

胡 娟, 闵 颖, 李华宏, 等. 云南省山洪地质灾害气象预报预警方法研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 62 – 66. [Hu Juan, Min Ying, Li Huahong, et al. Meteorological Early-Warning Research of Mountain Torrent and Geologic Hazard in Yunnan Province[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 62 – 66.]

云南省山洪地质灾害气象预报预警方法研究^{*}

胡 娟, 闵 颖, 李华宏, 李 湘, 李 超, 李 磊

(云南省气象台, 云南 昆明 650034)

摘 要:通过分析云南省 2000 – 2011 年 116 个县站共计 1 101 次山洪地质灾害个例和近 12 年的逐日降水数据, 探讨山洪地质灾害与降水之间的关系, 并提出适用于本省的山洪地质灾害气象预报预警的方法。研究表明云南省的山洪地质灾害时间变化与降水的时间变化吻合, 灾害主要集中在雨季(5 – 10 月)发生, 并在主汛期出现峰值; 灾害的空间分布具有西多东少、西北多东南少的特征, 在滇南和滇西南山洪地质灾害总次数的高中心的分布与强降水日数中心值的空间分布基本一致。经过计算 116 个县站各次个例的日综合雨量, 分析得出各县站诱发山洪地质灾害的临界雨量, 并对临界雨量分级定出各县站山洪地质灾害气象预报预警的 5 个风险等级, 在 2012 年的山洪地质灾害气象预报预警业务中取得良好效果。

关键词:山洪地质灾害; 日综合雨量; 临界雨量; 风险分级

中图分类号: X43; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000 – 811X(2014)01 – 0062 – 05

doi: 10.3969/j.issn.1000 – 811X.2014.01.012

山洪地质灾害的形成是地质条件、地貌状况、气象条件、人类工程活动等多种因素综合作用的结果, 气象条件是诱发山洪地质灾害的主要因素之一。因此, 从降水这一关键因子入手, 与山洪地质灾害的分布特点相结合, 研究降水与山洪地质灾害的关系成为山洪地质灾害预报预警的关键问题。近年来, 国内多个省市针对当地的地质灾害时空分布特征与降水过程的特点进行了统计分析, 并建立了相应的地质灾害气象条件等级预报业务系统^[1-11]。这些研究表明虽然山洪地质灾害的形成受诸多因素的控制, 具有较大的随机性, 但又具有很大的规律性; 指出除当日降水量是引发山洪地质灾害的主要因素外, 前期的有效降水和连续降水累计值与山洪地质灾害的关系也十分密切。通过对山洪地质灾害和降水的统计分析, 部分学者提出了日综合雨量、累计有效降雨量等控制性指标作为预报预警山洪地质灾害的临界雨量, 建立雨量预报模型应用于地质灾害等级预报中, 在业务上也取得了一定的成果。

山洪地质灾害每年给云南省造成巨大的经济

损失。云南省内复杂的地形地貌为山洪地质灾害频发提供了地形条件, 而干湿季分明、降水集中在雨季且局地强降水多发的气候特征又为灾害的频发提供了外部条件。在内因和外因的共同作用下, 云南成为我国遭受山洪地质灾害最严重的省份之一。云南也早已开展了滑坡、泥石流等地质灾害与降水关系的研究^[12-16], 指出滇西北泥石流发生的临界日雨量为 35 ~ 200 mm, 滇西南为 50 ~ 200 mm, 滇东为 100 ~ 300 mm; 这些前期工作对我们的研究起到了指导作用, 但是由于过去的灾情搜集工作还不够全面, 统计的灾情资料较少, 得出的临界雨量应用的区域范围过大, 并且临界雨量值的跨度大、代表性较差, 预报预警指标不能完全适应省内复杂的地形条件, 也不能满足目前预报精细化的要求。因此针对云南省山洪地质灾害的预报预警工作在时空分辨率上都有进一步加密的需要, 提高山洪地质灾害精细化预报预警服务能力是减灾防灾的需求, 我们就基于这一要点对云南省山洪地质灾害临界雨量和灾害发生预报预警风险等级进行了研究。

^{*} 收稿日期: 2013 – 04 – 17 修回日期: 2013 – 05 – 26

基金项目: 云南省科技惠民计划项目“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项目“云南省山洪地质灾害精细化气象预报预警业务系统研究”; 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: 胡娟(1982 –), 女, 重庆永川人, 硕士, 工程师, 主要从事天气预报分析、气候变化分析、统计气象、山洪地质灾害气象方法研究等工作。E – mail: joanne8216@163.com

