

河口有孔虫的搬运作用 及其古环境意义(II)*

汪品先 闵秋宝 卞云华 成鑫荣 朱晓东

(同济大学海洋地质系)

五、河口有孔虫群的搬运与潮汐作用

其实,在强烈水动力条件下,底栖有孔虫可以呈悬移状态搬运的事实,早已见诸文献。英国在英吉利海峡一带(Murray 1965; Murray et al., 1982),美国在加利福尼亚岸外(Lidz, 1968; Loose, 1970)等处,都报道了浮游样品中有底栖有孔虫出现。长江口与易北河口类似的发现,进一步说明了这种搬运作用在河口有孔虫埋葬群形成中所起的重要作用。潮汐河口的潮流可以使一定大小的有孔虫空壳泛起,甚至使固着不牢的小个体活有孔虫脱离基底、卷入潮流,然后搬运到水动力弱的地区与较细粒沉积物同时沉降堆积。相反,在河流或潮流强盛的粗粒沉积区,细小的壳体与细粒沉积物一起被冲刷而去,留下比较粗大的壳体。当然,下一次强烈的潮流或者风暴,还可以将细粒沉积物中的壳体连同矿物颗粒一起重新掀起,发生再悬移作用,直到最终埋葬为止。上述长江口内洪水期与枯水期底质中有孔虫丰度与壳径的重大差异,肯定与这种再悬移作用造成的粒度再分配有关。但是无论如何,总是壳体与矿物颗粒一起发生分选,有孔虫壳径与沉积物粒径相应的发生变化。

长江口、钱塘江口和易北河口所见的悬移搬运和壳体分选作用,也是其它中潮——强潮型河口的共同现象。1955年, Freydanck 发现西德 Eider 河口有孔虫壳径与沉积物粒径之间存在着相关关系(图14),即有孔虫壳径在粗粒沉积中偏大,在细粒沉积中偏小。可惜当时辨认活有孔虫的染色法尚未推广,这位作者错误地将河口沉积物中的常见种一概当作原地的生物群组成分子,因而企图用有孔虫个体发育对于水流速度的适应性来解释这种现象。他以为在细粒沉积上生活的有孔虫壳体不会长大,只有其中随着年龄移居到粗粒沉积上生活的一部分个体,才必需长成较大壳体,以便不致被较强的水流冲去(Freydanck, 1955)。如今有了长江口与易北河口的实例,当然不再需要求助于这种牵强而不实际的解释。Eidr 河口显然和它附近的易北河口一样,也是水动力搬运作用造成有孔虫壳体与沉积颗粒的同时分选,有孔虫的埋葬群受水动力因素而很少受生物因素控制。

西德、荷兰边境上的Ems河口也有着相似的情况。我们取该河口两个剖面表层沉积中有孔虫大小等级(van Voorthuysen, 1960)与沉积物粒径(Wiggers, 1960)的数据作图比较,同样看到了两者之间的对应关系(图15)。Ems河口的平均潮差达2.5—3.0m,

本刊编辑部收到稿件日期:1985年12月26日。

* 本文第一部分刊登在本刊第六卷第二期。

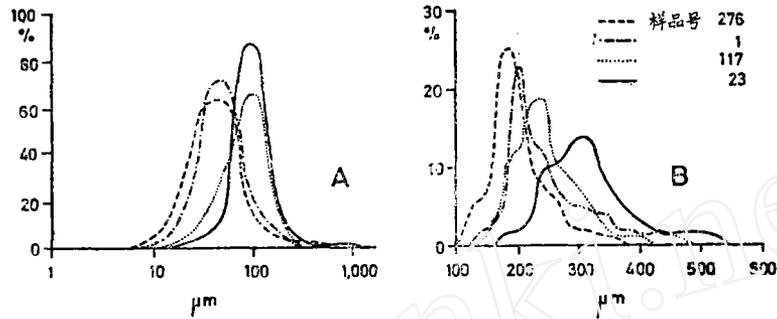


图14 北海Eider河口表层沉积物粒径(A)与有孔虫壳径(B)的相关关系
 Fig. 14 Correlation of grain size (A) and foraminiferal test size (B) in sediments, Eider estuary, North Sea (after Wang, 1983b, data from Freydanck, 1955).

