第45卷 第1期 华 中 农 业 大 学 学 报 Vol.45 No.1
2026年 1月 Journal of Huazhong Agricultural University Jan. 2026,117~129

李锦,廖文秀,周燕,等."供给-流动-需求"视角下雨洪安全格局构建与优化:以湖北省通城县为例[J].华中农业大学学报,2026,45(1):117-129.DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.01.011

"供给-流动-需求"视角下雨洪安全格局构建与优化:以湖北省通城县为例

李锦[1],廖文秀[2],周燕[1,3],祁梦园[1]

1.武汉大学城市设计学院,武汉 430072; 2.湖北省规划设计研究总院有限责任公司,武汉 430060;
3.湖北省人居环境工程技术研究中心,武汉 430072

摘要 为缓解城市洪涝灾害、促进雨洪调节服务供需匹配,推动城乡生态空间高质量发展,引入生态系统服务流理论,构建耦合雨洪调节服务供需作用与服务流动机制的雨洪安全格局。以湖北省通城县为例,采用SCS-CN模型与洪水风险指数分别量化雨洪调节服务的供给与需求;通过冷热点分析识别生态供需源地;基于水文分析和电路理论构建雨洪调节服务的流动路径,划定蓝线廊道、绿线廊道与供需廊道,并识别关键节点。结果表明:通城县雨洪调节服务供需呈现"西南-东北盈余、中心赤字"的显著错配格局,且中心城区供需失衡程度尤为突出,共识别出供给源地276.15 km^2,需求源地189.87 km^2,各类廊道391.71 km,关键生态节点100处。据此提出"三区三带"优化方案,通过强化服务流动路径连通与关键节点保护等措施实现格局优化;并从供给、需求、服务流空间3个维度系统提出调控策略。

关键词 雨洪安全格局; 生态系统服务流; 供需匹配; 雨洪调节服务; 生态网络

中图分类号 TU984 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)01-0117-13

当前,我国城乡建设正经历从"灰色硬化"向"蓝绿融合"的转型,党的二十大报告提出"以新安全格局保障新发展格局",并将生态安全、水资源安全等纳入国土空间规划的底线要求[1]。而频发的暴雨洪涝灾害却暴露出生态韧性建设的短板。2022年全国多个省市因洪涝灾害造成171人死亡失踪,直接经济损失达1 289亿元[2],凸显出强化防洪减灾工作的紧迫性。在此背景下,城乡生态空间作为践行生态文明建设与绿色发展的重要载体,其雨洪安全格局的系统构建已成为协调雨洪调节服务供需、提升城乡生态安全韧性、促进"融绿"发展的重要途径。

雨洪安全格局理论源于生态安全格局的相关研究,是水安全维度的重要组成部分[3],即依据雨洪过程与生态、社会、自然等要素互馈作用原理,通过识别和分析控制雨洪过程中的关键节点、区域及其空间联系,构建的有效调控雨洪过程的安全结构[4]。目前,国内外主要采用灾害损失分析[5]、水文水动力学模型[6]、景观水文分析[7]和多因子评价体系[8]等方法构建雨洪安全格局。研究视角多聚焦于景观生态学[9]、灾害风险科学[10]两大领域,前者侧重雨水缓解,关注构成洪水风险的自然因素和过程,但未能充分纳入社会经济因素的考量;后者则聚焦雨洪灾害风险的发生概率,关注人类社会经济可能面临的内涝风险,忽略了生态空间对雨洪过程的调节减缓作用。城市作为"社会-生态"复合体,其内涝灾害受自然和人为双重因素的影响[11]。雨洪安全作为景观生态理论与灾害风险理论的交汇点,既需解析生态空间对水文过程的调节功能,也应兼顾社会经济维度的灾害暴露度与损失风险。这就促使雨洪安全格局构建需基于生态服务供给和人类社会需求2个维度出发,形成与生态系统服务流理论相耦合的构建路径和调控框架,进而从调控策略、空间规划等方面切实推进城市雨洪管理和生态安全的统筹决策。

生态系统服务作为自然与社会系统联系的纽带[12],其持续供给与空间均衡是维系区域生态安全、支撑可持续发展的关键。当前,生态安全格局构建

收稿日期: 2025-09-15
基金项目:国家自然科学基金项目(72174158);2025年住房城乡建设科技课题"揭榜挂帅"和科技计划项目(JK2025061)
李锦,E-mail:2024282090052@whu.edu.cn
通信作者:周燕,E-mail:joyeezhou@whu.edu.cn

已形成“源地-廊道-节点”的研究范式，且相关研究多围绕生态系统服务评估展开[11]。具体到雨洪安全格局领域，主要通过测算服务供需比识别生态源地，进而构建安全格局[13-14]，或是识别并连接服务的供需高值区，构建雨洪安全格局[15-16]，然而，现有研究仍存在以下局限：(1)多侧重于服务供需的静态评估，未能有效刻画服务从供给区到需求区的流动过程[17-18]；(2)在阻力面与生态廊道构建中，阻力因子多侧重生态要素，忽视了人类活动强度、生态服务可达性等社会维度因素[19-20]；(3)缺乏对已构建格局中供需连接较为薄弱的区域进行识别与针对性优化。

鉴于此，本研究以雨洪调节服务“供给-流动-需求”为研究思路，引入生态系统服务流动理论探索雨洪安全格局构建方法，并分析通城县雨洪调节服务供需平衡关系，强调服务的空间流动与均衡，构建与优化雨洪安全格局，以期为同类型地区构建科学的雨洪安全格局提供参考与新思路。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

通城县位于湖北省东南部、湘鄂赣三省交界处，总面积约1 140 km²(图1)。该县地貌以丘陵山地为主，属亚热带季风气候，四季分明，水网密布，境内隽水河、菖蒲港、铁柱港、沙堆河4大主干河流贯穿全域；土壤以红壤为主，质地疏松。通城县年均降雨量约1 600 mm，是湖北省三大暴雨中心之一。受地理位置与气候特征影响，该地区夏季强降雨与梅雨集中期常导致河流水位暴涨，洪水泛滥成灾。从历史灾害数据来看，通城县雨洪灾害强度突出且具有显著破坏性：2003年遭遇50年一遇暴雨，9 h降雨量达258 mm，导致严重局部洪涝与地质灾害。2011年6月遭遇200年一遇特大暴雨，最大雨量达309 mm，导致隽水河水位陡涨7 m，县城全域被淹，最深积水超2 m，造成22人死亡，直接经济损失13亿元。该县雨洪灾害空间分布集中于隽水河沿岸、县城及周边丘陵山地村镇，其中隽水镇、马港镇、关刀镇等乡镇受淹频次与灾害程度更为突出。

近年来，在气候变化与城镇化加速双重压力下，极端天气事件频发，洪涝风险持续加剧，不仅威胁当地居民生活与农业生产，更成为制约城乡高质量发展的重要障碍。因此，构建雨洪安全格局，间接改善区域气候环境，已成为实现通城县“融绿”发展与可持续管理的迫切需求。

