罗宇. 游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析[J]. 灾害学，2019，34(3)：167－171. [LUO Yu. Modeling and analysis of the influence of swimming skill training on the escape effect of flood disaster evacuation[J]. Journal of Catastrophology，2019，34(3)：167－171. doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2019.03.031.]

游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析*

罗 宇

（湖南人文科技学院，湖南 娄底 417000）

摘 要：针对当前方法得到结果与理论结果吻合度低的问题，提出基于 Agent 的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析方法。利用水的密度、人的身高体重以及综合参数计算洪水灾害中人体跌倒失稳情况，根据水深、流速的比值分析发生洪水灾害时人体的危险程度，利用折减系数计算洪水灾害中会游泳人的逃生速度，并根据接收洪水灾害的预警时间计算路权函数，得到洪水灾害避难逃生路段中人员的逃生速度，分析洪水灾害避难逃生的位置变化，获取游泳的移动距离，利用洪水灾害透水事故的影响系数等条件计算逃生通道安全系数，得到游泳技能好坏的影响系数，通过对该系数的计算，实现了游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模。结合实验，在对游泳技能不同的人员测试洪水灾害避难逃生存活率时，游泳终极者和游泳冠军的存活率较高，并测试得到结果与理论结果的吻合度情况，实验结果证明，提出方法得到的结果与理论结果的吻合度较高，比当前方法的结果与理论结果的吻合度高 30%，更贴近实际结果。

关键词：游泳技能训练；洪水灾害；避难逃生；建模

中图分类号：X43；P426　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000－811X(2019)03－0167－05

doi：10.3969/j.issn.1000－811X.2019.03.031

洪水灾害属于自然灾害，洪水灾害为人民的财产和安全带来了严重损失，但有洪水不一定会发生洪水灾害，在杳无人烟发生的洪水下不会对人们产生灾害的影响，通常情况下，洪水灾害是由于水利工程损毁或者天气恶劣等原因使江河的水量大幅度的增加，水位出现上涨现象，为人们的生产和正常生活造成祸患与损失。为了在洪水灾害出现时减少损失，需要提高避难逃生能力，游泳技能的训练对洪水灾害避难逃生效果起到重要作用[1－2]，游泳技能的好坏直接影响了逃生避难的效果，游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果影响建模的研究受到了大量研究学者的广泛关注。

于海明等人[3]提出基于元胞自动机的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析，计算在洪水灾害发生时不同人员和不同方向逃生的行进速度，分析避难逃生疏散时间和逃生规律，采用曲线拟合方法，获取不同游泳技能人员的逃生速度，制定划分规则，并计算游泳技能好的人员的洪水灾害避难逃生速度，构建游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响模型，但该方法得到的结果与理论结果的吻合度较低，与实际结果偏差较大。

针对上述方法研究结果存在的问题，提出基于 Agent 的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析方法。根据洪水灾害演化，确定灾害链的类型，分析洪水灾害中人体跌倒失稳情况和人体的危险程度，并对洪水灾害避难逃生人员设定属性，计算路权函数，建立游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响模型。

1　游泳技能对洪水灾害避难逃生效果的影响建模

1.1　洪水灾害的特征分析

洪水灾害受到不同环境、地域以及气候的影响，变得千变万化，洪水灾害的形成是一个演化的过程，分析洪水灾害演化，并确定灾害链的类型，对其做划分处理，以实施有效的对策。

(一)洪水灾害链类型

在自然界中，一旦发生灾害，自然生态间相互制约和依存的关系就很容易被利用，会产生连锁效应，由一种灾害可以引出一系列的灾害，并且从一个空间扩展到更加广阔的空间中[4]，将该结构洪水灾害间的传承效应称为灾害链。

* 收稿日期：2018－11－21　　修回日期：2019－01－21
基金项目：湖南省自然科学基金(2015CBZ088)
作者简介：罗宇(1976－)，男，湖南新化人，硕士，副教授，研究方向为学校体育学、运动训练学. E-mail：luoyu3356@yeah.net

