

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

南海地质灾害类型与分布规律

陈俊仁 李廷桓

(地质矿产部广州海洋地质调查局, 广州)



南海地质灾害用力学观点按其成因可划分为 5 种类型: 水动力型地质灾害, 气体动力型地质灾害, 土力学型地质灾害, 重力型地质灾害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、浊流等主要集中在陆坡地带; 内陆架地区浅层气、埋藏河道、古潟湖等比较发育; 滨海地区水动力作用, 尤其是风暴潮是诱发该区地质灾害的主导因素。南海地质灾害的特点还具有周期性、继承性和新生性。

关键词 南海 地质灾害 分类原则 分布规律

1 地质灾害分类原则

关于海洋地质灾害分类应遵循简单实用的原则。南海地质灾害因素众多, 但从力学观点按成因机制分类可归属成 5 种: 1. 水动力型地质灾害; 2. 气体动力型地质灾害; 3. 重力型地质灾害; 4. 土力学型地质灾害; 5. 内动力型地质灾害。

2 南海主要地质灾害类型及其特征

2.1 水动力型地质灾害

南海存在沿岸流、潮流、波流、陆架底流和南海暖流^[1,2]。在复杂的水动力条件下, 某些海区遭受冲刷和侵蚀, 另一些海区则接受堆积, 造成海底的不稳定, 影响海底工程设施的安全。

据 Kuenen (1950) 和 Boillot (1964) 研究欧洲多福海峡时指出, 流速达 206cm/s 的海流可侵蚀白垩系凝灰岩质海岸, 致使其每百年后退 1m^[3,4]。琼州海峡海流流速高达 257cm/s, 最高为 360cm/s^[5], 是强侵蚀区, 冲蚀作用常在此发生。峡底基岩裸露, 峡壁陡峻, 呈锯齿状突变^[6,7](图 1)。出了海峡便见指状延伸的冲刷槽沟与槽间暗沙, 这些潮流沙脊目前仍在继续向外伸展、移动。再向外即为潮成三角洲。琼西南海区表层流速大于 154cm/s, 底层流速达 103cm/s 以上, 沙滩浅水区流速更大。复杂的水动力作用造成多种微地貌, 沙滩中发育次一级沙岗和洼地, 但不稳定。热带气旋过境后其面貌全非, 原有的

沙岗被冲刷夷平,洼地迅速填满,出现一些新的沙岗与洼地。陆架区发育多道海底冲刷槽沟,有的一直延伸到陆架外缘。

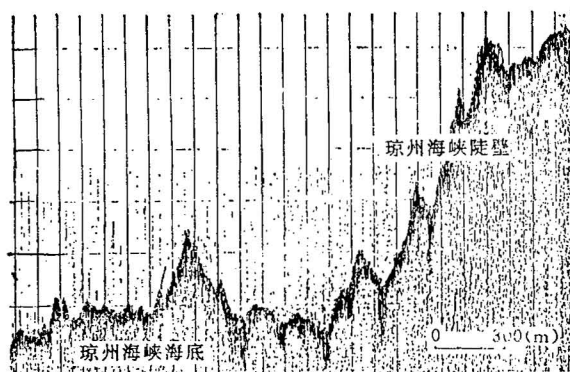


图 1 呈锯齿状的琼州海峡底壁

Fig. 1 Severely rough bottom of the Qiongzhou Strait

海底正常堆积对工程不构成威胁,但快速堆积体则是潜在的地质灾害因素。据测,庙湾海区堆积速率达 $20-37\text{mm/a}$, 钻探中无需加压钻具自行下沉。这种快速堆积的含气沉积物具有过量的孔隙水,是海底土体潜在的不稳定性因素。

