

# 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

钟石兰

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

## 内 容 提 要

首次研究了儋县境内神尖一带海岸出露的砂岩中的颗石藻类化石, 发现了 *Reticulofenestra pseudumbilica* 带(NN15), 从而证实这套砂岩的时代为早上新世晚期。同时, 依据颗石藻类组合中一些环境指示种, 论述了古海面升降、古地理和古环境变化, 认为当时该地处于滨海潮下环境, 海平面总趋势下降, 水温较高, 相当于热带或亚热带区域。

**关键词** 海南岛 砂岩 早上新世 颗石藻类 沉积环境 滨海

海南岛北部, 包括白马井断裂以北的福山拗陷, 属于北部湾盆地一部分(吴进民等, 1981)。根据钻孔资料, 晚第三纪本区发育了一套滨海、浅海相地层, 但有关露头剖面的古生物研究尚未见报道。

位于儋县三都镇西约 5km 的神尖一带海岸露头主要由泥质粉砂岩、砂岩、含砾砂岩组成。地层中含有丰富的有孔虫、双壳类、腹足类和海胆等化石。袁宝印(1984)将这套砂岩归属湛江组, 并根据砂岩层上覆玄武岩的古地磁分析, 认为与松山反向期相当, 时代为早更新世。早在 1964 年丁国瑜等曾笼统地指出湛江组的时代, 从晚第三纪至第四纪。孙建中等(1988)将神尖北侧公堂嶗海岸剖面\*的第 10 层以下划归上新世。然而曹琼英(1986)依据<sup>14</sup>C 年代测定结果指出, 这套砂岩的形成距今约 3 万年, 较湛江组之上覆北海组的时代晚(约 13—70 万年)。因此, 她提出建立“神尖组”的建议。继后, 王颖等(1990)研究海南岛西北部海岸玄武岩时, 也认为神尖灯塔、公堂上村、母鸡神剖面砂层属晚更新世的沉积。令人遗憾的是, 所有这些研究都缺乏充分的古生物依据。

笔者近年实地考察了神尖一带海岸露头剖面(插图 1), 系统采集了颗石藻类化石(即钙质超微化石)样品, 目的是通过颗石藻类研究, 论证所谓“神尖组”的地质时代, 同时对其沉积环境作出初步解释。

本研究得到中国科学院南京地质古生物研究所所长基金资助, 文中沟鞭藻类和有孔虫资料分别由何承全、孙息春提供, 茅永强和樊晓羿协助摄制或加印化石照片, 欧阳巧明清绘图件, 谨此一并致谢。

\* 公堂嶗海岸剖面与后面提到的神尖灯塔、公堂上村、母鸡神剖面, 即本文的神尖一带海岸剖面。

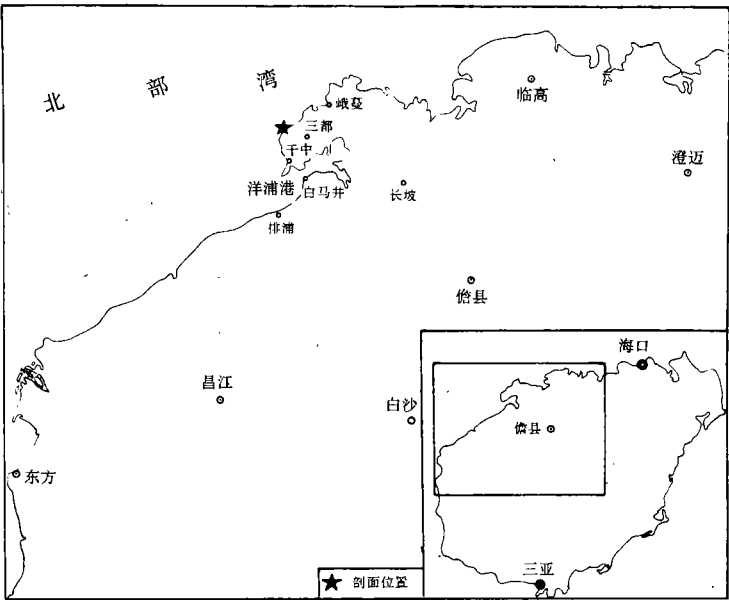


插图 1 剖面位置图  
The location of section

一、地层概述

神尖剖面走向 NE10°,离公堂上村最近处约 300m,形成陡峭的海岸,平均高出海面 10m 左右。出露地层构成两翼平缓的背斜,剖面中部地层有小错动,并有几处坍塌,经测量总厚度 37.35m。下部地层未见底,与上覆湛江组平行不整合接触,自上而下概述如下。