灾害链可以抽象为有载体共性的反映特征，用来对单一或者多灾种的形成加以描绘，是洪水灾害给人们的社会生活带来严重破坏和损坏等各种连锁关系的总称。

洪水灾害是一种突变现象，灾害链可以根据一种机理将不可逆的突变现象结合到一起，同时体现了洪水灾害演变的意义，可以从中感受到大自然存在的隐患。

(二)洪水灾害链的载体反映

该载体是以能量、信息和物质为基础的。物质的表现形式分为气、液和固态，灾害链的形成由多体聚集、单体演绎等特征，载体所反映的是能量聚集、转换以及传输的关系，能量转换对洪水灾害构成了耦合关系，在洪水灾害的形成过程[5-6]，会呈现出不同程度的破坏力，并且给破坏力度提供了条件。常见的载体反映还有以物质为基础的灾害链，可以根据信息物质的形式例如光、电等对载体进行传播、转化等(图1)。

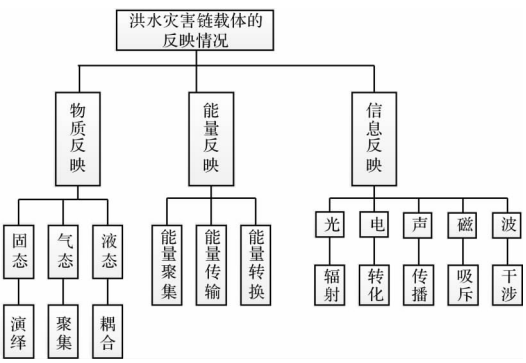


图1 洪水灾害载体反映情况

1.2 游泳技能训练在洪水灾害避难逃生中的作用

游泳技能可以增强人身体能力、人体机能、身体的适应能力以及身体素质等，通过对游泳机能的训练，人们能够改善有氧体、耐力、协调性、柔韧性、灵敏性以及肌肉力量等，能够提高人的体力，并且形成健康的生活方式[7]，游泳技能的训练还能够在洪水灾害的避难逃生中起到重要作用，机体受到运动的刺激，会发生变化，取得游泳技能的训练效果。洪水灾害避难逃生能够开发人体的适应能力，包括对洪水灾害环境中的适应，运动负荷不同，刺激方向也不同，游泳技能的训练可以更加科学的在洪水灾害避难逃生中获得训练效应机理，人体的恒常性与可训练性是矛盾的[8]，科学的灾害避难逃生是通过合理的运动刺激来对身体的恒常性机制起到突破作用，诱使身体适应灾害带来的刺激，并加以抵抗。

1.3 基于 Agent 的洪水灾害避难逃生效果影响建模

分析洪水灾害中人体跌倒失稳情况和人体的危险程度，并对洪水灾害避难逃生人员设定属性，计算路权函数，建立游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响模型。

1.3.1 洪水灾害时人体危险等级的判断

根据洪水的水深、流速以及人体的身高、体重，利用下列公式可以计算出洪水灾害人体的危险程度，分析人体的受力特点[9]，根据人体的身高、体重对不同水深情况下人体受到的浮力进行计算，同时与河流动力学相结合，得到洪水灾害中人体跌倒失稳的计算公式：

$$U_c = \alpha\left(\frac{h}{h_p}\right)^{\beta}\sqrt{\frac{m_p}{\rho_f h^2}-\left(\frac{a_1}{h_p^2}+\frac{b_1}{hh_p}\right)(a_2 m_p + b_2)}。(1)$$

式中：ρ_f 表示水的密度，h_p、m_p 分别表示人的身高和体重，α、β 表示综合参数，根据成年人的身体结构特征率可以得到 $a_1 = 0.633$、$b_1 = 0.367$、$a_2 = 1015 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^3/kg}$、$b_2 = -4937 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^3/kg}$。将身高、体重和水深代入到式(1)中计算，并且根据水深、流速的比值分析发生洪水灾害时人体的危险程度：

$$HD = \min(1.0, U/U_c)。\quad (2)$$

式中：HD 代表发生洪水灾害时人体的危险程度，U 代表洪水的平均流速，根据 HD 值，可以将发生洪水灾害时人体的危险程度分成三个等级：①安全区($0 \leqslant HD < 6$)；②危险区($0.6 \leqslant HD < 0.9$)；③极度危险区($0.9 \leqslant HD \leqslant 1.0$)。

