

基于适宜性分析的生态—文化复合型遗产廊道网络构建研究——以云南普洱为例

Research on the Construction of Ecological - Cultural Complex Heritage Corridor Network Based on Suitability Analysis: Taking Pu'er City, Yunnan Province as an Example

李 晖^{1*} 王聪聪² 许 庆¹ 汪俊志¹ 黄伊琳¹ 刘 彦¹
LI Hui^{1*} WANG Congcong² XU Qing¹ WANG Junzhi¹ HUANG Yilin¹ LIU Yan¹

(1.华南农业大学林学与风景园林学院, 广州 510000; 2.云南大学建筑与规划学院, 昆明 530000)
(1. School of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangdong, Guangzhou, China, 510000; 2. School of Architecture and Planning, Yunnan University, Kunming, Yunnan, China, 530000)

文章编号: 1000-0283(2022)12-0019-09
DOI: 10. 12193 /j. laing. 2022. 12. 0019. 003
中图分类号: TU986
文献标志码: A
收稿日期: 2022-09-25
修回日期: 2022-10-17

摘 要
区域生态—文化网络构建有助于生态环境和生态过程完整性的保护, 连续并完整的生态系统作为文化遗产资源的基底, 对保护遗产廊道区域生态环境及沿线的历史传统具有极其重要的理论意义。通过适宜性分析方法并运用最小累计模型定量分析研究区空间结构及层次, 确定“源”和阻力面, 运用GIS的成本加权距离模块, 分析其空间的通达性及适宜性, 构建生态网络并运用网络分析方法, 把廊道网络抽象成节点和廊道连接而成的网络。运用生态学中的斑块—基质—廊道的原理及 α 、 β 、 γ , 三个结构指数对网络进行对比分析, 构建优化的生态—文化复合型遗产廊道网络。研究表明: 单纯依托物质文化遗产或者选取自然要素而构建的遗产廊道网络会导致连通性不高, 或连通性较高但回路较少等网络连通性问题。基于生态—文化廊道网络的评价分析可知, 双要素廊道网络优于单个要素的廊道网络, 具有网络连线数量较多、连接性较好, 节点之间彼此形成了一个较稠密的通道网络等优势, 能够促进遗产廊道网络的构建并有利于遗产的保护。有助于实现遗产廊道文化遗产、生态环境的整体保护目标, 并为今后类似大型生态—文化网络构建提供理论支撑和参考价值。

关键词
遗产廊道; 生态—文化网络构建; 适宜性分析; 茶马古道; 网络结构指数; 连通性

Abstract
The construction of regional ecological - cultural networks contributes to the preservation of the ecological environment and the integrity of ecological processes. The continuous and intact ecosystem forms the substrate of cultural heritage resources. It is of great theoretical importance for the preservation of the regional ecology of the heritage corridor and the historical traditions along it. The spatial structure and hierarchy of the study area are analyzed quantitatively through suitability analysis methods and the use of a minimum cumulative model to identify “sources” and resistance surfaces and to analyze their spatial accessibility and suitability using the cost-weighted distance module of GIS. The network is compared and analyzed by applying the principle of patch-substrate-corridor in ecology and three structural indices of α , β , and γ to construct an optimized ecological - cultural network of the heritage corridor. The study shows that heritage corridor networks constructed solely based on tangible cultural heritage or selected natural elements lead to network connectivity problems such as low connectivity or high connectivity but fewer loops. Based on the evaluation analysis of the ecological-cultural corridor network, it can be seen that the two-factor corridor network is better than the single-factor corridor network, with the advantages of a larger number of network links, better connectivity, and a denser network of channels between nodes, which can promote the construction of the heritage corridor network and facilitate the conservation of heritage. It helps to achieve the goal of overall conservation of cultural heritage and ecological environment of heritage corridors and provides theoretical support and reference value for the construction of similar large-scale ecological - cultural networks in the future.
Keywords
heritage corridor; ecological-cultural network construction; suitability analysis; Ancient Tea-Horse Road; index of network structure; connectivity

李 晖
1967年生/女/重庆人/博士/教授, 博士生导师/研究方向为风景园林遗产保护、景观生态规划设计、生态安全格局与生态修复
王聪聪
1990年生/女/河南郑州人/硕士/研究方向为风景园林规划设计
许 庆
1994年生/男/黑龙江齐齐哈尔人/在读博士研究生/研究方向为风景园林遗产保护、景观生态规划设计、生态安全格局与生态修复

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: ydlihui@scau.edu.cn

基金项目:
国家自然科学基金项目“粤港澳大湾区水陆交错带权衡/协同关系及韧性景观调控网络机制研究”(编号: 52078222); 国家自然科学基金项目“基于景观生态学时空理念的‘茶马古道’遗产廊道保护研究”(编号: 51468064); 广东省教育厅2020年度普通高校重点科研项目“珠江三角洲水网地区乡‘三生’空间配置及功能区划‘红线’研究”(编号: 2020ZDZX1033)

遗产廊道概念是美国绿道运动、风景道建设和区域遗产保护理念不断发展后相互作用的产物^[1]，2001年由北京大学王志芳^[2]等引入国内，作为一种线性的遗产保护区域，同时包括多种不同的遗产，多为中尺度。借助绿道的规划方法，遗产廊道将文化意义提到首位，对于遗产的保护主要采用区域而非局部的观点，同时又是自然、经济、历史文化等多目标的综合保护措施^[3]。依据国外遗产廊道研究成果，结合中国国情，国内学者进行诸多概念以及本土化研究，多集中在线路实证案例、遗产价值评估以及遗产旅游，其中以京杭大运河、商贸线路以及茶马古道为主要研究对象^[4]。但目前的研究多是从文化出发进行研究^[1-5]，忽略了文化赖以生存的生态环境，缺乏整体性研究，研究方法与学科间交叉相对较少，方法较为单一，不利于遗产保护的整体性与原真性要求。

