

基于系统动力学的高校社区韧性综合评价指标构建

张爱琳¹, 薛婷婷^{2*}, 董文秀¹

1. 内蒙古科技大学, 土木工程学院, 内蒙古 包头, 014010

2. 内蒙古科技大学, 土木工程学院, 河南 商丘, 476900

摘要: 本研究以系统动力学为核心方法, 针对高校社区特性构建韧性综合评价体系。通过文献梳理初筛指标, 结合德尔菲法优化形成物理、组织、社会、资源、环境五大子系统共30项核心指标, 确立四大构建原则。借助Vensim软件搭建含因果反馈与存量流量的动态模型, 解析韧性长期演化规律。研究首创高校专属韧性评价工具与动态分析模型, 明确“教学科研优先、多子系统协同”的建设逻辑及多主体治理、资源优化、数字赋能等实践路径, 为高校应急管理转型及同类社区韧性治理提供理论与实操支撑。

关键词: 高校社区韧性; 系统动力学; 评价指标体系; 动态评价; 高校应急管理

Development of a System Dynamics-Based Comprehensive Resilience Evaluation Framework for University Communities

Ailin Zhang¹, Tingting Xue^{2*}, Wenxiu Dong¹

1. Inner Mongolia University of Science and Technology, School of Civil Engineering, Baotou, Inner Mongolia, 014010, China

2. Inner Mongolia University of Science and Technology, School of Civil Engineering, Shangqiu, Henan, 476900, China

Abstract: This study employs system dynamics as the core methodology to construct a comprehensive resilience evaluation system tailored for university communities. Through literature review and pilot screening of indicators, combined with Delphi method optimization, the framework establishes five subsystems (physical, organizational, social, resource, and environmental) comprising 30 core indicators, supported by four fundamental principles. Using Vensim software, a dynamic model incorporating causal feedback and existing traffic patterns is developed to analyze long-term resilience evolution. The research pioneers a university-specific resilience evaluation tool and dynamic analysis model, clarifying the "teaching-research priority, multi-subsystem coordination" development logic and practical pathways including multi-stakeholder governance, resource optimization, and digital empowerment. This provides theoretical and operational support for emergency management transformation and resilience governance in university communities.

Keywords: university community resilience; system dynamics; evaluation index system; dynamic assessment; university emergency management

高校是集教学、科研与生活于一体的特殊社区, 其韧性水平关乎教育系统稳定与社会公共安全。在自然灾害、公共卫生事件、网络安全威胁等多重风险下, 高校社区因复杂开放更易受突发事件冲

击^[1]。传统应急管理 with 风险防控模式聚焦事件响应，缺乏对系统内部结构与动态关系的整体把握，难以反映社区韧性形成机制与演化规律。所以，构建科学的高校社区韧性综合评价体系，既是提升高校风险防范与自我修复能力的现实需求，也是推动教育治理体系现代化的重要方向。

近年来，韧性理论已广泛应用于城市规划、公共安全与社会治理等领域，为复杂系统的动态分析提供了理论支撑^[2]。然而，高校社区韧性研究尚处于起步阶段，现有研究多侧重于单一维度的定性分析，缺乏跨系统、跨维度的综合评估框架^[3]。高校社区在物理基础设施、组织治理结构、社会支持网络、资源配置与生态环境等方面均存在相互作用，这种多维交织的系统特性决定了其韧性必须从系统整体层面加以刻画。因此，有必要引入系统动力学方法，通过因果关系分析和反馈结构建模，揭示高校社区韧性的动态演化机制，为科学决策提供可量化依据^[4]。

基于此，本文以系统动力学为核心方法，构建高校社区韧性综合评价模型，从物理、组织、社会、资源与环境五个维度识别关键要素与指标，建立状态变量、流量变量、辅助变量与常量之间的因果关系，模拟韧性系统的运行过程与调节路径。