1.3.2 洪水灾害避难逃生人员的种类以及属性

按照年龄的大小可以分为会游泳会自救、会游泳不会自救、不会游泳会自救、不会游泳不会自救四种类型。对洪水灾害避难逃生人员设定属性，例如年龄、是否会游泳、游泳速度、自救能力、受教育程度等。具体设定情况如下：

(1)会游泳会自救

洪水灾害发生时，会游泳的人员遇到紧急情况时可以根据自己掌握的游泳技能来自救，发生洪水灾害时，设定的游泳速度为 1.0 ~ 1.5 m/s，按照受教育程度可以分成小学、初中、高中和大专，对洪水灾害避难逃生的路线熟悉，并且得知升降梯所在的位置。

(2)会游泳不会自救

洪水灾害发生时，会游泳的人员遇到紧急情况时不能根据自己掌握的游泳技能来进行自救，游泳速度设定为 1.0 ~ 1.5 m/s，按照受教育程度同样分成小学、初中、高中和大专，对洪水灾害避难逃生的路线不熟悉，并且不知道升降梯所在的位置。

(3)不会游泳会自救

洪水灾害发生时，不会游泳的人员遇到紧急情况时可以根据自己掌握的自救知识来进行自救，按照受教育程度可以分成小学、初中、高中和大专，对洪水灾害避难逃生的路线熟悉，并且得知升降梯所在的位置。

(4)不会游泳不会自救

洪水灾害发生时，不会游泳的人员遇到紧急

情况时由于不会游泳而不能够自救，按照受教育程度可以分成小学、初中、高中和大专，对洪水灾害避难逃生的路线不熟悉，并且不知道升降梯所在的位置。

1.3.3　路权函数

洪水灾害的路权函数是用来计算洪水灾害逃生所用时间与来流间的函数关系，可以将逃生路线分为若干段，并计算逃生所用的时间，与洪水灾害避难逃生速度有关，实际洪水灾害避难逃生的试验工况与水流条件比较接近，游泳技能的好坏与逃生道路的拥挤程度会使洪水灾害避难的逃生速度减小，则洪水灾害中会游泳的人的逃生速度可以表示为：

$$v_E = \begin{cases} \eta \cdot (v_0 - 3.1h), & (h \le 0.2m); \\ \eta \cdot 0.5v_0, & (0.2 \le h \le 0.8m) \end{cases} \tag{3}$$

式中：v_0 表示逃生速度，η 表示折减系数，分析洪水灾害逃生速度时需要考虑水流条件，同时还与逃生道路等级和时间有关，洪水灾害的避难逃生效果与水流条件有关，分析洪水灾害的接收时间，根据线性插值，或得到洪水灾害路段中的水流条件，并计算该路段逃生所用的时间[10]，再根据逃生所用时间和位置获得到下一个洪水灾害路段的水流条件，计算该路段的逃生时间，以此类推可以得到洪水灾害中所有路段逃生所用时间和水流条件，计算路权有如下表达式：

$$T_N = T_0 + \sum_{i=1}^{N} [\Delta L_{i-1} / (v_{E,i-1})] \times HD。 \tag{4}$$

式中：T_0 代表接收洪水灾害的预警时间，ΔL_{i-1}、$v_{E,i-1}$分别代表洪水灾害逃生路段 $i-1$ 的长度和人员的逃生速度。

1.3.4　Agent 的洪水灾害避难逃生影响模型

洪水灾害避难逃生效果影响模型的运行规则为：

（1）以分钟为单位，程序运行的时间单元为 1 min。

（2）洪水灾害避难逃生的位置变化为：

$$x_0 = (x_\theta + d) \times (1 + \beta'_1) \times (1 + \beta'_2) \times (1 + \varepsilon)。 \tag{5}$$

式中：x_0 表示 Agent 新的位置，x_θ 表示前一时刻 Agent 的位置，d 表示游泳的移动距离，β'_1、β'_2 分别表示环境影响因子和心里因素影响因子，ε 表示逃生通道的安全系数[11]。

（3）选择洪水灾害避难逃生通道时，受到安全系数的影响，安全系数为：

$$\varepsilon = \alpha'_1 \times \alpha'_2 \times \alpha'_3 \times \delta。 \tag{6}$$

