

# 面向多灾种耦合风险的应急避难场所系统构建路径\*

## ——以北京市为例

Developing Urban Emergency Shelter Systems for Multi-Hazard Coupled Risks: A Case Study of Beijing

李翔 夏陈红 王威

LI Xiang, XIA Chenhong, WANG Wei

**关键词** 多灾种耦合风险; 避难空间系统; 结构响应机制; 体系重构路径

**Keywords:** multi-hazard coupled risk; emergency shelter system; structural response mechanism; system reconstruction pathway

**提 要** 在极端灾害频发与城市空间高复杂度持续叠加的背景下, 应急避难场所系统在应对多灾种耦合风险过程中面临结构适应性不足、功能协同性弱与响应机制滞后等多重挑战。然而, 现有研究普遍聚焦于单灾种驱动与设施布点优化, 尚缺乏对灾害链压强作用机制、空间结构响应逻辑与系统性构建路径的整体认识。基于“风险识别—结构诊断—体系重构”的分析主线, 构建面向多灾扰动情景的应急避难场所系统综合认知框架, 并以北京市为实证对象展开路径提炼与机制嵌合。识别多灾链的联动机制及其在城市空间中生成的压强异构格局; 从人群暴露与空间适配出发, 系统诊断当前避难体系在类型划分、等级配置与运行机制中的功能错位与响应失衡问题; 提出涵盖避难类型体系重塑、空间布局协同优化与运行机制韧性构建的系统重构路径, 并结合北京市规划标准与地方实践进行策略校验与逻辑集成。期望为超大城市应对灾害链复杂演化提供理论支撑与空间治理策略, 推动应急避难场所系统从静态配置向动态韧性结构的转型升级。

**Abstract:** With the increasing frequency of extreme events and the growing complexity of urban spatial structures, urban emergency shelter systems are facing multiple challenges in coping with multi-hazard coupled risks. These challenges include insufficient structural adaptability, weak functional coordination, and limited responsiveness. Existing research mostly focuses on single-hazard scenarios and site selection optimization, while paying insufficient attention to disaster-chain pressure transmission, spatial response mechanism, and system-level planning strategies. This study develops an integrated analytical framework comprising three stages: risk identification, structural diagnosis, and system reconstruction. Using Beijing as a case study, it first identifies the interaction patterns among multiple hazards and their heterogeneous spatial distribution of risk pressures. It then analyzes mismatches in the current emergency shelter system with respect to shelter types, hierarchical planning, and operational mechanisms from the perspective of population exposure and spatial adaptability. Finally, it proposes a reconstruction pathway that integrates the redesign of shelter systems, the coordinated optimization of spatial layout, and the enhancement of resilient operational mechanisms. The proposed strategies are further examined and refined through the lens of Beijing's regulatory standards and planning practice. This research aims to offer theoretical support and spatial governance solutions for megacities in the context of complex disaster chain evolution, promoting the transformation of emergency shelter systems from static configurations to dynamic and resilient urban structures.

中图分类号 TU984 文献标志码 A  
DOI 10.16361/j.upf.202602014  
文章编号 1000-3363(2026)02-0105-08

### 作者简介

李翔, 北京市城市规划设计研究院高级工程师, 71913340@qq.com

夏陈红, 北京工业大学建筑与城市规划学院助理研究员, 通信作者, xiachenhong@bjut.edu.cn

王威, 北京工业大学建筑与城市规划学院教授、博士生导师

\* 北京市社会科学基金重点项目“世界主要全球城市安全韧性研究”(项目编号: 25BJ02042)

在气候变化持续加剧与城市空间高密度化叠加背景下,极端灾害呈现出频发增强、类型复合与链式传导的趋势,深刻冲击传统城市安全格局。多灾种之间的联动触发效应不断强化,使灾害影响更加不确定、空间分布更具异质性,尤其在功能高度混合、人口密集的一线城市中,灾害“压强”集中释放于结构性脆弱区,严重挑战城市系统的容错与调控能力。作为连接灾害响应、人口疏散与秩序恢复的关键节点,应急避难场所体系正成为城市韧性建设的重要支撑。近年来,应急管理部等12部委《关于加强应急避难场所建设的指导意见》,国家与地方陆续出台《应急避难场所分级及分类》(GB/T 44013—2024)与北京市《应急避难场所分级和分类》(DB11/T 2141—2023),分别从避难周期与空间统筹角度明确紧急、短期与长期等多级场所的设置逻辑,推动新时期避难设施从静态布设向多目标系统跃迁。然而,在灾害链联动、空间高复杂性与机制分化的现实背景下,当前避难体系仍面临响应协调不足、布局适配性偏弱与结构耦合能力不强等突出问题,亟须开展系统性、前瞻性与实践导向的研究支撑。

近年来,避难空间体系逐渐成为韧性城市研究的关键议题。Wei等<sup>[1]</sup>与Hung等<sup>[2]</sup>强调韧性不仅体现于系统的吸收与恢复能力,更在于其结构转型与功能适应能力,应急空间应被视为具备动态响应属性的关键单元。Liu等<sup>[3]</sup>指出,避难场所应基于人口分布、通达路径与疏散能力等要素进行动态耦合配置,需引入疏散模拟与网络可达性评价模型进行空间优化;Ahmed等<sup>[4]</sup>从系统性风险视角出发,强调避难结构的承压状态与功能错配问题应成为治理重点。冉静等<sup>[5]</sup>构建了以服务等级与布点半径为核心的防灾分区体系,王一新等<sup>[6]</sup>提出设施应实现平时功能与应急功能的嵌套转化机制;朱安峰等则尝试通过灾害情景模拟与大数据分析实现避难能力的动态评估<sup>[7]</sup>。尽管已有研究为避难系统的理论建构、方法开发与实证支撑提供了坚实基础,但仍存在三方面不足:其一,当前研究大多聚焦单灾种响应或静态配置,缺乏对灾害链联动下城市系统“压强—响应—调控”关系的整体解析<sup>[8]</sup>;其二,关注点多停留