在琼东、琼西南、台湾浅滩和珠江口盆地发现有规模不一的沙纹、沙波(图 2)、沙浪乃至沙垄。引人注目的是在水深 $190-250\text{m}$ 海底处出现大面积的沙波带。沙波的波高一般为 $1-3\text{m}$,波峰间距 $10-50\text{m}$,总的走向为 NE。在不同地段沙波的波高、波长和方向不尽相同,形态也不稳定。其运移方向与水流方向相关,确定沙波移动方向对海底工程非常重要。

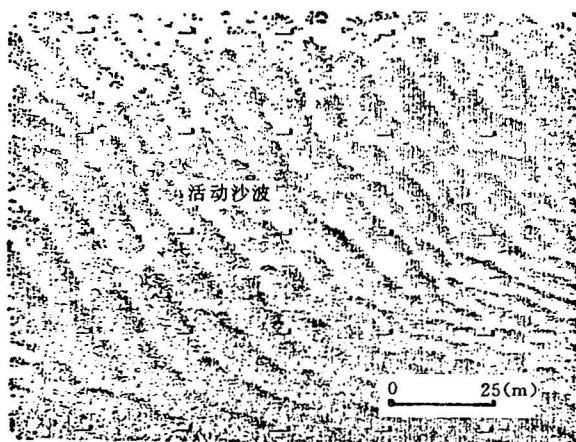


图 2 旁侧声纳图象揭示的海底沙波

Fig. 2 Side scan sonar image showing sand waves

2.2 气体动力型地质灾害

调查发现在水下三角洲和陆架区均见有含气沉积物或浅层气喷溢^[9]。由于气体的聚集导致沉积物孔隙压力增大、有效应力降低,严重影响土体的强度。

浅层气在早期地质勘探活动中是非常危险的。它有可能沿着地层的孔隙、裂缝或断层运移,呈气苗状溢出海底进入水层^[8-13],有时气体在一定范围内成群溢出(图3)。由于气体的活动,沉积物不能固结,在排气口附近出现大小不一、形状不规则的泥丘。

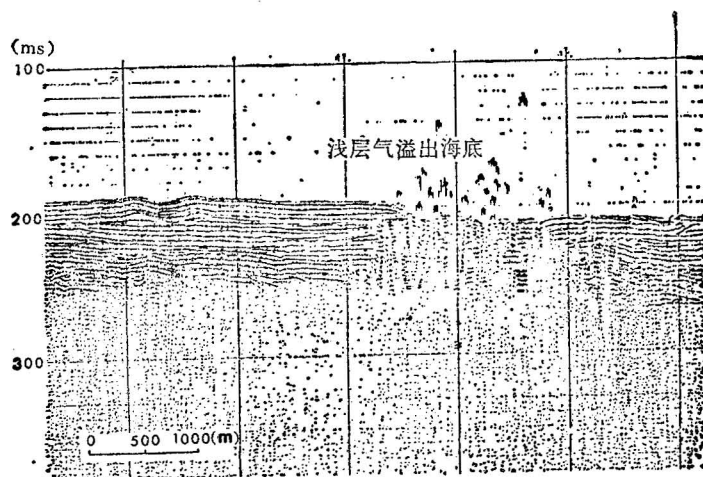


图3 单道地震记录揭示大量浅层气溢出

Fig. 3 Minisparker record showing a large amount of gas seeps into oceanic water

南海发现浅层气囊,可能与深部油气藏相关。深部天然气沿裂隙、孔隙上升,逐步聚积成高压气囊,其顶部界线明显,底部界线模糊。各地气囊埋藏深度不一,有的距海底仅几十米。这些浅层气囊一旦被钻杆或平台桩腿贯穿,容易发生气体喷溢,引起燃烧,造成孔隙压力突然减小,土体迅速压密,地基塌陷,导致平台倾覆。

2.3 土力学型地质灾害

南海海底现已查明有17种以上的土质类型。由于它们的粒度成分、矿物成分、固结程度不同,土的工程物理力学性质差异甚大。底质的不均一和各向异性导致地质灾害事件丛生。

南海海底发现软弱夹层^[11,14](图4),由于受挤压,内部结构发生变形,甚至揉皱成波状或团絮状。珠7井1号井位所见的软弱夹层为深灰色淤泥, $e = 1.6-2.1$, $w = 64.3\%-86.5\%$,在上覆层的强大压力下呈潜液态。

