

四川省石棉县地质灾害发生的雨量条件与气象预警(报)

倪化勇, 巴仁基, 刘宇杰

(国土资源部成都地质矿产研究所, 四川成都 610081)

摘要: 石棉县发育地质灾害共280处, 其发育、发生与降雨过程密切相关。崩塌、滑坡等地质灾害多发生于最大降雨量出现后的2~5 d内, 而泥石流灾害往往发生在最大降雨量出现的当天; 根据地质灾害发育的地形地貌和地层岩性等地质背景, 对石棉县进行了气象预警分区, 分析了不同区域内地质灾害发生和相应降雨过程, 确定了不同区域内地质灾害发生的当日降雨量和前期降雨量条件, 建立了不同地质灾害敏感性分区内的基本雨量警戒线与不同降雨组合条件下的气象预警等级, 并绘制出18幅地质灾害气象预警系列图, 研究成果可为石棉县地质灾害气象预警提供依据。

关键词: 地质灾害; 降雨; 气象预警; 石棉县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)06-0112-07

中图分类号: P642.23

Rainfall Condition and Meteorological Warning on Geological Hazards in Shimian County, Sichuan Province

NI Hua-yong, BA Ren-ji, LIU Yu-jie

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: Affected by steep landform, complex lithology, intensive geotectonic movement, and unreasonable economic activities, about 280 geological hazards including collapses, landslides, debris flows, and potential unstable slopes are distributed in Shimian County, Sichuan Province. The occurrence of the geological hazards are closely related to rainfall. According to field investigation, debris flows usually breaks out just on the day when intraday precipitation is supreme and however, slope hazards such as collapses and landslides usually occur 2~5 days later. In this study, 6 geological regions were zoned firstly based on landform and lithology. Then their occurrence and rainfall process were analyzed respectively and a certain warning line was set up according to the rainfall indexes including intraday rainfall and antecedent rainfall. Finally, meteorological warning grade was confirmed and a series of warning system including 18 warning maps were established. This research can provide a scientific guideline for the warning and mitigation of geological hazards in Shimian County.

Keywords: geological hazards; rainfall; meteorological warning; Shimian County

大量研究表明^[1-10], 崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害的发生与降雨关系密切, 基于降雨条件的地质灾害气象预警已成为目前研究的热点问题。2003年4月7日, 我国国土资源部和和中国气象局签订了《关于联合开展地质灾害气象预报预警工作协议》, 并于6—9月(即地质灾害高发期)在中央电视台“天气预报”节目中和中国地质环境信息网发布地质灾害气象预报预警提示信息, 以提醒预警区居民和有关单位防范地质灾害、注意人身和财产安全^[10]。

到目前为止, 全国很多省、直辖市和自治区, 甚至

地级市, 也纷纷根据辖区内地质灾害与降雨关系建立了辖区范围内的气象预警系统, 预警成效明显^[11-15]。相对来说, 县级地质灾害气象预警工作还相对比较薄弱, 仅有极少数地质灾害高发县建立了地质灾害气象预警系统。

石棉县地质灾害数量多, 分布广, 危害重, 在详细调查基础上, 通过对该县地质灾害发生与降雨关系进行研究, 并建立石棉县气象预警指标与气象预警等级, 以期为该县地质灾害气象预警和防灾减灾工作提供科学依据。

收稿日期: 2010-05-20

修回日期: 2010-06-02

资助项目: 中国地质调查局国土资源调查项目“大渡河流域地质灾害详细调查”(1212010814019)

作者简介: 倪化勇(1979—), 男(汉族), 山东省临朐县人, 硕士, 助研, 主要从事泥石流灾害预测预报、评价与灾害地貌研究。E-mail: nhuyong@cgsc.cn

