

Constructing a Planning System for Responding to Natural Disaster Risks

LIU Dong, SHAO Long, WANG Xin, LI Denghui, ZHANG Yixuan, LIU Chang, PENG Jianbing

Resumen: El cambio climático mundial y la rápida urbanización han intensificado las características de los desastres naturales, lo que hace necesario pasar de la prevención estática dominada por la ingeniería a la gobernanza espacial de ciclo completo. Basado en la teoría de sistemas complejos y la teoría de la producción del espacio, este documento deconstruye los atributos espaciales de los riesgos de desastres naturales a través de un marco de dotación material, organización de redes y respuesta dinámica, y revela el mecanismo de retroalimentación del sistema de desastres humanos-tierra. Sobre esta base, se proponen seis sistemas de planificación. La prevención de desastres de la selección de sitios realiza el aislamiento de riesgos mediante controles rígidos y flexibles; la planificación estructural previa al desastre fortalece la resiliencia del sistema mediante la optimización de la red; la reducción de desastres de control de la capacidad reduce la exposición mediante umbrales de intensidad del desarrollo; la reserva estratégica de espacio abierto crea amortiguadores elásticos a través de reservas planificadas; la mitigación de desastres basada en conectividad asegura la continuidad funcional mediante la redundancia vital; y el control inteligente utiliza gemelos digitales para mejorar la prevención y el control de desastres. El estudio forma una vía técnica profundamente integrada con la planificación territorial y proporciona apoyo teórico para la construcción de ciudades resistentes y la modernización de la gobernanza espacial.

Palabras clave: desastres geológicos; atributos espaciales; respuesta a la planificación; composición del sistema; gobernanza espacial

El profundo acoplamiento del cambio climático mundial y la rápida urbanización han hecho que los riesgos naturales de desastre que enfrentan las ciudades sean más complejos que nunca. La construcción urbana es esencialmente una intervención sistemática en el entorno geológico. En China, en particular, las actividades de ingeniería de alta intensidad han alterado profundamente los campos de geoestrés regionales y las condiciones hidrogeológicas, lo que ha hecho que los sistemas geológicos antiguamente estables muestren efectos compuestos como el acoplamiento de la inestabilidad de la pendiente y la subsistencia terrestre, las cadenas de desastres en cascada y la extensión espaciotemporal sensible [1-4].

Ante este nuevo patrón de riesgo, las limitaciones de la prevención y reducción tradicional de desastres se han vuelto cada vez más evidentes. En primer lugar, la prevención estática dirigida por la ingeniería es inadecuada para la evolución dinámica de los riesgos, ya que los estándares de las instalaciones inferidos de datos históricos suelen estar atrasados en el cambio climático extremo [5-7]. Second, sectorally fragmented governance struggles to address cascading disasters. Los incendios secundarios causados por terremotos y fugas de oleoductos suelen exceder el límite de un solo departamento, lo que conduce a riesgos superpuestos [1]. Más importante aún, el pensamiento espacial ha permanecido subutilizado en la prevención y reducción de desastres, lo que desconecta la evaluación del riesgo de la planificación y construcción urbanas [6]. Por lo tanto, es necesario aclarar la planificación como instrumento básico para hacer frente a las fuerzas desordenadas y asegurar un espacio seguro, y pasar más allá de la dependencia de la defensa de un solo peligro, la ingeniería local y la respuesta de emergencia.

El pensamiento mundial de prevención de desastres está experimentando una transformación sistémica. El marco de vulnerabilidad de los factores que causan riesgos se ha convertido en un consenso internacional. Aunque la investigación relacionada en China comenzó relativamente tarde, se ha ampliado rápidamente en los últimos años: teóricamente, el pensamiento resiliente-ciudad se ha integrado con sistemas complejos y sintaxis espacial [8-9]; en política, el 14o Plan Nacional de Prevención y Reducción de Desastres Integrales de Cinco Años

requiere una mayor resiliencia territorial; y técnicamente, se están conectando grandes datos e inteligencia artificial con sistemas de prevención de desastres [10-13]. Los estudios existentes siguen dejando lagunas. Muchos se centran en el desastre mismo o en una sola tecnología, descuidando el papel interactivo del espacio urbano como portador de desastres, amplificador de riesgos y medio de prevención. El objetivo de la seguridad y la resiliencia tampoco se ha incorporado profundamente en el sistema territorial de planificación espacial. La Conferencia de Trabajo Urbano Central 2025 hizo hincapié en acelerar la construcción de ciudades resistentes y mejorar el sistema de prevención de la seguridad urbana. Esto crea una necesidad urgente de un marco teórico sistemático que combina múltiples riesgos y cubre el proceso de prevención-control completo. En consecuencia, este documento deconstruye la compleja interacción entre los riesgos de desastres naturales y los sistemas espaciales urbanos, revela la relación entre el sustrato natural, la organización espacial y la respuesta de planificación, y propone un sistema de planificación urbana de seis dimensiones para responder a los riesgos de desastres naturales: prevención de desastres basados en el sitio, planificación estructural antes del desastre, reducción de desastres de control de capacidad, reserva estratégica de espacio abierto, mitigación de desastres basada en conectividad y control inteligente de desastres.

