本身及其所属的生态环境系统的状态。由于水资源系统所承受的压力可能会对整个生态环境系统状态发生改变,因此除了关注水资源系统自身状态外,将生态环境系统的状态也纳入状态层中。由于湿地和森林具有水源涵养和水土保持作用,湿地面积占区域面积之比和森林覆盖率都与水资源系统状态相关,两者的状态与水资源系统所受压力可相互影响。因此,本文选取水资源总量、湿地面积占区域面积之比、森林覆盖率3个指标,表明水资源系统本身和水资源

系统所属的生态环境系统的状态,其中水资源总量反映水资源系统状态,后两项反映生态环境系统状态。

PSR 模型中的响应指人类面临流域内水资源系统退化压力,水资源系统及其所属的生态环境系统状态发生改变后,为减缓压力、改善状态而采取的措施,或在状态改变前为避免状态恶化而采取的措施,包括灾害防治、污水处理、水利建设 3 个方面。本文选取除涝面积、水土流失治理面积 2 个指标,表示灾害防治方面的响应状况;选取城市污水日处理能力、治理废水项目投资 2 个指标,表示污水处理方面的响应状况;选取已建成水库总库容量和水利建设累计完成投资两个指标,表示水利建设方面的响应状况。以上 6 个指标构成 PSR 模型中的响应层。

最终确立水资源系统韧性评价指标体系如图 2 所示,其中水资源系统韧性为目标层,压力、状态、响应为准则层,洪涝受害面积等 16 个指标构成指标层。压力指标为逆向指标,状态和响应指标均为正向指标。



图 2 水资源系统韧性评价指标体系

## 1.2 计算方法

利用熵权法计算各指标权重,得到各个指标层的得分和总韧性得分,作为衡量压力、状态、响应状况和总体韧性水平的数据基础。熵权法的基本思路是根据指标变异性的确定客观权重,其方法可简述为:利用指标数据标准化后的值求各指标的信息熵,并确定指标权重<sup>[17]</sup>。

计算得出指标权重见图 2。确定各指标权重  $W_i$  后,计算压力、状态、响应 3 个指标层的得分及韧性总得分,分别记作  $P$ 、 $S$ 、 $R$  和  $Q$ ,计算公式分别为

$$P = \sum_{j=1}^7 W_j p_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$S = \sum_{j=8}^{10} W_j p_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$R = \sum_{j=11}^{16} W_j p_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

$$Q = P + S + R \quad (4)$$

式中  $p_{ij}$  为根据各指标数据标准化后的值所求的各指标的信息熵。

由于在计算信息熵过程中已将负向指标正向标准化,因此所有指标层和准则层得分均是越高越好,如压力层得分越高,表明压力越小,将其表述为压力状况越好,韧性得分越高,表明水资源系统韧性状况越好。

由于“韧性”的定义中强调“原有状态”,因此本文在分析过程中,将研究初始年份(2008 年)的韧性总得分定义为原有状态下水资源系统韧性,以其为基准值,后续年份得分减去初始年份韧性得分,得到韧性得分相对值;压力、状态、响应 3 个准则层也以初始年份(2008 年)的得分作为原有状态,后续年份得分减去初始年份压力、状态、响应得分,得到压力、状态、响应得分相对值,以相对值的变化反映韧性水平、压力、状态、响应状况相对于原有状态(初始水平)的变化。

## 1.3 数据来源

本文选取 2008—2019 年长江流域 11 省市的数据进行研究(由于 2020 年后受疫情影响,许多数据与往年水平相差太大,因此不考虑 2020 年后数据)。其中,灰水足迹系计算得到具体计算过程参考孙才志等<sup>[18]</sup>的核算方法,初始数据来源于《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。其余数据来源于《中国水利年鉴》《中国水利统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国统计年鉴》。为消除物价变动对数据的影响,计算万元国内生产总值用水量时的 GDP 数据、治理废水项目投资和水利建设累计完成投资 3 项数据,已根据历年各省市国内生产总值指数转化为 2008 年不变价。

## 2 结果与分析

长江流域各省市整体压力、状态、响应状况和韧性水平变化如图 3 所示。总体来看,长江流域整体韧性水平波动上升,其压力、状态、响应总体状况变化大致可分为两个阶段:①2008—2012 年,韧性水平、压力、状态和响应水平皆小幅波动上升,除 2010 年外,其他年份各项水平均与初始年份相当,长江流域水资源系统的整体韧性水平与压力水平变化趋势相同。这表明这几年长江流域水资源系统韧性总体增强,面对压力总体减小,水资源系统及其所属的自然环境系统状态转好,响应更加及时高效,但变动不够明显。韧性变动过程中,韧性主要受水资源系统



