

Concepto, cuantificación y diferenciación espacial de la vulnerabilidad espacial urbana: Un estudio de caso de las ciudades a nivel de prefectura del Círculo Económico Chengdu-Chongqing

Li Yunyan, WANG Miao, WANG Yanhong, FANG Chenhao, GOU Menghan

Resumen

La vulnerabilidad urbana abarca factores económicos, sociales, culturales, ambientales y de gestión, lo que dificulta su reconocimiento y medición cuantitativa. Dado que el espacio urbano es el soporte material de la ciudad, su vulnerabilidad determina directamente la vulnerabilidad urbana general. En este estudio, tras reconceptualizar la vulnerabilidad espacial urbana, se construye un sistema de medición integral basado en la tríada "exposición-sensibilidad-adaptabilidad" desde una perspectiva de espacio físico. Tomando como objeto de estudio el espacio urbano de 16 ciudades a nivel de prefectura en la región Chengdu-Chongqing, se analizaron las características de diferenciación de la vulnerabilidad espacial y sus factores influyentes, proponiendo estrategias de optimización. Los resultados indican que la vulnerabilidad espacial en el Círculo Económico Chengdu-Chongqing presenta un patrón espacial de "alto en los polos norte y sur, bajo en

el centro", situándose en un estado de vulnerabilidad moderada. Ya'an y Dazhou muestran una alta vulnerabilidad; los patrones espaciales urbanos complejos, la alta densidad edificatoria, los riesgos de desastres geológicos y la escasez de espacios abiertos son los principales factores causales. Se presentan recomendaciones políticas desde la dimensión espacial para proporcionar una guía científica hacia la construcción de ciudades resilientes.

Palabras clave: vulnerabilidad espacial urbana; medición integral; diferenciación espacial; Círculo Económico Chengdu-Chongqing.

1. Introducción y concepto de vulnerabilidad del espacio urbano

El espacio urbano, al ser el área de mayor concentración demográfica y económica, funciona como un sistema complejo que alberga no solo elementos materiales, sino también procesos sociales, económicos y culturales. Dada la creciente urbanización y la amenaza del cambio climático, la estabilidad de estos sistemas se ve perturbada, revelando una vulnerabilidad latente. La medición de esta vulnerabilidad es un "chequeo médico" esencial para el desarrollo urbano.

En este trabajo, definimos la vulnerabilidad del espacio urbano como una propiedad del sistema espacial que, ante perturbaciones externas, sufre alteraciones en su estructura interna y funcionamiento debido a su nivel de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Como

se muestra en la Figura 1, las perturbaciones externas (desastres naturales, actividades humanas, cambios socioeconómicos) actúan como factores impulsores, mientras que la estructura interna del sistema espacial constituye la causa directa de la vulnerabilidad.

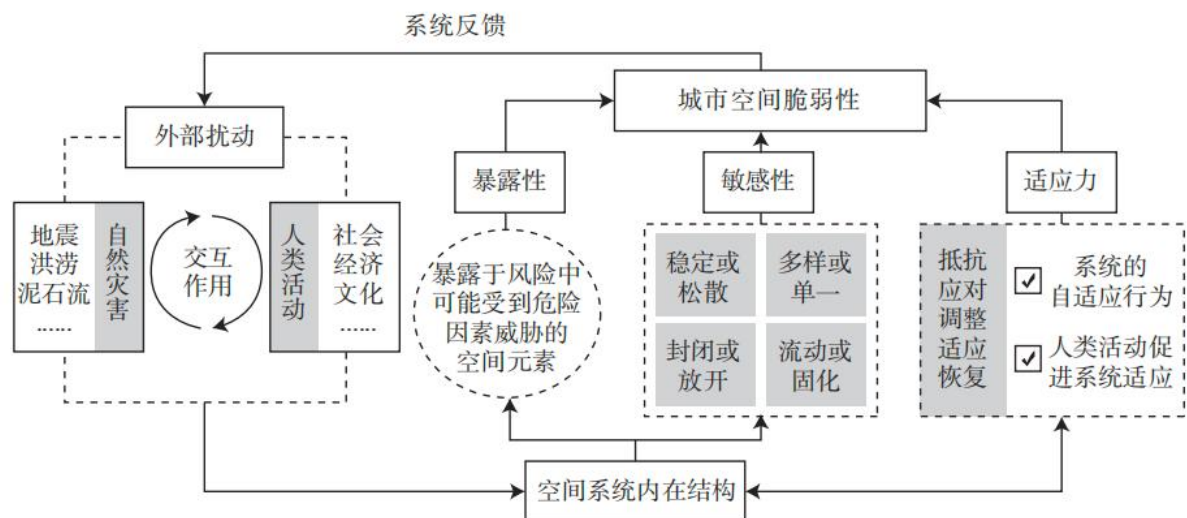


Fig.1 The concept of urban space vulnerability

2. Metodología y datos

Este estudio integra el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) y el método de entropía para asignar pesos científicos a los indicadores. Se han utilizado datos multifuente (población, morfología urbana, redes de transporte, POI, entre otros) para construir un marco de evaluación basado en la tríada:

Exposición (EI): Elementos espaciales susceptibles a amenazas.