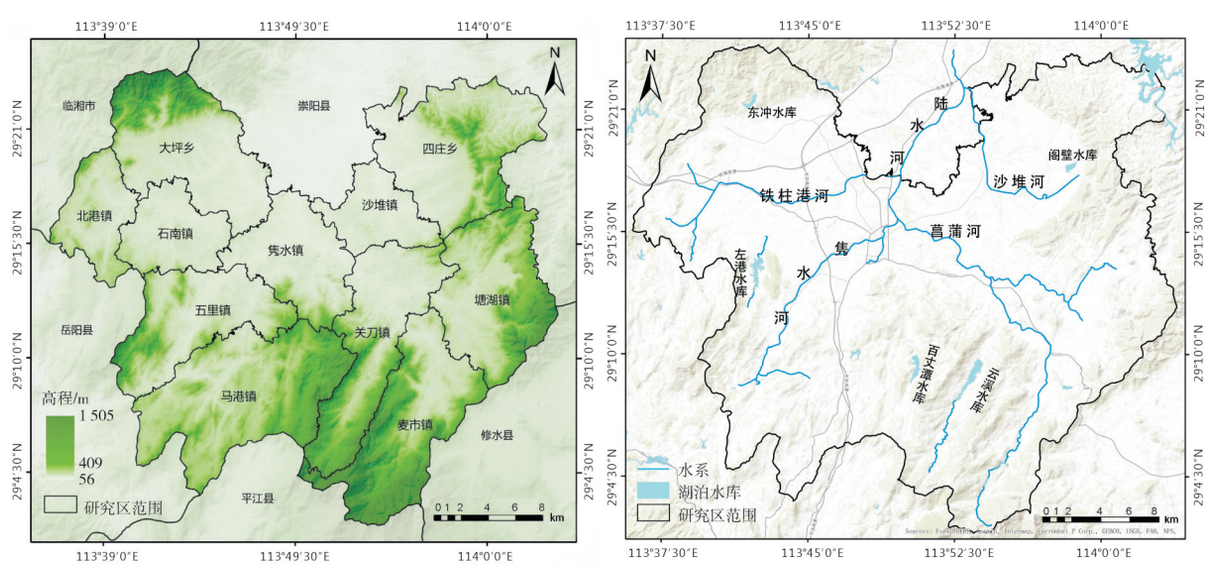


图1 研究范围及河网水系

Fig.1 Study area and river network system

1.2 数据来源

本研究采用通城县2020年数据，主要包括地形地貌、土地利用、植被覆盖、气象及社会经济等多源数据(表1)。利用ArcGIS 10.8软件将所有数据在统一空间坐标系下进行预处理。

1.3 基于“供-流-需”的雨洪安全格局构建思路

从供需关系出发，基于生态系统服务流理论，构建城市雨洪安全格局的研究框架(图2)。主要分7个步骤：①结合径流调节、水土保持指标量化雨洪调节供给能力，利用洪涝风险指数量化雨洪调节需求水平；②利用供需比分析雨洪调节服务供需盈余情况

表 1　数据描述和来源

Table 1　Data description and source

数据名称 Data name	形式/分辨率 Format/resolution	数据来源 Data source
行政区划	矢量	国家基础地理信息中心
高程、坡度	栅格/30 m	地理空间数据云 https://www.gscloud.cn (ArcGIS10.8坡度分析)
人口密度、人均 GDP、土壤质地、NPP、夜间灯光等数据	栅格/1 km	中国科学院资源环境科学与数据中心 https://www.resdc.cn/
土地覆盖数据	栅格/30 m	中国土地覆被数据集 http://www.globallandcover.com/
NDVI	栅格/250 m	NASA的MOD13Q1数据产品 https://search.earthdata.nasa.gov/search
年均降水量	栅格/1 km	国家地球系统科学数据中心 http://www.geodata.cn/
POI分布	矢量	百度地图开放平台 https://lbs.baidu.com/maptool/getpoint

及空间分布特征；③对于供需情况进行冷热点分析，识别雨洪调节服务的供给、需求生态源地；④采用MCR模型、两步移动搜索法构建雨洪调节生态-社会阻力面；⑤基于电路理论提取生态蓝线廊道、生态绿线廊道、供需廊道；⑥结合各类生态节点，对雨洪安全格局进行优化调整；⑦提出针对性的雨洪安全格局调控策略。

1.4　雨洪调节服务供需测度

为契合雨洪调节服务的水文空间分异特征，确保服务的供需量化能准确反映雨洪径流的产生与汇集过程，本研究基于 30 m 无洼地 DEM 数据，利用 ArcGIS 10.8 软件水文分析模块中的 D8 单流向算法，识别研究区分水岭与汇流河网，最终将通城县划分为 407 个子汇水区，作为雨洪调节服务供需量化的研究单元。

1）雨洪调节服务供给量化。城市生态空间通过减少地表径流与增强水土保持能力，成为雨洪调节服务供给的关键载体，本研究据此从径流调节与水土保持两方面构建供给能力评估体系。径流调节能力采用 SCS-CN 模型测算，该模型综合考量植被覆盖、土地利用类型、土壤质地等因素对地表径流的影响。通过区域平均坡度对 CN（curve number）进行修正，以提高模型在本地条件下的适用性[21]。水土保持能力以净初级生产力（net primary productivity，NPP）为定量指标，结合土壤可侵蚀因子与坡度归一化值，反映区域长期的土壤保持与水源涵养功能[22]。雨洪调节服务供给能力最终由径流调节与水土保持能力的结果综合表征。

2）雨洪调节服务需求量化。雨洪调节服务需求指为减轻城市内涝风险所需生态系统提供的调节水平，其评估基于“危险性-暴露性-脆弱性”风险框架[23]。危险性聚焦洪涝发生的自然与环境条件，暴露性关注灾害对受灾主体数量与价值的影响，脆弱性衡量承灾体应对洪涝的敏感性与恢复力。3 个维度分别采用相关指标进行评估（表 2），各维度指标权重依据文献[24-25]确定。通过 ArcGIS 10.8 软件进行等权空间叠加分析后，利用自然断点法将风险结果划分为 5 级，以识别需求的空间分异特征。

3）供需关系量化。为明确雨洪调节服务的供需匹配状态，引入雨洪调节服务供需比（supply-demand ratio，SDR，公式中表示为 X_{SDR}）。在分别量化服务供给（flood regulation service supply，FRSS，公式中表示为 X_{FRSS}）与需求（flood regulation service demand，FRSD，公式中表示为 X_{FRSD}）的基础上，为避免计算过程中出现 0 值影响分析结果，在供给量和需求量中加入常数 1，使 SDR 值的范围区间为[−1，1][26-27]，计算公式如下：

$$X_{SDR}=\log_2\left(\frac{1+X_{FRSS}}{1+X_{FRSD}}\right),\begin{cases}>0,\text{盈余}\\=0,\text{平衡}\\<0,\text{赤字}\end{cases}\tag{1}$$

式（1）中，X_{SDR} 值为正时表示雨洪调节服务供给能力超过需求水平，为盈余状态；反之则表示供给无法满足需求，即处于赤字状态。

1.5　雨洪安全格局构建

1）生态源地识别。雨洪调节服务供给源地是城市生态系统中能够高效蓄渗、滞留地表径流的自然与近自然地块。需求源地则是暴露于内涝风险且自身调节能力薄弱的区域。以雨洪调节服务供需测度的空间分布结果为基础数据，综合考量研究区域范围、平均斑块大小与图幅限制[28-29]，将数据重采样为 100 m×100 m 的格网作为研究单元。利用 Getis-Ord Gi*热点分析法，识别雨洪调节服务供给与需求

