

# 省级次区域国土生态空间格局构建与管控政策\* ——以川西北生态示范区为例

The Construction and Control Policy of the Ecological Spatial Pattern of the Provincial Sub-regions: A Case Study of Northwestern Sichuan

颜文涛 陈 卉 万山霖 李子豪 王雨琪 李思静 孙 荣 YAN Wentao, CHEN Hui, WAN Shanlin, LI Zihao, WANG Yuqi, LI Sijing, SUN Rong

**摘 要** 面对现有区域生态空间格局构建方法跨尺度研究较少、生态系统服务(以下简称“ESs”)评价阈值设置存在不确定性和主观性、生态空间管控政策有待明确等问题,以川西北省级次区域为例,在测度水源涵养、水土保持、气候调节和生物多样性维护4项ESs供应水平的基础上,根据生态空间供应ESs的累计功能特征,提出生态系统服务重要性分级的评价方法,进行ESs重要性的单项和集成评价,识别四级生态优先区和两级生态廊道,构建符合生态战略一致性检验的区域生态空间格局,进而提出生态空间的分区分管政策。以期为跨尺度、跨区域生态空间格局提供理论和方法支撑。

**Abstract** Faced with problems such as rapid urbanization squeezing out ecological space and leading to a decline in the supply of ecosystem services (ESs), the existing methods for constructing regional ecological spatial patterns still have research gaps, such as few cross-scale studies, uncertainty and subjectivity in threshold setting, and ambiguous control policies. Taking the provincial sub-regions of northwestern Sichuan as an example, on the basis of measuring the supply level of four ESs of water conservation, soil and water conservation, climate regulation and biodiversity maintenance, it is the first time to propose the method for determining the importance classification evaluation based on the efficiency characteristics of the ESs supply of ecological space. On this basis, the importance of individual and integrated evaluation of the importance of the ESs is carried out. This paper then identifies four-level ecological priority areas and two-level ecological corridors, constructs a regional ecological spatial pattern that conforms to the consistency test of ecological strategies, and proposes targeted zoning management and control policies. It is expected to provide theoretical and methodological support for constructing a cross-scale and cross-regional ecological spatial pattern that improves the supply capacity and efficiency of ESs.

**关键词** 生态空间格局;生态系统服务;测度与评价;管控政策;省级次区域

**Key words** ecological spatial pattern; ecosystem services; measurement and evaluation; management and control policies; provincial sub-regions

文章编号 1673-8985 (2021) 03-0008-10 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. sup. 20210302

## 作者简介

### 颜文涛

同济大学建筑与城市规划学院  
高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室  
教授,博士生导师

### 陈 卉

同济大学建筑与城市规划学院  
博士研究生

### 万山霖

同济大学建筑与城市规划学院  
硕士研究生

### 李子豪

同济大学建筑与城市规划学院  
硕士研究生

### 王雨琪

同济大学建筑与城市规划学院  
硕士研究生

### 李思静

同济大学建筑与城市规划学院  
硕士研究生

### 孙 荣(通信作者)

华侨大学化工学院  
副教授,博士, sunrong@hqu.edu.cn

## 0 引言

国土生态空间是相对城镇空间和农业空间而言的,以为人们提供生态系统服务为主导功能,空间分布完整、连续,是保障区域生态安全、提升人类生活福祉不可或缺的重要空间<sup>[1-2]</sup>。我国快速城市化进程中,高强度的城镇开发建设占用了大量生态空间,导致生态空间结构破碎化,难以形成完整的生态空间网络结构,不利

\*基金项目:中国国土勘测规划院外协资助项目“城市生态空间网络结构优化与规划管控对策”(编号20201811413);上海同济城市规划设计研究院有限公司暨长三角城市群智能规划协同创新中心科研项目(编号KY-2019-YB-A05)资助。

于生态过程的形成与维护,严重影响生态系统服务效用的发挥<sup>[3]407, [4]</sup>。为此,党的十八大报告提出生态文明建设要求,首要任务便是优化国土空间开发格局。2018年全国生态环境保护大会总结了“习近平生态文明思想”“绿水青山就是金山银山”的发展理念,表明了自然生态要素在新时代社会经济发展中的重要价值。生态空间格局的构建和管制是生态文明建设和国土空间管制的重要内容。

国内外与生态空间格局内涵相似的概念有主要关注自然保护和生态系统服务支撑等重要生态功能的生态网络与绿色基础设施,以及关注生态空间格局与生态过程耦合的生态安全格局等<sup>[3]409</sup>。区域生态空间格局的构建,依据景观生态学原理,分为3个步骤:源地识别、廊道构建和战略点设置。生态源地识别分为两种方法:(1) 定性直接识别,即依据自然保护区、国家公园和风景名胜核心区等政策类生态空间要素选定<sup>[3]410, [5]235</sup>;(2) 综合指标评价,指标分为生态敏感性<sup>[6-7]</sup>、生态空间重要性<sup>[8]473, [9]444</sup>和景观连通性<sup>[8]474</sup>等多维度,以及Marxan软件<sup>[10]</sup>等方法定量判定优先区。生态廊道构建的常用方法为最小阻力模型<sup>[11]</sup>、图论分析<sup>[12-13]</sup>、重力模型和网络结构<sup>[14]</sup>等。战略点设置则主要选择廊道交汇点、生态敏感区和脆弱区、生物多样性保护和自然地理等对区域生态安全具有重要战略意义的节点<sup>[3]410</sup>。在这一过程中,生态系统服务(Ecosystem Services, ESs)概念逐渐受到关注和应用,并被纳入国土空间规划编制中的“双评价”体系中,在生态空间格局规划中引入生态系统服务概念仍是当前的研究热点<sup>[15]</sup>。生态空间格局构建的研究成果已在国家、省级主体功能区划和生态功能区划<sup>[16-17]</sup>,以及城市群<sup>[9]441</sup>、市域规划实践中被广泛认可和运用。目前,生态空间格局构建还存在以下不足:对跨尺度、跨行政边界的研究较少,生态系统和自然地理格局的空间连续性,以及生态系统服务的空间流动性,决定了生态空间格局构建不应完全受行政边界制约;生态系统服务重要性评价阈值,如生态安全格局和阻力面等阈值设定具有较大的主观性;管控政策和权责边界问题不明确等。

为填补上述研究缺口,本文以川西北省级次区域为例,以承接国家和区域生态战略要求为目标,测度水源涵养、水土保持、气候调节和生物多样性维护等关键ESs供应水平,提出基于重要阈值点的ESs重要性评价方法,识别生态优先区和生态廊道,形成生态空间格局,并与生态战略要求进行一致性检验,以期为省级次区域构建有效的生态空间格局、提出精细化的分级管控体系政策提供指引。

## 1 川西北省级次区域的国家生态保护战略

### 1.1 川西北省级次区域现状概况

省级次区域是介于省级和市级之间的区域规划范围。省级次区域规划属于国土空间规划体系中的省级专项规划,兼具“省级”和“专项”的特点。一方面,需立足于省级层面,以事权对应为基本原则统筹协调各类国土空间要素,承上启下,落实上位规划、指导下位规划;另一方面,编制次区域特点针对性更强的“区域规划”。2013年颁布的《四川省主体功能区规划》划定了成都平原、川东北、川南和攀西4个次区域,其余的阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州构成川西北地区。作为四川省重点生态功能区,川西北次区域的主体功能定位是建设生态文明和人与自然和谐相处的生态示范区。

