

Marine Hazard  
Geology



# 中国海洋灾害地质学

ZHONGGUO HAIYANG ZAIHAI DIZHIXUE

叶银灿 等 著



海洋出版社

# 中国海洋灾害地质学

叶银灿 等 著

海洋出版社

2012年·北京

## 内 容 简 介

本书是我国第一部海洋灾害地质学的专著。全书共分19章,第1章至第3章论述了海洋灾害地质学产生的历史背景、研究进展以及我国海域的灾害地质环境,提出了海洋灾害地质分类和海洋地质灾害的分类分级方案;第4章至第17章对我国海域主要的海洋灾害地质类型作了专题论述,专论的内容主要包括各类海洋灾害地质的孕灾环境、灾变机制、发育规律与成灾过程、存在的或潜在的危险性以及防治对策等;第18章对我国海域海洋灾害地质类型的分布规律与发育的基本特征作了简要论述,并提出了海洋灾害地质区划方案;第19章论述了海洋地质灾害的灾情评估和风险分析方法,为海洋地质灾害的减灾防灾提供科学依据。

本书可供从事海洋地质、环境地质、海洋工程和防灾工程等专业技术人员及有关高等院校师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中国海洋灾害地质学/叶银灿等著. —北京:海洋出版社,2012.5

ISBN 978-7-5027-8206-1

I. ①中… II. ①叶… III. ①海洋地质-自然灾害-中国 IV. ①P736 ②P694

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第027093号

责任编辑:项翔

责任印制:赵麟苏

**海洋出版社 出版发行**

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路8号 邮编:100081

北京画中画印刷有限公司印刷 新华书店发行所经销

2012年5月第1版 2012年5月北京第1次印刷

开本:889mm×1194mm 1/16 印张:35.75

字数:1030千字 定价:150.00元

发行部:62132549 邮购部:68038593 总编室:62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

# 序

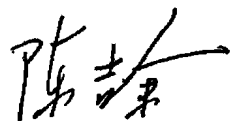
近一个多世纪以来,由于全球人口猛增,自然资源过度消耗,废弃物质大量排放,气候变暖,海平面上升,生态平衡遭到破坏,地球环境恶化已经成为人类面临的重大问题。环境恶化的重要标志之一就是自然灾害日趋频繁,并对人类的生存和发展构成严重威胁。

我国海岸绵长,海域辽阔,自南而北跨越热带、亚热带、温带三个气候带,灾害性天气频发。大地构造上处于西太平洋活动大陆边缘,地壳运动比较强烈。陆架冰后期现代地貌与末次冰期残留地貌交织,第四纪海陆交互相地层结构复杂。我国近海既有宽阔的陆架浅海,也有广袤的大陆坡和深邃的边缘海盆。我国的近海地质环境复杂,灾害地质类型多样。我国不仅是世界上地质灾害最严重的国家之一,也是世界上海洋地质灾害十分严重的少数几个国家之一,表现在灾种类型多、发生频率高、分布地域广、灾害损失大。尤其是海岸带地质灾害给人口密集、经济发达的我国沿海地区带来了惨重的损失,抑制了这些地区经济社会的可持续发展。因此,加强我国海洋灾害地质的调查和研究工作,建立和完善海洋地质灾害预测、预警和预报体系,将是一项具有重大战略意义的长期的艰巨任务。

海洋灾害地质学的研究对象是海洋地质灾害与人类社会及其生存环境间的相互关系。一方面是海洋地质灾害的性质、变异对人类社会的影响,另一方面是人类活动对海洋地质灾害的影响。海洋灾害地质学是海洋地质学的重要分支,是灾害学与海洋地质学之间的一门新兴的边缘科学,综合性强,学科交叉广,尚未形成独立的方法、理论体系,作为一门科学专门开展研究尚处在起步阶段。

叶银灿等撰写的《中国海洋灾害地质学》一书,较为系统地总结了近几十年来海洋灾害地质领域的调查研究成果,对这一学科产生的历史背景及已取得的研究进展做了全面的阐述,对我国海域主要灾害地质类型的孕灾环境、灾变机制、发育规律与成灾过程、工程危害及其防治等作了专题论述,简要地总结了我国海域灾害地质类型的分布规律与发育的基本特征,并提出了我国海域灾害地质的区划方案。尽管本书尚有诸多不足之处,但它的撰写和出版,无疑是一个大胆的探索和尝试,具有开创性的意义,它对我国在该领域的长远发展和进步将起到积极的推动作用。

中国工程院院士



2011年9月

# 前言

当今人类社会正面临着人口急剧膨胀、资源日益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,并对人类的生存和发展构成严重威胁。“地质灾害”是指自然的、人为的或综合的地质作用使地质环境恶化,并造成人类生命财产毁损以及人类赖以生存的资源、环境严重破坏的事件。地质灾害作为最为主要的自然灾害类型之一,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,早已引起各国政府和地学界科学工作者的极大重视。

