

doi: 10.12097/gbc.2023.02.024

# 自然资源-社会经济-生态系统耦合视角下的生态保护修复转型思考

王军<sup>1</sup>, 孙雨芹<sup>1\*</sup>, 杨智威<sup>2</sup>, 彭建<sup>2</sup>

WANG Jun<sup>1</sup>, SUN Yuqin<sup>1\*</sup>, YANG Zhiwei<sup>2</sup>, PENG Jian<sup>2</sup>

1. 自然资源部国土整治中心(自然资源部土地科技创新中心), 自然资源部土地整治重点实验室, 北京 100035;

2. 北京大学城市与环境学院, 自然资源部生态系统一体化修复与可持续利用工程技术创新中心, 北京 100871

1. Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation (Land Science and Technology Innovation Center), Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035, China;

2. Technology Innovation Center for Integrated Ecosystem Restoration and Sustainable Utilization of Ministry of Natural Resources, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

**摘要:** 自然资源、社会经济和生态系统相互作用、相互影响, 构成了动态演变的耦合系统。本文明晰了自然资源-社会经济-生态系统耦合视角下生态保护修复的认知内涵, 梳理了人地关系、社会-生态系统发展框架等耦合方法理论, 分析了当前国土空间生态保护修复工作中存在的不足, 主要体现在要素关联的系统性不足、空间尺度统筹的联动性不足、与社会可持续发展目标的协同性不足等。针对这些不足, 提出了耦合视角下生态保护修复转型的路径和策略, 包括强化系统目标进行模式与格局优化、跨层级联动统筹、高质量协同匹配等, 以期为新时期生态保护修复与生态文明建设提供科学依据。

**关键词:** 生态文明建设; 生态保护修复; 自然资源-社会经济-生态系统耦合; 转型策略

**中图分类号:** F205; X141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2024)08-1297-08

**Wang J, Sun Y Q, Yang Z W, Peng J. Thinking for the transformation of ecological protection and restoration in the coupled view. *Geological Bulletin of China*, 2024, 43(8): 1297-1304**

**Abstract:** Interactions among natural resources, socio-economic and ecological systems makes the resources, socio-economic and ecology as a coupled system. The coupled resources-socio-economic-ecological (REE) system were introduced for the cognitive connotation for ecological protection and restoration from the perspective of the coupled REE system. Based on the frontier research of coupled social-ecological system and the above cognitive connotation, we summarized three shortcomings of ecological restoration which were mainly reflected in the insufficient systemic nature of elemental association, insufficient spatial-scale integrated linkage and insufficient synergy with social sustainable development objectives. Therefore, we proposed the strategies for the transformation from coupling perspective in three aspects, including: ① strengthening systematic goals for pattern and pattern optimization, ② strengthening spatial linkage coordination among different scales, ③ enhancing matching with sustainable developing in high-quality synergy.

**Key words:** ecological civilization construction; ecological protection and restoration; coupled resources - socio-economic-ecosystem; transformation strategies

自工业革命以来, 人类对自然资源无节制地开发和利用导致地球系统许多组分发生巨大变化, 全球土地利用/覆被格局剧变及资源环境压力的累积, 产生了环境污染、生态系统破坏、生物多样性锐减等

收稿日期: 2023-02-13; 修订日期: 2023-03-29

资助项目: 自然资源科技战略研究《国土空间生态修复与生态系统关联耦合及提升策略研究》(编号: 2023-ZL-16)

作者简介: 王军(1970-), 男, 博士, 研究员, 从事景观生态学、国土整治与生态修复研究。E-mail: wangjun@lrcr.org.cn

\* 通信作者: 孙雨芹(1994-), 女, 博士, 工程师, 从事国土空间生态保护修复研究。E-mail: sunyuqin@lrcr.org.cn

一系列问题与挑战 (Foley et al., 2005; Luysaert et al., 2014)。当前,无论在区域或全球尺度,生态退化对人类社会的负向反馈效应,例如粮食危机、极端自然灾害事件频发等,已经造成了无法挽回的经济和生命安全损失,并将进一步威胁人类福祉的可持续实现。

生态保护修复是人类社会面对全球变化和生态退化的积极响应,生态保护修复的内涵也随着全球环境挑战的变化而不断变化,体现了生态保护修复主动求新、不断创新的转型过程 (Harris et al., 2006)。工业文明早期,生态保护修复以单一资源要素管理为导向,旨在修复某一类环境污染问题;20世纪中后期,生态保护修复从单一要素视角转向对自然生态系统的关注。联合国可持续发展大会宣布2021—2030年为“生态系统恢复十年”,旨在提高对成功恢复生态系统重要性的认识,以实现可持续发展目标 (彭建等, 2020a)。国际生态学家们倡议,以社会-生态系统 (social-ecological system, SES) 的视角推进联合国生态恢复十年计划 (Fischer et al., 2021)。面对21世纪新挑战,生态保护修复迫切需要以社会-生态系统综合视角统筹恢复生态系统的结构和功能,更加强调统筹考虑社会发展、经济发展和生态保护修复之间的内在联系,以改善人类福祉 (Kates et al., 2001; 彭建等, 2020b)。

