

华南沿海地质灾害

GEOLOGICAL HAZARDS OF SOUTH CHINA COAST

詹文欢 钟建强 刘以宣 著

科学出版社

Science Press

5627

56.5627
699

华南沿海地质灾害

GEOLOGICAL HAZARDS OF SOUTH CHINA COAST

詹文欢 钟建强 刘以宣 著

科学出版社

Science Press

1996

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书概述了华南沿海地质灾害的研究现状、内涵及其属性、研究方法以及若干新认识,重点论述了该区地质灾害的形成条件、类型及发育规律,并对韩江三角洲、珠江三角洲、漠阳江三角洲、电白近海、琼州海峡和珠江口盆地等典型地区地质灾害进行较详细的分析,同时对华南沿海地质灾害的经济损失估算模型、综合评价以及防治对策也进行了初步探讨。

本书资料丰富,图文并茂,可供广大地质工作者,特别是灾害地质、环境地质、地震地质、构造地质、数学地质、海洋地质、水文地质和工程地质等有关人员以及高等地质院校师生阅读参考。

华南沿海地质灾害

GEOLOGICAL HAZARDS OF SOUTH CHINA COAST

詹文欢 钟建强 刘以宜 著

责任编辑 钟如松

地质出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码 100717

华南理工大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1996 年 3 月第一版 开本: 787×1092 1/16

1996 年 3 月广州第一次印刷 印张: 8 $\frac{3}{4}$

印数: 001—500 字数: 200 000

ISBN 7-03-005091-6/P·878

定价: 20.00 元

前 言

长期以来,地质灾害的研究大多是进行某种类型的定性调查分析,然后再经过归纳和综合,从而得出某种规律性的认识。但是这种研究方法对揭示地质灾害的内在规律还不够充分,因而在一定程度上限制了地质灾害研究的发展。

自本世纪60年代中期以来,地质灾害研究的量化技术有了较快的发展,但由于地质灾害本身的制约因素很多,彼此之间错综复杂,所以现阶段定量地质灾害趋向综合研究和系统分析。另外,由于地质灾害诸多因素的模糊性,使得地质灾害的量化难以实现。为了描述自然界的各种模糊事物,1965年 L. A. Zadeh 教授首次提出“模糊集合(fuzzy sets)”的新概念,该理论的提出为地质灾害的量化研究提供了强有力的工具。

本书讨论的范围($108^{\circ} - 118^{\circ}\text{E}$, $18^{\circ} - 24^{\circ}\text{N}$)包括华南沿海的陆地和海域两部分,该区自然环境复杂,历史上地质灾害频繁发生。地震、滑坡、崩塌和泥石流等突发性地质灾害给当地的居民带来巨大经济损失和人员伤亡,并对未来构成潜在威胁。因此,如何最大限度地减轻和有效防治这些地质灾害便成为当务之急。

1985年以来,在刘以宣教授指导下,同时又在广东省科委青年科学基金(编号:920341)和中国科学院南海海洋研究所科学基金(编号:940405)资助下开展对华南沿海地质灾害的研究工作,并已取得了一批研究成果,发表了多篇论文。在课题研究过程中,进行了较长时间的野外地质调查,为本项研究积累了丰富的第一手资料,同时应用概率统计和模糊数学方法对原始资料进行处理,获得了大量的第一手数据,并参考前人的研究成果,对华南沿海地质灾害的形成背景、类型、发育规律及防治对策进行了较全面的研究,提出了“地质灾害度”的新的定量方法,为该区地质灾害的量化研究提供了新的思路。

本书第一章至第三章由詹文欢、刘以宣执笔,第四章由钟建强、詹文欢执笔,第五章和第六章由詹文欢执笔。刘以宣、钟建强参加部分章节统稿,詹文欢负责总体协调和全书统稿。

本项目在研究过程中,承蒙中山大学地质系黄玉昆教授、广州海洋地质调查局海洋地质研究所陈俊仁高级工程师、中国科学院南海海洋研究所谢以萱研究员、周蒂研究员、张毅祥副研究员和陈雪副研究员等提出宝贵意见;钟如松副编审对本书出版给予热情帮助;黄放工程师和周洁兰助工清绘全部图件;肖兴工程师协助部分植字;在此深表谢意。

利用模糊数学方法研究华南沿海地质灾害是初步尝试,加上调查范围和收集的资料有限,书中错漏在所难免,敬希读者批评指正。

詹文欢

1995年7月

目 录

前言	(I)
第一章 绪论	(1)
第一节 地质灾害的研究现状及若干新认识	(1)
第二节 地质灾害的内涵及其属性	(4)
第三节 地质灾害的研究方法	(7)
第二章 地质灾害形成的条件及经济损失的估算模型	(10)
第一节 地质灾害形成的条件	(10)
第二节 地质灾害的危害与经济损失	(17)
第三节 地质灾害经济损失的估算模型	(19)
第三章 地质灾害的类型及发育规律	(24)
第一节 地质灾害类型的划分	(24)
第二节 主要地质灾害的发育规律	(28)
第四章 典型地区地质灾害	(62)
第一节 韩江三角洲地质灾害	(62)
第二节 珠江三角洲地质灾害	(71)
第三节 漠阳江三角洲地质灾害	(78)
第四节 电白近海地质灾害	(84)
第五节 琼州海峡地质灾害	(91)
第六节 珠江口盆地及邻域地质灾害	(98)
第五章 地质灾害的综合评价	(106)
第一节 地质灾害度的提出及应用实例	(106)
第二节 地质灾害的模糊综合评价	(109)
第六章 地质灾害防治的系统分析	(120)
第一节 地质灾害系统分析	(120)
第二节 地质灾害防治的系统工程	(123)
第三节 主要地质灾害的防治对策	(128)
参考文献	(132)
Abstract	(134)

