

国家“973”项目资助
新疆“九五”重点科研项目资助
中国科学院“西部之光”资助

新亚欧大陆桥新疆段

环境地质灾害研究

陈亚宁 著

地质出版社

国家“973”项目资助
新疆“九五”重点科研项目资助
中国科学院“西部之光”资助

新亚欧大陆桥新疆段 环境地质灾害研究

陈亚宁 著

地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

新亚欧大陆桥东起我国连云港,西至荷兰鹿特丹港,全长 10 837 km,是连接亚洲和欧洲经济合作的纽带,在全球经济一体化日益发展的今天发挥着重要的作用。新亚欧大陆桥新疆段地处我国西部最干旱地区,横贯新疆,全长 1447.75km,所经地带生态系统脆弱,自然环境严酷,致灾因子活跃,孕育环境地质灾害不仅种类多,而且频率高,强度大,经统计,近 40 年来发生各类灾害事件 1200 余例,中断行车累计达 2193 小时。

本书以新亚欧大陆桥新疆段为研究对象,在强调研究成果的应用性和可操作的同时,突出了环境地质灾害研究的理论体系、方法手段和学科间的交叉、渗透。重点讨论了以下内容:①通过对环境地质灾害研究对象、目的意义、理论内涵及其特性的深入剖析,提出了环境地质灾害研究的理论框架和方法手段;②以新亚欧大陆桥新疆段所经各不同区域为单元,从地质、地貌、水文、气象等方面详尽分析了区域孕灾环境及其特征,重点剖析了陆桥新疆段水害、风沙害的成因机理和成灾方式;③通过对灾害时空关联和耦合分析,结合构造模型,建立评价指标体系,进行陆桥新疆段易损性分析,确立了不同区段灾害密度、频度、强度及危险度;④运用灰色关联、灰色聚类 and 模糊识别三种不同的理论方法分别进行了灾性损失和灾害等级评估划分研究,同时运用灰色系统理论的 GM 模型、拓扑方法和灾变理论对陆桥新疆段受损区段和暴雨洪水灾变进行了分析预测;⑤在详尽剖析陆桥新疆段灾害防治存在问题的基础上,提出了减轻灾害的对策建议。

本书可供环境地质和工程地质工作者,以及大专院校师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

新亚欧大陆桥新疆段环境地质灾害研究/陈亚宁著.-北京:地质出版社,2001.3
ISBN 7-116-03389-0

I.新… II.陈… III.①地质灾害-研究-新疆②地质灾害-影响-铁路-研究-新疆 IV.U216.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 08108 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:谭惠静 王 璞

责任校对:王素荣

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:10 字数:237 千字

2001 年 3 月北京第一版·2001 年 3 月北京第一次印刷

印数:1—600 册 定价:22.00 元

ISBN 7-116-03389-0

P·2181

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 环境地质灾害研究理论与方法	(1)
第二节 环境地质灾害研究与可持续发展	(10)
第三节 国内外环境地质灾害研究现状与进展	(14)
第四节 研究对象和主导学术思想	(22)
第二章 陆桥新疆段孕灾环境及其特征	(26)
第一节 区域孕灾环境分析	(26)
第二节 区域孕灾环境特征	(37)
第三章 陆桥新疆段环境地质灾害成因和成灾过程	(40)
第一节 灾害成因类型	(40)
第二节 灾害过程及成灾方式	(78)
第四章 陆桥新疆段灾害分异规律与时序特征	(81)
第一节 灾害时空分布规律	(81)
第二节 灾害时空分维特征	(93)
第三节 灾害时空耦合分析	(97)
第五章 灾害等级划分与灾情评估	(105)
第一节 灾害等级划分的灰色聚类分析	(105)
第二节 灰色关联灾情评估模型及应用	(111)
第三节 灾害损失等级划分的模糊综合评判	(115)
第六章 陆桥新疆段易损性分析	(119)
第一节 易损性评估指标体系的建立	(119)
第二节 易损性计算分析	(122)
第三节 结果讨论与模型检验	(123)
第七章 陆桥新疆段灾害预测	(125)
第一节 受损区段数的灰色预测	(125)
第二节 受损区段长度的拓扑预测	(129)
第三节 暴雨洪水的灾变预测	(133)
第八章 陆桥新疆段灾害防治	(138)
第一节 灾害防治及存在的问题	(138)
第二节 减轻灾害的对策建议	(141)
结 论	(143)
参考文献	(145)
致 谢	(153)
英文摘要	(154)

Contents

Chapter One	Introduction	(1)
1.1	Theory and Methods of the Study on the Environmental Geologic Hazards	(1)
1.2	Study on the Environmental Geologic Hazards and Sustainable Development	(10)
1.3	The Present Situation and the Progress of the Study on the Environmental Geologic Hazards in China and Abroad	(14)
1.4	The Objects of the Study and the Dominant Academic Ideas	(22)
Chapter Two	Environment for Forming Natural Disasters and Its Characteristics along the Xinjiang Line of Eurasian Continental Bridge	(26)
2.1	Analysis on the Regional Environment for Forming Natural Disasters	(26)
2.2	Regional Environmental Characteristics for Forming Disasters	(37)
Chapter Three	Genesis and Process of Environmental Geologic Hazards Occurring along the Xinjiang Line of Eurasian Continental Bridge	(40)
3.1	Genetic Types of Geologic Hazards	(40)
3.2	Processes and Ways for Hazard Formation	(78)
Chapter Four	The Differentiation Laws and the Characteristics of the Temporal Sequence of Disasters Occurring along the Xinjiang Section of Eurasian Continental Bridge	(81)
4.1	Temporal and Spatial Distribution Laws of Disasters	(81)
4.2	Characteristics of the Temporal and Spatial Dimension of Disasters	(93)
4.3	Temporal and Spatial Coupling analysis of Disasters	(97)
Chapter Five	Grade Division of Disasters and Evaluation of Disaster Conditions	(105)
5.1	Grey Cluster Analysis on the Grade Division of Disaster	(105)
5.2	Grey Cognate Evaluation Model of Disaster Conditions and Its Application	(111)
5.3	Fuzzy Synthetical Judgement of Grade Division of Disaster Losses	(115)
Chapter Six	Analysis on the Vulnerability in the Xinjiang Line of Eurasian Continental Bridge	(119)
6.1	Establishment of the Index System of Vulnerability Evaluation	(119)
6.2	Calculation and Analysis of the Vulnerability	(122)
6.3	Discussion on the Results and Test of the Model	(123)
Chapter Seven	Forecasting of Disasters Occurring along the Xinjiang Section of Eurasian Continental Bridge	(125)
7.1	Grey Forecasting of the Number of Damageable Sections	(125)
7.2	Topological Forecasting of the length of Damageable Sections	(129)