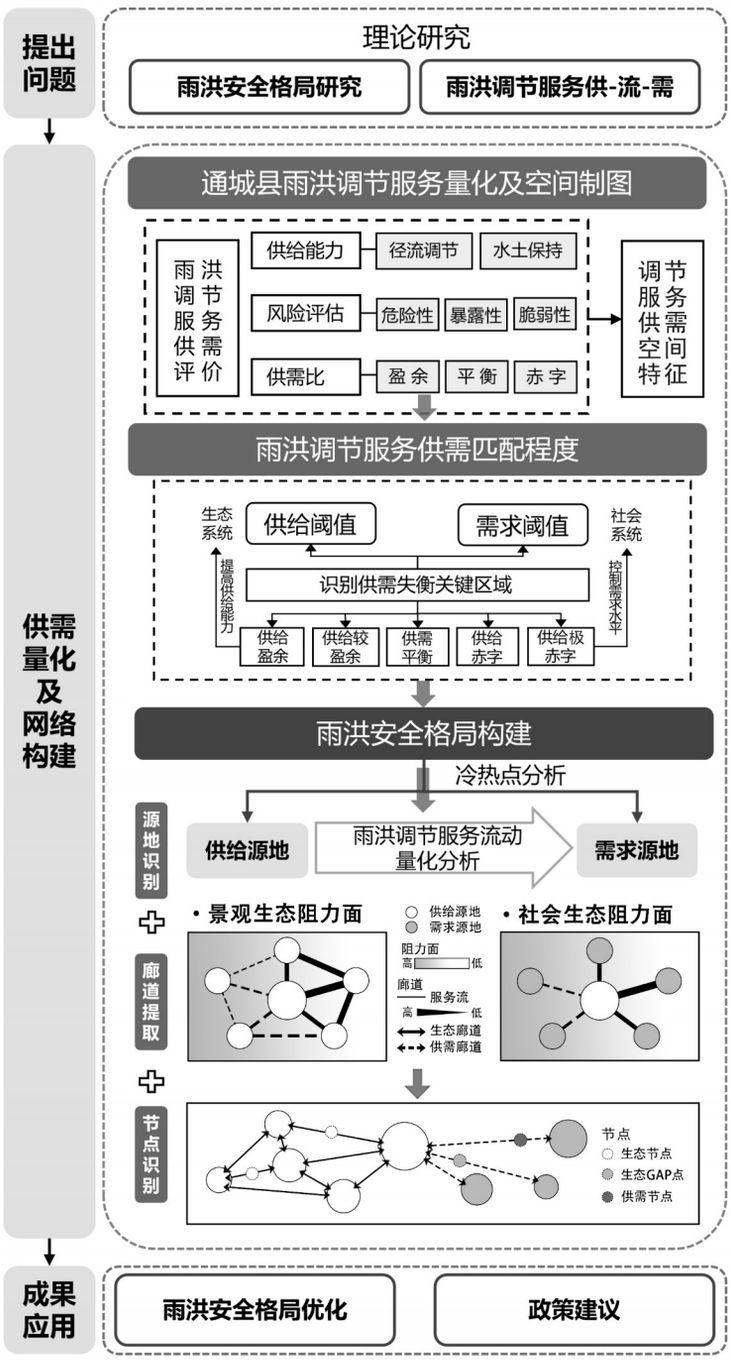


图2 技术路线

Fig.2 Technology roadmap

的高值聚集区与低值聚集区。将连续斑块面积≥1 km²作为阈值进行筛选[30-31]，供给高值且显著（置信水平为99%、95%）的区域被判定为生态供给源地，需求高值且显著的区域则视为生态需求源地。

2）生态阻力面构建。雨洪调节服务阻力值的大小直接反映该区域对洪水的缓解能力，间接关联洪水风险程度。本研究选取地形地貌、土地利用类型、植被覆盖度、雨洪调节服务供需平衡情况以及距生态源地距离5类指标，各指标的阻力区间分级赋值及权重的设置，主要参考具有相似自然地理条件与气候特征的安全格局构建研究[31-34]，其中指标阻力赋值等级越低，表明所需克服的阻力越小（表3）。利用层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）构建判断矩阵，通过两两比较确定各指标间相对重要性，进而计算各项指标权重，并进行一致性检验以保证逻辑合理性。最终结合最小累积阻力模型（minimum

表2　洪水风险指标及权重

Table 2　Flood risk indicators and their weights

Ⅰ级指标 Primary indicators	Ⅱ级指标 Secondary indicator	权重 Weights	属性 Properties
危险性	降水量/(mm/d)	0.510	+
	海拔/m	0.078	−
	坡度/(°)	0.133	−
	河网密度/(m/hm^2)	0.142	+
	与河流的距离/m	0.137	+
暴露性	人口密度/(人/km^2)	0.261	+
	建设用地密度/%	0.451	+
	夜间灯光指数	0.288	+
脆弱性	土地利用	0.640	+
	GDP/(亿元/hm^2)	0.110	−
	POI密度	0.250	+

表3　阻力面指标及权重

Table 3　Resistance surface indicators and their weights

评价因子 Evaluation-factors	指标 Indicators	取值区间 Range of values	分级赋值 Hierarchical assignment	权重 Weights
地形地貌	海拔/m	<200	1	0.007
		200～500	3	
		>500	5	
	坡度/(°)	<10	1	0.062
		10～20	2	
		20～30	3	
		30～40	4	
		>40	5	
地表覆盖类型	水域、湿地		1	0.242
	林地		2	
	草地		3	
	耕地		4	
	建设用地		5	
植被覆盖	NDVI指数（自然断点法分为5级）	0.8～1.0	1	0.183
		0.6～0.8	2	
		0.4～0.6	3	
		0.2～0.4	4	
		0.0～0.2	5	
空间距离	距生态源地的距离/km	0.0～1.5	1	0.125
		1.5～3.0	2	
		3～6	3	
		6～10	4	
		>10	5	
供需盈余	SDR供需比（自然断点法分为5级）	供给盈余	1	0.381
		供给较盈余	2	
		供需平衡	3	
		供给赤字	4	
		供给极赤字	5	

cumulative resistance model，MCR）生成生态阻力面，表征生态系统对雨洪调节服务流动的自然阻力。此外，当服务供需错配时，人类倾向于主动寻求高质量的生态资源与环境，且优先选择可达性高、便利的区域。为衡量人类趋向生态空间时面临的移动阻力，本研究采用空间可达性来表征相应的阻力面，并提出假设：可达性越高的地区，人类获得生态福祉的潜力越大，其面临的移动阻力也越小。引入两步移动搜索法[35]综合考量供给、需求规模以及供需间的距离关系对可达性的影响，构建雨洪调节服务移动阻力面，具体公式如下：

$$R_j=\frac{S_j}{\sum\limits_{k\in\{d_{ij}\leqslant d_o\}} G_{kj}D_k} \tag{2}$$

$$A_i=\sum_{k\in\{d_{ij}\leqslant d_o\}} G_{ij}R_j \tag{3}$$

$$G_{ij}=\frac{e^{-\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{d_{ij}}{d_o}\right)^2}-e^{-\frac{1}{2}}}{1-e^{-\frac{1}{2}}} \tag{4}$$

式(2)～(4)中：R_j为生态供给源j的供需比；S_j为生态供给源j的面积；G_{kj}是生态供给源j到生态需求源k的成本距离；d_o是需求区i和供给区j间的最大距离。D_k为研究区内生态需求源k的生态系统服务需求值之和；A_i为生态需求源i前往生态供给区的可达性水平，值越大表示可达性越好。G_{ij}是生态需求源i与生态供给源j的高斯衰减距离。

3）生态廊道提取。雨洪调节服务在克服阻力时的扩散路径即为廊道，本研究将雨洪调节生态廊道划分为生态蓝线廊道、生态绿线廊道及供需廊道，三者协同构成研究区雨洪调节服务连通网络。蓝线廊道以滞蓄雨水、保障行洪安全为核心功能，以30 m无洼地的高程作为基础数据，采用D8算法计算每一个研究栅格的水流方向与汇流累积量，通过设定汇流阈值识别潜在自然水流路径，据此提取水生态蓝线廊道网络[36]；绿线廊道发挥净化水质和削减地表径流功能，基于电路理论，在识别生态阻力面的基础上，借助Circuitscape插件的Linkage Mapper模块构建绿线廊道；供需廊道是保障并增强雨洪调节服务需求区域的关键通道，结合移动阻力面、供给源地与需求源地，基于电路理论提取供需廊道。

4）雨洪调节服务关键点识别。识别关键性节

点，明确构建雨洪安全格局的优先级顺序，能够为格局优化、城乡生态空间高质量发展提供理论依据。采用地理学GAP分析法[36]，将现有水系湿地数据与蓝线廊道进行空间叠加，识别水体中断或缺失的位置作为GAP节点，对该类节点修复可提升区域水环境安全水平。基于电路理论，利用Pinchpoint Mapper工具，选择“all to one”全局分析模式；将生态网络中电流密度高、替代路径少（或无替代路径）的区域识别为生态夹点，该类节点为雨洪调节服务连通的核心，缺失易加剧内涝风险。利用Barrier Mapper工具，预设最小最大搜索半径（100、500 m）、步长等参数（100 m），采用窗口移动法将高阻力及关键连接点处的瓶颈区域识别为生态障碍点，将障碍点清除后的电流恢复值作为筛选依据，恢复值越高，移除后对水文连通性的改善作用越显著。针对生态供需廊道连通不畅的“供需盲区”，筛选潜在供给能力强但未达到1 km²最小面积阈值的生境斑块作为供需节点；增设该类节点可提升雨洪调节服务流动的覆盖范围。

2 结果与分析

2.1 雨洪调节服务供需空间特征分析

通城县雨洪调节服务供给与需求在空间上呈现显著错位特征（图3）。供给高值区主要分布于西南与东北部的山地丘陵地带，如五里镇、马港镇等乡镇内部的自然保护区，得益于其优越的自然基底，土壤和植被系统能够有效调节降雨损失并蓄滞洪水。而需求高值区则集中于城市化程度高、人口与经济密集的隽水镇及周边中心城区。供给低值区域与需求高位区相对应，凸显出研究区雨洪调节供需间的空间矛盾。

