

# 基于多源数据的建筑综合风险评估与更新优化策略\* ——以福州市仓山区为例

Building Comprehensive Risk Assessment and Optimization Strategy Based on Multi-source Data: A Case Study of Cangshan District, Fuzhou

李苗裔 黄俐 党安荣 LI Miaoyi, HUANG Li, DANG Anrong

**摘要** 评估建筑安全是城市更新的重要基础环节,既往的建筑预警评估体系存在准确性低、主观性强、测度尺度有限的问题。以正处于快速发展阶段的福建省福州市仓山区为对象,应用PS-InSAR技术与机器学习相结合的方法测度建筑自身风险,划定高风险建筑集聚区;基于多源数据构建综合风险评估模型,实现多维度建筑风险评估,为城市开发建设提供量化分析路径。得出结论:PS-InSAR技术结合机器学习所得到的建筑自身风险符合实际情况,其结果可进一步快速、科学测定高风险建筑集聚区;综合社会经济因素与自然环境因素,结合实地调研,可分析不同风险区发展前景及更新次序,从而提出针对性的更新优化策略。

**Abstract** Evaluation of building safety is an important factor in urban renewal. The previous early warning evaluation system has problems of low accuracy, strong subjectivity and limited measure scale. Taking the Cangshan District of Fuzhou as the object, which is in the rapid development stage, the PS-InSAR technology combined with the machine learning method is used to measure the risk of building itself, and the high-risk building cluster area is defined. The comprehensive risk assessment model is constructed based on multi-source data to realize multi-dimensional building risk assessment and provide a quantitative analysis path for urban development and construction. It is concluded that the building risk obtained by PS-InSAR technology combined with machine learning is in line with the actual situation, and the results can further determine the high-risk building cluster area quickly and scientifically. The development prospect and renewal order of different risk areas can be analyzed by combining social and economic factors and natural environment factors and field investigation, so as to put forward targeted renewal and optimization strategies.

**关键词** 多源数据;PS-InSAR技术;建筑风险;城市更新

**Key words** multi-source data; PS-InSAR technology; construction risk; urban renewal

文章编号 1673-8985 (2022) 03-0038-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j. supr. 20220306

## 作者简介

### 李苗裔

福州大学建筑与城乡规划学院  
教授, 院长助理  
福建福大建筑规划设计研究院有限公司  
总经理(院长), myli@fzu.edu.cn

### 黄俐

福州大学建筑与城乡规划学院  
硕士研究生

### 党安荣

清华大学建筑学院  
教授, 博士生导师

## 0 引言

随着城镇化快速发展,我国城镇建筑的保有率逐年上升。然而按照建筑物的设计使用年限标准,我国有相当数量的房屋已进入寿命中期,极易产生安全隐患<sup>[1]</sup>。“又因建造过程追求高速度、低成本、人为原因的管理不善、近年自然灾害频发等原因”<sup>[1]</sup>,导致多地多次发生房屋倒塌事故,如福建长汀老旧房屋“6·3”坍塌、福建三明永安民房“7·17”坍塌等,造成严重人员伤亡与重大财产损失,对社会秩序与稳定造成严重影响。为此,建筑安全已成为城

市安全方面的重要课题之一。

建筑安全同时也关系着建设节约型社会和可持续发展等重要问题,是城市体检、城市更新的重要基础环节。2016年住建部门发文《住房城乡建设部关于进一步开展危险房屋安全排查整治工作的通知》提出要完善应急机制,对危险房屋实行动态监管,密切关注风险变化,防范倒塌事故发生。2021年6月24日,住房和城乡建设部召开进一步推进房屋安全排查整治工作视频会议,提出增强抓好房屋安全排查整治工作的责任感和紧迫感,坚决防

\*基金项目:国家自然科学基金“多源数据融合的城市外来人口识别及其职住空间特征研究——以福州市为例”(编号52008112)资助。



发生过的地质灾害影响范围来表征地质灾害风险。台风是指在太平洋海域发生的具有一定强度的热带气旋,因研究范围限制,福州市五区范围内仅有两座可公开查询到的气象监测站,无法从降雨量与风速对区县尺度进行台风风险判定,故选取近3年热带气旋数据结合DEM数据综合评定。本文统一使用墨卡托投影,将数据转换为WGS-1984墨卡托投影坐标系。

### 1.3 分析方法

#### 1.3.1 PS-InSAR技术结合机器学习方法排查建筑自身风险

应用PS-InSAR和机器学习相结合的技术,进行城区建筑物的精细化形变监测,可快速排查城区尺度建筑自身风险隐患(见图2)。基于建筑自身风险排查结果,进一步利用核密度与热点分析划定高风险建筑集聚区。