1 Atributos espaciales urbanos de los riesgos de desastres naturales

Los desastres son esencialmente interacciones no lineales entre factores que inducen peligros y cuerpos expuestos en espacios específicos. Durante la urbanización mundial, la expansión de las tierras de construcción se asocia positivamente con desastres frecuentes. El desarrollo en zonas débiles de estructura geológica, la ocupación de llanuras de inundación y el uso intensivo de cinturones costeros intensifican las reacciones de cadena de terremotos, el desequilibrio hidrológico y los daños causados por la insurgencia de tormentas, respectivamente. Por lo tanto, es esencial deconstruir los atributos espaciales urbanos del riesgo de desastres para comprender los mecanismos de formación en casos de desastre. Desde las perspectivas de ubicación geográfica, vinculación jerárquica e interacción de procesos, este documento divide estos atributos en dotación espacial material, organización espacial de red y dinámica espacial sensible (Fig. 1).

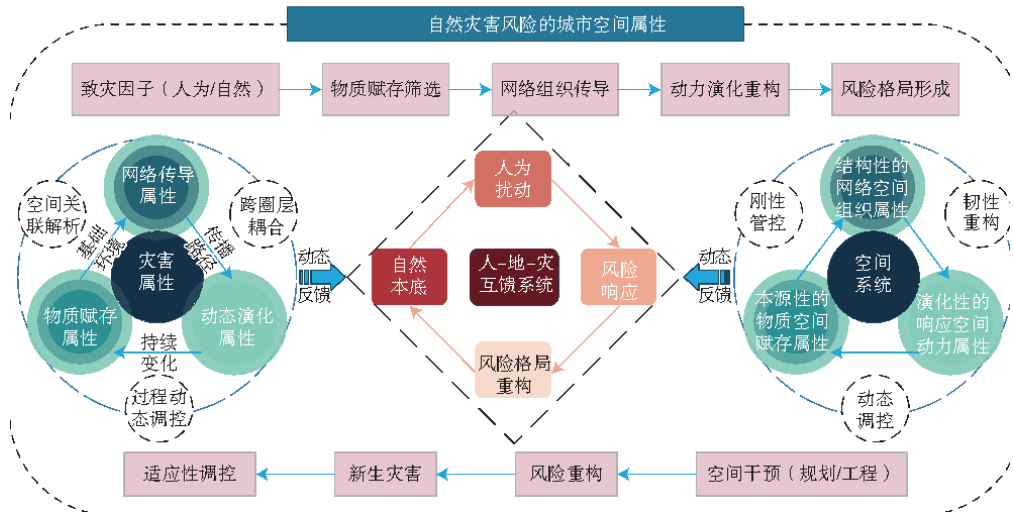


Fig. 1 Características espaciales urbanas de los riesgos de desastres naturales.

1.1 Atributos originales de dotación material-espacial

Los atributos de dotación espacial material derivan de los ciclos de energía-material del sistema de la Tierra y su diferenciación espacial. Determinan el espectro macrodistribución e intensidad de los riesgos de desastre, como la distribución de la zona de falla, las vías de desastres meteorológicos y los patrones de los sistemas fluviales.

Under the dual disturbance of climate change and intensive human activities, geostress-field reconstruction and hydrological-cycle interference form a nonlinear feedback mechanism of natural substrate, anthropogenic disturbance, and risk response [4,14]. Por lo tanto, el riesgo de desastres debe entenderse como una expresión espacial de la interacción dinámica entre los sistemas de la Tierra y la civilización tecnológica, que requiere una lógica de prevención-control basada en la circulación energética-material.

1.2 Atributos de la organización espacial de la red estructural

Los atributos de organización espacial de red están arraigados en la topología y dependencia sistémica del entorno construido. Como portador de riesgos, los efectos de interfase de densidad del espacio urbano empujan cadenas modernas de desastres más allá de una sola escala, provocando una amplificación no lineal a lo largo de las vías de registro de ciudades. La organización espacial social profundiza aún más este atributo. La diferenciación espacial de la población y la capacidad de aglomeración económica y gobernanza crea un mosaico vulnerable [15], produciendo caminos selectivos de transmisión de riesgos. Por consiguiente, se necesita un sistema tridimensional de coordinación de la resiliencia de la infraestructura, las redes de respuesta a la gobernanza social y las barreras ecológicas para interrumpir la transmisión de los riesgos a través de los medios de comunicación.

