

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.06.14

基于遗传规划的泥石流多因子融合预测方法

翟淑花, 冒建, 南赞, 刘欢欢, 王云涛, 王强强, 熊春华, 王艳梅
(北京市地质研究所, 北京 100120)

摘要: 泥石流是一种多发的地质灾害,常对人民生命财产安全带来极大的威胁,其暴发不仅与降雨有关,还与众多地质环境因子相关。本文以流域面积、松散物质比率、沟床平均坡度为地质因子,以最大小时雨强(T)和总降雨量(R)的乘积作为降雨指数,在获取的泥石流地质因子和降雨指数因子综合样本库的基础上,采用遗传规划法建立了泥石流临界降雨指数智能预测模型,克服了以往以雨量为单一指标的预警模型的弊端,模型验证结果显示,泥石流预测精度高、适应性强。

关键词: 泥石流;地质因子;降雨指数;遗传规划;智能识别

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)06-0111-05

Multi-factors fusion method of debris flow prediction based on genetic programming

ZHAI Shuhua, MAO Jian, NAN Yun, LIU Huanhuan, WANG Yuntao, WANG Qiangqiang,
XIONG Chunhua, WANG Yanmei
(Beijing Institute of Geology, Beijing 100120, China)

Abstract: Debris flow is a frequent geological disaster, which often poses a great threat to the safety of people's lives and property. Outbreak of debris flow is not only related to rainfall, but also related to many geological and environmental factors. In this paper, the watershed area, ratio of loose materials and the average slope of the gully bed are taken as the geological factors, the maximum hourly rainfall intensity (T) and the total rainfall (R) are taken as the rainfall index, the sample database is established by means of geological factors and rainfall index, genetic programming is used to establish a prediction model for the critical rainfall index of debris flow, which overcomes the shortcomings of the previous warning model that used rainfall as a single indicator, model verification results show that the model has high warning accuracy and strong adaptability, which can realize timely warning.

Keywords: debris flow; geological factors; rainfall index; genetic programming; intelligent prediction

0 引言

泥石流是山区多发频发突发的地质灾害之一,常给人民生命财产安全带来极大威胁,泥石流预警作为泥石流防治的有效手段,一直是众多学者研究的焦点问题。多年来,针对降水在泥石流暴发中的触发作用公开了大

量研究成果及工程实践经验^[1-14]。有学者采用线性拟合、Logistics 回归等方法建立了前期有效雨量、小时雨强、过程雨量等降雨指标的泥石流灾害临界预警表达式;也有学者采用人工神经网络建立了泥石流非线性预警模型,但预测精度在很大程度上依赖于使用者的经验与水平,限制了模型推广和应用。大多数地区的泥石流

收稿日期: 2020-07-20; 修订日期: 2020-09-27

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(8182022);北京市自然科学基金项目(8202026);北京市科委科技计划项目(Z191100001419015)

第一作者: 翟淑花(1979-),女,博士,教授级高级工程师,从事地质灾害监测预警研究。E-mail: zhaishuhuahbu@163.com

预警模型中以降雨作为预警因子,而较少涉及泥石流流域形态、地质岩性等地质环境背景因素,造成泥石流预警多以区域预警为主,泥石流精细预警程度不高。因此,本文以泥石流孕灾因子、降雨指标为预警指标,以遗传规划为手段,建立以泥石流地质环境背景为基础的泥石流综合预测模型,提高预测模型的普适性和可靠性。

1 遗传规划模型的构建

在历史泥石流地质因子和降雨数据分析的基础上,采用遗传规划建立地质因子与关键降雨因子之间非线性函数关系,输出泥石流预测二叉树模型,实现不同地质环境背景下的泥石流预测(图1)。

