

引用格式:王睿,王彬,林鋆澎,马乙鑫,龚楷雯. 四川盆地不可移动文物空间演变与地灾风险分区[J]. 山地学报, 2025, 43(5): 723-736.
WANG Rui, WANG Bin, LIN Junpeng, MA Yixin, GONG Kaiwen. Spatial evolution and geo-hazard risk zoning of immovable cultural heritage in the Sichuan Basin, China [J]. Mountain Research, 2025, 43(5): 723-736.

四川盆地不可移动文物空间演变与地灾风险分区

王睿,王彬,林鋆澎*,马乙鑫,龚楷雯

(福建理工大学 建筑与城乡规划学院,福州 350118)

摘要:科学评估不可移动文物面临的地灾风险并开展等级区划,是推动区域文物资源系统性保护利用的现实需求与学术热点。四川盆地文物数量庞大、类型多样,却地处地震活跃带,地质灾害频发,文物安全面临严峻挑战。本文以四川盆地市级以上文物保护单位为研究对象,运用核密度分析、最邻近指数、标准差椭圆方法揭示其空间格局与时空演变;继而构建“坡度-地形湿度-水系距离-断裂带距离-年降水量-地震风险”指标体系,采用层次分析法确定权重,完成文物地灾风险评价;最后借助 GIS 空间分析技术,对不可移动文物进行灾害风险分区。结果表明,(1)空间上,盆地内文物分布呈现出整体分散、局部聚集的特征,南部文物规模高于北部,西部密度大于东部;(2)时序上,文物数量呈波浪式增长,隋唐五代与明清为波峰,隋前与宋元为波谷,空间分布由分散逐步转向集聚;(3)风险上,地震与断层距离权重最高,地形湿度与河流距离权重最低,风险自西南向东北递减,中-高风险区占 89.4%,低风险区仅 10.6%;分区显示,高风险带位于盆地西南缘山地与河谷过渡带,中-高风险区集中于成都平原及次级盆地,中风险区分布于川中丘陵,低风险区位于川东平行岭谷。本研究可以为四川盆地文物灾害风险精准管控和国土空间规划编制提供技术支撑与决策依据。

关键词:不可移动文物;空间演变;地质灾害;风险分区;四川盆地

中图分类号: P642

文献标志码: A

文化遗产是人类在历史上创造的,具有突出历史、艺术与科学价值的物质与非物质成果总和^[1]。其中,不可移动文物是物质文化遗产的核心载体,记录着社会演变、技术进程与文化习俗,是民族精神与国家软实力的重要象征^[2]。

进入 21 世纪,中国城镇化从“规模扩张”转向“品质提升”,不可移动文物的保护与利用被提升至前所未有的战略高度^[3]。2022 年,中国明确提出将文物保护单位保护规划等专项规划纳入国土空间规划体系,标志着文物保护从分散、局部模式迈向区域化、空间化整体保护新阶段^[4-5]。在此背景下,对不可移动文物的空间分异及地质灾害风险暴露研究,

成为推动区域文物资源系统性保护利用的现实需求与学术热点。

现有不可移动文物空间分异研究多采用核密度分析^[6-7]、最邻近点指数等方法^[8-9],从省域或市域等行政单元视角探究不可移动文物的空间分异^[10-13],虽便于政策制定与管理,却因行政边界易割裂连续的地理环境与地质条件,难以系统把握区域地质灾害(如滑坡、崩塌、地面沉降等^[14])的风险特征,而该类灾害对文物建筑与基础设施具有显著破坏性。因此,如何科学评估不可移动文物在地质灾害中的风险,已成为文物保护中亟待解决的关键问题。

现有地质灾害风险评价的定量方法中,层次分

收稿日期(Received date): 2025-05-29;改回日期(Accepted date): 2025-10-25

基金项目(Foundation item): 福建省社会科学基金(FJ2025B227)。[Social Science Foundation of Fujian Province(FJ2025B227)]

作者简介(Biography): 王睿(2002-),男,四川南充人,硕士研究生,主要研究方向:建筑遗产保护。[WANG Rui(2002-), male, born in Nanchong, Sichuan Province, M. Sc. candidate, research on protection of architectural heritage] E-mail:1203370706@qq.com

* 通讯作者(Corresponding author): 林鋆澎(1989-),男,博士,讲师,主要研究方向:建筑遗产和乡村遗产保护。[LIN Junpeng(1989-), male, Ph. D., lecturer, research on protection of architectural heritage and rural heritage] E-mail: linjunpengln@foxmail.com

析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP)^[15-16]、逻辑回归法^[17-19]、模糊综合评判法^[20-21]以及确定系数法^[22-23]等应用广泛。其中,层次分析法因其结构清晰、操作简便,并能有效处理多指标、多层次的复杂决策问题,在灾害风险评估中得到了广泛应用。

四川盆地作为中华文明的重要发源地之一,历史悠久、文化底蕴深厚,不可移动文物数量庞大、类型多样,真实记录了古蜀文明的演进历程,为研究中国古代社会、经济与文化提供了珍贵的第一手实物资料。然而,盆地地处地震活跃带,地质灾害频发,文物安全面临严峻挑战。本文以四川盆地为研究区,构建文物地灾风险综合评价指标体系,采用层次分析法(AHP)确定各因子权重,依托GIS空间分析技术,从地理单元整体视角出发,开展不可移动文物地质灾害风险评价与区划研究。研究成果可揭示文物分布与地质灾害风险的空间耦合关系,为区域文化遗产的科学保护、风险防控与空间规划提供理论依据和技术支撑。

1 研究区域概况与数据来源

1.1 研究区域概况

四川盆地作为中国西南部重要的历史文化区

域,其人类活动可追溯至旧石器时代,重庆高家镇遗址的发现证实,距今5万~8万年前盆地东部已有人类活动。该遗址出土的砾石器群,是旧石器文化的典型代表^[24]。伴随历史演进,新石器时代晚期至商周时期,古蜀文明在此兴起。以三星堆遗址为代表,出土青铜器与玉器规模宏大、风格独特,彰显出高度发达的青铜文化与地域特征^[25]。这些早期人类活动不仅留下丰富的可移动文物,也形成包括古遗址、古建筑在内的众多不可移动文物遗存。在此过程中,四川盆地独特的地理环境对文物的形成与保存起到了关键作用。

四川盆地位于中国西南部(图1),地理范围为27°38'~32°54'N、102°48'~109°16'E,面积约为 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$,为中国四大盆地之一。盆地地势周高中低,地貌类型多样,按构造地貌可划分为成都平原、川中丘陵、平行岭谷与盆周山区。地处青藏高原东南缘,区域地质构造复杂,地壳活动频繁,加之地形高差显著、季风气候影响下降雨丰沛且多暴雨^[26],这些因素共同导致该地区成为滑坡、泥石流等地质灾害的高发区^[27]。此外,盆地历史强震频发进一步加剧山体破裂、地表岩层松动,显著抬升地质灾害风险。该类地灾不仅对社会经济与公共安全构成威胁^[28],更使得大量文物暴露于高风险之中。