在设施布点与避难能力评估,缺乏对系统内部结构失衡、功能错配与机制割裂的系统建模;其三,避难体系尚未有效嵌入韧性治理框架,缺乏应对复杂扰动与空间结构演化背景下的组织调适逻辑。

在前文对国内外相关研究综述的基础上,本研究针对北京市的特殊背景展开进一步探讨。北京自2003年建成全国第一个应急避难场所——元大都城垣遗址公园地震应急避难场所以来,经过二十余年发展,已建成各级各类应急避难场所1810处。北京市的应急避难场所样本量大,但现状问题仍然突出,且作为位于华北地震带北翼的超大城市,北京面临包括地震、气象灾害等自然风险的长期威胁。由于城市运行的复杂性和脆弱性,灾害叠加影响可能引发更大的损失与破坏,因此,北京亟须从系统性和韧性角度进行应急避难体系的全面规划与优化。基于此,本文拟构建融合灾害联动识别、空间结构诊断与体系路径重构的综合研究框架,推动应急避难场所系统从静态设施配置向应对复杂扰动的动态韧性系统转型,以“多灾种耦合风险导向”为主线,围绕“风险识别—结构诊断—体系重构”三重逻辑展开系统分析。首先,识别地震、暴雨等灾种之间的联动机制及其在城市空间中引发的压强异构分布,刻画多灾链影响下的复合风险场景;其次,结合人群敏感特征与空间结构适应性,系统诊断避难体系在类型配置、等级衔接与运行机制中的响应瓶颈;最后,基于问题识别结果,提出涵盖类型体系重塑、空间布局统筹与运行机制优化的系统构建路径,构建面向多灾耦合情景的应急避难场所体系重构方案。

## 1 多灾耦合情景下避难系统的风险识别逻辑

在多灾种叠加与复合扰动加剧的背景下,城市应急避难场所系统面临由外部风险驱动、内部结构响应与系统性失效共同构成的多层压力结构。作为典型的超大城市,北京市的空间形态复杂、功能区高度耦合,灾害类型多样,具有明显的多灾种叠加特征,其避难体系在全国具有较强的代表性与示范意义。从

灾害机制切入,首先分析多灾种对空间系统的作用路径与压强构成,进而聚焦空间结构与人群特征的耦合关系,揭示系统暴露性的生成逻辑,最终识别避难场所系统中暴露失衡与功能错配的表现形式,为后续构建策略提供问题依据与结构基础。

### 1.1 多灾种致灾链条与作用机制识别

在极端气候频发与城市功能耦合程度日益增强的背景下,多灾种间的联动演化已成为影响城市安全系统稳定性的重要变量。与传统灾害作用模式不同,多灾种耦合风险呈现出高度的链式传播特征,具体表现为物理灾害的叠加作用、功能系统的联动阻断以及社会系统的放大效应<sup>[9]</sup>。北京市地质结构复杂,历史上地震、暴雨、山洪及次生灾害频发;同时城市建成区集中、地下空间利用密集,使得灾害链条在垂直与水平空间维度均具高关联性。基于风险矩阵模型按照灾害强度和发生频度对风险进行评估,梳理九类重点灾种(地震、洪水、地质灾害、火灾、极端天气、危险化学品、矿山事故、社会安全、疫情),本研究构建多灾种传播关系图谱<sup>[10]</sup>,结合文献调研通过事件链原理识别其在空间维度的作用路径<sup>①</sup>(图1)。从灾种互动路径来看,地震可引发建筑坍塌、交通阻断和火灾次生灾害,洪涝灾害易导致地下设施瘫痪与人群聚集风险上升,而疫情则强化了公共场所的脆弱性。在北京这种高密度城市格局下,多灾种的相互作用更易在核心城区与副中心区域叠加放大,形成典型的城市级链式风险传播过程。

由此可见,多灾种之间既可呈现并发态势,也可形成阶段性叠加,推动城市空间结构产生非线性扰动,这些复合机制在空间上通过风险传导路径实现扩散,形成以城市功能密集区、基础设施节点区和人群聚集区为核心的“风险高压区”<sup>[11]</sup>。而在此过程中,各类灾害因其致灾因子的构成、作用节律与传播结构的差异,会在统一空间参照系中通过其影响因子权重、共现关系强度与链式关联模式的差异性投射,形成有可比性的空间响应,使得灾害特征在复合风险框架中获得内生性的综合表达。基于这一作用规律,对于多灾种联动特征的识