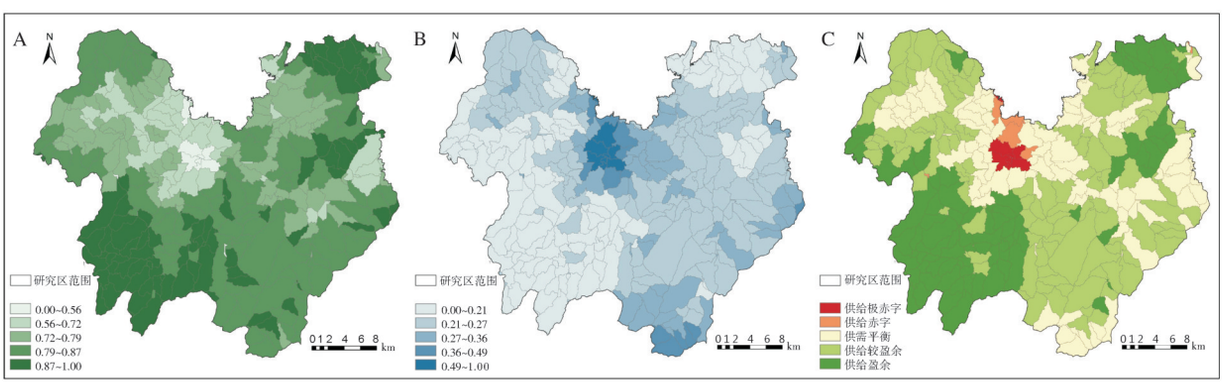


图3 雨洪调节服务供需情况

Fig.3 Supply and demand situation of rainfall-flood regulation services

从供需平衡来看，全县整体呈现“西南-东北盈余、中心赤字”的空间格局。隽水镇作为城镇化核心区域，面临严重的雨洪调节服务赤字，其主要原因包括降水量相对偏少、建设用地集中及人类活动干扰强烈。其余区域多数处于平衡或盈余状态，反映自然生态系统仍具备较强的雨洪调控能力。

2.2 雨洪安全格局构建

1）基于供需的生态源地识别。研究区共识别出雨洪调节供给源地29处（图4），总面积276.15 km²（占全县24.43%），供给源地以林地、草地及耕地为主，其中林地型生态源地主要集中在马港镇和五里镇的丘陵山地；草地型和耕地型生态源地则零星分布于研究区内（表4）。左港水库、百丈潭水库等水库河流均表现为水域型生态源地，而隽水河和菖蒲河周边由于建设用地和高需求耕地的存在，并未形成高值聚集。同时，研究区识别出需求源地26处，总面积189.87 km²（占全县16.80%），其用地类型与供给源地相类似，林地型需求源地集中分布于县域西南部的黄龙山、黄袍山和药姑山，草地型和耕地型需求源地零星分布于研究区内。

表4 源地土地利用类型构成

Table 4 Composition of land use types in source areas %

源地类型 Types of source areas	耕地 Cultivated land	林地 Woodland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水域 Water area	建设用地 Built-up area
供给源地 Source of supply	15.23	65.22	17.72	0.04	1.74	0.04
需求源地 Source of demand	35.90	38.96	11.23	0.01	0.66	13.24

2)生态-社会阻力面的构建。通过加权叠加各阻力影响因子生成生态阻力面，并利用最小成本距离进行修正。高阻力区集中于隽水镇中部及北部，该区域开发程度较高、人口密集，对生态功能流动的阻碍作用较强，雨洪调节服务的外溢水平较弱，易形成地表径流。阻力值低的五里镇、马港镇以及四庄乡北部，生态空间蓄滞能力较强，地表径流扩散的可能性较小。基于两步移动搜索法测算得到移动阻力面，其整体空间格局呈现“北低南高”的特征，阻力值由城镇中心向外围逐渐递增。建设用地集中的中心城区及其周边人类活动强度较高的耕地为低阻力区。

3)生态廊道的提取与分析。借助电路理论、水文分析等方法构建了研究区生态廊道网络(图4)，结果显示，蓝线廊道主要涵盖河流水域及其两侧200～400 m的缓冲区范围，总长332.51 km，依据水系等级将其划分为2级：Ⅰ级廊道缓冲区宽度为400 m，长约85.25 km，占总长的25.64%，包括隽水河、沙堆河等主要河流；Ⅱ级廊道缓冲区宽度为200 m，长约247.26 km，占总长的74.36%，包括次要水域、湖泊、湿地水体。绿线廊道共计67条，总长25.18 km，在空间上呈“渔网状”沿耕地和水域横纵交错分布，在西部及东南部分布相对密集，避开高阻力值区域，有效连接各生态源地。基于“生态源地-需求源地-移动阻力面”框架共识别出供需廊道75条，总长19.48 km，主要沿道路分布，在需求集中的隽水镇外围存在连接薄弱现象，需优化供需节点以提升社会生态安全格局。

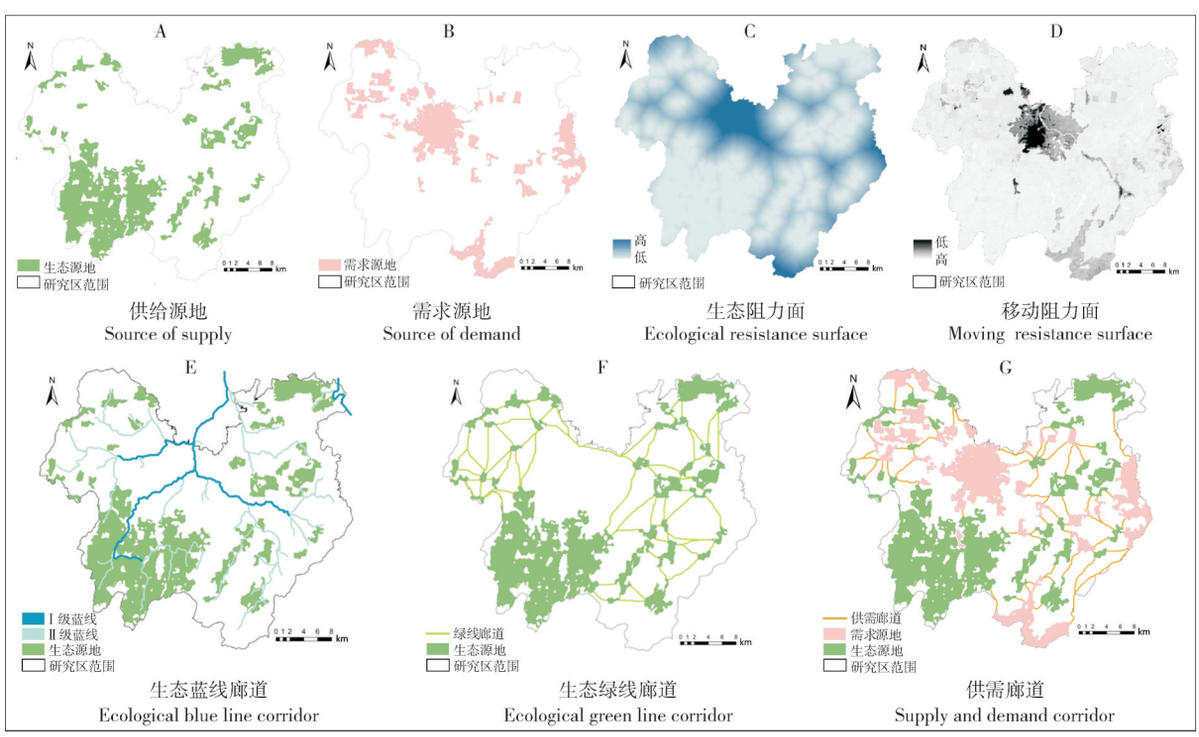


图4　雨洪安全格局构建要素提取

Fig.4　Extraction of elements for constructing a rainfall and flood safety pattern