上覆湛江组

14. 紫红色砂砾层。厚度未丈量。

———平行不整合———

望楼港组

13. 灰黄色砂岩,泥岩互层,顶部浅灰色粉砂岩。泥岩中产颗石藻类化石 2.60m

12. 灰黄色中粗砂岩,下部和上部砂粒粗,中部细,夹泥质粉砂岩薄层。下部砂岩中见双壳类;颗石藻类化石稀少 2.40m

11. 灰黄色中粗砂岩,层理清晰。含双壳类。中上部夹 0.20m 左右的泥质条带,横向变化不稳定。方解石重结晶。颗石藻类化石丰度低,保存普遍较差 5.50m

10. 褐黄色砂岩。下部砂粒粗,含大量贝壳,虫管密集;上部砂粒变细,大有孔虫 *Operculina* (盖虫)大量富集。泥质团块和泥质条带遍布整层。自下而上颗石藻类化石数量和种类逐渐增加。标本保存完好程度逐渐提高 4.00m

9. 黄色中粗砂岩,下部和上部具有水平层理,中部具斜层理。颗石藻类化石稀少,种类单调 3.00m

8. 黄色细粒至中粗砂岩。颗石藻类化石稀少 2.70m

7. 黄色中粗砂岩,具交错层理和虫管构造,方解石重结晶或白云石化。下部见有少量颗石藻类化石,标本溶蚀增生严重 3.30m

6. 灰黄色含砾中粗砂岩, 间夹泥质条带。虫管构造较发育。含海胆、双壳类; 颗石藻类化石丰富度较低、保存差 5. 50m

5. 贝壳层, 底部有 1 层 0. 08m 的砾岩, 顶部有 1 层 0. 30—0. 35m 夹薄层泥岩的牡蛎层。贝壳、牡蛎保存完好, 排列不规则。顶部泥质薄层含较丰富的颗石藻类化石 1. 70m

4. 黄色粗砂岩。下部虫管构造发育, 虫管与层面呈垂直、倾斜、平行分布。岩性向上变粗, 泥质包裹体增加, 顶部有一层 0. 08m 的虫管砂层。颗石藻类化石总体保存尚好, 盘星石藻属溶蚀和增生现象突出 3. 50m

3. 黄色粗砂岩, 夹泥质包裹体; 上部为泥质粉砂岩, 具虫管构造。含双壳类、有孔虫、海胆刺等; 颗石藻类化石比较丰富, 标本溶蚀较严重, 上部泥质粉砂岩中标本普遍保存完好 1. 65m

2. 褐黄色含砾石粉砂岩。方解石重结晶严重。见有孔虫; 颗石藻类化石数量和种类较少, 标本明显受溶蚀或过分生长 1. 40m

1. 深灰色粉砂质泥岩。本层淹没在海水之中, 局部形成海滩平台, 退潮后出露 0. 20m 左右。含双壳类、有孔虫、沟鞭藻类; 颗石藻类化石丰富, 保存较好。

—————? —————

下伏地层被海水淹没, 情况不明。

## 二、研究材料和研究方法

砂岩, 尤其是粗砂岩对颗石藻类化石保存十分不利。我们采集神尖海岸露头剖面颗石藻类化石样品时主要选择砂层中的泥质包裹体、泥质条带和泥质粉砂岩、薄层泥岩。经室内分析, 颇见成效。

样品实验室处理, 采用直接涂片法制成玻片, 在偏光显微镜下观察、种类鉴定统计和照相, 少数样品采用扫描电镜观察照相。为了确保一些重要的数量稀少的种类不至遗漏, 每枚玻片在偏光显微镜中放大 1 250 倍, 观察 600 个视域以上。假设某种类在一个视域中出现的概率 0. 2%, 600 个视域至少能碰到 1 个标本。

数量统计时每个样品限于 120 个视域。在 120 个视域中每个种出现的个体数之和看作该样品含颗石藻类化石的绝对丰度; 每一种类在各个样品中的百分含量代表它的相对丰度, 分别以丰富(>50%), 常见(15—50%), 少见(5—15%), 稀少(<5%)。在 120 个视域以外见到的零星种类, 不在计算之列, 在图中用空心圆表示其存在。

## 三、颗石藻类化石组合特征

### (一) 颗石藻类化石组合成分

神尖一带海岸剖面自下而上均有颗石藻类化石分布, 并构成以 *Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Sphenolithus abies* 为代表的组合, 主要成分有: *Calcidiscus macintyre* (Bukry and Bramlette, 1969) *Loeblich and Tappan* (1978), *Coccolithus miopelagicus* Bukry (1971), *Coccolithus pelagicus* (Wallich, 1877) Schiller (1930), *Dictyococcites antarcticus* Haq (1976), *Discoaster asymmetricus* Gartner (1969) (见于个别层位), *Discoaster brouweri* Tan (1927) emend. Bramlette and Riedel (1954), *Discoaster pentaradiatus* Tan (1927) emend. Bramlette and Riedel (1954), *Discoaster surculus* Martini and Bramlette (1963), *Discoaster variabilis* Martini and Bramlette (1963), *Discoaster* sp., *Helicosphaera carteri*