1.3 Atributos geodinámicos sensibles

Los atributos espacio-dinámicos receptivos se refieren al proceso dinámico de retroalimentación entre la producción espacial urbana y los sistemas naturales. La urbanización rápida ha aumentado la exposición regional y ha transferido riesgos antiguos, mientras que la conversión de energía o la demora espaciotemporal pueden producir transmisión de riesgo intergeneracional. La contradicción más profunda radica en las externalidades de las actividades humanas y en el desequilibrio de la distribución del riesgo. Siguiendo la lógica de la tecnología espacial de riesgo, la planificación debe utilizar el control de listas negativas y la simulación digital para optimizar el patrón, y sobre la base del intercambio de riesgos a nivel mundial, crear un mecanismo dinámico de adaptación y adaptación al desarrollo.

En suma, los atributos espaciales del riesgo de desastres son el producto compuesto de las leyes geográficas naturales y la práctica espacial humana. La dotación material proporciona el sustrato físico de la ocurrencia de desastres, la organización de la red define la vía estructural de la transmisión de desastres, y la evolución dinámica impulsa la transformación continua de patrones de riesgo. Juntos, forman la base espacial para la urbanización compleja de los riesgos de desastres naturales y la planificación guía desde el pensamiento de contenedores hacia el pensamiento de proceso, llevando el sistema de desastres humanos hacia la seguridad y el equilibrio.

2 Composición de un sistema de planificación para responder a los riesgos de desastres naturales

Basado en la teoría de sistemas complejos y en la teoría de la producción del espacio, este documento construye un marco de gobernanza tridimensional del control del proceso espacial, la asignación del elemento espacial y la optimización de la seguridad espacial. Mediante la producción y transformación de formas espaciales, responde a la cadena completa de inducción de peligros, agravación de cuerpos expuestos y evolución de vulnerabilidad. El núcleo de este modelo es reducir la carga ordenada y la capacidad de resistencia del sistema alterando las relaciones humana-tierra-desastre mediante la reconstrucción espacial. Se proponen seis sistemas de planificación.

2.1 Prevención de desastres en la selección de sitios basados en limitaciones de sustrato

La prevención del desastre de la selección de sitios es la base de control de fuentes para las respuestas de planificación urbana a los riesgos de desastre. Se identifican y evitan las limitaciones de desastres mediante la

detección de sitios web, formando un marco de limitación rígido y flexible de identificación de riesgos, restricción de sustrato y selección de sitios seguros. Incorpora áreas sensibles a los desastres en umbrales de acceso espacial urbano e inventarios de regulación de la planificación (Fig. 2a). Este sistema está arraigado en la unidad dialéctica de la geografía física y la civilización ecológica: identifica patrones de transmisión de energía a desastres a través del análisis de la ecología del campo de agua de montaña, aclara cómo la tectónica regional y la hidrología conforman el patrón espacial de la superficie terrestre, y proporciona limitaciones naturales deterministas para el espacio urbano.

Técnicamente, este documento construye un marco de implementación de análisis de sustratos, detección de sitios y control de grado. En el nivel de análisis de sustratos, se utiliza la observación integrada del cielo-espacio-tierra-deep para interpretar el acoplamiento geohazard-geomorfo-habitat y la sensibilidad de cadena de desastre. En la detección de sitios, se combinan datos multifunción y tecnologías de evaluación para construir una base de datos regional y establecer datos multinivel sobre desastres a escala regional, urbana y local. En el control de calidad, se combinan restricciones rígidas y orientaciones flexibles para integrar las limitaciones de desastres en la aprobación y supervisión de los proyectos, formando un circuito cerrado de control de listas negativas, evaluación de riesgos y corrección dinámica.