川西北地区幅员面积23.26万km<sup>2</sup>,占四川省总面积的47.90%。其中,农林用地和自然保护区共23.20万km<sup>2</sup>,约占次区域的99.70%;建设用地为670.00 km<sup>2</sup>,仅占0.30%。川西北地区位于川滇青甘藏五省(区)结合部,地处四川盆地与青藏高原连接地带,境内高山峡谷、高原和山原等复杂地貌相间,是长江、黄河两大水系主要的水源涵养地,肩负着建设长江黄河上游生态屏障、维系川滇多样性生态和维护国家生态安全的重大使命(见图1)。然而,现状存在建设用地与生态红线、公益林、基本农田等各类政策红线冲突,耕地开发量已达水资源承载力上限,部分县市放牧超载严重等问题,一系列不合理的建设活动和资源开发加剧了森林和湿地等生态系统的退化,导致水源涵养和固碳能力降低、生物多样性减少<sup>[18]</sup>和水土

流失风险增加<sup>[19]17</sup>。因此,如何提出合理构建生态空间格局的方法,保障区域ESs功能不降低,提高土地利用效率,优化城镇空间与生态空间耦合关系,从而提升人类福祉是本文的研究目标。通过LANDSAT8遥感影像解译,结合现状土地利用校正,获得1 km×1 km的川西北土地利用数据。

### 1.2 国家层面的生态保护战略要求

川西北地区属于或涉及国家和省级众多的战略要求(见表1),需要在生态空间格局构建中承接和落实。《国家主体功能区划》中明确的国家重点生态功能区,川西北地区的大部分市县涉及其中3个,关系全国或较大范围区域的生态安全。根据《全国生态功能区划》,川西北地区全域涉及对国家和区域生态安全具有重要作用的水源涵养生态功能区和生物多样性保护区域,需要对重要水源涵养区建立生态功能保护区,严格控制水污染和载畜量;需对生物多样性保护区进行资源调查与监测,实施国家生物多样性保护重大工程。《中国生物多样性保护优先区域》明确了川西北地区的东、南、北部19个市县地区涉及3个生物多样性保护优先区。《四川省主体功能区划》中明确川西北生态示范区全域承接了《国家主体功能区划》中的川滇森林及生物多样性与若尔盖草原湿地两个生态功能区。

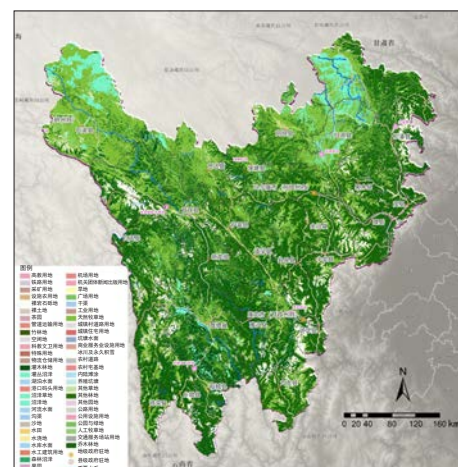


图1 川西北地区现状图  
Fig.1 Current situation of northwestern Sichuan

资料来源:笔者自绘。

### 1.3 与其他省级次区域的差异性

川西北地区与省内其他次区域的主体功能定位有着显著差异。根据《四川省主体功能区划》，省内其他4个次区域都属于重点开发区，川西北次区域则属于限制开发区（见图2，表2）。主体功能不等于唯一功能，川西北地区为国家层面的重点生态功能区，但也允许适度发展不影响主体功能定位、当地资源环境可承载的产业；重点开发区也必须保护好区域内的农业空间和生态空间，提供一定数量的农产品和生态产品。

### 1.4 与省外及其他次区域的协调性

川西北地区位于青藏高原东南缘，石渠县与青海省三江源草原草甸湿地生态功能区接壤，主要覆盖具有水源涵养功能的高原草甸，与若尔盖草原湿地生态功能区均是长江、黄河、澜沧江上游及源头和重要的水源涵养地，川西北地区的石渠县、若尔盖县和红原县等也应与省外的生态功能区协同保护与管控。川西北地区还属于川滇森林及生物多样性生态功能区，是全球生物多样性保护的关键区域，青藏高原生态屏障的重要组成部分，是国家重要生态安全屏障主体功能区。因此，川西北地区生态空间格局构建与管制应突破行政区划限制，与省外生态功能区相协调。

川西北全域均为省内重点生态功能区，主要提供水源涵养、生物多样性维护、水土保持和水文调节等重要的生态功能，与其他次区域的生态层面定位相协调。有助于与成都平原次区域、川东北次区域协同提高应对水旱灾害和防洪的能力。作为长江上游主要水源涵养地，与川南次区域建设长江上游生态屏障示范区的目标相协调，要共同加强水资源开发与节约、水土流失防治和水污染治理，增强区域防洪调蓄能力。与攀西次区域协同建设天然林保护等生态工程，维系生态系统和物种多样性，加强水资源配置工程和水土保持建设，加快流域防洪治理。

## 2 研究思路与方法

### 2.1 研究思路

通过提出基于生态空间ESs累积功能的重要性评价方法，识别ESs高供应的生态空间，提

表1 川西北地区承接的国家和省级战略要求

Tab.1 National and provincial strategic requirements undertaken by northwestern Sichuan

国家和省级战略	区划功能	重要生态功能区分布	重要生态功能区覆盖川西北范围
国家主体功能区划	国家限制开发重点生态功能区	川滇森林及生物多样性生态功能区、若尔盖草原湿地生态功能区、三江源草原草甸湿地生态功能区(部分)	部分市县: 除马尔康、红原、松潘、九寨沟、黑水、壤塘、泸定、九龙外的市县
全国生态功能区划	水源涵养和生物多样性生态功能区	川西北水源涵养与生物多样性保护重要区、岷山—邛崃山生物多样性保护与水源涵养重要区	全域
中国生物多样性保护优先区	生物多样性保护优先区	岷山—横断山北段区, 重点保护紫果云杉林、鱼鳞云杉林、云南松林等生态系统, 以及圆叶玉兰、大熊猫、川金丝猴、野牦牛等重要物种及其栖息地; 横断山南段, 保护重点包石栎林、川滇冷杉林、川西云杉林、高山松林等生态系统以及贡山润楠、金铁锁、平当树、大熊猫、滇金丝猴等重要物种及其栖息地; 羌塘—三江源, 重点保护高原高寒草甸、湿地生态系统以及藏野驴、野牦牛、藏羚、藏原羚等重要物种及其栖息地	部分市县: 甘孜部分地区、石渠部分地区、色达、理塘部分地区、稻城、乡城、得荣、九龙、康定部分地区、泸定部分地区、阿坝部分地区、壤塘部分地区、若尔盖、九寨沟、松潘部分地区、茂县、汶川、理县、小金部分地区
四川省主体功能区划	限制开发重点生态功能区, 生态示范区	川滇森林及生物多样性生态功能区、若尔盖草原湿地生态功能区	全域

资料来源: 笔者自制。

表2 川西北次区域与省内其他次区域主体功能比较

Tab.2 Comparison of the main functions of the northwestern Sichuan sub-region and other sub-regions in the province

次区域	主体功能定位	生态层面要求
成都平原	西部地区重要的经济中心	加强水资源的合理开发、优化配置、高效利用和有效保护, 强化水系和山脉的生态保护建设, 提高水旱灾害应对能力
川南	成渝经济区重要的经济带和特大城市群, 长江上游生态屏障建设示范区	加强水资源开发利用与节约保护、水土流失防治和水污染治理, 增强区域防洪的调蓄能力, 加强电站库区生态建设及采煤区生态修复
川东北	川渝陕结合部的区域经济中心	增强防洪抗旱能力, 大力加强生态环境保护和流域综合整治
攀西	中国攀西战略资源创新开发试验区	以天然林保护等生态工程建设为重点, 加快水资源配置工程建设和流域防洪治理, 加强水土保持生态建设, 加强矿山生态修复和环境恢复治理
川西北	国家层面的重点生态功能区	国家青藏高原生态屏障和长江上游生态屏障的重要组成部分; 以水源涵养、水文调节、维系生物多样性、保持水土等功能为主

