

国家科技支撑计划2008BAK50B03-04专题研究成果

中国地震次生地质灾害 区域风险评估

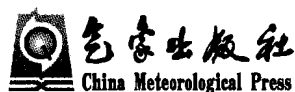
高庆华 刘惠敏 李晓丽 张业成 编著



国家科技支撑计划 2008BAK50B03-04 专题研究成果

中国地震次生地质灾害 区域风险评估

高庆华 刘惠敏 李晓丽 张业成 编著



内容提要

本书在对我国有记录以来的地震次生地质灾害调查分析的基础上,总结了地震次生地质灾害的区域分布规律和地震烈度与地震次生地质灾害活动程度之间的关系,查明了地震次生地质灾害发生的环境条件,研究了强震次生灾害链主要灾害风险评估技术。然后,以地震和地质灾害发展趋势为据,结合我国区域地质环境条件和社会经济情况的变化,对全国地震次生地质灾害的区域危险性、危害性和风险性进行了区域评估,并编制了相关区划图。

本书可供制定土地利用规划、防震减灾规划和灾害科学研究参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国地震次生地质灾害区域风险评估/高庆华等著. —北京:
气象出版社, 2011. 4

ISBN 978-7-5029-5194-8

I. ①中… II. ①高… III. ①地震次生灾害-风险分析-中国
IV. ①P315.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 047516 号

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

总 编 室: 010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑: 张 斌

封面设计: 博雅思企划

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

字 数: 332 千字

版 次: 2011 年 4 月第 1 版

定 价: 46.00 元

邮政编码: 100081

发 行 部: 010-68406961

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审: 黄润恒

责任技编: 吴庭芳

印 张: 13.25

印 次: 2011 年 4 月第 1 次印刷

前言

一、目的和意义

我国是世界上地震活动最强烈和地震灾害最严重的国家之一。

由四川汶川大地震所反映出的破坏性地震日趋严重的现实灾害和潜在威胁,正在深刻地影响着国家乃至国际政治、经济、社会、科学、文化、安全、外交各层面,考验着国家和民族应对危机的能力,挑战着各国国家战略和整体实力。地震安全已成为人类社会共同应对的挑战。

目前,我国的经济社会建设正处在重要的历史转型期,面对日趋严峻的地震安全形势,在经济迅速增长、社会财富急剧积累、城市化进程加速、国家整体实力不断提升、人民群众生活质量显著提高的同时,切实保护好人民群众的生命财产安全,最大限度地减轻地震对经济社会建设、运行和发展的冲击,对国家地震风险控制和地震安全提出了新的更高的要求。构建国家地震风险评估和安全评价体系对加强党的执政能力建设和社会主义现代化建设至关重要。

地震活动除直接造成的损毁外,还往往诱发出一系列次生灾变,如火灾、滑坡、泥石流、水灾、海啸、瘟疫,破坏社会功能,破坏人工环境等,形成地震灾变链。由地震灾变链所造成的所有损失统称为地震灾害,其损害的范围如图 1 所示。其中,由地震波造成的天然环境破坏、人工环境破坏、社会功能破坏等直接损失所引起或诱发的灾害如次生地质灾害、次生洪水灾害、室内财产损失、生命线工程破坏和人员死伤等,称为地震次生灾害(图 1)。

