

国家地质学基础科学研究和教学人才培养基地系列教材

◎ 潘 懋 李铁锋 编著



灾害地质学

ZAIHAI DIZHIXUE

● 北京大学出版社

P094

P-311

国家地质学基础科学研究和教学人才培养基地系列教材

灾害地质学

潘懋 李铁锋 编著

北京大学出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

灾害地质学/潘懋,李铁锋编著. -北京:北京大学出版社,2002.3

ISBN 7-301-05473-4

I. 灾… II. ①潘… ②李… III. 地质-自然灾害 IV. P642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 005469 号

书 名: 灾害地质学

著作责任者: 潘懋 李铁锋

责任编辑: 赵学范

标准书号: ISBN 7-301-05473-4/P·0054

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电 话: 出版部 62752015 发行部 62754140 编辑部 62752021

电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

排 版 者: 兴盛达打字服务社 62549189

印 刷 者: 北京大学印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 17印张 420千字

2002年4月第1版 2002年4月第1次印刷

定 价: 25.00元

内 容 简 介

本书系统地阐述了灾害地质学的理论体系与研究方法,对灾害地质学的基本概念、基本理论和基本方法进行了系统的概括;对自然作用和人为活动影响下形成的主要地质灾害进行了详细的论述,较全面地介绍了各种地质灾害的监测预报方法和防治措施。

全书共分 12 章。第 1~3 章,分别介绍了地质灾害的概念、类型及分布,地质灾害灾情评估与减灾效益分析,地质灾害减灾对策。第 4~12 章,详细论述了地震灾害、火山灾害、斜坡地质灾害、地面变形地质灾害、矿山与地下工程地质灾害、表生环境地球化学异常与地方病、土地荒漠化、特殊地质灾害、地下水资源恶化、海岸带地质灾害等各类地质灾害的特点、形成条件与机理、影响因素、发育规律和危害方式,对不同类型地质灾害的监测预报、防治与减灾对策等进行了系统介绍。

本书可作为高等院校相关专业的本科生和研究生的教材或教学参考书,也可作为高等院校开设文理科公共选修课的教材或教学参考书。此外,本书还可供从事灾害地质、环境地质研究的专业技术人员参阅,对各级国土部门、环保部门和工程建设规划部门的专业人员也有重要的参考价值。

前 言

当今人类社会正面临着人口急剧膨胀、资源严重短缺和环境日益恶化的严峻挑战。环境恶化的重要标志之一就是自然灾害日趋频繁,并对人类的生存与发展造成严重的威胁。地质灾害,作为自然灾害的主要类型之一,在历史上曾给人类带来无尽的伤痛,留下了许多不堪回首的记忆。而今,人类活动随其规模与强度的不断增大,正在越来越深刻地干预着地球表层演化的自然过程,导致地质灾害发生的频率越来越高,影响的范围越来越大,造成的危害也越来越严重,在一些脆弱的地域内,已经成为影响和制约社会与经济发展的不可忽视的重要因素。

地质灾害是指由于自然的、人为的或综合的地质作用,使地质环境产生突发的或渐进的破坏,并对人类生命财产造成危害的地质作用或事件。由于灾害地质学是一门尚处于发展之中的新兴交叉学科,不同领域的专家学者对灾害地质学的研究范畴、主要研究内容等的看法不完全一致,对地质灾害类型的划分也不尽相同。从灾害事件的后果来看,凡是对人类生命财产和生存环境产生影响或破坏的地质事件和作用都属于地质灾害的范畴;从致灾的动力条件来看,由地球内、外动力地质作用和人类活动(也可看做地球外动力的一种形式)而使地质环境发生变化的地质现象和事件均可归属于地质灾害。由此看来,地质灾害的种类应包括火山、地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地裂缝、岩溶塌陷、瓦斯爆炸与矿坑突水、水土环境异常导致的各种地方病、沙质荒漠化、水土流失、土壤盐渍化、黄土湿陷、软土沉陷、膨胀土胀缩、地下水变异、洪水泛滥、水库坍岸、河岸和海岸侵蚀与海水入侵,等等。

中国是世界上地质灾害危害最严重的国家之一,不仅灾害种类多、发生频率高、分布范围广,且有日益加重的趋势,直接影响到国家经济的发展和人民生活的各个方面。据统计,我国每年因地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、矿山地质灾害和土地荒漠化等灾害造成的直接经济损失高达840亿元人民币,由于地质环境的恶化而引发或加重的其他自然灾害所造成的间接损失更是无法估算。因此,依靠现代科学技术,多学科、跨部门联合攻关,全面、系统、深入地开展地质灾害研究对保护人民生命财产安全,减轻地质灾害损失,实现社会、经济的持续发展具有非常重要的意义。