党的二十大报告指出建设人与自然和谐共生的现代化,实现高质量发展须注重同步推进物质文明建设和生态文明建设。这就要求新时代自然资源管理需要系统性探索自然资源与生态、社会、经济之间的内在耦合关联及其演化发展规律,要求生态保护修复的对象由自然生态系统转变为人与自然生命共同体,在综合视角下实现保护与发展协同 (王军等, 2023)。社会-生态系统中的生态子系统包含了环境质量和生态系统等一系列生态环境要素,由此衍生出自然资源-社会经济-生态环境耦合系统。本文为突出生态系统作为国土空间生态保护修复的核心载体,重点考虑生态环境中的生态系统,将SES拆解为社会经济、自然资源和生态系统三部分,提出了自然资源-社会经济-生态系统耦合视角下的生态保护修复转型思考,阐述生态保护修复与社会和自然系统关联的认知,耦合系统相关的理论前沿,分析中国发展现状与不足,提出耦合视角下生态保护修复框架,以期为区域生态保护修复与生态文明建设的研究与实践提供参考。

## 1 自然资源-社会经济-生态系统耦合的关联认知

### 1.1 自然资源-社会经济-生态系统耦合视角

生态保护修复与社会系统、自然系统密切相关。水土气生矿各类自然资源要素是人类生存和发展的原始材料 (葛良胜等, 2020)。生态系统作为国土空间载体,是孕育自然资源的场所,自然资源的赋存、质量、分布等与生态系统类型直接相关,生态系统也是人类生存和发展的物理空间,为人类活动提供场所和服务流 (于贵瑞等, 2022)。社会生产活动的实质是通过一系列生产活动将当地自然资源转换为产品用于消费和贸易流通。在人类意识到自然资源的存在、重视资源并开发出利用资源的方法技术之后,环境物质才被赋予可用性,实现从“物质”到“资源”的转换。由此,自然资源得以在生态系统和社会系统之间流通。资源具有经济价值和社会效益,自然资源开发的深度和广度影响了社会经济的发展转型;同时,资源亦具有生态价值,自然资源的开发利用强度、过程等因素也改变了生态系统的结构、功能与服务,进而影响区域发展质量和人民健康。因此,自然资源具有自然、社会、经济、生态和环境多重基本属性 (葛良胜等, 2020)。自然资源的开发利用贯穿于生态系统和社会系统的全周期,使其成为连接社会经济活动和生态系统演变的枢纽,从而使自然资源、社会经济和生态系统组成了一个有机整体。耦合指2个或多个事物之间存在相互影响、相互作用的关系,将自然资源-社会经济-生态系统视作耦合系统是因为三者之间存在强关联和互补的特征,3个子系统均具有多稳态、非线性、不确定性、复杂性等属性,任一子系统及其任一组成部分的变化将引起其他子系统作出相应变化,自然资源-社会经济-生态系统 (Resources - Socio-economic - Ecosystem, REE) 的复合体可视为一个耦合系统。

### 1.2 REE耦合视角下生态保护修复转型内涵

在耦合视角下,生态保护修复转型兼具REE耦合系统的3个特征:一是都包含多源要素,REE耦合系统包含了自然资源、生态系统和社会经济三部分,以及相关的若干组成变量和参数。“山水林田湖草是一个生命共同体”理念明确了生态保护修复在国土空间体系下开展活动必须充分考虑自然资源和生态系统各要素的关联性和系统性,同时也强调坚持

绿色发展支撑人与自然和谐共生的现代化(王军等, 2020); 二是都具有空间属性, REE 耦合系统的要素演变和相互作用离不开国土空间作为载体, 其社会经济子系统都存在于一定的文化和政治背景中, 且具有较清晰的区域边界, 而自然和生态子系统具有模糊边界。REE 耦合系统的互馈机制包含直接相互作用和间接相互作用, 从邻域效应到远程耦合, 因空间距离的远近具有不同表现(Liu et al., 2007)。进行“山水林田湖草”整体保护、系统修复、综合治理强调格局完整、过程连续和功能匹配, 需要统筹考虑生态系统的无形边界和行政区域的有形边界, 充分考虑生态过程的空间尺度效应及其对国土空间生态安全格局的影响(白中科等, 2019; 顾恬玮等, 2023)。三是都存在权衡与协同。REE 耦合系统及生态保护修复均包含了生态系统服务之间权衡和协同的复杂关系。REE 耦合系统良好运行的核心是协调各个子系统及其内部单元组分的关系, 以实现可持续的惠益提升, 生态保护修复转型的目标是实现保护修复与社会经济发展协同, 以及人类福祉的可持续提升(王军等, 2019)。因此, 面向建设人与自然和谐共生的现代化的新挑战, 生态保护修复转型亟需把握耦合关系, 实现保护修复与社会经济协同发展, 以促进生态系统安全稳定和区域全面协调可持续发展(图 1)。