生态网络的概念基于生物迁徙、生态交流之间存在着由“廊道”与“节点”构成的网络格局这一理论假设，通过线性元素将系统中的关键点/要素连接起来，满足系统中的“流”的流动、交换、支撑、运行等作用，从而使生态系统的生物迁徙、基因扩散等功能得以实现。其能体现生态系统各要素的代表性、均衡性、完整性、连续性等特征，通过维护其空间结构、过程及要素的完整性、连续性^[6-7]，有助于保护遗产廊道文化与自然资源的整体价值，有助于保护遗产廊道沿线的生态环境和生态过程的完整性。而生态—文化网络在以往的研究中较为少见，文章针对研究区文化与生态相互交织的复杂关系，通过对生态和文化“源”的判别，构建生态—文化双要素廊道网络保护体系。但如何将空间关系简化为一种网络联系，甚至将保护规划理解为网络的构建，则需要视生态系

统的真实内在肌理和规律而定。

现阶段生态网络规划的方法多从可达性分析^[8]、景观格局指数^[6-9]、重力模型^[8]、网络结构分析^[10]、GIS^[11]等进行研究。可达性分析和GIS中的费用加权距离方法主要用于评价分布的合理性与公平性^[11]；景观格局分析是通过对景观指数计算，反映网络结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标^[12]；斑块间的相互作用力可以反映出网络的连通性和廊道的相对重要性^[13]；网络结构分析主要是表明网络的连通性。而通过研究生态“源”的判别及空间结构的分析，建立适宜性评价模型^[14]；探讨综合遗产网络的构成、空间形态、功能属性，修正关键点（斑块）及廊道的选择，进行廊道网络的优化分析（网络结构分析）是更为准确、科学的生态网络构建方法。

适宜性分析是指根据评价的目的选择评价因素，通过对单因子叠加最终来确定评价结果的评价方法。其概念最早出现在英国，又称为筛网法，即留下需要的，筛除不需要的^[15]。1938年德国植物学家Troll提出了景观生态学，随后科学家沿着“土地生态—土地生态评价—土地生态规划”方向开展研究，逐渐形成了适宜性分析方法。1961年George Angus Hill应用适宜性分析的方法主持了安大略省规划。1969年Philip Lewis采用叠加分析技术，评价了威斯康星全州的自然资源。1969年，麦克哈格发表了Design with nature，书中探讨了生态规划的步骤流程、方法。弗雷德里克·斯坦纳在《生命的景观》中通过实例进一步阐述了适宜性方法^[16]。Miller等运用GIS分析以Prescott Valley镇的绿色廊道设计为例，得到适宜性评价的成果。中国学者多以生态适宜性分析研究、生态适宜性分析在建设中的应用研究两方面进行研究，并结合GIS技术

应用于城乡规划、生态规划、区域规划、资源保护等领域^[16-22]。现阶段常用的5种方法归纳如表1。

云南省普洱市作为茶马古道上的重要节点，据《布朗族史志》记载，澜沧芒景种茶距今已有1800多年的历史，自然环境中的古茶山、古茶园、古茶树已经成为自然资源和生态保护的资源。茶马古道作为文明标志性的遗产，拥有包括古道本身遗产、物质文化遗产与非物质文化遗产在内的多样遗产类型和众多的遗产数量^[3]。与此同时，茶马古道作为一个由古道、林地、山体、城镇等构成的独特并有着广泛影响的半自然生态系统，其作为沿古道区域系统的生态价值十分重要。

然而，在现代建筑、城镇、道路、市政等基础设施建设冲击的影响下，现代农田、茶园、果园的开垦对原生生态环境产生了极大的破坏。将生态网络的研究方法引入到遗产廊道生态—文化网络构建的研究体系中，通过GIS和最小累计模型构建生态文化遗产廊道网络，对阻碍连接的程度不同进行因子赋值、权重计算，生成适宜性图作为消费面，即适宜性图，而后执行成本加权叠加，生成生态网络，并采用网络分析方法进行评价，为生态—文化网络的优化构建提供策略参考。

1 研究区概况

云南省普洱市地处北纬22° 02′ —24° 50′、东经99° 09′ —102° 19′之间，下辖一区九县，总面积为45 385 km²，属横断山脉南段延伸余脉山地，哀牢山、无量山、怒山三大山脉，与澜沧江、红河、怒江三大水系相间排列，被称为湄公帚状山系。森林植被有热带雨林类、准热带雨林类、亚热带森林类、温带森林类4种类型，森林覆盖率达76.9%。研究区是滇藏茶马古道的源头，著

名普洱茶的原产地和集散中心，见证了普洱茶贸易的盛衰，经历了沿线文化遗产与民族文化的演变，是自然与文化相互交织的典型区域。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

首先，通过对研究区的水体、植被和生物性等构成要素的研究，对生态网络“源”进行判别。其次，通过GIS和最小累计模型构建生态遗产廊道。即通过重力模型 (gravity model) 来构建斑块间的相互作用矩阵，用定量的方法评价相互作用强度，从而判断廊道的相互重要性以及斑块间的缺失部分^[28-29]。计算见公式 (1)。

$$G_{ab} = \frac{N_a N_b}{D_{ab}^2} = \frac{\left[\frac{1}{P_a} \times \ln(S_a)\right] \left[\frac{1}{P_b} \times \ln(S_b)\right]}{\left[\frac{L_{ab}}{L_{max}}\right]^2} \quad (1)$$
$$= \frac{L_{max}^2 \ln(S_a S_b)}{L_{ab}^2 P_a P_b}$$

