

疫情下的城市-风险互构系统的理论构建与空间测评*

张威涛

Theoretical Construction and Evaluation of the City-Risk Mutual System in Epidemics

ZHANG Weitao

Abstract: In order to enhance urban resilience in face of major epidemic risks, the issue of urban hazards that include epidemic spread, urban attribute, and spatial planning needs to be further explored. Starting from the "mirror image" between the mechanism of epidemic spread and basic urban attributes, the Urban Risk Inter-Constructed System (UR-S) is preliminarily constructed. As the UR-S shows multi-heterogeneity, providing an effectively guide to sustainable development becomes highly challenging. Based on the Complex Adaptive System theory (CAS), a theoretical framework of UR-CAS is constructed. It is used to reveal the scientific law of cyclic operation of a sustainable system. Meanwhile, through spatial mapping of the UR-CAS's operation, a spatial evaluation system is formed to predict and evaluate urban adaptability to epidemic risks. It also provides methods and basis for urban spatial planning and governance. The study helps broaden the horizon of cross-disciplinary research in epidemics and urban spaces. It also elevates the theoretical value of CAS in understanding the relationship between cities and urban hazards and promotes spatial planning toward greater urban resilience.

Keywords: urban risk inter-constructed system; epidemic risk adaptability; complex adaptive system; spatial evaluation system; resilient national territory spatial planning; sustainable development

提要 在疫情传播、城市属性和空间规划之间交叉探索“城市-风险互构”问题,有助于提升城市重大疫情风险适应能力。首先,从疫情传播机制和城市基本属性的“镜像”出发,初步构建“城市-风险互构系统(Urban Risk Inter-Constructed System, UR-S)”,并论证其多元异构特征,提出在多元异构条件下有效引导系统可持续发展的意义和挑战;基于复杂适应系统理论(Complex Adaptive System, CAS),构建“具有适应功能的城市-风险互构系统(UR-CAS)”理论体系,揭示系统在多元异构条件下循环运行与更迭演进的科学规律,为引导系统可持续发展提供理论指导;通过对UR-CAS运行演进过程的空间映射,设计空间测评体系,预测和评价城市疫情风险适应能力,为疫情风险适应导向下的城市空间规划和治理决策提供方法和依据。将分别贡献出拓宽“疫情-城市-空间”交叉研究的视角价值、应用复杂适应系统探索城市与疫情风险关系的理论价值、服务以疫情风险适应为目标的国土空间安全韧性专项规划的实践价值。

关键词 城市-风险互构系统;疫情风险适应;复杂适应系统;空间测评体系;国土空间安全韧性专项规划;可持续发展

中图分类号 TU984 文献标志码 A
DOI 10.16361/j.upf.202201013
文章编号 1000-3363(2022)01-0096-07

作者简介

张威涛,博士,北京交通大学建筑与艺术学院,讲师,wtzh@bjtu.edu.cn

2020年全球新冠疫情大流行对城市应对重大突发性公共卫生事件的能力提出了严峻的考验。新型冠状病毒肺炎(COVID-19)属于呼吸道飞沫传播、气溶胶传播和接触传播的人类传染性疾病^①,人在其中既是致灾体又是承灾者,而城市以其承载人口聚集和流动的基本属性,成为孕育和传播疫情风险的温床。所以,疫情之下城市系统和风险系统之间呈现出“镜像”互构关系,构成“城市-风险互构系统(Urban Risk Inter-Constructed System, UR-S)”。城市系统中人口社会经济活动的复杂的多元异构特征,通过与风险系统的互构关系,传导至整个UR-S中,对系统可持续发展提出了挑战。回应这一挑战,揭示具有可持续发展能力的UR-S的功能结构和运行演进,可以为提高城市重大疫情响应能力提供科学解释和理论指导,同时支持空间规划和治理,使城市空间有能力承载、服务并引导UR-S的可持续运行。基于此,在疫情传播、城市属性和空间规划之间交叉探索“城市-风险互构”问题是本研究的出发点,该研究视角也将成为当前城市疫情研究的重点和必然。

21世纪以来,国内外城市-疫情风险研究经历了2003年SARS、2009年H1N1等全球重大疫情的阶段性进展,在2020年新冠疫情暴发后获得了再一次广泛关注和推动。

*中国博士后科学基金面上资助项目“基于复杂适应系统理论的城市适灾景观观测模型与规划响应研究”(项目编号:2020M680332)

其中基于城市活动和城市空间两个方向的疫情风险研究取得了丰富成果，具体而言：①城市活动视角下的疫情研究主要集中在对人群流动^[1-3]、人群聚集^[4-5]、医疗干预^[6-8]、非医疗（技术或政策）干预^[9-11]的量化分析、影响预测和引导优化；②面向城市空间的疫情研究总体包括分析疫情风险的空间分布特征^[12-13]、建立以空间为主要指标的疫情风险评价模型^[14-15]、提出以空间为主要措施的疫情风险防控策略^[16-17]等方面。但是，这些研究在视角交叉扩展上仍有很大潜力，并且缺少对研究的理论基础的关注，限制了对城市-疫情风险作用背后的系统内涵的探索，也造成了空间规划技术和实践一定程度上的扁平化和碎片化。

