

# 介形虫/有孔虫比值作为沉积环境的标志

汪品先 卞云华

(同济大学海洋地质系)

## 一、引言

运用古生物特征指示沉积环境,比较习惯的方法是依靠“指相种”或者属种组合。然而近年来非种(non-specific)特征受到越来越多的重视,因为它们不受地质年代或生物分区的限制,数据的取得又无求助于专家的鉴定,具有广泛的应用价值。非种特征主要是指种群或群落结构中的某些数据或者某些特殊的比值。例如,运用沉积物中化石的含量(浓度)可以指示沉积速率与古生产率(Bolotovskoy and Wright, 1976),化石群的分异度可以指示环境压力的不同<sup>1)</sup>。值得注意的是两类化石数量比值在指示古环境中的意义,如浮游有孔虫与底栖有孔虫的比值反映古深度(Smith, 1955);放射虫与浮游有孔虫的比值反映古温度(Cifelli and Sachs, 1966; Duncan et al., 1969; Griggs et al., 1970);浮游藻类与孢子花粉的比值可以指示与海岸的距离(Zaitzeff and Cross, 1970);浮游腹足类(即翼足类)与底栖腹足类的比值可以指示古深度;浮游植物(如硅藻、钙质超微化石)与浮游动物(如放射虫、浮游有孔虫)的比值可以指示古纬度(Sarnthein, 1969)等。即使古生代地层中也可以用三叶虫与瓣皮类(海百合、海林檎)的比值反映古深度(Lindström and Vortisch, 1983)。

有孔虫、介形虫是新生代地层中最常见的钙质微体化石。淡水介形虫在陆相地层中单独产出,但有孔虫和海水、半咸水介形虫在海相与海陆过渡相地层中却经常共同产出,这两者的数量比值与沉积环境有何联系?可以在何种程度上用于指示古环境?本文的目的,就在于归纳目前中国海底表层沉积中介形虫/有孔虫比值的资料,并与其他海区的材料进行比较,对沉积环境作一探讨。

比值的计算,有孔虫一律以个体为单位,介形虫于是双壳主瓣动物,以壳瓣为单位进行统计。如果还考虑到介形虫为多次脱壳的个体发育史,本文所用的介形虫/有孔虫比值显著超过介形虫/有孔虫生物个体数的实际比例。

## 二、海洋环境

从以往对东海、黄海表层沉积的调查,我们已经了解介形虫/有孔虫比值有离岸减低的趋势,并指出在河口区介形虫含量偏低。其中东海的材料最有代表性,在120多个站

<sup>1)</sup>同济大学海洋地质系, 1976: 化石群的分异度与古地理分析。129页。

位的海底表层沉积物中介形虫/有孔虫的比值变动在0.00001—0.2之间(图1, 图面包括一部分黄海的材料), 波动幅度达四个数量级之巨。比值为0.1的界线大体与20m等深线一致, 0.01的线与50m等深线相近, 而0.001的线则摆动在150m等深线的两侧, 反映出它与海水深度有密切关系。

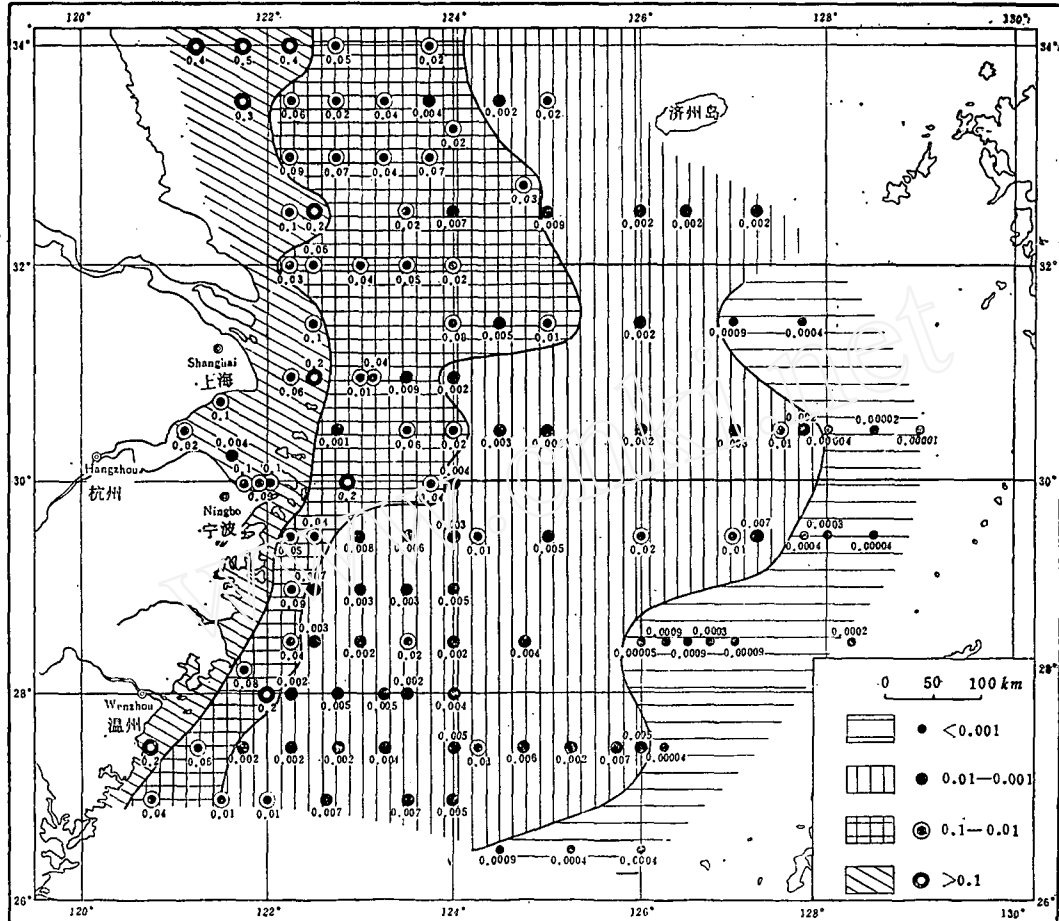


图1 东海表层沉积中介形虫/有孔虫数量比值分布图(介形虫为瓣数, 有孔虫为个体数, 下同)(汪品先等, 出版中)

