

铁路泥石流流预报警报体系

王 韦¹ 许唯临¹ 谭炳炎² 魏 鸿²

(1 四川大学高速水力学国家重点实验室 成都 610065; 2 铁道部科学研究院西南分院 成都 610031)

提 要 简要介绍了铁路泥石流流预报警报体系的构成和功能。在归纳分析资料采集内容和途径的基础上, 总结并完善了评估泥石流流沟严重程度的判识模型、泥石流暴发可能性的预报模型和铁路建筑物是否成灾的警报模型, 并用实测资料对其进行了验证。

关键词 铁路 泥石流 预报 警报

分类号 《中图法》P642.23

泥石流具有暴发突然、成灾快的特点, 对山区铁路的危害极大。据统计, 建国以来因泥石流流造成的铁路破坏、线路车站淤埋等严重灾害事故 292 起, 中断行车 7 500h^[1]。因此, 建立泥石流的预警体系, 进行泥石流的判识、预报、警报的研究, 具有重要的理论和现实意义。

1 资料采集内容和途径

流域环境因素是影响泥石流流暴发和规模的重要因素, 有关资料主要来源于 3 个方面: 技术档案(如区域构造、岩性)、航卫片资料(如流域面积、植被覆盖率)和现场调查(如松散物贮量、河沟堵塞程度)。影响流域环境的因素众多, 不可能全部选取。因此, 在大量调查资料的基础上, 应用专家调查法进行统计分析, 选择最能反映泥石流流沟谷状况的 3 类 15 项因素作为流域环境的基本因素, 并将其作为流域环境数据库的主要内容。这些因素包括: 反映地表基本特征的植被覆盖率、山坡坡度、流域面积、相对高程和沟口泥石流流堆积程度; 反映松散物产状的水土流失程度、区域构造、岩性、泥沙沿程补给长度比、产沙区松散物厚度和沿沟松散物贮量; 反映河槽条件的河沟纵坡、近期变幅、沟槽横断面及堵塞程度等^[2]。

流域气象因素是触发泥石流流活动的直接动因。泥石流流的严重程度与区域气象特征有关, 泥石流流是否暴发受前期降雨的影响。泥石流流预报的前提是对雨情雨量的预报, 而实时雨量过程则是灾情警报的基础。这些资料的获得主要是气象台站的历史档案, 卫星云图的气象分析和监测网络的降雨记录^[3]。

防治工程是指修建在流域内的拦沙坝、排导沟等用于降低泥石流流破坏力的水利工程, 而泄洪工程是为了顺利排泄泥石流流而修建的桥梁、涵洞等线路工程。这些工程的有关水力要素是反映其过流能力的重要资料, 主要通过设计文件、维护记录和工程回访获得^[3]。

2 预警体系的构成和功能

山区铁路沿线沟谷相连, 不可能也无必要对所有的沟谷进行治理, 只能按其严重程度分轻重缓急进行防范和监控。因此, 首要的工作是建立判识模型, 对泥石流流的严重程度进行评估。判识模型的核心采用谭炳炎建立的数量化综合评判方法^[3], 即

$$N=\sum_{i=1}^A(r_i p_i) \tag{1}$$

式中 r_i , p_i 分别是第 i 项环境因素的权重及评分(见表 1, 其中 A, B, C, D 各等级的具体划分参见文献

[2]); N 为泥石流沟综合评判量值。

泥石流沟严重程度由 3 级阈值(116, 86, 44)分为 4 等^[1, 2]: 严重、中等, 轻微和非泥石流沟。

对评判结果为严重的泥石流沟($N \geq 116$), 应尽快完善雨量监测网络, 并在遇较大降雨时进行泥石流预报; 对中等以下的沟谷($N < 116$)则继续进行监控。降雨将引发流域迳流, 进而形成山洪, 但只有当固体物含量达到一定比例时才被认为暴发了泥石流。泥石流在规模和破坏力方面均远大于山洪, 因此必须建立预报模型, 以判别泥石流是否暴发。泥石流组合预报参数 Y 由流域环境动态函数 M 和暴雨条件函数 R 确定^[3], 即: $Y = M \cdot R$, 其中

$$R = k_1 \left(\frac{H_{24}}{H_{24D}} + \frac{H_1}{H_{1D}} + \frac{H_{1/6}}{H_{1/6D}} \right),$$
$$M = k_2 (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \quad (2)$$

