

降雨型地质灾害预报预警

—— 以黄土高原和秦巴山区为例

杜继稳 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

降雨型地质灾害预报预警

——以黄土高原和秦巴山区为例

杜继稳 等著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书以陕西黄土高原和秦岭、大巴山区为例,系统分析了黄土高原和秦巴山区两大区域地质灾害的时空分布特征,科学划分地质灾害风险区域,研究提炼出降雨型地质灾害预报预警判据,建立了诱发地质灾害暴雨预报技术流程和降雨型地质灾害精细化耦合预报预警模型,研发了基于 GIS 技术的地质灾害预报预警自动业务服务系统。

本书可供从事地质灾害预报工作的气象、地质工作者参考,也可作为从事地质灾害研究的科研人员和相关专业研究生阅读借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

降雨型地质灾害预报预警:以黄土高原和秦巴山区为例/杜继稳等著.
—北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-029034-2

I. ①降… II. ①杜… III. ① 地质灾害—预警系统—研究 IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 184290 号

责任编辑:彭胜潮 赵 冰/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 10 月第一次印刷 印张:12

印数:1—2500 字数:299 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

地质灾害是自然灾害的一个重要灾种,全世界几乎所有国家都不同程度地存在各类地质灾害,特别是在山区,每年都会发生滑坡、崩塌、泥石流等。中国更是一个地质灾害严重的国家,据卫星图像资料,全国有滑坡、泥石流灾害点 100 万处以上,经调查证实的大型滑坡灾害点有 7800 多处,泥石流灾害点有 11 100 多处。本书讨论的黄土高原和秦巴山区正是地质灾害易发区,特别是秦岭、大巴山地区更是我国地质灾害重灾区之一,具有发生频率高、分布地域广、突发性强、造成的灾害严重等特点。大量研究表明,因降雨诱发的地质灾害占地质灾害总数 65%~95%。近年来,随着社会经济的发展和人类活动的加剧,以及因气候变化的影响,极端降水事件频繁发生,使得滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害呈增加趋势,给人民生命财产和社会经济发展带来了严重影响。因此,研究科学、有效的降雨型地质灾害预报预警技术方法,提高地质灾害预报预警的能力和水平,为各级政府和相关部门有效地组织地质灾害防御提供科学决策依据,减少人员伤亡和经济财产损失,成为人们高度关注的热点问题,也是当今地球科学领域研究的热点科学问题,更是中国的气象和地质科技工作者致力于研究和探讨的问题。

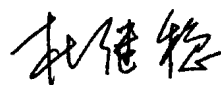
进入 21 世纪以来,气象和地质部门携手研究了气象与地质灾害的关系,特别是降雨同地质灾害的关系,联合开展了地质灾害发生趋势气象等级预报预警。近几年来,随着高时空分辨率综合自动气象观测网的建设和发展,以及精细化天气预报预警技术的进步和短时临近天气预报预警能力的提升,研究精细化降雨型地质灾害预报预警技术,研发基于 GIS 技术的地质灾害气象预报预警业务系统和诱发地质灾害暴雨自动报警系统已成为可能。为此,陕西气象和国土资源部门联手,在国土资源部地质调查局西安地质调查中心承担的国土资源大调查项目“延安宝塔区地质灾害监测预警示范”(水[2007]017-07)的子项目“延安市降水监测网建设及陕北黄土高原地质灾害降水临界值研究”(2007 水环地灾-3)、陕西省气象局 2005 年重点科研项目“黄土高原重大自然灾害监测预报研究”(2005 Z-3)的支持下,着眼于提升地质灾害预报预警能力和水平,着眼于实际业务应用和服务,研究降雨型地质灾害精细化预报预警技术。本书就是这项研究的成果。

本书共分 8 章,另有 2 个附录。其中第 1 章由杜继稳撰稿,第 2 章由王雁林撰稿,第 3 章由李明、赵世发撰稿,第 4 章由王雁林撰稿,第 5 章由李明、赵世发撰稿,第 6 章和第 7 章由杜继稳、张雅斌撰稿,第 8 章由杜继稳、赵世发、石明生、张雅斌撰稿。附录一由李明撰写,附录二由赵奎锋撰写。全书由杜继稳统稿、审改、定稿。

本书得到了陕西省气象局、陕西省国土资源厅、陕西省气象台、陕西省地质环境监测总站、商洛市气象局、安康市气象局、延安市气象局的大力支持和帮助,特别是得到了西安

地质调查中心和张茂省博士的支持、指导。作者在此一并表示感谢。

由于作者技术水平有限,加上时间仓促,本书内容难免有疏漏、谬误和不足之处,恳请同行专家和广大读者予以批评指正。



2010年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 地质灾害研究进展	1
1.2 预报预警对象	3
1.2.1 滑坡	3
1.2.2 崩塌	3
1.2.3 泥石流	4
1.3 降雨型地质灾害	5
1.4 使用资料	5
1.5 技术路线	6
参考文献	7
第 2 章 地质灾害的形成条件与诱发因素	8
2.1 地形地貌	9
2.1.1 黄土高原	9
2.1.2 秦巴山地	10
2.2 地质构造与地层岩性	12
2.2.1 地质构造	12
2.2.2 地层岩性	13
2.3 岩土体类型	14
2.3.1 黄土高原	14
2.3.2 秦巴山地	15
2.4 地下水条件	16
2.4.1 黄土高原	16
2.4.2 秦巴山地	17
2.5 气象与水文	17
2.5.1 气象	17
2.5.2 水文	19
2.6 社会经济及人类工程活动	19
2.6.1 社会经济	19
2.6.2 与地质灾害有关的人类工程活动	20
参考文献	22
第 3 章 地质灾害分布特征	23
3.1 黄土高原地质灾害分布特征	23