地球是人类共同的家园,海洋是使这个家园保持生机的基本条件,是人类社会可持续发展的宝贵财富和最后空间,是能源、矿物、食物和淡水的战略资源基地。在人类漫长的发展历史中,海洋与经济、社会的发展有着密不可分的关系。现代海洋科学技术的迅速发展,将把人类认识和开发利用海洋的能力提高到一个前所未有的水平。20世纪70年代以来,世界海洋产业总产值大致以每10年左右翻一翻的速度增长。可以断言,今后世界海洋经济仍将快速持续发展。我国是一个海洋大国,拥有漫长的海岸线和辽阔的海洋国土。新中国成立后,特别是20世纪80年代中国实行对外开放以来,在开发利用海洋资源、发展海洋经济方面取得长足的进步,全国海洋经济产值已从1980年的80亿元,2000年的4133亿元,增加到2010年的38439亿元。全国海洋经济产值占国内生产总值从2000年的2.6%增加到2010年的9.7%,海洋经济已成为国民经济发展新的增长点。

我国是世界上地质灾害最为严重的国家之一。据统计,每年因地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、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。我国海洋地质灾害全球瞩目,频发的或突发的各类海洋地质灾害、尤其是海岸带地质灾害给人口密集、经济发达的沿海地区带来了惨重的损失,抑制了这些地区经济社会的可持续发展。据国家海洋局发布的海洋灾害公报统计,自1989年至2010年间因风暴潮、赤潮、海浪、海冰等海洋灾害所造成的经济损失累计高达2765亿元,死亡、失踪人数高达6658人。

第42届联合国大会把20世纪最后10年定为“国际减轻自然灾害十年”。我国政府为此成立了“减轻自然灾害全国委员会”,强化了对减灾的投入、协调和领导。海洋灾害地质的调查和研究工作与陆地灾害地质相比起步较晚,但随着20世纪80年代以来迅速扩大的海洋油气与其他矿产资源的勘探和开发,海洋工程设施与日俱增,海洋灾害地质的调查和研究已经成为海洋工程建设前期工作最为关注的问题之一。

海洋灾害地质学的研究对象是海洋地质灾害与人类社会及其生存环境间的相互关

系。一方面是海洋地质灾害的性质、变异对人类社会的影响,另一方面是人类活动对海洋地质灾害的影响。加强我国海洋灾害地质的调查和研究工作,建立和完善海洋地质灾害预测、预警和预报体系,将是一项具有重大战略意义的长期的艰巨任务。本书在撰写时广泛参阅了中国地质调查局、国家海洋局、中国科学院等部门及其他相关部门的调查和研究成果,充分采纳了我国海域多项重大油气工程、海底通信工程勘察获得的宝贵资料,力求能全面反映我国在海洋灾害地质领域的最新进展,期望对我国在这一领域的长远发展和进步起到积极的推动作用。

本书论述了海洋灾害地质学产生的历史背景及已取得的主要研究进展,提出了海洋灾害地质分类和海洋地质灾害的分类分级方案,重点对我国海域具有代表性的海洋灾害地质类型作了专题论述,专论的内容主要包括各类海洋灾害地质的孕灾环境、灾变机制、发育规律与成灾过程、存在的或潜在的危險性以及防治对策等。在各专论的基础上,总结了我国海域主要灾害地质类型的分布规律与发育的基本特征,提出了我国海域灾害地质区划方案以及海洋地质灾害的灾情评估和风险分析方法,为海洋地质灾害的减灾防灾提供科学依据。

全书共十九章,其中第一章由叶银灿撰写;第二章由李全兴、陈锡土、陈小玲、田双凤、李冬、吕小飞撰写;第三章由叶银灿撰写;第四章由李起彤、胡涛骏撰写;第五章由李起彤、胡涛骏、叶银灿撰写;第六章由来向华撰写;第七章由庄振业撰写;第八章由韦雁机、叶银灿撰写;第九章由陈小玲撰写;第十章由陈俊仁撰写;第十一章由潘国富撰写;第十二章由张帆、詹文欢、孙杰、张志强、刘再峰撰写;第十三章由陈俊仁撰写;第十四章由詹文欢、孙宗勋、姚衍桃、孙金龙、詹美珍、张帆撰写;第十五章由庄振业、叶银灿撰写;第十六章由陈锡土撰写;第十七章由刘杜娟撰写;第十八章由叶银灿、陈俊仁、刘杜娟、田双凤撰写;第十九章由刘杜娟撰写。图件的计算机处理及参考文献校核工作由田双凤、何欣、韦雁机等完成,全书由叶银灿负责统稿。

我国著名河口海岸学家、中国工程院院士陈吉余教授,在百忙中为本书作序;在本书写作过程中,还得到金庆焕院士、彭阜南教授、杨作升教授、刘苍宇教授、冯秀丽教授等的热情支持和帮助,在此一并致以谢忱!

本书在撰写过程中参考引用了大量的科技论文、著作、现行技术标准等资料,在此特向各位被引用文献的作者表示衷心地感谢!

海洋灾害地质学是海洋地质学的重要分支,是灾害学与海洋地质学之间的一门新兴的边缘科学,尚未形成独立的方法、理论体系,作为一门科学专门开展研究尚处起步阶段。本书的撰写出版,实属探索和尝试,存在的不妥、错漏和谬误之处在所难免,敬请读者批评指正!