(Wang, 1983b, 据Freydanck, 1955资料编制)

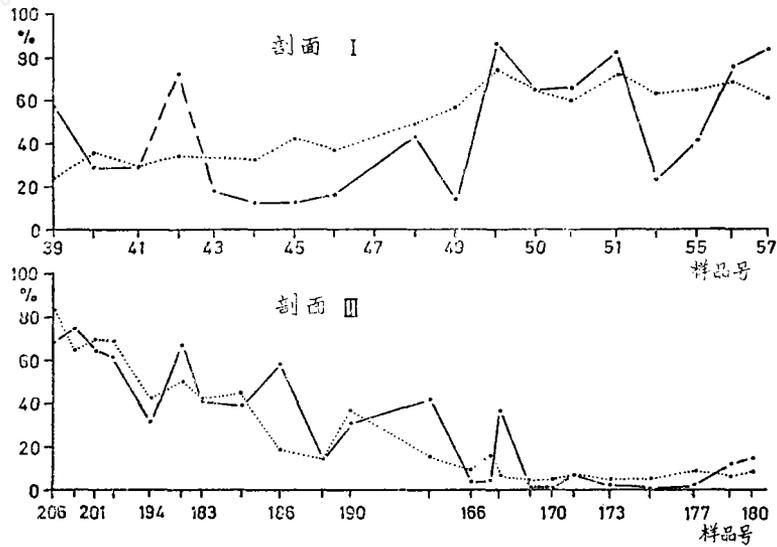


图15 北海Ems河口两个剖面表层沉积中有孔虫壳径与沉积物粒径的相关关系
 Fig. 15 Correlation of foraminiferal test diameter and grain size in two profiles from Ems estuary, North Sea (after Wang, 1983b, data from van Voorthuysen, 1960 and Wiggers, 1960).

(实线表示壳径>150微米的有孔虫百分含量值, 虚线表示粒径>50微米的沉积颗粒百分含量
 (Wang, 1983 b, 据Van Voorthuysen, 1960与Wiggers, 1960资料编制)

这种大小分选显然也是潮流作用的结果。在英国, 潮流作用将小个体有孔虫壳从海区携入潮汐河口的报道, 见于Dovey河口(Haynes and Dobson, 1969), Severn河口(Murray and Hawkins, 1976), Humber河口(Brasier, 1981)等; 有孔虫壳径在沉积物中的分选, 亦见于Christchurch港等河口(Wang and Murray, 1983)。

以上所述, 都是强潮与中潮型河口的实例, 我们还应当考察弱潮型河口的有孔虫

群。广东西江口潮差仅0.86米，表层沉积中有孔虫壳体大小比较正常，不见浮游有孔虫，底栖有孔虫每个样品中不超过10种，广盐性的*A. beccarii* var.与霜粒希望虫*E. nakanokawaense* Shirai两种占全群个体数的83.4%(图2，汪品先等，1980)。优势性如此明显的广盐性种，显然是在河口以内生活的。渤海的滦河口潮差也不过1米左右，口外又有岸外沙坝作为屏障，潮汐影响河口比较困难，加以水动力强，沉积颗粒粗，在河口以内有孔虫壳体稀少，而在沙坝以外的浅海、泻湖区也可以个体大小正常、分异度低的广盐种为主(汪品先、卞云华，1985)，与长江口、钱塘江口所见截然不同。其它弱潮型河口如南流江口、双台子河口等，却与之相似(汪品先等，1980)。

国外弱潮型河口的有孔虫群，已有相当丰富的文献报道。例如美国东北部Chesapeake湾的James河口，两个广盐性优势种竟占全有孔虫群个体数的95%(Nichols and Norton, 1963)；特立尼特的Ortoire河口有孔虫埋葬群主要由胶结壳组成(Saunders, 1956)；美国密西西比河汉道河口的有孔虫群也由广盐性种组成，只在入海口处才混有小个体窄盐分子(Lankford, 1959)。

