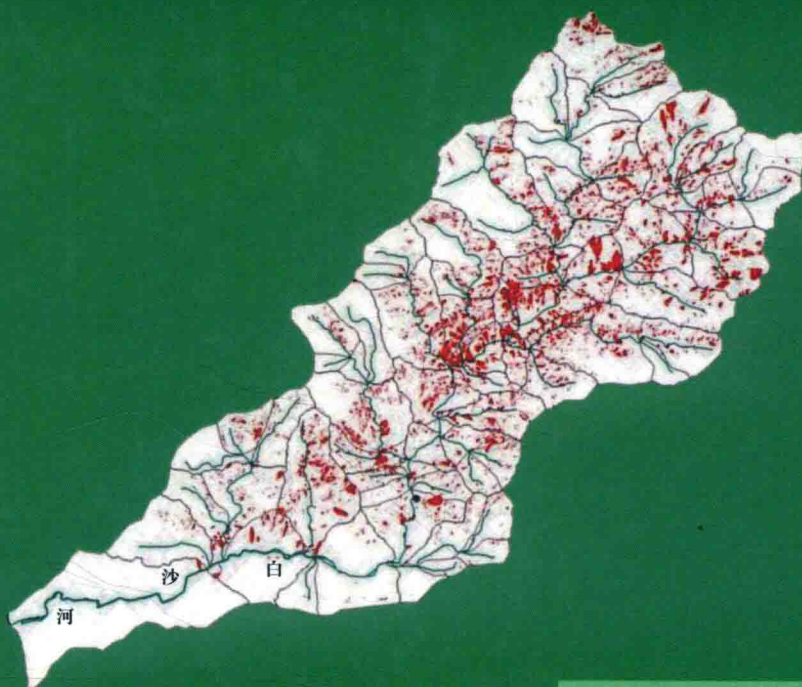


降雨型滑坡泥石流 监测预警研究

乔建平 等 / 编著



Research on Monitoring and Early Warning
of Rainfall-induced Landslides and Debris Flows



科学出版社

降雨型滑坡泥石流 监测预警研究

乔建平 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书选取“5·12”汶川大地震震区的都江堰市白沙河流域作为研究示范区,建立降雨型滑坡泥石流监测预警的基本理论和方法体系,并对区域空间的滑坡泥石流进行危险区划分,研发空间降雨型滑坡泥石流预警系统软件。将典型泥石流沟道物源按4类启动模式进行划分,分别建立降雨条件下4类活动模式的灾害预警模型和临界雨量值。介绍典型泥石流沟实时监测预警系统的仪器设备类型和安装范围,以及数据传输等基本情况和实时监测预警系统平台的工作原理及数据处理结构。最后对降雨型滑坡泥石流的预警模型、临界雨量、预警标准、监测系统运行等研究成果进行分析验证,评价目前示范区降雨型滑坡泥石流的发育现状和未来发展趋势。

本书可供地质灾害防治工作者、地质环境类工科院校师生、科研单位的科技人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

降雨型滑坡泥石流监测预警研究/乔建平等编著.—北京:科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-057304-9

I. ①降… II. ①乔… III. ①滑坡-地质灾害-监测系统-预警系统-研究②泥石流-地质灾害-监测系统-预警系统-研究 IV. ①P642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 086096 号

责任编辑:莫永国 刘莉莉/责任校对:陈 杰

责任印制:罗 科/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018年9月第一次印刷 印张:35 1/4

字数:830千字

定价:218.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

经历了“5·12”汶川大地震破坏后，地震灾区在强降雨条件下滑坡泥石流频繁发生，成为危害当地群众生命财产安全的巨大隐患。虽然灾后重建中已对直接危害人民生命财产安全的主要地质灾害点进行了工程治理，但还有大部分的滑坡泥石流没有得到工程治理。已进行工程治理的滑坡泥石流中，由于防治方案不全，或设计标准不够，或缺乏后期维护等原因，在极端降雨条件下仍然存在继续发生灾害的可能性。对已进行工程治理但仍存在一定危险性，或未进行工程治理的重点滑坡泥石流，开展必要的监测预警是一项长期有效的非工程措施，这既能提高生命财产的安全性，又能节省工程经费开支。因此作者选择“5·12”汶川大地震震区的都江堰市白沙河流域为研究示范区，开展降雨型滑坡泥石流监测预警专题研究。本书研究的目标是建立滑坡泥石流超前预警临界雨量标准，提高减灾避险的安全余度。该项研究获得科技部“国家国际科技合作专项”（2013DFA21720）、国家自然科学基金（41471012、41502334）、中国科学院率先行动“百人计划”、中科院·水利部成都山地灾害与环境研究所青年百人团队项目（SDSQB-2016-01）的资助，项目研究成果形成了本书内容。

