

面向不可移动文物的地震灾害风险评估 ——以福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻为例^{*}

徐 灏 黄智卿 官阿都[†] 巴婉茹

(北京师范大学地理科学学部, 遥感科学国家重点实验室, 环境遥感与数字城市北京市重点实验室,
环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 100875, 北京)

摘要 以福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻为例, 基于区域自然灾害系统理论, 从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性以及文物本体脆弱性 3 个方面, 构建不可移动文物的地震灾害风险评估指标体系, 结合对文物的实地调查, 采用综合指数法、熵权法、专家打分法等计算得到福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻的地震灾害风险值, 并利用自然断裂法划分风险等级. 结果表明: 1) 福建省地震灾害致灾因子危险性呈现南高北低的态势, 较高危险性的地区占福建省总面积的 1/3 左右; 2) 福建省地震孕灾环境敏感性内陆地区较高, 沿海地区较低, 山地区域敏感性最高; 3) 福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻中, 有 66% 左右处于中等风险及以上, 其中鼓山摩崖石刻脆弱性最高, 需予以高度重视.

关键词 地震灾害; 风险评估; 不可移动文物; 指标体系; 熵权法

中图分类号 X43

DOI: 10.12202/j.0476-0301.2022076

0 引言

我国是世界文物大国, 又是灾害多发国家. 据第 3 次全国文物普查显示, 我国现有不可移动文物逾 76.67 万处, 其中全国重点文物保护单位 5 058 处, 世界遗产 55 项^[1]. 近 20 年来, 全球范围内重大灾害发生的频次和造成的损失呈逐步上升趋势, 严重威胁到文物资源的保护和传承, 部分重要文物被破坏损毁, 其历史、艺术和科学价值部分受损或完全丧失, 造成了不可估量的损失. 在各类灾害中, 地震灾害是造成经济损失和人员伤亡较大的灾害类型, 2008—2015 年, 我国共有 101 处全国重点文物保护单位、227 处省级文物保护单位、981 处市县级文物保护单位遭到地震损毁^[2]. 因此, 针对不可移动文物进行地震灾害风险评估, 对于我国的文物保护至关重要.

国内外在灾害风险方面的研究已经十分成熟, 早在 1996 年, 史培军^[3]就提出了区域灾害系统理论, 许多学者以此为基础进行了地震灾害风险评估^[4-9]; 在研究方法中, 以构建指标体系、利用层次分析法和综合指数法为主^[5-9], 也有部分学者提出模糊理论^[10]、神经网络^[11]、深度学习^[12]、数值模拟^[13]等方法. 众多的

地震灾害风险评估中以人^[5, 7, 14-15]、建筑^[5, 16]、经济^[5, 8]等为受灾对象的研究为主, 以面向不可移动文物的研究则很少.

在文物保护研究方面, 专家学者的研究重点主要集中于文物的自身病害、老化以及腐蚀问题. 一些学者通过遥感监测技术实施对文物的保护, 获得文物的状态^[17], 或是通过影像数据对文物进行三维重建^[18]. 数字化修复技术^[19]也是文物保护中常用的手段, 有专家利用数理统计、ArcGIS 空间分析等方法对文物的分布特征和空间格局进行研究^[20-22]. 然而, 正如刘婷所言^[23], 目前将灾害考虑到文物保护中的研究并不多见, 许多专家学者提出了文物灾害管理和应急的方案、建议及问题^[2, 24-25], 但对文物进行定量化评估的研究却甚少.

由此可见, 虽然目前国内外的地震灾害风险评估研究和文物保护研究都较为成熟, 但利用指标体系法将二者相结合进行风险评估的研究比较少. 已有的少数考虑自然灾害的文物保护研究中, 普遍针对是否形成损害的情况及程度等进行调查分析, 没有进一步分析未来文物受损的风险大小. 为弥补该领域研究的空白, 本文以石窟寺及石刻为例, 提出了一种面向

^{*} 国家重点研发计划课题资助项目(2019YFC1520801)

