

云南省滑坡泥石流灾害预报预警模型研究^{*}

闵 颖, 胡 娟, 李 超, 许迎杰, 李华宏,
李 湘, 万石云, 李 磊, 杨素雨

(云南省气象台, 云南 昆明 650034)

摘 要:应用2000–2011年12年的雨量观测数据和收集整理的滑坡泥石流灾害资料,综合考虑影响滑坡泥石流的内外因子,重点分析了触发滑坡泥石流的雨量、雨强和地质结构因子,得出不同地质结构和降水条件下的滑坡泥石流等级预报指标,结合定量降水预报业务建立了云南省滑坡泥石流灾害预报预警模型。通过个例检验表明:该系统在2012年9月11日彝良滑坡泥石流灾害中表现了较好的预警能力。

关键词:滑坡;泥石流;预报预警模型;云南

中图分类号: X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–811X(2013)04–0216–05

云南省处于印度洋板块与太平洋板块和欧亚大陆板块交界区,地质构造运动激烈、地质地貌复杂等原因为滑坡泥石流灾害的孕育提供了重要条件,同时云南受印度季风(南亚季风)和东亚季风的交替影响,季风背景下干湿季分明的天气气候特点和85%的雨水集中在汛期,为滑坡泥石流灾害的形成提供了最关键的外在激发因素,致使云南成为滑坡泥石流灾害最严重的地区之一。仅2010年云南省就发生滑坡565起,泥石流134起,其中典型灾害例如2010年4月18日04:00金平县老集寨乡安福村中型泥石流灾害造成4人死亡、1人失踪、1人受伤,直接经济损失121万元;2010年7月26日贡山县普拉底乡米谷村米角河电站大型泥石流灾害,造成3人死亡、8人失踪、11人受伤,直接经济损失200万元;2010年8月18日01:30左右贡山县普拉底乡东月谷村东月谷河发生特大泥石流灾害,泥石流物质冲入怒江,导致怒江短暂阻断2 h,堆积体以上水位上升6 m,因灾死亡39人、失踪53人、受伤39人,直接经济损失1.4亿元,玉金公司东月谷铁矿选厂被冲毁,交通、电力、通讯等基础设施损毁严重;2010年8月21日昆明市东川区拖布卡镇红岩铁矿采场中型滑坡灾害,造成4人死亡、1人受伤,直接经济损失340万元。2010年9月1日22:20保山市

隆阳区瓦马乡河东村大石房特大型滑坡灾害,造成29人死亡、19人失踪、8人受伤,直接经济损失6 508.6万元。滑坡泥石流灾害不仅直接威胁到人民生命财产安全,也成为了限制山区经济发展的重要因素之一,防灾减灾形势日益严峻,以往的研究^[1–15]主要是从危险区划、滑坡泥石流灾害与降水的关系、临界雨量指标等方面入手,本文综合考虑影响滑坡泥石流发生、发育的内、外动力环境因素共同作用,基于滑坡泥石流风险区划和临界雨量、雨强研究结果建立滑坡泥石流灾害预报预警模型。结合定量降水预报业务即可开展滑坡泥石流灾害预报预警业务。期望业务的开展能为滑坡泥石流灾害的预报预警起到一定指示作用。

1 资料来源

(1)降水资料:云南省124个观测站2000–2011年的08:00–次日08:00时逐日降水资料。

(2)灾情资料:主要采用云南省气象台收集的2000–2011年滑坡泥石流灾情资料,并整合了云南省国土资源厅和中国科学院成都山地灾害与环境研究所提供的部分灾情资料,选取时间记录清楚的灾情,共计1 101个。由于灾情发生的具体地点缺乏经纬度信息,因此灾情的发生地以县级行

^{*} 收稿日期:2013–03–07 修回日期:2013–04–29

基金项目:云南科技惠民计划项目“云南怒江流域精细化地质灾害气象预警系统研究及示范”(2013CA014);中国气象局山洪地质灾害防治气象保障工程“云南省山洪地质灾害精细化气象预报预警业务系统研究”项目;云南省气象局预报员技术开发专项项目“云南省滑坡泥石流灾害预报预警模型精细化研究”(YB201301)

