

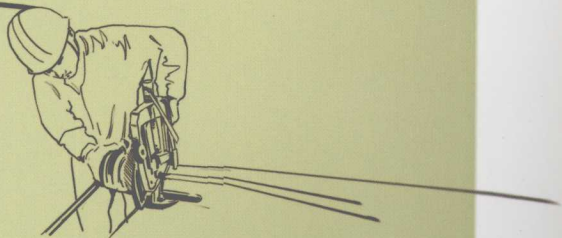
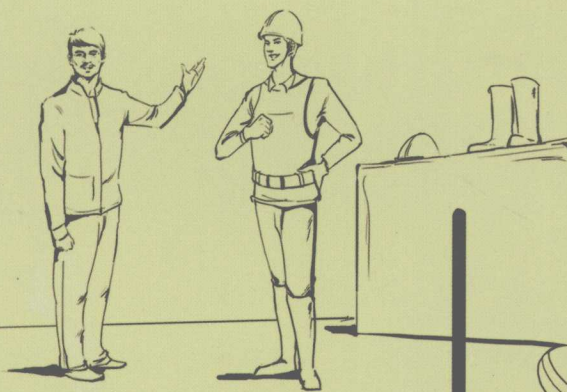
GONGCHENG
ANQUAN
JISHU CONGSHU

工程安全技术丛书

地质灾害防治

主编 陈祥军 王景春

自形成以来，地球的物质组成、内部结构、表面形态时刻都在变化着，所有引起固体地球的物质组成、内部结构、表面形态等方面发生变化的过程，统称为地质作用。地质灾害是指由于地质作用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。近年来，地质环境的合理利用与保护已成为人类特别关注的重大课题。环境工程地质问题，主要是由于人在经济-工程活动中引起地质环境的变异并超出环境自控能力，而影响人类生产活动、生活健康、生存安全的环境恶化问题，其中包括兴修水利、水电工程引起的环境工程问题，修建铁路、公路引起的环境工程地质问题，是人类日益强大的人工或人为地质作用力与自然地质作用力混合作用的结果。



中国建筑工业出版社



湖南大学图书馆ZS0869465

工程安全技术丛书

ISBN 978-7-112-13144-0

地质灾害防治

地质灾害防治

王景春 陈祥军 主编

主编 陈祥军 王景春



地质灾害防治

王景春 陈祥军 主编

地质灾害防治

中国地质出版社

地质出版社

地质出版社

地质出版社

ISBN 978-7-112-13144-0

地质出版社

地质出版社

地质出版社

中国地质出版社

地质出版社

地质出版社

P694
4

图书在版编目 (CIP) 数据

地质灾害防治/陈祥军, 王景春主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 6

(工程安全技术丛书)

ISBN 978-7-112-13144-0

I. ①地… II. ①陈…②王… III. ①地质-灾害防治
IV. ①P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 060767 号

本书面向土木工程及相关专业在校学生和现场施工人员, 介绍与工程建设活动有密切关系的地质灾害知识, 旨在使土木工程施工人员了解有关的地质灾害知识, 了解各种地质灾害的形成机理与防治方法, 以便在工程活动中利用这些知识, 保证工程活动的安全进行以及工程建筑物的正常运营。

* * *

责任编辑: 王 磊 田启铭

责任设计: 张 虹

责任校对: 陈晶晶 赵 颖

工程安全技术丛书

地质灾害防治

主编 陈祥军 王景春

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京千辰公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13³/₄ 字数: 342 千字

2011 年 10 月第一版 2011 年 10 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-13144-0

(20482)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

前 言

1. 地质灾害研究意义

灾害是对人类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的事件或过程。按成灾条件，灾害可分为自然灾害和人为灾害两大类，地质灾害是自然灾害的一个主要类型。自形成以来，地球的物质组成、内部结构、表面形态时刻都在变化着，所有引起固体地球的物质组成、内部结构、表面形态等方面发生变化的过程，统称为地质作用。地质灾害是指由于地质作用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。

