

南海地质研究

GEOLOGICAL RESEARCH OF
SOUTH CHINA SEA

(十四)

国土资源部广州海洋地质调查局 编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

《南海地质研究》(十四)收集了南海北部陆坡 5 万年来沉积磷的积累与环境变化的关系,琼东南海域末次冰期以来硅铝分布特征及意义,南黄海海域晚古生代—新生代沉积演化特征,南海北部陆坡海底异常地貌特征可能与天然气水合物的关系,南沙中部海域南薇西盆地、南薇东盆地构造演化差异性分析,南沙海域西南海区表层沉积物地球化学特征,南沙中部海域地震速度分析与应用,南沙中部海域北康盆地重、磁异常解释,南海北部海底微地貌特征与近代变化,麦哲伦海山链富钴结壳成矿区域地质背景,高精度差分 GPS 技术在海洋资源调查中的应用,香港外海海底光缆路由工程地质特征等 12 篇文章。反映了近期南海地区地质研究的一批新成果,这些成果的出版,对南海地区地质研究会很大的促进作用。

本书可供从事海洋地质、油气地质等专业的生产、科研人员及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

南海地质研究 . 第 14 期/ 国土资源部广州海洋地质调查局编 .-北京:地质出版社,2003.1
ISBN 7-116-03742-X

. 南... . 国... . 海洋地质学—丛刊 . P736-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 104323 号

NANHAI DIZHI YANJIU 14

责任编辑:曾繁彩 王大军 蔡秋蓉 梁世容

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:6.75

字 数:200 千字

印 数:1—800 册

版 次:2003 年 1 月北京第一版·第一次印刷

定 价:25.00 元

ISBN 7-116-03742-X P·2336

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

目 录

南海北部陆坡 5 万年来沉积磷的积累与环境变化的关系	吴能友	翁焕新	张兴茂(1)
琼东南海域末次冰期以来硅铝分布特征及意义			李学杰(8)
南黄海海域晚古生代—新生代沉积演化特征	王嘹亮	易海	姚永坚 冯志强 金华锋 陈强(15)
南海北部陆坡海底异常地貌特征与天然气水合物的关系	沙志彬	杨木壮	梁劲 郭依群 梁金强(29)
南沙中部海域南薇西盆地、南薇东盆地构造演化差异性分析.....			高红芳(35)
南沙海域西南海区表层沉积物地球化学特征	黄雪华	陈芳	刘坚(45)
南沙中部海域地震速度分析与应用	王衍棠	姚永坚	金华锋(56)
南沙中部海域北康盆地重、磁异常解释.....			林珍(69)
南海北部海底微地貌特征与近代变化			蔡秋蓉(77)
麦哲伦海山链富钴结壳成矿区域地质背景	梁德华		朱本铎(84)
高精度差分 GPS 技术在海洋资源调查中的应用	杨世学		刘宇明(91)
香港外海海底光缆路由工程地质特征	马胜中		张锦炜(97)

南海北部陆坡 5 万年来沉积磷的积累与环境变化的关系

吴能友¹ 翁焕新² 张兴茂²

(1. 广州海洋地质调查局 广州 510760; 2. 浙江大学地球科学系 杭州 310027)

摘要 南海北部陆坡 SZ2 大型重力活塞柱状沉积物岩心提供了 5 万年以来的沉积记录。该柱状样沉积磷含量百年尺度的研究结果显示,5000aB.P 以前,沉积磷含量随深度呈现平缓的变化趋势,表明在自然环境条件下,陆源磷向海洋的输送量基本是恒定的,不同深度沉积磷含量的波动与地质时期发生的气候事件相对应,反映沉积磷的积累对气候、环境变化影响的记录是敏感的。5000aB.P 以来,沉积磷含量呈现陡然的升高趋势,这是由于自然过程和人为因素双重作用的结果。

关键词 南海北部陆坡 沉积磷 环境变化

1 前 言

近十几年来,通过对冰心、黄土、海底沉积、湖积物、树木年轮、洞穴碳酸盐,以及生物遗迹等的研究(Hafildson et al., 1995; GRIR Members, 1993; 丁仲礼等, 1996; 剪知缙等, 1996; 王苏民等, 1996; Fex et al., 1994; 刘东生等, 1997; Froval et al., 1995),地质时期和人类发展时期的气候、环境变化纪录不断地被揭示。在进一步讨论气候、环境变化的原因和机制时,人们愈来愈认识到营养元素——磷的生物地球化学过程对全球变化起着不可忽视的作用,因为它直接或间接地与大气圈中的 O_2 、 CO_2 的含量相关联。Mcelroy(1983)和 Holland(1994)认为,对大气圈 O_2 和 CO_2 起主要控制作用的海洋碳循环,强烈地制约着营养元素——磷,这是因为在海洋生产中磷是一个重要的限制因素;Broecker 和 Stewart 也指出, CO_2 的变化在一定程度上是受磷的变化所制约,它与海洋沉积物中的磷在短期(10^4 a)内的交换有关(马隆等, 1990)。

海洋中的磷主要来源于陆地地表径流中以溶液、悬浮物、无机和有机物等组分中的磷。进入海洋的绝大部分陆源磷,可以通过生物的、化学的和物理的过程沉积在大陆边缘(翁焕新, 1999)。由于磷在整个沉积过程中,无论以何种方式沉淀都受到环境系统背景的影响,因此,海洋沉积物中生物遗骸的碳、氧同位素所记录的古气候和古环境变化信息,在沉积磷中也会有相应的记录,Levin et al.(1994)在研究赤道太平洋深海沉积物中磷含量的垂向变化

第一作者简介:吴能友,男,1965 年生,博士,现任广州海洋地质调查局副总工程师、教授级高工,主要从事海洋构造地质、第四纪地质与环境调查研究。

本研究得到国家自然科学基金资助(批准号:49973032)。

时发现,在万年时间尺度上,沉积磷的积累速率表现出与氧同位素 ^{18}O 变化有一定的对应关系,即在间冰期积累速率增加,而在冰期减少。

为了高分辨率地揭示海洋沉积磷的积累历史及其与气候、环境变化之间的关系,我们研究了南海北部陆坡 5 万年以来沉积物中磷的含量随深度的变化,进而在百年尺度上讨论气候和环境变化对沉积磷积累的影响,这对认识磷的环境与生物地球化学行为,以及在揭示过去全球变化的地球化学指标和多指标互证方面,具有重要的理论意义和科学价值。

2 样品与分析

本次研究的大型重力活塞柱状沉积物岩心 SZ2 采自南海北部陆坡,水深 2903 m 处。地理位置为 $20^{\circ}29'43.8''\text{N}$, $119^{\circ}07'04.3''\text{E}$ 。柱状沉积物岩心长 8.26 m,提供了大约 5 万年以来的沉积记录。沉积物岩心色调一致,除了在 7.54 ~ 7.75 m 之间为黄色粘土质粉砂外,其余均为灰色粉砂质粘土。

以 3 cm 为间隔分割沉积柱样,共采得分辨率为百年时间尺度的分析样品共 275 个。沉积物分析样品在 40°C 的恒温箱中烘干,研细。取 1 g 样品放入烧杯中,加入 10 mL 70% 的 HClO_4 ,在 120°C 下消化,直至溶液退色,浓烈的 HClO_4 气烟出现,二氧化硅变成白色为止。冷却后,用去离子水定容至 250 mL,然后用分光光度法测定总磷,最低检出限为 0.01 mg/L。用重复样品和标准样品 CRMMESS-1 检验分析误差小于 5%。

由中科院广州地球化学研究所在沉积柱样 143 ~ 160 cm 处,测得的 ^{14}C 年龄为 $(7500 \pm 150)\text{a}$ 。在 798 ~ 801 cm 处,测得的热释光年龄为 $(51100 \pm 4000)\text{a}$ 。

