

文章编号: 1000-0550(2002)01-0135-09

东海陆缘(闽北段)晚第四纪沉积的硅藻学研究^①

王开发¹ 支崇远¹ 郑玉龙² 王洪根¹

(¹同济大学海洋地质与地球物理系 上海 200092)

(²国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

摘要 对东海陆缘(闽北段)晚第四纪沉积4口钻井岩心进行系统的硅藻分析研究,获得丰富的硅藻化石,共发现硅藻117种和变种,分属于33个属。根据剖面硅藻组合特征变化,结合最优分割法和对应序分法的计算机运算结果,可以详细划分为12个硅藻带,自下而上为:1. *Coscinodiscus argus*—*Cos. wittimus*—*Cyclotella striata* 硅藻带,2. *Cos. blandus*—*Cyclotella striata* 硅藻带,3. *Cos. excentricus*—*Trblieptexchus cocconiformis* 硅藻带,4. *Gomphonema*—*Cos. blandus*—*Actinolychus ralfsii* 硅藻带,5. *Cos.*—*Cyclotella striata*—*Actinocyclus ralfsii* 硅藻带,6. *Cos.*—*Actinolychus ralfsii* 硅藻带,7. 贫乏硅藻带,8. *Cos. lineatus*—*Cos. rothii*—*Actinocyclus ralfsii* 硅藻带,9. *Gomphonema*—*Cyclotella striata*—*Cocconeis placentula* var *euglypta* 硅藻带,10. *Cos. rothii*—*Cyclotella striata*—*Actinolychus ralfsii*, 11. *Cymbella affinis*—*Cyclotella striata*—*Gomphonema* 硅藻带,12. *Coscinodiscus wittimus*—*Cyclotella striata*—*Epithemia hyndmanii* 硅藻带,建立了该区晚第四纪硅藻组合序列,并探讨其相应的古环境演变。

关键词 东海陆缘 闽北段 晚第四纪 沉积硅藻

第一作者简介 王开发 男 1934年出生 教授 博士生导师 孢粉、藻类和海洋地质学

中图分类号 Q949.27 P534.63 文献标识码 A

我国海域沉积硅藻已进行相当程度的研究^[1,2,3],而陆缘地区的海陆过渡沉积硅藻研究相对显差,东海南部陆缘晚第四纪沉积硅藻虽有一定的开展^[5,6,7],但尚缺乏全面而系统,本文系统深入地研究了东海陆缘(闽北段)地区晚第四纪沉积硅藻,进一步丰富了我国沉积硅藻的研究。

1 自然地理概况

东海陆缘(闽北段)地区指闽江口以北的福建沿海地带,位于我国东南沿海中段,大地构造上属于闽中燕山断陷带东北部,以强烈剥蚀的花岗岩丘陵和冲积平原为特征,海岸曲折、海蚀地貌发育。河流有闽江、岱江、霍童溪、交溪等流入海。气候上为海洋性气候,平均气温17~20℃,最热月均温度26~29℃,最冷月均温度7~10℃。土壤以红壤和黄壤为主,植被以三都沃湾为界,北部属于中亚热带常绿阔叶林南部亚带,南部为南亚热带季风常绿阔叶林。本项目研究的范围北起霞浦埋 No. 1井、福州平原的马尾 ZK21井、琅岐岛 M3井、闽侯光明村 CK23井的晚第四纪沉积硅藻(图1)。

2 硅藻组合特征

对东海陆缘(闽北段)四个钻孔岩心进行系统的硅

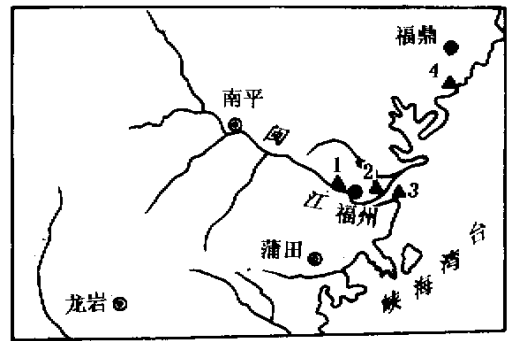


图1 研究钻井分布

Fig. 1 Distribution of the studied wells

藻分析研究,共有硅藻117种和变种,分属于33个属,比较常见的硅藻:海水型的球形辐辏藻 *Actinoprtychus aunutaus* (Wall.) Grunow、爱氏辐环藻 *Actinolychus ehrenbergi* Ralfs、辣氏辐环藻 *Act. Ralfsii* (W. Smith) Raofs、维廷圆筛藻 *Coscinodiscus witsianus* Pantocsek、减小圆筛藻 *Coscinodiscus decrescens* Grunow、虹彩圆筛藻 *Coscinodiscus oculusiridis* Ehrenberg、离心列圆筛藻 *Coscinodiscus excentricus* Ehrenberg、库氏圆筛藻 *Coscinodiscus kützingi* A. Schmidt、

① 国家自然科学基金资助项目(名称:东海南部陆缘晚第四纪沉积硅藻与环境分析,40076016)

辐射圆筛藻 *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg、蛇目圆筛藻 *Coscinodiscus argus* Ehrenberg、具边圆筛藻 *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg、星脐圆筛藻 *Coscinodiscus asteromphalus* Ehrenberg、中心圆筛藻 *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg、柱状小环藻 *Cyclotella strylorun* Ehrenberg、蜂腰双壁藻 *Diplooneis bombus* Ehrenberg、卵形菱形藻 *Nitzschia cocconeiformis* Grunow、范氏圆箱藻 *Pyxidilula werprechtii* Ehrenberg、卵形褶盘藻 *tryblioptychus cocconeiformis*(Cleve) Hendey、橄榄粗纹藻 *Trachyneis olvaeformis* Cleve、蜂窝三角藻 *triceratium farus* Ehrenberg 等。