叶银灿

2011年9月



# 目 录

## 第一章 绪论

第一节	地质灾害的概念和内涵	(1)
第二节	海洋灾害地质学产生与发展背景	(3)
第三节	海洋灾害地质学的研究对象与内容	(4)
第四节	海洋灾害地质学的历史回顾与主要进展	(5)
第五节	海洋灾害地质学发展前景展望	(18)

## 第二章 中国海洋地理与地质环境

第一节	中国海区地理概况	(23)
第二节	海洋气候与水文	(27)
第三节	海底地形与地貌	(34)
第四节	海底沉积物类型及其分布特征	(39)
第五节	海底地质构造环境	(45)

## 第三章 海洋灾害地质分类与海洋地质灾害的分类分级方案

第一节	海洋灾害地质分类原则与划分方案	(49)
第二节	海洋地质灾害分类分级原则与划分方案	(54)

## 第四章 海域活动断层

第一节	活动断层类型与识别标志	(57)
第二节	中国海域活动断层	(61)
第三节	海域活动断层灾害及其工程评价	(79)

## 第五章 海域地震与地震海啸

第一节	海域地震灾害	(84)
第二节	地震烈度与加速度	(86)
第三节	中国海域地震	(90)
第四节	海洋工程场地地震安全性评价	(94)
第五节	地震海啸及预报	(98)

## 第六章 海底滑坡

第一节	海底斜坡稳定性研究进展	(115)
-----	-------------	-------

第二节	海底滑坡的分类及其特征	(119)
第三节	海底滑坡的成因与动力机制	(126)
第四节	海底斜坡稳定性分析方法	(134)
第五节	中国海域海底滑坡及其分布特征	(157)
第六节	海底滑坡的工程危害及其防治对策	(174)

## 第七章 海岸侵蚀和港口淤积

第一节	海岸类型与动态特征	(177)
第二节	海岸侵蚀及其防治	(180)
第三节	港口淤积及其防治	(193)

## 第八章 海洋构筑物基础冲刷及工程防护

第一节	冲刷现象及其工程危害	(200)
第二节	海洋构筑物基础冲刷机制	(202)
第三节	海洋构筑物基础冲刷研究基本方法	(223)
第四节	海洋构筑物基础冲刷稳定性分析及其工程防护	(234)

## 第九章 海底砂土液化及评估

第一节	砂土液化的概念和形成机理	(242)
第二节	砂土液化的影响因素	(244)
第三节	砂土液化的分析与判别	(249)
第四节	中国近海海域潜在液化区分析	(264)
第五节	砂土液化的工程评价与防治	(273)

## 第十章 海底浊流

第一节	浊流理论的创立与发展	(277)
第二节	海底浊流形成机理	(279)
第三节	海底浊流产生的动力过程	(281)
第四节	中国海域浊流的分布特征	(284)
第五节	海底浊流形成的影响因素	(292)
第六节	海底浊流的工程危害与防治	(294)

## 第十一章 海底浅层天然气

第一节	浅层天然气的类型与基本特征	(298)
第二节	浅层天然气的赋存形式与识别标志	(305)
第三节	我国近海浅层天然气分布特征	(318)
第四节	浅层天然气成灾机理与防治对策	(335)

## 第十二章 海底软土

第一节	海底软土研究的工程意义	(347)
第二节	中国海域软土分布与发育特征	(348)



第三节	海底软土夹层及其工程危害性·····	(352)
第四节	泥底辟、泥火山与海底刺穿及其工程危害性·····	(356)

### 第十三章 风暴岩

第一节	国内外风暴岩研究概况·····	(362)
第二节	风暴岩形成机制·····	(365)
第三节	风暴岩沉积特征与分布规律·····	(369)
第四节	风暴岩地质灾害、成灾机理及其防治·····	(372)

### 第十四章 珊瑚礁、海滩岩和沙丘岩

第一节	珊瑚礁及其工程危害性·····	(376)
第二节	海滩岩、沙丘岩及其工程危害性·····	(386)
第三节	珊瑚礁、海滩岩和沙丘岩地质灾害防治对策·····	(393)

### 第十五章 海底沙波与沙脊

第一节	陆架动力环境与底形类型·····	(397)
第二节	海底沙波·····	(399)
第三节	海底沙脊·····	(405)
第四节	陆架砂质底形的活动性及其工程危害性·····	(413)

### 第十六章 海底古河道与古三角洲

第一节	海底古河道及其工程危害性·····	(418)
第二节	海底古三角洲及其工程危害性·····	(423)
第三节	中国海域古河道和古三角洲的分布特征·····	(426)

### 第十七章 海平面变化、海水入侵与地面沉降

第一节	海平面变化·····	(443)
第二节	海水入侵·····	(463)
第三节	沿海地区地面沉降·····	(470)
第四节	中国大河三角洲地区灾害现状与发展趋势·····	(478)

### 第十八章 中国海域灾害地质发育规律及区划

第一节	中国海域主要灾害地质类型及其区域分布特点·····	(487)
第二节	中国海域地质灾害发育的基本特征·····	(500)
第三节	中国海域灾害地质区划·····	(502)

### 第十九章 海洋地质灾害防灾与社会经济可持续发展

第一节	海洋地质灾害灾情评估·····	(511)
第二节	海洋地质灾害减灾防灾·····	(518)
第三节	减灾防灾与社会经济可持续发展·····	(522)

参考文献·····	(525)
-----------	-------

# 第一章 绪论

## 第一节 地质灾害的概念和内涵

### 一、灾害的基本涵义

联合国减灾组织给灾害下的定义是：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(UNDRO,1984)。联合国灾害管理培训教材把灾害定义为：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。

可见灾害是由自然因素或人为因素引起的灾难性事件，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。

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：一是自然动力过程或自然环境的异常变化；二是受灾害影响的对象，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。

