

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.03043

海南岛西北部莲花山周缘海相地层的区内对比及意义

姚衍桃, 詹文欢, 孙金龙, 刘再峰, 詹美珍

(中国科学院 边缘海地质重点实验室 南海海洋研究所, 广州 510301)

摘要: 根据岩性、产状和地貌等特征, 对海南岛西北部莲花山周缘海岸出露的前全新世海相地层 5 个典型剖面进行区内对比, 以恢复该套地层的产出序列, 并推测海相地层的分布范围。结合海相地层的沉积时代和莲花山周缘海岸的地貌特征, 探讨了该海岸带的地貌演化过程: 中更新世以前, 有河流自东南向西北经德义岭、莲花山入海, 海相地层沉积区属于滨岸环境, 是该海岸带当时受海水进退作用的主要区域, 接受着波浪从北面、河流从南面带来的沉积物; 中更新世至今, 受雷琼地区火山活动的影响, 河流被隆起的火山锥阻挡而截流或改道, 海相地层沉积区则被抬升成为陆地, 并在全新世海岸侵蚀作用下, 形成了现今宽广的海蚀平台, 海岸后退平均速率约为 10 cm/a。

关键词: 海相地层; 剖面对比; 海岸演变; 莲花山; 海南岛西北部

中图分类号: P539.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0256-1492(2009)03-0043-09

雷琼地区第四纪火山活动使海南岛西北部形成了特殊的地质地貌现象。以儋州湾为界, 北部地区属玄武岩台地, 南部地区则属冲积平原(图 1)。赵希涛等^[1]曾提出海南岛西北部是除台湾省外我国沿海和岛屿目前所见的惟一海相更新世地层出露区, 因此, 该地层在我国的第四纪地层研究中应具有十分重要的地位和意义。但是, 有关该套地层的研究并不多^[1-5], 而且主要侧重于地层的岩性特征、形成时代和沉积环境上, 对其所反映的构造运动信息和相应的海岸演变历史则报道不多或研究不详。

2007—2008 年, 在洋浦至峨蔓沿岸进行了 3 次野外考察, 发现这一带的海岸阶地高程从数米至数十米不等, 岩石组成有玄武岩、海相地层、风成沙丘、火山角砾岩、凝灰岩等。其中, 海相地层主要分布在莲花山附近海岸, 是该海岸带海陆变迁的重要信息载体。本文在前人研究基础上, 根据野外考察结果, 选取 5 个典型的海相地层剖面作详细描述。通过岩性、产状、构造和地貌等特征对各剖面地层进行区内对比, 恢复海相地层的沉积序列, 并推测海相地层的分布范围, 最后, 结合年代学探讨海相地层分布区的地貌演化过程。

基金项目: 中国科学院边缘海地质重点实验室开放研究基金项目 (MSG L0711); 广东省自然科学基金项目 (07004206); 中国科学院海洋地质与环境重点实验室开放课题 (MGE2007KG04)

作者简介: 姚衍桃(1980—), 女, 博士生, 海洋地质专业, E-mail: yetta.yao@qq.com

收稿日期: 2009-01-21; **改回日期:** 2009-04-20. 张光威编辑

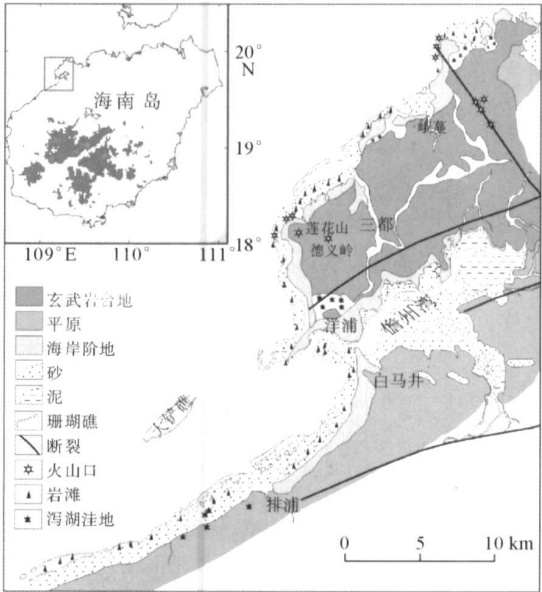


图 1 海南岛西北部海岸地貌(据文献[5]修改)
Fig. 1 Geomorphological map of the northwestern coast of Hainan Island

1 海相地层的区内对比

莲花山周缘海岸的海相地层沿岸线出露总长约 2 km(图 2), 横向上构成海岸阶地及海岸侵蚀作用形成的海蚀平台和海蚀陡崖。地层的部分层位含大量的海相生物化石, 宏观平行层理明显, 微观层理有波状层理、交错层理等, 所含的沉积物粒级从泥质粉砂至砾石。总体以海相沉积为主, 夹有风成堆积, 反映了水下、水上两种环境的交替变化。受第四纪火

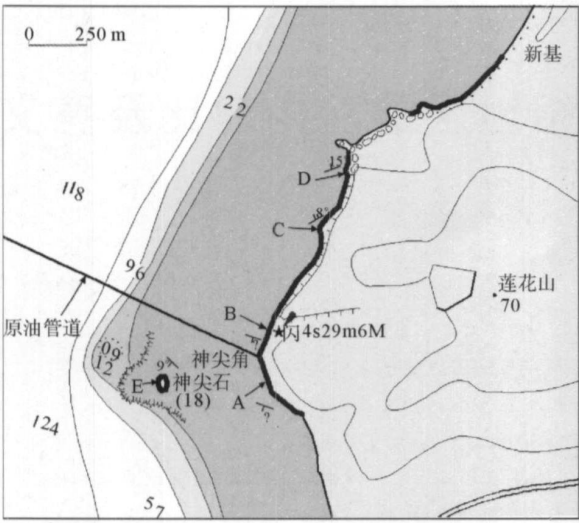


图2 莲花山周围海岸海相地层露头的分布
(底图来源于广东省海事局海测大队, 2007 年版)
A. 莲花山西海岸剖面; B. 神尖灯塔剖面;
C. 母鸡神剖面 1; D. 母鸡神剖面 2; E. 神尖石剖面。
粗线表示海相地层露头; ? 表示目测产状, 不具有具体参数