(Wallich, 1877) kamptner (1954), *Helicosphaera kamptneri* Hay and Mohler in Hay *et al.* (1967), *Helicosphaera sellii* Bukry and Bramlette (1969), *Pontosphaera scutellum* Kamptner (1952), *Reticulofenestra pseudoumbilica* (Gartner, 1967) Gartner (1969), Small forms of "Reticulofenestrids" (小型网窗石藻类): *Reticulofenestra minuta* Roth (1970), *Reticulofenestra minutula* (Gartner, 1967) Haq and Berggren\* (1978), *Dictyococcites productus* (Kamptner, 1963) Backman (1980), *Sphenolithus abies* Deflandre in Deflandre and Fert (1954), *Sphenolithus moriformis* (Brönnimann and Stradner, 1960) Bramlette and Wilcoxon (1967), *Sphenolithus neoabies* Bukry and Bramlette (1969), *Umbilicosphaera sibogae* (Weber-van Bosse, 1901) Gaarder (1970), *Calcidiscus leptoporus* (Murray and Blackman, 1898) Loeblich and Tappan (1978), *Ceratolithus cristatus* Kamptner (1950), *Pontosphaera discopora* Schiller (1925), *Gephyrocapsa aperta* Kamptner (1963), *Pseudoemiliania lacunosa* (Kamptner, 1963) Gartner (1969), *Braarudosphaera bigelowii* (Gran and Braarud, 1935) Deflandre (1947) (个别层位罕见)。

## (二)组合的丰度和分异度

总体上说, *Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合的丰度和分异度较低,并显示纵向较明显的变化。1) 丰度优势种易位现象突出。剖面层1至层4下部, *Reticulofenestra pseudoumbilica* 居统治地位;向上代之以小型 "Reticulofenestrids" 地位显赫;层11下部, *Sphenolithus* spp. 曾一度称霸;此后,小型 "Reticulofenestrids" 一直占据绝对优势。2) 组合的绝对丰度,即在1250倍镜下统计120视域所得化石个体总数,垂直变化曲线峰谷与小型 "Reticulofenestrids" 相对含量垂直变化的曲线峰谷几乎一一正向对应,说明两者成正比关系。3) 值得注意的是, *Sphenolithus* spp. 相对含量垂直变化曲线的峰谷与小型 "Reticulofenestrids" 的峰谷呈反向对应,显然两者成反比关系。4) 样品中化石个体数量与种类多寡无关。如插图2所示,当丰度出现峰值时,分异度往往较低;另外,剖面下部种类较多,中部较贫乏,上部有所增加,分异度垂直变化强烈。5) 组合还包含一些数量贫乏,但具有重要时代和环境意义和种类。例如, *Discoaster* spp., *Sphenolithus neoabies*, *Coccolithus pelagicus*, *Ceratolithus cristatus*, *Gephyrocapsa aperta*, *Pseudoemiliania lacunosa* 等。6) 组合的保存状况较差,溶蚀 (eroded) 和增生 (overgrown) 很普遍。其中 *Calcidiscus*, *Helicosphaera*, *Pontosphaera*, 小型 "Reticulofenestrids" 等种类以溶蚀为主, *Disconster* 和 *Sphenolithus* 一些种类溶蚀和增生兼而有之。溶蚀和增生常常给种类识别带来困扰。总之, *Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合的成分和特征,为地层时代确定和古环境推测提供了重要依据。

## 四、关于地层时代

### 1. *Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合的主要标志种

化石颗石藻类的许多标志种 (marked species) 对海相中新世代地层划分对比的特殊作用早已为世人所证实。“标志种”系指那些时代跨度相对较短,初现面或末现面稳定,分布广泛,可作为划分生物地层带或确定地层界线标志的种类。现将 *Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合包含的重要标志种及它们的已知分布时代分别列举

如下:

*Reticulofenestra pseudumbilica*, 早中新世(NN2 带)至早上新世晚期(NN15 带)。

*Discoaster brouweri*, 中中新世(NN6 带)至晚上新世末期(NN18 带)。

*Discoaster pentaradiatus*, 中中新世(NN9 带)至晚上新世(NN17 带)。

*Discoaster surculus*, 晚中新世(NN10 带)至晚上新世早期(NN16 带)。

*Discoaster asymmetricus*, 早上新世晚期(NN14 带)至晚上新世(NN17 带)。

*Discoaster variabilis*, 中中新世(NN5 带)至上新世(NN17 带)。

*Sphenolithus abies*, 中中新世晚期(NN6 带)至早上新世晚期(NN15 带)。

*Sphenolithus neoabies*, 分布时代与 *S. abies* 基本一致。

*Pseudoemiliana lacunosa*, 早上新世末期(NN15 带顶部)至早更新世(NN19 带)。

*Gephyrocapsa aperta*, 早上新世晚期(NN15)至现代。

归纳上述标志种的分布时代,清楚地展示上新世的色彩。其中 *R. pseudumbilica* 是 NN15 带的代表种,它和 *S. abies*, *S. neoabies* 的末现面是这个带的上限,也即下上新统和上上新统的分界线。带的下界标志种 *Amaurolithus tricorniculatus* (Gartner, 1967) Gartner and Bukry (1975) 在这里缺失。因此,可以确定神尖一带海岸出露的砂岩层是早上新世晚期的产物,相当于颗石藻类 *R. pseudumbilica* 带(NN15)的一部分。