资料来源: 笔者自制。

高生态空间保护绩效; 结合考虑自然保护地、生态保护红线和国家生态战略要求, 以及自然地理格局与保护物种迁徙路径, 分别划分四级生态优先区和两级生态廊道, 形成生态空间格局规划方案; 通过与国家和省级等生态战略要求进行一致性检验, 进一步反馈修正生态空间格局方案; 最终提出省级次区域生态空间格局构建方法, 并研究生态空间的分类分级管控政策 (见图3)。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 ESs测度与重要性评价

##### (1) ESs分类测度方法

根据国家和省级主体功能区划明确的水源涵养、生物多样性维护和水土保持的主要生态功能, 以及相关研究中川西北地区气候调节服务的重要价值<sup>[20-21]</sup>, 选择这4项关键ESs, 采用指标评价法和物质量模型测度ESs供应水平, 分析ESs的空间分布特征 (见表3)。(1) 供给服务, 通过计算所有生态系统内的降雨量和地表径流、蒸散发量之间差异的总和来测度水源涵养量<sup>[22]21, [23]12</sup>。(2) 调节服务包含水土保持和气候调节, 利用修正的通用水土流失方程 (RUSLE) 模型测度水土保持量<sup>[22]24, [23]13</sup>; 通过树种和植被种植类型, 以及

其年平均固碳量参数估算生态系统的碳存储量<sup>[24], [25]</sup>10。(3) 支持服务,考虑数据的可获取性,采用指标评价法评价生物多样性维护的重要性。首先,对生物多样性维护重要性进行分级评价:将优先保护名录的生态系统及珍稀动物栖息地划为极重要级,其他优先保护生态系统划为较重要级,农田生态系统划为一般重要

级;其次,根据《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》和《生态保护红线划定指南》,分级评价自然保护地体系的生物多样性维护重要性(见表4);最后,结合自然保护地体系重要性和《四川省生物多样性保护战略与行动计划(2011—2020年)》中划定的生物多样性保护优先区,构建生物多

样性维护重要性评价的判断矩阵(见表5),以有效保护生态过程与构成生态系统的物种。

(2) ESs重要性分级评价

生态空间格局的构建目标是保护适宜规模和结构的生态空间,满足国家和地方的社会经济可持续发展需求。由于ESs存在空间分布不平衡性,笔者提出ESs累积功能曲线方法,对



图2 四川省5大次区域区位图  
Fig.2 Location map of the five sub-regions of Sichuan Province

资料来源:笔者自绘。

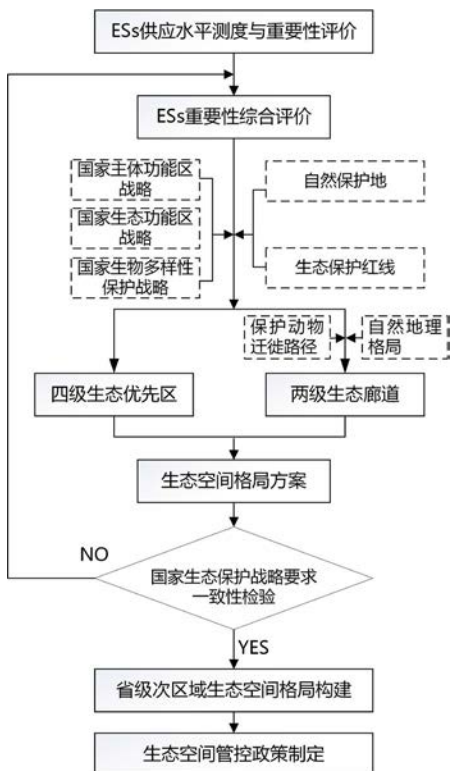


图3 川西北次区域生态空间格局构建与管控框架  
Fig.3 Construction and management framework of ecological spatial pattern in the northwestern Sichuan sub-region

资料来源:笔者自绘。

表3 生态系统服务测度指标与量化方法  
Tab.3 Measurement indicators and quantitative methods of the ecosystem services

服务类型	服务名称	测度指标	公式
供给服务	水源涵养	水源涵养量/ $m^3$	$TQ = \sum_{i=1}^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \times 10^3$ $R_i = P \times \alpha$ TQ为水源含量, $P_i$ 为降雨量, $R$ 为径流量, $ET_i$ 为蒸发量, $A_i$ 为生态系统面积, $\alpha$ 为径流系数 <sup>[22][23]</sup> , $i$ 为研究区第 <i>i</i> 类生态系统类型, $j$ 为研究区生态系统类型数
			$A_c = A_p - A_r$ $A_p - A_r = R \times K \times L \times S \times (1 - C)$ $A_p$ 为潜在水土流失量, $A_r$ 为实际水土流失量, $R$ 为多年平均年降雨侵蚀力因子, $K$ 为土壤可蚀性因子, $L$ 、 $S$ 分别为坡长因子和坡度因子(即地形起伏度), $C$ 为植被覆盖因子 <sup>[22][24]</sup>
调节服务	气候调节	碳存储量/ $(t/hm^2)$	$CS_{vegetation} = \sum (A_n \times B_n)$ $CS_{vegetation}$ 为植被年平均固碳量; $A_n$ 为某类植被覆盖类型的面积, $B_n$ 为某类植被年固碳量 <sup>[25]10</sup>
支持服务	生物多样性维护	生物多样性维护重要性指标	将自然保护区体系、四川省生物多样性保护优先区和生态系统类型3类要素叠加,识别生物多样性维护功能的不同重要性区域,并重新分级

资料来源:笔者自制。

表4 自然保护区类型的生物多样性维护重要性分级  
Tab.4 Classification of the importance of biodiversity maintenance for the types of nature reserves

重要性分级	自然保护区要素
极重要级	国家公园、自然保护区、自然公园(森林公园的生态保育区和核心景观区、湿地公园的湿地保育区和恢复重建区)、风景名胜区的自然生态系统、自然遗迹和自然景观、世界自然遗产的核心区和缓冲区、其他保护地
较重要级	森林公园其他区域、湿地公园其他区域、草原公园、饮用水水源地的一级保护区
一般重要级	其他自然公园(冰川公园、地质公园、沙漠公园)、其他各类保护地(雪山冰川、高原冻土)

资料来源:笔者自制。

表5 生物多样性维护重要性评价的判断矩阵  
Tab.5 Judgment matrix for the evaluation of the importance of biodiversity maintenance

生态系统类型	自然保护区体系			四川省生物多样性保护优先区	
	极重要级	较重要级	一般重要级	不可替代系数最高级、敏感区	不可替代系数次高级
进入优先保护名录的生态系统及珍稀动物分布的栖息地	极重要	极重要	极重要	极重要	极重要
其他优先保护生态系统	极重要	较重要	较重要	极重要	较重要
农田生态系统	较重要	一般重要	一般重要	较重要	一般重要

资料来源:笔者自制。

各类ESs供应的重要性进行分级评价。将ESs测度值按降序排列,计算ESs供应值的累积百分比,以及其对应的栅格面积的累积百分比。以栅格面积的累积百分比为横轴,以栅格ESs值的累积百分比为纵轴,绘制出ESs累积曲线。

通过捕捉累积曲线的斜率和重要拐点位置,判断ESs累积功能的变化特征,划分ESs极重要、较重要和一般重要3个等级。斜率大于1的区域,生态空间的ESs累积效率较高,应评价为ESs极重要,在斜率小于1的部分再选择一个斜率较显著的变化点,以此划分较重要和一般重要等级。