式中， G 表示斑块的相互作用力， N 是斑

块的权重值， D 是斑块间廊道阻力的标准化值， P 为斑块阻力值， S 是斑块面积， L 是斑块之间廊道的累积阻力值， L_{max} 是所有廊道阻力的最大值。

对阻碍连接的程度不同进行因子赋值、权重计算，构建生态廊道网络适宜性模型并生成适宜性图；而后执行成本加权距离函数，找出最适宜路径；最后，采用网络结构分析方法，根据生态网络的空间布局及各个斑块的生态景观重要性，选择重要斑块作为节点，其他斑块抽象为廊道 (包括线性廊道、景观廊道和踏脚石廊道)，并选择网络闭合度 α (Network Circuitry)、线点率 β 及网络连接度 γ (Network Connectivity) 三个结构指数^[28-29]进行网络结果的分析，见公式 (2)；采用德尔菲及AHP方法对廊道进行分析，选择最优网络。

$$\alpha = \frac{l-v+1}{2v-5}; \beta = \frac{l}{v}; \gamma = \frac{l}{l_{max}} = \frac{l}{3(v-2)} \quad (2)$$

式中， L 表示廊道数， v 为节点数， L_{max} 为最大可能连接数。其中 α 指数是在 0 ~ 1 之间

变化，越接近1表示网络闭合度越高； β 指数是在 0 ~ 3 之间变化，值越大表示网络越复杂稳定； γ 指数是在 0 ~ 1 之间变化，值越接近1表示节点被连接的程度越高。

2.2 数据来源

实地调研及文献整理搜集整理数据如下：2011-2030年的普洱市总体规划图；中国普洱思茅茶马古道风景名胜区总体规划 (2012-2030)；在SRTM下载的普洱市DEM图和TM数据；有关普洱市以及茶马古道的地方志、通史、图册、专著、普洱市城市总体规划修编 (2005-2020年)；普洱市林业“十一五”成果。GIS分析软件采用的是ESRI公司的ArcGIS 10。

2.3 研究理论框架

依据本研究思路制定以下研究框架 (图1)。

表1 适宜性分析研究模型优劣比较一览表
Tab. 1 List of comparative advantages and disadvantages of suitability analysis research models

模型名称 Models name	模型方法 Models method	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
经验指数法	将各参评因子按其对应土地适宜性贡献或限制的大小进行经验分级或统计分级并赋值，然后用各参评因子指数之和来表示土地适宜性的高低 ^[23] 。用经验法确定参评因子等级指数，并用层次分析法确定各参评因子的权重系数，最后将各参评因子指数求和 ^[24]	方便易操作	结果不准确
层次分析法	将人的思维过程层次化、数量化、系统化，并结合数学方法为分析、决策、预报或控制提供定量依据，是定量与定性相结合的分析方法 ^[24]	对定性问题进行定量分析的一种简便、灵活而又实用的多准则决策方法	所选的要素若不合理，其含义混淆不清，或要素间的关系不正确，都会降低其结果质量，甚至导致AHP法决策失败
模糊综合评价模型	需要评价或判断受到多个因素制约的事物或对象，确定它的好坏、优劣，用于需要综合评价来解决的问题 ^[25]	对多个因素制约的事物或对象作出一个总的评价	多方面对事物进行评价难免带有模糊性和主观性
多因素综合评价模型	选择对各种不同类型用地有影响的因素，计算各因素作用分值，在整个评价范围内，划分评价单元，计算各影响因素对评价单元的影响分值，根据评价单元总分值及其统计频率，初步划分质量级别，验证质量级别，确定质量级别圈 ^[26]	分类型分级评价	计算过程较为复杂
多目标适应性评价法	针对每一个评价单元，选择不同的土地利用类型为评价目标，根据土地质量的差异以及土地利用方式的要求，分析适宜性的过程 ^[27]	针对每一个评价单元，在适宜的情况下选择高效利用方式，在较高效益的前提下进行最佳利用的选择	评价过程较为复杂