4)生态关键节点识别与分析。研究区内共识别出7处需修复的蓝线廊道GAP点(图5)，其中5处因水域分隔所致，分别位于隽水河、沙堆河、菖蒲河与各支流交汇处。生态夹点共计44处，呈现“东西多、中部少”的空间分布特征，由于多数生态夹点邻近建设用地或道路，面临较高人为干扰风险，应予以优先保护。生态障碍点共35处，集中分布于研究区东部与西北部，该区域频繁的人类活动对生态系统中物质流、能量流与信息流的正常传递造成了阻碍，需通过生态修复措施以提升廊道连通性。设置生态供需节点14处，主要分布于隽水镇西部与东部，在增设供需节点的基础上，结合周围雨洪调节服务供给源地与需求源地的分布特征，新增优化廊道44条，总长14.54 km，使供需廊道总长度增至34.02 km，有效串联了关键需求源地，社会-生态安全格局的连通性显著提升。

2.3　雨洪安全格局优化及调控策略

1)雨洪安全格局优化。为应对快速城镇化背景下雨洪调节服务供需不匹配的问题，本研究提出了“三区三带”社会-生态雨洪安全格局优化方案(图6)。

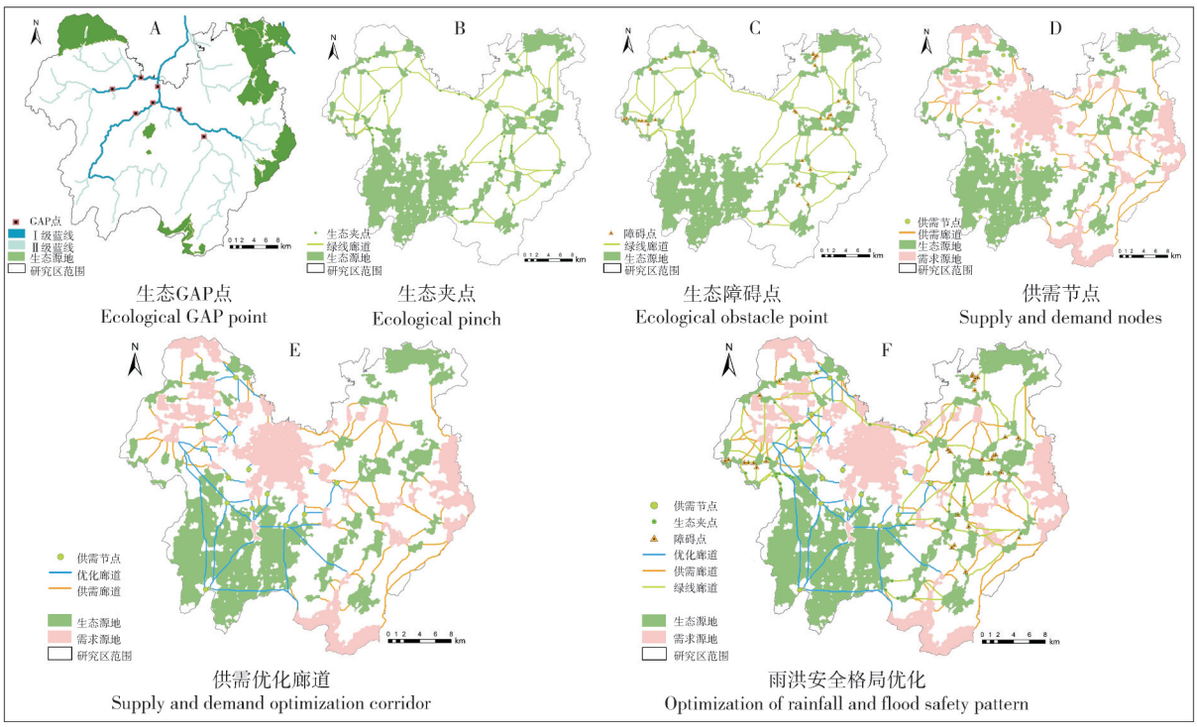


图5 生态节点分析与格局优化

Fig.5 Ecological node analysis and pattern optimization

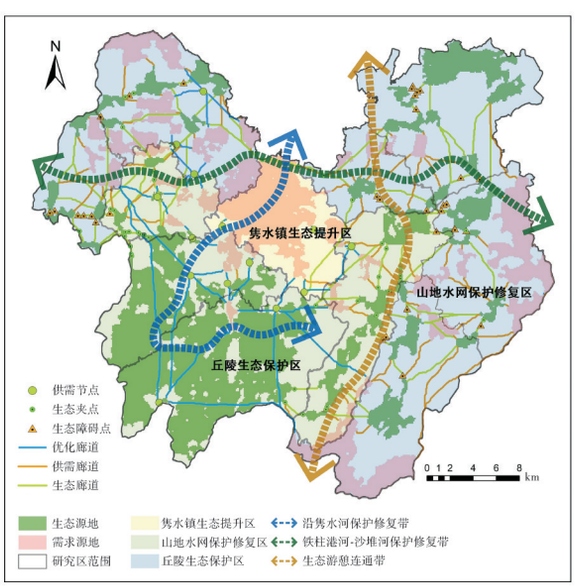


图6 “三区三带”分布图

Fig.6 Distribution map of the “Three Zones and Three Belts”

“三区”的划定以生态源地与各类生态节点的空间分布特征为核心依据，具体包括隽水镇生态提升区、山地水网保护修复区和丘陵生态保护区。“三带”则基于重要生态廊道和供需廊道的空间结构，划分为沿隽水河保护修复带、铁柱港河-沙堆河保护修复带和一条生态游憩连通带。针对各区、带的生态特征与功能定位，本研究提出了相应的优化方向与措施，详见表5。

2)雨洪安全格局调控策略。为了有效缓解通城县内涝问题，从雨洪调节服务的供给空间、需求空间和服务流空间3个维度，提出系统性的雨洪安全格局调控策略。通过多维度系统调控，提升通城县雨洪调节服务效能与人居环境品质，为以生态安全为前提的城乡高质量发展提供实施路径。

①提升供给空间调节功能。依据不同区域自然本底与雨洪调节能力差异，针对性实施保护、修复与强化措施，提升格局韧性。隽水镇生态提升区作为关键节点，应着重检修更新排水系统(清理沟渠、修复管道漏损)，同时加大绿色基础设施建设(雨水花园、湿地公园等)，并通过植被种植与下垫面改造提高雨水渗透能力，减缓径流冲击；山地水网保护修复区以水土保持与生态修复为核心，通过植被恢复与工程措施减少坡面径流及土壤侵蚀，防止山洪和泥石流等自然灾害的发生；丘陵生态保护区需严控开发建设，加强水土保持、植被保护及生态监测，维护原有生态系统，保障上游生态安全，从源头提升雨洪调节能力。

表5　“三区三带”优化方案

Table 5　Optimization plan for the “Three Zones and Three Belts”

类型 Type	名称 Name	地理位置/范围 Geographic location/scope	核心特征 Core characteristics	优化方向与措施 Optimization directions and measures
三区	隽水镇生态提升区	研究区北部	高度城市化特征，生境空间相对匮乏	严格把控区域内新增建设用地的无序扩张，提高绿色基础设施建设水平，并促进绿地服务覆盖率和服务功能质量的全面提升，推动城绿融合发展
	山地水网保护修复区	研究区东部和西北部	涵盖药姑山、黄龙山、大溪湿地等自然保护区及广泛耕地，生态环境较好	优化绿色发展路径，通过土地综合整治和自然解决方案提升防洪调蓄能力，保护区域生态节点，修复生态障碍点，建设供需节点，提升防洪调蓄能力
	丘陵生态保护区	研究区西南部	供给源地集中区，对城市内涝防控和维持水生态系统稳定性具有决定性作用，但生态空间本身较为脆弱	严格控制和保护生态空间，从源头解决生态问题，打造良好的上游生态环境
三带	沿隽水河保护修复带	以隽水河为骨干	区域核心水脉，雨洪调节重要路径	持续推进雨洪调蓄功能建设、实现岸线集约高效利用、形成以隽水河为主要河流的水生态保护-水环境治理-水资源保障的“三水统筹”格局
	铁柱港河-沙堆河保护修复带	串联研究区东西部	连通供给与需求源地的关键网络，服务隽水镇中心城区	建设与绿地系统相连的廊道，分散洪涝风险，提高区域内应对洪涝灾害的韧性调节能力
	生态游憩连通带	串联研究区南北部	兼具生态调节与人文游憩功能	提高生态系统服务的稳定性、将区域自然特色与人文资源进行有机结合，形成既能防洪排涝又可供人们感知与欣赏的高品质游憩连通带