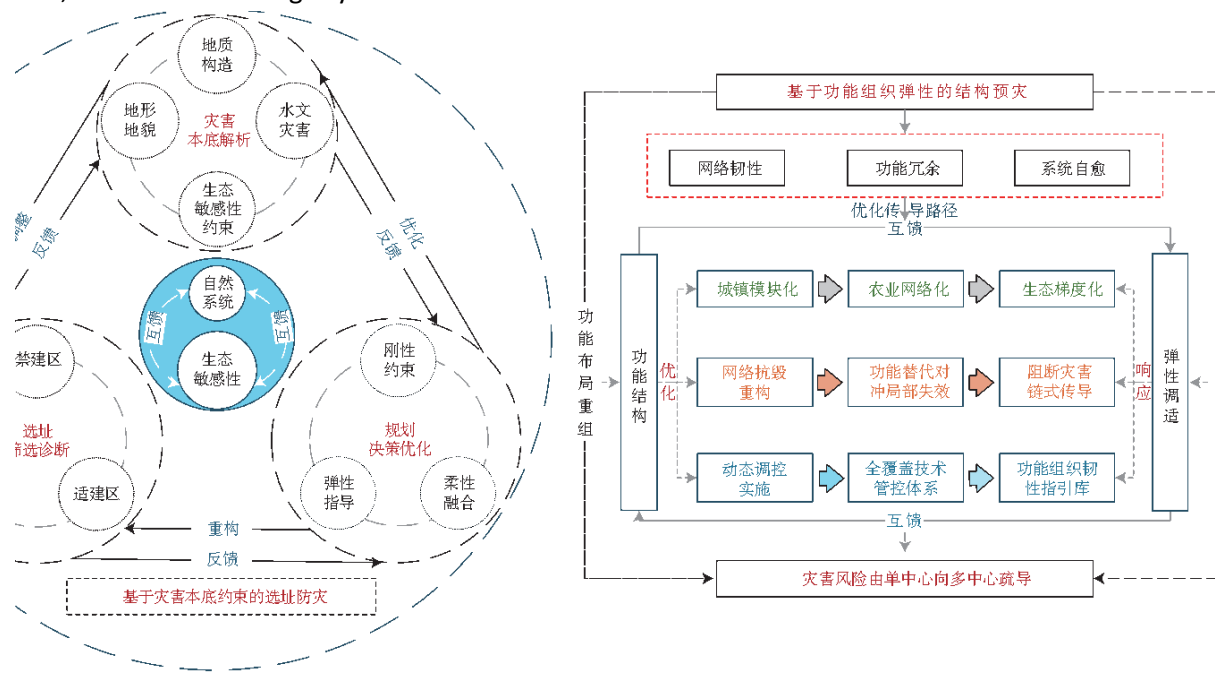


Fig. 2 Composition of the planning system for natural-disaster response.

2.2 Planificación estructural previa al desastre basada en la resiliencia de la organización funcional

La planificación previa al desastre estructural es el camino de optimización de la estructura espacial para responder a los riesgos del desastre natural. Mejora la topología de red y el diseño funcional para formar un marco de protección resiliente multinivel de resiliencia de red, redundancia funcional y autosanación del sistema (Fig. 2b). Basándose en la teoría de sistemas adaptables complejos y la teoría de la estructura disitiva, destaca que los desastres se mueven a lo largo de la escala y las interfaces funcionales. En primer lugar, se utiliza la relación funcional de sustrato de estructura de red unitaria-desastre para identificar los mecanismos de reorganización funcional y vinculación de riesgos [11,13]. En segundo lugar, diseños multicéntricos y basados en grupos distribuyen riesgo de desastres y evitan fallo funcional en centros individuales. Por último, la redundancia de optimización modular se forma dentro de la organización espacial, de modo que las

instalaciones, el espacio agrícola, las barreras ecológicas y los nodos de emergencia mantengan la eficiencia de los servicios.

La ruta técnica para la planificación estructural previa al desastre consiste en la optimización funcional, la reconstrucción de la red y el ajuste dinámico. Optimización de unidad funcional identifica puntos vulnerables y reconstruye la función a través de la sintaxis espacial y la simulación de cuerpo multiinteligente. La reconstrucción de la red fortalece la capacidad espacial para soportar interrupciones mejorando la densidad de resistencia estructural y optimizando la redundancia de los nodos clave. A continuación, el ajuste dinámico utiliza una plataforma de simulación para realizar proyecciones de escenarios, establecer umbrales de resistencia para funciones clave y apoyar la respuesta adaptativa a la transmisión repentina de desastres.

2.3 Reducción de los desastres basados en el equilibrio entre la intensidad del desarrollo

La reducción de los desastres en el control de la capacidad es la manija de gestión de los beneficios para la respuesta de la planificación urbana a los riesgos de desastres naturales. Establece umbrales de intensidad de desarrollo diferenciados espacialmente mediante la coordinación de las relaciones entre parcelas urbanas y locales, transformando la capacidad de seguridad en el parámetro vinculante de la intensidad del desarrollo espacial (Fig. 3a). El enfoque requiere la integración de la teoría del sistema de desastres y la gobernanza de grado de capacidad. En primer lugar se identifican las características de perturbación multiescala de los desastres y se aclara cómo la densidad urbana excesiva y el fracaso funcional a nivel unitario desencadenan la amplificación del riesgo en cascada. Luego utiliza la doble evaluación para establecer una vía de conversión de las zonas de riesgo a las redes de control de intensidad. Por último, ancla el volumen total de desarrollo y establece un sistema de intensidad paso a paso de limitaciones de dominio total, adaptación de distrito y precisión de paquetes.

Para la reducción de la capacidad, este documento desarrolla un marco de cadena completa de fijación de umbrales y optimización de parámetros de morfología. En la capa de seguridad urbana, el terreno, la ecología y los datos de historia de desastres se utilizan para identificar la máxima capacidad de desarrollo regional e impedir que el sobredesarrollo incumpliera el umbral de carga y causar un fallo sistémico en cascada. En la capa de ratio unitaria-tierra, se utilizan automatas celulares y modelos morfológicos para construir una matriz de sensibilidad ante desastres, revelar mecanismos de transmisión de riesgos y optimizar las proporciones de uso de la tierra a escala de la red o de la comunidad. En la capa de parámetro de forma de sitio, los modelos de seguridad morfológica y simulación de planificación se utilizan para optimizar los ratios de diseño y la continuidad del edificio, estableciendo controles refinados para densidad, contorno, espaciado, altura y capacidad.