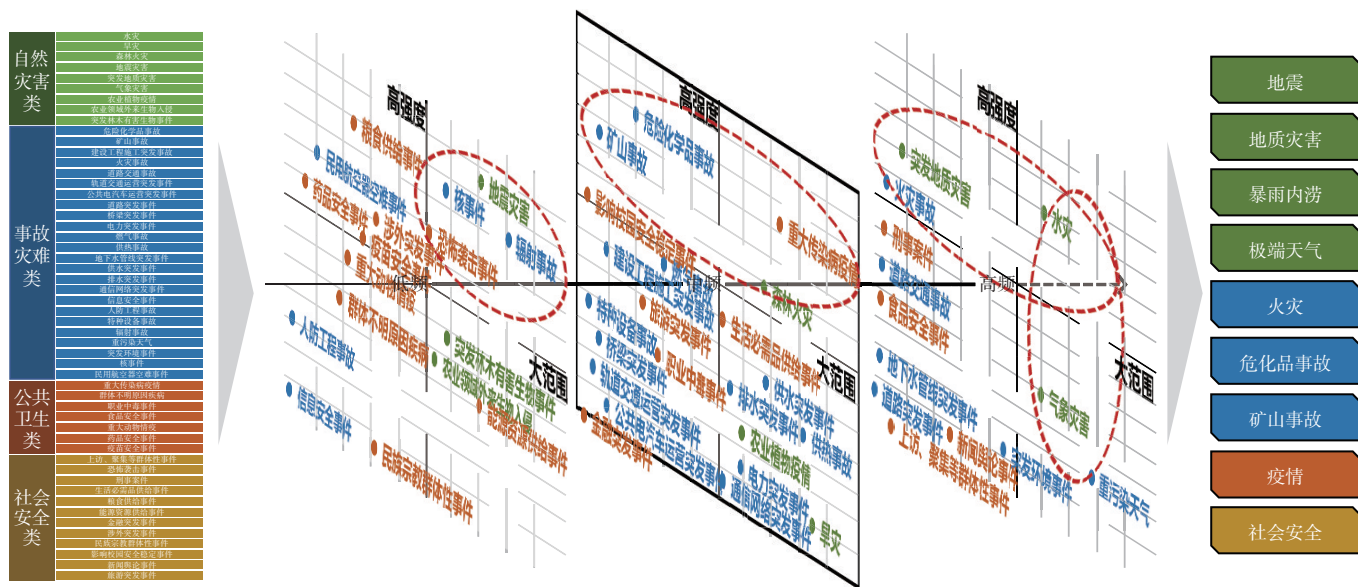


图1 不同灾种的链式作用阶段与系统影响结构图  
Fig.1 Chain reaction stages and system impact structure of different disaster types

别可转化为空间图层叠加与链式解析的分析过程，以抽象出其共同作用机理并提取北京市灾种联动响应的整体格局及其复合风险异构图谱，为避难系统空间适配奠定基础。在构建“北京市范围内灾种联动影响格局及复合风险异构图谱”的过程中，本文基于ArcGIS平台开展空间图层叠加与链式解析研究。首先，选取地震、洪涝、火灾、极端天气、危险化学品事故等主要灾种的历史事件数据、灾害影响因子（如地形坡度、建筑密度、地下空间分布、人口密度、基础设施节点密度等）及社会经济暴露数据，生成灾种影响强度图层。其次，综合运用多源数据驱动的危害共现网络分析与链式传播建模方法，通过文本挖掘与共词统计识别灾害间的共现频度和语义关联，建立灾种相互作用的量化关系矩阵，并以加权度中心性与介数中心性确定关键触发灾害及传播路径<sup>[12]</sup>。依据共现概率阈值，将灾害关联划分为低频（<10%）、中频（10%—30%）和高频（>30%）3级，结合加权叠加分析生成多灾种复合风险空间分布图谱。

1.2 城市人群敏感特征与避难需求分析  
城市人群作为灾害的直接载体，其空间分布格局与社会属性特征构成避难系统响应压力的核心基础。在多灾种

耦合情景下，避难需求不再由单一人口规模或密度决定，而是由“风险致灾性—人口敏感性—救助有效性”三要素共同作用所驱动的系统性结果<sup>[13]</sup>（图2），其中，风险源分布决定了致灾强度及作用范围，人口敏感性决定了个体对灾害的脆弱程度，而救助有效性则影响资源能否及时抵达与功能能否精准启用。为保证模型的科学与可复现性，三维要素所需指标分别来源于北京市历史灾害事件数据库、第七次全国人口普查资料及基础设施空间信息。各类指标经归一化与显著性检验后，采用主成分分析法（PCA）提取主要综合因子并确定权重，并通过耦合协调度模型（CCM）揭示灾

害暴露度、人口敏感性与救助有效性三者之间的交互关系，从而形成城市避难需求的综合量化模型。此外，鉴于不同灾害在损失规模、作用机制与避险方式上存在的显著差异，本研究在需求识别中重点将灾害类型作为前置约束条件，并通过多灾害情景来差异化修正不同灾害的复合影响，以避免只依赖人口与基础设施数据而导致的情景缺失。在此过程中，可结合地震、洪涝、火灾及危化品事故等重点灾种在避难触发强度、避险方式与空间条件上的差异性，设置情景量化需求系数，对测算结果进行差异化修正（表1），使其能够反映不同灾害对避难规模、避难周期与空间适配性的差

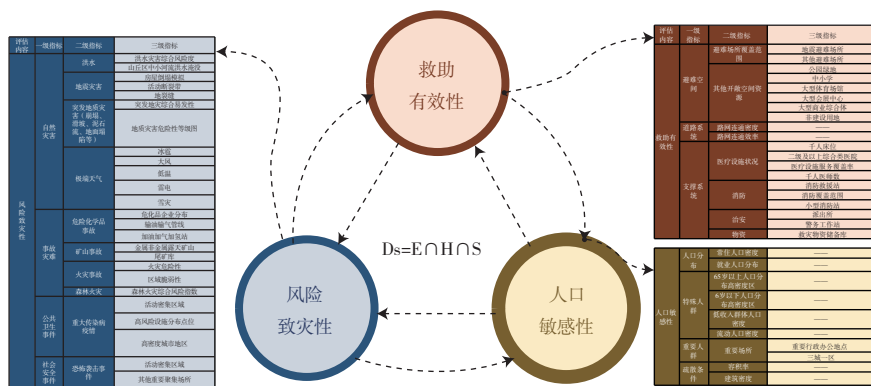


图2 城市避难系统需求识别的三维耦合模型  
Fig.2 A three-dimensional coupled model for demand identification of urban shelters