Fig.2 Outcrop distribution of marine strata along the coast of Lianhua Mountain

露, 并发生强烈的构造变形。后期在风化剥蚀和海岸侵蚀的共同作用下, 导致海相地层露头分布不连续, 不同岸段的露头在岩性、产状及厚度上也不同, 因此, 对整套地层的沉积序列、产出形态和分布范围很难作出直接的判断, 需要在岩性基础上结合海岸带的构造和地貌特征, 对不同岸段的露头进行地层对比。根据野外调查情况, 选取了以下 5 个典型的海相地层剖面, 分别是莲花山西海岸剖面、神尖灯塔剖面、母鸡神剖面 1、母鸡神剖面 2 和神尖石剖面 (图 2、图 3)。

1.1 莲花山西海岸剖面

剖面位于莲花山西面山脚 (19° 47. 06' N、109° 09. 71' E), 为一个 6~7 m 高的海岸阶地。因这一岸段受侵蚀非常严重, 海岸后退迅速, 为保护原油码头的各种设施, 2008 年上半年岸堤被灌注了混凝土, 该处的海相地层露头已无法再考察。但这一岸段的露头是海相地层向南的延伸, 对于研究区的古地理重建相对比较重要。根据 2007 年 2 次野外考察, 莲花山西海岸剖面自上而下主要划分为以下 4 层 (图 3A), 各层特征如下:

山活动的影响, 海相地层沉积形成后被抬升出

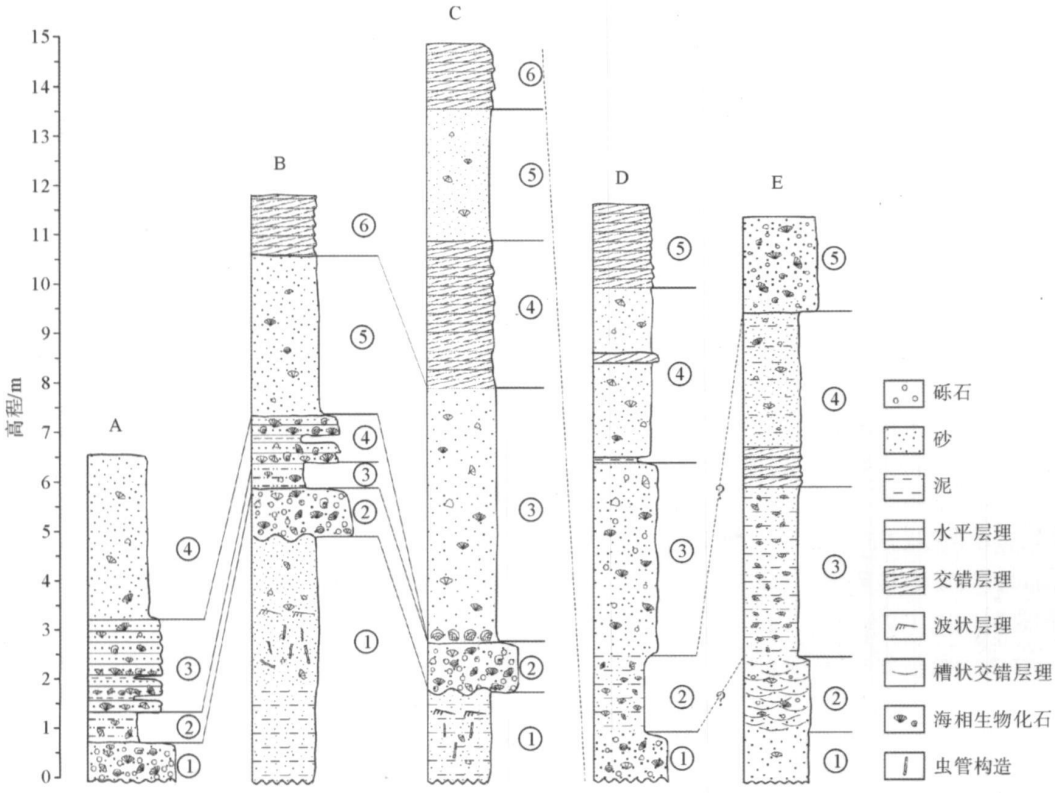


图3 海南岛莲花山周围 5 个典型海相地层剖面 (剖面位置见图 2)
虚线表示不明确的地层过渡关系; ? 表示不确定的地层对比关系

Fig.3 Five typical stratigraphic profiles of marine strata along the coast of Lianhua Mountain of the Hainan Island

④土黄—浅黄色细砂岩, 含少量海相生物化石和化石碎片。无层理, 胶结程度中等, 厚 3~4 m, 可能属于古风积沙丘。顶部在遭受剥蚀后已被覆上一层较薄的红色土壤, 为火山凝灰岩的风化产物。

③灰黄—灰白色中砂岩, 含大量海相生物化石碎片。以平行层理为主, 分选性和磨圆度均较好, 胶结程度低, 厚约 2 m。下部层与层之间多夹有薄层状泥或粉砂, 层的底部是海相生物化石碎片集中的部位, 含量远大于 50%(图 4a)。这些化石碎片经历了长期的磨蚀作用, 反映了强水动力的滨海沉积环境。

②深黄色含泥细砂—粉砂岩, 含较多的海相生物化石和碎片。胶结程度较低, 无分选作用, 层理不明显, 厚度约 0.5 m。

①灰黄—土黄色砂砾岩, 含较多黄色泥团, 并胶结有大量海相生物化石, 特别是腹足类、双壳类等贝壳, 含量可达 50%。无层理, 胶结硬, 无分选作用, 砂砾、泥土及海相化石混杂堆积。砾石呈次棱角状, 海相化石则绝大部分未经磨蚀, 保存完好, 由此判断这一层可能为风暴潮沉积。

