

魏赛拉加, 辛倩男, 隋嘉, 等. 青海地区环境的地震灾害信息预测模型研究[J]. 华南地震, 2019, 39(4): 40-45. [WEISAI Lajia, XIN Qiannan, SUI Jia, et al. Research on Earthquake Disaster Information Prediction Model of Qinghai Region[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(4): 40-45]

## 青海地区环境的地震灾害信息预测模型研究

魏赛拉加, 辛倩男, 隋嘉, 孙莹  
(青海省地质环境监测总站, 西宁 810000)

**摘要:** 青海地区为中国的地震高发地带, 使用传统预测方法对该地区的地震灾害进行预测, 存在着预测准确率偏低的问题, 为此设计地震灾害信息优化预测模型。分析青海地区地质环境结构特点, 划分地震带预测区域, 同时构建地震灾害数据库, 采集地震信息数据, 对采集到的数据进行优化处理, 计算数据匹配度; 在此基础上综合预测的地震灾害发生概率、强度、时间和地点等数据, 得到地震灾害预测结果。为了检验设计的地震灾害信息预测模型的性能, 设计模拟测试实验。实验结果表明: 与传统预测模型相比, 设计的地震灾害信息预测模型的预测准确率提高了 11.3%, 能够有效实现地震灾害信息的预测。

**关键词:** 青海地区; 地质环境; 地震灾害; 信息预测; 预测模型

中图分类号: P313 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2019)04-0040-06

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.04.006

## Research on Earthquake Disaster Information Prediction Model of Qinghai Region

WEISAI Lajia, XIN Qiannan, SUI Jia, SUN Ying  
(Qinghai institute of geological environment monitoring, Xining 810000, China)

**Abstract:** Qinghai area is a high earthquake occurrence area in China, and the traditional prediction method used to predict the earthquake disaster in this area has the problem of low prediction accuracy. Therefore, an optimized prediction model for earthquake disaster information is designed. The paper analyzes the geological environment structure characteristics of Qinghai area, divides the prediction area of seismic zone, constructs the seismic disaster database, collects the seismic information data, optimizes and processes the collected data, and calculates the data matching degree. On this basis, the paper comprehensively predicts the earthquake disaster occurrence probability, intensity, time and location data, and obtains the earthquake disaster prediction results. In order to test the performance of the designed earthquake disaster information prediction model, a simulation test was designed. The experimental results show that compared with the traditional

收稿日期: 2019-03-05

作者简介: 魏赛拉加(1989-), 男(藏族), 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害防治与信息化建设。

E-mail: 493539342@qq.com.

prediction model, the prediction accuracy of the designed earthquake disaster information prediction model is improved by 11.3%, which can effectively realize the prediction of earthquake disaster information.

**Keywords:** Qinghai region; Geological environment; Earthquake disaster; Information prediction; Prediction model

## 0 引言

青海省位于中国西部, 雄踞世界屋脊青藏高原的东北部, 由于特殊的地理位置和复杂的地质环境背景, 全省的环境和地质存在严重的灾害问题, 地震灾害出现的频率较高。地震又被称为地动, 主要是由于地壳快速释放能量过程产生的不规则振动, 期间会产生地震波的一种自然现象。在青海地区环境中一旦出现地震灾害会产生一系列的破坏现象, 主要可以分为直接灾害破坏和次生灾害等, 对于人类而言破坏性质的地震会直接导致地面的破坏、建筑物的破坏、山体的破坏等, 与此同时还会引发山体滑坡、火灾、海啸等其他灾害<sup>[1]</sup>。

为了实现地震灾害信息预知的量化, 产生了地震预测技术, 该技术主要以地震规律的认识为实现原理, 通过该技术可以预测指定地区环境, 未来可能发生地震灾害的概率, 以及发生地震的时间、地点和强度。地震灾害预测可以在地震来临之前, 让地区内的居民做好提前撤离的准备。现如今, 中国对于地震预测的研究已经达到了一

定的水平, 在一定条件下能够对某些类型的地震, 作出一定程度的预报, 对于中长期类型的地震灾害预测有一定的成果, 但针对短期类型的地震灾害预测的成功率还很低。

现如今为了保证青海地区环境的稳定, 在区域范围内应用地震灾害预测技术, 在预测区域内安装地震参数采集设备, 通过对采集的地震数据进行分析处理, 得到地震灾害预测结果<sup>[2]</sup>。青海地区成熟的地震预测技术包括地震地质、地震统计和地震前兆预测技术, 这三种预测技术在应用过程中存在一定的片面性, 得到的预测结果准确率较低。为此提出青海地区环境的地震灾害信息预测模型, 模型的设计综合预测的合成方法与联合方法, 从而实现提升预测准确率的最终目的。