## 2. 沟鞭藻类和有孔虫证据

剖面层 1 中发现了沟鞭藻类 *Spiniferites pseudofurcatus* (Klumpp, 1953) Sarjeant (1970), 其分布时代为晚古新世至早上新世。层 1 至层 13 下部均见有孔虫 *Globigerinoides extremus* Bolli and Bermudez. 这个种的分布时代最晚不超过上新世末期。沟鞭藻类和有孔虫的资料很好地印证了上述颗石藻类的时代意见。

## 3. 实测年龄新资料

关于神尖海岸砂岩的时代还可以由上覆湛江组的年龄资料得到佐证。根据黄镇国等\*提供的最新资料,雷琼地区湛江组的实测年龄为  $76.08 \pm 7.6 - 187.2 \pm 9.36$  万年,时代为早更新世。从而证实神尖海岸砂岩的时代早于更新世无疑。

鉴于北部湾盆地上新世地层统称望楼港组,神尖海岸砂岩应相当于望楼港组的中部,毋须另立新的地层名称。

# 五、沉积环境初步分析

研究表明,颗石藻类化石常常是古海洋中盐度、温度、深度、养分等诸多要素,以及海平面升降或海进海退很好的指示物。由于本研究材料所限,这里主要依据颗石藻类组合特征,参考沟鞭藻类、有孔虫和沉积岩有关资料,对早上新世晚期神尖一带海区环境的变迁作一粗略分析和推测。

1. 古海面 颗石藻类组合的分异度与海平面升降有密切关系。颗石藻类繁盛,种类众多,往往是海平面上升,或者海进的标志。反之,则海平面下降,海退发生。神尖海岸剖面层

\* 黄镇国、蔡福祥:雷琼地区湛江组的时代与沉积环境。

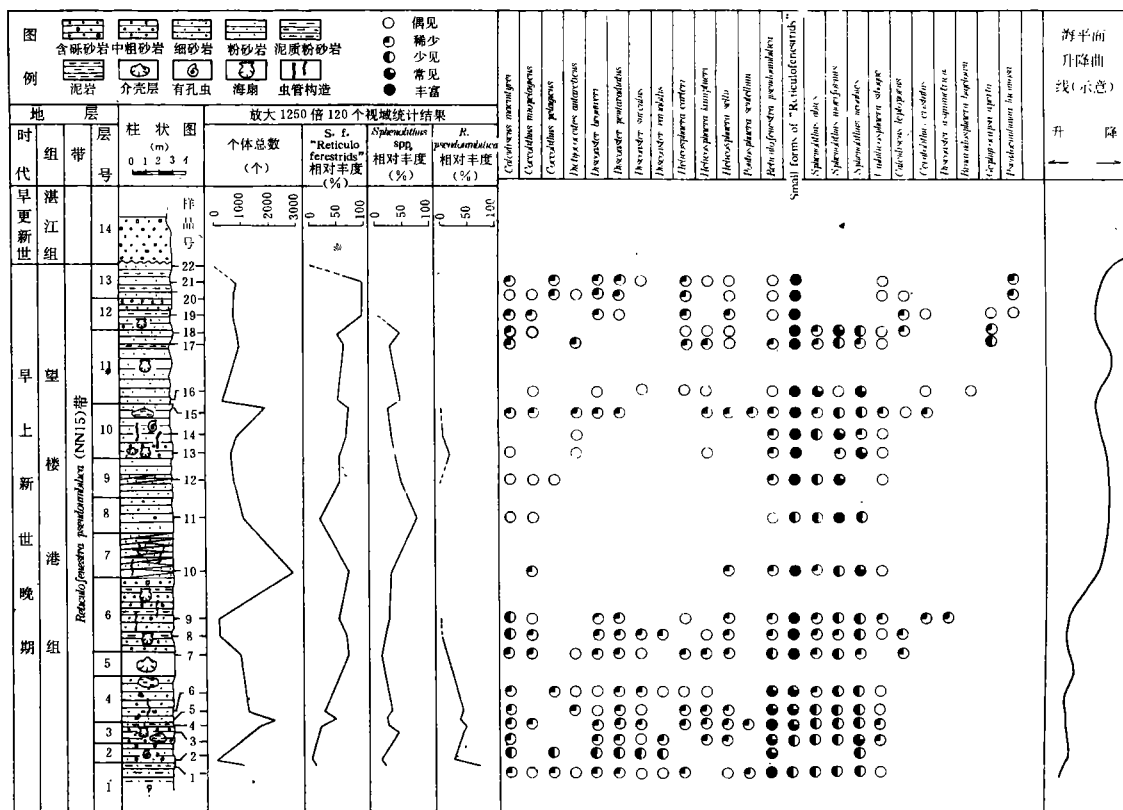


插图 2 神尖海岸下上新统上部柱状剖面, 颗石藻类分布及相对含量图

The column of section, distribution and relative abundance of calcareous nannofossils from uppermost Lower Pliocene at Seijiang seashore belt

