



同济大学优秀博士论文文库

南沙海区百余万年来的放射虫 组合及古海洋学事件



NANSHAHAIQU BAYI WANNIANLAI DE FANGSHECHONG ZUHE JI GUHAIYANGXUE SHIJIAN

王汝建 著



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

中国科学院南海海洋研究所成立五周年纪念册

南沙海区百余万年来的放射虫 组合及古海洋学事件



王世杰 著

地质出版社
GEOLOGICAL PUBLISHERS

同济大学优秀博士论文文库

同济大学研究生院出版基金资助

南沙海区百余万年来的放射虫 组合及古海洋学事件

王汝建 著



同济大学出版社

TONGJI UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书通过对南沙海区深海沉积柱状样 17957 和 17959 的两百余块样品的微体古生物及地球化学等的分析,建立了百余万年来的放射虫生物地层带与年龄框架;揭示了冰期旋回中长时间尺度上生源与非生源物质的沉积过程及 SiO_2 的溶解事件;并对南海的古海洋学事件和古环境变迁史作了探索性研究。

本书可供从事第四纪微体古生物学、地层学、古海洋学与古气候学、海洋地质与第四纪地质学的教学与研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

南沙海区百余万年来的放射虫组合及古海洋学事件/

王汝建著. —上海:同济大学出版社,2007.4

(同济大学优秀博士论文文库)

ISBN 978-7-5608-3401-6

I. 南… II. 王… III. ①南沙群岛—放射虫目—古动物学—研究②南沙群岛—古海洋学—研究 IV.

①Q915.81②P736.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 155905 号

同济大学优秀博士论文文库

南沙海区百余万年来的放射虫组合及古海洋学事件

王汝建 著

责任编辑 凌 岚 责任校对 谢惠云 封面设计 李志云

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 江苏句容排印厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 9

字 数 225 000

版 次 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-3401-6/Q·2

定 价 28.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

出版说明

“本科教育为立校之本,研究生教育为强校之路”。20余年来,同济大学始终把全面提高培养质量作为研究生教育改革的指导思想,取得了较好效果,为国家培养了一大批高素质的高级专门人才。在连续多年的“全国百篇优秀博士学位论文”评选中,我校先后有7篇论文入选,另有7篇论文获得提名。

在此,我们选编了海洋科学、土木工程、建筑学等学科的10篇获奖论文,辑录出版《同济大学优秀博士文库》第一辑,以展现我校研究生教育的优秀成果。同时,也希望以此为契机,进一步加强我校高层次创造性人才的培养工作,鼓励创新精神,提高我校研究生教育,特别是博士生教育的质量。

谨以本套丛书,向百年华诞的同济大学献礼!

同济大学研究生院

2007年3月

前 言

南沙海区深海沉积柱状样 17957 和 17959 记录了百余万年来的沉积历史,是南海首次获得的连续且详尽的古海洋学记录。通过对两柱状样 200 余块样品的微体古生物及地球化学等的分析,建立了百余万年来的放射虫生物地层带与年龄框架;揭示了冰期旋回中长时间尺度上生源与非生源物质的沉积过程及 SiO_2 的溶解事件;着重探讨了第四纪以来的放射虫组合变化及所反映的古海洋学事件,以及水团变化历史与中更新世革命事件在放射虫与浮游有孔虫中的反映。

通过对南沙海区 17957 和 17959 柱的研究显示,火山灰与磁化率有很好的对应关系,可以作为地层划分和对比的依据。17957 柱的古地磁记录显示哈拉米洛事件(Jaramillo)的顶底深度分别是 966cm 和 1016cm。布容期与松山期的界线(B/M Boundary)在深度 796~798cm 处,略低于微波陨石产出层位,它们的相互验证为 17957 柱的地层划分提供了重要的地层学的基础。在 17957 和 17959 柱中首次发现了 7 个放射虫标志种。根据其中 5 个标志种的初现面与末现面建立了 5 个生物地层带(NR1-NR5),它们分别是 *Buccinosphaera invaginata* 带(FAD, 约 0.21Ma), *Collosphaera tuberosa* 带(FAD, 约 0.42~0.46Ma), *Stylatractus universus* 带(LO, 约 0.43~0.46Ma), *Pterocorys campanula* 带(LAD, 约 0.72~0.73Ma)和 *Anthocyrtidium angulare* 带(LAD, 约 1.1Ma)。它们的绝对年龄是通过放射虫事件、氧同位素以及古地磁记录确定的。这些放射虫的年龄很好地对应于赤道太平洋的年龄。这是中国海区第一次 1.34 Ma 以来的放射虫生物地层学研究。