根据PS-InSAR原理,对于建筑物这类散射特性较为稳定的地物目标,可通过固定位置的多次雷达回波,得到一系列较为有效的观测值。利用N幅同一地区不同时期的SAR单视复数影像,实现计算连接图、生成差分干涉图对,识别选取PS点、相位解缠、去除相干误差、形变速率反演与地理编码7个步骤的智能化处理<sup>[9][14]</sup>,可精确测量符合条件的地物目标上某一点(探测出的点称为PS点)的三位空间位置及时序上的微小变化,监测精度在毫米量级,形成目标区域PS-InSAR形变数据库。结合建筑矢量框确定每栋建筑对应的PS点集合后,采用聚类算法,将PS点聚合,并选出最能反映建筑形变特征的1—2个聚类点开展后续分析。通过计算,可获取建筑物的高度信息和8项关键形变指标,基于建筑相关标准选择阈值,分别评估8项指标所对应的形变风险等级(见表2),进而综合评估建筑物形变风险等级。目前建筑自身风险评估的等级包括A、B、C、D这4个等级(见表3),当建筑物被划分为C级或D级时,开展现场踏勘或测量等后续工作,以此为基础划定建筑高风险集聚区。进一步筛选“值得关注”与“重点关注”建筑进行高风险建筑集聚区

范围划定,将筛选后的矢量建筑进行要素转点操作,计算其核密度,利用热点分析提取热值聚类区域,将其划分为高风险建筑集聚区。

#### 1.3.2 建立建筑综合风险评估模型

根据城市更新需求,从建筑自身风险、自然环境风险和社会经济风险3个维度,基于层次分析法构建建筑综合风险评估模型(见图3)。

##### (1) 指标体系构建

基于手机信令数据、土地利用类型、POI数据、自然环境数据等多源数据,构建建筑综合风险评估体系。综合国内外既有研究的城市风险评估体系,可知目前城市风险的研究主要集中于社会、经济、环境、制度维度<sup>[11][8]</sup>,<sup>[12]</sup>,结合城市更新实际需求,将准则层(主要风险源)定为建筑自身风险、社会经济风险和自然环境风险3类。准则层不仅突出建筑物自身方面的内容,还特别强调社会经济、自然环境带来的风险,例如在人员密集、土地价值高的地段,当建筑发生意外事故后所造成的损失程度也相应上升,故将社会经济和自然环境风险纳入指标体系对未来一定时期内城市空间布局优化工作具有实际意义<sup>[13]</sup>。指标层则包括建筑物异常形变、洪涝敏感性、地质灾害敏感性、台风敏感性、人口密度和土地价值6个单项评估指标。

##### (2) 指标权重计算

邀请福州市相关领域的5名专家(包括福州大学、福建工程学院、福建省建筑科学研究院3家单位)及15名从业人员(包括福建福大建筑规划设计研究院有限公司、福建省城乡规划设计研究院、福州市勘测院等多家单位)对指标进行一轮打分,运用层次分析法进行权重计算,得到各子系统和各指标分权重<sup>[14]</sup>(见表4),判断矩阵均通过一致性检验。建筑质量是导致建筑安全事故的主要原因。在本次评估中,建筑自身风险比重最大,占到57.14%。其次土地人口属性、灾害敏感性都在一定程度上加剧着该区域的建筑风险,二者比重分别为28.57%、14.29%。

##### (3) 指标计算及标准化处理

指标计算主要分为3步。①建筑自身风险评估具体步骤如1.3.1节所述。②社会经济风险包括

人口密度与土地价值两项评估指标。人口密度为基于手机信令数据处理后得到的250 m×250 m网格常住人口数,利用自然断点法将其分为5类,再借助GIS中的模糊隶属度工具将其数值归一化处理,转换得到人口密度栅格。土地价值为基于土地利用分类数据与POI数据判断。土地利用分类方面,按照其经济产出、造成的社会经济影响从高到低排序将建设用地划分为4个等级,其中一级包括公共管理与公共服务用地(A)、商业服务业设施用地(B),二级包括居住用地(R)、道路与交通设施用地(S)、公用设施用地(U),三级包括绿地与广场用地(G)、工业用地(M)、物流仓储用地(W),四级包括H4(特殊用地)、在建用

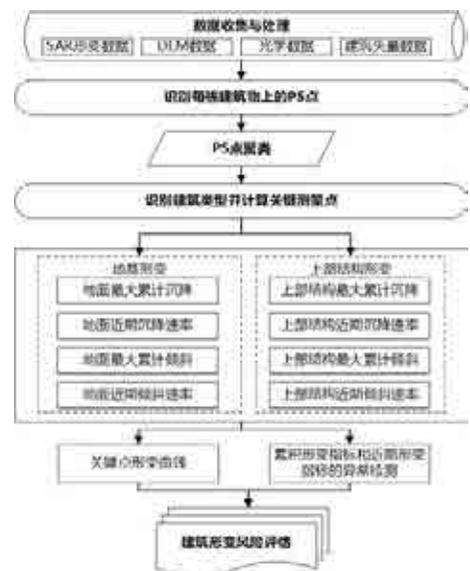


图2 建筑自身风险排查技术路线图

Fig.2 Technical roadmap of building risk investigation  
资料来源:笔者根据福州仓山建筑物潜在风险排查报告整理。



图3 建筑综合风险评估技术路线图

Fig.3 Technical roadmap of building comprehensive risk assessment

资料来源:笔者自绘。

地;POI数据筛选方面,亦选取经济产出高、社会经济影响大的设施类型,如学校、医院、酒店等,计算核密度,同上借助模糊隶属度工具归一化处理,叠加得到土地价值栅格。③自然环境风险结合福州实际情况,设置洪涝灾害敏感性、地质灾害敏感性和台风灾害敏感性3项评估指标。洪涝灾害敏感性基于河流矢量数据进行缓冲区分析,叠加由DEM数据得出的地形起伏度,转换得到洪涝灾害风险栅格。地质灾害敏感性为基于地震活动断层数据与历年来仓山区发生过的地质灾害数据进行缓冲区分析与叠加,转换得到地质灾害风险栅格。台风灾害敏感性为基于NOAA(美国国家海洋和大气管理局)近3年热带气旋数据进行缓冲区分析,叠加由DEM数据得出的地表粗糙度栅格,转换得到台风灾害风险栅格。