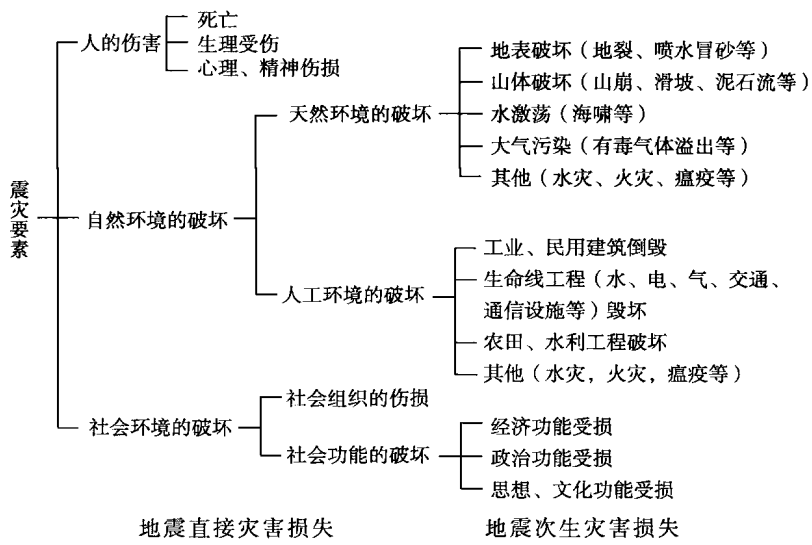


图 1 地震灾害链示意图

四川汶川地震损失调查说明,地震次生灾害在地震灾害损失中所占比例很大,因此是地震灾害风险综合评估的重要组成部分。而且随着人类对环境的破坏,地震次生灾害越来越严重。

为了防震减灾的需要,近 20 年来我国开展了地震灾害预测、快速评估和现场评估研究,制定了地震应急与地震灾害评估等方面的各种管理法律法规,并依据我国的建筑结构及其地震易灾性特点针对建筑物结构类型,发展了相应的震害预测方法。在此基础上,我国在 20 世纪 90 年代初期编制了我国未来地震灾害损失分布图,90 年代中期完成了“十年尺度中国地震灾害损失预测研究”等工作。90 年代中期以后,我国开展十年时间尺度的地震危险区中长期预测研究和未来 10 年地震灾害损失预测研究,综合确定我国 1996—2005 年地震重点监视防御区,且编制了地震重点监视防御区图。与此同时,原国家科委、国家计委、国家经贸委自然灾害综合研究组在中国人民保险公司支持下,完成了包括气象灾害、洪涝灾害、地质灾害、地震灾害在内的灾害危险性、危害性、风险性综合研究和区划图的编制。进入 21 世纪之后,在国家科技部资助的科研院所社会公益研究项目《2006—2020 年中国大陆地震危险区与地震灾害损失预测研究》基础上,编制完成了“2006—2020 年全国地震重点监视防御区图”。但是对地震次生地质灾害却缺乏系统的研究,汶川地震后才得到重视。2009 年在《中国重大自然灾害风险等级综合评估技术研究》项目中设立了《重大地震灾害及其灾害链综合风险评估技术》研究课题(课题编号 2008BAK50B03)。该课题内容包括:我国强震孕灾环境综合分析、评价和综合区划研究;我国强震危险性、危害性、防震减灾能力和风险综合评估;我国强震次生灾害和灾害链危险性评估;区域强震灾害风险评估技术构建;强震灾害致险因子数据库建设;强震灾害风险防范关键技术;编制我国 1:100 万强震灾害风险等级图及技术说明。其最终目的是通过该课题研究,获取我国强震孕灾环境综合评价和区划结果;确定我国区域强震危险性、危害性、防震减灾能力和风险等级;提出我国强震灾害风险防范关键技术;为我国合理防范、规避强震灾害风险,实现区域协调、可持续发展提供科技支撑。

《强震次生灾害和灾害链危险性评估》是《重大地震灾害及其灾害链综合风险评估技术》课题中的一个专题(专题编号 2008BAK50B03-04)。该专题的目标任务是:在对我国强震灾害及其次生灾害调查的基础上,以汶川等强震巨灾为例,对强震引发的次生灾害和灾害链(如山区的大型滑坡体等地质灾害、堰塞湖引发的洪水危险、城市中可能的火灾等)危险性进行评估,确定我国强震次生灾害和灾害链危险分区及其主要类型。

《中国地震次生地质灾害风险区域评估》是《强震次生灾害和灾害链危险性评估》专题的子专题。由于强震次生灾害种类很多,其中次生地质灾害发生概率最多,破坏范围最广,因此确定为本子专题命题和研究的重心。

二、研究目标和内容

根据课题与专题设计,该子专题研究目标是根据其他专题预测的未来 10—20 年强震的分布和震级及次生灾害数据库资料,利用强震次生灾害及灾害链风险分析模型,对中国地震次生地质灾害进行区域风险性评估。

为了实现上述研究目标,根据课题与专题的要求,以及为我国综合防震减灾提供强震次生灾害风险的区域分布状况,设定以下主要研究内容:

- (1)研究强震次生灾害链主要灾害风险评估技术;
- (2)进行历史地震次生灾害调查;
- (3)评估地震次生地质灾害区域风险,对中国地震次生地质灾害风险性进行分区。

三、实施方案与技术路线

1. 实施方案

地震次生地质灾害是指由地震活动引起的地质灾害。主要包括崩塌、滑坡、塌陷、地裂缝、砂土液化。这些灾害常导致比较严重的人口伤亡、房屋等工程设施以及耕地破坏,因此是地震灾害的重要组成部分。地震次生地质灾害种类很多,由于不同地质灾害的破坏现象不同,所以经济损失构成不同。其中,崩塌、滑坡、泥石流发生概率最大,破坏范围最广,是本研究的重点。

地震次生地质灾害风险评估包括:

①危险性研究。地震次生地质灾害危险性是指发生地震次生地质灾害活动的概率及可能强度,其主要取决于三方面因素:历史地震次生地质灾害活动程度;地震次生地质灾害活动的地貌、岩土、构造、水文地质等基础条件和未来地震危险性等级。

②易灾性研究。受灾体易灾性是指可能遭受地震次生地质灾害的各种受灾体对灾害的抵御能力及可能破坏程度。

③危害性研究。地震次生地质灾害危害性是指可能发生的地震次生地质灾害对人类生命财产和土地资源等造成的破坏损失程度。

④风险性研究。风险性主要研究未来地震次生地质灾害可能的损失程度。

以上研究的步骤主要是地震次生地质灾害调查、研究致灾因子评估模型和评估指标、区域地震次生地质灾害风险评估和制图。

2. 技术路线

依据本课题确定的课题目标和主要任务,本课题主要采用的技术是:调查研究、风险数据库技术、风险 GIS 技术、风险制图技术、风险识别技术、风险空间分析技术和风险情景分析技术。