半咸水—海水型的波形辐裯藻 *Actinotychus undutatus*(Bailey)Ralfs、洛氏圆筛藻 *Coscinodiscus rothii* (Ehrenb)Grunow、舌形圆筛藻 *Coscinodiscus blandus* (A. Schmidt) 小眼圆筛藻 *Coscinodiscus oculatus* (Fauv)Petit、条纹小环藻 *Cyclotella striata* (Kütz) Grunow、扁圆卵形藻椭圆变种 *Cocconeis placentuia* var. *dilatatu* (Ehrenb)Cleve、史密史双壁藻扩大变种 *Diploneis smithii* var. *dilatato*(M. Per)Teery 颗粒菱形藻 *Nitzschia granulata* Grunow 等。

淡水型的膨大曲壳藻 *Achnanthes inflata*(Kütz) Grunow、波缘曲壳藻 *Achnanthes crenulata* Grun、桥穹藻 *Cymbella* Ag.、海氏窗纹藻 *Epithemia hyndmami* W. Smith、赖氏窗纹藻 *Epithemia reichehii* Fricke、光亮窗纹藻 *Epithemia argus* Kütz、异极藻 *Gomphonema* Ag.、微圆羽纹藻 *Pinnularia viridis*(Nitzsch)Ehr、分歧羽纹藻 *P. divergentissima*(Grun)Cl.、微辐节羽纹藻 *P. microstauron*(Her)Cl.、紫心辐节藻 *Stauroneis phoenicertern* Ehrenberg 以及广布型的细弱圆筛藻 *Coscinodiscus subtilis* Ehrenberg 等。

3 硅藻带划分

3.1 马尾 ZK1 井硅藻带

本井根据硅藻图式(图2)特征,结合最优分割法和对应序分法(表1)分带,自下而上可划分为12个硅藻带。

(1)带: *Coscinodiscus argus*—*Cos. wittianus*—*Cyclotella striata* 硅藻带(44.3~46.22 m)。

该带以海水型硅藻占优势,达组合的55.3%,其次为海水—半咸水型,占26.8%,淡水型硅藻较少,为14.6%。主要种类有 *Coscinodiscus argus* (9.8%)、*Cos. wiffianus* (8.9%)、*Cyclotella striata* (8.1%)、*Cos rothii* (7.3%)、*Acrinocyclus ralfeii* (5.7%)、*Cos. excentricus* (5.7%)、*Cos. minor* (4.9%)、*Cos. marginoto—lineatus* (4.1%),尚有 *Epithemia*、*Gom*

表1 ZK21井最优分割和对应序分法划带对比表

Table 1 Contrast of optimal separation and corresponding order division

No.	N	D1	D2	M1	M2	Zone
1	1	14	14	12	8	12
2	2			11	7	
3	3	13	13	10	6	10
4	4					
5	5	9	9	7	3	7
6	6					
7	7	10	10	8	4	8
8	8					
9	9	7	7	5	5	5
10	10					
11	11	5	5	4	4	4
12	12					
13	13	2	2	3	3	3
14	14					
15*		1	1	2	2	2
16	15					
17	16	1	1	1	1	1
18	17					
19	18	1	1	1	1	1
20	19					
21	20	1	1	1	1	1
22	21					
23	22	1	1	1	1	1
24	23					
25	24	1	1	1	1	1
26	25					
27	16	4	4	3	3	3
28	27					
29	28	2	2	3	3	3
30	29					
31	30	1	1	2	2	2
32	31					
33	32	1	1	1	1	1
34	33					
35	34	1	1	1	1	1
36	35					
37	36	1	1	1	1	1
38	37					

No. 样品序号 N 样品上机序号
 D1 第一类数据以对应序分法修正结果; D2 第二类数据对应序分法修正结果
 M1 第一类数据最优分割修正结果; M2 第二类数据最优分割修正结果
 Zone 硅藻类