根据南沙海区 17957 柱沉积物的研究显示,生源钙质与硅质成分的变化大致呈相反的趋势,其变化以深度 880~900cm 为界。界线以上,蛋白石含量和放射虫丰度占优势,界线以下,碳酸钙、粗组分含量和浮游有孔虫丰度占优势。非生源物质的变化以 460~480cm 深度为界,界线以上含量逐渐降低,界线以下的高含量是因为含有大量的火山灰成分。17957 柱 1.34Ma 以来的沉积速率和生源与非生源物质的堆积速率的变化趋势几乎是一致的,并且可以划分出 9 个高峰值期和 4 个长时间的低值期,它们可能反映了表层水生产力的变化。17957 柱 1.34Ma 以来的放射虫含量、堆积速率、碎壳率的变化显示有 17 个低值期(R1-R17),其中 R13(0.87~0.89Ma)和 R15(1.03~1.05Ma)为强烈的 SiO_2 溶解事件(I 和 II)。而 R12(0.79~0.81Ma)和 R17(1.28~1.32Ma)的低值是由于火山灰的稀释作用造成的。 SiO_2 溶解事件不仅反映在部分属种百分含量上,而且也反映在因子分析所得因子 3 的载荷分布上。

根据南沙海区 17957 柱 Q 型因子分析显示:因子 1 代表热带组合,其优势种是 *T. octacantha*+*O. stenozona*,可作为生产力的标志。因子 2 代表赤道组合,其优势种是 *Pterocorys zancleus* group, *Botrocyrtes scutum*, *Peromelissa phalacra*, *Hexapyle* spp., *Pyloniidae* gen. et sp. indet.。该组合中的 *Lophophaena hispida* 是赤道冷水舌的标志种,可以用来指示赤道冷水团的变化。因子 3 代表抗溶解组合,其优势种是 *Acanthodesmia* sp., *Liriospyris reticulata* 和 *Thlolspyris* sp.。它们在 0.87~0.89 Ma 和 1.03~1.05Ma 有突然急剧增加的高峰值。因子 4 代表中层水组合,其优势种是 *Dimelissa thoracites* 和 *Dimelissa* sp.,前者被

认为是深水种。

南沙海区 1.34Ma 以来的放射虫组合和水团组合在时间序列上的变化以 7 个转折期为特征,它们分别反映不同的古海洋环境的变化。① 0.88~0.90Ma($\delta^{18}\text{O}$ 21/22 期界线,中更新世革命事件),放射虫组合变化与表层水组合大幅度下降,中层水和广深水组合加强可能反映表层水团受中更新世革命影响造成冰盖增长而导致水温下降,中层水团的影响开始加强。② 0.60~0.62Ma($\delta^{18}\text{O}$ 14/15 期界线),放射虫组合的变化与表层水组合的下降,中层水组合的上升可能反映表层水温的下降及中层水团开始增强。③ 0.40~0.42Ma($\delta^{18}\text{O}$ 11 期),放射虫组合和浮游有孔虫(*G. ruber* Pink 和 *G. rubescens*)的变化与下降的表层水组合,上升的中层水组合可能反映表层水温由低向高的转变及中层水团的强化。④ 0.18~0.22Ma,次表层水组合明显下降,中层水组合明显增强,可能反映间冰期水温由高向低的转变以及中层水团的增强。⑤ 0.18~0.12Ma,次表层水组合明显增强,中层水组合急剧下降。可能反映末次间冰期中层水团的急剧减弱,次表层水团的明显增强。⑥ 0.12($\delta^{18}\text{O}$ 5e 期)至 0.06~0.08Ma ($\delta^{18}\text{O}$ 4/5 期界线),放射虫组合和浮游有孔虫(*G. conglomerata*, *G. truncatulinoides* L 和 *G. ruber* Pink)的变化与次表层水组合明显减弱,中层水组合急剧增强到最大值,可能反映末次冰期低温的开始,以及深的温跃层和中层水团的急剧增强。⑦ 0.06~0.08Ma ($\delta^{18}\text{O}$ 4/5 期界线)至现在,放射虫组合和浮游有孔虫(*G. conglomerata*)的变化与中层水组合急剧下降,次表层水组合的明显增强,可能反映末次冰期低温的开始,中层水团的影响减弱,次表层水团的影响增强。

中更新世革命事件在南沙海区 17957 柱中的反映是以放射虫与浮游有孔虫丰度及其比值为特征。事件后的放射虫和浮游有孔虫丰度平均值以及放射虫与浮游有孔虫比值分别是事件前的 2 倍、0.6 倍和 4 倍。这种变化与挪威海 Vøring 海台深海钻探显示的强脉冲式有孔虫的堆积相反,可能显示了中更新世革命事件对高纬区与低纬区的生物的作用和影响是不同的。

