

应对自然灾害风险的规划系统建构思考*

Urban Planning System Composition Responses to Natural Disaster Risks

刘冬 邵龙 王欣 李登辉 张艺萱 刘畅 彭建兵

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

关键词 地质灾害; 空间属性; 规划响应; 系统构成; 空间治理

Keywords: geological disasters; spatial attributes; planning response; system composition; spatial governance

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202601013
文章编号 1000-3363(2026)01-0096-06

作者简介

刘冬, 西安科技大学建筑与土木工程学院教授、博士生导师, dongliu@xust.edu.cn

邵龙, 西安科技大学建筑与土木工程学院硕士研究生

王欣, 西安科技大学艺术学院正高级工程师, 通信作者, wangxin@xust.edu.cn

李登辉, 西安科技大学建筑与土木工程学院硕士研究生

张艺萱, 西安科技大学建筑与土木工程学院硕士研究生

刘畅, 西安科技大学建筑与土木工程学院硕士研究生

彭建兵, 中国科学院院士, 长安大学地质工程与测绘学院教授、博士生导师

提要 全球气候变化与快速城市化加剧了灾害的复合链式特征, 传统静态防灾亟须向全周期空间治理转型。基于复杂系统与空间生产理论, 解构自然灾害风险的“物质赋存—网络组织—动力响应”空间属性, 揭示“人—地—灾”系统互馈机制。据此提出六大规划系统: 选址防灾通过刚性弹性管控实现风险隔离, 结构预灾通过网络优化强化系统韧性, 控容减灾以开发强度阈值降低暴露度, 留白避灾通过战略储备构建弹性缓冲, 畅通降灾依靠生命线冗余保障功能连续, 智慧控灾利用数字孪生提升精准防控。研究形成了与国土空间规划深度融合的技术路径, 为韧性城市建设与空间治理现代化提供理论支撑。

Abstract: Global climate change and rapid urbanization have intensified the compound and cascading nature of natural disasters. This necessitates a paradigm shift from traditional engineering-dominated static prevention toward full-cycle spatial governance. Grounded in complex systems theory and the theory of the production of space, this paper deconstructs the urban spatial attributes of natural disaster risks through a "material endowment—network organization—dynamic response" framework, and reveals the feedback mechanisms within the "human-land-disaster" system. Accordingly, six urban planning systems are proposed: site selection for disaster prevention, which achieves risk isolation through rigid-elastic controls; structural pre-disaster strategy, which strengthens system resilience through network optimization; density control for disaster reduction, which minimizes exposure using development intensity thresholds; strategic open space reservation, which builds resilient buffers through planned reserves; disaster mitigation connectivity, which ensures functional continuity through lifeline engineering redundancy, and smart disaster management, which leverages digital twin technology for precise prevention and control. This study establishes a technical pathway integrated with territorial spatial planning, providing theoretical support for urban resilience building and the modernization of spatial governance.

* 国家自然科学基金专项项目“秦岭生态地质环境系统演化与灾害风险管控”(项目编号: 42341101); 陕西省重点研发计划项目“应对雨洪灾害的秦岭北麓镇村空间韧性防控研究”(项目编号: 2025SF-YBXM-555); 长安大学“双一流”建设专项资金项目“兰州市地质灾害(链)发育规律与城市规划优化研究”(项目编号: 300111250021)

全球气候变化与快速城市化进程的深度融合耦合，使城市面临的自然灾害风险呈现前所未有的复杂性。城市建设本质上是对地质环境的系统性干预，尤其在我国，高强度工程活动深刻改变了区域地质应力场与水文地质条件，导致原本相对稳定的地质系统显现出坡面失稳与地面沉降耦合的复合性、灾害序列级联的链生性及跨时空尺度的效应延展性^[1-4]。

面对灾害风险新格局，传统防灾减灾模式的局限性日益凸显。首先，工程主导的静态防控难以适应动态演变的灾害，基于历史数据推算的设施标准往往滞后于极端气候变化^[5-7]。其次，部门分割的治理方式难以应对链式灾害，地震诱发的次生火灾与管线泄漏等跨领域问题，常因超出单一部门范畴而导致风险叠加^[1]。最为关键的是，空间思维在防灾减灾中的工具性缺失，导致风险评估与城市规划建设脱节^[6]。因此，明确规划作为对抗无序之力、争取安全空间的核心工具，亟须超越“单灾种防御+局部工程应对”的路径依赖。