Fig. 1 Distribution of ostracod/foraminifer ratios in surface sediments of the East China Sea

为考察此项比值与深度之间关系的性质, 我们将东海的站位作散布图(图2)。由图可见, 介形虫/有孔虫数量比值的下限在不同深度区间比较近似, 上限却随着水深迅速下降。同时, 各深度区间的平均数也随水深而明显降低(表1)。深度区间和此项比值的变动范围与平均值之间的关系, 在图3上展示得尤其清晰。

介形虫/有孔虫比值与深度的关系, 在南海北部陆架也可以看到(图4)。这里1%的等值线, 大体与100m等深线相近, 介形虫/有孔虫比值离岸明显降低, 只是珠江口以南的残留沉积区此值特别低。具体分析比值在各个深度区间的平均值和波动范围(表2, 图5), 亦见到随着深度加大、离岸增远而下降的总趋势。虽然由于分析样品的数量不

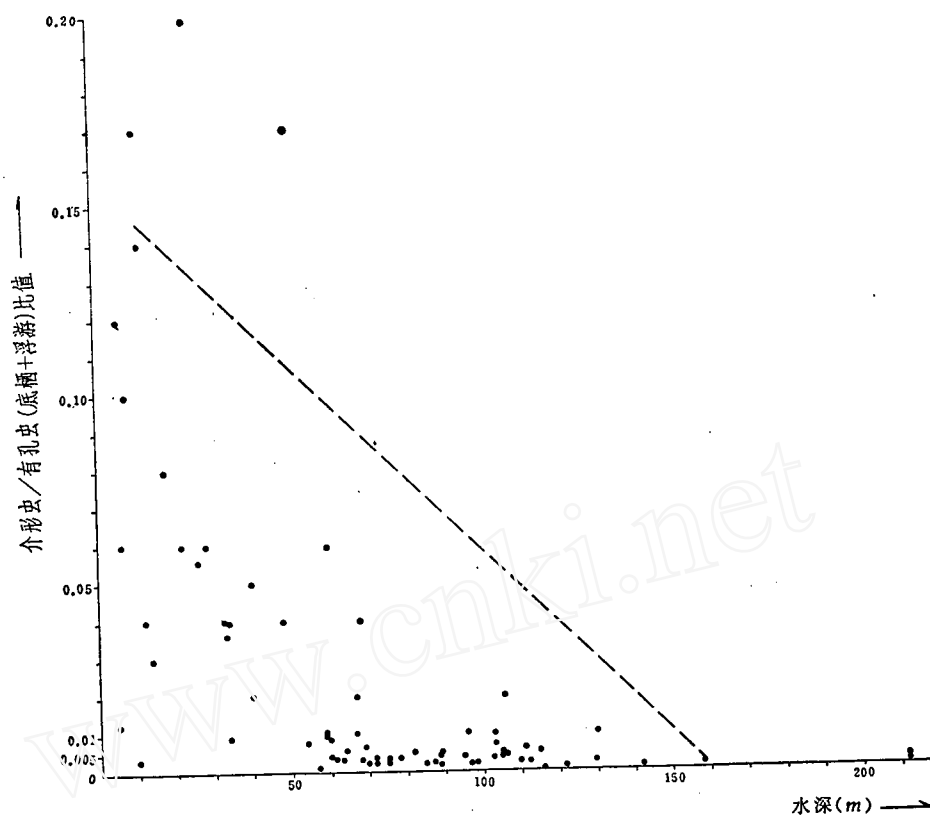


图2 东海表层沉积中介形虫/有孔虫数量比值图

Fig. 2 Relationship between numbers of ostracods and foraminifers in surface sediments of the East China Sea

表1 东海表层沉积中介形虫/有孔虫(底栖+浮游)数量比值

Table 1 Abundance relationships of ostracods and foraminifers (benthonic+planktonic) in surface sediments of the East China Sea

深 度(m)		<50	50—100	100—150	150—1,000	1,000—2,000
统 计 样 品 数		21	32	16	8	7
介形虫: 有孔虫比 值	范 围					
	最 高	0.20	0.17	0.02	0.002	0.0004
	最 低	0.003	0.001	0.00005	0.00002	0
	平 均 数	0.065	0.013	0.005	0.0005	0.0001

及东海丰富, 呈现的规律性不如东海清晰, 然而同样可见介形虫/有孔虫比值的下限与深度关系不够明确, 而上限与平均值则均随深度明显下降。

介形虫/有孔虫比值随深度加大而下降的趋势, 并不限于陆架海区。我们分析的大量资料表明, 此值在潮间带可以很高(也可以很低), 到深水大洋则普遍极低, 到深海碳酸盐补偿面(CCD)以下则一般为0。因此, 介形虫/有孔虫比值的上限, 平均数随水深而下降, 是海区的普遍规律。

美国学者 Bandy(1963, 1964)和 Pflum等(1967)注意到介形虫与有孔虫数量比值, 前

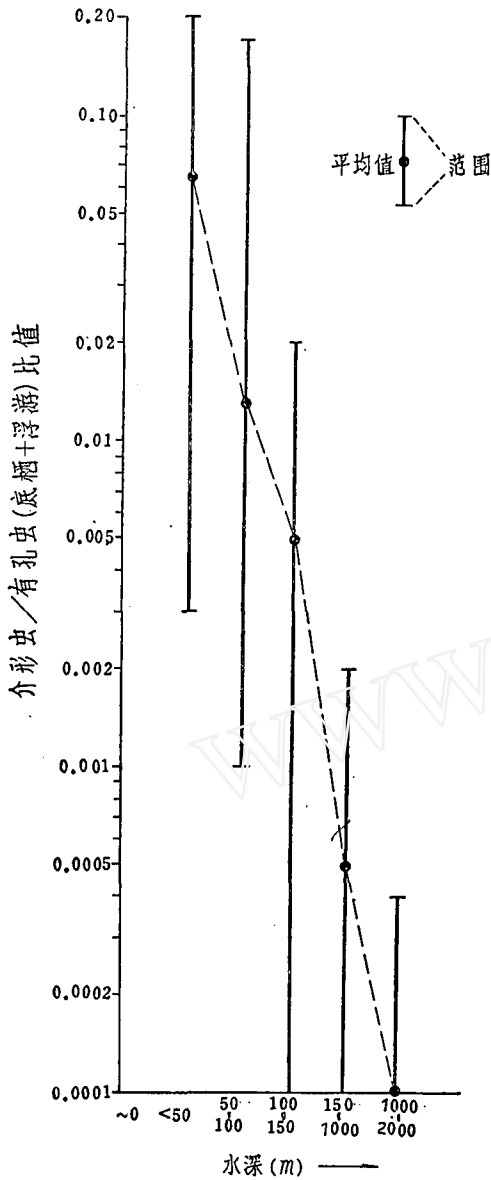


图3 东海各深度区间表层沉积中介形虫/有孔虫数量比值的范围和平均数(用对数表示)

