

宋亚磊. 基于无线传感物联网技术的泥石流造成道路中断概率评估[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 24-28. [SONG Yalei. Probability Assessment of Debris Flow Causing Road Disruption Based on Wireless Sensor Internet of Things Technology[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(4): 24-28. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.006.]

基于无线传感物联网技术的泥石流造成道路中断概率评估^{*}

宋亚磊

(郑州商学院 现代教育技术中心, 河南 巩义 451200)

摘要:为减少泥石流中断道路对人类生命财产的危害, 该文提出基于无线传感物联网技术的泥石流中断道路概率评估方法。首先构建包括感知层、传输层、数据层与应用层的物联网技术泥石流中断道路评估系统, 然后通过分析泥石流中断道路的影响因素, 选取出评估泥石流中断道路概率的指标并创建评估指标体系, 对评估指标实行分级, 最后以灰色关联度分析法确定指标权重, 采用因素叠加法创建评估模型实现评估概率等级划分。实例分析结果表明: 此方法可准确、有效评估汶川县的5条道路的泥石流中断道路概率, 其中道路a概率较高, 道路e的概率较低, 其余三条道路的概率中等; 且此方法具备数据采集时耗时短、效率高优势; 可为及时治理泥石流灾害、规避道路中断风险提供有效依据。

关键词:无线传感; 物联网; 泥石流; 道路中断; 概率评估

中图分类号: X43; X915.5; TP311; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2020)04-0024-05
doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.04.006

我国拥有广阔的地域环境与较高的地带性和非地带性自然环境差别, 导致我国的各类地质灾害发生频率较高, 因此带来的生命与经济损失非常惨重^[1-2]。而自然环境内的道路属于线性结构, 其周边沿线具备差异化的地质、地形及水文状况等, 其受地质灾害的影响颇深, 其中较为严重的便是泥石流造成的道路中断灾害的发生^[3-5]。国内外对泥石流的灾害评估现已非常成熟, 从传统的单项评估发展成如今的多指标综合评估, 对泥石流灾害爆发的危险程度评估及预防治理提供有效的帮助^[6]。

物联网(Internet of Things, IoT)是一种新兴的网络技术与产业模式, 是在计算机与互联网之后世界信息产业的第3次革命^[7-9], 在世界范围内广受关注。物联网技术存在于人们工作与生活中的各个方面, 其通过人与信息的交互, 实现物体间数据的传输与连接^[10]。本文通过无线传感物联网技术构建泥石流中断道路评估系统, 对泥石流中断道路的概率实行评估。

1 评估方法

1.1 基于物联网技术的泥石流中断道路评估系统架构

构建基于物联网技术的泥石流中断道路评估系统, 其架构可分为感知层、传输层、数据层及

应用层。其中, 感知层采用各类智能无线传感器与摄像头等设备^[11-12], 感知泥石流造成道路中断的各方面因素的信息, 实现数据采集; 传输层采用短信、无线网、3G、卫星及无线数据等各类数据通讯方法, 传输传感器所得的数据信息; 数据层为整体评估系统的重点, 将现场采集到的数据进行挖掘、计算分析、保存及共享^[13]; 应用层智能应用泥石流中断道路的评估结果, 是连接用户与物联网的接口。物联网通过连接各层构建出一个系统用于泥石流中断道路概率的评估。评估系统见图1。

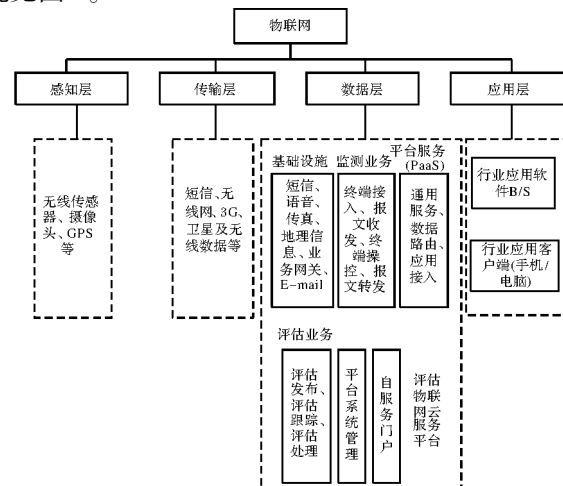


图1 基于物联网技术的泥石流中断道路评估系统架构

* 收稿日期: 2020-03-06

修回日期: 2020-06-05

基金项目: 河南省科技厅科技攻关项目(182102210134); 河南省教育厅人文社科项目(2019-ZZJH-185)