有史以来，自然灾害给人类带来了重大的伤亡和痛苦，生命和财产遭受了巨大的损失。目前，人类正面临着灾害的严重威胁和挑战。由于人口快速增长和集中，各种高技术和建设规模的有增无减，人为因素对自然生态的破坏导致自然灾害对人类世界的潜在威胁日趋严重，已经并将继续造成世界的严重不稳定因素，减轻自然灾害已成为人类面临的一项紧迫任务。自然灾害是世界性的重大问题，不分地域和政治界限，差不多所有的国家和地区都遭受到它的破坏和威胁。许多事例表明目前人类在科学技术上要完全阻止自然灾害的发生是很难办到的，但它产生的灾难、导致的重大损失不是不可避免的，一般说来，所谓减轻灾害是指减轻由潜在的危害可能造成社会及其环境影响的过程，实际上这意味着减少伤亡及财产损失，并使社会和经济结构在灾害中受到的破坏得以减轻到最低程度。经验证明，人类已经有了足够的知识，无论是对灾害成因与危害的认识，还是对减轻灾害损失的技术方法的掌握运用，都已达到了相当的水平，只要通过国际上有效的合作和协调一致的努力，运用得当，完全有可能把人类面临自然灾害的威胁极大程度地降低。

20 世纪末，科学家们认识到应该将自然灾害看作一个世界性问题，科学技术的发展以及减灾技术的进步，为处理这个全球性的问题提供了最好的机会。一个减轻自然灾害的全球计划，包括在文化上、经济上完全不同国家之间的协作得到了科学技术界普遍的热列支持。国际科学联合会理事会（ICSU）、国际大地测量学与地球物理学会（IUGG）、国际地质学学会（IUGG）、国际工程地质学会（IAEG）、国际岩石圈联合会（ICL）等国际组织都表示支持，此外，至少有 17 个国家、地区作出了响应，表示极大的兴趣和充分的支持。1987 年底，由摩洛哥和日本倡议，多个国家联名向 42 届联合国大会提出减灾议案，这个议案于 1987 年 12 月 11 日在大会上通过，并形成 169 号决议。它的主要内容为：确定把从 1990~2000 年的 20 世纪最后 10 年定名为国际减轻自然灾害十年，英文名为 International Decade for Natural Disaster Reduction，简称为 IDNDR，中文简称为“国际减灾十年”或“减灾十年”；旨在联合国的主持下，通过国际上的一致行动，把当今世界上，特别是发展中国家由于自然灾害造成的人民生命财产损失、社会和经济停顿减轻到最低程度。

为响应“国际减轻自然灾害十年活动”，中国于 1989 年 4 月成立了由国务院 20 多个部委负责人组成的中国减轻自然灾害委员会，同年成立了中国地质灾害研究会，并召开了

地质灾害防治工作会议，讨论制定了《全国地质灾害防治工作规划纲要》(1990~2000年)。十几年来，中国地质灾害研究会及其下设的防治工程专业委员会、地质灾害经济专业委员会、青年工作委员会等专业委员会举办多次关于灾害研究与防治学术讨论会。作为自然灾害的主要类型，地质灾害的研究目前已形成一个专门的地质学研究领域。很多院校和研究单位设立了地质灾害防灾减灾研究方向，建立了专门的实验室，如成都理工大学的“地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室”、中科院山地所的“地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室”、贵州大学的“喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室”、三峡大学的“三峡库区地质灾害教育部重点实验室”，这些实验室在加强科研水平的同时，招收研究生，培养了大量的地质灾害防治专门人才。

进入21世纪后，灾害防治和国土环境治理工作成为实施可持续发展战略的核心组成部分。2007年6月19日国务院总理温家宝在会见国际地科联官员时的谈话阐述了地质学的重要性。他认为现代地质科学面临的任务就是要同经济、社会、环境紧密结合，支撑经济和社会的可持续发展，保护地球环境，实现人与自然永远和谐相处。人类要求发展，必须与地球和谐相处，这就构成了科学发展观的主要内容。和谐不是没有矛盾，而是很好地处理矛盾，这就需要地质科学。只有认识了地球演化的历史和运动规律，才能帮助人们实现与自然永远和谐相处这一伟大的目标。