7.3 Forecasting of the Cataclysm of Rainstorm – caused Floods	(133)
Chapter Eight Prevention and Control of Disasters Occurring along the Xinjiang	
Section of Eurasian Continental Bridge	(138)
8.1 Prevention and Control of Disasters and Problems	(138)
8.2 Some Countermeasures and Suggestions for Reducing Disasters	(141)
Conclusions	(143)
References	(145)
Acknowledgments	(153)
Abstract in English	(154)

第一章 绪 论

第一节 环境地质灾害研究理论与方法

环境地质灾害是指在自然地质作用和人类工程、经济活动作用下,所发生的使生态环境遭受破坏,导致人类生存环境和物质财富受到损失的灾害事件。它是一种与地质过程相联系的现象,是大自然支配人类的最显著的表征(Keller, E. A., 1988; 王思敬、赵作权, 1992)。地球自然性质的不断变化(渐变或突变),是导致环境地质灾害的重要因素。引起这种变化的地质营力来自内动力(岩石圈)和外动力地质作用(水圈、大气圈、生物圈),是能量的迁移、聚集和释放过程。同时,人类工程、经济活动的影响愈来愈强烈,已成为诱发环境地质灾害发生的重要原因(毛同夏, 1991)。由此可见,环境地质灾害研究不仅涉及自然,而且涉及人和社会,内容极其广泛,是地质科学、环境科学、社会科学相互渗透、重新组合而形成的一门边缘学科。它以人-地环境系统为主要研究对象,更突出负作用即地质灾害和环境问题的研究。

灾害成因机理及防治是环境地质灾害研究的主要内容,它着重探讨人类社会、工程及经济活动对地质环境的影响以及地质环境对各种人类活动的反馈作用,重点是环境地质灾害的发生、发展过程及其他未来变化趋势,从而提出合理协调人-地环境关系及有效预防和减轻环境地质灾害的对策和措施,实现人与自然的和谐发展。

环境地质灾害研究不仅具有丰富的内涵和理论探索的必要性,而且有着很强的应用实践性。图 1-1 给出了环境地质灾害主要类型。从系统分析可以看出,环境地质灾害主要是由地圈和大气圈作用于其他圈层而形成的。这其中由内动力地质作用形成的灾害类型不仅与外动力地质作用(包括重力作用)有一定联系,如地震引起崩塌、滑坡、泥石流灾害,活动构造引起地面沉降等,而且灾害性天气过程常成为灾害发生的动力因子,如暴雨造成滑坡、泥石流,加速冲淤过程发展等;同时人类的资源环境开发及经济建设等工程、经济活动不仅可以直接导致某些环境地质灾害发生,如生态系统退化、环境污染等,而且还对由外动力地质作用和气象现象引起的两大类环境地质灾害的发生有着深刻的影响和显著的推波助澜的作用。如人为活动引发滑坡、泥石流;大量提取地下水引起城市地面沉降,过度灌溉造成土壤盐碱(渍)化;乱砍滥伐加速水土流失等。

一、环境地质灾害系统特性

环境地质灾害系统作为自然地球本身各种环境要素和人类工程、经济活动相互作用、相互影响的总和(Keller, E. A., 1988),有着以下几方面特性。

1. 整体性

人类居住及赖以生存的地球空间是由岩石圈、水圈、生物圈及大气圈四个圈层相互交

汇而成的，任何一个圈层的变化都会对其他圈层产生影响和作用。因此，从系统论的观点来讲，环境灾害系统中各因素也是相互作用、相互影响且不断进行着物质和能量的传输，它是一个不可分割的整体，这其中人-地环境关系还与大气圈、水圈、生物圈密切地进行着物质、能量的交换。