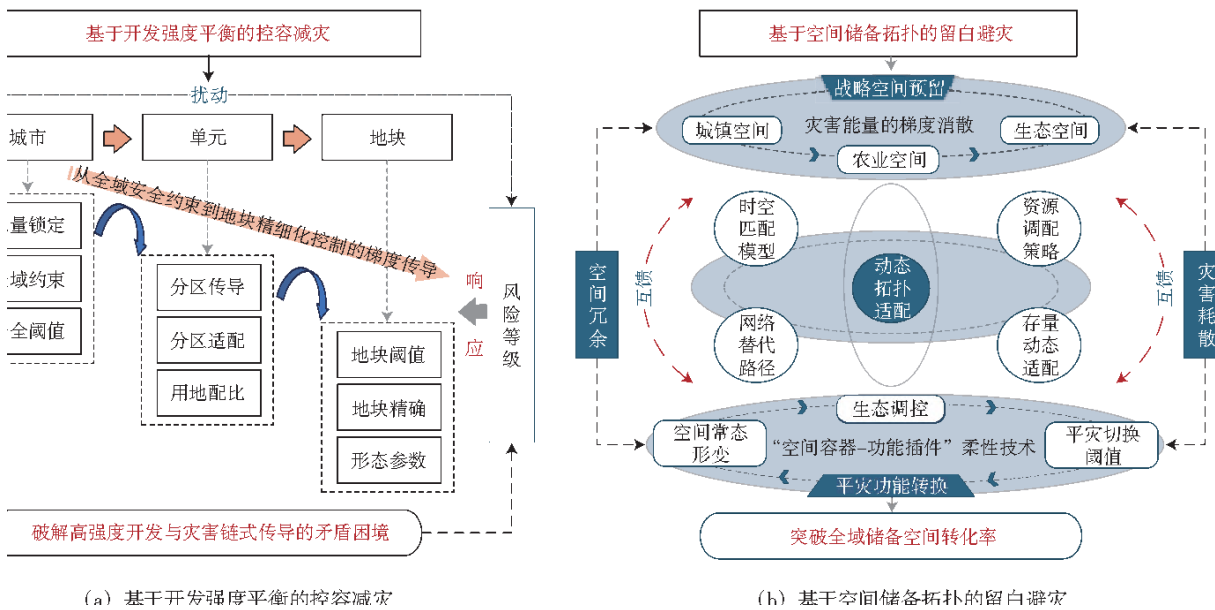


Fig. 3 Composición del sistema de planificación para responder a los riesgos de desastres naturales.

2.4 Reserva abierta estratégica basada en la topología espacial

La reserva estratégica de espacio abierto es el mango estratégico de reserva espacial para la respuesta de la planificación urbana a los riesgos de desastre. Transforma el almacenamiento y la liberación resilientes en la tasa de asignación de recursos espaciales optimizando los nodos de resistencia urbana y la topología, formando un mecanismo de conversión de desastres, amortiguación energética y absorción calificada (Fig. 3b). El sistema se origina en la integración de la teoría de la ciudad resiliente y la topología. En primer lugar, convierte la redundancia espacial y la resiliencia funcional para fortalecer la respuesta de los eventos inciertos. En segundo lugar, introduce la lógica de la topología y la defensa de desastres que coinciden, respondiendo a la necesidad reglamentaria obligatoria de importante espacio de reserva estratégica. En tercer lugar, a través de un diseño de conversión espacial-reserva-intergeneracional, las capas de refugio a nivel municipal se distribuyen unidades resistentes, el espacio agrícola se conecta a través de bosques, llanuras de inundación y asignación de recursos terrestres, y el espacio ecológico utiliza reservas naturales para crear interfaces de absorción a gran escala en casos de desastre.

Técnicamente, el sistema enfatiza la retención espacial, la generación de topología y la conversión de entidad. En el plano estratégico abierto, introduce soluciones basadas en elementos naturales como bosque, campo, agua y pastizales, y convierte la red multimodal que incrusta en cinturones de amortiguación. En el espacio de la ciudad, construye una estructura de tres niveles para absorber y almacenar energía en diferentes gradientes. En los espacios agrícolas y ecológicos, las redes de campo y las formas de tierra protegidas se transforman en redes de absorción energética a gran escala. En la etapa de adaptación de la topología dinámica, un modelo espaciotemporal identifica los mejores nodos de refugio y soporte de emergencia, optimiza las vías de sustitución de la red y la asignación de recursos de recuperación, y determina el umbral de activación y la secuencia de conversión del espacio de reserva mediante simulación de escenarios de desastre.