北京大学地质学系已为本科生和研究生开设“灾害地质学”课程多年,并受到学生的普遍欢迎。其他高等院校的相关专业也相继开设了“灾害地质学”。虽然国内外有关地质灾害研究的论著和文献很多,但国内迄今还没有专门用于开设“灾害地质学”及相关课程的教材或教学参考书。作者于1996~1997年在美国明尼苏达大学做访问学者时见到了Barbara W Murck等人所著的“*Dangerous Earth—An Introduction to Geologic Hazards*”(1997)一书,遂萌生了将此书翻译成中文介绍给国内读者的想法,但仔细阅读后感觉其内容并不适合作为我国高校地质类专业“灾害地质学”课程的专用教材,况且中国的地质灾害种类繁多、发生频率高且危害严重,地质灾害的研究程度也比较高。因而在参考大量国内外最新成果的基础上,结合作者多年的教学和科研工作,编写了本书。

本书力图对灾害地质学的基本概念、基本理论和基本方法进行全面系统的总结,对地质灾害监测、预报和防治的措施与方法进行较全面的介绍,力求做到内容新颖,既有一定的专业深

度,同时具有较强的实用性。全书共 12 章。第 1~3 章,分别介绍了地质灾害的概念、类型及分布;地质灾害灾情评估与减灾效益分析;地质灾害减灾对策。第 4~12 章,涉及地震灾害、火山灾害、斜坡岩土位移、地面变形地质灾害、矿山与地下工程地质灾害、水土环境异常与地方病、土地荒漠化、特殊岩土地质灾害、水动力地质灾害等主要的地质灾害类型,从灾害特点、形成条件与机理、影响因素、发育规律、危害方式、监测与预报、防治工程与减灾对策等方面进行了详细的论述。本书的目的是从学科的角度,系统阐述灾害地质学的理论体系与研究方法,尽可能全面地论述该学科所涉及各个研究领域,为高等院校相关专业的本科生和研究生提供一本实用教材或教学参考书。

灾害地质学的理论体系与研究方法尚处于不断的研究和完善之中,地质灾害预测预报的精度还很低,减轻地质灾害损失的治理工程和防御措施还有待完善,许多方面的探索和研究还很不够。但是,从另一个角度讲,这也为灾害地质学学科的发展提供了广阔的前景。

在本书的编写过程,得到了许多同事的支持和帮助。刘锡大老师详细审阅了第 4 章并提出了宝贵的修改意见;国土资源部中国地质环境监测院刘传正博士提供了许多国内地质灾害实例方面的资料,同时对本书的编写提出了不少有益的建议。许鉴儒高级工程师清绘了书中的全部图件,高云霞女士录入了书稿的绝大部分文字。本书稿承蒙中国科学院地质与地球物理研究所曲永新教授审阅并提出许多宝贵的修改意见和建议。本书出版过程中,北京大学出版社赵学范编审付出了辛勤的劳动。在此向他们表示衷心的感谢。

由于我们的水平有限,书中难免存在错误和不足之处,恳请读者批评指正。

潘 懋

2001 年 10 月

于北京大学逸夫贰楼

目 录

第 1 章 地质灾害的概念、类型及分布	(1)
1.1 地质灾害的内涵、属性与分类	(1)
1.1.1 地质灾害的内涵	(1)
1.1.2 地质灾害的属性特征	(3)
1.1.3 地质灾害的分类与分级	(7)
1.1.4 中国地质灾害的发育状况与分布规律	(9)
1.2 灾害地质学的诞生与发展	(11)
1.2.1 古代社会对地质灾害的认识	(11)
1.2.2 灾害地质学的形成与发展	(13)
第 2 章 地质灾害灾情评估与减灾效益分析	(14)
2.1 地质灾害灾情评估	(14)
2.1.1 地质灾害灾情评估的目的、类型与主要内容	(14)
2.1.2 地质灾害危险性评价	(15)
2.1.3 社会经济易损性评价	(17)
2.1.4 地质灾害破坏损失评价	(18)
2.1.5 地质灾害防治工程评价	(19)
2.2 地质灾害减灾效益分析	(20)
2.2.1 地质灾害经济损失分析	(20)
2.2.2 地质灾害减灾效益分析	(23)
第 3 章 地质灾害减灾对策	(25)
3.1 地质灾害减灾措施与减灾系统工程	(25)
3.1.1 “国际减轻自然灾害十年”与 21 世纪全球减灾新战略	(25)
3.1.2 防灾减灾的基本原则	(26)
3.1.3 减轻地质灾害的措施	(27)
3.1.4 减轻地质灾害的系统工程	(30)
3.2 地质灾害监测预报与防治	(31)
3.2.1 地质灾害监测	(31)
3.2.2 地质灾害预报	(32)
3.2.3 地质灾害防治	(33)
3.3 地质灾害管理	(34)
3.3.1 地质灾害管理的目的与原则	(34)
3.3.2 地质灾害管理的主要内容	(35)
3.3.3 地质灾害管理的主要手段	(36)
3.3.4 系统科学理论在地质灾害管理实践中的应用	(36)