1 资料和方法

1.1 资料来源

(1) 灾情资料

通过整理云南省气象台收集的 2000 - 2011 年的山洪地质灾害灾情资料、以及云南省国土资源厅和“地球系统科学数据共享平台”提供的部分灾情资料, 得到省内有灾情记录的 116 个县站共计 1 101 个灾害时间清楚、灾情种类明了的个例, 在统计灾情时以“县”和“天”为单位, 当 1 d 中某县有多个乡镇发生山洪地质灾害或 1 d 发生多次山洪地质灾害, 都记为该县当天发生灾情 1 次。

(2) 降水资料

采用云南省 125 个自动观测站 2000 - 2011 年逐日 24 h 累计雨量, 降水累计时段为当日 08:00 至次日 08:00。为了与灾情资料匹配, 引入降水资料时删除在灾情资料中没有记录的 9 个县站的降水。

(3) 云南省国土资源厅提供的云南省地质灾害易发程度区划图(图略)。

1.2 分析方法

统计分析省内逐月山洪地质灾害频次与全省各月平均降水量之间的关系, 以及各县站山洪地质灾害总次数与大雨(日降水量 ≥ 25 mm)以上量级降水总日数的空间分布, 旨在揭示山洪地质灾害与降水之间的时空分布特征。

采用 116 个县站逐日 24 h 累计降水资料计算各县站各次个例的日综合雨量, 日综合雨量计算公式参考文献[3, 7]的方法, 并结合本省的实际分析^[14]选定前期累积雨量时段为 10 d, 据此得出日综合雨量计算公式如下:

$$R_{\text{日综}} = R_0 + R_1 + R_2 + \sum_{i=3}^n \alpha^{i-2} R_i \quad (1)$$

式中: α 为有效降水系数 ($0 < \alpha < 1$); R_0 为灾情当日 24 h 降水量; R_1 为灾情发生前 1 d 24 h 降水量; 为灾情发生前 2 d 24 h 降水量; 为前 3 d 至有效时段 n 日内的逐日降水量, $n = 10$ 。

由于云南省地质条件复杂, 前期有效雨量对各县站的山洪地质灾害的贡献程度必然不完全一致, 因此采用计算最佳有效降水系数的方法确定各县站的有效降水系数。

$$\alpha = \min\left(\frac{\sigma}{\max(R_{\text{日综}})}\right) \quad (2)$$

式中: α 为某站的最佳有效降水系数; σ 为该站日综合雨量的均方差; $R_{\text{日综}}$ 取该站日综合雨量最大值; α 取日综合雨量均方差与日综合雨量最大值的比值的最小值。

根据日综合雨量与山洪地质灾害频次的关系

确定各县站预报预警风险等级的临界雨量值, 在 2012 年山洪地质灾害预报预警业务应用中对预报预警效果进行检验。

由于少部分县站近 12 年收集到的总灾情次数仅有 3 ~ 4 次, 样本数量过少, 划分临界雨量时缺乏统计意义。因此在计算各县站的日综合雨量时, 对各县站的灾情样本数作判断, 当样本数少于 10 个时, 就采用大圆半径扫描该县站周围半径范围内的其它站点, 选取距离最接近该县站的站点的样本进行补充, 使每个县站的灾情样本数都 ≥ 10 个。

云南省的局地强对流天气突出, 部分山洪地质灾害发生时气象观测站观测到的降水远远小于灾害发生乡镇的实际雨量, 导致最后确定出的临界雨量大幅度偏小。为解决这一问题, 我们根据云南省国土资源厅提供的地质灾害区划图, 对每一地质灾害区按同样的方法划分临界雨量, 普查全省 116 个县站的临界雨量, 当某一县站的临界雨量 ≤ 10 mm 时, 就用该县站所属地质灾害区的临界雨量对其进行订正。

2 结果分析

2.1 山洪地质灾害的时空分布特征

由图 1 可见, 云南省山洪地质灾害发生的频次和全省的逐月平均降水都具有明显的月际变化特征, 且两者的增减趋势几乎一致。各月灾害发生的次数与各月平均降水的多寡同步, 降水增多则灾害次数增多, 反之减少。山洪地质灾害主要出现在雨季(5 - 10 月), 其中 7 月、8 月灾害发生的频率显著上升, 与降水月际变化吻合。干季(11 月 - 次年 4 月)也会出现山洪地质灾害, 但发生的频率低。干季发生山洪地质灾害的总灾情次数为 54 次, 仅占全年总灾情次数的 5% 左右。这与本省干湿季节分明, 雨季集中了全年 85% ~ 95% 的降水有关, 并且雨季多单点性大雨、暴雨, 对山洪地质灾害的发生起到诱发作用, 表明降水对山洪地质灾害的影响不容忽视。