[†] 通信作者: 官阿都(1976—), 男, 博士, 副教授. 研究方向: 灾害遥感、城市遥感研究. E-mail: gad@bnu.edu.cn

收稿日期: 2022-03-25

不可移动文物的地震灾害风险评估方法。

1 研究区及数据

1.1 研究区概况 福建省位于中国东南部沿海地区,山地、丘陵占全省总面积的 80% 以上,陆地面积约为 12.14 万 km²[26]。现存有大量文物,资源丰富,全国文物普查结果显示,福建省拥有 169 处全国重点文物保护单位,881 处省级文物保护单位,4 764 处市、县

(区)级文物保护单位。其中全国重点文物保护单位石窟寺及石刻,包含西资寺石佛造像(第 7 批)、草庵石刻(第 4 批)、九日山摩崖石刻(第 3 批)等共 9 处。

1.2 数据来源 本文所需地震相关数据主要来源于国家地震科学数据中心、福建省地质调查研究院及全国地质资料馆等。研究区基础地理、土地利用、土壤质地等数据主要来源于遥感监测和普查调查数据。数据具体信息如表 1 所示。

表 1 研究数据概况

数据名称	数据格式	数据来源	时间
全国重点文物保护单位	矢量	国家文物局综合行政管理平台	2019
福建省重点文物保护单位石窟寺及石刻基本信息	表格	中国文化遗产研究院	2021
地震目录数据	矢量	国家地震科学数据中心地震目录数据	公元前 780—2020
断裂带分布	矢量	福建省地质调查研究院地质灾害调查数据	2012
岩性数据	矢量	全国地质资料馆地质调查数据	2013
DEM 数据	栅格	ALOS(卫星相控阵型 L 波段合成孔径雷达)12 m DEM 数据	2019
全国土地利用类型数据	栅格	30 米空间分辨率全球地表覆盖数据	2020
土壤质地数据	栅格	第 2 次土壤普查数据	1995

2 石窟寺及石刻地震灾害风险评估

为了更加全面地考察影响石窟寺及石刻的风险因素,在自然灾害风险理论的基础上,从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、文物本体脆弱性选取指标并构建指标体系,采用加权综合的方式对风险进行评估。本文所构建的石窟寺及石刻地震灾害风险评估模型为

$$R = H(a_n, \omega_n) \times S(b_m, \sigma_m) \times V(c_o, \bar{x}_o), \quad (1)$$

式中: R 为石窟寺及石刻的地震风险; H 为地震致灾因子危险性评估结果; S 为孕灾环境敏感性评估结果; V 为文物本体脆弱性评估结果; a 、 b 、 c 分别为致灾因子、文物保存环境、文物本体的指标, ω 、 σ 、 \bar{x} 为其对应权重; n 、 m 、 o 为对应指标个数。

2.1 指标体系构建 从致灾因子危险性、文物保存环境敏感性和文物本体脆弱性 3 个角度,根据福建省历史灾害情况、地质环境情况和石窟寺及石刻自身条件来选取评估指标。

致灾因子危险性,是指影响灾害强度的因素[27],本文特指地震灾害。孕灾环境敏感性,是指石窟寺及石刻所在区域的周边环境受自然灾害影响的敏感程度。文物本体脆弱性,是指文物由自身结构、材质的不同而引起的可承受破坏能力的不同,表示其在灾害威胁下的状态[28-30]。

基于对以上 3 个方面的考虑,构建石窟寺及石刻地震灾害风险评估指标体系如表 2 所示。

表 2 评估指标体系

指标类型	序号	指标名称	正向/负向
致灾因子危险性	1	地震震级	正向
	2	震源深度	负向
	3	地震发生频率	正向
	4	断裂带分布	正向
孕灾环境敏感性	5	高程	正向
	6	不透水面分布	正向
	7	岩性	—
	8	坡度	正向
	9	土壤质地	—
文物本体脆弱性	10	保护情况	负向
	11	保护范围面积	正向
	12	规模	正向
	13	保存现状	负向

2.2 指标确权 选取熵权法对致灾因子危险性和孕灾环境敏感性的各指标进行确权。熵权法,即根据指标变异性的确定权重[31]。相较于德尔菲法、层次分析法等主观赋权法,熵权法能够更加客观地对结果进行解释,减少由于主观原因而带来的结果误差。其赋权的基本步骤为:

1) 将各个指标数据进行标准化. 若有 m 个指标, 即 X_1, X_2, \dots, X_m , 其中 $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. 则各指标数据标准化后的值为

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)}. \quad (2)$$

2) 计算各指标的信息熵

$$E_j = -\ln\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, \quad (3)$$

式中 $p_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^n Y_{ij}$, 如果 $p_{ij} = 0$, 则定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$.