1 环境地质背景

石棉县位于四川省西南部,雅安地区最南端,大渡河由北向南流入境内,在县城附近折向东。地理位置为东经 $101^{\circ}56'27''$ — $102^{\circ}34'09''$,北纬 $28^{\circ}51'03''$ — $29^{\circ}32'11''$ 。地貌部位处于川西高原与四川盆地过渡带,地势西高东低,南北高、中部低,呈西、南、北向中部倾斜。地形陡峻,相对高差达 5 013 m,地貌以中山为主,占全县面积的 78%,高山次之,占全县的 8%,其余为海拔 1 000 m 以下的低山、丘陵和河谷平坝。该区地层出露较全,除古生界的志留系、石炭系缺失外,从上元古界震旦系至第四系的松散地层均有出露。以岩浆岩为主,分布面积占全县的 61.35%,其次为沉积岩、变质岩和松散岩类。以古元代和中生代侵入和喷出的岩浆岩为多,遍布全县,其岩性以花岗岩类、玄武岩、流纹岩等为主。其次,为古生界及中生界的灰岩、白云岩、砂泥岩。还有少量大理岩、砂板岩等变质岩。第四系和第三系半成岩地层沿河谷地带分布,以昔格达组地层为代表,其岩性为粉砂岩、黏土岩,偶夹砂砾岩。

构造部位处于川滇经向构造带北端与青藏滇缅印尼巨型“歹”字型构造的交接、归并部位,同时受华夏系在龙门山构造带南端残余部分的影响,形成以江官山为顶点的帚状构造,构造形迹复杂,形成多处以南北向,北北西向为主的褶皱、背斜及断层。该区新构造运动强烈,以间歇性强烈上升运动为主,主要表现为河谷呈“V”字型,大渡河及支流河谷发育 5 级阶地,且多为基座阶地。境内地震活动频繁,根据《中国地震烈度区划图(1999)》石棉县地震基本烈度为 VIII 度,根据《四川省地震危险区划图》石棉县属于 6.0~6.7 级地震危险区。1951,1989 年发生两次 5 级以上地震,震源较浅。2008 年“5·12”汶川 8.0 级地震对石棉县也有一定影响。

2 地质灾害概况

受险峻地形、复杂岩性、强烈的新构造运动和地震活动以及人类工程经济活动的共同影响,石棉县境内岩层破碎,且风化严重,沟谷纵横,松散堆积体遍布,为崩塌、滑坡和泥石流等不良地质现象的形成和发生提供了条件,崩滑流等地质灾害广泛发育。据调查^[18],石棉县境内共发育地质灾害隐患点 280 处,其中崩塌 16 处,滑坡 39 处,泥石流沟 184 条,潜在不稳定斜坡 41 处。

历史上地质灾害共造成了 7 793.9 万元的直接经济损失^[18],78 人死亡,且 21 世纪以来石棉县境内

地质灾害呈现出高发态势,几乎每年都发生严重的地质灾害事件,2003 年 8 月 6 日,出路沟发生泥石流,堵塞大渡河近 3 h,3 人被泥石流冲走。2003 年 8 月 29 日,石棉县蟹螺乡新乐村五组观音岩沟和热水塘沟发生泥石流,造成 4 人死亡,5 人失踪;2007 年 5 月 25 日,丰乐乡田家村发生崩塌灾害,造成 10 人死亡,16 人受伤。2007 年 8 月 10 日晚,草科乡暴发泥石流,冲毁一在建水电站,10 人当场遇难,2 人失踪;2008 年 7 月 31 日,草科乡再次发生泥石流,造成 5 人死亡。

3 地质灾害与降雨关系

3.1 降雨特征

受太平洋、印度洋与青藏高原大气环流的影响,石棉县气候为以亚热带季风气候为基带的山地气候,冬季温暖干燥,春末夏初干旱多风,夏季闷热。降雨季节分配不均,并呈现出明显的区域差异性。据石棉县有关气象资料,区内多年平均年降水量为 1 200.9 mm,年最大降雨量 1 386 mm,日最大降雨量和小时最大雨强分别为 85.4 mm 和 43.3 mm/h。可见石棉县降雨丰沛,但时空分布不均。