当前，全球防灾理念正经历深刻的系统化转型，“风险=致灾因子×暴露度×脆弱性”的系统观已成为国际共识。我国相关研究虽起步较晚，但近年来呈现多维拓展特征：理论层面以韧性城市为核心，融合复杂系统与空间句法等跨学科知识^[8-9]；政策层面，《“十四五”国家综合防灾减灾规划》明确要求提升国土空间韧性；技术层面，正积极探索大数据、人工智能与防灾体系的深度融合^[10-13]。然而，既有研究仍存在不足：一是多聚焦于灾害本体或单一技术，忽视了城市空间作为“灾害载体—风险放大器—防控介质”的交互角色；二是安全韧性目标尚未深度融入国土空间规划体系。

2025年中央城市工作会议强调：“加快推进韧性城市建设，健全城市安全预防体系。”这迫切要求建立多灾种耦合、全过程防控的系统性理论框架。基于此，本文旨在解构自然灾害风险与城市空间系统的复杂交互属性，揭示“自然基底—空间组织—规划响应”的作用关系，进而提出从“选址防灾、结构预灾、控容减灾、留白避灾、畅通降灾、智慧控

灾”六个维度，构建应对自然灾害风险的城市规划系统。

1 自然灾害风险的城市空间属性

灾害本质上是致灾因子与承灾体在特定空间内的非线性交互。在全球城市化进程中，建设用地扩张与灾害频发呈显著正相关：地质构造薄弱区的开发、洪泛平原的侵占及海岸带的高强度利用，分别加剧了地震链式反应、水文失衡风险与风暴潮破坏能级。解构灾害风险的城市空间属性，是理解成灾机制的关键。本文立足于地理位置、层级联动与过程互构，将其划分为本源性的物质空间赋存属性、结构性的网络空间组织属性和演化性的响应空间动力属性（图1）。

1.1 本源性的物质空间赋存属性

物质空间赋存属性源于地球圈层系统的能量—物质循环及其时空分异，决定了灾害风险的宏观布局与强度谱系（如断裂带展布、气象灾害路径及流域水系分布）。在气候变化与高强度人类活动双重扰动下，地应力场改造与水文循环干扰形成了“自然本底—人为扰动—风险响应”的非线性互馈机制^[4,14]。这要求将灾害风险视为地球系统与技术文明动态博弈的空间表达，重构基于能量—物质循环规律的防控逻辑。

1.2 结构性的网络空间组织属性

网络空间组织属性根植于建成环境

的拓扑结构与系统依赖性。作为风险载体，其“密度—耦合—界面”效应促使现代灾害链突破单一尺度，沿“建筑—城市—区域”路径呈非线性放大。社会空间组织进一步深化了该属性：人口经济集聚与治理能力的空间分异构建了脆弱性的“马赛克”格局^[15]，导致风险形成选择性传导路径。因此，亟须构建“基础设施韧性—社会治理响应网—生态缓冲阻隔”的三维协同体系，以阻断跨介质的风险传导。

1.3 演化性的响应空间动力属性

响应空间动力属性是城市空间生产与自然系统的动态互馈过程。快速城市化进程中的工程干预虽在短期内化解了旧风险，但常通过能量转嫁或时空延迟产生风险的代际传递效应，其深层矛盾在于人类活动的外部性生产与风险分配失衡^[9,16]。破解这一困境需建立“风险—空间—技术”协同机制，利用负面清单管控与数字模拟技术实现格局优化，在全域风险共担的基础上达成适应性与发展的动态平衡。

综上所述，灾害风险的空间属性是自然地理规律与人类空间实践的复合产物。物质赋存属性提供了风险分布的本底框架，网络组织属性定义了灾害传导的结构路径，动力演化属性驱动了风险格局的持续蜕变。这一解构旨在推动灾害科学向“空间关联解析—跨圈层耦合—过程动态调控”跃迁，促使规划从容器思维转向过程思维，引导“人—