国务院印发的《地质灾害防治工作规划纲要》(2001~2015年)提出我国地质灾害防治的总体目标是：用15年的时间，建立起相对完善的地质灾害防治法律法规体系和适应社会主义市场经济要求的地质灾害防治监督管理体系，严格控制人为诱发地质灾害的发生；加强基础调查工作，在基本掌握我国致灾地质作用分布状况与危害程度的基础上，建立并逐步完善地质灾害监测预报和群测群防体系；调动各方面的积极性，加强地质灾害治理工作力度，使危害严重的重大地质灾害点基本得到整治。通过这一阶段工作，将地质灾害防治从过去分散的、被动应急的状况，转变为有组织的、专门的、主动的和有预见性的工作。到2005年，使人为诱发的地质灾害日益突出的趋势得到有效控制；到2015年，基本改变我国地质灾害日趋严重的局面，使我国地质灾害的发生率和损失量有明显降低。

2. 土木工程与地质灾害的关系

近年来，地质环境的合理利用与保护已成为人类特别关注的重大课题。环境工程地质问题，主要是由于人在经济-工程活动中引起地质环境的变异并超出环境自控能力，而影响人类生产活动、生活健康、生存安全的环境恶化问题，包括兴修水利或水电工程、修建铁路或公路引起的环境工程地质问题，是人类日益强大的人工或人为地质作用力与自然地质作用力混合作用的结果。已故著名地质学家刘东生院士撰文指出地质学家认识到人类活动作为一种地质营力其能量已超过了自然界本身的变动这一事实^[1]。自1972年联合国召开人类环境会议呼吁各国重视环境问题以来，几十年的经验表明，随着人类环境意识的增强和科学技术的发展，把地球作为一个系统、把人作为驱动地球环境变化的动力学因素参与到可持续发展的研究中的思想，带来了近些年逐渐出现且日益受到重视的人与自然的全球观。这种环境地质学观点形成的关键是对自然界的两种新认识：①地球是一个完整的系统，其中生物圈是一个活跃的组成部分，要求地质学和生态学的结合，生态地质学由此产生。②人类活动是如此强大，它对地球的影响已达到了全球尺度，并与社会经济活动形成一种以复杂的、相互作用的和加速度的形式出现的系统。人类活动可能改变地球系统并

达到威胁人类生存的状况，这就要求人与自然的协调，要求自然科学和社会科学的结合，可持续发展科学因之出现。

土木工程是指建造各类工程设施的科学、技术和工程的总称，也可以狭义地理解为为了建造工程设施应用材料、工程设备在土地上进行勘察、设计、施工等工程技术活动。目前中国正在进行世界上最大规模的工程建设，这是与我国城市化进程密切相关的。根据有关部门发布的2008年度全国城市环境管理与综合整治年度报告，2008年我国城镇化率已经达到45.68%。由于人口向城镇的流动，大量的居住建筑和公共设施需要建设；由于城镇的发展，城镇之间的联结要加强，大量的空港（点与点的联系）、铁路（线与线的联系）和大小公路网（面和面的联系）都要兴建。可以预计，至少到2020年，中国将持续地进行世界上最大规模的工程建设。

人类的工程活动都是在一定的地质环境中进行的。修建水库、隧道、道路、桥梁、民用建筑等工程活动，在很多方面受地质环境的制约，地质灾害的发生可能影响工程建筑物的类型、工程造价、施工安全、稳定性和正常使用等。如山区开挖深路堑时，忽视地质条件，如果发生大规模的崩塌或滑坡灾害，不仅增加工程量、延长工期和提高造价，甚至危及施工安全。反过来，人类的工程活动也影响着地质环境，不合理的土木工程导致地质灾害的产生，危害人类生命财产和工程建筑安全，乃至破坏较大区域内的工程地质环境。如工程施工岩土回填、挖方弃土和废弃物堆积，堵塞河道，造成次生泥石流和滑坡；兴修水库造成塌岸、水库滑坡、水库诱发地震；过量开采地下水会造成地面沉降、水质污染、岩溶塌陷、海水入侵及地震活动加剧等。