Contents

Preface	(II)
Chapter 1 Introduction	(1)
Section 1 Historical review and a new view on some problems in geological hazard studies	(1)
Section 2 Content and attribute of geological hazards	(4)
Section 3 Studied methods of geological hazards	(7)
Chapter 2 Formation and a model of economic loss of geological hazards	(10)
Section 1 Formation of geological hazards	(10)
Section 2 Economic loss of geological hazards	(17)
Section 3 A model of economic loss of geological hazards	(19)
Chapter 3 Types and developmental regularity of geological hazards	(24)
Section 1 Division of geological hazards	(24)
Section 2 Developmental regularity of main geological hazards	(28)
Chapter 4 Geological hazards of typical regions	(62)
Section 1 Geological hazards of Hanjiang River Delta	(62)
Section 2 Geological hazards of Zhujiang River Delta	(71)
Section 3 Geological hazards of Moyangjiang River Delta	(78)
Section 4 Geological hazards of Dianbai coast	(84)
Section 5 Geological hazards of Qiongzhou Strait	(91)
Section 6 Geological hazards of Zhujiang River Mouth Basin and its vicinity	(98)
Chapter 5 Synthetic evaluation of geological hazards	(106)
Section 1 Geological hazards intensity and application	(106)
Section 2 Fuzzy synthetic assessment of geological hazards	(109)
Chapter 6 Systematical analyses of geological hazard prevention	(120)
Section 1 Systematical analyses of geological hazard	(120)
Section 2 Systematical engineering of geological hazard prevention	(123)
Section 3 Preventive countermeasures of main geological hazards	(128)
Reference	(132)
Abstract	(134)

第一章 绪 论

第一节 地质灾害的研究现状及若干新认识

根据有关资料统计,全球自然灾害在60—80年代已危及近10亿人口,导致近500万人死亡,经济损失达数千亿美元。为此,世界上许多国家政府都极为关注灾害与国计民生的关系,一些发达国家投入相当力量和资金去减轻自然灾害的危害。这一严峻的事实促成了在1987年底举行的第42届联合国大会上,数十个国家共同提出了减灾议案,并被大会通过形成169号决议,将1990—2000年定为“国际减轻自然灾害十年”(International Decade for Natural Disaster Reduction, 缩写成IDNDR),旨在通过国际的一致行动,把当今世界上,特别是发展中国家由于自然灾害造成的生命财产损失以及由此引起的社会和经济停顿减轻到一定程度。继1987年大会之后,1988、1989年接连通过有关决议或规定,44届联大又通过了“减轻自然灾害十年国际行动纲领”。为促进国际减灾十年活动的开展,各国政府采取了相应行动。

1989年4月21日中国“国际减灾十年”委员会正式成立,其宗旨是“响应联合国倡议,积极开展减灾活动,增强全民、全社会的抗灾意识,提高我国防灾、抗灾、救灾工作的水平,减轻自然灾害带来的损失。”中国是世界上自然灾害频繁而严重的国家之一,其中地质灾害所造成的损失更加明显(表1.1)^[1],由于生产力水平比较低,整个社会发展对自然因素的依赖较大,对自然灾害的承受能力比较脆弱。因此,大力加强自然灾害的研究,提高防灾抗灾工作的水平具有深远的意义。

华南沿海是我国较早开发的地区之一,地质灾害的研究工作也开发得较早。历史上各地方志都比较注重水灾、风灾、旱灾和地震以及由地震引发的山崩、地陷、地裂缝、涌水、冒沙等灾害的记载。特别是近百年来积累了比较丰富的资料,在60年代初至80年代末,发表了一系列论著^[2-23]。但是,限于当时的测试手段或研究范围,不少问题仍有待解决。这些总结主要以50年代至80年代初的调查工作为基础,故其深度和广度都嫌不足。80年代以来,在地学研究中广泛应用遥感手段、年代测定、数学地质等新技术和新方法,经济建设的高速发展也促进了地质灾害学科的发展。

华南沿海由于发生多次强烈地震,如1605年7月13日琼山7.5级地震,1600年和1918年南澳7级和7.25级地震,1936年4月1日灵山6.75级地震,1962年3月19日新丰江6.1级地震,1969年7月26日阳江6.4级地震等。地震直接危及人民生命财产的安全,因而促使地震灾害研究工作得以较广泛地开展。由于沿海是华南大陆的强震带,所以这里的研究程度亦较高,丰富的宏观及微观观测资料以及大量的研究报告,为华南沿海地质灾害的研究奠定了基础。