1 核心概念与理论基础

社区是特定地域内由居民、社会组织及公共设施构成的多元功能复合系统。高校社区以高校为载体、师生为核心，融合教育科研、生活服务等功能，具有空间集中、人口密集、自治性强的特征。社区韧性是应对内外部风险时“预警-抵御-恢复”的综合能力，核心是维持功能稳定。高校社区韧性聚焦师生需求与校园资源，以保障教学科研连续性、快速恢复校园秩序为核心，与普通社区的生活保障导向不同。

高校社区韧性有三大核心特征：适应性可快速调整结构与运行模式维持核心功能；自组织性依托师生高知识密度与学术信任形成自发应对秩序；网络性通过学术、服务、治理三维网络实现多维度支撑。当前主流韧性评价方法存在局限：指标体系法是静态评估，难体现动态演化与子系统复杂关联；脆弱性-韧性框架缺乏对高校“教育优先”属性的考量；情景模拟法适配多风险叠加场景不足；统计模型法依赖历史数据，难应对新型风险与非线性关系。而系统动力学以“结构决定行为”为核心逻辑，与高校社区韧性研究高度适配，既能显性化子系统隐性关联、解析复杂系统逻辑，又可整合全周期要素、实现韧性动态评价，还能模拟策略实施效果、为决策提供数据支撑。

2 高校社区韧性评价指标选取

2.1 文献梳理与指标初筛

表 1 高校社区相关评价指标体系研究成果汇总

Table 1 Summary of Research Findings on Evaluation Index System for University Communities	
高校社区相关评价指标体系	来源
基于动态能力理论，将高校突发事件应急管理能力分为 4 种能力，含 14 个评价指标	李玉飞 ^[5] 等
构建含 8 个一级指标、37 个二级指标的高校安全评价指标体系，涵盖安全管理、校园治安等 8 大领域	鲁维娟 ^[6]
引入危机管理 4R 模式，构建含 14 项一级指标、48 项二级指标的高校危机管理能力评价指标体系	周笑朵 ^[7]
构建高校餐厅食品安全管理评价指标体系，含 5 个一级指标、33 个二级指标，覆盖采购贮存、加工、售卖等环节	黄蕊 ^[8]
基于韧性动态演进属性，构建含 3 项一级指标、7 项二级指标、24 项三级指标的高校实验室安全韧性评价指标体系	瞿英 ^[9] 等

以“高校社区韧性”“社区韧性评价指标”等为关键词，检索 Web of Science、中国知网等数据库，获取相关文献 120 篇，筛选高度相关文献 45 篇，提炼出物理、组织、社会、资源、环境五大维度参考指标，如表 1 所示。结合高校社区“教育优先、师生为主”的独特属性，初步构建包含 5 个一级指标、16 个二级指标、35 个三级指标的评价指标体系雏形，并明确各指标的数据来源与核心内涵。

2.2 指标体系构建原则

基于高校社区的复杂性与动态性，确立四大构建原则：一是教育导向性，突出教学科研核心功能对韧性的支撑作用；二是动态适应性，设置稳定核心指标与灵活补充指标，权重可按风险等级调整；三是数据可获性，优先选取量化指标，通过校内管理数据、问卷等渠道获取信息；四是系统关联性，体现各要素间的协同与反馈机制，避免孤立设标。

2.3 专家咨询与指标优化

采用德尔菲法，邀请高校应急管理、安全科学、社区韧性等领域 6 位专家（涵盖土木工程、公共管理、应急科研机构等），从重要性、可操作性两方面对初筛指标进行评分筛选，剔除不符合要求的指标