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

中华人民共和国国土资源部行业标准《地质灾害分类分级》将地质灾害表述为：地质灾害是地球

在内动力、外动力或人类工程活动作用下,发生的危害人类生命财产、生产生活活动或破坏人类赖以生存与发展的资源与环境的地质事件。可见,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或人类活动作用下发生的灾害性地质事件。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。

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。社会属性主要指与成灾活动密切相关的人类社会特征,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。

海洋地质灾害是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引起的灾害性事件,不同类型海洋地质灾害有其自身的规律,它既是受地球与海洋环境的制约,又与人类开发、利用海洋的各种活动密切相关。海洋地质灾害是自然灾害的一种,但它对发展海洋经济是危害性最大的一种灾害,世界各国都非常关注,并投入相当多的人力、物力和资金展开多方位研究。

### 三、地质灾害与灾害地质因素

什么叫灾害地质?什么叫地质灾害?当前学术界尚有混淆,无统一的认识。灾害地质与地质灾害是两个专用名词,既有联系又有区别,其性质与任务各不相同(刘守全,2000)。

地质灾害对于受灾对象而言,可能是偶然的、随机的。但是,作为一种地质作用,大部分是属于正常的、必然的。作为地质灾害的致灾因子是地质作用,它们的活动规律受地质、自然地理和环境演变控制。由于人类活动参与地质作用,所以人类对地质灾害有明显的影响,但也要通过地质规律起作用。当我们研究地质灾害致灾因子发育的规律时,可以不考虑它们的社会属性,而把能够致灾的同类地质因素统称为“灾害地质因素”。灾害地质因素既包括已经发生过灾害的,也包括没有发生过灾害的、潜在着危险性的因素。实际上,地质灾害调查研究不能限于已经形成的地质灾害,更重要的是那些尚未发生灾害,而潜在危险的灾害地质因素。研究灾害地质因素的产生和发展规律,对预报、预防和治理地质灾害具有更重要意义。灾害地质因素的形式是多样的,包括某些地质体(如可液化砂层、底辟、浅层气囊、断层、水下三角洲)、地质作用(如海岸侵蚀、浊流、地震、海平面上升)、地质条件(如易损低地)等。

## 第二节 海洋灾害地质学产生与发展背景

灾害地质学是地质学的重要分支,是灾害学与地质学之间的一门新兴的边缘科学,作为一门科学专门开展研究刚刚起步。灾害地质学的出现和发展,是与解决环境灾害问题的需要分不开的,有其深刻的社会背景和科学背景。

### 一、全球面临环境问题的严峻挑战

地球形成至今已有数十亿年之久,无时无刻不在循其自然发展规律变化着。人类的生存依赖于地球的资源与环境,在人类发展的历史长河中,人类对地球资源的摄取和对地球环境的影响总体上很小。生产力的提高,推动着人类社会向前发展,同时也加大了人类对自然的干预。尤其是19世纪工业革命以来,社会经济快速发展,人口急剧膨胀,生产规模和城市化规模不断扩大。森林大量被砍伐,草原过量被放牧,沙漠化日益扩大,资源过度消耗,废弃物大量排放,物种灭绝千倍于自然速率,地球景观发生大面积变化,人类以前所未有的速度与尺度影响并改变着地球的环境。温室效应引起全球气候变暖,海平面上升,厄尔尼诺频繁,地面沉降、海水入侵、地下水污染、洪涝与泥石流等地质灾害肆虐,生态环境遭到破坏。地球环境正在迅速恶化,严重威胁人类自身生存和社会经济发展,全球面临着环境问题的严峻挑战。

地质灾害是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,是人们最关注的环境问题。以上所述的环境问题,多数是地质环境问题或是地质灾害问题,这就给地质学提出了新的课题和任务,也为灾害地质学的孕育产生提供了条件。

### 二、国际社会和各国政府对全球环境问题的极大关注

1972年6月5日联合国人类环境会议在瑞典首都斯德哥尔摩召开,113个国家的1300多名代表聚集在一起,第一次讨论全球环境问题,通过了划时代的历史性文件——《人类环境宣言》,是人类共同关注环境问题的标志。1987年以当时挪威首相布伦特莱夫人为首的世界环境与发展委员会在《我们的未来》报告中第一次阐述了可持续发展的概念。1992年联合国环境与发展大会通过了《里约热内卢宣言》,制定了划时代意义的行动计划——《21世纪议程》。2002年是里约热内卢地球高峰会议的10周年,联合国在南非的约翰内斯堡举行100多位国家元首或政府首脑出席的纪念大会,提出了《可持续发展世界首脑会议执行计划》。2005年世界首脑会议签署的《联合国千年宣言》,重申环境与发展会议商定的可持续发展的原则。

《21世纪议程》把海洋作为重要的组成部分之一,其中的第十七章提出:“海洋环境——包括大洋和各种海洋以及邻近的沿海区域——是一个整体,是全球生命支持系统的一个基本组成部分,也是一种有助于实现可持续发展的宝贵财富。”《可持续发展世界首脑会议执行计划》第四部分:保护和管理经济与社会发展所需的自然资源基础中提出了在海洋领域的行动方案,该计划还对海洋领域内的海洋生态系统、海洋渔业、海洋保护区和海洋环境等确定了具有时限的目标。