3.1.1	黄土高原地质灾害空间分布	23
3.1.2	黄土高原地质灾害时间分布	26
3.1.3	降雨型地质灾害特征	29
3.2	秦巴山区地质灾害分布特征	32
3.2.1	秦巴山区地质灾害空间分布	32
3.2.2	秦巴山区地质灾害时间分布	34
3.2.3	降雨型地质灾害统计特征	38
	参考文献	39
第4章	地质灾害风险区划及降水影响系数的确定	40
4.1	地质灾害风险区划思路	42
4.2	地质灾害危险性评价与区划	43
4.2.1	评价指标建立的原则	43
4.2.2	地质灾害危险性构成与指标选取	44
4.2.3	计算单元的剖分	46
4.2.4	基于GIS的信息量叠加	47
4.2.5	危险性分区结果	48
4.3	社会经济易损性评价与区划	48
4.3.1	评价指标选取	49
4.3.2	易损性计算模型	50
4.3.3	易损性分区结果	51
4.4	地质灾害风险评价与区划	51
4.5	降水影响系数的确定	53
	参考文献	56
第5章	地质灾害预报预警判据	57
5.1	黄土高原区地质灾害气象预报预警判据	57
5.1.1	地质灾害与降雨类型、强度的关系	58
5.1.2	地质灾害与前期降雨的关系	60
5.1.3	地质灾害与其发生前逐小时降雨的关系	62
5.1.4	诱发地质灾害降雨临界值	65
5.2	秦巴山区地质灾害气象预报预警判据	70
5.2.1	地质灾害与降雨类型、强度的关系	70
5.2.2	地质灾害与前期降雨的关系	73
5.2.3	地质灾害与其发生前逐小时降雨的关系	76
5.2.4	地质灾害气象预报预警判据	79
	参考文献	83
第6章	诱发地质灾害暴雨预报预警	85
6.1	诱发地质灾害暴雨定义	85
6.2	诱发地质灾害暴雨类型	86

6.2.1 短临强降雨型暴雨	86
6.2.2 连续强降雨型暴雨	87
6.2.3 持续降雨型暴雨	87
6.3 诱发地质灾害暴雨预报	87
6.3.1 诱发地质灾害暴雨短期预报	89
6.3.2 诱发地质灾害暴雨短时预报	90
6.4 诱发地质灾害暴雨临近预警	95
6.4.1 新型探测资料精细分析技术	95
6.4.2 诱发地质灾害暴雨临近预警	108
参考文献	113
第7章 降雨型地质灾害预报预警	114
7.1 降雨型地质灾害气象预报预警模型	115
7.1.1 预报预警思路	115
7.1.2 耦合预报预警模型	118
7.2 降雨型地质灾害预报预警	120
7.2.1 预报预警流程	120
7.2.2 降雨型地质灾害短期预报	121
7.2.3 降雨型地质灾害短时预报	122
7.2.4 降雨型地质灾害临近预警	122
7.2.5 降雨型地质灾害实时报警	123
7.3 基于 GIS 的地质灾害预报预警业务服务系统	123
7.3.1 降雨型地质灾害预报预警业务服务系统设计	123
7.3.2 产品制作与发布	124
参考文献	126
第8章 降雨型地质灾害典型个例	127
8.1 黄土高原降雨型地质灾害典型个例	127
8.2 秦岭山区降雨型地质灾害典型个例	138
8.2.1 个例 1: 1998 年 7 月 9 日丹凤、商南特大暴雨诱发地质灾害	138
8.2.2 个例 2: 2003 年 8 月 28~29 日宁陕县特大暴雨诱发地质灾害	147
8.3 大巴山山区降雨型地质灾害典型个例	157
8.4 诱发地质灾害暴雨两个例对比分析	165
参考文献	170
附录一 地质灾害数据库	172
附录二 降雨型地质灾害预报预警系统	180