表 2 物理韧性评价指标筛选结果					
Table 2: Results of the screening for physical toughness evaluation indicators					
三级指标	重要性均值	可操作性均值	标准差	保留/删除	说明
实验室安全设施达标率	4.65	4.55	0.4	保留	数据来源明确，专家意见一致
科研设备应急保护率	4.4	4.2	0.48	保留	与科研设备安全高度相关
教学楼耐震性评估	2.85	2.55	0.9	删除	数据缺乏，专家认为与生命线系统稳定性重复
宿舍应急功能完好率	4.3	4.15	0.52	保留	可通过宿舍巡检数据量化
公共空间应急转化能力	4.1	4	0.5	保留	保持必要性与可操作性
生命线系统缺陷率	4.55	4.3	0.44	保留	基础设施关键指标
应急盲区比例	4.2	4.05	0.47	保留	专家认可度高

在进行物理维度的初步筛选工作时，众多参与评审的专家经过深入探讨后一致认定，“教学楼耐震性评估”这一指标在实际操作过程中很难获取到连续性的相关数据。而且，从功能属性的角度来看，这一指标实际上已经被涵盖在“生命线系统稳定性”这个更为宽泛和综合的指标范畴之内了。基于以上这两方面的考量，专家们决定将“教学楼耐震性评估”这一指标予以删除。经过这样一番严谨的筛选与整合之后，最终确定下来的核心指标数量为六个。这些核心指标将在后续的相关工作中发挥重要的作用，成为评估整体情况的关键依据。

表 3 组织韧性评价指标筛选结果					
Table 3 Screening results of indicators for evaluating tissue toughness					
三级指标	重要性 均值	可操作 性均值	标准差	保留/ 删除	说明
专项应急小组完备率	4.5	4.35	0.41	保留	数据来源清晰
应急责任人落实率	4.4	4.25	0.46	保留	专家高度认可
风险监测系统覆盖率	4.35	4.2	0.43	保留	信息化部门可提供数据
突发事件响应时长	4.2	4.1	0.5	保留	具有较强实践价值
校级-院系联动响应速度	3.05	2.75	1.02	删除	专家意见分歧大，量化困难
校地联动缺失率	4.1	4	0.49	保留	专家认可度高
跨部门协调阻滞程度	4.15	4	0.51	保留	保留实用性

组织韧性在初稿中的“校级-院系联动响应速度”指标，专家普遍认为该指标缺乏量化标准，与“跨部门协调效率”存在交叉，因此被剔除。最终保留 6 个核心指标。

表 4 社会韧性评价指标筛选结果					
Table 4: Results of the screening for social resilience evaluation indicators					
三级指标	重要性 均值	可操作 性均值	标准差	保留/ 删除	说明
分场景应急知识知晓率	4.4	4.25	0.48	保留	保留核心指标
自救互救技能掌握率	4.35	4.15	0.52	保留	数据可通过问卷和考核获得
应急志愿团队活跃度	4.2	4	0.46	保留	反映群体应急互助
师生信任度	4.1	3.95	0.53	保留	可通过问卷与舆情数据获取
校友应急援助资源利用率	2.75	2.5	1.08	删除	数据缺乏，专家一致认为不适合保留
大型活动疏散效率	4.25	4.05	0.45	保留	保留关键指标
分场景宣传频次	4.3	4.15	0.42	保留	可通过活动记录量化
应急演练参与率	4.45	4.2	0.39	保留	专家高度一致认可

在构建社会韧性的相关评估体系时，专家们经过深入探讨和分析后特别指出，其中的“校友应急援助资源利用率”这一指标存在较为明显的局限性。具体而言，该指标在实际操作过程中难以实现持续有效的数据收集，这主要是因为校友资源的分布较为分散，且其应急援助行为具有较大的不

确定性。

表 5 资源韧性评价指标筛选结果					
Table 5: Results of the screening for resource resilience evaluation indicators					
三级指标	重要性 均值	可操作 性均值	标准 差	保留/删 除	说明
分场景物资充足度	4.5	4.4	0.42	保留	数据可通过库存台账获取
物资调配效率	4.3	4.1	0.48	保留	专家认可度高
水电能源储备转化效率	2.95	2.7	0.89	删除	专家认为与物资充足度重复
应急资金占比	4.35	4.2	0.5	保留	财务数据可支撑
应急信息触达率	4.25	4.05	0.44	保留	数据可通过系统记录量化
教学设施修复时长	4.15	4	0.47	保留	可通过维修工单追踪