式中 k_1 为前期降雨量修正系数, $k_1 \geq 1$;

H_{24} 、 H_1 、 $H_{1/6}$ 分别为 24 h、1 h 和 10 min 最大降雨量; H_{24D} 、 H_{1D} 、 $H_{1/6D}$ 分别为所预报地区可能发生泥石流的 24 h、1 h 和 10 min 限界雨量, 以成昆铁路为例, 其值分别为 60 mm、20 mm 和 10 mm; k_2 为流域所在地区的环境条件和侵蚀系数, $0.01 \leq k_2 \leq 0.78$; N_1 为流域内集水、贮沙综合参数的量化值 $0.30 \leq N_1 \leq 4.80$; N_2 为流域地表产汇流条件参数的量化值 $0.10 \leq N_2 \leq 1.60$; N_3 为流域产沙条件参数的量化值, $0.35 \leq N_3 \leq 5.60$; N_4 为泥石流输移条件参数的量化值, $0.25 \leq N_4 \leq 4.00$ 。

在目前情况下, 泥石流各级雨量由临近车站的雨量观测站提供。

泥石流暴发可能性由 2 级阈值(35, 25)分为 3 等评判结果^[1]: 暴发、可能暴发和不暴发。对评判为不暴发泥石流的流域($Y \leq 25$), 按普通洪水进行防范; 对评判为暴发($Y > 35$)和可能暴发($25 < Y \leq 35$)泥石流的流域, 则需通过产汇流模型进行泥石流暴发规模计算。

产汇流模型首先利用合理化公式进行清水洪峰流量的计算

$$Q_{fp} = (1/3.6) \cdot f \cdot r \cdot A \quad (3)$$

式中 f 为产流系数; r 为汇流时间内最大雨强; A 为流域面积。再由泥石流运动学理论进行泥石流洪峰流量的计算^[3]

$$Q_{dp} = Q_{fp} \left[\frac{(\sigma - 1)(\operatorname{tg} \varphi - J)}{(\sigma - \rho)(\operatorname{tg} \varphi - J) - K_c \rho J} \cdot K_b \right] \quad (4)$$

式中 σ 为泥石流固体颗粒密度; ρ 为泥石流浆体密度; φ 为固相内摩擦角; J 为沟床纵坡; K_c 为河槽弧石覆盖系数; K_b 为泥石流堵塞系数。

由于防治工程的存在, 泥石流的暴发规模并不等同于破坏能力, 应建立水力模型对防治工程的作用进行分析。

拦砂坝的主要作用是蓄砂削洪, 通过拦砂坝下泄的泥石流洪峰为 Q'_{dp} ^[3]

$$Q'_{dp} = (1 - \eta C) Q_{dp} \quad (5)$$

式中 η 为拦砂坝的拦沙比; C 为泥石流浓度。

排导沟将动床改为定床, 从而可以提高泥石流流速, 降低泥石流流深。排导沟内流深 h' 与原河床上流深 h 的关系为

$$h' = (I_m / I_f)^{2/5} h \quad (6)$$

式中 I_m 、 I_f 分别为动床和定床的泥石流流速系数。泥石流是否造成危害既取决于泥石流的成灾能力, 又取决于泄洪工程的抗灾能力。抗灾能力主要反映在桥涵的最大过流能力 $Q_c^{[5]}$

$$Q_c = (1/\alpha) m_c R_c^{2/3} I^{1/2} A_c$$

(7)

式中 α 为阻力系数; m_c 为流量系数; I 为桥涵底坡; A_c 、 R_c 分别为桥涵有效过流断面面积和水力半径。由抗灾能力和成灾能力之间的关系, 即可建立警报模型。令 $k = Q_c / Q'_{dp}$, 按目前铁路桥涵泥石流危害程度等级要求, 可由 2 级阈值 (1.35 1.00) 给出 3 等泄洪工程安全等级: 安全 $K \geq 1.35$; 有危险 $1 \leq K < 1.35$ 和很危险 $K < 1$ 。一般认为, K 值越小, 泥石流成灾的可能性越大, 并据此和现场情况分别制定相应的防洪、抢险或救灾措施^[4]。泥石流预警体系的结构由图 1 所示。