3) 根据信息熵计算公式计算各个指标的信息熵为 E_1, E_2, \dots, E_m . 则各指标权重为

$$w_i = \frac{1 - E_i}{k - \sum E_i} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

通过上述计算, 得到致灾因子和文物保存环境指标的权重确定结果如表3所示.

表3 致灾因子危险性指标权重确定结果

指标类型	指标名称	权重
致灾因子危险性	地震震级	0.30
	震源深度	0.25
	地震发生频率	0.20
	断裂带分布	0.25
孕灾环境敏感性	高程	0.10
	不透水面分布	0.25
	岩性	0.30
	坡度	0.10
	土壤质地	0.25

对于石窟寺及石刻, 因其结构和特征具有多样性, 保存现状十分复杂, 熵权法并不适用为其确权. 为能确保权重的权威与准确性, 我们采用了调查问卷的形式, 通过文物系统60余位具有高级职称的专业人员进行打分的方式获取脆弱性指标权重为

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i f_i}{\sum f_i}, \quad (5)$$

式中: \bar{x} 为最终权重值; x_i 为各专家对脆弱性指标中第 i 类指标数据的最终评分; f_i 为评分出现的次数.

获得最终权重结果如表4所示.

表4 石窟寺及石刻脆弱性权重确定结果

指标类型	指标名称	权重
文物本体脆弱性	保护情况	0.20
	保护范围面积	0.10
	规模	0.30
	保存现状	0.40

2.3 风险评估 基于上述指标体系和权重的确定, 致灾因子危险性和文物保存环境敏感性评估模型为

$$H = \sum_1^n a_n \omega_n, \quad (6)$$

式中 a, ω 分别表示致灾因子的各项指标及其对应权重.

$$S = \sum_1^m b_m \sigma_m, \quad (7)$$

式中 b, σ 分别表示文物保存环境的各项指标及其对应权重.

对于石窟寺及石刻, 通过实地调查获取每个石窟寺及石刻的基本信息和保存状态, 福建省国宝级石窟寺及石刻共9处, 其信息如表5所示.

以调研到的文物信息数据为基础评估文物各个指标值, 其中文物单位的保护情况以是否有专门的保护机构评价, 负向指标(保存现状、保护情况)采取相反打分的原则进行. 为保证与风险等级相对应, 以便后续的计算, 将打分范围设定为0~1, 分为5个等级. 打分结果如表6所示.

石窟寺及石刻脆弱性评估模型为

$$V_{num} = \sum_1^o c_o \delta_o, \quad (8)$$

式中: num 为石窟寺及石刻的编号; o 为指标个数; c, δ 为各指标打分值及其对应权重值.

3 结果分析

根据以上的评估指标体系和评估模型, 得到福建省石窟寺及石刻地震灾害的致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、文物本体脆弱性以及综合风险评估结果.

3.1 致灾因子危险性评估结果 福建省石窟寺及石刻地震灾害危险性整体分布为南高北低, 西部和东部的中间地带局部风险较高. 危险性较高地区多为近海区域, 内陆地区危险性相对较低. 由县域分布来看, 诏安县、东山县、云霄县、漳浦县等危险性高, 沙县、周宁县、将乐县等相对离海较远的区域危险性低(图1).