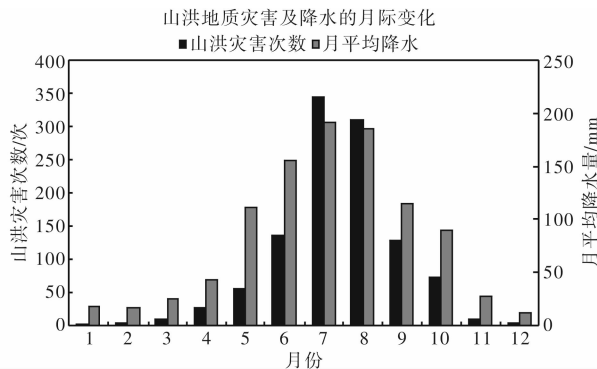
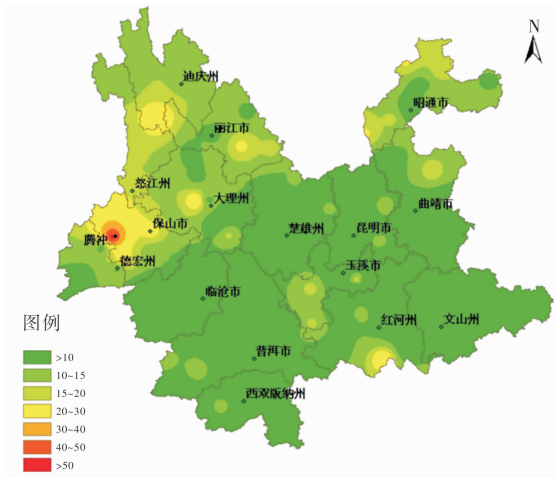
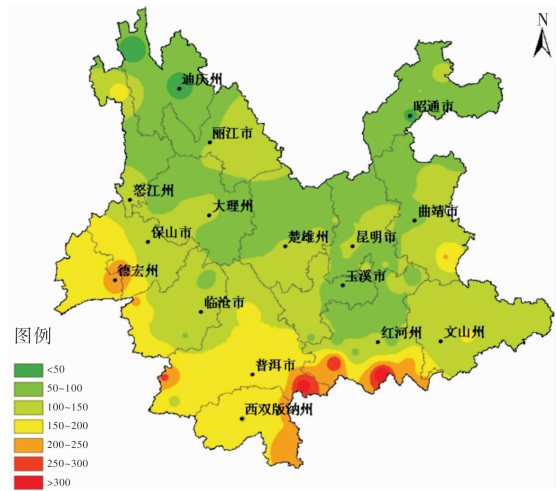


图 1 山洪地质灾害频次与月平均降水量月际变化

就全省 2000 – 2011 年山洪地质灾害总次数的空间分布分析(图 2a)，灾害几乎遍布全省，但具有西多东少、西北多东南少的分布特征。近 12 年云南的山洪地质灾害主要发生在保山地区、怒江州、迪庆州、大理州、丽江南部、玉溪西部、红河州南部及昭通地区，其中腾冲 12 年内统计到的灾情次数高达 52 次；而曲靖南部、文山州、西双版纳东部等地区山洪地质灾害出现的次数相对较少。这样的分布形式与云南的地形、地貌关系密切，滇西北地势复杂，多山脉沟谷，易引发山洪地质灾害，而滇东南地势平坦，山洪地质灾害较少出现。



(a) 山洪地质灾害总次数



(b) 多年大雨以上强降水总日数

图 2 云南省山洪地质灾害总次数及多年大雨以上强度分布图

对比山洪地质灾害总次数和多年大雨以上强降水总日数的空间分布(图 2a、2b)，滇西南和红河州的强降水日数分布中心与灾害次数的分布中心对应的较好；而滇西北和滇东北发生灾害的频次虽然高，但强降水日数却并不最多。这是由于滇西北和滇东北地形复杂多变，多山脉和丘陵分布，为山洪地质灾害的发生提供了充分的地形条