发展是人类社会进步的主题,可持续发展的思想是在人类对日趋严重的生态环境问题的逐步认识过程中形成的。经济发展、社会进步与环境保护相互联系、相互促进,共同构成可持续发展的三大支柱。《21世纪议程》和《可持续发展世界首脑会议执行计划》这两个具有里程碑式的国际文件提出了海洋在全球可持续发展中的地位和作用。自1997年起,联合国秘书长每年都向联大提交一份《海洋和海洋法》报告,以重要篇幅较为全面总结一年来海洋环境、海洋资源和可持续发展行动及进展。

由于联合国等国际组织、世界各国政府、公众对环境问题的极大关注及有效的全球行动计划,从而为包括海洋灾害地质学在内的环境学科发展提供了良好的条件。

### 三、海洋灾害地质学发展的科学背景

自1980年第26届国际地质大会提出地质环境问题宣言开始,越来越多的地球科学工作者深刻地意识到,地质科学拓展方向和出路之一主要在于参与解决地球的环境与灾害问题。如何对自然界存在的地质灾害和人为因素造成的环境恶化进行防治,以及采取怎样的措施保护现有的生存环境等问题,是环境地质学研究领域内的重点问题。

环境地质学几乎与环境科学同步发展。环境科学是探索全球范围内环境演化的规律,揭示人类活动同自然生态之间的关系,探索环境变化对人类生存的影响,研究区域环境污染综合防治的技术措施和管理措施的科学,它是跨越自然科学和社会科学的、综合性的科学集群。由于当前环境变化是全球性的,这种变化的机制是非常复杂的,而且不是哪个单一学科能够研究的。基于这样的事实,1983年在世界科联大会上,提出了“全球变化”(global change)概念。很快全球变化科学研究成为国际环境科学的主流,而且已经形成了一个学科,即“全球变化科学”(global change science)。它以复杂的非线性多重耦合的“地球系统”为研究对象,把大气圈、水圈、岩石圈和生物圈(包括人类自身)作为整体,探讨系统各组成成分之间相互作用的物理、化学和生物过程,尤其关注人类对地球环境的影响。自20世纪80年代以来,全球变化研究陆续形成了国际地圈/生物圈计划(IGBP)、世界气候研究计划(WCRP)、全球变化中的人类因素计划(HDP),以及生物多样性计划(DIVERSITAS)等4个大的跨学科的综合研究计划。

全球环境变化的问题涉及面很广,但目前的热点仍然是气候变化和海平面上升问题。海洋是水圈的主体,它又与其他地球层圈相互作用。海洋是资源的宝库,是人类现在和今后开发和利用的主要对象。海岸带是沿海国家社会经济发达、人类活动最活跃频繁的区域,它作为大气圈、水圈、岩石圈、生物圈间相互渗透、相互影响的地带,海陆相互作用过程复杂,具有对环境变化反应敏感和对灾害抵御脆弱的特点。显而易见,由于海洋对于人类的重要性及对全球变化的敏感性,海洋环境科学在全球变化科学中具有不可替代的地位。全球变化研究引导了环境科学的总体思路,对推动包括海洋灾害地质学的海洋环境地质学的深入发展具有非常重大的意义,海洋灾害地质学在“全球变化科学”中将会逐步确立其应有的地位。

## 第三节 海洋灾害地质学的研究对象与内容

海洋灾害地质学的研究对象是海洋地质灾害与人类社会及其生存环境间的相互关系。一方面是海洋地质灾害的性质、变异对人类社会的影响;另一方面是人类活动对海洋地质灾害的影响。海洋灾害地质学主要研究海洋地质灾害的形成条件与成因机制,研究各类海洋地质灾害的发育规律与成灾过程,为海洋地质灾害的灾情评估和监测、预报、防治提供科学依据。主要研究内容简述如下。

### 一、海洋灾害地质的类型

海洋灾害地质的类型划分是海洋灾害地质学的一个重要的基本理论问题,也是一个重要的研究内容。按不同的分类原则,可以有不同的分类分级方案,一个兼顾实用性、层次性、关联性的科学的灾害地质分类系统必定是建立在对海洋灾害地质深入调查研究基础之上的,它能深刻地反映各类灾害地质间的区别或内在联系。不同区域有不同的灾害地质类型组合。反之,不同的灾害地质类型组合往往反映出不同地区的灾害地质发育特征。

### 二、海洋地质灾害的形成条件和成因机制

海洋地质灾害的产生有其一定的地理、地形地貌与地质背景,又通常是在诱发因素的作用下才发生的。

各类海洋地质灾害的成因机制复杂且各不相同,其致灾因子可以是不同的自然因素、人为因素,也可以是自然和人为因素的综合作用。海洋地质灾害的形成条件和成因机制是海洋灾害地质学的首要研究内容。

### 三、海洋地质灾害的发育规律和成灾过程

海洋地质灾害的类型有数十种之多。地质灾害的形成必须具备灾害体和承灾体,二者的结合决定了成灾程度。各类海洋地质灾害的分布、发生、发育及其成灾过程千差万别,调查和掌握海洋地质灾害的发育规律和成灾过程,对于灾害的预报和防治至关重要,是海洋灾害地质学的重要研究内容。

### 四、海洋灾害地质区划与风险评价

海洋灾害地质的区划研究是区域海洋地质灾害评价的基础,也是海洋地质灾害预测与防治的重要科学依据,是海洋灾害地质学的主要研究内容之一。区划与风险评价研究应包括区划依据、风险评价原则、评价指标、评价方法以及区划方案等内容。