第 1 章 绪 论

地质灾害是自然灾害中的一个重要灾种,它主要包括滑坡、崩塌、泥石流、地裂缝、地面塌陷、地面沉降、水土流失和地震等。全世界几乎所有的国家都不同程度地有各类地质灾害,特别是在山区,每年都会发生滑坡、崩塌、泥石流和水土流失等,而且具有发生频率高、分布地域广、突发性强、造成的灾害严重等特点。中国更是一个地质灾害严重的国家,据卫星图像资料,全国有滑坡、泥石流灾害点 100 万处以上,经调查证实的大型滑坡灾害点有 7 800 多处,泥石流灾害点 11 100 多处。1949 年以来,中国内地共发生破坏较大滑坡泥石流灾害 5 000 多次,造成重大损失的严重灾害事件 1 000 多起。这种地质灾害不仅给人类生命带来威胁,而且对环境、资源、财产均具有破坏性。有时地质灾害造成的人员伤亡和财产损失大到令人难以想象的地步。例如 2006 年 2 月 16 日,因拉尼娜现象两周连降暴雨导致菲律宾莱特岛山体松动,发生大规模的泥石流,造成约 400 人丧生,2 000 多人失踪,另有 500 多间房屋被掩埋,而该岛一共有居民 2 500 人,房屋不到 600 间。又如,1970 年秘鲁因地震引发瓦斯卡兰山泥石流,500 多万米³的雪水夹带泥石,以 100 km/h 的速度冲向秘鲁的容加依城,造成 2.3 万人死亡,灾难景象惨不忍睹。再如,1985 年哥伦比亚的鲁伊斯火山泥石流,以 50 km/h 的速度冲击了近 3 万 km² 的土地,其中包括城镇、农村,造成 2.5 万人死亡、15 万家畜死亡、13 万人失去家园,哥伦比亚的阿美罗城成为废墟,经济损失高达 50 亿美元。1999 年 12 月 16 日凌晨,委内瑞拉阿拉维山北坡因暴雨诱发,在加勒比海沿岸 6 座旅游城市同时被群发性泥石流冲毁,死亡 3 万余人,直接经济损失 100 多亿美元。据中国地质环境监测院的不完全统计,1995~2003 年,我国因滑坡、崩塌、泥石流和地面塌陷等突发性地质灾害共造成 10 499 人死亡和失踪、65 356 人受伤、575 亿元财产损失,平均每年死亡和失踪 1 167 人,财产损失 64 亿元。

滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害在我国分布十分广泛,除上海、天津外,各省(区、市)均受到不同程度的危害,特别是斜贯我国中部的辽、京、冀、晋、陕、甘、鄂、川、滇、贵、渝等省(区、市),地处中国西部高原山地向东部平原、丘陵的过渡地带,区域内地形起伏变化大,河流切割强烈,受季风气候影响,暴雨集中,加之经济社会发展,人类活动加剧,天然植被不断减少,地表斜坡平衡破坏严重,导致滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害发育分布密度大、活动频繁,是我国滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害最严重的地区,其中,云贵高原龙门山-横断山-五莲峰-乌蒙山、长江三峡、秦岭-大巴山、黄土高原的陇中高原和陕北高原、长白山-燕山-太行山等区域最为突出^[1]。本书讨论的黄土高原及秦巴山区正是我国地质灾害严重地区之一,而且黄土高原地质灾害与秦岭-大巴山地质灾害具有不同特征。

1.1 地质灾害研究进展

“地质灾害”的概念最早是由前国际工程地质协会主席 Arnould 教授在 1976 年提出

来的,他把滑坡、崩塌、泥石流、地震等灾害看成是一种地质灾害,以后逐渐被各国采用。20世纪70年代后期以及整个80年代,美国地质调查局开展了大量的滑坡、崩塌、泥石流的实际调查和危险性区划研究工作。1987年联合国第42届大会通过169号决议,决定从1990年开始到1999年在世界范围开展“减轻自然灾害十年”行动计划,之后“地质灾害”一词频繁出现在专业文献和新闻媒体中,从此地质灾害等各类自然灾害受到全世界的高度关注。但对滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害的研究并非是从此开始,而是早在20世纪40年代就开始了。

我国滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害的研究可大致划分为三个阶段^[3~17]:

第一阶段:20世纪50~80年代。20世纪50年代初,为了整治宝天铁路,当时的铁道部在1951年成立了塌方泥石流小组,1956年在兰州铁路局成立塌方研究站,主要在宝成铁路线上作滑坡的整治和路基设计方面的研究。1959年铁道部在西安成立“铁道部塌方科学技术研究所”,深入研究崩塌、滑坡发生发展规律及其防治办法。1973年在陕西西安还专门召开“铁路滑坡防治经验交流与科研协作会议”,根据此次会议对科研协作的安排,开展了“全国铁路滑坡分类与规律”的普查。此时的研究已由工程点的研究转向滑坡群体和区域分布规律的研究,同时开展了模型试验研究和空间预测。之后,滑坡发生机理的研究更趋于系统化,滑坡的定量预测和遥感图像用于分类、预测的研究也相继开展。国内泥石流的研究也始于20世纪50年代,当时的铁路与交通部门、中国科学院和部分大专院校针对修建川藏公路、宝成铁路、成昆铁路中所面临的泥石流影响,率先开展研究。从泥石流类型入手,分析泥石流发生的动力学特征,研究泥石流发育特征、沉积特征和发育史,进而揭示泥石流分布的时空规律。

第二阶段:20世纪90年代至21世纪初。这主要是以联合国开展“减轻自然灾害十年”行动为标志,当时国家科学技术委员会社会发展科技司组织中国地震局、中国气象局、国家海洋局、水利部、地质矿产部、农业部、林业部的专家对严重危害我国的地震、气象、海洋、洪涝、地质、农业及森林等重大自然灾害的灾害特点、规律和对策进行综合的、系统的、全面的调查研究;正是在这种情况下,我国乃至各省(区、市)全面开展了滑坡、崩塌和泥石流等地质灾害的研究。在这10年期间对地质灾害的调查、研究、监测和防治等方面开展了大量工作,对全国地质灾害进行了全面综合评价,编制了以地质灾害为主的全国环境地质图和各省地质灾害现状调查图。在“八五”和“九五”计划期间,国家组织了地质灾害防治和监测预报的技术攻关,系统地解决我国地质灾害减灾防灾的技术难题,为地质灾害防治初步形成了一套基于地质工程理论和方法的地质灾害防治技术方法体系,同时成功地开展了许多重点地质灾害的防治工作。