因此，作为土木工程的从业人员，必须考虑工程与地质环境的相互作用。一方面，在工程勘察、设计、施工各环节注意地质灾害对土木工程的影响，保证施工安全与建筑物的正常使用。另一方面，在工程勘察、设计、施工各环节注意土木工程对地质环境的影响，减少诱发的地质灾害。

3. 本书侧重点

目前，在国内相关院校土木工程专业课程设置体系中，大都开设了《工程地质学》作为必修的专业基础课程。通过《工程地质学》课程学习，土木工程专业学生可以掌握一些基本的工程地质知识，具有一定的阅读工程地质资料、分析工程地质条件、解决工程地质问题的能力。但对地质灾害的了解很少，虽然有些工程地质教材中用一定篇幅对地质灾害进行介绍，但是受学时紧张的限制，一般很难展开全面、深入讨论。为了弥补这方面的缺陷，石家庄铁道大学为高年级的土木工程专业学生开设了《地质灾害防治》选修课，受到了学生们的普遍欢迎。本书面向土木工程在校学生和现场施工人员，介绍与工程建设活动有密切关系的地质灾害知识，旨在使土木工程施工人员了解有关的地质灾害知识，了解各种地质灾害的形成机理与防治方法，以便在工程活动中利用这些知识，保证工程活动的安全进行以及工程建筑物的正常运营。

地质灾害可以分为多种类型，每种类型都涉及非常广泛的研究内容。要将地质灾害的所有基础知识和相关研究成果在一本书中全面介绍，是不现实的。本书无意涉及全部的地质灾害类型，而是突出与土木工程施工安全及建筑物运营安全有关的地质灾害，对一些缓进型的地质灾害类型或与土木工程安全关系不是很密切的地质灾害类型不作讨论。例如火山地质灾害是一种重要的内生地质灾害，但是，一方面，火山地质灾害主要体现在环境破

坏方面，关于火山地质灾害对具体工程活动的影响方面研究很少；另一方面，按照目前的认识，在中国大陆境内近代还在活动的活火山很少。因此，本书不涉及火山地质灾害方面的知识。

作为一本普及性读物，对书中讨论的地质灾害类型，本书无意全面介绍其各个研究方面，而是突出其对土木工程施工安全及建筑物运营安全影响方面的内容。例如目前对滑坡的研究很深入，包括很多研究方面，每个方面都可以作为一个专题进行论述，本文主要涉及滑坡的形成条件、危害以及防治等方面。有一些地质作用类型，虽然很少有人定义为地质灾害，但能够在一定程度上影响土木工程施工安全及建筑物运营安全。例如，风化作用进展较慢，不会像滑坡一样造成巨大损失，但也会影响土木工程施工安全及建筑物运营安全，本书也作简要介绍。

本书为土木工程安全技术系列丛书之一，由石家庄铁道大学从事《地质灾害防治》课程和《工程地质》课程教学的几位老师共同编写。陈祥军担任主编，侯卫红编写第一章，温进芳编写第二章、第四章，孟硕编写第三章，陈祥军编写第五章、第六章、第七章，刘秀峰和王伟参加了部分章节的修订工作，全书由陈祥军和丛书总编王景春统一审阅定稿。编写过程中参考了大量的相关著作、教材、手册、期刊文章等，对相关作者表示衷心的感谢。由于水平所限，谬误之处在所难免，敬请大家批评指正。编者单位是：石家庄铁道大学土木学院工程地质教研室，050043。邮箱为：cxj9596@sohu.com。欢迎来信讨论。

