

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0203-07

# 广西北海涠洲岛晚更新世火山活动引起的地震同沉积变形构造

杜远生 彭冰霞 韩欣

(中国地质大学地球科学学院 武汉 430074)

**摘要** 广西北海涠洲岛晚更新世湖光岩组为一套火山碎屑沉积, 同期火山岩发育。在靠近火山口的地区, 湖光岩组发育一系列地震成因的同沉积变形构造, 包括: 地震微断裂 (张扭性地震微断裂、张性地震微断裂、共扼性地震微断裂和阶梯状地震微断裂)、微褶皱纹理、落石沉陷构造和砂泥岩脉。分析认为这些同沉积—变形构造是由同期火山活动引起的地震作用形成的。

**关键词** 广西 晚更新世 火山活动 地震 震积岩

**第一作者简介** 杜远生 男 1958 年出生 教授 沉积学

**中图分类号** P588.21<sup>+</sup>1 **文献标识码** A

地震是一种灾害性地质事件, 通常改造先成的沉积物形成特征的地震事件沉积—震积岩。早在 20 世纪 50 ~ 60 年代, Heezen 和 Ewing<sup>[1]</sup>、Heezen 和 Dyke<sup>[2]</sup>就对加拿大 Grand Bank 地震对海底沉积物位移、变形和引发的浊积岩进行了研究。Seilacher<sup>[3]</sup>将地震作用改造未固结的水下沉积物形成的再沉积层定义为震积岩 (seismite)。之后, 许多沉积学家对地震及其触发的海啸、重力流形成的震积岩、海啸岩 (tsunamiite) 和震浊积岩 (seismoturbidite) 及其变形构造进行了研究和系统总结<sup>[4~13]</sup>。Cita M B, Ricci Lucchi F 主编了《Marine Geology》的震积岩沉积作用专集<sup>[4]</sup>, 2000 年 Shiki 等又主编了《Sedimentary Geology》震积岩、海啸岩和震浊积岩专集<sup>[13]</sup>, 对地震事件沉积进行了系统总结。国内学者宋天锐、乔秀夫等通过对华北中、晚元古代及古生代地震沉积及其区域构造背景<sup>[14~18]</sup>, 梁定益等和孙晓猛等对西南三江地区晚古生代震积岩及震积不整合<sup>[19~21]</sup>, 吴贤涛、尹国勋对四川峨眉晚侏罗世湖相震积岩等<sup>[22]</sup>, 杜远生等对滇中地区中元古代和北祁连志留系震积—海啸沉积<sup>[23~24]</sup>进行了研究。上述研究主要集中于断裂活动引起的地震事件沉积研究, 与火山活动有关的地震事件沉积研究较少。本文主要论述广西北海涠洲岛晚更新世湖光岩组与火山活动有关的地震事件沉积, 并对其构造意义予以探讨。

## 1 地层层位

涠洲岛位于广西北海市南侧的北部湾中, 距北海市 36 n mile。涠洲岛总体形状为一椭圆形, 面积约 26 km<sup>2</sup>。地势总体南高北低, 最高点西拱手海拔 78.95 m。涠洲岛地表仅发育第四纪地层。涠洲岛的地震事件沉积主要发育于上更新统湖光岩组与火山岩相变的凝灰质沉积岩中。湖光岩组主要分布于涠洲岛南湾沿岸的海蚀崖、海蚀平台上。此外, 横路山北和横岭东侧岩滩上也有小面积出露 (图 1)。湖光岩组在南湾西南端以灰黑色橄榄玄武岩为主, 周围以玄武质凝灰岩为主, 玄武质沉凝灰火山角砾岩为次, 中部夹玄武质火山角砾岩, 局部夹集块岩, 厚度为 45 ~ 235 m。湖光岩组沉凝灰岩成分成熟度较低, 不稳定的火山碎屑组分含量在 40% ~ 60% 左右。火山碎屑既有结晶玄武岩, 也有玻质玄武岩。无论是火山岩碎屑还是石英、长石及生物碎屑, 其分选中等, 圆度以次圆形、次棱角形为多。岩石多为有泥颗粒支撑, 少数为无泥颗粒支撑, 反映其结构成熟度中等。造成湖光岩组成分成熟度和结构成熟度不高的原因主要在于沉积背景的不稳定和临近地区火山作用频繁。沉积物未能经过充分磨蚀、簸选, 因此保留较多不稳定的沉积组分, 形成圆度、分选等结构成熟度较低的结构特征。与下伏地层中更新统石峁岭组上段呈平

行不整合接触。在南湾采石场,见玄武质沉凝灰岩直接覆盖在石峁岭组上段风化红土之上。在天主堂东海滩上,见其平行不整合覆盖在石峁岭组顶部凹凸不平的由褐铁矿及球状风化玄武岩组成的古风化壳上。