南海发现多期古河道,同一期古河道形态也很复杂^[15],主要为辫状河道和曲流河道。河床宽几十米,河床深几米至十几米(图5),河床内充填沙体。河床沙体透水性强,压缩性小,内摩擦角大,抗剪强度高^[14],与河床周围土体的物理力学性质截然不同。调查中还

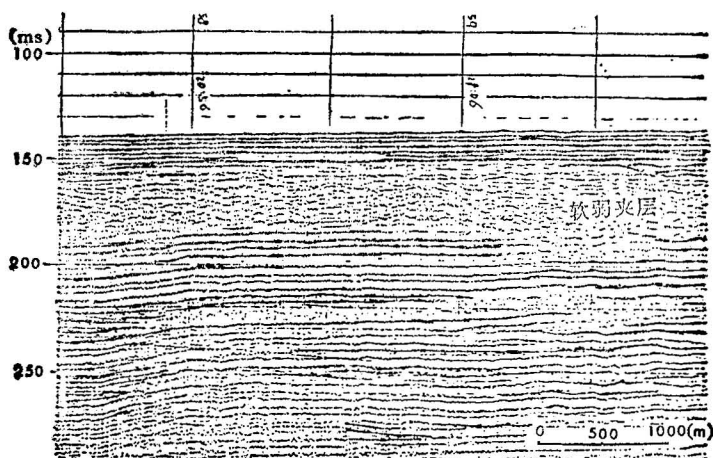


图 4 单道地震剖面反映的软弱夹层

Fig. 4 Minisparker record illustrating soft intercalation

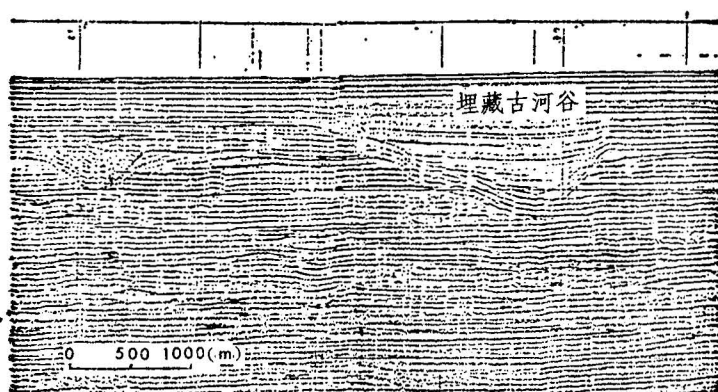


图 5 单道地震剖面揭示埋藏河道

Fig. 5 Minisparker record illustrating a buried channel

发现溺谷河道,河床内充满淤泥,富含有机质,未固结,压缩性高,强度低。

南海发现有风暴沉积,单个体积小,多呈鸡窝状分布。取样表明在海底表层和下部都有分布(图 6)。南海所见的风暴沉积多为细砂岩,可能是热带气旋掀起波浪,翻动海底沉积物,经过掀扰分异,细粒物质被水流带走,粗粒碎屑原地再沉积,形成一垛一垛的细砂质堆积,并有轻度的胶结,具有一定的硬度。