## 1 地震灾害信息预测模型设计

以青海地区环境特点为研究基础, 对该地区的地震灾害信息进行预测, 基本的预测流程框架如图1所示。

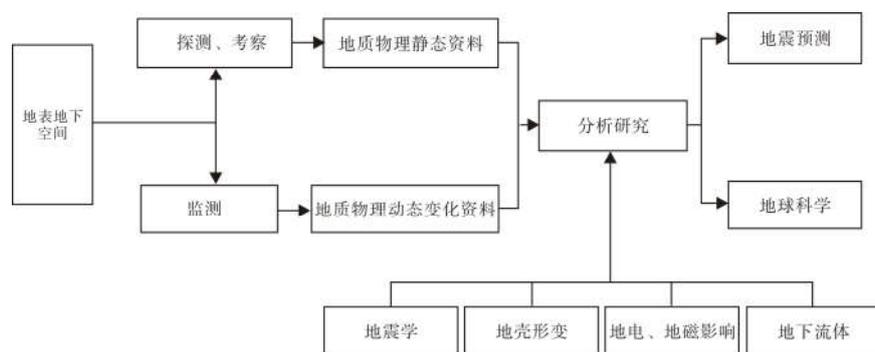


图1 地震灾害信息预测模型结构图

Fig.1 Structural diagram of earthquake disaster information prediction model

如图1所示, 地震灾害信息预测模型需要借助地震学、地壳形变原理、地下流体等基础体系作为预测模型的理论支持, 通过一系列的理论基础可以对青海地区的环境进行分析, 判断该区域内的地震带位置<sup>[3]</sup>。另外需要收集当地或者其他地

区的地震灾害数据建立相关的地震数据库, 利用相关数据采集系统对地震相关数据进行采集与分析, 将分析结果与地震灾害数据库做匹配和对比, 得出相应的地震灾害信息预测结果。

### 1.1 分析青海地区地质环境结构特点

青海地区位于中国的青藏高原上,区域海拔较高,地形多样,山脉高耸,河流纵横,湖泊棋布。青海省由昆仑山横贯中部,且包含柴达木盆地。因此该地区在出现地震灾害时,极易出现衍生泥石流现象。中国的地震活动主要分布在五个地区的23条地震带上,其中青海地区正处于地

震带上,且为中国最大的地震区,也是地震灾害活动发生最强烈且最为频繁的地区<sup>[4]</sup>。且青海地区土壤地质较为松软,植被众多,因此受到地震的影响,斜坡中上部的强风化岩土体会因失稳而坠落,块状岩质边坡会发生滑移式垮塌,若伴随着局部地区暴雨,便会启动泥石流。经过勘查、统计与分析得到青海地区地质环境结构特点分析结果,如表1所示。

表1 青海地区地质环境结构特点

Table 1 Characteristics of geological environment structure in Qinghai area

| 编号 | 岸别 | 流域/km <sup>2</sup> | 剖面形态 | 纵坡降/(%) | 规模 | 堆积量/ $\times 10^4\text{m}^3$ | 不稳沟床比例 | 地震危害等级 |
|----|----|--------------------|------|---------|----|------------------------------|--------|--------|
| 1  | 右  | 21.4               | 微凹   | 188     | 大  | 49.2                         | 0.30   | I,II   |
| 2  | 左  | 23.8               | 复合   | 965     | 小  | 12.0                         | 0.88   | I      |
| 3  | 右  | 7.86               | 直线   | 765     | 小  | 6.5                          | 0.55   | I,II   |
| 4  | 左  | 0.7                | 微凹   | 451     | 中  | 1.0                          | 0.70   | II     |
| 5  | 左  | 1.3                | 微凸   | 780     | 大  | 48.8                         | 0.96   | II     |
| 6  | 右  | 3.3                | 直线   | 450     | 大  | 1.9                          | 0.61   | I,III  |
| 7  | 左  | 23.6               | 复合   | 747     | 中  | 1.8                          | 0.78   | II     |
| 8  | 左  | 6.96               | 微凸   | 383     | 小  | 25.1                         | 0.84   | II     |
| 9  | 右  | 0.5                | 直线   | 612     | 中  | 4.4                          | 0.77   | I      |
| 10 | 右  | 2.1                | 直线   | 614     | 大  | 6.3                          | 0.86   | I,III  |