由上述岩层组成的莲花山西海岸阶地受海浪淘蚀而快速后退, 形成了一个较宽广的海蚀平台, 其岩

石组成与莲花山西海岸阶地相同。

1.2 神尖灯塔剖面

剖面位于神尖灯塔脚下 (19° 47. 19' N、109° 09. 65' E), 为 10 多米高的海蚀陡崖。该剖面自上而下主要分为 6 层(图 3B), 各层特征如下:

⑥土黄色中砂岩, 含少量海相生物化石碎片。呈板状交错层理, 钙质胶结。顶面为剥蚀面, 已覆盖上一层很薄的由玄武岩风化而来的红色土壤。

⑤浅黄—土黄色细砂岩, 含少量海相生物化石及化石碎片。无层理, 质匀, 半胶结, 厚约 4 m。

④浅黄色板状中粗砂岩, 含较多的海相生物化石, 板状层之间夹深黄色泥质透镜体。钙质胶结, 剖面位置出露厚度约 1 m, 向北逐渐尖灭。

③浅黄—深黄色泥质粉砂岩, 胶结有少量次棱角状砾石和较多的海相生物化石碎片。胶结程度低, 无分选作用, 厚约 0.5 m, 向北逐渐尖灭。

②灰白—灰黄色砂砾岩, 砾石次棱角状, 胶结有黄色泥团和大量海相生物化石。分选性很差, 化石无定向排列且未经磨蚀, 呈风暴潮沉积中的混杂堆积特征。厚 1~1.5 m, 与下伏地层呈波浪状接触, 波长 2~5 m, 可能是堆积前大风浪冲刷下伏松

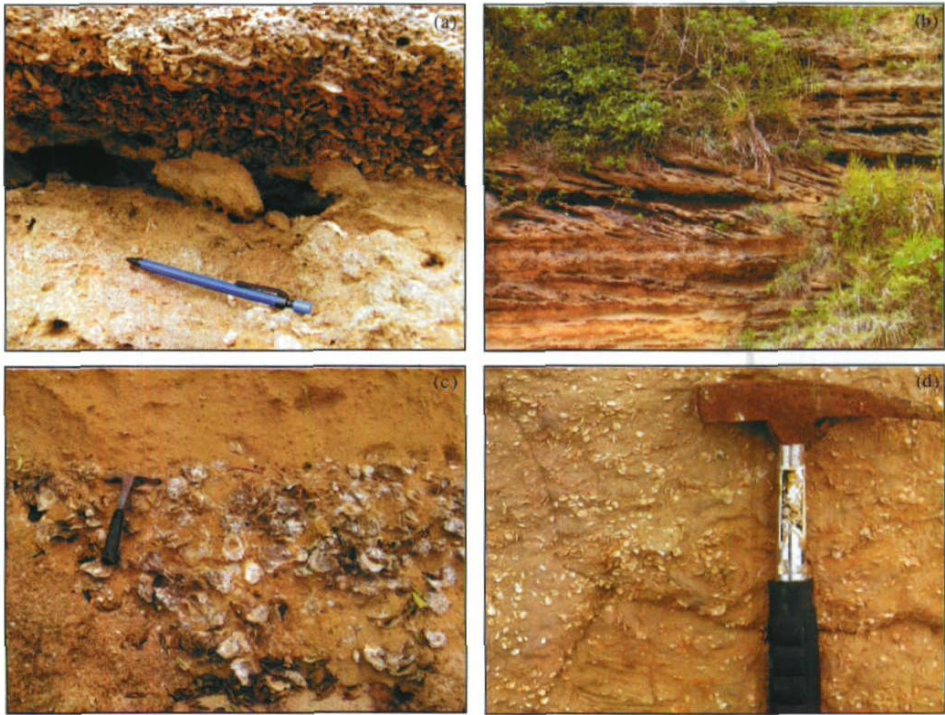


图 4 海南岛莲花山周缘海相地层部分层位的沉积特征

(a) 莲花山西海岸剖面层 3 底部的海相生物化石碎片; (b) 母鸡神剖面 1 层 4 的交错层理
(c) 母鸡神剖面 1 层 3 底部堆积的牡蛎壳; (d) 神尖石剖面层 3 的盖虫(大有孔虫)化石

Fig. 4 Detailed view on some outcrops of marine strata along the coast of Lianhua Mountain

散沉积层的结果。

①上部为浅黄色粉砂、细砂,含极少量海相生物化石碎片,胶结程度低,质匀,无层理,厚3~4 m。中部呈不连续的波状层理,往下则出现大量的铁质虫孔构造。下部为灰黄色泥质粉砂,出露厚度1~2 m,未见底。

陡崖也因侵蚀而后退,并形成了数百米宽的海蚀平台。平台上出露的地层主要是砂岩,无层理,海相生物化石含量非常少,与陡崖底部岩层即层1的岩性相同。此处海蚀平台沿海岸往北东方向一直延伸至新基村,往西南方向与莲花山西海岸的海蚀平台相连。

1.3 母鸡神剖面1

母鸡神剖面1位于神尖灯塔北东向约600 m处($19^{\circ}47'48''N$ 、 $109^{\circ}09'80''E$),在地形上属稍突出于海岸的小岬角,同时也是一个约15 m高的海蚀陡崖。剖面出露的地层主要划分为6层(图3C),自上而下各层特征如下:

⑥浅黄色砂岩,表面呈灰黑色,含少量贝壳碎片,顶部经剥蚀并被红色土壤覆盖。胶结程度中等,呈板状交错层理,残留厚度约1 m。

⑤浅黄—土黄色细砂岩,含海相生物化石碎片。胶结程度低,无层理,质匀,厚约3 m。

④岩性特征与层6基本相似。为灰黄—土黄色中细砂岩,含少量海相生物化石碎片。胶结程度中等,呈清晰的板状交错层理(图4b),厚约3 m。

③岩性特征与层5基本相似。为黄色中细砂岩,含少量化石碎片。呈不明显的水平层理,厚5 m。底部是30~40 cm厚的牡蛎壳堆积层(图4c),沿海岸延伸达100多米,这是在母鸡神剖面1仅有的特征层,牡蛎壳的 ^{14}C 年龄为 42886 ± 356 aBP。