04	地质灾害基本概念	1
14	1.1 地质灾害的基本概念	1
14	1.1.1	地质灾害的定义	1
14	1.1.2	地质灾害的特征	2
14	1.1.3	地质灾害的分类与分级	4
14	1.1.4	中国地质灾害的发育状况与分布规律	6
14	1.1.5	中国地质灾害的研究历史与现状	9
14	1.2	地质灾害评估与分析	10
14	1.2.1	地质灾害灾情评估的类型与内容	10
14	1.2.2	地质灾害危险性评价	11
14	1.2.3	社会经济易损性评价	12
14	1.2.4	地质灾害破坏损失评价	13
14	1.2.5	地质灾害防治工程评价	15
14	1.3	地质灾害减灾对策	17
14	1.3.1	21 世纪全球减灾新战略	17
14	1.3.2	防灾减灾的基本原则	18
14	1.3.3	减轻地质灾害的措施	19
14	1.3.4	减灾系统工程与灾害管理	23
18	2	地震地质灾害	26
18	2.1	地震概述	26
18	2.1.1	地震的定义与类型	26
18	2.1.2	地震波	27
18	2.1.3	震级与烈度	28
18	2.1.4	地震的时空分布	30
18	2.2	地震灾害	31
18	2.2.1	地震灾害的特点	32
18	2.2.2	地震效应	32
18	2.2.3	地震灾害破坏形式	33
18	2.3	地震的监测、预报与减灾对策	35
18	2.3.1	地震监测	35
18	2.3.2	地震预报	36

2.3.3	地震灾害损失预测	40
2.3.4	减轻地震灾害的对策	41
2.4	减轻地震灾害的工程对策	43
2.4.1	减轻建筑结构地震破坏的综合对策	43
2.4.2	工程抗震技术	44
2.4.3	工程隔震技术	48
2.4.4	工程减震技术	52
2.5	诱发地震及其预防	55
2.5.1	诱发地震的类型	55
2.5.2	预防诱发地震的对策	58
3	斜坡地质灾害	60
3.1	斜坡地质灾害综述	60
3.1.1	斜坡地质灾害的类型	60
3.1.2	斜坡地质灾害的影响因素	61
3.1.3	中国斜坡地质灾害发育规律	63
3.1.4	斜坡地质灾害的监测预报	64
3.2	崩塌	69
3.2.1	崩塌的形成条件与诱发因素	69
3.2.2	崩塌的危害	71
3.2.3	崩塌的防治	72
3.3	滑坡	73
3.3.1	滑坡的形态与识别标志	74
3.3.2	滑坡的形成条件和发育规律	76
3.3.3	滑坡的分类	78
3.3.4	滑坡的危害	79
3.3.5	滑坡稳定程度判断与滑坡预测预报	81
3.3.6	滑坡的防治	84
3.4	泥石流	86
3.4.1	泥石流的形成条件与分布规律	87
3.4.2	泥石流的运动机理与径流特征	89
3.4.3	泥石流的分类	90
3.4.4	泥石流的危害	92
3.4.5	泥石流的防治	94
4	地面变形地质灾害	96
4.1	概述	96
4.2	地面沉降	97
4.2.1	地面沉降的成因、形成条件和分布规律	97

4.2.2	地面沉降的危害	100
4.2.3	地面沉降的监测、预测与防治	101
4.3	地裂缝	103
4.3.1	地裂缝的类型和分布	104
4.3.2	地裂缝的危害	105
4.3.3	地裂缝的防治	106
4.4	地面塌陷	107
4.4.1	岩溶地面塌陷	108
4.4.2	采空区地面塌陷	114
5	其他工程致灾地质作用	116
5.1	风化作用	116
5.1.1	风化作用的类型	116
5.1.2	岩石风化的工程地质问题	118
5.2	地表水的地质作用	120
5.2.1	地表流水的侵蚀、搬运和沉积作用	120
5.2.2	与河流地质作用有关的工程地质问题	122
5.3	地下水的工程地质问题	124
5.3.1	地下水的基本类型	124
5.3.2	地质灾害中的地下水环境效应	128
5.3.3	与地下水有关的工程地质问题	130
5.4	岩溶	132
5.4.1	岩溶作用的形成条件与发育规律	132
5.4.2	岩溶地貌	134
5.4.3	岩溶的工程地质问题	137
6	工程岩土体地质灾害	138
6.1	地下工程周围岩体地质灾害	138
6.1.1	周围岩体变形与破坏类型	138
6.1.2	岩爆	139
6.1.3	塌方与冒顶垮帮	142
6.1.4	其他地下工程灾害	143
6.2	边坡岩体地质灾害	145
6.2.1	岩质边坡变形和破坏类型	145
6.2.2	影响岩质边坡稳定的因素	146
6.2.3	岩质边坡变形破坏的防治措施	147
6.3	特殊土地质灾害	147
6.3.1	黄土的工程地质问题	148
6.3.2	冻土的工程地质问题	152

