

DOI: 10.5846/stxb201905311152

彭建, 吕丹娜, 张甜, 刘前媛, 林坚. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知. 生态学报, 2019, 39(23): 8755-8762.

Peng J, Lü D N, Zhang T, Liu Q Y, Lin J. Systematic cognition of ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8755-8762.

## 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知

彭 建<sup>1,2,\*</sup>, 吕丹娜<sup>2</sup>, 张 甜<sup>1</sup>, 刘前媛<sup>2</sup>, 林 坚<sup>1</sup>

1 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

2 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055

**摘要:** 系统治理是山水林田湖草生态保护修复的核心, 然而在工程实施和评估中如何有效落实和考核山水林田湖草生态保护修复的系统性仍是目前一大难题。通过厘清系统性与整体性的逻辑关系, 从山水林田湖草生态保护修复的对象、主体及其耦合关系入手, 明晰系统治理是山水林田湖草生态保护修复的必然选择, 进而提出关键要素控制与全要素耦合相结合的治理思路, 并以云南抚仙湖项目区为例阐明系统治理在山水林田湖草生态保护修复中的实践路径。最后, 依据结构-功能复杂度、要素关联紧密度及其认知, 将山水林田湖草治理系统分为形态系统、级联系统、过程-响应系统、控制系统等四级递进系统, 从流域内和流域外的空间视角出发, 提出基于“目标-约束-成本”的山水林田湖草生态保护修复系统性评估方法, 为山水林田湖草系统治理的实施与考核提供核心科学支撑。

**关键词:** 山水林田湖草生命共同体; 生态保护修复; 系统治理; 抚仙湖流域

## Systematic cognition of ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands

PENG Jian<sup>1,2,\*</sup>, LÜ Danna<sup>2</sup>, ZHANG Tian<sup>1</sup>, LIU Qianyuan<sup>2</sup>, LIN Jian<sup>1</sup>

1 Ministry of Education Laboratory for Earth Surface Process, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

2 Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China

**Abstract:** Systematic governance is the core component of the ecological protection and restoration of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands. However, it is difficult to efficiently implement and assess systematic governance. By clarifying the logic relationships between “holistic” and “systematic”, this study demonstrates the necessity of systematic governance in terms of the object, the subject of ecological protection and restoration, and their links. From the perspective of a complex system, the systematic approach of controlling the key elements of mountain-river-forest-farmland-lake-grassland system and implementing systematic governance with total factors is proposed and demonstrated using the Fuxian Lake Basin of Yunnan Province as a case study. The mountain-river-forest-farmland-lake-grassland system is divided into four closely connected levels by the compactness of system structure and function, i.e. morphological system, cascading system, process-responding system, and control system. It is also proposed to evaluate the systematicness of ecological protection and restoration according to “goal-constraint-cost” from a spatial perspective within and outside the basin. This study can provide support and guidance for the implementation and assessment of systematic governance of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands.

基金项目: 研究阐释党的十九大精神国家社科基金专项课题(18VSI041)

收稿日期: 2019-05-31; 修订日期: 2019-09-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianpeng@urban.pku.edu.cn

**Key Words:** life community of mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands; ecological protection and restoration; systematic governance; Fuxian Lake Basin

随着社会发展,我国生产、生活空间在不同程度上挤占生态空间,造成生态退化,生态系统服务供给能力下降等问题。为了破解生态环境难题,各地方不同部门均积极开展生态工程修复退化、受损的生态系统;但护山、治水、养田各自为战的单要素治理模式忽视了生态系统的完整性,成效并不明显,常常是旧问题尚未彻底解决却又产生了新问题,部分地区甚至出现生态系统再退化问题。为了更好地推进生态文明建设,保障生态系统功能完整性,财政部、原国土资源部与环境保护部于2016年9月联合发文,明确以“山水林田湖草是一个生命共同体”为重要理念指导开展山水林田湖草生态保护修复工作,在生态环境受损区、重要生态功能区、生态脆弱区及生态敏感区对国土空间实施整体保护、系统修复、综合治理<sup>[1]</sup>。

