

治理绩效

基于城市韧性的建筑遗产环境脆弱性风险评估

——以天津市为例

谭立峰, 陈涌昕, 王 谦

(天津城建大学建筑学院, 天津 300384)

摘要: 在快速城镇化和工业化背景下, 建筑遗产遭受环境侵害的风险日益暴露。以天津市为研究区域, 基于城市韧性视角下的环境角度, 综合建筑遗产风险评估宏观尺度和微观尺度的优势, 构建以洪涝风险隐患、综合地形地质风险隐患、大气环境风险隐患、火灾风险隐患、建筑遗产价值风险隐患、交通设施风险隐患的建筑遗产脆弱性环境风险评估体系。基于过往研究量化选择量化因子, 利用地理信息系统空间量化评价, 筛选 18 个指标并开展相关分析。研究结果表明, 建筑遗产脆弱性区域高度集中于城市区域, 人为因素高于自然因素影响, 南部区域和北部部分山区明显大于北部区域。综合来说, 高脆弱性区域主要集中在和平区, 呈核状向市内 6 区发散分布。多数建筑遗产位于市内 6 区区域, 在城市韧性环境视角下有较高的风险。

关键词: 建筑遗产保护; 风险评估; GIS(地理信息系统); 天津市; 城市韧性

中图分类号: TU-022 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)15-0315-11

近年来, 在全球化、信息化等时代潮流的影响下, 全球经济、人文环境产生了巨大的变化^[1], 迅速影响着遗产保护的各个环节^[2]。联合国教科文组织世界遗产中心(UNESCO)代表着近年来世界遗产保护的最新趋势, 开展了一系列特别活动, 包括线性遗产、人文景观、现代遗产等多种逐渐被重视的特殊类型遗产, 以及气候变化、灾害防治等问题, 都成为遗产保护工作的重点^[3]。中国的遗产保护工作起步于 20 世纪 30 年代, 但发展缓慢, 直到 20 世纪 90 年代才逐步进入快速发展轨道并与国际接轨, 但主要体现在保护体系不健全、实施过程中理论技术欠缺、社会认知不足等诸多方面, 从世界范围来看, 中国的遗产保护工作仍处于相对落后的阶段, 中国的遗产保护快速推进的现代化建设, 应该综合借鉴世界遗产保护的经验和因地制宜地制定适合自己发展的方略。

风险评估作为遗产保护必备的一环, 学者们对建筑遗产风险评估可以按照研究对象的空间尺度划分为宏观尺度、微观尺度。在宏观尺度上, 主要

体现区域风险管理。例如, 唐晓岚和郭刀静^[4]通过归纳欧洲发达国家的一种风险地图管理方法, 并转译出中国华东长江下游地区建筑遗产风险地图; 常海青等^[5]对历史文化名城两个方面进行阐述和总结。在微观尺度上, 主要体现在建筑遗产单体的保护上。例如, 何韶颖等^[6]对传统村落单体建筑如何进行预防性保护进行了研究。王谦等^[7]构建一套基于物元系统的建筑遗产保护风险评估体系。葡萄牙、西班牙、法国在 2016 年提出了“HeritageCare 项目——历史文化遗产的监测与预防性保护”, 探索数字化在遗产保护背景下所承担的主导作用^[8]。

韧性概念在 1990 年代被引入城市规划领域, 直到 2010 年前后认识到形态对韧性的重要意义后, 城市韧性才被学者们关注。多位学者认为形态要素的空间组合方式影响灾害风险的发生频率与强度从而影响韧性, 由此指出城市韧性形态即是形态要素空间组合的韧性表现^[9-12]。城市韧性形态的最大特点可使城市系统做好规划和准备、吸收、快速恢复来适应灾害风险, 在不断变化的环境中持续保持

收稿日期: 2025-01-26

基金项目: 天津市艺术科学规划项目(A24009)

作者简介: 谭立峰(1975—), 男, 山东潍坊人, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为传统聚落、建筑设计及其理论、文化遗产保护; 陈涌昕(2000—), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 研究方向为建筑遗产保护; 通信作者王谦(1988—), 女, 河北石家庄人, 讲师, 硕士研究生导师, 研究方向为建筑遗产保护。

高效的运营。

城市领域的韧性概念该用哪种方法评估是当前学者探索的热点。国外学者根据不同角度建立了多个不同层次的城市韧性评估体系,主要将城市韧性归纳为 5 种,其分别为物理、自然、经济、制度和社会^[13-15]。国内学者通过城市韧性评估大多数分化成两个角度。第一种角度是从以城市韧性评价研究为基础的单项层面或单项制度^[16-18],另一种角度是以城市综合韧性评估的多层次研究为基础进行的^[19-21]。

脆弱性创始于地球科学领域对大自然灾害的一种研究,最初由 Timmerman^[22]提出,后应用于其他领域,如气候变化、生态等。互不相同的研究对象和学科对其概念的理解也是不一样的。例如,从自然灾害的“风险”角度来看,脆弱性可以理解为系统暴露于灾害及其不利影响之下。

本文基于城市韧性视角下综合宏观和微观的优势,综合考虑区域风险评估并融入部分建筑单体的风险因素,构建城市韧性视角下建筑遗产脆弱性环境风险评估模型,基于过往研究量化选择影响因素,并筛选掉一些不具有代表性、信息表达相似的量化因子。通过定性和定量评价进行标准化后,利用 ArcGis 软件将因子重分类,栅格计算器对其进行加权计算,根据加权评价法和自然灾害评估模型得出相应的脆弱性等级。

1 天津建筑遗产分布及灾害现状

1986 年天津被相关部门设立成历史文化名城,经历了 600 多年的城建历史和近代西方城规发展的租界,被人们被誉为“世界建筑博览会”。以各大历史租界为核心的西方外来文化对天津产生了极大的影响,随之而来的城市发展规划和城市构造导向产生了众多变数,使城市发展的中心从原来的老城转移到租界,天津成为中国华北地区第一个对外开放的城市。

1.1 建筑遗产分布概况

天津遗存建筑遗迹时间跨越较大,由中式和西式两种风格为主。中式风格建筑以具有传统风格的衙署、庙宇和传统民居为主,如独乐寺、广东会馆、文庙等;西式风格建筑基本由欧式古典主义、折中主义和现代主义等理念的近现代建筑构成,其中九国租界是其代表。天津建筑遗产包括文物保护建筑和历史风貌建筑,天津文物保护建筑现有 296 处,历史风貌建筑现有 875 处,如图 1 所示。