第 4 章 地震灾害	(38)
4.1 地震与地震活动	(38)
4.1.1 概述	(38)
4.1.2 地震波	(38)
4.1.3 地震的成因与类型	(40)
4.1.4 地震的震级与地震烈度	(41)
4.1.5 地震的时空分布	(43)
4.2 诱发地震	(46)
4.2.1 诱发地震的类型及其特点	(46)
4.2.2 预防诱发地震的对策	(50)
4.3 地震灾害	(51)
4.3.1 地震效应	(52)
4.3.2 地震灾害的特点与破坏形式	(54)
4.3.3 灾害性地震实例	(57)
4.4 地震活动的监测与预报	(60)
4.4.1 地震监测	(60)
4.4.2 地震预报	(61)
4.5 地震灾害损失预测	(64)
4.6 减轻地震灾害的对策	(66)
4.6.1 国际减轻地震灾害的对策	(66)
4.6.2 中国减轻地震灾害的对策	(69)
4.6.3 减轻地震灾害对策的发展趋势	(70)
第 5 章 火山灾害	(72)
5.1 火山与火山活动	(72)
5.1.1 火山的类型	(72)
5.1.2 火山喷发样式	(72)
5.1.3 火山喷发物	(73)
5.1.4 火山的空间分布	(75)
5.2 火山喷发灾害效应与资源效应	(77)
5.2.1 火山喷发灾害	(78)
5.2.2 火山喷发的资源效应	(84)
5.2.3 重大火山灾害实例	(85)
5.3 火山活动的监测与预报	(86)
5.3.1 火山活动的前兆现象	(86)
5.3.2 火山活动监测	(88)
5.3.3 火山喷发预报	(89)
5.4 减轻火山灾害的对策	(90)
5.4.1 危险性火山的识别与评价	(90)
5.4.2 火山地区土地利用规划	(90)

5.4.3	与工程有关的减灾对策	(90)
5.4.4	火山应急管理	(92)
5.4.5	灾后援助与重建	(92)
第6章	斜坡地质灾害	(93)
6.1	斜坡地质灾害的类型及其影响因素	(94)
6.1.1	斜坡地质灾害的类型	(94)
6.1.2	斜坡地质灾害的影响因素	(95)
6.1.3	中国崩塌、滑坡、泥石流的发育规律	(97)
6.2	崩塌	(99)
6.2.1	崩塌的特点	(99)
6.2.2	崩塌的形成条件	(99)
6.2.3	崩塌的力学机制	(101)
6.2.4	崩塌的分类	(102)
6.2.5	崩塌的危害	(103)
6.3	滑坡	(104)
6.3.1	滑坡的特点	(104)
6.3.2	滑坡的形成条件	(104)
6.3.3	滑坡的成因机制	(105)
6.3.4	滑坡的分类	(107)
6.3.5	滑坡的危害	(108)
6.4	泥石流	(112)
6.4.1	泥石流的一般特征	(112)
6.4.2	泥石流形成的条件	(113)
6.4.3	泥石流的运动特征与机理	(114)
6.4.4	泥石流的分类	(115)
6.4.5	泥石流的危害	(117)
6.4.6	泥石流的灾害实例	(120)
6.5	斜坡地质灾害的监测与预报	(121)
6.5.1	斜坡地质灾害的监测	(121)
6.5.2	斜坡地质灾害的预测预报	(124)
6.6	斜坡地质灾害的防治工程	(128)
6.6.1	崩塌的防治	(129)
6.6.2	滑坡的防治	(132)
6.6.3	泥石流的防治	(136)
第7章	地面变形地质灾害	(141)
7.1	地面变形地质灾害的类型及其分布规律	(141)
7.2	地面沉降	(142)
7.2.1	地面沉降的特征与分布	(142)
7.2.2	地面沉降的危害	(145)