生命共同体理念强调山、水、林、田、湖、草等要素相互联系形成完整的生态系统,实施生态保护修复时需兼顾其整体性和系统性,系统治理是山水林田湖草生态保护修复的核心,是“山水林田湖草是一个生命共同体”的直观体现。随着山水林田湖草生态保护修复试点工作在各地的迅速推进<sup>[2-5]</sup>，“山水林田湖草是一个生命共同体”的理念、内涵得以由模糊转向清晰。然而,梳理现有试点项目,可以发现当前系统治理理念尚未厘清,并未严格从“生命共同体”的整体视角出发,导致具体实践容易陷入“多要素简单加和”的困境,难以有效贯彻治理的系统性、整体性<sup>[6]</sup>。与此同时,随着国家山水林田湖草生态保护修复工作的全面推进,考核生态保护修复实施成效是实证工程合理性、指导后续修复工作的基础。由于生态修复的成效显现具有长期性特征,如何形成科学、有效的山水林田湖草生态保护修复工程实施效果的评估框架也成为亟待解决的科学难题。

云南抚仙湖流域位于云南高原,为半封闭的山间盆地,是珠江上游西江水系南盘江流域的源头,也是我国重要的战略水资源储备库与川滇生态安全屏障的重要组成部分;但其特殊的自然地理条件和以第一、二产业为主导的社会经济结构,使其同时也是生态脆弱区。为保护西南地区关键生态安全屏障及珠江流域水资源可持续性,抚仙湖山水林田湖生态保护修复工程于2017年9月被列入国家第二批山水林田湖草生态保护修复试点。本研究重点依托抚仙湖山水林田湖草生态保护修复工程经验,探讨山水林田湖草系统治理的必要性、治理思路和考核途径,尝试回答如何系统治理山水林田湖草这一科学问题,以期科学认知山水林田湖草生态保护修复的系统性提供依据,为推进新时代生态文明建设提供理论支撑。

## 1 山水林田湖草系统治理的必要性

打破单要素治理是山水林田湖草生态保护修复工程的核心目标,而与单要素相对的则是整体性、系统性两大关联概念。但是,为什么山水林田湖草治理强调的是系统性,而非整体性?明晰整体性与系统性的科学内涵,厘清二者的逻辑关系是正确运用“山水林田湖草是一个生命共同体”理念指导实施生态保护修复的前提。从英文释义来看,整体性译为 Holistic<sup>[7]</sup>,强调由生命共同体内部各个部分组成的统一整体,即视多要素为一体。系统性则译为 Systematic<sup>[8]</sup>,着重根据系统(的属性特征)进行有计划、有顺序的组织和实施,强调系统各组分(构成要素)或各部分(空间单元)的相互关联和秩序。整合整体性与系统性的要求,生命共同体其实质是一定条件下综合、高效、稳定地运行的(复合)生态系统。相应地,生态保护修复也应遵循生命共同体运行规律,否则系统可能遭到破坏向无序化发展,最终导致区域生态环境恶化。因此,基于语义学视角,整体性强调状态,系统性则聚焦联系,二者各有侧重。

系统论中,系统被定义为要素与要素之间关系的总和。在讨论部分与整体关系时,系统与整体可视为近义词,表达相同的含义,可相互替换。比如,系统是由相互作用相互依赖的组成部分结合而成的、具有特定功能的整体。进一步地,系统论的八大原理显示,所有的系统都具有开放性、自组织性、复杂性、整体性、关联性、等级结构性、动态平衡性和时序性等基本特征<sup>[9]</sup>。其中,整体性作为系统的核心属性,强调了系统是具有独立要素所不具有的性质与功能的整体,因而不能脱离整体以单一对象的视角看待系统的构成部分。更进一

步,基于系统论的关联性、复杂性、等级结构性视角,系统性在涵盖整体性的基础上,进一步关注各要素相互关联。作为一个社会-生态系统,生命共同体的系统性决定了山水林田湖草系统治理的必要性,主要体现在实施的对象生态系统和主体社会系统。

### 1.1 生态保护修复对象

山水林田湖草生态保护修复工程面向的是全域国土空间<sup>[10]</sup>。区别于以往单一类型的生态系统保护修复,当前生态保护修复的对象是山水林田湖草生命共同体,其本质是景观综合体。在这一生命共同体中,山、水、林、田、湖、草各要素基于地表过程耦合,相互作用并形成具有特定结构和功能的统一整体,并在人类社会经济活动影响下出现结构与功能变化。因此,保护与修复工作应具备特定空间范围属性,关注自然要素之间及其与人类活动的相互联系。