6.3.3	软土的工程地质问题	154
6.3.4	膨胀土的工程地质问题	156
7	矿区、库区与城市地质灾害	159
7.1	矿区地质灾害	159
7.1.1	矿区地面变形	159
7.1.2	露天矿边坡失稳	162
7.1.3	煤与瓦斯危害	163
7.1.4	矿井突水	167
7.2	库区地质灾害	170
7.2.1	水库诱发地震	171
7.2.2	岸坡地质灾害	173
7.2.3	其他地质灾害	178
7.3	城市地质灾害	179
7.3.1	城市地质灾害的基本类型	181
7.3.2	人类活动与城市地质灾害	185
7.3.3	城市地质灾害的防治对策	187
	附录一 地质灾害防治工作规划纲要 (2001~2015年)	192
	附录二 地质灾害防治条例	201
	参考文献	209

地质灾害防治工程地质学（第二版）

1 地质灾害的基本概念、灾情评估与减灾对策

1.1 地质灾害的基本概念

1.1.1 地质灾害的定义

联合国减灾组织（United Nation Disaster Reducation 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，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^[2]。

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。自然灾害种类繁多，有些自然灾害来势迅猛并伴有毁灭性的后果，如地震、洪水、龙卷风、蝗灾等，有些灾害的发生过程则缓慢得多，如地面沉降、水土流失等。人为灾害具有两方面的含义：①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；②指在人工环境中发生的灾害，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。

自形成以来，在漫长的地质历史进程中，固体地球的成分和面貌时刻都在变化着。所有引起矿物、岩石的产生和破坏，从而使地壳面貌发生变化的自然作用，统称为地质作用。地质灾害是指由于地质作用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。地质灾害是自然灾害的一个主要类型，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。

地质作用包括内动力地质作用和外动力地质作用，相应的，地质灾害包括内动力地质灾害和外动力地质灾害。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。地质灾害和一般地质事件的区别在于，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或财产损失，则可称之为灾害。

1.1.2 地质灾害的特征

地质灾害既具有自然属性，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。张有良主编的《最新工程地质手册》（2006）对地质灾害的属性特征进行了如下综述^[2]：

1. 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。

2. 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都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。

3. 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。

4. 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、地裂缝等灾害的群发性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，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，另有许多水利工程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。

5. 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。

6. 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：①以地面沉降、地面塌陷和矿井突水为主的东部区；②以崩塌、滑坡和泥石流为主的中部区；③以冻融、泥石流为主的青藏高原区；④以土地荒漠化为主的西北区。

7. 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。

8. 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，对人类社会经济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。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。其次, 受地质灾害周期性变化的影响, 经济发展也相应地表现出一定的周期性特点。在地质灾害活动的平静期, 灾害损失减少、社会稳定、经济发展比较快。相反, 在活跃期, 各种地质灾害频繁发生, 基础设施遭受破坏、生产停顿或半停顿、社会经济遭受巨大的直接和间接影响。

地质灾害地带性分布规律还导致经济发展的地区性不平衡。在一些地区, 灾害不仅具有群发性特征且周期性的频繁产生, 致使区域性生态破坏、自然条件恶化, 严重地影响了当地社会、经济的发展。全球范围内的南北差异和我国经济发展的东部和中西部的不平衡也与地质灾害的区域性分布有关。

9. 人为地质灾害的日趋显著性

由于地球人口的急剧增加, 人类的需求不断增长。为了满足这种需求, 各种经济开发活动愈演愈烈, 许多不合理的人类活动使得地质环境日益恶化, 导致大量次生地质灾害的发生。例如, 超量开采地下水引起地面沉降、海水入侵和地下水污染; 矿产资源开采和大量基础工程建设中爆破与开挖导致崩塌、滑坡、泥石流等灾害的频发; 乱伐森林、过度放牧导致土壤侵蚀、水土流失、土地荒漠化等。

