

# 一种适用于微体古生物沉积动力分析的 沉积物粒径指数及其应用例证<sup>①</sup>

朱晓东 施丙文 朱大奎

(南京大学大地海洋系,南京 210093)

**提 要** 微体古生物的沉积动力分析可提取出比单纯的微体古生物分析更多更准的古沉积环境信息。本文提出一种称为“沉积物粒径指数 (gsi)”的半定量参数,适用于微体古生物的沉积动力学分析研究。长江口及苏北辐射沙洲区的有孔虫分析实例表明这种沉积物粒径指数行之有效。

**关键词** 沉积物粒径指数 微体古生物 沉积动力环境 江苏海岸带 有孔虫

**分类号** P 52

**第一作者简介** 朱晓东 男 32岁 副教授 海洋地质与微体古生物学

## 1 引 言

60年代以来有孔虫、介形虫等微体古生物,被广泛而有效地应用于恢复沉积环境。任何生物化石所提供的环境信息在一定程度上反映其生活环境,但在死亡后在沉积动力作用下其生态环境信息常遭受破坏、改变和损失——这正是沉积动力分析的研究意义所在<sup>[1]</sup>。可见,沉积物或地层中保存的微体古生物既反映着环境的生态条件,同时又蕴含着环境的沉积动力条件。作为微体生物,死亡后由于其壳体大小和重量往往与泥沙颗粒相当,从而实质上就成为一种沉积颗粒,也就具有了沉积学的若干基本特性,例如,同一般沉积物颗粒一样,在水动力的作用下经受搬运作用、磨蚀作用和分选作用等过程。搬运工作可导致壳体丰度和属种组成在空间和时间上(地层垂向剖面上)的重新分布。Murray等曾通过有孔虫壳体的沉积动力分析查明了西部英吉利海峡的海流、温跃层的消失及余流方向等沉积动力特征<sup>[2]</sup>。因此在运用古生物学、古生态学方法提取、解释微体生物的沉积环境信息时,如果采用与沉积学相结合的方法进行深入研究,就有可能提高运用微体生物恢复古环境的精确度和信息量。沉积物粒径是沉积动力环境和物源的反映。沉积物中微体生物壳体作为沉积颗粒的组成部分,与一般沉积物粒径之间有

密切关系。为了定量研究这种关系,需进行粒度分析获取沉积物粒径数据。常规的沉积物粒度分析方法,如筛析法、薄片法、水力法乃至现代先进的电子仪器法等,虽然能提供精确的粒径数据,但须进行专项分析,耗费较多的时间,而其微量的样品往往难以反映全貌或实际情况。本文提出一种沉积物粒径半定量方法,称为“沉积物粒径指数 (gsi)”。

## 2 沉积物粒径指数 (gsi)

沉积物粒径指数是一种半定量性质的参数,它是根据在野外采样现场或实验室取样时对沉积物进行粒度观察定名,给沉积物以一定粒径指数(中值粒径  $M_d$ ,表 2)进行相关分析,结果表明两者间有较显著的相关性,相关系数达 0.9312,并求得其间的相关方程如下:

$$gsi = 0.34 - 17.3 M_d$$

可见,粒径指数确能较好地量化沉积物的粒度特点。

## 3 应用实例

为了检验沉积物粒径指数的实用意义,本文选用长江河口及苏北辐射沙洲两地区的有孔虫埋葬群为例证,这两个地区的有孔虫群是典型的受沉积动力作用影响的埋葬群<sup>[3]</sup>。

① 国家自然科学基金重点资助项目 (49236120)成果。南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室成果编号: SCIEL 21195136)  
收稿日期: 1996- 06- 12

表 1 沉积物粒径半定量划分

Table 1 A semi-quantitative ranking Scheme of sediment grain size

沉积物名称	粒径指数 (gsi)	沉积物名称	粒径指数 (gsi)
粘土(泥)	1.0	砾石质细砂	3.6
粉砂质粘土	1.2	中砂	4.0
细砂质粘土	1.4	粘土质中砂	3.4
中砂质粘土	1.6	粉砂质中砂	3.6
粗砂质粘土	1.8	砾石质中砂	4.4
砾石质粘土*	2.0	粗砂	5.0
粉砂	2.0	粘土质粗砂*	4.2
粘土质粉砂	1.8	粉砂质粗砂	4.4
细砂质粉砂	2.2	砾石质粗砂	5.2
中砂质粉砂	2.4	砾石	6.0
粗砂质粉砂	2.6	粘土质砾石*	5.0
砾石质粉砂*	2.8	粉砂质砾石*	5.2
细砂	3.0	细砂质砾石	5.4
粘南细砂	2.6	中砂质砾石	5.6
粉砂质细砂	2.8	粗砂质砾石	5.8