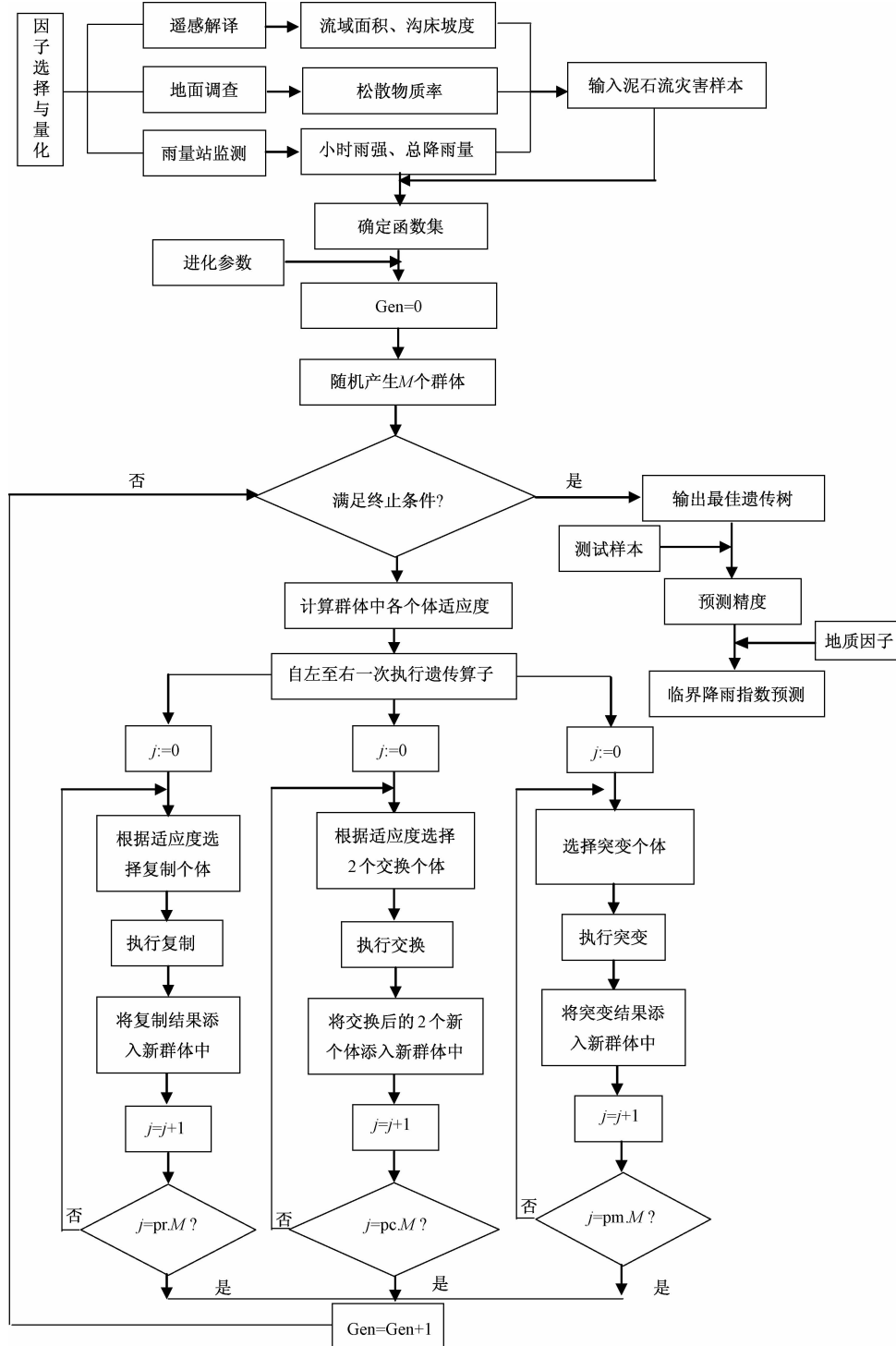


图1 基于遗传规划的泥石流多因子融合预测方法流程图

Fig.1 Multi-factors fusion method of debris flow prediction model based on GP

1.1 泥石流暴发影响因子的选择与量化

充分搜集历史泥石流灾害事件,以遥感解译,历史地面调查为手段,获取历史泥石流地质环境背景因子,收集泥石流沟域内历史雨量站数据,建立以流域面积、松散物质比率、沟床平均坡度等地质因子为自变量,以小时雨强、当日雨量为因变量的历史泥石流样本库,并将样本库样本分为学习样本和测试样本。

1.2 遗传规划模型的建立

以学习样本为基础,根据泥石流影响因子的特征,确定函数集和终止符集,函数集 F 可以从运算符或函数符中选择 $F = \{ +, \times, /, \sin, \cos, \log, \exp \}$,终止符集可选择变量 X, Y, Z 或常数。设定遗传规划进化参数,初始群体产生方法、群体规模、交换概率、突变概率、选择方法、最大允许代次、最大突变深度、以及终止准则等。遗传规划程序开始寻优搜索,满足终止准则后,输出临界降雨因子与地质因子之间的非线性函数表达式,建立泥石流综合预测模型。

(3)模型的验证与应用

将测试样本带入建好的模型,得到预测的临界降雨指数,并与实际临界降雨指数作比较,计算模型的预测精度。整个方法的技术流程见图 1。

2 模型应用

2.1 选择泥石流预测因子

泥石流的暴发具有随机性和不确定性,受地形地貌、地质条件以及人类工程活动等众多因素影响。泥石流暴发影响因子的选择对预测精度具有重要影响,若因子选择过多,会增加模型的负担,降低模型应用效果,若因子考虑偏少,则会降低模型预测精度。鉴于此,在充分借鉴国内外已有研究成果的基础上,选择流域面积、松散物质比率、沟床平均坡度为影响泥石流临界雨量的自变量,以最大小时雨强和总累计雨量的乘积为因变量,建立不同地质环境背景下的泥石流临界降雨指数预测模型,各因子具体含义如下:

(1)流域面积(X_1):以流域出口为基准点,基准点以上分水岭为界的流域面积。

(2)松散物质率(X_2):流域内松散物质面积与流域面积的比值,其大小与岩层理化性质、地质构造、地下水的多寡、边坡坡度、植被状况等因素有关。

(3)沟床平均坡度(X_3):沟床平均坡度 = $\tan^{-1}$ (高程差/主沟长度),为达到单位的统一,采用平均坡度的正切值作为计算因子。

(4)降雨指数(RTI):为最大小时雨强(R) $\times$ 总降雨量(T)/1 000,其中最大小时雨强为降雨过程中的最大小时降雨量(R),总累计雨量(T)为当日雨量与前期有效雨量之和,前期有效降雨量采用前 5 天有效降雨量。

2.2 建立历史泥石流样本库

参考文献[15]中所列历史泥石流数据,建立以流域面积、松散物质比率、沟床平均坡度为自变量,降雨指数为因变量的泥石流暴发综合因子样本库,具体明细见表 1。

表 1 泥石流暴发综合因子一览表

Table 1 Comprehensive factors due to debris flow							
序号	流域 面积 $X_1 /$ km^2	松散 物质 比率 $X_2 / \%$	沟床平 均坡度 正切值 $\tan(X_3)$	沟床 平均 坡度/ ($^\circ$)	降雨 指数 RTI	最大小 时雨 强 $R /$ ($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)	总雨量 T / mm
1	2.77	0.98	0.07	3.94	22.50	75.00	300.00
2	2.30	2.30	0.30	16.47	33.15	85.00	390.00
3	2.47	0.99	0.26	14.66	34.80	87.00	400.00
4	2.20	0.52	0.22	12.52	37.80	90.00	420.00
5	2.39	2.51	0.25	13.80	33.58	85.00	395.00
6	3.22	1.48	0.21	11.80	26.25	75.00	350.00
7	2.22	0.95	0.27	14.92	32.73	85.00	385.00
8	1.84	7.84	0.31	17.24	32.30	85.00	380.00
9	2.46	0.60	0.12	6.84	31.88	85.00	375.00
10	2.09	0.06	0.27	14.89	31.03	85.00	365.00
11	1.64	0.04	0.25	14.16	30.18	85.00	355.00
12	2.33	2.10	0.25	13.83	26.25	75.00	350.00
13	1.92	23.65	0.28	15.67	29.20	80.00	365.00
14	1.67	3.61	0.30	16.48	24.75	75.00	330.00
15	2.12	5.10	0.29	16.04	25.13	75.00	335.00
16	2.89	3.51	0.23	13.04	25.50	75.00	340.00
17	1.65	13.33	0.40	21.91	24.38	75.00	325.00
18	2.58	4.89	0.29	16.05	27.75	75.00	370.00
19	2.77	12.50	0.31	17.00	25.20	70.00	360.00
20	2.18	8.21	0.29	15.94	28.13	75.00	375.00
21	3.02	20.66	0.22	12.44	28.88	75.00	385.00
22	2.97	18.46	0.17	9.82	27.75	75.00	370.00
23	2.68	13.44	0.33	18.38	30.56	75.00	407.50
24	2.28	2.66	0.27	15.34	18.53	65.00	285.00
25	2.45	1.73	0.27	15.01	21.00	70.00	300.00
26	2.23	0.36	0.32	17.52	22.05	70.00	315.00
27	2.10	0.88	0.25	14.28	26.06	86.00	303.00
28	1.10	7.42	0.33	18.10	14.03	55.00	255.00
29	1.60	3.60	0.22	12.18	11.66	53.00	220.00
30	1.62	8.70	0.35	19.25	12.74	52.00	245.00
31	2.78	1.92	0.19	10.80	14.03	55.00	255.00
32 *	2.64	3.38	0.10	5.75	26.78	85.00	315.00
33 *	2.47	1.92	0.18	10.09	10.80	45.00	240.00
34 *	2.27	0.78	0.10	5.93	22.50	75.00	300.00
35 *	2.02	1.17	0.13	7.29	22.50	75.00	300.00
36 *	1.96	6.24	0.39	21.42	14.40	60.00	240.00