1.2 天津建筑遗产受害概况

刘敏^[23]在调研中统计,自 20 世纪 90 年代以

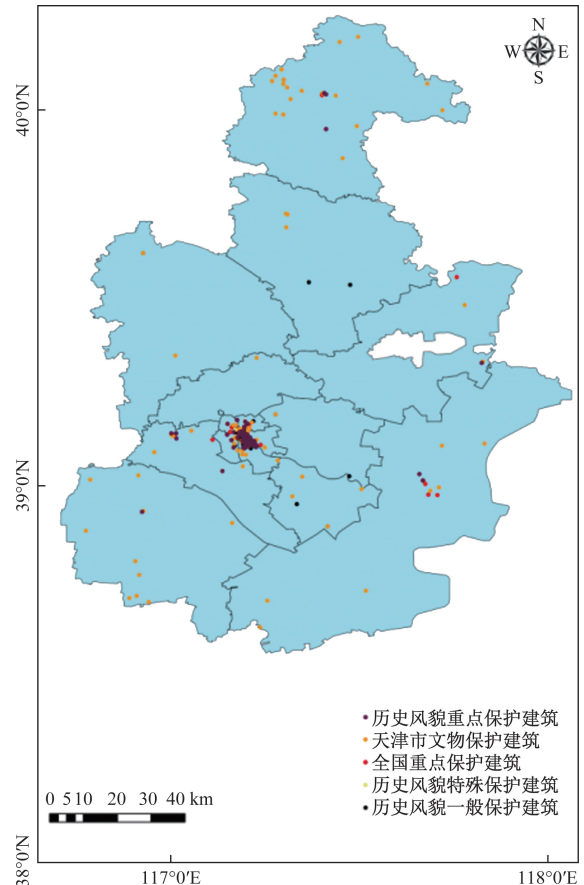


图 1 天津市辖区建筑遗产区位图

来,已有数百座历史建筑被拆除在老城厢内。其中历史价值较高的有 72 处建筑,其中有许多不可移动的重要文物,如天津县署旧址、城隍庙等。21 世纪初,受旧城改造、城市建设等众多因素影响,有近 10 处革命遗址在天津市消失。天津已经消亡了一块天津卫老城区,10 多处具有重大价值的历史风貌街道,8 处省部级文物保护单位。全国重点文保建筑也未能得到重视,如潘复旧居 2005 年因建地铁站拆除,现存旧居为后来复建。400 多个不可移动文物至今依然未能作为文物保护单位进行鉴定。城市在更新发展中有金刚桥、人民剧场等大型建筑物消失在人们的视野里。吕祖堂庙、李叔同故居和天津文庙等价值较高的文物遗产随之成为历史的泡影。

2 天津建筑遗产环境脆弱性风险评估体系构建

2.1 数据来源

研究所用到的数据包括路网数据、降水数据、土地利用数据、植被指数数据、建筑遗产数据、消防数据、数字高程模型(digital elevation model, DEM)数据、大气数据、地质灾害数据、降水数据及人口密度数据,其来源、用途和格式来源见表 1。

表 1 数据来源

资料类别	数据来源	格式	主要用途
路网数据	高德开放平台	矢量数据	提取道路信息
DEM 数据	地理空间数据云	栅格数据	提取高程、坡度、坡向
大气数据	天津市生态环境局	文本数据	提取年均 SO ₂ 、NO ₂ 浓度
地质灾害数据	天津市地震局	栅格数据	地质灾害分析
人口密度数据	landscan	栅格数据	人口密度分析
降水数据	国家青藏高原数据中心	栅格数据	提取年均降水量
土地利用数据	中国土地覆盖数据集	矢量数据	提取土地利用类型
植被指数数据	地理空间数据云	栅格数据	提取归一化差值植被指
建筑遗产数据	天津市文化和旅游局	文本数据	建筑遗产信息分析
消防数据	网络 POI 检索	文本数据	提取消防站点信息
建筑数据	网络数据整理	栅格数据	建筑密度分析

(1)路网数据。从高的开放平台获取天津市路网交通数据,按照不同等级道路的标准分级,得到研究区域的路网数据。

(2)DEM 数据。从地理空间数据云平台获取 5 m 空间分辨率的数字高程模型数据进行矢量裁剪和重采样,再利用 ArcGIS 工具箱的 [Aspect] 和 [Slope] 提取坡度和坡向。

(3)大气数据。通过天津市生态环境局在官网发布的近 3 年年度环保报告,收集天津市各行政区的 SO₂、NO₂ 近 3 年平均值作为大气数据。

(4)地质灾害数据。通过天津市地震局发布的天津市地质灾害分布图,根据分类导入 ArcGIS 中。

(5)人口密度数据。通过 landscan 网站获取最新天津市人口密度数据。

(6)降水数据。在国家青藏高原数据中心获取天津市各行政区近 3 年年均降水量,导入 AcrGIS 中利用工具箱数据处理得到降水数据。

(7)土地利用类型数据。在 ArcGIS 中对 1 km×1 km 的栅格数据进行重采样。

(8)植被指数数据。通过地理空间数据云取得植被原始数据,在 ENVI 软件中完成分析处理,同样,在该软件中利用 [Band Math] 工具计算归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)。

(9)建筑遗产数据。通过收集整理天津市文化和旅游局发布的数据,进行数据分类整理后导入 ArcGis 中取得研究区域的建筑遗产信息。

(10)消防数据。通过网络 POI(兴趣点)检索消防救援单位数据,导入 AcrGIS 中利用工具箱数据

处理得到消防数据。

(11)建筑数据。通过网络数据整理天津市辖区建筑数据,通过街区街道分类建筑数量、位置和层高等来汇总各个街区街道的建筑密度数据。

2.2 风险评估指标选取

城市韧性视角下的灾害风险包括自然灾害和人为灾害。自然灾害范围包括但不限于地震、洪水/内涝、山体滑坡等;人为灾害包括但不限于火灾、工业灾难、交通堵塞等^[22]。自然灾害也可能受人为灾害影响。人类行为和干预可以改变自然灾害的频率和强度。例如,人为引起的大气环境变化可改变一些极端自然灾害(如飓风)的概率和影响范围。建立以城市韧性视角下的建筑遗产评价指标选取原则、预设评价指标和删减补充评价指标为基础,针对以往研究中不同研究时期,以及不同规模的建筑遗产评价指标的研究分析,立足建筑遗产特点,最终确立建筑遗产环境脆弱性评价指标,包括了洪涝风险隐患、综合地形地质风险隐患、大气环境风险隐患、火灾风险隐患、交通设施风险隐患、建筑遗产价值风险隐患几个方面。

2.2.1 洪涝风险隐患

栾春风等^[24]基于自然灾害构建以致灾因子、孕灾环境等为评估因素的暴雨山洪灾害风险可视数据模型;李云燕^[25]基于健康水文理念对西南山地城市——重庆进行了水文程序采样分析,并构建了重庆市区应对暴雨山洪灾害的防范体系;本文筛选对建筑遗产环境影响较大的评价指标,即洪涝孕灾环境孕险性方面,包括近 3 年平均降水量、土地用地现状、河网密度、植被指数 4 个指标层。其中近 3 年平均降水量选取 2020—2023 年天津地区年降水数据。土地利用类型是反映土地利用性质及其分布规律的一种基础单位,也是反映洪涝的敏感程度的重要影响因素之一。参考陈萍等^[26]对不同土地利用类型赋值,根据城市建筑遗产所处不同土地利用类型对洪涝的敏感程度,将敏感性分为不同等级。河网密度通常可以用来评估该地块受暴雨洪水袭扰的影响等级^[27]。植被指数通常是对地层表面植被覆盖状况的一种简单高效测量方式。植被能够阻隔雨水,使雨水产生的地表径流速度减慢,并具有一定的蓄洪能力^[28]。

