

南海地质调查指挥部
4-13-04

南海地质论文集

第四纪



NANHAI-GEOL-QUATERNARY

地质矿产部南海地质调查指挥部情报研究室

封面设计：姚欣光

本期责任编辑

张松举

南海地质译文集

第四集

(内部发行)

1985年10月

编辑者 《海洋地质》编辑部

出版者 南海地质调查指挥部情报研究室

印刷者 广州军区空军政治部印刷厂

地址 广州市1180信箱

目 录

南海第四纪海平面变化.....	(1)
南海海底沉积物中的矿物.....	(22)
南海盆地北部浊流形成的运移沉积物波.....	(36)
第四纪时南海陆架的发育.....	(42)
南海与暹罗湾沉积物中的粘土矿物.....	(46)
泰国湾的底质和悬浮物质.....	(51)
菲律宾海远洋沉积物的矿物、化学与结构特征.....	(59)
马来亚群岛诸内海现代沉积物中的底栖有孔虫.....	(74)
印度尼西亚第四纪地质研究的回顾.....	(79)
苏禄海的沉积作用.....	(88)
东南亚的成矿作用.....	(102)
东南亚矿物砂和砂锡矿来源的评述.....	(121)
马泰半岛矿化的地质环境.....	(129)

南海第四纪海平面变化

B. 比斯瓦斯

〔摘要〕广阔的南海陆架区为研究第四纪海平面升降变化周期提供了一个良好的地区，由于水深不超过200米，并且在大部分地区不到100米，因此较小的海平面升降就会在沉积相上引起很大的横向变化。

在西马来西亚东海岸外，冲击取心所获取的证据为第四纪海平面升降的变化周期及其范围提供了资料。岩性变化结合有孔虫、孢子花粉的资料表明，南海的广大地区由深至浅地从中等深度的浅海（50~100米），变为红树林沼泽、淡水湿地和含煤沼泽或红土化地表。

最近的一次海平面下降发生于11,000±年前，相当于最晚一次的威斯康辛/武木冰期。还可以观察到两次，或可能三次较老的更新世海平面下降。

前 言

大洋盆地和大陆地盾与世界规模的构造变动周期有着密切的关系，第四纪海平面的升降变化对此提供了重要的证据。不但大洋盆地会周期性地溢上大陆和退出陆架，而且大洋盆地和大陆本身也会发生巨大的构造变动。

陆架上很多被淹没的红树林沼泽、上升的海滩和伸入陆架上面的水系均记录了第四纪海平面升降变化的证据。温带地区大地冰碛前缘的进退，以及热带和亚热带山岭雪线的上下变动均反映了气候的恶化和转暖。印度的西瓦利克层（Siwalik）和爪哇的震旦纪哺乳动物的迁徙以及植物群落的变化均与第四纪气候的变化周期有关。最近，已利用浮游有孔虫旋壁方向的变化来判别深海沉积物中的第四纪气候变化。

巽他陆架无疑是阐明壮观的第四纪构造变动的典型地区之一。莫伦格拉夫（Mole-
ngraaf）在被淹没的巽他陆架的等深图上辨识出存在两条巨大的第四纪水系的证据（图1）。根据他的解释，北巽他河的上源位于西加里曼丹和苏门答腊，并在纳土纳群岛附近流入南海。而东巽他河则发源于爪哇和南加里曼丹，并在望加锡海峡的南端注入巴厘海。

随着近海石油勘探的进展，现在我们根据获自第四纪岩心样品的确凿而雄辩的资料，可以再增加一条证据来说明巽他区域的海平面的升降变化。埃索公司在西马来西亚东海岸外几个点上进行的冲击取心和海底取心，为目前位于100英里或100英里之外的近海区的变浅甚至出露水面的周期性的变化提供了岩性、有孔虫和孢子花粉方面的证据（图1~4、图版1~3）。岩性资料或者表明在某些地点存在一红土化的地表，或者表明

在另外一些地点存在大量的红土冲刷物。有孔虫资料同样揭示了某些原来水源达 200 英尺或更深的地点后来已转变为咸水泻湖、红树林沼泽和含煤沼泽；而在另外一些地点则由原来的 250 英尺水深变为水深很少超过 30~50 英尺的海湾。获自现在水深为 200 英尺的点上的粘土和粘土岩尽管含有大量的有孔虫，但却明显地没有孢子花粉。就在以上各点的全新世—更新世界面以及老更新世海退表面上的沉积物，含有大量红树林沼泽孢子花粉，却缺少有孔虫。现代为砂质的西马来西亚东海岸不过只有少量残存的红树类植物，在受到保护的西海岸红树类植物却非常茂盛兴旺。因此，在东海岸外所取岩心的第四纪海退面所含的红树孢子花粉的丰度，便揭示了它们（东西海岸）在第四纪海平面下降时期具有完全不同的地形。