第三阶段:21世纪初以来。这主要以2003年4月7日国土资源部和中国气象局签订《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》为标志。由于滑坡、崩塌、泥石流的发生条件分为两类:一是内因,即环境条件,主要有地质、地貌和地质结构等条件;二是外因,即诱发条件,包括地震、降雨、融雪(冻融)和人类工程活动等。外因对地质灾害的发生起触发作用,其中降雨是最主要和最常见的触发因素。正是基于此,国土资源部同中国气象局签订协议,在全国联合开展地质灾害气象预报预警。此时地质灾害研究的重点,是气象与地质灾害的关系,特别是降雨同地质灾害的关系、预报预

警临界降雨阈值、地质灾害预报预警方法和预报预警业务系统研究,以达到提高地质灾害气象预报预警的精度和水平的目的。

1.2 预报预警对象

黄土高原和秦巴山区的主要地质灾害是滑坡、崩塌和泥石流,故本书主要研究这三类地质灾害的预报预警。

1.2.1 滑 坡

滑坡是指大量的山体物质在重力作用下,沿着其内部的一个滑动面,突然向下滑动的现象。滑坡,顾名思义,一是“滑”,二是“坡”。无“坡”不“滑”,在平原不会出现滑坡,只有在陡峭的山区在重力的作用下,高处的物质向低处运动,才有可能出现滑坡。但另一方面,有“坡”未必“滑”,只有当满足一定的条件后,高处物质的势能才有可能转化为向低处运动的动能,出现滑坡灾害。重力是造成滑坡的根本原因,在重力作用下,许多物质沿斜坡面虽然有向下滑动的趋势,却保持稳定,只有当某些外界因素发生少许的变化,达到滑动的条件,长期积累的重力势能瞬间释放出来,才能产生滑坡灾害。把这个能够引起外界因素的变化,达到滑动的条件,称为滑坡的触发因素。能够触发滑坡的原因主要有:①地震的影响;②水的作用,连续的降雨或冰雪融化,使土壤饱和,导致滑动面润滑,使滑动面摩擦力减小,造成滑坡;③人类工程活动,例如,人为的不合理的开挖,破坏了山体系统的力学平衡,造成滑坡,在实际中第二种情形同第三种情形往往相互作用,更易造成滑坡。按物质组成,可将滑坡分为以黄土为主体的土质滑坡和以基岩为主体的岩质滑坡两类;若按运动形式,可将滑坡分为以后部推动为表现形成的推移式滑坡和以前缘牵引为表现形式的牵引式滑坡两类;若按发生原因,可将滑坡分为以人类活动为主的工程滑坡和以自然因素为主的自然滑坡两类;若按滑体厚度,则可分为浅层滑坡($<10\text{m}$)、中层滑坡($10\sim 25\text{m}$)、深层滑坡($25\sim 50\text{m}$)和超深层滑坡($>50\text{m}$)四类;若按滑体体积(万 m^3),则可分为小型滑坡($<10\text{万 m}^3$)、中型滑坡($10\text{万}\sim 100\text{万 m}^3$)、大型滑坡($100\text{万}\sim 1\,000\text{万 m}^3$)和特大型滑坡($>1\,000\text{万 m}^3$)四类。毋庸置疑^[5],在黄土高原滑坡均是黄土滑坡和牵引式滑坡,以自然滑坡($80\%\sim 90\%$)、浅中层滑坡($>95\%$)和小中型滑坡($70\%\sim 85\%$)为主。在秦巴山区^[7],滑坡的物质组成可分为堆积层滑坡、黏性土滑坡和岩质滑坡三类;若按滑坡厚度,可分为浅层滑坡、中层滑坡和深层滑坡三类;若按滑坡规模,则可分为小型滑坡、中型滑坡和大型滑坡三类;在秦巴山区,滑坡以浅层(90.9%)、堆积层滑坡(82.3%)为主,滑坡规模以小型为主(89.6%)。

1.2.2 崩 塌

崩塌是指在陡峻的斜坡上,巨大岩块或土体在重力作用下突然而猛烈地向下倾倒、翻滚、崩落的现象。同滑坡类似,重力是造成崩塌的根本原因,只是两者在表现形式和机制

上有所差异。按物质组成,可将崩塌分为土质崩塌和岩质崩塌两类;按崩塌体积(万 m^3),可分为小型崩塌($<1 \text{ 万 m}^3$)、中型崩塌($1 \text{ 万} \sim 10 \text{ 万 m}^3$)、大型崩塌($10 \text{ 万} \sim 100 \text{ 万 m}^3$)和特大型崩塌($>100 \text{ 万 m}^3$)四类;按形成机理,可分为受倾覆力矩作用的倾倒式崩塌、因滑移面受剪切力作用产生的滑移式崩塌、因下部岩层受垂直挤压产生的鼓胀式崩塌、主要受拉张力影响产生的拉裂式崩塌和因自重引起剪切力影响产生的错断式崩塌五类。在黄土高原^[6],以土质崩塌($>90\%$)和小中型崩塌($>85\%$)为主;在形成机理上,以延安宝塔区为例,主要是:①倾倒式崩塌(42.3%),在陡立或悬空边坡地段,坡体在自重重力所产生的倾覆力矩作用下,沿黄土垂直节理或风化、卸荷节理裂隙面以倾倒形式而产生的崩塌;②滑移式崩塌(26.9%),在陡坡地带,由于雨水的入渗侵蚀、软化作用或风化作用,沿顺坡向节理面、古层面或者软硬相间岩层面形成软弱带,坡体发生剪切而产生的崩塌;③错断式崩塌(25.1%),在直立边坡地段,岩体或黄土在重力作用下沿垂直节理或裂隙面产生剪切力,下错而产生崩塌。在秦巴山区^[7],崩塌主要分布在地形切割强烈、边坡陡峻的沟谷或陡坡和松散层厚或软弱及软硬相间的岩层,特别是母岩为花岗岩风化强烈、裂隙发育地段,以断层崖崩塌为主,而且规模较大,顺断裂构造呈带状分布,而且具有群发性特征。