3 结果与讨论

3.1 坡沉积物中磷含量随深度的变化趋势

通过对南海北部陆坡 SZ2 沉积物柱状岩心中总磷含量的测试结果的垂向变化进行五次多项式拟合,曲线如图 1。

从图中可以看到,在 5000 aB.P 前后,沉积磷的含量变化曲线出现拐点,将南海北部陆坡沉积物中总磷含量的变化划分为 2 种不同的变化趋势。在 5000 aB.P 以前,尽管在不同深度,沉积磷的含量存在较大幅度的高低变化,最大极差可以达到 222.63 mg/kg,但是,拟合曲线随深度的变化平缓,沉积磷的含量仅在 420 ~ 450 mg/kg 之间,如此小的含量变化幅度范围,表明在没有人造因素影响的自然环境下,由陆源供给海洋的磷的数量是基本恒定的。不难理解,在不同深度沉积物中的磷含量出现偏离变化曲线的现象是由于受古气候、古环境变化的影响,导致陆源磷在间冰期向海洋输送的量增加,在冰期向海洋输送的量明显减少,导致磷的生物地球化学过程发生改变,从而使沉积磷积累量发生改变的必然结果。因此,海洋沉积磷的含量随深度发生的明显增高和降低的变化与气候、环境相关联,各个时段沉积磷变化幅度的大小,反映了当时气候、环境变化对沉积磷积累的影响程度。

5000 aB.P 以来,南海北部陆坡沉积物中磷的含量变化曲线呈现出陡然增高的趋势,这一方面说明了由于气候的自然转暖,使陆源磷向海洋输送量的增加,另一方面也表明了因人类活动,增加了磷向海洋排放量。因此,南海北部陆坡近代沉积物中磷含量的大幅度增加,

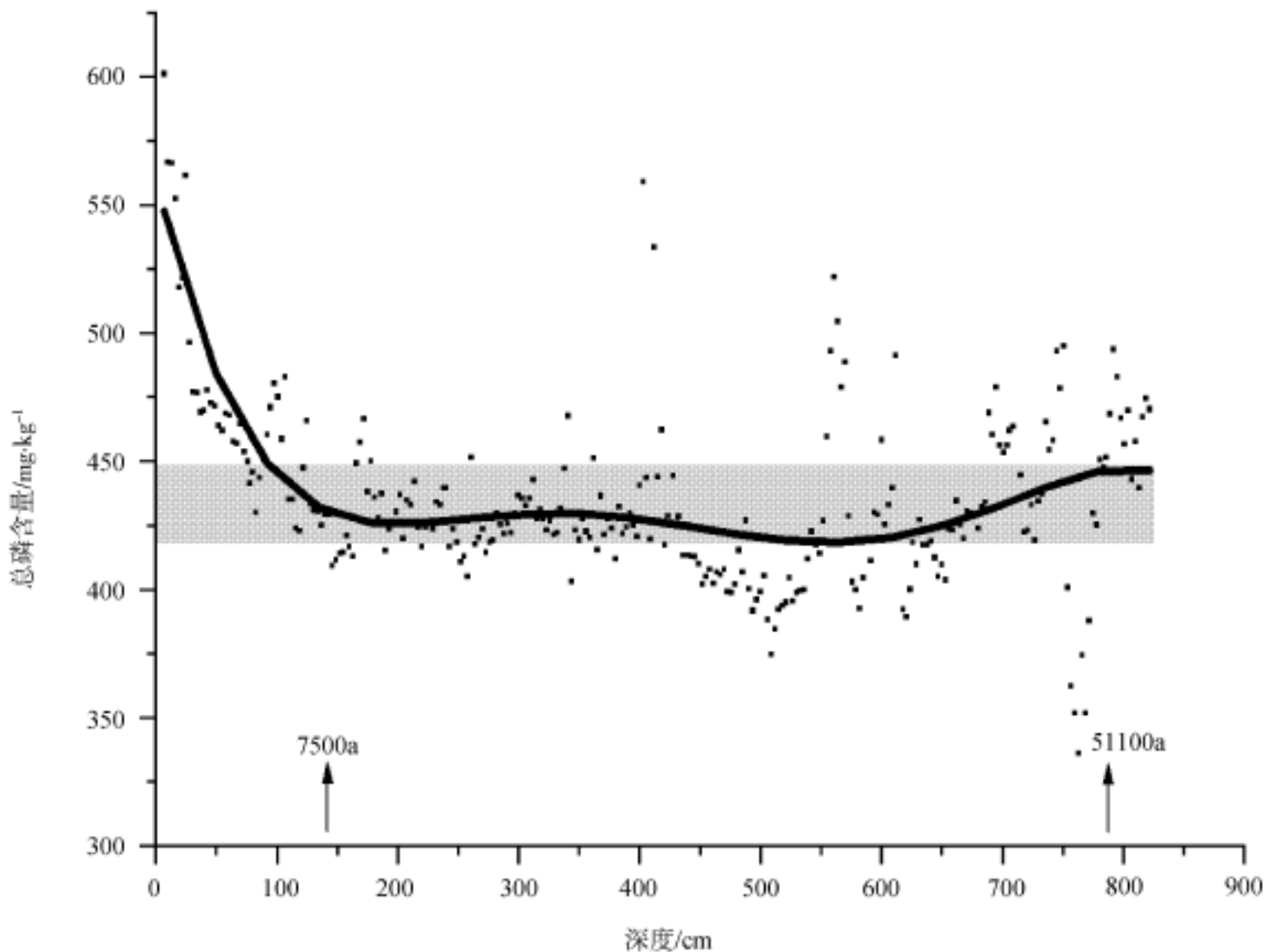


图 1 南海北部陆坡沉积磷含量随深度的变化曲线(五次拟合)

Fig. 1 Curve of phosphorus content in sediments changing with depth of core SZ2 from the north slope of South China Sea (after 5 degree of polynomial fitting)

是自然过程与人类因素双重作用影响的结果。

南海北部陆坡沉积磷含量的频率分布图如图 2,其中图 2a 给出了 5000 aB .P 以来近代沉积物中磷的含量分布类型,图 2b 为 5000 aB .P 以前沉积物中磷的含量分布类型。两图相比可以看出,控制沉积物中磷积累和含量分布的因素明显有人类因素和纯自然因素,两种磷的含量分布类型具有明显不同的特征。

磷在沉积过程中,除了自然的沉淀作用外,一个十分重要的生物地球化学过程是通过海洋生物对磷的吸收,然后以排泄物或遗骸的形式沉淀,因此,沉积物中磷积量的大小,不仅直接反映了陆源磷输入量的多少,而且也间接地反映了海洋的初级生产力。这就是说,陆源磷向海洋输送的数量增加,会促使海洋初级生产力增强,由此而产生的正面效应,起到调节大气圈 CO_2 和 O_2 的作用(Holand, 1994; Mcelroy, 1983),但是,近代人类活动向海洋过量排放的磷所带来的负面效应是导致海洋的富营养化,尤其是近年来全球范围内频繁发生的赤潮事件,反映了这种负面效应已给我们的环境带来不良的影响。

3.2 沉积磷的积累与气候、环境变化的对应关系

南海北部陆坡沉积物中磷的含量随深度的变化,呈现出周期性波动的特征,与格陵兰冰心(GRIP) ^{18}O 曲线(Bond et al., 1993)的对比表明,这种周期性波动与全球气候事件有较好的对应关系(图3)。从图中可以看到,全球性YD和H₁-H₅事件,在中国南海北部陆坡沉