注: 标有\* 的沉积物分选极差, 实际中少见, 此处列出为的是系统性。

表 2 苏北岸外辐射沙洲区沉积物  
中值粒径与粒径参数的比较

Table 2 A comparison between Md and gsi of sediment from the tidal sand banks off North Jiangsu coast

样品序号	沉积物类型	中值粒径* Md (mm)	粒径指数 gsi
1	中砂质粉砂	0.108	2.4
2	含泥中砂质粉砂	0.108	2.3
3	粘土质粉砂	0.088	1.8
4	含泥粉砂质细砂	0.125	2.7
5	粘土质细砂	0.116	2.6
6	中砂质粉砂	0.108	2.4
7	粗砂质粉砂	0.125	2.6
8	含泥中砂质粉砂	0.010	2.3
9	中砂质粘土	0.082	1.6
10	含泥粉砂质细砂	0.125	2.7
11	细砂	0.143	3.0
12	粉砂质细砂	0.134	2.8
13	粘土	0.041	1.0
14	中砂质粉砂	0.116	2.4
15	含粉砂粘土	0.044	1.1
16	粉砂	0.101	2.0
17	粘土质细砂	0.125	2.6
18	含泥粗砂质粉砂	0.116	2.5
19	含粘土粉砂	0.094	1.9
20	粘土	0.044	1.0

\* 仪器分析数据(王雪瑜惠供)。

### 3.1 长江河口区

长江口门以内的有孔虫纯粹是由潮流从口门外搬运而来的异地埋葬群。朱晓东通过壳体沉降速度

测量的实验对这种埋葬群的形成机理从沉积动力学角度作了初步解释<sup>[4]</sup>。有孔虫壳体同泥沙颗粒一样, 在水动力作用下经受搬运、分选与沉积作用。有孔虫的沉积动力学行为主要受其壳体的沉降速度控制, 而壳体的沉降速度则主要由壳体大小、结构、形态、成分等因素的差异决定的, 而这些因素往往又取决于有孔虫的属种类型, 从而各种属种及不同壳体大小的有孔虫在沉积环境的动力条件控制下形成了长江河口地区的有孔虫埋葬群, 这样的生物埋葬群与当地的生态因素没有关系。相反, 此类埋葬群的特征同沉积环境和沉积物之间应当有较密切的相关关系。利用沉积物粒径指数便可定量地揭示有孔虫与沉积环境之间的关系。

表 3 列出了我们于 1991 年 5 月在长江口北支采集的 36 个表层沉积物样品的粒径指数和有孔虫群特征的相关分析结果。表 3 中的磨蚀指数 (bri) 是用以描述有孔虫壳体在搬运过程中遭受的磨蚀程度参数<sup>[5]</sup>。有孔虫壳体平均壳径 ats 和磨蚀指数 bri 同沉积物粒径指数 gsi 有较显著的正相关性, 体现了在较强的沉积动力条件下, 有孔虫与粗颗粒沉积物伴生, 其壳体较大, 磨蚀较严重的规律。而有孔虫丰度值 abd 与 gsi 呈较显著的负相关性, 表明有孔虫壳体易于在沉积动力较弱的环境中沉积, 沉积物颗粒细, 有孔虫含量则高。有孔虫的简单分度 (种数) spn 和浮游类百分含量同 gsi 没有明显的相关性, 原因尚不清楚。

表 3 长江口有孔虫埋葬群特征与沉积物  
粒径指数相关系数矩阵

Table 3 The matrix of correlation coefficients between gsi and foraminiferal features in the Changjiang river mouth

	gsi	ats	abd	bri	spn	plk
gsi	1.0000	0.9520	-0.8610	0.8478	-0.2363	0.0050
ats		1.0000	-0.8289	0.7974	-0.1424	0.0241
abd			1.0000	-0.7095	0.1302	-0.0136
bri				1.0000	-0.3057	-0.0939
spn					1.0000	0.3295
plk						1.0000