7.2.3	地面沉降的成因机制和形成条件	(146)
7.2.4	地面沉降的监测与预测	(148)
7.2.5	地面沉降的防治	(149)
7.3	地裂缝	(150)
7.3.1	地裂缝的特征、类型与分布	(150)
7.3.2	地裂缝的成因机制和形成条件	(152)
7.3.3	地裂缝的危害	(153)
7.3.4	地裂缝灾害的防治措施	(155)
7.4	岩溶地面塌陷	(155)
7.4.1	岩溶地面塌陷的分布规律	(156)
7.4.2	岩溶地面塌陷的成因机制和形成条件	(156)
7.4.3	岩溶地面塌陷的危害	(159)
7.4.4	岩溶地面塌陷的监测预报	(160)
7.4.5	岩溶地面塌陷灾害的防治措施	(161)
第8章	矿山与地下工程地质灾害	(163)
8.1	矿山与地下工程地质灾害的类型	(163)
8.2	矿区地面变形与荒漠化	(164)
8.2.1	矿区地面塌陷与地裂缝	(164)
8.2.2	矿区荒漠化	(167)
8.3	矿山与地下工程地压灾害	(170)
8.3.1	冒顶垮帮	(170)
8.3.2	岩爆	(171)
8.3.3	煤与瓦斯突出	(174)
8.3.4	露天边坡失稳	(176)
8.4	瓦斯爆炸与煤层自燃	(178)
8.4.1	瓦斯爆炸	(178)
8.4.2	煤层自燃	(180)
8.5	矿井突水	(182)
8.5.1	矿井突水的致灾条件和影响因素	(182)
8.5.2	矿井突水的危害	(183)
8.5.3	矿井突水灾害的防治对策	(184)
第9章	表生环境地球化学异常与地方病	(185)
9.1	表生环境地球化学特征	(185)
9.1.1	表生环境中元素的迁移转化	(185)
9.1.2	表生环境地球化学的地带性特征	(189)
9.1.3	人类活动对原生地球化学环境的影响	(190)
9.2	表生环境地球化学异常与人体健康	(190)
9.2.1	原生地球化学环境与人体健康	(191)
9.2.2	环境污染与人体健康	(199)

第 10 章 土地荒漠化	(203)
10.1 概述	(203)
10.1.1 荒漠化的基本概念	(203)
10.1.2 土地荒漠化的类型与成因	(204)
10.1.3 土地荒漠化的现状和发展趋势	(205)
10.2 沙质荒漠化	(206)
10.2.1 沙质荒漠化的分布特征	(206)
10.2.2 沙质荒漠化的成因	(208)
10.2.3 沙质荒漠化的危害	(209)
10.2.4 沙质荒漠化的遥感监测	(212)
10.2.5 沙质荒漠化的防治	(213)
10.3 水土流失	(214)
10.3.1 水土流失发育状况	(215)
10.3.2 水土流失的类型与影响因素	(215)
10.3.3 水土流失的危害	(217)
10.3.4 水土流失防治对策	(219)
10.4 土壤盐渍化	(220)
10.4.1 土壤盐渍化的形成	(220)
10.4.2 土壤盐渍化的危害	(220)
10.4.3 土壤盐渍化防治对策	(221)
第 11 章 特殊地质灾害	(222)
11.1 黄土湿陷	(222)
11.1.1 湿陷性黄土的特征	(222)
11.1.2 黄土湿陷性的原因及其判定	(223)
11.1.3 湿陷性黄土的危害	(224)
11.1.4 湿陷性黄土的防治措施	(225)
11.2 膨胀土	(226)
11.2.1 膨胀土的特征	(226)
11.2.2 膨胀土的胀缩机理	(227)
11.2.3 膨胀土的危害	(227)
11.2.4 膨胀土灾害的防治措施	(228)
11.3 盐渍土	(229)
11.3.1 盐渍土的类型及其特性	(229)
11.3.2 盐渍土的危害	(230)
11.3.3 盐渍土灾害的防治措施	(230)
11.4 软土	(231)
11.4.1 软土的特征	(231)
11.4.2 软土的危害	(231)
11.4.3 软土地基的加固措施	(232)

11.5 冻土	(232)
11.5.1 冻土的特征	(232)
11.5.2 冻土的分布	(233)
11.5.3 冻土的不良地质现象	(234)
11.5.4 冻土的危害及防治措施	(235)
第12章 其他地质灾害	(238)
12.1 地下水资源恶化	(238)
12.1.1 地下水的特征	(238)
12.1.2 区域性地下水水位下降	(238)
12.1.3 地下水水质恶化	(242)
12.2 洪涝灾害	(244)
12.2.1 洪涝灾害的分布与危害	(244)
12.2.2 洪涝灾害的成因	(245)
12.2.3 防洪减灾的主要措施	(247)
12.3 海岸带地质灾害	(249)
12.3.1 海岸带地质灾害的类型	(249)
12.3.2 海水入侵	(249)
12.3.3 海岸侵蚀	(253)
12.3.4 海平面上升	(255)
参考资料	(258)