湖光岩组含有海相化石 *Turritella* sp., *Echinochthereis* sp., *Cythereis* sp., *Loxoconcha* sp., *Neomonocerotina* sp., *Cythenura* sp. 等,以及孢粉 *Gramineae*, *Chenopodiaceae*, *Pinus*, *Juglans*, *Taxodiaceae*, *Quercus* 等,具有典型的滨海相孢粉如 *Rhizophoraceae* 及热带、亚热带分子 *Palmaceae*, *Artanisia* 等,同时出现较多的常绿成分。此种孢粉组合与现今的植被面貌有相当大的差别,时代为晚更新世中期,反映的环境为温暖常绿的滨海环境。另外,古地磁测量结果为布容正向期。据化石及孢粉分析鉴定结果,时代为晚更新世。该组位于中更新统石峁岭组之上,岩性可同广东省雷琼地区的湖光岩火山岩对比,故时代定为晚更新世。

## 2 地震引起的同沉积变形构造

湖光岩组的地震事件沉积主要发育地震微断裂、微褶皱纹理、落石沉陷构造、砂泥岩脉等地震事件成因的变形构造。这些沉积和变形构造仅发育于临近同期火山口的南湾海湾西南端和猪仔岭附近,远离火山口的地区不发育(图 1),说明这些变形与火山及其诱发的地震活动有关。

### 2.1 地震微断裂

涠洲岛的地震微断裂主要有四种类型,一是张扭性地震微断裂,二是张性地震微断裂,三是共扼性地震微断裂,四是阶梯状地震微断裂(图 2)。这些微断裂多为泥、砂质充填形成小型砂泥岩脉。

张扭性地震微断裂在垂直层面方向观察,断裂宽度 0.5~5 cm 不等,断裂面弧形弯曲、共扼性不明显(图 2-A, B)。如滑石咀北侧海蚀崖上的地震张扭性主断裂,由一系列伴生的次级断裂伴生而成(图 2-A)。主断裂倾向南东,倾角 50°~60 左右。断距可达 5 m 左右。断裂面为泥砂质充填形成砂泥岩脉。在主断裂上,可见次级断裂形成羽列状特征,上盘同一岩层呈阶梯状下滑。由于断层充填的泥、砂质沉积物,反映断裂形成于岩石未固结的同沉积期,故推测其为同沉积时期地震触发而成。在滑石咀北侧另一条张扭性断裂,断裂面波状起伏,局部见一系列微小的张扭性断裂雁行排列(图 2-B)。这些张性断裂限于岩层内部,或切割有限岩层,内也充填泥砂质形

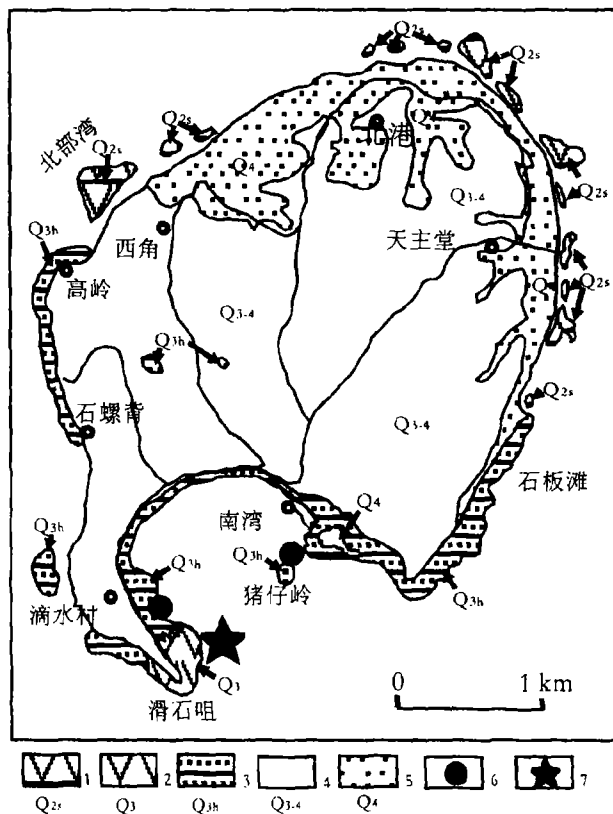


图 1 北海涠洲岛地质简图

图例: 1. 石峁岭组火山岩 2. 湖光岩组火山岩 3. 湖光岩组沉积岩 4. 上更新统一下全新统 5. 全新统 6. 震积岩位置 7. 火山口

Fig 1 Simplified geological map of Weizhou Island of Beihai City, Guangxi Province