#### (4) 建筑综合风险评估模型构建

建筑综合风险是建筑物自身、自然环境和经济社会3方面综合作用的结果。

本文建筑综合风险指数计算表达式为:

$$BRI=B_1W_{A1}+B_2W_{A2}+B_3W_{A3} \quad (1)$$

式中: $BRI$ (Building Risk Index)为建筑综合风险指数; $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 分别表示建筑自身风险、自然环境风险、社会经济风险; $W_{A1}$ 、 $W_{A2}$ 、 $W_{A3}$ 分别表示对应权重。 $BRI$ 指数越高,代表该单位面积的风险越高,当意外发生时,造成的损失越严重。

基于GIS空间分析技术实现建筑综合风险指数的栅格化,再利用栅格转点工具以最近点为原则连接回建筑矢量框,可得到每一栋建筑的综合风险指数。基于自然断点法进行划分,可保证组间差异最大化、组内差异最小化,其划分原则适用于本文对建筑的风险分级,由此将建筑物综合风险划分为高、较高、中、较低、低5个等级。

## 2 实证研究

### 2.1 建筑自身风险评估

通过对建筑自身风险进行评估,可在建筑物尺度判定建筑质量,确定高风险建筑集聚区。对高风险建筑进行抽样调研,验证该技术

表2 分项关键形变指标阈值表

Tab.2 Threshold table of key deformation indicators by item

序号	等级	B级	C级	D级
1	地基3年沉降	18 mm	24 mm	48 mm
2	地基近期沉降速率	1.0 mm/mon	2.0 mm/mon	2.6 mm/mon
3	地基3年累积倾斜	1.0‰	1.5‰	3.0‰
4	地基近期倾斜速率	0.06‰/mon	0.08‰/mon	0.16‰/mon
5	上部结构3年累积沉降	18 mm	24 mm	48 mm
6	上部结构近期沉降速率	1.0 mm/mon	2.0 mm/mon	2.6 mm/mon
7	上部结构3年累积倾斜	1.0‰	1.5‰	3.0‰
8	上部结构近期倾斜速率	0.06‰/mon	0.08‰/mon	0.16‰/mon

资料来源:北京东方至远科技股份有限公司。

表3 建筑自身风险评估标准表

Tab.3 Standard table of construction risk assessment

序号	等级	说明	准则
1	A	安全	累计形变指标和近期形变指标均未超过阈值的60%
2	B	不稳定状态	累计形变指标和近期形变指标至少有1项超过阈值的60%
3	C	值得关注	累计形变指标和近期形变指标至少有1项超过阈值
4	D	重点关注	累计形变指标和近期形变指标全部超过阈值

资料来源:北京东方至远科技股份有限公司。

表4 指标权重计算结果

Tab.4 Calculation results of index weight

名称	权重	名称	权重	指标解释
建筑自身风险	0.5714	建筑物异常形变	0.5714	根据地基点沉降、地基倾斜、结构点沉降、结构倾斜形变参数超过阈值识别中高风险建筑
社会经济风险	0.2857	人口密度	0.1905	根据手机信令数据识别该地250 m×250 m网格常住人口密度
		土地价值	0.0952	根据土地利用分类及POI点密度综合判断不同功能的土地的实际价值
自然环境风险	0.1429	洪涝灾害敏感性	0.0402	结合河流水文因素、地形起伏度综合判断
		地质灾害敏感性	0.0472	结合历年地质灾害、地震活动断层受波及区域综合判断
		台风灾害敏感性	0.0554	结合热带气旋受波及区域、地表粗糙度综合判断

资料来源:笔者自制。

排查建筑自身风险的有效性。

根据1.3.1节的技术路线对仓山区每栋建筑的自身风险进行排查,其中约80%的建筑处于低风险,7%的建筑处于中风险,剩余13%的建筑处于高风险。基于各等级建筑物占比与风险权重,对仓山区各街镇建筑自身风险平均值进行计算与划分等级。结果显示,红星农场的平均风险值最高,建新镇的平均风险值最低,仓山区大部分街镇处于中风险区段。

从建筑物尺度看,中高风险建筑呈现一定的集聚现象,从建筑肌理可判断为城中村、城郊村居多,主要出现在盖山镇、螺洲镇、城门镇;从城区尺度看,仓山区建筑自身风险自西

向东呈现“低—高一低”的规律分布趋势,相邻街镇的风险较为接近(见图4)。风险值在中部区域达到顶峰,为红星农场与盖山镇,该区域建筑年代久远,存在较多老旧建筑。较高风险街镇主要分布在仓山区东部,包括城门镇与螺洲镇,该范围内还存在较多旧村,导致风险偏高。中低风险街镇主要分布在仓山区中西部,最低值出现在建新镇。随着闽侯县的迅速发展,仓山区西部成为闽侯县与主城区交接的主要枢纽地带,其既有洪塘大桥、橘园洲特大桥、浦上大道等主要桥梁工程,又有地铁2号线在金山街道内设的4个站点,可知该范围城市建设开发力度较大,老旧建筑翻新速度快,

