



云南省地质灾害 气象风险精细化 预警技术研究及应用

李华宏 胡娟 许迎杰 李磊 著
闵颖 杨竹云 杨素雨

云南省地质灾害气象风险精细化 预警技术研究及应用

李华宏 胡娟 许迎杰 李磊 著
闵颖 杨竹云 杨素雨



 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书汇集了近几年云南省气象台在地质灾害气象风险预警技术及相关基础研究方面的最新成果,涵盖了建立和开展地质灾害气象风险预警业务所涉及的各个关键环节。书中重点阐述了精细化定量降水预报技术研究、云南省地质灾害气象风险精细化预警模型研究及系统研发、产品应用和业务检验情况,可为我国各省(自治区,直辖市)、地(市)级气象台站科技人员建设地质灾害气象风险精细化预警业务提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

云南省地质灾害气象风险精细化预警技术研究及应用/

李华宏等著. -- 北京:气象出版社, 2016.7

ISBN 978-7-5029-6371-2

I. ①云… II. ①李… III. ①地质灾害-气象预报-研究-云南省 IV. ①P694②P457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 162313 号

Yunnansheng Dizhi Zaihai Qixiang Fengxian Jingxihua Yujing Jishu Yanjiu ji Yingyong

云南省地质灾害气象风险精细化预警技术研究及应用

李华宏 胡娟 许迎杰 闵颖 杨竹云 杨素雨 李磊 著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街46号

邮政编码:100081

电 话:010-68407112(总编室) 010-68409198(发行部)

网 址:<http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑:李太宇

终 审:邵俊年

责任校对:王丽梅

责任技编:赵相宁

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京京华虎彩印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:12.75

字 数:270千字

版 次:2016年7月第1版

印 次:2016年7月第1次印刷

定 价:60.00元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

前 言

云南境内地质灾害隐患点多、分布区域广,灾害损失重,是国内地质灾害最严重的地区之一。复杂的地形地貌、脆弱的地质条件是地质灾害形成和发展的内在因素。占全省土地面积 94% 的山区暴雨多发、局地强降水突出则是诱发地质灾害最为关键的外在因素。因而,综合考虑地质条件,并结合强降水与地质灾害之间的相互关系,开展地质灾害气象风险预警业务和服务无疑是防御地质灾害的有效途径之一。

随着服务需求的不断增加,中国气象局对于省级气象部门开展地质灾害气象风险预警业务提出了严格的考核要求。云南作为地质灾害重灾区,及时有效地开展地质灾害气象风险精细化预警业务有着更为突出的意义。面对技术支撑薄弱、服务能力不足的现状,综合考虑地质因子和气象降水诱发因素,建立精确的地质灾害气象风险预警模型,细化预警产品时间、空间分辨率,发展地质灾害气象风险预警业务,及时开展有效的专项预警服务,成为云南省气象部门亟待完成的一项重要任务。

本书汇集了近几年云南省气象台在地质灾害气象风险预警技术及相关基础研究方面的最新成果,涵盖了建立和开展地质灾害气象风险预警业务所涉及的各个关键环节,重点围绕精细化定量降水预报技术研究、云南省地质灾害气象风险精细化预警模型研究及系统研发、产品应用和业务检验情况进行了详细阐述,可以为省、地(市)各级台站科技人员建设地质灾害气象风险精细化预警业务提供参考。

本书共分 7 章,第 1 章由李华宏编撰,介绍了云南省地质灾害概况及气象风险预警现状;第 2 章由胡娟、闵颖编撰,详细介绍了如何选取地质灾害预警关键影响因子并建立云南省地质灾害气象风险精细化预警模型的过程;第 3 章由胡娟编撰,介绍了针对怒江流域突出的地质灾害预警防御需求,进行重点区域地质灾害精细化预警技术研究的情况;第 4 章由胡

娟、杨素雨、闵颖编撰,介绍了气象要素的空间细化方法、精细化定量降水预报技术研究及产品应用情况;第5章由李华宏编撰,介绍了对云南境内雷达径向风、反射率因子观测数据开展同化研究来保障区域高分辨率降水预报产品质量的技术方法;第6章由许迎杰编撰,详细介绍了云南省地质灾害气象风险精细化预警系统的开发技术和系统功能;第7章由杨竹云、李磊编撰,介绍了在云南省地质灾害气象风险精细化预警技术研究成果支撑下省级地质灾害气象风险预警业务开展概况及气象风险产品检验情况。全书由李华宏统稿。

本书的编写,得到云南省气象台杞明辉台长的大力支持。云南省气象台万石云、陈小华、李超、周德丽、赵宁坤、刘雪涛、许彦艳等项目小组成员做了大量基础性工作。云南省气象科学研究所段旭、王曼,云南省地质环境监测院杨迎冬等专家提供了热忱帮助和指导,王亚明审校了全书,在此一并表示感谢。

