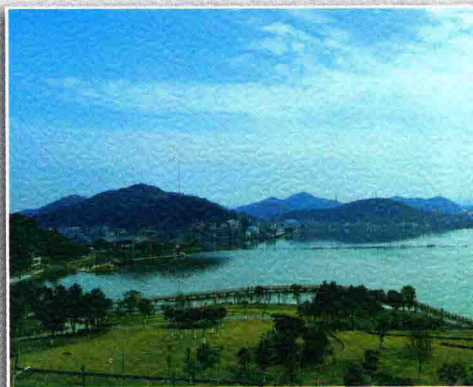


NINGBO DIZHIZAIHAI
QIXIANGFENGXIAN YUJINGFANGFA YU SHIJIAN

宁波地质灾害 气象风险预警方法与实践

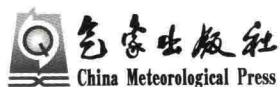
陈有利 崔飞君 主编



 气象出版社
China Meteorological Press

宁波地质灾害气象风险 预警方法与实践

陈有利 崔飞君 主编



内容简介

本书介绍了宁波市地质灾害气象概率预报(警)系统(LAPS)和基于斜坡单元的联合概率预警法的运行情况,结合当地近30个实例,反映了各交叉学科的研究成果,可供基层气象、国土部门从事地质气象灾害监测、预报预警服务工作的业务和科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

宁波地质灾害气象风险预警方法与实践 / 陈有利,
崔飞君主编. — 北京:气象出版社,2016.7
ISBN 978-7-5029-6365-1

I. ①宁… II. ①陈… ②崔… III. ①地质灾害-气
象预报-研究-宁波市 IV. ①P694②P457

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 149783 号

Níngbō Dìzhì Zāihài Qìxiàng Fēngxiǎn Yùjǐng Fāngfǎ Yǔ Shíjiàn

宁波地质灾害气象风险预警方法与实践

陈有利 崔飞君 主编

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:杨泽彬

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:北京中科印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:14

字 数:300千字

版 次:2016年7月第1版

印 次:2016年7月第1次印刷

定 价:98.00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。

主编：陈有利 崔飞君

参编：薛群威 朱龙彪

郭建民 胡 波

陈从夷 张弘怀

林德怀 郭宇光

序一

地质灾害直接威胁着人民生命财产的安全,做好地质灾害的气象风险预报预警,对维护社会安定和经济社会可持续发展具有十分重大的战略意义。研究已表明,突发性地质灾害与气象条件关系非常密切,强降水特别是暴雨以上强降水是地质灾害最主要的自然诱发因素。

宁波地处华东沿海,属北亚热带湿润季风气候,降水具有明显的“双峰”特征,主要集中在4—7月的“春雨连梅雨”季节及8—9月的“台汛”期,具有雨量集中、降水强度大、持续时间长等特点。暴雨大暴雨主要由台风、梅雨锋、强对流三类天气系统产生,降水分布呈明显的西南多东北少,山区多平原地带少的特征。主要的暴雨区域有三个:余姚南部和鄞州西部的四明山地区、宁海西北部和奉化西南部交界的望海岗及周边地区、象山港两岸地区,暴雨多发区域多与地质灾害易发区重叠,每年4—10月又是宁波地质灾害最主要的发生时段,具有与强降水过程同期的特点。人类对自然现象进行的科学预测预报中,大气降水的预测预报无疑是比较成功的,这为进行降雨诱发的地质灾害的预测预报提供有益前提,实践“由天预报地”哲学。因此,从气象学与地质学等交叉学科的结合出发,研究由气象因子诱发的地质灾害发生的特点和规律,可为提前监测预警、综合防范管理、最大限度地减少地质灾害损失提供科学依据。

宁波市国土资源局长期关心与支持气象事业,在地质灾害气象预报预警工作上有着密切的愉快合作。《宁波地质灾害气象风险预警方法与实践》由业务一线的气象和国土部门的业务技术人员撰写,资料翔实,既有基础的原理,又有丰富的实例,反映了各交叉学科的研究成果,融入了