1 至层 6 下部颗石藻类组合分异度较高;层 10 和层 11 之间,层 11 上部种类也相对较多;其它层位则较贫乏。从分异度代变判断,早上新世晚期神尖一带海区海平面呈下降的总趋势。大致过程是,起初海面较高,深度较大,并曾一度稳定后出现大幅度下降,但其中至少有 3 次小规模回升,最终海水退出本区,长期处于沉积间断,直至早更新世沉积了湛江组覆以其上。海平面升降在沉积特征方面同样反应强烈。当海平面处在高位或回升时,砂岩中的泥质成分较高;反之,则砂质较纯。这一性质与颗石藻类分异度变化相对应。

2. 古环境 盘星石藻属 (*Discoaster*) 是大洋环境的代表, 在陆缘海沉积物中从未大量出现。当前的 *Reticulofenestra pseudoumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合所见 *Discoaster brouweri*, *D. pentaradiatus*, *D. surculus*, *D. variabilis* 等在剖面中均零星分布, 多数层位仅仅偶尔见及。相反, 一些浅水近岸类型, 例如 *Sphenolithus*, *Reticulofenestra minutula*, *R. minuta* 等, 常常在组合中占优势。此外, 在颗石藻类样品中普遍含有浮游有孔虫 *Globigerinoides extremus* Bolli and Bermudez, *Globigerinoides triloba* (Reuss), *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny), *Orbulina universa* d'Orbigny, *Globorotalia menardii* (d'Orbigny) 等。底栖有孔虫十分丰富, 层 10 下部出现盖虫 (*Operculina*) 富集层; 大化石双壳类、海扇、腹足类、海胆等, 也很常见。所以不难想象当时的沉积环境位于低潮线以下, 海水

有一定深度,是与外海连通的正常海区,比较适宜浮游生物繁殖。再结合沉积特征分析,砂岩粒度以细至中粗为主,间夹含砾粗砂,总趋势是由下往上变细;剖面中部砂岩具水平和交错层理;不时出现介壳层;中下部虫管构造发育,生物扰动强烈。这些特征与海滩临滨进积体系基本相符,与海平面波动紧密联系。

3. 古气候 颗石藻类生活在海洋的真光层(euphotic zone),直接受气候的控制,从而化石颗石藻类作为古气候的指示物比其他微体化石效果更佳。神尖海岸剖面 *Reticulofenestra pseudumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合的一些重要分子,如 *Sphenolithus neoabies*, *Ceratolithus cristatus*, *Discoaster brouweri*, *D. pentaradiatus*, *D. surculus* 等,是典型的暖水种。偏向温凉的 *Coccolithus pelagicus* 在组合中含量甚微。这个种在暖水区常有少量出现,可能其少数分子向低纬度区流窜,或者与洋流携带有关。其他种类多为广温型。此外,层 1 的沟鞭藻类以收缩式沟鞭藻囊泡占绝对优势,这是暖水环境的标志;其中 *Tuberculodinium vancampoe* (Rossgnol, 1962) Wall (1967) 更是喜暖分子。层 1 还发现大量微体有孔虫。所有这些足以说明当时神尖一带常年气温较高,相当于热带—亚热带气候。

值得指出,神尖海岸砂岩含有大量方解石和白云石。方解石多数重结晶,白云石晶形则较完好(图版 II, 图 27)。由此推测,成岩作用过程或之后发生白云石化很可能是砂岩中颗石藻类化石普遍溶解和增生的主要原因之一。

## 六、结论

颗石藻类化石是海相中新世代地层划分对比的重要依据之一;也是研究古海洋学,恢复古环境、古气候的可靠指示物。神尖海岸砂岩 *Reticulofenestra pseudumbilica*-*Sphenolithus abies* 组合的发现,证实该地层时代为早上新世晚期,澄清了长期以来认为属早更新世或晚更新世的观念。通过颗石藻类组合特征分析,参考有孔虫、沟鞭藻类和沉积岩资料,对古海洋学的一些要素作了初步解释,指出早上新世晚期神尖一带海区海平面向着下降的趋势发展;这套砂岩层是大约在海滩低潮线以下临滨带发育起来的进积体系的产物;但海水常年温度较高,地处热带—亚热带气候区。

上述结论表明,神尖一带早更新世湛江组直接覆盖下上新统之上,缺失了整个上上新统。如果今后有更多资料证实这一现象的区域性分布,无疑将为南海北部构造运动发展、火山活动规律、古环境古气候演替等研究充实新的内容;也将为该区油气勘探开发和远景评价提供新的信息。

## 参 考 文 献

- 丁国瑜、陈明扬、高维明、杨理华、郑洪汉,1964: 海南岛第四纪地质的几个问题。见第四纪地质几个问题,207—233 页。科学出版社。
- 王国忠、吕炳全、全松青,1982: 海南岛更新世白云岩的发现及其形成环境分析。同济大学学报。(4):18—26。
- 王 颖、周旅旋,1990: 海南岛西北部火山海岸的研究。地理学报,45(3):321—330。
- 中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室,1988: 南海地质构造与陆缘扩张。科学出版社。
- 孙建中、严宗华、王庆隆,1988: 琼北地区第四纪地层年代学研究。海南岛北部地震研究文集,17—25 页。地震出版社。
- 吴进民、叶学洋,1981: 南海北部大陆架第三纪地层对比及若干问题讨论。曾鼎乾主编:南海北部大陆架第三系,179—

