

云南省不同地质地貌条件下滑坡泥石流与降水的关系

段 旭¹ 陶 云^{1,2} 刘建宇¹ 彭贵芬³

(1 云南省气象科学研究所,昆明 650034;2 云南大学大气科学系;3 云南省气象台)

提 要: 利用 2001—2005 年 5—10 月逐日降水量资料、滑坡泥石流样本和地质地貌特征等级,分析研究了不同地质地貌条件下滑坡泥石流与降水的关系。结果表明:滑坡泥石流发生与短时强降水和前期累积降水量关系密切,8 天累积降水量 40~50mm、9 天累积降水量 70~80mm、10 天累积降水量 100~110mm 和 1~2 天 30~40mm 等降水条件最为敏感。在现有降水量观测空间密度不足的情况下,用前期累积降水量来分析与滑坡泥石流之间的关系十分重要;不同地质和地貌条件下滑坡泥石流发生对降水量大小的响应有比较大的差异,在预测预报时,若能综合考虑各类地质地貌特征,将有助于减少空报率。

关键词: 滑坡泥石流 地质地貌条件 累积降水量

The Relationship Between the Landslide and Debris Flows and the Precipitation in Yunnan Province Under Conditions of Different Geology and Geomorphology

Duan Xu¹ Tao Yun^{1,2} Liu Jianyu¹ Peng Guifen³

(1. Meteorological Institute of Yunnan Province, Kunming 650034; 2. Atmospheric Science Department of Yunnan University; 3. Meteorological Observatory of Yunnan Province)

Abstract: Using day by day precipitation data from May to October during the period of 2001—2005, the landslide and debris flow cases and the grades data of geology and geomorphology feature, the relationship between the landslide and debris flows and precipitation in Yunnan Province under the different geology and physiognomy conditions was investigated. The results indicated that there is close relation between the landslide and debris flows and the preceding cumulative precipitation. The most sensitive rainfall conditions are 8 - days cumulative precipitation (40

资助项目:中国气象局新技术推广项 CMATG2005M39,云南省科技攻关及高新技术计划 2005SG25。

收稿日期:2007 年 4 月 6 日; 修定稿日期:2007 年 7 月 23 日

~50mm), 9-days cumulative precipitation(70~80mm), 10-days cumulative precipitation(100~110mm) and 1~2-days cumulative precipitation(30~40mm), etc. Under the conditions of the deficiency of precipitation observation spatial density, it is very important that preceding cumulative precipitation was applied to analyzing the relationship between the landslide and debris flows and the precipitation. Under the conditions of various geology and geomorphology, the landslide and debris flows respond well to precipitation. It is very useful for reducing empty prediction ratio to synthetically considering various geology and geomorphology in the course of prediction.

Key Words: landslide and debris flows geology and geomorphology cumulative precipitation

引 言

云南省山地面积约占 94%,且地形陡峭、切割破碎,加之地层岩性复杂,地震活动频繁,降水集中,是我国遭受滑坡、泥石流灾害最严重的省份之一^[1]。滑坡泥石流的形成主要取决于地质条件、地貌条件和水源条件^[2];地质条件是泥石流和滑坡形成的内因和必要条件,包括地质构造和岩性、地震和新构造运动以及某些物理作用等因素;地貌条件主要是指泥石流沟的沟床比降、沟坡坡度、坡向、集水区面积和沟谷形态等,它制约着泥石流和滑坡的形成与运动,使泥石流和滑坡具有不同的规律和特性;水源条件主要是指大气降水(也包括地下水和冰雪融水),它是泥石流和滑坡发生的主要激发因素。与地质和地貌相比,大气降水是随时变化和可预测的。因此,研究大气降水与滑坡泥石流的关系,对于预防滑坡泥石流灾害十分重要。

近几年来,许多学者对降水与滑坡泥石流关系做了大量的分析研究工作。马东涛等^[3]指出,在地质条件、地形条件、固体物质条件等都具备的情况下暴雨和连续性降水成为滑坡泥石流灾害最主要的激发因素。程根伟^[4]认为,山区泥石流是由暴雨洪水引发的随机事件,它的规模与雨量和山谷积累的松散岩石碎屑量有关。文献^[5~10]也对降水与滑坡泥石流(地质灾害)的关系做了较深入

的分析。

由于滑坡泥石流发生的随机性和降水类型的复杂性,降水与滑坡泥石流的关系还需要在至少两个方面进行深入分析研究:一是短时强降水和前期累积降水量对滑坡泥石流发生的影响,因为两种性质的降水都能使土层含水饱和、径流系数加大、汇流时间缩短、地表滑动力和内水压力加大,易导致滑坡泥石流发生;二是不同地质和地貌条件下滑坡泥石流发生对降水量大小的响应。