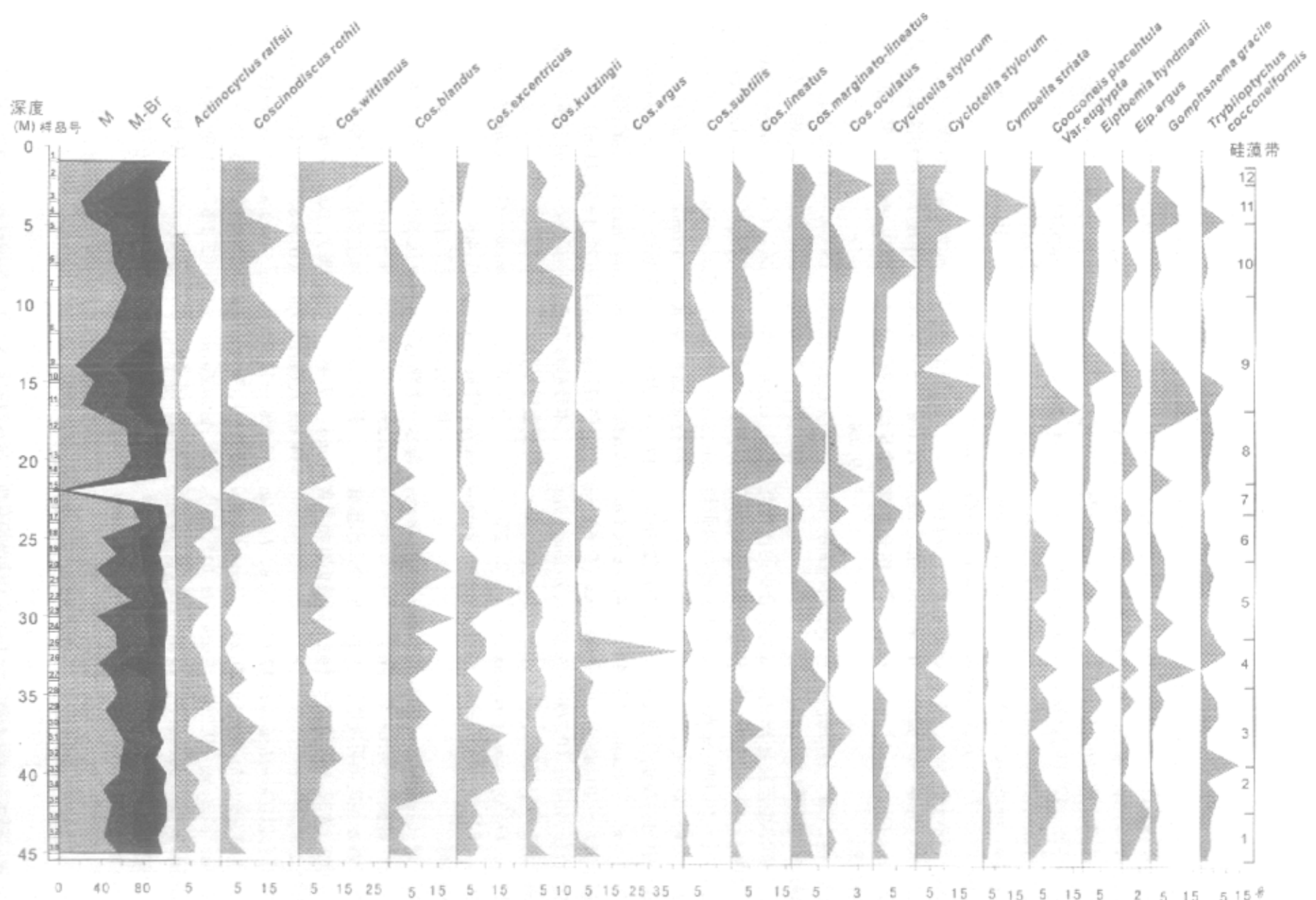


图2 马尾 ZK21 井剖面硅藻图式
 Fig.2 Distribution of diatom assemblage of ZK21 Well

phonema、*Actinoprtychns*、*Achnonthes crenulatu*、*Cy-
clorella strylorum*、*Cymbella* 等种类。

(2)带：*Cos. blandus*—*Cyclotella striata* 硅藻带
(40.3~44.3m)

组合中淡水型硅藻含量显著增加,达到总数的
20.7%~40.9%,海水一半咸水型硅藻比例也略有上
升,达12.0%~33.6%,海水型硅藻含量则明显下降。

其中以 *Cos. blandus* (2.4%~14.5%)、*Cyclotella
striata* (4.9%~12.0%)、*Cocconeis placentula var euglypta*
(5.7%~9.0%)、*Actinocyclus ralfsii* (5.3%~
8.3%)、*Cos. wittianus* (3.8%~7.4%)、*Cos. excentricus*
(4.1%~7.5%)、*Achnonthes crenulata* (2.4%
~7.5%)、*Gomphonema* 为主要成分,*Cos. minor*、
Epithemia、*Syneclra ulna*、*Tryblioptychus coc-
coneiformis*、*Cymbella*、*Actinoprtychnus* 等在组合亦有一
定的含量。

(3)带：*Cos. excentricus*—*Tryblioptychus coc-
comiformis* 硅藻带(40.3~44.3m)

此带海水型硅藻显著增加,成为组合中的优势类
型,达总数42.1%~77.3%,淡水型硅藻含量明显下
降,仅6.7%~19.8%,海水一半咸水型硅藻与前带相
近,为18.2%~36.5%。

组合中的主要成分为 *Cos. excentricus* (2.0%~
19.3%)、*Cos. wittianus* (3.4%~14.5%)、*Cos.
rothii* (1.4%~10.8%)、*Cos. blandus* (5.6%~
11.7%)、*Cos. argus* (0.7%~6.9%)、*Actinocyclus
ralfsii* (2.9%~11.2%)、*Cyclotella striata* (4.4%~
12.2%)、*Trblioptychus cocconeiformis* (2.2%~
14.6%)。其次为 *Epithemia*、*Gomphonema*、*kuino-
priychus* 等。

(4)带 *Gomphonema*—*Cos. blandus*—*Actinocy-
chus ralfsii* 硅藻带(34.6~40.3m)

本带淡水型硅藻再度增加,占38.5%,而海水型硅
藻明显减少,为32.1%,海水一半咸水硅藻仍有相当含
量,为20.2%。

本组合以 *Gomphonema* (17.4%)、*Cos. blanlus*
(11.9%)、*Adinolychns ralfsii* (9.2%)、*Cocconeis pla-
centula var. euglypte* (9.2%)、*Epithemia* (11.9%)、
Cymbella (5.4%) 为主要种类,其他尚有 *Cos. rothii*、
Cos. wittianus、*Cos. excentricus*、*Cos. kützingiana*、
Cos. marginat-lineatus、*Cyclorella*、*Achnonthes crenu-
lata* 等种类。

(5)带：*Coscinodiscus*—*Cyclotella striata*—
Actinocyclus ralfsii 硅藻带(25.4~32.3m)

组合中海水型硅藻和海水一半咸水型硅藻均有所

增加,为总数35.2%~66.2%和25.45%~32.3%,而
淡水型硅藻明显减少,占9.2%~22.0%。

种类比较丰富为本组合的特征,主要成分有 *Cos.
excentricus* (1.6%~22.5%)、*Cos. blandus* (5.0%~
19.5%)、*Cos. wittianus* (3.9%~11.9%)、*Cos. lin-
eatus* (3.9%~7.1%)、*Cyclotella striata* (8.6%~
11.3%)、*Acrinolyclus ralfsii* (4.6%~10.7%)、*Try-
blioptychus cocconeiformis* (2%~9.8%)。其次为 *Coc-
coneis placentula var. euglypta*、*Cyclorella stylorum*、
Cymbella、*Epithemia*、*Gomphonema* 等。