异化影响。

在北京市的空间格局中，人口分布与社会敏感性特征呈现显著的分区特征。中心城区聚集了大量老旧小区和高龄人口，社会脆弱性指数较高；通州、亦庄等新兴功能区则以流动人口和就业密集人群为主，避难响应压力集中；而平原新城及生态涵养区人口密度低、交通通达性差，避难可达性约束明显。基于北京市实有人口、流动人口及高脆弱性人群（如老年人、幼儿与低收入群体）空间分布数据，构建人口敏感性评价模型。结果显示，老龄人口集中于老旧小区和中心城区，流动人口聚集轨道沿线与城郊接合部，形成多处“高密—高敏—低保障”的避难压力区，这种人口敏感性与城市功能空间的叠加，使北京在灾害响应中的避难需求呈现出核心高压、外围波动的典型结构。在此基础上，结合地震、火灾、洪水与疫情等灾种特征，

构建“灾种类型×避难周期”二维匹配框架，识别各类避难需求的时空结构与响应时序。测算显示，在极端情景下，北京市最大避难人口可占服务人口约三成，空间上呈现“核心高压—外围波动”分布特征，这一需求图谱可为确定高优先片区、细化设施配置标准与制定资源调度策略提供量化依据。

### 1.3 避难系统响应能力与空间供需诊断

应急避难系统的响应能力不仅取决于设施数量与分布密度，更关键在于其与人口分布、灾种特征和功能节点之间的空间适配关系。北京市现有避难场所主要依托绿地、公园、学校等公共设施布设，构建了市、区、街道三级响应网络，但在多灾场景下仍面临结构错位与供需失衡的问题。为进一步揭示这种空间差异，本文基于避难服务半径、人口密度与设施容量三类数据构建“避难供

需匹配指数”，对北京市避难系统的空间供需关系进行量化分析。结果显示，北京市各区域的避难资源供需比例差异显著（图3），其中：首都功能核心区的供需比例为1:0.6，表明该区域避难设施供给充足，甚至出现一定的资源冗余；中心城区为1:1.8，人口密集导致避难压力较大；城市副中心为1:1.4，处于中等偏紧状态；平原多点地区为1:1.3，整体较为均衡；生态涵养区为1:1，供需基本匹配。总体上，北京市避难系统呈现“核心冗余—副中心偏紧—平原均衡—外围适度”的空间格局，反映出不同功能区、不同区域的避难资源布局存在结构性差异，亟待通过合理布局与多级响应机制来解决供需错配问题。

## 2 多灾耦合情景下避难系统的结构响应机制

面对多类型灾害叠加作用与城市高密度空间集聚格局，北京市作为全国政治中心和典型超大城市，其避难系统在类型设置、空间布局与运行机制方面暴露出多重结构性约束，难以支撑动态情境下的快速响应与安全转移需求。为系统识别制约因素与结构瓶颈，需从功能是否适应灾种需求、布局是否覆盖重点区域、机制是否形成高效协同等三大维度切入，开展结构层面的问题分析，为后续系统重构提供针对性支撑。

表1 常见灾害的避难触发强度及空间需求差异化修正示意

Tab.1 Schematic illustration of differentiated evacuation trigger thresholds and spatial requirements for common disaster types

| 灾害类型           | 避难触发强度 | 空间需求关键特征       | 修正方向       |
|----------------|--------|----------------|------------|
| 地震             | 高      | 开敞、安全集结空间      | 需求权重       |
| 洪涝             | 中      | 避开低洼、高程安全、排水能力 | 部分区域有效性    |
| 火灾             | 低(局地)  | 防火间距、烟气隔离      | 局地修正       |
| 危化品事故          | 中(局地)  | 安全隔离距离、封闭风向    | 局地修正       |
| 极端天气(高温/空气污染等) | 低      | 室内避险、通风系统      | 不构成大规模集中避难 |