50年代以来,各有关部门在水文地质、工程地质和环境地质的调查中也比较重视地质灾害及防治工作的研究。近几年来,各部门围绕地质灾害多发区、大江大河、交通沿

线、重要经济开发区和重大工程项目等也进行了部分专门性的地质灾害调查和研究,这些都为本次工作打下了坚实的基础。

表 1.1 1950—1990 年中国地质灾害概况表^[1]

Tab. 1.1 Characteristics of geological hazards in China (1950—1990)

灾害类型	灾害种类	灾害基本情况
地震	地震 火山	全国共发生 6 级以上地震 356 次,其中 7 级以上 53 次。一次死亡百人以上,直接损失超过亿元的 12 次,共造成死亡 27.3 万人,受伤 76.5 万人(其中重伤 23.3 万人),经济损失数百亿元。现代火山活动微弱,危害不大
崩塌 滑坡 泥石流	崩塌 滑坡 泥石流	全国共有灾害性泥石流 1.2 万条,滑坡数万处,崩塌数十万处。共发生较大活动 4 100 多次,造成明显损失的 849 次。26 个省区的 501 个市、县或企业受到危害,20 多个县城被迫搬迁或待迁,50 多个大型企业搬迁或停产。共造成 10 980 人死亡,平均每年发生严重灾害事件 21 次,死亡 262 人,直接损失 2.4 亿元
地面变形	地面沉降 地面塌陷 地裂缝	全国发生地面沉降的城市有 56 个,上海累计沉降量达 2.6m,年最大沉降量 262mm。发生较大规模塌陷 1 000 多处,其中岩溶塌陷 833 处,约 70 个城市、100 多个矿山、企业受到危害。全国 300 多个市、县发现地裂缝 1 000 多处
矿井灾害	矿井突水 冲击地压 冒顶 瓦斯突出 煤自燃 矿井火灾	全国共发生灾害性突水事故 1 300 次。1955—1989 年煤矿发生突水 835 次,造成淹井 240 次,死亡 1 537 人,直接损失约 40 亿元。1949—1985 年发生冲击地压 1 842 次,其中重大灾害事故 30 次以上。冒顶事故时有发生,全国共发生 1.6 万次瓦斯突出事故,其中特大型突出 100 多次,平均年损失 10 亿元。全国有煤自燃矿井近 300 个,冻结煤炭资源 6 000 万吨。新疆有 42 个煤田火区,平均年烧掉 1 亿吨煤,损失 20 亿元。全国有热害矿井 20 多个
特殊岩土	湿陷性黄土 膨胀土 淤泥质软土	全国有湿陷性黄土面积约 38 万平方公里,受膨胀土危害的房屋建筑面积大于 1 000 万平方米,淤泥质软土主要分布在沿海平原及内陆盆地中,主要危害是导致房屋开裂,水库渗漏、塌岸,边坡失稳,道路、桥梁变形等
水土流失	水土流失 土地沙漠化 盐碱化	全国水土流失(包括水力侵蚀和风力侵蚀)面积约 283 万平方公里,比解放初时扩大 37 万平方公里,沙漠化土地约 32 万平方公里,盐碱化土地 27 万平方公里。水土流失每年损失土壤 50 亿吨,肥力损失相当于 4 000 万吨化肥。主要危害是破坏土地资源和生态环境,每年损失粮食 2 亿公斤,牧草 35 亿公斤
冻融	冻胀 融陷	全国多年冻土面积约 225 万平方公里,主要分布在东北地区和青藏高原,季节冻土约 509 万平方公里,主要分布在华北、华中和西北地区。主要危害是破坏交通道路和建筑设施
海岸灾害	海面上升 海水入侵 海岸侵蚀	中国东部沿海海平面呈缓慢上升趋势,塘沽观测站平均上升速率达 7.9mm/a,因此加剧了风暴潮灾害。大连、秦皇岛、烟台、青岛等发生较严重海水入侵,地下水资源遭到破坏。局部地区海岸侵蚀比较严重

然而将地质灾害作为一门学科进行研究则刚刚开始。徐卫亚等认为:地质灾害学是研究地质灾害的自然特性和社会特性、成灾条件、成灾作用、成灾机理,进而对其监测预报和防治的一门学科,其主要研究内容可归纳为地质灾害灾情和地质灾害防治两方面,并系统地论述了地质灾害的分类体系和预报方法。刘传正等在探讨地质灾害系统的基础