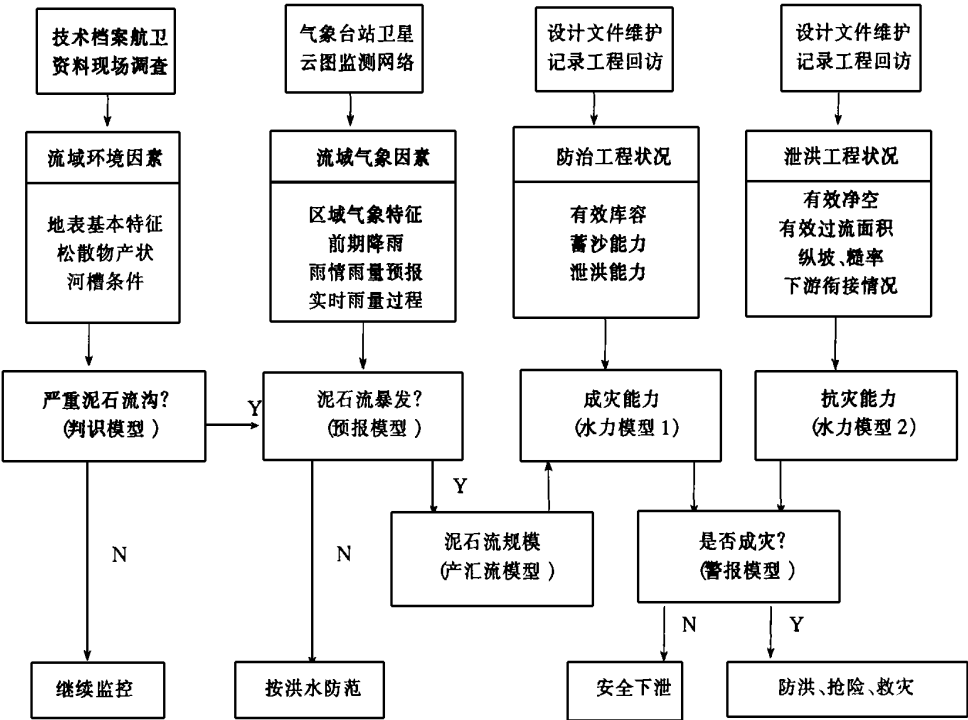


图 1 铁路泥石流预警体系

Fig. 1 Forecast and forewarn system of railway debris flow

3 预报警报体系在铁路示范路段上的验证

示范路段选择在成昆线上的乌斯河—甘洛区间, 全长 41km。该区间泥石流沟分布相对集中, 仅比较严重的泥石流沟就有 14 条, 由于暴雨频率高, 是泥石流灾害最严重和工程投资最大的线段。该示范路段自 1988 年作为铁路泥石流预报试验区建立以来, 积累了丰富的降雨和灾害资料。现利用档案资料对本文的预报警报体系进行验证, 而真正的应用有待于示范路段监测网络的进一步完善。

3.1 判别模型的验证

根据现有的泥石流数据库^[3], 由公式(1)给出的示范路段内部分泥石流沟的严重程度的评估得分和判别结果如表 2 其评判结果基本反映了上述各沟的现状。

3.2 预报模型的验证

1989-07-26~27, 示范路段普降大雨, 多条沟谷暴发泥石流, 根据档案资料由式(2)给出的预报结果和实际情况的对比(表 3), 从验证结果看, 除了拉古子沟错报以外, 其余泥石流沟的预报结果与实际情况符合良好。

3.3 警报模型的验证

1990-07-11~12, 示范路段内姆古足沟降雨 $H_{1/6}=12.6\text{mm}$, $H_1=23.2\text{mm}$, $H_{24}=94.9\text{mm}$; 窄板沟降雨 $H_{1/6}=13.8\text{mm}$, $H_1=44.8\text{mm}$, $H_{24}=83.6\text{mm}$, 并且均暴发泥石流。由式(3)~(7)式结合档案资料可得出相应的成灾能力、抗灾能力和警报结果(表 4)。