1 资料及处理

本文涉及到的资料主要有三部分。

(1) 云南省 124 个气象站 2001—2005 年 5—10 月(雨季)逐日降水量。

(2) 从云南省气象局气象灾情报告和云南省国土资源厅滑坡泥石流统计报告中归纳整理得到 2001—2005 年 5—10 月共 521 个滑坡泥石流样本。

(3) 从文献^[1]中得到云南省岩土体类型因子致灾敏感性、土地利用类型因子致灾敏感性、地形坡度因子致灾敏感性、地震烈度因子致灾敏感性、公路分布因子致灾敏感性、区域斜坡稳定性等 6 类地质地貌敏感性(稳定性)等级。按不敏感区(稳定区)、低敏感区(基本稳定区)、中敏感区(较不稳定区)、高敏感区(不稳定区),分为 1~4 级。521 个滑坡泥石流样本对应等级从 1:50 万图中读取。

分级的原则依据是通过区域环境的特定因素分析,采用因子叠加和数理统计等定性或定量的方法,结合区域滑坡泥石流灾害调查结果,判定区域内不同地段滑坡泥石流发生的可能性大小,以及评价灾害对社会经济影响程度。

2 滑坡泥石流与降水的关系

2.1 当日降水量分析

首先,分析当日降水量与 521 个滑坡泥石流样本的关系。图 1 给出了滑坡泥石流样本在不同等级日降水量中的次数,从中可以看出滑坡泥石流绝大部分发生在日降水 50mm 以下。其中,无降水 87 次、0.1~10mm 降水 173 次、10.1~20mm 降水 76 次、20.1~30mm 降水 72 次、30.1~40mm 降水 54 次、40.1~50mm 降水 21 次,分别占总次数的 16.7%、33.2%、14.6%、13.8%、8.6%和 4.0%,而 50mm 以上降水发生滑坡泥石流的次数不足 9.0%。结果表明,当日强降水与滑坡泥石流发生“关系不大”,这显然与实际不符。

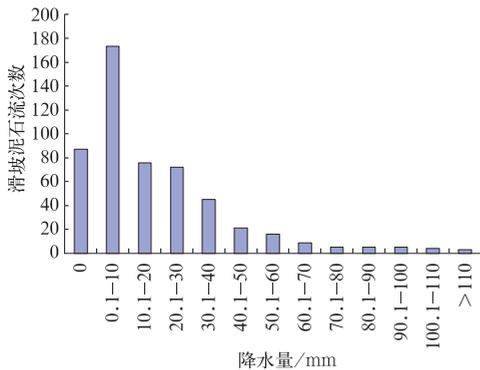


图 1 滑坡泥石流样本在不同等级日降水量中的次数

为什么会出现这样的统计结果,可能的原因之一是滑坡泥石流发生时,气象站观测

的降水量与发生地实际降水量有较大差别(在低纬高原地区,局地强降水比较频繁),导致统计“失真”;其二是前期累积降水量较大,土壤含水量已饱和,具备了随时发生滑坡泥石流的激发因素。

图 2、3 分别给出了 2005 年 8 月 7 日新平县平掌乡和 10 月 29 日元江县杨岔街乡滑坡泥石流发生时,气象站和乡镇雨量站观测到的降水量情况。发现滑坡泥石流发生时,气象站和乡镇雨量站观测到的降水量差别较大,特别是平掌乡当天降水量高达 263.7mm,而该县气象站仅 14.1mm。从这 2 个例子分析看,用当天气象站降水量来预测滑坡泥石流发生与否是非常困难的。