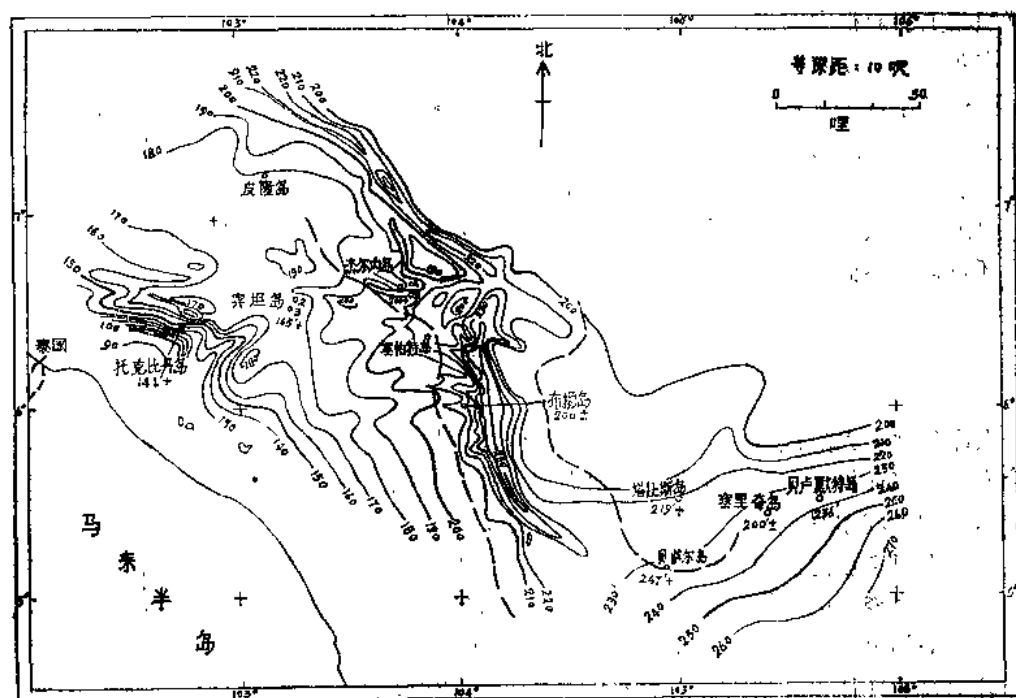


图 1 马来亚东海岸外现代水深和全新世—晚更新世海岸线的大致位置。

说明：(1) —— 表示全新世—更新世界面的海岸线的大致位置，
(2) 247+ 表示位于全新世—更新世界面位置上海水变浅的幅度。

岩 性 证 据

岩性概述

图 2 为八枚冲击钻所取岩心的柱状图，时代从全新世至晚更新世。图 4 则为全新世至老更新世的二枚海底岩心的柱状图。

全新世—更新世界面以上的沉积物一律为在水深 144~247 英尺（经测量的海底深

度)中沉积下来的绿色或黄绿色的未固结的粘土。

全新统一更新统界面以下的粘土固结程度一般较高,或为粘土岩,或为粘土,但塑性肯定较之与其相应的全新世的沉积物更差。只有塞帕特(Sepat)1号和皮隆(Pilong)1号两个岩心是例外,在这两个岩心中,剖面开始便是粘土/粘土岩(根本不存在一未固结层)。由于冲击取心时岩管是从顶部插入海底的,故很可能这两次取心时未能回收到全新世的粘土。在路易斯安那近海也曾发现全新统一更新统界面下的粘土固结程度更高的现象。

更新世末期和早更新世海退面上的粘土和粘土岩都呈灰色,而不同于深海粘土所具的绿色。显然,在变浅的盆地中沉积下来的粘土和粘土岩中碎屑有机物质的含量较高,这便是它们呈灰色的原因。

红土化作用

在托克比丹(Tokbidon)1号、宾坦(Bintang)1号和塔比斯(Tapis)1号等三处,在全新世—更新世界面上遇到了红土化的表层。红土化的形式是呈带状的红色、褐色和绿色,或由这些颜色混杂在一起的颜色(图2、3)。在另外四处同样变浅的层位上有大量的红土冲刷物。只有在一处,即塞力奇(Seligi)1号上,即未遇到红土化表层,也未遇到红土冲刷物。尽管在全新统一更新统的分界处发生过可观的浅化。