地质灾害的发生是多种因素共同作用的结果,其致灾机理及预警技术研究方面还有很多问题和细节有待进一步深究。编写本书的目的,是希望能够起到抛砖引玉的效果,引导地质灾害气象风险预警技术不断进步,有效提升地质灾害的防御能力。由于编写人员水平有限,书中错漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者

2016年4月

目 录

前言

第 1 章 云南省地质灾害及气象风险预警概况	(1)
1.1 云南省地质灾害概况	(1)
1.1.1 地理环境概况	(1)
1.1.2 地质灾害特征	(2)
1.2 地质灾害气象风险预警技术	(6)
1.2.1 地质灾害专业预警概况	(6)
1.2.2 地质灾害气象风险预警技术	(8)
第 2 章 地质灾害气象风险精细化预警技术	(11)
2.1 地质灾害与降水的关系研究	(11)
2.1.1 地质灾害与降水的时间分布特征	(11)
2.1.2 地质灾害与降水的空间分布特征	(16)
2.2 地质灾害风险区划研究	(20)
2.2.1 地质灾害风险区划计算方法	(20)
2.2.2 精细化地质灾害风险区划研究	(24)
2.3 预警临界指标研究	(26)
2.3.1 临界雨量研究	(26)
2.3.2 临界雨强研究	(33)
2.4 地质灾害气象风险精细化预警模型	(34)
第 3 章 怒江州地质灾害气象风险精细化预警技术	(37)
3.1 降水因子选取	(37)
3.1.1 怒江州地理条件概述	(37)
3.1.2 怒江州降水气候概况	(38)
3.1.3 怒江州地质灾害分布	(39)
3.1.4 影响因子分析	(41)
3.2 精细化临界雨量及临界雨强分析	(44)
3.2.1 精细化临界雨量研究	(45)
3.2.2 精细化临界雨强研究	(46)
3.3 怒江流域和澜沧江流域降水指标分析	(47)
3.4 地质灾害气象风险预警效果对比	(50)

3.4.1	怒江州地质灾害风险区划更新·····	(50)
3.4.2	地质灾害个例检验·····	(50)
3.4.3	地质灾害气象风险预警业务探讨·····	(56)
第4章	精细化定量降水监测及预报 ·····	(57)
4.1	气象要素空间精细化技术·····	(57)
4.1.1	基于地理因子的空间插值方法研究·····	(57)
4.1.2	多种空间插值方法对比分析·····	(65)
4.2	精细化定量降水监测·····	(67)
4.2.1	资料和方法·····	(67)
4.2.2	估测结果对比分析·····	(69)
4.3	精细化定量降水集成预报·····	(76)
4.3.1	精细化定量降水集成预报技术·····	(76)
4.3.2	精细化定量降水集成预报检验方法·····	(80)
4.3.3	2013年度定量降水预报检验·····	(81)
4.3.4	2014年度定量降水预报检验·····	(91)
4.3.5	2015年度定量降水预报检验·····	(99)
第5章	区域数值模式改进技术研究 ·····	(108)
5.1	同化技术及方案·····	(108)
5.1.1	资料及方法·····	(108)
5.1.2	数值模式参数设置·····	(110)
5.1.3	同化试验方案·····	(110)
5.2	雷达反演风场同化试验·····	(112)
5.2.1	个例天气概况·····	(112)
5.2.2	同化试验结果分析·····	(114)
5.2.3	同化试验小结·····	(123)
5.3	雷达反演风场和反射率因子同化试验·····	(123)
5.3.1	个例天气概况·····	(123)
5.3.2	同化试验结果分析·····	(126)
5.3.3	同化试验小结·····	(139)
第6章	云南省地质灾害气象风险精细化预警系统 ·····	(141)
6.1	系统概况·····	(141)
6.1.1	系统设计思路·····	(141)
6.1.2	系统实现过程·····	(142)
6.1.3	系统产品·····	(144)
6.2	系统开发·····	(145)