资源韧性中提出的“水电能源储备转化效率”未获专家支持，被认为与“物资充足度”存在交叉，最终删除。最终保留 5 个核心指标。

表 6 环境韧性评价指标筛选结果					
Table 6 Screening results of environmental resilience evaluation indicators					
三级指标	重要性 均值	可操作 性均值	标准差	保留/ 删除	说明
校园绿地蓄洪能力	4.35	4.15	0.46	保留	专家一致认可
生物多样性维护水平	4.1	3.95	0.55	保留	数据来源明确
校园生物多样性指数	2.8	2.55	0.95	删除	专家认为难以持续监测
实验室废水/废气处理达标率	4.4	4.25	0.42	保留	符合环保监管要求
校园环境清洁度	4.15	4	0.48	保留	保留基础指标
地下管网抗灾能力	4.25	4.1	0.5	保留	专家高度认可
无障碍通道/设施完好率	4.2	4.05	0.47	保留	数据可通过巡检记录获取

在环境维度，“校园生物多样性指数”指标被指出监测成本过高，且与“生物多样性维护水平”重复，故被剔除。最终保留 6 个核心指标。

最终形成结构清晰、内涵完整的高校社区韧性评价指标体系：目标层为高校社区韧性，一级指标含物理韧性、组织韧性、社会韧性、资源韧性、环境韧性 5 项，二级指标 16 项，三级指标 30 项，如表 7。该体系既覆盖高校社区韧性核心要素，又兼顾数据可获性与实践操作性，为后续系统动力学建模与实证分析提供坚实基础。

表 7 高校社区韧性评价一级二级指标
Table 7 Evaluation indicators of university community resilience

类别	指标
一级指标	物理韧性、组织韧性、社会韧性、资源韧性、环境韧性
二级指标	教学科研空间安全、生活服务空间韧性、基础设施抗逆性、应急管理架构、预警与响应机制、协同联动能力、师生应急素养、社群协作网络、秩序维持能力、应急文化培育、应急物资储备、资金与信息资源、恢复资源支持、生态系统稳定性、环境风险防控、无障碍环境适配性
三级指标	实验室安全设施达标率、科研设备应急保护率、宿舍应急功能完好率、公共空间应急转化能力、生命线系统缺陷率、应急盲区比例、专项应急小组完备率、应急责任人落实率、风险监测系统覆盖率、突发事件响应时长、校地联动缺失率、跨部门协调阻滞程度、分场景应急知识知晓率、自救互救技能掌握率、应急志愿团队活跃度、师生信任度、大型活动疏散效率、分场景宣传频次、应急演练参与率、分场景物资充足度、物资调配效率、应急资金占比、应急信息触达率、教学设施修复时长、校园绿地蓄洪能力、生物多样性维护水平、实验室废水/废气处理达标率、校园环境清洁度、地下管网抗灾能力、无障碍通道 / 设施完好率

3 高校社区韧性评估系统动力学模型构建

3.1 模型构建过程

3.1.1 建模目的

高校社区是集教学、科研、生活于一体的复杂系统，其韧性要素存在模糊性、数据不完备性，但要素间关联机制明确。系统动力学可有效处理此类复杂系统问题，通过剖析韧性系统的因果关系与结构特性，揭示公共空间转化能力、物资储备等关键要素的作用路径，最终为高校社区韧性提升、资源优化配置提供决策依据。