作者简介:闵颖(1981–),女,云南昆明人,工程师,主要从事数值模拟和资料同化的研究. E-mail: swallow923@tom.com

政区为单位。

从收集的灾情情况看(图1),12年来云南滑坡泥石流灾害分布的总趋势是以宣威-腾冲为分界,分界西北部灾情比较多,而分界东南部灾情除了玉溪市南部和红河州南部以外,大部分地区的灾情比较少,总体来说具有西多东少,西北多东南少的特点。这种分布与云南的地形、地貌有着密切的关系。12年来云南滑坡泥石流灾害的高发区位于保山市、迪庆州维西县、怒江州福贡县、大理市、昭通市和红河州金平县,12年来发生滑坡泥石流灾害的次数在20次以上,平均每年在2次以上,其中保山市的腾冲县12年来发生滑坡泥石流灾害的次数为52次,平均每年接近5次。12年来滑坡泥石流灾害发生较少的区域主要位于曲靖市南部、昆明市、文山州、普洱市东部、西双版纳州东部和临沧市,平均每年不足1次,其中六库县、沾益县、陆良县、安宁县、太华山、石林县、弥勒县、宁洱县共8个县12年来没有发生过一次滑坡泥石流灾害。其他地区每年平均发生1~2次。总之,云南滑坡泥石流灾害分布广泛,12年中全省124个县市中有116个县市(占总县市93.5%)发生了不同程度的滑坡泥石流灾害,仅有8个县(占总县市6.5%)没有滑坡泥石流灾害发生。

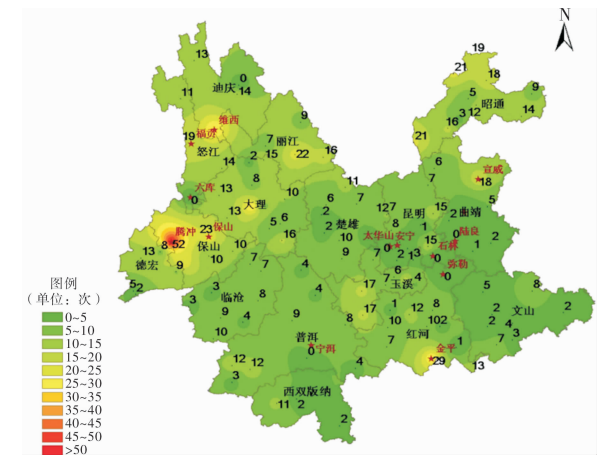


图1 2000-2011年云南滑坡泥石流灾害发生次数分布

2 滑坡泥石流灾害预报预警模型的建立

2.1 总体思路

本文依据国土部门提供的云南省地质灾害易发程度分区图,利用气象部门的实时雨量数据,采用插值、阈值自动判别等级等技术,构建了云南省滑坡泥石流灾害预报预警模型(图2)。

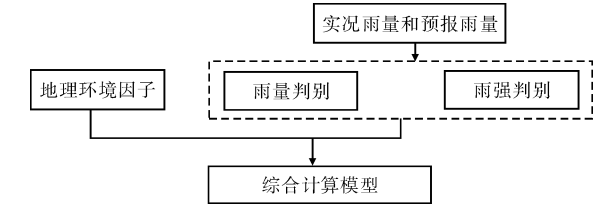


图2 滑坡泥石流灾害预报预警模型结构图

2.2 综合计算模型各因子的计算

2.2.1 地质灾害区划

本文利用 ArcGIS 软件将云南省国土资源厅提供的云南省地质灾害易发程度分区图数字化(图3),匹配124个气象观测站的经纬度信息,则每个观测站都有一个对应的地质灾害易发等级。

从图3上看,滇西危险等级高于滇东,滇北高于滇南,滇西北发生滑坡泥石流灾害的可能性最大,滇东南最小。滑坡泥石流风险区域的这一分布特点,与云南省东南向西北,海拔、高差、坡度逐渐增大的地形变化规律相对应。滑坡泥石流高危险区还与断裂活动高发区相对应。如金沙江-红河断裂带和小江断裂带,构造活动异常强烈,形成一系列断裂谷地和断陷盆地,这类地段岩层破碎、山坡陡峻,在降水等外界条件诱发下出现滑坡泥石流灾害的可能性非常大。此分布特点与文献[11]中的分区结果基本吻合。