本文引用复杂适应系统（Complex Adaptive System, CAS）^[18]，基于宽广的社会生态学学科视角和深刻的复杂系统方法论变革，在初步构建“城市-风险互构系统（UR-S）”基础上，创新性提出“具有适应功能的城市-风险互构系统（Urban Risk Inter-Constructed Complex Adaptive System, UR-CAS）”的科学理论体系和空间测评体系，依次揭示该系统在多元异构条件下可持续运行与演进的科学规律与空间映射，为提升城市重大疫情风险适应能力并在国土空间规划工作中植入和落实提供理论指导和技术支持。

1 城市系统和风险系统的“镜像”互构

1.1 疫情传播和城市属性间的镜像

疫情传播机制指传染病病毒的传播途径，在空间视角下主要分为“外源输入”和“内源扩散”。城市基本属性指包括人口在内的生产要素的“流动”和“聚集”。人口向城市某一地区的流动和聚集是病毒输入该地区并在该地区扩散的动因，病毒的输入和扩散是人口流动和聚集的“镜像”。

疫情的“外源输入”和“内源扩散”：疫情的“外源输入型”传播指外地感染带入本地发病，“内源扩散型”传播指本地病毒或本地感染。以 COVID-19 为例，2020 年初对我国当时第四大疫情发生区浙江省有效病历样本的统计^[13]发

现，46% 为“湖北、武汉等外省市输入性传染”，50% 为省内“与确诊病例密切接触或有流行病学关联”，其他暂不明确的不足 4%。一般情况下，对于不存在原发病毒的地区，疫情传播会先以外源输入为主，再逐步转向内源扩散为主，然后波动地走向消散。在近年来历次全球大流行疫情中，各国各地都对这两种传播路径展开了跟踪调查，这对于揭示传染病空间扩散规律具有非常重要的意义。

城市的“流动”和“聚集”：新马克思主义城市理论将城市定义为劳动再生产的场所^[19]，城市为追求规模红利、实现经济增长、推进城市化进程，呈现出生产要素的“聚集”和“流动”两种基本属性。传统生产要素除了人口之外，还包括土地、资本等实体要素，新型生产要素包括技术、信息、教育等任何可以产生价值的非实体要素^[20]。人作为具有主观能动性的城市主体，会调配和利用其他实体和非实体要素参与城市活动，可见人口和其他要素的流动与聚集是相伴发生的。所以，疫情之下城市人口的流动和聚集不仅影响了病毒的输入和扩散，更是通过利用其他要素展开对病毒影响的回应，带来具有更广泛内涵的综合性疫情风险的传播。

1.2 城市-风险互构系统的初步构建

疫情传播和城市属性间的“镜像”决定了城市系统和风险系统二者具有“互构”关系。从系统论视角初步构建“城市-风险互构系统（UR-S）”，该系统由同样具有城市-风险互构属性的主体和环境构成。

“人”和“风险主体”互构：人是城市系统的主体，同时具有生物性与社会性^[21]。一方面，人作为有生命的个体，存在人与自然的关系；另一方面，人还利用

其他生产要素参与生产和生活实践，其思维和行为受到社会经济政治等一切社会关系的支持和约束。在 UR-S 中，人以其生物性和社会性镜像成为综合了致灾性、暴露性和敏感性的疫情风险主体：人的生物性使之成为病毒的宿主和载体，具有了导致他人感染的致灾性风险，以及受到他人感染的暴露性风险；而人的社会性使之能够对病毒影响做出消极或积极响应，形成敏感性风险。

“街区”和“风险环境”互构：环境是由主体聚集形成的，在空间视角下，特定尺度的街区可视为城市系统的环境。街区将人口聚集到一定的空间范围内，具有了组织、服务、交通等超越个体的生产要素积累。在 UR-S 中，街区镜像成为风险环境，由于人口的规模化集中和生产要素的积累，形成了更宏观的综合性疫情风险：若街区中人口规模大，群体暴露性风险就大；人口的社会经济条件差，群体敏感性风险增加。除此之外，因为承担不同社会角色的人具有了分工协作，会展开党政社群组织、医疗卫生隔离、物资储备供应等疫情防控活动，这些行动能力是否充分，直接关系到街区中人口对疫情影响是否能够做出群体性积极响应，同样决定了敏感性风险的高低变化。

1.3 城市-风险互构系统的复杂特征

城市系统中的人口社会经济活动具有复杂的多元异构特征，可以总结为多样性和非线性，通过与风险的镜像关系传导至整个 UR-S 中，如图 1 所示。

UR-S 的多样性：对人的个体而言，主要关注个体将病毒带入环境的致灾性。病毒的属性和人的体质的多样性决定了人口个体携带致灾性风险能力不同，人口流入环境的规模和频率也会左右个体

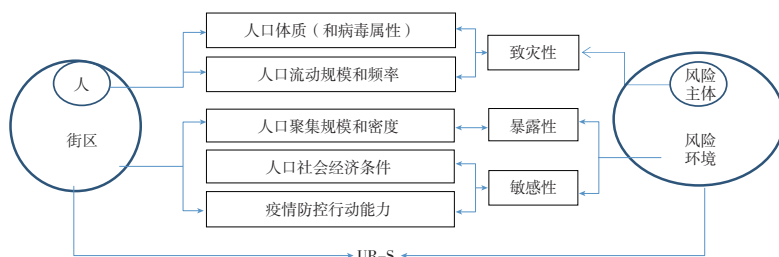


图1 UR-S的构成逻辑

Fig.1 Constitution of UR-S

将病毒带入的机会。对群体而言，重点关注群体在环境中受到致灾性影响的可能。一方面人口规模和密度的多样性决定了暴露性风险程度的差异；另一方面，人口年龄体质、经济能力、教育水平、卫生意识等条件的差异都会影响敏感性风险的高低。同时，民众、应急组织部门、医疗卫生部门、物资部门、交通部门及其他单位和社会团体在面对疫情风险时的行动目标和内容不同。在某一街区中，当不同群体之间通过不同方式和规模的聚集与流动展开分工合作时，疫情防控的效率和效果及其反映出的群体敏感性又将出现多样性的增殖。

