

文章编号: 1006-6616 (2016) 03-0706-08

基于灰色系统理论的长江经济带地区 地质灾害趋势预测研究

陈春利¹, 贺 凯², 温铭生¹, 梁宏锶¹

(1. 中国地质环境监测院, 北京 100081;
2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 将灰色系统理论引入地质灾害的长期趋势预测中, 以长江经济带地区的地质灾害发生趋势为例进行建模和预测, 并对预测值的精度进行评价。研究结果表明, $GM(1, 1)$ 模型可用于预测较大区域地质灾害发生的基本趋势, 将灰色系统理论用于地质灾害趋势预测是可行的; 预测结果显示未来 5 年长江经济带地区的年度地质灾害发生数量总体呈波动下降趋势, 预计今后 2 年内可能会有重灾年出现。研究成果可为长江经济带地区的防灾减灾等相关工作提供参考。

关键词: 长江经济带; 灰色系统理论; 地质灾害; 趋势预测

中图分类号: P694

文献标识码: A

0 引言

建设长江经济带是现阶段、新常态下推进中国经济持续、稳定增长的重大战略举措之一, 在区域发展总体格局中具有重要战略地位。但与此同时, 因其横跨中国大陆三级阶梯, 地形地貌多样, 地质环境与地质构造复杂^[1-2], 长江经济带地区的地质灾害问题也不容忽视。近年来, 长江经济带地区发生了一系列重大地质灾害, 扰乱了当地群众的生产生活, 制约了经济发展。如: 2010 年 6 月 28 日, 贵州关岭因突降暴雨发生高速远程滑坡, 造成两个村组被毁, 99 人遇难^[3]; 2013 年 1 月 11 日, 云南镇雄发生滑坡, 造成 60 多间房屋被毁, 46 人遇难^[4]; 2015 年 11 月 13 日, 浙江丽水发生山体滑坡, 造成 38 人遇难。在长江经济带建设的快速推进过程中, 重大工程建设、绿色生态廊道建设、城镇化格局优化等一系列工作的开展更不可避免地要考虑地质灾害的发育、发展趋势。因此, 开展长江经济带地区的地质灾害趋势预测工作势在必行。

基于此, 本文在统计长江经济带地区多年地质灾害灾情数据的基础上, 将灰色系统理论引入到地质灾害趋势预测分析中, 研究地质灾害发生的基本规律, 合理预测未来的发展趋势。地质灾害趋势预测结果可为长江经济带地区各级政府部署防灾减灾、完善地质灾害预案

收稿日期: 2016-05-05

基金项目: 国家科技支撑计划子课题 (2015BAK10B021); 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费专项经费资助 (项目编号: DZLXJK201610); 国家级地质环境监测与预报 (121080000022); 中国地质调查局项目 (DD20160268-4)

作者简介: 陈春利 (1987-), 女, 博士, 工程师, 主要从事地质灾害防灾减灾研究。E-mail: chen_chunli@126.com

等提供依据,有利于区域开发与保护活动的有序展开,具有重要的科学意义和实践意义。

1 研究区概况

长江经济带覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、重庆、四川、云南、贵州11个省、直辖市,是中国国土空间开发最重要的东西轴线。与此同时,区域内也涵盖了中国大部分地质灾害高易发区和中易发区(见图1)。区域内发育主要活动断裂带94条,滑坡、崩塌、泥石流灾害隐患点10.7万余处,岩溶塌陷高易发区 $23.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,地面沉降严重区约 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