### 3.2 苏北辐射沙洲区

苏北岸外辐射沙脊群是黄海西南部浅海内陆架的一种特殊大型堆积地貌<sup>[6-7]</sup>。沙洲区及沿岸潮滩区由于潮流作用强烈, 加之形似喇叭形河口的地貌结构, 使得该区埋葬群不仅由原地动物群堆积形成,

而且在较大程度上有潮流从外海搬运来的异地埋葬群,从而构成了混合埋葬群,其特点<sup>[5]</sup>是受沉积动力作用影响强烈,表现为分异度高,丰度变化大。壳体偏小,死态变化<sup>[8]</sup>较明显,含浮游类较多。

### 3.2.1 沙洲区沿岸潮滩

在启东、如东、东台和大丰等地潮滩采集样品34个,定量分析的有关数据列于表5。共发现有孔虫27属49种,其中含活有孔虫16种。从本区埋葬群的属种组成看,除检出的活有孔虫属种为适宜潮滩过渡环境生存,为原地埋葬外,其他属种为外海分子,主要分布于水深大于50m的陆架环境。它们在本区潮滩埋葬群中出现,是由于辐射沙洲区特殊的水文、地貌等高能沉积动力条件,由潮流沿着沙洲区的潮汐通道搬运而来。影响搬运作用的环境动力因素主要有潮差、潮流流速、潮滩坡度和沉积物粒度等,这些因素影响着有孔虫埋葬群的种类、丰度、浮游类含量、瓷质壳和胶结壳类含量、平均壳径以及磨蚀度等特征(表4、5)。本区有孔虫壳体的机械破损

磨蚀现象十分普遍,平均磨蚀指数达0.325,其中以东台、吕港最高,为0.375,而以启东最低,为0.18,这是由于吕港地区水动能最强之故,相应启东的水动力较弱。有孔虫壳径总体上偏小,平均才 $172\mu\text{m}$ ,比长江口的略大一些。吕港潮滩有孔虫的平均壳径最小,仅 $158\mu\text{m}$ ,这也是由于该地区潮流作用强大,搬运而来的异地小个体数量多的结果;而启东吕四的最大,为 $181\mu\text{m}$ ,大丰度的则与总平均值相等,为 $172\mu\text{m}$ 。壳体大小正是搬运过程造成的分选性,是沉积动力条件的反映。

### 3.2.2 辐射沙洲区有孔虫埋葬群

可以江苏岸外辐射沙洲区的黄沙洋海区为例,说明该区以沉积物粒径指数为代表的沉积动力因素与有孔虫埋葬群的关系。

在黄沙洋海区的9条取样剖面上共取得表层沉积样品69件,对其中20件作了定量分析,其余的只作定性分析,以资参考。定量分析的有关数据列于表6。

表4 辐射沙洲区沿岸各地区潮滩沉积动力条件与有孔虫埋葬特征平均数据

Table 4 The average data of sedimentary dynamics condition and foraminiferal taphocoenoses of tidal flats in the North Jiangsu coast

地区	沉积物 gsi	潮滩坡度 tra(‰)	平均潮差 tra(m)	平均流速 acv(m/s)	有孔虫 spn	有孔虫 abd(150g)	浮游类含量 plk(%)	瓷质壳类含量 mil(%)	胶结壳类含量 glu(%)	平均壳径 ats( $\mu$ )	磨蚀指数 bri
启东	1.5	0.12	4.0	66	17.8	3373	10.3	3.9	0.1	181	0.18
如东	2.2	0.18	5.0	57	15.5	4040	6.7	4.4	1.7	175	0.32
东台	1.8	0.23	4.2	116	17.4	5653	10.5	5.9	1.1	158	0.37
大丰	1.7	0.16	5.2	136	18.0	2650	5.0	2.4	0.7	172	0.33

表5 辐射沙洲区沿岸潮滩有孔虫埋葬群特征与环境因素的相关矩阵

Table 5 The matrix of correlation coefficients between gsi and foraminiferal and environmental features in the tidal sand banks off North Jiangsu coast

	gsi	slp	tra	acv	spn	sbd	plk	mil	glu	ats	bri
gsi	1.0000										
slp	0.4951	1.0000									
tra	0.5385	0.0495	1.0000								
acv	-0.3134	0.3677	0.2720	1.0000							
spn	-0.9302	-0.2723	-0.3167	0.6395	1.0000						
sbd	0.2995	0.8252	-0.4765	-0.0294	-0.2729	1.0000					
plk	-0.7650	0.0240	-0.8876	0.1903	0.6796	0.3783	1.0000				
mil	0.2746	0.6943	-0.5883	-0.2246	-0.3280	0.9768	0.4077	1.0000			
glu	0.9754	0.6711	0.5045	-0.1448	-0.8481	0.4380	-0.6643	0.3773	1.0000		
ats	-0.1743	-0.9385	0.0813	-0.5996	-0.0762	-0.7686	-0.2826	-0.6160	-0.3860	1.0000	
bri	0.5602	0.8883	0.4782	0.5692	-0.2391	0.4746	-0.2983	0.2926	0.7169	-0.8254	1.0000