2.2.2 ESs集成评价与优先区识别

如果没有生态优先区,所有区域对于保护与开发都将具有同等重要的意义。这将导致国土空间管理效率低下。因此,生态空间格局的构建需要确定生态优先区。这也是将ESs的不同目标整合到生态空间格局构建中的优

势<sup>[5]233</sup>。在现有自然保护地的基础上,叠加4类ESs的重要性评价结果,划分4个等级的生态优先区(见表6)。

2.2.3 生态廊道划定方法

区域生态廊道可为生态空间提供多功能性,因为它使生态空间格局形成连贯的网络状。这些网络可以同时有助于维护和增强多种ESs,并可用于保护生态空间免遭城市化或农牧生产的影响<sup>[5]234</sup>。生态廊道可分为超区域廊道和区域内廊道。超区域廊道跨区域连接国家生态功能区、自然保护地或核心生态区,构建要素还包括峡谷、山脉等区域内重要的自然地理格局与保护物种迁徙路径。属于生态保育区的区域内生态廊道沿河流、山脊等重要地理格局,可以用作栖息地连接和空气交换等廊道,也包括有价值的娱乐场所,如景观步道和自行车骑行道,以及具有重要的历史文化联系的景观古道<sup>[5]234</sup>。两级生态廊道与四级生态优先区构成次区域生态空间格局。

2.2.4 生态战略要求的一致性检验

由生态优先区和生态廊道构成的生态空间格局规划方案,还需检验与四川省生态保护红线、生物多样性保护优先区的一致性,核心生态区、重要生态区和两级生态廊道的规模与空间分布等方面应包含两项生态战略的内容,严格落实

两项生态战略的要求。分析川西北生态空间格局规划方案与国家生态功能区划、国家主体功能区划的协调性,检验生态空间格局规划方案是否承接国家战略要求,并基于ESs功能评价结果对国家生态保护空间战略提出调整建议。

2.2.5 管制分区与管制政策设计

针对生态空间格局的核心生态区、重要生态区、生态保育区和生态调控区共四级生态空间分区,构建“生态空间分区—开发活动”判断矩阵。根据国家战略和管控政策要求,提出对城镇建设、村庄建设、基础建设、农牧业开发、矿产开发、其他建设和原住民管理等开发建设行为的精细化管制政策。

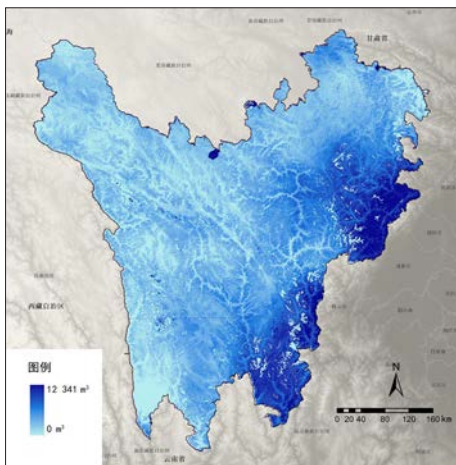
3 生态系统服务测度与重要性评价

根据水源涵养量模型,测度得到川西北地区生态空间的水源涵养供应水平(见图4a)。根据水源涵养服务累积曲线的斜率变化特征,以累积服务的前62%、62%—94%、94%—100%划分3个重要性等级(见图4b)。从测度结果可以看出,川西北地区以约30%的生态空间面积提供了约62%的水源涵养服务,划为极重要空间。约70%的生态空间提供约94%的水源涵养服务,是较重要级和一般重要级的分界点(见图4c)。水源涵养能力较强的区域主要分布

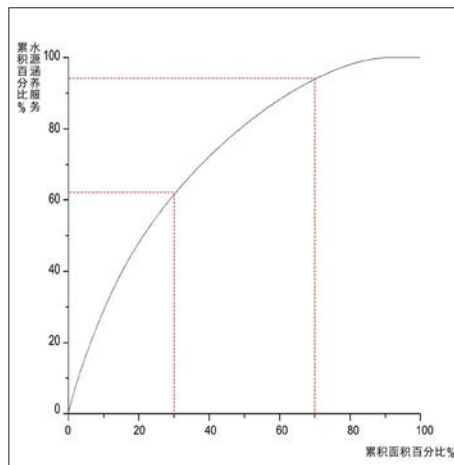
表6 生态优先区划分与构成  
Tab.6 Division and composition of ecological priority areas

生态优先区	构成要素
核心生态区	自然保护地,4项ESs同时为极重要级
重要生态区	4项ESs中有任何两项或3项为极重要级,超区域廊道
生态保育区	4项ESs中仅有任意一项为极重要级,区域内廊道
生态调控区	4项ESs中有若干项ESs评价结果为重要或较重要级

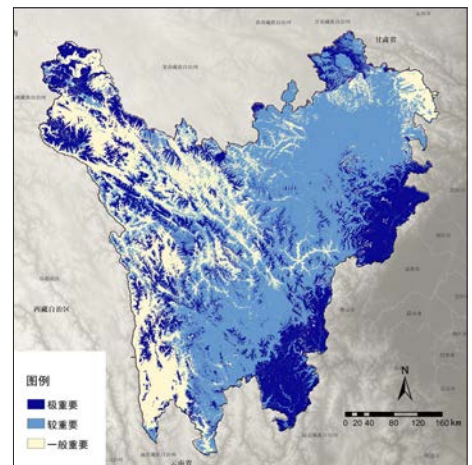
资料来源:笔者自制。



a 川西北水源涵养供应水平



b 川西北水源涵养服务累积曲线



c 川西北水源涵养重要性评价

图4 川西北水源涵养供应测度与重要性评价

Fig.4 Measurement and importance evaluation of water conservation supply of northwestern Sichuan

资料来源:笔者自绘。

在川西北东部、若尔盖草原、极高山地和石渠县三江源地区。由于降水量自西向东逐步递增，岷山、贡嘎山以东的林地茂盛区域具有较强的水源涵养能力。石渠县北部三江源区域以及川西北大雪山、邛崃山区域，由于海拔较高，常年冰雪覆盖，因此具有较强的水源涵养能力。

水土保持服务累积曲线较平缓（见图5b）。川西北地区分别以约50%和70%的生态空间面积提供了约58%和76%的水土保持服务（见图5a, 图5c），反映出提供水土保持服务功能的生态空间分布较为均质，水土保持服务水平高

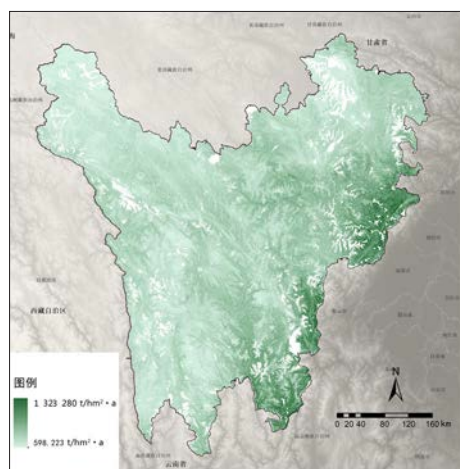
的空间主要分布在区域东部林地生态系统丰富地区与沿河谷地区。由此可见，ESs累积曲线法更适用于累计功能特征变化明显的情况，而变化平缓的累积曲线，可结合“双评价指南”<sup>[23]12</sup>确定重要性分级阈值。

气候调节服务累积曲线变化明显（见图6b）。川西北地区以约24%的生态空间面积提供了约65%的气候调节服务，划为极重要空间。约49%的生态空间提供约94%的气候调节服务，划分为较重要级和一般重要级（见图6a, 图6c）。受区域生态系统类型分布特征影