3.1.2 系统边界确定

结合政策文件与专家函询，以高校社区整体为边界，聚焦物理、组织、社会、资源、环境 5 大子系统，整合优化 30 个核心要素，为模型仿真奠定基础。

3.1.3 韧性要素因果关系模型

借助 Vensim 软件，构建涵盖 5 大子系统的因果关系网络：

物理韧性：围绕教学科研空间安全、生活服务空间韧性、基础设施抗逆性展开，明确实验室设施、公共空间转化等要素对空间安全的影响逻辑。

组织韧性：聚焦应急管理架构、预警响应机制、协同联动能力，刻画专项小组、部门协调等组织体系的应急效能路径。

社会韧性：从师生应急素养、社群协作、应急文化、秩序维持四个维度，呈现应急知识、志愿团队等社会网络对韧性的支撑作用。

资源韧性：涵盖应急物资储备、资金与信息资源、恢复资源支持，体现物资调配、应急资金等资源配置的动态影响。

环境韧性：围绕生态稳定性、环境风险防控、无障碍适配性，解析绿地蓄洪、管网抗灾等环境要素的韧性贡献。

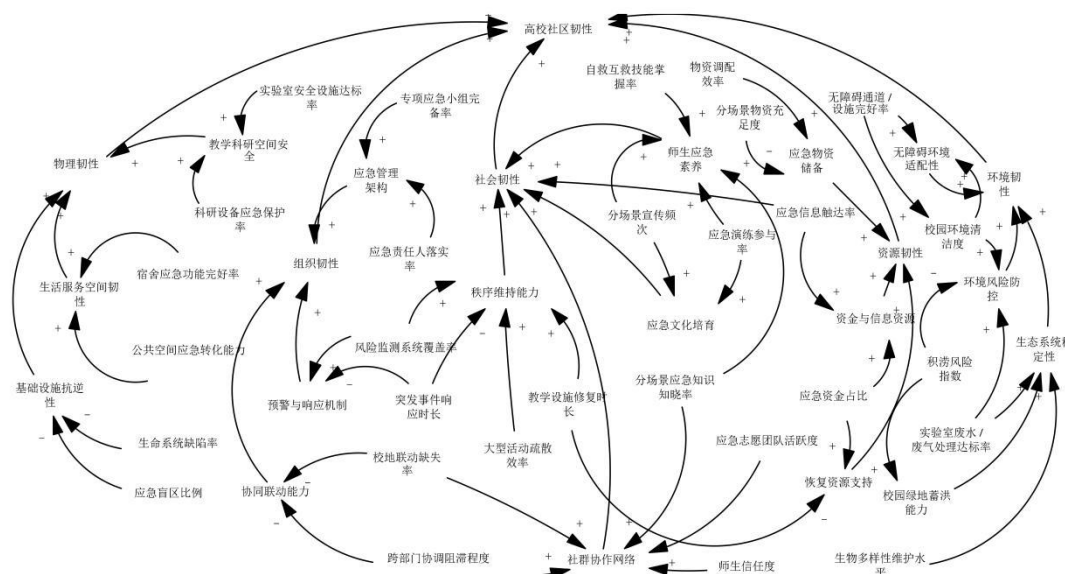


图1 高校社区韧性因果回路图

Figure.1 Causal loop diagram of university community resilience

3.1.4 存量流量模型

基于因果回路图的分析框架，进一步构建存量流量模型，以更全面地描述系统的动态行为，并明确四类关键变量及其作用。首先是状态变量，这类变量用来反映系统核心特征的累积性变化，例如实验室安全设施达标率、应急物资储备量等，它们是系统运行过程中能够被直接观测和衡量的重要指标，体现了系统在某一时刻的整体状况。其次是速率变量，这类变量决定了状态变量的变化趋势，例如实验室设施改善速率、应急物资调配速率等，它们通过影响状态变量的增减来驱动系统的发展与演变，从而揭示出系统动态变化的核心驱动力。