作为景观综合体,生命共同体是一个典型的由自然生态、社会经济因素共同驱动的复杂开放系统,具有自组织性、多稳态、非线性、阈值效应、历史依赖和不可预期等复杂系统特征<sup>[11]</sup>。除系统内部要素的相互作用以外,生命共同体本身也作为一个整体不断地与其他系统进行物质、能量和信息交换;不同的系统要素对整体功能的作用不一且在系统耦合过程中承担不同角色。生命共同体的系统要素类型按照功能和作用可以分为主导要素、缓冲要素等,按照要素间的影响则可以分为主动影响“源”和被动影响“汇”<sup>[12]</sup>。

系统组成要素和要素间相互作用的复杂性决定了山水林田湖草系统治理是一个从生命共同体整体性特征出发,综合考虑要素交互作用,整合、协同要素空间配置的动态优化过程。实施山水林田湖草生态保护修复时,不能忽视要素的联系将其简单分类治理(如山的治理、水的修复、林的保护等等),也不能采取“一视同仁”的治理方式,需要从生命共同体的系统性出发,根据要素耦合作用机制协调各类型要素,对生命共同体的修复目标、主导功能、环境影响、投入产出等进行综合分析,采取多要素关联、多过程耦合、多空间协同的系统治理措施,才能使生命共同体的整体结构与功能达到预期目标,实现系统的可持续发展。因此,系统治理成为山水林田湖草生态保护修复实施的必然途径。

### 1.2 生态保护修复主体

作为实施生态保护修复的主体,人类社会系统大多以有效恢复和维护生态系统完整性为目标<sup>[13]</sup>,但实施时却往往忽略了当前和未来人类活动对生态系统的影响,未能从修复成果的长时期特征出发,不具备前瞻性。随着人类文明从原始文明向工业文明、生态文明的转进,人与自然的关系经历了从服从、征服进而为协同的转变过程<sup>[14]</sup>。这一过程中,人与自然的耦合关系越发密切,人类活动的作用范围也由局部要素点对点的影响扩大到多要素、多区域的交互作用。人类的主观能动性正在显著影响和改变自然生态系统的结构和功能,自然、社会、经济系统相互作用形成了社会-生态复合系统<sup>[11]</sup>。社会-生态复合系统受到外界干扰后恢复能力存在弹性阈值,超过弹性阈值时系统可能丧失自我调节能力而崩溃<sup>[15]</sup>。而这一弹性阈值不仅仅由生态系统本底状态决定,更取决于社会系统对生态系统的作用方式、强度及持续时间。如果仅考虑恢复或重建生态系统的完整性,忽视了社会系统对生态系统的影响,山水林田湖草生态保护修复极易出现“修复-退化-再修复-再退化”的无效循环。因此,山水林田湖草生态保护修复在明确生命共同体作为治理对象的基础上,需关注人地关系,协同社会-生态复合系统共同发展。

由于山水林田湖草生命共同体是一个复杂系统,其对于社会系统的干预所产生的反馈也是非线性的。过去生态系统修复工作主要由单一生态环境管理部门负责统筹,各子部门独立开展工作,主要出于部门事权以单要素治理为主<sup>[16]</sup>,忽视了社会-生态过程耦合联系,缺乏对不同要素在生命共同体中的重要作用有所差异的科学认知。因此,早期工作易出现仅注重结构形态的表观治理,忽视生态过程修复,导致修复效果不佳。此外,非平衡的社会经济发展导致当前我国不同区域的发展阶段性存在较大差异。山水林田湖草系统治理不仅需要整合生命共同体自身的问题,同时需要关注社会系统对生态系统当前及未来的差异性需求。这同时也对社会系统内部有关生态系统结构、过程、服务的高效沟通、充分协调提出了更高的要求。因此,社会系统作为山水林田湖草治理的主体,需要基于系统性思维统筹全局、系统谋划、整合全社会的生态保护与修复需求。