第 1 章 地质灾害的概念、类型及分布

从地球演化史的角度来看,地质灾害作为一种地质过程始终存在于地球的历史中。而且,最具破坏性的地质事件恰恰又是地球演化过程中的一部分正常功能。例如,地震和火山喷发在一定程度上影响了地球表面形态的高低起伏;空气和水的作用虽然可以引发沙暴、洪水和滑坡等地质灾害,但这些作用又是土壤养分的重要补给过程。正是这些可以翻天覆地的地质事件使地球成为宇宙中已知的惟一存在生命的星球。

地质过程时刻都在影响着地球上的每一个人。地震、滑坡和地面塌陷等地质过程的影响是显而易见的;另外一些地质过程的影响则是复杂而微妙的,如山体抬升对小气候的控制作用、火山喷发对大气层化学成分的影响、洪水对形成肥沃土壤的贡献等。由于地球是一个动力系统,很多地质过程具有危险性,因而它们对于人类自身及其居住的环境可能会产生负面影响。

人类相对于自己居住的地球显得既渺小又伟大。在地震、火山喷发等剧烈的地质过程面前,人类表现得无可奈何;而人类违背自然地质规律的主观活动又使地球表层发生着前所未有的变化。地质过程对人类日常生活的影响既微妙又显著、既有益也有害。人类不合理地开发地质资源加剧了地质过程的变异,反过来又影响到人类的生活质量。

地质灾害有其特定的内涵和属性,不同类型地质灾害的空间分布又有其自身的规律。为了人类更美好的未来,地质灾害研究和防治已成为当今地球科学领域一门重要的学科。

1.1 地质灾害的内涵、属性与分类

1.1.1 地质灾害的内涵

(一) 灾害的基本涵义

1. 灾害的定义与类型

灾害是由自然因素或人为因素引起的不幸事件或过程,它对人类的生命财产及人类赖以生存和发展的资源与环境造成危害和破坏。联合国减灾组织(United Nation Disaster Reduction Organization, UNDR0)(1984)给灾害下的定义是:一次在时间和空间上较为集中的事故,事故发生期间当地的人类群体及其财产遭到严重的威胁并造成巨大损失,以至家庭结构和社会结构也受到不可忽视的影响。联合国灾害管理培训教材把灾害明确地定义为:自然或人为环境中对人类生命、财产和活动等社会功能的严重破坏,引起广泛的生命、物质或环境损失;这些损失超出了受影响社会靠自身资源进行抵御的能力。

按成灾条件,灾害可分为自然灾害和人为灾害两大类。自然灾害的种类十分繁多,它们的空间分布范围和表现形式各异,其形成条件包括两个方面:(i) 自然动力过程或自然环境的异常变化;(ii) 受灾害影响的对象,即人类生命财产以及赖以生存和发展的资源与环境。在一次灾害事件中,前者可称为灾害体,后者可称为承灾体或受灾体,二者的对立统一便形成了灾害。

王思敬等人(1992)认为,自然灾害是指由于自然原因造成的人身、财产及人类赖以生存发展的资源、环境等方面损害的事件,即发生在生态系统中的自然过程并导致人类社会失去稳定

和平衡的非常事件,其特点是干扰正常的社会生活。自然灾害是自然环境演化过程中的一个“插曲”,即自然环境的演化一般是连续的、缓慢的,具有累进性,而自然灾害的发生却往往是脉冲式的、迅速的和不连续的,具有释放性特征。自然灾害是自然环境自身演变及其与人类社会相互作用的产物。在地球的各个圈层中,都有自然灾害的发生(表 1-1)。

王智济等人(1999)认为,自然作用对人类环境产生冲击和破坏并导致生命和财产的重大损失,即构成灾害,灾害是一种能够给人类的生存环境及生命财产带来严重破坏的现象或状况。按成灾潜势把自然灾害划分为三种类型:(i)高潜势灾害,如洪水、飓风、龙卷风、海啸、激浪、火山、地震、野火等;(ii)中潜势灾害,如滑坡、崩塌、泥石流、旱灾等;(iii)低潜势灾害,如海岸侵蚀、霜冻、胀缩土、虫灾、生物灾害等。致灾作用过程实质上是环境系统中物质与能量的积累和释放过程。灾害事件发生之前,一般有一段长达几年甚至几百年的酝酿时间;当有诱发因素触动时可能立刻打破平衡状态,并在瞬间释放大量物质或能量而产生变故,出现突发事件。