1.2.3 泥 石 流

泥石流是沙石、泥土、岩屑和石块等松散固体物质和水的混合体在重力作用下沿着沟或坡面向下运动的特殊流体。泥石流是介于流水与滑坡之间的一种地质作用,由悬浮着粗大固体碎屑物质并富含沙石及黏土的黏稠泥浆组成。在适当的地形条件下,大量的水体浸透山坡中的固体堆积物质,使其稳定性降低,饱含水分的固体堆积物质在自身重力作用下发生运动,就形成泥石流。泥石流可根据其“泥”和“石”的比例分为三类^[1]:①黏性泥石流,即“泥”少“石”多,固体物质占 $40\% \sim 50\%$,最高达 80% ,该类泥石流暴发突然,持续时间短,破坏力大;②稀性泥石流,即“泥”多“石”少,固体物质占 $10\% \sim 40\%$;③过渡性泥石流,“泥”和“石”大体相当。若按泥石流的成因,可分为冰川型泥石流和降雨型泥石流两类;若按泥石流的沟的形态,可分为沟谷型泥石流和山坡型泥石流两类;若按泥石流流域的大小,可分为小型泥石流、中型泥石流和大型泥石流三类;若按泥石流的发展阶段,可分为发展期泥石流、旺盛期泥石流和衰退期泥石流三类。泥石流的形成必须具备三个条件:一是地形,孕育泥石流的地域一般地形陡峭,山坡的坡度大于 25° ,沟床的坡度不小于 14° 。巨大的相对高差使得地表物质处于不稳定状态,容易在外力作用下,如降雨、冰雪融化等,发生向下的滑动,形成泥石流。二是松散固体物质,在孕育泥石流的地域,即在泥石流的形成区,有大量积聚的泥沙、岩屑、石块等松散堆积物,为泥石流的形成提供必要的固体物质。三是水源,水不但是泥石流的重要组成部分,而且是决定泥石流的最重要的影响因素。以上三者缺一不可,当大量的地表水在陡峭的沟谷中流动时,浸润、冲蚀沟床物质,随着冲蚀强度的加大,沟内固体松散堆积物质松动、失稳,被猛烈掀揭、铲刮,并与水流搅拌混合而形成泥石流。泥石流在黄土高原发生较少,主要发生在秦巴山区,主要分布于植被覆盖较低、基岩相对破碎,崩塌、撤落较发育的短支水系、冲沟下部或沟口。往往发生在暴雨山洪时,当较厚松散层斜坡体受强烈地表水流作用,在坡洪水片流的冲刷搬运下,出

现泥、沙、石块与洪水成一体,而形成泥石流。在秦巴山区,山坡型泥石流流域面积小,具突发性,危害性大;河谷型泥石流流域面积大,一般沿水系河谷分布。

1.3 降雨型地质灾害

根据前面的讨论,滑坡、崩塌、泥石流灾害的发生,一是受地质和地貌条件制约,这是内因,是基础条件;二是受地震、降雨、融雪(冻融)和人类工程活动影响,这是外因,是触发条件。在这四种触发条件中,根据许多研究和分析,降雨是最主要、最直接和最常见的触发因素。

许多研究都表明^[18~30],滑坡、崩塌、泥石流灾害集中发生在暴雨季节(占95%以上),特别是集中发生在主汛期。而且集中分布于久雨或暴雨区;雨量越大的地区,各类地质灾害越发育;各类地质灾害剧烈活动的时间与降雨强度的时间吻合或略滞后,各类地质灾害活动的周期受降雨周期的控制。因降雨诱发的各类地质灾害占地质灾害总数的69%~90%。贵州省分析表明,因降水特别是暴雨因素诱发的地质灾害占72%,人为因素占28%;根据江西省的分析,地质灾害形成的主导因素以暴雨为主,占总点数的79.7%;湖北省的分析表明,以降雨为主要动力和受降雨触发的滑坡占80%以上;在长江上游地区,因降雨诱发的滑坡占滑坡总数的70%;在重庆市,大降水诱发的滑坡占山体滑坡数的96.6%;据突发性地质灾害的分类统计,陕西省持续降雨诱发的滑坡占其总发生量的65%,其中局地暴雨诱发的约占总发生量的66%;丹东的分析表明,地质灾害直接由自然原因(主要是强降雨)诱发的占70%以上。另外,据突发性地质灾害的分类统计,持续降雨诱发的地质灾害占其总发生量的65%,局地暴雨诱发的约占43%。因此,本书讨论的对象是因降雨,特别是因暴雨诱发的滑坡、崩塌、泥石流灾害的预报预警。抓住了降雨型地质灾害,也就抓住了问题的关键。