## 2 山水林田湖草系统治理的实施思路

明确工程实施的范围、对象和内容是山水林田湖草系统治理的基础。山水林田湖草生命共同体是特定条件下不同类型生态系统在一定范围内相互作用形成的空间组合。流域作为陆地生态系统的基本单元<sup>[17]</sup>,具有完整的生态过程<sup>[18]</sup>,是山水林田湖草系统治理的最佳实施单元。通过关注流域内和流域间的生态系统结构、功能及其空间格局,有助于识别关键自然资源要素;同时,根据社会-生态过程的耦合特征以及要素的状态与重要性进行目标需求与约束条件整合,横向加强要素间的空间联系,纵向提升要素的生态效能,能够有效实现自然资源全要素治理。

### 2.1 基于要素识别的系统治理关键环节

从山水林田湖草生命共同体的系统性特征入手,将关键要素控制与全要素耦合相结合的治理方式是山水林田湖草系统治理的关键环节。也就是说,在控制景观综合体关键要素结构与功能的基础上,基于社会-生态过程识别关键要素耦合联系的自然资源要素并实现全要素综合治理,协同提升区域生态功能、生产功能和生活功能。

准确识别山水林田湖草生命共同体的关键要素是顺利推进系统治理的基础,关键要素通常对应较高的生态系统服务重要性、生态脆弱性,或有限的资源环境承载力,能够迅速响应环境变化并维持生态系统稳定性。由于人类生产生活对自然资源要素的高强度索取也易对景观综合体的稳定性造成负担,社会系统需求较高或增速较快的要素也应在治理时作为关键要素予以关注。此外,各要素在空间上通过物质与非物质的社会-生态过程彼此联系、互相作用。如关键要素与全要素的耦合机制遭到破坏,关键要素的退化将通过生态过程产生负向的“链条式反应”,对其他要素的结构与功能产生负面影响。因此,山水林田湖草的系统治理应根据生态过程和要素响应特征厘清所涉要素及其关联关系,着力推进关键要素识别与全要素耦合相结合的核心环节,切实保障系统治理的顺利推进。

### 2.2 面向社会需求的系统治理目标定位

尽管人类社会能够根据自身主观需求改造生态系统,但是在资源开发利用的方向、强度分异与自然资源本底限制的双重压力下,各项生态修复的资金、科技、人力等需求及投入均存在显著差异(图1)。因此,山水林田湖草系统治理的需求决定了生态保护修复的投入,该需求既取决于基于潜力发展的诉求,又受制于打破本底约束的压力。其中,基于潜力发展的需求主要依据问题导向和目标指向两大原则确定。前者多聚焦当下问题,后者则立足预期目标,面向未来发展愿景。考虑到山水林田湖草系统治理以及生态系统可持续性提升都是满足社会发展需求与人类福祉的保障,对生命共同体的认知在包含其生态系统要素关联本质的基础上还应关注社会系统,尤其是其空间维度。如果不考虑社会发展需求与人类福祉,山水林田湖草系统治理可能陷入“人为破坏-主动治理-自然恢复-再人为破坏”的恶性循环。生态文明建设是中华民族的千年大计,当前生态保护修复还肩负着脱贫攻坚、乡村振兴等国家重大责任。同时,考虑到我国幅员辽阔,人口分布和经济发展具有显著的空间不均衡特征,应特别根据主体功能区规划、生态功能区划、国民经济与社会发展规划等确定流域的“三生”功能,自上而下确定山水林田湖草生态保护修复预期目标,实施差别化的系统治理。此外,打破约束的压力同样源自生态系统和社会系统。生态系统中气候、土壤等非生物因素通常难以变更,构成生命共同体演化的“短板”要素,决定了区域自然恢复与人工修复能够达到的潜力和上限,而社会系统中的乡风民俗等文化传统短时间内也无法改变,也会对生态保护修复的成效产生长期影响。

自然资源本底现状的约束是山水林田湖草系统治理需要克服的首要压力。自然资源禀赋相对不足的区域往往具有修复难度大、脆弱性高、易受外界干扰并退化的特征,通常依赖于更高的治理成本。此时,社会系统与生态系统之间需要综合协调,适当调整社会经济发展方向,通过经济适当让步于生态或者加大资金、技术投入的形式使山水林田湖草生命共同体能够承载社会经济系统的发展压力。当前国土空间规划明确要求开展资源环境承载力评价和开发适宜性评价,从而明确国土开发的限制因子及适宜性;相应地,面向生态保护修