2.5 Reducción de los desastres basados en la conectividad mediante la adaptación a la resiliencia de las instalaciones

La mitigación de los desastres basados en la conectividad es la manija de garantía de infraestructura para la respuesta de la planificación urbana a los riesgos de desastres naturales. Reconstruye la protección de la ingeniería en una base de adaptación resiliente para la gobernanza espacial mediante la coordinación del

sistema físico que promueve la vida útil, la coordinación de la red y la recuperación dinámica (Fig. 4a). Este sistema se basa en el acoplamiento de la teoría de la infraestructura resiliente y los principios de gobernanza espacial [12,19]. Infraestructura de primer grado mediante la redundancia, adaptabilidad y recuperabilidad, utilizando topología en forma de anillo y diseño modular para lograr una alta correspondencia entre las funciones de instalación y la demanda. En segundo lugar, la teoría compleja de los sistemas de adaptación se utiliza para identificar los mecanismos de falsificación de enlace, y se construye una vía de adaptación dinámica de red basada en una sola protección, reparación en red y evolución del sistema. Por último, los requisitos de protección de la ingeniería se traducen en indicadores de control de planificación, y se establece una clasificación de uso de la tierra de infraestructura resiliente para mejorar la eficiencia y cambiar la defensa pasiva hacia la participación activa en la resiliencia espacial.

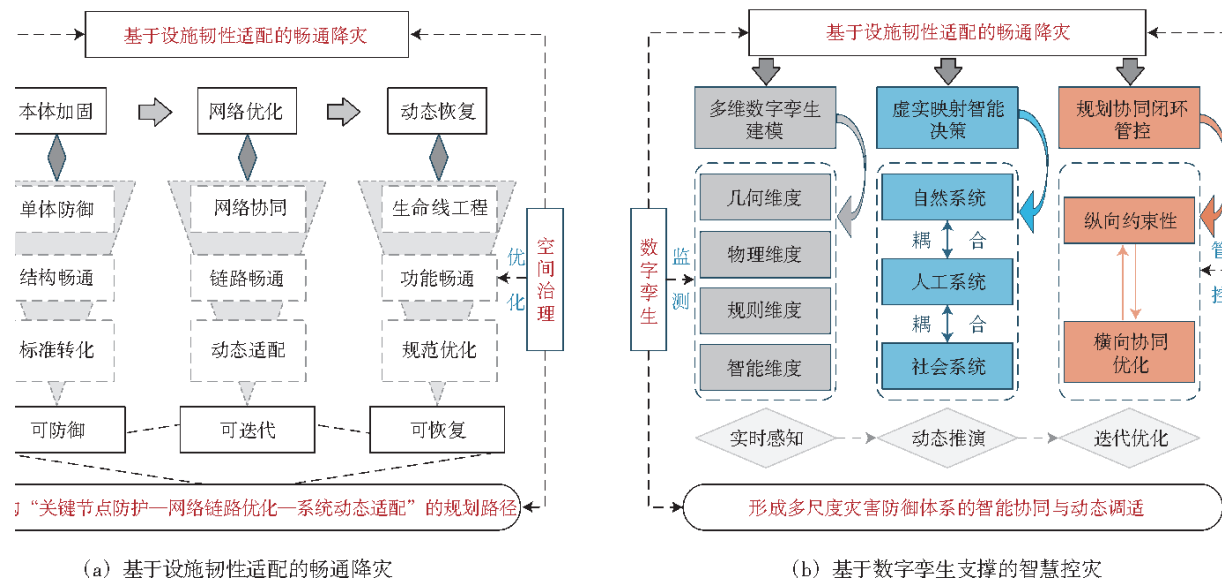


Fig. 4 Composition of the planning system for natural-disaster response.

2.6 Control inteligente de desastres apoyado por gemelos digitales

El control de desastres inteligente es el centro de gobernanza digital para la respuesta de la planificación urbana a los riesgos de desastres naturales. Establece un mecanismo circular de interacción virtual-real, iteración inteligente y toma de decisiones integradas a través de la percepción en tiempo real, simulación dinámica y optimización iterativa (Fig. 4b). El sistema se deriva de la innovación metodológica de gemelos digitales y la ciencia de sistemas complejos. Primero construye mapas multidimensionales de simulación geométrica a dinámica. Luego integra BIM, GIS e IoT para crear un entorno de simulación acoplado de sistemas naturales, artificiales y sociales, mejorando la toma de decisiones empíricas en una gobernanza inteligente impulsada por algoritmos. Por último, conecta la plataforma digital con la planificación territorial espacial para que el control de la planificación, la vigilancia de la implementación y la retroalimentación de evaluación constituyan un bucle cerrado inteligente completo.