②灰黄色砂砾岩,胶结着大量的海相生物化石及碎片。其中砾石呈次棱角状,化石则绝大多数未经磨蚀,分选性极差,无层理,为混杂堆积,胶结很硬。底面波状起伏,顶面则与上覆地层基本平行。厚度约1 m。

①灰黄—土黄色泥质粉砂,见极少量海相生物化石碎片。局部呈不连续的波状层理,含虫孔构造,厚度大于3 m,未见底。

由于上述岩层向北北西方向倾斜,因此,沿海岸往北东方向自下而上逐层尖灭于海滩。其中,层6、层4和层2由于胶结较硬,形成了稍突出海蚀平台呈WS—NE向,即沿地层走向延伸的侵蚀残留“脊”(图5)。在层2“脊”面上测得产状为 $310^{\circ} \angle 8^{\circ}$,基本

代表了母鸡神剖面1的岩层产状,“脊”向海延伸的距离也大致代表了海蚀平台的宽度。



图5 海南岛莲花山周缘海蚀平台和海蚀残留“脊”

Fig. 5 Platform and relict “ridges” by coastal erosion along the coast of Lianhua Mountain

1.4 母鸡神剖面2

母鸡神剖面2位于母鸡神剖面1北东向约300 m处($19^{\circ}47'59''N$ 、 $109^{\circ}09'86''E$),自上而下主要划分为以下5层(图3D):

⑤灰黄—浅黄色粉砂、细砂岩,表面灰黑色,含贝壳碎屑。呈板状交错层理,胶结程度中等,厚度>1 m,顶部被风化剥蚀。

④黄色粉砂、细砂岩,含双壳类化石碎片。层理不明显,胶结程度较低,厚度3~4 m。底部为非常薄的灰绿色泥质条带,中部夹有一层约20 cm厚的具交错层理的固结层,可能代表着一次沉积间断或气候异常事件。

③黄—深黄色含泥中砂岩,胶结着少量砾石和较多的海相生物化石碎片。呈不明显的平行层理,胶结程度中等,厚约4 m。

②浅黄—锈黄色粉砂、细砂岩,夹泥质条带或斑块,海相生物化石含量>40%,且以盖虫(大有孔虫)为主。无层理,少量虫孔构造,胶结程度低,厚约1.5 m。

①浅黄色含砾粗砂岩,含较多双壳类化石及碎片。砾石次棱角状,部分化石无磨蚀现象,保存完整。无层理,分选性很差,胶结程度较低,厚度>1 m,未见底。

上述胶结较硬的层5和层3在海岸侵蚀过程中也残留了稍突出于海蚀平台的“脊”,其中在层5“脊”面上测得产状 $324^{\circ} \angle 15^{\circ}$,与母鸡神剖面1的

地层残留“脊”基本平行(图5),因此,两剖面的地层走向也基本一致,均往北北西方向倾斜,由此可判断母鸡神剖面2应为母鸡神剖面1的上覆地层。

1.5 神尖石剖面

神尖石剖面位于莲花山以西,为海岸侵蚀残留的小孤岛(19°47'09"N、109°09'39"E)。高潮时小孤岛与莲花山隔水相离,低潮时则通过海蚀平台与莲花山相连。孤岛周缘散布着许多大块褐红色的火山喷发岩,因此,附近很可能存在一个小火山口。这些喷发岩对海相地层起了保护作用,使之在海岸后退过程中能残留下来成为孤岛。神尖石剖面出露的地层主要划分为5层(图3E),自上而下各层特征如下:

⑤灰黄—土黄色含砾砂岩,含大量海相生物化石及碎片。砾石次棱角状,海相化石以双壳类为主且大多数无明显磨蚀作用。层理不清晰,分选性很差,半胶结,残留厚度约2 m,与下伏地层呈侵蚀接触。

④土黄色含泥粉砂、细砂岩,含少量海相生物化石碎片。上部层理不清晰,胶结程度低;下部呈交错层理,胶结较好。整层厚度3~4 m。

③灰白—土黄色泥质粉砂岩,含大量小个体海相化石,主要是盖虫(图4d)。无层理,胶结程度低,厚约3.5 m。

②灰黄—土黄色砂岩,含海相生物化石碎片和少量磨圆度较好的砾石。呈平缓的槽状交错层理,上部较为松散,下部则胶结较好。此层只在神尖石孤岛的东北侧有出露,出露厚度1~1.5 m。

①土黄色砂岩,含少量海相生物化石碎片。块状无层理,胶结较好。同样只在孤岛东北侧有出露,出露厚度约1 m,未见底。

上述地层向西南微倾,与莲花山西海岸剖面的地层产状基本一致,在层1顶面测得产状为235°∠9°。崩落的胶结较硬的海蚀残留岩块与火山岩、珊瑚礁构成了神尖石孤岛周缘的岩滩,岩滩之下可能为海蚀平台,与莲花山周缘海蚀平台相连。

1.6 各海相地层剖面的对比

上述各剖面的地层构成了研究区的海岸阶地、海蚀陡崖、海蚀残留孤岛和连接各剖面的海蚀平台。这些剖面相互之间必然存在着很好的可对比性,它们应是连续的、相叠覆的一套完整地层。正是由于后期火山活动和海岸侵蚀的共同作用,原有的地层已变得“面目全非”。本文的研究目的就是根据各剖

面的岩性、产状和莲花山周缘的构造、地貌等特征进行同一套地层内的剖面对比,以此恢复海相地层的产出形态和分布范围,继而推测研究区在火山活动及相应构造形变前后的海陆格局。