表 6 黄沙洋海区的沉积环境参数与有孔虫埋葬群数据

Table 6 The analysis date of sedimentary environment and foraminiferal taphocoenoses of the Huangsha Yang area off North

样号	tpg	dow	gsi	abd	spn	liv	plk	mil	glu	ats	bri
0301	0	3.0	2.4	286	15	1.3	1.0	0.0	0.0	205	0.8
0302	1	3.0	2.3	494	21	0.4	1.0	1.0	0.0	200	0.3
0405	0	5.0	1.7	944	27	2.6	7.0	2.0	0.0	183	0.3
0501	1	7.0	2.7	122	11	2.1	4.0	24.0	0.0	230	0.4
0503	1	6.0	2.5	255	13	1.6	2.0	9.0	0.0	221	0.4
0505	0	3.0	2.4	348	16	3.2	1.0	12.0	0.0	189	0.2
0506	1	8.0	2.6	748	23	1.2	1.0	9.0	0.0	228	0.3
0607	1	6.0	2.3	170	13	2.4	0.0	3.0	0.0	147	0.4
0703	1	19.0	1.6	14000	39	4.5	4.0	1.0	1.0	165	0.2
0708	0	4.0	2.7	72	9	2.3	0.0	3.0	0.0	224	0.3
0807	1	6.0	3.0	315	15	0.0	1.0	14.0	0.0	233	0.2
0901	1	8.0	2.8	65	7	3.7	0.0	4.0	0.0	230	0.3
0903	1	16.0	1.0	3200	33	1.3	5.0	1.0	4.0	157	0.1
0905	0	6.0	2.4	1100	24	1.8	1.0	5.0	5.0	222	0.7
0907	1	16.0	1.0	2300	26	2.6	3.0	9.0	8.0	160	0.1
0909	0	7.0	2.0	2000	26	1.1	8.0	4.0	0.0	210	0.3
0911	0	9.0	2.6	23	5	1.8	0.0	11.0	0.0	225	0.8
1107	0	6.0	2.5	175	12	1.4	0.0	9.0	5.0	199	0.5
1109	1	14.0	1.9	3600	32	0.6	4.0	16.0	5.0	178	0.2
1111	1	13.0	1.0	3200	29	0.6	5.0	8.0	6.0	166	0.3

注: tpg 指地形类型, 0代表沙洲, 1代表水槽; dow 指水深; liv 指活有孔虫含量。

表 7 黄沙洋海区有孔虫埋葬群特征参数与环境参数的相关系数矩阵

Table 7 The matrix of correlation coefficients between gsi and foraminiferal and environmental features in the Huangsha Yang Area off North Jiangsu coast

	dow	gsi	dix	abd	spn	bri	plk	mil	glu	ats
dow	1.0000									
gsi	-0.7111	1.0000								
dix	0.5052	-0.7250	1.0000							
abd	0.7489	-0.5136	0.5816	1.0000						
spn	0.6674	-0.7804	0.4681	0.7303	1.0000					
bri	-0.4011	0.5889	-0.5986	-0.3631	-0.4589	1.0000				
plk	0.3998	-0.6475	0.0511	0.3829	0.6800	-0.3418	1.0000			
mil	0.0194	0.2846	0.2053	-0.2250	-0.2482	0.3407	-0.0245	1.0000		
glu	0.5754	-0.6398	0.1418	0.2022	0.4568	-0.3000	0.1724	0.0922	1.0000	
ats	-0.5496	0.8131	-0.2507	-0.4719	-0.6087	0.6065	-0.3501	0.3161	-0.4786	1.0000

对表 7 数据进行相关分析, 得黄沙洋海区有孔虫埋葬 2 群特征参数与环境参数相关系数矩阵如表 7

从表 7 可看出, 以沉积物粒径指数  $gsi$  为代表的沉积环境因素与有孔虫埋葬群有关密切的关系,  $gsi$  与有孔虫壳体平均壳径  $ats$  和磨蚀指数  $bri$  呈较显著的正相关性, 再次体现了在较强的沉积动力条