王汝建

2006 年 12 月

目次

出版说明

前言

1 概要	(1)
2 材料与方法	(3)
2.1 研究材料	(3)
2.2 研究方法	(4)
2.2.1 微体古生物学方法	(4)
2.2.2 沉积地球化学方法	(6)
3 柱状样 17957 柱和 17959 柱的地层划分与对比	(12)
3.1 磁性地层学	(12)
3.1.1 磁化率地层学	(12)
3.1.2 古地磁地层学	(12)
3.2 氧同位素地层学	(12)
3.3 生物地层学	(15)
3.3.1 放射虫事件和带的建立	(16)
3.3.2 有孔虫和钙质超微化石事件	(18)
3.3.3 氧同位素分期与放射虫 <i>Botryocytis scutum</i> 的含量对比	(19)
3.4 小结	(21)
4 南沙海区百余万年来的沉积事件	(22)
4.1 生源物质与非生源物质的含量	(22)
4.2 生源物质与非生源物质的堆积速率	(23)
4.3 放射虫溶解事件	(24)
4.3.1 放射虫低值期与溶解事件	(25)
4.3.2 放射虫抗溶种与易溶种	(25)
4.3.3 火山灰的稀释作用	(27)
4.4 小结	(27)
5 南沙海区百余万年来的放射虫组合及古海洋学事件	(32)
5.1 因子分析与放射虫组合	(32)
5.1.1 17957 柱的放射虫组合	(32)
5.1.2 17959 柱的放射虫组合	(38)
5.2 放射虫组合及古海洋学事件	(43)
5.2.1 放射虫组合的时间序列分布	(43)
5.2.2 水团变化历史	(52)
5.3 中更新世革命事件在放射虫和浮游有孔虫中的反映	(56)

5.4 小结	(58)
6 结论	(60)
附录	(62)
附录 A 附图	(62)
附录 B 附表	(65)
附录 C 主要属种	(125)
参考文献	(129)
后记	(135)

(3)	放射虫组合	3.1
(4)	放射虫组合	3.2
(5)	放射虫组合	3.3
(6)	放射虫组合	3.4
(7)	放射虫组合	3.5
(8)	放射虫组合	3.6
(9)	放射虫组合	3.7
(10)	放射虫组合	3.8
(11)	放射虫组合	3.9
(12)	放射虫组合	3.10
(13)	放射虫组合	3.11
(14)	放射虫组合	3.12
(15)	放射虫组合	3.13
(16)	放射虫组合	3.14
(17)	放射虫组合	3.15
(18)	放射虫组合	3.16
(19)	放射虫组合	3.17
(20)	放射虫组合	3.18
(21)	放射虫组合	3.19
(22)	放射虫组合	3.20
(23)	放射虫组合	3.21
(24)	放射虫组合	3.22
(25)	放射虫组合	3.23
(26)	放射虫组合	3.24
(27)	放射虫组合	3.25
(28)	放射虫组合	3.26
(29)	放射虫组合	3.27
(30)	放射虫组合	3.28
(31)	放射虫组合	3.29
(32)	放射虫组合	3.30
(33)	放射虫组合	3.31
(34)	放射虫组合	3.32
(35)	放射虫组合	3.33
(36)	放射虫组合	3.34
(37)	放射虫组合	3.35
(38)	放射虫组合	3.36
(39)	放射虫组合	3.37
(40)	放射虫组合	3.38
(41)	放射虫组合	3.39
(42)	放射虫组合	3.40
(43)	放射虫组合	3.41
(44)	放射虫组合	3.42
(45)	放射虫组合	3.43
(46)	放射虫组合	3.44
(47)	放射虫组合	3.45
(48)	放射虫组合	3.46
(49)	放射虫组合	3.47
(50)	放射虫组合	3.48
(51)	放射虫组合	3.49
(52)	放射虫组合	3.50
(53)	放射虫组合	3.51
(54)	放射虫组合	3.52
(55)	放射虫组合	3.53
(56)	放射虫组合	3.54
(57)	放射虫组合	3.55
(58)	放射虫组合	3.56
(59)	放射虫组合	3.57
(60)	放射虫组合	3.58
(61)	放射虫组合	3.59
(62)	放射虫组合	3.60
(63)	放射虫组合	3.61
(64)	放射虫组合	3.62
(65)	放射虫组合	3.63
(66)	放射虫组合	3.64
(67)	放射虫组合	3.65
(68)	放射虫组合	3.66
(69)	放射虫组合	3.67
(70)	放射虫组合	3.68
(71)	放射虫组合	3.69
(72)	放射虫组合	3.70
(73)	放射虫组合	3.71
(74)	放射虫组合	3.72
(75)	放射虫组合	3.73
(76)	放射虫组合	3.74
(77)	放射虫组合	3.75
(78)	放射虫组合	3.76
(79)	放射虫组合	3.77
(80)	放射虫组合	3.78
(81)	放射虫组合	3.79
(82)	放射虫组合	3.80
(83)	放射虫组合	3.81
(84)	放射虫组合	3.82
(85)	放射虫组合	3.83
(86)	放射虫组合	3.84
(87)	放射虫组合	3.85
(88)	放射虫组合	3.86
(89)	放射虫组合	3.87
(90)	放射虫组合	3.88
(91)	放射虫组合	3.89
(92)	放射虫组合	3.90
(93)	放射虫组合	3.91
(94)	放射虫组合	3.92
(95)	放射虫组合	3.93
(96)	放射虫组合	3.94
(97)	放射虫组合	3.95
(98)	放射虫组合	3.96
(99)	放射虫组合	3.97
(100)	放射虫组合	3.98
(101)	放射虫组合	3.99
(102)	放射虫组合	3.100