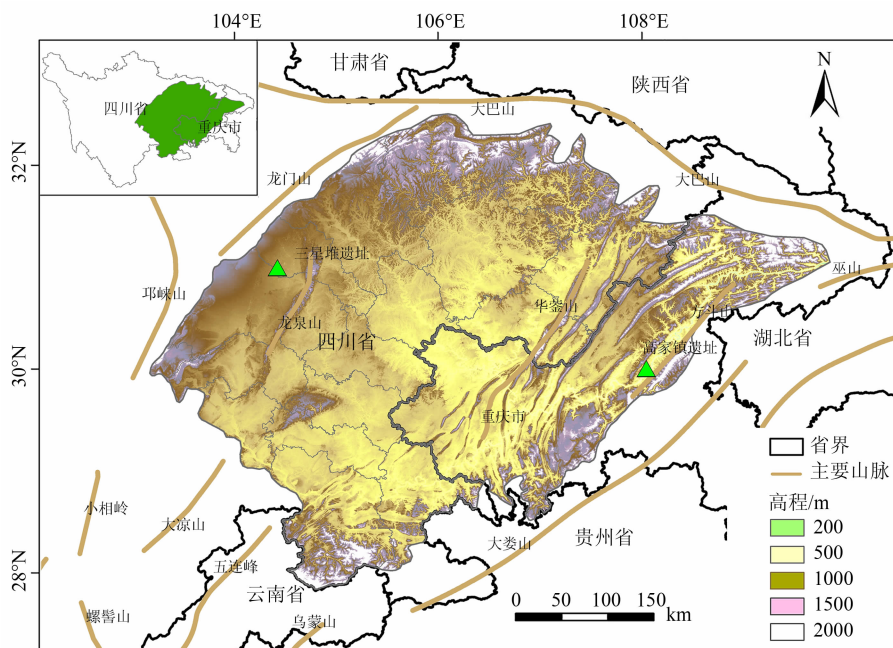


图1 四川盆地地理概况图

Fig. 1 Geographical overview of the Sichuan Basin

(审图号:GS(2024)0650号)

1.2 数据来源

为明确研究边界、避免内容重复,本文将研究对象限定为文物保护单位。考虑到历史文化名城名镇名村、历史街区等不可移动文物的特殊性,本研究并未将其包括在内。

本文灾害风险评估体系采用 DEM 数据(30 m 空间分辨率),取自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>),并基于此提取坡度信息;年降水量源于中国大气同化驱动数据集(<http://westdc.westgis.ac.cn>);地震数据整理自中国地震局(<https://www.cea.gov.cn>)记录的新中国成立以来四川地区 5 级以上地震点坐标;构造断裂带数据源自全国地质资料馆(<http://www.ngac.org.cn>);行政区划与水系数据由国家基础地理信息中心的地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn>)获取;文物保护单位数据中,国家级文物源自国家文物局全国文物保护单位名录(<http://www.ncha.gov.cn>),省、市级文物则通过四川政务服务网(<http://www.sczfwf.gov.cn>)、重庆文旅网(<http://whlyw.cq.gov.cn>)及各地市政府公开资料补充,经地理编码后统一构建为矢量点图层。

2 指标体系构建与研究方法

2.1 指标体系的构建

地质灾害类型以崩塌、滑坡与泥石流为主^[29],其形成机制复杂,多为多因子共同驱动。构建科学合理的评价指标体系是客观评估灾害风险的前提。本文遵循系统性、充分性、可操作性、简明性、规范性与独立性原则^[30],选取坡度、地形湿度、水系距离、断裂带距离、年降水量、地震风险共六个影响因子,建立地灾风险综合评价指标体系(图 2)。

坡度是影响斜坡稳定性的关键因素,坡度愈大,斜坡在重力驱动作用下的不稳定性愈显著,滑坡、崩塌等灾害的发生风险相应提升^[31];地形湿度直接反映土体含水状况,影响其物理力学性质;高湿度会降低土壤抗剪强度并增加土体重量,从而加剧斜坡失稳风险^[32];距水系距离越近,土质通常越松软,水流渗透与侧向侵蚀作用削弱斜坡稳定性,进一步诱发滑坡与泥石流;断裂带作为地震活跃带,其附近区域构造活动频繁,易导致岩体破碎,坡体结构

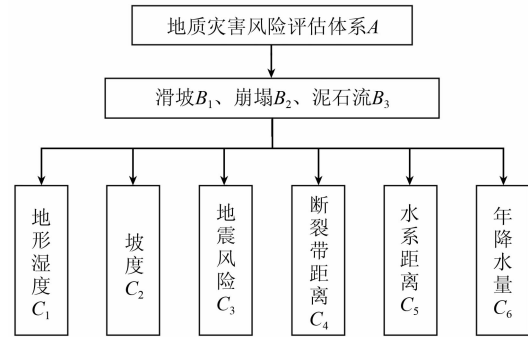


图 2 地灾风险综合评价指标体系

Fig. 2 Comprehensive assessment index system of geohazards risk

弱化,进而诱发地质灾害^[33];年降水量是表征区域水文气候的重要指标,降雨入渗增加斜坡土体含水量与自重,降低抗剪强度,抬升滑坡与泥石流的发生概率^[34]。

2.2 研究方法

本文主要基于 Arcgis 10. 2. 2 (ESRI, USA) 平台,运用其空间分析工具,结合核密度分析、最邻近指数等方法,对盆地内文物保护单位的时空演变进行定量识别与特征阐释。在此基础上,选取坡度、地形湿度、年降水量、地震风险等评价指标,采用层次分析法构建灾害风险评估体系,最后结合文物空间分布特征,划分其灾害风险等级。

2.2.1 核密度分析

核密度分析是分析空间要素分布特征的工具,通过将离散点要素拟合为连续光滑表面,可有效揭示空间要素的集聚特征与分布格局^[35],本文运用该方法,对四川盆地市级以上文物保护单位的空间分布密度进行测度与分析。计算式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh}k\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中, $f(x)$ 为文物保护单位核密度估计值; n 为文物保护单位数量; k 为核函数; x 为估值点; X_i 为非零点; $h > 0$ 为带宽,表示估值点到非零点的距离。

2.2.2 最邻近点指数

最邻近点指数是一种描述点状要素空间分布的度量指标,其值可将分布特征划分为聚集、均匀与随机分布三种类型。该方法通过计算点要素的最邻近距离平均值,并将其与随机分布下的理论值进行比较来实现^[36],计算公式为:

$$R = \frac{\bar{r}_1}{\bar{r}_E} = 2\sqrt{D} \times \bar{r}_1 \quad (2)$$

式中, R 为最邻近点指数; \bar{r}_i 为最邻近点之间距离的均值; \bar{r}_E 为理论最邻近距离; D 为点密度。当要素随机分布时, $R = 1$; 当要素聚集分布时, $R < 1$; 当要素均匀分布时, $R > 1$ 。

$$\bar{r}_E = \frac{1}{2\sqrt{n/A}} = \frac{1}{2\sqrt{D}} \quad (3)$$

式中, A 为盆地面积。

2.2.3 标准差椭圆

标准差椭圆算法最早由美国加州大学维尔蒂·利菲弗(D. Welly Lefever)教授提出,该方法最大特点是根据要素分布状况生成椭圆,可根据椭圆重心、方位角等要素来揭示要素的空间分布及演变规律^[37-39]。计算公式为:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j X_j}{\sum_{j=1}^n W_j}, \quad \bar{Y} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j Y_j}{\sum_{j=1}^n W_j} \quad (4)$$

$$\tan \theta = \frac{(\sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{x}_j^2 - \sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{y}_j^2)}{2 \sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{x}_j \bar{y}_j} + \frac{\sqrt{(\sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{x}_j^2 - \sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{y}_j^2)^2 + 4 \sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{x}_j \bar{y}_j}}{2 \sum_{j=1}^n w_j^2 \bar{x}_j \bar{y}_j} \quad (5)$$

式中, j 为研究区域; W_j 为第 j 个研究对象的权重; \bar{X} 、 \bar{Y} 为标准差椭圆的重心坐标; X_j 、 Y_j 为文物保护单位分布中心坐标; θ 为椭圆的方位角。

2.2.4 层次分析法

层次分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)由美国运筹学家托马斯·L·萨蒂(Thomas L. Saaty)创立。AHP将复杂问题系统化,将其分解若干层次和若干因素,使得决策者能够对各个层次中的各项因素进行评估和排序^[40]。构建判断矩阵并计算各因子权重,为系统化、量化的科学决策提供依据。

3 时空分布特征及演化分析

3.1 空间分布特征

最邻近点指数结果显示,盆地内文物保护单位平均观测距离为 3.413 km,预期平均观测距离为 7.112 km,最邻近指数为 $0.48 < 1$, P 值为 0,表明盆地内市级以上文物保护单位呈显著聚集分布。