本书共 83 万字，分为 12 章，全书由乔建平统稿。其中：绪论由乔建平编著，主要介绍研究目标、研究内容、研究方法，以及取得的研究成果；第 1 章由乔建平编著，在总结长期研究成果的基础上，建立降雨型滑坡泥石流监测预警的基本原理和方法体系；第 2 章由杨宗佶、孟华君编著，主要介绍研究示范区滑坡泥石流的发育特点和分布规律，为区域空间预警系统提供依据；第 3 章由王萌编著，主要针对区域空间的滑坡泥石流进行危险区划分，并建立空间降雨型滑坡泥石流预警方法和标准；第 4 章由田宏岭、杨宗佶编著，根据区域空间预警的结果，研发空间降雨型滑坡泥石流预警系统软件；第 5 章由杨宗佶、潘华利、姚维益编著，介绍示范区典型的滑坡泥石流概况，为后续章节的模型试验提供依据；第 6 章由黄栋、李倩倩编著，针对典型降雨型滑坡开展室内模型试验，确定滑坡滑动的预警模型和临界雨量值；第 7 章由姜元俊、赵高文编著，根据溃决型泥石流特点，通过室内模拟试验确定溃决型泥石流的预警模型和临界雨量值；第 8 章由李明俐、姚维益编著，从各种坡度的泥石流坡面物源启动模拟试验入手，确定泥石流坡面物源启动的预警模型和临界降雨值；第 9 章由潘华利编著，根据沟道泥石流的启动特点统计，确定在缺少历史资料情况下的沟道泥石流预警模型和临界雨量值；第 10 章由田宏岭编著，介绍典型泥石流沟实时监测预警系统的仪器设备类型和安装范围，以及数据传输等基本情况和实时监测预警系统平台的工作原理及数据处理结构；第 11 章由田宏岭、石朝烈、刘武编写，介绍监测预警后台数据处理软件和实时监测预警平台结构；第 12 章由乔建平、石莉莉编著，对降雨型滑坡泥石流的预警模型、临界雨量、预警标准、监测系统运行等研究成果进行分析

验证，评价目前示范区降雨型滑坡泥石流的发育现状和未来发展趋势。

本书各章节介绍的研究内容，是作者们在总结多年积累的研究成果基础之上完成的。由于这些研究成果还没有经过典型事件案例验证，难免存在一些不足。但作者的研究方法和主要研究结论仍可供同类专业科研和技术人员参考，也可供高校师生借鉴。

本书编写过程中，日本东京大学、日本埼玉大学、日本中央开发株式会社的学者和技术人员参与了部分研究工作，聂勇提供了无人机影像资料，在此一并表示感谢！

目 录

第0章 绪论	1
0.1 研究目标	2
0.2 研究内容	2
0.3 研究方法	3
0.4 研究成果	5
参考文献	6
第1章 降雨型滑坡泥石流预警的原理和方法	7
1.1 预警的基本原理和定义	7
1.1.1 预警分类	8
1.1.2 预警原则与重点	10
1.2 预警系统结构	11
1.2.1 预警系统结构形式	11
1.2.2 滑坡泥石流空间预警系统	12
1.2.3 滑坡泥石流时间预警系统	14
1.3 空间预警系统	16
1.3.1 空间预警方法	18
1.3.2 空间预警的空间与时间尺度	20
1.3.3 空间预警等级标准	22
1.4 时间预警系统	23
1.4.1 成功预报滑坡时间的案例分析	24
1.4.2 成功预报泥石流时间的案例分析	30
1.4.3 时间预警方法	31
1.4.4 时间预警的雨量标准	45
1.4.5 时间预警的监测数据采集与处理	47
1.5 预警检验和分析	56
1.5.1 预警方法检验	56
1.5.2 预警技术检验	57
1.5.3 预警级别检验	58
参考文献	58
第2章 示范区白沙河流域地质环境及滑坡泥石流分布规律	61
2.1 白沙河流域自然地理环境概况	61