图3 云南省地质灾害易发程度分区图

2.2.2 临界雨量

文献[2, 4, 8, 12]等对滑坡泥石流发生与当日降水量和前期滑动累积降水量的关系都做了细致的研究,本文利用文献[2]的方法,计算了1101个滑坡泥石流样本前30d逐日累加的累计降水量,并统计了各样本在各降水等级中出现的次数,从统计结果看,在10d左右有一个滑坡泥石流灾害次数的大值中心,灾害次数在70~80次左右,而

对应的滑动累积降水量在 100 mm 左右, 相对这个中心之前的灾害次数和降水量的关系, 之前的累积降水量小于 25 mm 却集中了大量的灾情样本, 与实际情况不符合, 而之后的灾情样本随累积滑动衰减增加而下降很快, 因此前期累积雨量时段统一采用 10 d。

由于降水资料空间分辨率低以及云南滑坡泥石流灾害调查资料十分有限, 临界雨量分析计算难度大, 因此在计算临界雨量时, 不仅对单站的临界雨量进行分析计算, 还根据图 3, 对每个地质灾害区分别计算了临界雨量, 当某一县站最小的临界雨量 < 10 mm 时, 就选取该县站所在的地质灾害区的临界雨量进行订正, 若该地质灾害区的临界雨量也 < 10 mm, 则该县站的临界雨量选用距离该县站较近的另一县站的临界雨量替换。

临界雨量的计算采用文献[13]中的方法, 即:

$$R_0 = R_{(当日)} + R_{(前1\text{ d})} + R_{(前2\text{ d})} + R_e \quad (1)$$

式中: R_0 指每次个例的临界雨量; $R_{(当日)}$ 指滑坡泥石流发生当天 24 h 雨量, 实际业务中用预报值代替; $R_{(前1\text{ d})}$ 和 $R_{(前2\text{ d})}$ 分别指滑坡泥石流发生前第 1 d 和第 2 d 24 h 雨量; R_e 指滑坡泥石流发生前第 3 d 至第 10 d 有效雨量, 其经验公式为:

$$R_e = \sum_{k=3}^{10} A^{k-2} R_k \quad (2)$$

式中: R_k 表示滑坡泥石流发生之前第 k 日的雨量, $k = 3, 4, 5, \dots, 10$, A^{k-2} 为衰减系数, 各县站取值不同。

与文献[13]中取所有个例中临界雨量最小值作为区域临界雨量不同, 本文根据国土资源部和中国气象局《关于联合开展地质灾害气象预报预警工作协议》的规定, 采用百分位的方法^[17]将临界雨量划分为 5 个等级, 即其取值位于概率区间 (0, 20%), (20%, 40%), (40%, 60%), (60%, 80%), (80%, 100%), 分别对应指数值 1, 2, 3, 4, 5。

由于有些县站的灾情个例少于 10 个, 会造成不同级别中临界值相同的情况, 以就高原则进行等级判断。另外, 沾益、陆良、安宁、太华山、石林、弥勒、宁洱、六库 8 站没有灾情资料, 指数直接取为 1。

2.2.3 前 10 d 雨强日数

水分是滑坡泥石流发生的必要条件, 连阴雨天气易引起滑坡的发生, 强度大的降雨则是绝大多数滑坡泥石流发生的水动力条件, 因此本文考虑将前 10d 雨强日数作为模型中的一个因子。

前 10 d 雨强日数的定义为滑坡泥石流发生当天至发生前第 10 d 内达到中雨量级以上的日数。划分等级方法同 2.2.2 节中的临界雨量部分。

从临界雨强日数的分布 (图 4) 可以看出, 滇西及滇西南边缘地区、滇南和滇东南的临界值较大。文山州的临界值较大, 但灾情比较少, 考虑主要是由于滇东南地势较为平坦, 地质灾害危险区划属于中低危险区, 因此需要较大的临界值才能诱发山洪灾害。滇西北、滇东北的临界值相对较小, 主要是由于地势复杂, 海拔高而多山地沟谷地形, 在一定的累积降水下容易达到发生山洪灾害的条件。