件下, 即在粗颗粒沉积物中, 有孔虫壳体较大, 磨蚀较严重的规律。而有孔虫丰度值  $abd$  与  $gsi$  呈负相关性, 表明有孔虫壳体易于在沉积动力较弱的环境中沉积, 沉积物颗粒细, 有孔虫含量则高

与  $gsi$  关系密切的水深和地形因素同样对有孔虫埋葬群有着较大影响。有孔虫丰度、种数及胶结壳类含量与水深有较大的正相关性, 即表明随水深增

大而相应也增大;浮游有孔虫含量和活有孔虫含量也与水深正相关,但相关性不甚强;瓷质壳类的含量与水深基本无关;而有孔虫平均壳径及磨损指数与水深成负相关,但相关系数亦不是很大。水深与有孔虫埋葬群之间的这些关系,不仅反映了生态条件的控制作用,同时也体现了沉积环境因素的作用。就生态条件而言,随海岸带水深增大而海相性增强,有孔虫丰度和种数相应增大。水深增大同时也基本上体现向外海方向距离增大,浮游类也就应当增多;从沉积动力因素的角度分析,由于在辐射沙洲区,水动力条件的强弱基本上是与水深呈负相关的,水越浅,波浪变形增强,因而水动能越大。因此,在深水区,波浪扰动海底作用减小,因而水体相对平静,有孔虫壳体易于沉降、埋葬,相应地种数也增加。显而易见,在水动力强的部位,壳体较大,磨蚀程度高,故此与水深呈负相关。

致谢 本文得到任美镠院士和王颖教授的指教,在此致以衷心的感谢!

## 参 考 文 献

- [1] Thomas R D K. Taphonomy ecology's loss is sedimentology's gain. *PALAIOS*, 1986, 1(3): 206. [2] Murray J W, Sturrock S and Weston J. Suspended load transport of foraminiferal tests in a tide and wave-swept sea. *J Foram. Res.*, 1982, 12(1): 51~ 65.
- [3] 任美镠,张忍顺.潮汐汉道的若干问题. *海洋学报*, 6(3): 352~ 367.
- [4] 朱晓东.长江河口三角洲区有孔虫沉降速度试验. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(3): 47~ 58.
- [5] 朱晓东.苏北沿岸有孔虫壳体破损的一种半定量描述统计方法. *微体古生物学报*, 1996, 13(9): 295~ 302.
- [6] 朱大奎,傅命佐.江苏岸辐射沙洲的初步研究. *江苏海岸带调查论文集*, 海洋出版社, 1986, 28~ 33.
- [7] 朱大奎,安芷生.江苏岸外辐射状沙洲的形成演变.任美镠教授八十华诞地理论文集. *南京大学出版社*, 1993, 142~ 145.
- [8] 朱晓东.死态学与古死态学——研究生物死亡后与环境关系的科学. *自然杂志*, 1993, (1): 30~ 33.

## A New Sediment Grain Size Index Designed for Sedimentological Study of Microfossils

— With Demonstrations of Foraminifera in Jiangsu Coast, China

*Zhu Xiaodong Shi Bingwen and Zhu Dakui*

(State Pilot Laboratory of Coast and Island Exploitation Nanjing University, Nanjing 210093)

### Abstract

In this paper, a new sediment grain size index, gsi, is proposed as a supplementary time-saving tool of sedimentological analysis of micro-fossils. The gsi is determined according to the grain size rank and composition of sediment at the time of sampling for microfossils. For example, gsis for clay, silt and fine sand are 1.0, 2.0 and 3.0, respectively, for silty clay, clayey silt are 1.2 and 1.8. The reliability of this semi-quantitative index system has been confirmed by using correlation analysis of actual Md data gained through conventional instrument analysis of 20 sediment samples with their corresponding gsi data. The correlation coefficient is as high as 0.9312. As demonstration for practical use of gsi, sedimentological foraminiferal analysis was performed on 90 samples from Yangtze River mouth and Jiangsu coastal zone where taphonomic processes of foraminiferal taphocoenoses are important. The demonstration indicated the gsi is useful and time-saving for sedimentological study on the base of microfossil.

**Key Words** sediment grain size index (gsi) microfossil sedimentological analysis