上对地质灾害系统的层次性及相关性进行了剖析。罗国煜提出“地质工程”与优势面防灾减灾原理,强调地质灾害的优势控制因素对地质灾害进行危害度评价与决策分析^[24];刘以宜等^[25]从宏观控制因素及其与人类关系角度考虑,把地质灾害划分为岩石圈、大气圈、水圈及生物圈控制的4大类型,并阐述了各类型在华南沿海的灾发特点和分布规律;陈俊仁等^[26]用力学观点按其成因将南海地质灾害划分为5种类型:水动力型、气体动力型、土力学型、重力型和内动力型地质灾害,大型地质灾害多发生在构造活动带;滑坡、浊流等主要集中在大陆坡地带;内大陆架地区浅层气、埋藏古河道、古潟湖等比较发育;钟建强等^[27]认为,从地质学角度出发,地质灾害应包括地质作用、地质体以及破坏性三个要素,是指地质作用引起地质体变化(能量、物质、形态、位置等变化)而产生的对人类生存造成危害或环境恶化的事件;黄少敏^[28]论述了海南岛的海岸侵蚀作用;吴正^[29]论述了海南岛的风沙灾害及其治理对策;朱纯信^[30]则论述了广东省海岸带的主要地质灾害与防治对策;夏法等^[31]对我国沿海城市的几种主要自然灾害进行讨论;陈定国^[32]则论述了热带和亚热带震害;张虎男等^[33]在《华南沿海新构造运动与地质环境》一书中也有部分地质灾害的论述;黄玉昆等^[27]在《华南沿海晚新生代地质》中也涉及到地质灾害的内容。谢浩球^[28]阐述了广东地质灾害发生的自然环境和人类因素,按表现形式分类介绍了主要地质灾害的分布、成因、规模、活动特点及其危害,并进行了防灾减灾对策探讨。张和平^[29]探讨了广州—佛山地区区域稳定性。黄茂菴^[30]探讨了海口地区区域稳定性,其中有部分内容涉及到地质灾害。詹文欢等^[2]根据模糊数学方法,建立了地质灾害综合评价的数学模型,初步计算了该区地质灾害的数值分布。此外,还有很多专著、文章和研究报告述及华南沿海地区的地质灾害,在此不再一一列出。

海洋地质灾害调查与研究主要是为浅海油气资源勘探与开发服务,如钻井平台、油气管道铺设等皆需要对海底及其以下地层的地质条件进行预先调查,为下一步的施工和建设打下基础。目前,国内外各大石油公司和有关政府部门都很重视海洋地质灾害的调查,并采用先进的海上定位系统现场调查和室内试验分析的仪器设备以及计算机处理系统,不仅建立了从资料采集到处理较为完整的自动化技术,而且加强了室内模拟试验,同时采用国际标准,使研究工作规范化。如重新评价地质灾害中的海底不稳定性因素;对特殊的最有害的地质及地貌单元开展专项研究,用立体几何图形的方法给予直观显示,并且建立了大型数据库。从60年代中期至今,我国海洋地质灾害的研究已有了长足的进展,特别是80年代中期以来,以石油勘探开发需要为导向的中国浅海地质灾害调查与评价的研究已取得丰硕成果,如地矿部广州海洋地质调查局对珠江口盆地以及中国科学院南海海洋研究所对南海北部的井位调查,这些资料大大丰富了海洋地质灾害的内容,为今后的进一步研究提供了可靠的依据。

随着“国际减灾十年”计划的实施以及人们对地质灾害活动规律认识水平的不断提高,迫切需要有一种新的区划方法以充分反映当前地质灾害的研究水平和满足国民经济建设的需求。目前,对地质灾害的单因素研究已逐步建立和发展了一套比较系统的定量

① 刘以宜等, 华南沿海地震灾害与地质灾害及其对策研讨会专辑, 南海研究与开发, 1992, (1): 1-86。

② 詹文欢、钟建强, 1993, 地质灾害度的提出及其在华南沿海的应用, 南海研究与开发, (4): 24-27。

研究方法,而关键性的实质问题即地质灾害的综合化和定量化的研究还没有比较理想的计算模式。作者试图在这方面作一尝试,以影响地质灾害的单因素资料为主,利用数理统计和人为定义模糊隶属函数的方法将各种因素模糊量化,最后用模糊综合评判方法,根据工作的要求和资料的详细程度,将研究区划分成若干个一定面积大小的单元,分别对各个单元进行模糊综合评判,最终完成全区的评判。

应用模糊综合评判方法研究地质灾害,可以在现有资料和认识水平下,对地质灾害的综合定量化研究起到一定的探讨性作用,并得到了如下几方面的新认识:

- (1) 当单因素给出的结果有较大的差异时,过去常常依靠专家主观判断得出结论,在这一点上,该方法提供了一套不受主观因素影响的客观综合评判标准。
- (2) 模糊隶属函数的采用使地质灾害的研究具有了初步的概率意义。
- (3) 模糊综合评判的结果使同一级别的地质灾害区进行灾害程度的对比成为可能。
- (4) 为工程建设综合决策提供了基础依据。

地质灾害研究是一个非常重要而又难度较大的课题。近年来,我们将概率统计和模糊数学方法引入到华南沿海进行定量研究,由于时间仓促,计算模式及各因素的权系数确定有待今后不断实践加以验证。本次工作只是在前人工作基础上进行了定量的计算,得出一些新的认识,但由于资料不足和有些类型目前尚无法定量,以致有些结果与实际情况存在一定的差异,这些有待今后进一步深化研究。

第二节 地质灾害的内涵及其属性

一、地质灾害的内涵

据国际减轻自然灾害十年委员会专家组确认:“任何一种超出社会正常承受能力的,作用于人类生态的破坏都是灾害”。也就是说自然灾害的破坏力,除了决定于自然现象自身的强度外还取决于人类对灾害的承受能力。人类社会对自然灾害破坏承受能力的程度取决于科技的发展与减灾的经济投入。

