

基于多尺度交通可达性的成渝地区双城经济圈 应急救援能力评估研究

周凯腾, 王承果, 李依芯, 曾特林*

西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳

收稿日期: 2026年2月24日; 录用日期: 2026年4月17日; 发布日期: 2026年4月29日

摘要

随着成渝地区双城经济圈战略的深入实施, 区域安全韧性建设对交通网络应急救援可达性提出更高要求。以成渝地区双城经济圈为研究对象, 依托GIS空间网络分析模型, 结合交通路网、救援站点分布及人口数据, 从时间成本维度构建多尺度应急救援可达性评估框架, 运用服务区分析与改进高斯两步移动搜索法, 量化分析核心城市与全域尺度的救援可达性空间特征及瓶颈问题。研究发现, 区域应急救援可达性呈现核心高效、边缘低效的非均衡格局, 存在优质资源集聚、供需空间错配、边缘路网薄弱等问题。据此提出完善路网结构、优化站点布局、强化智能管控等优化路径, 为成渝地区双城经济圈应急救援体系协同优化提供理论依据与实践参考, 也为城市群应急网络建设提供方法论借鉴。

关键词

应急救援能力, 可达性分析, 双城经济圈, 时空压缩效应, 布局优化

Research on Emergency Rescue Capability Evaluation of Chengdu-Chongqing Twin-City Economic Circle Based on Multi Scale Traffic Accessibility

Kaiteng Zhou, Chengguo Wang, Yixin Li, Telin Zeng*

School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan

Received: February 24, 2026; accepted: April 17, 2026; published: April 29, 2026

*通讯作者。

文章引用: 周凯腾, 王承果, 李依芯, 曾特林. 基于多尺度交通可达性的成渝地区双城经济圈应急救援能力评估研究[J]. 地理科学研究, 2026, 15(2): 367-375. DOI: 10.12677/gser.2026.152035

Abstract

With the in-depth implementation of the Chengdu-Chongqing Twin-City Economic Circle strategy, the construction of regional safety and resilience has put forward higher requirements for the accessibility of emergency rescue in transportation networks. Taking the Chengdu-Chongqing Twin-City Economic Circle as the research object, relying on the GIS spatial network analysis model, combined with traffic network, rescue station distribution and population data, this paper constructs a multi-scale emergency rescue accessibility evaluation framework from the dimension of time cost, and uses service area analysis and improved Gaussian two-step floating catchment area method (2SFCA) to quantitatively analyze the spatial characteristics and bottleneck problems of rescue accessibility at the core city and global scales. The study found that the regional emergency rescue accessibility presents an unbalanced pattern of high efficiency in the core and low efficiency in the edge, with problems such as agglomeration of high-quality resources, spatial mismatch between supply and demand, and weak edge road networks. Based on this, optimization paths such as improving the road network structure, optimizing the layout of stations, and strengthening intelligent management and control are proposed, which provide a theoretical basis and practical reference for the coordinated optimization of the emergency rescue system in the Chengdu-Chongqing Twin-City Economic Circle, as well as a methodological reference for the construction of emergency networks in urban agglomerations.

Keywords

Emergency Rescue Capability, Accessibility Analysis, Twin-City Economic Circle, Space-Time Compression Effect, Layout Optimization

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

成渝地区双城经济圈是西部地区高质量发展的重要增长极，区域经济社会协同发展对安全韧性建设提出了更高要求[1]。成都、重庆作为双核心城市，其交通网络的应急救援可达性直接决定城市安全水平与重大灾害下的应急响应效能。在城市化加速与极端气候事件频发的背景下，构建高效可靠的应急救援体系成为保障人民生命财产安全和经济社会稳定的关键[2]。当前，国内外学者对交通网络可达性的研究已较为广泛，但针对成渝地区双城经济圈这一特殊战略区域的研究仍存在明显不足：一是缺乏实际交通网络与应急救援基础设施空间匹配性的实证分析；二是对时间成本约束下的动态救援能力评估关注较少；三是既有研究多聚焦单一城市静态规划，跨区域协同视角下的应急资源优化配置亟待深化。

基于此，本文以成渝地区双城经济圈为研究对象，依托 GIS 空间网络分析模型构建多尺度可达性评估框架，从时间成本维度揭示区域交通应急能力的空间特征与瓶颈问题，通过量化分析提出针对性优化路径，以期提升灾害情境下的救援响应效率，为区域应急救援体系的协同优化与韧性提升提供支撑。