表 5 福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻基本信息表

文物保护单位名称	批次	文物保护单位 保护范围面积/m ²	规模(窟龕数量)	是否有专门的 文物保护单位	保存现状	损毁主要原因
老君岩造像	第3批	13 163	仅存露天老君石像1尊, 高5.1 m、宽7.3 m、厚7.2 m	否	较好	风化
九日山摩崖石刻	第3批	250 000	摩崖石刻77尊	是	一般	风化
草庵石刻	第4批	31 422	主体建筑为石构,单檐歇山顶,面广、 进深各3间。造像浮雕于庵内崖壁上。 像高154 cm,身宽80 cm	是	完好	无
瑞岩弥勒造像	第4批	2 500	像高9 m,宽8.9 m	否	一般	风化
鼓山摩崖石刻	第5批	18 900 000	摩崖石刻562段	否	完好	风化
仙字潭摩崖石刻	第7批	60 000	石刻现存50多个符号	是	一般	风化
乌石山、于山摩崖石刻及造像	第7批	59 500	103段	否	完好	气候
西资寺石佛造像	第7批	16 756	造佛像5尊	是	完好	气候
南天寺石佛造像和摩崖石刻	第7批	34 814	西方三圣高浮雕坐像	否	完好	风化

表 6 福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻指标打分

石窟寺及石刻名称	编号	保护范围面积	保护情况	规模	保存现状
西资寺石佛造像	A	0.2	0.2	0.4	0.2
草庵石刻	B	0.4	0.2	0.2	0.2
南天寺石佛造像和摩崖石刻	C	0.4	0.4	0.2	0.2
老君岩造像	D	0.2	0.4	0.2	0.2
九日山摩崖石刻	E	0.8	0.2	0.2	0.4
仙字潭摩崖石刻	F	0.6	0.2	0.2	0.4
乌石山、于山摩崖石刻及造像	G	0.6	0.4	0.2	0.2
鼓山摩崖石刻	H	1	0.4	0.4	0.2
瑞岩弥勒造像	I	0.2	0.4	0.4	0.4

3.2 孕灾环境敏感性评估结果 福建省地震灾害的孕灾环境敏感性呈现出内陆地区整体较高、沿海区域相对较低的分布态势,沿东北—西南的斜线方向,中部地区总体敏感性偏高,东西2个条带敏感性相对较低,其中南部沿海部分区域最低。从县域分布来看,位于中部的德化县、大田县、安溪县,以及北部的武夷山市、政和县、寿宁县等敏感性较高,建阳市、建瓯市及沿海地区的诏安县、漳浦县、长乐市等敏感性较低(图2)。