2.1.1 地形地貌	61
2.1.2 气象与水文	64
2.2 白沙河流域地层岩性	67
2.3 白沙河流域构造与地震	70
2.3.1 汶川地震	70
2.3.2 地表破裂分布	71
2.4 滑坡、泥石流概况及影响因素	72
2.4.1 滑坡、泥石流的基本特征	72
2.4.2 滑坡、泥石流影响因素	77
2.5 滑坡、泥石流发育特征	79
2.5.1 滑坡发育特征	80
2.5.2 泥石流发育特征	84
2.6 滑坡、泥石流分类	86
2.6.1 滑坡、泥石流分类方法	86
2.6.2 泥石流物源分类方法	87
2.7 滑坡、泥石流分布规律	89
2.7.1 不同形态滑坡分布规律	89
2.7.2 泥石流物源分布规律	95
参考文献	102
第3章 白沙河流域滑坡、泥石流空间预警的危险度区划及临界雨量研究	105
3.1 滑坡、泥石流危险度区划方法	105
3.1.1 滑坡危险度区划方法	105
3.1.2 泥石流危险度区划方法	110
3.2 白沙河流域滑坡危险性评价及临界雨量	113
3.2.1 滑坡危险性评价指标系统	113
3.2.2 基于统计模型的滑坡危险性评价	114
3.2.3 危险度区划结果检验	127
3.2.4 基于确定性模型的滑坡临界雨量	128
3.3 白沙河流域泥石流危险度评价及临界雨量	134
3.3.1 临界雨量确定方法	135
3.3.2 危险度评价指标体系	135
3.3.3 危险度评价模型	135
3.3.4 泥石流基础数据	136
3.3.5 泥石流危险度及预警标准	137
参考文献	141
第4章 白沙河流域降雨型滑坡泥石流空间预警系统	143
4.1 系统设计目标	143
4.2 降雨型滑坡、泥石流空间预警	143

4.3	降雨诱发滑坡、泥石流概率分析方法	144
4.3.1	滑坡泥石流有效降雨量统计模型	144
4.3.2	降雨条件下诱发滑坡泥石流的概率	144
4.3.3	不同危险度区概率分析	151
4.4	预警模型	153
4.4.1	雨量插值	153
4.4.2	基于概率的区域降雨预警	154
4.5	预警流程	155
4.6	软件开发平台	156
4.7	系统框架与应用平台	156
4.8	用户界面	157
4.9	预警示例	157
4.9.1	操作流程	158
4.9.2	结果分析	162
	参考文献	164
第5章	白沙河流域典型降雨型滑坡、泥石流特征	165
5.1	干沟泥石流特征	165
5.1.1	泥石流基本特征	165
5.1.2	物源特征	170
5.1.3	水源特征	172
5.1.4	泥石流发育规律	173
5.1.5	灾害危害程度及趋势	174
5.1.6	干沟泥石流与降雨相关性分析	179
5.2	银洞子沟泥石流特征	184
5.2.1	泥石流基本特征	184
5.2.2	物源特征	186
5.2.3	水源特征	188
5.2.4	银洞子沟滑坡	188
5.2.5	泥石流发育规律	190
5.2.6	灾害危害程度及趋势	190
5.2.7	银洞子沟泥石流与降雨	195
5.3	锅圈岩沟泥石流特征	201
5.3.1	泥石流基本特征	201
5.3.2	物源特征	207
5.3.3	水源特征	209
5.3.4	锅圈岩滑坡	211
5.3.5	泥石流发育规律	216
5.3.6	灾害危害程度及趋势	218