201页。广东科技出版社。

袁宝印,1984: 海南岛北部第四纪玄武岩分期问题。中国地理学会第一次构造地貌学术讨论会论文选集,182—187页。科学出版社。

黄玉昆,1980: 南海北部沿岸晚第三纪以来地壳运动的基本特征。中山大学学报,(3):54—63。

黄玉昆、邹和平,1992: 雷琼新生代断陷盆地构造特征及其演化。中山大学学报论丛,(1):1—10。

曹琼英,1986: 海南岛西北岸三万年前后浅海相地层的发现及其意义。南京大学学报,22(3):545—550。

Aubry, M. P.. 1984. 1988. 1989: Handbook of Cenozoic calcareous nannoplankton. Micropaleontology Handbook Series. Books 1—3. Micropaleontology Press American Museum of Natural History.

Bukry, D.. 1971: Cenozoic calcareous nanofossils from the Pacific Ocean. Trans. San Diego Soc. Nat. Hist.. 16: 303—327.

Bukry, D.. 1973: Lower-latitude coccolith biostratigraphic zonation. Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.. 15: 685—703.

Martini, E.. 1971: Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: Farinacci, A. (ed.). Proc. II Plankt. Conf.. 2: 739—785.

Martini, E.. 1980: Oligocene to recent calcareous nannoplankton from the Philippine Sea. Deep Sea Drilling Project Leg 59. Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.. 59: 547—565.

Martini, E. and Müller, C.. 1986: Current Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton stratigraphy and correlations. Newsl. Stratigr.. 16(2):99—112.

Matrini, E. and Worsley, T.. 1971: Tertiary calcareous nannoplankton from the western Equatorial Pacific. Deep Sea Drill. Proj.. 7(2):1471—1507.

McIntyre, A.. 1967: Coccoliths as paleoclimatic indicators of Pleistocene glaciation. Science. 158: 1314—1317.

Müller, C.. 1979: Calcareous nanofossils from the north Atlantic (Leg 48). Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj.. 48: 589—639.

Perch-Nielsen, K.. 1985: Cenozoic calcareous nanofossils. In: H. Bolli, J. B. Saunders and K. Perch-Nielsen (eds.). Plankton stratigraphy. 329—554. Cambridge University Press.

Pujos, A.. 1987: Late Eocene to Pleistocene medium-sized and small-sized "Reticulofenestrids". Abh. Geol. B.-A.. 39: 239—277.

Zhong S. L. and Zhong B. Z.. 1989: Miocene—Early Pliocene calcareous nanofossils from Leizhou Peninsula, South China. In: Liu G., Tsuchi R. and Lin Q.. (eds.). Proceedings of International Symposium on Pacific Neogene Continental and Marine Events. 43—50. Nanjing University Press.

[1993年9月4日收到]

## FIRST REPORT OF UPPERMOST LOWER PLIOCENE CALCAREOUS NANNOFOSSIL ASSEMBLAGE AND SEDIMENTARY ENVIRONMENTS FROM NORTHWESTERN HAINAN ISLAND, CHINA

Zhong Shi-lan

(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, Nanjing 210008)

**Key words:** Hainan Island, sandstones, Early Pliocene, calcareous nanofossils, sedimentary environments, inshore



## Summary

The stratigraphical section in this study area mainly consists of fine and medium-grained sandstones, 37.35m in total thickness, and exposed at the Sejiang seashore belt, northwest of Hainan Island. The rocks below the sandstone outcrop still remain unclear because of submergence by sea water at present, but the sandstones bearing a great number of marine fossils are in unconformable contact with the overlying Zhanjiang Formation. Two views on the age of this suite of sandstones have been proposed by previous researchers, i. e., Early Pleistocene and Late Pleistocene. There are grounds for us, however, to doubt their reliability because they were based on insufficient paleontological evidences. It is well-known that the calcareous nannofossil serves as a very available tool for making biostratigraphical division and comparison, and also as a considerable indicator of paleoenvironments. This paper deals with the stratigraphical geological period and paleoenvironments based on calcareous nannofossils.