(6)带：*Coscinodiscus*—*Actinolyclus ralfsii* 硅藻带
(22.0~25.48m)

此时海水型硅藻已成为组合的优势成分,达总数
71.0%~75.5%,海水一半咸水硅藻和淡水型硅藻的
含量均有所下降,分别为19.0%~25.5%和5.9%~
9.0%。

以 *Cos. lineatus* (15.0%~15.3%)、*Cos. rothii*
(12.7%~16.0%)、*Cos. wittianus* (8%~9.8%)、
Cos. argus (7%~9.8%)、*Cos. kützingi* (1.0%~
11.0%)、*Cos. blandus* (1%~6.9%)、*Cos. excentri-
cus* (3.9%~4.0%)、*Cos. minor* (4%~6.9%) 为主要
种类的圆筛藻属和 *Actinocyclus ralfsii* (11.8~
12.0%) 为本带的主要成分,*Cyclotella stylorum*、*Cy-
clotella striata*、*Epithemia* 仍占有一定的比例。

(7)带：贫乏硅藻带(21.4~22.00m)

本带硅藻罕见,仅有 *Cos. rothii*、*Cos. radiatus*
等少数沿岸种。

(8)带：*Cos. lineatus*—*Cos. rathii*—*Actinolyclus
ralfsii* 硅藻带(17.5~21.4m)

该带仍以海水型硅藻占优势,达47.3%~64.9%,
海水一半咸水型硅藻及淡水型硅藻百分含量分别为
26.3%~32.4%和6.1%~16.1%。

带中以圆筛藻属为主要成分,其中以 *Cos. lin-
eatus* (7.4%~14.0%)、*Cos. rothii* (5.1%~
14.0%)、*Cos. argus* (0~8.3%)、*Cos. wittianus*
(2.0%~11.9%)、*Cos. maginata-lineatus* (3.4%~
6.1%)、*Cos. excentricus* (0.8%~5.1%) 为主,其次
为 *Actinolyclus rofsii* (5.1%~14.0%)、*Cyclotella
striata* (5.0%~6.8%)、*Cymbella* (0.8%~6.1%)、
尚有 *Epithemia*、*Gomphonema*、*Actinoprtychnus*、*Try-
blioptychus cocconeiformis* 等。

(9)带：*Gomphonema*—*Cyclotella striata*—*Coc-
coneis placentula var. euglypta* 硅藻带(11.2~17.5m)

组合中淡水型硅藻明显增加,达30.4%~40.7%,
海水型和海水一半咸水型硅藻显著减少,各为15.4%

~31.9% 和 19.5% ~29.5%。

本带硅藻主要成分为 *Gomphonema* (11.6% ~20.7%) λ *Cyclotella striata* (1.3% ~22.2%) λ *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (4.7% ~16.7%) λ *Cymbella* (7.3% ~12.8%) λ *Cos. rothii* (1.5% ~16.1%) λ *Cos. wittianus* (2.0% ~7.6%) λ *Cos. subtilis* (0 ~13.4%) λ *Trybliontychus cocconeiformis* (0 ~8.9%)。其他还有 *Epithemia*、*Cos. excentricus*、*Cos. kützingi*、*Cos. blandus*、*Achnanthes crenulata*、*Achnanthes breripes*、*Actinopterychus* 等类型。

(10)带:*Cos. rothii*—*Cyclotella striata*—*Actinolyclus ralfsii* 硅藻带(4.70~11.2m)

海水型硅藻在本带又明显增加,占总数43.2%~61.9%,海水一半咸水硅藻含量基本不变,为19.5%~30.5%,淡水型硅藻则明显减少,为3.0%~28.68%。

组合中优势种类有 *Cos. rothii* (7.8% ~20.0%) λ *Cos. kützingi* (2.3% ~11.9%) λ *Cos. wittianus* (1.9% ~17.8%) λ *Cos. blandus* (0 ~11.0%) λ *Cyclotella striata* (6.2% ~14.4%) λ *Actinolyclus ralfsii* (0~12.7%) λ *Cymbella* (1.6% ~12.8%) λ *Epithemia* (0.8% ~11.7%)。其次为 *Cos. lineatus* (2.3% ~9.5%) λ *Cos. subtilis* (1.6% ~6.8%) λ *Cos. asteromphalus* (0 ~9.5%) λ *Cyclotella stylonum* (1% ~8.5%)。其他还有 *Cos. argus*、*Cos. radiatus*、*Actinopterychus*、*Cos. marginata*—*lineatus* 等种类。

(11)带:*Cymbella affinis*—*Cyclotella striata*—*Gomphonema* 硅藻带(3.3~4.7 m)

该带淡水型硅藻又成为优势类型,达 34.78% ~53.29%,而海水型硅藻明显减少,为 18.82% ~27.8%,海水一半咸水型硅藻(17.65%~28.2%)仍保持原来的比例。

本带常见种类有 *Cymbella* (9% ~25%) λ *Gomphonema* (6.4% ~18.3%) λ *Epithemia* (1.5% ~9.0%) λ *Cyclotella striata* (6.4% ~18.3%) λ *Cos. rothii* (5.3% ~7%),尚有 *Cos. kützingi*、*Cos. subtilis*、*Navicula humerosa*、*Pinnularia divergemissima*、*Actinopterychus*、*Trybliontychus cocconeiformis* 等种类在组合也时有出现。

(12)带:*Cos. wittianus*—*Cyclotella striata*—*Epithemia hyndmanii* 硅藻带(0~3.3 m)

此带海水型硅藻又迅速增加成为优势类型,占总数47.5%~56%,淡水型则明显下降,为13.0%~19.7%,海水—淡水型硅藻仍有相当含量,达17.15%~28.7%。