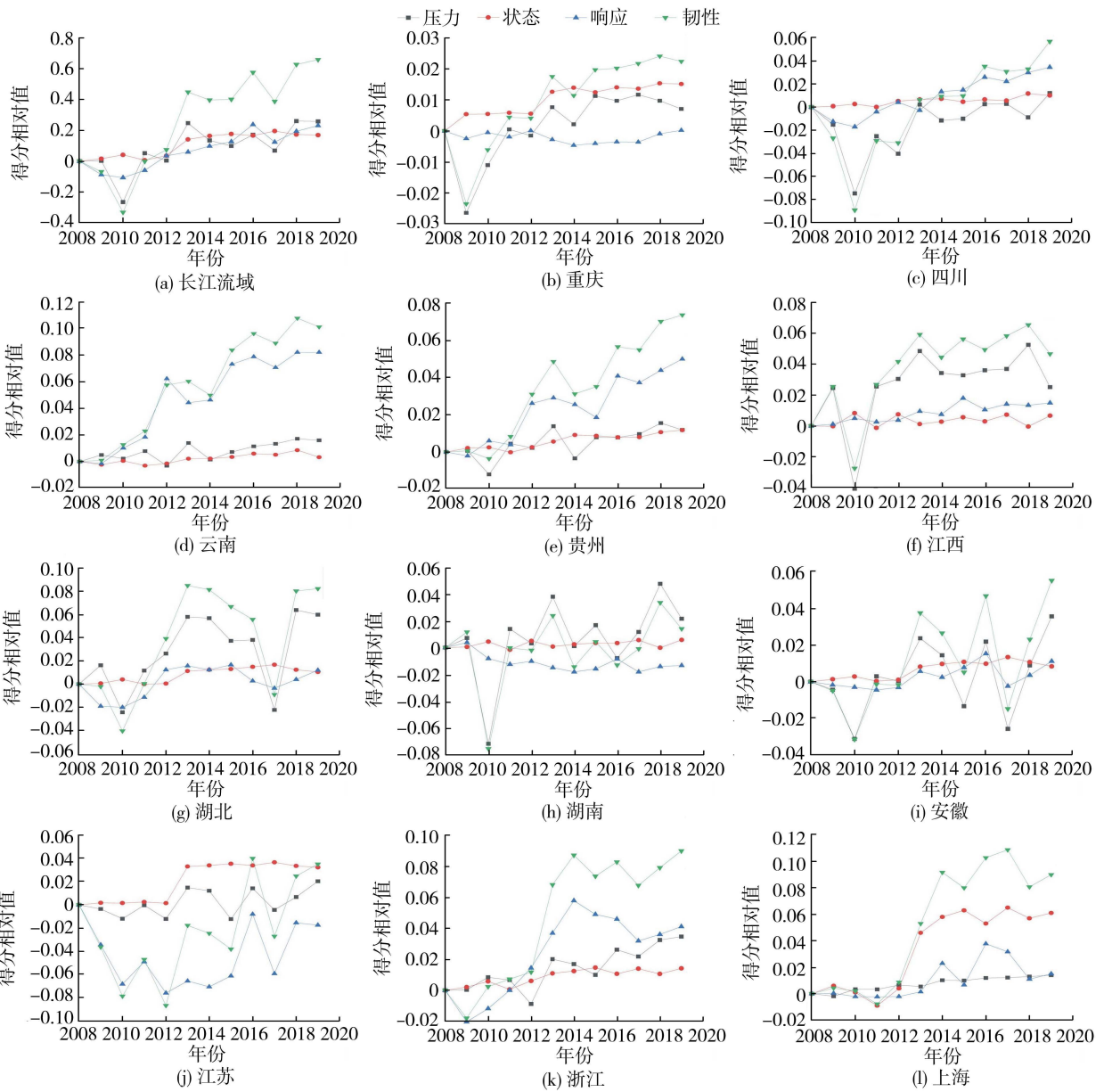


图3 长江流域整体及各省市压力、状态、响应状况及韧性状况

所承受的压力影响,压力状况决定水资源系统的韧性水平。由于这一阶段各省市韧性水平变化差异较大,难以说明哪几个省市对此阶段变动的的影响较大,故对此阶段长江流域韧性变化原因不做分析。  
 ②2012—2019年,韧性水平总体大幅波动上升,压力、状态和响应水平小幅上升,但都显著优于原有状态,长江流域水资源系统的整体韧性水平与响应水平变化趋势相同。这表明较原有状态相比,长江流域近几年水资源韧性显著提升,水资源压力显著减小,水资源系统及其所属的生态环境系统状态持续变好,响应水平显著提升。韧性变动过程中,韧性主要受响应状况影响,响应状况决定水资源系统的韧性水平。此阶段长江流域韧性水平提升主要受重庆、云南、贵州、江西、上海和浙江6省市韧性评分提升影响。具体看来,重庆近几年水旱灾害受害面积

减小,湿地面积占比增加,使得压力和状态状况显著转好;云南、贵州和浙江水利建设累计建设完成投资均连年增长且增量较大,水土流失治理面积持续扩大,污水日处理能力大幅提升,使得响应状况显著转好;江西水旱灾害受害面积减小,使得水资源系统压力显著减小,而上海湿地占比面积增加,使得水资源系统所属的生态环境系统状态显著转好,带动水资源系统状态转好。

从空间差异来看,长江流域11省市韧性水平平均波动上升,但具体变化趋势呈现较大差异,不同年份韧性水平较高和较低的省市不同,因此在此不对各省市韧性水平高低作比较,仅观察其韧性水平及3个准则层状况相对于初始年份的变动及其规律。根据韧性变化过程中起到主要作用的准则层不同,大致可将11省市分为四大类:

**a. 压力驱动型。**指水资源系统韧性变化受到压力变化影响最大的省市,包括中游的江西、湖北、湖南和下游的安徽。这4个省市的韧性水平和压力状况均呈现总体波动上升趋势,且2010—2013年间大幅增长,但其具体变化趋势或状态、响应状况变动存在不同特征。