Sensibilidad (SI): Grado de respuesta del sistema ante las

perturbaciones.

Adaptabilidad (AI): Capacidad de ajuste y recuperación del sistema.

La vulnerabilidad final (SVI) se calcula como la suma ponderada lineal de estos tres factores:

$$SVI=f\{EI,SI,AI\}=EI+SI+AI$$

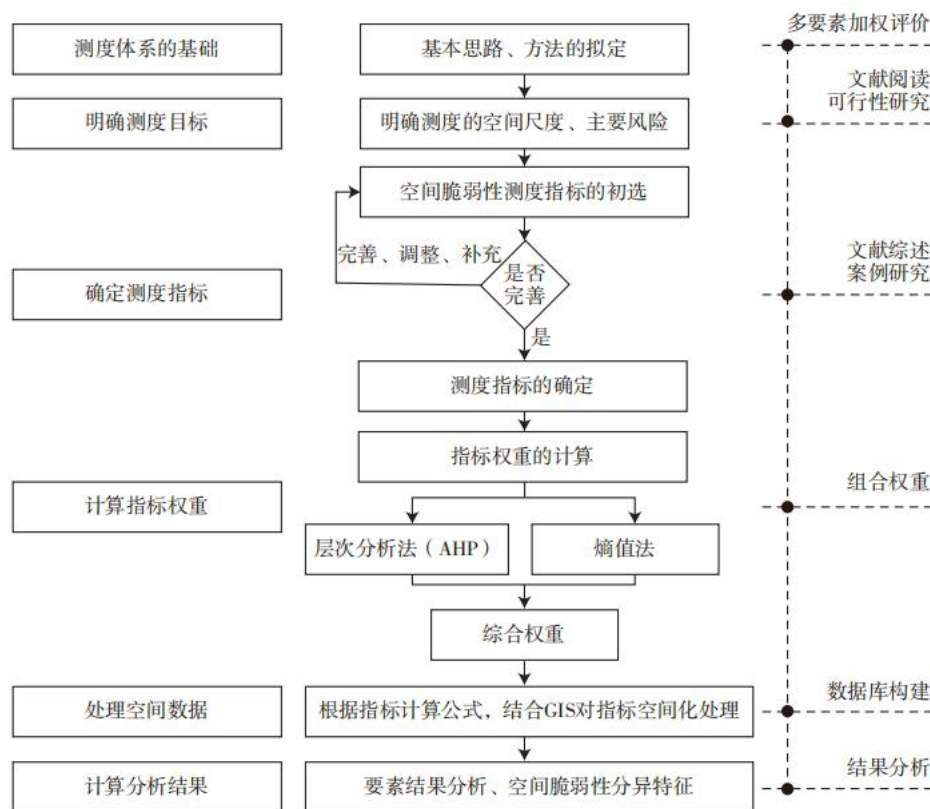


Fig.2 Urban space measurement flow chart

3. Resultados y análisis

El análisis de diferenciación espacial indica un patrón irregular con un valor medio de vulnerabilidad de 0.5134. La distribución sigue una lógica de "polos norte-sur altos, centro bajo". Las ciudades situadas en la periferia del Círculo Económico —como Ya'an, Dazhou, Mianyang y

Leshan— presentan mayores niveles de vulnerabilidad debido a condiciones espaciales precarias y una menor integración en el desarrollo coordinado de la región.

Mediante el modelo de grado de obstáculo, se identificaron los factores críticos: la complejidad morfológica, la alta densidad de edificios, el riesgo de desastres geológicos y la falta de espacios abiertos.

4. Discusión y estrategias de optimización

El estudio corrobora que la vulnerabilidad urbana no es solo un fenómeno estadístico, sino una manifestación espacial. En comparación con investigaciones previas, este enfoque aporta una visión multidimensional mediante el uso de Big Data y análisis geoespacial, ofreciendo una guía más precisa para la planificación.