作者简介: 宋亚磊(1982-), 男, 河南宁陵县人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机应用技术、网络工程研究. E-mail: cc356398632@163.com

1.2 创建泥石流中断道路概率的评估指标体系

1.2.1 影响因素分析

泥石流造成道路中断的主要影响因素是：大量疏松的固体物堆存于上游，即物源状况；险峻且适合存水存物的地形，即地形地貌状况；短期出现突发的大规模流水来源，即水源状况。另外植被状况与人类工程活动状况是影响泥石流中断道路的次要因素。各影响因素分析如下。

(1)物源状况。形成区、堆积区及流通区共同组成泥石流沟。形成区的土石体类别、位置、形态及储备等被称之为造成泥石流中断道路的物源状况，风化作用、气候及地层岩性等条件对其均有影响。在岩性方面的疏松固体堆积物极易被冲刷与侵蚀，另外造成泥石流中断道路的重要物源还有山坡上的残积物、崩塌与滑坡造成的堆积物等。

(2)地形地貌状况。在形成沟槽与坡面的过程中，过高的流域面积与地形坡度能够给予充分的土石体与水体；为泥石流形成提供位能的沟床坡度势能状况，同时可给予泥石流搬运、侵蚀与堆存固体物的能量。

(3)水源状况。水不仅是疏松固体堆存物的搬运介质，同时也是构成泥石流中断道路的主要物质。水源状况主要包括冰雪融化水、地表水、大气降水及水库溃决水等，大概有百分之九十的泥石流中断道路灾害是因暴雨造成的。泥石流中断道路灾害形成地区性差别的关键原因是我国各地降水量的差异性，暴雨较为集中的地区泥石流中断道路灾害发生的概率较高。

(4)人类工程活动状况。人类在进行不符合自然规律的活动时，比如铁路、公路及新建与改建建筑时对边坡和植被等造成破坏，很大程度上易造成泥石流中断道路的形成。

(5)植被状况。对泥石流中断道路概率高低影响较大的是植被类别与植被的覆盖率。植被覆盖率大能够降低水土流失与固体疏松物的补给，减少泥石流中断道路的发生。

1.2.2 选取评估指标创建指标体系

通过分析各影响因素，创建泥石流中断道路概率的评估指标体系，包括因子层、指标层与状态层。其中物源状况、地形地貌状况、水流状况、人类工程活动状况及植被状况五个影响因素为因子层；选择可反映因子层的指标作为指标层，包括地形坡度、岩土类型、岩土体风化系数、年均暴雨天数、人类活动强度及植被覆盖程度六个指标；状态层的创建依据各评估指标的程度影响泥石流中断道路的概率，划分六项评估指标概率等级为：无风险概率、轻度风险概率、中度风险概率、重度风险概率及极高风险概率五个等级，同时给予2、4、6、8、10五个对应评分。基于所选取指标创建泥石流中断道路概率的评估指标体系见图2。

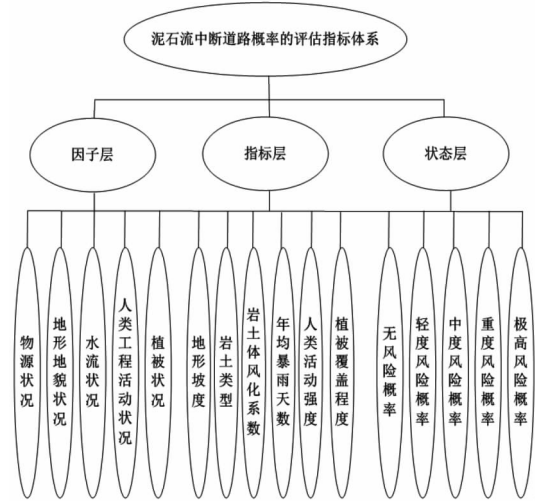


图2 泥石流中断道路概率的评估指标体系

1.3 评估指标分级

对泥石流中断道路概率的六个评估指标的不同程度实行规范性分级，对应状态层的五个概率等级及评分，比如当地形坡度为 $[0^\circ, 7^\circ)$ 时，此评估指标评分为2分，对应概率等级为无风险概率等级。泥石流中断道路概率评估指标分级见表1。