他们的工作经验和科研成果,可供基层气象、国土部门从事地质气象灾害监测、预报服务工作的业务和科技工作者参考。

宁波市气象局 周福^{*}

2016年5月5日

^{*} 周福,宁波市气象局局长。

序二

地质灾害是危及山区群众生命财产安全的主要自然灾害之一,也是我市重点防范的自然灾害。地质灾害防治工作是一项“生命保护工程”,是国土资源系统重要职责。地质灾害气象风险预警作为地质灾害防治工作中监测预警体系建设的重要组成部分,做好这项工作对保障人民群众生命财产安全、维护社会和谐稳定、促进社会经济有序健康发展具有十分重要的现状意义和长远的战略意义。地质灾害的防治基本原则是预防为主,预防地质灾害的基础是查明地质灾害易发区、危险区、隐患点及地质灾害的发生原因,而岩土等地质环境条件与降水等气象条件是两个引发地质灾害的重要因素,因此,加强地质环境条件与气象条件的调查研究及二者的联合分析是预警预报地质灾害的必要基础。

宁波市地处长江以南、东海之滨,是典型的丘陵山区,地质环境条件较为复杂,加上社会经济发展较快、山区人为活动较为强烈,每年汛期特别是台风暴雨与持续梅雨期间极易引发地质灾害。如何有针对性地及时、准确地预报地质灾害的发生地点与时间,这对于以降水引发地质灾害为主的宁波地区尤为重要。地质灾害防治的关键是预警预报,难点也在预警预报。长期以来,由于人类对地球的认识尚在不断探索之中,受科技手段和调查精度影响,地质灾害与地震类似,预警预报的精度亟待提高。近年来,宁波市在地质灾害防治实践中,逐步由群测群防的人防为主向群测群防为基础、科技防灾为支撑转变,取得了明显的防治成效。

《宁波地质灾害气象风险预警方法与实践》从宁波地质环境和大气降水入手,以气象在地质灾害防治的实践为基础,是十多年来宁波市国土资

源局与市气象局长期良好合作成果的结晶。专著内容以扎实的专业功底、丰富的实践经验、良好的协作成果为基础,内容丰富,理论与实践结合紧密,反映了宁波市地质灾害气象风险预警的主要工作成果,为宁波市不断提升地质灾害预警预报的准确度进行了有益探索和深入分析,可供基层从事地质灾害防治、监测、气象风险预警工作者参考。

宁波市国土资源局



2016年5月9日

* 樊献鹏,宁波市国土资源局副局长。

前 言

地质灾害是指因自然或人为活动引发的危害人民生命和财产安全的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝、地面沉降等与地质作用有关的灾害,其中崩塌、滑坡、泥石流和地面塌陷具有突发性,是突发性地质灾害。影响地质灾害的众多因素中,天气因素特别是强降水对地质灾害发生最为密切,短期强降水及连续阴雨是诱发地质灾害的主要因素。

宁波市地质灾害气象概率预报(警)系统(LAPS)于 2003 年开始研制,依托宁波市科技局课题《宁波市引发突发性地质灾害的主要气象条件研究及预报预警》,2004 年研制完成,并于 2004 年 4 月汛期正式投入业务试用,此后,在每年的汛期 4 月 15 日—10 月 15 日进行逐日业务应用,至 2013 年十年间运行稳定。该系统是一个基于 ANN(人工神经网络)模型并与 GIS 高度结合,为国内较早能够对乡(镇)范围地质灾害发生概率进行实时预报预警的系统,其建模基本思想是把降雨以外的因子(如自然地理、地质环境、地质灾害分布特征、人类活动等因素)看作相对稳定,把降雨当作一种诱发因子来考虑,进而通过 ANN 模型与 GIS 的紧密结合来实现对区域群发性滑坡地质灾害概率进行预报预警的思路。

随着系统运行和资料的积累,同时,随着社会信息及相关技术的快速发展,2013 年,经宁波市国土资源局、宁波市气象局等单位的努力,在总结地质灾害气象概率预报(警)系统(LAPS)基础上,全面升级为基于斜坡单元的联合概率预警法,新的预警系统充分考虑地理信息系统、地质灾害预警区域及快速服务系统,以及为政府服务的图像输出系统。主要包括以下几个方面:对宁波市地质灾害气象概率预报(警)系统进行改正,对模式