6.2.1 基础环境	(145)
6.2.2 开发技术简介	(147)
6.2.3 服务器端程序模块简介	(147)
6.2.4 客户端软件	(148)
6.3 客户端软件使用说明	(149)
6.3.1 程序路径	(149)
6.3.2 主界面功能区说明	(150)
6.3.3 工具栏说明	(151)
6.3.4 图形编辑	(154)
第7章 地质灾害气象风险预警业务产品检验	(161)
7.1 云南省省级地质灾害气象风险预警业务概况	(161)
7.2 预警产品检验方法	(162)
7.3 2013年地质灾害气象风险预警检验	(162)
7.3.1 地质灾害预警概况	(162)
7.3.2 2013年6月9—10日滇中地区泥石流过程	(163)
7.3.3 2013年6月25—27日曲靖市罗平县地质灾害过程	(165)
7.3.4 2013年7月18日昭通市大关县地质灾害过程	(168)
7.3.5 8月24—25日热带风暴“潭美”影响下云南强降水过程	(171)
7.4 2014年地质灾害气象风险预警检验	(173)
7.4.1 地质灾害预警概况	(173)
7.4.2 2014年5月10日怒江州福贡县泥石流过程	(173)
7.4.3 2014年7月6—7日丽江永胜及昭通鲁甸泥石流过程	(175)
7.4.4 2014年第9号台风“威马逊”影响下云南强降水过程	(177)
7.4.5 2014年8月27日鲁甸地震灾区强降水过程	(181)
7.5 2015年地质灾害气象风险预警检验	(183)
7.5.1 地质灾害预警概况	(183)
7.5.2 2015年7月22—25日云南强降水天气过程	(183)
7.5.3 2015年8月8—10日滇中及以北地区强降水天气过程	(186)
7.5.4 2015年9月15—16日华坪县、昌宁县泥石流地质灾害过程	(188)
7.5.5 2015年10月9—10日云南强降水天气过程	(191)
参考文献	(195)

第1章 云南省地质灾害及气象风险预警概况

云南一直是地质灾害最严重的地区之一。复杂的地理环境下,脆弱的地质条件是地质灾害形成和发展的内在因素,强降水或持续降雨天气则是地质灾害发生的最关键诱因。在特定的地质条件下,基于降水因素与地质灾害之间的相互关系,开展地质灾害气象风险预警服务无疑是一种科学、有效的防灾减灾途径。

1.1 云南省地质灾害概况

1.1.1 地理环境概况

(1) 地形地貌

云南省位于中国西南部,北依广阔的亚洲大陆,处于世界屋脊青藏高原东南缘与云贵高原的结合部,是一个低纬度、高海拔、山地高原为主的边疆内陆省份。境内多山,山地面积约占全省总面积的94%,群山之中交错分布着大小不一的断陷盆地和湖泊。云南地势总体呈北高南低、阶梯状下降分布,境内海拔落差极大、地形陡峭。其中怒江、金沙江和澜沧江峡谷最为突出,山岭和峡谷的相对高差均在1000 m以上。云南的地貌种类复杂多样,有褶皱地貌、断层地貌、河流地貌、风化重力地貌、喀斯特地貌、丹霞地貌、火山地貌、土林及沙林地貌等。境内山河及地貌总体分布受大断裂带控制,形成从西北角向东、南、西南三面展开的扫帚状分布样式。云南山高坡陡、河流纵横、断陷盆地星罗棋布的地形,复杂多样、破碎松散的地貌为滑坡、泥石流等地质灾害的频繁发生提供了必要的物源条件和内在因素。

(2) 地质构造及地震活动

云南地处亚洲板块与印度板块交接部位,由于相邻板块经向、纬向交替挤压、滑移,经历了海陆变迁、岩浆喷发、褶皱、断裂等地质构造过程,是亚洲大陆活力最强、地质构造最复杂的地区。强烈的构造运动一方面加剧了地形高差,有利于流水侵蚀作用增强,另一方面造成地质带断裂、岩面破碎,有利于散碎物质堆积和增加,促进泥石流、滑坡的发育和发生。云南的地质构造运动不仅控制着地貌的发育,也基本控制着地质灾害的区域分布。在断裂交汇的部位,垂直差异运动最剧烈的地段往往也是滑坡、泥石流密集分布、活动频繁的区域。如小江断裂带、怒江断裂带、大盈江断裂带、

红河断裂带等都是地质灾害比较活跃的高风险区(唐川等,1997)。

从地震区域划分看,云南属于南亚地震系,青藏高原中南部地震区,该区域应力集中,地震频繁、灾害严重。有史料记载以来,云南就是地震灾害高发区域之一,省内广泛分布着小江地震带、大关—马边地震带、中甸—大理地震带等多个地震活跃区。近年来,云南的地震灾害依然很严重,仅2014年就发生了“4·5”永善5.3级地震、“5·24”盈江5.6级地震、“8·3”鲁甸6.5级地震、“10·7”景谷6.6级地震及多次大于5.0级以上余震。频繁发生的地震会显著降低岩土体的强度,严重破坏自然斜坡的稳定性,增加地表破碎程度和堆积物,进一步加剧滑坡、泥石流等地质灾害的发生频率、范围和灾情。