件，一旦出现强降水就极易引发灾害；滇西南和滇南区域地势较为平坦，植被覆盖相对较好，对引起山洪地质灾害的有效降水量级要求更高。

干季(11 月 – 次年 4 月)的山洪地质灾害较少，集中出现在昭通地区、怒江州北部。怒江州的灾情主要发生在 2 – 4 月，与滇西北此时段的“桃花汛”相对应；昭通地区主要在 1 – 4 月出现灾情，与该地区冬、春季受静止锋的影响而导致降水相对频繁，加之地形复杂多变有关(图略)。

2.2 临界雨量分级及检验

2.2.1 临界雨量分级

按照日综合雨量的计算公式得出全省 116 个县站 1 101 次灾情个例的日综合雨量，通过分析发现绝大部分站点在日综合雨量达到一定值时，曲线斜率增大，山洪地质灾害集中出现。文中选取易发生山洪地质灾害的滇东北巧家站、滇南金平站、滇西北维西站 3 站为代表站绘制日综合雨量与灾害频次的关系曲线(图 3)。从图 3 可见，当巧家站的日综合雨量为 13.5 mm、35.5 mm、53 mm 和 74.8 mm 时，曲线斜率出现了 4 次增大，将这 4 个雨量值称为跳跃点，可见在每两个跳跃点间山洪地质灾害次数较为集中，因此可将这 4 个跳跃点作为不同预报预警等级的临界雨量。同理，金平站的临界雨量分别为 73 mm、120.8 mm、145.6 mm、183.3 mm，维西站的临界雨量分别为 25.5 mm、39.1 mm、45.6 mm、50.1 mm。普查 116 个县站的关系曲线图发现，大部分跳跃点集中在累积灾害频率为 10% ~ 20%、40% 左右、60% 左右、80% 左右等范围内。我们根据《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，并结合灾害累积频率跳跃点的范围，按 <20%、20% ~ 40%、40% ~ 60%、60 ~ 80%，> 80% 5 个等级划分临界雨量值，分别对应“无风险(0 级)、一般风险(I 级)、风险较高(II 级)、风险高(III 级)、风险很高(IV 级)”5 个预报预警等级，其中达到风险较高、风险高和风险很高 3 个等级时发布预警。

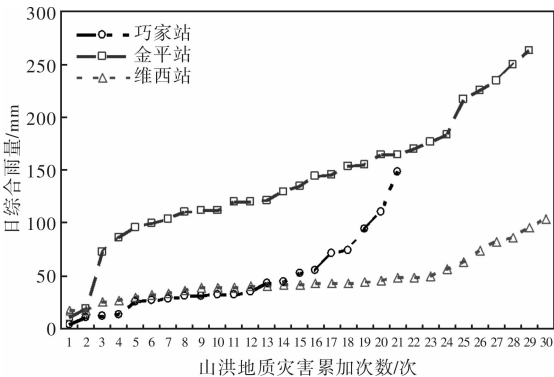


图 3 日综合雨量与山洪地质灾害频次的关系

选取预警等级为Ⅳ级时的临界雨量作图简要分析省内各县站临界雨量的空间分布特征(图4)。由图4中可见,临界雨量具有西高东低、南高北低的分布特征。在滇东北、滇西北等地形陡峻、切割破碎的地区,各县站的临界雨量主要分布在60~80 mm范围内;滇南、滇西南等地势较为和缓的地区,相应县站的临界雨量范围在100 mm以上。