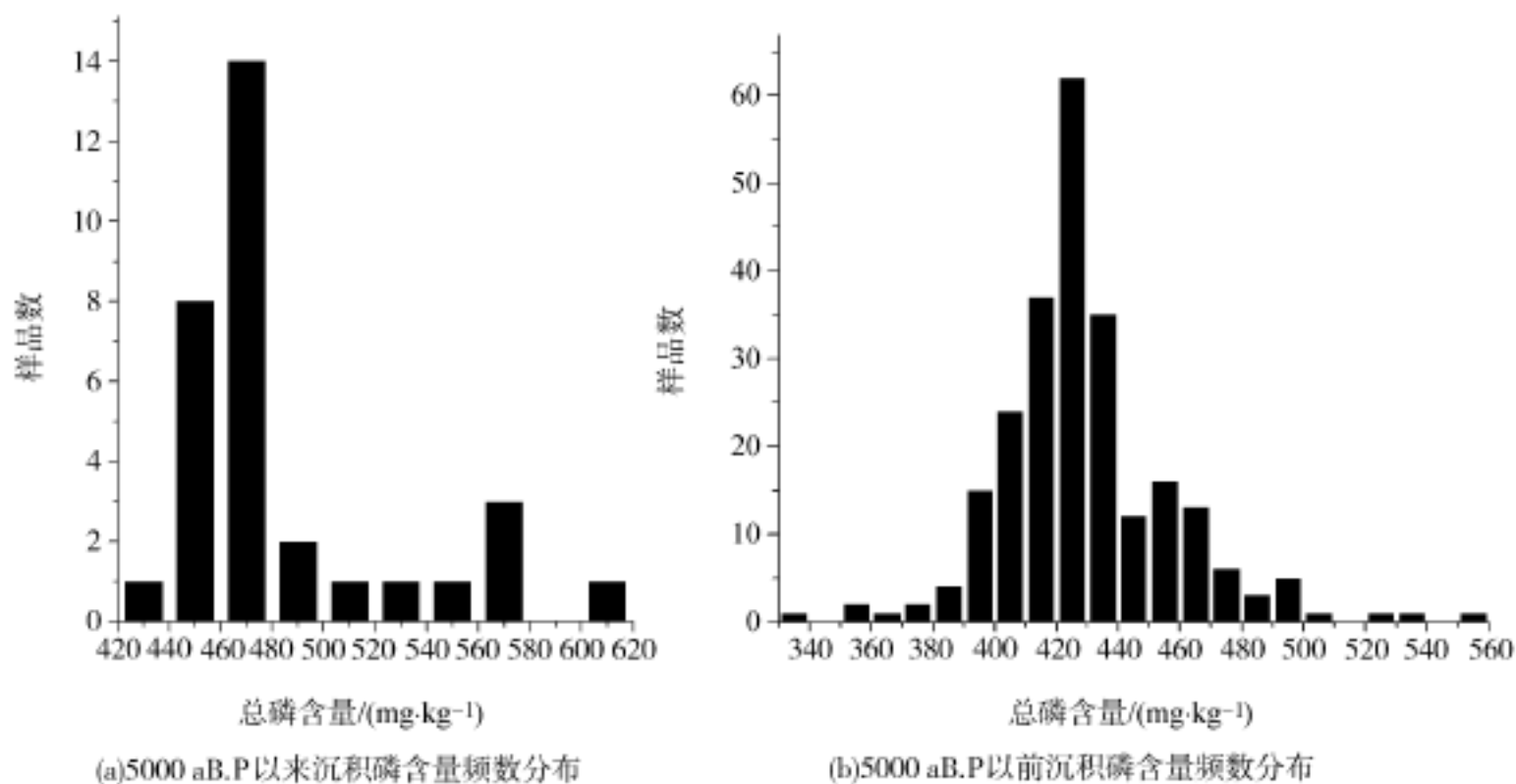


图 2 南海北部陆坡沉积物中磷含量的频率分布图

Fig 2 Frequency distribution of phosphorus contents in sediments from the north slope of South China Sea since 5000 aB .P(a)and before 5000 aB .P(b)

积磷中均有相应的记录。这与汪品先等(1996)在对南海北部陆坡区的 17940 柱做了高分辨率年代学分析后,从中找到的 Heinrich 事件和 H_1-H_4 存在特征相一致。综观 5 万年以来南海北部陆坡沉积物中磷含量的变化,沉积磷的含量从高变低所跨越的深度明显大于从低变高所跨越的深度,即沉积磷从间冰期的含量高峰值变向冰期的含量低谷值所经历的时间,远低于从冰期的低谷值变向间冰期的高峰值所经历的时间。南海北部陆坡沉积磷含量在深度上的这个变化特征与全球气候变化的规律是完全相一致的(图 3),格陵兰冰心 ^{18}O 的变化曲线正反映了全球气候变化,由冷转暖的时间是短暂的,而由暖变冷的时间明显延长的特征。以上结果说明,在气候由间冰期向冰期转变的过程中,不仅为陆源向海洋输入更多磷创造了气候条件(包括温度、降水量、风化条件等),而且也为海洋沉积磷的积累提供了充裕的时间。根据图 3 的显示,南海北部陆坡沉积磷在不同深度上的变化是明显的,这反映了不同时段沉积磷的积累,对来自气候、环境的影响的记录是敏感的。

汪品先等(1995)曾分析了南海北部陆坡柱样同位素与微体古生物,揭示了 YD 事件在南海的存在,修正了 Broecker 等(1988)提出的太平洋区无 YD 事件推论的同时,而且测得 YD 事件出现年代为 11390 ~ 10310 aB .P。这个时间段,根据沉积速率,相当于 SZ2 柱状样深度 227 ~ 206 cm 处,从图 3 中可以看出,在这一深度段沉积磷的含量出现明显降低的变化,这不仅反映了 YD 事件对沉积磷积累的影响,同时也为 YD 事件在南海的存在提供了证据。

根据 AMS ^{14}C 法测年,末次冰期开始于 14900 ~ 14800 aB .P(Broecker et al ., 1988),南海冰消期开始于 13600 aB .P(王律江等, 1994),这相当于南海北部陆坡 SZ2 沉积柱约 240 cm 深处,图 3 中可以看到在这个深度以上,沉积磷的含量开始逐渐升高,反映了末次冰消期以来气候明显转暖,陆源磷向海洋输入的量增加。

黄麟(1988)根据青海湖 Q-14A 钻孔中有机质含量变化所反映的干湿程度,指出全新世以来 5 次干旱事件,其时间分别为 8000 ~ 7500 aB .P, 5400 ~ 5100 aB .P, 4700 ~ 4100 aB .P,