(3)气候环境

云南属于典型的低纬高原季风气候。由于冬半年和夏半年分别受大陆性气团、热带海洋气团控制,形成了干(11月至次年4月)、湿(5—10月)季分明的气候特点。夏半年受东亚季风和南亚季风交叉影响,降雨充沛、暴雨频发,5—10月累积雨量占全年总降水量85%以上(秦剑等,1997)。由于海陆位置、地形分布及主要影响天气系统之间的差异,云南境内的年降水量空间分布极不均匀,总体呈南多北少、东西两侧多中部的趋势分布。滇中及以北区域年平均降水量在1000 mm左右,滇南地区在1500 mm左右,滇西南及南部边缘、怒江北部、曲靖南部普遍在1500 mm以上。由于地貌复杂、海拔落差悬殊,云南气候垂直变异极大,局地强降水特别突出。如,西南部的西盟、南部边缘的江城和河口、东部的罗平等县(区)年平均降雨量和短时强降水频次明显高于附近区域。在金沙江、红河等干热河谷地带,年平均降雨量及降雨强度则明显偏小。

在复杂的地理环境下,降雨气象因素是地质灾害发生的最关键诱因。降雨一方面对土体进行渗透和侵蚀,消减土体抗剪强度。随着土壤趋于饱和,土体孔隙水压力和下行动力增加,崩塌、滑坡等灾害风险也不断增加;另一方面汇流而下的雨水裹挟地表散碎物质向下游运动,并对周围土体形成巨大的冲击作用,直接引发泥石流和滑坡等灾害。

1.1.2 地质灾害特征

(1)地质灾害定义

地质灾害是指在自然或者人为因素的作用下形成的,对人类生命财产、环境造成破坏和损失的地质事件。云南属于地质灾害多发省份,最为常见、危害较大的地质灾害类型有崩塌、滑坡和泥石流(以2014年为例,云南省共发生地质灾害646起,其中崩塌71起、滑坡483起、泥石流72起,三类灾害占总数量的97%)。几类灾害之间既有区别又相互转化和相伴发生。从具体定义看,崩塌、滑坡是指岩块、土体在失稳情况下,向下倾落或滑动的地质现象。崩塌和滑坡通常产生于相同的地质构造环境

和地层岩性构造条件下,在一定条件下可以相互转化和相伴发生。泥石流则是由于降水而形成的一种携带大量泥沙、石块等固体物质条件的特殊洪流。从本质看,水源条件对泥石流的发生更为关键(韦方强等,2004)。但泥石流与崩塌、滑坡的关系同样非常密切,有利于崩塌、滑坡发生的地形地貌、岩性构造通常也是泥石流高发区。一方面,崩塌、滑坡产生的散碎物质是泥石流发生的重要固体物源。另一方面,气象降水既是引起岩块、土体失稳的重要诱因,也是触发泥石流的关键因素,有时崩塌、滑坡在运动过程中往往直接转化为泥石流。由于崩塌、滑坡和泥石流之间有着相互转化、不可分割的密切联系,且发生区域地形陡峭、地质脆弱、降水集中等关键因素非常相似,因此,在本书中将各类灾害统称为地质灾害,进行气象风险专业预警研究。

(2) 灾情及危害

云南是我国地质灾害发生最严重的省份之一,每年因灾死亡人数是全国各省平均的 5.4 倍、经济损失是全国各省平均的 1.7 倍。地质灾害严重危害着云南境内城镇、交通、水利设施、矿山及农业生产。云南省地理研究所建立的云南省滑坡、泥石流灾害数据库统计结果表明,截至 20 世纪末,全省有滑坡灾害点 2018 处、崩塌 525 处、泥石流沟 2496 条。这些地质灾害隐患点直接危害或威胁着 35 个县(市)、160 多个乡镇、3000 多个自然村、3000 多公里公路、1000 余座水电站或水库、150 多个大中型厂矿(唐川等,2003)。进入 21 世纪以来,云南的地质灾害仍然偏重发生,灾害隐患点不断增加,国土部门地质灾害调查与区划资料统计显示,截至 2008 年年末,全省数据库录入地质灾害及地质灾害隐患点达 20156 处。据民政部门统计,21 世纪以来平均每年因地质灾害死亡(包括失踪)102 人(图 1.1.1),是导致人员死亡人数最多的自然灾害。