Fig. 3 Ranges and averages of ostracod/foraminifer ratios (in logarithms) in surface sediments for various depth intervals of the East China Sea

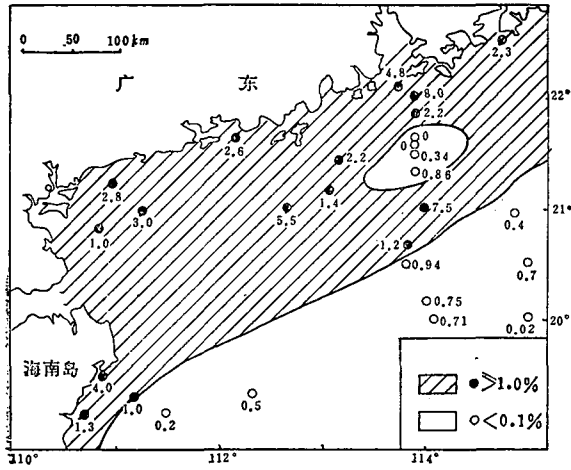


图4 南海北部陆架表层沉积中介形虫/有孔虫数量比值分布图

Fig. 4 Distribution of ostracod/foraminifer ratios in surface sediments of the northern shelf of the South China Sea

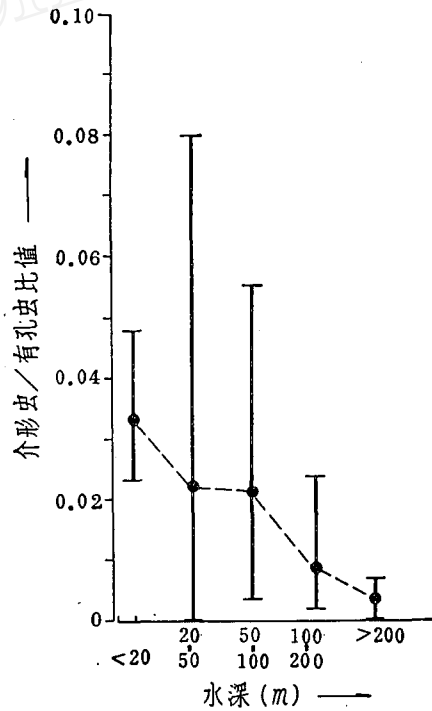


图5 南海北部陆架各深度区间表层沉积中介形虫/有孔虫数量比值的范围和平均数

Fig. 5 Ranges and averages of ostracod/foraminifer ratios in surface sediments for various depth intervals of the northern shelf of the South China Sea

表 2 南海北部陆架介形虫/有孔虫（底栖+浮游）比值

Table 2 Abundance relationships of ostracods and foraminifers (benthonic + planktonic) in surface sediments of the northern shelf of the South China Sea

深 度 (m)		<20	20—50	50—100	100—200	>200
统 计 样 品 数		5	8	9	5	2
介形虫： 有孔虫比 值	范 围					
	最 高	0.048	0.08	0.055	0.024	0.0071
	最 低	0.023	0	0.0034	0.002	0.0002
	平 均 值	0.033	0.022	0.021	0.009	0.0037

者在加利福尼亚湾和古巴 Batabano 湾，后者在墨西哥湾所揭示的规律，与中国海区相似。美洲这三个实例表明：在潟湖和潮上带广盐水域有孔虫为介形虫个体数（注意：并非单壳瓣数）的 1—10 倍，到开放海区为 100—200 倍。例如，墨西哥湾 44 个表层样品的分析结果是：水深 152—396m 间有孔虫约为介形虫个体数的 400 倍，396—914m 间约为 1150 倍，914—1372m 间约为 1900 倍，1372—1829m 约为 1700 倍，>1829m 处约为 2300 倍，呈现出介形虫相对含量下降的趋势（图 6，表 3）。

众所周知，在有孔虫中底栖有孔虫/浮游有孔虫的比值也具有随着离岸水深加大而下降的趋势。既然介形虫/有孔虫比值包括底栖和浮游有孔虫在内，有可能这种比值与深度的关系只不过是浮游有孔虫随离岸水深加大而增加的结果。如果要排除这种可能性，必须计算介形虫/底栖有孔虫之间的比值，证明在底栖生物中，介形虫相对于有孔虫也是离岸随水深加大而减少的。为此，我们计算了东海的数值，其结果如图 7，表 3。

表 3 东海底质中介形虫/底栖有孔虫数量比值

Table 3 Abundance relationships of ostracods and benthonic foraminifers in surface sediments of the East China Sea

深 度 (m)		<50	50—100	100—150	150—1,000	1,000—2,000
统 计 样 品 数		21	32	16	8	7
介形虫： 底栖有孔 虫比值	范 围					
	最 高	0.20	0.17	0.087	0.019	0.014
	最 低	0.01	0.001	0.0002	0.0004	0
	平 均 数	0.073	0.020	0.021	0.006	0.005

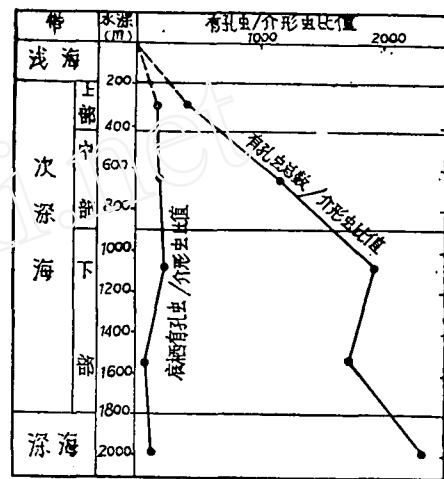


图 6 墨西哥湾表层沉积中有孔虫/介形虫个体数（非单壳瓣数）比值平均数与深度的关系 (Pflum et al., 1976)