注:1—31 为训练样本;32 *—36 * 为测试样本。

- forecast[J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 23(4): 453–457. (in Chinese)]
- [3] 丛威青, 潘懋, 李铁锋, 等. 降雨型泥石流临界雨量定量分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25(增刊1): 2808–2812. [CONG W Q, PAN M, LI T F, et al. Quantitative analysis of critical rainfall-triggered debris flows[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2006, 25(Sup1): 2808–2812. (in Chinese)]
- [4] 田冰, 王裕宜, 洪勇. 泥石流预报中前期降水量与始发日降水量的权重关系: 以云南省蒋家沟为例[J]. *水土保持通报*, 2008, 28(2): 71–75. [TIAN B, WANG Y Y, HONG Y. Weighted relation between antecedent rainfall and process precipitation in debris flow prediction—A case study of Jiangjia gully in Yunnan Province[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(2): 71–75. (in Chinese)]
- [5] 刘艳辉, 唐灿, 李铁锋, 等. 地质灾害与降雨雨型的关系研究[J]. *工程地质学报*, 2009, 17(5): 656–661. [LIU Y H, TANG C, LI T F, et al. Statistical relations between geo-hazards and rain-type[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2009, 17(5): 656–661. (in Chinese)]
- [6] 倪化勇, 王德伟. 基于雨量(强)条件的泥石流预测预报研究现状、问题与建议[J]. *灾害学*, 2010, 25(1): 124–128. [NI H Y, WANG D W. Present status, problem and advice on the research of prediction and forecasting of debris flow based on rainfall condition[J]. *Journal of Catastrophology*, 2010, 25(1): 124–128. (in Chinese)]
- [7] 梁光模, 姚令侃. 确定暴雨泥石流临界雨量的研究[J]. *路基工程*, 2008(6): 3–5. [LIANG G M, YAO L K. Study on determining the critical rainfall of rainstorm mudflow[J]. *Subgrade Engineering*, 2008(6): 3–5. (in Chinese)]
- [8] 白利平, 孙佳丽, 南赞. 北京地区泥石流灾害临界雨量阈值分析[J]. *地质通报*, 2008, 27(5): 674–680. [BAI L P, SUN J L, NAN Y. Analysis of the critical rainfall thresholds for mudflow in Beijing, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(5): 674–680. (in Chinese)]
- [9] 王海芝. 北京山区基于历史资料的泥石流临界雨量研究[J]. *城市地质*, 2008, 3(1): 18–21. [WANG H Z. A study of the critical rainfall volume for mudflows based on his-torical data in the mountainous area of Beijing[J]. *Urban Geology*, 2008, 3(1): 18–21. (in Chinese)]
- [10] 涂剑, 马超, 杨海龙. 北京山区暴雨泥石流激发雨量条件[J]. *中国水土保持科学*, 2017, 15(5): 103–110. [TU J, MA C, YANG H L. Rainfall condition of triggering debris flows in Beijing mountain regions[J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2017, 15(5): 103–110. (in Chinese)]
- [11] 贾三满, 路璐, 翟淑花, 等. 北京山区泥石流预警阈值初步研究[J]. *城市地质*, 2016, 11(3): 1–7. [JIA S M, LU L, ZHAI S H, et al. Preliminary study on early warning threshold of debris flow in Beijing mountainous area[J]. *Urban Geology*, 2016, 11(3): 1–7. (in Chinese)]
- [12] 王军, 李学峰. 基于 Logistic 回归的泥石流灾害预警模型[J]. *厦门理工学院学报*, 2018, 26(3): 73–77. [WANG J, LI X F. Logistic regression for early warning of debris flow hazards[J]. *Journal of Lujiang University*, 2018, 26(3): 73–77. (in Chinese)]
- [13] 何朝阳, 许强, 巨能攀, 等. 基于降雨过程自动识别的泥石流实时预警技术[J]. *工程地质学报*, 2018, 26(3): 703–710. [HE C Y, XU Q, JU N P, et al. Real-time early warning technology of debris flow based on automatic identification of rainfall process[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2018, 26(3): 703–710. (in Chinese)]
- [14] 王之君, 李仁年, 拓万全. 基于历史观测数据的泥石流突变起动的模式研究——以陇南山区白龙江流域为例[J]. *灾害学*, 2019, 34(2): 140–144. [WANG Z J, LI R N, TUO W Q. Historical field observation data-based study on the catastrophic initiation mode of debris flow: a case of the Bailong river basin in Longnan mountain areas[J]. *Journal of Catastrophology*, 2019, 34(2): 140–144. (in Chinese)]
- [15] 王进孝. 土石流临界降雨线极限状态之研究-基因演算最佳化类神经网络[D]. 台湾: 国立台湾大学, 2004. [WANG J X. Study on the critical line of debris flow based on genetic evolutionary neural networks[D]. Taiwan: National Taiwan University, 2004. (in Chinese)]