对于莲花山沿岸(莲花山西海岸剖面至母鸡神剖面2)的地层,钟石兰^[3]通过实地考察认为这一带出露的地层构成两翼平缓的背斜,经测量获得整套地层的厚度为37.35 m,并将其划分成14层。赵希涛等^[1]也将该套地层描述为“呈低角度的穹窿构造”,出露厚度逾40 m,分为16层。根据我们对该海岸的多次考察,神尖灯塔至母鸡神一带存在较多的高角度正断层,这些断层多以莲花山为中心呈放射状分布。其中,在神尖灯塔北东向约100 m处有2个错动较大的正断层,大致以这2个正断层构成的地堑为中心,西南侧地层往西南方向倾斜,北东侧地层则往北东方向倾斜。再从全区出露的地层产状看(图2),这套海相地层很可能就是随岩浆在莲花山的侵入而形成的两翼平缓的短轴背斜。结合前面各地层剖面的岩性研究,我们认为莲花山西海岸剖面的层4、3、2、1分别与神尖灯塔剖面的层5、4、3、2对比,神尖灯塔剖面的层6、5、2、1分别与母鸡神剖面1的层4、3、2、1对比,因此,莲花山西海岸剖面的层3、层2和神尖灯塔剖面的层4、层3在母鸡神剖面1和剖面2中均不存在,是莲花山西岸岬角处特有的沉积,可能为透镜状夹层。根据地层产状和海蚀平台残留“脊”的形态特征判断,母鸡神剖面2应覆盖在母鸡神剖面1之上。由此可基本确定各地层剖面之间的关系(图3),并获得莲花山沿岸的地质剖面图(图6)。按照本文的地层划分法,莲花山沿岸出露的海相地层至少有11层,厚度超过45 m,是若干个水上一水下沉积旋回的结果,反映了这一带过去主要是受海平面升降影响而出现淹没与出露交替变化的滨岸环境,后因莲花山火山活动而上升并变形成为背斜或穹窿。

对于神尖石剖面,其与莲花山沿岸海相地层的对比相对较复杂,不确定性也较大。曹琼英^[2]认为神尖石剖面与莲花山沿岸出露的富含海相化石的砂砾层是同一时期的浅海相沉积,神尖石剖面的顶底层分别与母鸡神剖面(即本文的母鸡神剖面2)的顶底层相当。但是,从岩性特征和所含化石判断,本文认为神尖石剖面的层5和层3可能分别与母鸡神剖面2的层3和层2对比。按照图6显示的地层关系,同时结合两者的产状,初步认为神尖石剖面应覆盖在莲花山西海岸剖面之上。

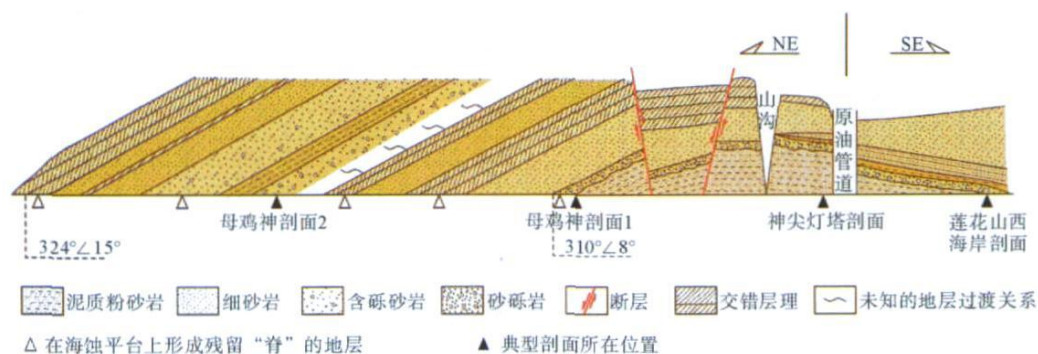


图6 莲花山沿岸地质剖面(横向与纵向比例不等)

Fig. 6 Geological section along the coast around Lianhua Mountain of the Hainan Island

2 海相地层的分布范围

根据野外可考察程度和所具有的资料, 将研究区海相更新世地层的分布范围分为向海和向陆两部分进行讨论。

2.1 向海的分布范围

前已述及, 海蚀平台与 5 个典型剖面相连, 且地层岩性可对比, 属同一套海相地层, 因此, 查明海蚀平台的范围可大致获得海相地层向海分布的范围。海蚀平台的分布范围可利用野外考察结果, 结合水下地形资料、遥感影像和一些地球物理资料来判断。

1:3.5 万洋浦港及附近海图显示研究区的水下地形呈阶梯状, 0~2 m 水深为宽广的平台, 之后水深迅速递增到约 10 m, 再往外海底地形平缓。莲花山周缘海岸的浅水平台宽度 400~500 m, 往东北逐渐变宽, 在南滩港附近达到 1~2 km 宽后迅速变窄, 并尖灭于峨蔓西南的火山海岸。这些特征在遥感影像图上也可得到清晰的反映。经过野外踏勘证实, 莲花山至新基村的浅水平台即为海相地层受侵蚀残留的平台; 新基村至南滩港的浅水平台是莲花山—新基村海蚀平台的延伸, 其岩石组成也应为海相地层, 浅水平台与海岸沙滩之间是松散的砂质海底; 南滩港以北变为玄武岩岩滩。

莲花山西南侧的浅水平台相对较窄, 延伸也较短, 尖灭于金海纸浆厂码头以北, 向南变为玄武岩岩滩。野外考证也表明这一带的浅水平台为海相地层被侵蚀所残留。根据旁侧声纳扫描和浅地层探测资料^①, 神尖石西北侧、西侧及西南侧 500~600 m 范围内的海底底质为巨块礁石群、散石蛋等堆积体, 与神尖石孤岛周缘岩滩情况基本一致, 故这些堆积体