## 2 耦合视角生态保护修复的理论基础与研究框架

REE 耦合系统是人与自然相互作用的复合体,

是研究社会-生态双向互馈过程和耦合机制的关注热点, 也是指导自然资源管理与生态保护修复实践, 实现可持续发展的热点议题(傅伯杰, 2021)。地理学、生态学、经济学、社会学、土地科学等不同学科视角及多学科交叉的分析方法和研究框架逐渐发展, 对理解 REE 耦合系统的基本特征及其对生态保护修复的应用支撑至关重要(图 2)。

### 2.1 驱动力-压力-状态-影响-响应框架

驱动力-压力-状态-影响-响应(Driver-Pressure-State-Impact-Response, DPSIR)框架是为解决生态环境问题所设的管理模型, 为综合分析生态保护修复中的自然资源、社会、经济、环境与生态之间的关系提供了基本的分析框架, 将自然资源利用及其生态

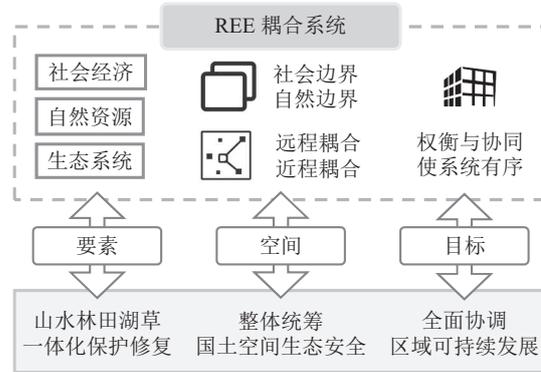


图 1 REE 耦合视角下生态保护修复转型内涵

Fig. 1 Transformation of ecological protection and restoration from the view of coupled resources – socio-economic-ecological system

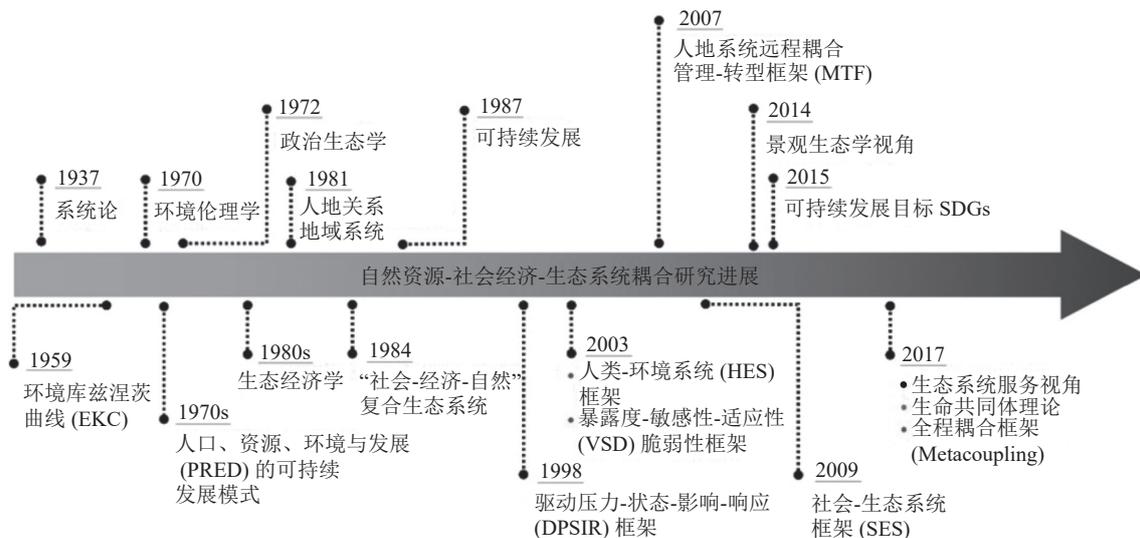


图 2 REE 耦合系统相关的理论发展和研究框架演化

Fig. 2 Evolution of theory and frameworks related with REE coupled system

环境影响、社会经济发展驱动、政策制定导向等按照因果顺序有机地整合在一起,有助于系统地分析社会-生态系统的可持续发展问题 (Gari et al., 2015)。DPSIR 作为一种分析复杂系统的启发式工具,能够描述人类活动和当前生态环境问题之间的联系,并帮助形成不同的决策方案。DPSIR 为每一个生态环境问题制定了因果结构链条,通过分析人类社会活动和这些生态环境问题之间的联系,评估当前的政策,并为政策形成或调整提供充分依据;同时,帮助确定管理和保护社会-生态系统的可行选择,提高社会适应能力和对外部驱动的弹性 (赵翔等, 2021)。