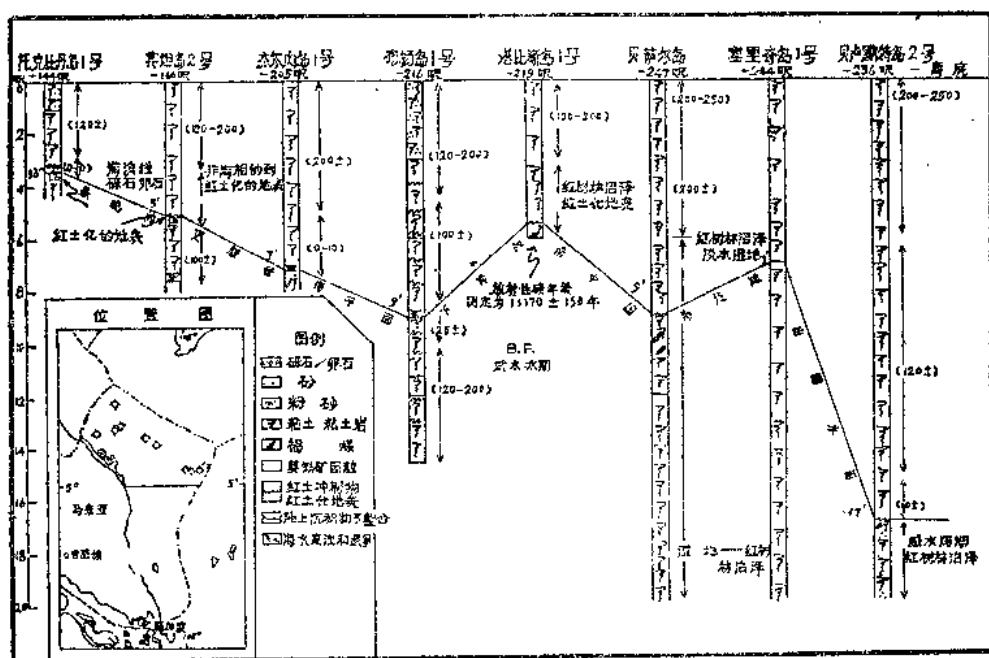


图2 西马来西亚东海岸外更新世海平面的下降。

说明: (1) - 144英尺表示海底的平均深度; (2) (120 ±) 表示层间的解释沉积深度,以英尺计; (3) 所有的柱状剖面均系根据冲击岩心绘制。

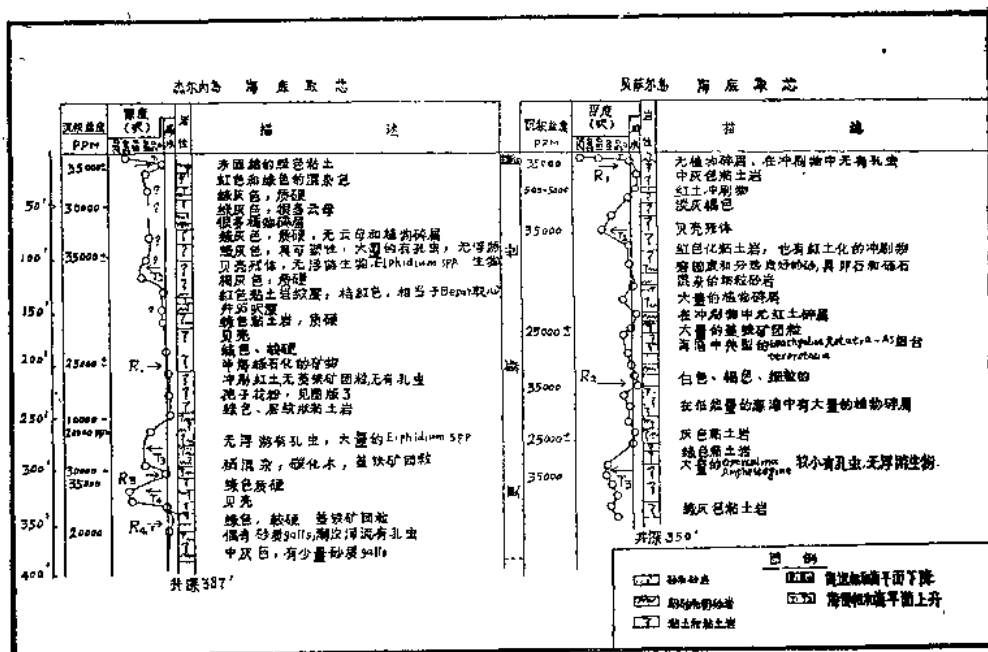


图4 西马来西亚近海海平面下降的第四纪周期

浮游有孔虫的分布的研究，托德 (Todd) 和布罗尼曼 (Bronnimann) 对红树林沼泽 I 和 II 的群落的研究，以及笔者关于印度海岸的资料尤其有用。

表1至4所列有孔虫只包括较常见的一些种属。这些组合提供的古深度解释如下：

表1:组合A, 塞力奇1号, 在水深244英尺的海底的现代组合。

表2:组合B,塞力奇1号,更新世末期,海底以下6英尺(全新世—更新世海水变浅)。古深度被解释为30至50英尺。

表3:组合C,塞力奇1号,晚更新世,海底以下25英尺。古深度被解释为300英尺。

表4:组合D, 杰尔内2号, 早更新世, 海底以下338英尺。古深度被解释为200至250英尺。

如果盆地变浅为红树林沼泽或淡水湿地而缺失有孔虫,则可根据红树植物的植物组织、孢子花粉以及淡水植物来解释环境和古深度。

表1至4所列的有孔虫只是一些比较常见的种属,从其它地方的相应深度上所取的现代海底样品也发现含有*Clavulina multicamerata* (Chapman), *Spiroloculina communis* (Cushman和Todd), *Ammomassifina alveoliformis* (Millett), *Siphonotextularia conca* (Carrer), *Haueriana* spp., *Peneroplis* sp., *Lagena hispida* (Reuss), *Entosolenia* sp., *Planorbulinella larvata* (Parker和Jones) *Loxostomum* sp., indet. (pl. 53, 图14, 15, Barker, 1960), *Buliminoides williamsonius* (Brady), *Cassidulina Crassa* (d'Orb.), *Hoeglundina elegans* (d'Orb.), *Rosalina* sp. (未定)。

各方面对浮游有孔虫组合的研究表明，这些浮游有孔虫种属的旋向受到气候（也就

是温度)变化的控制。右旋主要见于相对比较温暖的海水环境内,而左旋占优势的则多出现于寒冷的海水环境中。南中国海的底栖有孔虫的旋向也各不相同,但因海底温度比较恒定,因此左旋及右旋所占的比例通常基本相当。在南中国海第四纪浮游生物有孔虫中未曾发现过旋向的变化。

与博里(Bolli, 1966)的观察相反,在南中国海的邻接地区有足够沉积深度的地方的早一中更新世地层中发现了*Globorotalia truncatulinoids*。

表1 塞力奇1号水深244英尺处,现代,有孔虫组合A

Planktonic Species:

<i>Orbulina universa</i> d'Orb.	rare
<i>Globorotalia menardii</i> (d'Orb.)	common
<i>Globoquadrina dutertrei</i> (d'Orb.)	common
<i>Globigerinoides triloba</i> Reuss	fairly common
<i>Globigerinoides sacculifera</i> (Brady)	fairly common
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (d'Orb.)	rare