应为崩落的海相地层残留岩块或火山喷发岩; 神尖石东南面海底有较多的碎石, 可能主要是珊瑚礁; 上述位置再往西变为砂质或泥质海底。

综合以上特征, 推测海蚀平台的范围大致是从造纸厂码头以北的 100~200 m 宽沿海岸延伸至南滩港外侧的约 1 km 宽, 长约 10 km。

2.2 向陆的分布范围

由于研究区植被发育和地形复杂, 加上海相地层大部分被火山喷发物或风化土壤所覆盖, 能揭示其在陆上分布的露头已非常少, 所以, 通过野外踏勘来获得该套地层向陆延伸的认识也就很有限, 全面、可靠的信息必须通过开挖探坑或钻探来获取。现阶段只能根据莲花山附近因工程施工而开挖出露的一些岩层, 结合上述海相地层向海分布的范围和沿岸尖灭的情况作初步的推测。

莲花山周缘海岸地貌以海蚀陡崖为特征, 岩石组成主要是海相地层。沿海岸线地层最南端的露头位于莲花山西海岸剖面以南约 200 m 处, 最北端尖灭于新基村附近。新基村至南滩港的海岸地貌特征与莲花山周缘海岸截然不同, 它由一系列风成沙丘组成, 沙丘高度可达 20 多米, 分布总宽度 200~300 m, 未见海相地层出露。根据莲花山附近因工程开挖出露的岩层进行判断, 神尖灯塔剖面的层 5 沿原油码头公路向东南延伸至距离约 400 m 的山沟处。但在山沟以南的岩层中并未发现该套海相地层, 相反, 出露的是一套以陆相沉积特征为主的长石、石英质砂砾岩, 厚度不明, 顶部覆盖有 2~3 m 的火山凝灰岩。因此, 陆上的海相地层可能只在莲花山西北侧存在, 宽度只有 300~500 m, 长约 2 km。

① 广州南科海洋工程中心. 海南洋浦拟建码头海域侧扫探测报告, 2005.

3 海相地层的年代问题

关于莲花山周缘海相地层的形成时代, 研究虽然不多但也存在不同的观点。孙建中^[6]根据孢粉分析和黏土矿物鉴定结果, 认为公堂—海边地层剖面(即本文的母鸡神剖面2)的下部不会晚于早更新世, 应属于上新世晚期地层。钟石兰^[3]在神尖一带海岸出露的砂岩层中发现了化石颗石藻类 *Reticulofenestra pseudumbilica* 带, 从而确定该套地层为早上新世晚期的产物。赵希涛等^[1]在这套地层的年代学问题上也作了重点研究, 应用的测试手段包括 ESR、¹⁴C 和古地磁, 其中 ESR 法测得剖面下部双壳类化石年龄大于 1 MaBP, 上部扇贝化石年龄为 0.3 ± 0.06 MaBP; 古地磁测年结果也表明上部属于布容正极性时, 中部和下部属于松山反极性时, 时代跨越了早、中更新世; ¹⁴C 法测得上、中、下部 3 个样品的年龄分别为 $25\,000 \pm 1\,100$ 、 $24\,370 \pm 790$ 和 $23\,615 \pm 850$ aBP, 与曹琼英^[3]、王颖和周旅复^[4]的 ¹⁴C 测年结果基本一致, 与本文获得的母鸡神剖面 1 中牡蛎壳样品的 AMS ¹⁴C 年龄($42\,886 \pm 356$ aBP)也基本相符。

从上述研究情况看, ¹⁴C 法与其他方法所获得的年龄值存在很大的差异, 是这套海相地层时代问题的最主要分歧。地层中海相化石的 ¹⁴C 年龄均属晚更新世晚期, 其他方法所得出的年龄则基本处于中更新世至上新世。赵希涛等^[1]认为造成这种差异的原因主要是地层中的海相化石经过了大气或地表淡水的交换, 其中的碳酸盐发生了重结晶作用。我们在野外考察过程中也发现绝大部分的生物化石都已出现重结晶现象。因此, 通过 ¹⁴C 法测得的海相化石年龄必然要比实际年龄小, 故不能用于表征海相地层的形成时代。

海相地层的时代还可以利用其与火山岩的上下叠覆关系来确定。前人研究获得的 9 个火山岩样品的 K-Ar 或 TL 年龄^[7-12], 表明儋州西北部火山喷发的时代介于 9 ~ 105 万年之间, 其中除笔架岭有一个样品为 105 万年和洋浦港一个为 9 万年以外, 其余样品的年龄均集中在 20 ~ 67 万年范围内, 因此, 德义岭和莲花山的火山喷发时间主要在中更新世。根据我们的野外调查结果, 莲花山火山岩主要覆盖在海相地层之上, 并未发现火山岩夹于海相地层中。因此, 海相地层的形成应早于其上覆玄武岩的喷发, 即海相地层的时代不应晚于中更新世, 与 ESR、古地磁测定结果和孢粉、有孔虫、颗石藻等分析结果相

一致。但是, 其确切年龄目前仍很难确定, 也暂未能找到合适的、精确的测年方法。

4 海相地层的地质意义

海南岛西北部火山海岸出露的海相地层主要沉积于浅滩或海滩环境中, 其分布区域也就代表着过去的浅滩或海滩位置。随着该地区中更新世的火山活动, 曾经的海滩或浅滩被抬升成为陆地, 后期又在海平面变化和构造运动的共同作用下而被风化和侵蚀, 最终形成了现今特殊的地质、地貌特征。莲花山周缘海相地层隐含的这些构造运动和海岸演变信息是其主要的地质意义所在。在上述的海岸演变过程中, 火山活动引起的地壳上升是导致研究区海陆变迁的关键因素, 因此, 下面以莲花山、德义岭一带的火山活动时代即中更新世为分界点, 分两阶段对莲花山周缘海岸的演化过程作详细的论述。