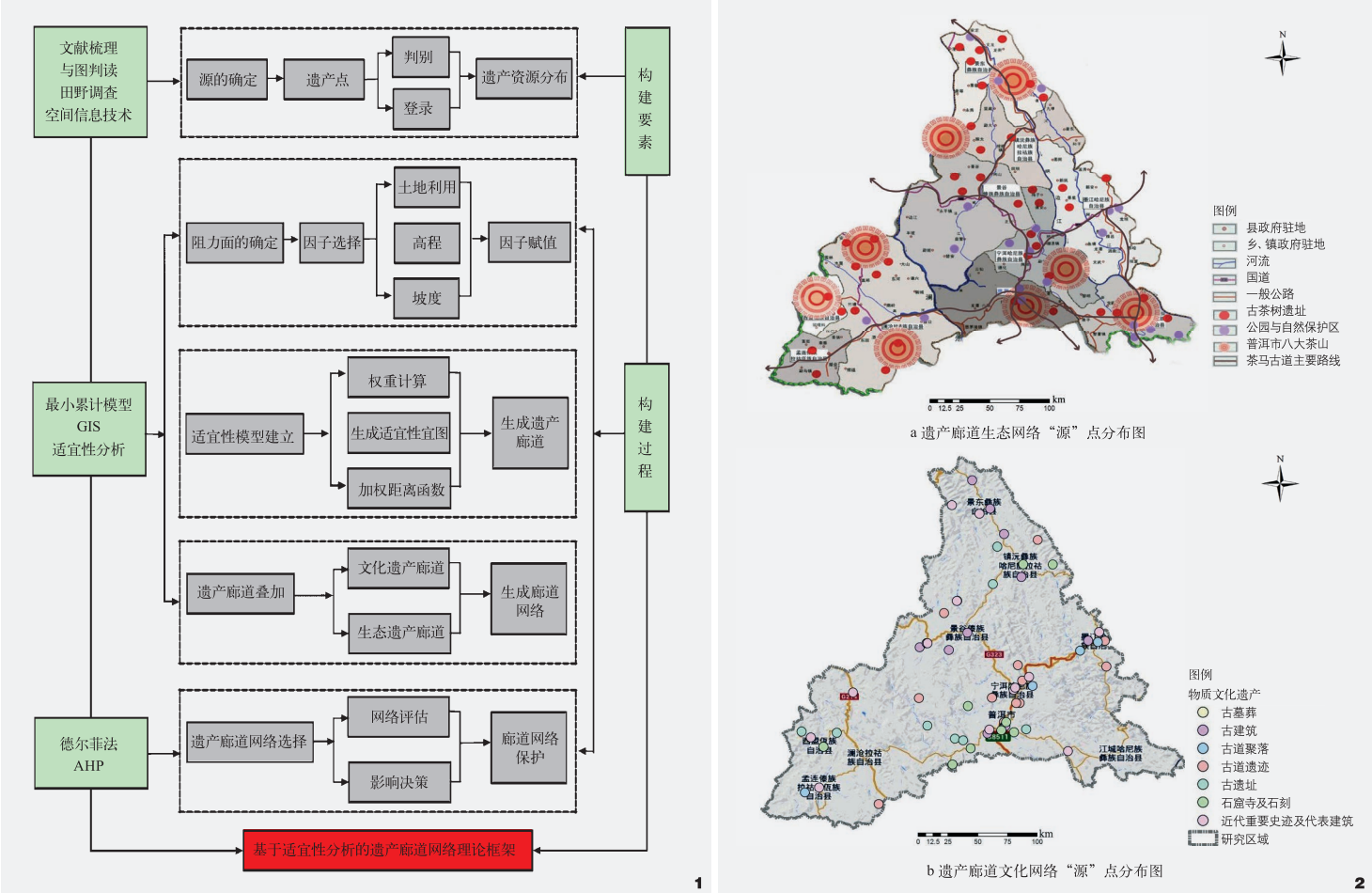


图1 普洱遗产廊道生态—文化网络构建的理论框架
Fig. 1 The theoretical framework for the construction of a corridor state-cultural network of Pu'er raw heritage

图2 普洱遗产廊道生态文化网络“源”点分布图
Fig. 2 Distribution of "source" points of the ecological and cultural network of the Pu'er Heritage Corridor

3 遗产廊道生态—文化网络构建

3.1 遗产廊道生态—文化网络“源”的判别

依据研究区自然生态系统及地质地貌、地理环境特征，以及研究区现有的自然保护区及潜在生物多样性区域，同时具备地域文化特征区域作为主要的生态—文化网络“源”。其中，哀牢山自然保护区、威远江自然保护区、莱阳河自然保护区、糯扎渡自然保护区、牛洛河自然保护区、泗南江杪楞自然保护区这6个自然保护区由于保护有代表性的自然生态系统、珍稀濒危野生动植物物种的天然

集中分布、有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地、水域，是生态系统中最重要

的斑块，为物质流的转换、交流起到至关重要的作用，作为生态—文化网络“源”的主要组成部分。其次，将能够代表茶叶从野生型—过渡型—驯化型的驯化过程的古茶山，如：景迈茶山、邦崴茶山、佛殿山、千家寨茶山、无量山、景谷茶山、营盘山、板山、牛洛河等8座古茶山，以及成片或者代表性的古茶树作为生态网络“源”。城市公园作为生态系统的小斑块，在生态—文化网络中起

着“踏脚石”用于链接廊道的作用（图2-a）。通过对历史文献、查阅资料、现场调研、专家咨询对普洱市现已登录的历史文化遗产进行判别和分析，遴选出古道遗址、古镇、古茶树、古桥、老字号、古驿站遗址等组成的文化资源点作为文化网络“源”（图2-b）。

3.2 构建遗产廊道生态—文化网络适宜性评价模型

3.2.1 遗产廊道生态—文化“阻力面”的构建

阻力面因子、阻力系数的确定主要是通

过德尔菲法，综合多学科背景的专家，通过三次专家打分、评价来决定，最终选择出最能反映普洱生态环境的4个基本因素：水因子、高程因子、坡度因子、土地利用因子。采用德尔菲法进行赋值（表2），分值越低，适宜性越高，越容易构建生态廊道，反之，则适宜性较低。水体因素既是物质及能量流动的媒介，又是水陆之间交流的障碍与“膜”，对景观格局有着重要影响，水体周边是生物多

样性最丰富的区域以及重要的生态廊道，越靠近河流廊道，生态适宜性越高，越容易构建河流廊道（图3-a）。普洱80%的人类活动多集中在低中山（海拔900 ~ 1500 m）、中山（海拔1000 ~ 2000 m）区域，受人为因素的影响而导致景观的破碎化程度较高，景观种类、结构较为复杂，不适宜生物的栖息，因此，海拔越高，适宜性越高，越容易构建生态廊道（图3-b）。坡度因子与水土流失等与生

态环境密切相关，将坡度以10° 和30° 进行重分类（图3-c）。生态源点之间的连接主要是生态源点之间通过土地类型连接的难易程度，阻力值越大，表示适宜性越低（图3-d）。通过以上方法遴选与文化遗产廊道密切相关的土地利用因子、高程因子、坡度、坡向因子，其中，土地利用类型中的荒地、农田不利于遗产点的保护，林地、草地则适宜建设遗产廊道（图3-d）。遗产点的分布与高程的