从时间分配来看,主要集中于 5—9 月,期间降雨量占全年降水量的 86.4%(表 1)。另据石棉县气象局 2001—2006 年日降雨统计数据,5—9 月石棉县平均月降雨日数均在 16 d 以上(表 1),高出了本月非降雨日数,侧面反映了该区汛期降雨的连续性特征。从空间分布来看,石棉县山地降雨一般多于河谷地带,且多以暴雨或阵雨出现。

表 1 石棉县多年平均降雨量和月平均降雨日数统计

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月
降雨日数/d	2	4	11	15	17	22
降雨量/mm	1.3	5.0	14.2	51.3	85.4	227
百分比/%	0.1	0.4	1.2	4.3	7.1	18.9
项目	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨日数/d	17	19	16	12	6	2
降雨量/mm	277.6	281.5	205.6	38.7	12.3	1.0
百分比/%	23.1	23.4	17.1	3.2	1.0	0.1

3.2 地质灾害与降雨关系

地质灾害与降雨的关系已经得到了大量论证^[1-9]。就石棉县境内崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害发生的时间来看,几乎所有地质灾害均发生在 5—9 月,同石棉县雨季时间相一致,说明降雨对地质灾害的发生具有重要作用。为了较为准确地反映石棉县地质灾害发生与降雨的关系,在地质灾害调查基础

上,通过访问和资料收集,分别对区内典型崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害发生历史及对应当日雨量和发生前数日的累积雨量进行了统计分析。

表 2 列出了石棉县已发生滑坡、崩塌灾害与对应降雨过程。从表 2 中可以看出,每 1 处崩滑地质灾害的发生都有一个明显的降雨过程,从地质灾害发生前数天至发生当日持续降雨明显。但调查和降雨分析发现,石棉县崩塌和滑坡灾害并不主要发生在降雨量最大的当日,而是通常发生在最大降雨发生后的 2~5 d 内。在调查并进行了降雨分析的 12 处崩塌和滑坡灾害事件中,没有 1 处地质灾害发生当天降雨量最大。除两处崩塌灾害发生当日雨量较大的情况下,对于滑坡变形最强烈发生时降雨均较小,明显小于前期降雨中的最大降雨量。

表 2 石棉县斜坡地质灾害与对应降雨量

mm

灾害名称	发生时间	当日雨量	前 1 d 雨量	前 2 d 雨量	前 3 d 雨量	前 4 d 雨量	前 5 d 雨量	前 6 d 雨量	前 7 d 雨量
大岩房崩塌	20080528	5.2	6.2	39.1	14.0	0	5.3	6.7	9.8
观音沟滑坡	20080902	0.3	0.1	11.6	16.6	13.8	18.3	0.2	15.3
青冈林崩塌	20080810	43.8	0	0.7	61.7	3.2	1	0.6	5.9
赵家山滑坡	20080809	0	0.7	61.7	3.2	1	0.6	5.9	55.3
万店子滑坡	20080809	0	0.7	61.7	3.2	1	0.6	5.9	55.3
民族中学滑坡	20080521	5.3	0	20.2	8.0	5	11.6	1.2	6.0
甘谷地滑坡	20080531	1.4	1.9	11.0	2.4	19.1	62.3	0	4.7
白马村滑坡	20070908	6.3	10.3	7.4	0	7.5	26.5	0.1	23.1
坪阳村 5 组滑坡	20070914	6.7	10.0	1.5	19.9	4.2	17.5	3.5	12.3
白塔 1 组崩塌	20070705	15.7	12.0	0.6	18.5	0	0	9.9	0
八牌坊 7 组滑坡	20070904	7.5	26.5	0.1	23.1	13.2	5.8	0	1.5
顺河滑坡	20070918	2.0	2.4	1	0.2	9.8	7.1	4.8	14.1