Legend: 1. volcanic rocks of Shimaoling Fm., 2. volcanic rocks of Huguangyan Fm., 3. sedimentary rocks of Huguangyan Fm., 4. From the Upper Pleistocene to the Lower Holocene, 5. Holocene, 6. the site of seismites, 7. crater

成泥砂岩脉。地震张性断裂与后期构造形成的断裂不同,后期构造断裂的断面平直且排列规整有序,断裂缝常为石英脉充填。

共扼性地震微断裂也是限于有限岩层内的微断裂,其共扼性明显(图 2-C, D)。断裂可见分叉和羽列现象。断裂面宽度 0.5~2 cm 左右,内也为泥砂质充填,形成砂泥岩脉。

阶梯状同沉积断裂是涠洲岛地震断裂的常见类型。通常表现为一系列方向、倾角相同的张扭性断裂共生,相同岩层向同一方向下滑成为阶梯状特征(图 2-E, F)。这些断裂面较为平直,断裂面宽度 0.5~2 cm 左右。断裂面也为泥砂质充填形成砂泥岩脉。

### 2.2 微褶皱纹理

微褶皱纹理是震积岩中常见的构造变形现象。

涠洲岛的微褶皱纹理多发育于纹层状砂、页岩中,由砂、页岩纹层不规则褶皱变形而成(图 3, 4-G, H)。涠洲岛的微褶皱纹理包括两种类型,一种与落石沉陷构造无关,是地震颤动造成的纹层褶曲(图 3)。另一种是与落石沉陷构造共生的微褶皱纹理,该类型微褶皱的形成与落石沉陷有关(图 4-G, H)。微褶皱纹理属于层内变形,仅限于一定的岩层内,其上、下层位不变形。微褶皱纹理一般尺度较小,褶曲波长 10 ~ 50

cm, 波幅 10 ~ 20 cm 左右。其形态不规则、不协调,定向性差,上覆近水平岩层,下伏变形层(图 4-E, H)。个别微褶皱纹理类似于包卷层理(图 3-B, C, D)。微褶皱纹理仅发育于湖光岩组火山岩附近的南湾海湾西南端及猪仔岭,远离火山岩的地区不发育,涠洲岛湖光岩组总体为向北微倾斜的单斜地层,内部褶皱不发育。因此,微褶皱纹理是火山诱发地震引起的微褶皱变形,而不是后期构造形成的褶皱。