### 1. Biostratigraphy

Under detailed study are totally 22 calcareous nannofossil samples collected from the outcrop section of the Sejiang seashore belt. The results indicate that these samples all bear more abundant calcareous nannofossils, except one of them (Sample no. 22) from the top of the section. This calcareous nannofossil assemblage is composed of the following species: *Calcidiscus macintyre* (Bukry and Bramlette, 1969) Loeblich and Tappan (1978), *Coccolithus miopelagicus* Bukry (1971), *Coccolithus pelagicus* (Wallich, 1877) Schiller (1930), *Dictyococcites antarcticus* Haq (1976), *Discoaster asymmetricus* Garther (1969), *Discoaster brouweri* Tan (1927) emend. Bramlette and Riedel (1954), *Discoaster pentaradiatus* Tan (1927) emend. Bramlette and Riedel (1954), *Discoaster surculus* Martini and Bramlette (1963), *Discoaster variabilis* Martini and Bramlette (1963), *Discoaster* sp., *Helicosphaera carteri* (Wallich, 1877) Kamptner (1954), *Helicosphaera sellii* Bukry and Bramlette (1969), *Pontosphaera scutellum* Kamptner (1952), *Reticulofenestra pseudumbilica* (Gartner, 1967) Gartner (1969), and small forms of "Reticulofenestrids", including: *Reticulofenestra minuta* Roth (1970), *Reticulofenestra minutula* (Gartner, 1967) Haq and Berggren (1978), *Dictyococcites productus* (Kamptner, 1963) Backman (1980), *Sphenolithus abies* Deflandre in Deflandre and Fert (1954), *Sphenolithus moriformis* (Brönnimann and Stradner, 1960) Bramlette and Wilcoxon (1967), *Sphenolithus neoabies* Bukry and Bramlette (1969), *Umbilicosphaera sibogae* (Weber-van Bosse, 1901) Gaarder (1970), *Calcidiscus leptoporus* (Murry and Blackman, 1898) Loeblich and Tappan (1978), *Ceratolithus cristatus* Kamptner (1950), *Pontosphaera discopora* Schiller (1925), *Gephyrocapsa aperta* Kamptner (1963), *Pseudoemiliana lacunosa* (Kamptner, 1963) Gartner (1969).

This assemblage can be correlated with the *Reticulofenestra pseudumbilica* zone

(NN15) based on the existence of *R. pseudoumbilica*, *Sphenolithus abies* and *S. neoabies*, the latest occurrence of which are usually used for defining the upper boundary of this zone, even though *Amaurolithus tricoriculatus* (Gartner, 1967) Gartner and Bukry (1975), the marker of the lower boundary, is not encountered in all samples. In addition, the dinoflagellate *Spiniferites pseudofurcatus* (Klumpp, 1953) Sarjeant (1970), ranging from Late Paleocene to Early Pliocene in age, has not been found in Bed 1. *Globigerinoides extremus* Bolli and Bermudez, a Tertiary planktonic foraminifer never extending into Early Pleistocene, frequently appeared in Beds 1—13. No marine fossils have been discovered from Bed 14 of the overlying Zhanjiang Formation. Based on chronological measurements, the Zhanjiang Formation dates back to about  $0.7606 \pm 0.076$ — $1.872 \pm 0.0936$  MaBP corresponding to the Early Pleistocene in age. There is a hiatus, therefore, obviously present between Early Pliocene and Early Pleistocene in the study area. This phenomenon may be closely related to a widespread regression around the world during Late Pliocene. On the other hand, as a unit of the Pliocene neritic deposits exhibited by drilling holes for petroleum, the Wanglougang Formation has an extensive distribution in the Beibu Gulf Basin. In view of these, there is no hesitation in recognizing that the sandstones with calcareous nannofossils at Sejiang seashore belt correspond to the upper part of the Lower Wanglougang Formation.

## 2. Paleoenvironments

Text-figure 2 shows qualitative calculations obtained from volumes in 120 fields to magnify 1 250 times under polarization microscope. It is obvious that the abundance (including absolute-relative abundance) and diversity of calcareous nannofossil assemblage tended towards reduction, although there are several fluctuations from lower to upper parts of the section. This phenomenon in calcareous nannofossil assemblage is a reflection of the changed sea level. Several episodes of eustatic events have happened during late Early Pliocene until the withdrawal of sea water from this area. The sea level changes are possibly confirmed by the regression series else, as the sediments are generally characterized by the coarse to fine-grained strata from lower to upper parts.

The sea water temperature was higher than that of the modern time, due to the presence of some type warm water species in the calcareous nannofossil assemblage, such as *Sphenolithus neoabies*, *Ceratolithus cristatus*, *Discoaster brouweri*, *Discoaster pentaradiatus*, *discoaster surculus*, etc. The dinoflagellate *Tuberculodinium vancampoe* (Rossgnol, 1962) Wall (1967), from Bed 1, is also a marker of the warm ocean.

Discoasterids, as an indicator of the normal open sea, are never rich in epicontinental sediments. A few species of genus *Discoaster* have scattered in the study strata. On the contrary, the assemblage is dominated by small forms of "reticulofenestrids" and *Sphenolithus* spp. preferring a shallow-water environment. In sedimentary features, the worm-like structures are quite developed, with more common pelecypods (*Pecten* and *Ostrea*), gastropods, large foraminifera (*Operculina*) and Echinoldea except for two

shell-beds in the sandstones. In a word, these constructions took place under inshore and high energy environments.

### 3. Conclusion

The strata exposed at Sejiang sea shore belt are built essentially of sandstones from neritic inshore environments of the tropical or subtropical zone, and have been accurately determined as belonging to late Early Pliocene in age based on calcareous nannofossils and other relevant information of palaeontology and sedimentology.