2.2.4 临近 24 h 雨强

临界雨量和前 10 d 雨强日数两个因子考虑的都是前期降雨的情况, 如果前期降水丰沛的话会使土壤墒情增大, 使得滑坡泥石流灾害处于易发状态, 如果再有新的降水补充的话, 将会使土壤含水量达到过饱和状态, 加剧了产生滑坡泥石流灾害的可能性, 因此将临近 24 h 雨强也作为一个雨强指标。规定无雨、小雨、中雨、大雨、暴雨以上降雨量级分别对应指数值 1, 2, 3, 4, 5。

2.3 综合计算模型等级指标

对于地质灾害区划这个因子, 确定了 3 个不同等级的临界值, 其他三个气象因子都确定了 5 个不同等级的临界值, 利用文献[16]中的统计公式

$$A = \sum_{i=1}^5 a(i), \begin{cases} a(i) = 1, b(i) \leq c_1(i); \\ a(i) = 2, c_1(i) \leq b(i) \leq c_2(i); \\ a(i) = 3, c_2(i) \leq b(i) \leq c_3(i); \\ a(i) = 4, c_3(i) \leq b(i) \leq c_4(i); \\ a(i) = 5, c_4(i) \leq b(i). \end{cases}$$

做出云南省滑坡泥石流灾害等级预报。其中 A 为预报结果, a 是各因子预报值, b 是因子值, c 是临界值。预报结果取值位于 (0, 7.9), (7.9, 11.9), (11.9, 15.9), (15.9, ~), 分别代表可能性很小、可能性较小、可能性较大、可能性大和可能性很大。

3 预报预警模型业务试验情况及个例检验

通过上述方法建立的预报预警模型于 2012 年 6 月 1 日正式投入业务应用, 由后台程序执行计算, 最终生成文本格式和图片格式产品, 产品的时间分辨率为 6 h, 空间分辨率以县级行政区或 3 km × 3 km 栅格为预报单元。

下面对 2012 年 9 月 11 日昭通市彝良县泥石流灾害个例进行回代计算, 以检验模型的预报能力。定量降水集成产品提前 5 d (120 h 预报) 就预报出