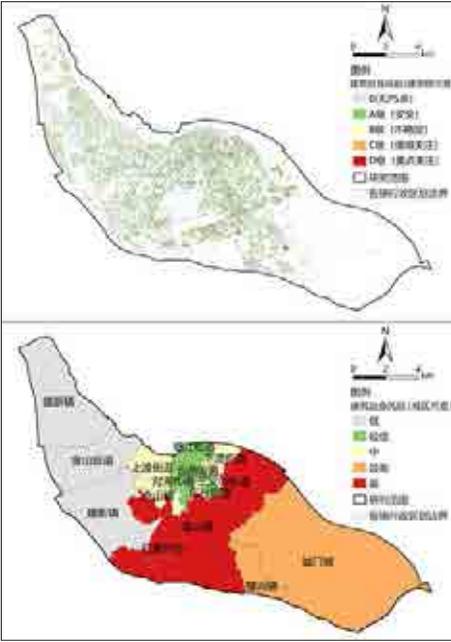


图4 建筑自身风险评估  
Fig.4 Building risk assessment

资料来源:笔者自绘。

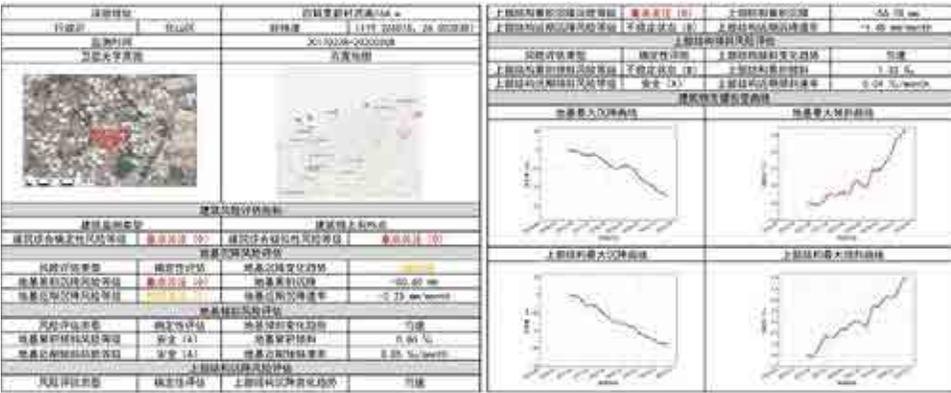


图5 建筑形变评估信息示例  
Fig.5 Example of building deformation index information

资料来源:笔者根据福州仓山建筑物潜在风险排查报告整理。

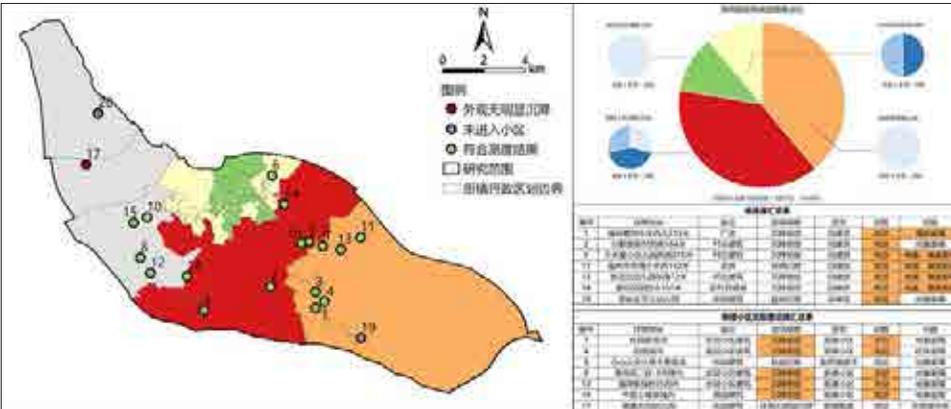


图6 高风险建筑实地调研情况  
Fig.6 Field investigation of high-risk buildings

资料来源:笔者自绘。

从而降低了仓山区西部的建筑自身风险。

对于由建筑自身风险评估得出的高风险建筑,可基于评估的8项关键指标生成建筑形变评估信息(见图5),进一步判定独栋建筑的具体风险。由于客观条件受限,无法对所有高风险建筑进行实地详细调研,仅从高风险建筑中随机选取20处进行实地调研并检验该技术的有效性,保证其抽取的建筑层数涵盖低层至高层,建筑用途涵盖住宅、办公等。由实地调研情况(见图6)可知,基于PS-InSAR技术与机器学习方法得到的建筑自身风险评估与实际情况较为相符。在20栋建筑中,除去未能进入小区的2栋建筑外,仅有1栋在调研过程中未发现外观明显形变。对所调研的高风险建筑类型进行分类,可看出其中自建房、新建小区及配套设施的占比相当,都高达38%。

