**重要生态综合用地划定技术方法研究[[1]](#footnote-1)**

**——以四川江油市为例**

强真1，许尔琪2，张丽娜2，时晨1

（1.中国自然资源经济研究院，北京 101149；2.中国科学院地理资源与科学研究所，北京 100101）

**摘要：**文章系统总结了重要生态用地划定技术方法，以生态单要素评价为基础，提出了基于生态功能和敏感性分级分类下的重要生态综合用地评价技术，以及关键生态源地厘定的空间识别方法。以最小阻力模型为依托，开展了不同级别生态源地间重要生态廊道识别和划定路径探索。以四川省江油市作为代表性案例，通过重要生态网络构建试验，提出了优化生态安全屏障体系技术建议。

**关键词：**生态功能；生态源地；生态综合用地；最小阻力；生态廊道

**中图分类号：**F062.1；F205 **文献标识码：**A **文章编号：1672-6995（2021）06-0000-00**

**DOI：**10.19676/j.cnki.1672-6995.000629

**Research on the Technological Methods of Demarcation of Important Ecological Comprehensive Land**

**—A Case Study of Jiangyou City in Sichuan Province**

QIANG Zhen1, XU Erqi2, ZHANG Lina2, SHI Chen1

(1.Chinese Academy of Natural Resources Economics, Beijing 101149; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

**Abstract**: This article systematically summarizes the technical methods of demarcation of important ecological land. Based on the evaluation of single ecological element, the article puts forward the evaluation technology of important ecological comprehensive land on the basis of the classification of ecological function and sensitivity grading, and the spatial identification methods of key ecological sources. According to the model of minimum resistance, the identification and demarcation of important ecological corridors among different levels of ecological sources have been explored. Taking the Jiangyou City of Sichuan Province as a representative case, through the construction experiments of important ecological networks, the article proposes some technical suggestions to improve the system of the ecological security barrier.

**Keywords:** ecological function; ecological sources; ecological comprehensive land; minimum resistance; ecological corridor

**0 引言**

人民对美好生活的向往给生态文明建设提出更高要求，“生态环境持续改善、生态安全屏障更加牢固”已被明确列入“十四五”规划及中长期发展战略目标，但生态系统质量不高、生物多样性丧失等生态安全仍面临不同程度挑战[1]、如何科学构建区域生态安全格局、精准划定重要生态保护空间、维护和提升生态产品供给能力、改善区域生态安全状况，已成为优化国土空间格局中亟待解决的重要问题[2-3]。目前学术界从生态[4]、地理[5]、城市规划[6]等视角对识别和构建全域重要生态用地方法展开了研究，形成生态功能和敏感脆弱要素评价、国土空间适宜性分类分级等方法[7-8]。总体来看，现有方法多采用单要素的定量测评，集中于资源承载能力[9]、人为设定分级分类指标评价等视角，从重要生态空间功能完整性和形廓完整性两个角度筛选空间单元的研究不多，从生态服务功能、生态脆弱性、重要景观实体和保护关键生态廊道等多维度构建综合化生态保护用地的技术方法较为缺乏。

为贯彻落实习近平总书记提出的“优化生态安全屏障体系，构建生态廊道和生物多样性保护网络，提升生态系统质量和稳定性”要求，构建生态安全格局，本研究以分项单要素评价为前提，构建基于多项重要生态用地下的生态源地识别技术，以土地利用现状为基础，提取生态廊道和生态节点，从县域较大尺度研究提出综合化重要生态空间划定方法，形成基于“点-线-面”三位一体的生态安全格局构建方法，并结合实际案例研究提出了生态保护格局分布优化建议，可为精准划定重要生态空间网络提供技术参考，为优化生态、农业、城镇等空间格局提供技术借鉴。

**1 研究方法**

**1.1 生态源地划定方法**

生态源地是生态安全格局构建的重要基础，是多重极重要生态空间分布集中地，是生态物质、能量和功能服务源头和汇集处。本研究通过系统评价水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性维持与保护极重要空间布局，以及水力侵蚀极度敏感空间和重要实体景观，经叠加扣除重叠后获得划定区域结果。