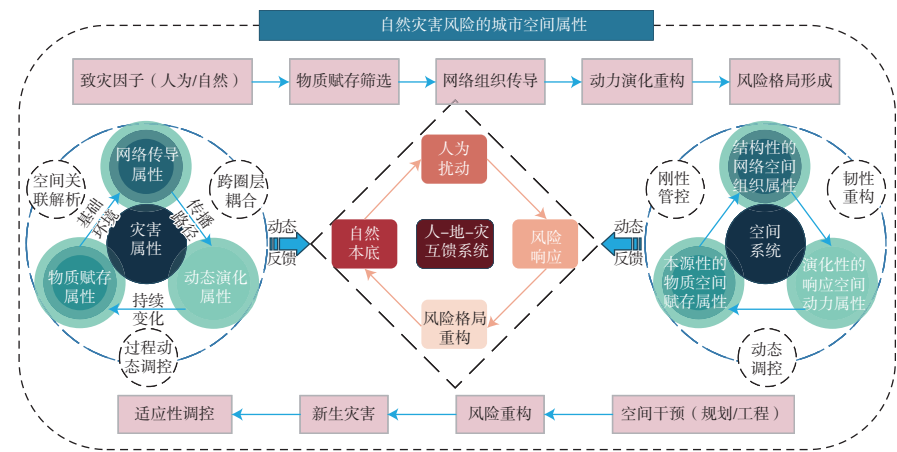


图1 自然灾害风险的城市空间属性
Fig.1 Urban spatial characteristics of natural disaster risk

地—灾”系统向安全均衡演进。

2 应对自然灾害风险的规划系统构成

基于复杂系统与空间生产理论，本文建构了“空间过程调控—空间要素配置—空间安全优化”的三维治理框架，进而形成统筹孕灾环境改良、致灾因子遏制与承灾体加固的全周期防控链条。该模式的核心在于通过空间重构改变“人—地—灾”的互馈路径，实现风险能量的有序耗散与系统韧性的定向提升，进而提出六大规划系统。

2.1 基于灾害本底约束的选址防灾

选址防灾作为城市规划应对自然灾害风险的源头管控基础，旨在通过灾害本底评估与建设用地选址的精准匹配，围绕“风险识别—本底约束—安全选址”构建人地协调的刚性约束框架，并将灾害分布嵌入城市空间准入负面管控清单[图2(a)]。该系统根植于地理系统论与生态文明思想的辩证统一：首先，依据岩石圈—水圈—生态圈灾害能量传导规律^[2,6]，明确地质构造活动与水系变迁对地表空间格局的塑造作用，为城市空间

开发划定刚性自然约束；其次，将“设计结合自然”理念转化为包含生态红线刚性避让、开发边界弹性调节的“避让—引导—融合”空间适配范式；最后，利用国土空间适宜性和环境承载力评价技术，将灾害自然规律转译为“三区三线”的刚性管控要求^[17-18]，从而实现地理本底对空间建设的科学约束。

针对选址防灾的技术路径，本文构建了“本底解析—选址筛选—分级管控”的实施框架。在本底解析层面，依托“天—空—地—深”协同探测技术，解译“地质构造—地形地貌—水文灾害—生态敏感性”的灾害能量传导链，建立涵盖区域、城市及场地尺度的多层级灾害本底数据库。在选址筛选环节，融合多源数据与双评价技术构建多尺度风险评估标准，开发多目标选址优化算法并编制“禁建—限建—适建”空间负面清单，动态展示灾害情景下的选址限制。在分级管控维度，建立“刚性约束—弹性引导—柔性融合”调控机制，实施差异化避让与设防，将灾害约束融入项目审批流程，并依托数字化平台建立“年度排查—三年评估—五年修编”的监管机制，确保管控措施有效落地。

2.2 基于功能组织弹性的结构预灾

结构预灾作为城市规划应对自然灾害风险的空间结构优化路径，旨在通过功能布局重组与网络拓扑优化，构建围绕“网络韧性—功能冗余—系统自愈”的多层级弹性防护框架[图2(b)]。该系统源于复杂适应系统理论和耗散结构理论的协同，突破了传统刚性分区的局限：首先，依据复杂适应系统理论揭示的空间作为“功能单元—网络结构—灾害基底”的复合特性^[11,13]，明确空间韧性本质是扰动下的功能重组能力而非单纯的坚固性；其次，基于耗散结构理论采用“多中心、组团式”的功能布局分散灾害风险，避免单中心失效导致系统性崩溃；最后，通过在空间组织中形成模块化冗余，如城镇生活圈设施的功能互补与备份、农业空间“田—林—水”复合自维持网格以及生态空间的能量缓冲带，将灾害传导路径内化为空间资源配置的结构性准则。

针对结构预灾的技术路径，本文构建了“功能优化—网络抗毁—动态调控”的实施框架，重点提升空间系统的自适应恢复和自组织重构能力。在功能单元优化层面，运用空间句法与多智能体模拟解构脆弱点，城镇空间实施“主中