<i>Globigerina conglomerata</i> Schwager	very rare
<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orb.)	rare
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> (Parker 和 Jones)	very rare

Benthonic Species:

<i>Textularia pseudogrammen</i> Chapman 和 Parr	
<i>T. sagittula</i> DeFrance	
<i>T. agglutinans</i> d'Orb.	
<i>T. trochus</i> b'Orb. of Brady (<i>T. sp. nov.</i> of Barker)	
<i>T. cf. conica</i> d'Orb.	
<i>Bigennerina nodosaria</i> d'Orb.	
<i>Liebusella soldanii</i> (Jones 和 Parker)	
<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orb.	
<i>T. sp. indet</i>	
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus)	
<i>Q. pseudoreticulata</i> Parr	
<i>Q. cf. reticulata</i> d'Orb.	
<i>Spiroloculina depressa</i> d'Orb.?	
<i>Cribrulinoides disparifis</i> (d'Orb.) var <i>curta</i> Cushman	
<i>Elphidium advena</i> (Cushman)	
<i>Lagena laevis</i> (Montagu)	
<i>Rectoglandulina torrida</i> (Cushman) of Millet (pp.509-510, 1970)	
<i>Oolina globosa</i> (Montagu)	

Bulimina marginata d'Orb.
Reussella simplex Cushman
 "Eponides repandus (Fichtel 和 Moll)" (right-和 left-coiling)
E. berthelotianus (d'Orb.), seemingly grading to *E. procera* Brady
Cibicides praecinctus (Karrer) (right-和 left-coiling)
C. refulgens Montfort
C. cf. subhaidingerii Parr
C. lobatulus (Walker 和 Jacob)
Cancris indicus (Cushman) (right-和 left-coiling)
Gavelinopsis cf. lobatulus (Parr)
Anomalina colligera Chapman 和 Parr
Epistominella sp.
Streblus gaimardii (d'Orb.)
S. schroeterianus (Parker 和 Jones)
Rotalia annectens Parker 和 Jones
Rolshausenia rolshauseni (Cushman 和 Bermudez)

表2 塞力奇1号水深30~50英尺处, 更新世末, 有孔虫组合B

Planktonic Species:

Globigerinoides triloba Reuss (very rare 和 stunted)

Benthonic Species:

Bigenerina nodosaria, d'Orb.