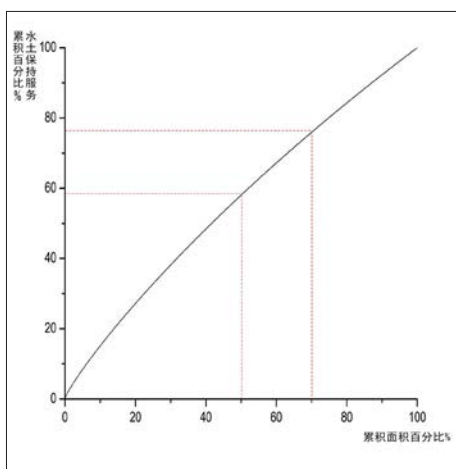
响，具有较强气候调节功能的生态空间主要为沿河谷分布的阔叶林、常绿林。

通过生物多样性维护评价指标的空间叠加运算显示（见图7），川西北地区生物多样性保护功能总体较好，极重要区占比较大。生物多样性保护极重要区主要集中在各个自然保护区区域内，也包括东部的林地生态系统集中区域。

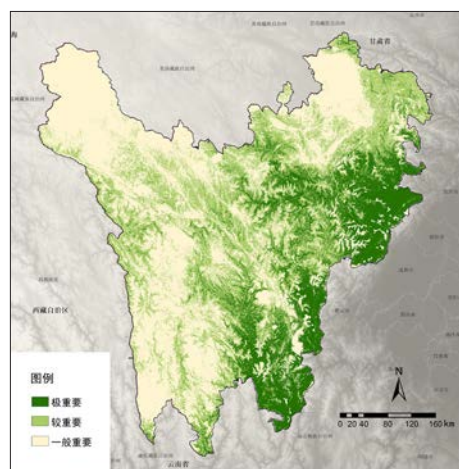
综合叠加分析4项ESs的重要性评价结果，得到生态空间ESs极重要级数量与类型分布（见图8），并作为生态优先区划分和生态廊



a 川西北水土保持供应水平



b 川西北水土保持服务累积曲线

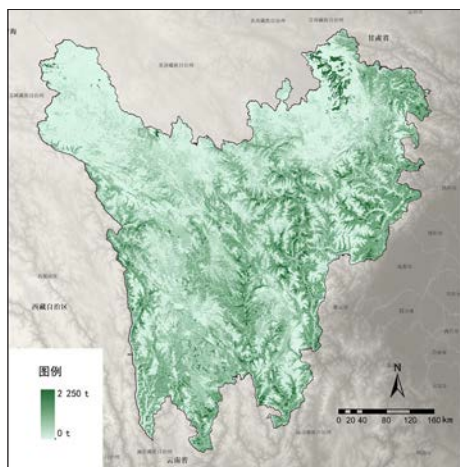


c 川西北水土保持重要性评价

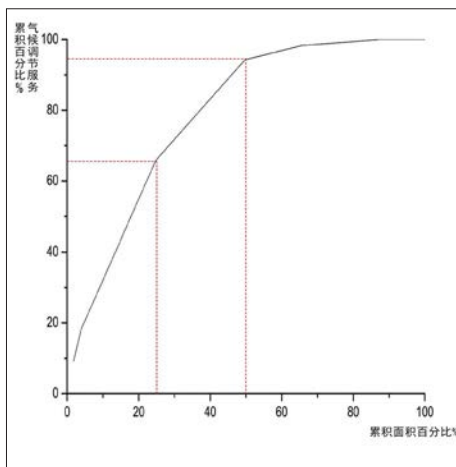
图5 川西北水土保持供应测度与重要性评价

Fig.5 Measurement and importance evaluation of soil and water conservation supply of northwestern Sichuan

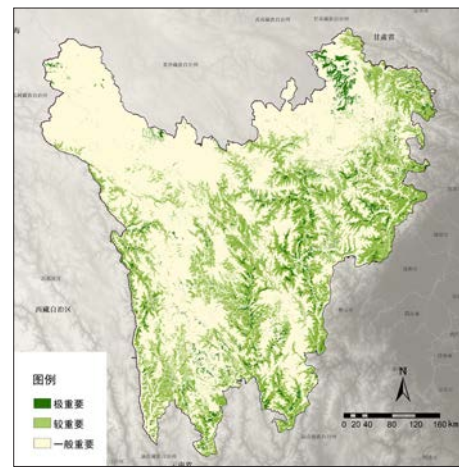
资料来源:笔者自绘。



a 川西北气候调节供应水平



b 川西北气候调节服务累积曲线



c 川西北气候调节重要性评价

图6 川西北气候调节供应测度与重要性评价

Fig.6 Measurement and importance evaluation of climate regulation supply of northwestern Sichuan

资料来源:笔者自绘。

道识别的基础。4项ESs均为极重要的空间分布在川西北地区东部沿河谷的区域,其外围空间主要为生物多样性维护、水源涵养和水土保持3项ESs极重要的区域,水土保持和气候调节两项ESs极重要区域主要分布在中部地区,水源涵养一项ESs极重要区主要分布在若尔盖、石渠和西部地区。

## 4 生态空间格局的构建

### 4.1 次区域生态优先区的划分

川西北生态空间格局划分为四级生态空间管制分区(见图9):(1)核心生态区主要由自然保护地核心区、至少两项(含)生态系统服务为极重要的生态保护红线区域构成,具有极重要的生态系统服务供应功能,需要封育和禁止开发的保护。面积为87 917.99 km<sup>2</sup>,约占总面积的37.7%。该区域对栖息地和生态系统具有特别重要的意义,已经受现有自然保护地相关法律以及生态保护红线管理政策的严格保护。(2)重要生态区由没有划入核心生态区的自然保护地其他控制区以及一项生态系统服务为极重要的生态保护红线区域构成,具有重要的生态产品供应功能,是需要严格控制的功能区域。面积为70 194.30 km<sup>2</sup>,约占总面积的30.1%。该区域主要受现有自然保护地相关法律、生态保护红线管理政策的严格控制。(3)生态保育区具有生态产品供应、特色生态旅游、林木产品生产、矿产资源开发等功能,在生态功能不退化的前提下可以进行合理的自然资源开发利用。面积为37 996.41 km<sup>2</sup>,约占总面积的16.2%。该区域很大程度上体现了生态缓冲区的作用,具有减缓农牧业开发和城镇建设等人居活动对核心生态区和重要生态区的影响,但该地区目前较缺乏明确的保护政策和开发指引。(4)生态调控区具备较好的农牧业生产条件,以提供农产品为主导功能和提供生态产品为辅助功能,具有承载一定规模的农牧业生产活动和点状城镇建设活动。面积为37 071.09 km<sup>2</sup>,约占总面积的16.0%。该区域应合理控制引导国土开发强度和开发规模,建设现代高原特色生态农牧业基地,减缓生产建

设活动对生态环境的影响,更好地支撑川西北生态战略目标的实现。

### 4.2 次区域生态廊道的构建

以核心生态区和重要生态区为生态源地,结合生态红线、山脊林灌区域、河谷水系,构建川西北地区生态廊道,分为超区域廊道和区域内廊道两个层级,以及陆生物廊道、水生生物廊道和河谷生态廊道3种类别(见图10)。形成了阿坝—甘孜三江源区生物多样性生态廊道、岷山—邛崃山以大熊猫、川金丝猴为保护目标物种的两条超区域陆生动物生态廊道,以及沿金沙江、雅砻江、大渡河、岷江形成的以长江上游珍稀特有鱼类为目标物种的4条超区域水生动物生态廊道。依托黑河、岷江俄热河支流、岷江—杜柯—梭磨支流、雅砻江那曲支流—金沙江昌曲—赠曲支流、大渡河小金川支流、雅砻江立曲支流、雅砻江鲜水支流、金沙江定曲河—雅砻江无量河等河流及其河谷构建连接两级生态优先区源地的区域内廊道。