笔者所调研的高风险建筑中,自建房多分

布在仓山区中部及东部,如盖山镇、城门镇等地,其层数较低,多为3层以下,大部分同时存在地基裂缝与墙面裂缝。农村自建房在初期建设时,因节省成本多为自行搭建,所用材料与建造过程都较为随意;加建现象严重,且在加建过程中结构混搭,更是加大了安全隐患<sup>[15]38</sup>。针对此类建筑,不仅应关注其结构的受力,也应同时注意砌体结构与构件的裂缝险情。所调研的高风险建筑中,新建小区及配套设施多分布在仓山区中部,如建新镇、盖山镇、螺洲镇等地,其中发生明显沉降的均为高层建筑,地基存在明显裂缝,墙表面情况良好。新建小区的建设单位主要为开发商,部分企业在建设过程中可能因为服务意识薄弱、企图降低成本等原因忽视建设质量。针对此类建筑,应重点关注地基的稳固性,定期观测其沉降值<sup>[16]</sup>,进行周期性形变监测。

进一步对C级、D级风险建筑进行处理,提取热值区域,共得到7处高风险建筑集聚区(见图7),均位于仓山区中部。其中4处覆盖范围较广,包含建筑较多;另有3处为小范围风险区。结合风险区所在的行政街道,将其命名为建新镇风险区、红星农场盖山镇风险区、盖山镇北部风险区、盖山镇中部风险区、盖山镇螺洲镇风险区、城门镇风险区、螺洲镇南部风险区。

## 2.2 建筑综合风险评估

通过对社会经济风险进行评估,可量化建筑风险发生时造成的财产与生命安全损失。根据1.3.2节计算方法,得到仓山区社会经济

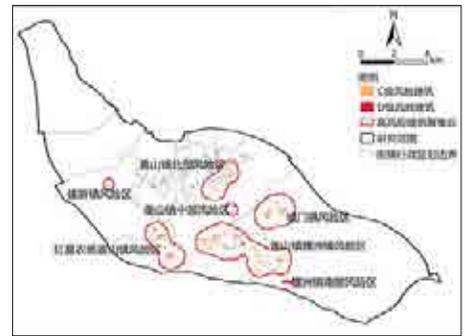


图7 高风险建筑集聚区划定  
Fig.7 Delineation of high-risk building cluster areas

资料来源:笔者自绘。

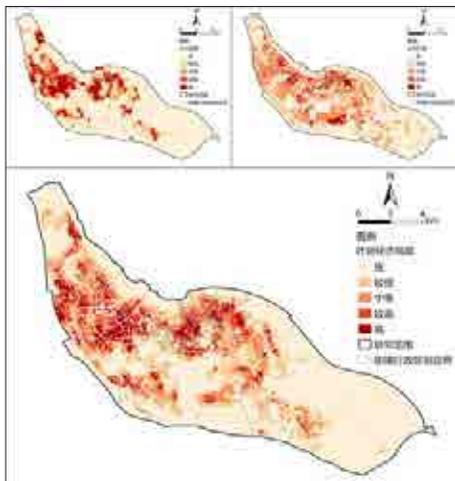


图8 社会经济风险评估  
Fig.8 Socio-economic risk assessment

资料来源:笔者自绘。

风险栅格(见图8)。经栅格平均值计算,社会经济风险排名靠前的街镇均集中在仓山区中北部,仓山区北部区域的社会经济风险明显高于南部区域。这与区域的开发程度有很大的关联性。社会经济中高风险区域与人口密度分布、功能混合度呈现一定的吻合趋势,如对湖街道、下渡街道、金山街道、临江街道,其为仓山区人口密集区,用地性质多为居住用地、商业用地,且大量人口集中于小面积土地。这些区域的建筑安全应备受关注。低风险类区域集中于东南部及中南部,如城门镇、螺洲镇、盖山镇,都处于初步发展阶段,其用地功能较为单一,且存在较多山体、水域,对应的人口密度也较低。

通过对自然环境风险进行评估,可对地区发生自然灾害风险的可能性进行量化分析,但因灾害的不确定性与不可预测性,此维度仅作为概率参考。根据1.3.2节计算方法可得出仓山区自然环境风险栅格(见图9)。从空间上看,仓山区自然环境风险整体较高,中等及以上风险栅格数占比达到64.5%,其风险等级沿岛的长边由北至南呈现3级递增的状态。

通过三维度共同测度所得的建筑综合风险评估结果,根据1.3.2节构建的建筑综合风险评估模型可得到仓山区建筑综合风险等级(见图10)。从建筑物尺度看,中高风险建筑数量在

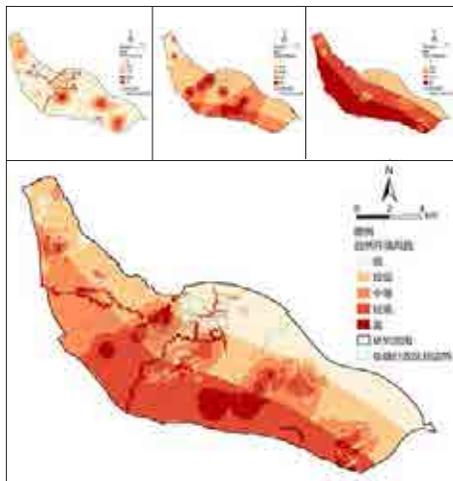


图9 自然环境风险评估  
Fig.9 Natural environment risk assessment

资料来源:笔者自绘。

各个街镇均明显增多。从城区尺度看,高风险街镇集中于仓山区中北部区域,风险值在中部的对湖街道达到最高,该区域既有极为丰富的教育资源,包括福建师范大学在内的11所大中专院校,也有数量相当的近现代历史建筑群;其次为下渡街道、金山街道、仓山镇、红星农场、临江街道、上渡街道,这些街镇在空间位置上均较为紧邻。风险值较低的街镇主要分布于两翼,其中最低值出现在螺洲镇。