5.4 结论218

参考文献218

第6章 滑坡破坏降雨临界值及预警模型220

6.1 研究现状220

6.1.1 统计模型220

6.1.2 数值模型221

6.1.3 模型试验222

6.1.4 研究存在的问题222

6.1.5 降雨临界值223

6.2 降雨型滑坡滞后性机理223

6.2.1 粒径对土持水性能的影响223

6.2.2 孔隙结构特征对土-水特征曲线的影响233

6.3 塔子坪滑坡降雨破坏临界值243

6.3.1 塔子坪滑坡概况243

6.3.2 野外人工降雨试验246

6.3.3 试验结果254

6.3.4 预警模型及检验256

6.4 银洞子沟滑坡降雨破坏临界值258

6.4.1 银洞子沟滑坡概况258

6.4.2 模型试验262

6.4.3 基于仿真模型试验滑坡降雨临界值267

6.4.4 破坏模式总结280

6.4.5 仿真滑坡预警临界雨量模型281

6.4.6 仿真滑坡模型的预警等级指标282

6.5 基于降雨入渗堆积层滑坡的稳定性284

6.5.1 降雨入渗的试验研究284

6.5.2 堆积层降雨滑坡的稳定性分析293

6.6 基于稳定系数计算的预警体系301

6.6.1 仿真模型的稳定性计算301

6.6.2 基于稳定性参数的预警指标303

6.6.3 银洞子沟滑坡预警标准303

参考文献304

第7章 溃坝泥石流启动降雨临界值及预警模型307

7.1 简介307

7.2 银洞子沟小流域泥石流概况310

7.2.1 研究区地理位置及地形地貌310

7.2.2 泥石流发生历史311

7.2.3 物源基本特征及分布314

7.2.4 银洞子沟泥石流威胁对象	316
7.3 银洞子沟泥石流预警方法	317
7.3.1 预警目标	317
7.3.2 预警指标确定依据	317
7.3.3 预警方法	318
7.4 模型试验设计	319
7.4.1 堰塞坝堆积形态分析	319
7.4.2 模型试验相似准则	325
7.4.3 试验方案	328
7.4.4 试验步骤	330
7.5 模型试验过程	330
7.5.1 室内土工试验	331
7.5.2 物理模型试验	334
7.5.3 试验现象	339
7.5.4 坝体破坏的影响因素	343
7.6 试验结果分析	351
7.6.1 溃坝试验统计结果	351
7.6.2 历史雨量分析	352
7.6.3 模型试验阈值确定	353
7.6.4 银洞子沟堰塞坝溃决泥石流预警标准	354
参考文献	355
第 8 章 泥石流坡面物源启动降雨临界值及预警模型	357
8.1 研究动态及目标	357
8.2 银洞子沟泥石流坡面物源基本特征及分布	361
8.2.1 银洞子泥石流沟物源条件	361
8.2.2 泥石流堆积物组成和结构特征	362
8.2.3 物理性质指标	364
8.2.4 崩塌滑坡九个典型灾害点分区详情	365
8.3 泥石流坡面物源启动人工降雨试验研究	369
8.3.1 模型试验装置及试验原理	369
8.3.2 模型试验设计	374
8.3.3 泥石流坡面物源启动模型试验结果分析	384
8.3.4 试验结果分析	413
8.4 基于模拟试验的泥石流坡面物源破坏规律研究	420
8.4.1 坡面物源启动的时空规律与统计模型	420
8.4.2 银洞子沟坡面物源失稳预警标准	427
参考文献	428