1.4 使用资料

本书所使用的资料主要包括以下三类。

1) 地质灾害资料

地质灾害资料主要来自于国土资源部门和灾害年鉴,还有一些实地调查资料。包括1950年以来,特别是1960年以来的历史地质灾害统计资料,统计要素有滑坡、崩塌、泥石流三类地质灾害的发生时间、地点、规模、经济损失和灾情等。

2) 气象观测资料

气象观测资料主要是降水资料和用于诱发地质灾害暴雨分析的天气图资料。其中降水资料包括国家气象站和乡镇自动气象站观测资料,为逐小时降水资料。

3) 社会经济资料

社会经济资料主要来自于政府有关部门和年鉴资料,包括当地人口、GDP、耕地、工农业生产值、土地利用等,精确到县、乡。

1.5 技术路线

目前,地质灾害气象预报预警主要停留在短期预报时段,即未来 24 小时地质灾害发生可能性预报,而且是一种面上分布趋势预报。但近年来,随着综合气象观测能力的提升,特别是自动气象观测和区域加密自动气象观测网的建设,以及新一代多普勒天气雷达监测网的建设,天气预报预警技术不断提高,同时这也给地质灾害预报预警水平和能力的提升提供了技术支撑,使得地质灾害气象预报预警技术提高成为可能。特别是遵循以人为本,要求一旦滑坡、崩塌、泥石流灾害发生时,首先不危及生命,这就需要提高降雨型地质灾害预报预警的精细化水平。精细化就是提高地质灾害预报预警的时空分辨率。首先是在未来 24 小时地质灾害发生可能性预报的基础上,实现降雨型地质灾害的短时预报(≤ 12 小时和 ≤ 6 小时)和临近预警(≤ 2 小时),或在过去预报的基础上实现降雨型地质

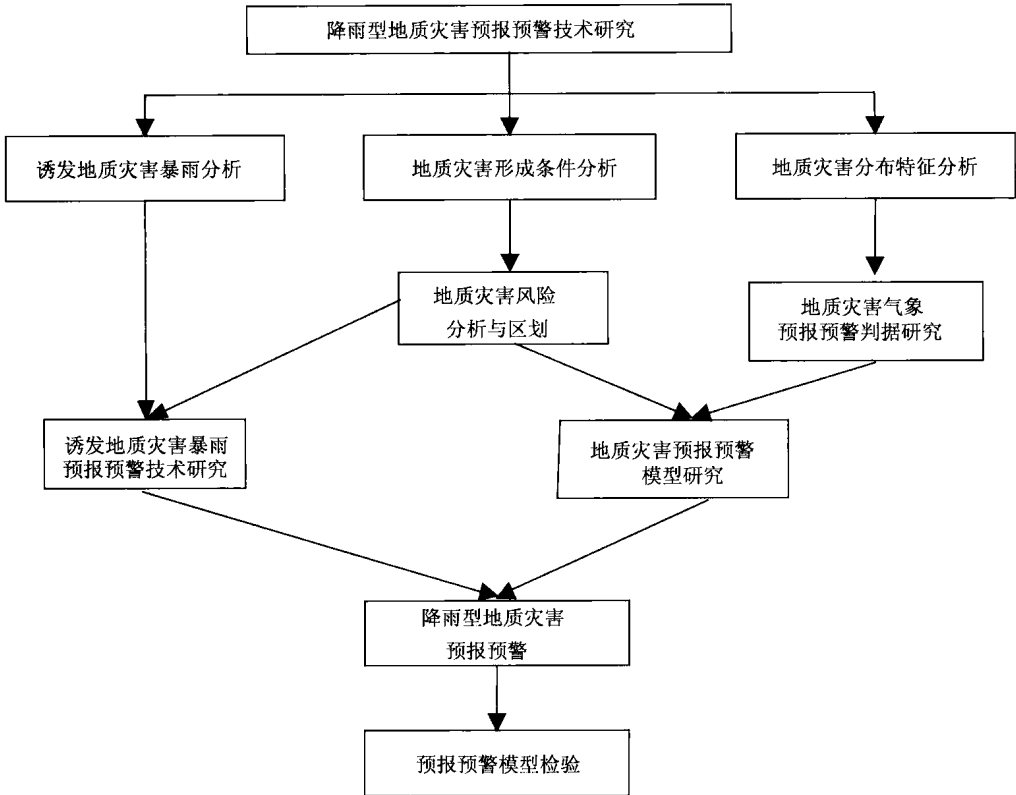


图 1.1 降雨型地质灾害预报预警技术研究思路

灾害的临报和警报;然后是在过去面上分布趋势预报的基础上实现降雨型地质灾害细网格预报或乡镇预报。为了实现这一目标,本项研究采取如图 1.1 所示的技术思路。一是地质灾害形成条件分析,进而做地质灾害风险分析和区划;二是地质灾害分布特征分析,进而研究地质灾害气象预报预警判据;三是诱发地质灾害暴雨分析,进而结合地质灾害风险区划成果,研究诱发地质灾害暴雨预报预警技术和流程;四是基于以上基础性工作,结合地质灾害风险分析、区划和地质灾害气象预报预警判据研究成果,研究地质灾害预报预警模型;五是利用诱发地质灾害暴雨预报预警技术和地质灾害预报预警模型,建立降雨型地质灾害精细化预报、预警业务,并进行应用效果检验。