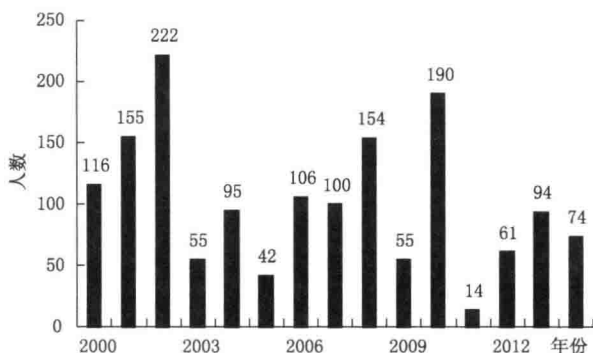


图 1.1.1 2000—2014 年云南地质灾害因灾死亡人数逐年分布

灾情最重的年份为 2002 年和 2010 年,因灾死亡分别为 222 人和 190 人。例如 2010 年先后发生了怒江州贡山县普拉底乡“8·18”特大泥石流和保山市隆阳区瓦马乡“9·1”大型滑坡灾害。普拉底乡“8·18”特大泥石流造成 39 人死亡,53 人失

踪;瓦马乡“9·1”大型滑坡造成 29 人死亡,19 人失踪(图 1.1.2)。灾害数量多、灾情损失重、危害范围广是云南地质灾害的真实写照。地质灾害在造成大量人员伤亡的同时,严重制约了云南省特别是边远山区的经济发展。



图 1.1.2 2010 年 9 月 1 日保山市隆阳区瓦马乡滑坡灾情

(3) 灾害空间分布

云南省地质灾害的空间分布具有明显的区域性特征,总体上呈现西北多东南少的特点。从最近十多年地质灾害事件空间分布看(图 1.1.3),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 年发生滑坡、泥石流灾害的次数在 20 次以上。其中保山市腾冲县 12 年发生滑坡、泥石流灾害的次数为 52 次,平均每年接近 5 次。云南滑坡、泥石流分布的总趋势是以宣威—腾冲为分界线,分界线西北部灾情比较多,而分界线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。云南省地质灾害的空间分布具有西多东少,西北多东南少的特点。这种分布与云南省自东南向西北,海拔、高差、坡度逐渐增大的地形变化规律相对应。这一分布特征基本与唐川(2003)等人早期根据滑坡、泥石流灾害普查和地形地质环境因素得到的滑坡、泥石流分布划分结论一致,即:滇西北和滇东北分布密度高区;滇西南和滇中分布密度中区;滇南和滇东分布密度稀区。由于受自西北向东南的构造运动控制及大型流域边界附近地质条件影响,地质灾害密集分布于怒江、澜沧江、元江和金沙江沿岸及主要支流附近。