### 2.3 更新优化策略

通过探究建筑自身风险与建筑综合风险两种测度结果,在一定程度上可为城市更新的风险范围划定、确定更新次序、确定具体更新方式3大环节提供参考,有助于明确造成建筑风险的具体成因,做到小规模、渐进式有机更新和微改造。

对于建筑自身风险测度出的高风险建筑,建议根据PS点判定出的具体风险进行相应的动态化监测。其中对于自建房类型的高风险建筑,建议长时序监测其沉降差异与构造情况,从而判断受力承载水平和砌体结构构件裂缝险情,对房屋存在的危险点合理加固<sup>[15][39]</sup>,条件允许的情况下尽量翻建,同时需培养村民建筑安全意识,提高建造标准。对于新建小区及配套类型的高风险建筑,建议重点关注地基

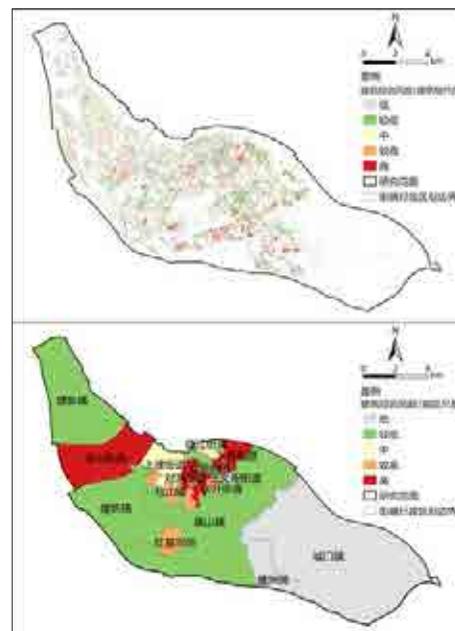


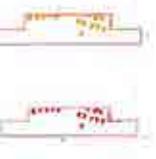
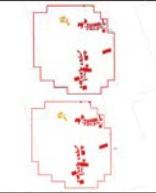
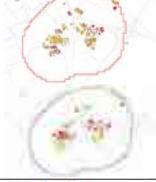
图10 建筑综合风险评估  
Fig.10 Comprehensive building risk assessment

资料来源:笔者自绘。

的稳固性,对于已建成的高层建筑应根据沉降值分析变形规律,根据变化趋势及速率来采取相关预防措施<sup>[16]</sup>;对于仍在施工的高层建筑,应通过沉降数据稳健地进行施工以消除微幅沉降,防止日后投入使用后建筑产生倾斜、沉降等危险变化<sup>[17]</sup>。

对建筑自身风险划定的建筑高风险集聚区进一步分析,通过对比其自身建筑风险与建筑综合风险结果,可看出多数风险区两者结果均存在差异。针对各风险区展开实地调研,对其建筑类型、总体特征、物质环境、聚居人群等情况进行分析<sup>[18]</sup>,结合风险测度结果判断其发展前景与更新策略(见表5)。对于优先更新的4个风险区,建议建新镇风险区优先考虑土地功能置换、拆除简易厂房;建议盖山镇螺洲镇风险区与螺洲镇南部风险区重视防灾预警工程建设,前者整体社会经济风险较高,应在此基础上再向周围低风险街镇进行人口疏导,后者建筑数量较少,根据其PS点分析可知其累积沉降风险极高,应再重点关注高风险建筑物的地基稳定性;建议盖山镇中部风险区加大人才住房和保障性住房的配建力度。对于次级更新的两个风险区,建议城门镇风险区先挖掘埋

表5 仓山区高风险建筑集聚区分析结果与更新优化策略  
Tab.5 Analysis results and update optimization strategy of high-risk building cluster area