欧洲水框架指令是 DPSIR 框架最成熟的应用之一,其主要内容包括流域健康状况评估、污染减排措施、用水分析,以及利益相关方协商过程总结等,旨在统筹水资源的保护与利用,推动生态系统、流域环境的恢复与改善 (Schiff, 2017)。水框架指令明确了加强水资源可持续利用的政策方向,并将生态保护目标转向更加可持续的高质量环境创建和生态系统服务提升 (Gari et al., 2018)。DPSIR 还应用于陆地生态系统保护修复相关工作,例如欧洲环保署对土地利用导致的耕地退化现状进行评估,联合国环境规划署对消费和生产引起的环境影响进行的全球评估,为更全面地反映生态系统和人类社会的互动,并为管理决策提供重要信息。

## 2.2 人地关系地域系统

人地关系地域系统主要关注人类社会与自然生态的要素、结构和功能关联、相互作用及其演化过程,核心是理解人类系统和自然系统之间复杂的双向反馈机制,从而使人与自然的关系朝向可持续的协同方向发展 (Liu et al., 2007)。人地关系通过建立自然生态系统与社会系统变化的内在逻辑来对 REE 耦合系统解构,人口与社会经济要素为一端,资源与自然环境为另一端,双方之间及各自内部存在着多种直接反馈作用,并密切交织。在人地关系地域系统耦合视角下,可以将生态系统和人类系统分别作为景观生态学中的自然本底要素和周围环境要素耦合起来,两者不可分割,共同塑造景观的格局和过程。生态系统服务作为连接自然生态系统与社会经济系统的纽带与桥梁,为推动形成“格局-过程-服务-可持续性”的人地关系地域系统耦合研究框架提供了重要支撑 (彭建等, 2020a; 赵文武等, 2020)。

人地系统通过构建各类相关资源之间,以及资源与其所在国土空间载体的耦合关联,从而找到优化国土空间格局、保障生态安全的有效方法以应对资源可持续利用等发展问题。人地系统的运用案例涵盖了农村生产-生活-生态“三生”空间格局优化和全域土地综合整治 (Yang et al., 2020)、农业灌溉分水方案优化和科学实施生态工程恢复流域下游绿洲 (Wang et al., 2019)、缺水型城市应对气候变化 (Hale et al., 2015)。人地系统耦合研究在生态保护修复的应用出口主要在生态保护修复的过程机理、空间格局、用途管制等方面,要素关联体现在生态修复中山水林田湖草沙多要素间的相互作用,为实施全域、全要素、全过程生态修复提供理论基础;生态系统服务则从强化协同、缓解权衡导向管治分区,为优化国土空间开发保护格局提供决策途径 (彭建等, 2020b; 刘焱序等, 2021)。

## 2.3 社会-生态系统框架

社会-生态系统的概念突出了环境和社会变化的相互关联,社会-生态系统分析框架 (Social-Ecological System Framework, SESF) 将人类社会和生态系统交互过程中涉及的所有资源囊括其中,形成一个多维耦合互动的有机体。SESF 为综合分析生态环境管理中的社会、经济、资源与生态环境之间的关系提供了一个基本的分析框架,可用于识别影响复合系统动态变化的变量,揭示变量间的相互作用机制 (Ostrom, 2009; McGinnis et al., 2014)。SESF 帮助分析资源和生态子系统与社会经济子系统的联系和相互作用,对耦合系统的解构是将生态分为宏观的生态地理背景条件和山水林田湖草生命共同体形成的自然生态子系统。将社会经济子系统分为宏观的社会背景条件,以及由开采、利用、管理等涉及资源的人类活动 (杜银龙等, 2024)。这种多层次网状结构的设计使自然资源、社会经济和生态系统的相关数据都能得以应用,对 REE 各要素的解构程度基本一致。

对于生态保护修复,社会-生态系统分析框架中自然生态子系统集成了特定区域各类自然资源要素和生态系统类型,社会子系统包括了政府、专家、企业、当地社区等利益相关方和保护修复的行动者。叶艳妹等 (2019) 在钱塘江源头区域山水林田湖草生态修复工程中应用 SESF 框架形成了一套完整的技术体系,从社会-生态系统失衡的问题诊断、行动情

景设置形成实施和解决问题策略、动态评估生态环境和社会经济效果,为一体化生态保护修复实践探索提供了系统解决方案。Qiu et al. (2022) 基于 SESF 框架,综合石漠化、森林覆盖等生态指标,家庭收入、文化、互动等社会经济指标及生态系统服务等社会生态指标,梳理喀斯特地区近 20 年生态保护修复成效,揭示生态保护修复措施对脱贫和共同富裕的惠益。