本组合硅藻主要种类为 *Cos. wittianus* (15.8%

~28.0%) λ *Cos. rothii* (10.8% ~11.0%) λ *Cyclotella striata* (11.8% ~14.0%) λ *Epithemia hyndmanii* (5% ~8.3%) λ *Cyclotella stylonum* (4% ~5.0%)。而 *Cos. blandus*、*Cos. excentricus*、*Cos. kützingi*、*Cos. radiatus*、*Cos. argus*、*Cos. marginata-lineatus*、*Gomphonema*、*Cymbella*、*Achnanthes inflata* 等类型在组合中仍有一定的比例。

3.2 闽候光明村 CK23 井硅藻带

据该井的硅藻组合特征,结合最优分割法和对应序分法结果,剖面自下而上可划分为 5 个硅藻带。

(1)带:*Gomphonema*—*Cymbella*—*Cocconeis placentula* var. *euglypta* 硅藻带(35.77~35.90 m)

组合中以淡水型硅藻为主体,半咸水—淡水型、海水—半咸水型、海水型硅藻均较少。以 *Gomphonema* (25.4%) λ *Cymbella* (21.6%) λ *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (14.1%) λ *Epithemia* (10.6%) λ *Eunotia* (9.2%) 为主要成分,其他为 *Achnanthes crenulata*、*Achnanthes inflata*、*Navicula humerbsa*、*Pinnularia divergentissima*、*Pinnularia stauroptera*、*Cos. rothii* 等。

(2)带 稀少硅藻带(32.21~32.80 m)

本带硅藻稀少,统计不足百个,其中见有 *Cos. rothii*、*Cyclotella stylonum*、*Gomphonema*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta*、*Epithemia* 以及 *Actinocyclus ehrenbergi*、*Thalassionema nitzschioides*、*Cos. subtilis*、*Eunotia*。

(3)带:*Cocconeis placentula* var. *euglypta*—*Gomphonema*—*Epithemia* 硅藻带:

该带仍以淡水型硅藻为优势类型,达总数45.2%~76.2%,半咸水—淡水型硅藻含量略有上升,为 8.9%~37.1%,海水型和海水一半咸水型硅藻较少,各为3.2%~13.5%和3.2%~13.0%。组合中优势种类为 *Cocconeis placentula* var. *euglypta* (8.3% ~34.6%) λ *Gomphonema* (14% ~29.1%) λ *Epithemia* (9% ~22.8%) λ *Cymbella* (5.6% ~12.3%) λ *Cos. rothii* (3.2% ~10.0%)。其他尚有 *Diploneis*、*Achnanthes crenulata*、*Thalassiothrix franenfeldii*、*Achnanthes inflata*、*Pinnularia majer*、*P. divergemissima*、*Eunotia*、*Gyrosigma spenerii* 等。

(4)带:*Cos. rothii*—*Cos. subtilis*—*Cyclotella striata* 硅藻带(12.25~18.40 m)

组合中海水一半咸水型硅藻明显增加,占总数 34.2%~40.7%,淡水型硅藻和半咸水—淡水型硅藻含量明显减少,各为 21.6%~34.8% 和 4.0%~10.5%,海水型硅藻保持原状,为 8.3%~12.0%。

其中 *Cos. rothii*(25.3%~33.8%) 和 *Cos. subtilis* (9.1%~19%) 和 *Cyclotella striata*(6.5%~12.7%) 和 *Gomphonema*(6.7%~10.1%) 为主要成分,其次是 *Cocconeis placentula* var *eulypta* (0.8%~7.1%) 和 *Epithemia* (4.3%~7.2%) 和 *Cymbella* (2.1%~5.0%), 另外还有 *Diploneis*、*Achnanthes infiara*、*Achnanthes crenulata*、*Stauroneis oniceps*、*Pinnularia divergomiissima* 等种类。

(5)带: *Cos. rothii*—*Cos. subtilis* 硅藻带(7.58~12.28 m)

该带海水型硅藻显著增加,达23.1%~43.1%,而海水—半咸水型硅藻(14.7%~46.7%)和淡水型硅藻(16.4%~24.5%)以及半咸水—淡水型硅藻(2.6%~7.8%) 在组合中均略有减少。

其中以 *Cos. rothii*(6.9%~38.4%) 和 *Cos. subtilis* (5.1%~12.8%) 和 *Cyclotella striata* (2.6%~7.8%) 和 *Cos. oculus*(2.6%~10.8%) 和 *Gomphonema*(0.8%~7.9%) 和 *Epithemia*(3.6%~10.8%) 为主要成分,而 *Cos. wittianus*、*Tryblioptychus cocconeiformis*、*Achnanthes breripes*、*Cocconeis placentula* var *culypta*、*Pinnularia majon*、*Achnanthes crenulata*、*Achnanthes inflata* 等也有一定数量。

3.3 闽江口琅歧岛 M3 井硅藻带

该井根据剖面的硅藻组合特征自下而上可划分为五个硅藻带:

(1)带: *Pinnularia*—*Cymbella* 硅藻带

(2)带: *Gyrosigma nodiferum*—*Cymbella* 硅藻带

(3)带: *Cyclotella striata*—*Cymbella* 硅藻带

(4)带: *Thalassionema nitzschioides*—*Coscinodiscus blandus* 硅藻带

(5)带: *Cyclotella striata*—*Cos. rothii* 硅藻带

3.4 霞浦利埕 No.1 井硅藻带

该井剖面进行了系统的硅藻样品分析,各层硅藻化石较为贫乏,其中7.43~17.88 m 层位硅藻较丰富,根据剖面硅藻组合特征变化,自下而上可划分为4个硅藻带。

(1)带: 贫乏硅藻带(17.88~66.00 m)