### 4.3 次区域生态空间格局

明确落实川西北地区生物多样性保护和水源涵养功能的国家生态战略目标,构建支撑生物多样性维护、水源涵养、水土保持等关键ESs的省级次区域生态空间结构,同时应对该区域人类活动和自然灾害导致水土流失和生态退化问题,形成“两轴四廊七核”的区域生态空间格局结构与规划(见图11-图12)。由阿坝—甘孜三江源区和岷山—邛崃山超区域生态廊道形成两条区域性生态轴。由4条超区域水生动物生态廊道构成4条区域性生态廊。由若尔盖草原湿地重点生态功能区、阿坝黄河源生物多样性重点生态功能区、岷山—邛崃山生物多样性保护重点生态功能区、长沙贡玛高原湿地重点生态功能区、大雪山生物多样性保护重点生态功能区等7个重点生态功能区等构成7大生态核。

### 4.4 生态战略要求一致性检验

(1) 与省域生态保护红线的一致性分析

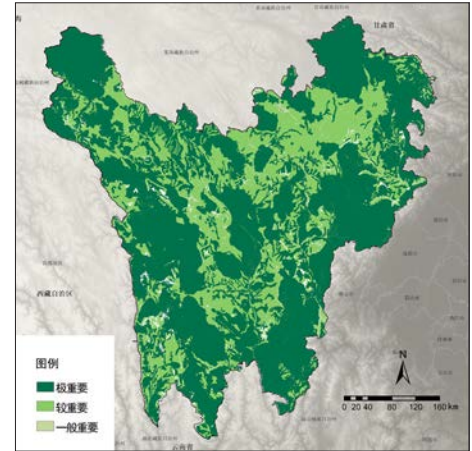


图7 川西北生物多样性维护重要性评价  
Fig.7 Evaluation of the importance of biodiversity maintenance of northwestern Sichuan

资料来源:笔者自绘。

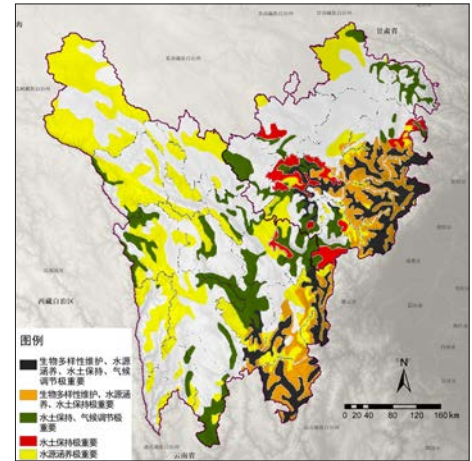


图8 川西北生态空间4项ESs重要性综合评价  
Fig.8 Comprehensive evaluation of the importance of four ESs in the ecological space of northwestern Sichuan

资料来源:笔者自绘。

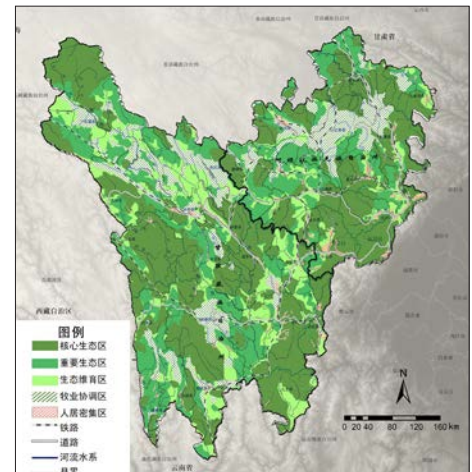


图9 川西北生态优先区  
Fig.9 Ecological priority zones of northwestern Sichuan

资料来源:笔者自绘。

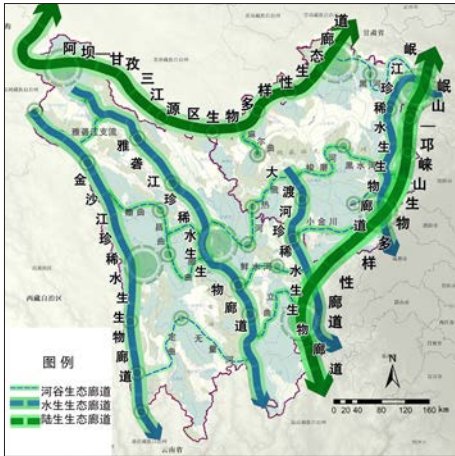


图10 川西北地区生态廊道  
Fig.10 Ecological corridors of northwestern Sichuan  
资料来源: 笔者自绘。



图11 川西北地区生态空间格局示意图  
Fig.11 Schematic diagram of ecological spatial pattern of northwestern Sichuan  
资料来源: 笔者自绘。

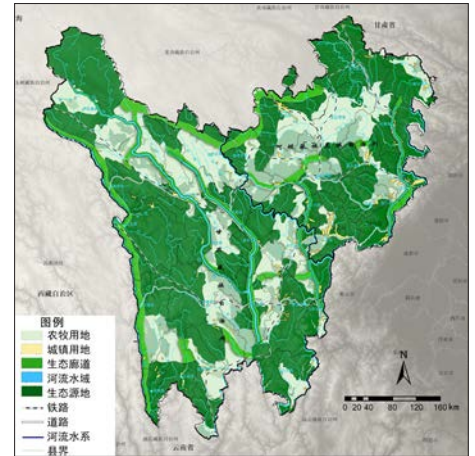


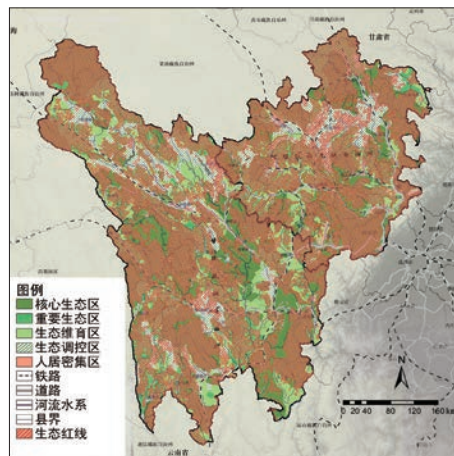
图12 川西北地区生态空间格局规划图  
Fig.12 Planning map of ecological spatial pattern of northwestern Sichuan  
资料来源: 笔者自绘。

中(见图13a),生态空间格局的优先区几乎全覆盖生态红线区域,且在中大北部分的大峡谷自然公园区域、南部九龙溪古自然公园及周边区域进行了增加和修正。(2)除了包含3个国家生物多样性保护优先区域以外(见图13b),生态空间格局还划入了中部的沙鲁里山自然公园、泰宁玉科省级自然保护区及其周边自然保护区,共同组成生态空间格局中生物多样性保育区部分,加强对川西北地区生物多样性保护力度。(3)通过与国家生态功能区划的协调性分析(见图13c),生态空间格局及其ESs重要性综合评价与国家生态功能区划全部重合,且川西北地区西北部以水源涵养为主,东南部主要以生物多样性保护为主。(4)与国家主体功能区划的协调性分析中(见图13d),除与国家重点生态功能区重合外,增加了川西北中北部的自然保护区以加强水源涵养功能;划入了东南部的贡嘎山部分区域,加强对生物多样性和多种珍稀动植物基因库的保护。