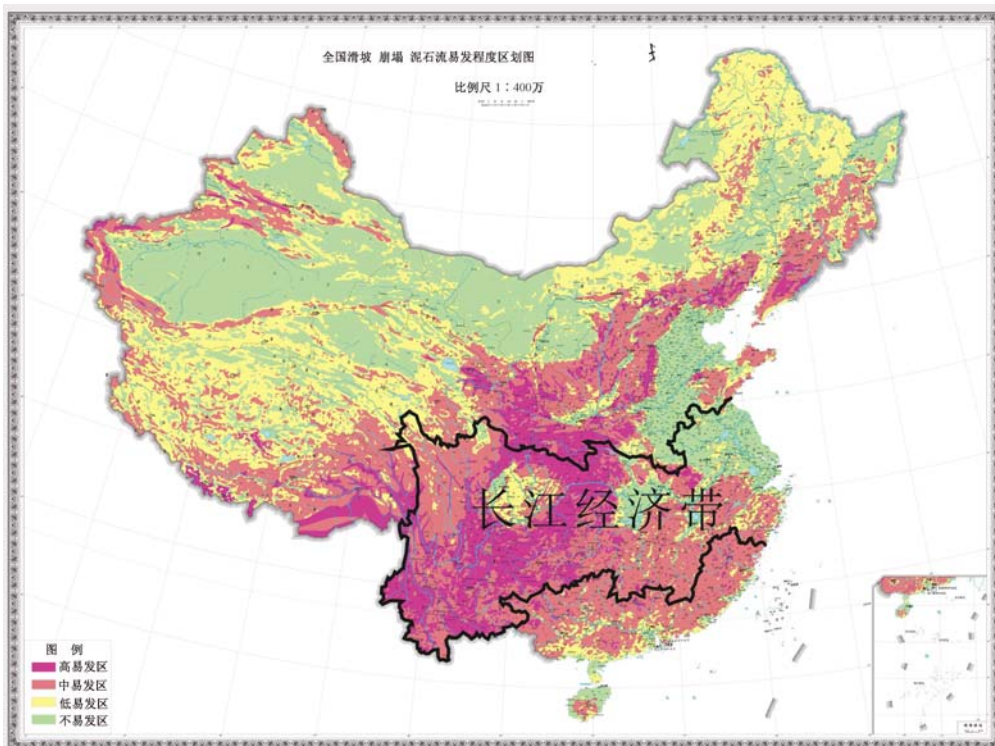


图1 长江经济带地质灾害易发程度示意图

Fig. 1 The occurrence level of geological hazards in the Yangtze Economic Belt

据国土资源部统计资料^[5],2006—2015年长江经济带地区共发生地质灾害20余万起,造成人员伤亡3347人,直接经济损失 373.6×10^8 元(见表1)。长江经济带地区是中国重大地质灾害的高发区,全国约37%的特大型、大型地质灾害发育于区内,尤其上游的重庆、四川、云南、贵州4省是中国特大型地质灾害的高发区。

据统计,2006—2015年间长江经济带地区发生的主要地质灾害共有6类,包括滑坡16万起、崩塌3万起、泥石流7203起、地面塌陷2165起、地裂缝937起和地面沉降326起,其中滑坡是最多发的灾害类型,占总数的82.1%(见图2)。

表 1 长江经济带地区地质灾害情况汇总表
Table 1 Geological hazards in the Yangtze Economic Zone

| 年份 | 灾害发生数量/起 | 死亡失踪人数/人 | 直接经济损失/ 10^8 元 |
|------|----------|----------|------------------|
| 2006 | 85158 | 376 | 15.8 |
| 2007 | 23139 | 432 | 21.0 |
| 2008 | 15976 | 399 | 147.9 |
| 2009 | 8397 | 381 | 13.1 |
| 2010 | 20930 | 583 | 28.7 |
| 2011 | 13651 | 125 | 28.9 |
| 2012 | 9885 | 265 | 24.5 |
| 2013 | 7323 | 378 | 26.5 |
| 2014 | 9522 | 243 | 50.9 |
| 2015 | 7146 | 165 | 16.2 |
| 合计 | 201127 | 3347 | 373.6 |