UR-S的非线性：城市中人口社会经济发展的不平衡源自城市要素的流动，这种不平衡将长期存在，并且镜像到了致灾性、暴露性和敏感性风险程度的空间分异上。与此同时，这种空间分异还存在非线性的动态变化。一方面，病毒最初的出现主要来自自然界的生物进化或突变，所以人作为宿主何时何地开始携带致灾性风险具有高度不确定性。另一方面，当城市化从追求经济效率逐步转向追求人本价值时，围绕公共服务的城市质量改善和区域一体化进程，为打破限制生产要素自由流动和制约更大规模聚集的制度壁垒提供了可能^[22]。基于此，地理相邻或职能相关街区之间会通过人口和其他要素的流动发生疫情影响及响应的联动。所以，不能仅从静态视角评价某一特定街区疫情风险的高低，因为致灾性、暴露性和敏感性会在更大空间尺度下不断发生整体和局部的变化。

2 基于CAS的城市-风险互构系统理论构建

2.1 可持续发展对UR-S“适应”功能的要求

可持续发展是一切社会生态系统的发展目标^[23]，如何实现UR-S的可持续发展，可以从社会生态学科群视角找到答案。首先，“适应”是具有可持续发展能力的社会生态系统的核心功能^[24]，指系统主体为谋求生存和发展，与环境发生作用，做出一系列主动和被动调整的过程。虽然在生物学、环境学、管理学等不同学科领域中“适应”的内涵存在差

异，但总是围绕着自然法则的“持续性”追求、人类文明的“公平性”维护、系统运行的“统分性”协同^[25]。所以，UR-S首先应该具备“适应”功能。然而，多元异构的复杂特征对建立具有可持续发展能力的UR-S演进机制和运行秩序提出了更大挑战。复杂适应系统(Complex Adaptive System, CAS)理论用于解释具有适应功能的复杂系统的属性、结构和运行^[26]，为我们提供了回应这一挑战的科学理论工具。在UR-S的基础上，引用CAS理论构建“具有适应功能的城市-风险互构系统(UR-CAS)”，该系统会在自然法则和人类主观能动性的双重驱动下，调整人口的流动和聚集，抑制疫情风险的输入和扩散，以城市-风险互构主体更好的行为规则替代落后的行为规则，实现城市对重大综合性疫情风险的适应，最终推动UR-S的可持续发展。

2.2 UR-CAS的循环运行和升级演进

根据CAS的适应性循环模型和混沌模型^[27-28]，UR-CAS将呈现周期性的运行演进，包括在一个适应周期内的涨落过程，以及不同适应周期之间的层级关系和上下联系，如图2所示。

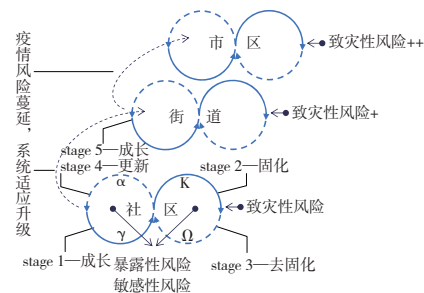


图2 UR-CAS的适应循环和嵌套升级
Fig.2 Adaptive cycle and upgrade of UR-CAS

2.2.1 疫情风险的适应循环

在UR-CAS的一个适应周期内，若人携带致灾性风险从外部输入某一街区，与街区内部人口的暴露性和敏感性发生作用，以产生的综合性风险是否超过该街区适应阈值为界，前后经历“成长(γ)—固化(K)”过程和“去固化(Ω)—更新(α)”过程^[27]。前半环代表系统处于可控状态： γ 指街区内人口积极掌握新知识、调集新要素、开展新活动，限制致灾性输入、降低暴露性和敏感性，减少直至消除此前致灾性输入导致的综

合性疫情风险；K指街区内人口受限于自满心态和知识局限，疫情防控工作趋于僵硬，暴露性和敏感性固化，存在难以适应更严重致灾性输入的可能。后半环代表系统处于崩溃状态： Ω 指当更严重的致灾性风险随外部人口输入，街区适应能力不足使得疫情风险向街区外扩散，此时原疫情防控工作模式出现瓦解； α 指疫情防控工作和资源要素重组，以新的范围、规模和方式限制致灾性输入、降低暴露性和脆弱性，最终消解综合性疫情风险。

2.2.2 适应循环的嵌套升级

UR-CAS从 α 阶段开始进入下一个适应周期，系统在更大空间范围和更高协作规模中提升对综合性风险的适应能力，回应综合性风险的蔓延。可以将系统的升级总体分为社区—街道—区—市4层嵌套结构^[29]：当人携带的致灾性风险从外部输入某社区时，民众和社区及以下单位在社区级党政社群的组织下就地即时展开疫情防控工作；当社区疫情风险适应能力不足导致疫情向街道蔓延时，街道级党政单位发挥统筹作用，带动民众和街道及以下单位的疫情防控工作重组和升级；当疫情向更大的行政区蔓延时，区级或市级党政单位将统筹全体民众和各层单位参与疫情防控工作重组升级。所以，外源输入的致灾性风险也被视为系统迭代更新的催化剂，在致灾性超出某街区适应能力的情景下，一面不断重组优化该街区疫情防控工作，一面加强更广地域的联动协作，最终系统性提升疫情风险适应能力，推动系统的可持续发展。