南海砂体发育,次表层(20m 以内)的砂土在地震或其它外部荷载作用下可能液化。液化后砂土的摩擦力出现负值,破坏桩基承载结构,导致海底构筑物倾倒。

调查中还发现 2 种古潜山,一种隐伏在海底沉积物之下,另一种隆起于海底表面而潜伏于海水之中(图 7)。对于工程而言,前者比后者具有更大的危险性。

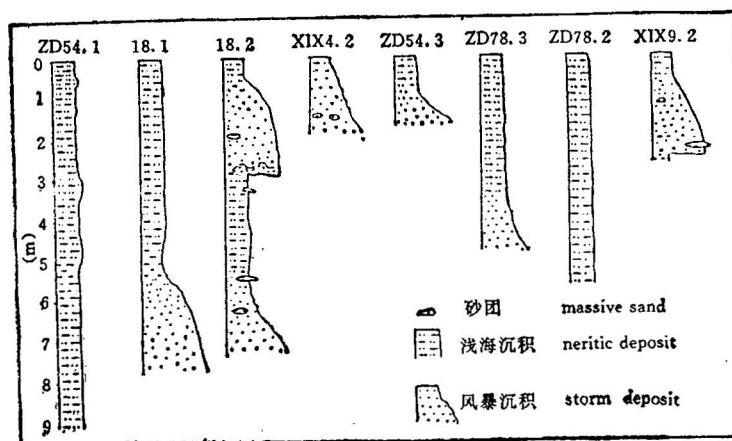


图 6 柱状样品中的风暴沉积

Fig. 6 Columnar diagrams illustrating storm deposits

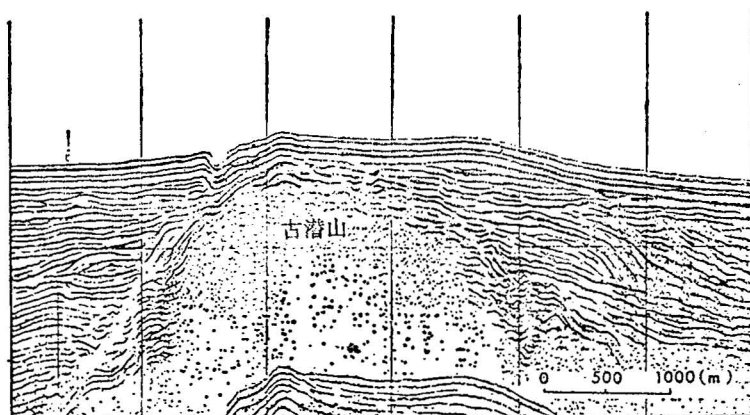


图 7 隆起在海底表面的古潜山

Fig. 7 Minisparker record showing a near-surface buried hill

2.4 重力型地质灾害

重力作用是导致海底土体不稳定的一个重要因素。南海常见的重力型地质灾害有海底滑坡、泥流和浊流。

海底滑坡是大量沉积物在重力作用下沿滑动面从高处向低处整体运移的过程^[16-18]。南海有多种滑坡^[11,12]，常见的有块体滑坡、蠕变滑坡和组合滑坡。块体滑坡的滑动面很明显(图 8)，并伴有裂谷和鼓丘状块体。裂谷内尚未被充填，表明是现代产生的滑坡。蠕变滑坡是在海底坡度很平缓的条件下发生的滑坡，而组合滑坡则是在同一地点不同时间内多次发生的滑坡。