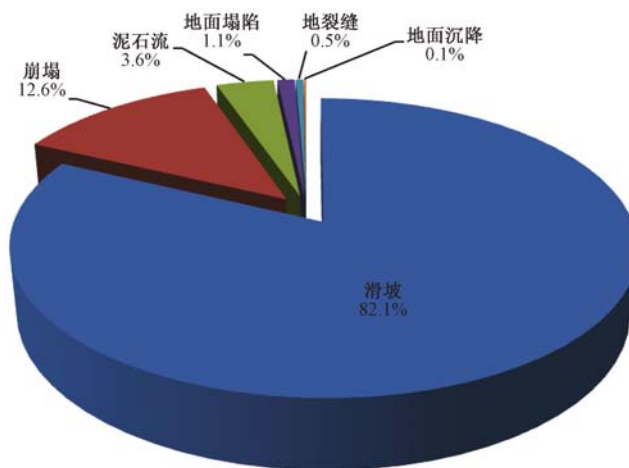


图 2 长江经济带地区地质灾害类型构成
Fig. 2 Types of geo-hazards in the Yangtze Economic Zone

2 预测原理

目前,灰色系统理论已在地震、干旱、洪涝等领域的预测研究中得到了十分广泛的应用,其中应用最多的是邓聚龙提出的 $GM(1, 1)$ 模型^[6-10]。

$GM(1, 1)$ 基本原理如下^[11]:

设原始数据序列为 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$, 其中 $x^{(0)}(k) \geq 0, k = 1, 2, \dots, n$, 相应的预测模型模拟序列为 $\hat{X}^{(0)} = (\hat{x}^{(0)}(1), \hat{x}^{(0)}(2), \dots, \hat{x}^{(0)}(n))$ 。

对原始序列 $X^{(0)}$ 作一次累加生成变换, 得其 1-AGO 序列:

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)) \quad (1)$$

其中, $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$ 。

$GM(1, 1)$ 模型的原始形式为 $x^{(0)}(k) + ax^{(1)}(k) = b$, 式中的参数向量 $\hat{a} = [a, b]^T$ 可以运用最小二乘法估计 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$, 其中 Y, B 分别为:

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} x^{(1)}(2) & 1 \\ x^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

1-AGO 序列的时间响应式为:

$$\hat{X}^{(1)}(k) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}, k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

对其作累减还原, 得到原始数列 $X^{(0)}$ 的灰色预测模型为:

$$\hat{X}^{(0)}(k) = \hat{X}^{(1)}(k) - \hat{X}^{(1)}(k-1) = (1 - e^a)(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)} \quad (4)$$

根据该灰色预测模型, 即可对未来趋势进行预测。

3 预测过程

3.1 资料选取

选取长江经济带地区 2006—2015 年的地质灾害数据 (见图 3) 作为基础数据开展预测, 可见 2006—2015 年间长江经济带地区的年度地质灾害发生数量总体有下降的趋势。但在总体下降过程中年度地质灾害发生数也有周期性波动起伏, 每 3~4 a 出现一个地质灾害高发年。且年度地质灾害发生数的波动起伏较大, 2006—2015 年间长江经济带最大年度地质灾害发生数 (85158 起, 2006 年) 约为最小年度地质灾害发生数 (7146 起, 2015 年) 的 12 倍。因此, 在预测地质灾害未来趋势时既要遵循其总体发展趋势, 又要兼顾数据的波动性, 对地质灾害高发年份情况进行预测。

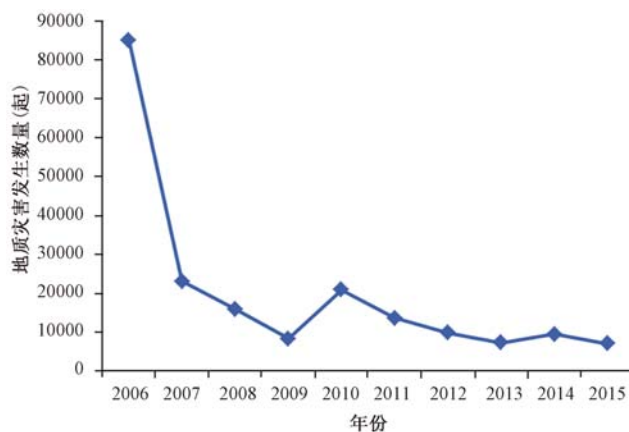


图 3 长江经济带地区地质灾害发生情况 (2006—2015 年)