参 考 文 献

- [1] 陈颙,史培军. 自然灾害. 北京:北京师范大学出版社,2008.
- [2] Arnould M. Geological hazards-insurance and legal and technical aspects. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 1976, (14): 263—274.
- [3] 王静爱,史培军,王平,等. 中国自然灾害时空格局. 北京:科学出版社,2006.
- [4] 张书余. 地质灾害气象预报基础. 北京:气象出版社,2005.
- [5] 张茂省,校培喜,魏兴丽,等. 延安宝塔区滑坡崩塌地质灾害. 北京:地质出版社,2008.
- [6] 殷坤龙,张桂荣. 地质灾害风险区划与综合防治对策. 安全与环境工程, 2003, 10(1): 32—35.
- [7] 孙果梅,况明生,曲华. 陕西秦巴山区地质灾害研究. 水土保持研究, 2005, 12(5): 240—243.
- [8] 王雁林. 陕西地质灾害预报实例分析及模式探讨. 灾害学, 2006, 21(4): 71—74.
- [9] 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. 地质灾害与环境保护, 2005, 16(4): 345—349.
- [10] 陈百炼. 降水诱发地质灾害的气象预警方法研究. 贵州气象, 2002, 26(4): 4—7.
- [11] 程晓露,张华莉. 陕西省地质灾害气象预报预警系统的应用与现状. 陕西地质, 2005, (12): 84—89.
- [12] 李慧琳,宫焕盛,韩卫东. 丹东地区地质灾害气象预警系统. 气象与环境学报, 2007, 23(1): 12—16.
- [13] 岳建伟,王斌,刘国华,等. 地质灾害预警预报及信息管理系统应用研究. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 60—63.
- [14] 刘传正,温铭生,唐灿. 中国地质灾害气象预警初步研究. 地质通报, 2004, 23(4): 30—309.
- [15] 彭贵芬,段旭,张杰,等. 云南滑坡泥石流灾害精细化气象预警系统. 气象科技, 2008, 36(5): 627—630.
- [16] 魏永明,谢又予. 降雨型泥石流(水石流)预报模型研究. 自然灾害学报, 1997, 6(4): 48—54.
- [17] 江凯,许模,毛邦燕,等. 重庆市汛期地质灾害气象预报平台开发与应用. 水土保持研究, 2007, 14(1): 79—81.
- [18] 刘勇,王川,侯明全. 降雨对陕西山洪灾害的触发作用. 陕西气象, 2005, (1): 1—4.
- [19] 钟荫乾. 滑坡与降雨关系及其预报. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(4): 81—86.
- [20] 林孝松,郭跃. 滑坡与降雨的耦合关系研究. 灾害学, 2001, 16(2): 87—92.
- [21] 马力,曾祥平,向波. 重庆市山体滑坡发生的降水条件分析. 山地学报, 2002, 20(2): 246—249.
- [22] 张玉成,杨光华,张玉兴. 滑坡的发生与降雨关系的研究. 灾害学, 2007, 22(1): 82—85.
- [23] 陈正洪,孟斌. 湖北降雨型滑坡泥石流及其降雨因子的时空分布相关性浅析. 岩土力学, 1995, 16(3): 62—69.
- [24] 蔡晓禾,黄志刚. 福建省降雨与地质灾害关系的初步研究. 科技资讯, 2008, (10): 120, 121.
- [25] 胡伯谦. 河北省诱发山洪灾害的临界雨量分析. 南水北调与水利科技, 2006, 4(5): 28, 29.
- [26] 柳源. 滑坡临界暴雨强度. 水文地质工程地质, 1998, (3): 43—45.
- [27] 李晓. 重庆地区的强降雨过程与地质灾害的相关分析. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 6(3): 39—42.
- [28] 谢剑明,刘礼领,殷坤龙,等. 浙江省滑坡灾害预警预报的降雨阈值研究. 地质科技情报, 2003, 22(4): 101—105.
- [29] 高华喜,殷坤龙. 降雨与滑坡灾害相关性分析及预警预报阈值之探讨. 岩土力学, 2007, 28(5): 1055—1066.
- [30] 李军,周成虎. 香港滑坡体积与前期降水关系分析. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 37—45.
- [31] 陕西省减灾协会. 秦巴山区山地自然灾害. 西安:世界图书出版公司, 1999.

第 2 章 地质灾害的形成条件与诱发因素

黄土高原及秦巴山地自然地理和地质条件复杂,是我国地质灾害多发地区之一,区内地质灾害主要发育有滑坡、崩塌、泥石流和地面塌陷等类型。黄土高原及秦巴山地地质灾害的形成发育,是在一定的地质地貌、地层岩性、降水、人类活动等多因素相互影响、相互约束条件下,当地质环境稳定状态遭到破坏后,从而诱发地质灾害。地形地貌、地层岩性是基础条件,其演变累积到一定程度,会在降水等作用下发生地质灾害。而人类活动对地质灾害的发生,往往有着引发加剧的作用,特别是随着人类活动对地质环境扰动强度的加剧,引发地质灾害呈上升趋势。本章在总结分析该区地质灾害形成、发展变化各类因素的基础上,将黄土高原和秦巴山地地质灾害的形成变化因素分为形成条件和诱发因素两大类加以分析研究。地质灾害的形成条件包括地形地貌、地层岩性、地质构造、岩土体类型和水文地质条件等方面;地质灾害的诱发因素主要从气象和人类工程活动两个方面加以分析。黄土高原和秦巴山地的地质灾害就是在上述特定的地质环境条件下孕育,在一定的诱发因素下产生,其地质灾害类型等各不相同,黄土高原地质灾害主要以崩塌、滑坡、地面塌陷为主;秦巴山地地质灾害主要以泥石流、堆积层滑坡为主(图 2.1)。这些地质灾害给人民群众造成了严重的生命财产损失。本书中所指的黄土高原南界至秦岭以北,范围包括陕北黄土高原和渭河平原。