泥流是表层沉积物在重力作用下一种泥水混合群体运动，可见于琼东南海区，出现在宽阔的沟形洼地内(图 9)。在泥流下面的浅层沉积层并没有发生扰动，表明泥流活动作

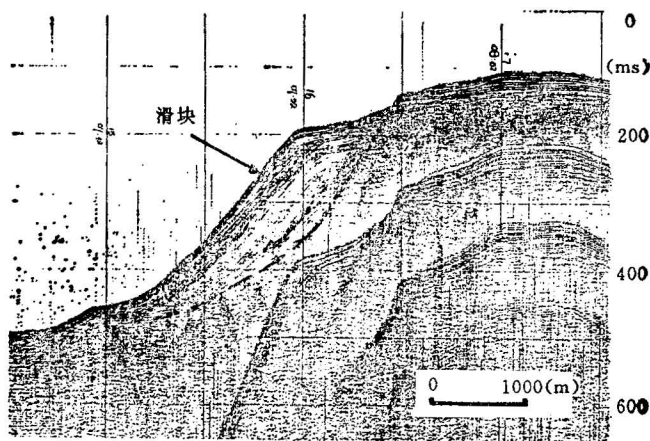
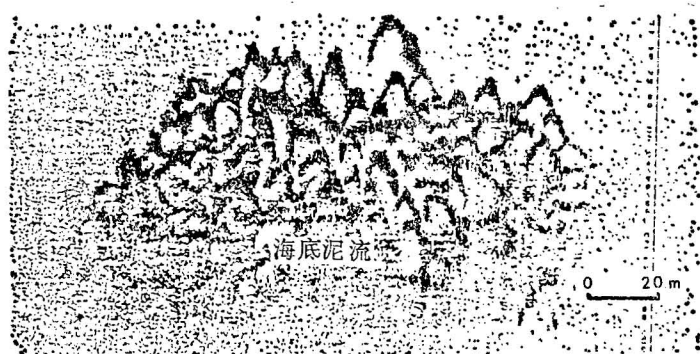


图 8 单道地震剖面反映的块体滑坡

Fig. 8 Minisparker record showing a block slide

图 9 旁侧声纳图象揭示的海底泥流^[19]Fig. 9 Side scan sonar image showing mudflow^[19]

用的深度不超过 1m^[19]。Carpenter 和 McCarthy (1980)^[18] 以及 Trabant (1984)^[20] 研究认为表层泥流对海洋工程具有很大的危险性。

南海浊流常发生在海底滑坡区或强劲的陆架底流区。据测本区浊流最大流速达 150—200cm/s, 形成强大的冲刷侵蚀流, 对海底工程构成很大的威胁。

南海的软弱夹层, 受到上覆层的强大压力作用可能发生运移和破坏。以底辟形式沿薄弱处侵入上部地层, 形成泥底辟构造^[8,11], 有时甚至刺穿上覆层出露海底, 呈现海底刺穿^[12](图 10)。若发生激烈喷溢则成为泥火山。它们都是重力作用产生的地质灾害因素。

南海陆架区和陆坡区的第四纪松散沉积层中, 发现一系列阶梯状沉积断层。这些断层一般规模较小, 长仅几百米, 断距仅几米^[11,12], 是沉积过程中由于差异压实作用而形成的生长断层(图 11)。其特点是时代新、离海底近、不定期发生, 是海底潜在的地质灾害因素之一。