2.2.2 综合地形风险隐患

综合地形风险隐患选取了高程、坡度、地质隐患区,其中高程、坡度直接反映了地形条件,其值越大则遭遇的风险隐患越大,维护修缮难度也随之增

大。地质隐患区能够较好地体现各地区不同地质条件和人为活动造成的各种地质灾害风险。天津位于华北地块与燕山地块旋涡位错形成的边界断裂带上,华北地区4大地震带中有2条穿过并交汇于天津。其风险主要包括:①填海造陆地区由于人类工程活动强烈,且下伏为欠固结软土层,容易引发地面沉降。该区新生界松散层巨厚,受地下水长期超采影响,多位于深层地下水漏斗区。其地陷主要是一些人为因素造成的地质灾害,也有自然因素引起的地陷。②所处的地面沉降发育与处于地面沉降高易发区外围、深埋地下水位较深的高易发区之间是相互影响的。③突发性地质灾害为主,根据各处的地理条件不同,有着不同程度的风险。④地裂缝地质灾害为主,地裂缝多见于农田,走向无明显规律性,可见深度一般为0.2~1.0 m,地表裂口宽度一般1 cm到数厘米,地球物理勘查显示深度最大达到3.0 m,属于浅表发育地裂缝。⑤地下水超采程度比较低,地陷中地质灾害发育程度也比较低。

2.2.3 大气环境风险隐患

大气环境风险隐患评价指标的选取主要参考了徐梅等^[29]对近20年来天津市酸雨变化特点和长期趋势的统计分析,分析得出SO₂浓度和NO₂浓度在一定程度上影响了降水的酸性且与降水pH值呈负相关。本文指标层选取近3年年平均SO₂和NO₂浓度评估大气环境风险隐患。

2.2.4 建筑遗产价值风险隐患

在有关建筑遗产的风险评估中,关于建筑遗产本体价值的构建体系已经较为完善。王谦等^[7]在评价体系中立建筑遗产因素包括保护等级、几何特征等。王室程^[30]在中东铁路建筑遗产评定中选取了历史、艺术等因素。达桑等^[31]在古建筑安防风险评估指标体系中提出了环境风险、文物本体风险等5大风险。本文从建筑遗产环境角度出发,综合考虑建筑遗产环境、建筑遗产状况、文化遗产历史价值存在时间、遗产等级评定等情况,以遗产价值进行量化评定。

2.2.5 火灾风险隐患

建筑遗产火灾风险评估在学术界已较为成熟。马砺等^[32]以西安回民大街古建为例,构建了多个指标的古建筑火灾风险评价指标体系。晏风等^[33]以大中型城市为目标对象,进行了火灾风险概率评估。刘钺等^[34]在地理信息软件上利用多种地理空间分析方法进行风险评估并测算出火灾在空间上致灾因素。

本文在指标层的选取上,综合考虑了城市消防的特点以及建筑遗产的特殊性,选取消防重点单位覆盖范围、人口密度、建筑密度、土地用地现状等评价指标。消防站覆盖度体现了消防基础设施、人口密度、建筑密度、土地用地现状体现了城市区域特征,两者共同构建火灾风险隐患评估体系。

2.2.6 交通设施风险隐患

交通设施对建筑遗产风险隐患是多样的。袁玉卿等^[35]得出行驶速度、加速度与产生的振动呈正相关的结论,并提出古城墙与道路之间的安全距离。黄晓东等^[36]分析了交通设施施工会产生对毗邻建(构)筑物的风险因素的类型,确立了风险事件和级别。梁明晖等^[37]通过振动能量叠加计算方法得出地铁在不同运行速度和道路交通条件下的最大振动速度幅值,并对其影响规律进行分析。叶淙等^[38]提出以公共交通为导向的开发(transit-oriented developments, TOD)模式,通过公共交通如地铁、轻轨、车站等设施吸引人流量,提高设施地块周边地价,吸引投资者、开发商投资建设。现在的TOD模式大多围绕轨道交通大运量的站点进行集中式、高强度的开发。导致建筑地块的容积率呈快速上升趋势,建筑群中各类高层和超高层的比重上升较快。建筑高度迅速增高,会对文物环境造成较大影响,尤其是在文物周边环境破坏严重、文物生存环境急剧恶化的城市高密度、发展速度较快地区,极有可能在林立的高楼中被深埋。

在指标层的选取上,结合学界研究选取了城市快速道路振动影响、城市主要道路振动影响、轨道交通施工影响、TOD模式影响。

2.3 基于层次分析法确立各评估指标权重

采用高精度地图栅格进行脆弱性评估。为避免客观加权法和组合加权法因栅格数据失真而失去客观意义,或栅格计算量过大导致计算复杂性,故采用层次分析法确定各评估指标权重。

层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)常用于赋权各因数和指标^[39],通常是将较复杂问题高效拆解为不同层级,并在各因数层间比较计算不同因数的重要程度和权重。它的主要分析步骤是建立判断矩阵、计算重要性排对序列并通过一致性校验。

层次分析法判断矩阵采用1~9标度方法来确定,根据以往建筑遗产评审专家和建筑遗产保护研究者的相关知识积累和工作经验,采用专家评分的

方式,利用 SPSPRO 软件计算特征向量 M ,将各判断矩阵归一后得出相对权重 W_i ,经一致性比率 $CR \leq 0.1$ 反复比较调整,进行并通过了一致性校验。显示矩阵具有令人满意的一致性,即模型具有合理性和可接受性,其结果具有可信性。计算出的各项评价指标的权重见表 2,由于篇幅原因,对具体细项的数据内容进行了小幅删减。

为了消除指标性量纲因素对建筑遗产环境脆弱性结果的影响,特对所有指标性原始数据进行无量纲化处理,使指标值在 $[0, 1]$ 全部转换为区间值。

正向指标:

$$r_{ij} = (X_{ij} - X_{i,\max}) / (X_{i,\max} - X_{i,\min}) \quad (1)$$

负向指标:

$$r_{ij} = (X_{i,\max} - X_{ij}) / (X_{i,\max} - X_{i,\min}) \quad (2)$$

式中: X_{ij} 为第 i 个指标的原值; $X_{i,\max}$ 、 $X_{i,\min}$ 分别为城市韧性视角下建筑遗产环境脆弱性的第 i 个指标的最大值和最小值; r_{ij} 为第 i 个指标的标准化值。正向指标的数值越大则隐患随之成正比增长,反之负向指标数值越大则隐患随之成反比减小。