Quinqueloculina vulgaris d'Orb.

Q. seminulum (Linnaeus)

Q. bradyana Cushman

Florilus scaphum (Fichtel 和 Moll)

Elphidium advena (Cushman)

E. macellum (Fichtel 和 Moll)

E. cf. lessoni (d'Orb.)

Lagena striata d'Orb.

L. costata Williamson 和 Millett (p. 110, 1970)

Nodosaria cf. simplex Silvestri

Loxostomum porrectum Brady

Bolivina aff. *abbreviata* Heron-Allee 和 Earland

Asterorotalia trispinosa (Thalman)

Streblus gaimardii (d'Orb.)

Rotalia annectens Parker 和 Jones

Rolshausenia rolshauseni (Cushman 和 Bermudez)
Cibicides cf. *subhaidingerii* Parr
Anomalina colligera Chapmann 和 Parr

表3 塞力奇1号水深300英尺处, 晚更新世, 有孔虫组合C

Planktonic Species:

<i>Orbulina universa</i> d'Orb.	rather rare
<i>Globorotalia menardii</i> (d'Orb.)	very common
<i>Globoquadrina dutertrei</i> (d'Orb.)	common
<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orb.)	common
<i>Globigerinoides triloba</i> Reuss	common
<i>Globigerinoides sacculifera</i> (Brady)	common
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (d'Orb.)	fairly common
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orb.	common
<i>Globigerina falconensis</i> Blow	scarce
<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orb.)	rare
<i>Hastigerina</i> cf. <i>murrayi</i> Thomson	rare
<i>Pulleniatina obliquiloculata</i> (Parker 和 Jones)	rare
<i>Sphaeroidina bulloides</i> d'Orb.	very rare

Benthonic Species:

<i>Textularia pseudogrammen</i> Chapmann 和 Parr	
<i>T. sagittula</i> De France	
<i>T. agglutinans</i> d'Orb.	
<i>T. spp.</i>	
<i>Spiroplectammia</i> sp. indet.	
<i>Bigenenerina nodosaria</i> d'Orb.	
<i>Liebusella soldanii</i> (Jones 和 Parker)	
<i>Reoohax</i> aff. <i>scorpius</i> Montfort	
<i>Pyrgo vespertilio</i> (Schlumberger)	
<i>P.</i> aff. <i>elobula</i> (Bornemann)	
<i>Dentostomina agglutinans</i> (d'Orb.)	
<i>Aldesonina soldanii</i> d'Orb. vaa. ("young Miliolidea of Barker)	
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus)	
<i>Q. pseudoreticulata</i> Parr	
<i>Q. reticulata</i> d'Orb.	
<i>Q.</i> cf. <i>granulocostata</i> Germeraad	
<i>Q. spp.</i> (ornate)	

Spiroloculina depressa b'Orb.? (Brady, pl. 9, fig. 7, in Barker)
S. rotunda d'Orb.? (Brady, pl. 9, figs. 15-16, in Barker)
Flintina bradyana Cushman (also cf. *Triloculina* Terquem 和 *T. fichteliana* d'Orb.)
Cuidrolinoides dispartilis (d'Orb.) var. *curta* Cushman
Elphidium advena (Cushman)
Lagena striata d'Orb.
L. laevis Montagu
Lagena gracilis Williamson
L. cf. Costata Williamson
Fissurina laevigata var. *acuta* Reuss
Rectoglandulina torrida Cushman
Dentalina cf. intorta (Dervieux)
Loxostomum porrectum (Brady)
L. karrerianum (Brady)
Bolivina aff. *abbreviata* Heron-Allen 和 Earland
Bulimina marginata d'Orb.
Virgulina squamosa d'Orb.
Reussella simplex (Cushman)

Bifarina elongata Millett
Uvigerina canariensis d'Orb.
Geminospira cf. simaensis Makiyama 和 Nakagawa, (*Bulimina convoluta* Williamson of Millett, p. 279, 1970)
Siphoninoides cf. echinata (Brady)
"Eponides repandus" (Fichtel 和 Moll)
E. berthelotianus d'Orb. seemingly grading to *E. procera* Brady
Porosponides lateralis (Terquem)
Cibicides piaecintus (Karrer)
C. refulgens Montfort
C. cf. subhaidingerii Parr
C. lobatulus Walker 和 Jacob
Cancris indicus (Cushman) right- and left-coiling
Gaevelinopsis cf. lobatulus (Parr)
Anomalina colligera Chapman 和 Parr
Epistominella sp.
Streblus gaimardii (d'Orb.)
S. schroeterianus (Parker 和 Jones)