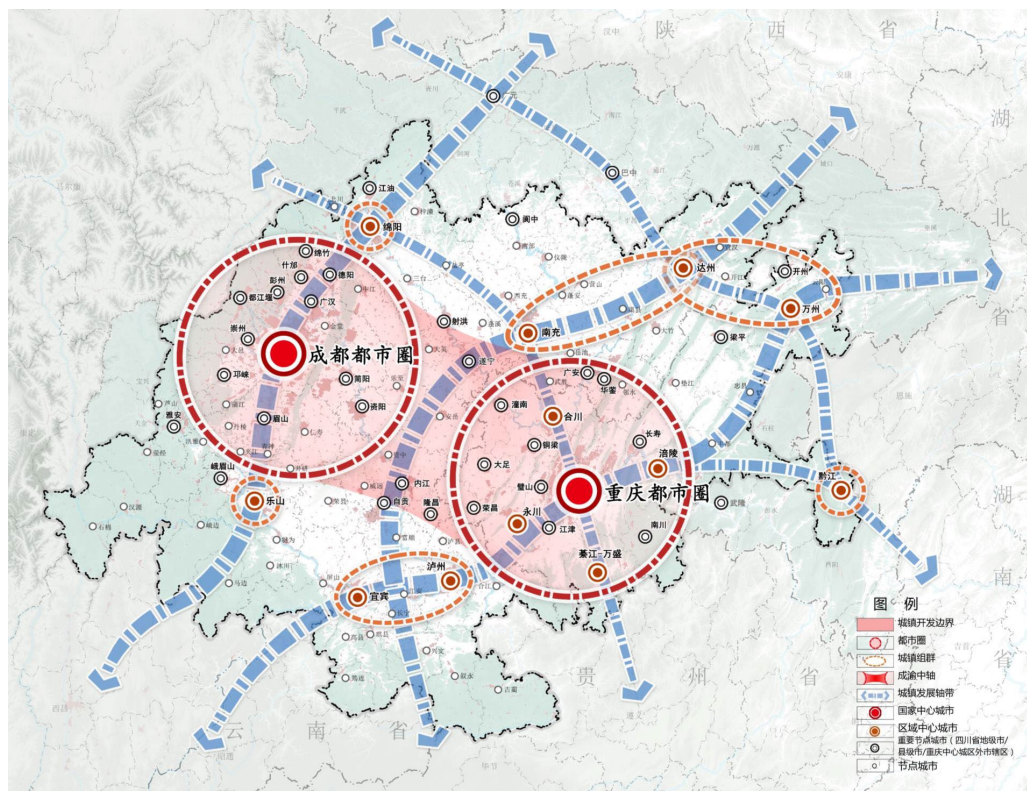
2. 研究区域及数据

2.1. 研究区域

成渝地区双城经济圈(东经 102°54'~110°11', 北纬 28°10'~32°24')是中国西部重要的国家级城市群，涵

盖重庆全域及四川省 15 个地级市，总面积 18.5 万平方公里。2022 年，该区域常住人口约 9800 万，GDP 总量占西部地区的 24.6%。区域以重庆、成都为双核心，呈现“双核引领、轴带拓展”的空间结构，但地理环境复杂：东部以丘陵、平行岭谷为主，西部向高原山地过渡，地形起伏显著(海拔 200~3000 米)；加之密集河网(长江及其支流)与活跃地质构造(如龙门山断裂带)交织，洪涝、滑坡等灾害频发，年均灾害损失超 50 亿元[3]。

交通网络呈现“核心高密、边缘稀疏”的特征(图 1)，高速公路密度(4.2 公里/百平方公里)及高铁里程(7800 公里)均高于全国平均水平，双核间通勤时间已缩短至 1 小时；但边缘山区路网连通度不足，部分乡镇应急救援响应时间超过 60 分钟。应急救援设施布局存在显著空间异质性：主城区消防站覆盖率达 95% (服务半径 ≤ 3 公里)，而盆周山地乡镇应急服务盲区占比超 30%，暴露出多尺度交通可达性矛盾。该区域灾害风险与交通网络脆弱性的叠加效应，为多尺度应急救援设施优化研究提供了典型场景。