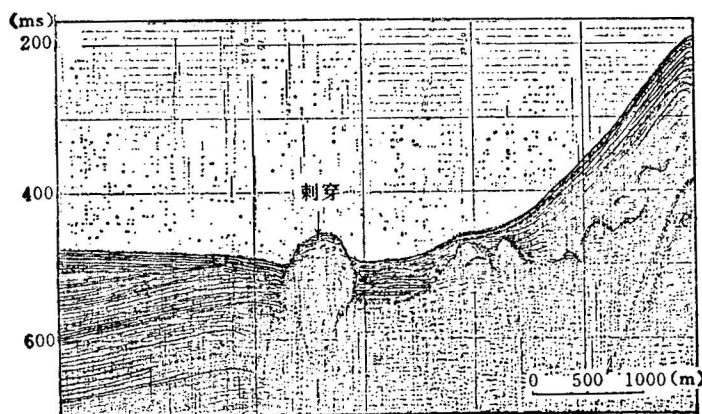


图 10 单道地震记录反映的海底刺穿构造

Fig. 10 Minisparker record illustrating a mudlump

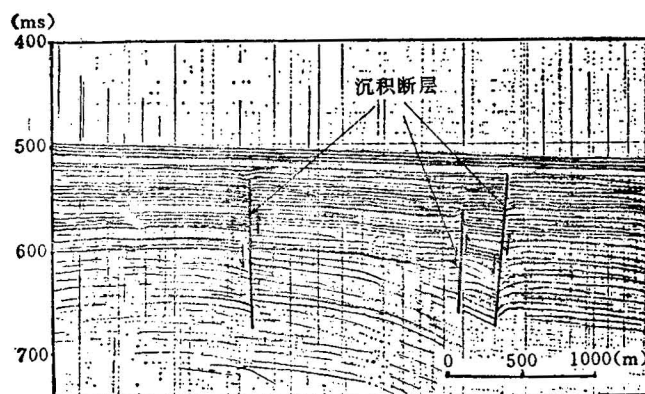


图 11 单道地震剖面反映的沉积断层

Fig. 11 Minisparker record illustrating growth faults

2.5 内动力型地质灾害

内动力作用是造成重大地质灾害的重要因素。

在南海深海盆沉积物中发现多层火山碎屑沉积夹层^[21],如采自深海盆柱状样 V_1 中有 7 层, V_2 有 4 层, HY4-860-2 岩芯中有 4 层, 柱状样 SS_2 中有 3 层, 这些火山碎屑的表面新鲜, 无氧化边现象。外形基本相似, 多呈尖棱角状, 说明未经过长距离的搬运。据铀系法测定这些火山碎屑的同位素年龄不超过 0.23Ma, 可见晚更新世以来火山活动仍很频繁。化学分析表明它们为流纹岩、安山岩或英安岩, 属酸性岩浆。

地震灾害是危害性最大的一种由内应力造成的灾害。据不完全统计, 南海北部自 1067—1986 年曾发生 4 级以上的地震 273 次^[22,23]。地震是触发海底斜坡沉积物滑动和活化海底断裂的重要原因。此外, 地震还可以通过液化的方式使海底沉积物疏松, 降低地基承载强度^[8]。因此, 地震是导致海底不稳定的重要因素之一。

南海北部存在北东东向、东西向和北西向 3 组深大断裂^[24], 有时几条断裂构成一组断阶^[25]。如珠江口盆地北缘断裂带是基底构造断裂带, 长达 600km, 宽 25—40km, 倾角 50°—70°, 是控制珠江口盆地形成与演化的主要构造带。象这种内应力集中的构造活动带是潜在地质灾害的重要源地。

此外还有两种类型的活动断层, 一种是继承性活动断层^[25], 另一种是在地震作用诱发下产生的。这两种断层现在仍有活动。

3 南海地质灾害因素发育特点

南海地质灾害不是单一因素的产物, 而是多种因素相互作用的结果, 按照我们的分类原则, 可以发现南海地质灾害因素分布与发育具有如下特点。

3.1 地区性

南海地质灾害具有区域性分布的特点。如断裂活动、地震活动、火山活动均发生在构造活动带, 它们受地壳构造控制。珠江口盆地北缘断裂带、西沙东缘断裂带、东沙东缘断裂带、中沙东北缘断裂带和中央海盆北缘断裂带等是地质灾害多发性地区。滑坡、泥石流以及底辟活动多发生在陆坡地区。浅层气、埋藏河道、砂土液化和风暴沉积是内陆架海区的主要地质灾害因素。近岸地区的地质灾害主要受现代水动力条件制约, 强烈的潮流冲刷和侵蚀作用破坏海底的稳定。风暴潮尤其是热带气旋属突发性的, 对近岸工程危害极大。

3.2 继承性

同一地区的地质灾害在外界条件作用下继承性地重复发生。如 1929 年在卫滩南发生 6 级地震, 1940 年在同一地区又发生 $6\frac{1}{4}$ 级地震。原有的断裂在地震活动作用下又重新发生张裂活动。

3.3 周期性

南海地质灾害发生时间具有一定的时间韵律性。如 1600—1693 年为本区地震第一活跃期, 持续时间为 93 年; 经 180 年平静期后, 进入 1874—1969 年的第二活跃期, 时间持续 95 年。自 1970 年至今又进入一个平静期。地震活动存在着活动期与平静期交替的现象。此外, 组合滑坡也具周期性, 即从稳定沉积—产生滑坡—稳定沉积—滑坡。