1.4 确定权重

确定权重的方式很多，包括多元回归分析法、专家打分法、及灰色关联度分析法等^[14-15]。其中灰色关联度分析法是基于灰色系统理论的一种确定因素间关联度的方法。为得出主要因素和关联指标之间的关联程度，灰色关联度分析法通过确定参考序列，量纲归一化处理初始数据，对主要因素序列和所关联指标序列相比后的绝对差值进行计算。由于主要因素对泥石流中断道路概率影响最高，所以，和主要因素关联度大的关联指标对泥石流中断道路概率影响也越高，且其权重也越高。

在此灰色关联分析法选取主要因素中的地形地貌状况因素所对应的地形坡度指标为参考序列，设为 $A_0 = (A_0(1), A_0(2), \dots, A_0(n))$ ，比较序列从剩下指标中依次选取，设为 $A_j = (A_j(1), A_j(2), \dots, A_j(n))$ ， $j = 1, 2, \dots, m$ 。

因每个指标的量纲不等，所以需均值化处理指标数据，令各指标量纲统一为1，均值化处理表达式为：

$$A'_j(a) = A_j(a) / \frac{1}{n} \sum_{a=1}^n A_j(a). \quad (1)$$

式中： $j = 1, 2, \dots, m$ ， $a = 0, 1, \dots, n$ 。

参考序列和比较序列的绝对差为：

$$\Delta_j(a) = |A'_j(a) - A'_j(0)|. \quad (2)$$

两极最大差和最小差表达式为：

$$\begin{aligned} \Delta_{\max} &= \max \max \Delta_j(a); \\ \Delta_{\min} &= \min \min \Delta_j(a). \end{aligned} \quad (3)$$

关联系数为：

$$\mu_{jk}(a) = \frac{\Delta_{\min} + a\Delta_{\max}}{\Delta_j(a) + a\Delta_{\max}}. \quad (4)$$

式中： a 是常数，且 $0 < a < 1$ ， a 通常取值为0.5。

关联值为:

$$B_j(A_0, A_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_{jk}(a)。$$
 (5)

式中: A_j 对 A_0 的关联度以 $B_j(A_0, A_j)$ 表示。通过计算出的关联值能够得出和参考序列 A_0 的关联接近度, 它和泥石流中断道路的关联度越高, 发生泥石流中断道路的概率就越高。

1.5 创建泥石流中断道路概率评估模型

通过叠加因子层的各影响因素创建泥石流中断道路概率评估模型, 表达式为:

$$Q = IH_1 + JH_2 + KH_3 + LH_4 + MH_5 + NH_6。$$
 (6)

式中: $I、J、K、L、M、N$ 依次表示指标层的六个指标, Q 表示泥石流中断道路概率, $H_1 \sim H_6$ 依次表示指标层六个指标的权重系数。依据泥石流中断道路概率 Q , 划分泥石流中断道路概率等级为无风险概率、低风险概率、中等风险概率及高风险概率四个等级(表 2)。

2 应用实例分析

以汶川县内的绵虬镇磨子沟、银杏乡、映秀

镇、漩口镇、水磨镇五个关键泥石流沟地区中对应的 5 条道路(a、b、c、d、e)为例, 采用本文方法进行泥石流中断道路概率评估。

2.1 泥石流中断道路概率评估

通过本文方法获取 5 条道路的各项评估指标具体数据(表 3)。结合表 1 分析表 3 可得出, 5 条道路中道路 b 的地形坡度指标、岩土类型指标及年均暴雨天数指标评分均最高; 道路 d 的岩土体风化系数指标、年均暴雨天数指标及植被覆盖程度指标评分均最高; 道路 a 的年均暴雨天数指标与人类活动强度指标评分均最高; 道路 c 仅有 人类活动强度指标评分最高; 而道路 e 各项指标评分均居中, 说明道路 e 发生泥石流中断道路概率相对较低。