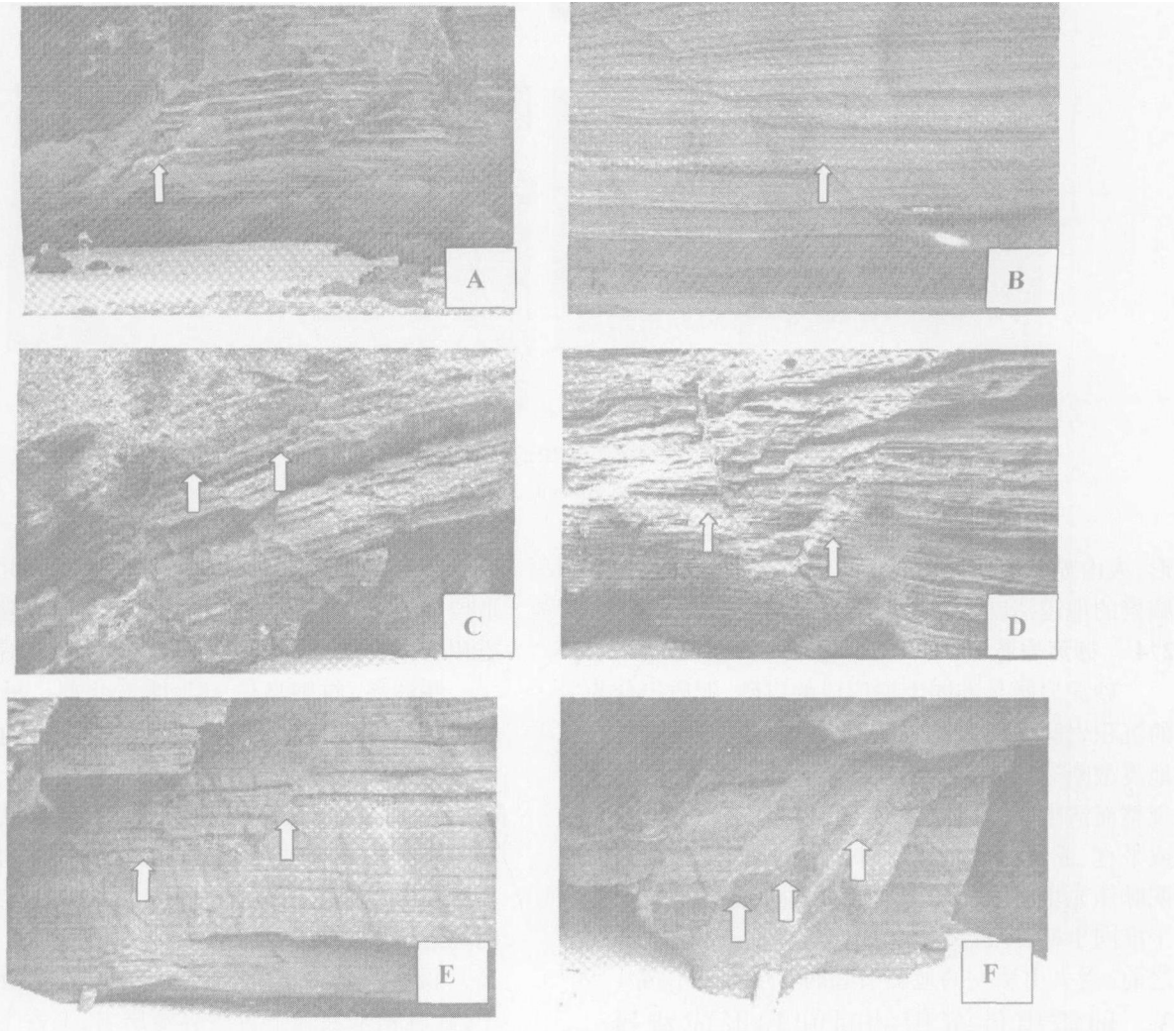


图 2 涠洲岛震积岩中的张扭性断裂(A, B)、共轭断裂(C, D)、阶梯状断裂(E, F)(箭头处)

Fig 2 Tensile-shear (A, B), conjugated (C, D) and ladder fractures (E, F) of seismite in Weizhou island

### 2.3 落石沉陷构造

落石沉陷构造是涠洲岛震积岩的一种特殊沉积构造。在湖光岩组地层中,发育大量的巨砾,砾石大小从几十厘米到一百多厘米不等,巨砾多有一定磨圆性,部分巨砾磨圆不好。巨砾成分为火山熔岩或火山集块,为火山爆发过程中由火山口喷出的火山弹或火山集块,经过海浪冲蚀磨圆而成。这些巨砾沉陷于砂

岩层中,砂岩层理向下弯曲,反映为地震颤动使其下沉而成(图 4-A, B, C, E, F)。部分砾石下插到岩层深部,下插痕迹清晰可见(图 4-D)。有的巨砾下沉在岩层中,扰动原始岩层形成微褶皱纹理(图 4-G, H)。大部分落石沉陷构造的落石在下沉过程中牵引岩层,而不是截切岩层。因此认为,落石沉陷构造是火山喷发碎屑物落入火山口周围的软沉积物引起沉积物变