(4) 灾害时间分布

云南省地质灾害的时间分布具有明显的月际变化和年际变化,其中地质灾害在 6—9 月集中爆发的特征尤其突出。从最近十多年地质灾害事件逐月时间分布看,云

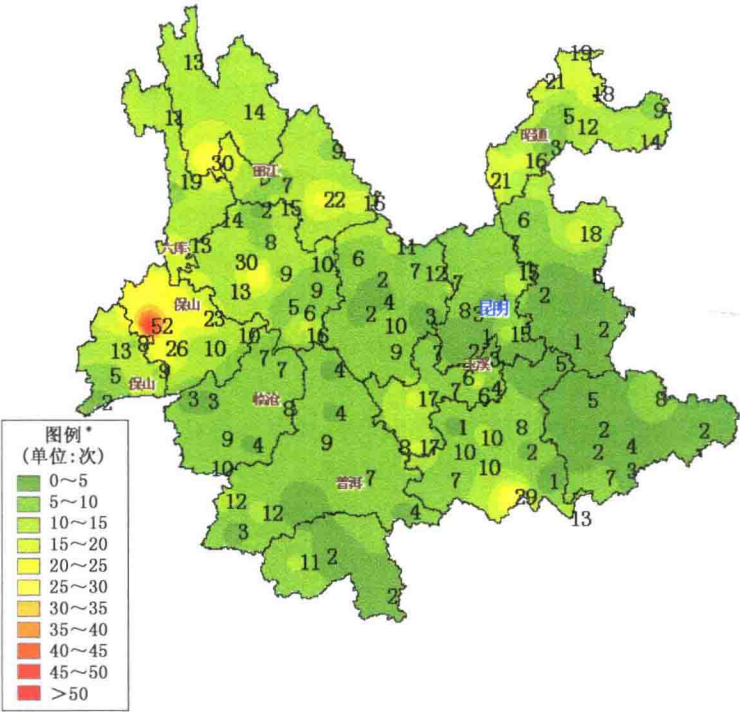


图 1.1.3 2000—2011 年云南滑坡泥石流灾害事件空间分布

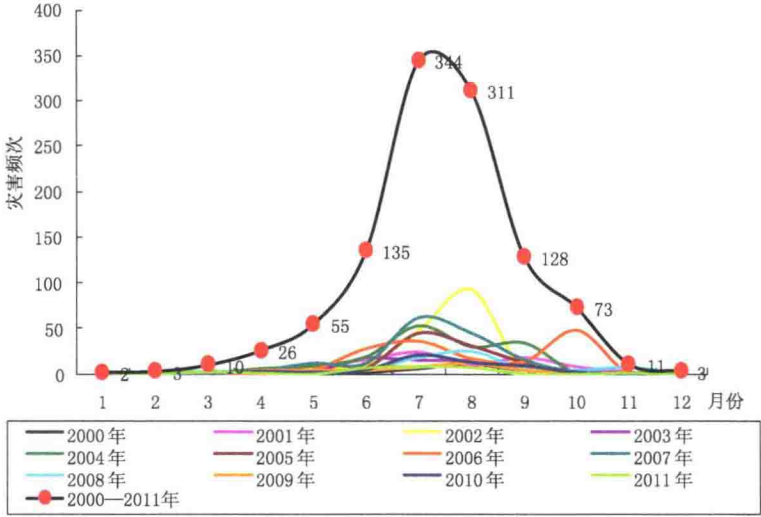


图 1.1.4 2000—2011 年云南滑坡泥石流灾害事件逐月分布

* 注:本书云南省图左下方的图例中,表示地质灾害次数,降水量,日数等要素行中的第二个数字,代表小于此数的值。

南滑坡、泥石流灾害主要集中在 5—10 月,呈明显的单峰型。6—9 月是地质灾害高峰期,灾害次数占全年的 83.4%,其次是 5 月、10 月,灾害次数分别占全年的 5% 和 6.7%(图 1.1.4)。地质灾害的高发期与云南主汛期总体对应,均出现在夏半年。但云南滑坡、泥石流次数明显增多的月份(6 月)略滞后于暴雨明显增多的月份(5 月),这主要由于云南为典型季风气候,干湿季节分明。雨季开始前,大部地区雨水稀少,土壤含水量较少,各类地质灾害均不易发生(地震诱发除外)。随着雨季到来,强降雨天气增多,泥石流类地质灾害随之增加。滑坡类地质灾害则是在雨季开始一段时间后,土壤含水量趋于饱和才集中爆发。从年际变化看,最近十多年的地质灾害发生频次有较大差异,灾害较多的年份为 2002 年、2004 年、2006 年、2007 年,每年发生的灾害接近 150 次。地质灾害较少的年份为 2000 年、2009 年、2011 年,灾害频次在 50 次以下。从逐年比较看,地质灾害高峰值出现的时间也存在一定的差异。这与年降水总量和雨季开始期的年际变化有一定相关关系。

1.2 地质灾害气象风险预警技术

1.2.1 地质灾害专业预警概况

(1) 地质灾害防治措施

为有效应对地质灾害,最大限度地减轻滑坡、泥石流等灾害对地方经济、生命财产、生态环境的破坏,国外科学家们早在 20 世纪初就开始了较大规模、有针对性的研究并进行了有效的防治实践。尽管国内的相关工作开展较晚,目前在地质灾害活动规律、风险评估、发生机理、工程治理、专业预报预警等方面亦取得了显著的进步。总体而言,防御和治理地质灾害的有效措施分为工程措施和非工程措施两大类。工程措施主要针对地质灾害隐患特点,主动采取工程施工来有效降低灾害危险性技术手段,如:修建排水沟、锚固工程、边坡治理、堆积体清除、分层挡墙控制等技术处理。在这方面,日本、美国等都取得了明显的治理效果,并开始注重灾害治理和生态效应的有机结合。在国内也有很好的地质灾害防治实例,如:针对云南省东川区境内大桥河泥石流沟灾害频繁现状,从 1976 年开始采用修建拦砂坝 8 座,修建排洪道 6400 m 并辅以植树造林等生态措施,经过 5 年的治理大桥河泥石流得到有效抑制,爆发规模和频率大大减少。工程施工是最直接、有效的地质灾害防治措施,需要投入的人力、物力也非常可观。

非工程防治措施是指为防治地质灾害所采取的工程措施以外的其他办法,主要关键技术包括:通过灾害普查认识灾害规律,提出危险性区划;研究灾害形成机理和运动规律;建立灾害预报预警模型,研发灾害监测预警技术;开展灾害防御科普,提高民众自我防范素质;开展专业预警,科学指导民众规避灾害风险等内容;也包括针对

受地质灾害严重威胁而又难以进行有效防治的城镇和重要设施,进行搬迁或灾前撤离疏散等措施。非工程措施是工程措施的有效补充,是经济高效的重要防灾减灾手段。在非工程防治措施中,通过建设专业监测网络、进行预报预警技术研发,开展专业预警业务是促使地质灾害防治从被动转向主动,实现高风险区域广覆盖、防治技术可持续发展的有效途径。目前,中国香港、美国、日本等都建有暴雨型地质灾害预报预警模型,基于降水强度、持续时间等监测及临界雨量指标研究,开展了日常预警业务。在国内,在地质灾害较为严重的汶川、舟曲、东川等区域和江西、重庆等省份,以灾害成因分析和形成机理研究为基础,也建立了不同层次、不同尺度的滑坡、泥石流灾害预报预警系统,并进行了有效的业务实践(文海家等,2004;崔鹏等,2005;2014)。