该层段硅藻化石不丰富,在底部有海洋底栖种 *Nitzschia cocconeiformis*; 中部发现海洋底栖种 *Nit. cocconeiformis*、*Triceratium fons* 以及海洋浮游种 *Cos. oculusiridis*; 顶部见到 *Nit. Cocconeifonus*、*Cyclotella stylorum*、*Diploneis smithii* var *dialuta* 等。

(2)带: *Nitzschia cocconeiformis*—*Pyxidicula werprechtii* 硅藻带(12.0~17.88 m)

组合中以 *Nit. cocconeiformis* 和 *Pyxidicula wer-*

prechtii 为优势种,其含量分别为32.1%~49.1%和14.2%~24.0%,其他常见种类有 *Cyclotella stylorum* (4.2%~13.5%) 和 *Cos. argus* (5.8%~9.6%) 和 *Trachyneis olivaeformis*(2.9%~8.3%) 和 *Cos. decrescens* (0.9%~4.2%) 和 *Hyalodiscus radiatus* (1%~5.0%), 而 *Cyclotella striata*、*Cos. kützingi*、*Cos. radiatus*、*Coscinodiscus* sp、*Navicula raeana* 等亦有一定含量。

(3)带 稀少硅藻带(7.9~10.8 m)

此带硅藻化石较少,不足百分统计。共鉴定了55个硅藻,以海水型硅藻占优势,而且以底栖和沿岸种为主。

主要种类有 *Nit. cocconeiformis*、*Cyclotella stylorum*、*Cos. kützingi*、*Pyxidicula werprechtii*, 其他尚有 *Cos. argus*、*Hyalodiscus radiatus*、*Cos. lineatus*、*Diploneis bombus*、*Cyclotella striata*、*Trachyneis olivaeformis*、*Actinocyclus ralfsii*、*Cos. decrescens*、*Cos. subtilis*、*Melosira sulcata*、*Epithemia hyndmanis*、*Nit. granulata*、*Cos. rothii*、*Actinocyclus undulatus*、*Diploneis* sp.。

(4)带: *Nit. cocconeiformis*—*Cyclotella striata*—*Pyxidicula werprechtii* 硅藻带(7.34~7.90 m)

本带和2带特征相似,硅藻含量丰富,以海水型硅藻占绝对优势,并以底栖种和沿岸种为主。

组合中优势成分为 *Nit. cocconeiformis* (33.1%) 和 *Cyclotella striata* 和 *Cyclotella stylorum* (30.3%), 其次为 *Pyxidicula werprechtii* (9.3%) 和 *Diploneis smithii* var *dilutata* (4.2%) 和 *Cos. argus* (3.4%), 另外还有 *Cos. kützingi*、*Trachyneis aspora*、*Diploneis bombus* 等。

根据上述四口井的硅藻带划分,可以综合对比于表2。

4 古环境分析

硅藻是恢复古环境的有效手段,从上述各井的硅藻带划分和硅藻生态分析,可以看出该区沉积环境有如下几个阶段的变化(由于篇幅所限,主要以ZK21井和CK23井硅藻资料加以讨论):

(1)河口—河流环境

本阶段相当于ZK21井、CK23井的(1)带,此时ZK21井硅藻以海生种 *Cos. argus*、*Cos. wittianus*、*Actinocyclus ralfsii*、*Cos. excentricus*、*Cos. minor* 等为主,半咸水种 *Cos. rothii*、*Cyclotella striata* 以及淡水种 *Epithemia*、*Gomphonema* 等在组合中有相当比例,显示为海洋作用强于河流作用的河口环境。而ZK23

表 2 东海陆缘(闽北段)晚第四纪沉积硅藻带对比表

Table 2 Contrast of diatom zones of Late Quaternary sediment in the continental margin of the East China Sea(Northern Fujian Member)

ZK21 井硅藻带	CK23 井硅藻带	M3 井硅藻带	No. 1 井硅藻带
12 带 : <i>Coscinodiscus wittinus</i> — <i>Cyclotella striata</i> — <i>Epithemia hyndmanii</i> 硅藻带	5 带 : <i>Coscinodiscus rothii</i> — <i>Cos. subtilis</i> 硅藻带。 上部 ¹⁴ C = 3160 ± 75 年	1 带 : <i>Cyclotella striata</i> — <i>Coscinodiscus rothii</i> 硅藻带 ¹⁴ C = 1280 ± 70 年	4 带 : <i>Nitzschia cocconeiformis</i> — <i>Cyclotella striata</i> — <i>Pyxidicula weyprechtii</i> 硅藻带
11 带 : <i>Cymbella affinis</i> — <i>Cyclotella striata</i> — <i>Gomphonema</i> 硅藻带		4 带 : <i>Thalassinema nitzschoides</i> — <i>Coscinodiscus blandus</i> 硅藻带 ¹⁴ C = 6250 ± 80 年	
10 带 : <i>Cos. rothii</i> — <i>Cyclotella striata</i> — <i>Actinolychus ralfsii</i> 硅藻带		3 带 : <i>Cyclotella striata</i> — <i>Cymbella</i> 硅藻带	3 带 硅藻贫乏带
9 带 : <i>Gomphonema</i> — <i>Cyclotella striata</i> — <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> 硅藻带	4 带 : <i>Cos. rothii</i> — <i>Cos. subtilis</i> — <i>Cyclotella striata</i> 硅藻带	2 带 : <i>Gyrosigma nodiferum</i> — <i>Cymbella</i> 硅藻带 ¹⁴ C = 8883 ± 90 年	2 带 : <i>Nitzschia cocconeiformis</i> — <i>Pyxidicula werprechtii</i> 硅藻带
8 带 : <i>Cos. lineatus</i> — <i>Cos. rothii</i> — <i>Actinolychus ralfsii</i> 硅藻带	3 带 : <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> — <i>Gomphonema</i> — <i>Epithemia</i> 硅藻带	1 带 : <i>Cyclotella striata</i> — <i>Cos. rothii</i> 硅藻带 ¹⁴ C = 10000 ± 100 年	
7 带 : 贫乏硅藻带	2 带 稀少硅藻带		1 带 硅藻贫乏带
6 带 : <i>Cos.</i> — <i>Actinolychus ralfsii</i> 硅藻带			
5 带 : <i>Cos.</i> — <i>Cyclotella striata</i> — <i>Actinocyclus ralfsii</i> 硅藻带			
4 带 : <i>Gomphonema</i> — <i>Cos. blandus</i> — <i>Actinolychus ralfsii</i> 硅藻带			
3 带 : <i>Cos. excentricus</i> — <i>Trblieptechus cocconeiformis</i> 硅藻带			
2 带 : <i>Cos. blandus</i> — <i>Cyclotella striata</i> 硅藻带			
1 带 : <i>Coscinodiscus argus</i> — <i>Cos. wittianus</i> — <i>Cyclotella striata</i> 硅藻带			
	底部 ¹⁴ C > 40000 年 1 带 : <i>Gomphonema</i> — <i>Cyclobella</i> — <i>Cocconels placentula</i> var. <i>euglypta</i> 硅藻带		