表 3 石棉县泥石流灾害与对应雨量

mm

灾害名称	发生时间	当日雨量	前 1 d 雨量	前 2 d 雨量	前 3 d 雨量	前 4 d 雨量	前 5 d 雨量	前 6 d 雨量	前 7 d 雨量
王家沟泥石流	20080909	32.6	0.1	0	0.1	0.2	5.1	6.2	0.7
杨家沟泥石流	20070811	58.2	1.7	9.0	5.2	0.2	1.7	0	0
群发泥石流	20080721	70.1	3.5	0	0	8.1	0	4.8	2.4
群发泥石流	20070807	64.1	2.5	47.0	0.3	0	0	26.3	19.3
群发泥石流	20070706	46.4	15.7	12.0	0.6	18.5	0	0	9.9
泡沫沟泥石流	20070807	61.7	3.2	1.0	0.6	5.9	55.3	4.1	0
和平村 4 组泥石流	20080731	15.0	10.5	0.2	56.9	0	10.7	45.7	19.4

注:和平村 4 组泥石流为降雨作用下矿渣失稳所引发。

4 临界雨量与气象预警

通过地质灾害与降雨关系可以看出,尽管崩塌、滑坡灾害的发生对于降雨来讲,在时间上具有一定的滞后性,但是它仍然与降雨关系密切,这充分说明降

表 3 列出了石棉县近年来发生的典型泥石流灾害事件与对应的降雨量。从表 3 中可以看出,每 1 处泥石流灾害的发生都同样有一个明显的降雨过程,从泥石流发生前数天至发生当日持续降雨明显。调查和降雨分析发现,石棉县泥石流灾害的发生同崩塌、滑坡灾害明显不同,泥石流主要发生在具有一定前期降雨,而当日降雨明显增大或较大的那一天。根据 2007 年和 2008 年两年内石棉县境内发生的 7 起泥石流灾害事件或群发灾害事件(2007 年 7 月 6 日群发泥石流、2007 年 8 月 7 日群发泥石流、2008 年 7 月 21 日群发泥石流)对应的降雨过程,有 6 起泥石流灾害事件发生在当日降雨量最大的那天,而仅有 1 起发生在前期降雨较大而当日雨量较小的那天,主要是由饱和矿渣失稳所引发。

雨为触发地质灾害最积极的因素。因此,以降雨量作为预报判据,可以对石棉县境内地质灾害进行预测预报或预警。

通过气象预报和预警,可有效开展崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害预警,实现防灾减灾的目标。

4.1 实施方法

地质灾害临界雨量是通过对比分析石棉县降水特征和地质灾害发生的关系而确定。具体方法为:

(1) 按照地质灾害发育的地形地貌和地层岩性等地质背景进行地质灾害敏感性分区;(2) 在地质灾害敏感性分区的基础上,确定不同分区内前期降雨的衰减系数;(3) 对不同分区内典型地质灾害发生历史和相应降雨过程、有效雨量之间的关系进行分析;(4) 确定不同分区内地质灾害发生的临界雨量条件,包括当日雨量和前期有效雨量;(5) 采用类比方法,将部分地质灾害发生的临界雨量条件推广至不同地质灾害敏感性分区,确定不同分区地质灾害发生的基本雨量警戒线和临界雨量条件;(6) 根据临界雨量条件,确定不同降雨条件下地质灾害发生可能性和预报级别,从而实现地质灾害的气象预警。

受降雨资料的限制,本次地质灾害气象预警建议将主要以日降雨量和前期有效降雨量作为预警预报的判据。

4.2 气象预警分区

根据石棉县境内地形地貌、地层岩性等环境地质背景以及人类工程活动等因素,从地质灾害气象预警区划出发,将石棉县进行了气象预警分区。

(1) 石棉西北部中山一峡谷变质岩区(简称西北区)。分布范围主要是贡嘎山东坡田湾河流域,乡镇包括田湾乡和草科乡。该区地质构造复杂,南北向草科断裂和磨西断裂穿越该区,地层岩性以 P_2 大理岩、板岩和变质砂岩以及 D_2 板岩为主,田湾河支沟纵横,多处于地貌发育阶段的形成期和发展期,沟床比降大,侧蚀和溯源侵蚀强烈。另外,该区人类工程活动强烈,尤其是电站弃渣对泥石流影响较大。该区地质灾害发育密度大,类型以泥石流为主。