### 五、海洋地质灾害的灾情评估

灾情评估是海洋地质灾害减灾防灾的重要环节。灾情评估即评价地质灾害的危险性及其造成的破坏损失、人类社会在现有经济技术条件下抗御灾害的能力,评价减灾防灾的经济投入及可能取得的经济效益和社会效益。其内容包括危险性评价、易损性评价、破坏损失评价和防治工程评价四个方面,其中危险性评价和易损性评价是灾情评估的基础,破坏损失评价是灾情评估的核心,防治工程评价是灾情评估的实际应用。

### 六、海洋地质灾害的监测、预报与防治

海洋地质灾害监测的目的是了解和掌握灾害的发生与演变规律,及时预报灾害的发生和发展趋势,从而避免或减少灾害损失。监测内容包括成灾条件的监测、成灾过程的监测以及灾害防治效益的反馈监测;海洋地质灾害的预报是灾害防治决策的基础,预报模型的建立要同时考虑地质因素、人类活动、社会经济等因素;海洋地质灾害防治的根本目标是取得最佳的减灾效果。防治的基本途径,一是控制灾害源、消除或减弱灾害体的活动能量,减少灾害威胁;二是对受灾体采取防护或避让等保护措施使其免受灾害破坏,或增强受灾体对灾害的抗御能力。

海洋灾害地质学研究的目的是对海洋地质灾害的科学的评价、可靠的预测、有效的防治对策,而灾情评估和灾害的监测、预报、防治是减灾防灾的关键环节,是海洋灾害地质学的重要研究内容。

海洋灾害地质学是海洋地质学的重要分支,也是环境地质学的重要组成部分,是一门地质科学、海洋科学、环境科学与灾害科学的交叉学科,这些科学的发展将会不断地推动该学科的发展。中国海洋灾害地质学主要研究我国河口、近岸与近海区域的灾害地质问题,具有区域海洋灾害地质学和专门灾害地质学的双重性质。

## 第四节 海洋灾害地质研究的历史回顾与主要进展

### 一、历史回顾

我国是一个具有五千多年历史的文明古国,也是一个严重自然灾害频发的国家,有浩如烟海的历史文献资料,很早就开始观测和记录灾异现象。在历代记录中,最多的是有关地震灾害、旱涝灾害以

及崩塌、滑坡、泥石流、地裂缝等地质灾害现象。早在 2 000 多年前的《汉书》卷九曾记载,汉元帝初元二年(公元前 47 年)“六月……一年中地再动,北海水溢,流杀人民”,这是已知的我国最早有关海洋地震的记述,可以推测曾发生过的海洋地震和地震海啸灾害。历代留下的丰富的灾异现象观测记录为我们对灾害时空分布规律、灾情评估及灾害史的研究提供了宝贵的基础资料。

对于海洋灾害地质的研究与世界沿海国家对沿海地区的开发建设,特别是海洋油气资源的勘探与开采密切相关,迄今已经历了半个多世纪。

世界各国对于近海陆架灾害地质的研究起始于海洋油气资源的勘探、开采及其工程建设活动。海洋油气开发经历了一个由近岸、浅海到深海的发展过程。从 1897 年到 20 世纪 40 年代初,是海洋石油开发的初始阶段,主要工程设施是木结构平台和人工岛,只能在水深小于 10 m 的近岸采油,对于海洋地质灾害尚未引起足够重视。

1947 年美国在墨西哥湾建造了一座钢结构固定平台,当时的灾害地质研究主要是围绕钻井灾害和在平台场址小范围进行的。从第二次世界大战后到 60 年代末的 20 多年中,海上移动式钻井装置发展迅速,推动了海上石油勘探向大陆架的迈进,作业水深已超过 200 m。20 世纪 70—80 年代,随着平台和钻井技术的发展,海洋油气勘探开发水域范围进一步扩大,作业水深超过 500 m,成功开发了北海和墨西哥湾大陆架深水油气资源。这一时期海洋灾害地质研究已扩展到陆架海域,并结合区域性的工程地质调查进行,特别在海底土体滑移分析、砂土液化评价等方面取得显著进步。

20 世纪 90 年代,成功解决了温带海域油气开采面临的钻井、采油、集输和存储等技术问题,而且高寒水域的平台和管线技术难题也取得重大突破,海洋油气勘探开发取得巨大进步,作业水深不断刷新,2002 年达到 3 000 m,全球获得近百个深水油气田的发现,作业范围已从北海、墨西哥湾等传统地区扩展到西非、南美及澳大利亚大陆架等海域。这一时期海洋灾害地质的调查研究亦扩展到了水深大于 500 m 的大陆坡海域,陆坡土体失稳以及天然气水合物等灾害地质因素成了研究重点。

我国海洋油气开发迄今已经历了两个发展阶段。1965—1981 年为第一阶段,我国开始大陆架油气勘探,其后陆续发现渤海、南黄海、东海、南海北部湾、莺歌海、珠江口六个油田,并在渤海进行开发试验。从 1982 年开始的第二阶段是合作开发阶段。1982 年开始,中国海洋石油总公司相继主持南海、渤海、南黄海、东海的油气区块招标。1983 年开始大陆架油气中外合作或自营勘探开发,海洋油气田陆续建设、投产。目前,我国已具备在水深 300 m 以浅海域独立进行油气勘探与开发的能力。