来源：四川省自然资源厅《成渝地区双城经济圈国土空间规划 2021~2035 年(征求意见稿)》。

Figure 1. Geographical location of the study area

图 1. 研究区地理区位示意图

2.2. 研究数据

研究数据核心聚焦成渝双城，涵盖重庆市中心城区、27 个区(县)及开州、云阳部分地区，四川省成都、自贡等 15 个市。采用 2024 年区域交通路网数据与具备救援能力的医疗点数据，对原始交通路网依次开展提取中心线、拓扑检查、删除断点与悬挂点、打断相交线等预处理。

具体包括：交通路网数据、医疗救援点数据及人口数据。其中路网由公路与乡道构成，暂未纳入铁路线路，公路按《公路工程技术标准》分为高速公路、一级公路、二级公路、三级公路、四级及以下五个等级，各等级公路与乡道交错融合，覆盖全域城乡地域，不同等级公路行驶速度见表 1。同时考虑交通转

弯耗时，各类转弯所需时间见表 2。医疗救援点数据聚焦 2024 年成渝地区双城经济圈具备救援能力的医疗点。按医疗机构类别与服务能力评价价值分类，涵盖三甲医院、其他综合医院、卫生院。二者皆来自 OpenStreetMap，而人口数据来自全国人口公里网数据。

Table 1. Classification of technical standards for Highway Engineering

表 1. 公路工程技术标准分级

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路	四级及以下
行驶速度(km/h)	80	60	40	30	20

Table 2. Turning type and corresponding time

表 2. 转弯类型及对应时间

转弯类型	左转弯	右转弯	前方直行	前方直行(无十字路口)	掉头
所需时间(s)	3	2	2	0	5

3. 研究方法

构建分层递进的多尺度可达性分析体系，分为主、次两级研究尺度：主级尺度聚焦成渝双城经济圈核心引擎——成都、重庆中心城区，从医疗资源配置、救援响应机制、应急调度效率维度，剖析医疗救援体系的运行效能与潜在瓶颈；次级尺度覆盖川南、南遂广、达万三大城镇密集群，聚焦医疗交通网络可达性，通过路网密度、通行时长、交通枢纽衔接等指标，量化评估区域医疗资源流通便捷程度，探索主、次级城市组团间可达性的差异特征及协同优化路径。

3.1. 服务区初始分析

以医疗机构与交通枢纽为双维度节点，依托 GIS 空间分析技术构建动态评估模型，基于路网拓扑结构、实时交通流量及道路等级参数，采用 15 分钟时空阈值(符合国际急救黄金时间标准与区域交通承载能力)划定服务区边界，量化医疗资源有效辐射范围[4]-[7]。

引入差异化权重体系：三甲医院(0.5)、综合医院(0.3)、基层卫生室(0.1)、其他医疗机构(0.1)，通过 ArcGIS 字段计算器内置 Python 脚本实现加权计算。依据路网不可达、通行时间超限等中断值动态调整权重，超出 15 分钟时空阈值的服务区单元加权字段自动赋零，确保评估结果贴合实际可达性约束[8]-[11]。

3.2. 基于改进高斯两步移动搜索法的可达性计算

运用改进的两步移动搜索法(2SFCA)评估区域医疗救援点可达性[12][13]，结合区域医疗资源分布特征设计三步分析流程，核心引入高斯衰减函数赋予距离权重，更贴合实际的空间衰减规律。

- 第一步：计算医疗救援点的服务能力(供需比 R_j)

以区域内各类医疗点为供给点 j ，按全域、片区、单元不同尺度设定搜索阈值 d_0 ，搜索范围内潜在需求点，汇总人口数量、活动强度等需求数据，通过高斯衰减函数为需求数据赋权，结合医疗点服务能力评价价值 S_j ，计算供需比 R_j ，公式为：

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in \{d_{kj} \leq d_0\}} G(d_{ij}) D_k} \quad (1)$$

其中， $G(d_{ij}, d_0)$ 为高斯衰减函数， D_k 为需求点 k 的需求数据。

- 第二步：计算需求点的空间可达性(A_i)