其中的关键技术是:

- ①强震次生灾害调查规程与指标标准;
- ②重大地震次生灾害致险因子的危险性评估指标体系、评估标准与评估模型;
- ③各类承灾体对强震次生灾害的易灾性评估方法;
- ④如何将强震灾害危险性等级与次生灾害风险等级有机地耦合在一起,进而实现对区域强震次生灾害综合风险等级的定量评估。

本课题面临的技术难点是:

- ①地震次生灾害风险评估方法;
- ②各类承灾体对各种次生灾害的承灾过程分析;
- ③不同空间精度强震次生灾害风险制图技术;
- ④区域和重点地区综合风险防范技术。

基于以上分析,采用的基本技术路线如图 2 所示,工作步骤是:

(1)收集中国有记录以来的历史地震次生地质灾害案例资料,建立历史地震次生地质灾害数据库;

(2)研究地震等级与地震次生地质灾害活动程度的关系,结合其他致灾因素研究,建立地震次生地质灾害危险性预测模型;

(3)根据模型计算我国未来时期区域次生地质灾害的危险性等级,编制我国地震次生地质灾害危险性分布图及其说明书;

(4)划分次生地质灾害的高风险区,编制次生地质灾害高风险点分布图。

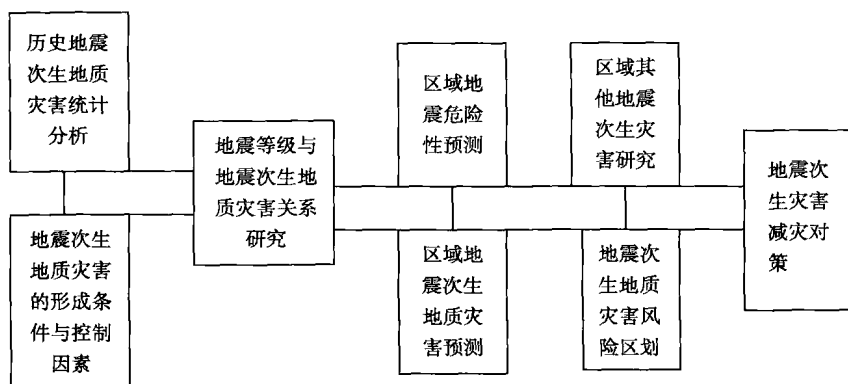


图 2 地震次生地质灾害风险研究基本技术路线图

3. 实施方案具备的基本条件

本课题的技术路线是建立在地质灾害与地震灾害危险性、危害性、风险性评估的基础上的。由于作者等早在 1994—1997 年已经开展这一方面的工作,而且预测的地震与地质灾害发展趋势,与这之后灾害发生的实际情况,包括汶川地震和汶川地质灾害基本相符,因此我们相信该课题所做出的成果是可以达到预期目的的。

本项研究负责人为刘惠敏,专著由高庆华、张业成执笔编写。原国家科委、国家计委、国家经贸委自然灾害综合研究组多年的工作为本项研究提供了基础,张良、胡景江、张春山、张培震、曲国盛、聂高众、李志强、苏桂武、周魁一、郭树、吕娟、刘海青、邓砚等做了大量工作,给予了协助。

目 录

前 言

第一章 中国历史时期地震次生地质灾害区域活动程度评估	(1)
一、地震次生地质灾害及主要类型	(1)
二、地震次生地质灾害的破坏作用	(1)
三、中国历史时期地震次生地质灾害区域活动程度评估	(2)
第二章 中国地震次生地质灾害区域危险性评估	(7)
一、地震次生地质灾害的形成条件与控制因素	(7)
二、影响地震次生地质灾害区域危险性的主要因素	(13)
三、中国地震次生地质灾害区域危险性评估	(23)
第三章 21 世纪初期中国地震次生地质灾害风险评估	(29)
一、自然灾害风险评估的基本方法	(29)
二、影响地震次生地质灾害风险评估的主要因素	(33)
三、21 世纪初期中国地震次生地质灾害区域危险性预评估	(60)
四、21 世纪初期中国地震次生地质灾害区域危害性预评估	(63)
五、21 世纪初期中国地震次生地质灾害区域风险性评估	(67)
第四章 地震次生灾害链的经济损失和风险评估	(75)
一、室内财产损失调查评估	(75)
二、生命线工程损失评估	(76)
三、地震火灾损失评估	(78)
四、次生洪涝灾害损失评估	(80)
五、地震间接经济损失评估	(85)
第五章 减轻地震次生地质灾害风险的主要对策	(86)
一、提高综合减灾意识,开展综合减灾系统工程	(86)
二、划分地震次生地质灾害风险区等级,指导分区减灾与建设	(91)
三、防震减灾要纳入社区综合减灾体系,推动防震应急社会化	(99)
四、强化防灾意识,重视基建优化与减灾	(107)
五、改变生产方式,推进小城市化	(115)
主要参考文献	(116)
附 录 中国历史地震次生地质灾害及地震次生洪水灾害统计表	(117)