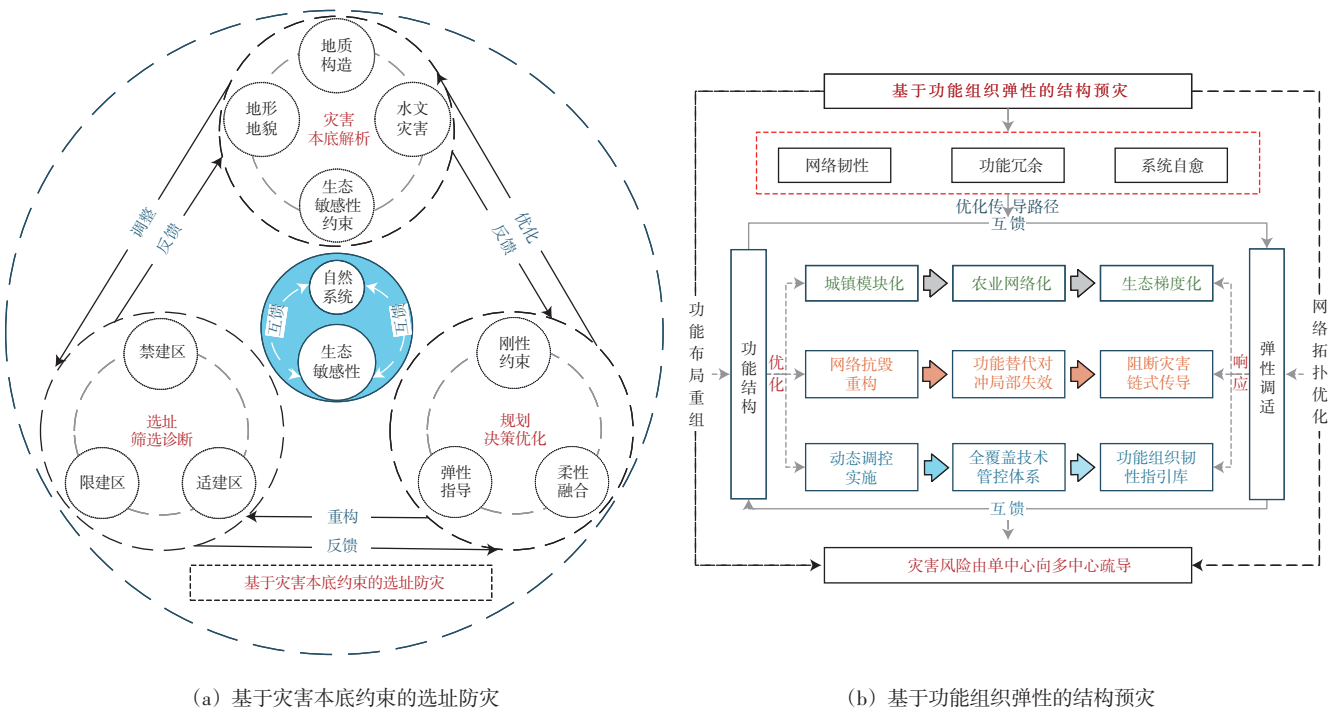


图2 应对自然灾害风险的规划系统构成图
Fig.2 Composition of the planning system for natural disaster response

心一备用节点”双轨制以形成替补网络，农业空间划分韧性网格确保存续，生态空间构建复层群落维持服务效能。在网络抗毁重构环节，通过结构韧性核密度、田林水网破碎化及灾害阻断效能等指数量化防护效能，动态响应阻断灾害链式传导。在动态调控实施维度，建立结构弹性编码与韧性指引库，强化关键防灾设施的分布式布局，设定关键功能的中断容忍时长，并构建虚拟仿真平台以实现多情景推演。

2.3 基于开发强度平衡的控容减灾

控容减灾作为城市规划应对自然灾害风险的梯度管控抓手，旨在通过“城市—单元—地块”开发阈值的差异传导，围绕“总量锁定—分区传导—地块阈值”将安全承载转译为空间开发强度的约束性指标 [图 3(a)]。该系统源于灾害系统与空间梯度治理的交叉贯通：首先，依据灾害系统理论揭示的多尺度扰动特征，明确城市级高密度开发、单元级功能失衡与地块级形态失控对灾害风险的级联放大效应；其次，基于国土空间规划“双评价”构建从风险区划到强度管控的转化路径，将地震烈度、土壤承载力等自然参数精准转译为规划指标^[10,13]；最后，通过锚定全域开发总量，建立“全域约束—分区适配—地块精确”的阶梯