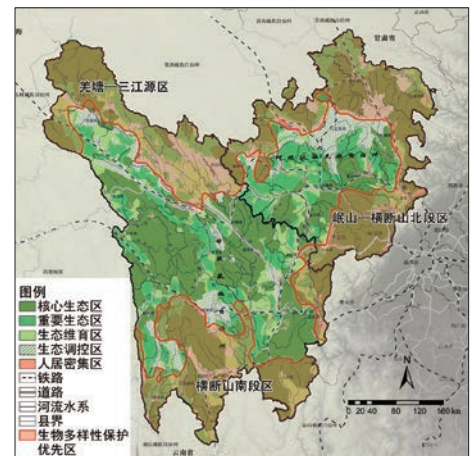
## 5 次区域生态空间分区管制

### 5.1 次区域生态空间分区管制政策

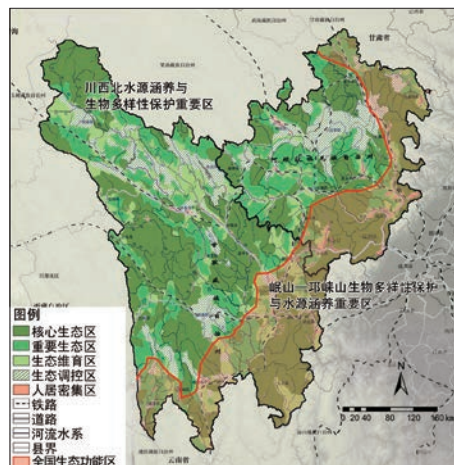
(1) 核心生态区为禁止开发区,依据自然保护区相关法律以及生态保护红线管理政策实施强制性保护。严格保障该区域自然保护区



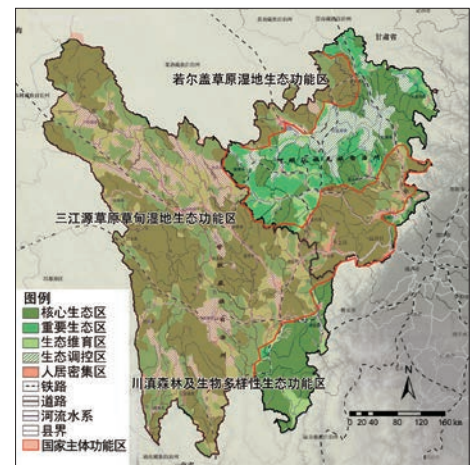
a 与省域生态保护红线一致性分析



b 与生物多样性保护优先区一致性分析



c 与国家生态功能区划协调性分析



d 与国家主体功能区划协调性分析

图13 川西北地区生态空间格局一致性检验  
Fig.13 Consistency test of ecological spatial pattern of northwestern Sichuan

资料来源: 笔者自绘。



和天然林草地面积不减少,巩固和提高核心生态区的主导生态服务功能。禁止人为因素的干扰,引导人口逐步有序转移。(2) 重要生态区为严格控制人类活动的区域,禁止开发性的生产和建设活动,逐步减少存量开发活动,仅允许对生态功能不造成破坏的有限人为活动。优化与提升重要生态区的综合生态服务功能,加强与核心生态区共同形成有机联系的区域生态网络体系。(3) 生态保育区为限制开发区,总体上要求遵循限制增量并减少存量的基本原则。以改善生态服务功能及合理引导产业发展为主,保育生态系统结构和功能的稳定。(4) 生态调控区为农牧开发等人类活动相对密集的国土空间,需要优化调控人类农牧活动与生态功能的关系,为适宜农牧业开发以及点状城镇建设的区域。实施产业发展的生态化战略,建设现代高原特色生态农牧业基地(见表7)。

## 5.2 次区域生态廊道分級管制政策

超区域生态廊道具有特殊而重要的生态功能,属于必须强制性严格保护的区域,囊括了川西北地区生态功能重要区域和生态环境敏感脆弱区域,完善生态环境长期跟踪监测和定期评估考核体系。其管制政策以保护自然生态和严格控制项目准入为主。管制内容主要包括:(1) 土地用途。生态廊道内以林地、草地、湿地和水域等生态用途为主,严格控制建设用地、矿产开发用地与农用地。(2) 用途转换。禁止生态廊道内的自然保护区转为城乡生态区和农业生产区。(3) 项目准入。限制国家重大基础设施、必要的旅游交通通信设施,允许生态保护与修复工程、文化自然遗产保护工程等项目建设。(4) 开发建设方式。自然保护区内的原有村庄用地和其他建设用地不得随意扩建与改建;制定线性基础设施生态建设技术规范,规定开发强度、生态保护要求和景观设计等,促进线性工程融入自然生态环境。激励性内容主要包括制定已有建设管控和退出机制,激励农业用地、矿产资源开发用地逐步退出,推进矿山复绿、防沙治沙和水土保持等生态修

表7 川西北生态空间管制政策一览表

Tab.7 List of ecological space control policies of northwestern Sichuan

开发活动	生态管控政策			
	核心生态区	重要生态区	生态保育区	生态调控区
城镇建设	禁止	禁止	严格控制建设规模,原有城镇逐渐减量,旅游服务为该区域城镇的主要职能	允许,科学规划,保护环境,不超过生态承载力的城镇发展规模、产业方向,以生态城市为目标,优化产业结构,提高资源利用效率。集约开发,集中建设
村庄建设	禁止	禁止,除地方特色保护类村庄维护	允许一定规模的村庄建设,做到与自然环境协调	允许,集约开发,集中建设
基础建设	禁止,除国家战略需求	禁止,除国家和省部级战略需要、符合县级以上国土空间规划的线性基础设施	限制,控制新增公路、铁路的规模,规划好动植物迁徙通道,构建生态廊道,推广清洁能源,健全公共服务体系,提供公共服务供给能力和水平	允许
农牧业	禁止,除食源性耕地和牧草地	禁止,除食源性耕地和牧草地	限制,保持和提高生态农产品供给能力,调整畜牧业生产方式,大力发展草业,加快规模化圈养畜牧业发展,旱作节水农牧业	允许,打造川西北农林畜牧产品生产、加工基地
矿产开发	禁止	禁止,除国家战略性资源勘查、地质勘查	限制,大规模开山、开荒等破坏地貌和清除地表植被的开发方式,矿山修复,河流修复	允许,合法矿产资源勘查、开采
其他建设	禁止,除合法的栖息地改造、救灾减灾、科研和监测,外来物种控制	禁止,除合法的生态修复、科研和监测、救灾减灾,外来物种控制	限制,合法的旅游基础设施,生态系统修复与恢复,恢复草原植被、湿地和珍稀动植物的建设,防灾减灾,外来物种控制	允许,打造川西北旅游、文化基地
原住民(含原有设施)	只减不增,逐步迁出	只减不增,逐步迁出	限制规模	允许集聚提升

资料来源:笔者自制。

复工程。

区域内生态廊道为主要河流系统,为满足水源保护、防洪、生物栖息地维护和游憩等要求,对河道及两侧重要的自然与人文过程的基本需求空间进行沿线强制性管控。其主要管控内容有:(1) 保证河谷生态廊道内的水量和生物多样性。(2) 保持河流的连续性和完整性。生态廊道内严格控制人工建设对河流的割裂和破坏,保证河流系统通畅,维持动植物的生态过程,保证系统间的良好循环。(3) 对局部生态退化严重的生态廊道进行生态修复,保证河谷生态系统在人为干扰下具有持续自生能力。

## 6 结语

川西北省级次区域承接了国家或较大范围区域的生态安全战略要求,其生态空间格局构建方法与管控政策的研究还有待更多的

关注。本文以ESs供应能力的物质量测度和空间表征为基础,使规划决策者能够容易理解保障和维护ESs的空间管制要求。通过分析生态空间提供ESs的供应特征,作为重要性评价的分級閾值,旨在保护提供ESs必需的生态空间及其可提供的服务水平。基于ESs综合评价结果,识别生态空间优先区和生态廊道,构建区域生态空间格局,有助于明确需优先保护的区域,支持生态空间的多功能性、完整性和连通性。通过国家生态战略一致性检验实现对格局构建的反馈调整。最后提出生态空间格局的分區管制体系和针对性的管制政策,可以将管制分區进一步分解到各市县行政单元,有助于管制政策的向下逐級传导和明确权责边界。未来的区域生态空间格局构建研究可以从ESs供需结合的视角展开,以促进生态空间与城镇开发空间的耦合关系,以及精细化的规划管控。■