除天然地震和火山喷发外, 大多数地质灾害的发生均与人类经济活动有关。如全球滑坡灾害的 70% 与人类活动密切相关。单纯人为作用引起的地质灾害数量越来越多, 规模越来越大, 影响越来越广, 经济损失也愈加严重。人类对地质环境的作用, 在许多方面已相当于甚至超过自然力, 成为重要的不可忽视的地质营力。

10. 地质灾害防治的社会性和迫切性

地质灾害除了造成人员伤亡, 破坏房屋、铁路、公路、航道等工程设施, 造成直接经济损失外, 还破坏资源和环境, 给灾区社会经济发展造成广泛而深刻的影响。特别是在严重的崩塌、滑坡、泥石流等灾害集中分布的山区, 地质灾害严重阻碍了这些地区的经济发展, 加重了国家和其他较发达地区的负担。因此, 有效地防治地质灾害不但对保护灾区人民生命财产安全具有重要的现实意义, 而且对于促进区域经济发展具有广泛而深远的意义。

我国地质灾害分布十分广泛, 有效地防治地质灾害不但需要巨大的资金投入, 而且需要社会的广泛参与。目前我国经济还比较落后, 国家每年只能拿出有限的资金用于重点防治。即使经济比较发达的国家, 也不可能花费巨额资金实施全面治理。无论是现在还是将来, 除政府负责主导性的防治外, 需要企业和民众广泛参与抗灾、防灾事业。因此, 减轻地质灾害损失关系到地区、国家, 乃至全球的可持续发展。

1.1.3 地质灾害的分类与分级

1. 地质灾害的类型

按不同的分类原则, 地质灾害有多种分类方案, 使用比较多的是按成因进行灾害分类。按灾害的成因, 地质灾害可分为自然动力型、人为动力型及复合动力型^[2] (表 1-1)。自然动力型地质灾害可再分为内动力亚类、外动力亚类和内外动力复合亚类; 人为动

力型地质灾害按人类活动的性质还可进一步细分为水利水电工程地质灾害、矿山工程地质灾害、城镇建设地质灾害、道路工程地质灾害、农业地质灾害、海岸港口工程地质灾害、核电工程地质灾害等；复合动力型分为内外动力复合亚类、人为内动力复合亚类、人为外动力复合亚类。

地质灾害成因类型划分表

表 1-1

类 型	亚 类	灾 害 举 例
自然动力型	内动力亚类	地震、火山、地裂缝等
	外动力亚类	泥石流、滑坡、崩塌、岩溶塌陷、荒漠化等
人为动力型	道路工程	滑坡、崩塌、荒漠化、黄土湿陷等
	水利水电工程	泥石流、滑坡、崩塌、岩溶塌陷、地面沉降、诱发地震等
	矿山工程	地面塌陷、坑道突水、泥石流、诱发地震、煤与瓦斯突出等
	城镇建设	地面沉降、地裂缝、地下水变异等
	农林牧活动	水土流失、荒漠化、与地质因素有关洪涝灾害等
自然与人为动力复合型	海岸港口工程	海底滑坡、岸边侵蚀、海水入侵等
	内外动力复合亚类	泥石流、滑坡、崩塌等
	内动力人为复合亚类	岩爆、瓦斯爆炸、地裂缝、地面沉降等
	外动力人为复合亚类	泥石流、滑坡、崩塌、水土流失、荒漠化等

按空间分布状况，地质灾害可分为陆地地质灾害和海洋地质灾害两个系统。陆地地质灾害又分为地面地质灾害和地下地质灾害；海洋地质灾害又分为海底地质灾害和水体地质灾害。

按地质环境变化的速度，地质灾害可划分为突发性和渐进性地质灾害两类。前者主要有火山、地震、泥石流、滑坡、崩塌、岩溶塌陷等；后者主要有水土流失、地面沉降、土地荒漠化等。