复的自然资源本底约束评价体系亦亟需建立,从而判别生态保护修复的潜力与压力,为合理确定人工干预规模与强度提供科学依据。

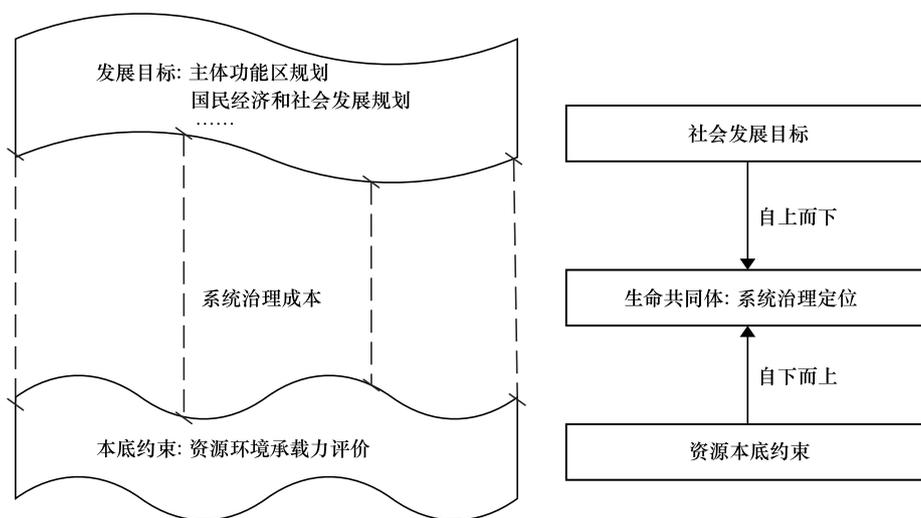


图1 山水林田湖草生态保护修复的目标定位

Fig.1 The goal of ecological protection and restoration for mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, and grasslands

### 2.3 抚仙湖流域系统治理要点

目前,抚仙湖流域的生态环境问题突出体现在以下四方面:首先,湖体生态环境脆弱。抚仙湖为贫营养湖泊,生态系统结构单一,流域库塘湿地生境受破坏严重<sup>[19]</sup>。同时,由于抚仙湖的上游湖泊——星云湖底泥污染严重、湖体水质差<sup>[20]</sup>,为保护抚仙湖水质,2009年以后星云湖不再向其补水,导致近年来抚仙湖水位下降。其次,入湖河流污染严重。抚仙湖补给河流马料河、路居河,星云湖主要补给河流东大河、西大河和大街河,水质均较差。再次,农田面源污染胁迫大。由于抚仙湖周边农田复种指数高,粗放的耕作方式造成化肥农药使用量大,加剧了面源污染风险<sup>[21]</sup>。最后,矿山裸露,植被覆盖率低<sup>[22]</sup>。流域内历史遗留的34个矿区不仅导致地表高度裸露,同时还造成流域东岸和北部矿区水土流失严重,水源涵养功能下降。面对这一系列的生态环境问题,在抚仙湖山水林田湖生态保护修复工程中,长期保持I级优质水资源被列为工程实施目标,识别流域重要生态环境问题是工程的实施基础,围绕关键要素确定系统治理对象则是工程的实施途径。

针对抚仙湖流域生态功能退化问题,抚仙湖山水林田湖生态保护修复工程将该流域的生态功能定位为关键水源涵养区与淡水供给区,将其生产、生活功能定位为生态农业区与绿色旅游区。为实现该目标,利用关键要素“湖”与“水”的生态过程串联山、林、田等要素,并将流域划分为湖体保护区、绿色发展区和水源涵养区,根据问题导向和目标指引原则,围绕“修山-保水-扩林-调田-治湖-护草”重点部署生态保护修复工程(图2),具体包括调田节水类、生境修复类、矿山修复与水源涵养类、控污治河类、湖泊保育与综合管理类等,从而构建“一湖三圈五区”流域生态保护修复格局<sup>[23]</sup>,横向上加强有利的生态过程与要素间联系,纵向上通过发展绿色生态农业、修山复林、治理湖泊提升要素的生态功能,从而达到保障抚仙湖流域现有的水源涵养功能,并满足区域社会、经济、生态可持续发展目标的需求。但从系统论视角来看,当前单要素的抚仙湖山水林田湖治理考核指标如矿山修复面积、农田整治面积、污染物排放削减量等,只能直观体现单一要素的结构与功能修复状况,无法表征多要素之间的权衡或者协同影响,亟需强化系统治理成效考核指标。