强度体系，借助“控量—调区—优形”策略重塑开发建设与安全底线的内在平衡。

针对控容减灾的技术路径，本文构建了“安全阈值—用地配比—形态参数”的实施框架，重点形成“城市—单元—地块”量化的开发强度方案。在城市安全阈值层面，融合地质、生态及灾害历史数据，进行多物理场耦合量化，通过蒙特卡洛模拟计算区域最大开发容量，防止开发强度突破承载阈值引发系统级联失效。在单元用地配比环节，引入功能混合与元胞自动机融合模型构建灾害敏感性矩阵，揭示风险传导机制，优化网格或社区基本单元的用地配比，利用适度功能混合形成风险分散的冗余结构。在地块形态参数维度，建立形态安全效能模型，结合风洞模拟与拓扑优化对建筑高宽比、裙房连续界面等实施强制性安全约束，实现从宏观容量到底层形态的精细化管控。

2.4 基于空间储备拓扑的留白避灾

留白避灾作为城市规划应对自然灾害风险的战略空间预留抓手，旨在通过城市韧性节点布局与拓扑优化形成平灾转换的弹性储备，围绕“空间储备—平灾转换—能级消纳”将灾害能级跃迁转译为空间资源配置的动态缓冲策略 [图 3

(b)]。该系统源于韧性城市理念与拓扑学的系统整合^[6,8]：首先，依据韧性城市理论，通过空间冗余储备与功能弹性转换，应对不确定性冲击以提升系统抗灾能力；其次，应用拓扑学重构空间储备与灾害防御的匹配逻辑，响应“重要战略留白空间”的强制性管控要求，利用生态隔离带与开敞空间构建全域韧性基底；最后，通过“空间留白—拓扑适配—平灾转换”的设计方法，在城镇依托避难圈层形成分散式弹性单元，在农业空间通过农田林网形成洪涝滞蓄区，在生态空间借助自然保护地打造大尺度灾害能量吸收界面。

针对留白避灾的技术路径，本文构建了“空间留白—拓扑适配—实体转换”的实施框架，着重强化战略性的空间储备与动态适配。在战略空间留白层面，引入基于自然的解决方案 (NBS)，依托“多层级网络嵌套—多通道能量传导”模式构建层次化缓冲带，在城镇空间构建“核—环—廊”三级结构实现能量梯度消散，在农业与生态空间分别利用农田林网、自然保护地形成大尺度能量消纳网络。在动态拓扑适配环节^[13]，开发“时空双维匹配模型”，通过灾害抗性加权的最短路径动态调整储备布局，优化网络替代路径与修复资源调配策略，并基于灾害链模拟解决存量空间与动态灾变的