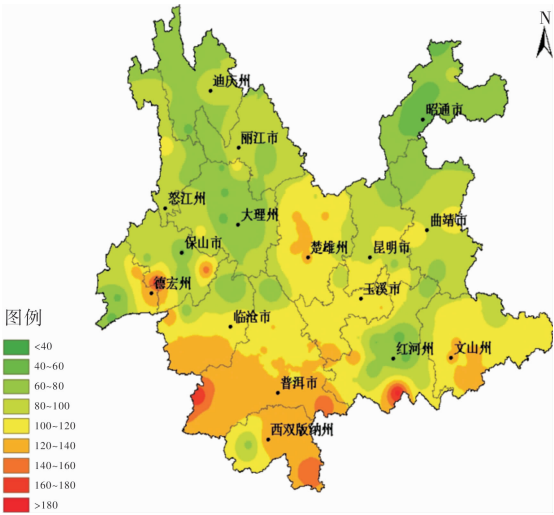


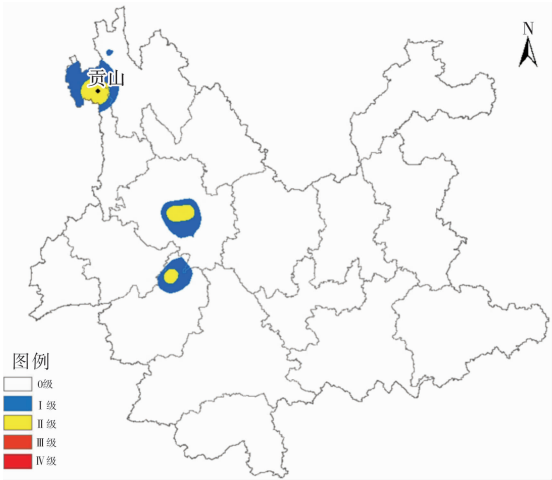
图4 Ⅳ级风险临界雨量分布图

2.2.2 检验分析

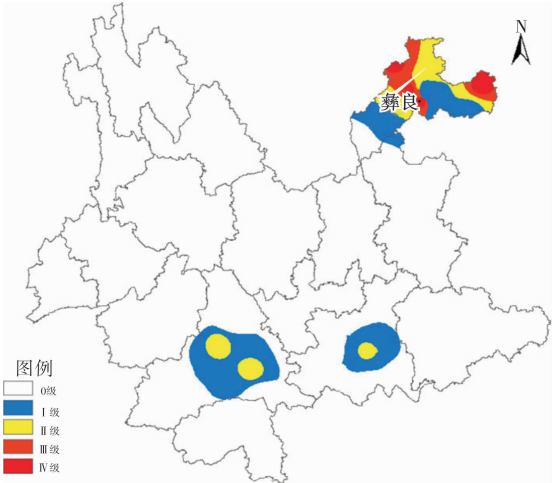
2012年3月3日怒江州贡山县发生泥石流灾害,造成3人遇难,2人受伤。2012年9月11日昭通市彝良县突降暴雨后发生洪涝和泥石流灾害,造成道路受阻,民众受伤。这两次山洪地质灾害分别发生在滇西北和滇东北灾害易发区,贡山县的泥石流灾害发生在滇西北“桃花汛”时期,灾害发生当日及前7 d都有连续性降水,但以中雨量级为主,无一日达到大雨量级,属于连续阴雨造成的山洪地质灾害;彝良县的洪涝和泥石流灾害发生在雨季,但灾害发生前8 d都未观测到有效降水,仅前10 d有一次大雨过程,但灾害当日出现短时强降水,9月11日02时和03时,一小时降水量分别为42.8 mm和68.1 mm,属于单次暴雨造成的山洪地质灾害。这两次山洪地质灾害无论是出现时间还是降水类型均具有典型性,因此作为检验个例加以讨论。

从图5a和图5b可见,这两次灾害均已达到发布预警的风险等级标准。3月3日(图5a)贡山站的日综合雨量为65.5 mm,该站Ⅱ级风险的临界雨量为53.7 mm,达到风险较高的Ⅱ级预警的标准。9月11日(图5b)02时彝良站的日综合雨量为74.5 mm,03时日综合雨量为142.6 mm,而该站Ⅳ级风险预警的临界雨量为66.7 mm,日综合雨量远远大于临界雨量,此次灾害已可发布Ⅳ级预警。经实况检验说明本研究提出的用计算日综合雨量

的方法对山洪地质灾害进行预报预警具有实际应用价值,能起到良好的预报预警效果,对有效防御山洪地质灾害具有重大意义。



(a)2012年3月3日



(b)2012年9月11日

图5 山洪地质灾害风险等级分布图

3 结论及讨论

通过研究得出以下几点结论:

- (1) 云南省的山洪地质灾害时间分布与本省降水的月际变化一致,雨季(5-10月)山洪地质灾害多,尤其主汛期(6-8月)是山洪地质灾害的高发期;干季灾害较少,集中出现在滇东北和滇西北,与这两片区域在干季时的降水特征紧密相关。说明降水是引发山洪地质灾害的动力机制。
- (2) 云南省的山洪地质灾害具有西多东少、西北多东南少的空间分布特征,与本省的地形地貌分布关系密切。表明地形是发生山洪地质灾害的基础。
- (3) 降水作为山洪地质灾害的主要诱因,其影响是前期雨量和当日雨量累加的结果。日综合雨

量的理论对云南省的山洪地质灾害同样适用。针对各县站选取不同的有效降水系数,计算各站的日综合雨量,相对过去一个片区取一个临界雨量值而言,提高了预报预警的空间分辨率,减少空报率,更符合精细化的要求。