### 3 山水林田湖草治理的系统性考核

山水林田湖草生态保护修复的系统性考核,强调治理的系统性及其效能,该效能指系统治理目标和手段的正确性以及治理效果对人类福祉的有益性。山水林田湖草生态保护修复的直接目标是提升生态系统服务

潜在供给,但不同类型的生态系统服务之间往往存在不同程度的权衡与协同特征,例如供给服务的上升可能会增大调节服务下降风险。此外,生态系统服务权衡关系存在随时空尺度推移而同步变化的特征<sup>[24]</sup>,人类对经济、社会、生态的决策偏好也可能使山水林田湖草系统治理偏离总体效益最优的初衷。因此,充分考虑生态系统服务的权衡关系是山水林田湖草生态保护修复系统性考核的重要内容,也是确保其系统治理达到生态合理、经济有利、社会有效等综合目标的重要保障。

同时,山水林田湖草生态保护修复的效能评估还需要关注时间维度,强化社会-生态系统缓慢释放的“疗效”,因为社会文明演进、科学技术进步和生态系统整体功能改善均能够助力生态保护修复成效的长期提升。社会-生态过程中存在快变量和慢变量,快变量生态保护修复的响应时间较之慢变量短,对应的功能可以很快得到提升。例如,要素的数量比例和空间格局可在短时间内发生(人类期望的)变化,但区域整体功能的提升则需要相对漫长的时间;同时,人工修复可以较快实现要素结构与功能的提升,而自然恢复效果的彰显则可能需要历经数年甚至数十年。此外,相较而言,慢变量相较快变量往往对生命共同体的系统治理成效更具约束作用,但快变量与慢变量在时空尺度可能存在脱钩现象。因此,盲目追求短期考核指标(尤其是单要素及生态系统结构修复目标)的实现反而可能不利于生命共同体整体功能提升目标的达成;立足可持续性科学视角,考虑系统要素关联、空间协同特征的多目标、多维度、多属性、多过程的评估,应作为山水林田湖草生态保护修复系统性考核的基本途径。

山水林田湖草治理系统性考核框架的构建可以从理论与实践两方面考虑。理论上,依托生态系统的结构、功能特征及复杂程度,借鉴 Chorley 和 Kennedy 对自然地理系统的分类<sup>[25]</sup>,随着对系统结构-功能复杂度、要素关联紧密度认知的发展,可将山水林田湖草治理系统分作四级递进系统(图 3):(1)形态系统。“独以形似”的系统治理过程,即关注生命共同体中各要素及其相互的结构特征进行生态保护修复,如根据河道外形和内部结构确定稳定的河道形态进行水生态修复,将山水林田湖草视为一个靠物理要素和空间结构连接的松散系统;(2)级联系统。“重求神似”的系统治理过程,关注生态过程,侧重要素间物质、能量或信息流的动态联系,如移除水坝连通河流上下游,但容易囿于局部(两种特定生态系统服务的权衡关系)而忽视整体(景观功能);(3)过程-响应系统。“形神兼备”的系统治理过程,整合形态系统与级联系统,兼顾系统中的快慢变量,将生命共同体视作一个局地的、多子系统响应的、多生态过程耦合的动态生命系统,重视驱动因素及其响应结果;(4)控制系统。“以神调形”的系统治理过程,根据山水林田湖草系统治理的战略目标与定位,基于过程-响应系统中识别的关键要素与过程,强化系统治理的整体效能最优,关注系统内外统筹,并借助正负反馈调节对治理措施进行优化调整。考核山水林田湖草系

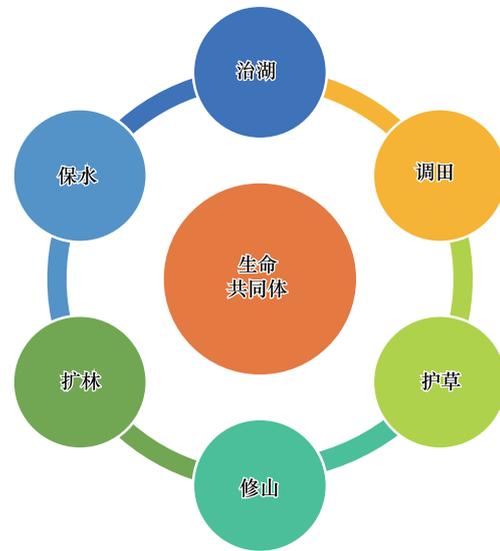


图 2 山水林田湖草生态保护修复工程推进思路  
Fig.2 The approach to conserving mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, and grasslands