Fig. 6 Foraminifer/ostracode ratio mean values with increasing water depth for surface sediments of the Gulf of Mexico (Pflum et al., 1976)

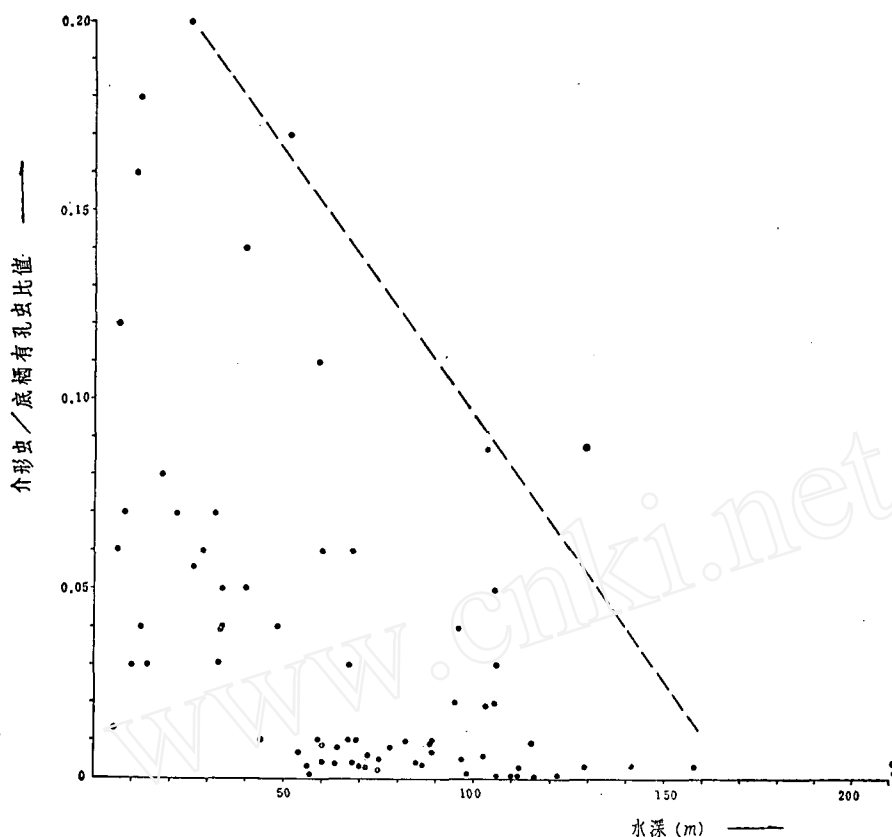


图7 东海底质中介形虫/底栖有孔虫数量比值图

Fig.7 Relationship between numbers of ostracods and foraminifers in surface sediments of the East China Sea

由图可见,介形虫/底栖有孔虫比值与深度的关系虽然不及介形虫/有孔虫(底栖+浮游)比值那样集中,但是同样具有随水深减小的趋势,同样是比值的上限和平均数与深度的关系清楚,而比值的下限与深度关系不够明显。此外,这种趋势见于陆架深度范围内,到陆架以外(如东海约150m以外)似乎保持在低值范围内不再下降(图7)。墨西哥湾的资料也证明上述结论:在500m以外深的海区底栖有孔虫对介形虫的比值波动在76—219之间,并无一定的趋势(图6; Pflum et al., 1976, Table 5)。

由此可以得出结论:介形虫/有孔虫比值随深度下降的趋势。在陆架以内主要是由于底栖有孔虫的迅速增多,而陆架以外主要是由于浮游有孔虫的继续增多所造成,直到深海碳酸盐补偿深度处使钙质壳体溶去处为止。

我国北黄海与渤海区全无浮游有孔虫分布,南黄海也仅在其南部有少量浮游有孔虫出现。因而黄海、渤海表层沉积中,介形虫/有孔虫的数量比值反映了介形虫与底栖有孔虫的数量关系。这种关系正与东海陆架一致:比值的上限与平均数明显随深度而下降(图8)。南海北部陆架介形虫/底栖有孔虫的比值也有同样的趋势。