(4)通过计算历史山洪地质灾害个例的日综合雨量而确定各县站不同风险等级下的临界雨量,经过实际检验表明提高了云南省的山洪地质灾害预报预警业务的针对性,在精细化预报预警服务方面更进一步。

有学者指出^[13,17],要加强山洪地质灾害发生可能性的观测与预测预报实用性研究,尤其重视灾害发生时间的预报。目前山洪地质灾害区域预测预报中的薄弱环节就是短期预报,0~2 h的临近预警更为少见。在日常预报预警业务中,日综合雨量公式中的第一项 R 。代入的是预报雨量,因此提高山洪地质灾害预报预警能力的重点之一就是提高降水的精细化预报,在降水预报的准确率和时间分辨率精细化上还需深入研究。如将地形因子对降水的影响本地化在降水预报时就已考虑地形地貌对某小区域雨量的影响,从而提高精细化降水预报的准确性,进一步提高日综合雨量的预报精度,对山洪地质灾害的预报预警业务能起到促进作用。

在本研究中以县为单位确定临界雨量、划分风险等级,提高了预报预警的落区水平,灾害重点突出,避免了预警发布范围过大,空报率过高的问题,在山洪地质灾害预报预警的空间分辨率精细化上取得显著效果。

参考文献:

- [1] 魏丽,陈双溪,边小庚.暴雨型滑坡灾害因素分析及预测试验研究[J].应用气象学报,2007,18(5):682-689.
- [2] 王仁乔,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.
- [3] 单九生,刘修奋,魏丽,等.诱发江西滑坡的降水特征分析[J].气象,2004,30(1):13-15.
- [4] 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.
- [5] 王仁乔,周月华,王丽,等.湖北省山洪灾害临界雨量及降雨区划研究[J].高原气象,2006,25(2):330-334.
- [6] 郁淑华.四川盆地泥石流、滑坡的时空分布特征及其气象成因分析[J].高原气象,2003,22(Supp 1):83-89.
- [7] 杜惠良,钮学新,殷坤龙,等.浙江省滑坡、泥石流气象条件分析及其预报研究[J].热带气象学报,2005,21(6):642-650.
- [8] 王雁林.陕南地区滑坡灾害气象预报预警及其防范对策探析[J].地质灾害与环境保护,2005,16(4):345-349.
- [9] 陈丽霞,殷坤龙,刘礼领,等.江西省滑坡与降雨的关系研究[J].岩土力学,2008,29(4):1114-1120.
- [10] 张珍,李世海,马力.重庆地区滑坡与降雨关系的概率分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(17):3185-3191.
- [11] 周国兵,马力,廖代强.重庆市山体滑坡气象条件等级预报业务系统[J].应用气象学报,2003,14(1):122-124.
- [12] 彭贵芬,段旭,舒康宁,等.应用KDD技术分析气象地质灾害与降水的关系[J].气象科技,2007,35(2):252-257.
- [13] 解明恩,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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 韦方强,崔鹏,钟敦伦.泥石流预报分类及其研究现状和发展方向[J].自然灾害学报,2004,13(5):10-14.

Meteorological Early-Warning Research of Mountain Torrent and Geologic Hazard in Yunnan Province

Hu Juan, Min Ying, Li Huahong, Li Xiang, Li Chao and Li Lei

(Yunnan Meteorological Observatory, Kunming 650034, China)

Abstract: By analyzing 1101 cases of mountain torrent and geologic hazard and data of rainfall between 2000 to 2011 of 116 meteorological stations in Yunnan Province, the relationships of mountain torrent and geologic hazard occurred by precipitation are discussed, and based on which the meteorological early-warning method for hazards is proposed. It indicated that the temporal variation of mountain torrent and geologic hazard is consistent with which of precipitation. The rainy season (May. to Oct.) is the fastigium of mountain torrent and geologic hazard, with the peak value in major flood season. The frequency of mountain torrent and geologic hazard is more in west of Yunnan than in eastern and more in northwestern than in southeastern. The space distribution of mountain torrent and geologic hazard is basically consistent with which of heavy rainfall days in south and southwest of Yunnan Province. According to the 1101 daily synthesized rainfall data composed of real-time precipitation and effective antecedent precipitation, the critical rainfall is confirmed, on which five grades for early-warning of mountain torrent and geologic hazard are based. There had good effect of the application of the model in 2012 events.

Key words: mountain torrent and geologic hazard; daily synthesized rainfall; critical rainfall; risk classification