(2) 石棉中北部中山一峡谷花岗岩强风化区(简称中北区)。分布范围主要是大渡河沿岸河谷及中山地区,乡镇包括挖脚乡、新民乡、先锋乡和安顺乡(部分)。磨西断裂对该区具有一定影响,区内地层岩性单一,以花岗岩为主,强风化。该区地质灾害主要集中发育于大渡河支沟,修路等人类工程活动对斜坡地质灾害具有一定影响。地质灾害发育密度较大,类型以泥石流为主,占 56.4%,其次为滑坡。

(3) 石棉中西部中山一峡谷变质岩区(简称中西区)。分布范围主要是松林河流域,乡镇主要包括安顺乡(部分)和蟹螺乡。该区面积较小,但区内地质构造复杂,南北向的西油坊—子耳山断裂带和麂子坪—大桥断层穿越该区, D_2b 标水岩组大理岩、板岩与 T_{1-2}

板岩、大理岩夹变质砂岩破碎,地质灾害发育密度大,类型多为松林沟支沟泥石流。

(4) 石棉中南部中山一峡谷花岗岩区(简称中南区)。分布范围主要是楠垭河流域,乡镇主要包括新棉镇(部分)、回隆乡、擦罗乡和栗子坪乡。该区地质构造比较复杂,两条北西—南东向断层穿越该区,分别为石棉—马前门断层穿越该区的东部,安顺场—公益海断层穿越该区西部,但区内地层岩性单一,花岗岩占绝对优势。该区面积、地质灾害发育密度均较大,泥石流占到了区内灾害总数的 85% 以上。

(5) 石棉中东部中山一峡谷沉积岩区(简称中东区)。分布范围主要是大渡河及其支流沿岸和中山地区,乡镇主要包括新棉镇(部分)、永和乡、迎政乡、宰羊乡和美罗乡。该区构造简单,北西—南东向美罗断层沿东部边界穿越,地层岩性主要为 T_3-J_1 白果湾群砂岩、页岩、碳质页岩夹煤,该区成为石棉县滑坡灾害分布最为集中的地区,滑坡数量占到区内地质灾害总数的半数以上。区内公路修建和弃渣等人类活动对崩塌、滑坡灾害具有较大影响。

(6) 石棉县东北部中山一峡谷花岗岩区(简称东北区)。分布范围主要是丰乐乡,北西—南东向美罗断层沿西部边界穿越,将该区同中东区明显分开,区内地层岩性为花岗岩。该区面积小,但地质灾害分布密度大,地质灾害类型以泥石流为主,占到了区内地质灾害总数的 77%。

在上述分区基础上,根据地质灾害分布密度及其危害程度,在各个分区内进一步圈定了地质灾害重点预警(报)区(图略)。

4.3 前期降雨的处理

虽然前期降雨对地质灾害的发生有重要影响,但由于地表径流、水分蒸发等因素的影响,使得前期降雨并不是全部对地质灾害的发生产生影响,故采用“前期有效降雨量”的概念来表征前期降雨对地质灾害发生的影响和贡献大小。“前期有效降雨量”是指灾害发生前的降雨过程中对斜坡岩土体稳定性及沟道内松散堆积体稳定性产生作用的雨量。距离地质灾害发生时刻越久的降雨对其发生产生作用一般越小,反之,距离地质灾害发生时刻越近的降雨对其发生产生作用一般越大。

因此,前期有效雨量的确定需要首先确定降水对地质灾害影响的衰减系数 K 。有效降雨量衰减系数 K 表示岩土体对雨水滞留能力大小,它由区域内岩土体总体性质和降水蒸发量等因素决定,其值的确定极其复杂,与前期降雨过程、岩土体类型、地形地貌、植被条件等外界因素均具有密切关系,不同地区之间的

降雨衰减系数具有一定差异。目前一般所采用的衰减系数 K 值存在 0.78, 0.80, 0.84, 0.85 等不同数值^[16-17]。根据石棉县气象预警分区, 确定不同分区前期降雨的衰减系数(表 4)。