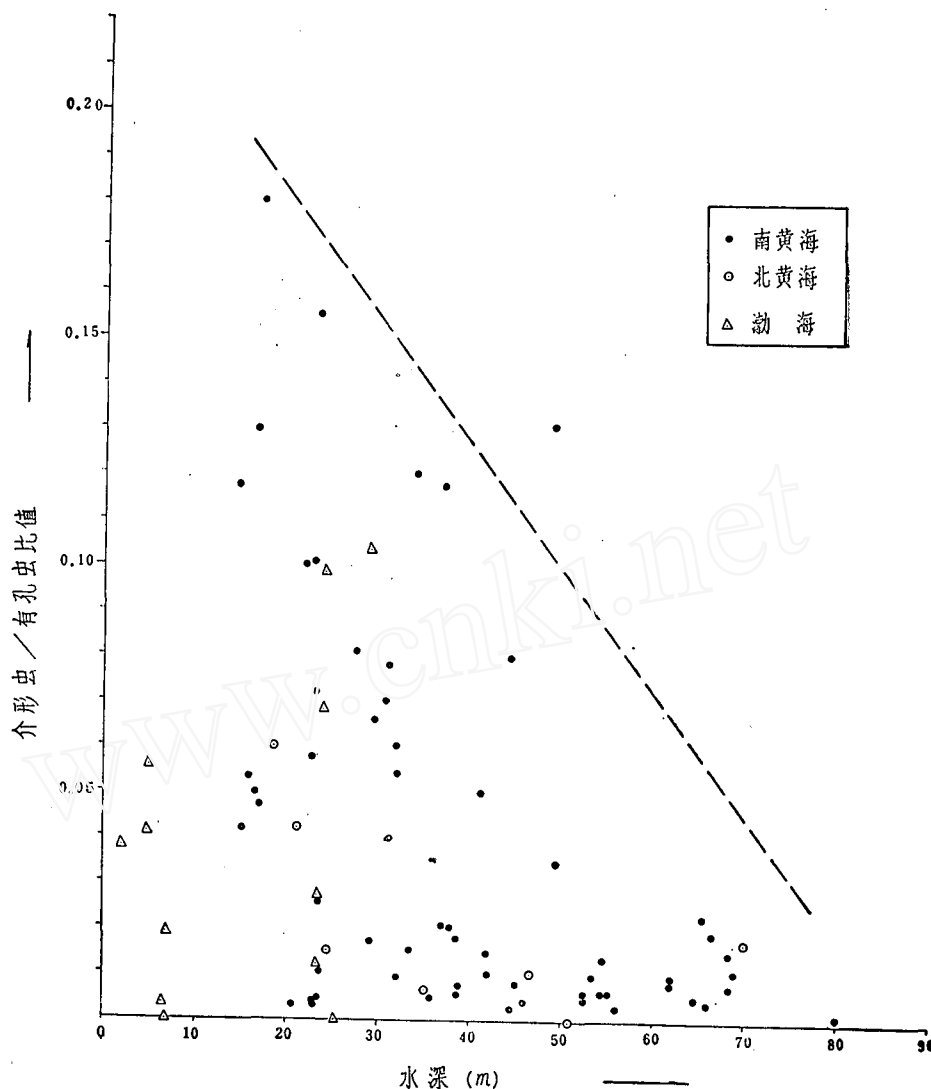


图 8 黄海、渤海表层沉积中介形虫/有孔虫比值图

Fig. 8 Relationship between numbers of ostracods and foraminifers in surface sediments of the Yellow Sea and the Bohai Gulf

### 三、海陆过渡相环境

海洋环境下介形虫/有孔虫比值与水深关系如上述，陆相环境下因无有孔虫，此值为无穷大，至于在海陆过渡相环境下此值的变化，至今尚缺系统的材料。

海陆过渡相环境，可以分“滨海边缘环境”与“残留海水环境”两类。前者包括河口、泻湖与潮间带等（汪品先等，1980）。河口以珠江口为例，据李淑鸾同志研究，介形虫/有孔虫比值从河口内的0.5左右向南海减低，降到河口外的0.001左右（图9），十

分清晰地表明向正常海环境减低的趋势。

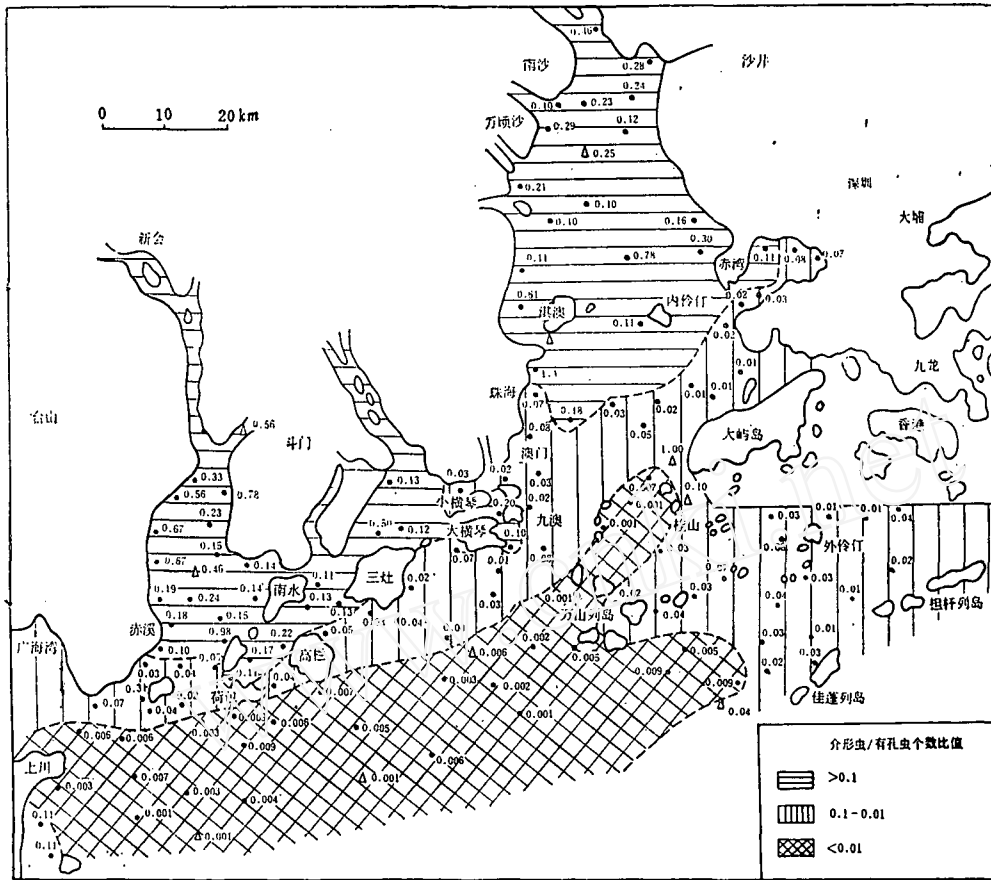


图9 珠江口表层沉积中介形虫/有孔虫数量分布图(据李淑鸾手稿)

Fig. 9 Distribution of ostracod/foraminifer ratios in surface sediments of the Zhujiang (Pearl River) estuary (from Li Shu-luan)

然而珠江口内介形虫的相对高含量在其他河口并不普遍,如辽宁双台子河口的潮间带14个表层样品中介形虫/有孔虫比值变动在0—0.02之间,平均不过0.003。在长江和钱塘江等中一强潮河口,海相微体化石主要因潮汐作用从海区搬运而来,以细小的有孔虫为主(Wang et al., 1985),介形虫/有孔虫比值在河口以内反而比河口外的海区为低。如长江口以内此值在0.05以下,口外却可以高达0.1以上;杭州湾近钱塘江口的介形虫含量甚低,介形虫/有孔虫比值常不足0.01(图10),与珠江口的趋势显然不同。

至于潟湖和潮间带、潮上带,根据我们在山东、江苏、浙江等地的调查,在高能环境的粗粒沉积中介形虫往往稀少;而在低盐低能环境的泥质沉积中,可以出现只由个别属种组成的有孔虫与介形虫群,两者的个体数量可能相近,或介形虫多于有孔虫。河北曹妃甸附近渤海沿岸潟湖沉积中,介形虫/有孔虫比值可以高达1.15,便是一例。然而在低盐低能环境中也有仅出现有孔虫而未出现介形虫的情况,如湛江附近南海沿岸只见