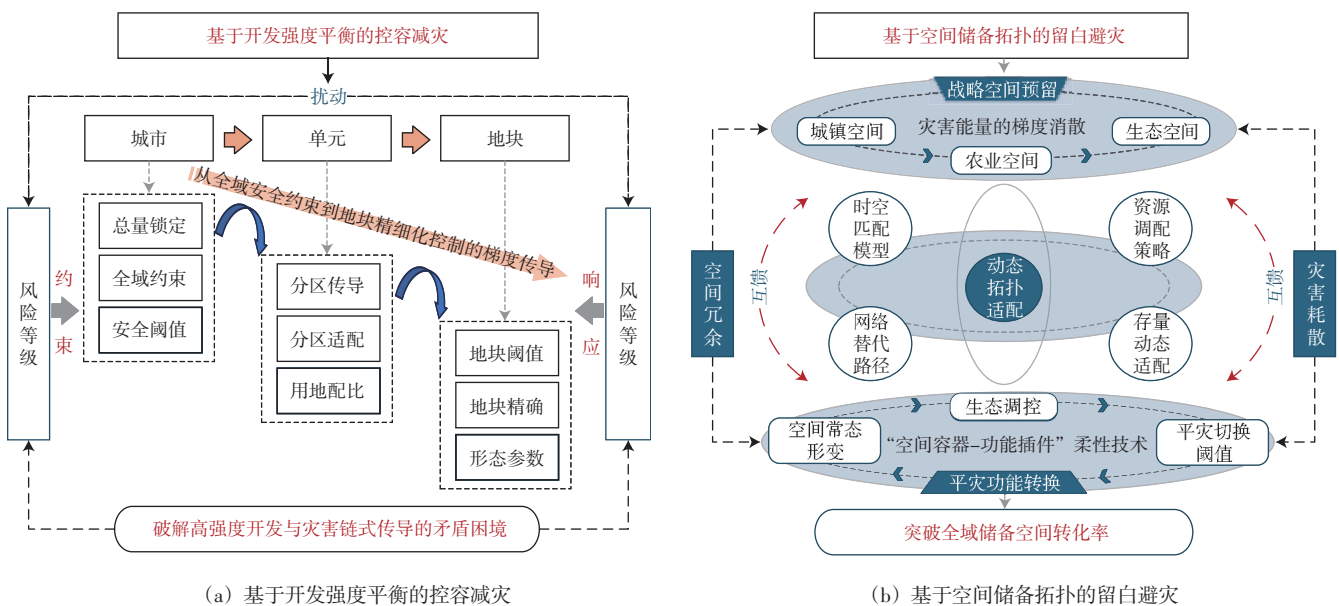


图3 应对自然灾害风险的规划系统构成图

Fig.3 Composition of the planning system for responding to natural disaster risks

适配问题。在平灾实体转换维度，建立“空间容器—功能插件”柔性技术，采用可变形钢结构与智能调平地基实现建筑模块弹性转换，利用湿地多功能调蓄设计实现“旱季公园—涝季蓄洪”切换，并依托城市级拓扑孪生平台实时演算储备空间的启用阈值与转换时序。

2.5 基于设施韧性适配的畅通降灾

畅通减灾作为城市规划应对自然灾害风险的基础设施保障，旨在通过生命线工程的韧性设计与网络协同，围绕“本体加固—网络优化—动态恢复”将工程单体防御逻辑重构为空间治理的韧性适配基准[图4(a)]。该系统源于韧性基础设施标准与复杂系统科学的深度融合^[12,19]：首先，依据韧性基础设施标准，通过冗余性、适应性与可恢复性指标，推动设施从单体防护向系统协同防御升级，利用环形拓扑及模块化设计实现设施本体与功能需求的高度适配；其次，基于复杂系统科学揭示的级联失效规律，架构“关键节点防护—网络链路优化—网络动态适配”的规划路径；最后，将工程防护要求转化。为规划控制指标，利用网络冗余度与模块化设计提升修复效率，使其从被动防御升维为主动参与空间韧性建设的核心要素。

针对畅通降灾的技术路径，本文构建了“标准转化—动态适配—规范优化”

的实施框架，着重强化设施在极端场景下的快速自愈与功能维持能力。在工程标准转化层面，建立韧性设施规划传导机制，将变电站抗震设防烈度、应急通道净空高度及管网承压等工程参数精准转译为用地适建性、建筑退距等可落地的规划控制指标。在网络动态适配环节，实施关键节点分级防护，利用多模态技术优化骨干链路以防止级联失效，并在末梢形成自组织的适配微网，依据实时监测数据动态优化设施运行参数。在标准规范优化维度，针对现行用地分类增设韧性设施用地分类，构建包含韧性容积率奖励、时空错配补偿及智能电网限制高耗能用地等机制，实现开发强度与设施韧性的动态平衡管控。

2.6 基于数字孪生支撑的智慧控灾

智慧控灾作为城市规划应对自然灾害风险的数字治理集成中枢，旨在通过虚实交互与智能算法迭代，围绕“实时感知—动态推演—迭代优化”构建智慧决策框架，将传统经验判断升级为空间治理的智能决策[图4(b)]。该系统源于数字孪生技术与复杂系统科学的范式创新，推动防灾减灾规划向数字化转型^[10,13]：首先，针对灾害链演化规律，利用数字孪生技术实现从几何建模到动力学解析的多维映射；其次，借助BIM、GIS与IoT集成建立“自然—人工—社会”耦合仿

真环境，将经验决策提升为算法驱动的智能治理；最后，强化数字平台与国土空间规划“一张图”的衔接，确保规划管控、实施监测和评估反馈形成完整的智能化闭环。

针对智慧控灾的技术路径，本文构建了“多维建模—虚实映射—闭环管控”的实施框架，促使国土空间安全治理进阶为“虚实共生、智防一体”。在多维数字孪生建模层面，构建四维高精度模型作为底层支撑，分别在几何、物理、规则及智能维度实现逆向建模、动力学解析、约束嵌入与演化推演。在虚实映射智能决策环节，依托实时感知与多智能体仿真重构物质、能量与信息流交互机制，将经验决策升级为算法驱动的精准干预。在规划协同闭环管控维度，构建数字孪生平台与国土空间规划“一张图”的深度衔接，利用区块链与知识图谱技术辅助多目标优化，覆盖灾前模拟、灾中追踪及灾后评估全链条，形成“感知—推演—管控—迭代”的智能化治理体系。