2.4 风险等级划分

指标有两种类型:定性指标和定量指标。对定性指标采取专家经验法直接分类赋值。对定量指标,基于相关研究进行量化数值划分,风险等级划分见表 3,对于评估指标在空间层面的量化处理、评分方法见表 4。

基于数据和学界研究在空间分析方法上选取了核密度分析、缓冲区分析法等对指标进行评估。

最后通过自然断点法分级赋值标准分类,分为高、较高、中、较低、低风险区域。

2.5 数据预处理

将表 2 的基础数据导入 ArcGIS 软件后,通过空间技术手段根据上文数据来源所述流程预处理后得出二级指标基础数据系列图,如图 2 所示。

2.6 综合评价模型

选用综合评价模型通过地理信息系统 (geographic information system, GIS) 测度城市韧性视角下建筑遗产脆弱性指数,具体计算公式为

$$V = \sum_{p=1}^m a_p \sum_{i=1}^n \omega_i r_{ij} \quad (3)$$

式中: V 为城市韧性视角下建筑遗产脆弱性指数; ω_i 为城市韧性视角下建筑遗产脆弱性评价指标体系中指标层的第 i 个指标权重占比; a_p 为评价指标体系中准则层的第 p 个指标权重占比; m 和 n 分别为指标体系中准则层和指标层的指标数。

表 3 风险等级划分

风险	风险说明	分数
低	风险水平可以接受,安全风险较小,持续改进	1
较低	风险水平基本可接受,存在普遍性安全隐患,增强风险管控	2
中	风险水平基本不可接受,存在较多安全隐患,加强风险管控	3
较高	风险水平不可接受,存在较大安全隐患,加强风险管控	4
高	风险水平不可接受,存在重大安全隐患,极有可能造成重大伤害,应及时整改	5

表 2 天津市建筑遗产环境脆弱性评估体系

评估目标	准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	属性	因子权重
基于城市韧性的建筑遗产环境脆弱性风险评估	洪涝风险隐患	0.172	近 3 年平均降水量	0.145	正向	0.025
			洪涝土地用地现状	0.078	正向	0.014
			河网密度	0.581	正向	0.100
			植被指数	0.195	负向	0.034
	综合地形风险隐患	0.205	高程	0.284	正向	0.058
			坡度	0.269	正向	0.055
			地质灾害隐患区	0.446	正向	0.091
	大气环境风险隐患	0.087	近 3 年年平均 SO_2 浓度	0.596	正向	0.052
			近 3 年年平均 NO_2 浓度	0.404	正向	0.036
	火灾风险隐患	0.193	消防重点单位覆盖度	0.390	负向	0.076
			消防土地用地现状	0.086	正向	0.017
			人口密度	0.360	正向	0.070
			建筑密度	0.159	正向	0.031
	交通设施风险隐患	0.162	城市快速道路振动影响	0.182	负向	0.030
			城市主要道路振动影响	0.181	负向	0.029
			轨道交通施工影响	0.476	负向	0.077
TOD 模式影响			0.161	负向	0.026	
建筑遗产价值风险隐患	0.179	建筑保护等级	0.775	正向	0.139	
		建筑修建年代	0.225	正向	0.040	

表 4 空间层面指标量化处理及评分细则

指标层	分数					分析方法
	1	2	3	4	5	
近 3 年平均降水量/mm	[17,40]	[40,57]	[57,71]	[71,86]	[86,111]	自然断点法
洪涝土地用地现状	雪/冰	灌木/森林	农田/草原	人造地面	水系	数理统计
河网密度	[0,10]	[10,25]	[25,40]	[40,55]	[55,+∞]	数理统计
植被指数	[-2 000,0]	[0,1 200]	[1 200,2 500]	[2 500,4 500]	[4 500,8 800]	数理统计
高程/m	[0,25]	[25,80]	[80,151]	[151,219]	[219,255]	自然断点法
坡度/(°)	[0,3]	[3,9]	[9,17]	[17,25]	[25,45]	数理统计
地质灾害隐患区	低易发区		中易发区		高易发区	数理统计
近 3 年年平均 SO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	[0,5]	[5,7]	[7,8]	[8,9]	[9,+∞]	自然断点法
近 3 年年平均 NO ₂ 浓度/(mg·m ⁻³)	[0,20]	[20,32]	[32,34]	[34,36]	[36,+∞]	自然断点法
消防重点单位覆盖度	低	较低	中	较高	高	核密度分析
消防土地用地现状	雪/冰/水系	农田	草原	灌木/森林	人造地面	数理统计
人口密度/(千人·km ⁻²)	[0,20]	[20,60]	[60,200]	200,400]	[400,+∞]	数理统计
建筑密度/%	[0,10]	[10,20]	[20,30]	[30,40]	[40,100]	数理统计
城市快速道路振动影响距离/m	[20,30]	[15,20]	[10,15]	[5,10]	[0,5]	缓冲区分析
城市主要道路振动影响距离/m	[12,15]	[9,12]	[6,9]	[3,6]	[0,3]	缓冲区分析
轨道交通施工影响距离/m	[20,30]	[15,20]	[10,15]	[5,10]	[0,5]	缓冲区分析
TOD 模式影响距离/m	[400,800]	[200,400]	[100,200]	[50,100]	[0,50]	缓冲区分析
建筑保护等级	历史风貌建筑 一般保护单位	历史风貌建筑 重点保护单位	历史风貌特殊 建筑保护单位	天津市文物 保护单位	全国重点 保护单位	核密度分析
建筑修建年代	1949 年至今		1912—1949 年		1912 年之前	核密度分析

3 环境脆弱性风险评估

3.1 指标层风险评估

通过表 4 的分析方法和相对应的量化分数,采取自然点间断法、数理统计法等方法分类分为 5 大区域。例如,在近 3 年平均降水量指标中,通过自然断点法将数据根据 1~5 分划分为[17,40]、[40,57]、[57,71]、[71,86]、[86,111]5 大区域,完成该指标的指标层风险评估。在洪涝土地用地现状指标中,根据数理统计法将雪/冰、灌木/森林、农田/草原、人造地面、水系按照风险等级不同根据 1~5 分划分为 5 大区域,完成该指标的指标层风险评估。以此往复得到所有指标层风险图,如图 3 所示。

3.2 准则层风险评估

由于洪涝风险隐患、综合地形风险隐患、大气环境风险隐患、交通设施风险隐患、建筑遗产价值风险隐患、火灾风险隐患的代表性均较强,指标之间具有一定的独立性,将所有标准化栅格因子层由 GIS 根据表 2 中的权重进行加权。该方法结合空间特征,将网格层中每个网格的量化值与相应权值相乘求和,并利用上文所述方法将结果划分为 5 类。例如,在洪涝风险隐患中,将近 3 年平均降水量、洪涝土地用地现状、河网密度、植被指数根据对应的影响因子 0.145、0.078、0.581、0.195 通过栅格计算器叠加计算后得到该准则层的风险评估,以此往复得到所有准则层风险评估,如图 4 所示。