②管控需求空间开发建设。通过有效控制需求空间的开发建设，减少城镇化对自然环境的破坏，提高生态安全性和可持续发展能力。城镇开发区域应采用低影响开发技术和绿色建筑标准，减少硬质覆盖，增加透水面积，从而降低城镇内涝风险。对易淹区、湿地等敏感区域应限制建设密度，保留自然水体与湿地功能，维护其天然雨洪调蓄功能，增强城市抗洪能力。未建成区域需科学编制土地利用规划，重点保留自然植被、湿地等重要生态空间，限制土地的开发和建设，尤其是山脚、河岸带等易涝区；通过建立自然保护区、生态修复区维护生态平衡，保护原有生态系统，减少自然灾害对人类活动的影响。

③优化服务流空间及路径。通过强化生态廊道与供需廊道建设，保障生态系统服务稳定性并完善城市雨洪安全格局。建设连续的生态廊道网络，连接绿地、公园和河流等自然景观，形成畅通、完整的雨洪调节服务流动路径，促进雨水自然渗透，增加城市绿色覆盖率。供需廊道建设需配套雨水收集池、雨水花园等调蓄设施，缓冲降雨径流影响，同步治理与管理城市排水系统，确保雨水及时排放，降低内涝风险。

3　讨　论

本研究针对城市雨洪调节服务供需空间错配的核心问题，提出“供给-流动-需求”的雨洪安全格局构建框架，并以湖北省通城县为例进行了实证研究。结果显示，研究区雨洪调节服务呈现“西南-东北盈余、中心赤字”的显著空间错配格局，中心城区因高强度城镇化导致供需失衡最为突出，是洪涝风险防控的优先区。本研究构建的雨洪安全格局有效连接了服务供给区与高需求区，识别了服务流动的关键路径与障碍节点。基于格局诊断提出的“三区三带”方案及调控策略，系统优化了雨洪调节服务的空间流动路径与网络结构。

在雨洪调节服务的供需空间格局与影响因素方面，本研究揭示了服务的供需错配特征，与甘肃古浪县[37]、天津市[38]等地的水文调节（产水）服务供需关系研究具有一致性，反映出快速城镇化地区普遍存在生态空间挤压与服务需求攀升并存的结构性矛盾。结合通城县历史雨洪事件的实证分析可见，县域洪涝高发区（集中分布于隽水河沿岸、县城及周边丘陵山地村镇）与本研究识别的雨洪调节服务高需求区及供需失衡区较为吻合。例如，2011年特大暴雨导致隽水镇全域淹没、马港镇与关刀镇遭受重灾，其受灾核心区表现出供需失衡、对调节服务高需求的特征，印证了供需测度框架在识别洪涝风险地区的有效性。此外，通城县主要河流多发源于境内，雨洪风险以境内产流为主导，但跨界雨洪汇入仍可能带来一定的外源风险。发源于湘鄂交界幕阜山脉的菖蒲港，流经山区后于通城汇入陆水，暴雨期湘境来

水可能会加剧通城县下游洪峰与淹没范围，这提示未来雨洪安全管理需加强跨区域水文监测与协同治理。同时，通城县内外区域性调蓄设施在一定程度上缓解了境内雨洪压力。其中，“引青济隽”调水工程[39]经四庄乡、沙堆镇至隽水镇，增强沿线区域的水资源调配能力，有助于缓解中心城区供需极度失衡的状况；下游陆水、青山水库等调蓄工程，在汛期通过蓄洪削峰，有效降低隽水河等干流洪峰流量，对减缓通城县洪涝风险发挥积极作用。因此，应将区域尺度的调蓄设施纳入安全格局的考量，通过内外协同提升全域雨洪韧性。

在雨洪安全格局构建的方法层面，本研究通过耦合雨洪调节服务的供需情况识别生态源地，解决了传统直接选取方式的主观性和多偏向自然生态视角的局限性，实现服务从供给区到需求区的有效连接[1]。在构建阻力面时，本研究引入基于两步移动搜索法的“移动阻力面”从社会可达性角度量化人类获取生态服务过程中面临的阻力，兼顾自然汇流规律与人类可达性需求，体现了对“社会-生态”系统的综合考量[19,40]。在格局优化层面，本研究与黄梅等[41]提出的水生态格局优化理念具有一定共性，均强调通过廊道与节点增强系统连通性。此外，本研究更侧重于服务流动路径的精准优化，针对供需廊道连接薄弱区域，通过识别供需节点，增设优化廊道44条，显著提升隽水镇等关键需求区与外围供给源地的连接效率，强化了服务流动的覆盖范围与均衡性。在方案实施层面，可按照试点示范、全面推广与巩固提升3个阶段推进，优先在供需矛盾突出的隽水镇生态提升区开展节点建设与廊道修复试点，总结经验后向山地水网保护修复区、丘陵生态保护区拓展，通过建立设施运维管理体系实现长效巩固。同时，明确各项任务的责任主体（自然资源部门统筹协调、水利与住建部门负责工程建设、乡镇街道落实属地管护）与协作流程，形成跨部门协同机制，确保优化方案落地见效，为城乡雨洪安全提供保障。

本研究立足服务流动视角，以通城县为例开展雨洪安全格局构建研究，综合运用水文分析、电路理论、两步移动搜索法等方法，构建了包含源地、廊道、节点的雨洪安全格局。但本研究还存在以下不足。首先，水动力学参数获取较为困难，仅考虑了社会生态空间对雨洪调节服务的影响，未涵盖排水管网分布、容量和溢流情况等因素，后续需深化研究精度以便更全面地把握雨洪调节服务供需状况。其次，本研究仅聚焦于2020年单一年份的横截面数据，难以揭示雨洪调节服务供给与需求的时序演变规律，未来可以联合相关政府部门开展长时序、多时相的跟踪研究，以提升雨洪安全格局构建的科学性和空间决策的支持能力。此外，本研究以年均降水量进行降雨设定，未能涵盖极端暴雨事件下的多情景模拟，对区域洪涝灾害风险的评估存在不确定性，后续应加强不同暴雨情景下的模拟，增强雨洪灾害应对的前瞻性。

参考文献 References

[1] 陶德凯，张子建，周文莉，等.基于生态系统服务供需协同的生态安全格局构建：以安徽省为例[J].规划师，2024，40(10)：16-24. TAO D K，ZHANG Z J，ZHOU W L，et al.Construction of ecological security pattern based on demand-supply coordination of ecosystem service：a case study of Anhui Province[J].Planners，2024，40(10)：16-24 (in Chinese with English abstract).

[2] 中国水旱灾害防御公报编写组.《中国水旱灾害防御公报2022》概要[J].中国防汛抗旱，2023，33(10)：78-82.Compile Group of *Summary of China flood and drought disaster prevention bulletin*.Summary of China flood and drought disaster prevention bulletin 2022[J].China flood & drought management，2023，33(10)：78-82 (in Chinese with English abstract).

[3] 俞孔坚，李海龙，李迪华，等.国土尺度生态安全格局[J].生态学报，2009，29(10)：5163-5175. YU K J，LI H L，LI D H，et al.National scale ecological security pattern[J].Acta ecologica sinica，2009，29(10)：5163-5175 (in Chinese with English abstract).

[4] 张青萍，李晓策，陈逸帆，等.海绵城市背景下的城市雨洪景观安全格局研究[J].现代城市研究，2016，31(7)：6-11. ZHANG Q P，LI X C，CHEN Y F，et al.Research on storm water management landscape security pattern in the background of sponge city[J].Modern urban research，2016，31(7)：6-11(in Chinese with English abstract).

[5] 唐彦东，牛紫霄，于汐，等.基于变权理论的河北省洪涝灾害风险评估研究[J].灾害学，2024，39(4)：138-147. TANG Y D，NIU Z X，YU X，et al.Flood disaster risk assessment in Hebei Province based on variable weight theory[J].Journal of catastrophology，2024，39(4)：138-147 (in Chinese with English abstract).