3.4 新生性

地质灾害是地球内、外动力共同作用的结果, 天体运动, 人类活动等都可能引起地质灾害的发生。根据现有的技术水平和目前对地质灾害的研究程度, 尚难以全面、准确地预测地质灾害发生的时间、地点及其影响范围和危害程度。换言之, 在某种意义上说, 南海地质灾害还具有一定的不可预测性和未知性。

4 地质灾害研究现状与方向

当今地质灾害研究深受各国政府以及地学界人士的高度重视。美国、英国、法国和日本等国家都开展了专门的地质灾害调查与研究。

我国海洋地质灾害研究起步较晚,在过去20多年的海洋开发中,由于事先没有进行地质灾害调查而发生了不少事故。为了避免地质灾害事件发生,减少危害,近年来在南海加强了地质灾害调查和研究。地质矿产部广州海洋地质调查局、中国科学院南海海洋研究所、中国海洋石油总公司南海西部石油公司等单位先后在南海开展海洋地质灾害调查,主要是研究产生地质灾害的地质地理背景、形成机制和诱发因素;调查各类地质灾害的作用过程、规模和形态特征;研究地质灾害可能发生的海区、时间及规模;为预测预报、防避提供科学依据。目前已完成珠江口盆地的1:20万海洋灾害地质调查9个国际图幅,为海底油气田勘探和开发提供了可靠资料。

海洋灾害地质作为一门科学,今后应在下列几方面加强研究:

1. 区域应力场研究,尤其应加强现代地应力场的空间分布和局部应力集中的规律研究,为重大国民经济规划提供决策性依据。

2. 区域地质特征研究,加强区域性地质灾害和地震灾害研究,为海洋开发、海底工程设计提供依据。

3. 加强地质灾害编录和地质灾害填图,为系统的地质灾害研究提供基础资料。

地质灾害调查是与国民经济发展及人民生活休戚相关的大事,应列入国策,由国家统一管理,统筹安排,有计划按步骤实施。

参 考 文 献

- 1 金庆焕主编. 南海地质与油气资源. 北京: 地质出版社, 1989. 311—364页.
- 2 冯文科, 薛万俊, 杨达源. 南海北部晚第四纪地质环境. 广州: 广东科技出版社, 1988. 11—20页.
- 3 Boillot G. Géologie de la manche occidentale. Annales de L'Institut Océanographique, 1964, 42(1).
- 4 陈俊仁. 南海北部内陆架表层沉积物沉积环境的讨论. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(2): 27—38.
- 5 杰年 (Kuenen) Ph H. 海洋地质学. 梁元博译. 北京: 中国工业出版社, 1963. 137—155页.
- 6 梁元博, 谢以萱. 琼州海峡海底地形研究. 南海海洋科学集刊, 1982, 3: 45—55.
- 7 金波, 鲍才旺, 林吉胜. 琼州海峡东、西口地貌特征及其成因初探. 海洋地质研究, 1982, 2(4): 94—101.
- 8 金波, 李廷桓. 珠江口海区海底不稳定性地质因素的地震相分析. 海洋地质与第四纪地质, 1988, 8(3): 61—69.
- 9 Mullins H T, Nagel D K. High-frequency seismic data detect shallow hydrocarbons. World Oil, 1983, 197(6): 133—138.
- 10 Field M H, Clarke S H et al. Geology and geological hazards of offshore EEL River basin, northern California continental margin. USGS open-file report 80—1080, 1980, 25—61.
- 11 Chen Junren, Li Tinghuan. Characteristics of engineering geology in the Pearl River mouth basin. Proc. 6th IAEG, Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, 1990. 2837—2842.
- 12 陈俊仁, 李廷桓. 珠江口盆地海底稳定性评价. 见: 梁名胜, 张吉林主编. 中国海陆第四纪对比研究. 北京: 科学出版社, 1991. 113—123页.
- 13 陈俊仁. 珠江口盆地海底稳定性分析. 热带海洋, 1991, 10(2): 49—56.
- 14 陈俊仁, 李廷桓. 南海珠江口盆地工程地质分层与土的基本性质. 第六届全国土力学及基础工程学术会议论文集. 同济大学出版社. 中国建筑工业出版社, 1991, 887—890页.
- 15 寇养琦. 南海北部大陆架的古河道及其工程地质意义. 海洋地质与第四纪地质, 1990, 10(1): 39—46.
- 16 Prior D B, Coleman J M. Disintegration retrogressive landslide on very low-angle subaqueous slope. Mississippi Delta. Marine Geotechnology, 1977, 2: 45—77.