2.3 UR-CAS的联防联控和统分兼顾

如何从UR-CAS的动态情景推导出多维多级的静态结构来帮助我们更清晰地判断该系统的构成逻辑和运行秩序？可以依次从CAS的积木机制和标识机制中获得启发，如图3所示。

2.3.1 疫情风险的联防联控

CAS的积木机制将主体比作积木块，随着系统的升级，主体会通过聚集形成更大规模、更高功能的主体，完成从低级积木块向高级积木块的演进^[26]。积木机制帮助我们对UR-CAS进行搭建。首先，将一个适应周期分为“外源输入”

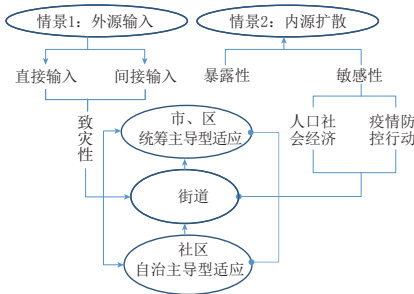


图3 UR-CAS的联防联控和统分兼顾
Fig.3 Joint prevention-control and unity-differentiation of UR-CAS

和“内源扩散”前后两个情景：前者指携带致灾性风险的人口流入某街区或较长时间停留于街区边缘，导致致灾性风险直接或间接输入该街区；后者指致灾性风险与街区内部人口暴露性和敏感性作用，决定了综合性风险在街区内扩散或者消解。然后，系统沿社区—街道—区—市逐层扩大疫情防控区域、提高风险适应能力，每一层中的主体包括民众、应急组织部门、医疗卫生部门、物资供给部门、其他单位和社会团体等，也逐层升级各自的行动规模和运转能力，并以新的方式在新一级的系统中展开分工合作。所以，UR-CAS的构成逻辑可以总结为“情景联动、分级联动、部门联动”，显示了城市-风险互构过程在输入—扩散、基层—高层、部门—全体上的差异和衔接。

2.3.2 联防联控的统分兼顾

为了控制UR-CAS的运行秩序，维护“三联”构成逻辑的稳定，标识机制发挥了重要作用。标识机制指主体间会因为共同属性产生吸引力，是主体聚集和升级背后的动因^[26]。人具有经验积累和学习能力，所以理想状态下民众和其他各部门都能够通过自行制定规则来调整 and 升级疫情防控行动。但是在实际面对城市重大疫情风险时，将权责完全放手于各方主体很可能是无力且危险的，由党政权力担负起重大疫情下矛盾的调和与要素的分配至关重要。所以，“自治”和“统筹”作为UR-CAS中主体的最基本标识，控制引导各类主体在该标识下的分工合作：统筹指为追求效率和公平，党政部门统一组织行动；自治指其他各单位及民众广泛参与合作，以确保灵活和快速。一方面，自治型主体和统筹型主体共同出现在每一层系统中，

随着社区—街道—区—市升级各自的行动规模和运转能力。另一方面，相比高层系统，基层系统需要自治型主体发挥更大作用，统筹型主体起控制作用；高层系统则以统筹型主体为主导，自治型主体做到监督配合。

3 基于CAS的城市-风险互构系统空间测评

3.1 映射UR-CAS运行演进的空间测评体系

UR-CAS理论的构建揭示了该系统在多元异构条件下可持续运行和演进的科学规律。城市空间是容纳人口活动和风险存在的物质载体，应该作为理论构造的实体映射，承载、引导和服务该系统的可持续发展。所以，搭建UR-CAS的空间测评体系，就要基于UR-CAS的运行演进机制、联防联控逻辑、统分兼顾秩序，获取人口（风险）流动和聚集的组织、规模、能力、内容在多尺度空间分布上的映射，作为勘测指标，评价城市对疫情风险的适应能力。具体来说，可以将一个适应周期前后经历的“外源输入”和“内源扩散”情景作为测评体系的主指标层，再将次指标层与适应周期的逐层升级相结合。UR-CAS空间测评体系的建立，可以帮助决策者发现可能导致UR-CAS可持续运行“断链”的街区单元，为街区以疫情风险适应为导向的空间规划提供科学化依据。

3.2 “外源输入”情景的空间测评

在街区外部，由于病毒的属性和流动人口个体条件具有高度不确定性，所以街区外部人口携带病毒的能力并不作为本研究重点。本文主要根据建成环境是否支持外部人口停留和流入来测评致灾性风险被带入街区内部的机会。一方面，道路交通设施是人口流动的最主要空间载体；另一方面，根据城市交通用地一体化开发，交通设施与公共设施，尤其是公共服务设施结合布局，增加了人口流动过程中的聚集和停留。如表1所示，外源输入情景的空间测评分为街区外围交通流入、街区外围交通停留2个子项：前者主要统计街区外围的道路接入和公交站点分布情况，评价外部致灾性风险直接输入的可能；后者重点关注街区外围公共服务设施与交通结合布局情况，评价可能携带致灾性风险的人停留聚集在街区边缘，间接增加致灾性风险输入的可能。由于城市道路、公交站点、公共服务设施都有等级规模划分，所以对相关指标做等级加权处理。