依据各指标数据通过本文方法计算得出各道路的泥石流中断道路概率及概率等级, 具体评估结果见表 4。通过表 4 可看出, 道路 a 的泥石流中断道路概率较高, b、c、d 三条道路的概率中等, 道路 e 的概率较低。说明通过本文方法可评估出各条道路的泥石流中断道路概率情况。

表 1 泥石流中断道路概率评估指标分级

概率等级	无风险概率	轻度风险概率	中度风险概率	重度风险概率	极高风险概率
地形坡度/(°)	[0, 7)	[7, 14)	[14, 24)	[24, 34)	[34, 89]
岩土类型	硬岩	砾类土、极软岩	粘性土	砂类土、黄土	粉性土
岩土体风化系数	(0.7, 0.9]	(0.5, 0.7]	(0.3, 0.5]	(0.1, 0.3]	[0.0, 0.1]
年均暴雨天数/d	[0.0, 0.7)	[0.7, 2.4)	[2.4, 4.4)	[4.4, 6.4)	≥6.4
人类活动强度	没有	轻度活动度	中度活动度	重度活动度	极高活动度
植被覆盖程度	(0.7, 0.9]	(0.5, 0.7]	(0.3, 0.5]	(0.1, 0.3]	[0.0, 0.1]
评分	2	4	6	8	10

表 2 泥石流中断道路概率等级划分

泥石流中断道路概率等级划分	无风险概率	低风险概率	中等风险概率	高风险概率
泥石流中断道路概率 Q	[0.0, 2.4)	[2.4, 5.4)	[5.4, 6.9)	[6.9, 8.9]

表 3 各道路评估指标数据

道路编号	a	b	c	d	e
地形坡度/(°)	48	57	43	28	20
岩土类型	砂类土	粉性土	砾类土	极软岩	粘性土
岩土体风化系数	0.68	0.63	0.52	0.38	0.31
年均暴雨天数/d	6.9	6.9	6.8	6.9	6.2
人类活动强度	重度活动度	中度活动度	重度活动度	中度活动度	轻度活动度
植被覆盖程度	0.33	0.38	0.53	0.28	0.60

表 4 各道路泥石流中断道路概率评估结果

道路编号	a	b	c	d	e
泥石流中断道路概率 Q	7.0	6.4	6.3	6.7	5.2
泥石流中断道路概率等级	高风险概率	中等风险概率	中等风险概率	中等风险概率	低风险概率

表 5 各评估方法结果对比

道路编号	a	b	c	d	e
实际概率	高风险概率	中等风险概率	中等风险概率	中等风险概率	低风险概率
本文方法评估结果	高风险概率	中等风险概率	中等风险概率	中等风险概率	低风险概率
决策树评估方法结果	中等风险概率	低风险概率	无风险概率	高风险概率	低风险概率
云预测评估方法结果	高风险概率	中等风险概率	中等风险概率	低风险概率	中等风险概率
遥感技术评估方法结果	低风险概率	高风险概率	中等风险概率	中等风险概率	高风险概率

2.2 评估准确性

为验证本文方法对泥石流中断道路概率评估的准确性，将本文方法、决策树评估方法、云预测评估方法、遥感技术评估方法的评估结果与 5 条道路的实际泥石流中断道路概率分别进行对比，具体对比情况见表 5。通过表 5 可看出，本文评估方法的评估结果与 5 条道路的实际泥石流中断道路概率相同，其它方法的评估结果均有不同差异，说明本文方法评估结果准确有效。

2.3 采集效率分析

分别采用四种方法采集 5 条道路的各项指标数据，对比各种方法采集时消耗的时间，具体对比情况如图 3 所示。分析图 3 可得出，在采集 5 条道路的各项指标数据时，本文方法所消耗的时间均远远低于其它三种方法，说明本文方法采集耗时短、效率高。