根据表中的数据可以得出青海地区地质环境结构特点。由于地震是地球介质的破裂,因此认定地震应属于物理过程<sup>[5]</sup>。观测地球物理场各种参量以及地下水等异常变化,可能找到有用的地震前兆。在此基础上构建地震灾害的数据库,并对地震预测进行进一步研究。

### 1.2 地震带预测区域划分

地震带预测区域划分是在总结历史上发生过的大地震地区的地理以及地址构造环境,同时也对大地震前后的时间尺度以及周围区域的大小地震活动的统计,在此基础上深入了解地震发生时刻的时空分别条件,找寻其中的规律,以此作为预测未来发生强震的具体情况,在青海地区划分出不同地震危险程度的预测区域<sup>[6]</sup>。针对不同程度的地震灾害预测区域,相关信息采集的频率与程度不同。

### 1.3 构建地震灾害数据库

以青海地区地质环境结果特点为研究基础建

立数据库,数据库中需要包含历年来青海地区发生地震灾害的具体情况,数据库中的参数包括地震发生时间、地震强度、地震源位置、伴随发生的次生地震以及余震次数等,在SQL Server和GIS技术下建立地震灾害数据库。此外还可以将中国其他地区的地震资料存储到数据库当中,作为参考数据。根据地质灾害业务相关的数据和信息类型,以及全国地质环境信息平台的数据库划分,系统数据库可划分为2部分,即基础数据库和业务数据库,其中部分数据库的结构如图2所示。

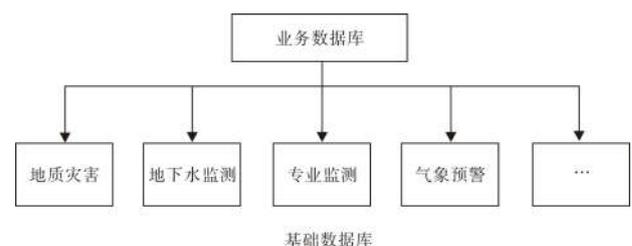


图2 数据库结构示意图

Fig.2 Schematic diagram of database structure

按照图中的结构示意图对青海地区的地震灾害数据库进行构建,业务数据库是面向业务应用、信息系统的专业数据库,是经过业务分析、建模后建立的专业数据库<sup>7)</sup>。以建立的地震灾害数据库作为数据基础,将采集到的地震相关信息与数据库中的数据做匹配或对比,若发现匹配度较高则需立即启动地震预测程序,输出地震预测的具体信息。

### 1.4 地震信息数据采集与计算

为了保证设计出的地震灾害信息预测模型<sup>8)</sup>,在青海地区环境下能够具有较好的预测能力,分别从地震活动性参数和时变性参数两个方面进行参数的筛选和计算,将青海地区地震相关的数据采集结果代入到参数当中,得到具体取值结果,并且计算参数结果与数据库之间的匹配程度。

#### 1.4.1 数据采集与优化处理

以青海地区环境内的气象数据采集为例,定义函数  $\gamma(h)$  表示地区内变量空间的自相关性,该函数表达式如下:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=0}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

公式1中变量  $h$  表示在青海地区环境内采集杨店之间的空间间隔距离,  $N(h)$  用来表示距离为  $h$  的采样点的个数,  $Z(x_i)$  表示位置处于  $x_i$  上的实际测量值。随着空间自相关随着距离的增长而降低,建立数据优化公式为:

$$\gamma(\eta) = \begin{cases} x_0 + x_1 \left[ \left( \frac{3}{2} \times \frac{\eta}{a} \right) - \left( \frac{1}{2} \times \frac{\eta}{a} \right)^3 \right], & |\eta| \leq a \\ x_0 + x_1, & |\eta| > a \end{cases} \quad (2)$$