表 4 石棉县气象预警分区与相应降雨衰减系数

分区	地质环境描述	K 值
西北区	半坚硬—坚硬岩组, 透水性较弱, 松散土体较厚, 植被发育	0.85
中北区	岩浆岩坚硬岩组, 风化强烈, 风化带厚度大, 透水性中等, 植被良好	0.84
中西区	半坚硬—坚硬岩组, 透水性较弱, 松散土体较厚, 植被发育	0.80
中南区	岩浆岩坚硬岩组, 风化强烈, 风化带厚度较大, 透水性中等, 植被良好	0.84
中东区	半坚硬—坚硬岩组, 透水性较弱, 植被一般	0.78
东北区	岩浆岩坚硬岩组, 风化强烈, 风化带厚度较大, 透水性中等, 植被良好	0.84

根据衰减系数, 建立不同分区地质灾害灾害发生的前期有效雨量的确定模式^[16]:

$$R_a = \sum_{i=1}^n R_i (K)^i \quad (1)$$

式中: R_a ——泥石流发生前 n 天内的有效降雨量(mm); K ——递减系数, $i=1, 2, \dots, n$; R_i ——泥石流发生前 i 天降雨量(mm)。

4.4 基本雨量预警线

在地质灾害调查基础上, 按照:(1) 灾害发生时间准确;(2) 降雨过程相对应的原则, 选取不同气象预警分区内近期已发生的地质灾害作为代表性地质灾害点。根据降雨过程的分析, 得出每处地质灾害发生的雨量条件(表 5)。

表 5 不同分区代表性灾害雨量条件

地质分区	代表性灾害	代表灾害类型	R_a 值	$R_{日}$ 值
西北区	王家沟泥石流	自然沟谷型泥石流	5.9	32.6
	杨家沟泥石流	自然沟谷型泥石流	12.0	58.2
	和平村 4 组泥石流	电站弃渣沟谷型泥石流	72.2	15.0
中北区 (东北区)	青冈林崩塌	大理岩陡坡岩质崩塌	57.3	43.8
	赵家山滑坡	土岩接触陡坡土质滑坡	66.4	0
	万店子滑坡	土岩接触陡坡土质滑坡	66.4	0
	甘谷地斜坡	土岩接触陡坡土质滑坡	48.6	1.4
	白塔 1 组崩塌	花岗岩岩质陡崖崩塌	24.9	15.7
	群发泥石流	沟谷型泥石流	34.1	46.4
	泡沫沟泥石流	沟谷型泥石流	31.9	61.7
中东区	群发泥石流	沟谷型泥石流	9.4	70.1
	白马村滑坡	土岩接触缓坡土质滑坡	29.4	6.3
	坪阳村 5 组滑坡	土岩接触缓坡土质滑坡	28.4	6.7
	八牌村 7 组滑坡	土岩接触陡坡土质滑坡	38.6	7.5
中南区	民族中学斜坡	土岩接触陡坡土质滑坡	28.9	5.3
	顺河滑坡	土岩接触陡坡土质滑坡	18.0	2.0
	群发泥石流	沟谷型泥石流	9.4	70.1
中西区	大岩房崩塌	大理岩陡崖岩质崩塌	43.9	5.2
	观音沟斜坡	土岩接触陡坡土质斜坡	33.1	0.3
	群发泥石流	沟谷型泥石流	9.4	70.1
	群发泥石流	沟谷型泥石流	43.2	64.1

在对石棉县境内代表性地质灾害发生雨量条件分析基础上, 结合气象预警分区, 将不同地质灾害事件发生的临界日雨量($R_{日}$)和对应前期有效降雨量($R_{前}$)分别投射到相应地区气象预警条件坐标系中

(横坐标前期有效降雨量, 纵坐标日雨量), 并通过建立方程得出不同区域地质灾害气象预警的基本雨量警戒线(表 6), 警戒线下方发生地质灾害的可能性小, 而警戒线上方具有发生地质灾害的可能性。