En el marco de aplicación, el control de desastres inteligentes procede a través de modelos multidimensionales, cartografía virtual-real y toma de decisiones cerradas. El modelo digital-twin proporciona soporte de fondo a través de la modelación de alta precisión de cuatro dimensiones de geometría, física, reglas e inteligencia. La cartografía virtual-real mantiene la interpretación dinámica, la incrustación de restricciones y la proyección evolutiva. El enlace de decisión inteligente se basa en la percepción en tiempo real y la simulación de cuerpo multiinteligente para generar controles coordinados a través de dimensiones verticales y horizontales, convirtiendo la respuesta de emergencia en intervención precisa. En el nivel de planificación-coordinación, una

plataforma de un mapa soporta la optimización multigoal a través de simulación de predisaster, seguimiento in-disaster y evaluación postdisaster, formando un sistema de gobernanza inteligente de percepción, inferencia, control y iteración.

3 Conclusiones y perspectivas

Como producto de la transformación humana de la naturaleza, la ciudad se desarrolla mediante una interacción constante con las leyes naturales. Los desastres no son perturbaciones externas a la planificación urbana, sino contradicciones intrínsecas incrustadas en la evolución del espacio urbano. Por consiguiente, la capacidad de responder científica y eficazmente a los riesgos de desastre es una medida clave del desempeño de la planificación. Ante el acoplamiento profundo del cambio climático mundial y la urbanización, este documento se centra en los riesgos de desastres naturales bajo la influencia significativa de las actividades humanas, deconstruye sus atributos espaciales y construye seis sistemas importantes de planificación urbana. Las principales conclusiones son las siguientes.

3.1 Aclarar la lógica urbana-espacial de los riesgos del desastre natural

El documento aclara que los atributos espaciales de los riesgos urbanos de desastres naturales no son una sola característica geográfica, sino un todo integrado compuesto de origen, estructura y evolución. La dotación espacial material se deriva de la diferenciación no lineal de los ciclos de energía-material en el sistema terrestre. El movimiento de placas y la circulación atmosférica forman el sustrato de riesgo, mientras que las actividades de ingeniería urbana crean retroalimentación entre sustrato natural, perturbación antropógena y respuesta al riesgo. La organización espacial de la red se basa en la topología del entorno construido y el sistema social, amplifica la transmisión del riesgo a través de la densidad, el acoplamiento y los efectos de la interfaz, y produce transmisión no lineal a través de la construcción, ciudad y región. La dinámica espacial responsiva refleja la interacción dinámica entre la producción espacial urbana y los sistemas naturales, en los que el desarrollo espacial genera efectos intergeneracionales mediante la sustitución y transferencia de riesgos, y las externalidades de las actividades humanas intensifican la diferenciación de los riesgos a escala transversal y a través de los medios de comunicación.

3.2 Construcción de un sistema de planificación urbana de control de fuentes, protección de cuerpos expuestos y fomento de la capacidad

Sobre la base de la teoría de sistemas complejos y de la teoría de la producción del espacio, este documento traduce el marco de capacidad de reducción del cuerpo, expuesto en la fuente, en seis sistemas de planificación [6,19-20]. La prevención del desastre de la selección de sitios identifica fuentes de riesgo y realiza el aislamiento de fuentes mediante el silbido de emergencia. La planificación estructural del predeste apunta a la organización funcional de los cuerpos expuestos y construye mecanismos de sustitución y auto-recuperación mediante la optimización de la red-topología y la redundancia funcional. La reducción de los desastres por el control de la capacidad impide que los órganos expuestos tengan una concentración excesiva de los riesgos de aumento mediante umbrales de intensidad del desarrollo. La reserva abierta estratégica reserva espacio estratégico y construye buffers físicos y refugios. La mitigación de los desastres basada en la conectividad asegura la redundancia de la vida útil y la accesibilidad de la red para mantener funciones. El control inteligente de desastres conecta el monitoreo y la prevención a través de gemelos digitales y mejora la precisión y oportunidad de intervención. Juntos, estos sistemas integran el control de los recursos de riesgo, la protección de los cuerpos expuestos y el fomento de la capacidad de reducción de desastres en la planificación urbana.

3.3 Exploring the integration path between territorial spatial planning and disaster prevention and reduction

Para abordar la insuficiente integración de los objetivos de seguridad, el documento propone estrategias de integración diferenciadas. A nivel de planificación-transmisión, las líneas de control de riesgos de desastre deben incorporarse en el sistema de control rígido de tres zonas y tres líneas. A nivel técnico-método, se debe integrar la vigilancia de la colaboración en el espacio-espacio-tierra, el análisis de superposición espacial del SIG y la simulación de cuerpos multiinteligentes para conectar la evaluación del riesgo con el diseño de la planificación. En el nivel de rendimiento de la gobernanza, el control de calidad que combina limitaciones rígidas, orientación flexible y integración adaptativa debe equilibrar la protección ecológica, la prevención de la seguridad y las necesidades de desarrollo espacial.