## 参考文献 References

- [1] 王甫园,王开泳,陈田,等.城市生态空间研究进展与展望[J].地理科学进展,2017(2):207-218.  
WANG Fuyuan, WANG Kaiyong, CHEN Tian, et al. Progress and prospect of research on urban ecological space[J]. Progress in Geography, 2017(2): 207-218.
- [2] 高吉喜,徐德琳,乔青,等.自然生态空间格局构建与规划理论研究[J].生态学报,2020,40(3):749-755.  
GAO Jixi, XU Delin, QIAO Qing, et al. Pattern construction of natural ecological space and planning theory exploration[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(3): 749-755.
- [3] 彭建,赵焱焱,刘焱序,等.区域生态安全格局构建研究进展与展望[J].地理研究,2017(3):407-419.  
PENG Jian, ZHAO Huijuan, LIU Yanxu, et al. Research progress and prospect on regional ecological security pattern construction[J]. Geographical Research, 2017(3): 407-419.
- [4] 彭建,杨旸,谢盼,等.基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区[J].生态学报,2017,37(13):4562-4572.  
PENG Jian, YANG Yang, XIE Pan, et al. Zoning for the construction of green space ecological networks in Guangdong Province based on the supply and demand of ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [5] ALBERT C, HAAREN C V. Implications of applying the green infrastructure concept in landscape planning for ecosystem services in peri-urban areas: an expert survey and case study[J]. Planning Practice & Research, 2017, 32(3): 227-242.
- [6] 曹玉红,曹卫东,吴威,等.基于自然生态约束空间差异的区域生态安全格局构建[J].水土保持通报,2008(1):106-109.  
CAO Hongyu, CAO Weidong, WU Wei, et al. Constructing regional ecological security pattern based on the spatial difference of eco-environmental restriction[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008(1): 106-109.
- [7] 钱颖,杨建军.基于生态敏感性和景观格局的城市生态带规划探究[J].中国园林,2014,30(6):107-111.  
QIAN Ying, YANG Jianjun. Research on urban ecological belt planning based on ecological sensitivity and landscape structure[J]. Chinese Landscape Architecture, 2014, 30(6): 107-111.
- [8] 陈昕,彭建,刘焱序,等.基于“重要性—敏感性—连通性”框架的云浮市生态安全格局构建[J].地理研究,2017,36(3):471-484.  
CHEN Xin, PENG Jian, LIU Yanxu, et al. Constructing ecological security patterns in Yunfu city based on the framework of importance-sensitivity-connectivity[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 471-484.
- [9] 杨天荣,匡文慧,刘卫东,等.基于生态安全格局的关中城市群生态空间结构优化布局[J].地理研究,2017,36(3):441-452.  
YANG Tianrong, KUANG Wenhui, LIU Weidong, et al. Optimizing the layout of eco-spatial structure in Guanzhong urban agglomeration based on the ecological security pattern[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 441-452.
- [10] VALLECILLOS, POLCE C, BARBOSA A, et al. Spatial alternatives for Green Infrastructure planning across the EU: an ecosystem service perspective[J]. Landscape & Urban Planning, 2018, 174: 41-54.
- [11] 吴健生,岳新欣,秦维.基于生态系统服务价值重构的生态安全格局构建——以重庆两江新区为例[J].地理研究,2017,36(3):429-440.  
WU Jiansheng, YUE Xinxin, QIN Wei. The establishment of ecological security patterns based on the redistribution of ecosystem service value: a case study in the Liangjiang New Area, Chongqing[J]. Geographical Research, 2017, 36(3): 429-440.
- [12] 许峰,尹海伟,孔繁花,等.基于MSPA与最小路径方法的巴中西部新城生态网络构建[J].生态学报,2015(19):6425-6434.  
XU Feng, YIN Haiwei, KONG Fanhua, et al. Developing ecological networks based on MSPA and the least-cost path method: a case study in Bazhong Western New District[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015(19): 6425-6434.
- [13] 肖华斌,张慧莹,刘莹,等.自然资源整合视角下秦山区域生态网络构建研究[J].上海城市规划,2020(1):42-47.  
XIAO Huabin, ZHANG Huiying, LIU Ying, et al. Study on the construction of ecological network of the Taishan Area based on natural resources integration[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(1): 42-47.
- [14] 张蕾,苏里,汪景宽,等.基于景观生态学的鞍山市生态网络构建[J].生态学杂志,2014,33(5):1337-1343.  
ZHANG Lei, SU Li, WANG Jingkuan, et al. Establishment of ecological network based on landscape ecology in Anshan[J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(5): 1337-1343.
- [15] 孙伟,李昆,谢玉静,等.中国特大城市空间规划中生态系统服务概念的应用状况、原因及对策研究——基于北京和上海城市总体规划的文本分析[J].上海城市规划,2020(1):34-41.  
SUN Wei, LI Kun, XIE Yujing, et al. The uptake, causes and countermeasures of the ecosystem service concept in spatial plans of metropolitan cities in China: cases study of Beijing and Shanghai based on document analysis[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2020(1): 34-41.
- [16] 樊杰.中国主体功能区划方案[J].地理学报,2015,70(2):186-201.  
FAN Jie. Draft of major function oriented zoning of China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(2): 186-201.
- [17] 燕乃玲,赵秀华,虞孝感.长江源区生态功能区划与生态系统管理[J].长江流域资源与环境,2006,15(5):598-602.  
YAN Nailong, ZHAO Xiuhua, YU Xiaogan. Ecosystem delineation on priority ecosystem services and ecosystem management in the upper Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006, 15(5): 598-602.
- [18] 乔青.川滇农牧交错带景观格局与生态脆弱性评价[D].北京:北京林业大学,2007.  
QIAO Qing. Research on landscape pattern and ecological fragility assessment of Chuan-Dian farming-pastoral zone[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [19] 郭孟瑶.基于生态足迹模型的川西北沙化地区生态补偿量化研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(6):17-22.  
GUO Mengyao. A quantitative study on the ecological compensation standard in the desertified area of northwest Sichuan based on ecological footprint model[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(6): 17-22.
- [20] 庞丙亮,崔丽娟,马牧源,等.若尔盖高寒湿地生态系统服务价值评价[J].湿地科学,2014,12(3):273-278.  
PANG Bingliang, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al. Evaluation of Ecosystem Services Valuation of Alpine Wetlands in Zoigê Plateau[J]. Wetland Science, 2014, 12(3): 273-278.
- [21] 赵海凤.四川省森林生态系统服务价值计量与分析[D].北京:北京林业大学,2014.  
ZHAO Haifeng. The value of forest ecosystem services accounting and analysis in Sichuan, China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014.
- [22] 环境保护部,国家发展改革委.生态保护红线划定指南[Z].2017.  
Ministry of Environmental Protection, National Development and Reform Commission. Guidelines for delimitation of ecological protection red line[Z]. 2017.
- [23] 自然资源部.资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南[Z].2020.  
Ministry of Natural Resources. Guidelines for evaluation of environmental carrying capacity and suitability of land and space development[Z]. 2020.
- [24] STÜRCK J, SCHULP C J E, VERBURG P H. Spatio-temporal dynamics of regulating ecosystem services in Europe – the role of past and future land use change[J]. Applied Geography, 2015, 63: 121-135.
- [25] 全国工商联房地产商会.中国绿色低碳住区减碳技术评估框架体系[Z].2010.  
National Federation of Industry and Commerce Real Estate Chamber of Commerce. China green and low-carbon residential area carbon reduction technology assessment framework[Z]. 2010.