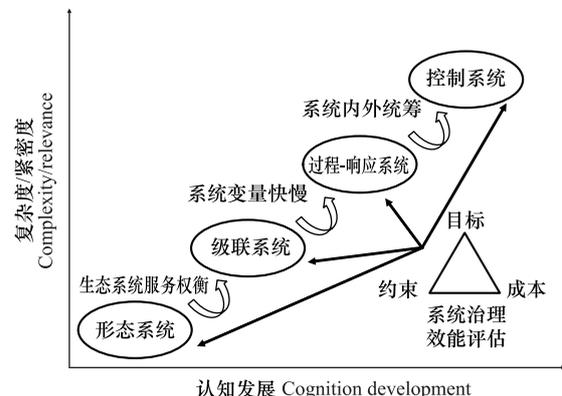


图 3 山水林田湖草治理系统及其考核  
Fig.3 The governance system and its assessment in mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, and grasslands

统治理效能时,可以依照“目标-约束-成本”对四级系统进行生态保护修复的系统性评估,即依据关键要素控制、全要素耦合相结合的系统治理思路,在考虑其自然约束条件的基础上,构建指标体系评估是否以最低的投入成本实现了山水林田湖草生态保护修复的系统目标。

实践中,山水林田湖草生态保护修复需要重点关注从空间关联视角审视流域内和流域间治理的系统性。流域内注重要素比例的“形似”优化及其空间布局,通过多目标协同途径综合把握生态系统服务之间的权衡与协同关系,在国土综合整治的平台上进行自然资源全要素治理、全过程恢复,从而通过“形神兼备”、“以神调形”的系统治理过程提升系统稳定性并达到整体效益最优。例如,抚仙湖流域通过控制“水”和“湖”两大关键要素,根据农田耕作、矿山开采、森林砍伐等社会-生态胁迫过程识别相应的响应要素将流域划分为山上水源涵养区、坝区绿色发展区和山下湖体保护区,并充分考虑了区域发展目标和气候、地形等自然条件约束,采取自然恢复和人工修复相结合的方式针对河流、农田、林地、矿山和居住用地等要素实施系统治理,降低生态保护修复成本。另一方面,流域间治理的系统性则主要关注抚仙湖流域与其他流域生态系统服务流的近、远程耦合,统筹水资源、水环境和水生态三方面的需求。例如,基于生态基流协调上下游生态环境需水量<sup>[26]</sup>,通过生态补偿统筹山上山下、流域上下游的系统治理。