当时的实际情况是, 姆古足沟内的泥石流顺利通过了下游铁路大桥; 而窄板沟明洞渡槽由于局部淤积造成了轻微漫槽。

4 结 语

本文对铁路泥石流预报警报体系进行了简明的阐述, 并用档案资料进行了验证和比较。在 GIS 和 Visual Foxpro 的支持下, 该体系正在成昆铁路示范路段(乌斯河—甘洛)内试行。随着示范路段内硬件设施—监测网络的进一步完善, 该体系作为防灾软件必将发挥它应有的作用并得到进一步的完善和充实。

表 2 判别模型的验证

Tab 2 Verifcation of judgment model

沟 名	评估得分	判别结果
罗嗦沟	113	中等
窄板沟	127	严重
乐日沟	95	中等

表 3 预报模型的验证

Tab 3 Verifcation of forecast model

沟名	降雨观测值(mm)			预报结果	实际情况
	$H_{1/6}$	H_1	H_{24}		
新寨子沟	9.0	20.0	68.0	暴 发	暴 发
龙门沟	11.0	25.6	55.4	不暴发	未暴发
勒古洛夺沟	15.8	36.0	69.0	暴 发	暴 发
窄板沟	3.4	10.9	32.2	不暴发	未暴发
拉古子沟	10.3	19.1	42.1	暴 发	未暴发
尔都芦沟	3.6	15.6	47.8	不暴发	未暴发
岩润沟	10.6	30.6	59.6	暴 发	暴 发

表 4 警报模型的验证

Tab 4 Verifcation of forewarn model

沟 名	成灾能力 (来流量 m^3/s)	抗灾能力 (过流量 m^3/s)	警报结果
姆古足沟	386.4	838.3	安 全
窄板沟	528.4	613.4	有危险

参 考 文 献

1 沈寿长, 谭炳炎. 泥石流防治理论与实践. 成都: 西南交通大学出版社, 1991. 45~65
2 谭炳炎. 泥石流沟严重程度的数量化综合评判. 铁道学报, 1986. (2)
3 王伟, 陈正林, 沈寿长. 铁路泥石流泄洪工程风险分析. 见: 城市与工程减灾基础研究论文集编辑委员会. 《城市与工程减灾基础研究论文集》(1995). 北京: 中国科学技术出版社, 1996. 203~208
4 王伟, 沈寿长, 谢衍光. 铁路泄洪防洪工程安全效益评价方法. 中国铁道科学, 1997, 18(4): 50~56
5 王伟, 陈正林, 沈寿长等. 铁路示范路段泥石流灾害分析系统. 见: 城市与工程减灾基础研究论文集编辑委员会. 《城市与工程减灾基础研究论文集》(1996). 北京: 中国科学技术出版社, 1997. 232~236

第一作者简介 王 伟, 男, 34 岁, 工学博士, 副研究员, 1997-04 前在铁道部科学研究院西南分院工作; 1997-05 调至四川大学高速水力学国家重点实验室。

FORECAST AND FOREWARN SYSTEM OF RAILWAY DEBRIS FLOWS

WANG Wei¹ XU Weilin¹ TAN Bingyan² WEI Hong²

(¹ State Key Hydraulics Laboratory of High Speed Flows, Sichuan University, Chengdu 610065;

² Southwest Research Branch, Chinese Academy of Railway Sciences, Chengdu 610031)

Abstract

The safety of mountainous railways is often threatened by debris flows. How to effectively prevent the debris flow disasters and reduce the losses is the aim to study the forecast and forewarn system of railway debris flows in this paper. The factors to influence debris flow falls into the environmental factors and meteoric factors of a basin, and the judgment model of debris flow gully's seriousness and the forecast model of debris flow occurrence are established. On the basis of analyzing the disaster—reducing effect of harness projects and anti—disaster probability of flood discharge projects, the forewarn model of debris flow disasters is built. These models form a complete forecast and forewarn system of railway debris flows. The models are verified by the data from a railway model section in good coincidence. The forecast and forewarn system will give a useful reference to the railway debris flow monitoring network to be built soon.

Key words railway, debris flow , forecast, forewarn