第一章 中国历史时期地震次生地质灾害区域活动程度评估

地震对社会的影响,除了地震直接造成了危险性与危害性外,还包含地震次生自然灾害——主要是次生水灾和次生地质灾害造成的影响。由于地震次生水灾主要是由地震次生地质灾害破坏堤坝或崩塌体堵塞河道或地下水沿地裂缝上涌等原因所形成的,所以大多是次生地质灾害的衍生灾害。因此,本项评估的重点是地震次生地质灾害的危险性与危害性区划。

一、地震次生地质灾害及主要类型

地震次生地质灾害是指由地震活动引起的地质灾害。地震次生地质灾害的种类比较多,主要有崩塌、滑坡、塌陷、地裂缝、砂土液化等。其中,崩塌、滑坡主要发生在山地和黄土高原地区,塌陷主要发生在碳酸盐岩发育的隐伏岩溶地区,地裂缝主要发生在山间盆地和平原地区,砂土液化主要发生在沿海平原地区。

二、地震次生地质灾害的破坏作用

地震次生地质灾害不仅具有直接破坏作用,而且具有间接破坏作用,因此增强了地震灾害的破坏效应,加剧了地震的损失程度。

地震次生地质灾害的直接破坏作用主要表现为:危害人的生命健康,造成不同程度的人员伤亡;毁坏房屋、道路等工程设施和多种财物,造成不同程度的财产损失;破坏耕地和地下水等,造成不同程度的资源损失。

地震次生地质灾害对人民生命财产所造成的破坏,是地震灾害的重要组成部分。据一些地震灾害事件案例统计,次生地质灾害所造成的人员伤亡约占地震人员伤亡的 0.5%~1%,房屋破坏比例约为 1%~5%,道路破坏比例约为 70%~80%,耕地破坏比例超过 90%。

历史地震次生地质灾害记录,充分说明了地震次生地质灾害的严重破坏作用。1920 年 12 月 16 日宁夏海原发生 8.5 级地震,引发大量滑坡,分布面积约 5 万平方千米,其中严重滑坡区超过 4000 平方千米,大量土屋、窑洞被覆埋,死亡无数;仅静宁县全村被覆没的村庄就有 20 多个。1933 年 8 月 25 日,四川叠溪发生 7.5 级地震,引起大量崩塌,60 多个集镇、村寨覆灭,其中叠溪镇覆于两座崩山之下,全镇 500 多人仅 5 人幸免于难。1950 年 8 月 15 日,西藏墨托发生 8.5 级地震,雅鲁藏布江多处被山崩堵塞,墨托县多数山峰崩颓,贡布县 580 名喇嘛被压死。1976 年 7 月 28 日,河北唐山发生 7.8 级地震,出现的地裂缝分布范围达 90000 平方千米,其中一条长约 8 千米、宽数米的地裂缝穿越唐山市中心,在地裂缝两侧大约 200 米范围内,房屋、道路彻底被毁坏。砂土液化不但使房屋、桥梁等工程建筑产生不均匀沉降或倒塌,而且严重破

坏耕地。例如 1975 年 2 月 4 日,辽宁海城发生 7.3 级地震,在震中区以西 25~60 千米的下辽河平原,有数百平方千米的区域发生强烈砂土液化,到处喷水冒砂,喷水水头高达 5~6 米,总喷砂量 817 万立方米,压盖农田 5000 多公顷,许多道路、桥梁、工业设施、民用建筑、水利工程、排灌站和堤防也遭到破坏。1976 年 7 月 28 日,我国唐山 7.8 级地震,严重砂土液化面积达数千平方千米,特别是在冀东平原地区,几乎到处喷砂,造成十分严重的危害。

汶川地震引发次生地质灾害的数量和规模史无前例,危害居民点众多,损毁基础设施严重。42 个受灾县(市)发生的主要地质灾害点 9556 处,其中滑坡 5117 处,崩塌 3575 处,泥石流 358 处,堰塞湖 34 处,且有灾害隐患点 5 千余处。地震次生地质灾害破坏性极大,如北川老县城被王家岩滑坡覆盖;唐家山滑坡将河流阻断形成堰塞湖。损毁公路 128 千米,危害桥梁 21 座,威胁水库 20 座,损毁耕地林地约 12400 公顷。

5·12 汶川地震发生后,国土资源部迅速组织人力,对四川、甘肃和陕西等省地震灾区 84 个县(市、区)开展地质灾害应急排查,共排查地质灾害隐患点 8439 处,包括滑坡 4372 处,崩塌 2309 处,泥石流 515 处,其他地质灾害 1243 处,隐患点共威胁 1093667 人。其中,四川省共排查重大地质灾害隐患点 5836 处,包括滑坡 3286 处,崩塌 1218 处,泥石流 460 处,其他地质灾害 872 处,隐患点共威胁 651967 人;甘肃省共排查重大地质灾害隐患点 2214 处,包括滑坡 891 处,崩塌 928 处,泥石流 50 处,其他地质灾害 345 处,隐患点共威胁 365630 人;陕西省共排查重大地质灾害隐患点 389 处,包括滑坡 195 处,崩塌 163 处,泥石流 5 处,其他地质灾害 26 处,隐患点共威胁 76070 人。可见,地震次生地质灾害是地震灾害的重要组成部分,必须研究其发生规律,防范风险。