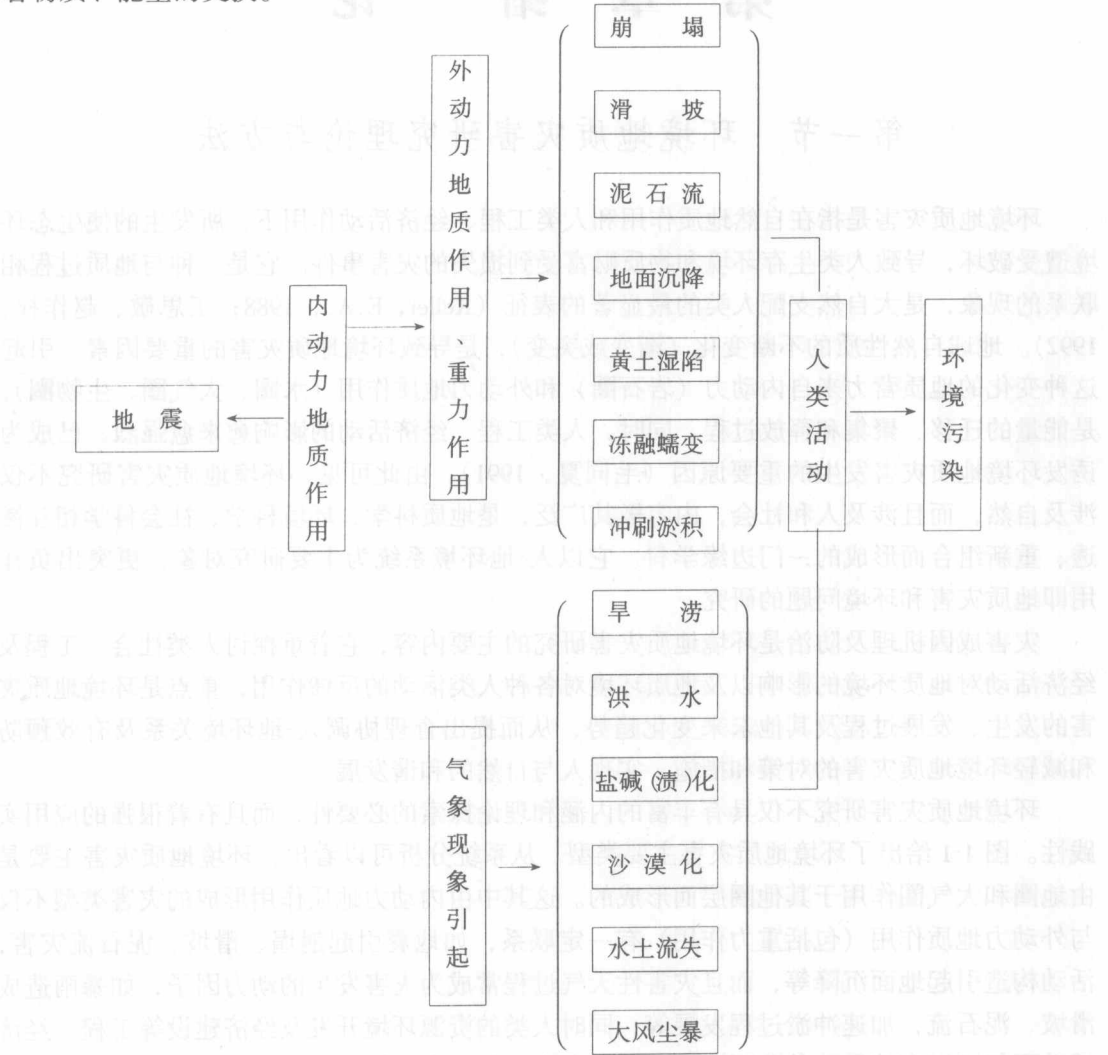


图 1-1 环境地质灾害主要类型
Fig.1-1 The main types of environment geologic disasters

所以，我们在对环境地质灾害进行研究的过程中，不能仅局限于从异象和突变事件之间关系的角度进行，或仅停留在灾害环境因素本身，而应把灾害现象的发生看成是地球整体变动的一个组成部分，是环境灾害系统内各因素相互作用加上某些天文因素触发的结果，而不是仅限于某单一圈层内部的孤立事件。如地热、地磁异常同洪、旱、涝、震等方面灾害有着一定的对应关系（曾小苹，1992；汤懋苍，1991、1992；章基嘉、徐祥德等，1995）；强烈地震与持续的干旱或降雨偏多的气候条件有关（耿庆国，1985；刘雅芳、缪

启龙, 1992; 郭增建、秦保燕等, 1991; 赵洪声, 1994), 甚至与太阳黑子活动也存在着明显的对应关系 (贝达特等, 1976; 罗葆荣, 1995; Rover, Y.A., 1992)。虽然它们之间的因果关系还需进一步深入研究, 但就其相关性而言, 说明了环境地质灾害系统的整体性特征。从这个意义上讲, 对灾害成因的研究, 应基于环境地质灾害这一系统特性, 运用系统论观点, 从影响灾害系统的各圈层相互作用角度来进行多学科的综合研究。

2. 关联性

环境地质灾害系统的整体性特征决定了系统内灾变事件的发生与地球系统的整体变化是相联系的。灾变事件的发生, 从本质上讲是能量聚集、迁移和释放过程。单项灾害之间也绝不是孤立的, 而是相互作用、相互引发有着密切联系的 (郭增建、秦保燕, 1996、1989)。它不仅表现为在地球系统的同一圈层内密切相关, 如暴雨→洪水、滑坡、泥石流; 又如 $M_s \geq 5$ 地震大多出现在地热异常区等; 而且, 在地球系统的四个圈层间也同样存在着这种关联性。如地震→滑坡、泥石流 (Garwood, N.C., Janos, D.P., 1979; Costa, J.E. and Schuster, R. L., 1988; Keefer, D.K., 1984), 干旱、洪水→地震 (郭增建, 1998), 干旱→沙漠化等。同时人类活动所引起的水-陆变化, 不可避免地产生环境反馈系统, 导致一系列环境地质灾害的发生。如过度开采地下水, 致使未固结沉积物沉陷而造成地面沉降; 乱砍滥伐, 加速山地侵蚀过程和水土流失等。灾害之间的这种关联性, 有的是因果关系, 有的是同源关系。因此, 必须从系统论的观点, 从地球各圈层之间的耦合关系的角度来探讨各种环境地质灾害的共同发生机理, 认识其发展演变过程, 预测灾害的发生 (赵洪声、张世杰等, 1994; 郭增建、秦保燕等, 1996)。事实上, 环境地质灾害发展趋势预测很多是基于灾害系统关联性特点来进行的。

3. 空间性

环境地质灾害的空间分布受制于一定地质地理环境和气候条件的影响, 同时不同的人类工程、经济活动, 对在特定地质环境下所产生的环境问题和灾害组合亦有所不同。这种地质环境在空间上的分异特征决定了灾害系统中各环境要素的分布差异和组合特点, 从而使得灾害类型、强度在空间分布上具有明显的不均匀性, 表现出显著的地域性特点。如我国西北地区的环境地质灾害类型以干旱、风沙灾害危害大, 尤其在年降水量 200mm 以下的干旱区, 风蚀沙化现象非常强烈; 在降水量 300 ~ 500mm 之间、降水量年际差较大的黄土高原, 以水力侵蚀为主的水土流失现象极为严重; 在降水较丰的我国南方地区, 洪涝灾害时常发生。再如地震灾害及地震诱发滑坡、泥石流等现象均与地震带分布及地震空间迁移有关。