3.3 “内源扩散”情景的空间测评

深入街区内部，人口（风险）活动会受到建成环境—人口条件—治理能力三角要素的交互影响，如图4所示。其中，建成环境会反映内部的人口社会经济条件，也会为疫情防控治理能力的发挥提供设施场所支持，有利的人口条件和治理能力之间呈现出相互贡献和提升

表1 UR-CAS适应能力空间测评指标体系（外源输入情景）

Tab.1 Spatial evaluation index of adaptability of UR-CAS (external input)

一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	指标定义
UR-CAS适应能力	1 外源输入	1 街区外围交通流入	1 街区道路入口密度（人口等级加权）	街区外围道路入口数量与街区外围周长的比。按照主干路、次干路、支路由大到小划分入口等级
			2 地面公交站点密度（站点等级加权）	街区外围公共汽车（包括常规公共汽车、BRT等）站点数量与街区外围周长的比。按照停靠公交线路数量划分站点等级
			3 轨道交通站点密度（站点等级加权）	街区外围轨道交通（包括地铁、轻轨等）站点数量与街区外围周长的比。按照是否换乘枢纽划分站点等级
	2 街区外围交通停留	2	1 街区沿线公共服务设施比例（设施等级加权）	街区外围沿线公共服务设施长度与街区外围周长的比。参考市级、区级、街道级、社区级由大到小划分设施等级
			2 街区人口结合大型公共服务设施比例	街区外围道路入口结合大型公共服务设施数量占入口总数的比
			3 地面公交站点结合大型公共服务设施比例	街区外围公共汽车（包括常规公共汽车、BRT等）站点结合大型公共服务设施数量占总站点数量的比
			4 轨道交通站点结合大型公共服务设施比例	街区外围轨道交通（包括地铁、轻轨等）站点结合大型公共服务设施数量占总站点数量的比

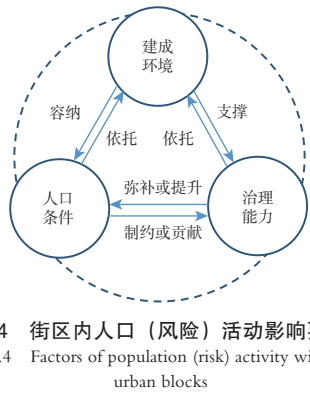


图4 街区内人口（风险）活动影响要素
Fig.4 Factors of population (risk) activity within urban blocks

的作用，而脆弱的人口条件则会限制并需要被治理能力所弥补。

在测评内源扩散情景时，测评指标会同时与以上三要素产生关联。但是在风险维度的细分下，指标的设计还是会偏向其中的特定要素。例如：当外部人口携带致灾性风险流入街区后，街区的暴露性风险与内部人口的数量、密度和聚集机会有关，要同时以人口条件和建成环境要素为依据；敏感性风险与内部人口的年龄体质、经济水平、卫生意识等密切相关，主要与人口条件相关；敏感性还受到人口参与疫情防控行动的范围和能力的影响，需要依靠治理能力和建成环境的协同配合。目前学界普遍将疫情防控行动分为党政社群组织、医疗卫生隔离、物资储备供应等3个主要部分，相关设施场所的工作条件和服务覆盖会直接影响疫情防控分工合作与资源调集的能力。所以，本文对疫情防控行动敏感性继续拆解，测评每类防控行动下街区逐级升级行动规模、提高风险适应的能力。

如表2所示：①在应急组织指标中，社区一级由多种类型的基层组织服务单位构成，街道和市区一级主要由行政单位和党群服务中心构成。②在医疗卫生指标中，以推进医疗卫生资源均衡、服务效率提升为目标的分级诊疗制度^②的建立和逐步完善，以及传染病就地就近隔离治疗的原则，为疫情防控情景下医疗卫生单位的分级服务^⑧提供了决定性条件。鉴于应急情景下主要由公立医院发挥主导作用，分级评价指标主要针对公立医院，但是仍将街区中的民营医院数量作为评价医疗卫生资源补位能力的重要指标。另外，还要依据大跨度大开间

表2 UR-CAS适应能力空间测评指标体系（内源扩散情景）

Tab.2 Spatial evaluation index of adaptability of UR-CAS (internal diffusion)

一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	指标定义	
UR-CAS适应能力	内源扩散	1 人口暴露	1 人口数量	街区内部日间和夜间最大人口数量	
			2 人口密度	街区内部日间和夜间最大人口数量占街区面积的比	
			3 人口聚集密度(设施等级加权)	街区内部公共服务设施数量占街区面积的比。参考市级、区级、街道级、社区级由大到小划分设施等级	
			4 人口聚集多样性	街区内部公共服务设施用地和居住用地的景观多样性指数(借鉴景观指数,测度用地布局的混合性和均匀度)	
		2 人口敏感	1 身体条件	街区内部人口年龄结构和基础疾病等	
			2 经济能力	街区内部人口收入水平等	
			3 卫生意识	街区内部人口教育水平等	
		3 应急组织敏感	1 社区级	1 社区级	社区级居委会和党群服务中心条件(如应急工作发展规划、人员结构、设施配套等)、小区物业管理条件(如物业费)、业主委员会组织条件(如人员结构)、其他民间团体活动条件(如志愿者数量)等
				2 街道级	街道级办事处和党群服务中心条件
				3 市区级	市区级人民政府和党群服务中心条件
	4 医疗卫生敏感	1 社区级	1 社区级	社区卫生服务中心条件(如医护人员数量、床位数量等)和覆盖率	
			2 街道级	二级综合医院和传染病专科医院条件、覆盖率	
			3 市区级	三级综合医院和传染病专科医院条件、覆盖率	
			4 弹性医疗卫生设施建设条件(设施等级加权)	会展中心、体育场馆、学校、绿地与广场等数量占街区面积的比;民营医院数量占街区面积。按照用地面积或建筑规模由大到小划分设施等级	
	5 物资供给敏感	1 社区级	1 社区级	社区级配送终端条件(如配送频率、库存水平等)、覆盖率	
			2 街道级	街道级配送中转条件、覆盖率	
			3 市区级	市区级配送中心条件、覆盖率	