某些自然灾害属于灾难性的事件或现象,其来势迅猛并伴有毁灭性的后果,如慧星或陨石撞击地球会带来灾难性的后果。从灾害发生过程的时间长短来看,有些灾害突然发生且几乎没有前兆现象,如地震、骤发洪水和瞬间沙暴等;而另外一些灾害的发生过程则缓慢得多,如地面沉降可以持续几年或更长的时间。

表 1-1 自然灾害的圈型分类

(据王思敬等,1992)

自然灾害类型	自然灾害系列
岩石圈型	地震、火山爆发、滑坡、泥石流、崩塌
土圈型	沙漠化、干旱、滑坡、地裂缝、水土流失、地面沉降
水圈型	洪水、暴雨、雪崩、冻害、海啸、海水倒灌
大气圈型	暴风、龙卷风、台风、酷热、严寒、干旱
生物圈型	蝗灾、森林火灾、植被退化、植物病虫害

人为灾害具有两方面的含义:(i)指由于人类活动在自然界诱发的灾害,如修建水库诱发的地震、边坡开挖引起的滑坡以及过量开采地下水造成的区域性地面沉降等;(ii)指在人工环境中发生的灾害,有时被称做技术灾害,如人的身体暴露于含有汞或石棉纤维的空气中而发生的中毒事件。由于人类向地球环境中排放废弃物而出现的酸雨、地表水和地下水污染、臭氧层破坏和全球气候变暖等环境问题也属于人为灾害的范畴。

针对灾害种类的多样性,Keith Smith(1996)提出了环境灾害的概念。他认为“环境灾害”这一术语涵盖了自然灾害和人为灾害的范畴,并把环境灾害概括为“极端的地质事件、生物变化过程和技术事故以能量和物质的集中释放为特征,并对人类生命安全构成不可预料的威胁及对环境和物质造成极大的破坏”。

2. 灾害效应

灾害对人类的影响并不完全是在灾变性地质事件发生的瞬间产生的,有些灾害可对人类产生持续时间很长的负作用。因此,可将灾害效应分为原生效应、次生效应和后续效应。原生效应是由灾害事件本身造成的,如地震时由于地面运动造成的建筑物倒塌、滑坡掩埋房屋、矿井瓦斯爆炸造成人员伤亡等。次生效应是由主要灾害事件诱发的灾害性过程造成的,它与主要灾害事件本身无直接关系,如地震时煤气管道破裂造成的火灾、洪水造成供水系统中断而引

起的“水荒”、大型岩溶塌陷诱发地震而造成的建筑物破坏等。后续效应往往是长期的甚至是永久性的,这种效应包括野生生物的绝灭、洪水造成的河道变迁、区域性或全球性气候变化、火山喷发后造成的农作物减产、地震造成的地形变化等。

灾害对人类的影响方式可分为直接损失和间接损失。直接损失(或称直接影响)指事件发生后立即产生的后果,如地震中由于建筑物倒塌而引起的人员伤亡及财产损失。它是由灾害对人类及其财产和环境的直接破坏而产生的,大多数情况下可以用准确可靠的货币价值来衡量。间接损失(或称间接影响)指在一场灾难中以第二顺序出现的后果,如灾害引发的饥荒和疾病蔓延、消费者购买欲望降低、工厂停产造成的产值下降、失业人数增加等。此外,受灾人群由于惊吓、丧失亲人而引起的精神上的创伤也属于灾害的间接损失。间接损失比直接损失造成的影响持续时间要长得多,并且这种影响多是无形的,不易用货币价值来计算。

(二) 地质灾害及其内涵

地质灾害是指在地球的发展演化过程中,由各种自然地质作用和人类活动所形成的灾害性地质事件。地质灾害在时间和空间上的分布及变化规律,既受制于自然环境,又与人类活动有关,后者往往是人类与地质环境相互作用的结果。一般认为,地质灾害是指由于地质作用(自然的、人为的或综合的)使地质环境产生突发的或渐进的破坏,并造成人类生命财产损失的现象或事件。地质灾害与气象灾害、生物灾害等都是自然灾害的一个主要类型,具有突发性、多发性、群发性和渐变影响等特点。由于地质灾害往往造成严重的人员伤亡和巨大的经济损失,所以在自然灾害中占有突出的地位。

由地质灾害的定义可知,地质灾害的内涵包括两个方面,即致灾的动力条件和灾害事件的后果。

地质灾害是由地质作用产生的,包括内动力地质作用和外动力地质作用。随着人类活动规模的不断扩展,人类活动对地球表面形态和物质组成正在产生愈来愈大的影响,因此,在形成地质灾害的动力中还包括人为活动对地球表层系统的作用,即人为地质作用。