4. 稳定性

地球系统各圈层间的要素存在着能量流动和物质交换, 它们是相互联系的, 而且具有内在调整和平衡的反馈机制 (高晓清等, 1995)。在处于正常应力状态或系统所受到的外力干扰未超出它本身自动调节能力时, 系统的平衡不会破坏, 系统内部的环境要素处于某一时期的相对稳定状态。而这种包括物质组成、结构分布等方面的相对平衡和稳定恰恰体现了自然体系在时间上和空间上的整体特性。因此, 当系统受外界干扰达到临界值, 或超过边界平衡条件时, 就会引起或触发环境灾害系统内部各要素的变化, 导致灾变事件的发生。这种干扰有来自地球内部系统的, 如地球内部构造应力变化引起地震; 也有来自外部系统的, 如日照、降雨, 甚至气候条件的突变等造成水土流失, 风沙尘暴加剧、土地荒漠

化、生态系统退化等；还有来自人类工程、经济活动，如水库诱发地震等。

5. 周期性

各圈层相互作用的地球系统有着自身的运动规律，大气、海洋、生物变化及地壳运动等事件具有明显的阶段性或波动性，往往在一个时期缓变演化，而在另一时期产生突发性变化，形成明显的灾害期和模糊的周期性规律。科学家们的研究表明，近一个世纪我国地震的周期群发幕为：1897~1912年，1920~1937年，1946~1957年，1966~1976年，1985年至现在；太阳黑子活动存在着大约11a为一周期的规律；厄尔尼诺现象也存在着一定的周期性变化规律。而太阳引力场的周期变化和厄尔尼诺现象常诱发洪、旱、涝、震等多种自然灾害的周期性群发现象（Wynitki, K., 1982；杨祖芳等，1991；臧恒范等，1991）。这种灾害的周期性群发不仅表现为区域性，而且具有全球性特点，这也正是灾害环境系统整体性和关联性的一个体现。

6. 复杂性

地球系统各圈层及其相互间的作用过程、作用方式是极其复杂的，它可以影响某一给定作用的许多不同的因素，从而使得各种环境地质灾害在发生学方面具有相当复杂的综合成因。同一灾变的发展进程中，由于系统内部某一灾变因子的涨、落变化可能导致灾变事件的发生过程变化，出现突发性、偶然性和随机性，从而使灾害的预报更加困难。再则，当同一灾变进程作用于不同性质、不同结构的下垫面时，也可能产生不同的自然变异类型（刘晓东，1993）。如河南“75.8”大暴雨（1975年8月）前，地震部门根据前兆异常认为可能会发生地震，但地震并未发生，却发生了暴雨。这同样也说明灾害的形成是多因子的、复杂的，而复杂性概念本质意味着环境地质灾害研究必定是跨学科的，需由多部门相互合作来进行研究。

基于环境灾害系统的整体性、关联性，环境地质灾害的形成和发生，往往不是孤立的，是相互关联的。一种灾变现象的出现，常与某些有生成联系的灾害系统内其他灾害类型相关联，如暴雨诱发滑坡、泥石流、洪水，持续干旱加速沙漠化进程等。一个地区的灾害发生和环境劣变或多或少会影响和促使其他地区的灾害发生和环境变化，表现出明显的关联性，如沙漠化发展、沙漠活动范围扩张、生态系统退化，将会使邻近地区的沙尘暴天气增多，上游山地侵蚀和水土流失将会造成下游河道及拦河水库淤积。并且，环境地质灾害的形成和发生，还常常在某一个时期和某一个区域集中出现，在发生特点上表现出强烈的群发性。同时，环境地质灾害在其发生过程中或发生后，常诱发其他类型次生灾害，即形成灾害链。环境地质灾害的预测预报，从某种角度来说正是基于灾害系统的整体性，灾害发生的关联性和群发性特点来进行的。

由于地球系统本身固有的不确定性，以及自然与社会经济之间的复杂多变性，环境地质灾害在其发展演变进程中，往往因系统内部某种因子的突变而使灾变事件常表现出突发性、偶然性和随机性。这种灾害事件的不确定性以及其内部变化的复杂性使得人们认为这些灾害是“不可预测”的东西，它反映了人类对自然界认识能力的局限性。然而，随着科技进步和学科研究的不断发展，灾害发生的随机性、偶然性、突变性将趋于减小，灾害预测水平和预报准确性将会不断地提高。

自然地球系统内致灾因子的固有特征、环境要素，在地域上、时间上的分异变化以及人类在不同时期、不同区域工程、经济活动方式、强度的差异，致使环境地质灾害在表现

形式上既有突发性的,如地震、洪水等,也有牵延性的,如土地沙漠化、水土流失等;在出现时间上,有着其模糊的周期性特征,即在某一时段内,灾害活动处于相对平静期,而在另一特定时段,灾害活动处于高潮期,从而显示出其模糊的周期性特征。而环境地质灾害的这种周期性变化,不仅为某单一灾变事件所具有,同时也可能是多种类型环境地质灾害接踵而来,出现相对集中的重灾多发时段;在地域分布上,受自然环境背景控制,不同自然环境,区域环境地质灾害的类型、强度往往具有明显的地域性差异。深刻认识和系统分析环境地质灾害这种在表现形式、出现时间、空间分布等方面的活动特征,对我们有意识地防灾减灾、协调人-地环境关系有着重要意义。

环境地质灾害事件统计表明,近年来环境地质灾害种类在不断增多,尤其表现为各种各样的人为诱发的环境灾害,不仅类型增多,而且强度增大,如资源衰竭、生态退化、环境污染等;同时随着人类干预自然的强度和范围的不断加强,环境地质灾害发生的频率愈来愈高,影响范围愈来愈广,损失程度亦愈来愈重,这正是环境地质灾害研究与防治愈来愈被世界各国政府、社会团体和众多专家学者关注的重要原因所在。

二、环境地质灾害研究特点

环境地质灾害研究以人-地环境系统为主要对象,涉及自然、人和社会等多方面要素,内容极其广泛。就环境地质灾害研究本身而言,它具有系统性、综合性、应用性及研究方法多样性之特点。