建筑和开敞空间拥有量，评价核酸检测点和方舱医院的弹性配置条件。③在物资供给指标中，当前城市-区域尺度的多级配送中心及分散型配送网络的建设^⑩，为向城市-街道-社区的深入提供了参考，将极大缩短运输时间和需求点响应时间。具体思路在于于市区级配送中心经营规模大、配送货物批量大，街道级配送中心用于中转及协调向社区配送的库存，社区级配送终端则具有“小批、多批、分散”的特点。

3.4 空间测评的规划应用前景

在国土空间规划启动和韧性城市建设升级^⑨交叉融合的背景下，国土空间安全韧性专项规划编制实施的重要性和必要性获得了广泛共识^{⑪-⑫}。其中，“城市疫情风险适应”因新冠疫情的现实推动，成为安全韧性专项规划中不容忽视的关键内容。UR-CAS空间测评将为国土空间安全韧性专项规划落实疫情风险适应目标提供有效的技术支持。

根据国土空间“五级三类”规划体系的实践探索，专项规划需要实现在总体规划战略考量和详细规划空间落位之

间的上下传导和综合协调^⑬，北京经验又将详细规划从控制性详细规划向规划综合实施方案进一步落地^⑭。基于此，形成UR-CAS空间测评植入安全韧性专项规划的技术框架：①在市区总体规划层面，要以区或街道为单元，针对测评指标中的高等级和总体性要素进行测评，例如提取城市主干道、大型交通枢纽(如汽车站、火车站等)、市区级公共服务设施，测评疫情外源输入的可能，再根据区或街道级人口的总体情况统计、市区级公共服务场所、市区级行政、医疗、物流设施，测评疫情内源扩散的可能。由此划分城市疫情风险适应能力的总体性分区，识别连绵地区和间隔地区，制定分区合作互助、高等级和重要设施用地优化调整等总体性空间策略。②在面向街道的控制性详细规划层面，进一步测评街道或社区级要素，以社区为单元划分疫情风险适应的次级分区，支持分级分类分区精准防控，指导基层社区自治与合作、具体设施用地的空间落位、刚性和弹性建设控制指标的配置等。③在规划综合实施方案的制定中，按照建成环境—人口条件—治理能力的要素结构，

开展从社区深入网格的人口社会经济条件详情摸排,对相关建成环境要素提出更新整备和增量建设的时序计划和工程技术,与党政社群、医疗卫生、物资供应等部门紧密对接,推动应急管理“一案三制”深入基层并与空间规划充分结合。

总体来说,UR-CAS空间测评的要素分级积极响应了国土空间专项规划的上下传导。同时,对空间规划边界和城市治理边界的协调统一提出了要求,这一点已经在相关研究中被关注和提出^[17]。

4 结论

本文在疫情传播、城市属性和空间规划之间交叉探索城市重大疫情风险适应问题,从疫情传播机制和城市基本属性的“镜像”出发,首先提出UR-S的“多元异构”问题,然后构建UR-CAS的“复杂适应”理论,最后设计UR-CAS的“空间测评”体系,分别贡献了视角、理论、实践等3个方面的研究价值。

第一,视角价值——提出城市-风险互构系统的多元异构问题。城市重大疫情风险适应问题的复杂性,主要源于UR-S的多元异构特征。在人本价值和效率双轮驱动的城市化进程中,社会经济人口的多样性条件和不均衡分布将长期共存,是UR-S多元异构的决定性因素。所以,城市决策者在思考如何有效适应未来重大疫情等突发风险威胁的同时,还要积极回应现实的城市化背景,促使UR-S在复杂的多元异构条件下仍然能够具有可持续发展能力。

第二,理论价值——揭示城市-风险互构系统的复杂适应机制。基于UR-S在多元异构条件下保持可持续发展问题的提出,CAS以其对复杂系统构成与运行的关注以及对“适应”认知的充实和明确,比一般系统论更能解释UR-S在发挥以可持续发展为目标的适应功能时的演进过程、逻辑结构和运行秩序。UR-CAS理论的构建,为适应疫情风险的城市空间测评和后续空间规划决策提供了精细化的科学理论指导。

第三,实践价值——服务以疫情风险适应为目标的国土空间安全韧性专项规划。根据UR-CAS运行演进的空间映

射,设计反映疫情风险适应能力的城市空间测评体系,其中测评要素的分级对应了国土空间专项规划在总体规划和详细规划之间的上下传导,有利于空间测评成果在以疫情风险适应为目标的安全韧性专项规划中有效植入和顺利落实。与此同时,空间测评也从聚焦建成环境,向关注建成环境-人口条件-治理能力之间的交互影响扩展,符合国土空间规划“上接战略、下落民生、空间统筹、治理落实”的系统性内涵。