表6 石棉县地质灾害气象预警警戒线

分区	基本预警警戒线	说明
西北区	$R_{日} = 34.2 - 0.27R_{前}$	侧重沟谷泥石流预报
中北区(东北区)	$R_{日} = 31 - 0.61R_{前}$	$R_{前} \leq 50$ mm, 包括斜坡和泥石流灾害
中西区	$R_{日} = 97.8 - 2.95R_{前}$	$R_{前} \leq 33$ mm, 包括斜坡和泥石流灾害
中南区	$R_{日} = 101.3 - 3.32R_{前}$	$10 \text{ mm} \leq R_{前} \leq 30$ mm, 侧重沟谷泥石流预报
中东区	$R_{日} = 101.4 - 3.32R_{前}$	$10 \text{ mm} \leq R_{前} \leq 30$ mm, 侧重土质滑坡预报

4.5 气象预警

根据目前采用较多的地质灾害发生可能性大小的分级方法, 将石棉县地质灾害发生可能性大小分为5级: 1级(可能性很小), 2级(可能性较小), 3级(可能性较大), 4级(可能性大), 5级(可能性很大)。在预报中

3级为注意级, 4级为预警级, 5级为警报级, 小于3级不发布预警。根据地质灾害发生基本雨量警戒线, 分别计算各个气象预警分区内不同前期降雨条件下地质灾害发生的临界雨量, 并得出不同雨量等级条件下地质灾害发生可能性的大小和预报级别(表7)。

表7 石棉县地质灾害气象预报雨量指标及对应预报等级

分区	$R_{前}$ /mm	$R_{日}$ /mm				
		≤ 10 (小雨)	10~25(中雨)	25~50(大雨)	50~100(暴雨)	≥ 100 (大暴雨)
西北区	≤ 10	1级	2级	3级	4级	5级
	10~20	1级	2级	3级	4级	5级
	20~30	1级	2级	3级	4级	5级
	30~40	2级	3级	4级	5级	5级
	40~60	2级	3级	4级	5级	5级
	60~80	3级	4级	4级	5级	5级
	≥ 80	3级	4级	4级	5级	5级
中北区	≤ 10	1级	2级	3级	4级	5级
	10~20	1级	3级	3级	4级	5级
	20~30	2级	3级	3级	4级	5级
	30~40	3级	3级	4级	4级	5级
	40~50	3级	3级	4级	4级	5级
	≥ 50	3级	3级	4级	5级	5级
中西区	≤ 10	1级	1级	2级	4级	5级
	10~20	1级	2级	3级	4级	5级
	20~30	2级	3级	3级	4级	5级
	≥ 30	3级	3级	4级	4级	5级
中南区	≤ 10	1级	1级	2级	3级	4级
	10~20	1级	2级	3级	4级	5级
	20~30	2级	2级	3级	4级	5级
	30~40	3级	3级	3级	4级	5级
	≥ 40	3级	3级	4级	5级	5级
东北区	≤ 10	1级	2级	3级	4级	5级
	10~20	1级	3级	3级	4级	5级
	20~30	2级	3级	3级	4级	5级
	30~40	3级	3级	3级	4级	5级
	40~50	3级	3级	4级	4级	5级
	≥ 50	3级	3级	4级	4级	5级
中东区	≤ 10	1级	1级	2级	3级	4级
	10~20	1级	2级	3级	4级	5级
	20~30	2级	2级	3级	4级	5级
	30~40	3级	3级	4级	4级	5级
	≥ 40	4级	4级	4级	5级	5级

在地质分区、临界雨量与预警等级基础上,绘制了石棉县地质灾害气象预警区划系列图,共计 18 份。据某日的气象预报信息和前期降雨统计,即可查明地质灾害发生可能性和预警等级。如前所述,地质灾害气象预警分区中,根据地质灾害的发育分布程度、易发性和危险性以及地质灾害对当地居民和财产的威胁程度,进一步圈定了重点预警区。在达到表 7 所示的雨量条件下,应首先向重点预警区发布警报,提醒当地居民加强监测,提高警惕,随时做好防灾的准备。