三、中国历史时期地震次生地质灾害区域活动程度评估

(一)地震次生地质灾害损失评估的基本方法

地震次生地质灾害是指由地震活动引起的地质灾害。主要包括崩塌、滑坡、塌陷、地裂缝、砂土液化等。这些灾害常导致比较严重的人员伤亡、房屋等工程设施以及耕地破坏,因此是地震灾害的重要组成部分。地震次生地质灾害种类很多,由于不同地质灾害的破坏现象不同,所以经济损失构成不同:崩塌、滑坡、泥石流破坏范围最广,几乎涉及各类受灾体;地裂缝、岩溶塌陷、地面沉降灾害经济损失主要表现为工程设施和土地价值损失;海水入侵灾害经济损失主要为地下水资源价值损失;膨胀土经济损失主要为工程设施增加的基础成本。

地震次生地质灾害评估包括危险性评估、易灾性评估和危害性评估。地震次生地质灾害危险性是指发生地震次生地质灾害活动的概率及可能强度,用危险性指数和危险性等级表示。其主要取决于三方面因素:历史地震次生地质灾害活动程度,根据历史文献资料进行统计;地震烈度,按 1992 年国家地震局和中华人民共和国建设部发布的《中国地震烈度区划图》划分;地震次生地质灾害活动的基础条件,根据发生次生地质灾害的地貌、岩土、构造、水文地质等因素的充分程度,进行综合分析后划分。危险性指数根据危险性要素计算得出。危险性等级根据危险性指数划分。

受灾体易灾性是指可能遭受地震次生地质灾害的各种受灾体对灾害的抗御能力及可能破坏程度。受灾体主要包括人、房屋等工程设施、耕地,其易灾性按它们的分布密度划分。综合

易灾性指数根据三项要素计算得出。易灾性等级根据易灾性指数划分。

地震次生地质灾害危害性是指可能发生的地震次生地质灾害对人类生命财产和土地资源等造成的破坏损失程度。危害性指数根据危险性指数和易灾性指数计算得出。危害性等级根据危害性指数划分。

地震次生地质灾害各项要素等级划分标志如表 1-1 所示。

表 1-1 地震次生地质灾害各项要素等级划分标志表

等级标志	危险性					易灾性				危害性	
	历史地震次生地质灾害活动程度	地震烈度	次生地质灾害活动基础条件	潜在次生地质灾害发生的可能性	次生地质灾害危险性等级	人口易灾性	工程易灾性	耕地易灾性	综合易灾性等级	危险性等级	危害性指标
★	低——发生数量少、规模小、强度低	小于Ⅵ度	不充分——地貌、岩土、构造等地质条件均不利于次生地质灾害活动	很小	次生地质灾害危险性指数小于 2	平均人口密度小于 10 人/平方千米	房屋等工程设施密度小	平均耕地占国土面积比小于 10%	综合易灾性指数小于 2	低	<5
★★	中——发生数量较多或规模较大、强度较高	Ⅵ度、Ⅶ度	较充分——地貌、岩土、构造等地质条件比较有利于次生地质灾害活动	较大	次生地质灾害危险性指数 2~5	平均人口密度 10~300 人/平方千米	房屋等工程设施密度较大	平均耕地占国土面积比 10%~50%	综合易灾性指数 2~5	中	5~20
★★★	高——发生数量多或规模大、强度高	Ⅷ度和Ⅷ度以上	充分——地貌、岩土、构造等地质条件特别有利于次生地质灾害活动	很大	次生地质灾害危险性指数大于 5	平均人口密度大于 300 人/平方千米	房屋等工程设施密度很大	平均耕地占国土面积比大于 50%	综合易灾性指数大于 5	高	>20

表 1-1 中各项统计要素是本项目研究的资料依据,也是本课题调查研究的重点。

(二)资料依据

我国具有十分丰富而又悠久的地震灾害记录。这些记录不仅反映了地震活动情况,而且不同程度地反映了地震次生地质灾害及其破坏作用。

例如,《国语》卷一《周语》中,记载了公元前 780 年的地震和所发生的次生地质灾害:“幽王二年,西州(今陕西省)三川皆震。……是岁也,三川竭,岐山崩。百川沸腾,山豕率崩。高岸为谷,深谷为陵”。在《史记·赵世家》中,描述了秦始皇十二年(公元前 231 年)发生在河北等地的地震地裂缝灾害:“代地(今河北省蔚县境内)大动,自乐徐以西,北至平阴,台屋墙垣大半坏,地圯(即地裂缝)东西百三十步”。其后的许多史志中,有更为丰富的记录。为了汇总研究历史地震,中国地震局以及中国科学院、中国社会科学院和民政部等组织有关专家和有关单位,对大量历史地震资料进行了系统整理,编纂出版了专门的汇编文献;对近几十年发生的地震灾害也进行了系统调查整理,编写出版了多种资料文献,所有这些成为本项研究的资料依据。主要包括:《中国地震历史资料汇编》^[1]、《中国地震年鉴》^[2]、《中国灾情报告》^[3]、《中国重大自然灾害及减灾对策(年表)》^[4]。资料截止到 2000 年底。