江西和湖南的韧性水平和压力状况2013年后频繁波动但幅度相对较小,响应状况较原有状态变动不大,但江西的响应状况基本优于初始水平,而湖南的响应状况基本低于初始水平。湖北的韧性水平和压力状况在2017年左右出现大幅波动,状态状况变动不大,且基本优于原有状态,但响应状况变动相对较为频繁,在2009—2012年、2016—2018年间响应水平低于原有状态,而其他年份基本优于原有状态。安徽的韧性水平和压力状况在2013年后频繁大幅波动,状态和响应水平变化较小且基本优于原有状态。从压力层指标对应数据着手探寻其原因发现,这4个省市的水旱灾害受害面积(尤其是洪灾受灾面积)均波动较大,带动韧性水平与压力水平同趋势变动。

**b. 状态驱动型。**指水资源系统韧性变化受到状态变化的影响最大的省市,仅包括下游的上海。上海的韧性水平和状态状况在2008—2012年间与原有状态基本一致,但2012—2013年大幅上升,2013年后趋于稳定,持续保持较高水平;压力状况小幅波动上升,2010年后持续优于原有状态;响应状况2008—2013年与原有状态基本一致,2013年后持续优于原有状态。从状态层指标对应数据着手探寻其原因,2012年上海湿地面积占比大幅提升,此后持续保持较高水平,因此2013年后状态状况和韧性均保持较高水平,且2012—2013年间韧性水平大幅增长。

**c. 响应驱动型。**指水资源系统韧性变化受到响应变化的影响最大的省市,包括上游的云南、贵州和下游的浙江。这3个省份近年来韧性水平和响应水平均呈现波动上升趋势,2014年后持续保持较高水平;压力和状态状况与初始年份相比变动幅度较小,且基本优于初始年份;三省份韧性水平分别在2014—2016年、2011—2013年和2012—2014年保持较快增长。从响应层指标对应数据着手探寻其原因,云南、贵州和浙江近年来持续加强对水利建设的投资,水利建设完成投资均连年增长且增量较大,且水土流失治理面积持续扩大,污水处理能力大幅提升。相应年份韧性提升较快的最主要原因分别是云南已建成水库总库容大幅增长、贵州水土流失治理面积大幅扩大,以及浙江水利建设完成投资 and 治理废水项目完成投资保持较快增长。