要取得最佳的地质灾害防治效果,针对灾害特点因地制宜地采取工程措施和非工程措施才是最佳防治减灾策略。经过多年的实践和总结,目前国内地质灾害防治工作,实行预防为主、避让与治理相结合的方针,充分利用灾害的资源属性,探索将灾害治理、区域脱贫和可持续发展有机结合的有效途径和技术模式。《全国地质灾害防治“十二五”规划》明确提出:到2020年我国全面建成地质灾害调查评价体系、监测预警体系、防治体系和应急体系,使地质灾害造成的人员伤亡明显减少。《云南省人民政府关于印发云南省地质灾害综合防治体系建设实施方案》明确指出要做好地质灾害调查评价、监测预警、搬迁避让与工程治理、应急处置“四大体系”建设工作。地质灾害调查评价是基础,是为了摸清灾害分布、严重程度及活动规律;监测预警是重要手段,地质灾害监测预警体系能够及时捕捉地质环境条件变化信息,适时发出防灾减灾警示信息,为避险决策和应急处置提供关键性依据。借助专业监测预警业务产品指导高风险地区群众及时采取预防或避灾措施,最大限度地减轻地质灾害损失。

(2) 地质灾害专业预警技术

由于云南省地质灾害分布区域广、隐患点多、累计灾情损失重,除了针对特别严重的区域或隐患点进行专项工程治理外,基于专业预警指导群众联防的办法无疑是防御地质灾害的有效途径之一。地质灾害预警是地质学和预测学科的交叉分支学科。由于技术方法、预报时效、预报要素的差异,地质灾害的预报预警技术可以从不同角度划分出多种内涵。一般而言,区域性地质灾害时空预报预警研究方面的发展大致分为两类:一类是以泥石流水位、滑坡位移等监测数据为基础,结合地质灾害发生机理模型研究而开展地质灾害临近预警;一类是基于气象降雨观测和灾情统计,研究降雨过程与地质灾害时空分布的对应关系,开展地质灾害短期和短时风险预警。这两种预警方法各有侧重,前者强调地质灾害的启动、致灾机制研究,后者强调外界触发诱因的相关性研究。

由于专业观测网络的缺乏,加之地质灾害致灾机理复杂、局地特征明显,所以目前对研究人员来说,滑坡体启动机制、稳定性相关力学参数等还是一灰色问题,难

以进行滑坡实体综合预报。已有的地质灾害预报预警实践中,通过灾害与诱发因素相关性研究建立预警模型并开展预警业务的技术应用更为广泛。早期的地质灾害预报预测主要是基于经验统计学方法,后期逐渐引入现代数理科学及 GIS、GPS 等技术。美国、日本等较早就开始了地质灾害预报预警系统研发及试验。1985 年美国地质调查局和美国国家气象局通过研究滑坡灾害数据,建立了滑坡与降水强度、持续时间的临界关系曲线,并将其作为滑坡实时预报经验曲线建立了滑坡实时预报系统。在国内,吴积善(1987)等针对云南东川泥石流长期观测数据开展了泥石流预报预警模型研究,提出了暴雨泥石流规模预测理论和方法,进行了地质灾害区域预警的有效探索。随后国内学者在影响因素综合考虑、预警模型及预警指标精细化等方面相继进行了很多的研究和成果应用试验。近年来,李为乐(2013)等针对汶川震区打色尔沟物源分布及灾害风险特征,在不同高程布设雨量计 3 套、泥位计及视频监测系统 3 套、次生波监测系统 1 套,并建立了预警决策示范系统。这种建立齐备的专业监测系统、综合应用各类观测资料,研究预警判据,研发考虑多种诱发因素和致灾机理预警业务系统的思路基本代表了未来地质灾害专业预警技术的发展趋势。云南省国土部门在怒江等流域也开展了类似试点研究,但对于点多面广的地质灾害,专业监测网络的构建明显不足,各类观测资料的综合应用也才刚刚起步,预警指标的客观化程度较低,已有的示范点预警系统业务可用性及推广普遍性十分有限,地质灾害监测预报预警技术手段的细化和完善亟需大量的专业研究和业务试验工作。