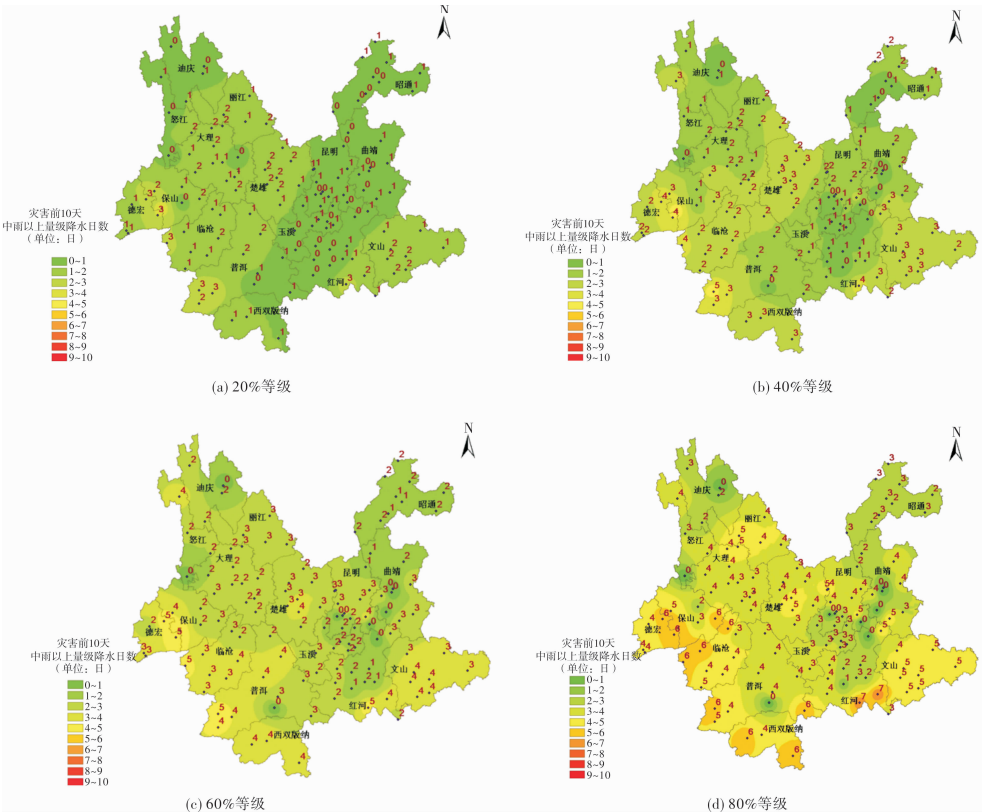


图4 雨强日数空间分布

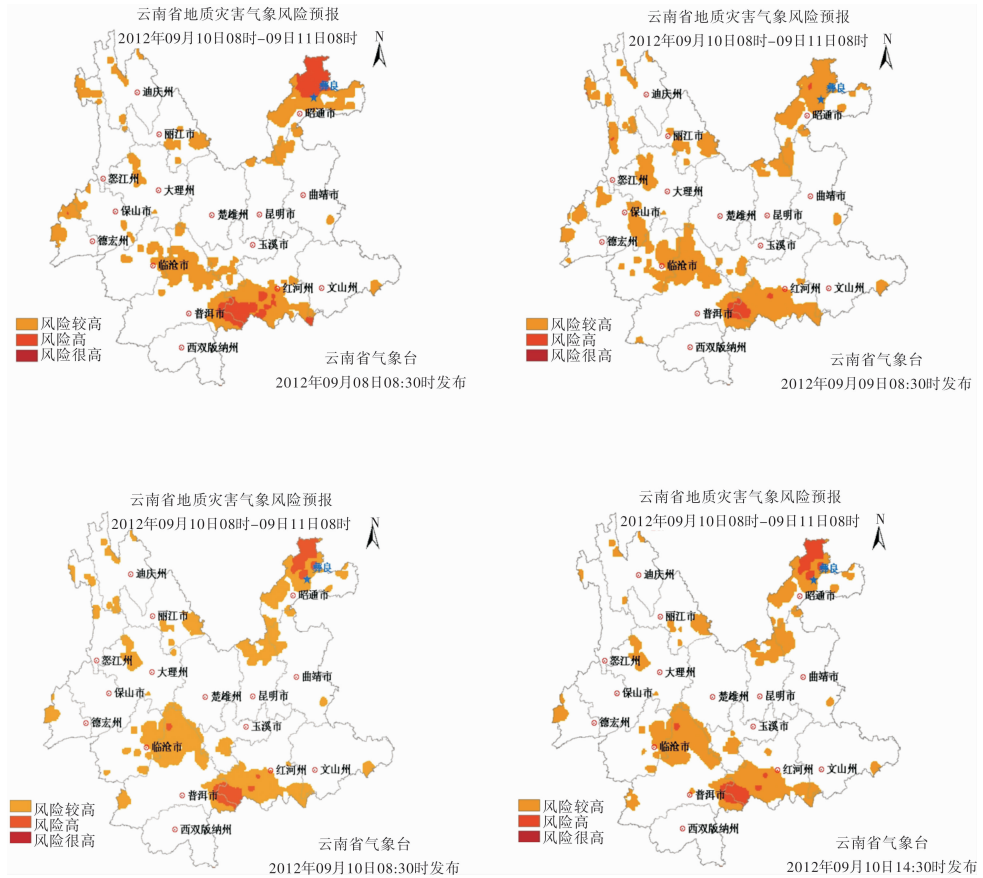


图5 9月11日08时云南省地质灾害风险预报

11-13 日有一次雨带自北向南,自东向西推的强降水过程。而且随着预报时效的临近,其预报趋势稳定可信,比较而言提前 1 d(24 h 预报)的强度和降水落区与实况更相似。因为灾情发生在凌晨,所以预报产品短期时效内的起报时间均采用 08 时,短时效内的起报时间采用 20 时。从整个预报时效来看(图 5),都报出了两个地质灾害气象风险等级较高的区域,一个位于昭通-昆明东北部,另一个位于普洱东部-红河南部,区别在于 48 h 的预报昭通北部(包括彝良地区)风险等级报的轻了一个量级,24 h 以及 12 h 预报的话,量级有所提高,彝良地区的风险等级报到了风险高一档。总之,这次预报对于震后的接踵而至的滑坡泥石流灾害起到了很好的指导作用。