井此时以淡水种 *Gomphonema*、*Cymbella* 等为优势种，海水种 *Thiossionema bitzschieiges*、*Navicula humerosa* 含量甚少，其环境应属河流，可能有少量海水沿河道影响至该地。

(2) 河口内口—陆相环境

此阶段与 ZK21 井(2)带、CK23 井的(1)带与(2)带之间层位相当，ZK21 井此时以海水种 *Cos. excentricus*、*Cos. wittianus* 等与淡水种类 *Gomphenema*、

Achnanthes crenulatu 等为组合优势种,半咸水种 *Cos. blandus*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta* 等仍有一定比例,反映了河流作用加强的河口内口环境。当时 CK23 井沉积了一套灰白色大卵石,应属陆相堆积物。

(3)河口—沿岸环境

此时相当于 ZK21 井的(3)带、CK23 井的(2)带, ZK21 井硅藻组合中海水种 *Cos. excentricus*、*Cos. wittianus*、*Trblioprychus cocconiformis*、*Actinocyclus ralfsii* 等为优势种,半咸水中 *Cos. rothii*、*Cos. blandus*、*Cyclotella striata* 等以及淡水种 *Epithemia*、*Gomphonema* 等在组分中仍有一定的比例,说明其古环境为海洋作用强于河流作用的河口环境。而 CK23 井硅藻含量稀少,其主要出现种类为半咸水种 *Cos. rothii*、*Cyclotella striata*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta* 和淡水种 *Gomphonema*、*Epithemia*,而海水种 *Actinocyclus ehrenborgii* 等也有一定含量,显示其环境为海水未能正常侵入、但受海水影响的滨岸环境。

(4)河口—陆相环境

该阶段相当于 ZK21 井的(4)、(5)、(6)带,其中(4)带淡水硅藻 *Gomphonema*、*Epithemia* 等和海水种 *Actinocyclus ralfsii*、*Cos. wittianus*、*Cos. excentricus*、*Cos. kütznigi* 等在组合中各占 1/3,其余均属半咸水种 *Cos. blandus*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta* 等。明显反映了河流作用和海洋作用大致相等的河口环境。

(5)带硅藻组合中海水

种 *Cos. excentricus*、*Cos. wittianus*、*Cos. lineatus*、*Actinocyclus* 以及半咸水种 *Cos. blandus*、*Cyclotella striata* 等明显增多,成为优势类型,淡水种 *Cymbella*、*Epithemia*、*Gomphonema* 仅占 9.2%~22.0%,由此可见海洋作用已明显强于河流作用。而(6)带的水型硅藻已成为组合的主要成分,半咸水种类只占 19.0%~25.5%,淡水型硅藻仅为 5.9%~9.0%,此时海水作用已占主导地位,仅有少量的径流能影响到该处。本阶段 CK23 井沉积一套灰色卵砾石,可能为陆相沉积。

(5)陆相环境

此阶段在研究的各井硅藻化石均为缺乏,仅 ZK21 井层位发现少量硅藻,可能为陆相环境。

(6)河口—河流环境

ZK21 井(8)带、CK23 井(3)带属于本阶段,ZK21 井中硅藻以海水种 *Cos. lineatus*、*Cos. argus*、*Cos. wittianus*、*Actinocyclus ralfsii* 为优势,半咸水种 *Cos. rothii*、*Cyclotella striata* 和淡水种类 *Cymbella* 等也有

一定的含量,其环境应为海洋作用强于河流作用的河口环境。CK23 井的硅藻则以淡水型硅藻 *Gomphonema*、*Epithemia*、*Cymbella* 等为主,半咸水种 *Cocconeis placentula* var. *euglypta* 等有一定含量,尚有海水种 *Thalassiothrix franefeldii*,明显反映出海洋作用极其微弱,应为河流环境。

(7)河口内口环境

本阶段相当于 ZK21 井(9)带、CK23 井的(4)带,ZK21 井硅藻组合中淡水型 *Gomphonema*、*Cymbella* 略占优势,海水型硅藻 *Cos. wittianus*、*Tryblioprychus*、*Cocconeiformis* 及半咸水种 *Cocconeis placentula* var. *euglypta*、*Cos. rothii*、*Cos. blandus* 等仍有相当含量,反映为河流作用略强于海洋作用的河口环境,而 CK23 井以淡水型硅藻 *Gomphonema*、*Epithemia* 等和半咸水型 *Cos. rothii*、*Cyclotella striata* 等为主要类型,海水型硅藻 *Cyclotella stylonum* 等含量很低,应属河流作用明显强于海洋作用的河口内口环境。