地质灾害是自然灾害的一部分,但迄今为止,对地质灾害的定义尚无公认的统一表述。1984年联合国教科文组织曾委托美国学者 Varnes 编写一本名为《滑坡灾害分区原则与实践》的小册子,Varnes 采用了这样的概念:“自然灾害指在一定时间内,某一特定自然现象所造成的人员伤亡、财产损失和经济活动停顿的期望值。”按照这样的流行概念,可以认为地质灾害是指在一定时间内,某一地质现象所造成的人员伤亡、财产损失和经济活动停顿的期望值。这种概念对于进行地质灾害的风险评估与经济损失评估非常有意义。根据目前的研究状况,作者认为地质灾害是指在地壳内、外动力作用或相互作用下产生的威胁人类或恶化环境的地质现象。也就是说,由于自然的变异或人类活动而导致的地质体发生变化,当这种变化达到一定程度而产生的后果给人类生命财产或社会经济建设造成危害则称为地质灾害。地质灾害应包括地质体、地质作用以及破坏性三要素,由

于地质作用引起地质体变异(包括位置、形态、物质、能量等变化),从而产生对现代或未来人类的危害和环境恶化的事件。

二、地质灾害的属性

华南沿海自然环境复杂,历史上地质灾害频繁发生,不同类型地质灾害的表现形式和发育规律不一样,有的发生灾害迅猛,如地震;有的变化缓慢,如地面沉降。归纳起来它们具有如下属性。

1. 地质灾害的突发性

华南沿海地质灾害类型众多,有一些地质灾害具有变化快、历时短、成灾迅速之特征,它是一种快速的地质地貌作用过程,突发性极强,这正是其造成危害的原因所在。如1918年2月13日南澎7.25级地震,极震区位于南澎附近海域($117^{\circ}18'E$, $23^{\circ}15'N$),南澳全岛屋宇夷平,倒塌房屋百余家,死伤千余人,海滨马路裂开一条约300m长的裂缝,喷热水,奇碌对岸石山峰峦倾落山下,海水腾涌;诏安民房倒塌三千余间,死伤甚多;潮州城内房屋全倒者十分之二,半倒者十分之四,土地裂开,城内压死者数十人;揭阳城内房损十分之九,倾倒十分之五,死伤数十人,死十余人,各处堤围多震裂,南洋乡以北裂处涌水,南洋、袋头、东院等受害更甚;潮阳墙壁损坏倾倒,北岩井水上升;普宁庙宇及墙垣倒塌,死2人;饶平城内外死数十人;丰顺屋宇倒塌百分之二、三,损坏亦多,死2人。由上可见,地震在一瞬间造成的损失非常惨重。

另外,1984年初广州大桥南岸西侧的堤围发生滑坡,在大桥施工时,堤围上堆满施工材料及机械,堤围下部为淤泥,在不堪其负荷的情况下,10m多长的堤围整体滑入珠江,造成几十万元的经济损失。

2. 地质灾害的群发性

前面所述的突发性地质灾害的发生与出现,往往是在其灾害环境的背景条件下,受外界某种动力因子的诱发而致。因此,地质灾害具有群发性特征。在一定时期里,一些地质灾害与其它自然灾害都频繁出现。据R. Southern统计,1964—1978年的15年间共发生各类自然灾害484起,死亡65万人,平均每年32起,死亡4.3万人。而在此期间,1966—1976年我国大陆共发生14次7级以上的大地震。还发生了破坏性最强的龙卷风(1967-03-26),影响最大的台风海潮(1974-08-19),最大的岩质滑坡(1965),堆坝最大的崩塌(1967-06-08),洪峰流量最大的泥石流等^[12]。而在华南沿海则发生1969年7月26日阳江6.4级地震,同时也发生了滑坡、崩塌、地裂缝和喷沙、冒水等地质灾害。

3. 地质灾害的叠加性

地质灾害如同其它自然灾害一样,是在局部自然环境的突然变异过程中发生、发展而成。因此,一种地质灾害的发生常诱发其它自然灾害叠加,形成连锁反应或多种灾害交错出现,从而形成灾害链过程。如地震引起滑坡、崩塌;滑坡、泥石流的频繁发生破坏了环境基质,而加速水土流失。春季的台风、旱灾交错叠加而加快土地沙化进程,夏季的洪水、滑坡、泥石流叠加而使灾害影响面增大,灾情加重^[12]。1969年阳江6.4级地震后(图1.1),在该区的洋边海周围出现大量地裂缝,据不完全统计地裂缝大约有30处,

长度大多为数十米；发生滑坡 3 处，崩塌 6 处，主要见于洋边海西岸，其中以烂头山和龙宫山两地最剧烈，烂头山山顶块状岩石裸露的陡崖上有 2 处地方崩下巨石，较大一处估计崩落土石 160m³；龙宫山的土村附近滑塌 6 处，崩石约 225m³；地震后还导致埗场东南、溪头、洋边海周缘等多处喷沙冒水现象。