以潜在需求点 k 为中心, 搜索阈值内所有医疗救援点 j , 通过高斯函数计算各医疗点对需求点的权重, 对加权后的供需比 R_j 求和, 得到需求点空间可达性 A_i , 公式为:

$$A_i = \sum_{j \in \{d_{ij} \leq d_0\}} G(d_{ij}) R_j \quad (2)$$

A_i 值越大, 表明需求点的空间可达性越好。

• 第三步: 可达性分级

依据各个区域 A_i 值的统计分布特征, 运用自然指数法将 A_i 值划分为五个等级, 以此直观展现成渝地区双城经济圈医疗救援可达性在空间上的差异, 为医疗资源的合理规划和布局优化提供依据。

4. 结果分析

4.1. 中心尺度——成都、重庆主级城市组团

结果显示(图 2), 在成渝地区双城经济圈范围内, 三甲医院与综合型医院的空间布局呈现出显著的不均衡性。这类优质医疗资源主要集中覆盖于成都与重庆市中心区域, 而在偏远地区的覆盖范围极为有限, 呈现出明显的核心—边缘分布特征(图 2(a))。

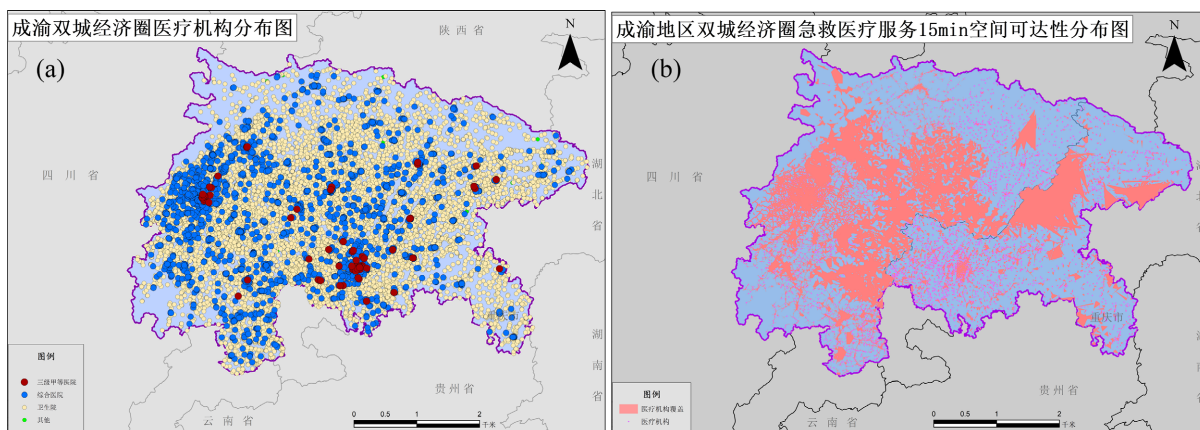


Figure 2. Map of medical institution distribution and 15-minute spatial accessibility in the Chengdu-Chongqing Twin-City Economic Circle

图 2. 成渝双城经济圈医疗机构分布及 15 min 空间可达性分布

如图 2(b)所示, 成渝地区双城经济圈急救医疗服务 15 分钟空间可达性呈现出明显的不均衡性。红色区域(医疗机构覆盖)集中分布在部分地区, 表明这些区域在 15 分钟内能够较为便捷地到达医疗机构, 可达性较好; 而大片浅蓝色区域, 说明这些地方 15 分钟内难以到达医疗机构, 可达性较差。在经济圈的核心城市(如成都、重庆市区)及其周边, 红色区域较为密集, 意味着核心区域的居民在 15 分钟内到达医疗机构的可能性更高。这得益于核心城市丰富的医疗资源和相对完善的交通网络。相反, 在经济圈的边缘地区, 如靠近与其他省级行政区(陕西、云南、贵州等)交界的区域, 浅蓝色区域占比较大, 说明这些地方居民到达医疗机构的时间可能超过 15 分钟, 可达性明显不足。

4.1.1. 成都市中心城区

成都市中心城区(锦江区、青羊区、金牛区、武侯区、成华区)医疗资源呈显著空间分异特征[14][15], 不同层级医疗机构的可达性差异明显[16]-[21]。结果显示三甲医院高度集聚于核心城区, 15 分钟服务区内, 锦江、青羊等核心区域通行时间 < 5 分钟, 外围龙泉驿、温江等区域通行时间 5~15 分钟甚至超 15 分钟, 距离衰减效应显著, 外围区域危急重症救治的黄金时间窗面临压缩风险。