**d. 多重交替驱动型。**指不同准则层交替对韧性水平变化产生决定性作用的省市,包括上游的重庆、四川和下游的江苏。重庆韧性水平2008—2013年间主要受压力状况影响,2013年后主要受状态状况影响;韧性水平和压力水平除2009年前后大幅波动外,其他年份基本呈上升趋势;响应状况与初始水平基本一致,变动不大,但基本略差于初始水平;而状态水平总体呈现上升趋势,2014年后持续保持较高水平。四川的韧性水平2008—2013年间主要受压力状况影响,但2013年后主要受响应状况影响;韧性水平和压力、响应、状态水平均波动上升,其中韧性和状态、响应水平2014年后持续优于初始水平,而压力水平大多数年份低于初始水平。江苏的韧性水平2008—2012年和2015—2018年间受响应状况影响较大,其余年份受压力状况影响较大;韧性水平波动上升,但仅有少数年份韧性优于原有状态;压力水平在初始水平上下小幅波动;状态水平2008—2012年间与原有状态持平,2013年后持续保持较高水平;响应水平波动下降且持续低于初始水平。从相应指标层对应数据着手探寻原因,重庆2008—2013年水旱灾害频发,带动韧性水平大幅波动,而2013年后水旱灾害受灾面积减少,湿地面积占比显著高于往年,因此韧性水平随状态水平提升。四川2008—2013年和水旱灾害面积变动较大,而2013—2019年间水土流失治理面积、城市污水日处理能力、已建成水库总库容和水利建设完成投资较往年显著提升,因此韧性水平2013年前随压力水平大幅波动,2013年后随响应水平稳步提升。江苏治理废水项目完成投资2008—2012年间显著下降,2015—2018年间也出现大幅波动,故江苏2008—2012年和2015—2018年间响应水平变动幅度较大,同时期压力和状态状况均变动不大,因此韧性水平主要受响应状况影响;其余年份因水旱灾害受旱面积变动较大,带动韧性水平与压力水平同趋势变动。

### 3 结论与建议

#### 3.1 结论

**a.** 2008—2019年,长江流域整体水资源韧性总体呈上升趋势。2008—2012年,长江流域水资源系统韧性总体增强,面对压力总体减小,水资源系统及其所属的生态环境系统状态转好,响应更加及时高效,但变动不够明显。韧性变化过程中,韧性主要受水资源系统所承受的压力影响。2012—2019年,长江流域水资源韧性显著提升,水资源压力显著减小,水资源系统及其所属的生态环境系统状态持续变好,响应水平显著提升。韧性变动过程中,韧性主要

受响应状况影响。

**b.** 不同省市的韧性水平变动受到不同准则层变动主导。江西、湖北、湖南和安徽的韧性水平变动主要受到压力水平影响,为压力驱动型省市;上海的韧性水平变动主要受到状态水平影响,为状态驱动型省市;云南、贵州和浙江的韧性水平变动主要受到响应水平影响,为响应驱动型省市;重庆、四川和江苏的韧性水平变动交替受到不同准则层水平较大影响,为多重交替驱动型省市。

**c.** 压力状况变动主要受水旱灾害受害面积变动影响,状态状况变动主要受水资源总量和湿地面积占比影响,响应状况变动相对较为复杂,6个响应指标均可成为一省市响应变动的主要原因。总体来看,湿地面积占比、灾害防治、污水处理、水利建设情况对于水资源系统韧性影响较大,是水资源韧性提升的重要落脚点。

### 3.2 建议

**a.** 不同驱动型省市从自身实际情况出发,精准施策,提升水资源系统韧性水平。长江流域各省市压力、状态、响应状况各不相同,韧性水平变动过程中主导其变动的准则层存在差异,使得各省市驱动型分类不同,因此提升水资源系统韧性的主要落脚点也不同。江西、湖北、湖南和安徽属压力驱动型省市,应加强水旱灾害预警、灾害防范与灾害治理工作,尽力减少自然灾害对水资源系统的压力,以通过其压力水平的提升带动韧性水平提升。上海属于状态驱动型城市,应加强水利建设、湿地建设和生态保护区建设,充分发挥湿地(包括水库)和生态保护区对于水资源的涵养调节作用,同时减少地下水开发利用,努力维持水资源总量稳定,防止水资源系统状态退化,以通过其状态水平的提升带动韧性水平提升。云南、贵州、浙江属响应驱动型省市,应通过生物措施(如退耕还林、植树种草)、工程措施(如打坝淤地、修水平梯田)和小流域综合治理,加强水土流失防治工作,同时加强水利建设和污水处理工作。而对于重庆、江苏和四川这3个多重交替驱动型省市,应采取多重应对措施,推动韧性水平的提升。