第 9 章 沟道泥石流启动降雨临界值及预警模型.....429

9.1 泥石流降雨临界值的研究现状429

9.2 锅圈岩泥石流沟特点431

9.3 沟道泥石流启动的降雨临界值研究432

9.3.1 前期影响雨量的计算433

9.3.2 基于泥石流启动机理的雨阈值计算433

9.3.3 锅圈岩沟泥石流雨量阈值计算435

9.4 实时预警模型436

参考文献437

第 10 章 降雨型滑坡、泥石流实时监测系统及监测数据分析439

10.1 监测系统与设计439

10.1.1 监测意义439

10.1.2 监测目标及对象440

10.1.3 监测内容440

10.1.4 监测方案设计440

10.1.5 地表传感器447

10.1.6 无人机遥感454

10.1.7 服务器456

10.1.8 监测系统安装与测试459

10.2 监测数据分析460

10.2.1 数据预处理461

10.2.2 银洞子沟泥石流465

10.2.3 干沟泥石流480

10.2.4 锅圈岩沟泥石流490

10.3 监测结论与建议499

10.3.1 仪器设备评价499

10.3.2 监测结论500

10.3.3 减灾建议503

参考文献503

第 11 章 滑坡泥石流监测信息系统505

11.1 系统设计505

11.1.1 用户505

11.1.2 系统结构505

11.1.3 数据库设计506

11.1.4 功能设计508

11.1.5 终端用户平台508

11.1.6 界面设计508

11.2 系统开发平台509

11.3 客户端界面	509
11.3.1 网页客户端	509
11.3.2 移动客户端界面	523
11.4 系统查询应用实例	528
参考文献	530
第 12 章 成果检验与分析	531
12.1 主要研究成果及结论	531
12.1.1 预警模型及临界值	531
12.1.2 实时监测结果	532
12.1.3 预警标准	533
12.2 成果检验	535
12.2.1 检验方法	535
12.2.2 检验分析	548
12.3 检验结论	549
参考文献	551

第0章 绪 论

2008年5月12日汶川大地震诱发了数万处崩塌、滑坡和不稳定斜坡。之后在2009年9月24日、2010年8月13日、2013年7月9日几次强降雨过程中,又诱发了数以万计的滑坡、泥石流灾害。这些降雨型滑坡泥石流主要分布在地震烈度为XI的极震灾区^[1]。根据统计,震后的滑坡泥石流基本由降雨诱发^[2,3],这些灾害损失有的甚至超过了地震灾害损失,给地震灾区人民的生命财产安全造成极大危害。面对大地震灾区降雨型滑坡泥石流的威胁,从国家层面到地方政府,都采取了积极应对措施,以防御和减轻灾害损失。震后经过各级政府7年来的努力(2008~2015年),主要威胁人民生命财产安全的滑坡泥石流大多进行了防治工程治理,危害程度得到有效控制。但还有众多的滑坡泥石流由于受到各种条件限制,没有进行有效工程治理,主要依靠专业监测技术手段和群测群防以防御灾害发生及减少造成的损失。依靠这些技术手段和人工方法进行预警,前提是需要确定在什么降雨条件下能够发布预警信息。经历了前人多年努力研究,如何认识降雨量诱发滑坡泥石流形成的条件关系,已成为科研和工程技术人员都试图获得理想结果的关键问题。但时至今日,众人仍在探索的道路上,仍然没有取得真正令人满意的结果。尽管如此,作者根据多年研究经验选择了“降雨型滑坡泥石流实时监测预警与示范研究”课题,力图进一步提高监测预警的可靠性。该课题获得科技部“国家国际科技合作专项”(2013DFA21720)、国家自然科学基金(41471012)及(41502334)、中国科学院率先行动“百人计划”、中科院成都山地所青年百人团队项目(SDSQB-2016-01)的资助,推动降雨型滑坡泥石流监测预警的研究工作继续向前发展。

地震灾区的降雨型滑坡泥石流与非地震灾区的有所不同。前者在强降雨条件下,形成速度快,雨强和当日累计降雨量占主导作用,往往具有片状分布和规模化发育的特点。而后者通常以单体为主,前期降雨量作用明显,发展速度相对较慢。两种类型的降雨型滑坡泥石流临界雨量也应该有所差别。正因为地震灾区降雨型滑坡泥石流有这些诸多特点存在,所以开展监测预警是十分有益的。该项研究包括“点”和“面”两方面的内容。“点”包括单体滑坡和单沟泥石流在降雨条件下的发生时间问题;“面”包括区域空间滑坡泥石流在降雨条件下的发育趋势或危险程度问题。“点”上的滑坡泥石流需要通过实时监测、动态变化分析,确定单体灾害的临界雨量进行预警。而“面”上的滑坡泥石流需要通过经验判断、概率统计,确定群发灾害的临界雨量进行预警。其中泥石流具有灾害链的特点,如泥石流物源多是由滑坡、崩塌、坡面物源转化形成新的灾害。所以物源的活动性是超前预警的关键。作者根据这些特点制定了以下研究目标、内容、方法,力争获得有价值的研究成果。