Fig. 3 Occurrence of geo-hazards in the Yangtze Economic Zone (2006 - 2015)

3.2 总体灾害走势预测

针对长江经济带地区年度地质灾害发生数呈波动下降的趋势, 通过灰色区间预测法对未

来 5 年内年度地质灾害发生数量的变化范围进行预测。以 2006—2015 年间年度地质灾害发生数量为原始数列, 通过该数列的上缘点连线序列和下缘点连线序列 (见表 2), 分别建立上界函数和下界函数的 $GM(1, 1)$ 模型, 其预测结果的包络区域即为预测值的取值域。 $GM(1, 1)$ 模型公式如下:

$$S = \{(t, X(t)) | X(t) \in [\hat{X}_u^{(0)}(t), \hat{X}_s^{(0)}(t)]\} \quad (5)$$

表 2 建模序列

Table 2 Sequence of modeling

| 年份 | 序号 | 原始数据 序列 | 上缘点 连线序列 | 下缘点 连线序列 | 年份 | 序号 | 原始数据 序列 | 上缘点 连线序列 | 下缘点 连线序列 |
|------|----|------------|-------------|-------------|------|----|------------|-------------|-------------|
| 2006 | 1 | 85158 | 85158 | 30000 | 2011 | 6 | 13651 | 20000 | 7000 |
| 2007 | 2 | 23139 | 40000 | 23139 | 2012 | 7 | 9885 | 19000 | 6500 |
| 2008 | 3 | 15976 | 30000 | 15000 | 2013 | 8 | 7323 | 18000 | 6000 |
| 2009 | 4 | 8397 | 25000 | 8397 | 2014 | 9 | 9522 | 17000 | 5500 |
| 2010 | 5 | 20930 | 20930 | 7500 | 2015 | 10 | 7146 | 16000 | 5000 |

根据上界函数和下界函数的 $GM(1, 1)$ 模型预测结果, 得到未来 5 年的年度地质灾害发生数量预测结果 (见表 3), 年度地质灾害发生数量的区间范围和预测中值均有逐渐下降的总体趋势。

表 3 未来 5 年地质灾害发生情况区间预测结果

Table 3 Interval prediction results of geological hazards in the next 5 years

| 年份 | 预测区间 (起/年) | 基本预测值 (起/年) |
|------|--------------|-------------|
| 2016 | 6492 ~ 11769 | 9131 |
| 2017 | 6233 ~ 10417 | 8325 |
| 2018 | 5966 ~ 9220 | 7593 |
| 2019 | 5719 ~ 8161 | 6940 |
| 2020 | 5483 ~ 7224 | 6354 |

3.3 可能重灾年预测

在预测未来 5 年的年度地质灾害发生数量变化范围的基础上, 针对其波动性特点, 进一步通过突变预测法对未来 5 年内可能重灾年的出现进行预测。

考虑到近 2006—2015 年的地质灾害发生数量呈整体下降趋势, 取近 5 年年度地质灾害发生数量的平均值 (9505 起/年) 作为重灾年判定值, 若年度地质灾害发生数预测结果大于该平均值, 则认为此年为重灾年。

据此建立上限灾变序列及对应的灾变日期序列 (见表 4), 通过对灾变日期序列进行灰色 $GM(1, 1)$ 预测, 得 $\hat{q}(8) - \hat{q}(7) = 3$, 即下一次重灾年会发生在最近一次重灾年的 3 年后。根据该预测结果认为, 在 2017 年左右会有地质灾害的高发年出现。

表 4 建模序列

Table 4 Sequence of modeling

| 上限灾变序列 | 85158 | 23139 | 15976 | 20930 | 13651 | 9885 | 9522 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 灾变日期序列 | 1 | 2 | 3 | 5 | 6 | 7 | 9 |