核密度分析结果(图3)显示,文物空间分布整体不均衡,呈现整体分散、局部聚集的特征。盆地南部文物密度高于北部;盆地西部文物密度高于东部,空间上形成以重庆、成都、广元—南充交界区域为核心的3处高密度聚集区,以自贡、巴中、广安为中心的次级聚集区3处,以及若干处密度较为稀疏的文物聚集区。

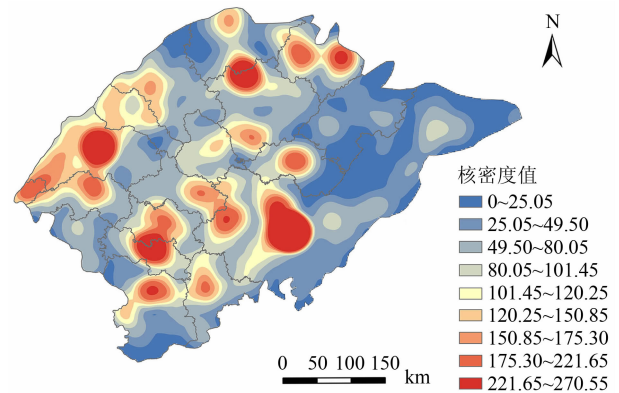


图3 四川盆地不可移动文物核密度分布

Fig. 3 Kernel density distribution of immovable cultural relics in the Sichuan Basin

3.2 时间分布特征

四川盆地内文明发展历史悠久,文物遗存时间跨度绵延近万年,上起新石器时代晚期至商末周初的三星堆遗址,下迄近现代的蓬基井。鉴于名录中文物断代标准不一,为便于研究,本文依据中国历史演进脉络与文物遗存实际,将历史时期分为八个阶段:史前、先秦、秦汉、魏晋南北朝、隋唐五代、宋元、明清及近现代时期。

3.2.1 总体时序格局

由图4可知,盆地内文保单位在隋唐五代时期出现首个高峰,占文物总数 11.2%,仅次于明清与

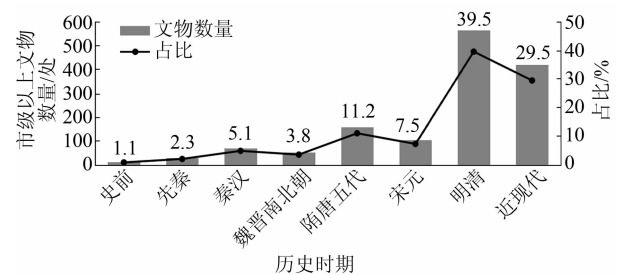


图4 不同历史时期不可移动文物数量

Fig. 4 Numbers of immovable cultural relics during different historical periods

近现代时期,宋元时期数量略有回落,至明清时期达到顶峰,该时期文保单位数占各时期文物总数的39.5%。文物保护单位的数量与其存留程度密切相关,整体呈现时代愈早存留愈少、时代愈近保存数量愈多的特征。

各历史时期文物保护单位的空间分布特征存在明显差异(表1)。近现代时期的文保单位聚集程度最高,最邻近指数为0.48;明清与隋唐五代时期邻近指数分别为0.57和0.66,亦呈现显著集聚特征;史前与先秦时期分布最为分散,邻近指数分别为1.04和1.22。结合图4可知,文保单位数量较多的时期往往对应较高的空间聚集程度,反映出该时期的文明发展更集中于少数核心区域,从而形成文物遗存数量多、分布密的空间格局。

表1 四川盆地历史时期不可移动文物最邻近指数

Tab.1 Nearest neighbor index of immovable cultural relics in historical period of the Sichuan Basin

不可移动文物所属历史时期	实际最邻近距离 \bar{r}_0/km	理论最邻近距离 \bar{r}_E/km	最邻近指数 R	空间分布类型
史前时期	46.51	44.65	1.04	随机
先秦时期	59.11	48.34	1.22	均匀
秦汉时期	17.59	24.719	0.71	聚集
魏晋南北朝时期	46.60	46.53	1.00	随机
隋唐五代时期	10.08	15.27	0.66	聚集
宋元时期	16.03	21.93	0.73	聚集
明清时期	5.17	9.05	0.57	聚集
近现代时期	5.31	11.02	0.48	聚集

3.2.2 类型时序格局

依据国家文物名录归类法将文物保护单位划分为古建筑、古墓葬、古遗址、石窟寺及石刻、近现代重要史迹及代表性建筑。为便于统计分析,将古墓葬与古遗址并为一类。由表2可知,史前时期的文保单位以古墓葬及古遗址为主,占有时期该类文物的6.73%,先秦与秦汉时期仍以该类型为主导,占比分别为23.32%与18.83%。自魏晋南北朝时期起,石窟寺及石刻成为主要类型,魏晋南北朝、隋唐五代及宋元时期占比分别为3.49%、40.12%与27.91%。至明清时期,古建筑取代其他类型成为主流,占整个时期的82.37%;近现代时期则以近现代

表2 不可移动文物类型占比的时序演变表

Tab.2 Chronological evolution of proportion of immovable cultural relics by type in the Sichuan Basin

历史时期	各类不可移动文物占比/%			
	古建筑	古墓葬及古遗址	石窟寺及石刻	近现代重要史迹及代表性建筑
史前时期	0.17	6.73	0.00	0.00
先秦时期	0.35	23.32	0.00	0.00
秦汉时期	1.92	18.83	2.33	0.00
魏晋南北朝	0.70	2.69	3.49	0.00
隋唐五代	8.55	5.83	40.12	0.00
宋元时期	5.24	15.70	27.91	0.00
明清时期	82.37	26.45	21.50	6.35
近现代时期	0.70	0.45	4.65	93.65

重要史迹及代表性建筑为主,占有时期该类文物总量的93.65%。

3.3 时间演化分析

运用标准差椭圆方法揭示从史前到近现代时期盆地内不可移动文物的时空演变过程。结果表明,从史前到近现代,文物分布的方向性与重心位置呈现明显的阶段性变化(图5)。椭圆重心偏移轨迹大体呈现出先向盆地西北部迁移后迂回向盆地东南方向。史前至先秦时期文物重心由遂宁中部向西北部德阳迁移,后于秦汉时期重心又向东南回到遂宁西部,在魏晋南北朝时期大幅向盆地东北部迁移,随后重心在隋唐五代时期又向西南部迁移来到资阳境内,在最后的宋元、明清时期及近现代以来椭圆重心逐渐向东南部重庆方向迁移。椭圆的长半轴大体呈现逐代减短的趋势(表3),体现出随着时间发展文物保护单位分布逐渐由分散转为集聚。