那么,在当前乡镇雨量站网还未完全建立起来,如何用县气象站降水量来分析研究

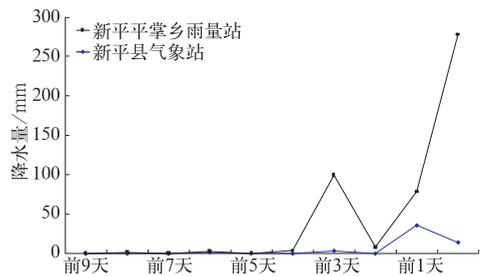


图 2 2005 年 7 月 29 日至 8 月 7 日新平县气象站和新平平掌乡雨量站降水实况

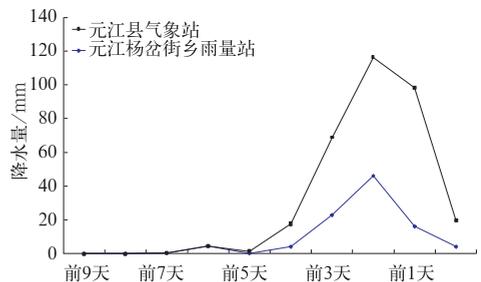


图 3 2005 年 10 月 20—29 日元江县气象站和元江杨岔街乡雨量站降水实况

与滑坡泥石流的关系呢? 如果分析一下图 2、3 中乡镇雨量站与气象站前期观测值的变

化趋势,可以发现,虽然逐日数值两者差别波动较大,但振幅变化基本一致。显然,如果把前期降水考虑进去,气象站资料还是很有代表性的。另外,这2个例子中,气象站前10天累积降水量分别为55.5和98.2mm,表明前期累积降水量对滑坡泥石流发生有很好的指示性。

2.2 前期滑动累积降水量分析

为了较全面地分析前期累积降水量与滑坡泥石流的关系,图4给出了521个滑坡泥石流样本在前30天的滑动累积降水量中各降水等级中出现的次数。从样本分布情况看,大部分样本集中在前3天累积降水量20mm以下区域中。前面已提到过,短期降水量空间分布差异较大,前期累积降水量情况也不相同,与滑坡泥石流的关系具有随机性,因此,图4中样本最集中区域表征的相互关系与实际出入太大。

随着向前滑动天数的增加,样本分布大值区开始向降水量较大的区域转移,滑动累计6天、8天、12天、20天前各有一相对大

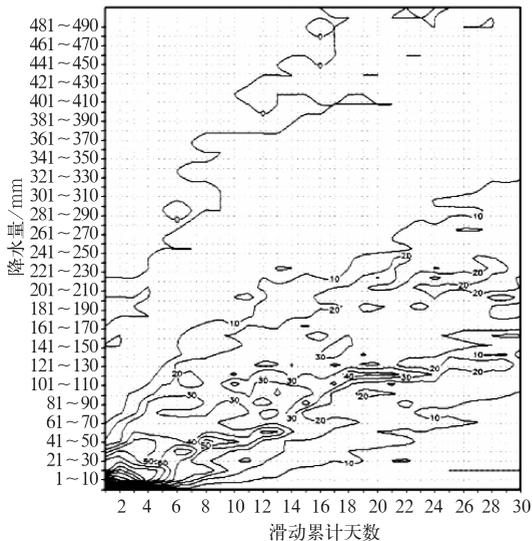


图4 521个滑坡泥石流样本在前期滑动累积降水量中的分布

值中心,对应的累积降水量大致在40、50、60、120mm等级上,甚至滑动累计29天、200mm等级上也有一相对大值区。因此,可以看出向前滑动累积降水量达到某一区间时,有较明显的关系。样本次数分布呈相对密集的带状,当向前滑动天数增加时,样本次数相对集中在累积降水量某一区间,累积降水量较小或较大区域中很少有样本出现。特别是多日持续无降水时(图略),样本次数随累计滑动时间增加而下降很快,1天无降水有87个样本,2天剧降到29个,3天仅10个,4天以后样本数极小,几乎可以忽略。

综上所述,滑动累积降水量与滑坡泥石流样本有一定的关系,一是随着滑动累计天数的增加,样本数比较集中在某几个降水量等级中,这对建立预报模型有很好的指示性;其二,30mm以下降水,样本次数随累计滑动时间增加而下降收敛很快,可以作为预报消空的依据。

2.3 滑坡泥石流样本的概括率

这个问题很重要。前面所有的分析只涉及滑坡泥石流样本,对于滑坡泥石流发生的降水背景有一个初步的判断,但是,要在实际预报业务中应用,还需考虑非样本且相同的降水背景。由于滑坡泥石流发生是小概率事件,因此,在相同降水背景条件下,滑坡泥石流发生的概括率(滑坡泥石流样本次数/相同降水背景次数)大小将成为预报判据(因子)优劣的标志。

概括率表达式为

$$P_i = DF_i / R_i \quad (1)$$

式中, P_i 为降水*i*等级(如图1中*x*轴某一数值)的滑坡泥石流样本概括率, DF_i 为降水*i*等级中滑坡泥石流的样本次数, R_i 为降水*i*等级出现的次数。

在分析 P_i 之前,先计算521个样本各自前1~30天滑动累积降水量之间的相关系

数,发现10天滑动累积降水量可以近似代表11~30天滑动累积降水量,它们之间的相关系数最小也达到了0.8。同时考虑到10天以内滑动绝大多数样本(图4)发生在200mm降水以下范围。因此,以下分析均简化为10天以内滑动、200mm降水以下范围等级。