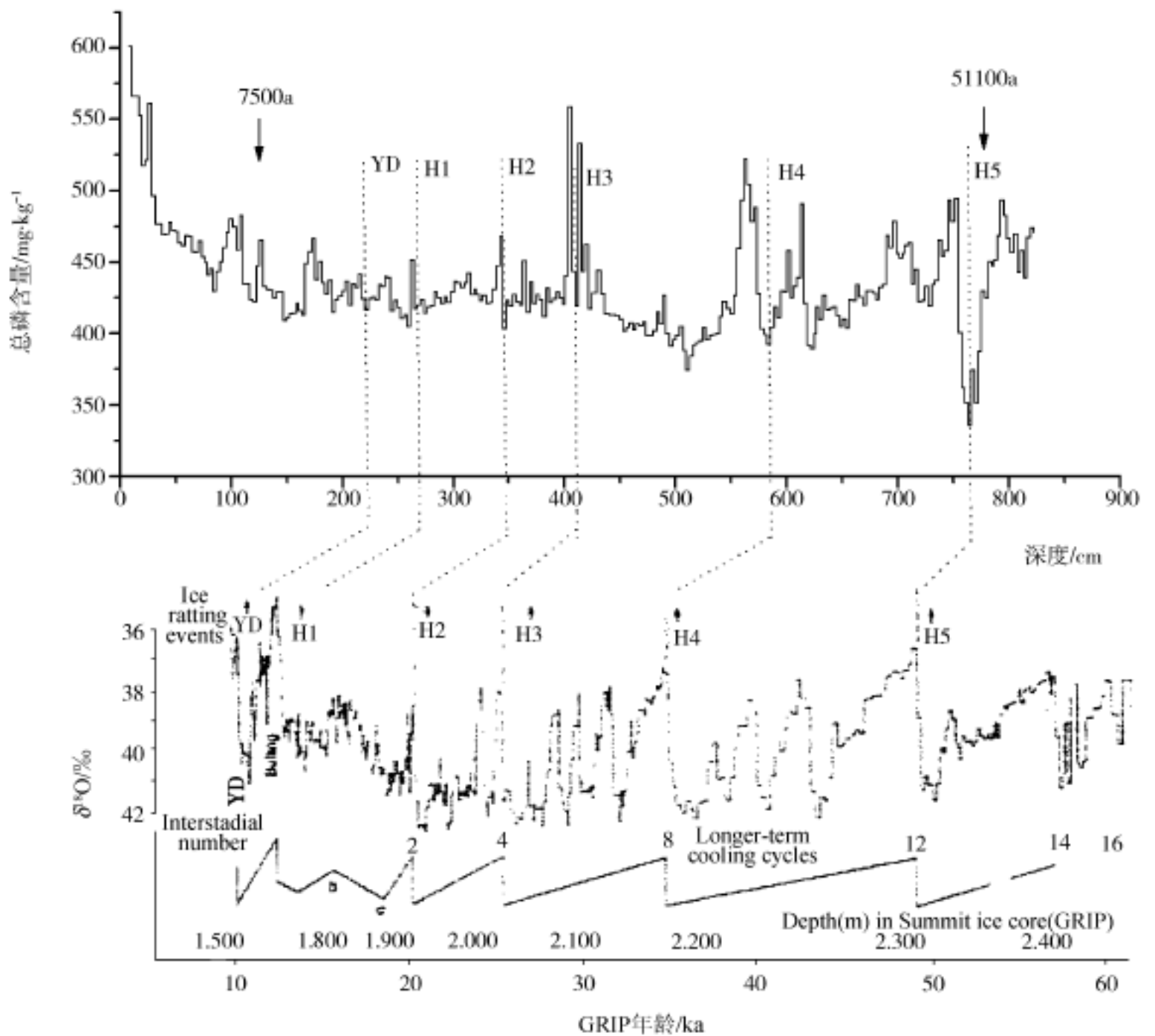


图3 南海北部陆坡沉积磷的垂向变化与冰心 GRIP ^{18}O 曲线的对比

Fig 3 Correlation between the curves of phosphorus content in sediments of core SZ2 from the north slope of South China Sea and ^{18}O of ice core GRIP from Greenland

2800 ~ 2200 aB.P 和 1600 ~ 100 aB.P, 这些干旱事件的发生时期分别相当于南海北部陆坡 SZ2 柱状样深度为 32 ~ 2 cm, 56 ~ 44 cm, 94 ~ 82 cm, 108 ~ 102 cm 和 150 ~ 160 cm。从图 3 中可以看到, 从 7500 aB.P 以来, 南海北部陆坡沉积磷的含量总的呈现出急剧上升的趋势, 但是在上述相应时间段的沉积磷含量均呈现出相对较低的水平, 表明了干旱事件发生期间, 陆源磷向海洋输送量的明显减少, 同时也说明了沉积磷的这些低峰值记录了全新世以来的干旱事件。

郭正堂等(1996)用化学风化指数(CIW)研究了渭南黄土剖面, 并根据风化强度的低峰, 揭示了干冷气候事件, 这些事件出现的年代, 与本柱相应时段沉积磷含量较低的深度一一对应, 进一步说明南海北部陆坡沉积磷含量在垂直方向上的变化, 与地质时期发生的每一次气候事件是紧密相关联的。

综上所述, 海洋沉积磷的含量随深度的波动是气候和环境变化直接和间接影响的结果,

也就是说,海洋沉积磷记录了古气候和古环境变化的信息,因此,海洋沉积磷可以作为指示古气候,古环境变化的指标。

参 考 文 献

- [1] Hafildson, H ., Sejrup, H .P ., Kristensen, D .K .et al ., 1995 .Coupled response of the late glacial climatic shifts of north-west Europe reflected in Greenland ice cores: Evidence from the northern North Sea . *Geology*, 23, 1509 ~ 1062
- [2] GRIR Members . 1993 .Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core . *Nature*, 364, 203 ~ 207
- [3] 丁仲礼,任建璋,刘东生等 .1996 晚更新世季风-沙漠系统千年尺度的不规则变化及其机制问题 .*中国科学(D 辑)*, 26,385 ~ 391
- [4] 剪知缙,刘保华,汪品先等 .1996 .太平洋晚新世变冷事件 .*中国科学(D 辑)*,26(5),461 ~ 466
- [5] 王苏民,羊向东,马燕等 .1996 .江苏固城湖 15ka 来的环境变迁与古季风关系的探讨 .*中国科学(D 辑)*,26(2),137 ~ 141
- [6] Fex, X ., Epstein, S .1994 .Climatic implications of an 800-year hydrogen isotope time series from Bristlecone pine tree, *Science* ,256,1074 ~ 1081
- [7] 刘东生,谭明,秦小光等 .1997 .洞穴碳酸钙微层理在中国的首次发现及其对全球变化研究的意义 .*第四季研究*,1, 41 ~ 51
- [8] Froval, T .,Jansen, E .,Bloemendal, J et al . . 1995 .Oceanic evidence for coherent fluctuations in fennoscandian and Laurentide ice sheets on millennium time scales . *Nature*, 374,443 ~ 446 .
- [9] Holand, H .D .1994 The phosphorus-oxygen connection . *Ocean Science Meeting*
- [10] Mcelroy, M .B . . 1983 .Marine biological controls on atmospheric CO₂ and climate .*Nature*,302,328 ~ 329
- [11] 马隆, T .F ., 罗尔统, J .G . . 1990 .全球变化 曹可珍,耿庆国,宋炳忠等译 .北京:地震出版社,31 ~ 38
- [12] 翁焕新 .1999 .海陆边缘沉积磷在全球变化研究中的意义 .*地球科学进展*,14(5),524 ~ 528
- [13] Levin, A .L ., Filipelli, G .M . et al . . 1994 . Glacial/ interglacial variation in phosphorus accumulation rates in equatorial Pacific sediments .*Ocean Science Meeting*
- [14] Bond, G ., Broecker, W .,Johnsen, S et al . . 1993 .Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland ice . *Nature* ,365, 143 ~ 147
- [15] 汪品先,卞云华,李保华等 .1996 .西太平洋边缘海的“新仙女木”事件 .*中国科学(D 辑)*,26(5),452 ~ 460
- [16] Broecker, W .S ., Andree, M ., Klas, M et al . . 1988 .New evidence form the South China Sea for an abrupt termination of the last glacial period . *Nature*,333,156 ~ 158
- [17] Broecker, W .S ., Andree, M ., Wolfli, W .et al . .1988 .The chronology of the Last Deglaciation: Implications to the Cause of the Younger Dryas Event .*Paleoceanography*,3,1 ~ 19
- [18] 王律江,卞云华,汪品先 .1994 .南海北部末次冰消期及快速气候回返事件 .*第四纪研究*,1,1 ~ 12
- [19] 黄麒 .1988 .青海湖沉积物的沉积速率及古气候演变的初步研究 .*科学通报*,22,1740 ~ 1744
- [20] 郭正堂,刘东生,吴乃琴等 .1996 .最后两个冰期黄土中记录的 Heinrich 型气候节拍 .*第四纪研究*,1,21 ~ 28

PRIMARY STUDY ON PHOSPHORUS ACCUMULATION IN SEDIMENTS AND ITS RELATION TO ENVIRONMENTAL CHANGE OF THE NORTH SLOPE, SOUTH CHINA SEA SINCE 50 ka BP

Wu Nengyou⁽¹⁾ Weng Huanxin⁽²⁾ Zhang Xingmao⁽²⁾

(1) Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, MLR, Guangzhou 510760

(2) Department of Earth Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310027

Abstract: The piston core SZ2 (8.26 m in length) recovered from the north slope of South China Sea (29°03' N, 119°07' E) provide the sedimentation record since 50 ka BP. The phosphorus accumulation in sediments of SZ2 at the scale of 100 years and its relation to the environmental change of the north slope of South China Sea were discussed in the present paper. Before 5000 a BP, the phosphorus contents in sediments present the gentle change with the increase of core depth. It is showed that the input of phosphorus from the continent to the sea is basically constant under the natural environmental condition. The phosphorus content changes in different depths were in correspondence with the climatic events in the geological history and revealed that the phosphorus accumulation is sensitive to the climatic and environmental changes. After 5000 a BP, the phosphorus contents in sediments showed the increasing trend and reflected the combined result of natural process and anthropic factor.