4 预测检验

在对长江经济带地区未来5年的年度地质灾害发展趋势的预测中,对上缘点连线序列、下缘点连线序列及灾变日期序列分别进行了GM(1,1)模型预测。为了评估预测的准确性,分别对3次GM(1,1)模型预测的精度进行校验。

由原始序列和预测模型序列可求出相对误差序列,进而计算出3次GM(1,1)模型预测的平均相对误差(见表5)。对照灰色系统模型精度检验等级参照表(见表6),本次预测精度满足要求。

表5 各模型预测精度

Table 5 Prediction accuracy of all models

| 检验序列 | 上缘点连线序列 | 下缘点连线序列 | 灾变日期序列 |
|--------|---------|---------|--------|
| 平均相对误差 | 0.099 | 0.032 | 0.006 |

表6 灰色系统理论模型精度检验等级

Table 6 The accuracy test gradation of theoretical grey system model

| 精度等级 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 |
|---------------|------|------|------|------|
| 相对误差 α | 0.01 | 0.05 | 0.10 | 0.20 |

5 讨论

本文将灰色系统理论引入地质灾害趋势预测中,通过包络区间预测和灾变预测得到了未来5年地质灾害发生情况,预测结果符合近年来长江经济带地区年度地质灾害发生数量总体下降的变化趋势,同时满足其随机波动的特点,对长江经济带建设中的地质灾害防灾减灾具有指导意义。

需要注意的是,地质灾害的发生受地质环境因素、气候、地震、人类工程活动等多因素综合影响,是复杂的动态发展过程。由于预测中所采用的原始数据序列为2006—2015年长江经济带地区的地质灾害数据,而在此10年间并未出现百年一遇的极端气候、强烈地震。在未来5年,如遇极端气候、重大地震及显著增强的人类工程活动等影响,地质灾害的发生可能会出现超出预测范围的爆发性增长。

本文引入灰色系统理论对地质灾害发生情况的基本趋势进行预测,重点在于对未来总体发育趋势的把握。但地质灾害事件的发生本就具有突发性、偶然性的特点,且由于地质环境等条件的不同而呈现出明显的时空差异性,不同的区域、不同时段所遇到的具体地质灾害问题也不尽相同。因此对地质灾害的空间分布等仍需进一步研究,并应在长江经济带发展建设过程中对区内的地质灾害隐患等问题予以高度关注。

6 结论

本文通过灰色区间预测和灾变预测可预测区域范围内地质灾害发生的基本趋势,将灰色

系统理论用于地质灾害趋势预测具有较好的可行性。预计未来5年长江经济带地区的年度地质灾害发生数量总体呈波动下降趋势,预测中值将逐渐降低至6000起/年。以近5年年度地质灾害发生数量的平均值作为判定值,预测长江经济带地区在未来2年内可能会有地质灾害重灾年出现。