综合医院布局相对均衡(图 3(a)), 超 70%的中心城区可在 10 分钟内抵达, 但天府新区、青白江等边缘地带存在服务盲区, 突发公共卫生事件时医疗响应效率受限。基层卫生室及其他医疗机构呈“广覆盖、短半径”特征, 85%以上中心城区可在 5 分钟内抵达, 有效支撑基础医疗需求, 但复杂病症转诊衔接机制有待完善; 专科医院等其他医疗机构可达性介于综合医院与基层卫生院之间, 城乡结合部存在服务时耗超标问题。

从供需匹配视角看(图 3(a)、图 3(b)), 五城区急救医疗服务可达性“好”与“较好”区域占比不足 30%, “一般”及以下区域超 70%, 优质医疗资源呈单核集聚特征, 可达性呈现“周边优于中心、北部优于南部”的非均衡特征。天府新区等南部新兴区域城市建设快速推进, 但医疗资源布局未及时匹配, 可达性滞后于北部传统城区; 核心城区形成“高密度需求-高可达供给”的均衡格局, 边缘区域则呈“低需求-低可达”失衡状态, 部分偏远地段存在救援响应盲区。

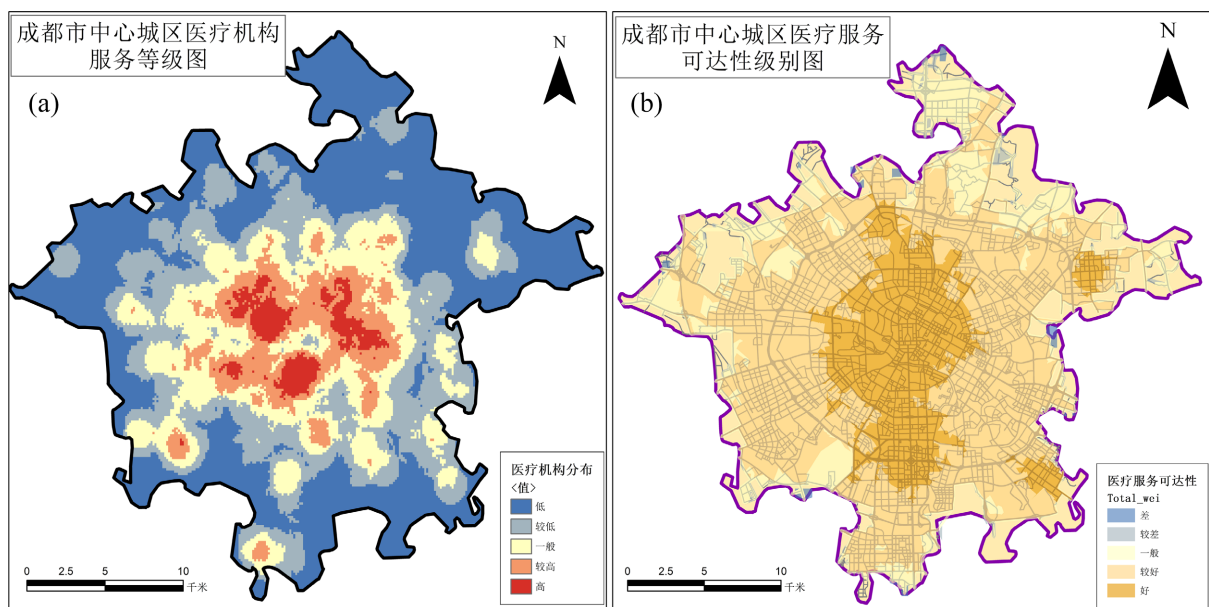


Figure 3. Medical service grades and accessibility in downtown Chengdu

图 3. 成都市中心城区医疗机构服务等级及可达性

加权评估体系显示(图 3(b)), 三甲医院(0.5)、综合医院(0.3)与基层医疗机构(0.1)的权重差异, 精准映射服务能级差距。边缘区域基层医疗机构普遍存在设备不足、专业医师缺口、技术能力受限等问题, 仅能开展基础诊疗, 面对急性心梗、严重创伤等病症时, 易因缺乏急诊处置能力与转诊机制流失黄金救治时间, 加剧了城乡医疗可达性鸿沟。

4.1.2. 重庆市中心城区

重庆市中心城区(渝中区、大渡口区、江北区等)医疗服务可达性特征与成都核心城区高度相似(图 4(a)), 优质医疗资源集聚于中心城区, 边缘区域可达性不足。三甲医院呈高度集聚态势, 重医附一院、西南医院等周边区域通行时间 < 10 分钟, 向外围扩展后, 15~20 分钟及超 20 分钟区域增多, 距离衰减效应显著, 外围区域急危重症救治面临时间约束。