第一阶段(中更新世以前): 这一阶段主要是从上新世至中更新世, 为莲花山及附近火山活动前, 也是海相地层的沉积时期。海相地层的岩性、岩相特征反映了水下浅滩和水上海滩两种沉积环境的交替变化, 而火山活动前即构造抬升前这两种环境的交替变化应是海平面波动的结果, 表明海相地层沉积区是该海岸带当时受小幅度海水进退作用的主要区域, 其靠陆一侧过渡为陆相环境, 根据相应位置的一些露头如莲花山西南的砂砾层判断应属冲积沉积物, 与白马井海岸阶地地层可作对比。王颖和周旅复^[4]认为这一带的砂质堆积体的物质成分与周围火山岩不同, 是火山喷发以前由河流堆积的, 另外, 还提出德义岭火山喷发前有河流自东南向西北方向入海, 河流带来大量的由花岗岩山地侵蚀而来的长石英质砂形成海滩。因此, 在德义岭、莲花山火山锥形成前, 研究区的滨岸带位于海相地层分布区, 接受着波浪从北面、河流从南面带来的沉积物, 自上新世至中更新世逐渐形成了厚逾 40 m 的海相地层; 与此同时, 莲花山应为河流入海区, 也逐渐形成了一套河流相沉积地层。

第二阶段(中更新世以后): 这一阶段的时代范围是从中更新世至今, 为莲花山火山活动、地壳上升及海相地层遭受风化和剥蚀的阶段。据前人研究, 莲花山一带的火山活动主要是在中更新世^[10], 晚更新世至全新世仍有小规模喷发^[4]。伴随着火山活动, 地壳产生较大幅度的上升, 使琼北地区完成了由拗陷向隆起的转化, 并最终形成了这一带的玄武岩台地和火山丘陵, 被称为喜马拉雅第四幕构造运

动^[13]。琼北的隆起导致莲花山附近海岸的地形发生了深刻的变化,自东南向西北方向入海的河流因火山锥的阻挡而截流或改道,海相地层沉积区也被抬升成为陆地。根据海相地层的出露厚度,抬升幅度至少 40 m。在抬升过程中,海相地层随火山锥的隆起而变形,形成穹窿构造,同时伴生有较多的放射状正断层。自抬升出露后,海相地层就开始遭受风化剥蚀,在有海水作用的时期里同时受波浪侵蚀,海岸后退并逐渐形成了宽约 1 km 的海蚀平台。

关于海南岛西北部海蚀平台形成和发育的时间,曾其爽^[14]划分为 3 个时期:28 000 年前平台开始发育;28 000 ~ 18 000 年前形成广阔的平台;18 000 ~ 3 000 年前发育了位于现今高潮位以上 3 ~ 5 m 的高平台。按其划分方法,莲花山一带的海蚀平台也主要形成于 28 000 ~ 18 000 年前。但是,根据南海北部晚更新世以来的海平面变化曲线^[15],海平面从 28 000 年前的一 50 m 上升到 24 000 年前的一 12 m,之后又急剧下降到 20 000 年前的一 100 多米。据南海西北部末次盛冰期以来的古海岸线研究揭示,20 000 ~ 10 000 年前整个北部湾基本处于陆地环境^①。在海平面波动如此快速的情况下,不可能形成广阔的海蚀平台,更不可能在陆相环境中形成。莲花山周缘海蚀平台的高度主要介于平均低潮面至平均中潮面之间,由此推测,该海蚀平台应在末次盛冰期以来北部湾再次受海侵成为海洋之后才真正形成,王宝灿等^[16]也认为琼西北部岸段的海蚀平台基本上是全新世海蚀过程中所形成。全新世以前,海蚀平台可能就开始了发育,但受海平面快速的、大幅度的波动,海蚀平台的发育几经停顿,并可能形成了较窄的不同高度的平台,而这些平台最终都在全新世被改造成了现在的海蚀平台。曾其爽^[14]对海南岛西北部的陡崖发育形式进行了总结,莲花山附近海岸的陡崖以刻蚀和崩塌作用为主,属等坡后退,后退相对速度最快,所形成平台的平均坡度最小。另外,这一带海岸恰好向西北方向突出,受来自西北方向的波浪侵蚀作用较强,而且又处于岸线转折的地方,沿岸流比较急,使这里的海岸侵蚀速率加快。因此,自全新世以来形成广阔的海蚀平台是完全可能的。根据平台的宽度及推测的时间计算,海岸侵蚀速率达 10 cm/a。又根据我们 3 次野外考察结果的对比,这个速率是合理的,局部岸段的侵蚀速率甚至可能远远超出这个值。

参考文献(References)