4 地质灾害风险评价

4.1 地质灾害评价指标分级

鉴于各评价指标值对风险评估结果带来的差异性影响,评价指标分级即是为不同指标划定合理的风险范围。本文结合过往研究^[41]对单灾害风险指标予以分级结果(表4)。

基于灾害危险指标分级表4得出各单指标风险

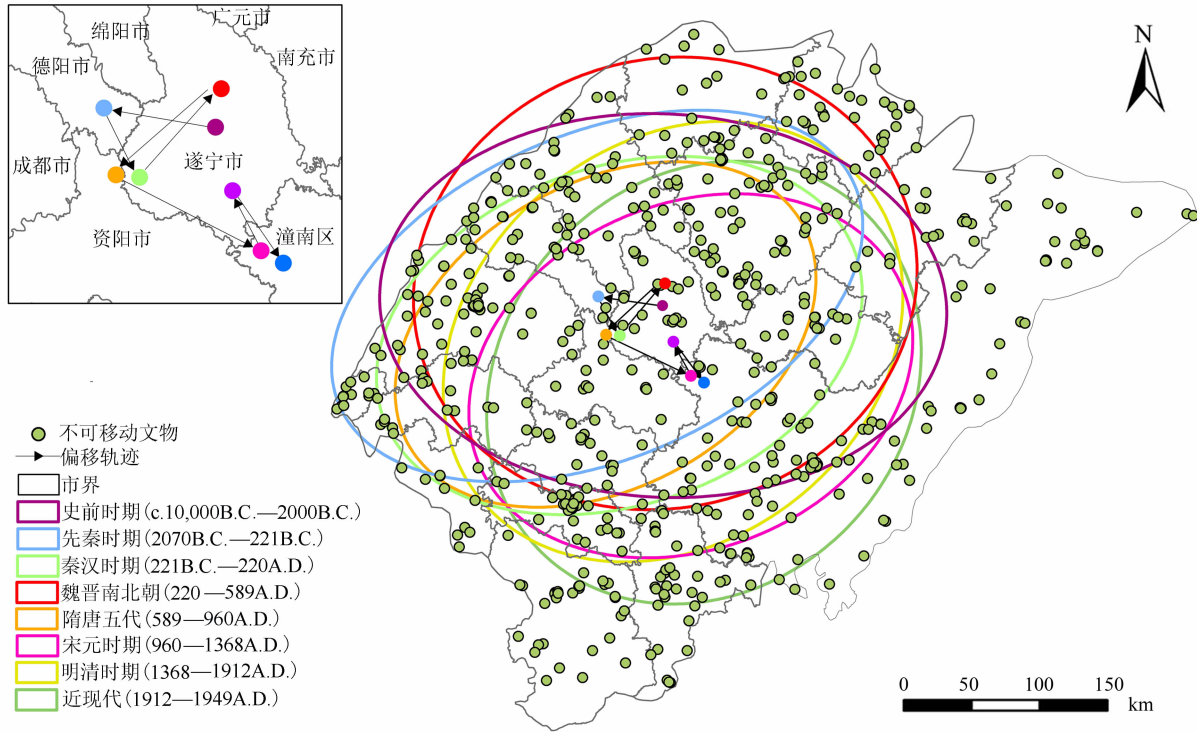


图5 不同时期不可移动文物标准差椭圆及重心分布

Fig. 5 Standard deviation ellipses and centers of gravity distribution of immovable cultural relics in different periods

表3 盆地内不同时期不可移动文物椭圆参数表

Tab. 3 Standard elliptical parameters for immovable cultural relics in different periods within the basin

历史时期	重心经度	重心纬度	长半轴/km	短半轴/km	方位角/(°)
史前时期	105.48°E	30.63°N	413	279	93.35
先秦时期	104.99°E	30.70°N	406	236	73.34
秦汉时期	105.15°E	30.44°N	360	243	77.64
魏晋南北朝	105.51°E	30.77°N	366	327	83.77
隋唐五代	105.04°E	30.45°N	328	220	69.58
宋元时期	105.68°E	30.16°N	329	249	76.27
明清时期	105.55°E	30.39°N	360	293	66.81
近代以来	105.78°E	30.11°N	339	295	66.38

表4 地灾风险评价指标分级表

Tab. 4 Classification of geohazards risk assessment index

风险分级	坡度/(°)	地形湿度指数	水系距离/m	断裂带距离/m	年降水量/mm	地震多发区距离/km
低风险	<8	<5	>3000	>2000	<800	>300
中风险	8~20	5~10	2000~3000	1000~2000	800~1200	150~300
中高风险	20~45	10~15	1000~2000	500~1000	1200~1400	100~150
高风险	>45	>15	<1000	<500	>1400	<100

分级,如图 6 所示。

4.2 基于 AHP 层次分析法构建判断矩阵

当前对于地质灾害风险评价方法主要有熵权法、AHP 层次分析法、Topsis 模型、确定系数法等。层次分析法的便捷性以及其可将复杂数据分层简化计算的性能使其在灾害风险评价中得到广泛运用。

层次分析模型构建步骤如下。

由于评价指标层中各项指标在评价过程中所发挥的效用大小不一致,在决策者心中他们各占一定比列,因此引用 1-9 判断矩阵标度表(表 5)。

根据 1-9 判断矩阵标度表构建准则层 B 对指标层 C 的判断矩阵:

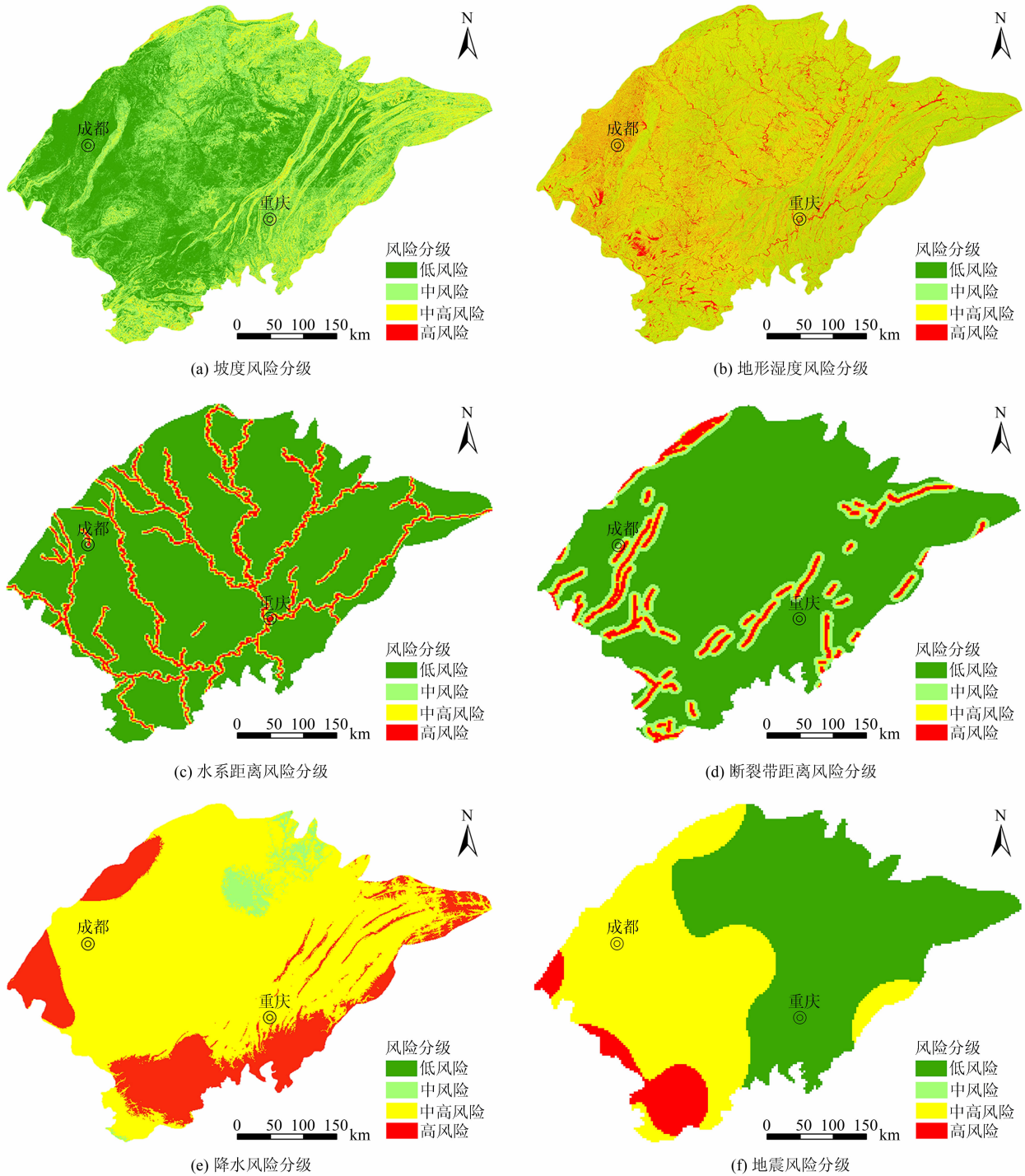


图 6 单指标风险分级图

Fig. 6 Risk classification zonation of single index

表 5 1-9 判断矩阵标度表
Tab.5 1-9 judgment matrix scale

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有相同重要性
3	表示两个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	若因素 i 与因素 j 的重要性之比为 a_{ij} ,那么因素 j 与因素 i 重要性之比为 $a_{ji}=1/a_{ij}$

$$B = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0.2 & 0.14 & 0.5 & 2 & 1 \\ 5 & 1 & 0.33 & 0.5 & 3 & 1.5 \\ 6 & 3 & 1 & 2 & 7 & 6 \\ 2 & 2 & 0.5 & 1 & 4 & 2 \\ 0.5 & 0.33 & 0.14 & 0.25 & 1 & 0.5 \\ 1 & 0.67 & 0.17 & 0.5 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