1 概 要

南沙群岛及其邻近海域为我国最南的疆土,其范围指 12°N 以南至 $3^{\circ}25'\text{N}$ 之间的我国断续国界线及其自然连线以内的辽阔海域,东西向宽达 1 195km,南北向幅长约 973km,面积 706800km^2 。南界向南距地理赤道仅 380km。南沙群岛海区的地理位置、海洋特征、生物区系和地质背景都具有热带典型性与特殊性。这是由于它处于北半球赤道——热带区,是太平洋与印度洋的中介区域,是由季风与通道状况决定海洋环流特征的半封闭型的边缘海。还由于它处于欧亚板块、印度洋板块和太平洋板块的交汇处,使其形成发育的地质背景与周缘陆地环境紧密相关,无疑是当今地球科学前缘研究领域中的关键地区。“南沙群岛及其邻近海区综合科学考察”项目先后列入国家“七五”和“八五”科技专项计划,并取得了一系列的研究成果(中国科学院南沙综合科学考察队,1989;1991a,b;1992;1993;1994a,b;1995;1996a,b)。随着“全球变化”研究的开展,南海已引起了众多国外学者的兴趣(Broecker et al, 1988; Thunell et al, 1992; Sarnthein et al, 1994)。我国大陆和台湾学者 20 世纪 80 年代以来已经认识到南海古海洋学研究的重要性(汪品先,1990)。

南海作为西太平洋半封闭型边缘海,有其独特的天然条件:不仅陆源物质丰富,有高于大洋沉积速率一个数量级的沉积物记录,而且有保存完好的微体化石可供分析,提供了追溯晚第四纪古环境变化的生物记录(李粹中,1989;郝诒纯等,1989; Wang et al, 1990; 王律江,1992; 卞云华等,1992; 汪品先等,1995)。然而,大多数的古海洋学讨论仅限于氧同位素 1—5 期,少数涉及 6—7 期(Chen, 1991; 王律江,1992; 翦知湑,1992; 陈文斌,1993; 中国科学院南沙综合科学考察队,1996b)。近年来,尤其注重于高分辨率古海洋学记录的千年、百年级的短期事件,例如“新仙女木”、“海因里奇”、晚全新世变冷等事件的探索(王律江等,1994; Wang et al, 1995; 孙湘君,1995; 翦知湑,1995),以追溯季风气候的变迁。以上古海洋学的研究材料主要来源于钙质微体化石,而作为硅质微体化石的放射虫的古海洋学研究却相当缺乏。南海的放射虫研究主要限于表层沉积物(陈文斌,1987; 孙社平,1989; 谭智源,1993; 陈木宏等,1996; Chen et al, 1997)。少数涉及氧同位素 6—7 期以来的放射虫的古气候研究(孙社平,1989; Chen, 1991; 陈文斌,1993)。因此,除难以提供连续详尽的古环境记录的岩屑录井(如石油钻井)、陆架工程地质钻孔和南沙与西沙第四纪礁相地层外,南沙迄今尚无百余万年来古海洋学记录研究。然而,在南沙半深海区,由于远离陆源物质供应区,从而沉积速率远比南海北部及南部陆坡低。有可能具备长时间尺度的沉积物柱状样,为研究第四纪以来的长周期古海洋学事件提供材料。南沙海区还位于“西太平洋暖池”中,其海水物理化学性质的变化亦即暖池的稳定性涉及到全球气候的变化,例如,近年来引起全球气候反常的厄尔尼诺现象和古季风的演变,因而具有非常重要的意义。

本研究的目的在于选取南沙海区保存完好的具有长时间记录的半深海沉积柱状样,建立百余万年来的放射虫地层与年龄框架,着重探讨第四纪以来的放射虫组合变化及其反映的古

海洋学事件。通过多次冰期旋回中海洋沉积物记录的硅质与钙质沉积物、地球化学等特征的变化,探索南海作为西太平洋边缘海,其沉积物在长时间尺度的沉积过程中的规律性,以及南沙海区作为“西太平洋暖池”的一部分,表层海水结构的演变和水团的变化历史。