Key words: north slope of South China Sea, deposited phosphorus, environmental change

琼东南海域末次冰期以来硅铝分布特征及意义

李学杰

(广州海洋地质调查局海洋地质科学发展战略研究所 广州 510760;
同济大学海洋地质教育部重点实验室 上海 200094)

摘要 对琼东南从陆架到陆坡的 33 个表层样和 1 个柱状样的 SiO_2 、 Al_2O_3 分析、浮游有孔虫鉴定、 ^{18}O 、 ^{13}C 分析和 ^{14}C 测年,结果表明,从陆架到陆坡 SiO_2 含量呈下降趋势, Al_2O_3 含量变化较复杂,总体为“先升后降”,在外陆架—上陆坡最高。 SiO_2 与 Al_2O_3 的相关性在陆架和陆坡完全不同,在水深 $<150\text{ m}$ 的陆架区两者呈负相关关系,在水深 $>300\text{ m}$ 的陆坡区,两者呈正相关,在 $150\sim 300\text{ m}$ 的过渡区,两者相关性不明显。陆坡区柱状样的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 与浮游有孔虫转换函数计算的表层水温有明显相关,均在氧同位素 1、3 期高,2 期较低,这反映了不同气候条件下,陆源物质的风化淋滤作用强度不同造成,因此 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值可能成为又一反映古气候特征的指标。

关键词 地球化学 末次冰期 琼东南 古气候

南海是西太平洋最大的边缘海,其北部大陆边缘宽广,沉积速率高,同时各种钙、硅质微体生物发育,成为古海洋学研究的热点地区之一^[1~11]。对于南海沉积地球化学已作了不少研究^[12~16],但沉积地球化学对古气候古海洋环境方面的研究很少。

在中国海陆架 SiO_2 、 Al_2O_3 分布表现为负相关关系^[16~17],但陆坡区两者的关系比较复杂, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 总体随水深增多,先降后升^[12]。本文对晚冰期以来的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 研究后,发现它与海水表层温度有关,可能为古气候研究提供一些有用的信息。

1 材料与方法

对琼东南海域进行 34 个站位的地质取样(图 1),其中 1 个为柱状样,其余为表层样。从取样站点的水深来看,小于 150 m 的 5 个站点, $150\sim 300\text{ m}$ 的 4 个站点,大于 300 m 的 24 个站点。柱状样 S19,长 664 cm ,按 10 cm 间距取样,共取 64 个样品。对所有样品作硅酸盐全分析、浮游有孔虫鉴定,对上部 49 个样品作 ^{18}O 和 ^{13}C 分析,并作了 3 个 ^{14}C 年龄测定,其中 SiO_2 、 Al_2O_3 采用原子吸收进行测定。

研究区表层沉积物总体由西北向东南变细,西北以陆源碎屑为主,主要为细砂、粘土质粉砂等;东南部以生物碎屑为主,主要有钙质生物砂质粉砂、钙质生物粘土—砂—粉砂、含硅

国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000078501)。

作者简介:李学杰,男,1964 年生,在职博士,高工,主要从事海洋地质与第四纪地质研究工作。

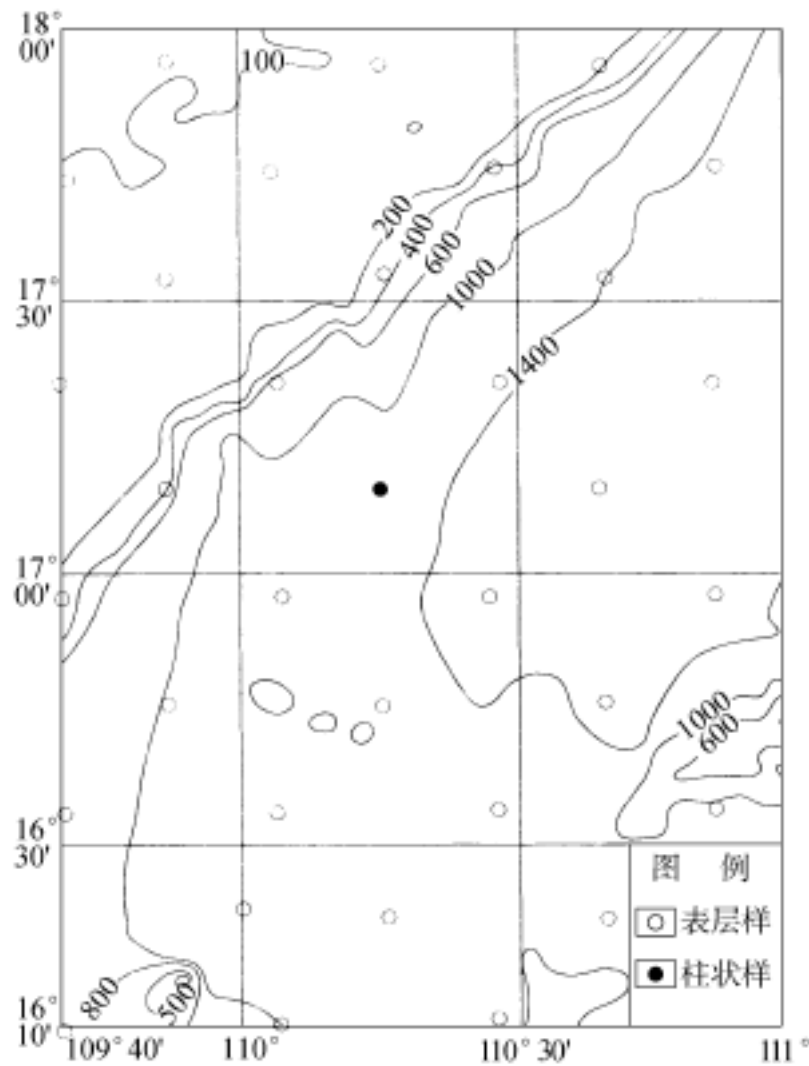


图 1 取样站位图

Fig. 1 Sites of sampling

钙质生物粘土质粉砂等。

2 表层样品 SiO_2 、 Al_2O_3 分布特征

2.1 SiO_2 分布特征

总体从西北部陆架区向东南陆坡, SiO_2 含量逐渐下降, 从 70% 下降至 34% (图 2)。在陆架部分等值线与水深的等深线基本平行, 到西南部西沙海槽南坡, 虽水深变浅, 其含量继续下降, 而且变化梯度大致相同。显然主要受离岸距离和水深控制, 陆源物质主要来自西北的海南岛, 随离岸距离和水深增大, 陆源物质减少, 其主要成分 SiO_2 含量下降。

2.2 Al_2O_3 分布特征

Al_2O_3 含量分布比 SiO_2 含量分布复杂, 成块状分布 (图 3), 西北陆架区含量最低, 为 8.0% ~ 11.0%。外陆架—上陆坡含量最高, 为 10.0% ~ 14.5%。在东南部西沙海槽的南坡, 含量下降, 为 10.5% ~ 12.5%。且与水深等深线不完全一致, 显然, 它的影响因素更多。但总体而言, 由西北向东南, 由陆架到上陆坡, 随水深和离岸距离增大而递增, 之后在陆坡区随离岸距离增大而下降。

2.3 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 分布特征

$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值的分布有明显的规律 (图 4), 由西北向东南下降, 由 8.5 降至 3.2, 在内陆架区变化梯度大, 水深越浅变化梯度越大, 且与等深线大致平行。而外陆架至陆坡含量相对稳定, 尤其在海槽区变化很小, 为 3.2 ~ 3.6, 但仍受离岸距离控制, 东南部最低。