Rolshausenia rolshauseni (Cushman 和 Bermudez)

Operculina ammonoides (Goronovius) ? (Brady, pl. 112, figs. 39,
non figs. 11-13 in Barker)

表4 杰尔内2号解释水深200~250英尺处海底以338英尺, 早更新世, 有孔虫组合D

Planktonic Species:

<i>Orbulina universa</i> d'Orb.	rare
<i>Glodoquadrina dutertrei</i> (d'Orb.)	scarce
<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orb.)	common
<i>Globigerinoides sacculifera</i> (Brady)	rather rare
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (d'Orb.)	rare
<i>Globigerinoides triloba</i> Reuss	rare
<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orb.)	scarce
<i>Hastigerinella</i> cf. <i>murrayi</i> Thompson	scarce

Note: No *Globorotalia menardii* (d'Orb.) in spite of depth being appropriate, cooling?

Benthonic Species:

<i>Textularia agglutinans</i> d'Orb.	
<i>T. conica</i> d'Orb.	
<i>T. pseudogramen</i> Chapman 和 Parr	
<i>T. sagittula</i> De France	
<i>Spiroplectammina</i> sp. indet.	
<i>Bigennerina nodosaria</i> d'Orb.	
<i>Liebusella soldanni</i> (Jones 和 Parker)	
<i>Pyrgo</i> aff. <i>globula</i> (Bornemann)	
" <i>Aldesonii</i> <i>semistriata</i> d'Orb." (pl. 3, fig. 12, Barker)	
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnae)	
<i>Q. pseudoreticulata</i> Parr	
<i>Q. reticulata</i> d'Orb.	
<i>Q. lamarchiana</i> d'Orb.	
<i>Spiroloculina communis</i> Cushman 和 Todd	
<i>S. depressa</i> d'Orb.	
<i>Triloculina tricarinata</i> d'Orb.	
<i>T. kerimbatica</i> (Heron-Allen 和 Earland)	
<i>Flintina bradyana</i> Cushman	
<i>Ammomassilina alveoliformis</i> Millett	
<i>Dentostomina agglutinans</i> (d'Orb.) (pl. 8, figs. 6-7, Barker)	
<i>Haueriana fragilissima</i> (Brady)	

H. orientalis Cushman
H. sp. (pl. 7, figs. 21-22, Barker)
Peneroplis sp. (abraded)
Nonionella turgida (Williamson) (? *N. subturgidum* Cushman)
Elphidium advena (Cushman)
E. craticulatum (Fichtel 和 Moll)

E. crispum (Linnaeus)
E. indicum Cushman
Lagena crenata Parker 和 Jones
L. laevis (Montagu)
Nodosaria catesbyi d'Orb.
"Nodosaria aequalis Reuss" (pl. 11, fig. 3, Millett
Stilostomellea antillea (Cushman) (pl. 76, figs. 9-10, Barker)
Fissurina Seguenziana (Fornasini) ?
Robulus sp.
Rectoglandulina torrida (Cushman)
Loxostomum limbatum (Brady)
L. sp. nov. (pl. 53, figs. 14-15)
Bolivina aff. abbreviata Heron-Allen and Earland
Bifarina cf. porrecta Brady (pl. 4, fig. 3, p. 91, Millett)
Trifarina bradyi Cushman
Reussella simplex (Cushman)
Siphnina sp.
Eponides berthelotianus (d'Orb.)
Poroeponides lateralis (Terquem)
"Eponides repandus Fichtel 和 Moll"
Cibicides lobatulus (Walker 和 Jacob)
C. refulgens Montfort
Cibicides spp. indet.
Anomalina colligera Chapman 和 Parr
Planorbulinella larvata (Parker 和 Jones)
Cancris indicus (Cushman) right-and left-coiling
Streblus schroeterianus (Parker 和 Jones)
Rotalia annectens Parker 和 Jones
Rolshausenia rolshauseni Cushman 和 Bermudez
Epistominella sp.
Tinoporos spengleri (Gmelin)

Operculina gaimardi d'Orb.
O. ammonoides (Goronovius) ?
Amphistegina lessoni d'Orb.