### 3 当前生态保护修复中存在的不足

#### 3.1 要素关联的系统性不足

早期对于山、水、林、田、湖、草等自然要素管理仍存在基础调查标准不一、调查工作重叠、评价体系不完善等问题,一些生态修复工程中“多要素简单加和”和“碎片化”的现象仍然存在(白中科等, 2019)。耦合系统的要素与要素、要素与系统、系统与系统之间均存在相互关联、相互制约的关系,山水林田湖草共同体各要素彼此相互作用、相互影响,若单纯按要素分类治理,忽视系统的要素关联管理,破坏要素之间的相互作用和影响规律,将导致新的生态问题。早期黄土高原的退耕还林工程采用单一树种,以恢复植被覆盖为单一目标,虽然减少了水土流失,但后期纯林导致了生物多样性单一,生态系统韧性下降,对生态系统的负面影响逐渐显现(Feng et al., 2016; Fu et al., 2017; 郭迟辉等, 2023)。

当前生态保护修复的对象已由自然生态系统拓展到自然生态系统和社会经济的复合体,要素系统性也体现在生态系统与社会经济各要素的有机结合。生态保护修复应统筹考虑社会经济要素的制约和反馈,以及收入、替代生计等民生议题。例如,黄土高原退耕还林还草工程使农村大量剩余劳动力从务农转向非农活动或外出务工,家庭从业和收入结构发生根本性变化的同时也减轻了土地压力(Wu et al., 2019)。

#### 3.2 多尺度统筹的联动性不足

目前生态保护修复对多尺度统筹的联动性不足,对不同距离下生态保护修复涉及的各要素间相互作用的理解不够深入。从自然地理的视角看,不同区域的资源禀赋、生态本底和社会文化背景存在差异。生态系统的整体性与行政管辖边界的不重合造成了生态保护修复空间尺度的不匹配(王军等, 2017)。例如,黑河流域中游耕地面积不断扩大,为保障粮食灌溉从黑河引水量增加,造成流域下游湖泊

干涸,绿洲生态工程种植的胡杨林枯死(Wang et al., 2019)。

不同空间尺度下,生态保护修复的设计、施策、管理和评估仍缺乏相对统一的统筹协调,导致了空间距离较远、尺度较大的作用过程易受忽略。以黄河流域为例,黄土高原一系列生态保护修复措施提升水土保持和碳封存功能,同时惠益了临近地区,但早期不合理的生态工程布局也会影响区域水资源的可持续性,地表径流和黄河泥沙量的减少给下游带来了河床升高、三角洲侵蚀等新的生态问题,进而影响到黄河流域水资源安全(Liang et al., 2015; Feng et al., 2016)。

#### 3.3 与社会可持续发展目标的协同性不足

在严峻的全球环境问题与经济新常态转型升级背景下,过去几十年以小尺度工程实施和单一生态恢复目标为导向的修复行动,忽略了社会经济多项驱动与胁迫的共同影响。例如,片面追求固碳效益而栽培单一树种人工林将损害生物多样性,生态保护修复与社会经济可持续发展协同性不足的后果逐渐暴露,追求单一的生态效益无法支撑可持续发展(Fischer et al., 2021)。

黄土高原局部地区过度退耕还林还草,局部地区出现耕地短缺,导致人-地-粮食关系的矛盾日益凸显,丘陵沟壑区经济社会落后于黄土塬区,又进一步加剧了丘陵沟壑区农村空心化,农村不可持续发展问题日益突出(陈怡平等, 2019)。生态保护修复与可持续发展的协同性强调只有生态恢复的行动与人类生计密切相关,生态系统健康与服务才可能维持(王军等, 2019)。

## 4 关于生态保护修复的启示

如何在修复生态系统的同时促进多利益相关方实现可持续发展,仍然是当前生态保护修复面临的主要挑战(Peng et al., 2024)。自然资源-社会经济-生态系统耦合视角下的生态保护修复转型的核心,就在于融合生态和社会的需求与挑战,统筹考虑要素关联的系统性、空间尺度的整体性和系统演变的协同性,使耦合系统朝向协调有序的方向演变,恢复和维持生态系统的健康和稳定性,进而实现人类福祉提升和可持续发展(图 3)。

#### 4.1 强化系统目标,健全全要素关联链条

以自然资源-社会经济-生态耦合系统为对象,

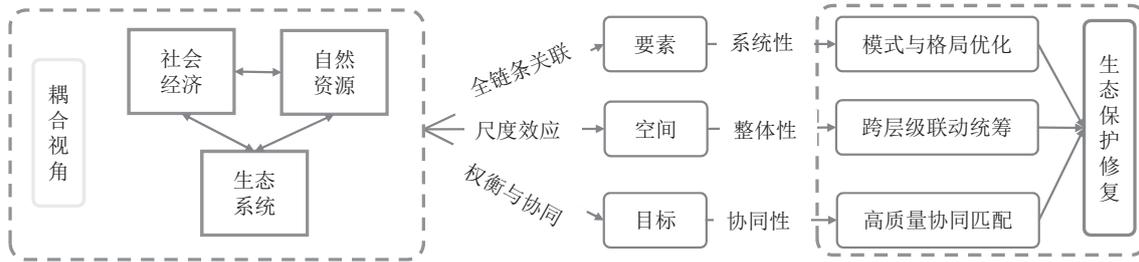


图3 耦合视角下生态保护修复转型策略

Fig. 3 Strategy for the transformation of ecological protection and restoration in the coupled view