利用云南124个气象站2001—2005年逐日降水资料来计算式(1)中的 P_i 。图5给出了滑动累计1~10天各降水等级滑坡泥石流样本概括率,结果表明,样本概括率绝大部分低于1%,最大值出现在10天滑动、累积降水量100~110mm范围内,也仅为1.38%。显然,用逐站、逐日的滑动降水量来分析滑坡泥石流样本,其概括率很低,不能作为业务指标。

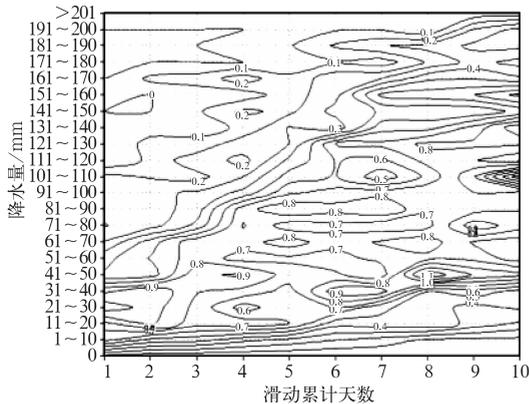


图5 滑坡泥石流样本概括率(%)

样本概括率低,也就是空报率高,那么如何消空呢?这自然与不同的地质和地貌条件联系起来,下面分析不同地质地貌条件下样本的概括率。

3 不同地质地貌条件下滑坡泥石流与降水的关系

3.1 单一条件

前文把521个滑坡泥石流样本的地质地貌属性按岩土体类型、土地利用类型、地形坡度、地震烈度、公路分布、区域斜坡稳定性等

6类敏感性(稳定性)因子各分为4级,每一个样本都具有6类地质地貌特征相应级别的参数。

仍利用云南124个气象站2001—2005年5—10月逐日降水资料来分别计算6类地质地貌特征4个级别的滑坡泥石流样本概括率。计算结果表明,各类地质地貌特征的样本概括率(图略)虽然大小不同,但都随级别的增加而增大,也就是说地质地貌敏感性越强、越不稳定,样本概括率越大,它体现了在同等降水情况下不同地质地貌条件与滑坡泥石流的关系。

6类地质地貌特征,对滑坡泥石流样本概括率影响程度大小分别为土地利用、地形坡度、区域斜坡最不稳定,其次为地震烈度、岩土体类型和公路分布;累计降水量对样本概括率关系最密切的有2个范围,8天累积降水量40~50mm和10天累积降水量100~110mm。

3.2 综合条件

前面计算分析了各类地质地貌条件对滑坡泥石流样本概括率影响程度的大小,从数值上看,考虑了地质地貌条件后,样本概括率有了大幅度提高,即使这样,样本概括率最高的也仅为9.28%。分析其原因,有可能是仅分析了单一地质地貌条件,而在达到一定量的降水后,滑坡泥石流发生与否取决于复杂地质地貌条件综合条件。例如,图2、3中的平掌乡和杨岔街乡,6类地质地貌特征等级分别为3、2、3、3、3、4和3、3、4、2、2、2,如果按单一地质地貌特征3~4级来统计,会漏掉平掌乡1个特征等级、杨岔街乡3个特征等级。如果把它们各类地质地貌特征等级加起来作为综合条件来考虑,这2个样本(乡)的综合等级为18和16,差别并不大。

表1给出了521个样本综合地质地貌条件等级分布,大部份样本综合等级为10~17,占总数的85.1%。

表 1 综合地质地貌条件等级滑坡泥石流样本分布

综合等级	0~9	10	11	12	13	14	15	16	17	18~24
样本数	66	25	47	69	74	106	43	62	17	12
累计样本数	66	91	138	207	281	387	430	492	509	521

依据表 1, 分别分析综合等级样本概括率(图略), 结果表明: 综合等级小于 13 或大于 17 样本概括率较小, 甚至小于单一的公路分布致灾敏感因子; 综合等级 14~16 各级样本概括率较大, 有的高达 70%。从预报角度看, 综合等级低, 包含的样本数多, 但概括率低(空报多); 综合等级高, 概括率高, 但包含的样本数少(漏报多)。

权衡包含的样本数和概括率两者的关系, 取等级 ≥ 14 作为综合地质地貌特征来分析降水量与滑坡泥石流样本的关系。分析可知(图略), 8 天累积降水量 40~50mm、9 天累积降水量 70~80mm、10 天累积降水量 100~110mm 的样本概括率较高, 分别达到 17.01%、16.75% 和 18.53%, 比单一地质地貌条件最高的样本概括率高出近 10 个百分点。结合单一地质地貌条件分析结果, 可以得出 8 天累积降水量 40~50mm、9 天累积降水量 70~80mm、10 天累积降水量 100~110mm 与滑坡泥石流发生关系最为密切; 同时, 1~2 天 30~40mm 也存在一个相对大值中心, 样本概括率中心值为 13.64%。