总之，就象笔者(汪品先等，1980)早已指出的那样，河口有孔虫群的性质受潮汐作用制约。在强潮型和中潮型河口，有孔虫群以异地埋葬的小个体为主，大量来自口外海区；在弱潮型河口，有孔虫群以原地埋葬的广盐性分子为主，分异度较低，优势度较高。前一类可称为钱塘江型，后一类称密西西比型。

六、河口有孔虫搬运作用与古环境分析

研究河口有孔虫的搬运作用，区分由潮汐作用不同而造成的两类河口有孔虫埋葬群，在古生态、古环境研究中具有十分重要的意义。

首先，为识别地层中原地埋葬和异地埋葬的有孔虫化石群提供了标志。通常只有当有孔虫壳体强烈磨损时，才容易考虑到搬运作用；而悬移搬运的壳体完全可以完好无损，不能与原地理葬的壳体相区分。上述研究表明，如果河口相地层中的有孔虫群只由广盐性种组成，壳体大小不一，分异度低，优势度高，应当属河口内原地生活的类型；如果只由分选良好的小个体壳组成，分异度高，优势度低，则整个化石群可能由异地埋葬而成；如果化石群中既有大小分选的小个体窄盐类型，又有大小未经分选、种数又不多广盐分子，则化石群应当是搬运而来的外来分子加上原地动物群合并埋葬而成。

识别原地生物群是进行古生态研究的先决条件之一，因此，正确认识和充分估计壳体在河口的搬运作用，是有孔虫古生态研究所不可缺少的要求。例如，在海陆过渡相环境下有孔虫等海相生物门类的分异度通常随着偏离海水的正常盐度而下降，因此化石群的分异度在一定条件下可以指示古盐度*。但是这只对原地理葬的化石群方才有效，河口有孔虫的搬运作用可以造成相反的结果。如西德从易北河通到波罗的海的基尔运河，在通向北海(易北河)的运河西端盐度不过3%，但因潮流强盛，每个样品中有孔虫逾30种，壳体大小分选，水层中也含有底栖有孔虫；而通向波罗的海的运河东端虽盐度达

* 同济大学海洋地质系，1976，化石群的分异度与古地通分析。

16%，却因缺乏潮流作用，每个样品中往往不过5种有孔虫，壳体大小悬殊，水层中并无有孔虫发现(图16)。同一条运河的两端，盐度高的东端反不及盐度低的西端高，原因就出于潮流的搬运作用，西端的高分异度归因于异地埋葬的外来分子，与盐度并无直接关系。

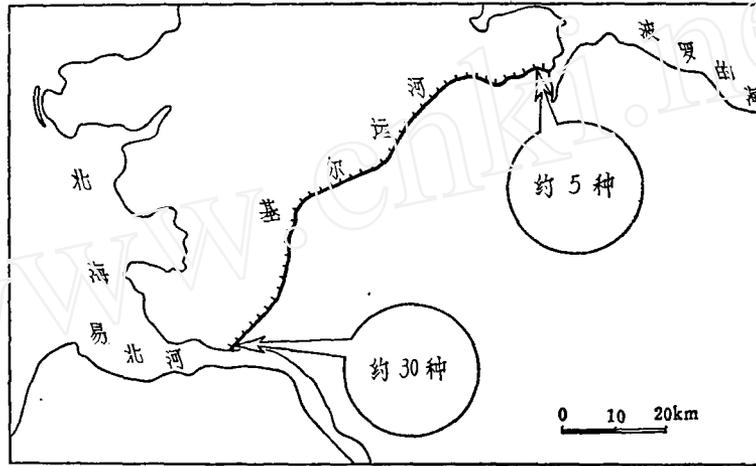


图16 西德基尔运河两端表层沉积中有孔虫的种数(Wang, 1983b)

Fig. 16 Number of foraminiferal species in bottom sediments from the two ends of the Kiel Canal, West Germany (from Wang, 1983b)