3 结论与展望

城市作为人类改造自然的产物，其发展过程始终伴随着与自然法则的博弈。灾害不仅是自然界的逆向反馈，更是深植于城市空间演化中的内在矛盾。因此，

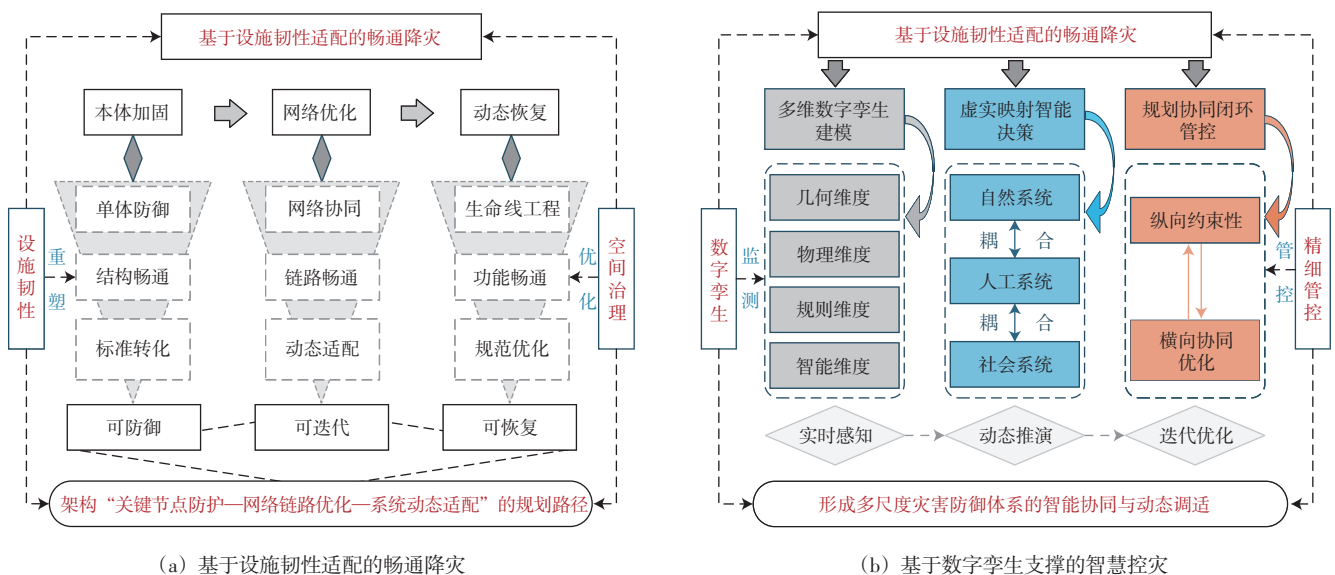


图4 应对自然灾害风险的规划系统构成图
Fig.4 Composition of the planning system for natural disaster response

灾害绝非城市规划的“外部干扰”，能否科学、有效地应对灾害风险，是衡量规划成败的关键标尺。本文立足于全球气候变化与城市化深度耦合的背景，聚焦人类活动显著影响下的自然灾害风险，通过解构其空间属性，构建了应对自然灾害风险的城市规划六大系统，主要结论如下。

3.1 阐释了自然灾害风险的城市空间逻辑基础

本文明确了城市自然灾害风险的空间属性并非单一地理区位特征，而是由本性、结构性与演化性构成的整体。其中，物质空间赋存属性源于地球圈层能量—物质循环的非线性分异，板块运动与大气环流奠定了风险本底，而城市工程活动通过应力扰动形成了“自然本底—人为扰动—风险响应”的互馈机制。网络空间组织属性依托城市建成环境与社会系统的拓扑关系，通过密度、耦合与界面效应放大了风险传导效能，导致灾害沿“建筑—城市—区域”尺度呈现非线性传导。响应空间动力属性体现城市空间生产与自然系统的动态博弈，空间开发通过风险替代与转嫁形成代际效应，而人类活动的外部性生产加剧了跨尺度、跨介质的风险异化。三者共同构成了城市自然灾害风险复杂化的空间逻辑基础。