此外，辅助变量则为决策过程提供中间逻辑支撑，例如跨部门协调效率、科研设备保护率等，这些变量虽然不直接决定系统的最终状态，但通过对其他变量的影响间接塑造了系统的运行模式，为理解和优化系统提供了重要的参考依据。最后是常量，这类变量为模型提供稳定参数参考，例如最大物资储备能力、应急资金最低占比等，它们作为固定不变的基准值，确保模型在复杂多变的情境中依然具备可靠性和一致性。通过这四类变量的有机结合，存量流量模型能够更加精确地刻画系统的运作机制，并为后续的分析与优化奠定坚实的基础。

在存量流量模型中，状态变量、速率变量、辅助变量和常量之间的相互作用关系构成了系统动态行为的核心逻辑。状态变量作为系统特征的累积体现，其变化直接受到速率变量的调控，而速率变量本身又受到辅助变量的间接影响，这种多层次的变量关系使得系统能够呈现出复杂而有序的动态特征。同时，常量作为模型中的稳定参数，为整个系统提供了可靠的基准，确保了模型在不同情境下的适用性和准确性。通过这种存量流量模型的构建，我们不仅能够深入理解高校社区韧性的动

态变化机制,还能够为提升社区韧性提供科学的决策依据。

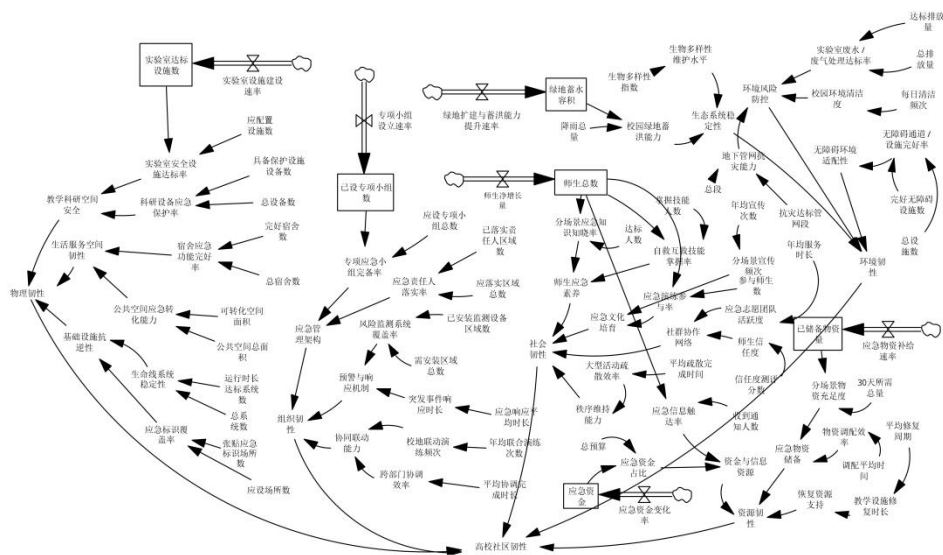


图2 高校社区韧性存量流量图

Figure.2 Flow chart of resilience stock in university communities

4 讨论

本研究构建的高校社区韧性综合评价体系与系统动力学模型,核心聚焦于高校“教学-科研-生活”三位一体的复合功能特征,形成了“物理-组织-社会-资源-环境”五大子系统协同的韧性框架,整合30项核心要素并建立动态演化模型,为高校社区韧性评估与提升提供了系统性工具。从评价体系来看,其突破了传统应急管理聚焦单一风险的局限,既涵盖实验室安全设施、地下管网抗灾能力等物理硬件要素,也包含师生应急素养、校地联动机制等组织社会要素,同时将生态系统稳定性、无障碍环境适配性等环境维度纳入其中,形成了“硬件保障-组织协调-社会支撑-资源供给-环境适配”的完整韧性链条。系统动力学模型则通过状态变量、速率变量等四类变量的设置,精准刻画了实验室设施改善、应急物资调配、师生素养提升等关键过程的动态演化规律,为量化分析韧性提升路径提供了可行方法。