**1.1.1 水源涵养功能**

以水源涵养能力或水源涵养量作为衡量指标，主要考虑河流源区、河流供水功能、地表覆盖、地形因子，具体计算公式如下：

 水源涵养量(W)=$\sum\_{i}^{j}(P\_{i}-R\_{i}-ET\_{i})×A\_{i}×10^{3}$ （1）

式（1）中，*P*i为降雨量(mm)，*R*i为地表径流量(mm)，*ET*i为蒸散发量(mm)，*A*i为生态系统面积(km2)，i为研究区第i类生态系统类型，j为研究区生态系统类型数。

重要生态功能空间划定遵循效率最优的原则，选择以尽可能小的生态用地面积实现尽可能多的生态功能贡献。重要水源涵养功能空间厘定采用入选空间面积与功能累加效益边际弹性法进行确定。将计算得到的所有栅格单元数据按照功能值从大到小排序，通过计算相应的入选重要生态功能空间面积和累计功能效率贡献所占总量的百分比关系进行判定，具体方式如下：

对各评价区片（含若干功能值相同评价栅格单元）按各自初始产值对应的水源涵养功能效益自大到小进行编号: i=1 , 2 , … , I。共I个区片。

入选重要空间面积为依据功能值从大到小所选定的各区片面积的依次累积，计算公式如下：

$S^{\*}=\sum\_{1}^{I}S\_{i}$ （2）

入选面积增加时，水源涵养功能处于累积增加状态，功能累积增量为各入选单元水源涵养功能的依次累积，计算公式如下：

$W^{\*}=\sum\_{1}^{I}W\_{i}$ （3）

以此，分别计算其增量占各自总量的百分比，入选面积增量占比计算公式如下：

$\overline{S}=^{S\_{i}^{\*}}/\_{S\_{I}^{\*}}$ （4）

水源涵养功能累积增量占比计算公式如下：

$\overbar{W}=^{W\_{i}^{\*}}/\_{W\_{I}^{\*}}$ （5）

计算前后两步入选区片面积增量所占百分比之差，此为表征入选重要功能空间面积比例增加量，计算公式如下：

$∆\overline{S}$=$\overline{S}\_{i}-\overline{S}\_{i-1}$ （6）

前后两步入选区片时所获得的功能效率累积增量所占百分比之差，计算公式如下：

$∆\overbar{W}$=$\overline{W}\_{i}-\overline{W}\_{i-1}$ （7）

按照上述公式，当$∆\overline{S}$与$∆\overbar{W}$相等或接近相等时，表明能够以尽可能小的用地面积实现尽可能多的生态功能贡献，此时大于该生态功能的区片（栅格单元）即为生态功能的重要区。当两者差值达到最大时，表明随着面积增加比例的增大，功能效益增加的比例达到最大，意味着大于或等于该功能值的区域为生态功能的极重要区。

**1.1.2 水土保持功能**

识别森林、灌丛、草地等生态系统土壤保持功能，植被覆盖度越高、坡度越大的区域，土壤保持功能重要性越高[10]。将坡度≥25°且植被覆盖度≥80%的森林、灌丛和草地确定为水土保持极重要区；将15°≤坡度＜25°且植被60%≤覆盖率＜80%的森林、灌丛和草地确定为水土保持重要区。

**1.1.3 防风固沙功能**

系统评价大风天数、植被覆盖度、土壤砂粒含量，识别防风固沙功能重要性高低。将土壤砂粒含量≥85%、大风天数≥30天、植被覆盖度≥15%（青藏高原可调整为30%）的森林、灌丛、草地生态系统确定为防风固沙极重要区；将65%≤土壤砂粒含量＜85%、20天≤大风天数＜30天、≤10%植被覆盖度＜15%（青藏高原可调整为20%）的森林、灌丛、草地生态系统确定为防风固沙重要区。

**1.1.4 生物多样性维持与保护**

在系统层次，将原真性和完整性高，需优先保护的森林、灌丛、草地、内陆湿地、荒漠、海洋等生态系统评定为生物多样性维护极重要区。在物种层次，参考国家重点保护野生动植物名录、世界自然保护联盟(IUCN)濒危物种及中国生物多样性红色名录，确定具有重要保护价值的物种为保护目标，将极危、濒危物种的集中分布区域、绩效种群野生动植物的主要分布区域，确定为生物多样性维护极重要区；将省级重点保护物种等其他具有重要保护价值的物种的集中分布区域，确定为生物多样性维护重要区。在遗传资源层次，将重要的野生农作物、水产、畜牧等种质资源的主要天然分布区域，确定为生物多样性维护极重要区。