3.3 文物本体脆弱性评估结果 选取了福建省9个石窟寺及石刻单位进行评估,将脆弱性数值赋值于相对应的石窟寺及石刻上,获得最终评估结果如图3所示。

在9处石窟寺及石刻中,鼓山摩崖石刻和瑞岩弥勒造像的脆弱性最高,为0.38;九日山摩崖石刻和仙

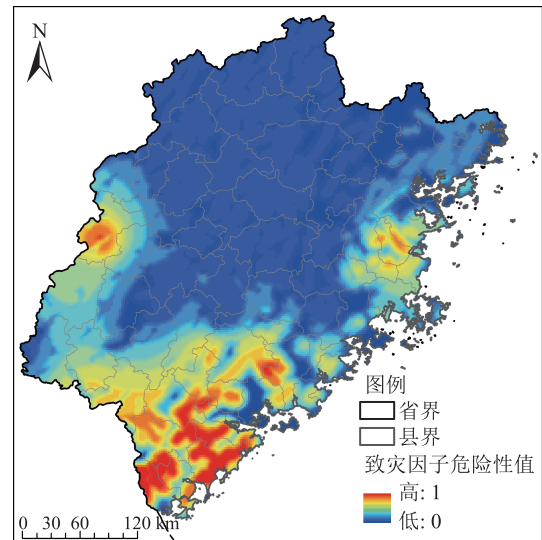


图 1 福建省地震灾害致灾因子危险性评估

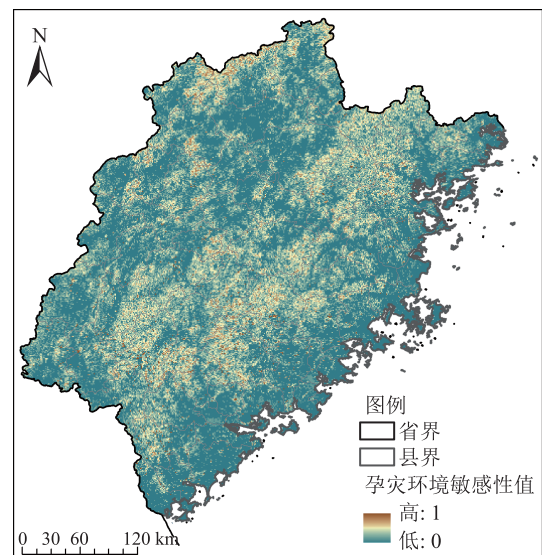


图 2 福建省地震灾害孕灾环境敏感性评估

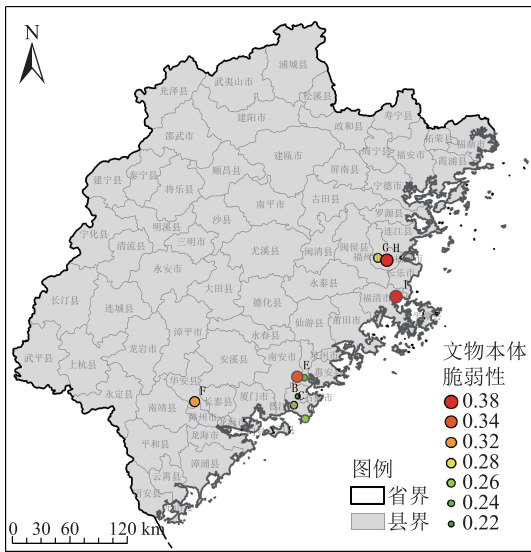


图3 福建省地震灾害石窟寺及石刻本体脆弱性评估

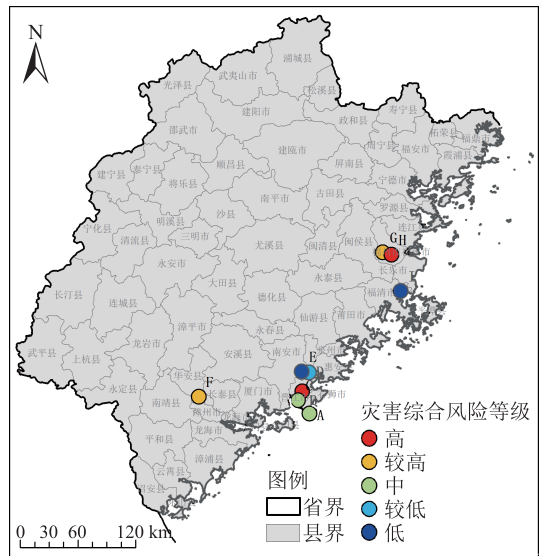


图4 福建省石窟寺及石刻地震灾害综合风险评估

字潭摩崖石刻其次,分别为0.34和0.32;乌石山、于山摩崖石刻及造像为0.28;南天寺石佛造像、摩崖石刻和西资寺石佛造像为0.26;老君岩造像和草庵石刻的脆弱性最低,为0.24和0.22。

3.4 综合风险评估结果 综合致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和文物本体脆弱性3个方面的评估结果,按照式(1)最终计算得到福建省9处国宝级石窟寺及石刻的地震风险综合评估结果,依据自然断裂法^[32]对其进行风险等级划分,分为低风险($R \leq 0.1$)、较低风险($0.1 < R \leq 0.3$)、中风险($0.3 < R \leq 0.4$)、较高风险($0.4 < R \leq 0.5$)和高风险($R > 0.5$)5个等级,各个石窟寺及石刻点的地震灾害综合风险评估结果如表7、图4所示。

表7 福建省全国重点文物保护单位石窟寺及石刻地震灾害综合风险评估结果

石窟寺及石刻名称	编号	风险值	风险等级
西资寺石佛造像	A	0.332	中
草庵石刻	B	0.550	高
南天寺石佛造像和摩崖石刻	C	0.350	中
老君岩造像	D	0.219	较低
九日山摩崖石刻	E	0.083	低
仙字潭摩崖石刻	F	0.453	较高
乌石山、于山摩崖石刻及造像	G	0.471	较高
鼓山摩崖石刻	H	0.539	高
瑞岩弥勒造像	I	0.111	较低