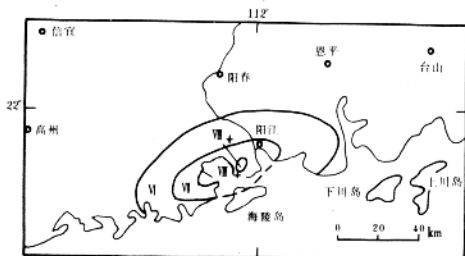


图 1.1 1969 年阳江 6.4 级地震等震线图^[23]

Fig 1.1 The isoseismal map of Yangjiang earthquake in 1969 ($M_s=6.4$)

4. 地质灾害的周期性与重现性

该类型以突发性地质灾害较为明显。地震的周期性已有较多的研究。现已发现，滑坡、崩塌、泥石流也大体上有着 22 年或 11 年的周期性规律，与水、旱灾的周期性规律相似^[11]。也就是说，只要在某一区域或特定地区出现过某种自然灾害，那么就说明该区具备形成灾害的条件或环境，这就有可能在今后再次发生和出现这种灾害。如 1600 年 9 月 29 日南澎发生 7 级地震，1918 年 2 月 13 日几乎在原地又发生 7.25 级强震，这种重复性提醒人们，在一次灾害后，各种工程建设都要考虑未来灾害的威胁，避免再次造成生命财产的惨重损失。

5. 地质灾害形成发展的阶段性

任何地质灾害大体都有孕育、发展、爆发和平静等阶段，突发性地质灾害表现比较明显，所不同的是各种灾害形式机理有别，其发育的各个阶段时间长短不一，因而可根据地质灾害的形成机理、发生前的特点和前兆，判定灾害的发展程度，推测灾害爆发的时间及危害程度。如滑坡裂缝的形成和出现，则孕育了可能发生滑坡或崩塌的条件，从而可根据滑坡体的规模、滑壁高度和倾角大小，推测和计算滑体的水平滑距和危害范围，而这期间的降雨或地震活动都将可能成为滑坡的诱发起动因素，这便使对滑坡出现时间和发生规模预报成为可能^[32]。根据有关研究，在华南沿海地区由于降雨频繁，地震活动也时有发生，因此，本区滑坡大多与上述两方面的因素有关，即是属于诱发性滑坡。

6. 地质灾害的潜在性

该类地质灾害主要有：土地沙漠化、盐碱化、沼泽化、水土流失、海岸侵蚀、淤泥与软弱地基以及海底潜在地质灾害。

土地沙漠化主要见于雷州半岛东部、湛江市郊、阳江和水东沿海、海丰至潮阳岸段

等地,据统计,湛江沙荒地约有 182.6km^2 、陆丰有 133km^2 。土地盐碱化主要是潮水(包括风暴潮)入侵而成,分布于珠江三角洲、韩江三角洲平原和海湾平原以及河流中、下游地区。土地沼泽化是海水入侵沿岸低洼地区而形成,分布于上述两个三角洲的前缘低洼地。水土流失主要受气候因素控制,人类工程活动和破坏森林植被也是加剧水土流失的重要因素。华南沿海的水土流失日趋严重,据统计^①,广东近年水土流失面积已增加了 $1\,000\text{km}^2$,导致 793 条河流严重淤浅,水库库容量减小和洪水泛滥等灾害增加。基岩海岸侵蚀,分布于粤东和粤西沿海地区;砂泥质海岸侵蚀分布于两大三角洲和较大海湾的砂泥质岸段,不同岩性岸段和海浪冲刷强弱不同,海岸侵蚀后退的速度有异,一般岩岸后退较慢,其速率为 $0.05-0.20\text{m/a}$,砂泥质岸后退较快,可达 $0.50-1.0\text{m/a}$ 。港湾淤积主要是由河流来沙所造成,珠江水系各入海口门及沿海地区,除珠江口以东海岸外,其余淤浅日甚,韩江三角洲同样存在港湾河道淤浅的严重问题。软弱地基(含淤泥粘土质夹层)常造成建筑物倒塌或地基沉陷,两三角洲以及海湾平原岸段普遍存在 2-3 层海相层,其厚度从数米至 20m 不等,是潜在的工程地质灾害^[23]。海底潜在地质灾害主要包括潮成三角洲、潮流沙脊与沙堤、侵蚀槽谷、活动沙波、埋藏负地貌、浅层气溢出等,它们对海上工程建设不利,常造成诸如钻井平台的不均衡沉降、海底电缆的不规则折断等。

第三节 地质灾害的研究方法

地质灾害是地壳内外动力地质作用或相互作用所形成的地质现象,其研究方法较多,本书主要论述地质灾害的模糊数学研究法。

地质灾害评价是近年开展起来的工作,目的是为城市建设规划和重大工程选址提供必要的基础资料。华南沿海地区受多种单因素地质灾害的影响,因此要从多因素的影响中作出综合评价,得出一个较客观合理的结论是十分困难的。由于影响因素本身的复杂性和不确定性,再加上人们主观认识的差异性,对一个地区的评价要得出一致的结论几乎是不可能的。为此,本研究采用模糊数学方法,根据各种影响因素中的模糊性,建立模糊识别模型,应用模糊综合评判方法,对华南沿海地质灾害进行综合评价分析,使其结果更合理。