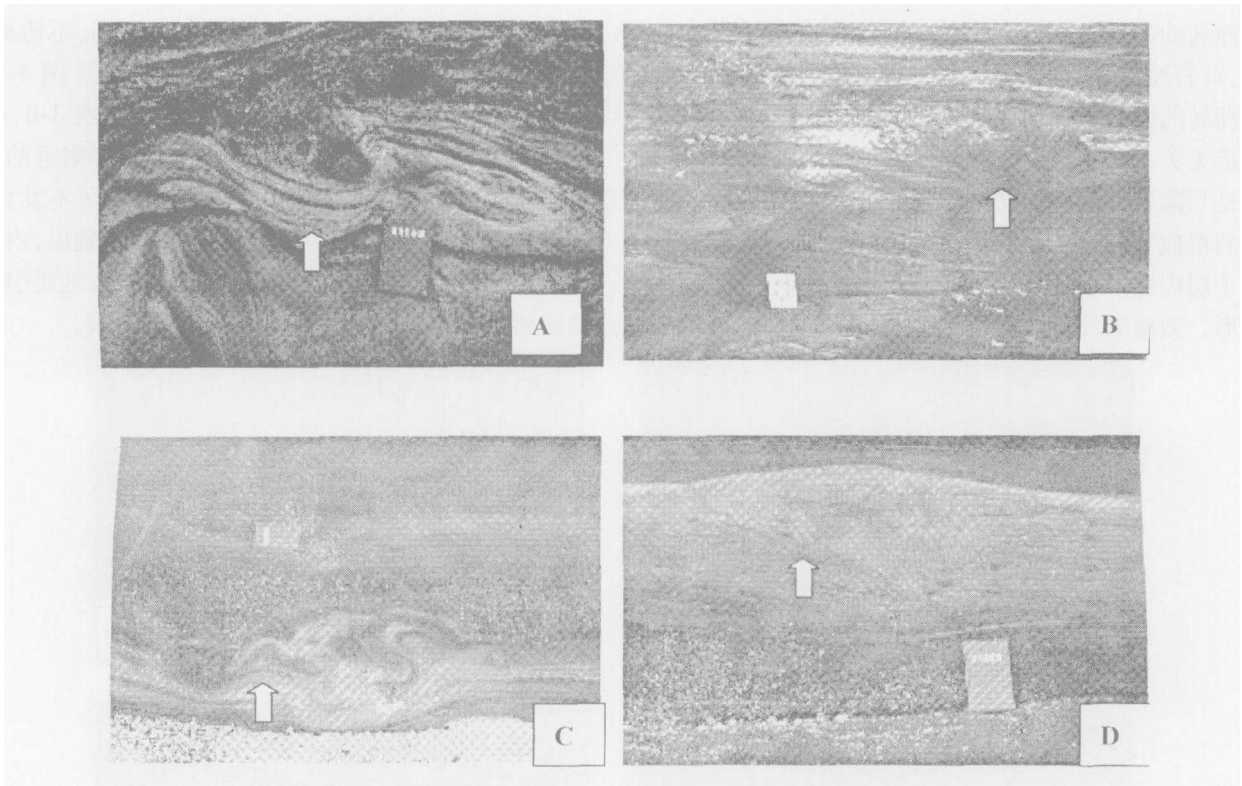


图 3 涠洲岛震积岩中的微褶皱纹理 (箭头处)

Fig 3 Micro-corrugated laminations of seismite in Weizhou island

形,火山喷发停止后沉积物再覆盖其上。落石在之后频繁的地震活动过程中逐渐下沉形成落石沉陷构造。

#### 2.4 砂泥岩脉

砂泥岩脉是准同生期形成的以砂、泥质组分为为主的沉积岩脉。涠洲岛的砂泥岩脉主要是砂、泥质充填地震微断裂形成。充填地震微断裂形成的岩脉脉壁规整而清晰,其形态受断裂面形态影响呈不同形态,或平直、或弯曲(图 2)。由于脉体由沉积物构成,说明脉体充填时沉积物未固结,也说明地震微断裂形成于准同生期,即沉积物沉积过程中或沉积不久(固结之前)受火山诱发的地震引起的岩层颤动形成。

### 3 地震事件沉积的时间和形成背景

如前所述,涠洲岛地震事件沉积主要包括地震微断裂、微褶皱纹理、落石沉陷构造和砂泥岩脉 4 种地震引起的变形构造和同沉积—成岩构造。这些构造多数孤立存在。其中地震微断裂多形成靠近火山口的粗碎屑沉积中;微褶皱纹理多形成于细碎屑沉积中;落石沉陷构造主要见于“落石”底部的细碎屑—泥质沉积中;砂泥岩脉为充填地震微断裂而成,反映在地震作用过程中地震颤动对不同沉积层的改造作

用。

涠洲岛的震积岩主要出现在晚更新世湖光岩组地层中,其上晚更新世—早全新世以及全新世地层中震积岩不发育,说明地震作用主要形成于晚更新世。

涠洲岛、斜阳岛位于北部湾北部。早始新世末期,受喜马拉雅运动第一幕影响,北部湾地区地壳开始下沉,湖盆不断扩大变深,海水逐渐侵入,由陆相逐渐变为海陆交互相沉积,从而发展成新生代北部湾大型拗陷区。一系列北东向( $NEE70^{\circ}$ )的阶梯状断层在拗陷区中形成,叠加在中生代以前北东、北北东向的构造格局之上。

涠洲岛、斜阳岛位于北部湾拗陷区的中部凹陷中,其沉积基底为下古生界变质岩,上古生界—中生界碳酸盐岩、浅变质岩和花岗岩。古新世—早渐新世时期,涠洲岛、斜阳岛一带断裂活动频繁,既有北东向的继承性断裂活动,又有北东、北西及近东西向断裂出现,其中以北东及北东东方向为主,形成棋盘格式断块状。这些断裂控制了断陷盆地的沉积和构造。一些断块上升,沉积物较薄或遭受侵蚀。一些断块下降,形成一些断陷盆地,接受一套河湖沉积及海陆交互相沉积。始新世早期至早渐新世时期涠洲岛处于