0.1 研究目标

根据汶川地震带地震扰动区滑坡泥石流灾害发育规律和活动特点,引进国外先进监测预警方法和灾害模型实验平台与实验室,开展四川龙门山地震断裂带区域滑坡泥石流监测预警技术及其示范研究。以小流域为单元,开展滑坡泥石流监测预警系统和平台建设,以滑坡泥石流模型试验、现场试验和数值计算等方法为基础,研究滑坡泥石流临界条件、临界判别指标和关键参数的确定技术方法和标准,进而在龙门山建立典型滑坡泥石流时空预警示范区和示范点,为地震灾区的监测预警和减灾防灾提供技术支撑。

为了实现超前预警的目标,需要针对灾害链的特点,重点研究泥石流形成区的物源启动与降雨条件的相关性,将典型泥石流沟道物源按四类启动模式进行划分,即:①滑坡启动模式;②堰塞坝溃决启动模式;③坡面物源体启动模式;④最终汇流形成沟道泥石流模式。分别建立在降雨条件下四类活动模式的灾害预警模型和临界雨量值。

在地震带扰动区内,滑坡与泥石流往往交混在一起,没有明显的界线划分。如存在泥石流的地方,必然有沟道中的滑坡和崩塌分布,为其提供主要物源。但有滑坡分布的地方,不一定产生泥石流。滑坡分布的范围广,数量多。泥石流分布受沟道地形条件制约,分布范围有限。两类灾害常常互为补充,互为交替。因此在区域空间的降雨型滑坡泥石流预警研究中,将采用主控因素方法以滑坡为主要灾种,重点研究区域滑坡与降雨临界雨量的相关性,预测区域降雨滑坡的危险性。因为滑坡是控制泥石流的主要物源,所以在降雨条件下斜坡一旦失稳形成滑坡,就有产生泥石流的可能性。但在单体滑坡、单沟泥石流点的预警研究中,将仍然按两类不同灾种,分别研究预警模型和降雨临界值。

0.2 研究内容

1. 降雨型滑坡泥石流多参数耦合无线实时传输监测预警系统研究

针对降雨型滑坡泥石流灾害监测预警系统的复杂工作环境,研究开发灾害监测预警无线传感器网络,研究支持多传感类型、多通信体制的异构传感网互联、传感网与公共网络互联的网络架构,设计面向节能的低成本无线传感器网络通信装置,重点研究灾害预警信息的节能与可靠传输技术,构建降雨型滑坡泥石流多参数耦合无线实时传输监测预警系统设计方案和实施方案。

2. 降雨激发滑坡泥石流发生临界条件试验研究

通过室内模型试验和野外大型灾害体原位试验,建立在降雨激发条件下,滑坡泥石流变形破坏和启动过程与坡体含水量的空间分布状况和含水量特征值之间的耦合关系,并通过试验得到降雨量和径流量与侵蚀量之间的关系,反演不同下垫面约束条件下的震裂坡地

破坏的降雨阈值。同时,通过对比灾区实地监测点监测资料和数值模拟分析,模拟和检验不同下垫面约束条件下斜坡含水量的空间分布及特征值和降雨阈值与斜坡的变形破坏的关系,进一步修正试验分析得到的结果,提高降雨阈值的可靠性,为地震灾区大量震裂坡地的降雨预警提供科学依据。

3. 引进开发实时监测仪器设备,建设滑坡泥石流监测预警平台

针对降雨型滑坡泥石流运动特点和形成机理,引进和开发适合西部山区复杂工作环境的监测设备,集成滑坡泥石流过程的系统阈值,建立基于滑坡泥石流活动规律的多级滑坡泥石流监测预警体系,形成具有理论支持又有可操作性的监测预警技术平台系统。基于滑坡泥石流形成过程预警等级划分研究,具体依据滑坡泥石流的形成运动规律和各阶段的监测预警阈值特征指标,建立滑坡泥石流(山洪)临灾预警等级划分指标、标准。综合预警平台建设,集成现有监测预警软硬件设备,建立基于滑坡泥石流形成过程预警的综合预警平台。