1. 系统性

所谓环境地质灾害研究的系统性,是指环境地质灾害研究不仅仅只对单个灾害种类进行分析探讨,而更重要的是运用系统的思想和分析方法,对环境灾害系统内各灾害因子以及它们相互联系、相互影响及耦合关系进行系统的分析研究;它不仅研究各类灾害的个性和特性,而更着眼于研究灾害的共性以及它们相互之间作用的关系。

2. 综合性

环境地质灾害研究的综合性是指灾害的发生不仅与自然地球系统有关,而且与人类资源环境开发等工程、经济活动密切联系着,具有自然生态和社会经济的综合性质。因而,环境地质灾害的研究不但与自然科学范畴内的诸多学科有着相互关系,而且还与人文-社会及经济科学范畴内的许多领域密切联系着,是一门综合性极强,须由多个部门和多个学科相互合作进行研究的学科。

3. 应用性

由于环境地质灾害的研究对象、内容和目的直接与资源环境开发、社会经济发展以及人类生命财产密切相关,所以环境地质灾害研究具有很强的社会实践性和应用性。研究成果常常直接服务于防灾、减灾和国民经济建设,如灾害预测预报、灾害危险区的圈定和区划、减灾方案和步骤的制定以及防灾技术和工程措施的实施等。

4. 研究方法的多样性

正是因为环境地质灾害研究的系统性、综合性和应用性强等特点,其研究方法不可能是单一的,而是多样化的。灾害研究既有个例分析,也有系统研究;既有对环境地质灾害发生特点、发展过程的随机性、不确定性的定性分析,也有对其形成机理、演变趋势的模拟研究以及灾害损失的量化计算;既有着自身的研究方法体系,也可以借鉴甚至直接应

用其他学科的研究方法。如利用地理学研究方法研究环境地质灾害的分布特点；利用地质学、地球物理学方法研究自然地球系统内部的形成过程及机理；利用社会经济学及系统方法研究人类工程、经济活动对地球系统的影响以及环境系统对各种人类活动的反馈作用，即人-地环境作用关系问题等。同时研究方法也常随相关学科的发展而不断完善和丰富，研究手段随科学技术的进步而不断改进和提高。如利用遥感手段进行灾害性天气过程监测以及土地沙漠化、水土流失等动态变化分析监测；利用地理信息系统（GIS）技术进行区划、建立信息库和灾害预报模型等。

三、环境地质灾害研究方法

环境地质灾害的研究内容既包括由水圈、大气圈、生物圈、岩石圈相互交汇的自然地球系统，又包括人类工程、经济活动与自然系统的相互作用及其发展和演变过程，涉及到诸如生物学、土壤学、气象学、水文学、地质学、遥感学、物理学、数学等多个学科的研究对象与内容而无法与其分野，这也正是其没有独立的研究对象同时又具有太广的研究内容而尚不能独立存在的首要原因。这恰恰是环境地质灾害研究的综合性特征。

因此，我们在认识人与自然的协调关系时，既要认识到人类居住及赖以生存的自然环境为人类提供了水分、空气、食物以及矿产、能源等丰富的自然资源，使人类得以生存，社会经济得以发展，同时，又要认识到自然环境对人类工程、经济活动的承受能力是有一定限度的，资源环境的过度开发会造成资源枯竭和环境恶化，引发灾害发生，从而反过来阻碍经济发展，给人类生命和物质财富造成损失和破坏。

环境地质灾害研究领域涉及多个学科的研究内容，是多个大信息群组合而成的学科体系，所以其研究方法常随着信息群之间性质的差异、研究目标的不同而有异。灾害研究既要基于人-地环境的系统特性，不断深入地刻划其不同尺度和空间范围的人-地环境相互作用过程，提出合理协调人-地环境关系的方案，又要深入研究灾害环境系统本身所具有的整体性、关联性、复杂性和可变性，揭示灾害成因规律，并在时间、空间和强度上对其作出预测。

正是因为环境地质灾害研究的内容极其广泛，它不仅横截和涵盖了其他相关学科中一切可视为有关灾害和环境问题相关的研究内容，形成了以环境灾害为主要内容截集，而且突出以人-地环境系统为其研究对象，以协调和优化人-地关系为主要目的的特点。面对如此纷繁复杂综合性极强的研究体系，必须建立和采取与之相适应的研究方法。

1. 调查研究与编制环境地质灾害图

全面地、系统地调查收集资料是进行环境地质灾害研究的最基本方法。这其中包括对自然的、社会的调查，现状的、历史的分析，文字的、图片的收集。采取的方式既可以是通过对地表环境要素的描述、取样和适时监测，了解环境特征，分析灾害规律，也可以采用地球物理探测和钻探方法，丰富对地球环境系统的认识，还可以借助遥感技术，通过多期遥感信息，揭示动态变化，在此基础上，进行环境地质灾害图件的编制。

环境地质灾害图是一种用图解形式记录、传输和反映环境地质灾害信息的最形像和直观的表达形式。它是人们在实际资料调查分析基础上，对区域环境地质灾害认识的一个简化模型。环境地质灾害图的编制，既要考虑反映区域人-地环境系统特性，表达环境整体结构功能及性质，又要坚持以实用性和可操作性为其指导原则，体现环境地质灾害应用性

强这一特点。环境地质灾害图系中，除包括反映地质地貌环境条件和特征及各有关环境要素外，通常应包括以下三个主要方面：

- **现状图** 反映区域灾害类型及时间、空间、强度分布状况；
- **区划图** 反映灾害危险性评价和变化趋势预测结果；
- **规划图** 反映防灾、减灾对策、措施、实施方案及部署等。

2. 环境地质灾害研究的定量方法

随着科学研究的不断深入，定量化研究方法已被广泛地应用于地球科学、社会科学以及其他自然科学领域。环境地质灾害研究得以不断深入在很大程度上与使用定量化研究方法有关。定量化分析是在系统的环境地质野外调查、资料收集、图片解译、分析测试等所获大量信息基础上而进行的一种研究分析方法。在定量化分析方法中，主要有数学方法、系统分析方法、模型方法等（图 1-2），它们之间既具有相对独立性，又是相互联系、相互渗透的。数学方法是基础，它包括数理统计方法和模糊数学两种主要方法；模型方法则是