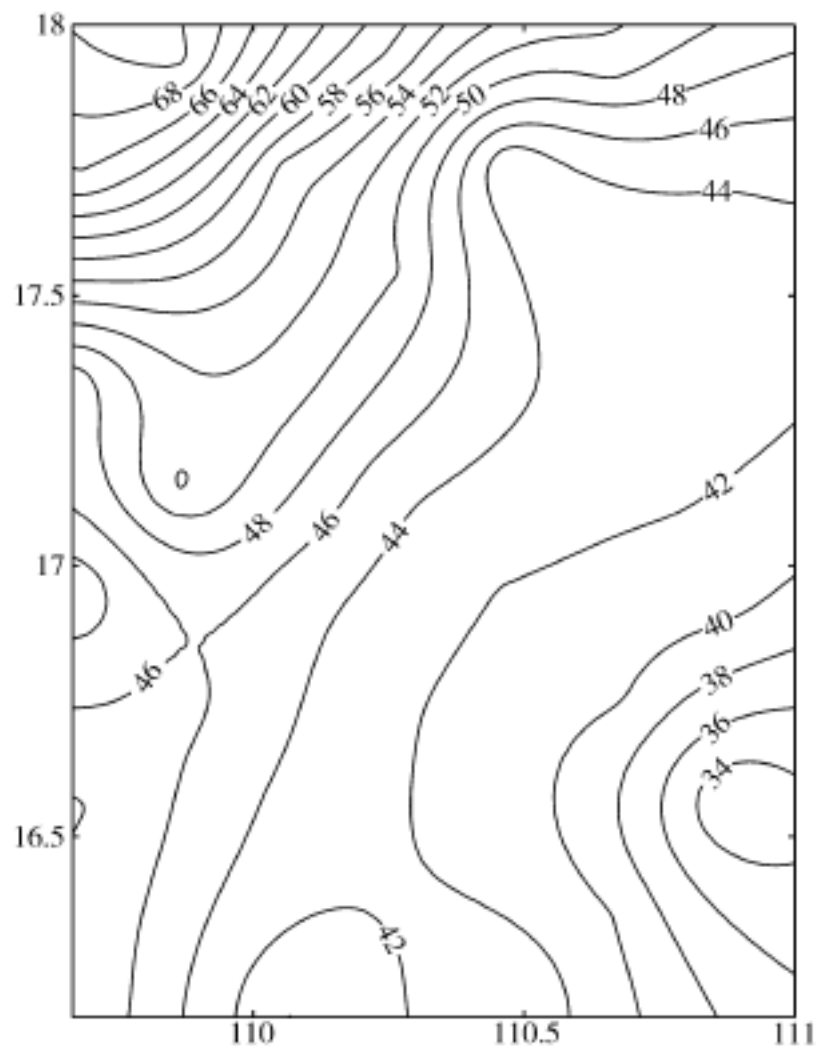


图 2 琼东南表层沉积物 SiO_2 含量分布图

Fig 2 Distribution of content of SiO_2 at submarine surface sediment in Southeastern Hainan

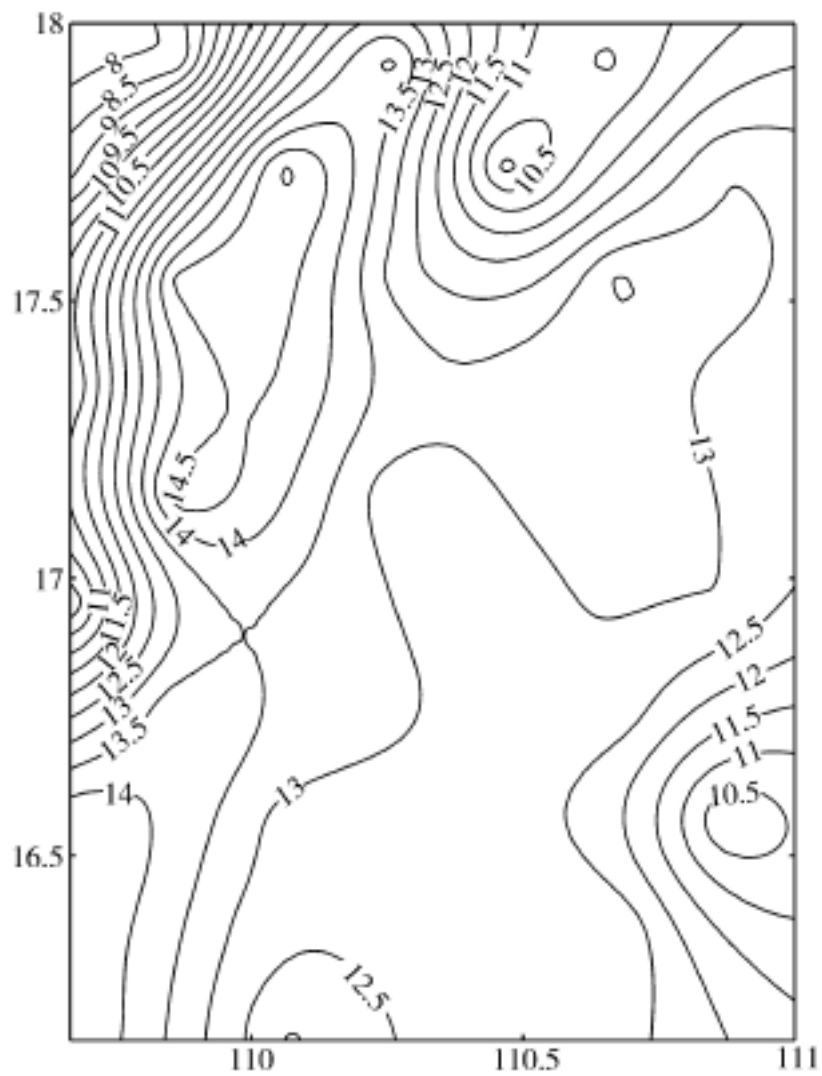


图 3 琼东南表层沉积物 Al_2O_3 含量分布图

Fig .3 Distribution of content of Al_2O_3 at submarine surface sediment in Southeastern Hainan

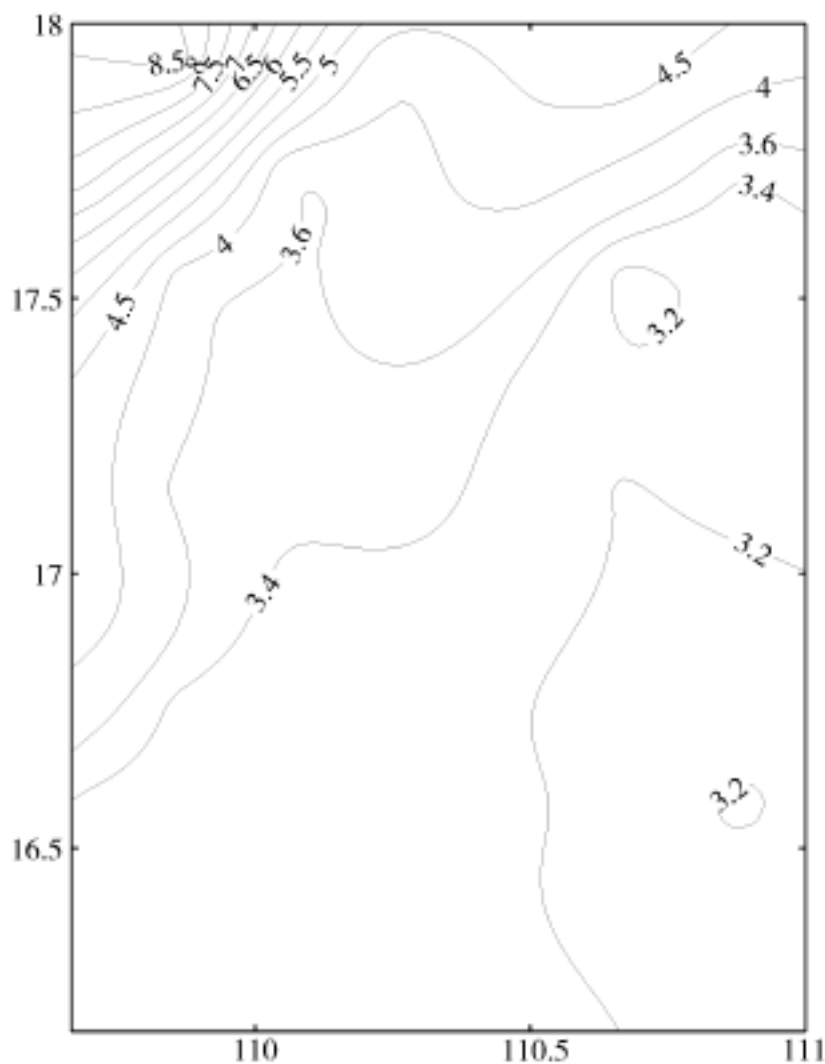


图 4 琼东南表层沉积物 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值分布图

Fig 4 Ratios of SiO_2 to Al_2O_3 at submarine surface sediment in Southeastern Hainan

2.4 相关分析

通常认为陆架区沉积物中 SiO_2 、 Al_2O_3 含量的分布呈负相关关系^[16,17]。对本区表层样品的详细研究表明, SiO_2 、 Al_2O_3 之间的关系在不同水深的海域是不一样的, 在水深小于 150 m 的内陆架, 两者为负相关关系, 这与以往的研究是一致的; 但在水深 150 ~ 300 m 的外陆架至上陆坡区, 两者没有明显的相关性; 在水深大于 300 m 的陆坡区两者呈明显的正相关关系(图 5)。