的参数进行部分调整。增加了本市地质灾害隐患点数据,提高地理信息系统精度,实现由区域预报到点预报的过渡,以斜坡单元为基本研究对象,空间上极大提高了预报区精准命中地质灾害“靶区”的能力,时间上提高了预报预警方法对任意预报时长的适应能力。系统对地质灾害预警点统计进行改正,对地质灾害预报预警输出产品进行优化,同时增加了手机接收功能。至今,新系统也已进行了两年多的实践应用,效果良好。

本书共分九章,包括宁波地质环境和地质灾害、宁波降水和地质灾害、引发地质灾害主要降水类型分析、地质灾害气象风险区划、地质灾害气象风险预警实践、地质灾害气象概率预报(警)系统(LAPS)方法、基于斜坡单元的联合概率预警法、地质灾害气象风险预警在应急管理中的应用、地质灾害气象风险预警总结与展望等。它立足当地,是基层一线技术人员十二年实践结晶,期望它的实践和总结对地质灾害气象风险预警预报工作,特别是基层对该项工作的科学开展起到“抛砖引玉”的作用。

本书由陈有利、崔飞君主编,薛群威、朱龙彪、郭建民、胡波、陈从夷、张弘怀、林德怀、郭宇光参编,由陈有利统稿。在撰写本书的过程中,得到了气象、国土部门领导和很多同志的指导和帮助,宁波市气象局局长周福、宁波市国土资源局副局长樊献鹏为本书作序,且提出许多建设性意见和建议,并进行通篇修改。浙江省国土资源厅李长江教授、麻土华正研级高级工程师一直关心、指导本项工作,并在关键技术上给予极有价值的无私奉献,黄征处长、俞建强处长、叶卫东处长、单平副处长、郑铎鑫研究员、涂小萍正研级高级工程师、钱燕珍正研级高级工程师、俞科爱高级工程师、朱晓曦高级工程师、徐迪峰高级工程师、何彩芬高级工程师、丁烨毅高级工程师、董杏燕高级工程师、顾思南高级工程师、俞光明高级工程师等在前期做了大量工作,宁波市气象台和宁波市地质环境监测站及宁波市国土资源局信息中心的技术人员在汛期每天做系统运行,在此,谨对参与研究和帮助的各位领导、专家和同事表示衷心感谢!

地质灾害气象风险预警预报以及强降水精细预报至今仍是世界性难

题,地质灾害的发生机理也还有待进一步探索、研究,随着当今科学技术的迅猛发展,相信地质灾害气象风险预警预报工作水平也会随之提高。由于我们水平有限,书中定有不妥之处,敬请批评指正。

编 者

2016 年 5 月

目 录

序一

序二

前言

第 1 章 宁波地质环境和地质灾害	(1)
1.1 地质环境	(2)
1.2 突发地质灾害及隐患现状	(9)
1.3 地质灾害发生与地质环境的关系	(19)
1.4 人类工程建设活动对地质灾害的影响	(24)
1.5 地质灾害易发区	(26)
第 2 章 宁波降水和地质灾害	(29)
2.1 年降水量分布	(30)
2.2 月季降水量分布	(31)
2.3 梅雨期降水强度分布	(36)
2.4 台风降水强度分布	(37)
2.5 突发地质灾害与降雨阈值分析	(37)
第 3 章 宁波引发地质灾害的主要降水类型分析	(61)
3.1 台风降水型引发地质灾害	(62)
3.2 梅雨降水引发地质灾害	(90)
3.3 短时突发强降水引发地质灾害	(96)
第 4 章 地质灾害气象风险区划	(111)
4.1 自然灾害风险概述	(112)
4.2 地质灾害气象风险区划指标与风险模型	(113)
第 5 章 宁波地质灾害气象风险预警实践	(117)
5.1 地质灾害气象风险预警目的与方法	(118)