5 结论

(1) 受资料限制,本研究仅仅采用了当日雨量和前期有效降雨量两个指标对石棉县境内地质灾害发生情况及其可能性进行分析。由于石棉县境内山区局部暴雨特征明显,而短历时强暴雨的激发作用往往强于等雨量的长时间低雨强的触发作用,因此,在短历时强暴雨激发情形下,即使前期降雨没有达到上述有效雨量,也应提高警惕。

(2) 如果石棉县境内前期有效雨量达到上述标准,而小时雨强达到暴雨以上等级时,更应作出相应预警,尤其防范泥石流。

(3) 本气象预警分区和临界雨量分析,尽可能采取就近降雨资料,但受到降雨观测年限短和分布空间存在一定距离等因素的限制,临界雨量可能存在一定差异性问题,有待进一步验证。

(4) 在调查和采访的过程中,虽尽可能查明地质灾害发生的具体时间和降雨过程,但由于缺少记载、记忆模糊、雨量站限制等一系列问题,导致地质灾害实例样本量较小,地质灾害气象预警临界雨量条件和预警等级等有待于进一步验证。

致谢: 成都地质矿产研究所周洪福博士和徐如阁硕士一同参加了野外考察,石棉县国土资源局对考察予以了大力支持,一并致谢。

[参 考 文 献]

- [1] 崔鹏, 高克昌, 韦方强. 泥石流预测预报研究进展[J]. 学科发展, 2005, 20(5): 363-369.
- [2] 崔鹏, 杨坤, 陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献: 以蒋家沟泥石流形成为例[J]. 中国水土保持科学, 2003,

1(1): 11-15.

- [3] 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.
- [4] 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): 10-15.
- [5] 马文瀚, 陈建平. 突发性地质灾害气象预警预报研究综述[J]. 地质灾害与环境保护, 2007, 18(1): 6-9.
- [6] 高速, 周平根, 董颖, 等. 泥石流预测、预报技术方法的研究现状浅析[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 279-283.
- [7] 苏鹏程, 刘希林, 郭洁. 四川泥石流灾害与降雨关系的初步探讨[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 19-23.
- [8] 刘希林, 莫多闻. 地貌灾害预测预报的基本问题: 以泥石流预测预报为例[J]. 山地学报, 2001, 19(2): 150-156.
- [9] 魏丽, 郑有飞, 单九生. 暴雨型滑坡灾害预报预警方法研究评述[J]. 气象, 2005, 31(10): 3-6.
- [10] 刘传正, 温铭生, 唐灿. 中国地质灾害气象预警初步研究[J]. 地质通报, 2004, 23(4): 303-309.
- [11] 周玉才, 雷万荣, 余广文, 等. 江西省地质灾害—气象预警预报系统研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(2): 67-75.
- [12] 殷坤龙, 张桂荣, 龚日祥, 等. 基于 WebGIS 的浙江省地质灾害实时预警预报系统设计[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30(3): 19-22.
- [13] 宋光齐, 李云贵, 钟沛林. 地质灾害气象预报预警方法探讨: 以四川省地质灾害气象预报预警为例[J]. 水文地质工程地质, 2004, 31(2): 33-36.
- [14] 钟洛加, 肖尚德, 周衍龙. 基于 WEBGIS 的湖北省地质灾害气象预警预报[J]. 资源环境与工程, 2007, 21(S): 104-106.
- [15] 陈百炼, 帅士章, 吴战平. 贵州省地质灾害气象预警系统[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(3): 111-118.
- [16] 丛威清, 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(S0): 2808-2812.
- [17] 倪化勇, 李宗亮, 巴仁基, 等. 贡嘎山东坡磨西河流域泥石流暴发的临界雨量值初探[J]. 2007, 25(6): 721-728.
- [18] 中国地质调查局成都地调中心. 大渡河流域石棉县地质灾害详细调查报告[R]. 成都: 成都地调中心, 2009.