**1.1.5 水力侵蚀敏感性**

水力侵蚀敏感性计算公式如下：

$HE=\sqrt[4]{R×K×LS×C}$ （8）

式（8）中，*R*为降雨侵蚀力因子，*K*为土壤可蚀性因子，*LS*为地形起伏度因子，*C*为植被覆盖因子。各因子的赋值参照《生态保护红线划定指南》中“水力侵蚀敏感性评价因子分级赋值表” [10]。

**1.1.6 实体景观代表**

将评价区内水库、保留的风景名胜区、自然保护地等作为实体景观代表。为降低生态源地的破碎化程度，在ArcGIS软件的支持下将距离＜100m的图斑聚合为相对完整的连片的图斑，保证最小空洞为1km2，再将面积＜1km2 的独立图斑删除，其功能不再考虑。

**1.2 阻力面构建**

构建生态源地之间连通通道需要分析连通阻力因素，其包括自然环境因子与社会经济因子两类，在评价单因素阻力时，将阻力值分为5个等级，分别赋予不同的阻力值（1、2、3、4、5），对评价因子采用加权求和方法构建阻力面模型（其中各评价因子的权重采用熵权法确定）。（参见表1）

**表1 生态源地扩张阻力因子评价体系**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 阻力因素 | 阻力因子 | 阻力等级 | 权重 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 自然环境因子 | 植被覆盖(km) | >0.8 | 0.6～0.8 | 0.4～0.6 | 0.2～0.4 | <0.2 | 0.1359 |
| 距水体的距离（m） | <2 | 2～5 | 5～10 | 10～15 | >15 | 0.0980 |
| 坡度(°) | 0～10 | 10～15 | 15～30 | 30～40 | >40 | 0.1090 |
| 降雨(mm) | >1100 | 1000～1100 | 900～1000 | 850～900 | <850 | 0.1040 |
| 水力侵蚀状况 | 无 | 轻度 | 中度 | 高度 | 极度 | 0.1676 |
| 土地利用类型 | 林地、园地、水域 | 草地 | 耕地 | 未利用地 | 建设用地、采矿用地 | 0.1545 |
| 社会经济因子 | 距居民点距离(km) | <0.1 | 0.1～0.3 | 0.3～0.6 | 0.6～1.5 | >1.5 | 0.110 |
| 交通网密度 | <0.12 | 0.12～0.30 | 0.30～0.48 | 0.48～0.68 | >0.68 | 0.1210 |

以最小阻力模型(MCR)建立阻力面，MCR模型由俞孔坚在Knaapen等的模型和地理信息系统中常用的费用距离模型的基础上修改而得。因该模型考虑了源、距离和景观界面特征，能较好地模拟地物景观对水平空间运动进程的阻碍作用而被广泛用于生态连接度、功能分区、景观格局和生态安全格局的构建。最小累积阻力是指从生态源地经过不同阻力的景观所消耗的费用或者克服阻力所做的功；阻力面反映了物种运动的潜在可能性及趋势。最小消耗距离模型的表达式如下：

$MCR=f\_{min}\sum\_{j=n}^{i=m}D\_{ij}∙R\_{i}$ （9）

式（9）中，*MCR*为最小累积阻力，*D*ij为生态源j与土地单元i的空间距离，*R*i为土地单元i对运动过程的阻力系数。

**1.3 生态廊道和生态节点确定**

基于ArcGIS平台的空间分析成本距离模块，结合栅格数据的最短路径算法，识别物种在每两个生态源地之间迁移的最小累积阻力路径。生态节点为生物栖息保留了隐蔽空间，并用于加强区块连接创造自然的生物多样空间，在该处需相应设置如森林或小型湿地等小型生态节点，用作动物迁徙的“中转站”。