洪涝风险隐患整体呈现以河流区域为核心的条形结构,其由地理环境结构决定。综合地形风险隐患整体呈现以北部山区为核心的集聚式结构。大气环境风险隐患整体呈现东南高、西北低的趋势,与城市化面积和区域污染源数量呈正比。交通设施风险隐患呈现以地铁站点为基础的局部面状结构、以城市道路和地铁线路为基础的线性结构。火灾风险隐患集中在人口密度较大区域。建筑遗产价值风险隐患主要体现在其密度较大的区域。

3.3 综合建筑遗产环境脆弱性风险评估

对 6 个准则层运用重分类并根据灾害风险评价模型,使用栅格计算器按照 6 个因子的权重值对其进行加权计算,最后根据上文叙述方法将天津市的建筑遗产环境风险分为 5 个脆弱等级区域,如图 5 所示。

天津建筑遗产低脆弱性地区覆盖面积占总脆弱地区面积的 36.06%,集中于天津市辖区中部、北部区域,但在北部山区也有中等脆弱区域和小面积的较高脆弱区域,如独乐寺、蓟州白塔、关帝庙、文庙等处于中等脆弱区域,围坊遗址处于较高脆弱区域。较低脆弱性区域覆盖面积占总面积的 34.39%,主要集中在天津市中南部区域,天津市人口、平原主要集中在这—区域,这也意味人口密度、地形地貌、脆弱性之间有着较强的关联性。中脆弱性区域覆盖面积占总面积的 25.06%,根据各要素

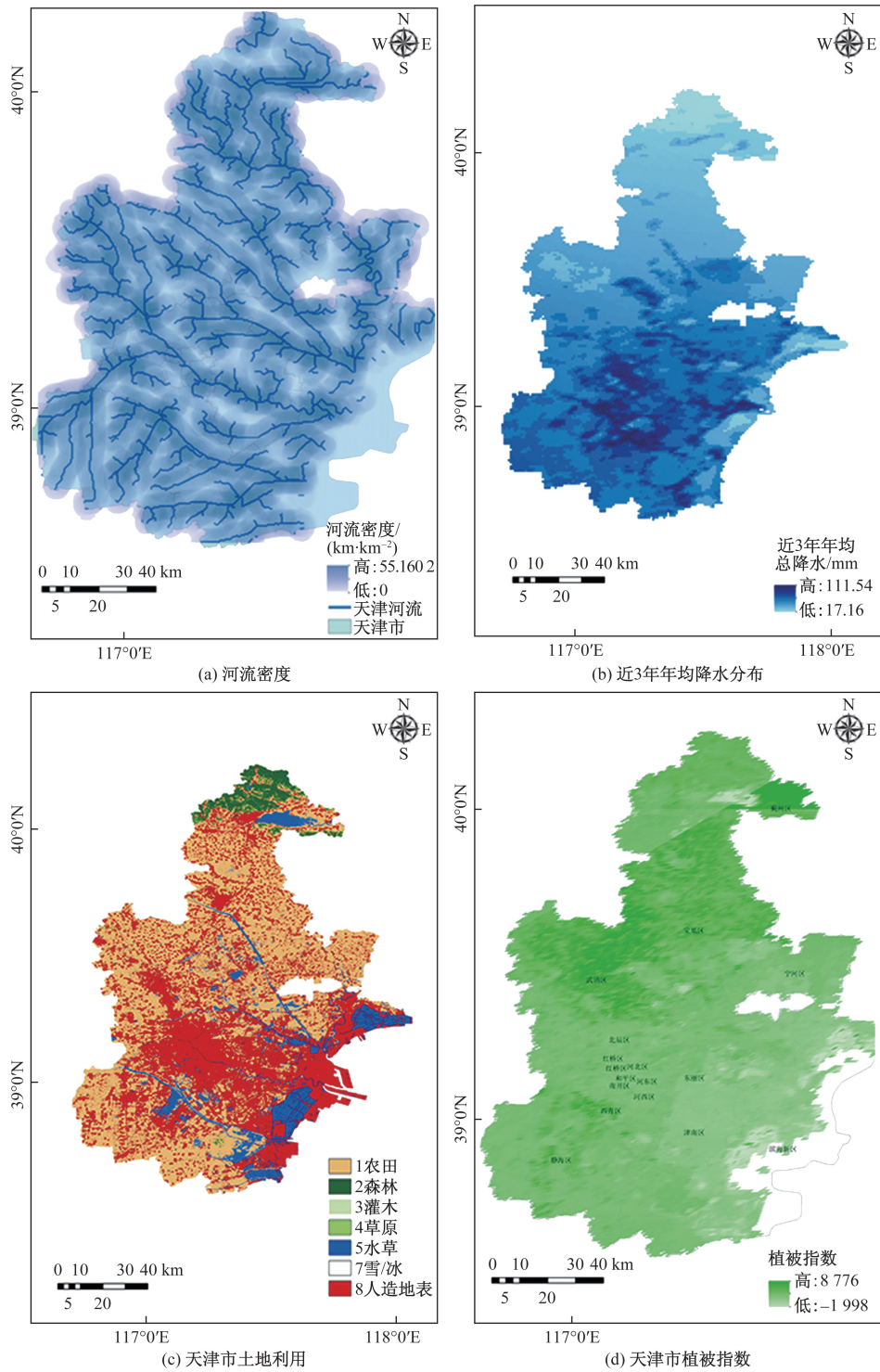


图2 二级指标基础数据系列图(节选)

呈分散分布。较高脆弱性区域覆盖面积占总面积的3.73%，集中在市内核心6区区域。高脆弱性区域集中在和平区，覆盖面积占总面积的0.75%，从图4中可以发现，建筑遗产风险高度集中在和平区，包括五大道历史风貌街区、古文化历史风貌街区、估衣街等街区，在全国重点文物保护单位中有42.3%汇集在和平区。多数建筑遗产位于市内6区

区域，意味着其在城市韧性环境脆弱性视角下有着较高或极高的风险。

3.4 基于城市韧性的建筑遗产保护管理模式探讨

梳理了基于城市韧性的建筑遗产环境脆弱性，包括洪涝风险隐患、综合地形地质风险隐患、大气环境风险隐患、火灾风险隐患、交通设施风险隐患、建筑遗产价值风险隐患几个方面。在传统的建筑