式中  $a$  表示数据信息的优化系数,当采样的距离大于实际距离时空间相关性为零。

#### 1.4.2 计算数据匹配度

地震信息数据与构建的地震灾害数据库的匹配程度,是判定预测模型是否启动的直接条件。当采集青海地区地震灾害相关信息数据,并对数据进行优化处理完成的情况下,将优化数据结果与数据库中的数据进行匹配计算<sup>9-10)</sup>。设优化采集数据集为  $\gamma'(h)$ ,而数据库中对应的待匹配数据为  $\chi(h)$ ,那么可以通过公式3得出匹配度计算结果。

$$r(\gamma', \chi) = \frac{1}{1 + \left( \alpha \times \sum_{h=1}^h |\gamma'(h) - \chi(h)| \right)^\beta} \quad (3)$$

公式中  $\alpha$  和  $\beta$  为常数,取值一般为1和2,将对应的数据代入公式当中,便可以得到匹配结果。设定匹配阈值为1,若  $r(\gamma', \chi)$  的计算结果小于1则继续采集数据,不启动预测程序;若计算结果不小于1,则立即启动预测程序,并输出一系列的预测参数结果。

## 2 综合地震灾害信息预测

### 2.1 地震发生概率预测

假设考虑滞后时间的影响,对距离未来潜在大地震不同距离的位置作为预测点<sup>11)</sup>。青海地区环境空间上,在未来  $T$  年发生大地震的概率可以用公式4计算:

$$P(M, T) = P_0(M) \times \hat{K}(M, T) \quad (4)$$

公式4中,  $P_0(M)$  表示震级为  $M$  的地震长期平稳发生的概率,  $\hat{K}(M, T)$  表示的是未来  $T$  年时间内发生地震灾害  $M$  的概率增益值。

### 2.2 地震灾害发生强度

一般情况下,地震灾害信息中地震的震动等级与地震频度有关,根据对频度信息的采集与计算,便可以预测出地震发生的震级。设地震的震级与地震的频度之间的关系如公式5所示。

$$\lg N = a - bM \quad (5)$$

式中参数  $b$  是反应地震震级的比例关系,其值可以用公式6中的线性最小二乘法计算出来。

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m M_i \sum \lg N_i - m \sum_{i=1}^m M_i \sum \lg N_i}{m \sum_{i=1}^m M_m^2 - \left( \sum_{i=1}^m M_i \right)^2} \quad (6)$$

式中变量  $m$  代表地震灾害震级的分档总数,  $M_i$  表示为第  $i$  级地震档的震级,  $N_i$  为实际地震震级。将计算出的  $b$  值带入到公式5当中便可以推算出地震灾害震级的预测结果。

### 2.3 地震灾害发生时间

定义地震灾害的时变参量来观测灾害发生时间序列,进行时间域内转换到频率域内的分析,地震灾害发生时间序列  $y(t)$  可用公式7表示。

$$y(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos 2\pi nft + b_n \sin 2\pi nft) \quad (7)$$

其中  $f$  表示地震震级频次,该公式可以求出地

震级数的频谱  $A_0$  的值, 当  $A_0$  取得最大值时可以求解出地震灾害的影响周期。将当前时间与影响周期计算结果相加, 求解出青海地区环境地震灾害可能发生的时间<sup>[12]</sup>。

## 2.4 地震灾害发生地点

根据重力异常反应的地壳密度异常变化信息采集结果来看, 按照异常程度的偏离程度来判断地震灾害发生的地震源。地震灾害发生地点的预测结果如图 3 所示。

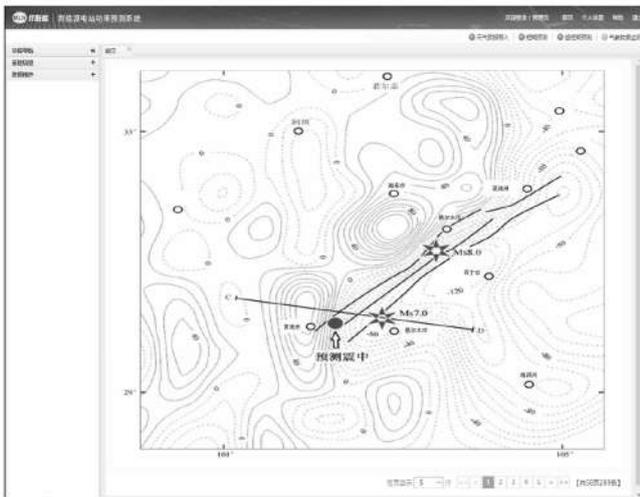


图 3 预测模型结果输出示意图

Fig.3 Output diagram of prediction model results

综合上述预测信息, 将青海地区环境地震灾害预测的概率、强度、时间和地点等数据信息综合在一起, 形成信息预警。地震灾害预警信息中包括地震灾害警情、地震源等参数, 与此同时还需要标记出可能出现的气候预警以及衍生出其他灾害以及余震情况。综合多个地震灾害信息数据, 输出模型预测结果。