表2 单因子适宜性阻力系数表
Tab. 2 The single factor suitability resistance coefficient table

评价因子 Evaluation factor	评价标准 Evaluation criterion	分级 Grading	生态廊道阻力系数 Resistance coefficient of ecological corridor	文化廊道阻力系数 Resistance coefficient of culture corridor
水域影响	水域周边生物多样性的丰富程度，水资源保护，野生生物生境	< 30 m	10	—
		30 m < x < 100 m	30	—
		> 100 m	60	—
高程	景观破碎化	生态：≤ 1 000 m 文化：0 ~ 1 500 m	100	20
		生态：1 000 m < x < 2 000 m 文化：1 500 m < x < 2 000 m	30	40
		生态：≥ 2 000 m 文化：2 000 m < x < 2 500 m	20	70
		文化：≥ 2500 m	—	100
		文化：0° < x < 5°	—	5
坡度	水土流失土壤侵蚀	文化：5° < x < 8°	—	10
		生态：≤ 10° 文化：8° < x < 15°	10	30
		生态：10° < x < 30° 文化：15° < x < 25°	40	60
		生态：≥ 30° 文化：25° < x < 35°	80	90
		文化：35° < x < 90°	—	100
土地利用	土地覆盖类型	古驿道	—	10
		水域	—	20
		林地	10	30
		草地	40	40
		农田	60	50
		荒地	80	60
		高速路	—	100

注：水域影响，距离岸边距离越远对于生物的影响程度越低，水域对于文化廊道构建无阻力；高程，以景观破碎度为评价标准，同时分为生态与文化两个影响对象，将高程分为4个级别，破碎化越高对生物扩散阻力越大，对文化阻力越小，反之影响相反；坡度，坡度越大对于生态、文化廊道构建的阻力越大；土地利用，不同用地类型对于生态—文化廊道构建的阻力不同。

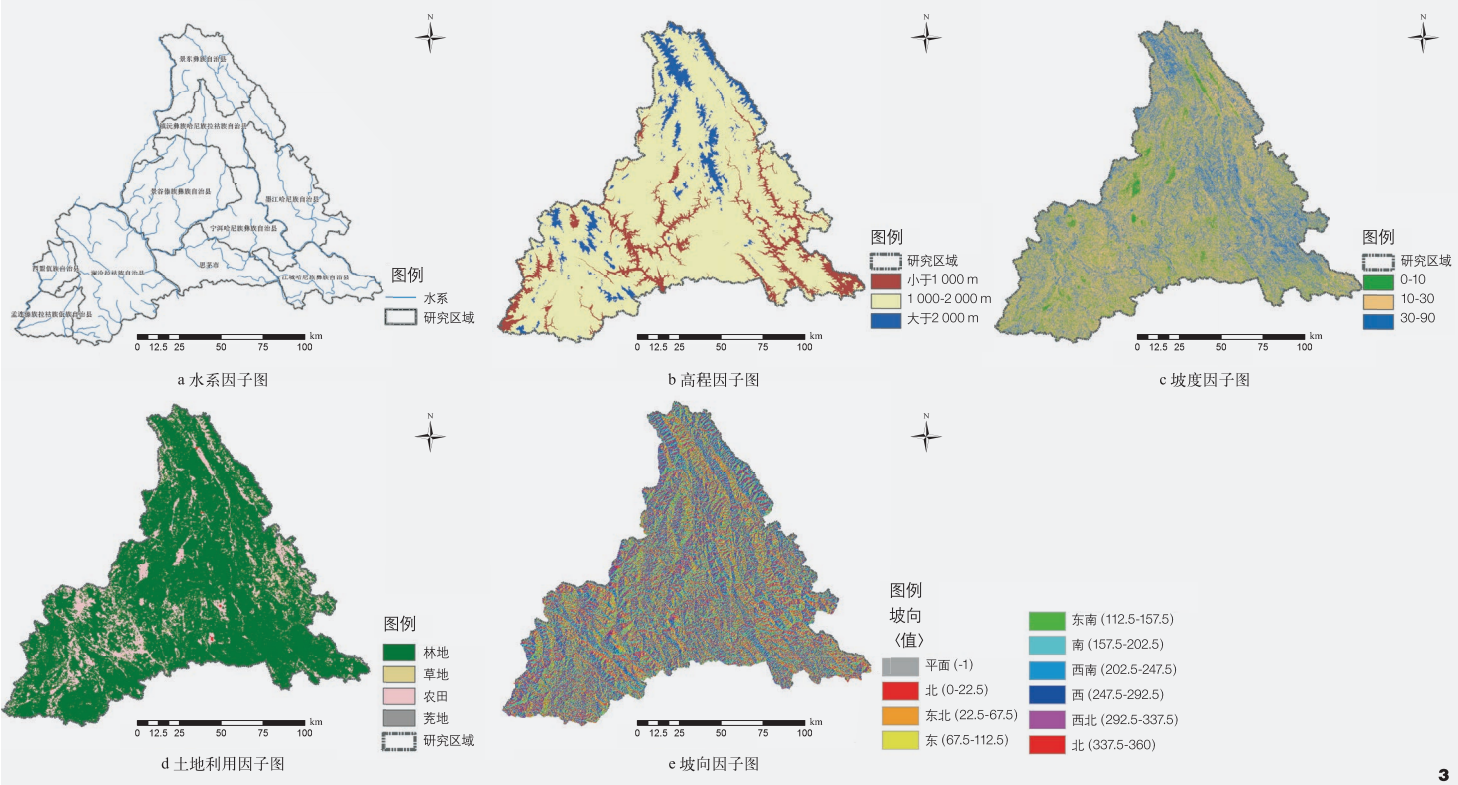


图3 阻力因子图
Fig. 3 Resistance factor diagram

关系较为密切，46%的文化遗产点集中在海拔 900 ~ 1 500 m 的区域，数量多且相对集中；海拔 1 700 ~ 2 500 m 的遗产点较少，占遗产总数的 25%；海拔 1 700 m 以下的遗产点占遗产总数的 27%；海拔 2 500 m 以上的文化遗产成零星分布 (图 3-b)。坡度的大小对于遗产点的连接程度影响很大，坡度越大，遗产点越不容易连接，不同的地形坡度具有不同的阻力作用，表现为不同的阻力系数 (图 3-c, 图 3-e)。值得一提的是，同样的因子对于生态和文化廊道的阻力系数是有所不同的。