贯彻“生命共同体”系统思维,在微观结构方面,生态保护修复目标为子系统中要素的变化使得系统在宏观上更加有序。例如,在历史遗留矿山生态保护修复时,基于当地参照系统帮助设计保护修复目标参考指标和参考值,评估重点物种种群的栖息地需求,把握生态系统恢复过程和预测未来趋势,借助自然和辅助措施的潜力使系统能恢复到正向演替的轨道上;在宏观结构方面,通过自然资源的现状与属性,以及生态系统结构、功能与服务分析,研究各要素间的相互作用关系及生态环境效应建立适宜的生态恢复模式(白中科等,2019;周妍等,2021)。总体来看,以系统观健全要素关联,一是立足于国土空间内部及其相互之间的全要素、全区域和全周期,深入分析山水林田湖草沙各自然要素之间的相互作用,科学掌握资源与生态关联链条机制,综合各类资源生态效益,优化生态保护修复格局;二是有机衔接自然生态子系统和社会经济子系统间的相互作用,优化国土空间格局,服务高质量发展。

#### 4.2 重视空间层次,加强整体联动统筹

REE耦合系统的变化受多种因素的共同影响,局部过程的形成受大尺度甚至全球过程的影响。耦合视角的空间维度一方面是重视自然地理单元的连续性和生态系统的完整性,另一方面是关注REE耦合系统内部社会经济与自然生态的相互作用也会跨越系统边界对外溢系统产生溢出效应。以整体观加强空间联动统筹,一是强调全域整体性,坚持顶层规划指引,加强片区合作、区域协同、流域统筹,促进互联互通;二是科学认识不同空间尺度REE耦合系统的联动,尤其关注大规模生态保护修复工程的空间外溢影响,优化生态安全屏障和生态功能格局,促进形成网络化国土生态安全格局。

#### 4.3 科学理解权衡,促进高质量协同发展

近年来实施的山水林田湖草沙一体化保护修

复、历史遗留矿山生态保护修复、矿山地质环境保护与土地复垦、全域土地综合整治等生态保护修复项目中不断融入了乡村振兴、生态产品价值实现等社会经济目标(Peng et al., 2023)。例如,土地整治项目通过调整结构和优化布局以激活乡村产业、人口等社会经济要素,有力促进了土地集约节约、保障了国家粮食安全。耦合视角的协同性体现在生态保护修复的问题诊断、方案制定、评估和管理中融入资源禀赋、生态本底、社会经济等多维度,促进社会-生态系统可持续发展(王军等,2019)。一是关注生态保护修复对区域生态系统服务的影响,研究生态系统服务权衡与协同的表现类型,服务于产业结构调整、空间格局优化和社会保障措施制定;二是在生态保护修复中整合社会经济发展战略需求,寻求自然系统与社会系统对自然资源利用的平衡和优化,并建立健全解决社会系统和自然系统冲突的机制,实现自然资源-社会经济-生态系统的耦合协调,促进持续的高质量发展。

#### References

- Bai Z K, Zhou W, Wang J M, et al. 2019. Overall protection, systematic restoration and comprehensive management of land space[J]. *China Land Science*, 33: 1-11 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y P, Zhang Y. 2019. Sustainable model of rural vitalization in hilly and Gully region on Loess Plateau[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 34(6): 708-716(in Chinese with English abstract).
- Du Y L, Wang Y L, Li R J, et al. 2024. Constructing a county-level landscape ecological restoration pattern of agricultural and forestry interlacing based on the "Source-Sink" theory: A case study of Oroqen Banner[J]. *Geological Bulletin of China*, 43(2/3): 463-473 (in Chinese with English abstract).
- Feng X, Fu B, Piao S, et al. 2016. Revegetation in China's Loess Plateau is approaching sustainable water resource limits[J]. *Nat. Clim. Change*, 6: 1019-1022.
- Fischer J, Riechers M, Loos J, et al. 2021. Making the UN Decade on Ecosystem Restoration a Social-Ecological Endeavour[J]. *Trends*