(三)历史地震次生地质灾害统计分析方法

首先,编制和填写历史地震次生地质灾害与地震次生洪水灾害统计表(见附录)。对不同省(自治区、市)按时间顺序,根据文献资料摘录地震次生地质灾害的有关内容,根据所描述的不同种类地质灾害的活动规模、发生数量等,划分崩塌、滑坡、地裂缝、塌陷和砂土液化的活动程度等级。Ⅰ级(★)为轻微,即规模较小或数量较少;Ⅱ级(★★)为中等,即规模较大或数量较多;Ⅲ级(★★★)为强烈,即规模很大或数量很多。

其次,按现行政区划(2000 年底民政部公布的行政区划),以地(市、区、盟)为单元,汇总单类和综合地震次生地质灾害活动程度,亦定性地分为三级。Ⅰ级为轻微,历史地震次生地质灾害发生次数和数量较少,规模较小;Ⅱ级为中等,历史地震次生地质灾害发生次数和数量较多,规模较大;Ⅲ级为强烈,历史次生地质灾害次数和数量多,规模大。

最后,编绘历史地震次生地质灾害分布图(图 1-1)和历史地震次生地质灾害地(市、区、盟)单元分布图。前者反映历次地震次生地质灾害类型、程度和发生地点;后者反映不同地区(市、区、盟)地震次生地质灾害的综合活动程度。

(四)中国历史时期地震次生地质灾害活动程度及分布特征

中国地震次生地质灾害分布十分广泛,不同次生地质灾害的主要分布区域不同,现分述如下。

崩塌、滑坡。是发育程度最高、分布最广的次生地质灾害。据历史文献记载,在广大山地、高原地区,只要发生强烈地震,就会引起不同程度的崩塌、滑坡灾害。因此,它广泛分布在 20 余个省(自治区、市),尤其在中国中部的陕、甘、宁、川、滇地区最为严重,形成一个以黄土高原—秦岭、大巴山—川滇山地为中心,大致呈南北走向的纵贯中国中部的地震次生地质灾害密集带,其基本特点是次生地质灾害活动频繁,不仅数量多、规模大,而且破坏损失严重,甚至成为地震灾害的主体。除此密集带外,次生崩塌、滑坡灾害还在河北、山东、湖北、湖南、广西、江西、福建、台湾、广东、海南、新疆、西藏的一些地区时有发生,其中较严重的有赣、闽、台的武夷山和台湾山地,黔、粤的南岭,新疆的天山,西藏的念青唐古拉山等。

地裂缝。广泛发生,是仅次于崩塌和滑坡的次生地质灾害。主要发生在华北地区,以晋、陕、冀的汾渭谷地和太行山东麓最发育,形成两个北北东向的次生地裂缝密集带。此外,在山东、河南、甘肃、青海、新疆、四川、云南、台湾的一些地区也比较发育。