3.2.2 多因子加权叠加分析

利用 GIS 适宜性分析和最小累积阻力模型以遗产资源点为“源”，土地利用、高程、坡度等为模型参考阻力面，进行费用距离计

算，得到适宜性评价结果，判断遗产廊道构建的适宜性，模拟普洱潜在适宜遗产廊道生态文化网络。将生态—文化廊道适宜性评价结果根据自然断点法划分为高适宜性、中适宜性、低适宜性和不适宜性，生成生态、文化网络的适宜性图。如图 4 所示，普洱市整体生态适宜性较高，多集中在思茅区、宁洱县、澜沧县、江城、景东县。文化遗产点的空间分布沿茶马古道走向呈现一定的线性分布特点，分布较为集中，连接性较好，总体适宜性较高。

进而在 Arc Gis 中用 (Shortest Path) 命令生成最小路径，执行成本加权距离函数，用来确定生态源点之间的连接，生成生态廊道网络模拟图 (图 5-a) 与文化廊道网络模拟图 (图 5-b)。

4 生态—文化复合型遗产廊道网络构建及结构分析

4.1 生态—文化复合型遗产廊道网络优化构建

根据层次分析法的权重计算结合保护遗产和生态环境的目的，提出廊道选线应该兼顾自然文化保护相结合的原则。自然环境方面，要求通道选择应适合各地形、地质、水文等自然基础条件，不破坏廊道范围内的自然景观，并能让人在空间移动过程中欣赏和感受身心愉悦。文化遗产保护方面，小尺度范围内的通道可充分利用仍留存的历史型路径。其次，各节点之间的通道规划必须以不破坏文化遗产本身和遗产所依存的周边历史环境为前提，尽量符合历史遗迹的内涵和整体历史风貌的重构，通过对潜在生态、文化遗产廊道模拟分析，形成生态—文化网络综

合适宜性图(图6)。并依据廊道的连接性、连续性和完整性原则,借鉴绿道中点—线—面相结合的理念,对文化、生态廊道进行叠加,构建生态—文化双要素遗产廊道网络:以生态、文化“源”为点——河湖水系、线性遗产景观等为线——自然保护区及其周围大环境为面的生态—文化复合型遗产廊道网络(图7)。

4.2 网络结构分析及评价

运用 α 、 β 指数和 γ 指数来对图5、图7生成的生态—文化廊道网络现有结构进行分析、评价(表3-5)。生态廊道网络结构的 α 指数为0.10,表示回路性较差,通道网络发达程度较低,连接性较差;文化廊道通道网络结构的 α 指数为0.25,表示回路性较差。 β 指数是衡量节点间连接程度的指标,根据计算得出生态与文化遗产廊道网络的 β 值分别为2.30、2.92,可见生态、文化廊道通道网络的连通性均很高。一方面促进了生物流的交换,另一面也减轻景观生态的破碎化程度,从长远来看有利于区域生态环境保护以及线型遗产的完整保护。 γ 指数的变化为0~1,根据公式计算生态与文化单一要素遗产廊道网络的 γ 分别为0.40、0.50,说明普洱市生态廊道连线较少,连接性较差,没有形成一个较稠密的通道网络结构,影响到生态和文化廊道的保护。通过 γ 、 α 指数和 β 指数分析,目前所构建的生态、文化单一要素的廊道连通性较高、但回路较少。

从网络结构对优化方案做出评价,并与单一的生态或者文化网络结构相比较,优化网络的 α 指数为0.44,比文化或生态单一要素网络的环路数多,说明环路数量适中,连接性也相对较好;优化网络的 β 值为1.80,低于单一网络,说明网络的连通性有待提高,