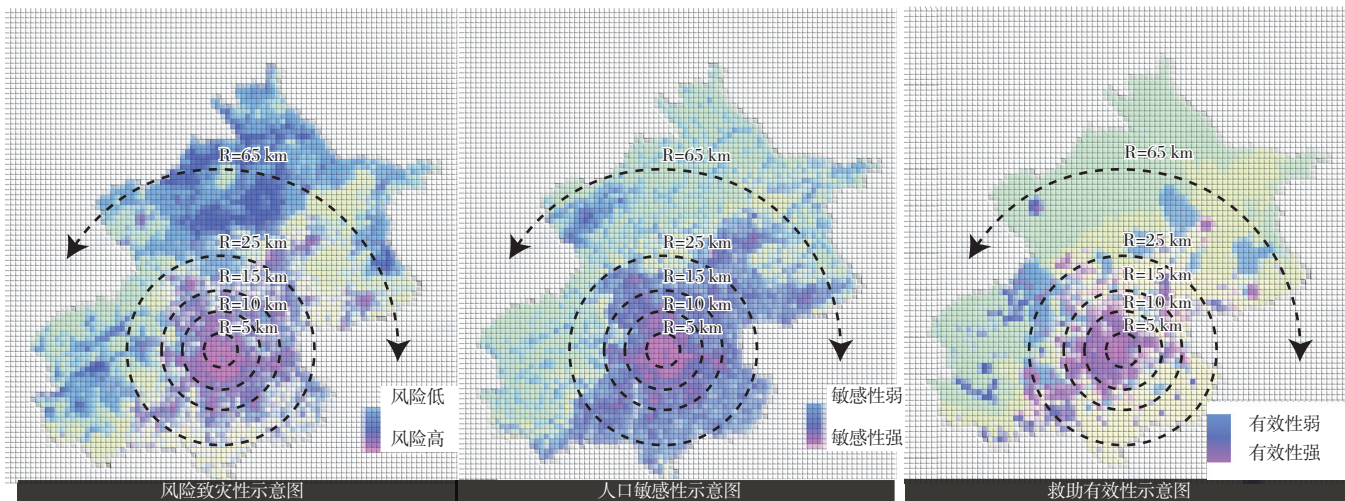


图3 北京市避难系统的空间异构特征图

Fig.3 Spatial heterogeneity of the evacuation shelter system in Beijing

## 2.1 避难类型结构的功能适配分析

在多灾种复合风险频发、避难需求多样化的背景下,北京市现有避难系统以紧急避难、临时安置与过渡安置等三类空间为主体,形成了覆盖灾害全过程的功能体系。然而,由于北京灾种类型多、灾害链条复杂,不同类型避难空间在功能分层与灾种对应关系上仍存在明显适配性不足,如地震与火灾等突发型灾害要求高时效性与高可达性,而洪涝和疫情等缓发型灾害则更依赖防护性与可持续性空间,两类需求在城市空间中往往难以兼容。以北京市中心城区为例:老旧居住区避难空间不足,部分学校、公园因建设年代早、基础设施薄弱,难以满足地震防护与洪涝排水双重要求;而在通州、亦庄等新兴功能区,虽然新增了大批公共绿地与综合性避难场所,但设施在功能转换和物资保障层面缺乏灾种复合响应设计。这导致北京避难系统在应对不同灾害场景时存在“场所可见但功能缺位”的问题。基于此,应推动类型结构从行政区划导向转向“灾种—周期—功能”一体化响应逻辑,夯实系统对多情景需求的功能适应基础。

## 2.2 避难布局结构的协调分析

避难空间布局承载着城市不同区域在灾时的人群疏散与资源集聚功能,其结构合理性直接影响整体系统的空间承压能力与联动响应水平。北京的空间布局具有明显的“环形放射状”特征,山前平原地带、高密度功能区与外围生态涵养区构成了典型的“多圈层、多约束”城市结构,这种结构使得避难场所分布的均衡性与可达性受到多重自然与社会因素的共同制约。通过避难人口预测与服务能力评估叠加分析可见,北京市避难系统在空间分布上呈现出显著的不均衡特征:中心城区避难场所密度虽高,但可容纳能力受限,人口疏散压力大;通州城市副中心及平原新城则避难人口快速聚集,设施供给明显滞后;房山、密云等外围区域受地形阻隔与交通条件影响,避难可达性较差。这种“中心高压—外围延滞”的格局是北京典型的空间结构问题,反映了城市核心区与边缘区避难体系发展不均这一普遍现象,特别是在城乡交界区域、重点功能区与交

通走廊交会区域,因布局结构断裂、通达路径不畅与场所功能单一,难以在灾害突发时实现快速集聚响应,成为当前避难系统空间运行中的关键短板。总体来看,北京市避难场所当前分布格局呈现“中心密集、外围稀疏”的典型特征,与人口分布、风险等级及通达条件之间的匹配度较低。

## 2.3 避难运行结构的机制响应分析

避难场所系统运行结构是支撑空间启用、资源调配与人群转移的操作性底座,其响应机制的系统性与协同性直接决定了灾时联动的效率与成效。当前北京市虽初步建立了以市—区—街道为基础的三级运行机制,但职能分布重叠、信息系统割裂与部门协调滞后等问题广泛存在,难以适应灾害链演化过程中的快速转换需求。北京作为首都城市,其避难运行还必须兼顾政治安全、公共安全与社会稳定的多重职能,机制设计复杂性远高于其他城市。例如,在大型活动、极端天气或公共卫生事件期间,避难系统既要承担人群疏散功能,又要保障交通畅通与重点区域安全,形成典型的“多目标协同响应”难题。为此,应建立以场景状态为引导的职责体系,构建平战结合的组织机制;同时依托数字化平台推动“感知—调度—联动”的一体化闭环运行结构。通过设置紧急避难1.3—1.4、短期避难0.3、长期避难0.05的人口服务保障系数,并动态接入气象、水文、交通与能源数据,从而为复杂灾情下的避难系统提供高效、安全、智能的响应保障。

## 3 面向超大城市风险特征的避难系统体系重构路径

面对复合灾害背景下城市应急避难场所系统的适应性短板与组织运行障碍,北京市作为典型超大城市和国家政治中心,在地形复杂、人口密集、灾种多样的复合风险格局中,避难体系建设的代表性与复杂性尤为突出,其避难系统必须从结构功能、空间布局到机制运行实现全方位重塑。本节在前述问题识别与响应诊断基础上,提出类型、空间与机制三位一体的系统重构路径,并重点围