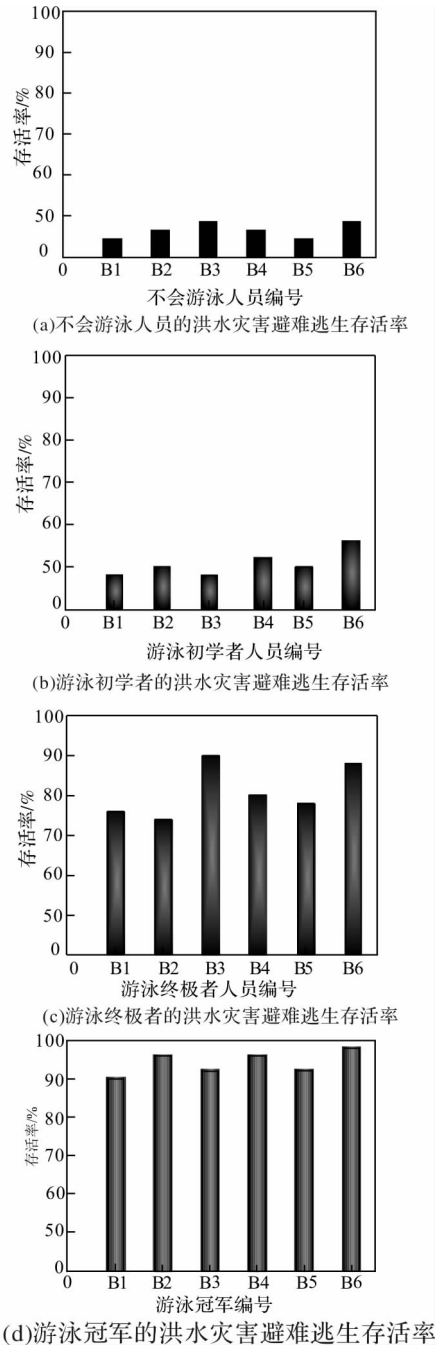
式中：α'_1 代表洪水灾害透水事故的影响系数，α'_2 代表游泳技能好坏的影响系数，α'_3 代表心理因素的影响系数，δ 代表随机干扰项。当通道安全系数 $\varepsilon > 0.5$ 时，可以选择该通道避难逃生[12]。结合上述分析结果，得到游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响模型，模型表达式为：

$$Y = (\varepsilon \cdot x_0 + T_N) \sqrt{v_E}。 \tag{7}$$

经过上述分析，得到游泳技能高低可能与逃生效果有关系。

2　实验结果分析

实验利用基于 JAVA 语言的 Eclipse 平台，采用基于 Agent 的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析测试洪水灾害避难逃生人员的存活率，实验设计的洪水灾害避难逃生人员分别为不会游泳、游泳初学者、游泳终极者和游泳冠军四种，每种人员由 6 人组成，分别用 B1 ~ B6 来表示，避难逃生存活率的对比测试结果如图 2 所示。



(a)不会游泳人员的洪水灾害避难逃生存活率

(b)游泳初学者的洪水灾害避难逃生存活率

(c)游泳终极者的洪水灾害避难逃生存活率

(d)游泳冠军的洪水灾害避难逃生存活率

图 2　游泳技能对洪水灾害避难逃生存活率的影响

从图 2 可知，游泳技能的不同对洪水灾害避难逃生的存活率影响较大，不会游泳人员的洪水灾害避难逃生存活率在 50% 以下，游泳初学者的洪水避难逃生存活率在 60% 以下，游泳终极者的避难逃生存活率在 70% ~90% 之间，游泳冠军在洪水灾害中的存活率较高，在 90% 以上，说明游泳技能越好洪水灾害避难逃生的存活率越高。

在测试游泳技能对洪水灾害避难逃生存活率影响的基础上，分别采用基于 Agent 的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析和基于元胞自动机的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析，测试得到两种方法的结果与理论结果的吻合度，测试结果如图 3、图 4 所示。图 3、图 4 中，方法一代表本文所提出方法，方法二代表基于元胞自动机的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模分析，分析图 3 可知，第 1 次实验得到的结果与理论结果的吻合度为 70%，第 3 次实验得到的结果与理论结果的吻合度为 80%，第 5 次实验得到的结果与理论结果的吻合度为 90%，分析图 4 可知，第 1 次实验得到的结果与理论结果的吻合度为 50%，第 3 次实验得到的结果与理论结果的吻合度为 40%，第 5 次实验得到的结果与理论结果的吻合度为 60%，对比可知，在分析游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果时，本文所提出方法得到的结果与理论结果的吻合度较高，更贴近实际，方法二得到的结果与理论结果的吻合度较低，与实际相比存在较大的偏差。