模糊数学的根本出发点在于引入模糊集合的概念,即普通的二值集合 $\{0, 1\}$ 变为在区间上连续分布的模糊集合 $[0, 1]$ 。这样,模糊集合的特征函数——隶属函数,其函数值——隶属度就可以在 $[0, 1]$ 区间连续取值。由此可以认为没有发生灾害的地区是以近于 0 的程度属于灾害区,而有灾害的地区或严重灾害的地区则以近于 1 的程度属于灾害区,这样就消除了传统的截然划分的方法带来的不合理性,具有渐变的特点,这正是进行地质灾害综合评价的基础。

为了确定这种隶属程度,类似于概率论中引入分布函数和概率密度那样。据大量的理论和实践研究,可以建立若干条件下的隶属函数,在综合评判过程中,正态型隶属函数是将原始资料进行模糊信息化的较为恰当的函数之一,一般可表示为^[23]

① 黄玉昆等,自然灾害刍议,南海研究与开发,1992,(1): 64-66。

$$U(x) = \begin{cases} e^{-\left(\frac{x-a_i}{b_i}\right)^2}, & x \in I \\ 1 & x \notin I \end{cases}$$

其中 $i=1, 2, \dots, n$ 。

所谓综合评判, 就是在一个复杂的系统中, 要做出任何一个综合决策, 都必需考虑与之相关联的多个因素的影响, 这就构成了综合评判问题。

设评语集合 (即代表等级分类的集合) 为

$$U = (U_1, U_2, \dots, U_m)$$

共 m 个等级。因素集合为

$$V = (V_1, V_2, \dots, V_n)$$

共 n 个因素。

设第 i 个因素的单因素评判为

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im})$$

它可以看作是 U 上的一个模糊子集。其中, r_{ik} 表示第 i 个因素的评判对第 k 个等级的隶属度。 n 个因素的总评判矩阵为

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

在进行综合评判时, 当然要考虑到各个因素对评定等级所做的贡献的大小, 这就形成了因素集合 V 上的一个模糊子集 $\tilde{A}$

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

a_i 为 V_i 对 $\tilde{A}$ 的隶属度, 它就是单独考虑因素 V_i 对评判等级所起作用大小的度量, 代表了根据单因素 V_i 评判等级的能力。

给定 $\tilde{A}$ 、 $\tilde{R}$ 之后, 即可进行综合评判, 其表达式为

$$\tilde{B} = \tilde{A} \cdot \tilde{R}$$

如前所述, 权系数矩阵代表了各个因素对综合评判结果所做的贡献的大小, 因而恰如其分地定义权系数矩阵具有十分重要的意义。

在一般的综合决策中, 往往采用等权综合评判, 即对于 $\tilde{A} = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 有

$$a_1 = a_2 = \dots = a_n = 1/n$$

在华南沿海地质灾害研究取得较大进展的今天, 采用等权模糊综合评判显然不能充分反映当前地质灾害的研究水平。

另有文献介绍, 以参加评判的各因素原始资料的详细程度作为该因素的权系数, 这一方法比较客观和可取, 不足之处在于忽略了专家们长期工作研究所得到的宝贵经验⁽³⁴⁾。下面我们将研究如何用统计方法来确定。

首先请有关专家或从事相应的工作具有丰富经验的人, 对因素集

$$U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$$

中各元素，各自独立地提出自己认为最合适的权重向量（打分）。

$$A_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{nj}), \sum_{i=1}^n a_{ij} = 1 (j = 1, 2, \dots, m)$$

然后对每个因素 U_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 进行单因素统计，其步骤如下^[25]：

(1) 对因素 U_i ($i = 1, 2, \dots, n$)，在它的权系数 a_{ij} ($j = 1, 2, \dots, m$) 中找出最大值 M_i 和最小值 m_i ，其中

$$M_i = \max_{1 \leq j \leq m} \{a_{ij}\} \quad m_i = \min_{1 \leq j \leq m} \{a_{ij}\}$$

(2) 适当选取正整数 k ，利用公式

$$\frac{M_i - m_i}{k}$$

计算出把权系数分成 k 组的组距，并将权系数由小到大分成 k 组。

(3) 计算落在每组内权系数的频数和频率。

(4) 根据频数和频率的分布情况，确定 U_i 的权系数 a_i ，从而得到权重向量

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$$

在前人研究的基础上，本次工作采用专家判断结合原始资料的详细程度确定权系数矩阵。在此需要说明的是，权系数值的确定允许有一定的弹性，因为隶属度的统计确定包含着人脑加工的某种心理过程，这是在实际进行综合评判时必须考虑的。

第二章 地质灾害形成的条件及经济损失的估算模型

第一节 地质灾害形成的条件

华南沿海地质灾害的形成、发展以及在空间上的分布主要受地质环境的影响。地质环境是由岩石圈和与其密切相关的大气圈、水圈、生物圈所组成的空间(图 2.1)。它与人类活动密切相关,又是人类活动的场所。人类直接生活和生存在地壳的表面,该区同时又是各圈层相互作用最密切、最强烈和最敏感的部位,它在相互作用的过程中产生各种地质作用,使地表发生变异,有些变异就对人类构成灾害,即形成地质灾害。地质环境是一个多变的和复杂的开放系统,它是地质灾害形成和发育的基础和条件,同时也为其它自然灾害提供基础和条件。正因为地质灾害与其它一些自然灾害之间存在着这种内在的紧密联系,常常造成一些不同的灾害有着因果、触发或同步关系,也给地质灾害的划分带来困难。