对判断矩阵进行归一化处理:

$$\bar{A}_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{ij} A_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

对处理后判断矩阵按行相加:

$$\bar{N}_i = \sum_{ij} \bar{A}_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

式中, $\bar{N}_i = [\bar{N}_1, \bar{N}_2, \dots, \bar{N}_x]^r$ 为特征向量。

对 $\bar{N}_i = [\bar{N}_1, \bar{N}_2, \dots, \bar{N}_x]^r$ 进行归一化处理:

$$N_i = \frac{\bar{N}_i}{(\bar{N}_1 + \bar{N}_2 + \dots + \bar{N}_x)} \quad (9)$$

式中, N_i 为层次单排序中因子层指标权重 w 。

计算最大特征根:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AN)_i}{nN_i} \quad (10)$$

计算一致性指标:

$$C_I : C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

查找一致性指标 R_I 表,由于本文因子层指标数 $n = 6$,因此 $R_I = 1.24$ 。

计算一致性比例:

$$C_R : C_R = \frac{C_I}{R_I} \quad (12)$$

当判断矩阵一致性比率 $C_R < 0.10$ 时表明该矩阵通过一致性检验,而本矩阵的 C_R 值为 0.0326,说明其通过检验构建合理。

4.3 评价指标权重及评价结果分析

本文采用层次分析法(AHP)中的特征向量法确定各指标权重(式9),确保权重之和为1,评价指标权重具体分配结果见表6。其中,地震风险(0.422)和断裂带距离(0.202)的权重最高,而地形湿度(0.075)和水系距离(0.048)的权重最低。

表 6 综合评价指标权重分配表
Tab.6 Weight distribution of comprehensive assessment index

目标层	指标层	权重
四川盆地 地震地质灾害 风险综合评价	坡度	0.166
	地形湿度	0.075
	水系距离	0.048
	断裂带距离	0.202
	年降水量	0.087
	地震风险	0.422

基于单个指标风险分级结果,以及各指标对综合风险评价的贡献权重大小,利用 Arcgis 的栅格计算器功能,得出综合风险评价结果(图7)。

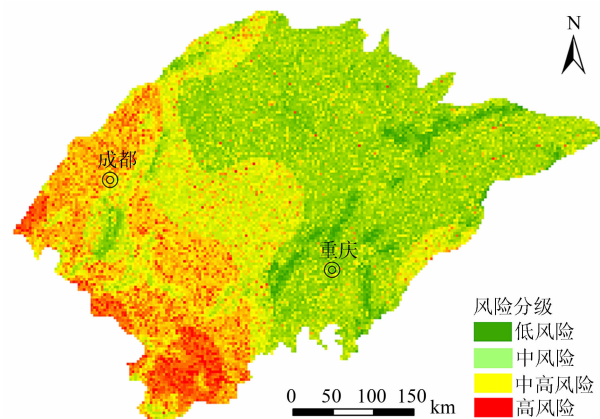


图 7 地灾风险综合评价图

Fig.7 Zonation of comprehensive geohazards risk assessment

盆地范围内,大部分是中、中高风险地区,两者共占 68.2%;其次是高风险地区占 21.2%,低风险地区占 10.6%。

5 文物集中分布区域灾害风险等级划分

本节基于 ArcGIS 平台,采用自然断点法依据综合评价分值将灾害风险分为 4 个等级:低风险(0.924~1.254)、中风险(1.254~2.367)、中高风险(2.367~3.374)与高风险(3.374~4.032)。该方法依据数据本身分布特征进行划分,客观性强,无需预设条件,因而在空间分级研究中得到广泛采用。

为明确四川盆地内文物保护单位的地质灾害风险格局,本研究将其坐标数据叠加至灾害风险综合评价图,结合文物集中分布区域的风险特征,划分得出文物地质灾害风险等级(表 7)。根据表 7 分析,

高风险文物集中分布在盆地内各大河流谷地以及盆地西南边缘的山地过渡带,包括岷江谷地、沱江谷地、峨眉山断块山地等区域;中高风险文物集中分布在成都平原和盆地内次级盆地与洼地,包括成都平原平坝区及周边台地、雅安-龙泉山压陷盆地等区域;中风险文物集中分布在川中丘陵地区,包括中部缓丘区、龙泉山低山丘陵区等区域;低风险文物集中在川东平行岭谷,包括华蓥山-铜锣山槽谷带、铜锣山-明月山槽谷带、重庆主城区向斜谷地等区域。

6 讨论

基于对四川盆地不可移动文物空间分布与演变特征的解析,系统开展了地质灾害风险评估与文物灾害风险等级区划,契合当前国土空间规划中加强

表 7 不可移动文物集中分布区域地质灾害风险等级

Tab. 7 Geohazards risk level of concentrated distribution areas of immovable cultural relics

风险等级	地理单元划分	区域划分	地形特征
低风险 (0.924 ~ 1.254)	川东平行岭谷	华蓥山-铜锣山槽谷带	谷地狭窄,河流切割强烈,“槽-山-槽”地貌相对稳定。
		铜锣山-明月山槽谷带	山脉与谷地平行延伸,局部小型平坝。
		明月山-方斗山槽谷带	多阶地和丘陵。
		重庆主城向斜谷地	城市依山而建。
		长寿-涪陵丘陵谷地	峡谷与宽谷相间地貌,多阶地和冲积平原。
		方斗山-七曜山边缘山地	山势陡峭,喀斯特地貌发育。
中风险 (1.254 ~ 2.367)	川中丘陵	中部缓丘平坝区	多为缓丘,平坝面积大且较为平坦。
		龙泉山低山丘陵区	整体地势开阔平坦,丘坡坡度较缓,低山多为单面山和桌状山。
		华蓥山低山丘陵区	浅丘带坝地貌,地势起伏较小,丘体低矮。
中高风险 (2.367 ~ 3.374)	成都平原	成都平原平坝区	地形整体上属于扇状平原,地势平坦,起伏小。
		成都平原周边台地地区	地势起伏明显,相对高差较大,地形破碎,地质灾害风险高。次级盆地与洼地。
		雅安-龙泉山压陷盆地	地层稳定性差,且地形起伏较大,降水集中,滑坡、崩塌等地质灾害频发。
高风险 (3.374 ~ 4.032)	盆地西南边缘 山地过渡带	岷江谷地	谷地多沿断裂带发育,岩体稳定性差,峡谷地形,相对高差大,河谷狭窄,水流湍急,地质灾害风险高。
		沱江谷地	
		嘉陵江谷地	
		涪江谷地	
		大渡河谷地	
		峨眉山断块山地	地形起伏较大,相对高差明显,降水集中,滑坡、泥石流频发。
		川南喀斯特丘陵	溶蚀加剧岩体不稳定性,降水集中,泥石流、滑坡多。地壳运动较为活跃,地震风险较高。

文化遗产保护的战略需求。作为典型地理单元,四川盆地内文物资源的空间分异与地质灾害风险之间存在显著区域差异性。本研究从地理学整体视角切入,通过揭示文物空间分布与地质灾害风险间的耦合关系,深化了对文化遗产空间脆弱性的认识。