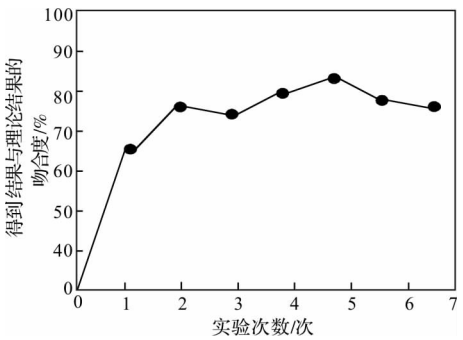


图 3 方法一得到结果与理论结果的吻合度

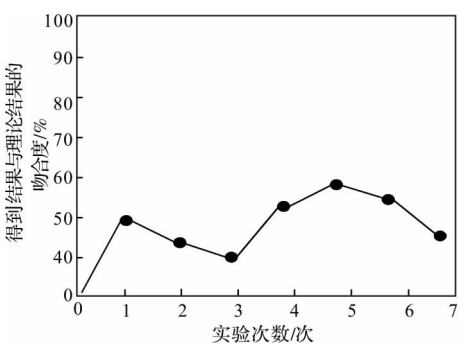


图 4 方法二得到结果与理论结果的吻合度

3 结论

游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模，是灾害避难逃生研究领域发展的重要研究课题，它可以大大提高了灾害的自救能力，本文提出的基于 Agent 的游泳技能训练对洪水灾害避难逃生效果的影响建模，利用不会游泳、游泳初学者、游泳终极者和游泳冠军四种类型的人员测试洪水灾害避难逃生存活率，得到不会游泳和游泳初学者的避难逃生存活率较低，游泳冠军在洪水灾害避难逃生的存活率最高，在此基础上，通过对得到结果与理论结果吻合度的测试，证明了本文提出方法得到的结果与理论结果具有较高的吻合度，与实际更贴近。在后续研究中，将细化分析灾害发生的整个过程，以确保得到更加精确的避难逃生结果，为今后的防洪避难工作奠定基础。

参考文献：

[1] 李梦雅，王军，沈航. 洪灾应急疏散路径规划算法优化[J]. 地球信息科学学报，2016，18(3)：362 -368.
[2] 丁志雄，李娜，王静，等. 洪水避难分析系统的研究开发及其应用[J]. 水利学报，2017，48(7)：808 -815.
[3] 于海明，王文琪，张可，等. 基于元胞自动机的复杂建筑物中人员逃生模型研究[J]. 工业安全与环保，2016，42(12)：6 -9.
[4] 何亚伯，汪洋，李祎琛，等. 基于改进 DEA 交叉效率模型的洪水灾害区域脆弱性评价[J]. 中国安全生产科学技术，2016，12(5)：86 -90.
[5] 徐志远，王山东，征程，等. 洪水灾害应急避难场所选址规划研究[J]. 地理空间信息，2016，14(6)：25 -27.
[6] 武强，徐华，杜沅泽，等. 矿山突(透)水灾害应急疏散模拟系统与工程应用[J]. 煤炭学报，2017，42(10)：2491 -2497.
[7] 陈鹏，张继权，孙滢悦，等. 城市内涝灾害居民应急避难兵棋推演理论与方法[J]. 人民长江，2016，47(14)：7 -11.
[8] 沈航，李梦雅，王军. 风暴洪水灾害应急疏散方法研究——以浙江省玉环县为例[J]. 地理与地理信息科学，2016，32(1)：122 -126.
[9] 李振平，黄玉钏. 城镇洪水灾害预警模型仿真研究[J]. 工业建筑，2016，46(6)：5 -7.
[10] 季珏，高晓路，徐匆匆，等. 基于疏散行为的震灾避难场所服务效率评价[J]. 地理科学进展，2017，36(8)：965 -973.
[11] 夏军强，古安川，舒彩文，等. 洪水中人体稳定性条件的理论分析及试验研究[J]. 灾害学，2014，29(2)：4 -11.
[12] 舒彩文，夏军强，林斌良，等. 洪水作用下汽车的起动流速研究[J]. 灾害学，2012，27(1)：28 -33.