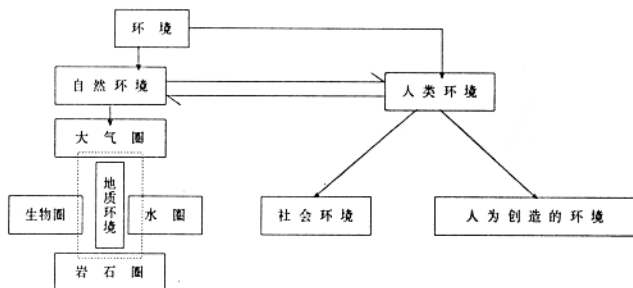


图 2.1 地质环境与自然环境的关系

Fig. 2.1 The relation between geological environment and natural environment

地质灾害是特定环境条件下的产物,它的发育分布受控于大地构造、地形地貌、地层岩性、气候条件和人类工程经济活动。华南沿海的自然地理、气候条件以及地质构造十分复杂,不同的环境条件,形成的灾害类别也不尽相同,因而地质灾害的发育分布有着明显的地域性和规律性。

人类工程活动都是在一定的地质环境中进行的,两者相互联系和相互制约。地质环境对人类工程活动的制约是多方面的,既可以表现为以一定作用影响工程建筑物的稳定

和正常使用,也可表现为以一定作用影响工程活动的安全,还可表现为由于某些地质条件不具备而提高了工程造价,视地质环境的具体特点和人类工程活动的方式和规模而异。例如在活动的断层和强烈地震区修建各类工程建筑物,如果建筑场地选择不当或建筑物类型、结构设计不合理,就会由于断层活动或伴随断层活动产生的强烈地震使建筑物损坏或毁坏。在石灰岩区修建水工建筑物,如未能查明溶洞的分布规律和采取适当措施,轻则造成大量库水漏失,重则造成水库完全不能蓄水,使建筑物不能正常使用。进行地表开挖无视地质条件的特点或对边坡稳定判断失误,有时会引起大规模的崩塌或滑坡,不仅增加工程量,延长工期和提高造价,甚至会危及施工者的安全。地质环境影响工程造价可以通过两种不同的方式,其一往往是由于建筑场地选择不当,为了在复杂条件下保证建筑物的安全,如不对威胁建筑物的地质因素采取某种处理措施,就必须采用更为复杂的建筑物结构。如在淤泥质软弱地基上修建高层建筑,由于没有可靠的天然地基,或者是采用人工改良地基或者是采用更为复杂的箱形基础,以保证建筑物不致因强烈不均匀沉降而毁坏,导致工程建筑物的造价大大提高。

人类工程活动又会以各种方式影响地质环境。如房屋建筑引起地基土层的压密,又如桥梁改变局部水流条件而使局部河段的侵蚀淤积规律发生变化等。由于人类工程活动规模愈来愈大,所以它对地质环境的影响早已超出局部场地的范围,如大量抽取地下水或其它地下流体,降低了土体中的空隙液压,结果引起了大范围的地面沉降,使沉降区已有建筑物的正常工作条件受到严重影响。

一、气候与水文条件

华南沿海地区大部分位于北回归线以南,主要受太平洋副热带高压影响,为南亚热带季风气候类型;而雷州半岛以南则属于热带季风气候。本区热量丰富,雨量充沛,但也存在热带气旋、暴雨、干旱和寒流等灾害性天气。

华南沿海每年6—10月是遭受热带气旋影响的主要时期,尤其以9月份为高峰(图2.2),本区平均每年约受到10个以上热带气旋影响,早期以南海生成的居多,晚期则以西太平洋生成的为主^[36]。在南海生成的热带气旋形成快,强度弱,距岸较近,加上引导气流复杂,因而其移动路径不太规则;在西太平洋形成的热带气旋,在移动过程中能量不断积累,强度往往较大,多发展成为强台风,由于受到副热带高压南缘气流的引导,太平洋热带气旋大多数西移越过菲律宾进入南海,对华南沿海影响极大,每次台风可造成水面升高1—3m,最大可达6m,同时倾降暴雨,使海上及沿岸遭受巨浪和风暴潮袭击,尤其是台风或强热带风暴登陆时,对堤防、农田和村庄造成严重毁坏,如1994年第3号强热带风暴,给广东造成的直接经济损失达146亿元。

华南沿海降雨量大,尤其是广东地区更加明显(表2.1)^[37],导致本区各主要入海河流的径流量、含沙量和输沙量增大(表2.2)^[36],同时各河流及港湾淤积严重。径流量主要集中在4—9月的汛期,以致发生水灾,1994年6—7月连续2次的大水灾,给本区经济带来严重损失。而在枯季则雨水少,径流也少,出现干旱。本区的潮汐主要是太平洋潮波传入南海所形成,由于岸线曲折、港湾众多,加上台湾海峡和琼州海峡的影响,故