只有对人类生命财产和生存环境产生影响或破坏的地质事件才是地质灾害。如果某种地质过程仅仅是使地质环境恶化,并没有破坏人类生命财产或影响生产、生活环境,只能称之为灾变。例如,发生在荒无人烟地区的崩塌、滑坡、泥石流,不会造成人类生命财产的损毁,故这类地质事件属于灾变;如果这些崩塌、滑坡、泥石流等地质事件发生在社会经济发达地区,并造成不同程度的人员伤亡和(或)财产损失,则可称之为灾害。

1.1.2 地质灾害的属性特征

地质灾害既是一种自然现象,又对人类社会的生产和生活造成严重的影响。因此它既具有自然属性,又具有社会经济属性。自然属性是指与地质灾害的动力过程有关的各种自然特征,如地质灾害的规模、强度、频次以及灾害活动的孕育条件、变化规律等。社会经济属性主要指与成灾活动密切相关的人类社会经济特征,如人口和财产的分布、工程建设活动、资源开发、经济发展水平、防灾能力等。由于地质灾害是自然动力作用与人类社会经济活动相互作用的结果,故二者是一个统一的整体。李铁锋等(1996)、潘懋等(1997)、张梁等(1998)对地质灾害的属性特征进行了较为系统的总结,现综述如下。

(一) 地质灾害的必然性与可防御性

地质灾害是地球物质运动的产物,主要是地壳内部能量转移或地壳物质运动引起的。从

灾害事件的动力过程看,灾害发生后,能量和物质得以调整并达到平衡,但这种平衡是暂时的、相对的;随着地球的不断运动,新的不平衡又会形成。因此,地质灾害是伴随地球运动而生并与人类共存的必然现象。

然而,人类在地质灾害面前并非无能为力。通过研究灾害的基本属性,揭示并掌握地质灾害发生、发展的条件和分布规律,进行科学的预测预报和采取适当的防治措施,就可以对灾害进行有效的防御,从而减少和避免灾害造成的损失。

(二) 地质灾害的随机性和周期性

地质灾害是在多种动力作用下形成的,其影响因素更是复杂多样。地壳物质组成、地质构造、地表形态以及人类活动等都是地质灾害形成和发展的重要影响因素。因此,地质灾害发生的时间、地点和强度等具有很大的不确定性。可以说,地质灾害是复杂的随机事件。

地质灾害的随机性还表现为人类对地质灾害的认知程度。随着科学技术的发展,人类对自然的认识水平不断提高,从而更准确地揭示了地质过程和现象的规律,对地质灾害随机发生的不确定性有了更深入的认识。

受地质作用周期性规律的影响,地质灾害还表现出周期性特征。统计资料表明,包括地质灾害在内的多种自然灾害具有周期性发生的特点。如地震活动具有平静期与活跃期之分,强烈地震的活跃期从几十年到数百年不等;泥石流、滑坡和崩塌等地质灾害的发生也具有周期性,表现出明显的季节性规律。

(三) 地质灾害的突发性和渐进性

按灾害发生和持续时间的长短,地质灾害可分为突发性地质灾害和渐进性地质灾害两大类。突发性地质灾害大都以个体或群体形态出现,具有骤然发生、历时短、爆发力强、成灾快、危害大的特征。如地震、火山、滑坡、崩塌、泥石流等均属突发性地质灾害。

渐进性地质灾害指缓慢发生的,以物理的、化学的和生物的变异、迁移、交换等作用逐步发展而产生的灾害。这类灾害主要有土地荒漠化、水土流失、地面沉降、煤田自燃等。渐进性地质灾害不同于突发性地质灾害,其危害程度逐步加重,涉及的范围一般比较广,尤其对生态环境的影响较大,所造成的后果和损失比突发性地质灾害更为严重,但不会在瞬间摧毁建筑物或造成人员伤亡。

土地荒漠化和水土流失是造成我国生态环境恶化和经济损失的主要的渐进性地质灾害。中国黄土高原水土流失面积达 $43 \times 10^4 \text{ km}^2$, 年均侵蚀模数约 $8000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$; 长江以南、云贵高原以东的山地丘陵区, 年均侵蚀模数约 $3000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。据陕西等 25 个省、区、市统计, 水土流失面积达 $182.37 \times 10^4 \text{ km}^2$, 泥沙流失量超过 $48.47 \times 10^8 \text{ t/a}$, 每年新增流失面积 4790 km^2 以上。中国“三北”地区现有沙质荒漠化土地 $153.3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 已超过全国耕地面积的总和。20 世纪 50~70 年代, 我国沙质荒漠化土地每年以 1560 km^2 的速度扩大, 进入 80 年代, 沙质荒漠化面积每年扩大 2100 km^2 , 现在仍有进一步扩大的趋势。