绕“适应多灾特征的类型体系重构”“因地制宜的空间网络优化”“分情景导向的机制系统重塑”3个方面展开,探索具有北京实践基础与全国推广价值的韧性转型路径<sup>[14-15]</sup>。

### 3.1 面向多灾特征的避难类型体系适应重构

基于前述章节分析可知,在多灾种耦合背景下,不同灾害在致灾链条、空间作用范围及人群避险路径上表现出显著差异,从而导致避难行为模式与避难空间需求呈现结构性分化。例如:地震常常触发区域性结构破坏,易形成大规模、集中式的紧急疏散需求;洪涝灾害具有高程敏感性与短周期波动特征,易造成分散式、高差依赖的临时转移;火灾及危险化学品事故则以局地扩散为主,通常需要依赖快速隔离与短时空间转移。为此,基于前述灾害触发方式与空间适配差异分析的基础,有必要构建以风险类型、响应周期与服务功能为逻辑支点的类型划分体系,并将灾害情景作为避难类型体系重构的重要依据,使类型结构能够更充分地适应多灾种差异化需求。

首先,应基于“灾害类型—响应时长—功能需求”的三维映射关系,重构避难场所的分级分型体系。紧急应急避难场所主要应对高烈度突发事件,强调近距离、短时效、高响应的就地疏散功能;短期应急避难场所对应中等强度、区域性灾害,承担人口中转、集中安置与资源集配的阶段任务;长期应急避难场所则服务于灾后恢复及异地转移,具备生活支持、医疗服务与物资保障等综合能力。针对北京市“高密建成区—广域平原区—山前生态区”三重空间格局,应在类型分层中引入地理分区权重,将中心城区重心放在快速反应型空间,而在平原与山地地区强化异地安置与后备支撑功能,实现“递进式响应—功能渐进—时空联动”的多层体系。

其次,在类型构成上,应拓展“综合性—专业性—特定性”的复合分类框架。北京在不同区域面临的灾害类型差异明显,综合性应急避难场所以应对地震为主导,统筹应对危化品事故、火灾、矿山事故、恐怖袭击等灾害事故。专业性应急避难场所因灾害过程中避难需求

的差异,可划分为防洪、极端天气、突发地质灾害、森林火灾、重大传染病疫情等类型。特定性应急避难场所是指可为老年人口、婴幼儿、孕妇、残障人士和伤病人员提供服务的应急避难场所,应满足无障碍设计要求,以体现首都城市的社会包容性与精准保障能力。

最后,应构建类型分层与运行机制的动态耦合体系。北京在防灾演练、灾情模拟和物资储备方面基础较好,应利用其“城市大脑”平台建立类型与灾情之间的动态匹配机制,形成“平时预备—灾时转化—灾后复用”的运行逻辑。通过前置化配置与场景化演练,提升不同类型避难空间的应急转换能力与响应弹性,并以法定标准、技术导则与评估机制为支撑,保障类型体系的制度化运行与响应合规性。

综上,避难类型体系的适应性重构应着眼于城市风险谱系与人群需求差异,立足功能差异化与场景动态化的原则,推动避难场所系统从粗放归类到精细分型、从单一应对向多灾适配转型,夯实城市应对复合灾害背景下的人地协调与空间韧性基础。

### 3.2 基于协同联动的避难空间布局体系优化

作为韧性治理体系的核心支撑,北京市当前避难资源呈现出“中心集聚、外围薄弱”的圈层式不均衡结构,这种空间格局在超大城市中极具典型性。为构建具备弹性调度能力与区际统筹逻辑的空间体系,应从“圈层协同—双环联动—城乡统筹”3个方面系统优化布局格局,实现从条块分割向网络联动的转型跃迁。

在圈层组织维度,应以首都功能区位层级为基础,构建由“中心城区—北京城市副中心—平原新城—跨界区域”组成的多级避难保障体系。在首都功能核心区,根据功能定位、避难需求与可利用资源特征,充分保障紧急应急避难场所,按照1.7—1.8倍规划人口进行布局,将空间资源无法完全支撑的短期、长期应急避难需求统筹安排在中心城区;在北京城市副中心与平原新城,应明确其中期转移与异地安置的承载任务,确保相关交通枢纽与绿隔空间缓冲效应的

有效发挥;在通州、平谷、昌平等跨界节点区域,可统筹构建区域联动机制,形成立体化“主辅联撑”格局。

在网络结构维度,应统筹大尺度绿色空间、交通通道与应急节点功能,构建“生态廊道+交通主轴+应急节点”三位一体的避难联动网络,以发挥第一、第二道绿化隔离地区的承压过渡作用,如将丰台、朝阳、昌平等交通节点与绿隔空间共同构建为“生态+应急”双功能走廊,布局跨片区长期应急避难场所与应急物流节点。同时,通过铁路、公路主轴,联动建设以“就地避难—就近疏散—异地安置”为路径的三级响应通道,强化空间可达性与物资通达率。

在城乡空间协同维度,应推动应急避难场所向城乡结合区、镇村节点与山区沟域有序延伸。北京市地形以“三山五园环抱一城”为特征,山区约占全市面积的三分之二,城市空间梯度明显。基于此,应构建“城市中心、平原腹地、山区外围”的复合型避难体系。城市中心区应强化高密度建成区的就地避难与快速疏散功能,依托社区绿地、文体场馆及地下空间形成高效集结网络;平原腹地地区应利用通州、亦庄、顺义等区域的交通与空间优势,采用组团式、网格化嵌入式布局,完善中期安置与异地转移功能;山地外围区以延庆、房山、密云等为重点,应结合地形条件与道路通达性,实施分布式布设,确保高风险区的应急响应可达性。同时,可将服务半径、可达时间、人均保障面积、通道数量纳入空间优化评估,嵌入法定规划与风险评估流程,以推动布局模式由静态叠加走向动态耦合、由行政划配转向功能协同。