国内对于海洋灾害地质的调查研究,是 20 世纪 80 年代初期随着海洋油气的大规模勘探与开采而发展起来的。当时以各大石油公司为主,开展了油气远景区的区域工程地质调查以及平台、管道等工程场址调查。1983 年,南海西部石油公司与中国科学院海洋研究所等单位,率先开展了北部湾涠 11-1 海区平台场址工程地质调查。尔后,南海西部石油公司和中国科学院海洋研究所等单位,在北部湾及南海西北部陆架进行了 20 km × 40 km 网距的区域性灾害地质调查以及涠 11-4 海区,涠 10-3 海区等的平台场址及管线区灾害地质调查。1985 年,上海海洋地质调查局在东海陆架油气勘探区进行了 1:20 万区域工程地质调查。1986—1987 年间,中国科学院海洋研究所和中国科学院力学研究所根据黄海石油公司的要求,对南黄海 123°E 以西的浅海及苏北浅滩外缘进行了区域工程地质调查与评价工作,1989 年又与渤海石油公司合作,对辽东湾石油开发区进行了 1:20 万的区域工程地质调查。1986—1990 年期间,地质矿产部第二海洋地质调查大队在联合国开发署的资助下,在南海珠江口盆地开展了 1:20 万海洋工程地质调查,共完成 9 个 1:20 万国际标准图幅(冯志强,等,1996)。上述调查中均以灾害地质作为重点内容。

我国对海岸带灾害地质的关注起始于沿海城市建设、海岸带开发及海岸工程活动。自 20 世纪 50 年代末期开始,陆续对海岸侵蚀、地面沉降、海面上升、海水入侵、滨海湿地退化、港口淤积等地质灾害进行研究,并取得显著进展。特别是 1985—1990 年期间,青岛海洋大学河口海岸带研究所相继开展了中国、美国、加拿大合作项目《渤海中南部及黄河口沉积动力学研究》、国家自然科学基金大型项目



《中国河口主要沉积动力过程及其应用》的研究,对黄河口水下底坡不稳定性进行了深入研究,分析论述了黄河口水下三角洲区的坍塌、滑坡、沉积物重力流等块体运动,揭示了黄河口沉积动力过程的全貌以及河口区的灾害地质现象(杨作升,等,1991)。

20世纪90年代以来,国际社会和各国政府对全球环境问题予以极大关注。中国政府积极响应国际社会号召,在“联合国国际减灾十年”的推动下,把减灾纳入国家经济和社会发展规划。从此,海洋灾害地质的调查研究以及防灾减灾工作进入了一个新的阶段,近20年来取得了一系列的重要成果。

1991年7月在青岛召开了我国第一次海洋地质灾害防治学术研讨会,会后正式成立了中国海洋地质灾害专业委员会,标志着我国海洋灾害地质学的研究获得广泛重视。

1992年,中国灾害防御协会在烟台组织召开了“全国沿海地区减灾与发展研讨会”,会议对进一步推动海岸带灾害地质的研究工作起到了重要作用。

1996年,在全国地质灾害现状调查的基础上由段永侯主编的《中国分省地质灾害图集》出版(中国水文地质工程地质勘察院,1996)。该图集提出了我国主要地质灾害类型的分类方案、区域分布、危害程度及发展趋势。把海面升降、海水入侵、海岸侵蚀、港口淤积、风暴潮归为海洋(岸)动力灾害,纳入编图范围(段永侯,等,1997)。

1996年李绍全最先提出“海岸带地质灾害”一词,并论述了海岸带地质灾害的5个基本属性和海岸带地质灾害分类的原则(李绍全,1996)。叶银灿等首次探讨了岛屿海域水下滑坡的成因机制与形态特征,对在波浪和重力共同作用下的边坡稳定性以及波浪底压引起的砂土液化进行了定量分析(叶银灿,等,1996)。《华南沿海地质灾害》一书阐述了华南沿海地质灾害类型及发育规律,提出了地质灾害的模糊综合评价方法及防治的系统分析方法(詹文欢,等,1996)。《中国近海地质》一书则专列了“中国近海环境地质与灾害地质”一章,论述了各类地质灾害的基本特征、我国近海环境地质的稳定性,并提出了地质灾害区划及地质灾害的防治对策等(许东禹,刘锡清,等,1997)。

2003年出版的《广东沿海地质环境与地质灾害》一书,以丰富的数据、图表阐述了广东沿海地质灾害类型与时空分布、地质环境质量综合评价与区划、沿海地质灾害发展趋势与预测指标体系,介绍了地质灾害数据库和地理信息系统,提出了地质环境管理及地质灾害的防治措施等(谢先德,等,2003)。

1997—2001年间,国家海洋局组织实施了“我国专属经济区和大陆架勘测”国家重大专项,其中包含灾害地质环境调查和评价的内容。实测区域包括除南海北部陆架珠江口盆地之外的其他油气资源(开发)区,如南黄海油气资源远景区和东海盆地、北部湾、莺歌海和琼东南的油气资源(开发)区。同时,对黄海、东海、南海及其相应海岸带和周边海域,进行了系统的灾害地质研究和综合评价,编制了1:200万的黄东海和南海的灾害地质图,1:100万的各油气资源开发区的海底灾害地质图(李培英,等,2003;杜军,等,2004),并进行了海岸带灾害地质的分类和中国海岸带灾害地质的分区。在此基础上编著的《中国近海及邻近海域海洋环境》一书专列《灾害地质环境》一篇,论述了灾害地质类型及分布特征、提出了灾害地质分区及海底稳定性综合评价方法(郭炳火,黄振宗,李培英,等,2004)。