孢子花粉证据

孢子花粉沉积盐度的指示

科纳尔 (Corner, 1951) 根据植物的共生组合曾将西马来西亚西部的海岸地区从滨线 (seaward end) 到内陆划为下列生态区。

1. *Phizophora* 红树林沼泽;
2. *Nipa* 棕榈潮汐沼泽;
3. *Pandanus-Barringtonia* 过渡性沼泽;
4. *Dipterocarpus* 森林和沼泽。

笔者在孟加拉三角洲的红树林沼泽和淡水湿地所进行的研究表明:

1. *Rhizophoraceae* 占优势的红树林沼泽以从泥质的三角洲海岸线向内陆延伸达30英里或10英里以上的网状潮汐河口为其特点, 潮汐总盐度为20,000~30,000ppm, 并含有托德和布罗尼曼 (1957) 所指出的红树林沼泽 I 内的有孔虫组合。

2. *Nipa-Aricennia* 潮汐沼泽的潮汐盐度为5,000~20,000ppm。红树林沼泽 II 内的砂质有孔虫组合的 *Miliammina-Haplophragmoides-Trochammina* 组合为该体系的特征。

3. *Pandanus-Barringtonia* 沼泽受潮水影响较小, 盐度为500~5,000ppm, 即没有常见的有孔虫, 也不含在日常的微古生物工作中通常被筛洗掉的极小的“微有孔虫”

4. 淡水湿地、土壤和基层的总盐度为500ppm或更少, 甚至连“微有孔虫”也完全没有。

这些植物群落和潮汐盐度的特征同样适用于在西马来西亚近海的冲击取心, 因为从亚热带的孟加拉三角洲一直延伸至马来西亚的红树林沼泽分布着同样的植物和有孔虫种属。的确, 淡水湿地生态环境中的孢子花粉可能, 并且事实上也已被冲刷入红树林沼泽的生态环境之中, 而红树林沼泽的孢子花粉反过来也会被冲入三角洲前的海湾。但在发生这种情况时, 这些孢子花粉组合将分别伴生有红树林 II 和红树林 I 海湾的有孔虫, 这样, 如将孢子花粉和有孔虫的证据合在一起, 便可毫无困难地确定沉积作用的真实生态环境。

冲击取心资料

对从144~247英尺水深处和更深水中获得的几个现代样品进行了孢粉处理。发现这些样品或者完全不含孢粉, 或者仅含有极少量的孢粉。当然, 同样的样品均含有大量的有孔虫, 包括在水深200英尺以上的浮游有孔虫的大碎块。

相反, 与塔比斯的全新世—更新世海退层伴生的泥炭褐煤 (无明显的纤维构造) 样

品则含有淡水湿地和红树林沼泽环境的孢子花粉的混合物(图版1)。淡水分子由下列形体组成: *Gleichenia linearis* (Burm), *Polypodiaceae*, *Lygodium* sp., *Cannaceae*, *Ilex* cf. *Cymosa*, *Eugenia* spp., *Mimosaceae* 和 *Barringtonia*。红树林沼泽的分子主要为大量不同属的 *Rhizophoraceae* 的花粉。

在杰尔内1号冲击岩心内5英尺6英寸至7英尺处的碳质粘土岩不但含有淡水湿地和红树林沼泽孢子花粉组合的混合物(图版2), 而且含有大量的咸水泻湖/海湾有孔虫。沉积时的盐度显然在20,000~30,000ppm之间。

杰尔内海底以下252英尺处的早更新世海退层系的孢子花粉组合(图4、图版8)有淡水湿地、*Pandanus-Barringtonia* 过渡性沼泽、*Nipa* 棕榈潮汐沼泽和 *Rhizophora* (-*Sonneratia*) 红树林沼泽组合的混合物。该组合的湖水盐度在10,000~20,000ppm的范围内变化。

孢子花粉和海平面下降

塔比斯和杰尔内目前的水深分别为219英尺和205英尺。孢子花粉资料表明在塔比斯海底以下4英尺3英寸至6英尺处存在红树林沼泽, 在杰尔内海底以下5英尺6英寸至7英尺处存在咸水泻湖, 这就为全新世—更新世之间的海面下降提供了一条独立的证据。

在贝卢默特(Belmut)2号取心点海底以下17英尺处发现有植物碎屑, 但不含有孔虫, 这是表明海面在更新世未下降的另一植物指示的例子(该层的孢子花粉尚未研究过)。

同样, 以孢子花粉为指示的、在杰尔内海底以下252英尺处的红树林沼泽沉积, 也是南中国海早更新世海面下降的一个证据。

热带和亚热带植物群的对比

热带和亚热带相应水深中的有孔虫组合的区别不大。这就提出了热带和亚热带地区的生物和古生物的对比问题。

主要区别是在这些地带的植物的分布和适应性上, 而不是在海洋动物的分布和适应性上。这是因为水温的差别并不重要。由于热带海域的水温随深度的加大而降低, 故可在相对较浅的水深内获得亚热带海洋环境的生态延续。因此, 在热带和亚热带海域内实际上可发现同样的海洋动物。