**b.** 建立健全水资源系统韧性规划体制机制,从政策层面强调水资源系统韧性提升的重要性。“十四五”规划中已明确提出建设韧性城市的概念,可进一步将水资源系统韧性提升列入国家发展规划中,从政策规划层面强调水资源系统韧性,以促进各省市对于提升水资源系统韧性水平的重视,并允许各省市根据自身实际情况制定韧性约束边界与韧性提升法规。在韧性规划体制机制构建过程中,重点强调灾害防治水平、污水处理能力、水利建设投资和

湿地建设状况这4个方面,以此为促进水资源系统韧性提升的重要抓手。

**c.** 加强长江流域各省市之间的合作,建立区域联动联防机制,贯彻落实“共抓大保护,不搞大开发”。上游的四川、云南、贵州合力布局灾害防治、水利建设和污水处理;中游的湖北、湖南和江西及下游的安徽携手应对水旱灾害的预防和治理,提升灾害防治能力;下游的江苏和浙江、上海充分开展合作,在水利建设、湿地建设、水旱灾害防治、污水处理等方面充分交流经验,携手共治;上游的重庆与四川、云南、贵州携手加强水利建设,同时与湖北、湖南、江西和安徽共同布局水旱灾害防治。

### 参考文献:

- [1] 张翔,刘浩源,吴志广,等.长江水问题基本态势及耦合关系分析[J].长江科学院院报,2022,39(9):9-14.
- [2] LIU D D, CHEN X H, NAKATO T. Resilience assessment of water resources system [J]. Water Resources Management, 2012, 26(13):3743-3755.
- [3] 陈天,李阳力.生态韧性视角下的城市水环境导向的城市设计策略[J].科技导报,2019,37(8):26-39.
- [4] 曾冰,张艳.区域经济韧性概念内涵及其研究进展评述[J].经济问题探索,2018(1):176-182.
- [5] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology & Systematics, 1973,4:1-23.
- [6] WAKLER B, HOLLING C S, CARPENTER S R, et al. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems [J]. Ecology and Society, 2009, 14(1):1698-1707.
- [7] PICKETT S T A, CADENASSO M L, GROVE J M. Resilient cities: meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms[J]. Landscape and Urban Planning, 2004, 69(4):369-384.
- [8] ADGER W N, HUGHES T P, FOLKE C, et al. Social-ecological resilience to coastal disasters [J]. Science, 2005, 309:1036-1039.
- [9] 王红瑞,杨亚锋,杨荣雪,等.水资源系统安全的不确定性思维:从风险到韧性[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2022,43(1):1-8.
- [10] 赵志龙,杨亚锋,徐冬梅,等.基于二级模糊综合评价法的水资源系统韧性评价调控模型及应用[J].水电能源科学,2022,40(10):39-43.
- [11] de BRUIJN K M, KLIJN F. Resilient flood risk management strategies [C]//Proceedings of the 29th Annual Congress of the International Association of Hydraulic Engineering and Research. Beijing: Tsinghua University Press, 2001:450-457. (下转第57页)



用水户初始权的确权、登记和颁证。另一方面,水权交易市场的完善对水权信息的披露、水权价值的评估、水权抵押物的处置等具有积极作用。一旦出现农用水权抵押贷款违约情况,银行能够通过水权交易市场实现资产变现,为农用水权抵押物处置创造外部条件。由于农业具有周期长、利润低、抗风险能力差的特点,水资源又具有其特殊的自然禀性和经济属性,建议以开展水权交易的地区为试点探索农用水权抵押贷款,逐步推进。

**b. 建立健全水权抵押贷款相关制度和法律法规,使农用水权抵押贷款有法可依,有制可循。进一步完善农用水权确权登记制度,水权确权登记的法律效力是促使银行开办农用水权抵押贷款业务的主要原因。此外,银行按照水权的评估价值来确定农户借款的数额,一套具体可行的水权价值评估和确认办法可以保证和激励农户参与抵押贷款的积极性,保护农户的合法权益。**