4. 龙门山区典型滑坡、泥石流发育区空间预警系统及应用示范研究

针对地震灾区特殊的地质构造特点和地质环境本底状况,以龙门山典型滑坡泥石流灾害敏感区的都江堰市白沙河流域为研究对象,开展区域滑坡泥石流危险性区划,摸清灾害的空间分布规律和本底条件,结合降雨致滑概率模型,以气象部门提供的前期有效降雨量和降雨概率为基础进行滑坡泥石流区域空间预警,建立龙门山区降雨型滑坡泥石流预警的指标体系,并根据滑坡概率的不同进行预警分级:蓝色预警、黄色预警、橙色预警和红色预警,达到对研究区进行降雨型滑坡预警的目的。并采取点面结合的方式和概率预警模型对研究区进行综合预警,最后集成到降雨型滑坡泥石流预警平台,对研究方法、成果及数据进行整合和应用。

5. 龙门山区典型滑坡泥石流实时监测预警临界指标及其应用示范研究

研发、引进和集成监测系统技术、通信技术和预警技术以及野外能源保障技术,建立滑坡泥石流监测预警系统,并在成都市极震区都江堰市开展应用示范研究。具体选择区域研究区都江堰白沙河流域2~3个典型地震滑坡泥石流作为试验示范对象,将研究形成的滑坡泥石流监测预警设备安装在相应的点位,依据流域特征进行传输模式的选择并安装,接入后端监测预警平台,建设典型滑坡泥石流研究示范点,进行监测预警示范并实时总结和修正监测预警指标与技术。

0.3 研究方法

运用野外实地考察,典型地质灾害勘测与剖析,野外观测、数值模拟与室内物理模型试验相结合,重点通过室内综合物理模型试验,解决滑坡泥石流降雨激发条件下启动变形破坏机制及降雨阈值的关键科学问题,实现预期目标。

1. 环境调查方法

通过野外调查与定点观测,选择典型区域(如“5·12”汶川地震极震灾区的都江堰市白沙河小流域)调查震裂坡地现状、稳定性状况及坡体下垫面情况等现场情况。选择典型滑坡泥石流作定点观测和监测,并建立监测点,现场监测降雨量与斜坡变形发展状况。

2. 统计分析方法

广泛收集现有降雨激发地质灾害方面的相关研究资料,主要包括地质灾害与降雨的关系及其数据,裂缝空间分布、裂缝发育程度、临空面要素对降雨入渗的影响等方面的资料,通过对这些基础数据的统计分析,揭示震裂坡地影响因素的客观规律。

3. 室内模拟试验

通过室内物理模型试验,对不同强度的降雨激发条件下滑坡泥石流在不同组合状态与发育程度条件下发生变形及破坏的物理过程进行模拟试验,建立降雨条件下滑坡泥石流破坏的物理过程与不同下垫面组合影响因素的耦合关系。通过室内人工降雨试验和物理模型试验,并结合数值模拟和野外监测数据,探明不同约束条件下降雨激发滑坡泥石流启动破坏的降雨阈值,为地震灾区震后地质灾害的降雨预警提供科学依据。

4. 数值模拟方法

离散单元方法是20世纪70年代发展起来的适用于散体力学数值模拟的计算方法,研究方法与传统的连续介质模型完全不同,是以固体颗粒运动学和接触力学理论建立的数值模型。拟基于高性能计算机,采用颗粒离散元方法,分析颗粒尺度流动结构特征,细致分析裂缝中与颗粒间的孔隙水动力作用,研究震裂坡地散体运动破坏的非线性动力学演化机制。

5. 开发降雨型滑坡泥石流实时监测设备、数据传输、数据处理系统

研发新型监测仪器设备,提升原有设备的技术性能和可靠性,形成滑坡泥石流动态变化实时跟踪的完整配套监测体系。实现稳定可靠的监测信号数据传输,克服在恶劣气象条件下容易丢失数据的弊端。搭建室内后期数据分析处理平台,建立多功能客户端,使预警信息能够准确及时到达设置目标位置。