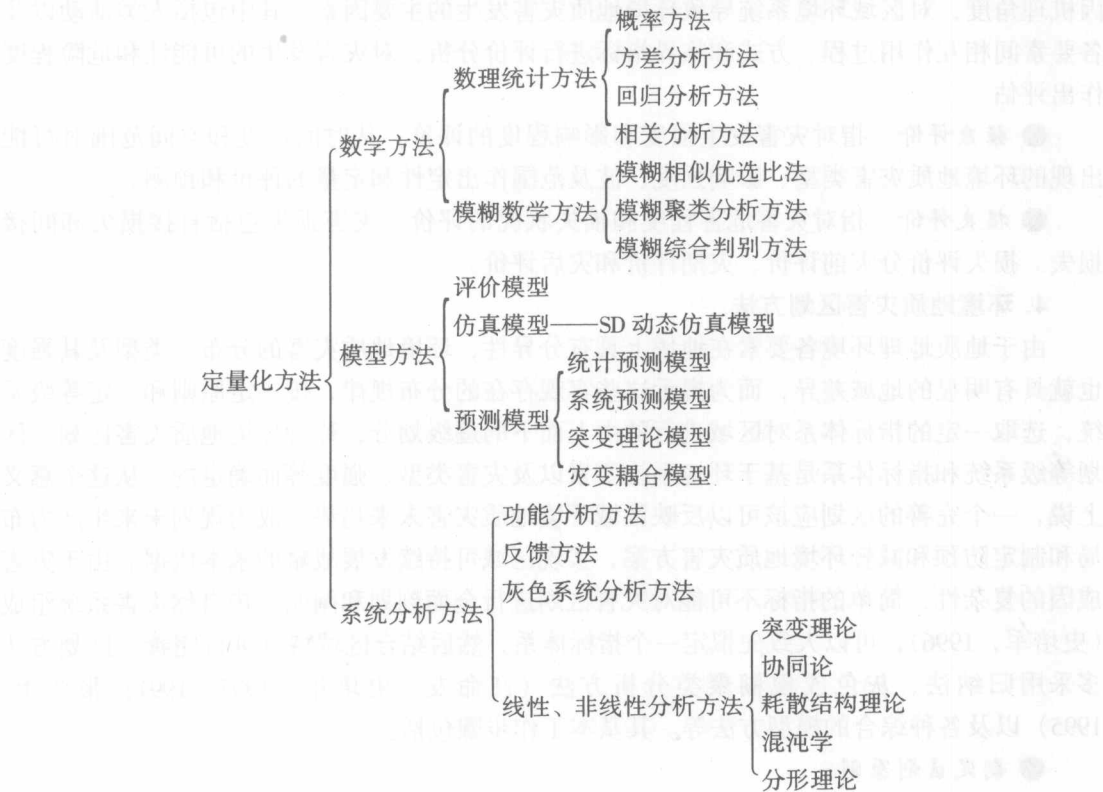


图 1-2 环境地质灾害研究定量化方法框图

Fig.1-2 Quantitative methods of the research of environment geologic disasters

对环境系统的结构、功能和演化特征进行模拟和仿真，主要有结构模型、评价模型、仿真模型、预测模型，其中尤以动态仿真模型和预测模型应用最广；系统分析方法是通过对系统思想的应用，分析人-地环境系统的结构、功能、演化以及系统内各要素间相互作用、相互影响的关系，包括功能分析方法、反馈方法、灰色系统分析方法、线性与非线性系统分析方法等。而将线性、非线性系统分析方法用于人-地环境系统的相互作用动态变化之

中,有可能建立表达人-地环境系统相互作用动态的各种模型,使动态模拟成为可能。事实上,环境地质灾害研究的人-地环境系统是一个极为复杂的开放系统,而非线性科学的理论与方法就是基于复杂、开放系统的特性而提出的,继灾变理论、协同论、耗散结构理论等非线性科学分支之后,混沌学、分形理论亦已开始被用于环境地质灾害研究(易顺民,1994;秦四清,1994;Hirabayashi et al., 1990; Tsonis, A.A., 1992; 陈亚宁, 1999)。

3. 环境地质灾害评价方法

灾害评价实质上就是从预防和减轻灾害损失的角度对其进行的评估鉴定和分等定级(赵阿兴, 1993)。评价的目的就是为了有效地预防和减轻灾害对人类生命财产造成的损失。评价方法有数理统计方法,如方差、回归相关分析法等,也有模糊数学方法,即模糊聚类法、模糊综合判别法等,还有灰色系统分析、分形等系统分析法等。评价内容主要有以下三个方面(萧焕雄, 1993; 冯志泽, 1994; 同寅康, 1995):

● **危险性评价** 指对灾害发生可能性和危险程度的评价。从灾害发生发展过程和成因机理角度,对区域环境系统导致环境地质灾害发生的主要因素,其中包括人类活动以及各要素间相互作用过程、方式和临界指标进行评价分析,对灾害发生的可能性和危险程度作出评估。

● **强度评价** 指对灾害发生强度和影响程度的评价。从时间尺度和空间范围对可能出现的环境地质灾害类型、影响强度、波及范围作出定性和定量的评价和预测。

● **损失评价** 指对灾害危害程度和损失状况的评价。灾害损失包括直接损失和间接损失。损失评价分灾前评价、灾期评价和灾后评价。

4. 环境地质灾害区划方法

由于地质地理环境各要素在地域上具有分异性,环境地质灾害的分布、类型及其强度也就具有明显的地域差异,而为揭示这些客观存在的分布规律,按一定原则和一定等级系统,选取一定的指标体系对区域进行的由上而下的逐级划分,称为环境地质灾害区划。区划等级系统和指标体系是基于环境系统要素以及灾害类型、强度等而确定的。从这个意义上说,一个完善的区划应该可以反映区域环境地质灾害未来趋势,成为规划未来生产力布局 and 制定防预和减轻环境地质灾害方案,实现区域可持续发展战略的基本依据。由于灾害成因的复杂性,简单的指标不可能对灾害区划进行全面刻划和阐明。按自然灾害系统组成(史培军, 1996),可以大致先拟定一个指标体系,然后结合区域特点进行完善。区划方法多采用归纳法、灰色或模糊聚类分析方法(江命友、史培年, 1993、1991; 张兰生, 1995)以及各种综合的模型方法等。其基本工作步骤包括:

● **制定区划原则;**

● **确定等级系统;**

● **建立指标体系。**

近些年地理信息系统(GIS)在环境地质灾害评价和区划过程中已开始得到应用(Carra, A. and Guzzetti, F., 1995),使之在研究手段上有很大的改进和提高。

5. 环境地质灾害的预测方法

环境地质灾害的预测是指对环境灾害的演化或未来趋势作出符合规律的判断,从时间、空间和强度上对灾害和环境问题的发生作出预测。预测的目的在于使人们能有意识地防止或避免灾害和环境问题的发生而造成的灾难和损失。因此,灾害预测具有重要的现实

意义,直接关系到人类的生命财产和社会经济的稳定、持续发展。然而,由于环境地质灾害系统本身所具有的可变性、复杂性,灾害的发生是一个非线性的变化过程,往往在一般规律的基础上由于某些因子的涨落变化而呈现出随机性特点,因此,灾害预测,尤其是中长期综合预测预报问题成为世界性难题,是从事灾害学、地球物理学、地质学、气象学、水文学、天文学、遥感学等方面研究的一项重要内容。

从目前国内外研究现状和发展趋势看,主要是从以下几个方面进行灾害预测、预报研究的:

1) 以监测为主要手段的灾害预测预报研究 (Carra, A. and Guzzetti, F., 1995; Chung, R. M., 1994; Mertes, L. A. K., et al., 1995; Desbois, M. and Desalmand, F., 1994)。采取先进的仪器设备对灾变事件前兆、异象进行监测 (刘雅芳、缪启龙, 1992), 包括对地球系统各圈层从天文、大气、地质到海洋、生物等方面变异的监测。如从地球物理角度进行的地热、地磁、地应力异常监测, 又如通过对活动断裂、地下放气、地下水等的监测研究地震; 再如借助卫星遥感技术对天气过程的监测预报 (何建邦等, 1993; 陈育峰等, 1995; 池天河等, 1995); 还如有关水土流失、土地沙化、盐渍化的实时监测等。

2) 着重于灾害成因机理的预测预报研究。基于环境地质灾害系统的整体性、周期性、关联性、稳定性、复杂性等特点, 对灾害的成因机理和孕育机制从多个角度进行综合分析, 探讨灾害发生的动力因子和系统内各因子间的相互作用关系, 从本质上揭示灾变进程和发生规律, 从地球系统整体变化的角度研究各不同类型灾害间相互引发、相互联系、相互影响的过程, 进而对可能发生的灾害和出现的环境问题作出预测和预报。由于环境地质灾害研究涉及的内容广、学科多以及环境地质灾害本身复杂的综合成因, 因而多学科相互渗透、相互合作, 丰富和发展了环境地质灾害研究内容和方法, 开辟了灾害预测预报的新途径。例如从地球物理角度所进行的地热、地磁异常监测分析来预测预报洪、旱灾害性天气过程; 从太阳黑子等天文因素角度预测地震和洪、旱灾害; 从大气运动等天气动力学角度探讨地震的发生; 从动物的异常表现预测临近的滑坡、崩塌及地震灾害等。而所有这些本身就是环境灾害系统整体性和关联性的一个体现。

3) 预测模型。环境灾害系统的复杂性以及其所包含内容的多样性, 使得在构造灾害及环境问题演化、预测模型时, 不仅要考虑自然地球系统本身, 而且还要考虑社会经济因素。预测模型大体上可分为统计预测模型和系统预测模型。统计预测模型是根据数理统计学原理在大量数据资料基础上研制的; 系统预测模型是根据系统动力学原理, 运用数学物理方法研制的, 包括灰色系统预测模型、线性系统预测模型、非线性系统预测模型等, 同时基于非线性动力学理论的混沌学、分形理论、人工神经网络、突变理论等灾害预报模型亦应运而生。

6. 环境地质灾害信息系统

环境地质灾害信息系统是一个对环境背景和各类灾害资料以及相关区域社会经济状况、防灾减灾设施及功能等有关方面的信息采集、贮存整理、加工处理、分析解释、输出传输的系统。从信息系统的功能看, 它不仅具有数据、图件的管理、检索和空间查询、演示功能, 而且还具备对信息的综合分析、专题图编制、模拟显示和趋势预测、预报等方面特点, 相当于模型库。图 1-3 给出了环境地质灾害信息系统的研究方法体系, 它包括信息采集方法、信息加工整理方法、信息分析解释方法和信息输出传输方法。环境地质灾害信