- 17 Edwards B D, Field M E, Clukey E C. Geological and geotechnical analysis of a submarine slump. California borderland. Proc. 12th OTC, 1980, 1:399—410.
- 18 Carpenter G B, McCarthy J C. Hazards analysis on the Atlantic outer continental shelf. Proc. 12th OTC, 1980 1:419—424.
- 19 李凡. 南海西部灾害性地质研究. 海洋科学集刊, 1990, 31: 25—49.
- 20 Trabant P K. Applied high-resolution geophysical methods—offshore geoengineering hazards. IHRDC, Publishers, Boston, 1984. 208—210.
- 21 谈丽芳. 南海火山玻璃的初步研究. 南海地质研究, 1991, 3: 158—171.
- 22 顾功叙主编. 中国地震目录(公元前 1831—公元 1969 年). 北京: 科学出版社, 1983.
- 23 顾功叙主编. 中国地震目录(公元 1970—1979 年). 北京: 科学出版社, 1984.
- 24 刘以宣. 华南沿海的活断层. 海洋地质与第四纪地质, 1985, 5(3): 10—21.
- 25 苏乃容, 贺志林. 珠江口盆地断裂活动特征及其对油气控制作用. 中国石油, 1989, (22): 26—31.
- 26 Lewis K B. Slumping on a continental slope inclined at 1° — 4° . Sedimentology. 1971, 16: 97—110.

TYPES AND DISTRIBUTION OF GEOLOGICAL HAZARDS IN THE SOUTH CHINA SEA

Chen Junren and Li Tinghuan

(Guangzhou Marine Geological Survey, MGMR, Guangzhou)

Abstract

Various types of geological hazards exist in the South China Sea. In dynamics sense, the principal geneses of geological hazards can be categorized as being due to effects of hydraulic dynamics, gaseous activity, gravity, soil mechanics and tectonism. Integrated analyses indicate that the geological hazards associated with volcanoes, earthquakes and fractures are mainly distributed in tectonically active regions, whereas those resulting from mudflows, landslides and diapirs are usually concentrated in the region of slope, that shallow gas, high pressure gas pockets and soft intercalations are major potential geological hazards in the inner shelf, and that strong hydraulic dynamics, especially storm tide, is one of the major causes of geological hazards in the littoral areas. The geological hazards that occurred in the South China Sea are also characterized by periodicity, succession and, to a certain extent, unpredictability in addition to regionalization.

The South China Sea is one of the important areas to be developed. Thus it is necessary to emphasize, henceforth, the study of the regional stress fields and the distribution patterns of geological hazards, so as to meet with the requirements for the ocean resources development projects and the seafloor engineering designs.

Key words: South China Sea, geological hazards, classification principle, distribution pattern

作 者 简 介

陈俊仁, 1937 年生, 1962 年毕业于南京大学地质学系。长期从事海洋地质、第四纪地质、工程地质、灾害地质、海平面变化与海岸变迁的调查研究工作。在国内外发表论文多篇, 著有《广东田洋火山湖第四纪地质》一书。曾获地质矿产部科技成果奖与广东省优秀论文奖。通讯处: 广州市 1180 信箱, 邮政编码 510760。