研究方法如图0-1所示。

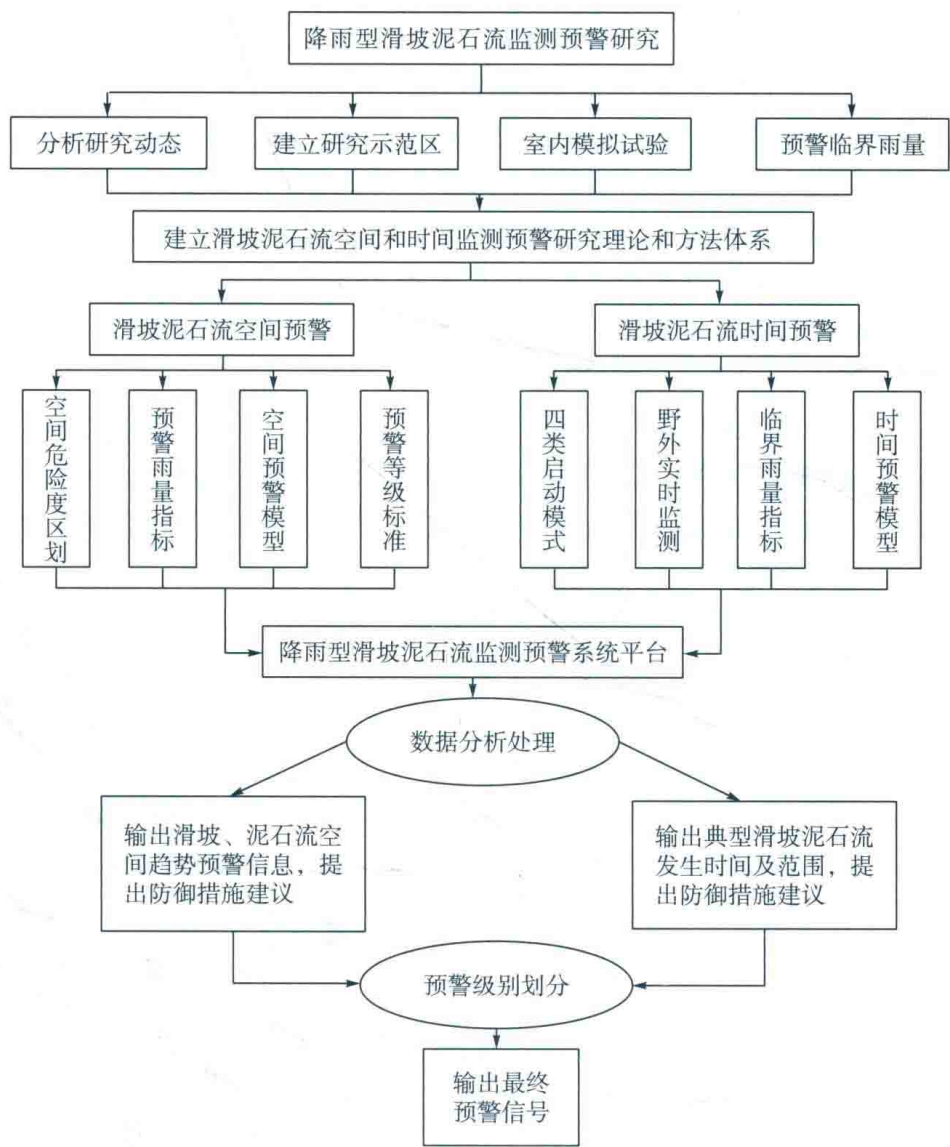


图 0-1 降雨型滑坡泥石流监测预警研究结构框图

0.4 研究成果

经过三年的研究和实践，作者在降雨型滑坡泥石流监测预警方面取得了以下初步研究成果：

(1) 建立了降雨型滑坡泥石流监测预警的基本理论体系(第 1 章)。通过对降雨型滑坡泥石流时、空监测预警的原理、分类、方法、技术标准等归纳和梳理，建立了较完整的区域滑坡泥石流及典型单体滑坡、单沟泥石流监测预警方法和理论体系，成为指导研究工作和实际应用的重要参考。

(2) 建立了降雨型滑坡泥石流监测预警的研究示范区(第 2 章、第 5 章)。选择汶川地震极灾震区(XI度区)的都江堰市白沙河小流域为区域空间滑坡泥石流空间监测预警示范区，选择小流域区内的塔子坪滑坡、银洞子沟泥石流(沟内滑坡、坡面物源)、干沟泥石流、