如图 4(a)、图 4(b)所示, 综合医院布局更均衡, 超 70%的中心城区可在 10 分钟内抵达, 但新开发边缘区域存在服务盲区; 卫生院布点广泛、覆盖性强, 85%以上区域可在 5 分钟内抵达, 有效支撑基础医疗需求, 但转诊协同机制有待加强; 其他医疗机构可达性介于综合医院与卫生院之间, 环城生态区及城乡

结合部存在服务时耗超 10 分钟的问题，资源配置局部失衡。

服务等级与可达性的空间分布高度契合，高等级、高可达性区域集中于中心城区，形成“高供给 - 高需求”的均衡格局；外围区域以低等级、低可达性为主，灰色与蓝色区域面积较大，医疗资源供需矛盾突出，居民面临看病远、看病难问题，亟需加强医疗资源投入与布局优化。

4.2. 全局尺度——成渝地区双城经济圈

基于 15 分钟急救黄金时间阈值的全域评估(图 5)显示，应急救援可达性呈现“核心达标、外围滞后”

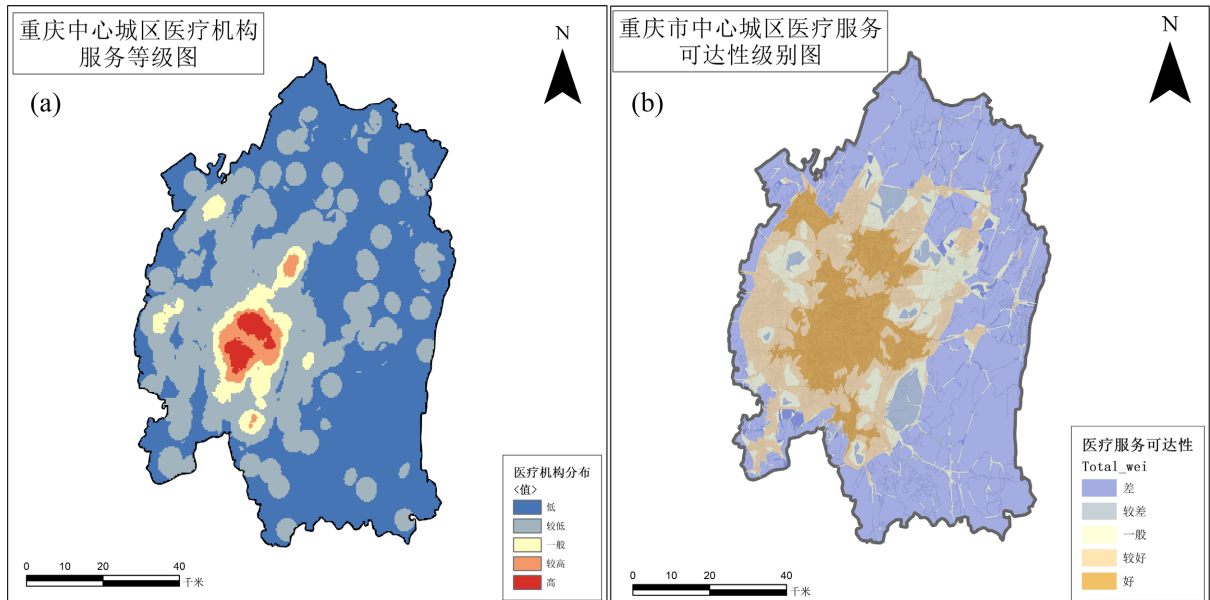


Figure 4. Medical service grades and accessibility in downtown Chongqing

图 4. 重庆市中心城区医疗机构服务等级及可达性

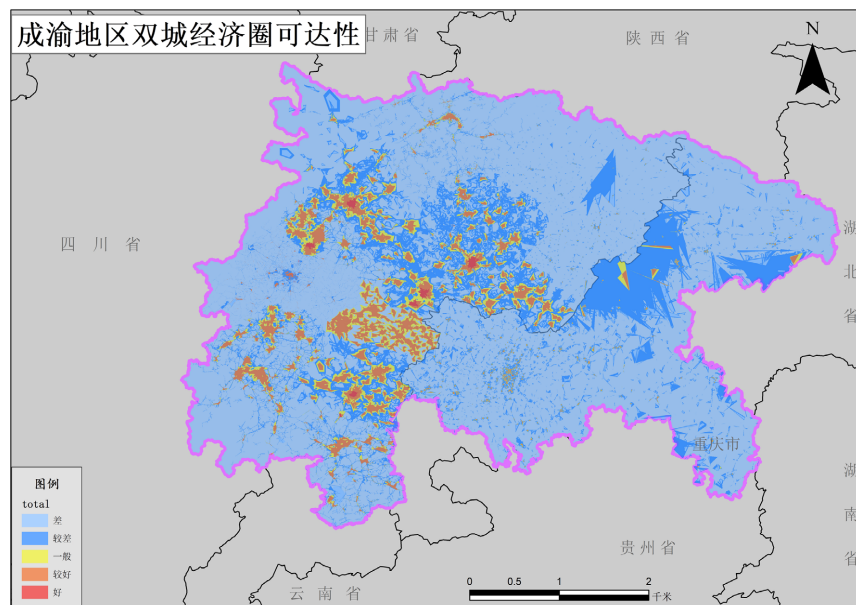


Figure 5. Overall spatial pattern of medical rescue accessibility in the Chengdu-Chongqing twin cities

图 5. 成渝双城医疗救援可达性整体格局

的显著分异,成都、重庆中心城区及周边城镇密集区的主体区域 15 分钟内可抵达医疗机构,核心城区因路网密集与资源集聚,5~10 分钟可达率超 70%,而占全域面积 60%以上的边缘山区及省界交界区域,15 分钟可达性覆盖率不足 20%,部分乡镇应急响应时间超 60%,地理阻隔与路网稀疏是主要原因。结合全域人口分布特征,应急救援资源的供需匹配存在三重矛盾,核心区“高需求-高供给”相对均衡,边缘区“低供给-高风险”错配突出,新兴区域“快速扩张-配套滞后”失衡明显。区域交通网络“核心高密-边缘稀疏”的特征直接影响应急救援的时空效率,核心区交通优势显著,为跨区域应急资源调配提供基础支撑,边缘区交通瓶颈突出,路网连通度不足且节点衔接效率低,增加了救援时间成本。