*Miliammina fusca* 单种有孔虫群。东海、黄海、渤海沿岸的潮间带，介形虫/有孔虫比值也有较大的变化。如浙江舟山群岛的普陀山海岸带此值仅 0.004—0.007，沈家门为 0.019，而渤海湾唐家河泥质潮间带竟达 0.075—0.122。关于潟湖和海岸带介形虫/有孔虫比值的大幅度变化的原因并不清楚。看来沉积类型、植被发育和水体 pH 值均对此值有一定影响。代表低能环境的泥质沉积，底栖藻类的发育，都有利于介形虫相对富集；而偏低的 pH 值，则不利于钙质壳体的介形虫发育，却适于胶结壳质有孔虫分布。海岸带往往在潮上带相对宁静的环境比潮间带动荡的环境对介形虫的富集有利。如杭州湾南岸的庵东，潮间带介形虫/有孔虫比值仅 0.004，而堤后的潮上带此值达 0.062。

介形虫多于有孔虫的另一类沉积环境，是残留海水环境，即苏联学者所谓的“湖海”。如里海是一个全新世时期才与大海隔绝，现在盐度仅 13‰± 的“湖海”。里海中部较深水区只产大量半咸水介形虫 *Leptocythere* 等，而无有孔虫，仅在里海近岸区和伏尔加河口等淡化水域里才有 *Ammonia beccarii* vars. 等少量有孔虫与大量广盐性介形虫共生 (Гофман, 1966)；亚速海与海尚通，但盐度仅 11‰ 左右，每平方米面积中一个广盐性介形虫种具瘤的 *Cyprideis torosa* 竟达 14,000—30,000 个之多，到库班河口甚至达 670,000 个/m<sup>2</sup>，因此亚速海有“介形虫海”之称 (Pokorny, 1978)。

总之，海陆过渡相沉积中介形虫/有孔虫变化幅度甚大，而其控制因素有待进一步查明。

#### 四、地质应用

介形虫/有孔虫比值之所以值得专门探讨，关键在于其在古环境研究中的应用价值。首先，此值可以用于区分海陆过渡相与正常海相的地层；其次，此值还可以用来指示古深度和其他古环境变化。

上面说过，介形虫/有孔虫比值大于 1 的微体化石群，只在海陆过渡相环境中才会出现。因此我们早已指出，像济阳拗陷早第三纪沙河街组四段所见的大量介形虫与少数有孔虫共生的化石群，只能产生于海水影响微弱的湖泊，即弱海相性的海陆过渡相环境。上述推断也同样适用于潜江盆地早第三纪荆河镇组 (汪品先、林景星, 1974)、江苏微山湖西第四系 (赵泉鸿、韩道华, 1980) 中类似的化石群。反之，南海北部陆架中新统和

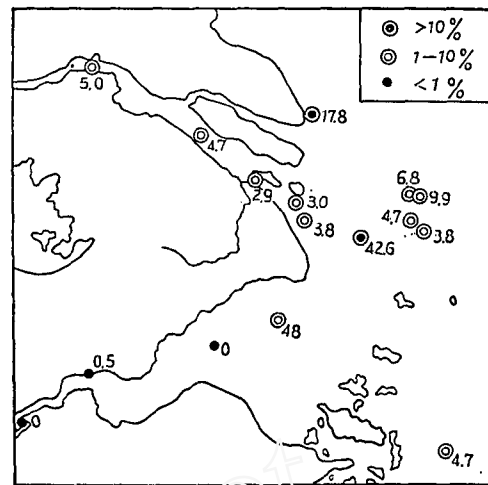


图10 长江口、杭州湾表层沉积中介形虫/有孔虫数量百分比值(%)分布图

Fig. 10 Distribution of ostracod/foraminifer ratios (in percentage) in surface sediments of the Changjiang (Yangtze River) estuary and the Hangzhou Bay

上新统中介形虫含量通常只占有孔虫的千分之几,反映出开放海区至少相当于外陆架的古深度。西班牙南部中新世末至上新世早期的 Carmona 剖面,介形虫/有孔虫比值在 0.001—0.0001 之间,属于次深海中部的沉积(Liebau, 1982)。

介形虫/有孔虫比值指示古环境的价值,在第四纪地层中最为明显。由于此项比值具有随着水深加大和离岸增远而下降的趋势,可以用来指示海水深度变化。例如,在上海面粉厂钻孔中,全新世卷转虫海侵层的介形虫/有孔虫百分比为 0.9—38.1%,平均比值为 0.105;而晚更新世中期假轮虫海侵层除底部含大量陆相介形虫的海陆过渡相的一个样品(比值为 0.791)外,介形虫/有孔虫的百分比为 0—2.7%,平均比值为 0.007。这种区别,反映了上海的卷转虫海侵层以不足 20m 水深的滨岸浅海和海陆过渡相沉积为主,而假轮虫海侵时水深可达 50m,为较深较开放的海相环境。此钻孔的介形虫/有孔虫比值曲线与海侵曲线大致上呈现出相反的趋势(图 11),正是反映了此项比值与水深的关系。至于全新世海侵最盛期出现的两个异常高值(比值 0.186 与 0.332),显然与沉积类型有关,在细粒泥质沉积中介形虫含量可以出现高值。

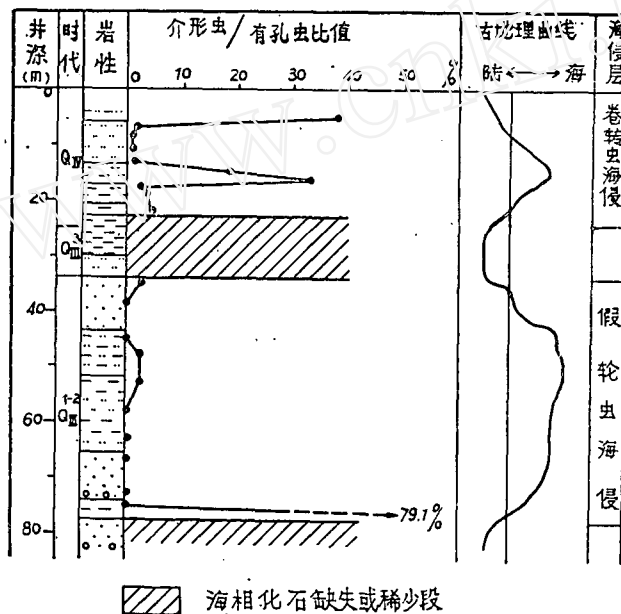


图 11 上海面粉厂第四纪晚期地层中的介形虫/有孔虫比值(地层划分与古地理曲线据闵秋宝、汪品先, 1979)