4 结语

(1)模型综合考虑了影响滑坡泥石流的内外因子,模型将地质因子和气象因子糅合,具有一定的合理性。

(2)模型中的降水资料既用到了实况资料,还用到了预报资料,实际业务中,预报资料通过定量降水预报业务得到,预报正确与否直接关系到滑坡泥石流预报的准确与否。

(3)模型的预报预警能力有待进一步验证。

(4)模型中灾情和降水资料都只考虑到了县一级,今后应当把乡镇降水资料应用到模型中,以增加预报精度。

参考文献:

- [1] 唐川,周钜,朱静. 云南崩塌滑坡危险度分区的模糊综合分析[J]. 水土保持学报, 1994, 8(4): 48-54.
- [2] 段旭,陶云,刘建宇,等. 云南省不同地质地貌条件下滑坡泥石流与降水的关系[J]. 气象, 2007, 33(9): 33-39.
- [3] 余峙丹,张辉,郭荣芬. 云南省楚雄特大滑坡泥石流气象成因[J]. 气象科技, 2010, 38(1): 136-140.
- [4] 谢明恩,程建刚,范菠. 云南滑坡泥石流灾害的气象成因与监测[J]. 山地学报, 2005, 23(5): 571-578.
- [5] 陶云,唐川,段旭. 云南滑坡泥石流灾害及其与降水特征的关系[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(1): 180-186.
- [6] 彭贵芬,段旭,张杰,等. 云南滑坡泥石流灾害精细化气象预警系统[J]. 气象科技, 2008, 36(5): 627-630.
- [7] 唐川. 云南怒江流域泥石流敏感性空间分析[J]. 地理研究, 2005, 24(2): 178-185.
- [8] 彭贵芬. 云南气象地质灾害危险等级 PP-ES 预报方法[J]. 气象科技, 2006, 34(6): 745-749.
- [9] 张红兵. 云南省地质灾害预报预警模型方法[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(1): 40-42.
- [10] 唐川. 云南省泥石流灾害区域特征调查与分析[J]. 云南地理环境研究, 1997, 9(1): 1-9.
- [11] 朱静,唐川. 云南省泥石流灾害危险度分区研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(2): 86-93.
- [12] 张玉龙,王龙,李靖,等. 云南省山洪灾害临界雨量空间插值分析方法研究[J]. 云南农业大学学报, 2007, 22(4): 570-573, 581.
- [13] 王仁桥,周月华,王丽,等. 大降雨型滑坡临界雨量及潜势预报模型研究[J]. 气象科技, 2005, 33(4): 311-313.
- [14] 赵鑫,程尊兰,刘建康,等. 云南东川地区单沟泥石流危险度评价研究[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 102-106.
- [15] 贺拿,陈宁生,曾超. 泥石流启动机理研究现状及趋势[J]. 灾害学, 2013, 28(1): 121-125.
- [16] 薛建军,徐晶,张芳华,等. 区域性地质灾害气象预报方法研究[J]. 气象, 2005, 31(10): 24-27.
- [17] 彭芳,吴古会,杜小玲. 贵州省汛期短时降水时空特征分析[J]. 气象, 2012, 38(3): 307-313.

Prediction Model about Landslide and Debris Flow in Yunnan Province

Min Ying, Hu Juan, Li Chao, Xu Yingjie, Li Huahong, Li Xiang,

Wan Shiyun, Li Lei and Yang Suyu

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China)

Abstract: Based on the data of precipitation and disaster from year 2000 to year 2011, inside and outside factors influenced landslide and debris flow have been comprehensively considered. The amount, intensity of rainfall and geological structure, which cause landslide and debris flow have been emphatically analyzed. The targets of landslip grade forecast were found. Combining the quantitative precipitation predicted business, the prediction model about landslide and debris flow has been formed. The model reflects good prediction ability in Yiliang disaster at September 11, 2012 by checking example.

Key words: landslide; debris flow; prediction model; Yunnan