5.2	宁波地质灾害气象风险预警协作	(120)
5.3	地质灾害气象风险预警服务	(121)
5.4	地质灾害气象风险预警等级及防范	(121)
5.5	地质灾害气象风险预警效果检验	(123)
第6章	宁波地质灾害气象概率预报(警)系统(LAPS)	(127)
6.1	基于GIS的ANN型地质灾害概率预警预报方法	(128)
6.2	LAPS系统预报(警)产品和预报(警)级别	(130)
6.3	LAPS基于WebGIS的显示系统	(131)
6.4	雨量实况数据处理	(136)
第7章	基于斜坡单元的联合概率预警法	(147)
7.1	斜坡单元法的基本思路	(148)
7.2	地质灾害潜势度	(149)
7.3	模型应用	(164)
7.4	降水数值预报模型及预报结果评价方法探索	(165)
7.5	斜坡单元系统预警产品制作及发布	(167)
7.6	斜坡单元法预警系统案例分析	(183)
第8章	宁波地质灾害气象风险预警在应急管理中的应用	(195)
8.1	建立制度 规范管理	(196)
8.2	按级负责 落实责任	(198)
8.3	应急操作 有序可循	(198)
第9章	宁波地质灾害气象风险预警总结与展望	(201)
9.1	宁波LAPS系统和斜坡单元系统预警实践评述	(202)
9.2	气象风险预警可以为地质灾害防治工作提供技术支撑	(203)
9.3	提升宁波地质灾害气象风险预警水平建议	(204)
参考文献		(207)

第 1 章

宁波地质环境和 地质灾害

宁波陆域面积 9672 km^2 , 地貌区属浙东低山丘陵区, 西部为四明山区, 南部为天台山脉的余脉, 西南部为天台山支脉四明山脉, 层峦叠嶂, 山峰林立, 其余脉分成数支向东北延伸, 直至北部的杭州湾。

1.1 地质环境

1.1.1 地形地貌

宁波地势总特征——西南高, 东北低。西部属四明山东麓山区, 东南系天台山北东之余脉, 形成北部平原区、东南丘陵区 and 西部低山区之格局。区域最高峰为天台山的菩提峰, 海拔 996 m (黄海高程, 下同)。山溪性河流蜿蜒于低山丘陵区, 构成了构造剥蚀侵蚀地貌区及侵蚀堆积地貌区。

东北部滨海平原, 地势平坦, 河网密布, 标高 $2.5 \sim 3.0 \text{ m}$, 沿江两岸地区为 2.0 m 左右。属海湾河湖型堆积地貌形态。

海岸线曲折而悠长, 达 1588 km , 港湾众多, 甬江口以北, 岸线平直, 为泥滩, 水下地形相对平坦, 属堆积海岸; 甬江以南, 岸线曲折, 多为深水航道, 水下地形坡度较陡, 地形比较复杂, 以侵蚀海岸为主。

1.1.2 地层

1.1.2.1 前第四纪地层

宁波区内出露的前第四纪地层主要有中元古界陈蔡群变质岩、中生界火山岩及沉积岩、新生界的沉积岩及基性火山熔岩。

中元古界陈蔡群地层仅于丽水—余姚断裂带内的余姚、慈溪零星分布, 出露面积甚小。中生界在宁波出露的地层主要有侏罗系下统、上统火山岩及白垩系下统沉积岩夹火山岩。侏罗系下统枫坪组仅零星出露于镇海、慈溪的昌化—普陀大断裂北侧; 侏罗系上统在区内广泛分布。白垩系下统分布于呈不规则短轴圆形展布的陆相

沉积盆地内;白垩系上统金华组分布于宁波平原底部。新生界第三系在宁波市出露有古—渐新统长河组及上新统嵊县组。长河组分布于慈溪市长河凹陷及杭州湾底部;嵊县组在宁波市内呈零星分布,主要出露于乍浦—四明山及强蛟—桑洲两个条带。宁波市前第四纪地层如表 1.1 所示。

表 1.1 宁波市前第四纪地层简表

地层时代				地层代号	岩性特征简述
界	系	统	组		
新生界		上新统	嵊县组	N ₂ sh	黑色玄武岩,夹砂砾石、硅藻土
		古新—渐新统	长河组	EC	湖盆相沉积岩,局部夹玄武岩、膏岩
中生界	白垩系	上统	金华组	K ₂ j	砖红色、紫红色、杂灰绿色粉砂岩、泥岩、砂砾岩
		下统	方岩组	K ₁ f	紫红色砾岩为主
			朝川组	K ₁ c	紫红色沉积岩与火山岩互层
			馆头组	K ₁ g	杂色沉积岩为主,夹少量基性、中基性熔岩及火山碎屑岩
	侏罗系	上统	祝村组	J ₃ z	火山碎屑岩夹沉积岩
			九里坪组	J ₃ j	酸性熔岩为主,夹少量火山碎屑岩,偶夹沉积岩
			茶湾组	J ₃ c	以沉积岩为主,夹火山碎屑岩
			西山头组	J ₃ x	酸性—中酸性火山碎屑岩夹少量沉积岩
			高坞组	J ₃ g	酸性火山碎屑岩,局部偶夹沉积岩,岩性单一
			大爽组	J ₃ d	火山碎屑岩夹酸性熔岩、沉积岩
		下统	枫坪组	J ₁ f	石英砾岩、砂砾岩、泥质粉砂岩
元古界	陈蔡群		徐岸组	Pt ₂ ta	石榴砂线黑云斜长变粒岩为主,夹石墨片岩、斜长角闪岩
			下吴宅组	Pt ₂ xw	以斜长角闪岩、角闪斜长度粒岩和浅粒岩为主,夹砂线石榴黑云母片石和含石墨黑云斜长变粒岩