**2 研究区域**

本研究选择位于长江生态屏障重要地区的四川省江油市作为代表性区域。该区域山地、丘陵和平原地形兼备，毗邻川滇森林和生物多样性保护区，既是长江水系重要的保护地区，也是我国传统工业型城市，辖区面积为2719 km2，总人口约为86万。区域气候属于北亚热带湿润季风气候，年均气温15.9°C，降水量1113.2 mm，具有夏热冬暖、降水丰沛、雨热同步的特点。全市地势西北高、东南低，地形地貌丰富多样，山地占51.2%，丘陵占26.5%，平坝占22.2%，台地占0.1%。

**3 优化结果与分析**

**3.1 生态系统服务功能评价**

按照上述方法测算评价得到：水源涵养功能极重要区域主要分布在江油市西部和北部地区，面积为1039.44 km2，占整个区域面积的37.59%，主要土地覆被类型为森林；水土保持功能极重要区主要分布在西北部，面积为771.41km2，占总面积的27.89%；防风固沙功能极重要区主要分布在西北部的边缘地区，面积为152.99 km2，占总面积的5.53%；生物多样性维持与保护功能的极重要区域主要分布在东部和南部的部分地区，面积为116.03 km2，占总面积的4.20%；水力侵蚀极敏感区零星分布在西北部，面积为106.89km2，占总面积的3.89%；实体景观主要分布在南部，面积为54.60 km2，占总面积的1.97%。

同时，水源涵养功能重要区主要分布在江油市西部和中东部区域，面积为506.65 km2，占区域总面积的18.32%；水土保持功能重要区主要分布在北部和西部的大部分地区，面积为538.60 km2，占总面积的19.48%；防风固沙功能重要区主要分布在西北部的大部分地区，面积为1379.81 km2，占总面积的49.90%；水力侵蚀敏感区主要分布在西北部区域，面积为447.98 km2，占总面积的16.20%。

在生态系统服务极重要区中，水源涵养功能极重要区与其他类型极重要区的重叠面积最大，与水土保持功能极重要区重叠面积为567.09 km2，占该功能区面积的54.56%；与防风固沙功能极重要区、生物多样性维护功能极重要区、水力侵蚀极敏感区、实体景观区域重叠面积分别为70.13 km2、30.81 km2、79.22 km2、11.94 km2，分别占该功能极重要区面积的6.75%、2.96%、7.62%和1.15%。

**3.2 生态源地分布**

**3.2.1 最小生态系统源地**

最小生态用地格局是保障区域生态安全的底线。选取生态系统服务功能极重要区内各服务功能重叠两种及以上的区域，然后叠加生物多样性保护区、实体景观保护区作为最小生态用地的范围，即最小生态系统空间布局。在最小生态系统空间布局基础上，将其生态源地按主导生态系统功能及其空间连通性归类提取了13个源地。基于ArcGIS平台，聚合和剔除空洞后，最小生态系统源地面积为917.78 km2，占总面积的33.19%。

**3.2.2 最优生态系统源地**

最优生态系统格局兼顾效益和经济的原则，保障区域核心生态功能的用地综合。将生态系统功能极重要区、水力侵蚀极敏感区和实体景观保护区叠加提取为最优生态系统源地。在最优生态系统空间布局基础上，将生态源地按主导生态系统功能及其空间连通性归类提取了7个源地。基于ArcGIS平台，聚合和剔除空洞后，最优生态系统源地面积为1477.73 km2，占总面积的53.44%。

**3.2.3 适宜生态系统源地**

适宜生态系统源地以生态功能为主，旨在最大限度地保护区域重要的生态用地。将生态系统功能极重要区和重要区、水力侵蚀极敏感区和敏感区，与实体景观保护区叠加提取为适宜生态系统源地。在适宜生态系统空间布局基础上，将生态源地按主导生态系统功能及其空间连通性归类提取了8个源地。基于ArcGIS平台，聚合和剔除空洞后，适宜生态系统源地面积为1883.42 km2，占总面积的68.11%。

**3.3 阻力面**

依据江油市的景观现状，以及对现有生态环境有较大影响的因素，构建区域生态安全格局阻力的分布现状，即最小累积阻力面。由其空间分布特征可知，阻力值较大的区域主要分布在东南部，这里主要分布着城镇用地、交通道路，由于交通便利、地势平坦、有水系分布等条件，有利于人类活动，对于自然生态的改造活动较多；而西北部边缘地区，地势较高，地形复杂。以上区域都对生态流扩张存在较大的阻力，阻碍生态能量的流动。阻力值较小的区域集中分布在西南部与中部地区，生物流扩张在这里形成谷地。