- Ecol. Evol.*, 36: 20–28.
- Foley J A, Defries R, Asner G P, et al. 2005. Global Consequences of Land Use[J]. *Science*, 309: 570–574.
- Fu B, Wang S, Liu Y, et al. 2017. Hydrogeomorphic Ecosystem Responses to Natural and Anthropogenic Changes in the Loess Plateau of China[J]. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 45: 223–243.
- Fu B. 2021. Several Key Points in Territorial Ecological Restoration[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 36(1): 64–69.
- Gari S R, Newton A, Icelly J D. 2015. A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social–ecological systems[J]. *Ocean Coast Manag.*, 103: 63–77.
- Gari S R, Ortiz Guerrero C E, Auribe B, et al. 2018. A DPSIR–analysis of water uses and related water quality issues in the Colombian Alto and Medio Dagua Community Council[J]. *Water Sci.*, 32: 318–337.
- Ge L S, Xia R. 2020. Research on comprehensive investigation work system of natural resources[J]. *Journal of Natural Resources*, 35(9): 2254–2269.
- Gu T W, Peng J, Jiang H, et al. 2023. Watershed–based territorial ecological restoration: Theoretical cognition and key planning issues[J]. *Journal of Natural Resources*, 38(10): 2464–2474.
- Guo C H, Zhang M S, Wang Y, et al. 2023. Ecological restoration of China's territorial space in Yulin section of the Yellow River Basin through nature–based solutions[J]. *Geological Bulletin of China*, 42(10): 1745–1756(in Chinese with English abstract).
- Hale R L, Armstrong A, Baker M A, et al. 2015. iSAW: Integrating Structure, Actors, and Water to study socio–hydro–ecological systems[J]. *Earths Future*, 3: 110–132.
- Harris JA, Hobbs RJ, Higgs E, et al. 2006. Ecological Restoration and Global Climate Change[J]. *Restor. Ecol.*, 14: 170–176.
- Kates RW, Clark WC, Corell R, et al. 2001. Sustainability science[J]. *Science*, 292: 641–642.
- Liang W, Bai D, Wang F, et al. 2015. Quantifying the impacts of climate change and ecological restoration on streamflow changes based on a Budyko hydrological model in China's Loess Plateau: Streamflow response to climate change/ecological restoration[J]. *Water Resour. Res.*, 51: 6500–6519.
- Liu J, Dietz T, Carpenter S R, et al. 2007. Complexity of Coupled Human and Natural Systems [J]. *Science*, 317: 1513–1516.
- Liu Y X, Fu B J, Wang S, et al. 2021. Review and prospect of the water–food–ecosystem nexus in dryland's Coupled Human–Earth System[J]. *Geographical Research*, 40(2): 541–555.
- Luyssaert S, Jammot M, Stoy P C, et al. 2014. Land management and land–cover change have impacts of similar magnitude on surface temperature[J]. *Nat. Clim. Change*, 4: 389–393.
- Mcginness M D, Ostrom E. 2014. Social–ecological system framework: initial changes and continuing challenges[J]. *Ecol. and Soc.*, 19(2): 30.
- Ostrom E. 2009. A General Framework for Analyzing Sustainability of Social–Ecological Systems[J]. *Science*, 325: 419–422.
- Peng J, Lyu D N, Dong J Q. 2020a. Processes coupling and spatial integration: Characterizing ecological restoration of territorial space in view of landscape ecology[J]. *Journal of Natural Resources*, 35(1): 3–13 (in Chinese with English abstract).
- Peng J, Li B, Dong J Q. 2020b. Basic Logic of Territorial Ecological Restoration[J]. *China Land Science*, 34(5): 18–26 (in Chinese with English abstract).
- Peng J, Tang H, Su C, et al. 2023. Regarding reference state to identify priority areas for ecological restoration in a karst region[J]. *Journal of Environmental Management*, 348: 119214.
- Peng J, Liu X, Gu T, Fu B. 2024. Developing integrated geography to support the “Community” visions [J/OL]. *Science Bulletin*, <https://doi.org/10.1016/j.scib.2024.01.003>.
- Qiu S, Peng J, Zheng H, et al. 2022. How can massive ecological restoration programs interplay with social–ecological systems? A review of research in the South China karst region[J]. *Sci. Total Environ.*, 807: 150723.
- Schiff J S. 2017. The evolution of Rhine river governance: historical lessons for modern transboundary water management[J]. *Water Hist.*, 9: 279–294.
- Wang J, Zhong L N. 2017. Current status and prospects for practical research of landscape ecology in land consolidation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 37(12): 3982–3990(in Chinese with English abstract).
- Wang J, Zhong L N. 2019. Application of ecosystem service theory for ecological protection and restoration of mountain–river–forest–field–lake–grassland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 39(23): 8702–8708 (in Chinese with English abstract).
- Wang J, Ying L X, Zhong L N. 2020. Thinking for the transformation of land consolidation and ecological restoration in the new era[J]. *Journal of Natural Resources*, 35: 26–36 (in Chinese with English abstract).
- Wang J, Peng J, Fu B J. 2023. Integrated Ecological Protection and Restoration in the Guangdong–Hong Kong–Macao Greater Bay Area: Thoughts and Suggestions (in Chinese with English abstract) [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 38(2): 288–293.
- Wang S, Fu B, Bodin Ö, et al. 2019. Alignment of social and ecological structures increased the ability of river management[J]. *Sci. Bull.*, 64: 1318–1324.
- Wu X, Wang S, Fu B, et al. 2019. Pathways from payments for ecosystem services program to socioeconomic outcomes[J]. *Ecosyst Serv.*, 39: 101005.
- Yang Y, Bao W, Liu Y. 2020. Coupling coordination analysis of rural production–living–ecological space in the Beijing–Tianjin–Hebei region[J]. *Ecol. Indic.*, 117: 106512.
- Ye Y M, Lin Y B, Liu S C, et al. 2019. Social–ecological system (SES) analysis framework for application in ecological restoration engineering of mountains–rivers–forests–farmlands–lakes–grasslands: Utilizing the source area of Qiantang River in Zhejiang Province as an example[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 39(23): 8846–8856(in Chinese with English abstract).
- Ying L X, Wang J, Zhou Y. 2019. Ecological–environmental problems and solutions in the Minjiang River basin, Fujian Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 39(23): 8857–8866(in Chinese with English abstract).
- Yu G R, Yang M. 2022. Ecological economics foundation research on