[6] 董宏杰，董文杰，曹迎春，等.基于SCS-CN模型的暴雨情景下河南省历史遗存淹没风险评价[J].气候变化研究进展，2023，19(6)：738-748. DONG H J，DONG W J，CAO Y C，et al. Inundation risk assessment of historical relics in Henan Province under rainstorm scenarios based on SCS-CN model[J].Climate change research，2023，19(6)：738-748 (in Chinese with English abstract).

[7] 杨柳琪，周燕，冉玲于，等.武汉市水生态基础设施空间格局

研究[J]. 规划师，2020，36(21)：72-77. YANG L Q，ZHOU Y，RAN L Y，et al. Spatial pattern of water ecological infrastructure，Wuhan[J]. Planners，2020，36(21)：72-77 (in Chinese with English abstract).

[8] 黄曦涛，李怀恩，张瑜，等. 基于PSR和AHP方法的西安市城市内涝脆弱性评价体系构建与脆弱度评估[J]. 自然灾害学报，2019，28(6)：167-175. HUANG X T，LI H E，ZHANG Y，et al. Construction of urban waterlogging vulnerability assessment system and vulnerability assessment based on PSR & AHP method in Xi'an City[J]. Journal of natural disasters，2019，28(6)：167-175 (in Chinese with English abstract).

[9] 焦胜，韩静艳，周敏，等. 基于雨洪安全格局的城市低影响开发模式研究[J]. 地理研究，2018，37(9)：1704-1713. JIAO S，HAN J Y，ZHOU M，et al. Low-impact urban development mode based on waterlogging security pattern[J]. Geographical research，2018，37(9)：1704-1713 (in Chinese with English abstract).

[10] 王德运，吴祈，张露丹，等. 城市强降雨致涝风险评估与区划研究：以武汉市为例[J]. 灾害学，2023，38(4)：107-113. WANG D Y，WU Q，ZHANG L D，et al. Research on assessment and zoning of urban heavy rainfall induced flood risk：a case study of Wuhan[J]. Journal of catastrophology，2023，38(4)：107-113 (in Chinese with English abstract).

[11] 王效科，苏跃波，任玉芬，等. 城市生态系统：人与自然复合[J]. 生态学报，2020，40(15)：5093-5102. WANG X K，SU Y B，REN Y F，et al. Urban ecosystem：human and nature compounding[J]. Acta ecologica sinica，2020，40(15)：5093-5102 (in Chinese with English abstract).

[12] CASTILLO-EGUSKITZA N，MARTÍN-LÓPEZ B，ONAINDIA M. A comprehensive assessment of ecosystem services：integrating supply，demand and interest in the Urdaibai Biosphere Reserve[J]. Ecological indicators，2018，93：1176-1189.

[13] 刘颂，杨莹，王云才. 基于矩阵分析的水文调节服务供需关系时空分异研究：以嘉兴市为例[J]. 生态学报，2019，39(4)：1189-1202. LIU S，YANG Y，WANG Y C. Mapping supply and demand differentiation of hydrological regulation service based on matrix analysis：a case study of Jiaxing City，Zhejiang Province[J]. Acta ecologica sinica，2019，39(4)：1189-1202 (in Chinese with English abstract).

[14] 张城，李晶，周自翔. 基于水供给服务空间流动模型的渭河流域水资源安全格局[J]. 地理科学，2021，41(2)：350-359. ZHANG C，LI J，ZHOU Z X. Water resources security pattern of the Weihe River Basin based on spatial flow model of water supply service[J]. Scientia geographica sinica，2021，41(2)：350-359 (in Chinese with English abstract).

[15] 魏家星，倪雨淳，寿田园，等. 基于水-陆耦合生态系统服务的生态安全格局构建研究：以长三角生态绿色一体化发展示范区为例[J]. 生态学报，2023，43(13)：5305-5319. WEI J X，NI Y C，SHOU T Y，et al. Construction of ecological security pattern based on land-water coupling ecosystem services：a case study of Yangtze River Delta Ecological Greening Development Demonstration Area[J]. Acta ecologica sinica，2023，43(13)：5305-5319 (in Chinese with English abstract).

[16] 周燕，祁梦园，邱孝高，等. 供需视角下雨洪调节关键区识别及规划策略研究[J]. 人民长江，2024，55(3)：42-51. ZHOU Y，QI M Y，QIU X G，et al. Identification and planning strategy of rainfall and flood regulation key areas from supply and demand view[J]. Yangtze river，2024，55(3)：42-51 (in Chinese with English abstract).

[17] 颜文涛，黄欣，王云才. 绿色基础设施的洪水调节服务供需测度研究进展[J]. 生态学报，2019，39(4)：1165-1177. YAN W T，HUANG X，WANG Y C. Measurements of the supply and demand for the flood regulation ecosystem services of green infrastructure：a review[J]. Acta ecologica sinica，2019，39(4)：1165-1177 (in Chinese with English abstract).

[18] 孙才志，安志英. 基于生态系统服务流的东北地区水安全格局[J]. 水资源保护，2024，40(3)：11-19. SUN C Z，AN Z Y. Water security pattern in Northeast China based on ecosystem service flow[J]. Water resources protection，2024，40(3)：11-19(in Chinese with English abstract).

[19] 梁坤宇，金晓斌，张晓琳，等. 耦合生态系统服务供需的生态安全格局构建：以苏南地区为例[J]. 生态学报，2024，44(9)：3880-3896. LIANG K Y，JIN X B，ZHANG X L，et al. Construction of ecological security patterns coupling supply and demand of ecosystem services：a case study of Southern Jiangsu Province[J]. Acta ecologica sinica，2024，44(9)：3880-3896 (in Chinese with English abstract).

[20] 易浪，孙颖，尹少华，等. 生态安全格局构建：概念、框架与展望[J]. 生态环境学报，2022，31(4)：845-856. YI L，SUN Y，YIN S H，et al. Construction of ecological security pattern：concept，framework and prospect[J]. Ecology and environmental sciences，2022，31(4)：845-856 (in Chinese with English abstract).

[21] 雷晓玲，卫娇，魏泽军，等. 重庆市典型下垫面SCS-CN模型基于坡度修正的径流曲线数优化[J]. 水利与建筑工程学报，2021，19(2)：215-221. LEI X L，WEI J，WEI Z J，et al. Optimization of the curve numbers based on slope correction of the SCS-CN model on the typical underlying surface in Chongqing[J]. Journal of water resources and architectural engineering，2021，19(2)：215-221 (in Chinese with English abstract).

[22] 戚宝正，杨海镇，周华坤，等. 基于GIS的青藏高原生态服务功能定量评价[J]. 生态科学，2023，42(1)：187-196. QI B Z，YANG H Z，ZHOU H K，et al. Quantitative evaluation of the ecological service function on Qinghai-Tibet Plateau based on GIS analysis[J]. Ecological science，2023，42(1)：187-196 (in Chinese with English abstract).

[23] 辛儒鸿，曾坚，李凯，等. 城市内涝调节服务供需关键区识别与优先级划分[J]. 生态学报，2022，42(2)：500-512. XIN R H，ZENG J，LI K，et al. Identify key areas and priority levels of urban waterlogging regulation service supply and demand[J].

Acta ecologica sinica, 2022, 42(2): 500-512 (in Chinese with English abstract).

[24] ZHAO H B, GU T S, TANG J Q, et al. Urban flood risk differentiation under land use scenario simulation [J/OL]. iScience, 2023, 26(4): 106479[2025-09-15]. https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.106479.

[25] 权瑞松. 基于情景模拟的上海中心城区建筑暴雨内涝脆弱性分析[J]. 地理科学, 2014, 34(11): 1399-1403. QUAN R S. Vulnerability analysis of rainstorm waterlogging on buildings in central urban area of Shanghai based on scenario simulation [J]. Scientia geographica sinica, 2014, 34(11): 1399-1403 (in Chinese with English abstract).

[26] LI J, FANG Z H, ZHANG J X, et al. Mapping basin-scale supply-demand dynamics of flood regulation service: a case study in the Baiyangdian Lake Basin, China [J/OL]. Ecological indicators, 2022, 139: 108902 [2025-09-15]. https://doi. org/10.1016/j.ecolind.2022.108902.