(四) 地质灾害的群体性和诱发性

许多地质灾害不是孤立发生或存在的,前一种灾害的结果可能是后一种灾害的诱因或是灾害链中的某一环节。在某些特定的区域内,受地形、区域地质和气候等条件的控制,地质灾害常常具有群发性的特点。

崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝等灾害的这一特征表现得最为突出。这些灾害的诱发因素主要是地震和强降雨过程,因此在雨季或强震发生时,常常引发大量的崩塌、滑坡、泥石流或地裂

缝灾害。例如,1960年5月22日智利接连发生了7.7级、7.8级、8.5级三次大地震,而在瑞尼赫湖区则引发了体积为 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、 $6 \times 10^6 \text{ m}^3$ 和 $30 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的三次大滑坡;滑坡冲入瑞尼赫湖使湖水上涨24 m,湖水外溢淹没了湖泊下游65 km处的瓦尔迪维亚城,全城水深2 m,使100多万人无家可归。在这次灾害过程中,地震—滑坡—洪水构成了一个灾害链。1988年11月6日中国云南澜沧-耿马7.6级地震导致严重的地裂缝、崩塌、滑坡等灾害,在极震区出现长达几十公里、宽几厘米的地裂缝和大量的崩塌、滑坡体,由此造成大量农田和森林被毁,175个村庄、5032户居民因受危岩、滑坡的严重威胁而被迫搬迁,另有许多水利设施受到不同程度的破坏。

在泥石流频发区,通常发育有大量潜在的危岩体和滑体,暴雨后极易发生严重的崩塌、滑坡活动,由此形成大量碎屑物融入洪流,进而转化成泥石流灾害。这种类型的灾害,在我国西南的川、滇等地区非常普遍。

水土流失的直接危害是土层变薄、土地肥力下降、耕地减少,它还可诱发下游地区湖泊、水库淤积,河道淤塞,使泄洪、蓄水、发电功能降低甚至失效。

(五) 地质灾害的成因多元性和原地复发性

不同类型地质灾害的成因各不相同,大多数地质灾害的成因具有多元性,往往受气候、地形地貌、地质构造和人为活动等综合因素的制约。

某些地质灾害具有原地复发性,如我国西部川藏公路沿线的古乡冰川泥石流,一年内曾发生泥石流70多次,为国内所罕见。

(六) 地质灾害的区域性

地质灾害的形成和演化往往受制于一定的区域地质条件,因此其空间分布经常呈现出区域性的特点。如中国“南北分区,东西分带,交叉成网”的区域性构造格局对地质灾害的分布起着重要的制约作用。据统计,90%以上的“崩、滑、流”地质灾害发育在第二级阶梯山地及其与第一和第三级阶梯的交接部位;第三阶梯东部平原的地质灾害类型主要为地面沉降、地裂缝、胀缩土等。按地质灾害的成因和类型,中国地质灾害可划分为四大区域:(i)以地面沉降、地面塌陷和矿井突水为主的东部区;(ii)以崩塌、滑坡和泥石流为主的中部区;(iii)以冻融、泥石流为主的青藏高原区和(iv)以土地荒漠化为主的西北区。

(七) 地质灾害的破坏性与“建设性”

地质灾害对人类的主导作用是造成多种形式的破坏,但有时地质灾害的发生可对人类产生有益的“建设性”作用。例如,流域上游的水土流失可为下游地区提供肥沃的土壤;山区斜坡地带发生的崩塌、滑坡堆积为人类活动提供了相对平缓的台地,人们常在古滑坡台地上居住或种植农作物。

(八) 地质灾害影响的复杂性和严重性

地质灾害的发生、发展有其自身复杂的规律,对人类社会的影响还表现出长久性、复合性等特征。

首先,重大地质灾害常造成大量的人员伤亡和人口大迁移。近几十年来,全球地质灾害造成的财产损失、受灾人数和死亡人数都呈现出不断上升的趋势(图1-1)。1901~1980年中国地震灾害造成的死亡人数达61万人,全国平均每年由于“崩、滑、流”灾害造成的死亡人员达928人(段永侯等,1993)。1999年,全球发生的地震和飓风等大的自然灾害共702起,超过了1998年的700起。其中,较大的自然灾害共75起,包括洪水、干旱、暴风雨、地震、火山爆发