注:文中未注明资料来源的图表均为作者绘制。

注释

- ① 2021年5月11日,国务院应对新型冠状病毒肺炎疫情防控联防联控机制综合组制定了《新型冠状病毒肺炎防控方案(第八版)》。
- ② 2015年3月,国务院办公厅印发《全国医疗卫生服务体系规划纲要(2015—2020年)》,提出要对医疗卫生机构“分级分类管理”。同年9月印发《关于推进分级诊疗制度建设的指导意见》。
- ③ 韧性城市建设已经上升为国家发展战略高度。2020年10月通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》首次明确强调要建设韧性城市,应对灾害风险。

参考文献 (References)

- [1] 汪光焘,涂颖菲,叶建红.后疫情时代城市交通发展趋势及协同治理研究[J].城市规划学刊,2020(5):25-31.(WANG Guangtao, TU Yingfei, YE Jianhong. The development trend and cooperative governance of urban mobility in the post-epidemic era[J]. Urban Planning Forum, 2020(5): 25-31.)
- [2] 叶玉瑶,王长建,张虹鸥,等.基于人口流动的广东省COVID-19疫情风险时空分析[J].地理学报,2020,75(11):2521-2534.(YE Yuyao, WANG Changjian, ZHANG Hongou, et al. Spatio-temporal analysis of COVID-19 epidemic risk in Guangdong province based on population migration[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(11): 2521-2534.)
- [3] JIA J S, LU X, YUAN Y, et al. Population flow drives spatiotemporal distribution of COVID-19 in China[J]. Nature, 2020, 582(7812): 389-394.
- [4] 杨海燕,徐洁,李岩,等.新型冠状病毒肺炎聚集性疫情特征初步分析[J].中华流行病学杂志,2020,41(5):623-628.(YANG Hai-

- yan, XU Jie, LI Yan, et al. The preliminary analysis on the characteristics of the cluster for the COVID-19[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2020, 41(5): 623-628.)
- [5] 邓志强,夏文,范义兵,等.南昌市一起新型冠状病毒肺炎聚集性疫情传播链分析[J].中华流行病学杂志,2020,41(9):1420-1423.(DENG Zhiqiang, XIA Wen, FAN Yibing, et al. Analysis on transmission chain of a cluster epidemic of COVID-19, Nanchang[J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2020, 41(9): 1420-1423.)
- [6] MOGHADAS S M, SHOUKAT A, FITPATRICK M C, et al. Projecting hospital utilization during the COVID-19 outbreaks in the United States[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020, 117(16): 9122-9126.
- [7] 张帆,胡亮.构建更为韧性的医疗卫生防疫体系策略研究[J].城市规划,2020,44(11):9-14.(ZHANG Fan, HU Liang. Research on resilience improvement strategies for medical care and epidemic prevention[J]. City Planning Review, 2020, 44(11): 9-14.)
- [8] 戴慎志,王江波,刘婷婷.平灾兼顾的城市医疗卫生防疫设施体系构建策略[J].城市规划学刊,2020(3):103-108.(DAI Shenzhi, WANG Jiangbo, LIU Tingting. Construction strategy of urban health and epidemic prevention facilities system from the perspective of disaster preparedness at peaceful times[J]. Urban Planning Forum, 2020(3): 103-108.)
- [9] LAI S J, RUKTANONCHAI N W, ZHOU L C, et al. Effect of non-pharmaceutical interventions to contain COVID-19 in China[J]. Nature, 2020, 585: 410-413.
- [10] 汪光焘,李芬,高楠楠.信息化对城市现代化的预期影响[J].城市规划学刊,2020(3):15-23.(WANG Guangtao, LI Fen, GAO Nannan. The expected impact of informatization on urban modernization[J]. Urban Planning Forum, 2020(3): 15-23.)
- [11] KOO J R, COOK A R, PARK M, et al. Interventions to mitigate early spread of SARS-CoV-2 in Singapore: a modelling study[J]. Lancet Infectious Diseases, 2020, 20(6): 678-688.
- [12] DESJARDINS M R, HOHL A, DELMELLE E M. Rapid surveillance of COVID-19 in the United States using a prospective space-time scan statistic: detecting and evaluating emerging clusters[J]. Applied Geography, 2020, 118(5): 102202.
- [13] 白雪,乔观民,李加林,等.浙江省新型冠状病毒肺炎感染肺炎疫情时空分布特征[J].地理科学,2021,40(12):2010-2018.(BAI Xue, QIAO Guanmin, LI Jialin, et al. Spatial-Temporal distribution characteristics of