其次，河口有孔虫搬运作用造成的化石群，又为辨认河口相沉积提供了依据。从个体细小、分异度高、窄盐性分子常见的特征的有孔虫群，已被证明是强潮-中潮型河口的标志。在长江三角洲地区以 *Epistominella naraensis*-*Ammonia beccarii* var. 组合为特征的小个体有孔虫化石群，是全新世或晚更新世河口相沉积的可靠证据。从上海东部到长江口水下，从吴淞零点以下14米为界，其上的全新世晚期地层为灰褐色粉砂、粉砂质粘土，富含 *E. naraensis* 为代表的小个体有孔虫群，壳径在200微米以下，属河口相；其下的全新世中期地层含正常的浅海相化石群，两层之间界线清晰而稳定。在江苏南部距现代长江口约250公里的丹阳珥陵等地，埋深2米处发现壳径在150微米以下近钱塘江型河口相有孔虫群，说明当时长江口曾经位于丹阳附近或者更西的地方(汪品先等，1985)。

这类河口相有孔虫化石群不仅广泛分布于沿海平原，而且也见于海底沉积中。如东部陆架外缘水深100米处的沉积柱状样中揭露出两层灰色细砂，每克沉积中只含4—13枚有孔虫，其平均壳径仅150—170微米与现代长江口内的有孔虫群相当，表明这是晚更新世晚期古河口的所在(图17)。

第三，可以用河口相有孔虫群的不同性质、指示古潮汐作用的强度。上面说过，在强潮-中潮型河口的有孔虫群异地埋葬分子多，分异度高，优势度低，壳体分选强，在细粒沉积中平均壳径小，而弱潮型河口与此相反。总结我国与欧、美不同类型河口的数据，可以看出潮汐幅度与有孔虫群特征之间的联系(表I)。

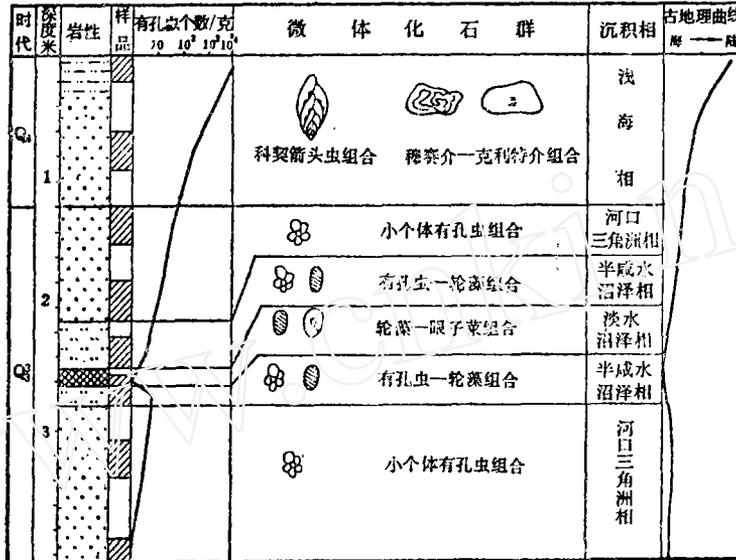


图17 东海陆架外缘某站(水深100米)柱状样中的微体化石群与沉积相 (汪品先等, 1985)

Fig. 17 Microfauna and sedimentary facies in a sediment core from the edge of continental shelf of the East China Sea with water depth about 100m (from Wang et al., 1985)

附表
Table

河口有孔虫埋葬群与潮差关系表
Correlation between characteristics of foraminiferal thanatocoenoses and tidal ranges in estuaries (Wang and Murray, 1983).

| 河口类型 (m) | 河流 | 潮差 (m) | 种分异度 (α) | 种优势度 (二种) | 外来异地分子 | | |
|-------------|-----------------------|-----------|-------------|--------------|---------|---------|---------|
| | | | | | 个数比例(%) | 壳径(μm) | |
| | | | | | | 范围 | 平均值 |
| 弱潮型 0 | 密西西比河 (美国) | 0 | 2—3 | 56—82 | 0—9 | — | — |
| | Christchurch河 (英国) | 0.8—1.5 | 1—8.5 | 40—75 | 0—22 | 80—300 | 166 |
| | 珠江 (中国) | 1.59 | 1—7 | 56—91 | 0—9 | 75—375 | 130—200 |
| 中潮型 2 | 易北河 (西德) | 2 | 4—5 | 46—67 | 23—25 | 100—400 | 180—200 |
| | Exe河 (英国) | 1.5—3.7 | 2—10 | 48—77 | 0—36 | 63—200 | 140—180 |
| | 长江 (中国) | 2.6 | 13— | 26—39 | 68—74 | 75—425 | 124—134 |
| 强潮型 4 | 钱塘江 (中国) | 5.5 | 7.5—16 | 27—44 | 65—78 | 75—325 | 118—142 |
| | Humber河 (英国) | 6.1—7.6 | 1—14 | — | 2—54 | 63—325 | 100—150 |
| | Severn河 (英国) | 8—11 | 1—13 | 33—36 | 30—70 | 63—195 | 95—145 |