## 3 性能测试分析

为了验证设计的地震灾害信息预测模型的性能, 设计性能测试实验, 分别从预测结果的概率、强度、发生时间以及地点等参数验证模型预测的性能结果。

### 3.1 模拟地震环境

由于地震属于自然灾害, 无法通过人为行动来控制地震灾害的强度以及发生的时间和地点, 因此需要建立地震模拟仿真环境。地震模拟仿真

环境可以通过输入相关参数来确定地震的规模, 并以输入的参数为预测的准确结果数据, 可以将预测的结果与输入的设置参数做对比, 方便计算地震的相关参数。另外, 为了保证地震灾害环境的随机性, 在仿真模拟环境中编写随机程序。需要注意的是, 每一次仿真模拟地震灾害发生之前, 按照实际的自然环境现象需要有一定的异常数据变化和气候异常变化, 异常数据也就是预测模型实现的初始数据。

### 3.2 回溯性预测检验

在性能测试实验中设置对比模型, 即为传统的地震灾害预测模型。在相同的模拟地震环境下, 将两个地震灾害预测模型连接其中, 以此来保证性能测试实验的变量唯一。

当预测模型连接完成之后, 开始进行回溯性预测检验。启动模拟地震环境, 输入相关的地震灾害事件, 如表 2 所示。

表 2 地震灾害事件设置

Table 2 Setting of earthquake disaster events

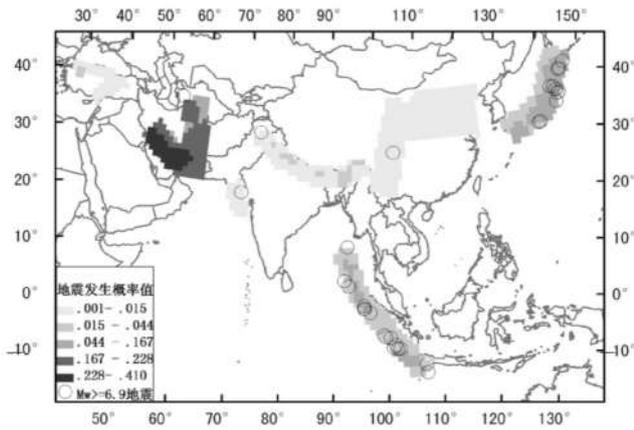
| 地震灾害事件 | 地震震级 | 地震发生时间/<br>d:h:min:s | 地震源位置       |
|--------|------|----------------------|-------------|
| 1      | I    | 23:18:26:45          | (-120,36)   |
| 2      | II   | 37:9:15:33           | (135,280)   |
| 3      | II   | 59:12:36:10          | (155,-39)   |
| 4      | III  | 127:4:05:22          | (213,45)    |
| 5      | I    | 101:23:38:19         | (-380,-119) |

表中地震发生的时间为模拟地震环境中的时间, 并非是实际生活中的时间, 因此在记录与设置的过程中, 模拟环境启动的时间为第一天, 时间周期为 24 h。同理地震源位置仅仅表示的是模拟环境中的位置, 并不对应实际环境。

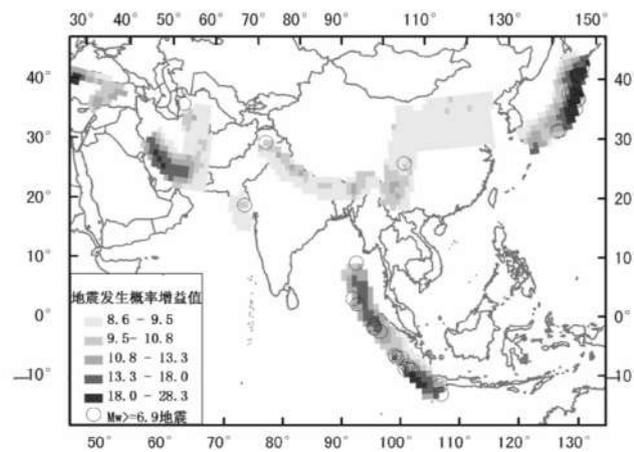
### 3.3 测试结果与分析

通过回溯性预测检验测试, 其地震灾害发生位置测试结果如图 4 所示。

从图中显示的预测结果来看, 实际地震灾害的发生位置均在预测地震灾害范围之内。统计传统预测模型的预测结果, 并与设计的预测模型进行性能对比得出测试对比结果, 如表 3 所示。