Fig. 11 Ostracod/foraminifer ratio curve for the Late Quaternary deposits from a borehole in Shanghai (Stratigraphy and paleogeographic curve, after Min and Wang, 1979)

在海陆过渡相地层中影响介形虫/有孔虫比值的因素较多,相应地过渡相地层中此项比值曲线的解释也比较复杂。如前所述,在潮汐作用强烈的河口—海湾以小个体有孔虫为主,介形虫/有孔虫比值极低;在低能低盐的潟湖,介形虫/有孔虫比值可以甚高。例如,江苏吴县渡村 Sx18 孔,在全新世卷转虫海侵层的上部潮汐河口—海湾相沉积中有孔虫壳体细小、分异度高,介形虫/有孔虫比值平均仅 0.005;下部低盐潟湖相沉积中有

孔虫分异度低，介形虫/有孔虫平均比值增至 0.053，晚更新世中期假轮虫海侵层上部滨岸浅海相沉积中，此项比值平均仅 0.003；下部泻湖相沉积中均在 0.1 以上（图 12）。因此，介形虫/有孔虫比值是指示古环境变化的良好标志之一。

介形虫/有孔虫比值，正是由于其控制因素比较多，地层剖面中的比值曲线常常具有多解性。因此，介形虫/有孔虫比值也像所有的非种特征一样，需要和其他微体古生物特征结合起来使用，例如，和属种组合、分异度、个体大小和其他形态特征等相结合，进行综合解释。

## 五、结 论

1. 介形虫/有孔虫数量比值，可以作为一种沉积环境的标志，结合其他信息对地层作古环境解释。
  2. 介形虫/有孔虫比值总的来说，由陆向海减小，从纯陆相的无穷大下降至深海碳酸盐补偿深度 (CCD) 以下的零值，因此一般认为，此值的下降可以指示海相沉积的增多。
  3. 在陆架深度范围以内，主要由于底栖有孔虫随水深加大而增多致使介形虫/有孔虫的比值下降；陆架以外，则主要由于浮游有孔虫增多此值下降。
  4. 只有在海陆过渡的环境中，才出现介形虫/有孔虫比值近于或大于 1；在开放海区的沉积物中，介形虫数量一般比有孔虫低一个到数个数量级。
  5. 决定介形虫/有孔虫比值的因素甚多，除水深程度和离岸远近外，还与沉积类型、藻类发育、pH 值等有关。一般在滨岸环境的粗粒沉积物中介形虫偏少，泥质沉积物中则较多。
  6. 在同一深度区间的海区内由于影响因素很多，介形虫/有孔虫比值可以有较大幅度的变化，此值的下限意义不大，而其上限和平均值则可用以指示沉积环境。
- 总之，介形虫/有孔虫比值是一项十分有用的非种古环境标志，可供广大非古生物专业的地质人员和古生物专业人员使用。可惜由于过去对此项工作未曾引起足够的重视，现有的定量统计数据不足，更缺乏专门的试验，目前尚难建立起此项比值完整的定量参考体系。如果通过本文对现有资料的汇总和对问题的提出，能引起广大古生物界与地质界的重视，从而广泛地积累数据资料，为进一步全面分析此项比值的古环境意义创造条件，这就达到了撰写本文的目的。

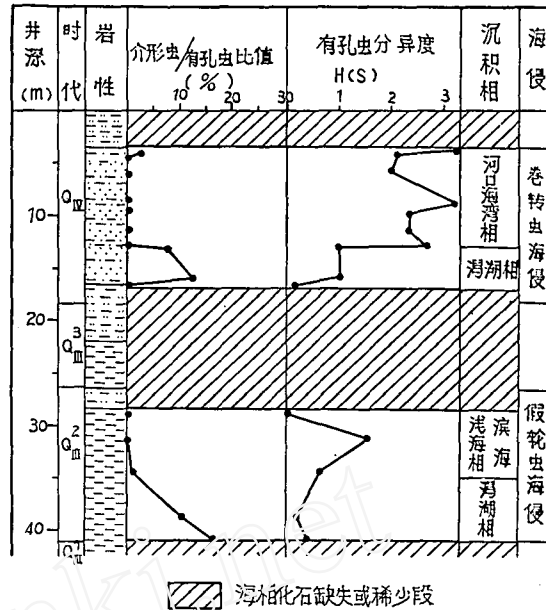


图 12 江苏吴县渡村 Sx18 孔第四纪晚期地层中的介形虫/有孔虫比值

Fig. 12 Ostracod/foraminifer ratio curve for the Late Quaternary deposits from borehole Sx18, Wuxian, Jiangsu Province