2 材料与方法

2.1 研究材料

本次研究的柱状样 17957 柱和 17959 柱位于南沙海区(图 2.1),为中德合作“太阳号”95 航次重力取样器采集(Sarnthein et al, 1994)。柱状样 17957 位于北纬 $10^{\circ}53.9'$,东经 $115^{\circ}18.3'$,水深 2195m,柱长 13.84m。柱状样 17959 位于北纬 $11^{\circ}08.3'$,东经 $115^{\circ}17.2'$,水深 1959m,柱长 13.93m。两柱状样岩性单一,为一套灰色的生物软泥。样品是笔者于 1996 年 11 月在德国基尔大学地质古生物研究所采集,采样间距 10cm,采样体积 10mL,两柱状样共采 274 个样品(表 2.1)。共处理样品 274 个,每个样品 5mL。样品处理,薄片制备及部分样品鉴定统计工作是在德国阿尔弗雷德·魏格纳极地与海洋研究所完成的。

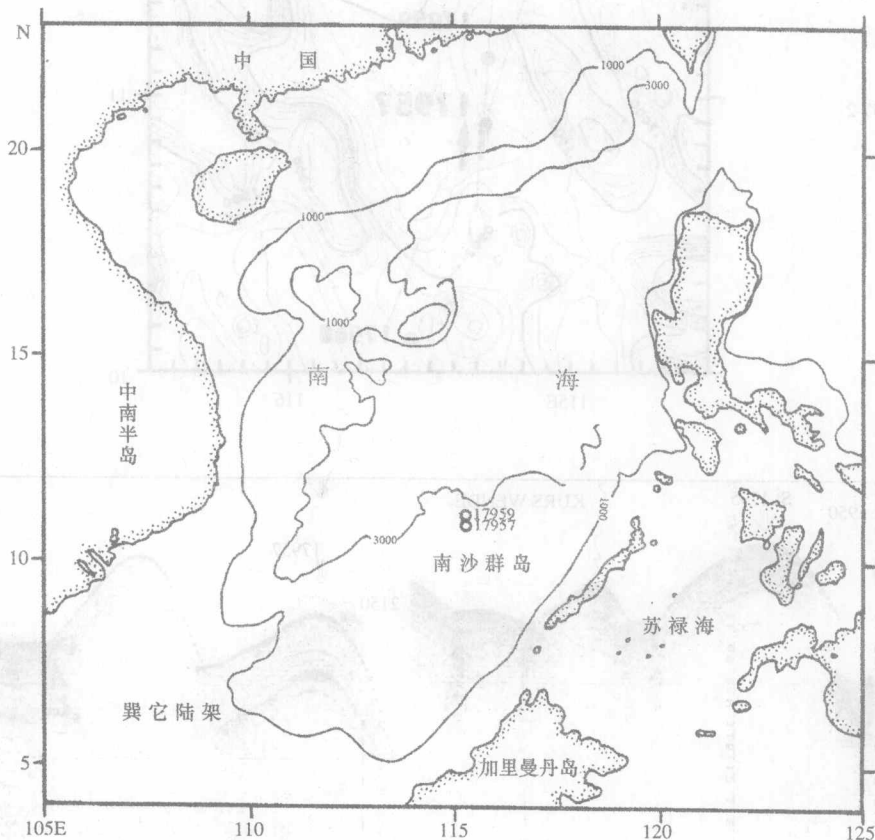


图 2.1 南海南沙海区 17957 和 17959 柱状样站位图

由珊瑚礁组成的南沙碳酸盐台地有着十分陡峻的周缘,地形起伏较大,台地边缘多有垮塌下去的钙质生源沉积物。从 PARASOUND 浅地层剖面来看(图 2.2),17957 柱和 17959 柱基

本位于台地中央的凸起部位,是受沉积垮塌搬运作用影响不明显的地方。

2.2 研究方法

2.2.1 微体古生物学方法

(1) 放射虫样品的处理与制备

样品的处理与制备过程是采用阿尔弗雷德·魏格纳极地与海洋研究所微体古生物室的标准方法(Abelmann, 1988),过程如下:先取 5mL 样品放入烧杯中,加入少量水,少量 H_2O_2 和 HCl,煮沸半小时,直至反应结束;然后用孔径为 40μ 的网筛冲洗样品,并将筛子上的屑样收集到塑料瓶中,并加水稀释至 100mL,摇匀,并用注射器取 5~10mL,用自然沉降法使颗粒均匀