## 图 版 说 明

所有样品采自海南省儋县神尖海岸下上新统上部。样品和玻片保存在中国科学院南京地质古生物研究所。

### 图 版 I

(均为常光显微照片,放大2 500倍)

1—3. *Discoaster brouweri* Tan emend. Bramlette and Riedel

1. 样品号8-1; 2. 样品号14-1, 标本严重增生; 3. 样品号20, 样本增生。

4, 5. *Ceratolithus cristatus* Kamptner

样品号8-1。

6. *Discoaster asymmetricus* Gartner

样品号9, 罕见。

7, 8. *Discoaster* cf. *pansus* (Bukrya and Percival) Bukry

7. 样品号8; 8. 样品号8-1。

9. *Discoaster pentaradiatus* Tan emend. Bramlette and Riedel

样品号8-1。

10, 11. *Discoaster surculus* Martini and Bramlette

样品号1。

12. *Discoaster variabilis* Martini and Bramlette

样品号1。

### 图 版 II

(正交偏光显微照片, 除图27放大1 000倍外, 其余为2 500倍)

1, 2, 7. *Reticulofenestra minutula* (Gartner) Haq and Berggren

1.  $\times 0^\circ$ , 2. 标本同1,  $\times 45^\circ$ , 样品号21;

7.  $\times 0^\circ$ , 松散球粒, 样品号7。

3, 4. *Reticulofenestra minuta* Roth

同一标本, 3.  $\times 0^\circ$ , 4.  $\times 45^\circ$ , 样品号20。

5, 6. *Dictyococcites productus* (Kamptner) Backman

同一标本, 5.  $\times 0^\circ$ , 6.  $\times 45^\circ$ , 样品号21。

8, 9. *Sphenolithus moriformis* (Brönnimann and Stradner) Bramlette and Wilcoxon

同一标本, 8.  $\times 0^\circ$ , 9.  $\times 45^\circ$ , 样品号1。

10. *Calcidiscus macintyre* (Bukry and Bramlette) Loeblich and Tappan

$\times 0^\circ$ , 样品号4。

- 11,12. *Sphenolithus abies* Deflandre in Deflandre and Fert  
同一标本,11.  $\times 0^\circ$ ,12.  $\times 45^\circ$ ,样品号21。
- 13,14. *Reticulofenestra pseudumbilica* (Gartner) Gartner  
13.  $\times 0^\circ$ ,样品号4;14.  $\times 0^\circ$ ,样品号21。
15. *Reticulofenestra gelida* (Geitzenauer) Backman  
 $\times 0^\circ$ ,样品号20,偶见。
16. *Ceratolithus cristatus* Kamptner  
 $\times 0^\circ$ ,样品号8-1。
- 17—20. *Coccolithus miopelagicus* Bukry  
17,18. 同一标本,17.  $\times 0^\circ$ ,18.  $\times 45^\circ$ ,样品号7;19,20. 同一标本,19.  $\times 0^\circ$ ,20.  $\times 45^\circ$ ,样品号20。
- 21,22. *Coccolithus pelagicus* (Wallich) Schiller  
同一标本,21.  $\times 0^\circ$ ,22.  $\times 45^\circ$ ,样品号20。
- 23,24. *Helicosphaera sellii* Bukry and Bramlette  
同一标本,23.  $\times 0^\circ$ ,24.  $\times 45^\circ$ ,样品号19。
- 25,26. *Helicosphaera kamptneri* Hay and Mohler in Hay et al.  
同一标本,25.  $\times 0^\circ$ ,26.  $\times 45^\circ$ ,样品号21。
27. 白云石晶体  
 $\times 0^\circ$ ,样品号10。

图 版 II

(扫描电子显微照片)

- 1—4. *Reticulofenestra minutula* (Gartner) Haq and Berggren  
1. 远极面, $\times 8\,000$ ,盾和领环溶蚀;2. 近极面, $\times 10\,000$ ;3. 近极面, $\times 8\,000$ ;样品号1。4. 松散球粒,上4个标本为远极面,下5个标本为近极面, $\times 4\,800$ ,样品号19。
- 5,6. *Gephyrocapsa aperta* Kamptner  
均为远极面,盾环溶蚀;5.  $\times 10\,000$ ,样品号19;6.  $\times 13\,000$ ,样品号17。
7. *Pseudoemiliana lacunosa* (Kamptner) Gartner  
远极面, $\times 8\,000$ ,样品号19。
8. *Reticulofenestra minuta* Roth  
远极面, $\times 10\,000$ ,样品号19。
9. *Umbilicosphaera sibogae* (Weber-van Bosse) Gaarder  
远极面, $\times 6\,700$ ,样品号17。
- 10,12. *Reticulofenestra minuta* Roth  
10. 近极面, $\times 12\,000$ ,样品号1;12. 远极面, $\times 12\,000$ ,样品号19。
11. *Reticulofenestra minutula* (Gartner) Haq and Berggren  
右3个标本远极面,左2个标本近极面斜侧视, $\times 8\,000$ ,样品号19。