参 考 文 献

- [1] 陈雯, 孙伟, 吴加伟, 等. 长江经济带开发与保护空间格局构建及其分析路径 [J]. 地理科学进展, 2015, (11): 1388 ~ 1397.
CHEN Wen, SUN Wei, WU Jia-wei, et al. Constructing a spatial pattern of development and protection in the Yangtze River Economic Belt and its analysis [J]. Progress in Geography, 2015, (11): 1388 ~ 1397.
- [2] 殷跃平. 中国地质灾害减灾战略初步研究 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, (2): 4 ~ 11.
YIN Yue-ping. Initial study on the hazard-relief strategy of geological hazard in China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, (2): 4 ~ 11.
- [3] 殷跃平, 朱继良, 杨胜元. 贵州关岭大寨高速远程滑坡-碎屑流研究 [J]. 工程地质学报, 2010, (4): 445 ~ 454.
YIN Yue-ping, ZHU Ji-liang, YANG Sheng-yuan. Investigation of a high speed and long run-out rock slide debris flow at Dazhai in Guanling of Guizhou Province [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, (4): 445 ~ 454.
- [4] 殷跃平, 刘传正, 陈红旗, 等. 2013年1月11日云南镇雄赵家沟特大滑坡灾害研究 [J]. 工程地质学报, 2013, (1): 6 ~ 15.
YIN Yue-ping, LIU Chuan-zheng, CHEN Hong-qi, et al. Investigation on catastrophic landslide of January 11, 2013 at Zhaojiagou, Zhenxiang county, Yunnan Province [J]. Journal of Engineering Geology, 2013, (1): 6 ~ 15.
- [5] 国土资源部. 全国地质灾害通报 (2006—2015年) [R]. 2015.
Ministry of Land and Resources. The geological disasters of China [R]. 2015.
- [6] 梅年峰, 罗学东, 蒋楠, 等. 基坑支护方案灰色多目标决策优选模型的建立与应用 [J]. 中南大学学报: 自然科学版, 2013, (5): 1982 ~ 1987.
MEI Nian-feng, LUO Xue-dong, JIANG Nan, et al. Establishment and application of grey multi-objective decision-making optimization model for foundation pit supporting schemes [J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2013, (5): 1982 ~ 1987.
- [7] 陈佳佳, 陈伟清, 刘国献. GM (1, N) 模型在工程建筑物变形分析中的应用 [J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2012, (1): 34 ~ 40.
CHEN Jia-jia, CHEN Wei-qing, LIU Guo-xian. The application of GM (1, N) model to the deformation analysis of buildings [J]. Journal of Guangxi University: Natural Science Edition, 2012, (1): 34 ~ 40.
- [8] 祝彦知, 程楠. 基于灰色马尔可夫模型的区域地下水位动态预报 [J]. 岩土工程学报, 2011, (S1): 78 ~ 82.
ZHU Yan-zhi, CHENG Nan. Dynamic forecast of regional groundwater level based on grey Markov chain model [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, (S1): 78 ~ 82.
- [9] 谭国金, 王龙林, 程永春. 基于灰色系统理论的寒冷地区斜拉桥索力状态预测方法 [J]. 吉林大学学报: 工学版, 2011, (S2): 170 ~ 173.
TAN Guo-jin, WANG Long-lin, CHENG Yong-chun. Prediction method for cable tension state of cable-stayed bridges based on grey system theory in cold areas [J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2011, (S2): 170 ~ 173.

- [10] 王朝阳, 许强, 范宣梅, 等. 灰色新陈代谢 GM (1, 1) 模型在滑坡变形预测中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2009, (2): 108 ~ 111.
WANG Zhao-yang, XU Qiang, FAN Xuan-mei, et al. Application of renewal gray GM (1, 1) model to prediction of landslide deformation with two case studies [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009, (2): 108 ~ 111.
- [11] 刘思峰, 谢乃明. 灰色系统理论及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 97 ~ 169.
LIU Si-feng, XIE Nai-ming. The Grey System theory and its application [M]. Beijing: Science Press, 2013: 97 ~ 169.

TREND PREDICTION RESEARCH OF GEOLOGICAL HAZARD IN THE YANGTZE ECONOMIC ZONE BASED ON GRAY SYSTEM THEORY

CHEN Chun-li¹, HE Kai², WEN Ming-sheng¹, LIANG Hong-kun¹

(1. China Institute for Geo-Environment Monitoring, Beijing 100081, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100081, China)

Abstract: The grey system theory is introduced to the trend prediction research of geological hazard. Modeling and prediction are taken with the case study of the trend of geological hazards in the Yangtze Economic Zone, and the precision is analyzed finally. The result shows that model GM (1, 1) can be used for trend prediction research of geological hazard and the gray system theory are useful. Based on the prediction we know that the annual number of geological hazards presents fluctuant descend tendency and serious disaster year maybe appear in the next 2 years. The results obtained may provide supportable information to the prevention and reduction department in the Yangtze Economic Zone.

Key words: the Yangtze Economic Zone; gray system theory; geological hazard; trend prediction