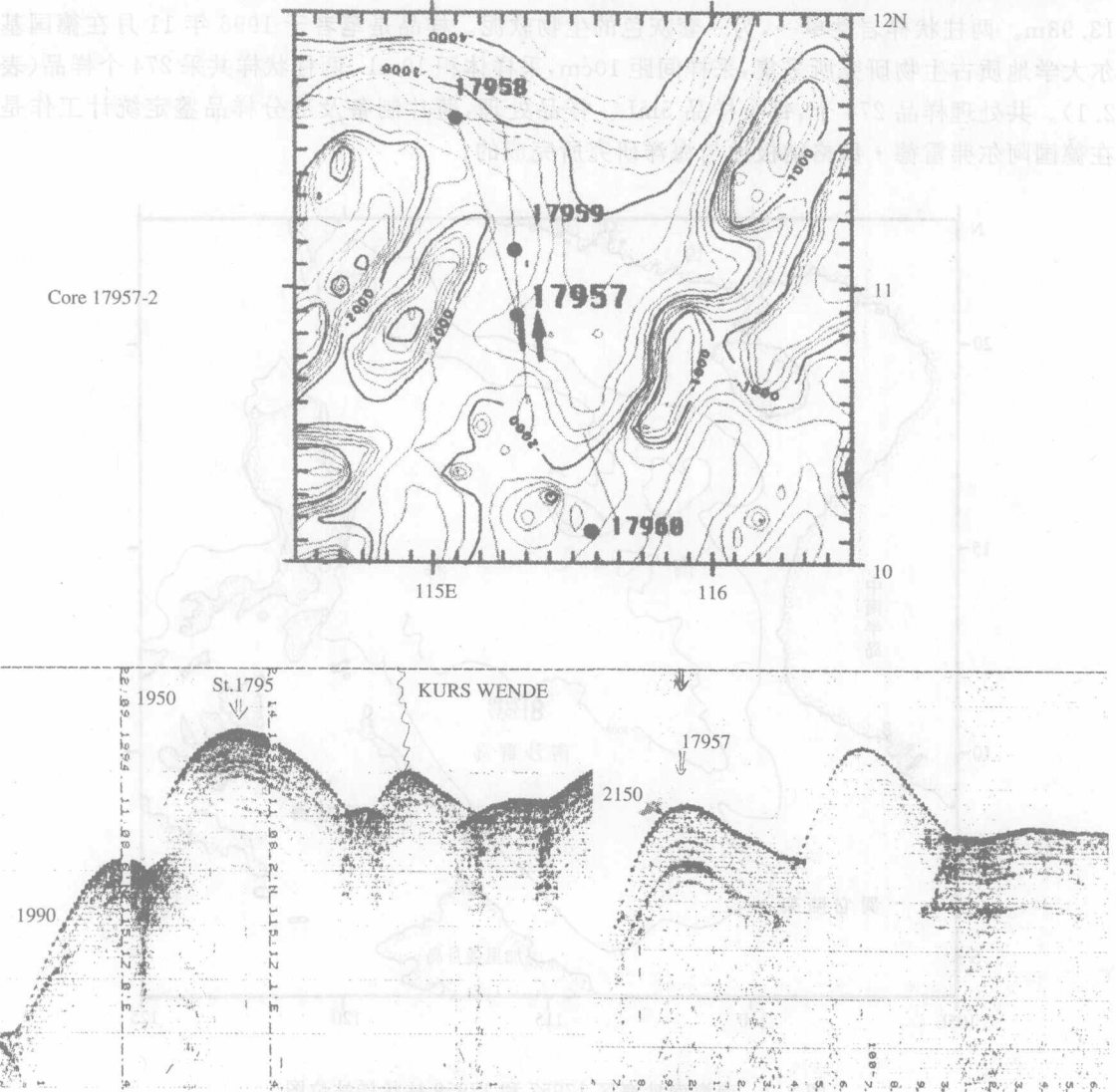


图 2.2 南海南沙海区 17957 和 17959 柱状样站位浅地层剖面

地沉淀在盖薄片上;用加拿大树胶将盖薄片固定在载玻片上。

(2) 放射虫的鉴定与统计

放射虫的鉴定主要参考谭智源和张作人(1976);谭智源和宿星慧(1982);谭智源(1993);陈木宏和谭智源(1996);Nigrini 和 Moore(1979);Petrushevskaya (1971, 1984);Takahashi (1991);Benson (1966);Van de Paverd (1995) 以及 DSDP 和 ODP 专集中的有关文献。每个样品统计 300~400 枚个体,其中 17957 柱共鉴定和统计样品 136 个;17959 柱共统计样品 70 个。17957 柱共获得 170 属,360 个种(或分类群),具有地层学意义的标志种 6 个(表 B-1),其中百分含量大于 2%的 62 个种(表 2.2);17959 柱共获得 158 属,355 个种,具有地层学意义的标志种 5 个(表 B-2),其百分含量大于 2%的 35 个种(表 2.3)。由于 17959 柱只鉴定了 70 个样品,因此,其百分含量大于 2%的种数要少于 17957 柱的种数。

(3) 数据处理

因子分析:利用 Q 型因子分析方法来处理 17957 柱和 17959 柱的放射虫数据,找出因子组合,并对它们进行解释。在进行 Q 型因子分析前,先要进行数据处理,选择至少在一个样品中其百分含量大于 2%的种进行计算,共计在 17957 柱和 17959 柱中分别选出 62 种和 35 种(表 B-3、表 B-4)。Q 型因子分析是采用经过修改的 CABFAC 程序(Klovan et al,1971)进行计算。