主要的区别是热带羊齿植物的种类非常繁多(500个种), 量也极其丰富, 而在亚热带相应海拔高度处这类植物却非常贫乏。冲击岩心表明西马来西亚在整个第四纪期间羊齿植物的种类还相当繁多, 量也极其丰富。但笔者对孟加拉三角洲的现代和更新世植物群的研究却证实了在亚热带海拔高度较低的地方在整个第四纪都贫缺羊齿植物。

热带植物分布的第二个不同于亚热带的特点是西马来西亚在整个第四纪均有好几种开花的植物种属, 这种情况在北部的温带也曾发现过, 但在介于热带和温带之间的亚热带上却没有发现。冲击取心还发现了这样一个有趣的事实, 即西马来西亚在第四纪还有 *Podocarpus*, *Ilex* spp., *Quercus* spp., 这些均是温带种属的花粉。如今, 在西马来西亚的海面上 *Podocarpus polystachyus*, *Ilex cymosa* 和 *Quercus Conocarpa* 仍

很繁茂并开花。但在印度平原的自然环境中却没有发现过这些种属，即使人工种植，它们在那儿也从不开花。尽管从孟加拉的始新世淡水湿地内令人惊讶地发现有些种属的花粉，但是，在孟加拉盆地的第四纪层序中却没有找到它们的花粉。斯蒂尼斯 (Steenis) 和霍尔顿 (Holtum) 在巽他地区的现代植物群内也曾同样记录到有北温带的开花植物和羊齿植物。

热带和亚热带之间气候的差别主要表现在两个方面：

1. 位处热带的马来西亚和巽他地区终年湿润，而且月月有雨。在印度平原则随着冬季的来临而开始长达4至6个月的旱季，而这于羊齿植物的存在是不利的，仅有一些强壮的和适应性强的才能生存下去。

2. B.O.A.C. "Welcome Aboard" 的气温图列出了各地从1月份至12月份的平均温度变化，在伦敦的 $40^{\circ}\sim 64^{\circ}\text{F}$ ，在德里是 $59^{\circ}\sim 96^{\circ}\text{F}$ ，在新加坡则为 $80^{\circ}\sim 82^{\circ}\text{F}$ 。可能会提出这样的问题：为什么我们不采用同一张图上的加尔各答的 $67^{\circ}\sim 86^{\circ}\text{F}$ 的温度变化而采用德里的呢？这是笔者认为第四纪时气温的骤降是使很多植物种属从亚热带平原灭绝的原因。据埃米里亚米 (Emiliani, 1966) 称，加勒比海的水温在第四纪海面下降期间共下降了 6°C 。由于在海水温度下降 6°C 时，大气温度也相应下降了几乎为海水温度下降的1倍之多，所以在第四纪转冷期间加尔各答的平均最低温度更接近于目前德里附近的温度。在相同的第四纪气温骤变期间，马来西亚和温带的山地植物群和温度带是否曾发生过迁移，这是值得仔细考虑的。

很难说这个温度和温度的变化模式能否解释热带和巽他大陆和热带地区的北部（也在较寒冷的喜马拉雅山较低的地区）Podocarpus, Ilex, Oureus 和同种属植物的适应性问题，以及它们在印度亚热带平原种植失败的问题。但笔者想不出其它的解释。始新世时喜马拉雅山的不存在，特提斯海在喜马拉雅山现在位置上的出现，以及沿若开山脉的另一个始新世海的出现清楚地表明，在始新世时，印度平原的气候的变化要小得多。大量的羊齿植物孢子，和印度始新世沉积物中的Ilex, Podocarpaceae及Fagaceae显然表明当时印度的气候与现在西马来西亚的气候更为相近。

有趣的是，可以观察到许多在印度仅在夏天才开花的植物种属而在马来西亚则全年开花，如 *Delonix regia*, *Lagerstroemia flos-reginae*, *Mangifera indica*, *Artocarpus indica* 等。尽管花本身并不会变为化石，但开花的季节和它们与主要风向的关系可能与孢子和花粉过去及现在的散布型式有一定的关系。

海平面变化幅度

因为来自8处的资料证据（图2），对全新世—更新世之间的海平面下降的幅度的估计要容易些，也更可靠些。

有6个地点海水是全部退出沉积盆地出露地表的，在那里，海面下降的幅度可肯定地估计为：

托克比丹1号

144 + 英尺