四川盆地文物分布呈现的“多核心”集聚模式,与何峰^[4]等对湖南省文物、张一^[8]等对河南省黄河区域文物以及王兆峰^[35]等对长征沿线红色文化遗产的研究结论高度一致,进一步印证了文化遗产在空间上遵循“点-轴”集聚的普遍规律。然而,在研究方法上,以往研究主要基于省、市等行政单元展开分析^[4-8],虽然便于对接管理政策,但是在一定程度上因行政边界的分割而弱化了地理过程的连续性。本研究立足于完整的地理单元展开分析,揭示了成都平原与盆周山地过渡带作为一个跨越行政区界的高风险连绵区的空间事实,从而凸显了在区域地灾风险防控中,从“行政单元”视角转向“地理单元”视角的必要性与科学价值。

风险评估方面,本研究构建的指标体系与权重结果同样反映出显著的区域特性。根据综合评价指标权重(表6)确定地震风险与断裂带距离为决定性因子,与钱海涛^[14]等强调区域断裂构造对地灾格局控制作用的论断相符,也与刘华军^[38]等运用类似空间统计方法揭示核心影响因子的研究逻辑一致。然而,这一发现与孙冉^[16]等在费县、吕爽^[32]等在桂林市的研究结论存在差异,后两者的研究中降水、岩土体类型等外营力因子的权重相对更高。这种差异主要源于区域地质地理背景的根本不同:四川盆地地处青藏高原东缘强烈构造活动区,新构造运动活跃、历史强震频发^[27-28],导致内力地质作用(地震与断裂活动)在风险评价权重更大。而费县与桂林分别位于中国东部和岩溶地区,其地质灾害更多受降水等外营力过程主导。这一结果也与向喜琼^[30]提出地质灾害风险评价中不存在普适的权重分配方案相符合。构建符合区域地理环境本质特征的差异化评价体系至关重要。评估结果将中风险以上区域精准锚定在盆地西南缘过渡带、成都平原及次级盆地,为实施差异化的文物加固与监测措施提供了靶向指引。通过将风险分区成果纳入国土空间规划“一张图”系统,可提前规避高风险区域,对保护项目采取前瞻性工程干预,为区域文化遗产的系统性保护、灾害规避提供决策依据。

本研究仍存在一定局限性。首先,本研究将文物保护单位视为均质对象进行评估,未充分考虑其结构类型、保存状况等自身属性差异;其次,评价指标体系虽已涵盖自然致灾因子,但对人类工程活动、局部地质条件等微观影响因素考虑不足。在后续研究中,可结合文物本体脆弱性调查与区域地质勘察资料,引入更细致的分类评估方法,系统揭示不同类别文物对不同灾种的响应机制。可进一步集成时序数据与气候变化情景,模拟地灾风险的动态演变过程,构建更具前瞻性的文物地灾风险预警体系。通过对上述问题的深入探索,希望能为未来不可移动文物的精准保护与适应性管理提供更坚实的科学支撑。

7 结论

本文以四川盆地内市级以上文物保护单位为研究对象,结合使用GIS空间分析技术与层次分析法(AHP)对历史时期盆地内不可移动文物的时空演化过程及其地质灾害风险暴露进行了研究,主要结论如下。

(1)空间分布方面,盆地内文物呈现出整体分散、局部聚集的分布特征,南多北少、西密东疏。重庆、成都、广元—南充交界地区为高度集聚区,自贡、巴中等地为次级集聚区,另有若干稀疏集聚区。时间维度上,盆地文物遗存数呈明显的波浪式发展态势。

(2)历史演变方面,文物数量呈波浪式增长,隋唐五代与明清时期为波峰,隋前和宋元时期波谷区。空间分布随时间推移由分散趋于集聚,近现代时期文物分布聚集程度最高(最邻近指数0.48);其次为明清(0.57)与隋唐五代(0.66);史前与先秦时期的文物最为分散,最邻近指数分别为1.04和1.22。

(3)地灾风险方面,地震风险(0.422)与断裂带距离(0.202)权重最高,对风险评价起主导作用;地形湿度(0.075)与水系距离(0.048)对整体评价影响较弱;地灾风险整体呈西南高、东北低趋势,中-高风险占比高达89.4%,低风险仅10.6%;高风险区集中于西南缘山地-河谷过渡带;中高风险区分布于成都平原及次级盆地;中风险区见于川中丘陵;低风险区位于川东平行岭谷。

不可移动文物作为地域文化传承的重要载体、

文旅融合的核心依托与城乡高质量发展的珍贵资源,其科学保护与系统利用具有重要意义。本研究从地理学视角出发,开展不可移动文物地质灾害风险评价与区划研究,揭示文物分布与地质灾害风险的空间耦合关系,为区域文物系统性保护与空间管控提供了理论依据与实践参考。

参考文献(References)

- [1] 王晨,王媛. 文化遗产导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2016: 8 - 10. [WANG Chen, WANG Yuan. Introduction to cultural heritage [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 8 - 10]
- [2] 于海广,王巨山. 中国文化遗产保护概论[M]. 济南:山东大学出版社, 2008: 12 - 17. [YU Haiguang, WANG Jushan. Introduction to the protection of cultural heritage in China [M]. Jinan: Shandong University Press, 2008: 12 - 17]
- [3] 董卫. 国家历史文化空间体系建构初探[J]. 城市规划, 2022, 46(2): 71 - 78. [DONG Wei. An initial approach to the establishment of national historic and cultural spatial system [J]. City Planning Review, 2022, 46(2): 71 - 78] DOI: 10.11819/cpr20211626a
- [4] 何峰,史太润,张诗语. 湖南省不可移动文物时空分布特征及其影响因素——以市级以上文物保护单位为例[J]. 经济地理, 2023, 43(4): 217 - 228. [HE Feng, SHI Tairun, ZHANG Shiyu. Spatiotemporal distribution characteristics and influencing factors of immovable cultural relics in Hunan Province: Taking cultural relic protection units as example at and above the municipal level [J]. Economic Geography, 2023, 43(4): 217 - 228] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2023.04.022
- [5] 黎启国,郭树志,许召敏. 我国近现代工业遗产时空格局特征研究——基于全国重点文物保护单位视角[J]. 南方建筑, 2022, 12(7): 44 - 54. [LI Qiguo, GUO Shuzhi, XU Zhaomin. Temporal and spatial patterns of modern industrial heritage in China: Considering the national key protection units of cultural relics [J]. South Architecture, 2022, 12(7): 44 - 54] DOI: 10.3969/j.issn.1000-0232.2022.07.006
- [6] 余正勇,赵双. 西南地区传统村落与非物质文化遗产空间特征及影响机理研究[J]. 地域研究与开发, 2024, 43(3): 90 - 96. [YU Zhengyong, ZHAO Shuang. Research on spatial characteristics and influence mechanism of traditional villages and intangible cultural heritage in southwest China [J]. Areal Research and Development, 2024, 43(3): 90 - 96] DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2024.03.014
- [7] 徐贵宏,朱慧林,常阳,等. 河南省非物质文化遗产的空间分布特征及旅游活化机制研究[J]. 华北水利水电大学学报(社会科学版), 2024, 40(6): 101 - 109. [XU Guihong, ZHU Huilin, CHANG Yang, et al. Research on the spatial distribution characteristics of intangible cultural heritage and the mechanism of tourism activation in Henan Province [J]. Journal of North China University of Water Resources and Electric Power (Social Sciences Edition), 2024, 40(6): 101 - 109] DOI: 10.13790/j.cnki.nwu.sk.2024.075
- [8] 张一. 河南黄河区域文化遗产时空分布特征——以不可移动文物为例[J]. 地域研究与开发, 2021, 40(6): 160 - 165. [ZHANG Yi. Temporal and spatial distribution characteristics of the cultural heritage of the Yellow River in Henan Province: Taking immovable cultural relics as example [J]. Areal Research and Development, 2021, 40(6): 160 - 165] DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2021.06.027
- [9] 陈炜,蔡银潇. 基于GIS的西藏非物质文化遗产地理空间分布及影响因素研究[J]. 南宁师范大学学报(自然科学版), 2021, 38(1): 91 - 100. [CHEN Wei, CAI Yinxiao. Research on the geographical spatial distribution and influencing factors of Tibetan intangible cultural heritage based on GIS [J]. Journal of Nanning Normal University (Natural Science Edition), 2021, 38(1): 91 - 100] DOI: 10.16601/j.cnki.issn2096-7330.2021.01.016
- [10] 余正勇,赵双,陈兴. 四川省传统村落与非物质文化遗产空间关系特征及形成机理研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2024, 47(4): 13 - 24. [YU Zhengyong, ZHAO Shuang, CHEN Xing. Research on the characteristics of spatial relationship and formation mechanism of traditional villages and intangible cultural heritage in Sichuan Province [J]. Journal of Natural Sciences of Hunan Normal University, 2024, 47(4): 13 - 24] DOI: 10.7612/j.issn.2096-5281.2024.04.002
- [11] 王兴冰,马源,肖博鸿,等. 佛山市不可移动文物与非物质文化遗产分布特征及保护建议[J]. 南方建筑, 2023, 35(11): 50 - 59. [WANG Xingbing, MA Yuan, XIAO Bohong, et al. Distribution features and protection suggestions for immovable cultural relics and intangible cultural heritage in Foshan City [J]. South Architecture, 2023, 35(11): 50 - 59] DOI: 10.3969/j.issn.1000-0232.2023.11.006
- [12] LIAN Weiyu, DIMITRIJEVIC B. Analytic hierarchy process-based industrial heritage value evaluation method and reuse research in Shaanxi Province—a case study of Shaanxi steel factory [J]. Sustainability, 2025, 17(9): 4125. DOI: 10.3390/SU17094125
- [13] 洪霞芳,黄灵光. 基于GIS的江西省红色旅游资源空间分布格局分析——以不可移动革命文物为例[J]. 企业经济, 2022, 41(2): 125 - 131. [HONG Xiafang, HUANG Lingguang. Analysis of the spatial distribution pattern of red tourism resources in Jiangxi Province based on GIS: Taking immovable revolutionary cultural relics as an example [J]. Enterprise Economy, 2022, 41(2): 125 - 131] DOI: 10.13529/j.cnki.enterprise.economy.2022.02.014
- [14] 钱海涛,张力方,修立伟,等. 中国地震地质灾害的主要类型与分布特征[J]. 水文地质工程地质, 2014, 41(1): 119 - 127. [QIAN Haitao, ZHANG Lifang, XIU Liwei, et al. Types and distribution characteristics of earthquake induced geological