相关分析:为了比较两列变量在时间或深度序列上的变化关系,采用相关系数 γ 来进行相关分析,相关系数的计算是采用 Excel 统计函数中的 Correl 来进行计算。 $|\gamma|$ 值越接近于 1,两变量(属种)相关性越强。

表 2.1 本研究所分析的两柱状样,放射虫及火山灰数据

		17957 柱	17959 柱
位置		10°53.9'N, 115°18.3'E	11°08.3'N, 115°17.2'E
水深/m		2195	1959
柱长/m		13.84	13.93
采样间距/cm		10	10
体积/cm ³		5	5
样品数		136, 鉴定 136, 间距 10cm	138, 鉴定 70, 间距 20cm
放射虫统计	最多	727	548
	最少	282	279
	平均	390	365
火山灰统计	最多	3895	885
	最少	18	9
	平均	382	130
合计	放射虫属种	170 属, 360 种	158 属, 355 种
	放射虫枚数	53063	25522
	火山灰枚数	52028	18134

(4) 埋葬学分析

在所分析的样品中,有个别样品放射虫个体和完整壳稀少,碎片增多。利用扫描电子显微

镜观察放射虫壳体的溶解作用。并利用放射虫碎壳率=破碎壳/(破碎壳+完整壳)分析放射虫溶解作用的强弱(王汝建等,1998)。

2.2.2 沉积地球化学方法

(1) 稳定同位素含量测定

17957 柱状样浮游有孔虫氧同位素由台湾大学海洋地质研究所陈民本测定,数据资料由同济大学海洋地质系翦知潜提供(表 B-5),其 $\delta^{18}\text{O}$ 值用 *Globigerinoides sacculifer* 壳体测定。

(2) 蛋白石与碳酸钙含量测定

17957 柱状样的生物蛋白石含量和碳酸钙含量分别由台湾中山大学海洋地质系的林慧玲和台湾大学海洋地质研究所陈民本测定,数据资料由同济大学海洋地质系翦知潜提供(表 B-5)。翦知潜还提供了微玻陨石、粗组分、浮游有孔虫丰度、沉积速率和有关成分的堆积速率数据资料(表 B-5)。

(3) 火山灰的分类、统计与化学成分测定

南沙海区 17957 柱和 17959 柱保存有大量的火山灰。根据南海表层沉积和柱状样中的火山灰研究(邱传珠,1983;杨育标等,1990;王慧中等,1992;陈文斌等,1993),17957 柱和 17959 柱中的火山灰可分为4种类型(表4)。并在250倍的Leitz透射显微镜下分别统计它们的含

表 2.2 南沙海区 17957 柱主要放射虫属种及其百分含量

分类群	最大值	最小值	平均值
<i>Acanthodesmia</i> sp.	38.4	0.0	3.0
<i>T. octacantha</i> + <i>O. stenozone</i>	26.4	6.0	14.8
<i>Liriospyris reticulata</i>	17.0	0.0	1.8
<i>Tholospyris</i> sp.	9.3	0.0	0.9
<i>Pylonidae</i> gen, et sp. indet.	8.0	0.0	2.1
<i>Dimelissa thoracites</i>	7.9	0.0	3.7
<i>Botryocyrtis scutum</i>	7.2	0.7	3.7
<i>Lophospyris</i> spp.	7.2	0.0	1.4
<i>Pterocorys zancleus</i> group	6.8	0.0	3.0
<i>Hexapyle</i> spp.	4.9	0.0	1.7
<i>Acanthodesmia viniculata</i>	4.8	0.0	1.2
<i>Peromelissa phalacra</i>	4.8	0.0	1.4
<i>Zygocircus productus</i>	4.5	0.0	1.1
<i>Carpocanistrum</i> spp.	4.5	0.0	1.8
<i>Dimelissa</i> sp.	4.4	0.0	1.3
<i>Ommatartus tetrathalamus</i> t.	4.2	0.0	1.3
<i>Stylodictya</i> sp.	3.9	0.0	1.0
<i>Spongodiscus anomalum</i>	3.9	0.0	1.1
<i>Pterocorys</i> sp.	3.8	0.0	1.5
<i>Trisulcus nana</i> (Popofsky)	3.7	0.0	0.2