息系统是一门由信息论、系统论、计算机技术、数据库技术、通讯技术、遥感技术、应用数学方法等多种最新科学技术支持下的现代最先进的技术集合体。

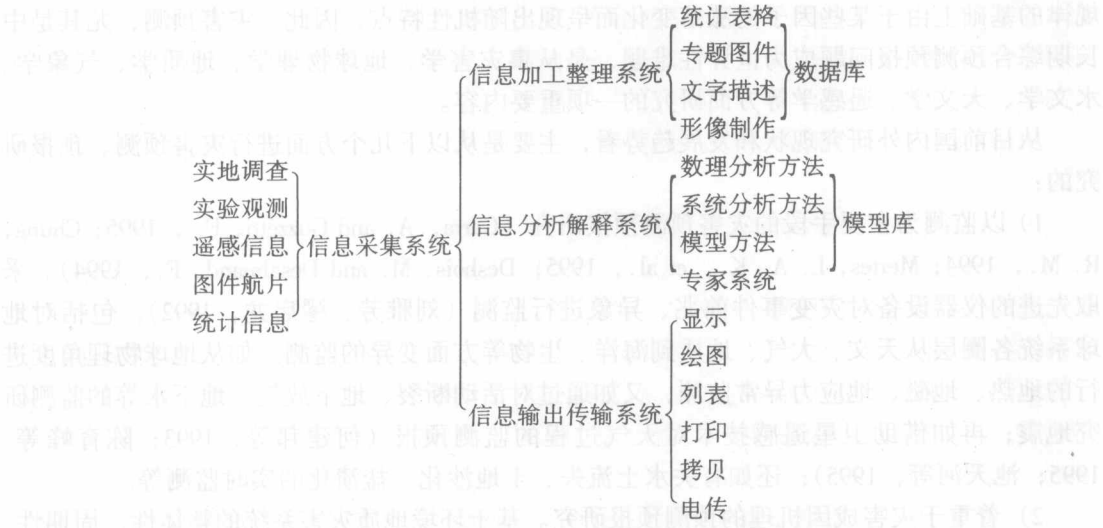


图 1-3 环境地质灾害信息系统方法体系图

Fig.1-3 Frame chart of the information system of environment geologic disasters

由于环境地质灾害的研究内容极为广泛，涉及人-地环境关系的诸多因素，系统庞大而复杂，因此，可根据研究对象、内容、区域范围及服务对象筛选信息量，制定信息系统制作方法。就环境地质研究范围而言，可以是宏观决策服务的信息系统，大范围的，如国家级或大江大河流域的环境地质灾害信息系统，其信息量的取舍也应与此相一致；也可以是地区性的，同时还可以是小流域的，构建环境地质灾害信息系统，所要求的资料数据则相对具体和详细。从研究内容来说，可以是单一环境地质灾害问题的信息系统，也可以是多种环境地质灾害问题的信息系统。

环境地质灾害研究作为一门由多学科相互渗透、相互交汇的边缘学科来说，其研究方法是多种多样的，而且随着相关学科的发展而不断丰富、完善和提高。如果说量化方法在环境地质灾害研究中的运用，使得学科研究不断深入的话，一些新测试技术和手段的使用，如遥感手段、地理信息系统（GIS）、环境同位素技术以及物理、化学、生物分析测试方法等的应用，则使环境地质灾害研究领域不断扩大，研究方法和内容更加充实。同时，由于人的因素在人-地环境系统中的作用和影响日益增强，人文-社会、经济科学的有关理论和研究方法及手段也日趋广泛地被运用于环境地质灾害研究中，使环境地质灾害研究的思想方法、理论方法、技术手段在实践中不断得以提高和丰富。

第二节 环境地质灾害研究与可持续发展

一、可持续发展理论探讨

可持续发展是人类对文明样式的深刻反省和历史选择。可持续发展作为一种新的发展

战略和新的指导思想，其理论的探讨不断深化，理解也各有侧重。

就可持续发展概念而言，从自然属性定义可持续发展为“保护和加强环境系统的生产和更新能力”，也就是说，可持续发展是不超越环境系统更新能力的发展。其中从生物圈概念出发，认为可持续发展是寻求一种最佳的生态系统，以支持生态的完整性和人类愿望的实现，使人类的生存环境得以持续。从社会属性上，把可持续发展定义为“在生存不超出维持生态系统涵容能力之情况下，改善人类的生活品质”，创造美好的生活条件和生存环境，其最终落脚点是人类社会。从经济属性上，以 Edward B. Barbier 为代表，定义可持续发展为“在保持自然资源的质量和其所提供服务的前提下，使经济发展的净利益增加到最大限度”。而着重科技属性的学者认为：“可持续发展就是转向更清洁、更有效的技术，尽可能接近‘零排放’或‘密闭式’工艺方法，尽可能减少能源和其他自然资源的消耗。”

在 1992 年联合国环发大会上布氏（挪威首相布伦特兰夫人及由她所主持的有 21 个国家环境与发展问题的著名专家组成的联合国世界环境与发展委员会）定义并提出可持续发展就是“满足当代人的需求，又不损害子孙后代满足其需求能力的发展”。这一概念在最概括的意义上得到了广泛的接受和认可，其主要涵义有以下三个方面：一是可持续发展的公平性原则（fairness），强调“人类需求和欲望的满足是发展的主要目标”，公平性原则包括当代人的公平、代际间的公平和公平分配有限资源三层意思；二是可持续发展的持续性原则（sustainability），提出“人类对自然资源的耗竭速率应考虑资源的临界性”，“可持续发展不应损害支持地球生命的自然系统”，其核心是人类的经济和社会发展不能超越资源与环境的承载能力；三是可持续发展的共同性原则（common）。可持续发展的具体目标、政策和实施步骤不可能是惟一的，但是可持续发展作为全球发展的总目标，则是共同的。布氏的可持续发展概念，就其社会观而言，主张公平分配，以满足当代和后代全体人民的基本要求；就其经济观而言，主张建立在保护地球自然系统基础上的经济增长；就其自然观而言，主张人类与自然和谐相处。

我国学者提出从自然-社会-经济三维结构复合系统定义可持续发展。认为“可持续发展既不是单指经济发展或社会发展，也不是单指生态持续，而是指自然-社会-经济复合系统的可持续。”强调可持续发展具有三大特征：一是“可持续发展鼓励经济增长，因为它是国家实力和社会财富的体现”，“可持续发展不仅重视增长数量，更追求改善质量、提高效益、节约能源、减少废物”；二是“可持续发展要以保护自然为基础，与资源和环境的承载能力相协调”；三是“可持续发展要以改善和提高生活质量为目的，与社会进步相适应”。

二、可持续发展基本内涵

可持续发展作为一种新的发展战略，是一个包容自然、人、社会统一物质系统过程和经济的、思想文化等要素于其中的体系，内涵深刻而博大。在最概括的意义上得到广泛的接受和认可的可持续发展的完整概念：既满足当代人的需求，又不损害子孙后代满足其需求能力的发展。其宗旨：“立足人类整体的根本利益，摆脱目前的困境，实现生态化生产和新的人类社会文明。其内容：在协调好人与自然关系的前提下，保持良好的生存环境和高质量的物质生活水平；在保持稳定持续的经济发展过程中保证健康协调的生态环境和资源与环境的永久利用；在满足当代人的同时，保证不危及后代人满足其需求能力