总体而言,成渝双城经济圈全局尺度的应急救援设施布局与可达性呈现“核心高效、边缘低效”的非均衡格局,这是自然地理约束、经济发展差异与资源配置失衡共同作用的结果,制约了区域应急响应的协同性,也对全域公共服务均等化与灾害风险防控提出了严峻挑战。

4. 结论

以成渝地区双城经济圈为对象,基于 GIS 空间网络分析模型,从多尺度交通可达性视角开展应急救援设施布局优化与时空响应研究,通过服务区分析与改进高斯两步移动搜索法,量化揭示了区域应急救援可达性的空间特征与核心问题,主要得出以下结论:

第一,多尺度空间异质性显著。主级尺度上,成都、重庆中心城区优质医疗资源呈单核集聚特征,医疗服务可达性存在明显空间梯度,核心区与外围区域差距显著;次级尺度上,川南、南遂广、达万三大城镇密集群医疗交通网络可达性参差不齐,跨区域应急救援资源调配存在壁垒,空间异质性源于经济发展、地理环境与交通网络结构的多重影响。

第二,时空响应存在结构性短板。基于 15 分钟急救黄金时间阈值的评估显示,区域仅核心区及周边城镇密集区实现良好可达性,边缘山区与新兴发展区域因路网不完善、站点布局不合理,应急救援响应时间过长,难以满足急救时间要求,成为区域应急救援体系的核心短板。

第三,供需匹配失衡问题突出。医疗救援设施的供给与需求在空间上严重错配,核心区凭借资源集聚实现“高需求-高供给”的相对均衡,而边缘区域医疗资源供给匮乏、基层机构服务能级低,难以应对复杂灾害救援需求,供需失衡进一步扩大了区域救援能力差距。

第四,交通网络对可达性影响显著。区域“核心高密-边缘稀疏”的交通网络特征,直接决定应急救援的时空效率,核心区高密度路网显著提升救援可达性,而边缘山区路网连通度不足成为救援效率提升的关键瓶颈,交通网络优化是提升区域应急救援可达性的重要突破口。