风险区类型	名称	总体特征	物质环境	发展前景	建筑自身风险与综合风险测度结果	更新优化策略
	建新镇风险区	位于较先城市化的路段，但附近并无完整公共服务配套，整体房租低廉，人流量较大，多为工厂工人	建筑多为汽修厂厂房及制造业公司厂房、物流仓库，建筑层数低，结构简单，面积体块较大，空地较多	建筑多为临时厂房，质量堪忧，且因区域内社会经济与自然环境风险均高，建议考虑土地功能置换		
风险区类型 I: 建筑综合风险高于建筑自身风险	盖山镇螺洲镇风险区	中部正处于更新改造阶段，环境优美，交通便捷，两侧则为城郊村。聚居人群多为本地居民，生活条件良好	片区中部存在部分安置房，自建房建筑肌理良好，住区绿化、道路等条件均较好；片区两侧村庄密集民房众多	片区整体社会经济风险较高，建议向周围低风险街镇进行人口疏导，西部自然环境风险高，建议注重防灾预警工程建设		
	螺洲镇南部风险区	位于城区边缘地带，居住环境较好，交通便捷。聚居人群多为对生活要求质量较高、收入水平较高人群	建筑为低层住宅，容积率低，建造年代较新	其容积率极低、容纳户数低，但自然环境风险和建筑自身风险均较高，建议重点关注建筑地基稳定性，重视防灾预警工程建设		
风险区类型 II: 建筑综合风险、建筑自身风险测度结果接近，且二者均高	盖山镇中部风险区	周边正处于更新改造阶段，存在居住小区与工业园区、城中村等。人员较为混杂，流动性强，文化差异大	建筑多为城中村自建房，体量较小，多为多层，环境杂乱	建筑自身风险与综合风险均较高，周边开发建设条件较为成熟，建议加大人才住房和保障性住房配建力度，满足多层次、多样化的住房需求		
风险区类型 III: 部分区域建筑综合风险高于建筑自身风险	城门镇风险区	虽然位于城区边缘位置，但周边地区城市化均较为成熟，交通便捷。有一定的人口流失现象，居民居住时间较长，地缘认同感较强	建筑多为城郊村自建房，建筑层数较低，有基本的生活配套与宗教信仰建筑	部分地段人口流失及自然环境风险较低，建筑综合风险呈现中部与四周的两级分化状态，建议先挖掘村特色文化与传统		
	红星农场盖山镇风险区	位于较为偏僻的边缘地带，为城郊村，周边有大量工业企业入驻。当地原居民或外来流动务工人员居多	建筑多为城郊村自建房及简易棚户屋，缺少规划导致宅院、道路分布凌乱，部分建筑存在加建现象	部分建筑质量存在极高风险，其旧住宅与道路肌理延续价值较低，建议先采用利益引导、产业转移等方式进行区域人口疏导		
风险区类型 IV: 建筑综合风险低于建筑自身风险	盖山镇北部风险区	周边地区城市化均较为成熟，多为居住小区，其建造时间较早。聚居人群多为本地居民	建筑多为居住建筑，包括老旧小区与城中村自建房，居住环境单调，公共活动场所较少	状态较稳定，除部分体量极小的建筑仍为高风险，其余综合风险均较低，建议先对道路等资源进行梳理		

资料来源:笔者自制。

存村的特色文化与传统,红星农场盖山镇风险区则优先采用利益引导、产业转移等方式进行区域人口疏导<sup>[11][10]、[19]</sup>。对于暂缓更新的盖山镇北部风险区,其大部分建筑的综合风险等级较低,建议优先对道路进行整改,利用智能化设

备更新老旧小区,提升居民的居住体验感。

### 3 结论与讨论

在城市发展从增量向存量转型的背景下,本文基于多源数据,利用PS-InSAR技术与机

器学习相结合的方法测度建筑自身风险,划定高风险建筑集聚区,通过实地抽样调研验证了该方法的有效性。并从多维度建立建筑综合风险评估模型,评估仓山区建筑综合风险等级,根据评估结果提出更新优化策略,一定程度上

为城市更新基础工作提供了量化参考依据,以数据实证提高设计的科学性<sup>[20]</sup>。

本文的研究结果具有一定的现实意义,以定量城市分析为驱动,为城市更新的基础环节提供科学支持。但还存在以下不足:其一,利用PS-InSAR技术获取的大范围建筑自身风险识别结果仅为数据分析,本文通过抽样检测验证了该技术的有效性,但若需确定每一栋建筑物风险等级的准确性,还需和所有建筑的实地调研结果进行综合研究<sup>[21]</sup>,未来的研究重点将放在结合风险识别结果批量布设地面传感设备,通过空地一体化建筑预警技术来代替人力检测其准确程度。其二,由于涉及自然环境风险的相关数据有限,仅能粗略地评估各类灾害敏感性<sup>[22][52]</sup>,精确度较低,未来的研究重点将放在对指标系统的完善方面,同时避免多源数据的有偏性,以期构建更加精细与合理化的风险评估模型<sup>[22][57]</sup>,更加贴合城市的实际情况。■

(感谢北京东方志远科技股份有限公司在InSAR基础数据收集与处理方面提供的支持。)