高校社区韧性提升需多维度协同发力:应构建“校级-职能部门-二级院部-师生群体”五级联动体系,强化与属地消防、疾控等部门的校地协作,通过设立学生应急志愿团队、下沉应急管理责任等激发师生主体参与,夯实协同治理与社群协作基础;优化资源配置与空间规划,保障应急资金投入,确保专项物资满足30天需求并建立动态调配机制,提升公共空间应急转化比例,完善实验室、宿舍等设施及地下管网的抗灾设计,构建“平时服务-灾时应急”格局;以“分场景宣传+体验式演练”强化韧性文化培育,依托校园APP、电子屏等实现应急信息全覆盖,结合智慧校园建设建立师生应急素养电子档案,通过大数据精准施策,筑牢常态化教育与信息化支撑防线。

5 结论

本研究聚焦高校社区韧性这一特殊领域,取得以下核心成果:

(1) 首创适配高校场景的韧性评价体系与动态分析模型。整合物理、组织、社会、资源、环境五大子系统,提炼30项核心指标,首次将实验室应急设施、科研设备抗干扰性等高校科研教学特色要素纳入评估,填补了高校社区针对性韧性评价工具的空白。同时,构建的系统动力学模型突破静

态评价局限,通过刻画状态变量与速率变量的动态反馈,实现了对高校社区韧性长期演化规律的动态解析,为复杂系统韧性研究提供了方法借鉴。

(2)明晰高校社区韧性建设的核心逻辑与价值边界。研究揭示高校社区韧性需以“保障教学科研连续性”为核心,通过“硬件-组织-社会-资源-环境”的系统联动达成,既契合韧性理论的“适应性演化”内核,又紧扣高校“育人优先”的功能定位,为高校应急管理从“被动响应”向“主动规划”转型提供了理论支撑,也为科研园区、职教园区等同类复合社区的韧性治理提供了范式参考。

(3)指明未来研究的拓展维度。后续可针对不同类型高校(综合类、理工类等)细化模型参数以增强普适性;探索人工智能、物联网技术与韧性治理的融合,开发实时监测预警的智能平台;还可延伸研究高校社区与城市社区的韧性联动,从“单一社区”拓展至“区域协同”层面,进一步拓展高校韧性治理的理论与实践边界。

参考文献

- [1] 李志杰,杜国平,李小杉,等.高校突发公共卫生事件应对能力评价指标体系构建[J].中国学校卫生,2023,44(09):1418-1422.
- [2] 陈玉梅,李康晨.国外公共管理视角下韧性城市研究进展与实践探析[J].中国行政管理,2017(01):137-143.
- [3] CASTLEDEN M, MCKEEN M, MURRAY V, et al. Resilience thinking in health protection[J]. Journal of Public Health (Oxford, England), 2011, 33(3): 369-377.
- [4] 向晋文.危机管理视域下高校突发事件管理探析[J].高教探索,2017(3):30-34+40.
- [5] 李玉飞,刘晓云,刘洋.高校突发事件应急管理能力评价指标体系及模型[J].实验室研究与探索,2023,42(07):297-304.
- [6] 鲁维娟.高校安全评价体系及应用研究[D].湖南科技大学,2011.
- [7] 周笑朵.高校危机管理能力评价指标体系的构建[D].电子科技大学,2010.
- [8] 黄蕊.基于AHP-模糊综合评价法的高校餐厅食品安全影响因素及管理评价指标体系的研究[D].河北经贸大学,2023.
- [9] 瞿英,李晨旭,张斌,等.高校实验室安全韧性评价及障碍因子诊断[J/OL].实验技术与管理,2025,(03):219-225[2025-04-14].

¹ 第1作者简介:张爱琳(1978-),女,硕士研究生,副教授,研究方向:建筑信息技术应用、智能建造与运维、交通运输经济管理。E-mail: ellen1117@163.com。

* 通讯作者简介:薛婷婷(1996-),女,硕士研究生在读,研究方向:社区韧性、工程管理。E-mail: 18039157109@163.com。