- [1] 与沉积环境[J]. 第四纪研究, 2001, 21(5): 470-478. [ZHAO Xitao, YU Ge, ZOU Xinqing. Pleistocene marine strata at Shenjian lighthouse profile of Hainan Island and the sedimentary environments [J]. Quaternary Sciences, 2001, 21(5): 470-478.]
- [2] 曹琼英. 海南岛西北岸三万年前前海相地层的发现及其意义[J]. 南京大学学报, 1986, 22(3): 545-550. [CAO Qiongying. Marine strata around coast of northwest part of Hainan Island [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences Edition), 1986, 22(3): 545-550.]
- [3] 钟石兰. 海南岛西北部早上新世晚期颗石藻类组合的发现及沉积环境分析[J]. 古生物学报, 1994, 33(4): 404-415. [ZHONG Shilan. First report of uppermost Lower Pliocene calcareous nannofossil assemblage and sedimentary environments from northwestern Hainan Island, China [J]. Acta Palaeontologica Sinica 1994, 33(4): 404-415.]
- [4] 王颖, 周旅复. 海南岛西北部火山海岸的研究[J]. 地理学报, 1990, 45(3): 322-330. [WANG Ying, ZHOU Lüfu. The volcanic coast in the area of northwest Hainan Island [J]. Acta Geographica Sinica, 1990, 45(3): 322-330.]
- [5] 王颖. 海南潮汐汉道港湾海岸[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 169-244. [WANG Ying. Tidal Inlet, Embayment Coast of Hainan [M]. Beijing: China Environmental Science Publishing House, 1998: 169-244.]
- [6] 孙建中, 严富华, 王庆隆. 琼北地区第四纪地层年代学研究[C]//海南岛北部地震研究文集. 北京: 地震出版社, 1988: 17-25. [SUN Jianzhong, YAN Fuhua, WANG Qinglong. Quaternary chronology of the north Hainan Island [C]//Collection of Seismic Research of the North Hainan Island. Beijing: Seismology Press, 1988: 17-25.]
- [7] 朱炳泉, 王慧芬. 雷琼地区 MORB-IOB 过渡型地幔源火山作用的 Nd-Sr-Pb 同位素证据[J]. 地球化学, 1989(3): 193-201. [ZHU Bingquan, WANG Huifen. Nd-Sr-Pb isotopic and chemical evidence for the volcanism with MORB-IOB source characteristics in the Leiqiong area, China [J]. Geochimica, 1989(3): 193-201.]
- [8] 葛同明, 陈文寄, 徐行, 等. 雷琼地区第四纪地磁极性年表—火山岩钾氩年龄及古地磁学研究[J]. 地球物理学报, 1989, 32(5): 550-558. [GE Tongming, CHEN Wenji, XU Xing, et al. The geomagnetic polarity time scale of Quaternary for Leiqiong region—the K-Ar dating and palaeomagnetic evidences from igneous rocks [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1989, 32(5): 550-558.]
- [9] 冯国荣. 华南沿海新生代玄武岩基本特征及其与构造环境的关系[J]. 中山大学学报论丛, 1992(1): 93-103. [FENG Guorong. Basic characteristics and relationship to tectonic environment of the Late Cenozoic basalts along the coast of South China Sea [J]. Sun Yatsen University Forum, 1992(1): 93-103.]
- [10] 黄镇国, 蔡福祥, 韩中元, 等. 雷琼第四纪火山[M]. 北京: 科学出版社, 1993. [HUANG Zhengguo, CAI Fuxiang,

[1] 赵希涛, 于革, 邹欣庆. 海南岛神尖灯塔剖面海相更新世地层

① 南海西北部末次盛冰期以来的古海岸线重建. 待刊.

[11] Ho K S, Chen J C, Juang W S. Geochronology and geochemistry of late Cenozoic basalts from the Leiqiong area, southern China[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2000, 18: 307-324.

[12] 樊祺诚, 孙歆, 李霓, 等. 琼北火山活动分期与全新世岩浆演化[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 533-544. [FAN Qicheng, SUN Qian, LI Ni, et al. Periods of volcanic activity and magma evolution of Holocene in North Hainan Island[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 533-544.]

[13] 汪啸风, 马大铨, 蒋大海. 海南岛地质(三)构造地质[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 54-56. [WANG Xiaofeng, MA Daquan, JIANG Dahai. Geology of Hainan Island (III): Tectonic[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 54-56.]

[14] 曾其爽. 海南岛西北部玄武岩海岸地貌研究[J]. 热带地貌, 1985, 6(2): 19-60. [ZHENG Qishuang. The study of basaltic coast of the northwest part of Hainan Island[J]. Tropical Geomorphology, 1985, 6(2): 19-60.]

[15] 刘以宣, 陈特固, 詹文欢, 等. 南海北部晚更新世以来的海侵与海平面变动及其对环境的影响[C]//南海海洋科学集刊(第 11 集). 北京: 科学出版社, 1995: 1-71. [LIU Yixuan, CHEN Tegu, ZHAN Wenhuan, et al. The transgression and eustasy, and their influence on the environment since Late Pleistocene in Northern South China Sea[C]//Nanhai Studia Marina Sinica (11). Beijing: Science Press, 1995: 1-71.]

[16] 王宝灿, 陈沈良, 龚文平, 等. 海南岛港湾海岸的形成与演变[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 161-162. [WANG Baocan, CHEN Shenliang, GONG Wenping, et al. Formation and Evolution of Embayed Coast of Hainan Island[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006: 161-162.]

CORRELATION AND IMPLICATION OF MARINE STRATA
AROUND LIANHUA MOUNTAIN IN NORTHWEST HAINAN ISLAND

YAO Yantao, ZHAN Wenhuan, SUN Jinlong, LIU Zaifeng, ZHAN Meizhen
(CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology,
Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China)

Abstract: Coast of the northwestern Hainan Island, north of the Wangwu-Wenjiao Fault, has been shaped into a volcanic coast by the middle Pleistocene volcanic eruptions. The formation of the Lianhua Mountain resulted in the uplift and deformation of a set of marine deposits, which by now were the only outcrops of pre-Holocene marine strata in the coastal area of China except for Taiwan. Therefore, researches on these strata might have great implications to understand the evolution of the volcanic coast. Due to strong deformation and subsequent weathering and erosion, however, the primary sequences and conformation of the marine strata have been badly destroyed. In this paper, 5 typical outcrops around the Lianhua Mountain was studied in detail, and then, based on lithology, attitude, coastal morphology and tectonics, local correlation was made to recover the original sequences of the strata. This information about the sedimentary facies, structures, distribution, and age of the marine strata, combined with the coastal morphology, was applied to speculate the paleogeography, paleoenvironment and deformation process of the volcanic coast. Before the middle Pleistocene, study area with pre-Holocene marine deposits was the foreshore of the coast frequently affected by transgression and regression, and sediments from both the north by waves and the south by rivers mainly accumulated there. Since the middle Pleistocene, tectonic uplift induced by volcanic eruptions lifted the marine strata and, subsequently, caused them to be subjected to weathering and erosion. After the last glaciation, with the sea level rising, the coastline rapidly retreated with an average rate of 10 cm/a, and erosion of the pre-Holocene marine strata resulted in a platform of approximately 1 km wide.

Key words: marine strata; stratigraphic correlation; coastal evolution; Lianhua Mountain; northwest Hainan Island