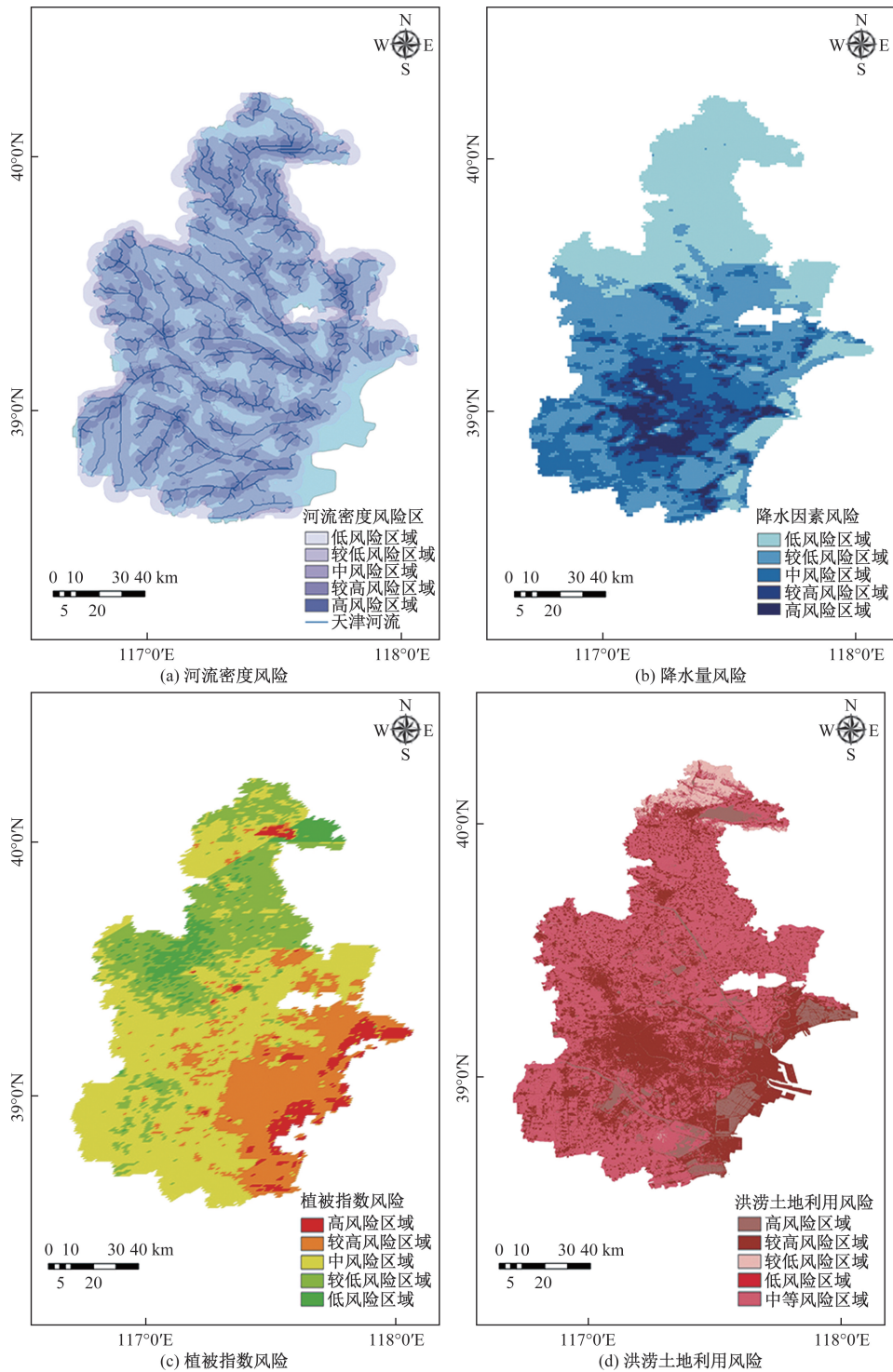


图 3 指标层评估风险系列图

保护管理模式上,主要基于原真性原则、完整性原则、文化性原则、安全性原则。

近年来,在国内城市韧性的概念也逐渐被接受。城市是一个涉及自然、基础设施、社会经济的集成复杂系统,各个因子间交错融合。基于此,借助夏方舟和李宇萌^[40]分析城市韧性所表现出的过程性,将城市韧性系统发展过程中的开发阶段、保

存阶段、释放阶段、重组阶段和发展阶段应用于建筑遗产环境脆弱性的范畴,划分出了“抵抗—吸收—疏解—恢复—创新”5个韧性阶段。

(1)抵抗阶段体现建筑遗产抵抗受到环境冲击、维持较完整及核心功能不受灾难性损坏的能力。例如,在受冲击前的抵抗阶段,建筑遗产不但要有完善的基础配套设施、良好的经济实力以及生