(浙江省工程勘察院,2009)

1.1.2.2 第四纪地层

区内第四纪地层广泛发育,主要分布于宁波平原、姚慈平原、大碇平原、丹城平原、咸祥平原及沟谷和坡麓地带,其分布、成因及厚度受地貌和新构造运动控制。山麓沟谷区成因、岩性相对单一,厚度薄,一般小于 20 m,呈裙带状分布(表 1.2);平原区第四系厚度由山前向滨海逐渐递增,山前地带一般 30~50 m,平原中部 80~100 m,到滨海一带可达到 120 m 以上(表 1.3)。地下水开采及地表工程经济活动易造成中上部黏土层固结、压缩,引起地面沉降。

表 1.2 宁波市山麓沟谷区第四纪地层简表

地层时代	时代代号	成因代号	岩性特征	分布地点
全新统	Q ₄	al	灰、灰黄色砾石,卵石、砂,松散。	鄞江、奉化剡江、县江、东江以及鄞州梅溪、宁海白溪等较大沟谷中
上更新统	Q ₃	pl-al dl-pl	灰黄、棕黄色含砾亚黏土,含黏性土砂砾石,较密实。	广泛分布于山麓沟谷地带,组成洪积扇、坡积裙
中更新统	Q ₂	dl-pl	棕黄、棕红色含黏性土砂砾石,含碎砾石亚黏土,密实,砾半风化,具网纹构造。	奉化尚桥局部山麓

(浙江省工程勘察院,2009)

表 1.3 宁波市平原区第四纪地层简表

地质时代		成因类型	代号	岩性描述
统	组			
全新统	上组	海积、冲湖积	mQ43 al-lQ42	黄褐色粉质黏土,软塑—可塑,厚层状
	中组	冲海积、海积	al-mQ42 mQ42	灰色粉细砂淤泥质粉质黏土、淤泥质黏土,流塑,局部为粉砂、粉土
	下组	冲海积	al-mQ41	灰、灰绿色粉砂、粉土,饱和,稍密—中密,厚层状,局部夹淤泥质粉质土、粉质黏土薄层
		海积	mQ41	灰色粉质黏土、淤泥质粉质黏土,流塑—软塑,具鳞片状构造
上更新统	上组	冲湖积	al-lQ32	灰绿、灰黄、褐黄色粉质黏土、黏土,可塑,厚层状构造,夹铁锰质结核
		海积	mQ32	灰色粉质粉土、黏土,软塑—可塑
		冲湖积	al-lQ32	褐黄、灰绿色黏性土,可塑—硬塑
	下组	冲海积 冲积	alQ32 al-mQ32	灰、灰黄色粉土,砂砾石,中密,厚层状,局部黏性土含量较高
		冲湖积	al-lQ31	灰绿色,黄绿色,可塑—硬塑,厚层状
		冲积	alQ31	灰色、灰黄色粉砂,砾石、卵石、砂砾石,中密~密实,厚层状。局部地段夹灰色粉质黏土软弱夹层
		冲洪积	al-plQ31	
中更新统	上组	冲湖积	al-lQ22	灰绿色、灰黄色粉质黏土,可塑—硬塑,厚层状
		冲积	alQ22	褐黄色砂砾石,中密—密实,厚层状
	下组	冲洪积	al-plQ21	黄褐色粉质黏土含碎砾石,含黏性土碎砾石,土质不均,局部为卵砾石,硬塑,中密—密实,厚层状

(浙江省工程勘察院,2009)