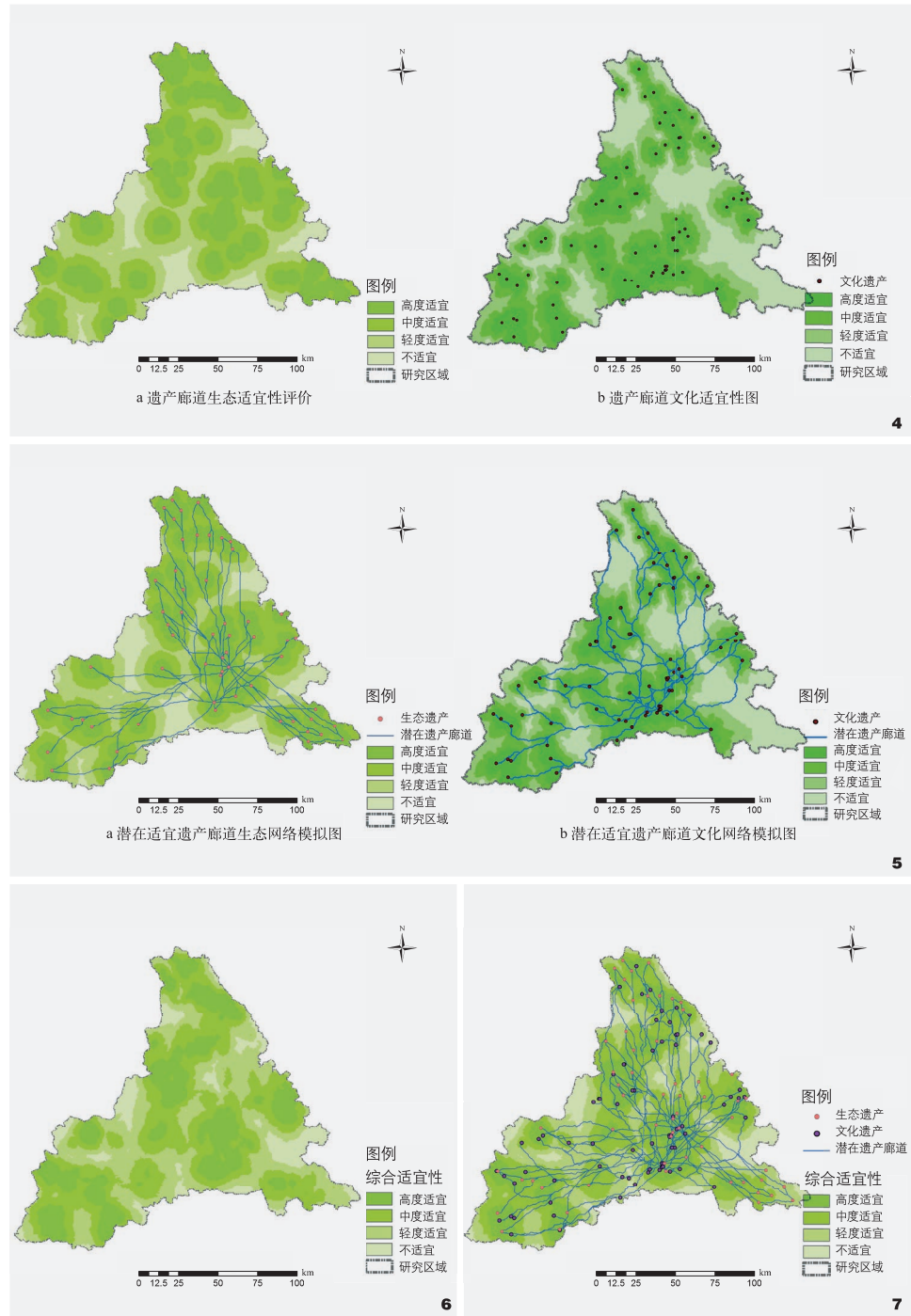


图4 遗产廊道生态—文化适宜性图
Fig. 4 Ecological-cultural suitability map of the heritage corridor

图5 普洱潜在适宜遗产廊道生态文化网络模拟图
Fig. 5 Ecological-cultural network simulation map of potentially suitable heritage corridors in Pu'er

图6 遗产廊道生态—文化网络综合适宜性图
Fig. 6 Integrated suitability map of ecological-cultural network of heritage corridors

图7 普洱潜在遗产廊道生态—文化网络优化图
Fig. 7 Ecological-cultural network optimization map of Pu'er potential heritage corridors

表3 α 指数结果分析表
Tab. 3 The α index results analysis tables

网络类型 Network type	网络中的边数L Number of network edge	节点数V Number of nodes	实际环线数 (L-V+1) Number of actual loop	最大可能环线数 (2V-5) Maximum number of possible loops	α 指数 Index α
生态遗产廊道网络	62	57	9	109	0.10
文化遗产廊道网络	92	79	30	121	0.25
生态—文化遗产廊道网络	254	136	119	267	0.44

表4 β 指数结果分析表
Tab. 4 The β index results analysis tables

网络类型 Network type	网络中的边数L Number of network edge	节点数V Number of nodes	β 指数 Index β
生态遗产廊道网络	65	57	2.30
文化遗产廊道网络	92	79	2.92
生态—文化遗产廊道网络	254	136	1.80

表5 γ 指数结果分析表
Tab. 5 The γ index results analysis tables

网络类型 Network type	网络中的边数L Number of network edge	节点数V Number of nodes	最大可能连线数3 (V-2) Maximum number of possible on-line	γ 指数 Index γ
生态遗产廊道网络	65	57	165	0.40
文化遗产廊道网络	92	79	183	0.50
优化遗产廊道生态—文化网络构建	254	136	165	0.63

需要加强生态网络与文化网络之间的连通性；优化网络指数 γ 为0.63，说明生态—文化复合型遗产廊道网络的连线数量较多，连接性也相对较好，表示各节点间的连通性较好，形成了一个较密集的通道网络结构，有利于生态—文化的综合整体保护。

5 结论及讨论

5.1 讨论

运用最小累计模型进行研究时应该有更加准确的方式确定“源”与阻力面，例如在选择文化遗产“源”时，由于非物质文化遗产的活态性与不确定性，较难准确定位；而阻力系数采用专家打分及问卷调查的方法，由于阻力系数是相对而非绝对的，受评分人的价值观念影响，对适宜性的评价评分较难精

确到各个方面。运用GIS的最短路径构建的生态—文化网络，由于局限于现有算法效率的准确率，还需要进一步优化。

中华5000年历史孕育了大量诸如丝绸之路、古蜀道、红军长征线路等跨区域线性文化遗产，本文基于生态网络理论与方法所提出的生态—文化复合型遗产廊道网络构建方法为此类跨区域线性文化遗产保护与可持续发展提供了一个可操作的平台。除了对已经被列入文物保护的遗产资源进行保护外，还应该将未列入遗产保护的遗产实物、具有重要意义景观要素、土地格局一并纳入生态—文化网络保护的范畴，成为保护历史文明的重要依托。未来可将绿道网络、碧道网络、古驿道网络、自行车和步行网络及游憩系统相结合，成为国家生态与文化遗产保护、

休闲游憩、审美启智与教育的载体。

5.2 结论

研究表明，通过适宜性分析方法，运用GIS和最小累计模型定量分析所构建的生态—文化网状结构，是生态过程与历史人文过程的真实反映，通过维护其空间结构、过程及要素的完整性、连续性，有助于保护遗产廊道自然文化资源体系的整体价值。