Estrategias propuestas:

Morfología urbana de alta conectividad ecológica: Construir corredores verdes continuos y fortalecer las redes ecológicas para mejorar la resiliencia sistémica.

Red vial jerarquizada: No basta con aumentar la densidad; es crucial perfeccionar la estructura jerárquica de las vías, especialmente en el centro de la ciudad, para asegurar el flujo de servicios y la evacuación ante desastres.

Sistema de servicios públicos colaborativo: Implementar plataformas inteligentes para la distribución equitativa de recursos y fomentar la

participación comunitaria, integrando tecnologías de bajo consumo y construcción ecológica.

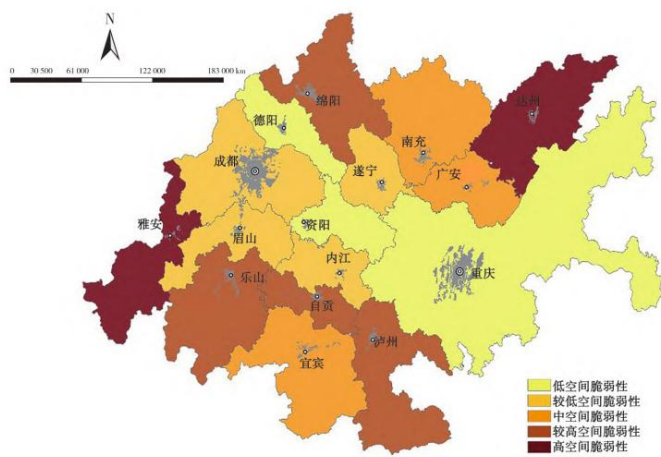
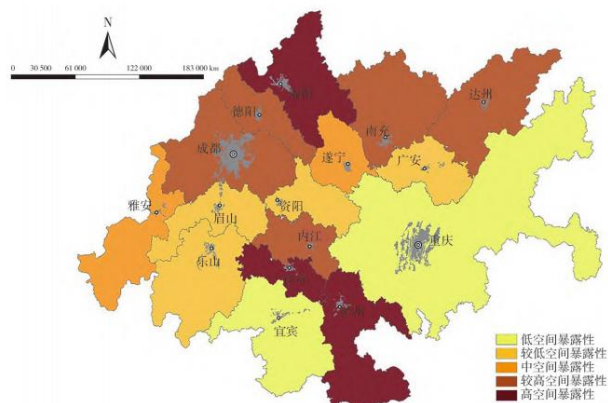
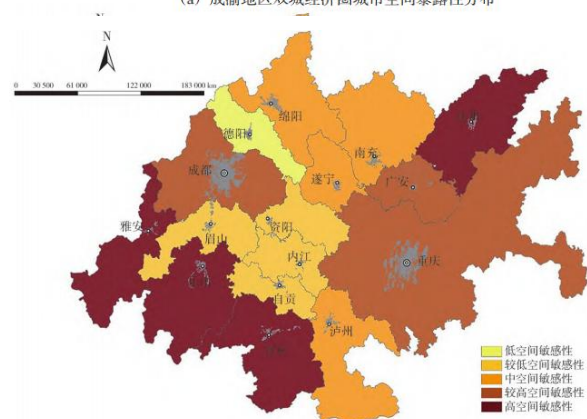


Fig.3 Spatial vulnerability distribution of cities in Chengdu-Chongqing economic circle



(a) 成渝地区双城经济圈城市空间暴露性分布



(b) 成渝地区双城经济圈城市空间敏感性分布

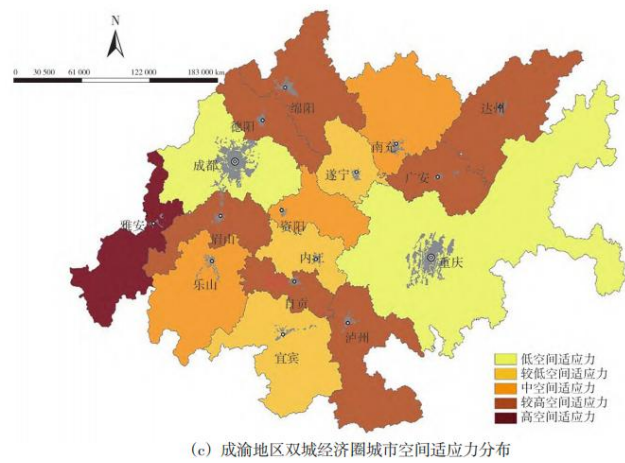


Fig.4 Spatial vulnerability distribution of urban subsystems in Chengdu-Chongqing economic circle

(AI 辅助翻译)