从综合评估结果来看,9处石窟寺及石刻中,综合风险最高的是鼓山摩崖石刻和草庵石刻,属高风险等级;乌石山、于山摩崖石刻及造像和仙字潭摩崖石刻的综合风险较高;西资寺石佛造像、南天寺石佛造像和摩崖石刻的风险属于中等水平;九日山摩崖石刻属于低风险等级,老君岩造像和瑞岩弥勒造像的综合风险较低。

4 结束语

以福建省9处全国重点文物保护单位石窟寺及石刻为例,构建了一种面向不可移动文物的地震灾害风险评估方法,综合了致灾因子危险性、孕灾环境敏感性以及文物本体脆弱性等相关单项评估结果最终获得综合评估结果。

在福建省所有全国重点文物保护单位石窟寺及石刻中,鼓山摩崖石刻和草庵石刻的综合风险最高,九日山摩崖石刻风险最低。对于风险较高的地区以及风险较高的石窟寺及石刻,需要予以高度重视,对石窟寺及石刻加强修复与保护工作。

本文将灾害与文物相结合,从灾害角度提出文物风险评估的具体方法并得到相应的结果,丰富了文物保护研究的思路。本文选取的指标及方法可应用于其他类型不可移动文物,为我国面向地震灾害的文物预防性保护工作提供技术支持。