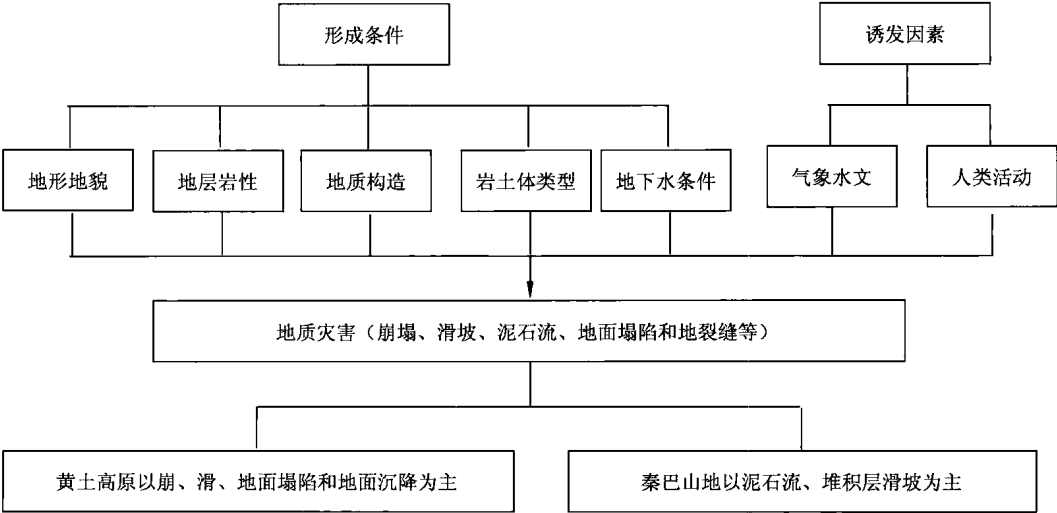


图 2.1 黄土高原和秦巴山地地质灾害形成条件及诱发因素分析图

2.1 地形地貌

地形地貌反映了一定的地面起伏形态,为地质灾害的发育和形成提供了基本条件。

2.1.1 黄土高原

黄土高原总的地形特征是西北高、东南低。海拔一般 900~1 500m。大致以长城为界,西北部为毛乌素沙地,南部至秦岭北麓。地貌由北向南分为沙漠滩地、黄土梁、黄土梁峁、黄土残塬和黄土塬、平原(图 2.2)。

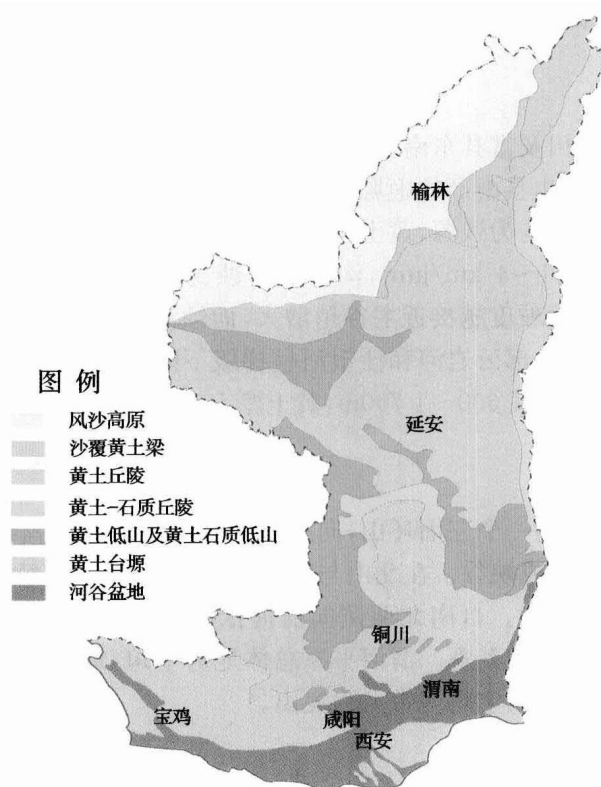


图 2.2 黄土高原地貌图

沙漠高原地势西高东低,地形较平坦,海拔 900~1 400m,以活动沙丘、沙垄及片沙为主。黄土高原,延安以北为黄土梁峁区,沟壑纵横,地形破碎,梁峁顶面海拔 800~1 800m,切割深度 100~400m,黄土厚 50~70m,延安以南为黄土塬区,塬面平坦,周边沟谷深切,其洛川塬为最大的黄土塬,西南缘分布有岛状中低山,海拔 1 400~1 800m,植被覆盖率高^[1~3]。本章重点介绍容易引发地质灾害的地貌类型。