本研究构建的多尺度可达性分析体系与全域评估方法,能够科学量化应急救援可达性,为揭示区域应急救援能力的空间特征提供有效工具。研究成果对成渝地区双城经济圈应急救援体系的协同优化具有实践指导意义,提出的完善路网结构、优化救援站点布局、强化跨区域协同调度等策略,可为提升区域灾害应急响应效率提供参考,也为其他城市群开展应急救援网络建设研究提供方法论借鉴。

基金项目

2024~2025 年度西南科技大学大学生创新训练计划项目(基于场景仿真的多方联动应急手环模型研发, S202410619054)。

参考文献

- [1] 李英. 以“六个坚持”引领成渝地区双城经济圈发展能级提升[J]. 新生代, 2026(1): 18-23.
- [2] 郑妮, 陈俊博, 胡渝杨. 极端天气影响下超大特大城市安全治理的现实困境与机制形塑[J]. 中国应急管理科学,

- 2026(1): 84-94.
- [3] 赵伟, 邹欣怡, 蒲海霞. 成渝地区双城经济圈生态安全格局构建[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5): 2423-2433.
- [4] 陆世安, 付成东. 基于 ArcGIS 的路网交通可达性分析[J]. 科技创新与应用, 2024, 14(24): 142-145.
- [5] 陈玲玲. 基于 GIS 的安徽省交通网络可达性研究[J]. 科技创新导报, 2010(15): 28-28, 30.
- [6] 姚文墨, 徐歆辰, 陈丹镝. 基于服务空间可达性的急救医疗资源配置状况分析[J]. 现代预防医学, 2024, 51(17): 3185-3190.
- [7] 于欢欢, 徐春辉, 陈鹏. 基于路网数据的应急避难所可达性分析[J]. 科技和产业, 2024, 24(18): 344-348.
- [8] 翟滢莹, 翟辉, 滕绍贤, 等. 基于多源数据的城市街道空间消防可达性识别与提升研究[J]. 西部人居环境学刊, 2025, 40(1): 102-108.
- [9] 吕伟, 李承旭, 马亚萍. 基于 GIS 位置分配的城市应急避难场所责任区划分[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(6): 1102-1109.
- [10] 张小莹, 江惠华, 吕伟, 等. 基于 GIS 的城市应急避难场所空间区划[J]. 中国安全生产科学技术, 2024, 20(2): 153-160.
- [11] 张树君, 朱耿青, 郑超, 等. 基于 GIS 福州市应急避难场所空间分布的指标评价分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(10): 104-107.
- [12] 刘会秋, 陈长瑶, 李君. 基于改进两步移动搜索法的重庆市三甲医院可达性分析[J]. 中国医院, 2025, 29(3): 64-66.
- [13] 胡昊宇, 王良蛟, 陈昱龙, 等. 中国基础教育的交通可达性及其空间公平研究[J]. 地理科学, 2024, 44(9): 1513-1523.
- [14] 陈岚, 成国强, 廖晨阳, 等. 成都市武侯区城市公园可达性分析[J]. 中国城市林业, 2022, 20(2): 30-35.
- [15] 青果, 胡金龙, 艾烨, 等. 基于空间句法和 POI 数据的综合性公园可达性研究——以成都市中心城区为例[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2023, 41(2): 201-212.
- [16] 陈越, 许奇, 贾顺平, 等. 考虑末端出行的城市轨道交通就业可达性[J]. 浙江大学学报(工学版), 2025, 59(2): 310-318.
- [17] 叶勇, 许红梅. 基于多源数据的大城市高铁站点市内可达性评价及提升对策研究[J]. 西部人居环境学刊, 2025, 40(1): 87-92.
- [18] 张娜, 刘丙乾, 陈青尧, 等. 面向出行全过程的公共交通可达性水平计算方法[J]. 城市交通, 2025, 23(1): 16-25.
- [19] 商宁, 曹开军. 新疆景区交通可达性与旅游流空间耦合研究[J]. 世界地理研究, 2024, 33(12): 176-188.
- [20] 王世能, 温馨, 罗超, 等. 公共交通可达性提升规划研究及实践——以重庆市中心城区为例[J]. 城市公共交通, 2024(8): 47-51.
- [21] 魏攀一, 黄建玲, 陈艳艳, 等. 城市轨道交通可达性计算方法[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(10): 1-6.