[27] MAO C R, REN Q, HE C Y, et al. Coupling coordination relationship between human activities and water-related ecosystem services supply - demand in the Qinghai-Tibet Plateau [J/OL]. Environmental and sustainability indicators, 2025, 28: 100903 [2025-09-15]. https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100903.

[28] 郭椿阳, 高尚, 周伯燕, 等. 基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J]. 生态学报, 2019, 39(10): 3482-3493. GUO C Y, GAO S, ZHOU B Y, et al. Effects of land use change on ecosystem service value in Funiu Mountain based upon a grid square [J]. Acta ecologica sinica, 2019, 39(10): 3482-3493 (in Chinese with English abstract).

[29] 唐秀美, 刘玉, 刘新卫, 等. 基于格网尺度的区域生态系统服务价值估算与分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 149-153. TANG X M, LIU Y, LIU X W, et al. Estimation and analysis of ecosystem service value based on grid scale [J]. Transactions of the CSAM, 2017, 48(4): 149-153 (in Chinese with English abstract).

[30] 冯义龙, 贺萌, 李波, 等. 重庆主城区城市生态网络构建与优化[J]. 生态环境学报, 2025, 34(5): 699-709. FENG Y L, HE M, LI B, et al. Construction and optimization of urban ecological network in Chongqing main urban area [J]. Ecology and environmental sciences, 2025, 34(5): 699-709 (in Chinese with English abstract).

[31] 何贞竹, 周时政, 马传明, 等. 基于生态系统服务功能的襄阳市生态安全格局构建[J]. 资源环境与工程, 2025, 39(5): 630-639. HE Z Z, ZHOU S Z, MA C M, et al. Construction of ecological security pattern in Xiangyang City based on ecosystem services [J]. Resources environment & engineering, 2025, 39(5): 630-639 (in Chinese with English abstract).

[32] 方臣, 匡华, 贾琦琪, 等. 基于生态系统服务重要性和生态敏感性的武汉市生态安全格局评价[J]. 环境工程技术学报, 2022, 12(5): 1446-1454. FANG C, KUANG H, JIA Q Q, et al. Evaluation of ecological security pattern in Wuhan City based on the importance of ecosystem services and ecological sensitivity [J]. Journal of environmental engineering technology, 2022, 12(5): 1446-1454 (in Chinese with English abstract).

[33] 龚佳丽, 李红波, 杨和平. 生态安全格局与生态脆弱性视角下的武汉城市圈国土空间生态修复区识别与分类[J]. 地理科学, 2024, 44(10): 1809-1817. GONG J L, LI H B, YANG H P. Identification and classification of ecological restoration areas in territorial land space of Wuhan metropolitan area under the perspective of ecological security patterns and ecological vulnerability [J]. Scientia geographica sinica, 2024, 44(10): 1809-1817 (in Chinese with English abstract).

[34] CHU Y, FANG S M, TANG S M. Ecosystem service value accounting and ecological security pattern construction in Hubei Province during 1992-2022 [J]. Journal of resources and ecology, 2025, 16(5): 1403-1418.

[35] 仝德, 孙裔煜, 谢苗苗. 基于改进高斯两步移动搜索法的深圳市公园绿地可达性评价[J]. 地理科学进展, 2021, 40(7): 1113-1126. TONG D, SUN Y Y, XIE M M. Evaluation of green space accessibility based on improved Gaussian two-step floating catchment area method: a case study of Shenzhen City, China [J]. Progress in geography, 2021, 40(7): 1113-1126 (in Chinese with English abstract).

[36] 李博, 甘恬静. 基于ArcGIS与GAP分析的长株潭城市群水安全格局构建[J]. 水资源保护, 2019, 35(4): 80-88. LI B, GAN T J. Construction of water security pattern of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration based on ArcGIS and GAP analysis [J]. Water resources protection, 2019, 35(4): 80-88 (in Chinese with English abstract).

[37] 刘春芳, 王韦婷, 刘立程, 等. 西北地区县域生态系统服务的供需匹配: 以甘肃古浪县为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2177-2190. LIU C F, WANG W T, LIU L C, et al. Supply-demand matching of county ecosystem services in Northwest China: a case study of Gulang County [J]. Journal of natural resources, 2020, 35(9): 2177-2190 (in Chinese with English abstract).

[38] 蒋飞阳, 田健, 艾合麦提·那麦提, 等. 应对暴雨洪涝灾害的平原城市生态水文调节服务供需评估: 以天津市为例[J]. 生态学报, 2023, 43(12): 4928-4942. JIANG F Y, TIAN J, AIHEMAITI Namaiti, et al. Assessment of the supply-demand relationship of plain urban eco-hydrological regulation service in response to rainstorm-flood disaster: a case study of Tianjin City [J]. Acta ecologica sinica, 2023, 43(12): 4928-4942 (in Chinese with English abstract).

[39] 谢文俊, 袁嘉晨, 曾台衡. 省际交界地区水网建设的思路和对策[J]. 中国水运, 2025(14): 105-107. XIE W J, YUAN J C, ZENG T H. Thoughts and countermeasures on water network construction in interprovincial border areas [J]. China water transport, 2025(14): 105-107 (in Chinese).

[40] 魏家星，张昱镇，连紫璇，等. 基于生态供需空间的区域生态安全格局构建研究：以苏南城市群为例[J]. 长江流域资源与环境，2022，31(2)：387-397. WEI J X，ZHANG Y Z，LIAN Z X，et al. Research on regional ecological security pattern construction based on ecological supply and demand space：a case study of Southern Jiangsu urban agglomeration[J]. Resources and environment in the Yangtze Basin，2022，31(2)：387-397 (in Chinese with English abstract).

[41] 黄梅，刘晨曦，俞晓莹，等. 城市水生态网络韧性评价与优化策略：以长沙市为例[J]. 经济地理，2022，42(10)：52-60. HUANG M，LIU C X，YU X Y，et al. Resilience evaluation and optimization of urban water ecological network：take Changsha as an example[J]. Economic geography，2022，42(10)：52-60 (in Chinese with English abstract).

Construction and optimization of rainfall-flood safety pattern from perspective of “supply-flow-demand”：a case study of Tongcheng County，Hubei Province

LI Jin[1]，LIAO Wenxiu[2]，ZHOU Yan[1,3]，QI Mengyuan[1]

1.*Department of Urban and Rural Planning*，*School of Urban Design*，*Wuhan University*，*Wuhan 430072*，*China*；

2.*Hubei Province Planning*，*Design and Research Institute Co.*，*Ltd*，*Wuhan 430060*，*China*；

3.*Hubei Provincial Habitat Engineering Technology Research Center*，*Wuhan 430072*，*China*

Abstract　To alleviate urban rainfall and flood disasters，promote the matching of supply and demand for rainfall and flood regulation services，and advance the high-quality development of urban and rural ecological spaces，the ecosystem service flow theory is introduced to construct a rainfall and flood safety pattern that couples the supply-demand interaction of rainfall and flood regulation services with the service flow mechanism. Taking Tongcheng County，Hubei Province as a case study，the SCS-CN model and flood risk index were used to quantify the supply and demand of rainfall and flood regulation services，respectively. Hotspot and cold-spot analyses were employed to identify ecological supply and demand source areas. Based on hydrological analysis and circuit theory，the flow paths of rainfall and flood regulation services were constructed，delineating blue-line corridors，green-line corridors，and supply-demand corridors，while key nodes were identified. The results show that the supply and demand of rainfall and flood regulation services in Tongcheng County present a significant mismatch pattern of “surplus in the southwest and northeast，deficit in the center”，with particularly prominent imbalance in the central urban area. A total of 276.15 km^2 of supply source areas，189.87 km^2 of demand source areas，391.71 km of various corridors，and 100 key ecological nodes were identified. Accordingly，an optimization plan of “Three Zones and Three Belts” was proposed to optimize the pattern by strengthening the connectivity of service flow paths and protecting key nodes；and systematic regulatory strategies were put forward from three dimensions：supply space，demand space，and service flow space. This study provides a reference for alleviating rainfall and flood disasters from the perspective of ecological space supply-demand matching. Future research can be further deepened by integrating long-term series data and multi-scenario simulations of heavy rains.

Keywords　rainfall and flood safety pattern；ecosystem service flow；supply-demand matching；rainfall and flood regulation services；ecological network

（责任编辑：张志钰）