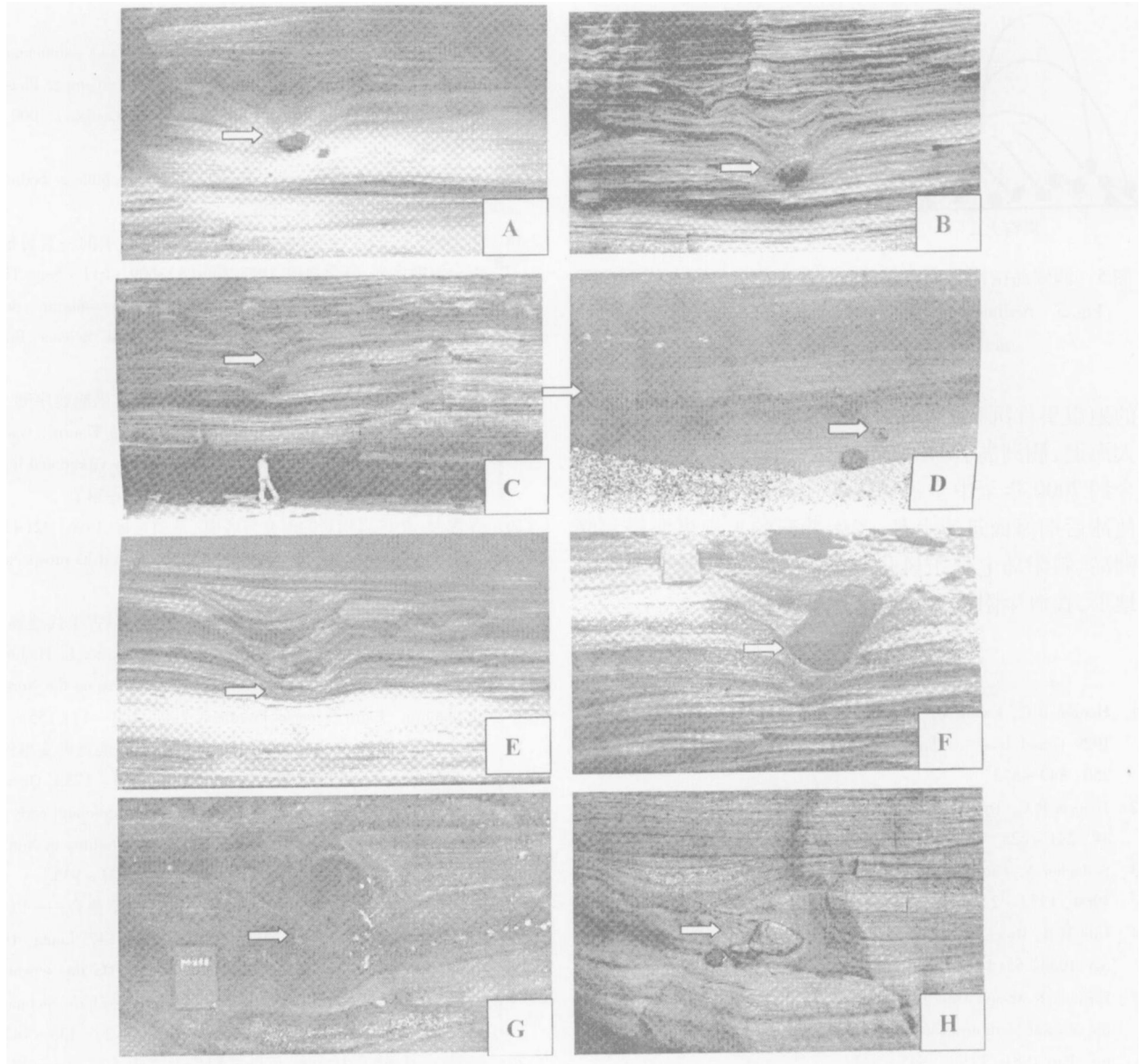


图 4 涠洲岛震积岩中的落石沉陷构造(箭头处)(图 4-B 为图 4-C 的放大)

Fig 4 Rockfall and sinking structures of seismite in Weizhou island

相对隆起状态。

古近纪末,受喜马拉雅运动第二幕的影响,大陆区地壳抬升,湖盆干涸,结束沉积。新近纪时期,北部湾地区断裂发育,地壳运动从断裂差异升降转变为大面积沉降运动。涠洲岛、斜阳岛一带以凹陷为主,主要断裂活动已很微弱,使北部湾整体凹陷逐步形成一个统一的整体。形成一套浅海陆棚相、滨海相砂页岩沉积。

新近纪末,受喜马拉雅运动第三幕的影响,使得新近系局部发生平缓的褶皱,地形坡度上升,北部湾北部边缘发生海退,遭受风化剥蚀。涠洲岛一带也为

风化剥蚀状态。早更新世晚期,北部湾一带断块下沉,发生海侵。涠洲岛、斜阳岛一带又开始下沉,沉积一套滨浅海沉积。早更新世末,地壳隆起,海水逐渐退去,处于风化剥蚀环境。