**c. 强化对地方政府的激励约束,鼓励地方政府主动作为,积极探索农用水权抵押贷款。一方面政府主动作为会树立良好的形象,另一方面农用水权抵押贷款能够激发水资源的金融属性,为促进农民增收提供有力支撑,有助于全面推进乡村振兴战略的实施。对大力支持、推动有力、效果明显的地方政府加大激励力度,比如给予政策倾斜、财政资金奖励等。**

**d. 加大对银行的政策支持力度,政策支持是降低交易成本、推动银行开展农用水权抵押贷款业务的现实保障。较之于传统的抵押贷款,用水权作为抵押物贷款的风险更高。要建立相应的抵押贷款风险补偿和保障机制,由政府设立风险补偿基金,一旦出现农户无法按时或无力还贷的情况,银行可按照约定程序和比例获得补偿,降低银行的贷款风险。同时,综合运用奖励、资金支持、政府补贴利息、提高涉农贷款风险容忍度等政策工具,增强对金融机构的激励。**

**e. 通过区块链技术重塑农村信用体系,完善对**

农户的奖惩机制。依据农户灌溉用水实际状况,结合其节水意识、生产经营项目、经济收入等情况,运用大数据等技术开展农户信用评价,确定农户信用登记,及时更新农户信用信息。要加强普法宣传,增强农户诚信意识,引导农户自觉还款,同时增强农户参保意识,降低违约风险。对按时还款、信用良好的农户给予奖励,享受资金优先、利率优惠、奖金奖励、信用升级等政策激励。对信用等级不达标的农户不予以发放贷款,对农户未按规定用途使用贷款或者不按期还款的行为进行经济处罚,降低信用等级,加大对恶意违约、拒不还款农户的惩罚力度。

## 参考文献:

- [1] 黄辉. 水权:体系与结构的重塑[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版), 2010, 18(3): 24-29.
- [2] 贾怀东, 赵红. “水金融”离我们还有多远[J]. 产权导刊, 2013(10): 13-15.
- [3] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 关于建立健全生态产品价值实现机制的意见[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2021(14): 11-15.
- [4] 付实. 美国水权制度和金融特点总结及对我国的借鉴[J]. 西南金融, 2016(11): 72-76.
- [5] 陈新忠, 杨君伟, 陈如仪, 等. 绿色金融支持幸福湖建设初探[J]. 水利经济, 2020, 38(6): 15-19.
- [6] 景晓栋, 田贵良, 蒋晓明. 金融属性视角的水权价值实现及增值机制研究[J]. 水利经济, 2021, 39(6): 63-71.
- [7] 张建斌. 金融支持水权交易:内生逻辑、运作困境和政策选择[J]. 经济研究参考, 2015(55): 9-16.
- [8] 黄盛文, 王海全, 唐明知. 金融支持节水发展研究:基于绿色金融的视角[J]. 市场论坛, 2018(10): 25-28.
- [9] RITZBERGER K, WEIBULL J W. Evolutionary selection in normal form games[J]. Econometrica, 1995, 63(6): 1371-1399.
- [10] FRIEDMAN D. Evolutionary games in economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637-666.

(收稿日期:2022-05-27 编辑:陈玉国)

(上接第28页)

- [12] 杨亚锋, 王红瑞, 巩书鑫, 等. 可变勾股模糊 VIKOR 水资源系统韧性评价调控模型及应用[J]. 水利学报, 2021, 52(6): 633-646.
- [13] 孙才志, 孟程程. 中国区域水资源系统韧性与效率的发展协调关系评价[J]. 地理科学, 2020, 40(12): 2094-2104.
- [14] OECD. OECD factbook 2006: economic, environmental and social statistics[M]. Paris: OECD, 2006.
- [15] 朱玉林, 李明杰, 顾荣华. 基于压力-状态-响应模型的长株潭城市群生态承载力安全预警研究[J]. 长江流

域资源与环境, 2017, 26(12): 2057-2064.

- [16] 周正柱, 王俊龙. 长江经济带生态环境压力、状态及响应耦合协调发展研究[J]. 科技管理研究, 2019, 39(17): 234-240.
- [17] 孙丹, 欧向军, 朱斌城, 等. 中国主要城市群经济增长动力分析及其问题区域识别[J]. 地理与地理信息科学, 2018, 34(1): 71-77.
- [18] 孙才志, 张智雄. 水生态足迹及适应性理论视角下的中国省际水安全评价[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2017, 38(3): 9-16.

(收稿日期:2022-11-17 编辑:骆超)