1.2.2 地质灾害气象风险预警技术

(1) 主要技术思路

地质灾害的影响因素包括地形地貌、地质条件、植被状况、气象条件、人类活动等多种因素。在一定的时段内,地形地貌、地质条件、植被状况等因素是相对固定的、内在的。除去不规则、难以预测的人为因素,气象降水因素是地质灾害的最主要诱因,也是最具有可预报性的关键环节。据统计,由局地暴雨、持续降水引发的滑坡、泥石流等占有所有地质灾害的 90% 以上,地质灾害与强降水频次、前期累计降水量等信息有很好的相关性,具有较高的规律性。在地质灾害发生及致灾机理研究尚不成熟,相关预警业务试验还局限于示范点(或某特定沟谷)的情形下,从气象降水诱发因素着手开展相关研究和业务试验是最为便捷、经济、高效的地质灾害防御措施。从 2003 年开始,国土资源部和中国气象局把地质灾害形成的地面条件与气象定量降水预报业务相结合,在每年汛期联合开展基于降雨诱发因素为主的地质灾害气象预警预报业务工作,并借助垂直管理优势推动了地质灾害多发区省、州(市)、县的地质灾害气象预报预警业务发展。例如:毛以伟等(2005)、王仁乔等(2005)分别通过大批量山洪(泥石流)、滑坡灾害个例与同期气象降水相关性分析,用点聚图等方法确定了临界雨量,建立了灾害预报预警指标并在湖北投入业务应用。单九生等(2004、2008)通过江

西滑坡灾害与同期降水特征研究,充分考虑前期降水及贡献大小,建立了基于日综合雨量的滑坡预测统计模型,研发了滑坡灾害预报预警实时业务系统,并在江西预报服务中取得了较好的防灾减灾效果。目前地质灾害预报预警方法一般是基于降雨参数和灾害事件的统计关系建立相关预警模型,改进的模型则考虑了灾害形成的地质地貌条件。较常用的降雨参数包括降雨强度、降雨历时、累计雨量及前期降雨量。

由于地质灾害发生机理的复杂性,滑坡、泥石流等灾害与降水参数之间不可能存在一个确切的临界值。因此,通过研究降水参数与地质灾害发生概率之间相关性,一定程度上可以提供较为可靠的预测信息,通过概率拟合技术可能得到较为合理的模型对应关系,继而提供地质灾害风险预警等级信息。因此,2013年5月国土、气象两部门再次联合下文将地质灾害气象预报预警业务调整为地质灾害气象风险预警业务,业务内容进一步规范,服务针对性也逐步增强。两部门联合开展地质灾害气象预报预警业务以来,随着地质灾害气象预报预警精细化水平不断提高,科技支撑不断加强,基层防灾减灾效益日益显著,为地质灾害的专业预警、群测群防及灾害防御科普宣传打开了良好局面。与投资巨大、无法实现大范围防治的工程措施相比,地质灾害气象风险预警业务目前已成为国内跨专业、多层次、广覆盖的地质灾害防治重要非工程措施。

(2) 云南省业务概况及需求

云南作为地质灾害重灾区,在地质灾害气象预报预警技术研究方面有一定的成果积累。唐川等(1995,2005)通过对云南地质灾害多年的调查、研究,在云南省滑坡、泥石流区域分布特征、风险评估、防治对策方面取得了丰硕的成果,并在澜沧江流域开展了滑坡、泥石流短期预报试验,针对全省雨季地质灾害开展了长期趋势分析。张红兵(2006)基于地质灾害危险度指数、降雨作用系数等建立了云南省地质灾害气象预警系统,并联合国土和气象业务部门开展了“云南地质灾害气象危险等级预报”。段旭等(2007)、彭贵芬等(2006,2008)对云南不同地质条件下滑坡、泥石流与降水的关系进行了统计分析,采用 PP-ES 模式,建立了以时间分辨率为 12 h、水平距离分辨率为 30 km 的滑坡、泥石流灾害气象等级预报产品为主要内容的云南省精细化滑坡泥石流灾害气象监测预警系统。并以中尺度数值模式 MM5 定量降水产品为驱动进行了业务试验。上述研究成果代表了当时较为先进的预警技术和理念。随着观测网络的健全和细化、定量降水预报准确率的提高以及防灾减灾需求的不断增加,原有的预报预警技术和业务系统已经远远不能满足业务发展和社会服务的需求。综合起来,主要存在以下几个方面的问题:①地质灾害气象预警模型中对地形参数使用比较粗糙,对地质灾害风险最新普查成果应用不足;②随着观测网络时空分辨率的提高和灾害个例的补充,降雨和地质灾害统计模型需要细化和完善;③地质灾害事件局地性特征非常明显,原有以县级行政区为最小预警区域的预报预警产品已经无法适应地质灾害气象风险预警服务的需求;④原有业务系统直接以 MM5 模式预报产品为驱