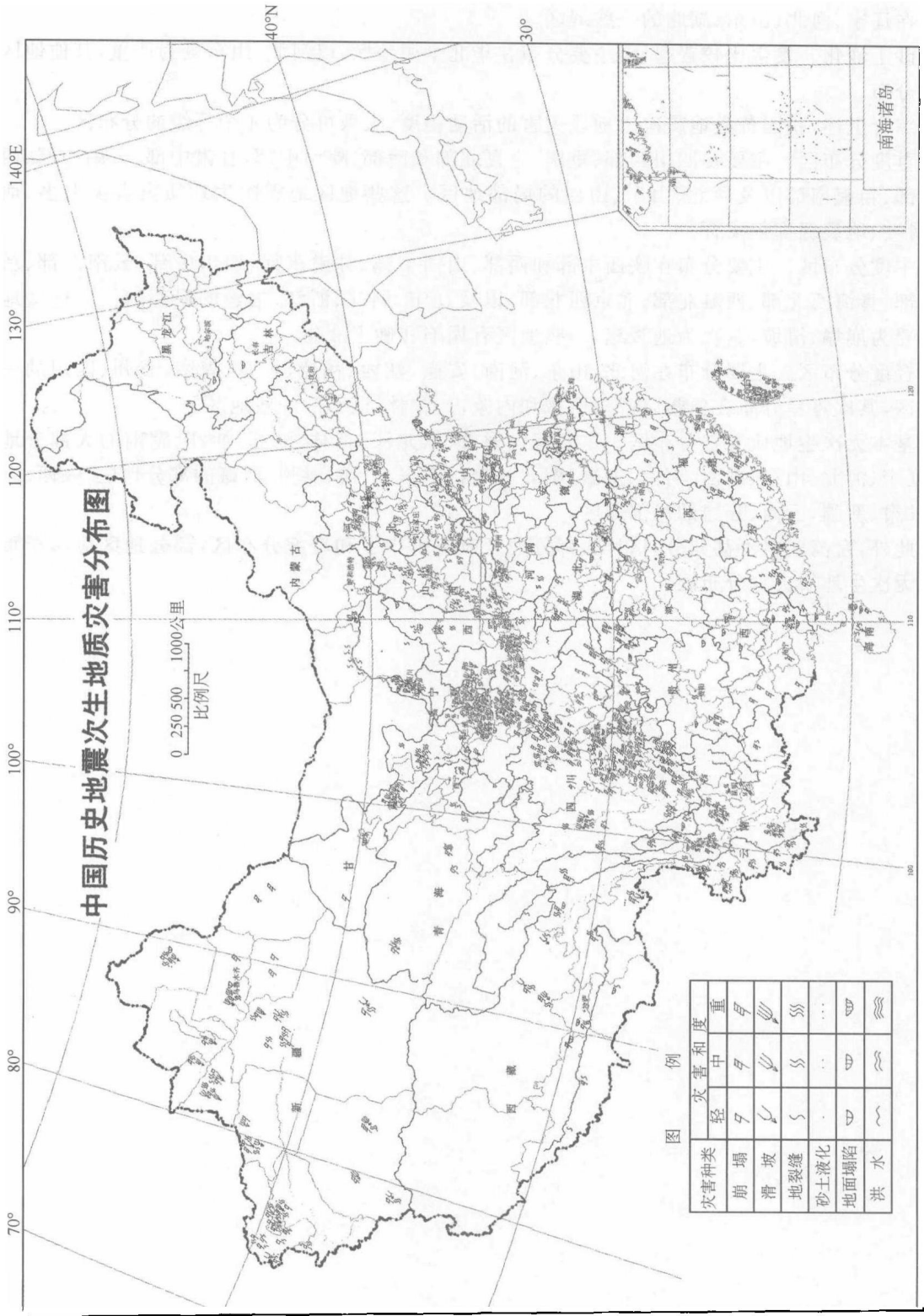


图1-1 中国历史地震次生地质灾害分布图

地面塌陷。分布比较广,但数量不太多。主要分布在云贵高原和黄土高原地区,其次零星分布在辽宁、河北、山东、湖北的一些地区。

砂土液化。发生比较普遍,但主要分布在华北平原地区,以河北、山东最为严重,其他地区零星分布。

综合上述,我国各类地震次生地质灾害的活动程度,大致可分为4个等级的分布区。

重度分布区。主要在四川西部、重庆、宁夏北部和南部、陕西中部、甘肃中部、云南中部、西藏东部、新疆南部以及河北、山东、山西的局部地区。这些地区地震次生地质灾害类型多,崩塌、滑坡、地裂缝都很发育。

中度分布区。主要分布在陕西中部和西部、山西中部、甘肃东部、四川中部、云南西部、新疆中部、青海西北部、西藏北部、北京西北部,以及辽宁、湖北、浙江、福建的局部地区。这些地区主要为崩塌、滑坡,其次为地裂缝,一些地区有塌陷和砂土液化。

轻度分布区。主要分布在河北、山东、河南、安徽、江西、福建、广东、海南、贵州、四川的一些地区,其次零星分布在新疆、青海、西藏和内蒙古、吉林、辽宁的一些地区。

基本无次生地质灾害分布区。主要有内蒙古、黑龙江、吉林、江苏、浙江、湖南的大部分地区,辽宁、河北、山东、山西、河南、安徽、湖北、江西、广东、广西、贵州、西藏的部分地区,陕西、青海、甘肃、新疆、云南、福建的局部地区。

此外,台湾资料不甚充分,估计大部分地区应属于中度和轻度分布区,部分地区应属于重度和无次生地质灾害分布区。

第二章 中国地震次生地质灾害区域危险性评估

一、地震次生地质灾害的形成条件与控制因素

(一)地震次生地质灾害形成的地质与自然环境条件

地震次生地质灾害与其他地质灾害一样,是在一定的地质条件下形成的;其不同点在于,它们的触发因素不同——地震次生地质灾害是由地震活动引起的,而其他地质灾害则是因暴

表 2-1 中国主要易滑坡地层及分布(据晏同珍,略修改)

滑坡类型	岩土类型	易滑坡岩组	主要滑坡地层	主要分布地区
岩石滑坡	层状结构岩组	1. 砂岩、页岩、泥岩组滑坡,包括煤系地层中碳质、铝土质页岩。	新生界第四系下更新统,第三系,中生界各系,古生界二叠系、石炭系。	西南、华北、西北及东南部分地区。
		2. 碳酸盐岩组滑坡夹砂岩、页岩、泥灰岩。	中生界三叠系,古生界各系。	西南、中南及华北部分地区。
	板状、片状结构岩组	3. 板岩、片岩组滑坡,包括千枚岩及绿泥石化、绢云母化的岩体。	中下古生界各系及其以下地层。	秦岭、南岭纬向构造带以及东南、中南部分地区。
	块状结构岩组	4. 玄武岩组滑坡,包括滑石化、蛇纹石化及蒙脱石化的岩体。	中生界白垩系、侏罗系,古生界二叠系上统。	西南地区。
	混合结构岩组	5. 混合岩组滑坡,包括各种侵入岩体边缘带及围岩。	不同层系及不同时代的侵入岩。	不同构造单元或构造体系的接触带。
破碎岩滑坡	破碎结构岩组	6. 破碎岩滑坡,包括各类构造破碎及揉皱岩石。	不同层系。	不同的构造破碎带及揉皱带。
土质滑坡	堆积土	7. 堆积土组滑坡,包括坡积物、残积物、冲积物。	新生界第四系。	各地区河谷缓坡地带。
	黄土	8. 黄土组滑坡,包括含钙亚黏土、亚砂土、黏土。	新生界第四系。	黄河流域中游及部分中下游地区。
	块状结构土	9. 红土组滑坡,以黏土、亚黏土为主。	新生界第四系。	长江以南。
	准填土	10. 人工堆弃土滑坡,包括素填土、杂填土等。	现代。	交通线路、城市及工矿企业的建设场地。