- disasters in China [J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2014, **41**(1): 119 – 127] DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000 – 3665.2014.01.014
- [15] ZHENG Qian, LYU Haimin, ZHOU Annan, et al. Risk assessment of geohazards along Cheng-Kun railway using fuzzy AHP incorporated into GIS [J]. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2021, **12**(1): 1508 – 1531. DOI: 10.1080/19475705.2021.1933614
- [16] 孙冉, 王成都, 夏哲兵, 等. 基于 AHP-信息量法的费县地质灾害风险评价[J]. *环境科学与技术*, 2015, **38**(6P): 430 – 435. [SUN Ran, WANG Chengdu, XIA Zhebing, et al. Geologic diasters risk assessment in Fee County based on AHP-information method [J]. *Environmental Science & Technology*, 2015, **38**(6P): 430 – 435] DOI: 10.3969/j.issn.1003 – 6504.2015.6P.088
- [17] 周修波, 李永红, 陈建平, 等. 基于逻辑回归模型的山区城镇地质灾害风险评价方法[J]. *城市地质*, 2025, **20**(1): 81 – 91. [ZHOU Xiubo, LI Yonghong, CHEN Jianping, et al. Risk assessment method of geological hazards in mountain towns based on logistic regression model [J]. *Urban Geology*, 2025, **20**(1): 81 – 91] DOI: 103969/j.issn.2097 – 3764.2025.01.010
- [18] 许冲, 戴福初, 徐素宁, 等. 基于逻辑回归模型的汶川地震滑坡危险性评价与检验[J]. *水文地质工程地质*, 2013, **40**(3): 98 – 104. [XU Chong, DAI Fuchu, XU Suning, et al. Application of logistic regression model on the Wenchuan earthquake triggered landslide hazard mapping and its validation [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2013, **40**(3): 98 – 104] DOI: 10.16030/j.cnki.issn.1000 – 3665.2013.03.019
- [19] CHEN Zhaohua, WANG Jinfei. Landslide hazard mapping using logistic regression model in Mackenzie Valley, Canada [J]. *Natural Hazards*, 2007, **42**(1): 75 – 89. DOI: 10.1007/s11069 – 006 – 9061 – 6
- [20] 王磊. 基于模糊综合评判法的地质灾害危险性评价——以阿干矿区为例[J]. *价值工程*, 2019, **38**(21): 236 – 240. [WANG Lei. Geological hazard risk assessment based on fuzzy comprehensive evaluation method: Take Agan mining area as an example [J]. *Value Engineering*, 2019, **38**(21): 236 – 240] DOI: 10.14018/j.cnki.cn13 – 1085/n.2019.21.088
- [21] 李晓婷, 刘文龙. 模糊综合评判法在甘肃陇南武都区石门乡泥石流危险性评价中的应用[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2020, **31**(4): 71 – 76. [LI Xiaoting, LIU Wenlong. Application of fuzzy comprehensive evaluation method to debris flow risk evaluation in Shimen Township, Wudu District of Longnan City, Gansu Province [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2020, **31**(4): 71 – 76] DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003 – 8035.2020.04.09
- [22] 李剑锋, 芦艳丽, 邹治亮. 确定性系数法的海城市地质灾害易发性评价[J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2021, **42**(4): 62 – 68. [LI Jianfeng, LU Yanli, ZOU Zhiliang. Geological disaster susceptibility evaluation of certainty factor method in Haicheng City [J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 2021, **42**(4): 62 – 68] DOI: 10.19789/j.1004 – 9398.2021.04.011
- [23] 于喜坤, 张紫昭, 史光明, 等. 基于确定性系数与信息量耦合模型的新疆额敏县地质灾害易发性评价[J]. *工程地质学报*, 2023, **31**(4): 1333 – 1349. [YU Xikun, ZHANG Zizhao, SHI Guangming, et al. Evaluation of geological hazard susceptibility in Emin County, Xinjiang based on deterministic coefficient and information coupling model [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2023, **31**(4): 1333 – 1349] DOI: 10.13544/j.cnki.jeg.2023 – 0205
- [24] 裴树文, 卫奇, 冯兴无, 等. 高家镇旧石器遗址 1998 年出土的石制品[J]. *人类学学报*, 2005, **24**(2): 104 – 120. [PEI Shuwen, WEI Qi, FENG Xingwu, et al. The stone artifacts excavated from Gaojiazhen Paleolithic site in 1998 [J]. *Acta Anthropologica Sinica*, 2005, **24**(2): 104 – 120] DOI: 10.16359/j.cnki.cn11 – 1963/q.2005.02.002
- [25] 赵殿增. 三星堆考古发现与巴蜀古史研究[J]. *四川文物*, 1992(S1): 3 – 12. [ZHAO Dianzeng. Archaeological discoveries at Sanxingdui and the study of Ba-Shu ancient history [J]. *Sichuan Cultural Relics*, 1992(S1): 3 – 12]
- [26] 陈超, 庞艳梅, 张玉芳. 近 50 年来四川盆地气候变化特征研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2010, **32**(9): 115 – 120. [CHEN Chao, PANG Yanmei, ZHANG Yufang. On the characteristics of climate change in Sichuan Basin in the recent 50 years [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2010, **32**(9): 115 – 120] DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2010.09.019
- [27] 郁淑华. 四川盆地泥石流、滑坡的时空分布特征及其气象成因分析[J]. *高原气象*, 2003, **22**(S1): 83 – 89. [YU Shuhua. Analyses on spatial-temporal characteristics of mudrock flow and landslip in Sichuan Basin and its meteorological cause [J]. *Plateau Meteorology*, 2003, **22**(S1): 83 – 89]
- [28] 杨涛, 邓荣贵, 刘小丽. 四川地区地震崩塌滑坡的基本特征及危险性分区[J]. *山地学报*, 2002, **20**(4): 456 – 460. [YANG Tao, DENG Ronggui, LIU Xiaoli. The distributing and subarea character of the seismic landslides in Sichuan [J]. *Mountain Research*, 2002, **20**(4): 456 – 460] DOI: 10.16089/j.cnki.1008 – 2786.2002.04.011
- [29] 陈博, 李振洪, 黄武彪, 等. 2022 年四川泸定 M_w 6.6 级地震诱发地质灾害空间分布及影响因素[J]. *地球科学与环境学报*, 2022, **44**(6): 971 – 985. [CHEN Bo, LI Zhenhong, HUANG Wubiao, et al. Spatial distribution and influencing factors of geohazards induced by the 2022 M_w 6.6 Luding (Sichuan, China) earthquake [J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2022, **44**(6): 971 – 985] DOI: 10.19814/j.jese.2022.10012
- [30] 向喜琼. 区域滑坡地质灾害危险性评价与风险管理[D]. 成都: 成都理工大学, 2005: 41 – 44. [XIANG Xiqiong. Regional