中更新世早期,北部湾拗陷区继续沉降,海盆扩大,海水淹没北部湾沿海。涠洲岛、斜阳岛中更新世—晚更新世时期,地壳下拗,仍处于海水淹没的凹陷盆地环境。此时岩浆活动频繁,发生石峇岭组—湖光岩组的海底火山沉积,有 5 次以上基性火山喷溢,每次喷发之后形成一个间歇期。其间伴随火山活动,地壳运动也十分剧烈,形成一系列地震活动。地震颤

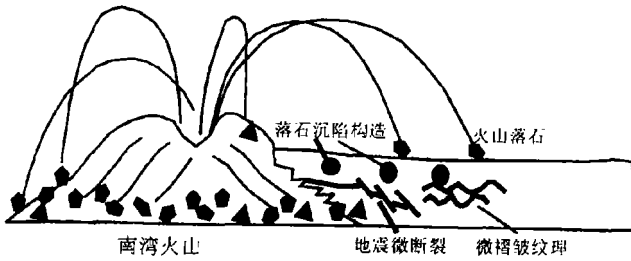


图 5 涠洲岛南湾与火山活动有关的震积岩沉积背景示意图

Fig 5 Sedimentary setting of seimite related to volcanic activity in Nanwan, Weizhou island

动影响未固结的地层,形成一系列的与火山活动有关的地震事件沉积(图 5)。晚更新世后期,出现全球性大海退,涠洲岛、斜阳岛完全上升露出海面。直到距今约 7000 年至中全新世晚期,由于全球性气候转暖,使冰后期海面迅速上升,产生普遍的大规模海侵。涠洲岛、斜阳岛上处于风化剥蚀状态,破坏了火山原始地形,在海岸附近形成海蚀崖等地貌特征。

#### 参考文献 (References)

- Heezen B C, Ewing M. Turbidity currents and submarine slumps and 1929 Grand bank earthquake. *American Journal of Science*, 1952, 250: 849 ~ 873
- Heezen B C, Dyke C L. Grand Bank Slump. *AAPG Bulletin*, 1964, 48: 221 ~ 225
- Seilacher A. Fault-graded bed interpreted as seismites. *Sedimentology*, 1969, 13(1-2): 155 ~ 159
- Cita M B, Ricci Lucchi F. Seismicity and sedimentation. *Marine Geology*, 1984, 55(1-2): 1 ~ 161
- Kastens K M and Cita M B. Tsunami-induced sediment transports in the abyssal Mediterranean Sea. *Geological Society of American Bulletin*, Part 1981, 1(92): 845 ~ 847
- Fairchild I J, Einsele G and Song T. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China. *Sedimentology*, 1997, 44: 611 ~ 630
- Roep T B, Events A J. Pillow-beds: a new type of seismites? An example from an Oligocene turbidite fan complex, Alicante. *Sedimentology*, 1992, 39: 711 ~ 724
- Anand A, and Jain A K. Earthquakes and deformational structures (seismites) in Holocene sediments from the Himalayan - Andaman arc, India. *Tectonophysics*, 1987, 133: 105 ~ 120
- Kleverlaan K. Gordo megabed: a possible seimite in a Tortonian submarine fan, Tabernas basin, Province Almeria, southeast Spain. *Sedimentary Geology*, 1987, 51: 165 ~ 180
- Mohindra R, Bagati T N. Seismically induced soft-sediment deformation structures (seismites) around Sundo in the lower Spiti valley (Tethys Himalaya). *Sedimentary Geology*, 1996, 101: 69 ~ 83
- Bose *et al*. Slope-controlled seismic deformation and tectonic framework of deposition: Koldaha Shale, India. *Tectonophysics*, 1997, 269: 151 ~ 169
- Takashimizu Y, Masuda F. Depositional facies and sedimentary successions of earthquake-induced tsunami deposits in upper Pleistocene incised valley fills, central Japan. *Sedimentary Geology*, 2000, 135: 231 ~ 240
- Shiki T. Seismoturbidites, seismites and tsunamites. *Sedimentary Geology*, 2000, 135: 1 ~ 326
- 宋天锐. 北京十三陵前寒武纪碳酸盐岩地层中的一套可能的地震—海啸序列. *科学通报*, 1988, Cita(8): 609 ~ 611 [Song Tianrui. A probable earthquake-tsunami sequence in Precambrian carbonate strata of Ming Tombs District, Beijing, *Chinese Science Bulletin*, 1988, 33(13): 1121 ~ 1124]
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列. *地质学报*, 1994, 68(1): 16 ~ 32 [Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, *et al*. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(1): 16 ~ 34]
- 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望. *地质论评*, 1996, 42(4): 317 ~ 320 [Qiao Xiufu. Study of seismites of China and its prospects. *Geological Review*, 1996, 42(4): 317 ~ 320]
- 乔秀夫, 李海兵, 高林志. 华北地台震旦纪—早古生代地震节律. *地学前缘*, 1997, 4(3-4): 155 ~ 160 [Qiao Xiufu, Li Haibing and Gao Linzhi. Sinian-early Palaeozoic seismic rhythms on the North China platform. *Earth Sciences Frontiers*, 1997, 4(3-4): 155 ~ 160]
- 乔秀夫, 高林志. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系. *科学通报*, 1999, 44(16): 1753 ~ 1758 [Qiao Xiufu and Gao Linzhi. Earthquake events in Neoproterozoic and early Palaeozoic and its relationship with super continental Rodinia in North China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(10): 931 ~ 935]
- 梁定益, 聂泽同, 万晓樵. 试论震积岩及震积不整合——以川西、滇西地区为例. *地球科学*, 1991, 5(2): 138 ~ 147 [Liang, Dingyi, Nie Zetong, Wan Xiaoqiao and Chen Guomin. On the seimite and seismodisconformity—A case study from the western Sichuan and western Yunnan regions. *Geosciences*, 1991, 5(2): 138 ~ 147]
- 梁定益, 聂泽同, 宋志敏. 再论震积岩及震积不整合——以川西、滇西地区为例. *地球科学*, 1994, 19(6): 845 ~ 850 [Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. A restudy on seimite and seismodisconformity—A case study from the western Sichuan and western Yunnan. *Geosciences*, 1994, 19(6): 845 ~ 850]
- 孙晓猛, 梁定益, 聂泽同. 大陆边缘震积岩序列——以金沙江中段震积岩为例. *现代地质*, 1995, 9(30): 1 ~ 27 [Su Xiaomeng, Liang Dingyi, Nie Zetong. Continental margin seimite sequence: A case study from seimites in the middle of Jinsha River. *Modern Geology*, 1995, 9(30): 1 ~ 27]
- 吴贤涛, 尹国勋. 四川峨眉晚侏罗世湖泊沉积中震积岩的发现及其意义. *沉积学报*, 1992, 10(3): 19 ~ 24 [Wu Xiantao and Yin Guoxun. Feature and significance of seimites from Upper Jurassic Lacustrine deposits of Emei, Sichuan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(3): 19 ~ 25]
- Du Y, Zhang C, Han X W, *et al*. Earthquake event deposits in Mesoproterozoic Kunyang Group in central Yunnan and its geological im-