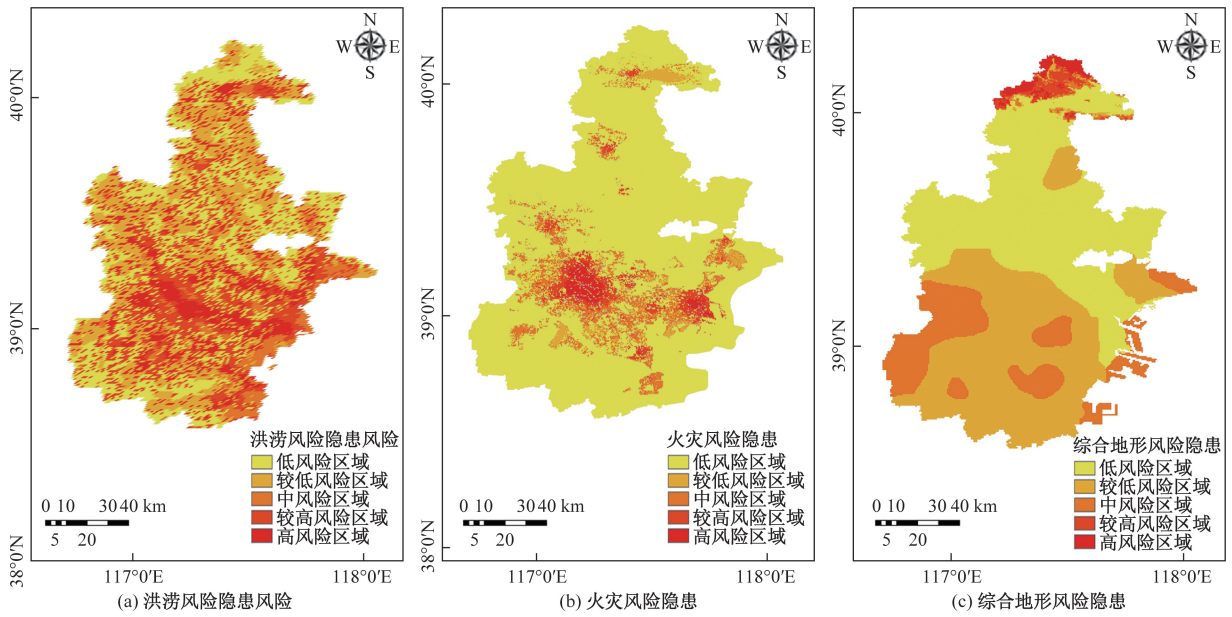


图4 准则层评估风险系列图

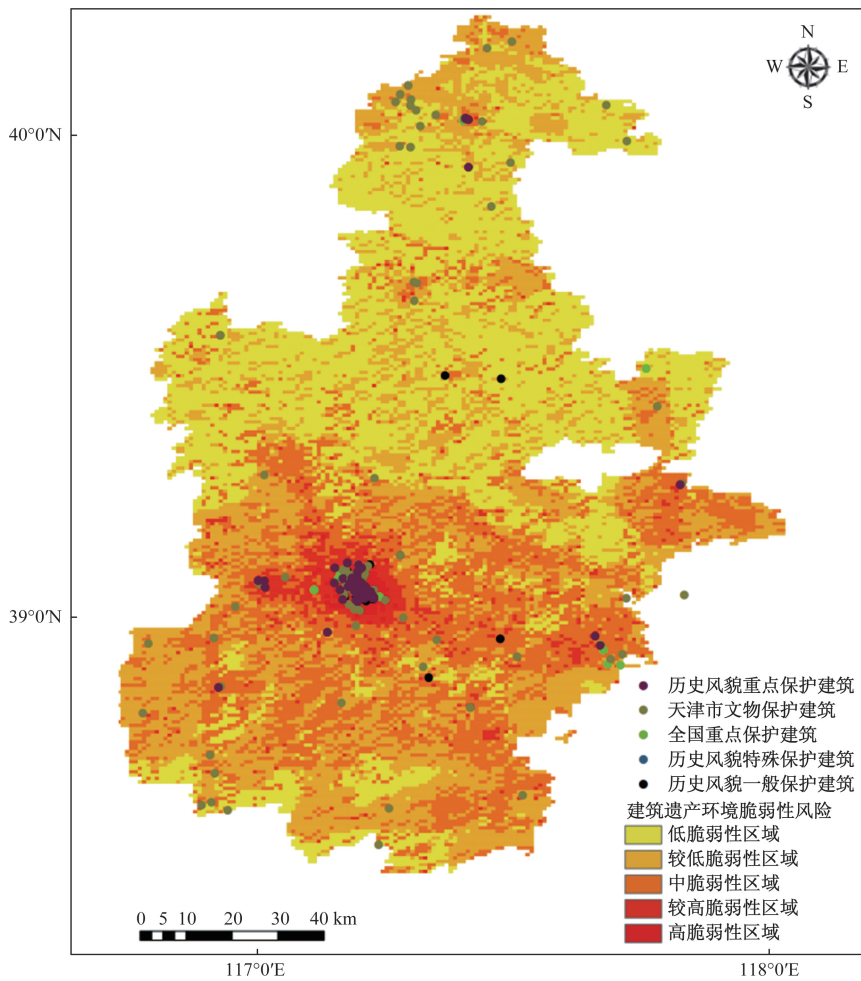


图5 建筑遗产环境脆弱性风险分区图

态环境抵抗能力,保护管理人员还应拥有良好的危机应对意识和能力。

(2)吸收阶段体现建筑遗产所具备的吸收干扰和破坏的能力,并能持续适应各种不确定性的影

响,维持各部门安全管理并运行。例如,建筑遗产应具有保障基本服务、建筑安全的能力,使得建筑遗产能够快速调整和重新规划,以达到适应新的环境和需求。

(3)疏解阶段体现冲击发生后,建筑遗产将受到的负面冲击通过城市的建筑遗产网络向周边地区建筑遗产传导的能力。例如,遭受冲击的建筑遗产将其压力转移至城市群内其他多个建筑遗产共同承担,以此缓解城市建筑遗产系统抵御冲击的压力。

(4)恢复阶段体现城市韧性下建筑遗产遭到破坏后,通过自我响应、调整、学习和总结经验,降低损失,使建筑遗产能快速恢复至初始状态或达到更高韧性水平的能力。例如,在恢复阶段,需要建筑遗产具备充足且灵活的经济、社会、自然等资源的支撑,以让建筑遗产适应不断变化的环境。

(5)创新阶段体现城市韧性下建筑遗产在冲击中适应、突破、重构并达到新的稳态,以更迅速应对干扰的能力。例如,建筑遗产通过学习、创新,进行路径突破和结构更新,从而面对更多不确定的未来机遇和挑战。

4 结论

寻找合适的建筑遗产保护管理模式是每一个国家的重要任务。建筑遗产是与人类生活密切相关的具有重要历史意义、历史价值的国家财富。同时,在全球化、商品化、信息化等时代潮流的影响下,世界经济环境和文化环境发生巨大变化。随着网络热点及其文化旅游功能的衍生,建筑遗产亦焕发出崭新的生机,展现出其独有的、可为当代所用的新时代价值。

城市韧性为建筑遗产抗风险能力提出了一种新的理念。本文通过提取城市韧性理念和专业人员访问谈话相结合的方法,提出了洪涝灾害隐患、综合地形地质隐患、大气环境隐患、火灾隐患、交通设施隐患、建筑遗产价值隐患等18个影响建筑遗产环境脆弱性因素,这对于当前学界建筑遗产风险评估的因素选取具有一定的参考价值。

在建筑遗产保护中,建议通过选取高权重影响因素进行优化与管控,进而缓解高脆弱性区域建筑遗产遭到损伤和破坏事故的发生。例如,增强各项风险指标检测、在车流量较大地段实施车流车速合理控制、增加工作人员、在山地区域增强地质检测和预报等,从而提升建筑遗产的抗风险能力。