由此可见,河口相地层中的有孔虫群,可以指示潮汐作用的强度。既然强、中潮型河口与弱潮型河口具有不同特征的有孔虫埋葬群,古河口潮汐作用的变化也应当反映为有孔虫化石群性质的变化。加拿大的 Miramichi 河口由于发育河口沙洲使潮汐影响减弱,相应地在河口内产生出胶结壳有孔虫群 (Scott et al., 1977) 便是一例。地质学家曾经用潮间带沉积的层理特征、壳层石生长的高度等种种方法来追索古潮汐的幅度 (Merifield and Lanar, 1979), 现在看来有孔虫化石群也可以用来指示河口相地层中的潮汐幅度和潮流强度。

七、结 语

1. 东海与北海的强潮—中潮型河口,如长江口、钱塘江口和易北河口等,发现有孔虫壳体呈悬移状况时随潮流而搬运。结果在这些河口形成了壳体大小与沉积物一起分选、外来属种众多的有孔虫埋葬群。

2. 河口的潮差和潮流强度,控制着河口有孔虫埋葬群的特性,因此河口有孔虫群与潮汐作用强度之间存在着联系。

3. 有孔虫埋葬群与潮汐强度的联系,可以用于辨认潮汐河口的沉积物,和指示潮汐作用变化的历史。

参 考 文 献

- [1] 汪品先, 1983: 研究古潮汐的一种新途径。东海海洋, 第1期, 18—21页。
- [2] 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, 137—148页。地质出版社。
- [3] 汪品先、闵秋宝、卞云华, 1985: 我国东部第四纪海陆过渡相地层。中国第四纪研究, 第6卷, 第1期, 35—43页。
- [4] 汪品先、闵秋宝、卞云华、华棣, 1980: 我国若干河口的有孔虫、介形虫埋葬群特征及其地质意义。海洋微体古生物论文集, 101—111页。海洋出版社。
- [5] 李淑鸾, 1985: 珠江口底质中有孔虫埋葬群的分布规律。海洋地质与第四纪地质, 第5卷, 第2期, 83—104页。
- [6] Berger, W. H. and Piper, D. T. W., 1972: Planktonic foraminifera: differential settling, dissolution and redeposition. *Limnol. and Oceanogr.*, 17: 275—287.
- [7] Brasier, M. D., 1981: Microfossil transport in the tidal Humber Basin. *Microfossils from Recent and Fossil Shelf Seas*, Ellis Horwood, Chichester, 314—322.
- [8] Carter, D. J., 1951: Indigenous and exotic Foraminifera in the Coralline Crag of Sutton, Suffolk. *Geological Magazine*, 88(4): 236—248.
- [9] Diester, L., 1972: Zur spätpleistozänen und holozänen Sedimentation im zentralen und östlichen Persischen Golf. "Meteor" Forschungsergebnisse, C 8: 37—83.
- [10] Fok—Pun, L. and Kumar, P. D., 1983: Settling velocities of planktonic foraminifera: density variation, and shape effects. *Jour. Foramin. Res.*, 13(1): 60—68.
- [11] Freydanck, H., 1955: Die Abhängigkeit einer rezenten Foraminiferen-Vergesellschaftung von Sediment und Strömungsgeschwindigkeit des Wassers. *Neus Jahrbuch für Geologie und Palaontologie, Abhandlungen*, 100(3): 332—349.
- [12] Grabert, B., 1971: Zur Eignung von Foraminiferen als Indikatoren für Sandwanderung. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, 24(1): 1—14.
- [13] Haake, F. W., 1962: Untersuchungen an der Foraminiferen-Fauna in Wattgebiet zwischen Langeoog und dem Festland. *Meyniana*, 12: 25—64.