**3.4 生态系统安全格局**

生态廊道通常为线状或带状区域，生态节点是生态廊道得以畅通的关键区域，对于维持区域生态系统结构和功能完整性具有重要作用，应给予重点保护和建设。为此，在不同的生态系统空间布局上进行优化得到相应的生态系统安全格局。

**3.4.1 最小生态系统安全格局**

在最小生态系统空间布局基础上构建了29条潜在廊道，廊道中心线总长572.82km，形成了江油地区生态源地之间的网状空间分布，从而增加了各个生态源地之间的空间连通性，其中南部地区分布的生态廊道明显多于北部地区。共产生了44个生态节点，其中有10个落在生态源地内，进一步统计发现与道路相交的生态节点有23个，与河流相交的生态节点有12个。

**3.4.2 最优生态系统安全格局**

在最优生态系统空间分布基础上构建了16条生态廊道，廊道中心线总长279.13km，由于北部生态系统内景观已经形成相互连通状态，构建的生态廊道较少，南部地区生态源地相较北部分散，南部生态廊道的分布多于北部。共产生了30个生态节点，其中有10个落在生态源地内，进一步统计发现与道路相交的生态节点有20个，与河流相交的生态节点有10个。

**3.4.3 适宜生态系统安全格局**

在适宜生态系统空间分布基础上构建了15条生态廊道，廊道中心线总长408.81 km。该地区生态廊道相较最优生态系统内构建的少，但其总长度显著高于最优生态系统内的生态廊道，主要是由于研究区东南部增加了分散的源地。共产生了35个生态节点，其中有14个落在生态源地内，进一步统计发现与道路相交的生态节点有25个，与河流相交的生态节点有9个。

**4 结语**

确定重要生态保护空间需要从单要素评价出发，立足区域最具优势生态功能空间，将极重要区和极敏感区进行综合比对，通过空间叠加实施系统划定和多维保护应是未来构建生态保护空间和优化国土空间格局的主要技术路径。在保证空间功能完整和形廓完整的基础上，将构建生态廊道作为有力补充，可以最大化建立生态空间网络，协同化维护区域生态源地，同时，有利于精准发现生态修复和治理的核心目标区、目标地和目标点，防控重大遗漏，促进整个生态系统的循环运转，这对强化区域生态环境和生物多样性保护至关重要。

**参考文献**

[1]叶鑫,邹长新,刘国华,等.生态安全格局研究的主要内容与进展[J].生态学报,2018,38(10):3382-3392.

[2]刘洋,蒙吉军,朱利凯.区域生态安全格局研究进展[J].生态学报,2010,30(24):6980-6989.

[3]樊杰.我国国土空间开发保护格局优化配置理论创新与“十三五”规划的应对策略[J].中国科学院院刊,2016,31(1):1-12.

[4]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.

[5]赵筱青,谭琨,易琦,等.典型高原湖泊流域生态安全格局构建：以杞麓湖流域为例[J].中国环境科学,2019,39(2):768-777.

[6]郭天威,陆春锋,王君櫹,等.基于三生空间耦合的生态 安全格局构建与优化：以扬州市为例[J/OL].南京林业大学学报(自然科学版):1-13[2021-05-07].http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1161.S.20210419.1416.002.html.

[7]付凤杰,刘珍环,刘海.基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别：以贺州市为例[J/OL].生态学报,2021(9):1-9[2021-05-07].http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20210305.1705.002.html.

[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.

[9]张学渊,魏伟,颉斌斌,等.西北干旱区生态承载力监测及安全格局构建[J].自然资源学报,2019,34(11):2389-2402.

[10]原环境保护部.生态保护红线划定技术指南:附录A 生态系统服务功能重要性评价方法[S].北京：原环境保护部，2015:5.

1. **收稿日期：**2021-05-07；**修回日期：**2021-05-26

**基金项目：**国家重点研发项目国家重点研发计划专项“典型脆弱生态修复与保护研究”（2017YFC0506604）

**作者简介：**强真（1979‒），男，天津市人，中国自然资源经济研究院研究员，土地资源管理硕士，主要从事国土空间规划、自然资源经济研究。 [↑](#footnote-ref-1)