- landslide hazard assessment and risk management [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2005: 41 - 44
- [31] 冯杭建, 王兰中, 唐小明. 青川县马鹿乡地震灾后恢复重建的地质灾害危险性评估[J]. 山地学报, 2009, 27(1): 115 - 121. [FENG Hangjian, WANG Lanzhong, TANG Xiaoming. Appraise of geology disaster fatalness for rebuilding plan of Malu of Qinghai after 5.12 Wenchuan earthquake [J]. Mountain Research, 2009, 27(1): 115 - 121] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.2009.01.009
- [32] 吕爽, 刘千瑜, 张湘如. 基于 AHP-信息量模型的桂林市地质灾害危险性评价[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2025, 43(3): 143 - 155. [LYU Shuang, LIU Qianyu, ZHANG Xiangru. Risk assessment of geohazards using AHP-information model in Guilin, China [J]. Journal of Guangxi Normal University (Natural Science Edition), 2025, 43(3): 143 - 155] DOI: 10.16088/j.issn.1001-6600.2024082301
- [33] 冯卫, 唐亚明, 贾俊, 等. 一种基于地质灾害风险评价的山区城镇国土空间规划优化方法[J]. 西北地质, 2023, 56(3): 232 - 238. [FENG Wei, TANG Yaming, JIA Jun, et al. A method for optimizing territorial space planning of mountain towns based on geological hazard risk assessment [J]. Northwestern Geology, 2023, 56(3): 232 - 238] DOI: 10.12401/j.nwg.2023074
- [34] 徐辉. 中国诱发滑坡的降水极端性特征及变化趋势[J]. 山地学报, 2023, 41(4): 545 - 553. [XU Hui. Extreme characteristics and variation trend of rainfall-induced landslides in China [J]. Mountain Research, 2023, 41(4): 545 - 553] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000769
- [35] 王兆峰, 李琴. 长征沿线红色文化遗产空间分布特征及旅游高质量发展[J]. 山地学报, 2022, 40(4): 581 - 596. [WANG Zhaofeng, LI Qin. Spatial distribution of red cultural heritage and high-quality tourism development along the Long March [J]. Mountain Research, 2022, 40(4): 581 - 596] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000695
- [36] 刘平, 刘纪平, 赵荣, 等. 近邻点指数法测度澜沧江流域居民地空间分布类型[J]. 测绘通报, 2007(10): 32 - 34. [LIU Ping, LIU Jiping, ZHAO Rong, et al. Determination of Lancang River Basin's residential distribution type by adjacent-point index method [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2007(10): 32 - 34]
- [37] 汤国安, 杨昕, 等. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 201 - 207. [TANG Guoan, YANG Xin, et al. Experiment tutorial for ArcGIS geographic information system spatial analysis [M]. Beijing: Science Press, 2012: 201 - 207]
- [38] 刘华军, 邵明吉, 吉元梦. 中国碳排放的空间格局及分布动态演进—基于县域碳排放数据的实证研究[J]. 地理科学, 2021, 41(11): 1917 - 1924. [LIU Huajun, SHAO Mingji, JI Yuanmeng. The spatial pattern and distribution dynamic evolution of carbon emissions in China: Empirical study based on county carbon emission data [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(11): 1917 - 1924] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.11.005
- [39] 徐雯丽, 陈强强. 黄河流域城市 PM_{2.5} 时空分异特征及污染物解析[J]. 环境科学研究, 2023, 36(4): 637 - 648. [XU Wenli, CHEN Qiangqiang. Spatial-temporal variation characteristics and pollutants analysis of urban PM_{2.5} in the Yellow River Basin [J]. Research of Environmental Sciences, 2023, 36(4): 637 - 648] DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2022.10.06
- [40] 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): 148 - 153. [GUO Jinyu, ZHANG Zhongbin, SUN Qingyun. Study and applications of analytic hierarchy process [J]. China Safety Science Journal, 2008, 18(5): 148 - 153] DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2008.05.018
- [41] 吴树仁, 石菊松, 张春山, 等. 地质灾害风险评估技术指南初论[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 995 - 1005. [WU Shuren, SHI Jiusong, ZHANG Chunshan, et al. Preliminary discussion on technical guideline for geohazard risk assessment [J]. Geology Bulletin of China, 2009, 28(8): 995 - 1005]

Spatial Evolution and Geo-Hazard Risk Zoning of Immovable Cultural Heritage in the Sichuan Basin, China

WANG Rui, WANG Bin, LIN Junpeng*, MA Yixin, GONG Kaiwen

(College of Architecture and Planning, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: Scientifically assessing geohazard risks faced by immovable cultural relics and subsequently conducting risk zoning are pressing practical needs and active academic topics for promoting systematic protection and

utilization of regional cultural heritage. The Sichuan Basin hosts a huge number and diverse types of immovable relics, yet it is located in a seismically active zone where frequent geological hazards pose severe threats to the heritage safety.

This study focused on cultural relics protected at the municipal level or above in the Sichuan Basin, employing kernel density analysis, nearest neighbor index, and standard deviational ellipse methods to reveal their spatial patterns and spatiotemporal evolution. Subsequently, an indicator system comprising slope, terrain moisture, distance to water bodies, distance to fault zones, annual precipitation, and earthquake risk was constructed, with their weights determined using Analytic Hierarchy Process (AHP) to complete the geohazards risk assessment of cultural relics. Finally, GIS spatial analysis techniques were utilized to conduct hazard zoning for immovable cultural relics.

(1) Spatially, heritage sites were generally scattered but locally clustered, with larger numbers of cultural relics in the southern basin and higher densities in the west than in the east.

(2) Temporally, site numbers exhibited a wave-like increase, with peaks in the Sui-Tang/Five-Dynasties and Ming-Qing periods and troughs before the Sui and during the Song-Yuan; spatial distribution shifts from dispersion to agglomeration over time.

(3) According to risk analysis, earthquake and fault-distance indices held the highest weights, whereas topographic-wetness and river-distance indices were the lowest; geohazard risk decreased from south-west to north-east, with medium-to-high-risk zones accounting for 89.4% and low-risk zones only 10.6%. Zoning reveals that the high-risk belt in the transitional zone between mountains and river valleys on the southwestern margin of the basin; medium-to-high-risk zones concentrated in the Chengdu Plain and secondary basins; medium-risk zones were distributed in the central Sichuan hills; and low-risk zones were located in the parallel ridge-valley region of eastern Sichuan.

The study provides technical support and decision-making references for precise risk control of cultural heritage and for territorial-spatial planning in the Sichuan Basin.

Key words: immovable cultural relic; spatial evolution; geohazards; risk zoning; Sichuan Basin

(责任编辑 朱颖彦 李 嵘)