- [14] Haynes, J. R. and Dobson, M., 1969: Physiography, Foraminifera and sedimentation in the Dovey estuary (Wales). *Geol. Jour.*, 6: 217—256.
- [15] Illing, M., 1950: The mechanical distribution of Recent Foraminifera in Bahama Banks sediments. *Ann. Mag. Nat. Hist.*, 12(3): 757—761.
- [16] Jones, D. J., 1958: Displacement of microfossils. *Jour. Sediment. Petrol.*, 28(4): 453—467.
- [17] Kontrovitz, M., Kilmartin, K. C., and Snyder S. W., 1979: Threshold velocities of tests of planktonic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 9(3): 228—232.
- [18] Kontrovitz, M., Snyder, S. W. and Brown, R. J., 1978: A flume study of the movement of foraminiferal tests. *Palaeo., Palaeo., Palaeo.*, 23: 141—150.
- [19] Lankford, R. R., 1959: Distribution and ecology of Foraminifera from East Mississippi Delta margin. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 43: 2068—2099.
- [20] Lidz, L., 1966: Planktonic foraminifera in the water column of the mainland shelf off Newport Beach California. *Limnol. Oceanogr.*, 11: 257—263.
- [21] Loose, T. L., 1970: Turbulent transport of benthonic foraminifera. *Contr. Cushman Found. Foramin. Res.* 21(4): 164—166.
- [22] Merifield, P. M. and Lamar, D. L., 1970: Paleotides and the geological record. *Palaeogeophysics*, Academic Press, 31—40.
- [23] Murray, J. W., 1965: Significance of benthonic foraminiferids in plankton samples. *Jour. Paleontology* 39(1): 136—157.
- [24] Murray, J. W. and Hawkins, A. B., 1976: Sediment transport in the Severn Estuary during the past 8,000—9,000 years. *Jour. Geol. Soc.*, 132: 385—398.
- [25] Murray, J. W., Sturrock, S. and Weston, J., 1982: Suspended load transport of foraminiferal tests in a tide-and wave-swept sea. *Jour. Foramin. Res.*, 10: 205—234.
- [26] Nichols, M. M. and Norton, W., 1969: Foraminiferal populations in a coastal plain estuary. *Palaeo., Palaeo., Palaeo.*, 6: 197—213.
- [27] Saunders, J. B., 1958: Recent foraminifera of mangrove swamps and river estuaries and their fossil counterparts in Trinidad. *Micropaleontology*, 4(1): 79—92.
- [28] Scott, D. B., Medioli, F. S. and Schafer, C. T., 1977: Temporal changes in foraminiferal distributions in Miramichi River estuary, New Brunswick. *Can. J. Earth Sci.*, 14: 1566—1587.
- [29] Seibold, E., 1978: Mechanical processes influencing the distribution of pelagic sediments. *Micropaleontology*, 24(4): 407—421.
- [30] Van Voorthuysen, J. H., 1960: Die Foraminiferen des Dollart-Ems Estuarium. *Verh. K. Ned. Geol. Mijnbouwk. Genoot., Geol. Ser., Dl. XIX*: 237—269.
- [31] Walton, W. R., 1952: Techniques for recognition of living Foraminifera Cushman Found. *Foram. Res., Contr.*, 3(2): 56—69.
- [32] Wang, Pinxian, 1983a: Verbreitung der Benthos-Foraminiferen im Elbe-Ästuar. *Meyniana*, 35: 67—83.
- [33] Wang, Pinxian, 1983b: Transport of foraminiferal tests in estuaries: a comparison between the East China Sea and the North Sea. *Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf, With Special Reference to the East China Sea*, China Ocean Press, Beijing, 517—525.
- [34] Wang Pinxian and Murray, J. W., 1983: The use of Foraminifera as indicators of tidal effects in estuarine deposits. *Marine Geology*, 51: 239—250.
- [35] Wang Pinxian, Hong Xueqing and Zhao Quanhong, 1985: Living Foraminifera and Ostracoda: distribution in the coastal area of the East China Sea and the Huanghai Sea. *Marine Micropaleontology of China*, China Ocean Press & Springer-Verlag, 243—255.
- [36] Wang Pinxian, Min Qiubao, Bian Yunhua and Hua Di, 1985: Characteristics of foraminiferal and ostracod thanatocoenoses from some Chinese estuaries and their geological significance. *Marine Micropaleontology of China*, Ocean Press and Springer-Verlag, 229—242.
- [37] Wiggers, A. J., 1960: Die Korngrößenverteilung der Holozänen Sedimente in Dollart-Ems Estuarium. *Verh. K. Geol. Mijnbouwk. Genoot., Geol. Ser., Dl. XIX*: 111—133.
- [38] Yamashiro, C., 1975: Differentiating dissolution and transport effects in foraminiferal sediments from the Panama Basin. *Cushman Found. Foramin. Res., Spec. Publ.*, 13: 151—159.
- [39] Zheng Lianfu, Chen Ronghua and Zhang Jijun, 1983: Foraminifera off the Changjiang Estuary. *Proceedings of International Symposium on Sedimentation on the Continental Shelf with Special Reference to the East China Sea*, China Ocean Press, Beijing, 523—537.