- ecological values, ecological asset management, and value realization: Scientific concepts, basic theories, and realization paths[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 33(5): 1153-1165 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Y, Chen Y, Ying L X. 2021. A technical framework for ecosystem conservation and restoration [J]. Earth Science Frontiers, 28: 14-24.
- Zhao W W, Hou Y Z, Liu Y X. 2021. Human-natural coupling system for sustainable development: Framework and progress[J]. Science and Technology Review, 38(13): 25-31(in Chinese with English abstract).
- Zhao X, He G Z. 2021. Review on the DPSIR research based on CiteSpace[J]. Acta Ecologia Sinica, 41(16): 6692-6705(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白中科, 周伟, 王金满, 等. 2019. 试论国土空间整体保护、系统修复与综合治理[J]. 中国土地科学, 33: 1-11.
- 陈怡平, 张义. 2019. 黄土高原丘陵沟壑区乡村可持续振兴模式[J]. 中国科学院院刊, 34: 708-716.
- 杜银龙, 王永亮, 李瑞嘉, 等. 2024. 基于“源-汇”理论构建农林交错的县域景观生态修复格局——以鄂伦春旗为例[J]. 地质通报, 43(2/3): 463-473.
- 傅伯杰. 2021. 国土空间生态修复亟待把握的几个要点[J]. 中国科学院院刊, 36: 64-69.
- 葛良胜, 夏锐. 2020. 自然资源综合调查业务体系框架[J]. 自然资源学报, 35: 2254-2269.
- 郭迟辉, 张茂省, 王尧, 等. 2023. 基于自然解决方案的黄河中游国土空间生态修复——以陕西榆林国土空间生态修复为例[J]. 地质通报, 42(10): 1745-1756.
- 顾恬玮, 彭建, 姜虹, 等. 2023. 流域国土空间生态修复: 理论认知与规划要点[J]. 自然资源学报, 38(10): 2464-2474.
- 刘焱序, 傅伯杰, 王帅, 等. 2021. 旱区人地耦合系统水-粮食-生态关联研究述评[J]. 地理研究, 40: 541-555.
- 彭建, 吕丹娜, 董建权, 等. 2020a. 过程耦合与空间集成: 国土空间生态修复的景观生态学认知[J]. 自然资源学报, 35: 3-13.
- 彭建, 李冰, 董建权, 等. 2020b. 论国土空间生态修复基本逻辑[J]. 中国土地科学, 34(5): 18-26.
- 王军, 钟莉娜. 2017. 景观生态学在土地整治中的应用研究进展[J]. 生态学报, 37: 3982-3990.
- 王军, 钟莉娜. 2019. 生态系统服务理论与山水林田湖草生态保护修复的应用[J]. 生态学报, 39: 8702-8708.
- 王军, 应凌霄, 钟莉娜. 2020. 新时代国土整治与生态修复转型思考[J]. 自然资源学报, 35: 26-36.
- 王军, 彭建, 傅伯杰. 2023. 关于粤港澳大湾区一体化生态保护修复的思考与建议[J]. 中国科学院院刊, 38(2): 288-293.
- 叶艳妹, 林耀奔, 刘书畅, 等. 2019. 山水林田湖草生态修复工程的社会-生态系统 (SES) 分析框架及应用——以浙江省钱塘江源头区域为例[J]. 生态学报, 39: 8846-8856.
- 于贵瑞, 杨萌. 2022. 自然生态价值、生态资产管理及价值实现的生态经济学基础研究——科学概念、基础理论及实现途径[J]. 应用生态学报, 33: 1153-1165.
- 周妍, 陈妍, 应凌霄, 等. 2021. 山水林田湖草生态保护修复技术框架研究[J]. 地学前缘, 28: 14-24.
- 赵文武, 侯焱臻, 刘焱序. 2020. 人地系统耦合与可持续发展: 框架与进展[J]. 科技导报, 38(13): 25-31.
- 赵翔, 贺桂珍. 2021. 基于 CiteSpace 的驱动力-压力-状态-影响-响应分析框架研究进展[J]. 生态学报, 41(16): 6692-6705.