生态—文化复合型遗产廊道网络是一个受多因素影响的复杂生态系统过程，各因素之间的关系错综复杂。通过自然与人文双要素构建遗产廊道网络，能建立遗产保护、游憩及生态维护的最优格局，因此，构建生态—文化网络及优化是整个保护程序中的关键环节。山体、河流、植被等客观

存在的地理环境特征影响了生态网络的构成, 为网络的线路形态和走向提供了基本架构, 进而影响到遗产点的分布及文化网络的结构特征。

采用网络分析方法, 把生态网络抽象成节点和廊道连接而成的网络, 运用生态学中的斑块—基质—廊道的原理, 对廊道的通道结构采用 α 、 β 和 γ 指数进行整体分析。结果表明: 生态—文化复合型遗产廊道网络的 α 指数和 γ 指数均优于单一要素的生态网络, 其回路性和连通性均较高, 说明廊道网络连线数量多, 连接性也相对较好, 彼此形成了一个较密集的通道网络结构, 进一步表明经过权重计算, 叠加生成的生态与文化双要素遗产廊道网络更优于依托单要素构建的廊道网络, 更有利于生态环境及文化遗产的整体保护。

注: 文中图表均为作者自绘/制。

参考文献

[1] 王宽, 刘苏梅, 沈艳丽. 我国遗产廊道研究热点与趋势探析[J]. 绿色科技, 2022, 24(13): 140-145.
[2] 王志芳, 孙鹏. 遗产廊道——一种较新的遗产保护方法[J]. 中国园林, 2001(05): 86-89.
[3] 李晖, 谭雯文, 李滔. 普洱“茶马古道”生物与文化多样性保护格局构建研究[J]. 中国园林, 2019, 35(12): 46-51.
[4] 王影雪, 王锦, 陈春旭, 等. 国内外线性遗产研究动态[J]. 西南林业大学学报(社会科学), 2022, 6(01): 8-15.
[5] 王吉美, 李飞. 国内外线性遗产文献综述[J]. 东南文化, 2016(01): 31-38.
[6] 郭建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
[7] 肖笃宁, 刘秀珍, 高俊, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
[8] 陈文波, 肖笃宁, 刘秀珍. 景观指数分类、应用及构

建研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 121-125.
[9] 阎维, 李宏远, 等. 滨海新区规划对区域生态网络结构的影响分析[J]. 城市环境与城市生态, 2010(2): 5.
[10] 陈永生, 黄庆丰, 章裕超, 等. 基于GIS的合肥市中心城区绿地可达性分析评价[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(02): 229-236.
[11] 潘远珍, 袁兴中, 刘红, 等. 重庆梁平区景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 园林, 2021, 38(04): 81-88.
[12] 刘世梁, 侯笑云, 尹艺洁, 等. 景观生态网络研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(12): 3947-3956.
[13] 陈瑾, 赵超超, 赵青, 等. 基于MSPA分析的福建省生态网络构建[J]. 生态学报, 2023(02): 1-12.
[14] 张鹏, 李世峰, 刘瑀瑀. 基于生态适宜性分析的平原煤矿县生态空间优化[J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 274-282.
[15] 弗雷德里克斯斯坦纳. 生命的景观: 景观规划的生态学途径(第二版)[M]. 周年兴, 李小凌, 俞孔坚, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
[16] 朱韵奇, 李耀成, 王云才. 融合坑塘体系的乡村景观生态网络构建[J]. 园林, 2021, 38(09): 38-46.
[17] 吕超鹏, 胡绍庆, 胡广. 基于生态适宜性分析框架的丽水植物园生态景观林空间规划研究[J]. 广东园林, 2021, 43(05): 58-65.
[18] 刘春艳, 张继飞. 基于生态位模型的岷江上游典型县域乡村聚落地适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2021, 37(14): 266-273.
[19] 申佳可, 王云才. 景观生态网络规划: 由空间结构优先转向生态系统服务提升的生态空间体系构建[J]. 风景园林, 2020, 27(10): 37-42.
[20] 汪辉, 张艳, 沈天驰. 基于生态适宜性评价及景观格局分析的湿地公园规划研究——以南京长江新洲国家湿地公园为例[J]. 生态经济, 2015, 31(12): 186-190.
[21] 刘岳, 李忠武, 唐政洪, 等. 基于适宜性分析与GIS的长沙市大河西先导区城市绿道网络设计[J]. 生态学杂, 2012, 31(02): 426-432.
[22] 王炎松, 吕晓航. 基于GIS的传统山地村落选址与布局的生态适宜性分析研究[J]. 华中建筑, 2011, 29(10): 125-127.
[23] 陈建飞. Fuzzy综合评判在土地适宜性评价中的应用[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 71-74.
[24] 曾建权. 层次分析法在确定企业家评价指标权重中的应用[J]. 南京理工大学学报(自然科学版), 2004(01): 99-104.
[25] 杨柳, 于文江, 曹丽, 等. 基于层次分析法的火山灾害损失影响因素权重分析[J]. 防灾减灾学报, 2013, 29(01): 69-73.
[26] 孔阳. 基于适宜性分析的城市绿地生态网络规划研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.

[27] 伍世代. GIS支持的福清市多目标土地适宜性评价[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2000, 16(3): 87-90.
[28] 秦子博, 玄锦, 黄柳菁, 等. 基于MSPA和MCR模型的海岛型城市生态网络构建——以福建省平潭岛为例[J/OL]. 水土保持研究, 2023.
[29] 哈力木拉提·阿布来提. 基于MSPA与MCR模型的天山北坡城市群生态网络构建及优化[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2022.