3 S19 柱状样地层时代

S19 柱状样的氧同位素测定结果(图 6)表明, 0 ~ 140 cm 段为氧同位素 1 期, 140 ~ 420 cm 为氧同位素 2 期, 420 cm 以下为氧同位素 3 期, 未见底。同时对该柱状样的¹⁴C 测年结果, 143 ~ 146 cm 为 (10860 ± 240) aB.P., 246 ~ 249 cm 为 (14000 ± 350) aB.P., 349 ~ 352 cm 为 17000 aB.P., 与氧同位素结果基本吻合。

4 S19 柱状样 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 变化与古水温

4.1 SiO_2 、 Al_2O_3 分布特征

S19 柱状样的 SiO_2 、 Al_2O_3 呈明显的正相关关系, 与本区 > 300 m 的陆坡海域表层沉积物 SiO_2 、 Al_2O_3 相关性一致(图 6), 而与浅海陆架区分布相反。总体看, 该柱状样 SiO_2 、 Al_2O_3

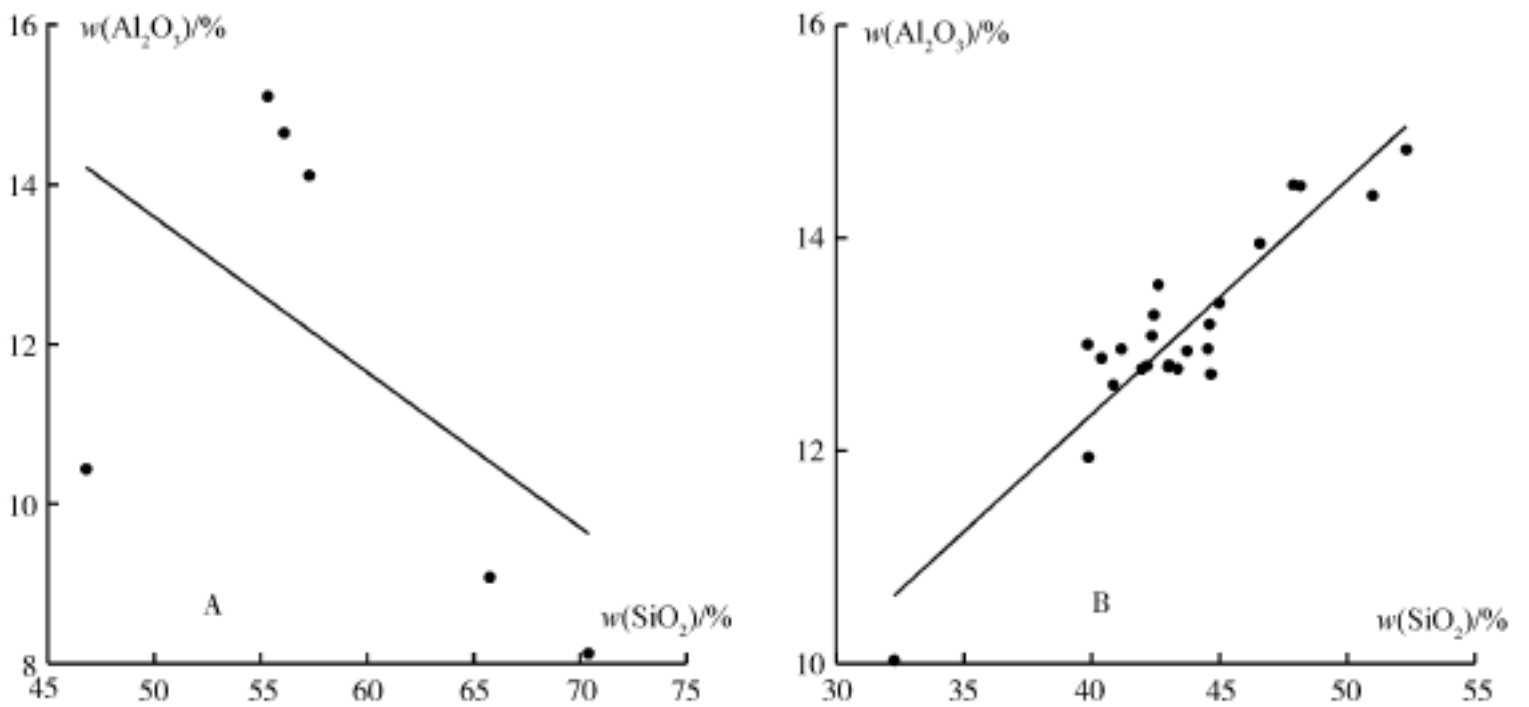


图 5 琼东南表层沉积物 SiO_2 与 Al_2O_3 相关图

Fig 5 Relationship between content SiO_2 and Al_2O_3 at submarine surface sediment in Southeastern Hainan

A: 水深 < 150 m, B: 水深 > 300 m

含量在氧同位素 2 期较高, 而 1、3 较低。但在 2 期末, 即末次冰期的冰消期均明显下降, 达到最低值, SiO_2 、 Al_2O_3 含量分别为 41.26% ~ 43.56%, 22.58% ~ 13.08%; 全新世早期上升, 其含量分别为 45.08% ~ 46.76%, 13.58% ~ 14.58%; 中晚期下降 43.61% ~ 44.67%, 12.72% ~ 15.15% (图 6)。

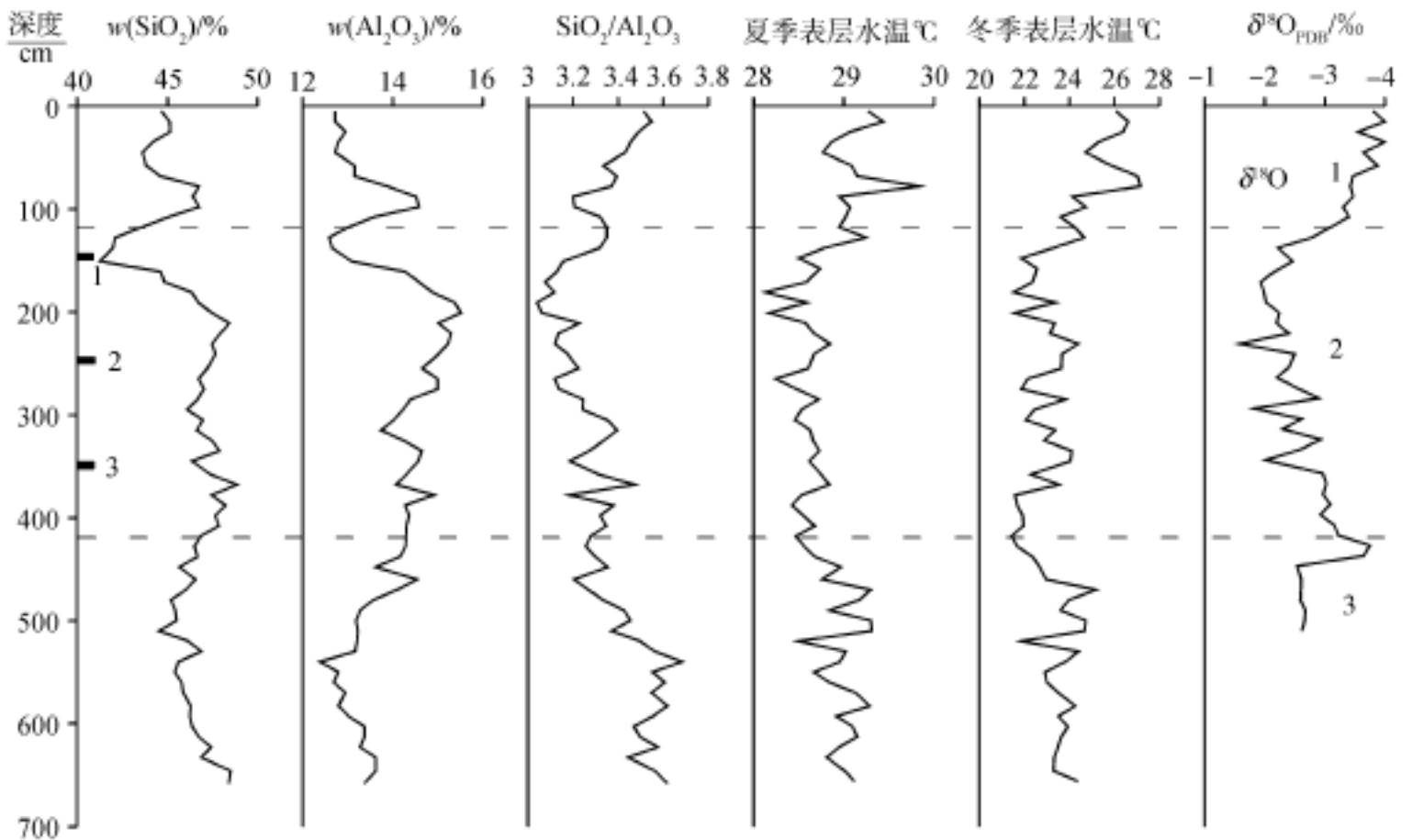


图 6 S19 柱状样 Si、Al 分布与表层水温关系

Fig 6 Relationship between SST and content of Si and Al at piston core S19

^{14}C 测年: -1: 10860 ± 240 aB.P., -2: 14000 ± 350 aB.P., -3: 17000 aB.P.