3.2 构建了“控源—护体—提力”的城市规划体系

基于复杂系统理论与空间生产理论，本文将城市安全的“风险源—承灾体—减灾力”理论转化为六大规划系统^[6, 19-20]：选址防灾以风险源识别为前提，通过避灾选址实现源头隔离，作为减灾力的前置保障；结构防灾针对承灾体功能组织，通过网络拓扑优化与功能互备冗余，确立灾害冲击下的系统替代与自愈机制，强化承灾体韧性；控容减灾通过设定开发强度阈值，避免承灾体过度集中放大风险，优化减灾力；留白避灾预留战略空间，构建物理缓冲容器与避难场所，通过平灾实体转换，补充减灾力；畅通降灾保障生命线基础设施的冗余布局与网络通达，以功能维持，巩固减灾力；智慧控灾借助数字孪生实现监测与防护

联动，提升防控的精准性与时效性。该体系通过改进城市规划同步实现风险源管控、承灾体保护与减灾力提升，使规划成为化解灾害风险的“自组织调控器”。

3.3 探索了国土空间规划与防灾减灾的融合路径

针对安全韧性目标融入不足的问题，提出了差异化融合策略：在规划传导层面，将灾害风险控制线纳入“三区三线”刚性管控体系；在技术方法层面，整合“天—空—地—深”协同探测、GIS空间叠加分析与多智能体模拟，实现风险评估与规划设计精准对接；在治理效能层面，通过“刚性约束—弹性引导—柔性融合”的分级调控，平衡生态保护、安全防控与空间发展需求。

城市规划应对自然灾害风险是涉及多学科、多层次的系统性工程。未来研究需进一步整合跨学科技术资源与协同创新平台，推动城市防灾减灾从“灾后补救”向“主动防御”、从“单灾种防御”向“灾害链治理”、从“经验决策”向“智能调控”的范式跃迁，从而为“平安中国”战略下的城市空间治理现代化提供坚实的技术支撑。

参考文献

[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] 彭建兵, 崔鹏, 王会军, 等. 自然灾害防治体系建设构想[R]. 中国科学基金, 2025, 39(6): 1-8.

[3] 彭建兵, 兰恒星, 钱会, 等. 宜居黄河科学构想[J]. *工程地质学报*, 2020, 28(2): 189-201.

[4] 彭建兵, 张永双, 黄达, 等. 青藏高原构造变形圈—岩体松动圈—地表冻融圈—工程扰动圈互馈灾害效应[J]. *地球科学*, 2023, 48(8): 3099-3114.

[5] 殷跃平, 李滨, 高杨, 等. 高位远程地质灾害研究: 回顾与展望[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2023, 34(5): 1-12.

[6] 翟国方, 夏陈红. 从工程防灾到空间治理: 城市韧性理论的范式转型[J]. *城市规划*, 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] 杨敏行, 黄波, 崔鹏, 等. 基于韧性城市理论的灾害防治研究回顾与展望[J]. *城市规划学刊*, 2016(1): 48-55.

[9] 仇保兴. 基于复杂适应系统理论的韧性城市设计方法及原则[J]. *城市发展研究*, 2018, 25(10): 1-3.

[10] 甄峰, 张姗姗, 秦萧, 等. 从信息化赋能到综合赋能: 智慧国土空间规划思路探索[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(10): 2060-2072.

[11] 戴慎志, 刘婷婷, 高晓昱, 等. 国土空间防灾减灾规划编制体系与实施机制[J]. *城市规划学刊*, 2023(1): 48-53.

[12] 彭鹏, 左沛文, 李月雯, 等. 城市空间多风险耦合及规划的韧性应对[J]. *城市规划学刊*, 2024(5): 88-97.

[13] 王凯, 徐辉, 贾鹏飞, 等. 统筹区域与城市的“精准适配”安全韧性规划方法探索[J]. *中国工程科学*, 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//B. Wisner, P. Blaikie, T. Cannon & I. Davis[J]. *Natural Hazards*, 2006, 40(2): 495-497.

[16] 李云燕, 赵万民. 基于空间途径的城市防灾减灾方法体系建构研究[J]. *城市规划*, 2017, 41(4): 62-68.

[17] 潘海啸, 戴慎志, 赵燕菁, 等. “应对气候变化的城市韧性与空间规划”学术笔谈[J]. *城市规划学刊*, 2021(5): 1-10.

[18] 史培军. 加强国家自然灾害风险评估与区划保障经济社会高质量发展[J]. *中国减灾*, 2023(1): 10-13.

[19] 吴志强, 汪光焘, 杨保军, 等. “以城市托举中国式现代化: 路径与使命”学术笔谈[J]. *城市规划学刊*, 2025(3): 1-8.

[20] 岳清瑞, 陆新征, 许镇, 等. 城市安全“风险源—承灾体—减灾力”理论框架[J]. *工程力学*, 2025, 42(7): 19-27.

修回: 2025-12