plications China Sciences (Series D), 2001, 44 (7): 600 ~ 608  
24 Du Y, *et al* Silurian seismites and its tectonic significance in Hanx-

ia, Yumen city, north Qilian mountain Acta Geologica Sinica, 2001,  
75 (4): 385 ~ 390

## Syn-depositional Deformation Structures by Earthquake Related to Volcanic Activity of the Late Pleistocene in Weizhou Island, Beihai City, Guangxi

DU Yuan-sheng PENG Bing-xia HAN Xin

(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

**Abstract** The Late Pleistocene Huguangyan Formation in Weizhou island, Beihai city, Guangxi consists of volcanic clastic rocks. Volcanic rocks develop near Huguangyan Formation. Near the crater, a series of syn-depositional deformation structures are developed in the Huguangyan Formation, which includes seismic micro-fractures (tensile-shear, tensile, conjugated and ladder fractures), micro-corrugated laminations, sinking rockfall structures and sand-muddy veins. These structures are believed resulting from earthquake related to volcanic activity of the Late Pleistocene.

**Key words** Guangxi, the Late Pleistocene, volcanic activity, earthquake, seismites

### 第三届全国沉积学大会将在成都召开

酝酿已久的第三届全国沉积学大会将于 2005 年 9 月在成都市召开。这是中国沉积学界每 4 年一次的盛会。大会将围绕“沉积学与社会发展”这一主题,重点讨论沉积作用与油气资源勘探开发、与沉积体系有关的矿产资源、全球环境变化与沉积作用、超大陆重建与大地构造沉积学、理论沉积学与新技术应用等与社会可持续发展密切相关的理论与实际问题。会议形式多样,会后还将组织多条野外地质考察路线。

本次大会由中国地质学会沉积地质专业委员会、中国矿物岩石地球化学学会沉积学专业委员会发起,国土资源部成都地质矿产研究所承办,由来自国家自然科学基金委员会、中国科学院、教育部、中国石化、中国石油等部门的十余家学术研究、高等院校和企业单位参与组织。

有关会议内容和筹备详情请关注国土资源部成都地质矿产研究所网址:<http://www.chengdu.cgs.gov.cn>,或向发起和承办单位索要有关会议资料。

中国地质学会沉积地质专业委员会  
中国矿物岩石地球化学学会沉积专业委员会