## 参 考 文 献

- 汪品先、卞云华, 1985: 滦河冲积扇—三角洲地区表层沉积中有孔虫与介形虫的分布。滦河冲积扇—三角洲沉积体系。地质出版社。
- 、闵秋宝、卞云华, 1980: 我国东部新生代的海陆过渡相化石群。海洋微体古生物论文集, 9—19页。海洋出版社。
- 、——、——, 1982: 关于我国东部含油盆地早第三纪地层的沉积环境。地质论评, 28卷5期。
- 、——、——、成鑫荣, 1981: 我国东部第四纪海侵地层的初步研究。地质学报, 55卷1期。
- 、陆培德、成鑫荣, 1980: 东海介形虫的定量研究。海洋微体古生物论文集, 39—60页。海洋出版社。
- 、林景星, 1974: 我国中部某盆地早第三纪半咸水有孔虫化石群的发现及其意义。地质学报, 2期。
- 、章纪军、赵泉鸿、闵秋宝、卞云华、郑连福、成鑫荣、陈荣华: 东海底质中的有孔虫、介形虫。海洋出版社(出版中)。
- 闵秋宝、汪品先, 1979: 论上海地区第四纪海进。同济大学学报, 2期。
- 赵泉鸿、韩道华, 1980: 江苏省微山湖西地区第四纪晚期的海陆过渡相化石群及其意义。海洋微体古生物论文集, 120—129页。海洋出版社。
- Bandy, O. L., 1963: Dominant paralic Foraminifers of southern California and the Gulf of California. *Cushman Found. Foram. Research, Contr.*, 14(4): 127—134.
- , 1964: Foraminiferal biofacies in sediments of Gulf of Batabano, Cuba, and their geological significance. *Am. Assoc. Petr. Geol., Bull.*, 38(10): 1666—1679.
- Boltovskoy, E. and Wright, R., 1976: Recent Foraminifera. Dr. W. Junk, The Hague, 1—515.
- Cifelli, R. and Sachs, K. N., 1966: Abundance relationships of planktonic Foraminifera and Radiolaria. *Deep-Sea Research*, 13: 751—753.
- Duncan, R. Jr., Fowler, G. A. and Kulm, L. D., 1970: Planktonic foraminifer-radiolarian ratios and Holocene—Late Pleistocene deep-sea stratigraphy off Oregon. *Geol. Soc. Am., Bull.*, 81(2): 561—566.
- Griggs, G. B., Kulm, L. D., Duncan, J. R. and Fowler, G. A., 1970: Holocene faunal stratigraphy and paleoclimatic implications of deep-sea sediments in Cascadia basin. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 7: 5—12.
- Liebau, A., 1982: Ostrakoden-Palaobathymetrie des Neogens von Carmona (Südspanien). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 164(1/2): 266—268.
- Lindström, M. and Vortisch, W., 1983: Indications of upwelling in the Lower Ordovician of Scandinavia. Coastal upwelling: its sediment record, part B. Plenum Press, 535—551.
- Pflum, C. E., Frerichs, W. E. and Sliter, W. V., 1976: Gulf of Mexico deep-water Foraminifera. *Cushman Found. Foram. Research, Spec. Publ.*, 14: 1—125.
- Pokorny, V., 1978: Ostracodes. Introduction to marine micropaleontology. Elsevier, 109—149.
- Sarnthein, M., 1969: The plankton-benthos ratio of mollusks in the recent sediments of the Persian Gulf. *Proc. 1st Internat. Conf. Plankt. Microfoss.*, Leiden, 594—598.
- Smith, F. D. Jr., 1955: Planktonic Foraminifera as indicators of depositional environments. *Micropaleontology*, 1(2): 147—151.
- Wang Pin-xian, Min Qiu-bao, Bian Yun-hua and Hua Di, 1985: Characteristics of foraminiferal and ostracod thanatocoenoses from some Chinese estuaries and their geological significance. *Marine Micropaleontology of China*. China Ocean Press and Springer-Verlag, 229—242.

Zaitzeff, J. B. and Cross, A. T., 1970: The use of Dinoflagellates and Acritarchs for zonation and correlation of the Navarro Group (Maestrichtian) of Texas. Symposium on Palynology of the Late Cretaceous and Early Tertiary, Geol. Soc. Am., 341—377.

Гофман Е. А., 1966: Экология современных и новокаспийских остракод Каспийского моря. "Наука", М., 1—183.

## OSTRACOD/FORAMINIFER RATIOS AS INDICATORS OF SEDIMENTARY ENVIRONMENTS

Wang Pin-xian and Bian Yun-hua

(Department of Marine Geology, Tongji University, Shanghai)

### Abstract

The value of abundance relationships between ostracods and foraminifers as indicators of sedimentary environments is discussed in this paper on the basis of numerical data mainly from the China Sea. In general, the ostracod/foraminifer (O/F) ratio, i.e., the ratio of ostracod valves to foraminiferal tests, is decreasing from land to ocean, ranging from infinity for pure continental conditions to zero for the deep ocean below CCD, with the most significant variations in the near-shore sea areas and the continental-marine transitional zones.

In the East China Sea, for example, the mean value of O/F ratio decreases from 0.065 for the inner shelf to about 0.0001 for the Okinawa Trough (Table 1; Fig. 3), with the 0.1, 0.01 and 0.001 isolines running close to the 20m, 50m and 150m isobaths respectively (Fig. 1). It has been found that the upper limit of the O/F values for a given depth interval decreases clearly with increasing water depth, while the lower limit remains almost unchanged (Fig. 2). A similar correlation of O/F value with water depth also has been found in the northern shelf of the South China Sea (Table 2; Figs. 4—5), in the Yellow Sea and the Bohai Gulf (Fig. 8), and in the Gulf of Mexico (Fig. 6). Exclusive of the planktonic foraminifers, the upper limit and mean value of the ostracod/benthonic foraminifer ratio still display a decreasing tendency with the increasing water depth for the continental shelf, but not for the deeper areas where the increase in the abundance of planktonic foraminifers accounts for the reduction in O/F ratios (Fig. 7).

The distribution of O/F ratios is much more complicated in marine-continental transitional zones. The O/F ratio value, for example, is dropping down from 0.5 for the inner part of the Zhujiang (Pearl River) estuary to

about 0.001 for the shelf outside the estuary (Fig. 9), but the ratios in the Changjiang (Yangtze River) estuary and the Hangzhou Bay (the Qiantang River estuary) are much lower than that in the shelf (Fig. 10). The low frequency of ostracods in the sediments of the latter two estuaries may be attributed to the tidal currents there which transport only small-sized foraminiferal tests into the estuaries but are unfavourable for ostracods to live. As to the lagoonal, littoral and supralittoral environments, the O/F ratio is extremely low under high-energy conditions, but it may reach high values in low-salinity and low-energy muddy sediments. In some of the studied lagoons and supralittoral zones the O/F ratio value can be greater than 1, though there are more examples to show that the O/F ratio value in lagoons, littoral and supralittoral zones the O/F ratio value can be as low as 0.004 or even less. The controlling factors of the O/F ratio in these areas are believed to be the sediment type, the development of benthonic algae, the pH value, and some others. Usually the O/F ratio is higher in muddy sediments and lower in sandy sediments. Besides, the O/F ratio may be unusually high in the so-called "lake-sea", *i. e.* in relict sea water environments such as the Caspian Sea and the Sea of Azov.

Thus, in paleoenvironmental studies the O/F ratio can be used to discriminate the marine-continental transitional facies from the real marine facies, since the O/F ratio value above or close to 1 is restricted to the transitional facies. On the other hand, the O/F ratio curve can be utilized to indicate the changes in water depth and other environmental parameters in stratigraphic profile. Examples also are given to show the use of O/F ratio in the studies of the Late Quaternary sea transgression in East China (Figs. 11—12).