Modeling and Analysis of the Influence of Swimming Skill Training on the Escape Effect of Flood Disaster Evacuation

LUO Yu
(*Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi* 417000, *China*)

Abstract: Aiming at the problem that the current method has low agreement with the theoretical results, we propose an analysis of the impact of Agent-based swimming skills training on the escape effect of flood disasters. Using the density of water, human height and weight, and comprehensive parameters to calculate the human body's fall instability in flood disasters, according to the ratio of water depth and flow velocity, analyze the danger degree of human body during flood disasters, and use the reduction factor to calculate the swimmers in flood disasters. Escape speed, calculate the road weight function according to the warning time of receiving flood disasters, obtain the escape speed of the people in the flood disaster escape escape section, analyze the position change of the flood disaster escape escape, obtain the swimming distance of swimming, and use the flood disaster to see the impact The coefficient and other conditions are used to calculate the safety factor of the escape channel, and the influence coefficient of the swimming skill is obtained. By calculating the coefficient, the swimming skill training is used to model the escape effect of the flood disaster. Combined with experiments, when testing the survival rate of flood disasters and escapes for people with different swimming skills, the survival rate of swimming ultimate swimmers and swimming champions is higher, and the results are in agreement with the theoretical results. The experimental results show that the proposed method is obtained. The results are in good agreement with the theoretical results and are closer to the actual results.

Key words: swimming skills training; flood disaster; evacuation escape; modeling

(上接第 159 页)

[11] 付冰. 产业转型背景下高职院校旅游管理专业学生应具备的知识体系[J]. 产业与科技论坛, 2017, 16(15): 211 - 212.
[12] 周江林, 尤惠川, 唐方头. 张家口 - 宣化盆地断裂特征与活动性研究[J]. 地震工程学报, 2015, 37(3): 702 - 709.
[13] 钟真. 基于职业能力培养的高职旅游管理专业课程体系改革研究[J]. 时代农机, 2016, 43(9): 146 - 147.
[14] 李小娟. 基于创新创业能力培养的旅游管理专业立体化实践教学体系的研究与实践[J]. 湖北函授大学学报, 2017, 30(1): 106 - 107.
[15] 崔莹. 地方高校转型背景下旅游管理专业应用型人才培养模式探讨——以吉林省为例[J]. 职业技术教育, 2015, 36(29): 16 - 19.
[16] 钱洪伟. 应急科学与工程学科知识体系发展策略——应急科学学科初步探索[J]. 灾害学, 2018, 33(1): 175 - 189.
[17] 杜谦, 范文, 李凯, 等. 二元 Logistic 回归和信息量模型在地质灾害分区中的应用[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 220 - 226.

Cultivation System of Professional Emergency Knowledge of Tourism Management in the Face of Mountain Collapse and Sudden Disaster

XU Bin
(*Jiangmen Polytechnic, Jiangmen* 529000, *China*)

Abstract: Catastrophic disasters pose a serious threat to the lives and property safety of tourism landscape personnel, comprehensively learn the knowledge of information management of mountain collapse disasters, and establish an effective knowledge training system for tourism management professionals in emergency response. This will improve the ability of tourism management professionals to cope with mountain collapse disasters. It is of great significance to improve the safety of tourist attractions. On the basis of studying the information system for mountain collapse emergency disaster response, analyzing the information management process and the contents of disaster intervention, the overall goal of constructing an emergency knowledge development system was determined, and a framework for an emergency knowledge development system was established. The paper also gives some suggestions on the decision-making process and the construction of the emergency knowledge system. Experimental analysis shows that more than 97 % of the students in the brigade management major can master the emergency knowledge through the system. The system can effectively carry out mountain stability analysis, monitoring and early warning analysis and risk assessment in the sudden disaster tourist attractions.

Key words: mountain collapse; sudden disasters; tourism management major; emergency knowledge; training system; monitoring early warning