La respuesta de la planificación urbana a los riesgos de desastres naturales es un proyecto de sistemas multidisciplinarios y multinivel. La investigación futura debería integrar más los recursos técnicos interdisciplinarios y las plataformas de innovación colaborativas, promover la transición de la prevención de desastres urbanos y la reducción del rescate postdesastre a la prevención proactiva, desde la defensa de riesgos únicos a la gobernanza de la cadena de desastres, y desde la adopción de decisiones basadas en la experiencia hasta la regulación inteligente, proporcionando así apoyo técnico para la modernización de la gobernanza espacial urbana en el marco de la estrategia pacífica de China.

Referencias

- [1] Buldyrev S V, Parshani R, Paul G, et al. Catastrophic cascade of failures in interdependent networks [J]. *Nature*, 2010, 464(7291): 1025-1028.
- [2] Peng Jianbing, Cui Peng, Wang Huijun, et al. Conception for building a natural-disaster prevention and control system [R]. *Bulletin of National Natural Science Foundation of China*, 2025, 39(6): 1-8.
- [3] Peng Jianbing, Lan Hengxing, Qian Hui, et al. Scientific conception of a livable Yellow River [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2020, 28(2): 189-201.
- [4] Peng Jianbing, Zhang Yongshuang, Huang Da, et al. Feedback disaster effects among tectonic deformation, rock-mass loosening, surface freeze-thaw and engineering disturbance zones on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Earth Science*, 2023, 48(8): 3099-3114.
- [5] Yin Yueping, Li Bin, Gao Yang, et al. Research on long-runout high-level geological disasters: review and prospect [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2023, 34(5): 1-12.
- [6] Zhai Guofang, Xia Chenxi. From engineering disaster prevention to spatial governance: paradigm shift of resilient-city theory [J]. *City Planning Review*, 2023, 47(1): 9-19.
- [7] Liu D, Zhang J Q, Wang X, et al. Synergizing multi-temporal remote sensing and systemic resilience for rainstorm-flood risk zoning in the northern Qinling foothills: a geospatial modeling approach [J]. *Remote Sensing*, 2025, 17(12): 2150.
- [8] Yang Minxing, Huang Bo, Cui Can, et al. Review and prospect of disaster prevention research based on resilient-city theory [J]. *Urban Planning Forum*, 2016(1): 48-55.
- [9] Ren Baoguang. Design methods and principles for resilient cities based on complex adaptive systems theory [J]. *Urban Development Studies*, 2018, 25(10): 1-3.
- [10] Zhen Feng, Zhang Shuting, Qin Xiao, et al. From information-enabled to integrated-enabled: exploration of smart territorial spatial planning [J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(10): 2060-2072.
- [11] Dai Shenzhi, Liu Wanwan, Gao Xiaoyi, et al. Compilation system and implementation mechanism of territorial spatial disaster prevention and reduction planning [J]. *Urban Planning Forum*, 2023(1): 48-53.
- [12] Peng Can, Zuo Weixin, Li Yuewen, et al. Multi-risk coupling in urban space and resilient planning response [J]. *Urban Planning Forum*, 2024(5): 88-97.

- [13] Wang Kai, Xu Hui, Jia Pengfei, et al. Exploration of a safety-resilience planning method for precise adaptation between regions and cities [J]. Strategic Study of CAE, 2025, 27(4): 43-54.
- [14] Kaufmann R K, Seto K C, Schneider A, et al. Climate response to rapid urban growth: evidence of a human-induced precipitation deficit [J]. Journal of Climate, 2007, 20(10): 2299-2306.
- [15] Beer T. Review of the book At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters, 2nd ed., by B. Wisner, P. Blaikie, T. Cannon and I. Davis [J]. Natural Hazards, 2006, 40(2): 495-497.
- [16] Li Yunyan, Zhao Wanmin. Construction of an urban disaster prevention and mitigation method system based on spatial pathways [J]. City Planning Review, 2017, 41(4): 62-68.
- [17] Pan Haixiao, Dai Shenzhi, Zhao Yanqing, et al. Academic discussion on urban resilience and spatial planning in response to climate change [J]. Urban Planning Forum, 2021(5): 1-10.
- [18] Shi Peijun. Strengthening national natural-disaster risk assessment and zoning to support high-quality socioeconomic development [J]. China Emergency Management, 2023(1): 10-13.
- [19] Wu Zhiqiang, Wang Guangtao, Yang Baogun, et al. Academic discussion on cities supporting Chinese modernization: paths and missions [J]. Urban Planning Forum, 2025(3): 1-8.
- [20] Yue Qingrui, Lu Xinde, Xu Zhen, et al. Theoretical framework of risk source, exposed body and disaster-reduction capacity for urban safety [J]. Engineering Mechanics, 2025, 42(7): 19-27.

Traducción asistida por IA