#### 4 结语

山水林田湖草生态保护修复的成功路径在于多要素关联、多过程耦合、多空间协同的系统治理,而如何践行并评估治理的系统性则是当前亟待解决的一大难题。本研究初步探讨了山水林田湖草系统治理的必要性、实施思路和考核方法。基于系统性、整体性的概念辨析,指出山水林田湖草的生命共同体属性必须强化系统性才可打破现有治理困境,而生态保护修复对象与主体的系统性决定了系统治理的必要性。通过分析要素的属性和功能识别系统治理的关键环节,并结合社会需求确定系统治理的目标定位,提出基于关键要素控制与全要素耦合相结合的治理思路,进而以抚仙湖流域为例诠释山水林田湖草系统治理的实施途径。基于系统复杂度、紧密度及其认知,山水林田湖草生态保护修复可分为四级递进系统,而整合流域内外空间分异特征,基于“目标-约束-成本”框架可以实现山水林田湖草系统治理的效能评估。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 张笑千,王波,王夏晖.基于“山水林田湖草”系统治理理念的牧区生态保护与修复——以御道口牧场管理区为例.环境保护,2018,46(8):56-59.
- [ 2 ] 陈艳华,赖庆标.探索“山水林田湖”生命共同体村庄综合整治之路——福建省长汀县南山下村和半坑村的创新实践.中国土地,2017,(1):46-48.
- [ 3 ] 杨新民.“山水林田湖”美丽库区的实现路径——河南省移土培肥工程的探索.中国土地,2017,(2):46-48.
- [ 4 ] 邹长新,王燕,王文林.统筹设计 科学分区 强化管理——青海祁连山山水林田湖草生态保护与修复探索实践.中国生态文明,2019,(1):74-75.
- [ 5 ] 魏静,王欢元,孙增慧,张露.富平石川河的生态修复.生态学杂志.(2019-04-24)[2019-05-30].<https://doi.org/10.13292/j.1000-4890.201908.006>.
- [ 6 ] 王夏晖,何军,饶胜,蒋洪胜.山水林田湖草生态保护修复思路与实践.环境保护,2018,46(3):17-20.
- [ 7 ] Asokan V A, Yarime M, Onuki M. Bridging practices, institutions, and landscapes through a scale-based approach for research and practice: a case study of a business association in South India. Ecological Economics, 2019, 160: 240-250.
- [ 8 ] Delgado-Fernandez I, O'Keeffe N, Davidson-Arnott R G D. Natural and human controls on dune vegetation cover and disturbance. Science of the Total Environment, 2019, 672: 643-656.
- [ 9 ] 冯·贝塔朗菲.一般系统论:基础、发展和应用.林康义,魏宏森,译.北京:清华大学出版社,1987.
- [ 10 ] 王威,贾文涛.生态文明理念下的国土综合整治与生态保护修复.中国土地,2019,(5):29-31.
- [ 11 ] 孙晶,王俊,杨新军.社会-生态系统恢复力研究综述.生态学报,2007,27(12):5371-5381.
- [ 12 ] 马世骏,王如松.社会-经济-自然复合生态系统.生态学报,1984,4(1):1-9.
- [ 13 ] 李雅.绿色基础设施视角下城市河道生态修复理论与实践——以西雅图为例.国际城市规划,2018,33(3):41-47.

- [14] 蔡运龙. 人地关系研究范型: 哲学与伦理思辨. 人文地理, 1996, 11(1): 1-6.
- [15] 刘兴元, 龙瑞军, 尚占环. 青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互动机制. 生态学报, 2012, 32(24): 7688-7697.
- [16] 白中科, 周伟, 王金满, 赵中秋, 曹银贵, 周妍. 试论国土空间整体保护、系统修复与综合治理. 中国土地科学, 2019, 33(2): 1-11.
- [17] 陈求稳, 欧阳志云. 流域生态学及模型系统. 生态学报, 2005, 25(5): 1184-1190.
- [18] 孙然好, 程先, 陈利顶. 基于陆地-水生态系统耦合的海河流域水生态功能分区. 生态学报, 2017, 37(24): 8445-8455.
- [19] Li Y L, Gong Z J, Xia W L, Shen J. Effects of eutrophication and fish yield on the diatom community in Lake Fuxian, a deep oligotrophic lake in southwest China. *Diatom Research*, 2011, 26(1): 51-56.
- [20] 刘永, 余俊清, 张丽莎, 高春亮, 成艾颖. 近 60 年来星云湖沉积物中重金属污染记录. 盐湖研究, 2012, 20(2): 1-10.
- [21] 柴世伟, 裴晓梅, 张亚雷, 李建华, 赵建夫. 农业面源污染及其控制技术研究. 水土保持学报, 2006, 20(6): 192-195.
- [22] 赵敏慧, 杨树华, 王宝荣. 抚仙湖流域磷矿区不同植被类型的土壤磷素径流流失研究. 西部林业科学, 2006, 35(4): 45-50, 56-56.
- [23] 张惠远, 李圆圆, 冯丹阳, 郝海广. 明确内容标准 强化实施监管——山水林田湖草生态保护修复的路径探索. 中国生态文明, 2019, (1): 66-69.
- [24] 彭建, 胡晓旭, 赵明月, 刘焱序, 田璐. 生态系统服务权衡研究进展: 从认知到决策. 地理学报, 2017, 72(6): 960-973.
- [25] Chorley R J, Kennedy B A. *Physical Geography: A Systems Approach*. London: Prentice-Hall International Inc, 1971.
- [26] 王波, 何军, 王夏晖. 拟自然, 为什么更亲近自然? ——山水林田湖草生态保护修复的技术选择. 中国生态文明, 2019, (1): 70-73.