4.2 SiO₂/Al₂O₃ 与古水温

该柱状样 SiO₂/Al₂O₃ 比值的变化与 SiO₂、Al₂O₃ 含量变化完全不同(图 6), 总体呈负相关。但它与浮游有孔虫转换函数计算的表层水温^[18] 却有明显的正相关, 大致均可分为 3 段: 0~140 cm, 即氧同位素 1 期, SiO₂/Al₂O₃ 比值较高, 为 3.08~3.55, 表层水温也较高, 冬季为 23.3~27.2, 夏季为 27.8~29.8; 140~460 cm, 大致相当于氧同位素 2 期, SiO₂/Al₂O₃ 比值较低, 为 3.04~3.47, 表层水温也较低, 冬季为 21.4~24.4, 夏季为 28.1~29.0; 460~664 cm, 氧同位素 3 期, SiO₂/Al₂O₃ 值较高, 为 3.27~3.68, 表层水温也明显增高, 冬季为 21.9~25.2, 夏季为 28.5~29.3。

从下陆坡区 SiO₂、Al₂O₃ 呈正相关分布来看, 控制其分布的显然与内陆架的“粒度分布率”^[16] 不同, 下陆坡的陆源物质主要是粘土矿物, 因此, SiO₂/Al₂O₃ 比值变化与粘土矿物的化学成分有关。在不同的气候条件下, 陆地的风化淋滤作用强度不同, 使带到陆坡的粘土矿物含量和成分不同。在温暖潮湿时期, 陆地风化淋滤作用强, 硅质成分先被淋滤带入海洋, 而铝相对更多的滞留在陆地; 在干冷期, 风化淋滤作用弱, 这种由淋滤造成的硅、铝差异较小, 这可能是暖湿期 SiO₂/Al₂O₃ 比值高, 而干冷期 SiO₂/Al₂O₃ 比值低的原因。

5 结 论

(1) 从陆架到陆坡 SiO₂ 含量呈下降趋势, Al₂O₃ 含量变化较复杂, 总体为“先降后升”, 在外陆架—上陆坡最高。

(2) SiO₂ 与 Al₂O₃ 的相关性在陆架和陆坡完全不同, 在水深 < 150 m 的陆架区两者呈负相关关系, 在水深 > 300 m 的陆坡区, 两者呈正相关, 在 150~300 m 的过渡区, 两者相关性不明显。

(3) 陆坡区柱状样的 SiO₂/Al₂O₃ 与浮游有孔虫转换函数计算的表层水温明显相关, 均在氧同位素 1、3 期高, 2 期较低, 因此可能成为又一反映古气候特征的指标。

参 考 文 献

- [1] 汪品先, 卞云华, 王律江等. 1995. 十五万年来的南海. 上海: 同济大学出版社, 46~82
- [2] 钱建兴. 1999. 晚第四纪以来南海古海洋学研究. 北京: 科学出版社
- [3] Schonfeld, J, Kudrass H. 1993. Hemipelagic sediment accumulation rates in the South China Sea related to Late Quaternary Sea-level changes. *Quaternary Research* 40: 368~379
- [4] Sarnthein M, Pflaumann U, Wang P X, et al., eds. 1994. Preliminary report on Sonne-95 cruise “Monitor Monson” to the South China Sea. *Reports Geol-Palaeont Inst Univ Kiel*, 68
- [5] 李学杰, 陈芳, 唐荣革等. 1996. 南海北部 HY4-901 孔氧同位素与古气候研究. *科学通报*, 41(10): 911-913
- [6] 李学杰, 段威武, 魏国彦等. 1997. 近 2 万年来南海北部与西部碳酸盐旋回及其古海洋学意义. *海洋地质与第四纪地质*, 17: 9~20
- [7] Wang L, Sarnthein M, Eelenkeuser H, et al., 1999. East Asian monsoon climate during the Pleistocene: High-resolution sediment records from the South China Sea. *Marine Geology*, 156: 245~248
- [8] 邵磊, 李献华, 韦刚健等. 2001. 南海陆坡高速堆积体的物质来源. *中国科学(D 辑)*, 31(10): 828~833
- [9] 王律江, Sarnthein M. 1999. 南海北部陆坡近四万年来的高分辨率古海洋记录. *第四纪研究*, (1): 27~31

- [10] 涂霞, 郑范, 陈木宏 .2000 .南海南部 NS93-5 柱状样揭示的晚第四纪以来的古海洋学特征 .热带海洋, 19(4): 38 ~ 43
- [11] 许东禹、刘锡清、张训华等 .1997 .中国近海地质 .北京: 地质出版社
- [12] 姚伯初, 蓝先洪, 邱燕 .1998 .西沙西南海域表层沉积物的地球化学特征 .海洋地质与第四纪地质, 18(1): 23 ~ 35
- [13] 邵磊, 董百万, 刘志伟等 .1999 .南海沉积物稀土微量元素分析 .同济大学学报(自然科学版), 27(增刊): 55 ~ 60
- [14] 张富元 .1991 .南海中部表层沉积物的元素地球化学 .海洋与湖沼, 22(3): 253 ~ 263
- [15] 古森昌, 陈绍谋, 吴必豪等 .1989 .南海表层沉积物稀土元素的地球化学 .热带海洋, 8(2): 93 ~ 101
- [16] 赵一阳, 鄢明才 .1994 .中国浅海沉积物地球化学 .北京: 科学出版社
- [17] 张虎才 .1997 .元素表生地球化学特征及理论基础 .兰州: 兰州大学出版社
- [18] 李学杰, 江茂生 .2002 .南海西沙海槽末次冰期以来浮游有孔虫与表层水温 .中国科学(D辑)32(5): 423 ~ 429

DISTRIBUTION AND SIGNIFICATION OF Si AND Al FROM LAST GLACIATION IN NORTHERN SOUTH CHINA SEA

Li Xuejie

(Institute of Marine Environmental Geology and Engineering Geology, GMGS,
Guangzhou 510760; China Laboratory of Marine Geology, Tongji University,
Shanghai 200092, China)

Abstract: 33 samples of seabed sediment and 1 piston core was collecting from southeastern Hainan Island, northern South China Sea, for analysis of SiO_2 , Al_2O_3 , Planktonic foraminifera, ^{18}O , ^{13}C and ^{14}C dating . The contents of SiO_2 decrease from the continental shelf to the slope as the increasing of the water depth and distance from the continent, but the distribution of Al_2O_3 is much complex which is highest in the outer shelf to upper slope and both decreasing to coast and deep-sea basin . The relationship between SiO_2 and Al_2O_3 was variation as the change of water depth, that was negative in water depth less than 150 m area, positive in larger than 300 m area and not clear relation in the 150 m to 300 m area . $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ in piston core S19, collecting from the slope, were good relative with sea surface temperature (SST), calculated by planktonic foraminiferal transfer function EP-12E, both higher in ^{18}O stage 1 and 3, lower in the stage 2 . It reflected on different weathering eluviation in different weather condition, so it may be another proxy of paleoclimate in slope area .

Key words: geochemistry, Last glaciation, southeastern Hainan, Paleoclimate