续表

分类群	最大值	最小值	平均值
<i>Spongodiscus</i> sp. A	3.5	0.0	1.0
<i>Pterocanium praetextum</i> p.	3.2	0.0	0.9
<i>Acanthodesmia zonaria</i>	3.2	0.0	0.4
<i>Botryostrobus auritus/australis</i>	3.2	0.0	1.0
<i>Lophophaena hispida</i>	3.1	0.0	0.8
<i>Tholospira cervicornis</i> group	2.9	0.0	0.9
<i>Lophophaena variabilis</i>	2.8	0.0	0.6
<i>Tetrapyle</i> sp.	2.8	0.0	0.8
<i>Actinomma arcadophorum</i>	2.7	0.0	0.6
<i>Phormospyris stabilis stabilis</i>	2.7	0.0	0.9
<i>Cenosphaera</i> spp.	2.7	0.0	0.3
<i>Collosphaera</i> sp. B	2.7	0.0	0.2
<i>Heliodiscus asteriscus</i>	2.7	0.0	0.4
<i>Actinomma</i> cf. <i>medianum</i> (juv.)	2.7	0.0	0.6
<i>Spongodiscus resurgens</i>	2.7	0.0	0.8
<i>Botryopyle multicellularis</i>	2.5	0.0	0.7
<i>Theocorys veneris</i>	2.5	0.0	0.6
<i>Stylodictya multispina</i>	2.5	0.0	0.7
<i>Euchitonia</i> spp.	2.5	0.0	0.6
<i>Lophophaena</i> sp. A	2.5	0.0	0.4
<i>Anthocyrtidium</i> sp.	2.5	0.0	0.6
<i>Peridium spinipes</i>	2.4	0.0	0.5
<i>Larcopyle buschlii</i>	2.4	0.0	0.7
<i>Cycladophora bicornis bicornis</i>	2.4	0.0	0.4
<i>Phorticium</i> spp.	2.4	0.0	0.9
<i>Polysolenia spinosa</i>	2.4	0.0	0.3
<i>Centrobotrys</i> sp.	2.4	0.0	0.2
<i>Zygocircus</i> sp.	2.4	0.0	0.4
<i>Dimelissa monoceras</i>	2.4	0.0	0.2
<i>Lophophaena cylindrica</i>	2.4	0.0	0.5
<i>Porodiscus</i> sp. A	2.3	0.0	0.6
<i>Spiroclytus subscalaris</i>	2.3	0.0	0.4
<i>Stylochlamydidium asteriscus</i>	2.2	0.0	0.6
<i>Anthocyrtidium ophirensae</i>	2.2	0.0	0.5
<i>Lophophaena buschlii</i>	2.2	0.0	0.6
<i>Lithelius</i> sp.	2.1	0.0	0.6

续表

分类群	最小值	最大值	最小值	平均值
<i>Dictyocoryne truncatum</i>	0.0	2.1	0.0	0.7
<i>Larcospira quadrangula</i>	0.0	2.1	0.0	0.6
<i>Stylatractus</i> sp.	0.0	2.1	0.0	0.1
<i>Spongurus</i> ? sp.	0.0	2.1	0.0	0.6
<i>Dimelissa apis</i>	0.0	2.1	0.0	0.7
<i>Dictyocephalus papillosus</i>	0.0	2.0	0.0	0.2

表 2.3 南沙海区 17959 柱主要放射虫属种及其百分含量

分类群	最大值	最小值	平均值
<i>T. octacantha</i> + <i>O. stenozona</i>	15.5	7.3	11.3
<i>Pterocorys zancleus</i> group	7.5	1.7	3.8
<i>Botryocyrtris scutum</i>	6.7	1.5	3.6
<i>Acanthodesmia</i> sp.	6.3	1.1	2.9
<i>Pylonidae</i> gen, et sp. indet.	5.8	1.0	3.5
<i>Tetrapyle</i> sp.	4.8	0.4	2.4
<i>Peromelissa phalacra</i>	4.6	0.0	2.0
<i>Ommatartus tetrathalamus</i> t.	4.6	0.0	1.6
<i>Dimelissa thoracites</i>	4.5	0.7	2.7
<i>Carpocanistrum</i> spp.	4.1	0.0	1.9
<i>Spongodiscus anomalum</i>	4.1	0.0	1.2
<i>Dimelissa monoceras</i>	3.8	0.0	1.1
<i>Liriospyris reticulata</i>	3.8	0.0	1.5
<i>Lophospyris</i> spp.	3.7	0.6	2.1
<i>Pterocorys</i> sp.	3.7	0.3	2.0
<i>Hexapyle</i> spp.	3.4	0.2	1.4
<i>Tholospira cervicornis</i> group	3.4	0.2	1.3
<i>Dimelissa</i> sp.	3.3	0.0	1.6
<i>Botryostrobus auritus/australis</i>	3.2	0.3	1.3
<i>Anthocyrtridium ophirens</i>	2.6	0.0	0.7
<i>Pterocanium praetextum</i> p.	2.6	0.0	1.0
<i>Spongurus</i> ? sp.	2.5	0.0	0.6
<i>Botryopyle multicellularis</i>	2.3	0.0	0.9
<i>Stylodictya</i> sp.	2.3	0.2	1.1
<i>Tholospyris</i> sp.	2.3	0.0	0.8
<i>Zygocircus productus</i>	2.2	0.0	0.8