表 2-2 不同地貌类型崩塌、滑坡发育程度

地貌类型	平原(含大型内陆盆地)	丘陵	山地				高原	
			低山	中山	高山	极高山	黄土高原	其他高原
崩塌、滑坡数量比率(%)	近于 0	3	9	43	12	10	17	6

③地质构造

地质构造为崩塌、滑坡灾害的发生提供滑移面和切割条件,是控制崩塌和滑坡灾害规模的基础条件之一。从宏观上分析,其影响作用主要体现在断层以及特殊构造的区域控制上。一般情况下,沿断裂构造带,崩塌、滑坡分布密度较大。这是因为断裂构造不仅使斜坡岩土体发育大量裂隙,甚至使斜坡变得支离破碎,而且强化了斜坡岩土体的风化作用和地下水活动,降低了斜坡的稳定性,增加了崩塌、滑坡活动的可能。如,汶川地震形成的次生地质灾害主要分布在距断裂构造 2 千米范围内,4 千米以外很少。

(2) 塌陷形成的地质、水文地质条件

伴随地震活动发生的地面塌陷,除少量为黄土塌陷外,主要是岩溶塌陷。岩溶塌陷主要受可熔岩发育程度、覆盖层特征及地下水活动强度等条件影响。

①可熔岩及岩溶发育程度

岩溶洞隙发育的可熔岩是岩溶塌陷的最根本的基础条件。我国发生塌陷活动的可熔岩,

除部分地区的晚中生界、第三系、第四系富含膏盐芒硝或钙质的砂泥岩、灰质砾岩及盐岩外,主要是古生界的石灰岩、白云岩、白云质灰岩等碳酸盐岩。

碳酸盐岩的岩溶类型分为裸露型、覆盖型和埋藏型 3 种。裸露型岩溶的碳酸盐岩基本上直接出露地表,没有或者很少被第四系松散沉积物覆盖。覆盖型岩溶的碳酸盐岩大部分被第四系松散沉积物覆盖,覆盖率一般在 7% 以上,仅局部出露地表。其覆盖层厚度一般小于 30 米,最厚不超过 100 米。埋藏型岩溶的碳酸盐岩被很厚的第四系松散沉积物或其他非可熔岩覆盖,埋藏深度数十米以上。大量实践表明,岩溶塌陷主要发生在覆盖型岩溶和裸露型岩溶分布区,部分分布在埋藏型岩溶分布区。

除可熔岩岩性和岩溶类型外,从碳酸盐岩的岩溶塌陷形成机理看,可熔岩洞隙一方面造成岩体结构的不完整,形成局部不稳定地带;另一方面为容纳溶蚀陷落物质和地下水的强烈活动提供了充分条件。因此,一般情况下,可熔岩的岩溶越发育,岩溶洞隙的开启性越好,岩溶塌陷越严重。

根据碳酸盐岩岩溶发育程度和有关特征,将岩溶发育程度分为强、中、弱三个等级(表2-3)。

可溶盐岩岩溶发育程度主要受地质构造、水文地质条件和气候条件影响。一般情况下,断裂构造发育、新构造运动强烈、地下水循环交替强烈、雨量充沛的碳酸盐岩分布区,岩石结构比较破碎,节理、裂隙发育,地下水溶蚀、潜蚀作用强烈,最容易形成岩溶塌陷。

表 2-3 碳酸盐岩岩溶发育程度分级

岩溶发育程度	特征	参考性指标				
		地表岩溶发育密度 (个/平方千米)	钻孔岩溶率 (%)	钻孔遇洞率 (%)	泉流量 (升/秒)	单位涌水量 (升/(米 ² ·秒))
强	碳酸盐岩岩性较纯,连续厚度较大,出露面积较广。地表有较多的洼地、漏斗、落水洞,地下岩溶发育。多岩溶大泉和暗河,岩溶发育深度较大	>6	>10	>60	>100	>1
中	以次纯碳酸盐岩为主。地表有洼地、漏斗、落水洞发育,地下洞穴通道不多。岩溶大泉数量较少,暗河稀疏。深部岩溶不发育	5~1	10~3	60~30	100~10	0.1~1
弱	以不纯碳酸盐岩为主,多间夹型或互夹型。地表岩溶稀疏发育,地下洞穴较少,岩溶大泉及暗河少见	<1	<3	<30	<10	<0.1