在国家自然科学基金的支持下,叶银灿、庄振业等在综合国内外已有相关研究成果的基础上,深入探讨了扬子浅滩沙波底形的特征参数、分布和运动方向,采用水力计算法得到了沙波底形的迁移速率和运动量级。根据稳定性标志把陆架沙波划分为四个级别,即运动沙丘、弱运动沙丘、稳定残留沙丘、消亡沙丘,这种划分在学术界尚属首次(叶银灿,等,2004;龙海燕,等,2007;庄振业,等,2008)。

2007年出版的《中国海岸带灾害地质特征及评价》一书(李培英,等,2007),较为全面系统地总结了我国海岸带灾害地质以往的研究成果,提出了海岸带灾害地质类型划分及地质灾害分类分级方案,阐述了海岸带灾害地质制图、风险评价及区划方法,并列出了我国海岸带灾害地质研究的典型案例。

我国的深水油气资源集中在南海水深300~3000m海域。中国海洋石油总公司与哈斯基能源公司合作,2006年6月在珠江口盆地29/26深水区块内获得荔湾3-1天然气田发现,2009年2月完成

该区块钻探的第一口评价井“荔湾3-1-2”,从而成为迄今我国最早钻探发现的深水气田,标志着我国深水油气勘探开发亦已全面启动。在工程选址和管道路由与平台场址调查中,国内工程勘察单位与辉固国际集团公司合作,对处于水深600~1500 m陆坡的土体稳定性重点进行了调查研究,揭开了我国深海海洋灾害地质研究的序幕。

2003年9月获国务院批准立项的“我国近海海洋综合调查与评价专项”(“908”专项)是我国海洋调查的一个新的里程碑。该专项计划自2004年开始,至2009年完成,目前尚在进行中。调查范围为内水、领海和领海以外部分海域,调查面积约为 $67.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中,内水调查面积为 $29.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,领海调查面积约 $8.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,领海以外调查面积约 $29.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。重点调查海域选定为我国沿岸大型三角洲、内水海湾、城市密集区海域和近岸重要海洋生态区。海洋灾害调查是该项目专项调查的重要内容,包括台风、风暴潮、巨浪、海啸、海冰灾害等海洋环境灾害调查,海岸侵蚀、海水入侵、土地盐渍化、湿地退化和海底滑坡、活断层、地震、古河道砂体、浅层气、沙土液化及软弱地层等海洋地质灾害调查,赤潮灾害、物种侵入及传播性海洋养殖病原生物等海洋生物灾害调查。可以预计,该项目的成果将极大地丰富我国海洋灾害地质调查研究的实践和理论,为海洋灾害地质学的发展做出重要贡献。

## 二、主要研究进展

### 1. 海洋灾害地质类型与地质灾害分类分级研究

海洋灾害地质类型研究是海洋灾害地质学的一个基本的理论问题,迄今已经有40余年的历史。早在1980年,Carpenter G B等根据对工程的危险性,把陆架各类灾害地质因素划分为灾害地质(Hazard geology)因素和限制性地质(Constraint geology)因素两大类。自20世纪80年代至今,随着研究工作的深入,国内外学者先后提出过多种分类方案。国内代表性的有根据地质灾害动力所在的地球层圈分类(刘以宣,等,1992),根据诱发地质灾害的动力成因分类(陈俊仁,等,1993),根据成因结合工程危害性的分类(李凡,等,1994)等。

海洋地质灾害的分类以成因分类最为普遍。此外,尚有按海洋地理单元、按空间分布、按灾害发生的时间先后分类等方法。

《中国海岸带灾害地质特征及评价》一书中,结合我国海岸带灾害地质类型的特点,提出了海岸带灾害地质分类体系,同时提出了海岸带地质灾害的分类与分级方案(李培英,等,2007)。

目前,以成因为基础的综合分类方法已被多数研究者所接受,并得到广泛应用。此外,国内长期存在的“灾害地质分类”与“地质灾害分类”相互混淆的情况,近年来认识已趋于一致,认为两者的区别在于地质灾害分类是划分灾害的属性和对灾害危害程度的度量,而灾害地质分类则是划分可能造成灾害的地质因素的属性和诱发灾害的特征。

### 2. 渐变性海洋地质灾害研究

渐变性的海洋地质灾害则以缓慢发生、逐步发展为特点,例如海岸侵蚀、海面上升、地面沉降、海水入侵、滨海湿地退化、港口淤积等。该类海洋地质灾害主要发生在沿海地区,其危害范围一般较广,危害程度逐渐加重,造成的后果和损失往往较突发性海洋地质灾害更为严重。

#### (1) 海岸侵蚀

海岸侵蚀灾害在我国是一种随着国民经济建设蓬勃发展而伴随的海岸带地质灾害。因此,它没有传统灾种的那种灾害事件记录阶段,一开始就进入调查研究阶段。

最早比较全面地对海岸侵蚀进行研究的是王文海等,他们在1987年发表的“我国海岸侵蚀原因及其对策”一文,比较全面地描述了我国海岸侵蚀的现状,分析了我国海岸侵蚀的原因,初步提出了海岸侵蚀的防治对策(王文海,1987)。紧接着王文介发表了“中国海岸近期侵蚀问题”一文,主要分析