表 2 综合地质地貌特征等级滑坡泥石流样本拟合率

降水量等级	≥ 13 样本拟合率(%)	≥ 14 样本拟合率(%)	≥ 15 样本拟合率(%)
8 天累积降水量 40~50mm	2.74	14.14	10.43
9 天累积降水量 70~80mm	2.31	14.02	10.02
10 天累积降水量 100~110mm	3.10	15.23	11.61

也证实了取等级 ≥ 14 作为综合地质地貌特征来分析降水量与滑坡泥石流样本之间关系的合理性。

4 结论与分析

(1) 滑坡泥石流发生与短时强降水和前

3.3 拟合率分析

前面的分析都是基于某一等级降水的样本概括率, 从业务预报角度来看, 仅考虑了样本的空报情况, 而没有考虑包含在其它降水等级中的样本(也就是漏报)。如果把式(1)中的分母加上一个其它降水等级中的样本数, 即样本拟合率

$$C_i = DF_i / (R_i + NDF_i) \quad (2)$$

式中, C_i 为降水 i 等级(如图 1 中 x 轴某一数值)的滑坡泥石流样本拟合率, NDF_i 总样本数(521) - DF_i 的次数。

仍利用云南 124 个气象站 2001—2005 年 5—10 月逐日降水资料来计算式(2)中的 C_i 。表 2 给出了综合地质地貌特征等级 ≥ 13 、 ≥ 14 和 ≥ 15 , 8 天累积降水量 40~50mm、9 天累积降水量 70~80mm、10 天累积降水量 100~110mm 的 C_i 计算值。结果显示, 样本拟合率均小于概括率, 等级 ≥ 14 及以下变化较小, 因为达到累积降水量(R_i)等级的站一天数值较大; 等级 ≥ 15 及以上变化较大, 最大值由 40.37% 降至 11.61%。这

期累积降水量关系密切, 8 天累积降水量 40~50mm、9 天累积降水量 70~80mm、10 天累积降水量 100~110mm 和 1~2 天 30~40mm 等降水条件最为敏感。在现有降水量观测空间密度不足的情况下, 用前期累积降水量来分析与滑坡泥石流之间的关系十分重要。

(2) 不同地质和地貌条件下滑坡泥石流发生对降水量大小的响应有比较大的差异,在预测预报时,若能综合考虑各类地质地貌特征,将有助于减少空报率。

(3) 从云南省的实际情况看,实际滑坡泥石流发生次数比本文收集到的521个样本要多,还有下垫面水汽蒸发、环境和植被的变化等因素,该项研究还需继续深入。

参考文献

- [1] 唐川,朱静. 云南滑坡泥石流研究[M]. 北京:商务印书馆,2003:47-75.
- [2] 张红兵,金德山. 影响云南省滑坡泥石流活动的几个自然因素[J]. 水文地质工程地质,2004,(5):38-41.
- [3] 马东涛,冯自立,张金山,等. 7.19云南腾冲滑坡泥石流灾害调查报告[J]. 水土保持通报,2004,24(6):67-71.
- [4] 程根伟. 暴雨泥石流爆发的准周期性探讨[J]. 自然灾害学报,2002,11(4):49-45.
- [5] 彭贵芬. 云南气象地质灾害与降水的关系(地质灾害气象预报预警技术文集)[M]. 北京:气象出版社,2004:172-176.
- [6] 单九生,刘修奋,朱星球. 诱发江西滑坡的降水特征分析(地质灾害气象预报预警技术文集)[M]. 北京:气象出版社,2004:20-23.
- [7] 毛以伟,周月华,陈正洪,等. 降水因子对湖北省山地灾害影响的分析(地质灾害气象预报预警技术文集)[M]. 北京:气象出版社,2004:33-37.
- [8] 寸灿琼,鲁亚斌,李娟,等. 云南德宏“7.5”特大洪涝与滇缅高压[J]. 气象,2006,32(1):84-88.
- [9] 单九生,魏丽,刘修奋,等. 诱发江西滑坡的降水特征分[J]. 气象,2004,30(1):13-15.
- [10] 王锡稳,陶建红,冯军,等. 陇南“5.31”特大泥石流灾害成因分析[J]. 气象,2003,30(10):43-46.