- COVID-19 epidemic disease in Zhejiang province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 40(12): 2010-2018.)
- [14] 李绥, 陈雨萌, 石铁矛, 等. 面向大气防疫的城市公共空间呼吸暴露风险评价[J]. *城市规划*, 2020, 44(8): 21-31. (LI Sui, CHEN Yumeng, SHI Tiemao, et al. Risk assessment of respiratory exposure in urban public space for air epidemic prevention[J]. *City Planning Review*, 2020, 44(8): 21-31.)
- [15] XIONG Y Z, WANG Y P, CHEN F, et al. Spatial statistics and influencing factors of the COVID-19 epidemic at both prefecture and county levels in Hubei province, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(11): 3903.
- [16] 王兰, 贾颖慧, 李潇天, 等. 针对传染性疾病防控的城市空间干预策略[J]. *城市规划*, 2020, 44(8): 13-32. (WANG Lan, JIA Yin-hui, LI Xiaotian, et al. Urban spatial intervention strategies for infectious disease prevention and control[J]. *City Planning Review*, 2020, 44(8): 13-32.)
- [17] 杨俊宴, 史北祥, 史宜, 等. 高密度城市的多尺度空间防疫体系建构思考[J]. *城市规划*, 2020, 44(3): 17-24. (YANG Junyan, SHI Beixiang, SHI Yi, et al. Construction of a multi-scale spatial epidemic prevention system in high-density cities[J]. *City Planning Review*, 2020, 44(3): 17-24.)
- [18] 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. (QIU Baoxing. Methods and principles of designing resilient city based on complex adaptive system theory[J]. *Urban Development Studies*, 2018, 25(10): 1-3.)
- [19] SAUNDERS P. Social theory and the urban question[J]. *Australian Planner*, 2007, 51(4): 368-369.
- [20] 宁志中, 张琦乡. 村优先发展背景下城乡要素流动与优化配置[J]. *地理研究*, 2020, 39(10): 2201-2213. (NING Zhizhong, ZHANG Qixiang. Urban and rural element mobility and allocation optimization under the background of rural priority development[J]. *Geographical Research*, 2020, 39(10): 2201-2213.)
- [21] 张文义. 社会与生物的连接点: 医学人类学国际研究动态[J]. *医学与哲学*, 2017, 38(10): 39-42. (ZHANG Wenyi. At the intersection between society and biology: a review of contemporary international studies in medical anthropology[J]. *Medicine and Philosophy*, 2017, 38(10): 39-42.)
- [22] 赵俊源, 何艳玲. 规模红利与公共服务: 中国城市治理过程的“双维互构”及其演进[J]. *同济大学学报(社会科学版)*, 2020, 31(3): 48-59. (ZHAO Junyuan, HE Yanling. Dividend of scale and public service: the evolution of urban governance and its dominating mechanism in China[J]. *Journal of Tongji University(Social Science Section)*, 2020, 31(3): 48-59.)
- [23] 傅伯杰. 地理学: 从知识、科学到决策[J]. *地理学报*, 2017, 72(11): 1923-1932. (FU Bo-jie. Geography: from knowledge, science to decision making support[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 72(11): 1923-1932.)
- [24] 王琦妍. 社会-生态系统概念性框架研究综述[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(S1): 440-443. (WANG Qiyang. Review of the research on social-ecological systems conceptual framework[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(S1): 440-443.)
- [25] 张威涛. 基于CAS理论的综合疏散避难空间适灾机理与规划响应研究[D]. 天津大学, 2020. (ZHANG Weitao. Research on disaster-adaptation mechanism and planning response of comprehensive evacuation-shelter space based on CAS[D]. Tianjin University, 2020.)
- [26] 约翰·H. 霍兰. 隐秩序: 适应性造就复杂性[M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2011. (HOLLAND J H. Hidden order: how adaptation builds complexity[M]. Shanghai: Shanghai Science & Technology Education Press, 2011.)
- [27] GUNDERSON L H, HOLLING C S. Panarchy: understanding transformations in human and natural systems[M]. Washington, DC: Island Press, 2002.
- [28] 范冬萍, 何德贵. 基于CAS理论的社会生态系统适应性治理进阶分析[J]. *学术研究*, 2018(12): 6-11. (FAN Dongping, HE Degui. Approaches to adaptive governance of social-ecological system based on CAS theory[J]. *Academic Research Journal*, 2018(12): 6-11.)
- [29] 杨辰, 辛蕾, 兰蓓, 等. 超大城市治理的“社区”路径: 《成都市城乡社区发展规划(2018-2035年)》的编制与思考[J]. *城市规划学刊*, 2020(1): 71-78. (YANG Chen, XIN Lei, LAN Bei, et al. The community perspective of mega cities governance: thoughts on the compilation of Chengdu urban and rural community development planning 2018-2035[J]. *Urban Planning Forum*, 2020(1): 71-78.)
- [30] 杜建辉, 王旭, 常宏远. 交通限行下多级配送网络节点划分与车辆路径优化[J]. *世界科技研究与发展*, 2016, 38(5): 1067-1071. (DU Jianhui, WANG Xu, CHANG Hongyuan. Researches on multi-level distribution network partition and vehicle routing problem under traffic restrictions[J]. *World Science Tech R & D*, 2016, 38(5): 1067-1071.)
- [31] 翟国方, 夏陈红. 我国韧性国土空间建设的战略重点[J]. *城市规划*, 2021, 45(2): 44-48. (ZHAI Guofang, XIA Chenhong. Strategic emphasis on the construction of resilient cities in China[J]. *City Planning Review*, 2021, 45(2): 44-48.)
- [32] 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. (YANG Xuanmei. Territorial space resilience: a conceptual framework and its implementation path[J]. *Urban Planning Forum*, 2021(3): 112-118.)
- [33] 石晓冬, 李翔. 国土空间规划背景下的城市安全体系构建[J]. *科技导报*, 2021, 39(5): 9-16. (SHI Xiaodong, LI Xiang. Urban safety systems and its application in spatial planning[J]. *Science & Technology Review*, 2021, 39(5): 9-16.)
- [34] 杨贺. 国土空间规划体系下规划综合实施方案要义研究[J]. *北京规划建设*, 2021(7): 111-114. (YANG He. A study on the essentials of comprehensive planning implementation schemes under national territory spatial planning system[J]. *Beijing Planning Review*, 2021(7): 111-114.)

修回: 2022-01