TRANSPORT OF FORAMINIFERAL TESTS IN ESTUARIES AND ITS PALEOENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

Wang Pinxian Min Qiubao Bian Yunhua

Cheng Xinrong Zhu Xiaodong

(Department of Marine Geology, Tongji University)

Abstract

Recent advances in studies on transport of foraminiferal tests in estuaries, mainly from East China and West Europe, are reviewed and summarized. Transport of foraminiferal tests in suspension by tidal current has been recorded in macro- and meso-tidal estuaries of the East China Sea and the North Sea, i. e. the Changjiang (Yangtze) River, Qiantang River, Elbe River estuaries, and results in foraminiferal thanatocoenoses with numerous exotic forms and test-size sorting in accordance with grain size. Hence, there exists a correlation between foraminiferal faunas and tidal effects in estuaries, which is of great significance in recognizing sediments of tidal estuaries and in exploring the history of tidal ranges in estuaries. Some new data from the Changjiang River estuary, such as a comparison of foraminiferal assemblages at dry and flood seasons, are also provided.

图 版 说 明

Plate Explanation

(标本保存在同济大学海洋地质系微古室)

- 图 1—4 凸背卷转虫 *Ammonia convexidorsa* Zheng 1. 背视 × 230, 2. 壳缘视 × 250, 长江口。H1514。3. 背视, 4. 腹视, × 230, 长江口。H1515。
- 图 5 具缘小泡虫 *Bulimina marginata* d'Orbigny 侧视, × 220, 钱塘江口。H1516。
- 图 6、7 少室卷转虫 *Ammonia pauciloculata* (Fhleger & Parker) 6. 背视, 7. 腹视, × 185, 长江口。H1512。
- 图 8、9 奈良小上口虫 *Epistominella naraensis* (Kuwanon) 8. 背视, × 285, 9. 腹视, × 310, 长江口。H1513。
- 图 10、11 毕克卷转虫变种 *Ammonia beccarii* (Linné) var. 10. 背视, 11. 腹视, × 190, 长江口。H1511。
- 图 12、13 五叶抱球虫 *Globigerina quinqueloba* Natland 12. 背视, 13. 腹视, × 300, 钱塘江。H1519。
- 图 14 毕克卷转虫(广义) *Ammonia beccarii* (Linné) s. l. 腹视, × 80, 西德易北河口。J22A。
- 图 15 洞穴希望虫 *Elphidium excavatum* (Terquem) 侧视, × 200, 西德易北河口。J37A。
- 图 16 扁形先希望虫 *Protelphidium depressulum* (Walker & Jacob) 侧视, × 100, 英国克赖斯特彻奇 (Christchurch) 河口。J30A。
- 图 17 德国先希望虫 *Protelphidium germanicum* (Ehrenberg) 侧视, × 80, 英国克赖斯特彻奇 (Christchurch) 河口。J26A。

汪品先等：河口有孔虫的搬运作用及其古环境意义 图版(Plate)