参考文献

- [1] INGLEHART R, BAKER W E. Modernization, cultural change, and the persistence of traditional values[J]. *American Sociological Review*, 2000, 65(1): 19-51.
- [2] DIBBLE J, PRELORENDJOS A, ROMICE O, et al. On the origin of spaces: morphometric foundations of urban form evolution[J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2019, 46(4): 707-730.
- [3] UNESCO. Issues related to the state of conservation of world heritage properties: the impacts of climate change on world heritage properties[R]. Vilnius: World Heritage Committee, 2006.
- [4] 唐晓岚, 郭乃静. 意大利 RM 遗产风险地图管理方法及对我国长三角地区的启示[J]. *中国名城*, 2019(5): 42-48.
- [5] 常海青, 廖枢丹, 狄文莉, 等. 地铁规划建设与历史名城镇景观保护的互动影响分析[J]. *中国园林*, 2018, 34(S1): 11-14.
- [6] 何韶颖, 杨钰琪, 汤众, 等. 传统村落预防性保护研究: 以潮州市狮峰村为例[J]. *城市发展研究*, 2021, 28(11): 16-21.
- [7] 王谦, 杨昌鸣, 陆继广. 地铁施工影响下邻近建筑遗产安全风险评估[J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(23): 9615-9621.
- [8] MASCIOTTA M G, MORAIS M J, RAMOS L F, et al. A digital-based integrated methodology for the preventive conservation of cultural heritage: the experience of heritage care project[J]. *International Journal of Architectural Heritage*, 2019, 15(6): 844-863.
- [9] DHAR T K, KHIRFAN L. A multi-scale and multi-dimensional framework for enhancing the resilience of urban form to climate change[J]. *Urban Climate*, 2017, 19: 72-91.
- [10] AYYOOB S. Resilient urban form: a conceptual framework[M]. Berlin: Springer, 2018.
- [11] SHARIFI A. Resilient urban forms: a macro-scale analysis[J]. *Cities*, 2019, 85: 1-14.
- [12] RIBEIRO P J G, GONÇALVES L A P J. Urban resilience: a conceptual framework[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2019, 50: 101625.
- [13] JABAREEN Y. Planning the resilient city: concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk[J]. *Cities*, 2013, 79: 220-229.
- [14] MALLICK S K. Prediction-adaptation-resilience (PAR) approach: a new pathway towards future resilience and sustainable development of urban landscape[J]. *Geography and Sustainability*, 2021, 2(2): 127-133.
- [15] CARDONI A, NOORI A Z, GRECO R, et al. Resilience assessment at the regional level using census data [J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2021, 55: 102059.

- [16] 黄亚江,李书全,项思思. 基于 AHP-PSO 模糊组合赋权法的地铁火灾安全韧性评估[J]. 灾害学, 2021, 36(3): 15-20, 40.
- [17] 李亚,翟国方,顾福妹. 城市基础设施韧性的定量评估方法研究综述[J]. 城市发展研究, 2016, 23(6): 113-122.
- [18] 齐昕,张景帅,徐维祥. 浙江省县域经济韧性发展评价研究[J]. 浙江社会科学, 2019(5): 40-46, 156.
- [19] 郭羽羽,罗福周,钟兴润. 基于熵权-正态云模型的城市安全韧性评估研究[J]. 灾害学, 2021, 36(4): 168-174.
- [20] 刘彦平. 城市韧性系统发展测度: 基于中国 288 个城市的实证研究[J]. 城市发展研究, 2021, 28(6): 93-100.
- [21] 胡俊辉,刘丹凤,任利剑,等. 国外韧性城市形态研究述评[J]. 生态学报, 2024, 44(10): 4423-4436.
- [22] TIMMERMAN P. Vulnerability, resilience and the collapse of society: a review of models and possible climatic applications[R]. Toronto: Toronto Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 1981.
- [23] 刘敏. 天津建筑遗产保护公众参与机制与实践研究[D]. 天津: 天津大学, 2013.
- [24] 栾春风,时兆慧,赵人镜,等. 基于 GIS 技术的山地小城镇雨洪灾害风险评估[J]. 人民黄河, 2024, 46(5): 56-62, 67.
- [25] 李云燕. 健康水文视角下的西南山地多雨城市雨洪调控与规划应对[J]. 规划师, 2020, 36(14): 11-16.
- [26] 陈萍,王兴玲,陈晓玲. 基于栅格的鄱阳湖生态经济区洪灾脆弱性评价[J]. 地理科学, 2012, 32(8): 958-964.
- [27] 潘安定,刘会平,陈碧珊,等. 广州市洪水灾害危险性评价初步研究[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 23-28.
- [28] ZHANG Y, LI Z, XIU Y, et al. Microstructural characteristics of frazil particles and the physical properties of frazil ice in the yellow river, China[J]. Crystals, 2021, 11(6): 617.
- [29] 徐梅,祝青林,朱玉强,等. 近 20 年天津市酸雨变化特征及趋势分析[J]. 气象, 2016, 42(4): 436-442.
- [30] 王室程. 基于聚类分析的中东铁路建筑遗产保护研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [31] 达桑,仁青卓嘎,顿珠次仁. 古建筑风险要素分析及风险评估[J]. 建筑结构, 2023, 53(S2): 1773-1777.
- [32] 马砺,刘晗,白磊. 基于 AHP 和熵权法的古建筑火灾风险评估[J]. 西安科技大学学报, 2017, 37(4): 537-543.
- [33] 晏风,袁沙沙,徐匆匆,等. 基于 GIS 与网络分析协同的城市火灾风险概率评估[J]. 安全与环境学报, 2022, 22(3): 1147-1153.
- [34] 刘钺,董小珊,叶慧,等. 基于 GIS 空间分析的城市火灾风险评估: 以驻马店市中心城区为例[J]. 安全与环境学报, 2019, 19(5): 1540-1546.
- [35] 袁玉卿,张弦,樊兴伟. 道路交通振动对开封城墙的影响[J]. 噪声与振动控制, 2022, 42(6): 192-197, 246.
- [36] 黄晓东,李宝地,王旭,等. 地铁隧道盾构施工对邻近建(构)筑物的风险评估[J]. 公路, 2023, 68(10): 350-357.
- [37] 梁明晖,邹涛,钱春宇,等. 城市轨道交通对西安永宁门古城墙振动影响研究[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 92-98.
- [38] 叶淙,叶桢翔. 基于轨道交通 TOD 模式的城市空间新结构化[J]. 科技导报, 2023, 41(24): 66-73.
- [39] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报, 2008, 18(5): 149-153.
- [40] 夏方舟,李宇萌. 京津冀城市群城市韧性水平评估及障碍因子分析[J]. 北京联合大学学报(人文社会科学版), 2024, 22(3): 85-95.

Environmental Vulnerability Risk Assessment of Built Heritage Based on Urban Resilience: Taking Tianjin City as an Example

TAN Lifeng, CHEN Yongxin, WANG Qian

(School of Architecture, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: Under the background of rapid urbanization and industrialization, the risk of environmental damage to architectural heritage was increasingly exposed. Taking Tianjin as the research area, the advantages of macro and micro scale architectural heritage risk were comprehensively evaluated based on the environmental perspective of urban resilience. The construction heritage vulnerability environmental risk assessment system should be established with flood risk, comprehensive terrain and geological risk, atmospheric environment risk, fire risk, traffic facility risk and architectural heritage value risk as evaluation factors. Based on the past research, the quantitative factors were selected, and the spatial quantitative evaluation of geographic information system was used to screen 18 indicators and carry out correlation analysis. The research results show that the vulnerability areas of architectural heritage are highly concentrated in urban areas, and the influence of human factors is higher than that of natural factors. Generally speaking, the high vulnerability area is mainly concentrated in the peace area, which is distributed nuclear to the six districts in the city. Most of the architectural heritage is located in the six districts of the city, which has a high risk from the perspective of urban resilient environment.

Keywords: architectural heritage protection; risk assessment; GIS(geographic information system); Tianjin City; urban resilience