本文研究仍存在不足,碍于文物相关数据较难获取,本文选取的指标不够全面,仍待进一步丰富,以使风险评估结果更为准确。

5 参考文献

- [1] 潘路委员: 加强不可移动文物自然灾害风险评估与应急处置[N]. 中国文物报, 2021-03-09(02)
- [2] 卢文刚, 张雨荷. 地震灾害应对视角下的不可移动文物保护问题研究[J]. 城市与减灾, 2015(6): 18
- [3] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(3): 1
- [4] 郭红梅, 赵真, 张莹, 等. 一种适用于山地地区的地震灾害风险评估方法: 以四川省宝兴县为例[J]. 灾害学, 2021, 36(3): 147
- [5] 曾金艳, 陈文, 扈桂让. 基于指标体系的城市地震灾害风险评估研究[J]. 山西地震, 2020(3): 14
- [6] 刘军, 宋立军, 聂高众, 等. 地震灾害风险评估及减灾策略研究: 以贵州罗甸县为例[J]. 震灾防御技术, 2020, 15(3): 484
- [7] 侯林锋, 李大卫, 周新民. 基于指标体系的浙江省地震灾害风险评估[J]. 华北地震科学, 2019, 37(4): 23
- [8] 郭红梅, 赵真, 张莹, 等. 四川道孚至川滇交界东部地区地震灾害风险特征分析与评估[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(2): 208
- [9] PIYOOSH R, GIRISH C, JOSHI R, et al. Earthquake risk assessment around Nainital in Uttarakhand Himalaya, India[J]. Journal of Geography & Natural Disasters, 2019. DOI: 10.35248/2167-0587.19.9.236
- [10] 冯莉, 樊燕燕, 王力, 等. 基于模糊理论的高铁连续梁桥地震风险评估[J]. 地震工程学报, 2020, 42(3): 639
- [11] 周敕, 封伟, 谢功元, 等. 基于F-R-M方法的桥梁地震风险评估研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 42(1): 299
- [12] JENA R, PRADHAN B, NAIK S P, et al. Earthquake risk assessment in NE India using deep learning and geospatial analysis[J]. Geoscience Frontiers, 2021, 12(3): 101110
- [13] KWON S, YOO M, HONG S. Earthquake risk assessment of underground railway station by fragility analysis based on numerical simulation[J]. Geomechanics and Engineering, 2020, 21: 143
- [14] 任静, 张方浩, 李志强, 等. 2021年5月21日云南漾濞6.4级地震灾害损失快速评估结果分析[J]. 震灾防御技术, 2021, 16(3): 454
- [15] 刘磊, 赵东升, 朱瑜, 等. 1993—2017年我国大陆地震灾害损失的时空特征[J]. 自然灾害学报, 2021, 30(3): 14
- [16] 程庆乐, 许镇, 顾栋炼, 等. 基于城市抗震弹性分析的我国主要城市建筑地震风险评估[J]. 地震工程学报, 2019, 41(2): 299
- [17] 陈吉. 无人机遥感技术与GIS系统在不可移动文物保护中的运用: 以上海市金山区不可移动文物保护为例[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2019(19): 90
- [18] 于丙辰, 陈刚, 段淼然, 等. 无人机遥感在大型不可移动文物三维重建中的应用[J]. 测绘通报, 2017(5): 43
- [19] 魏明强, 陈红华, 孙杨杏, 等. 破损文物数字化修复: 以中国出土青铜器为例[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2021, 33(5): 789
- [20] 涂文慧, 张鑫, 戴湘毅. 房山区不可移动文物的空间分布特征分析[J]. 地理空间信息, 2021, 19(2): 1
- [21] 彭颖, 白晓创, 陈专. 基于GIS的广西不可移动文物空间分布研究[J]. 大众科技, 2021, 23(1): 135
- [22] 张晓. 山西省不可移动文物结构空间分布特征及影响因素分析[J]. 文物鉴定与鉴赏, 2017(8): 85
- [23] 刘婷. 灾害与文化遗产关系研究[J]. 青海民族研究, 2016, 27(3): 11
- [24] 李宏松. 不可移动文物自然灾害风险管理体系研究[J]. 自然与文化遗产研究, 2021, 6(2): 50
- [25] 张兵峰. 石窟寺受地震影响下的应急处置方案[J]. 中国文化遗产, 2021(4): 36
- [26] 江峰. 福建省地质环境敏感性区划研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010
- [27] YU C C, LIU M Y, XU X K, et al. The urban rain-flood risk division based on the cloud model and the entropy evaluation method: taking Changzhou as an example[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1168: 032087
- [28] ORIMOLOYE I R, BELLE J A, OLUSOLA A O, et al. Spatial assessment of drought disasters, vulnerability, severity and water shortages: a potential drought disaster mitigation strategy[J]. Natural Hazards, 2021, 105(3): 2735
- [29] LIU Y M, LU C, YANG X M, et al. Fine-scale coastal storm surge disaster vulnerability and risk assessment model: a case study of Laizhou Bay, China[J]. Remote Sensing, 2020, 12(8): 1301
- [30] ZOU Q L, ZHANG T C, LIU W. A fire risk assessment method based on the combination of quantified safety checklist and structure entropy weight for shopping malls[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 2021, 235(4): 610
- [31] 卢耀健, 刘合香, 王萌. 基于组合权重和模糊随机方法的台风灾害风险评估[J]. 模糊系统与数学, 2020, 34(2): 151
- [32] 解明礼, 巨能攀, 赵建军, 等. 区域地质灾害易发性分级方法对比分析研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2021, 46(7): 1003

Seismic hazard risk assessment for the immovable cultural relics: the national key cultural relics protection units of cave temples and stone

XU Can HUANG Zhiqing GONG Adu BA Wanru

(Faculty of Geographical Science, State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing Key Laboratory of Environmental Remote Sensing and Digital City, Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, MOE, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Potential and possible damages that earthquake could inflict on grotto temples and stone carvings in Fujian province are evaluated. Risk of disaster-causing factors, sensitivity of disaster-generating environment, vulnerability of cultural relics were taken into account to build the evaluation system, which combined the comprehensive index method, entropy weighting method and expert scoring method. This system was used to calculate seismic hazard risk values of each cave temple and rock carving. Natural fracture method was used to classify risk levels. The overall spatial distribution of seismic risk in Fujian province was found higher in the south but lower in the north. From the offshore to the inland area, the risk gradually decreased. The sensitivity of environment was found higher in inland areas and lower in coastal areas; sensitivity in east and west areas was relatively low, the southwest was the lowest. About 66% of state-protected cave temples and rock carvings in Fujian were found at medium risk or above, with the highest vulnerability being at the cliff carvings in Gushan, which will need to be given the highest priority.

Keywords earthquake disaster; risk assessment; immovable cultural relics; index system; entropy weight method

【责任编辑:刘先勤】