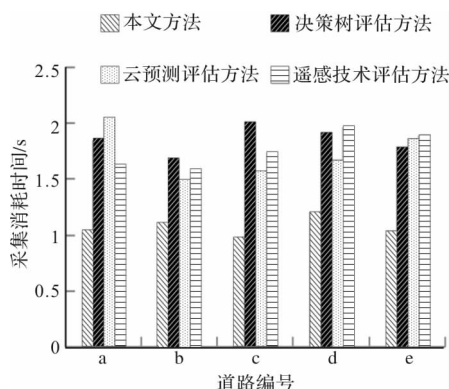


图3 各方法数据采集消耗时间对比

3 结论

本文提出基于无线传感物联网技术评估各道路的泥石流中断概率研究，以汶川县五个关键泥石流沟地区中的 5 条道路为评估对象，进行评估效果测试，结果表明绵虬镇磨子沟道路的泥石流中

断概率较高，应及时治理泥石流中断此道路的各影响因素。本文方法可提前规避风险保障通行车辆及大众的生命财产安全。

参考文献：

- [1] 赵聪, 梁京涛, 谢忠胜, 等. 汶川地震强震区震后 10 年泥石流活动特征遥感动态分析——以平武县石坎河流域为例[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 222–227.
- [2] 张永双, 姚鑫, 郭长宝, 等. 龙门山地区震后泥石流灾害区域预警研究[J]. 西南交通大学学报, 2016, 51(5): 1014–1023.
- [3] 舒和平, 孙爽, 马金珠, 等. 甘肃省南部单沟泥石流灾害风险评估[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 337–345.
- [4] 崔鹏, 邹强. 山洪泥石流风险评估与风险管理理论与方法[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 137–147.
- [5] 吴赛儿, 陈剑, 高玉欣, 等. 基于逻辑回归模型的泥石流易发性评价与检验：以金沙江上游奔子栏—昌波河段为例[J]. 现代地质, 2018, 32(3): 611–622.
- [6] 李益敏, 李驭豪, 赵志芳. 基于确定性系数模型的泸州市泥石流易发性评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4): 336–342.
- [7] 赵文兵, 毛罕平, 马万征, 等. 基于物联网的智能温室信息管理系统设计[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(2): 72–77.
- [8] 汤华清. 基于物联网技术的城市消防安全管理监测平台[J]. 消防科学与技术, 2019, 38(7): 1031–1034.
- [9] 黄天聪, 黄超, 杨光, 等. 无线 Mesh 网络在输电线路设备物联网中的应用[J]. 高电压技术, 2016, 42(9): 3018–3024.
- [10] 李献伟, 王伟. 基于物联网的随机性电源即插即用运维技术方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(16): 112–117.
- [11] 史东旭, 高德民, 薛卫, 等. 基于物联网和大数据驱动的农业病虫害监测技术[J]. 南京农业大学学报, 2019, 42(5): 967–974.
- [12] 余国雄, 王卫星, 谢家兴, 等. 基于物联网的荔枝园信息获取与智能灌溉专家决策系统[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 144–152.
- [13] 苟志坚, 王太宏, 张恩迪, 等. 基于物联网的通信电源监控系统的设计[J]. 电源技术, 2016, 40(8): 1686–1688.
- [14] 曹莉, 乐英高, 骆忠强, 等. 基于能耗均衡的物联网感知层分簇路由算法研究[J]. 电视技术, 2017, 41(24): 151–157.
- [15] 顾治华, 朱雪芬, 吴晓平, 等. 一种传感网时间同步和定位的联合线性估计方法[J]. 传感技术学报, 2016, 29(3): 397–402.

Probability Assessment of Debris Flow Causing Road Disruption Based on Wireless Sensor Internet of Things Technology

SONG Yalei

(Zhengzhou Business University Modern Education Technical Center, GongYi 451200, China)

Abstract: In order to reduce the harm of debris flow interruption to human life and property, a probability assessment method of debris flow interruption based on wireless sensor Internet of things technology is proposed. Firstly, the internet of things technology evaluation system of debris flow interruption road is constructed, which includes perception layer, transmission layer, data layer and application layer. Then, by analyzing the influencing factors of debris flow interruption road, the index of evaluating the probability of debris flow interruption road is selected and the evaluation index system is established, and the evaluation index is graded. Finally, the index weight is determined by grey correlation analysis method, and the factor is adopted. The evaluation model is created by

prime superposition to realize the classification of evaluation probability. The results show that: this method can accurately and effectively evaluate the probability of debris flow interruption of five roads in Wenchuan County, of which the probability of road a is high, the probability of road e is low, and the probability of the other three roads is medium; moreover, this method has the advantages of short data collection time and high efficiency; it can provide an effective basis for timely control of debris flow disaster and avoid the risk of road interruption.