### 3.3 立足情景转换的避难运行机制系统重构

在多灾扰动频发与超大城市运行高压并存的背景下,北京市应急避难场所体系的运行机制亟待从“静态划定—单一响应”向“动态转换—多元适配”转型升级。为此,本文提出基于北京情景特征的“多灾情景分级联动机制”,构建“感知—识别—响应—反馈”的闭环运行逻辑,形成具有数字化驱动和多部门协同特征的韧性运行体系。

首先,应健全常态—非常态二元运行机制,推动避难系统实现情景下的制度转换与功能切换(图4)。在常态运行阶段,依托北京市应急指挥信息系统和城市运行数字孪生平台,应聚焦避难场所的储备管理、风险监测、资源调度与培训演练,整合气象、水文、交通、人口、能源与避难设施等多源数据,通过明确“启用标准—管控规则—责任边界”,实现灾情监测与避难资源储备的动态管理;在非非常态运行阶段,应完善响应等级划分、路径调度流程与信息发布时间,如灾时可根据灾种类型与影响范围,触发“红—橙—黄—蓝”四级响应模式,并通过智能推演模块快速生成人员疏散与资源调配方案,确保突发灾害下快速启用、任务闭环与权责清晰的应急联动体系的形成。

其次,应强化室内空间与室外空间的功能融合机制。具体而言:中心城区应优先启用室内型安全空间(如文体场馆、地下商场、地铁通道),强化对地震、暴雨、空气污染等灾害的防护能力;平原腹地与生态涵养区重点发挥露天与半开敞式避难空间的分流与缓冲功能,形成“空间多样、功能互补”的运行格局;高层建筑与人防工程系统则通过“垂直避难—地下缓冲”协同机制,增强极端灾害下的立体响应能力。通过不同区域的协同合作,最终构建出“形态多样、分区适配、功能互补”的空间体系,以满足地震、暴雨、高温等多灾情下的人群避险需求。同时,应基于物联网感知终端对人流密度、能源供给与通道畅通度的实时监测,支撑避难空间的动态启用与自动调度。

再次,应建立“平急两用”公共资源转化机制,推进现有公共资源的应急转化与功能扩展。其中,针对公园绿地、学校操场、社区广场等常规性使用场所,应制定“转换条件—启用流程—资源配套”三要素清单,确保灾害来临时可迅速完成身份转换与服务功能转型,实现“平时为民、急时避难”的高效复用。同时,应结合北京城市副中心与平原新城的空间承载优势,完善跨区联动与分时响应机制,形成“中心疏散—副中心接续—外围支援”的多层级协同体系,提升避难资源的冗余度与动态调配能力。

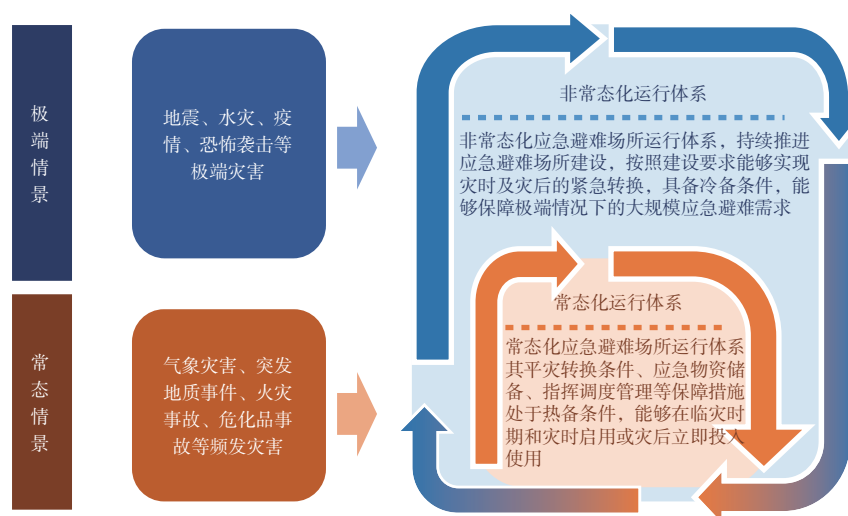


图4 应急避难场所空间的常非转换机制

Fig.4 Normal-to-emergency conversion mechanism of emergency shelter spaces

最后，应系统纳入高层建筑避难空间与城市人防工程，构建立体化的应急支撑网络。其中，在核心功能区和高密度片区，推广高层建筑中避难层、逃生平台等疏散空间，并通过与地铁联络通道、地下停车场的人防系统对接，形成“地上快速集散—地下安全缓冲”的立体避难网络，提升超大城市极端情景下的空间冗余与运行韧性。

总体而言，通过“常非转换、室内室外、平急两用、高层建筑避难与人防工程”机制体系的多维联动，北京市可在多灾耦合情景下实现避难场所的高效调度、资源的精准供给与响应链的闭环运行，推动城市避难运行机制由被动应急向前瞻治理转型。

## 4 总结与展望

### 4.1 主要结论

本研究以北京市为典型案例，围绕多灾种耦合背景下城市应急避难系统的响应韧性问题，系统梳理了避难场所系统在灾种适应、人群转移与资源匹配等方面的逻辑需求与现实困境，并在多维识别与机制重构的框架下提出了有针对性的优化路径，主要研究结论如下。