(a) 预测地震灾害位置



(b) 实际地震灾害位置

图4 地震灾害发生位置测试结果图

Fig.4 Test results of earthquake disaster location

表3 性能测试对比结果

Table 3 Comparison results of performance test

| 性能测试参数     | 传统地震预测模型/(%) | 设计地震灾害信息预测模型/(%) |
|------------|--------------|------------------|
| 震级预测准确率    | 86.7         | 92.36            |
| 时间预测准确率    | 82.4         | 95.87            |
| 地震源位置预测准确率 | 79.5         | 94.29            |
| 综合预测准确率    | 82.87        | 94.17            |

从表中的数据可以看出,综合多个预测准确率,传统地震预测模型的综合准确率为82.87,设计模型的准确率为94.17,相比于传统的预测模型提高了11.3,表明设计地震灾害信息预测模型的准确率高,其结果更加科学,接近实际测试值。

## 4 结语

青海地区处于中国强烈地震带上,随时都存在地震的风险,地震灾害的发生具有瞬时性和伤亡程度大的特点,严重制约着国内的经济的发展,威胁着人民的生命财产安全。虽然地震灾害具有瞬时性、强度大的特点,但在地震灾害发生之前会出现一些异常的现象,例如地下流体宏观异常现象、震前地下水位升降变化、动物宏观异常现象以及极震区出现局部大气增温等气候异常现象。人们可以根据异常现象来预知地震灾害。通过地震灾害信息预测模型的设计与应用,可以得到地震发生的准确时间和地点,让青海地区的居民提前做好震前准备。间接的可以降低由地震引发的生命财产损失。通过性能测试实验可以看出设计的预测模型,在传统预测模型的基础上提升了预测的准确率,将该模型应用到青海地区环境当中,具有较大的应用价值。

### 参考文献:

- [1] 张盛峰,张永仙,蒋长胜. CSEP混合地震预测模型研究进展及启示意义[J]. 国际地震动态,2017,16(3):3-8.
- [2] 陈黛,白鹏飞,蔡冬雪. 地震灾害人员伤亡预测模型研究[J]. 数学的实践与认识,2017,47(13):208-215.
- [3] 隋芯,高志球,丁莹莹. 利用地温资料预测地震的模型研究[J]. 产业与科技论坛,2018,17(16):78-80.
- [4] 庄建仓,尾形良彦,文俊. 地震预测的评估方法[J]. 国际地震动态,2017. 25(2):26-38.
- [5] 张磊. 面向地震灾情时序变化的应急救援物资需求动态预测研究[J]. 灾害学,2018,33(3):163-166.
- [6] 李培,秦四清,薛雷,等. 标志性地震事件的断层破裂长度预测模型[J]. 地球物理学进展,2017,32(3):56-61.
- [7] 武艳强,陈长云,季灵运. 基于形变资料开展地震预测研究需关注的问题及展望 [J]. 大地测量与地球动力学, 2018,38(12):5-13+20.
- [8] 王亚娟,宋广红. 基于 GEP 算法和马尔科夫链的地震等级预测模型[J]. 信息技术与信息化,2017,16(12):61-63.
- [9] 王倩,董燕,宁德怀. 基于全球导航定位系统的滑坡变形监测分析与灰色模型预测研究 [J]. 浙江农业科学, 2017,58(9):1629-1632.
- [10] 傅磊,李小军,荣棉水,等. 基于强震动数据的龙门山地区地震动预测模型参数反演 [J]. 地震学报,2018,40(3):123-135.
- [11] 孙海,高惠瑛. 基于粒子群优化投影寻踪概率模型的桥梁地震震害预测方法研究 [J]. 世界地震工程,2017,33(3):152-159.
- [12] 张海龙,刘瑞琴. 缝洞储层的地震检测和预测研究[J]. 科技创新与应用,2017,26(36):174-174.