Key words: wireless sensing; the internet of things; debris flow; road interruption; probability; evaluation system

(上接第 19 页)

- [2] 王建英, 赵宏杰, 邹利林, 等. 基于空间感知的旅游城市居民游憩忠诚度前因关系研究[J]. 旅游学刊, 2019, 34(8): 108 - 117.
- [3] 关伟, 郝金连. 东北地区旅游经济影响因素时空特征研究[J]. 地理科学, 2018, 38(6): 935 - 943.
- [4] 曹阳春, 宁凌. 基于熵权 TOPSIS 模型的海洋资源环境承载力评价研究——以湛江市为例[J]. 海洋通报, 2019, 38(3): 266 - 272.
- [5] 荀露峰, 汪艳涛, 金炜博. 基于熵权 TOPSIS 模型的青岛市海洋资源环境承载力评价研究[J]. 海洋环境科学, 2018, 37(4): 586 - 594.
- [6] 谢双玉, 张琪, 龚箭, 等. 城市旅游景点可达性综合评价模型构建及应用——以武汉市主城区为例[J]. 经济地理, 2019, 39(3): 232 - 239.
- [7] 段佩利, 刘曙光, 尹鹏, 等. 中国沿海城市开发强度与资源环境承载力时空耦合协调关系[J]. 经济地理, 2018, 38(5): 60 - 67.
- [8] 彭建, 魏海, 武文欢, 等. 基于土地利用变化情景的城市暴雨洪涝灾害风险评估——以深圳市茅洲河流域为例[J]. 生态学报, 2018, 38(11): 3741 - 3755.
- [9] 朱玉林, 李明杰, 顾荣华. 基于压力 - 状态 - 响应模型的长株潭城市群生态承载力安全预警研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(12): 2057 - 2064.
- [10] 李超超, 程晓陶, 申若竹, 等. 城市化背景下洪涝灾害新特点及其形成机理[J]. 灾害学, 2019, 34(2): 57 - 62.
- [11] 杨秀平, 张大成. 旅游经济与新型城镇化耦合协调关系研究——以兰州市为例[J]. 生态经济, 2018, 34(8): 112 - 117.
- [12] 张朝枝, 张鑫. 流动性的旅游体验模型建构——基于骑行入藏者的研究[J]. 地理研究, 2017, 36(12): 2332 - 2342.
- [13] 荣慧芳, 陶卓民, 刘琪, 等. 皖南地区旅游产业 - 城镇化 - 生态环境耦合协调的时空演变[J]. 水土保持研究, 2019, 26(4): 280 - 285.
- [14] 李广丽, 朱涛, 袁天, 等. 混合分层抽样与协同过滤的旅游景点推荐模型研究[J]. 数据采集与处理, 2019, 34(3): 566 - 576.
- [15] 牛方曲, 封志明, 刘慧. 资源环境承载力综合评价方法在西藏产业结构调整中的应用[J]. 地理学报, 2019, 74(8): 1563 - 1575.

Research On Economic Loss Model of Environmental Carrying Capacity Caused by Flood and Waterlogging in Urban Tourism Areas

XIAO Xiangjun^{1,2}

(1. Shaoyang University, Shaoyang 422000, China; 2. Adamson University, 0900, Philippines Manila)

Abstract: In view of the large calculation error of the economic loss model of the environmental carrying capacity of the urban tourism area caused by the flood disaster, a economic loss model of the environmental carrying capacity of the urban tourism area caused by the flood disaster is designed. First, calculate the ultimate daily capacity of resources, the capacity to deal with tourism pollutants and the economic capacity of urban tourism to obtain the environmental carrying capacity of urban tourism area, then estimate the surface net flow and the depth of inundation, determine the loss rate of flood disaster, and finally get the economic loss assessment results of the environmental carrying capacity of urban tourism area caused by flood disaster. The experimental results show that the maximum error of the design model is less than that of the control model by 22000 yuan, and the calculation error of the economic loss model of environmental carrying capacity of urban tourism area is smaller than that of the control model, which has certain applicability.

Key words: flood disaster; urban tourism; carrying capacity; economic loss; loss rate