(8)河口环境

此阶段包括 ZK21 井(10)带、CK23 井(5)带,在 ZK21 井中海水种 *Cos. kützingi*、*Cos. wittianus*、*Actinocyclus ralfsii* 等为优势,半咸水种 *Cos. rothii*、*Cos. blandus*、*Cyclotella striata* 等仍有相当含量,淡水种类 *Cymbella*、*Gomphonema* 等明显减少,显示了海洋作用强于河流作用的河口环境。CK23 井硅藻组合则以海水种 *Cos. oculus*、*Cos. wittianus*、*Tryblioprychus cocconeiformis* 和半咸水种 *Cos. rothii*、*Cyclotella striata* 等为主要类型,淡水种类 *Gomphonema*、*Epithemia* 等明显减少,反映环境亦为海水作用强于河流作用的河口环境。

(9)河口—陆相环境

本阶段相当于 ZK21 井(11)(12)带及 CK23 井(5)带之上层位。ZK21 井(11)带硅藻以 *Cymbella*、*Gomphonema*、*Epithemia* 等淡水种类明显成为优势,而 *Cos. rothii*、*Cyclotella* 等半咸水种和 *Cos. kützingii*、*Navicula humerata* 等海水种类在组合中仍有相当含量,反映此时河流作用强于海洋作用。ZK21 井(12)带海水型硅藻 *Cos. wittianus*、*Cyclotella stylonum*、*Cos. excentricus* 等含量复又增加,成为优势种,而半咸水种 *Cos. rothii*、*Cyclotella striata* 含量保持原状,淡水种 *Epithemia hyndmanii*、*Cymbella* 等明显减少,显示此时是海洋作用又强于河流作用的河口环境。当时 CK23 井则沉积了一套灰绿色粘土及其上部的褐黄色亚粘土,均未发现硅藻,因此推断它属陆相沉积环境。

参 考 文 献

- 1 王开发,孙煜华等.东海沉积孢粉、藻类组合[M].北京:海洋出版社,1986.21-22,82-92
- 2 王开发,蒋辉,张玉兰.南海及沿岸地区第四纪孢粉、藻类与环境[M].北京:同济大学出版社,1990.93-108
- 3 兰东兆,程兆弟,刘师成.南海晚第四纪沉积硅藻[M].北京:海洋出版社,1995.85-91
- 4 程兆弟,高亚辉.硅藻彩色图集[M].北京:海洋出版社,1996.11-62.
- 5 杨蕉文,华棣.闽江口第四纪地层中的孢粉、有孔虫、硅藻组合及其古地理意义[J].海洋地质与第四纪地质,1991,3:75-82
- 6 王开发,陆继军,郑玉龙.福建沿岸晚第四纪孢粉、硅藻组合及其古环境意义[J].微体古生物学报,1995,4:387-397
- 7 兰东兆,于永芬,陈承惠等.福州盆地晚更新世海侵及全新世海面波动的初步研究[J].海洋地质与第四纪地质,1986,3:103-111
- 8 蒋辉.我国某些常见化石硅藻的环境分析[J].植物学报,1987,4:440-448
- 9 Koble R W. Diatoms from Equatorial Atlantic cores[R]. Report of the Swedish Deep sea Expedition, Goteborg, 1995
- 10 Sawai Y, Kashima K. Late Holocene relative sea-level changes and reconstruction of paleoenvironment by diatom fossil assemblage analysis in Akkashi Moor, Hokkaido, Northern Japan[J]. Fossils, 1996 (61): 21-31
- 11 Hui Jiag, Nils-Old Svensson. Reconstruction of Holocene Sea-surface salinity in the Skagerrak-Kattegat: a climatic and environmental record of Scandinavia[J]. Journal of Quaternary Science, 1998, 13(2):107-114

The Study on Diatom of Late Quaternary Sediment in the Continental Margin of the East China Sea (Northern Fujian Member)

WANG Kai-fa¹ ZHI Chong-yuan¹ ZHENG Yu-long² WANG Hong-gen¹

(Department of Marine Geology & Geophysics, Tongji University, Shanghai 200092)

2 (Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

Abstract The sediment of 4 well's cores of late Quaternary at the continental margin of East China Sea have been systematically researched, and abundant fossils of diatom, 117 species and varieties in 33 genus, have been found. 12 of diatom zones have been divided according to the characteristics of the diatom pattern, the optimum separation and the corresponding order. They are from bottom to top: 1. *Coscinodiscus argus*—*Cos. wittimius*—*Cyclotella striata*, 2. *Cos. blandus*—*Cyclotella striata* diatom zone, 3. *Cos. excenfricus*—*Trilobipteychus cocconiformis* diatom zone, 4. *Gomphonema*—*Cos. blandus*—*Actinolychnus ralfsii* diatom zone, 5. *Cos.*—*Cyclotella striata*—*Actinocyclus ralfsii* diatom zone, 6. *Cos.*—*Actinolychnus ralfsii* diatom zone, 7. diatom poor zone, 8. *Cos. lineatus*—*Cos. rothii*—*Actinolychnus ralfsii* diatom zone, 9. *Gomphonema*—*Cyclotella striata*—*Cocconeis placentula* var *euglypta* diatom zone, 10. *Cos. rothii*—*Cyclotella striata*—*Actinolychnus ralfsii* diatom zone, 11. *Cymbella affinis*—*Cyclotella striata*—*Gomphonema* diatom zone, 12. *Coscinodiscus wittinus*—*Cyclotella striata*—*Epithemia hyndmanii* diatom zone. Diatom assemblage order patterns of late Quaternary has been set up and the palaeoenvironment evolution is discussed.

Key words continental margin, East China Sea, Northern Fujian Member, Late Quaternary, diatom of sediment