## 参考文献 References

- [1] 钟兴润. 既有房屋建筑物安全性评价及其管理研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2010.  
ZHONG Xingrun. Research of the safety evaluation of existing buildings and management[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.
- [2] 周婷婷,熊茵. 基于存量空间优化的城市更新路径研究[J]. 规划师, 2013, 29 (z2):36-40.  
ZHOU Tingting, XIONG Yin. Inventory optimization of land use and urban renewal[J]. Planners, 2013, 29(z2): 36-40.
- [3] 徐进亮,吴群. 历史建筑价值评价关键指标遴选研究——以苏州历史民居为例[J]. 北京建筑工程学院学报, 2013, 29 (2) :7-11, 31.  
XU Jinliang, WU Qun. Selection of key indicators of historic building value assessment: a case study of historic buildings in Suzhou[J]. Journal of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2013, 29(2): 7-11, 31.
- [4] 欧阳卓. 存量开发导向下旧城片区更新策略研究[D]. 西安:长安大学, 2016.  
OUYANG Zhuo. Research on urban renewal strategy of built-up area under the development of inventory[D]. Xi'an: Chang'an University, 2016.
- [5] 袁春燕. 城镇房屋安全管理与应急体系研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2008.  
YUAN Chunyan. Researches on the system of the existing building safety and crisis management in city[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2008.
- [6] 焦立川. 城镇既有房屋建筑物安全管理研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2010.  
JIAO Lichuan. Research on the safety management of the existing building in city[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2010.
- [7] 王英,蔡乐刚,陈洋. 多层次的房屋安全综合评估模型及应用[J]. 建筑结构, 2017, 47 (z1) :987-992.  
WANG Ying, CAI Legang, CHEN Yang. Study and application of the comprehensive evaluation model for the safety evaluation of existing buildings[J]. Building Structure, 2017, 47(z1): 987-992.
- [8] 沈体雁,何飞,史雪静,等. IDI风险管理新技术探索——基于InSAR技术的建筑形变风险评估[J]. 上海保险, 2019 (7) :47-51.  
SHEN Tiyan, HE Fei, SHI Xuejing, et al. Exploration of new technology of IDI risk management: risk assessment of building deformation based on InSAR technology[J]. Shanghai Insurance Monthly, 2019(7): 47-51.
- [9] 常占强,官辉力,张景发,等. D-InSAR与PS-InSAR的理论模型、技术特点及应用领域[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2008 (1) :113-116.  
CHANG Zhanqiang, GONG Huili, ZHANG Jingfa, et al. Theoretical models characteristics and suitable applied areas for D-InSAR and PS-InSAR[J]. Journal of Hebei Normal University (Natural Science Edition), 2008(1): 113-116.
- [10] 徐敏,王成晖. 基于多源数据的历史文化街区更新评估体系研究——以广东省历史文化街区为例[J]. 城市发展研究, 2019, 26 (2) :74-83.  
XU Min, WANG Chenghui. Research on the evaluation system of historical and cultural block renewal based on multi-source data: taking the historical and cultural blocks of Guangdong Province as an example[J]. Urban Development Studies, 2019, 26(2): 74-83.
- [11] 李亚,翟国方. 我国城市灾害韧性评估及其提升策略研究[J]. 规划师, 2017, 33 (8) :5-11.  
LI Ya, ZHAI Guofang. China's urban disaster resilience evaluation and promotion[J]. Planners, 2017, 33(8): 5-11.
- [12] 李彤玥,牛品一,顾朝林. 弹性城市研究框架综述[J]. 城市规划学刊, 2014 (5) :23-31.  
LI Tongyue, NIU Pinyi, GU Chaolin. A review on research frameworks of resilient cities[J]. Urban Planning Forum, 2014(5): 23-31.
- [13] 赵明. 建筑房屋结构的安全评价体系研究[D]. 焦作:河南理工大学, 2019.
- [14] 邵任薇,陈绮珊. 城市更新社会排斥风险评估[J]. 城市问题, 2019 (7) :77-85.  
SHAO Renwei, CHEN Qishan. Risk assessment on social exclusion in urban renewal[J]. Urban Problems, 2019(7): 77-85.
- [15] 朱伯肃. 关于农村自建房现状及房屋安全的思考[J]. 福建建材, 2016 (7) :38-39, 52.  
ZHU Bosu. Reflections on the current situation and housing safety of rural self-built houses[J]. Fujian Building Materials, 2016(7): 38-39, 52.
- [16] 付凤扬,韩秀娟. 高层建筑物沉降变形监测及相关数据处理分析[J]. 中华建设, 2014 (4) :124-125.  
FU Fengyang, HAN Xiujuan. Settlement deformation monitoring and related data processing analysis of high-rise buildings[J]. China Construction, 2014(4): 124-125.
- [17] 乔淑荣. 高层建筑物沉降观测及成果分析[J]. 工程勘察, 2003 (3) :61-63.  
QIAO Shurong. Settlement observation and analysis on high rising building[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2003(3): 61-63.
- [18] 罗仁朝,王德. 上海市流动人口不同聚居形态及其社会融合差异研究[J]. 城市规划学刊, 2008 (6) :92-99.  
LUO Renchao, WANG De. A study on the difference of social integration of the different floating population aggregation types in Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2008(6): 92-99.
- [19] 徐江,邵亦文. 韧性城市:应对城市危机的新思路[J]. 国际城市规划, 2015, 30 (2) :1-3.  
XU Jiang, SHAO Yiwen. Resilient cities: a new shift to urban crisis management[J]. Urban Planning International, 2015, 30(2): 1-3.
- [20] 龙瀛,沈尧. 数据增强设计——新数据环境下的规划设计回应与改变[J]. 上海城市规划, 2015 (2) :81-87.  
LONG Ying, SHEN Yao. Data augmented design: urban planning and design in the new data environment[J]. Shanghai Urban Planning Review, 2015(2): 81-87.
- [21] 金艳,高晓雄,胡琼,等. InSAR技术的城市建筑形变风险评估[J]. 测绘科学, 2021, 46 (10) :76-79, 107.  
JIN Yan, GAO Xiaoxiong, HU Qiong, et al. Risk assessment of urban buildings based on InSAR technology[J]. Science of Surveying and Mapping, 2021, 46(10): 76-79, 107.
- [22] 吴舒祺,赵文吉,王志恒,等. 基于GIS的洪涝灾害风险评估及区划——以浙江省为例[J]. 中国农村水利水电, 2020 (6) :51-57.  
WU Shuqi, ZHAO Wenji, WANG Zhiheng, et al. Assessment and zoning of flood disasters risk based on GIS: a case study of Zhejiang Province[J]. China Rural Water and Hydropower, 2020(6): 51-57.