2. 地质灾害分级

地质灾害分级反映了地质灾害的规模、活动频次及其对人类与环境的危害程度。地质灾害的分级方案有灾变分级、灾度分级、风险分级。灾变分级是对地质灾害活动强度、规模和频次的等级划分；灾度分级反映了灾害事件发生后所造成的破坏和损失程度；风险分级是在灾害活动概率分析基础上核算出来的期望损失的级别划分。

上述三种分级是基于不同目的而提出的，彼此不能相互取代。在经济发达地区，对风险分级更应予以重视。由于受地质灾害区域性分布的特点、社会经济发展水平和科学技术水平等因素的影响，制定统一的地质灾害分级标准也比较困难。罗元华等人（1998）根据地质灾害活动规模，对崩塌（危岩）、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、地裂缝、地面沉降、海水入侵、膨胀土等灾害进行了较详细的灾变等级划分（表 1-2）^[3]。

地质灾害灾变等级划分表

表 1-2

灾 种	指 标	灾 变 等 级			
		特大型	大型	中型	小型
崩塌	体积 (10^4m^3)	≥ 100	10 ~ 100	1 ~ 10	≤ 1
滑坡	体积 (10^4m^3)	≥ 1000	100 ~ 1000	10 ~ 100	≤ 10
泥石流	堆积物体积 (10^4m^3)	≥ 50	20 ~ 50	1 ~ 20	≤ 1
岩溶塌陷	影响范围 (km^2)	≥ 20	10 ~ 20	1 ~ 10	≤ 1
地裂缝	影响范围 (km^2)	≥ 10	5 ~ 10	1 ~ 5	≤ 1
地面沉降*	地面面积 (km^2)	≥ 500	100 ~ 500	10 ~ 100	≤ 10
	累计沉降量 (m)	≥ 2.0	1.0 ~ 2.0	0.5 ~ 1.0	≤ 0.5
海水入侵	入侵范围 (km^2)	≥ 500	100 ~ 500	10 ~ 100	≤ 10
膨胀土	分布面积 (km^2)	≥ 100	10 ~ 100	1 ~ 10	≤ 1

* 地面沉降灾变等级的两个指标不在同一级次时, 按从高原则确定灾变等级。

根据一次灾害事件所造成的死亡人数和直接经济损失额, 地质灾害的灾度等级可划分为特大灾害、大灾害、中灾害和小灾害四级 (表 1-3); 而风险等级有高度风险、中度风险、轻度风险和微度风险之分 (表 1-4)。

地质灾害灾度等级划分表

表 1-3

灾度等级*	死亡人数	直接经济损失 (万元)	灾度等级*	死亡人数	直接经济损失 (万元)
特大灾害	≥ 100	≥ 1000	中灾害	1 ~ 10	10 ~ 100
大灾害	10 ~ 100	100 ~ 1000	小灾害	0	≤ 10

* 灾度的两项指标不在一个级次时, 按从高原则确定灾度等级。

地质灾害风险等级划分表

表 1-4

风险等级		高度	中度	轻度	微度 (零风险)
期望损失	年均死亡人数	≥ 10	1 ~ 10	0	0
	直接经济损失 (万元/年)	≥ 100	10 ~ 100	1 ~ 10	≤ 1

在 2003 年 11 月 19 日国务院第 29 次常务会议通过的《地质灾害防治条例》中, 规定地质灾害按照人员伤亡、经济损失的大小, 分为四个等级: ①特大型: 因灾死亡 30 人以上或者直接经济损失 1000 万元以上的; ②大型: 因灾死亡 10 人以上 30 人以下或者直接经济损失 500 万元以上 1000 万元以下的; ③中型: 因灾死亡 3 人以上 10 人以下或者直接经济损失 100 万元以上 500 万元以下的; ④小型: 因灾死亡 3 人以下或者直接经济损失 100 万元以下的。

1.1.4 中国地质灾害的发育状况与分布规律

中国地域辽阔, 经度和纬度跨度大, 自然地理条件复杂, 构造运动强烈, 自然地质灾