(1) 避难系统演化逻辑亟须多灾适应的范式更新。面对城市灾害风险的复合化与极端化趋势，传统以单一灾种、

静态配置为核心的避难体系难以适应高强度扰动环境。北京市作为超大城市，其避难场所系统需从“灾后应急”向“灾前准备—灾中转移—灾后恢复”的全过程体系延展，实现从类型分类到能力协同的范式转型。

(2) 避难系统功能结构存在显著的匹配性缺口。当前北京市避难类型配置存在灾种功能覆盖不足、时序转化机制不畅等问题，空间布局方面表现为片区分布不均、边缘盲区突出，运行机制层面则面临职能割裂、响应闭环不全等挑战，三大核心维度共同制约了避难体系整体的韧性表现。

(3) 系统优化应坚持“类型—空间—机制”三元统筹路径。功能维度上，应重塑以多灾适应为导向的避难类型体系，实现周期覆盖与服务对象精准匹配；空间维度上，应构建以布局协同为基础的分区耦合体系，强化多尺度、多节点、多片区的网络整合能力；机制维度上，应推进运行机制的协同联动与韧性重构，健全职责明确、数据互通、响应闭环的动态运行体系。

(4) “结构识别—响应诊断—体系重塑”构成核心研究逻辑主线。本文通过识别城市避难系统的基本结构、分析其在复合灾害扰动下的响应困境，并最终提出“体系重塑—空间优化—机制重构”的对策路径，形成了从问题识别到体系

再造的完整研究链条，具有较强的理论指导意义与实践适应性。

### 4.2 研究展望

本研究构建了面向多灾耦合场景的城市应急避难场所系统分析框架，并提出了具有针对性的路径建议，但受限于数据可获得性与实践可验证性，仍有若干问题有待进一步深化。

(1) 跨灾种响应逻辑的深层耦合尚待拓展。不同灾种之间的传导关系、叠加机制及其对避难资源调用方式的影响仍缺乏细致建模分析，未来可引入灾害链演化模型与城市动态仿真技术，拓展从复合扰动向策略模拟的研究维度。

(2) 避难资源空间配置的动态调度机制仍不成熟。本文主要从静态空间格局入手探讨布局优化，未来应结合实时人群分布、交通可达性与灾情预测等数据，构建具备实时调度能力的避难资源匹配平台，实现避难空间的弹性响应与动态演化。

(3) 多主体参与下的协同治理机制有待进一步实证。在实际运行过程中，避难场所系统涉及政府、街道、社区、企事业单位等多方协作，如何在制度设计中嵌入可执行的“共建—共治—共管”机制，是今后实现避难系统落地运行的关键命题，亦是韧性城市建设的重要组成部分。

参考文献

- [1] WEI Y X, JIN L Z, XU M W, et al. Instructions for planning emergency shelters and open spaces in China: lessons from global experiences and expertise [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2020, 51: 101813.
- [2] HUNG C H, HUNG H C, HSU M C. Linking the interplay of resilience, vulnerability, and adaptation to long-term changes in metropolitan spaces for climate-related disaster risk management [J]. Climate Risk Management, 2024, 44: 100618.
- [3] LIU B, LI Y B, ZHANG Y, et al. Multi-criteria decision-making method for emergency shelter site selection considering flood risk: a case study of Zhuhai, China [J]. Cleaner Engineering and Technology, 2025, 24: 100892.
- [4] AHMED I, GUYTON S T. The shelter recovery trajectory of typhoon Yolanda survivors: a critical synthesis review [J]. Progress in Disaster Science, 2024, 24: 100378.
- [5] 冉静, 刘湘仪, 赫磊, 等. 基于社区生活圈的中心城区防灾分区划定研究: 以湖南省花垣县为例[J]. 规划师, 2024, 40(9): 98-106.
- [6] 王一新, 张烁, 刘德林. “平急两用”城市避难场所空间区划研究: 以洛阳主城区为例[J]. 城市与减灾, 2025(3): 42-50.
- [7] 朱安峰, 范秀芳, 杜温瑞, 等. 韧性视角下应急避难场所防灾减灾能力综合评价: 以温州市瓯海区为例[J]. 中国安全科学学报, 2024, 34(5): 223-230.
- [8] 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.
- [9] 王威, 夏陈红, 马东辉, 等. 耦合激励机制下多灾种综合风险评估方法[J]. 中国安全科学学报, 2019, 29(3): 161-167.
- [10] 王威, 瞿孜诺, 郭小东, 等. 城市多灾种关联框架与链式网络的构建思路与方法[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(11): 5-12.
- [11] 王威, 庄园园, 张略森, 等. 复合灾害情景下城市应急避难场所优化布局研究[J]. 北京工业大学学报, 2025, 51(4): 375-385.
- [12] 杨兵, 何永, 赵丹. 多灾种城市综合风险评估: 以北京市为例[C]//共享与品质: 2018中国城市规划年会论文集(01城市安全与防灾规划). 中国城市规划学会, 杭州市人民政府, 2018.
- [13] 魏米铃, 王威, 戎卿文, 等. 考虑不确定性的复合灾害避难疏散风险评估模型[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(7): 203-212.
- [14] 杨选梅. 国土空间韧性: 概念框架及实施路径[J]. 城市规划学刊, 2021(3): 112-118.
- [15] 彭翀, 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.

修回: 2026-05