

埕岛海域 CBG4a 孔岩芯粒度特征与古环境*

庄丽华 常凤鸣 阎 军

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

摘要 对埕岛海域 CBG4a 孔岩芯进行粒度分析,划分出海滩、三角洲支流河口滨线、海滩附近沙丘、黄河三角洲河口沙坝、黄河三角洲水下三角洲前缘隆起、水下天然堤、河流等 7 种沉积环境。对样品进行 Q 型聚类分析,识别出分辨力及代表性更强的一组分类统计量:各粒组百分含量及相关的粒度参数(C , M , M_z , δ , S_k , K_g , Q , Q_z)。 M_z - δ , K_g - S_k 等结构参数散点图与沉积环境有很好的相关性,河流、海滩、沙丘等沉积物有较明确的界线。粒度象图反映了沉积物分布总体特征,其中水下天然堤、三角洲支流河口滨线沉积、海滩及其附近沙丘沉积等亚相易于在 $F-M$ 图中区分,而黄河水下三角洲前缘隆起沉积、黄河三角洲河口沙坝沉积、河流沉积等在 $L-M$ 图和 $A-M$ 图中均易于区分。

关键词 埕岛海域,粒度分析,聚类分析,粒度参数,粒度象

埕岛海域位于黄河三角洲东北部^[1],埕岛油田规模不断扩大导致海洋构筑物增多^[2],晚更新世以来的沉积地层对本区海洋工程环境有着非常重要的意义^[1]。有关粒度分析与沉积环境的问题,前人已在世界各地做了大量的工作^[3,4,6]。埕岛海域位于渤海盆地内济阳凹陷北端^[1],自晚更新世以来该区受到沧州海侵、献县海侵和黄骅海侵等 3 次海侵,自上而下形成 3 个海相层及陆相层。通过岩性、微体生物、声学地层及工程力学特性等,胜利油田管理局与青岛海洋大学对 CB20-1 孔^[1]进行了详细研究,使其成为埕岛区域标准钻孔。CBG4a 孔岩芯长 69.2 m,水深 19.2 m,与 CB20-1 孔相距很近(见图 1),岩芯发育历史应大致相似。

1 实验方法

取 CBG4a 孔沉积物柱状样 35 块,采用中科院海洋所引进的法国 CILAS 940 L 型激光粒度分析仪进行 $1/4 \phi$ 间隔的粒度分析。采用乌顿-温德华氏分类标准及国家海洋局编制的海洋地质调查规范中的分类命名原则对沉积物命名。使用 Folk 和 Ward 1967 年提出的公式计算沉积物的 4 种粒度参数:平均粒径(M_z),全面图解标准偏差(δ),全面图解偏态(S_k)和峰态(K_g)。并求出 $Q(1\%)$, M_d (中位数), M_z , δ , S_k , K_g , $Q(25\%)$, $Q_z(75\%)$, $F(<125 \mu m)$, $L(<31 \mu m)$, $A(<4 \mu m)$ 等粒度参数。分析所有样品的概率累积曲线特征,并对样品进行 Q 型聚类分析,分析

沉积物粒度象与结构参数散点图。

2 CBG4a 孔概率累积曲线特征

由于搬运方式不同,沉积物概率累积曲线线段的数目、各线段间的截点、混合度及斜率均有所区别^[1]。与 G.S. Visher 1969 年的标准图相比较,作者详细研究了 CBG4a 孔岩芯粒度特征。

2.1 海滩沉积(S 46, S52 和 S 60)

曲线由 4 个总体组成,两个跃移总体中间有一个截断,截点位置在 2ϕ ,跃移组分直线段陡,说明跃移组分分选好,该组分含量高达 78%,悬移质含量较少,这与碎浪带强烈的水流和波浪作用有关,波浪使沉积界面保持扰动以致将悬移质筛分出去,图相与佛罗里达洲鼓萨科拉上前滨、佛罗里达洲梅波特湾的开阔冲刷带及墨西哥湾沿片亚拉马下前滨^[3]的图相相近,属于海滩砂。

2.2 三角洲支流河口滨线沉积(S93, S96)

曲线由 4 个总体组成,两个跃移总体中间有一个截断,截点位置在 1.6ϕ ,中断部位也在 $15\% \sim$

* 国家自然科学基金重点项目 49736210 号。

第一作者:庄丽华,出生于 1974 年。中国科学院海洋研究所博士生,从事海洋沉积与古海洋研究。电话:0532-2879062-2203

收稿日期:2001-03-08;修回日期:2001-04-11

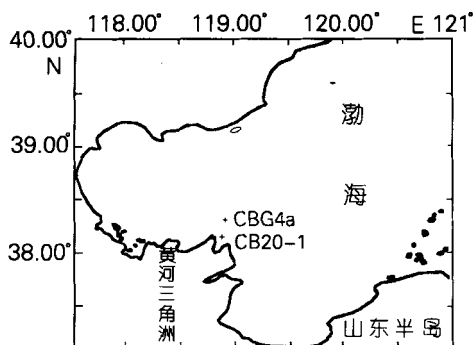


图1 研究区钻孔位置

Fig.1 Location of drilling cores in the study area

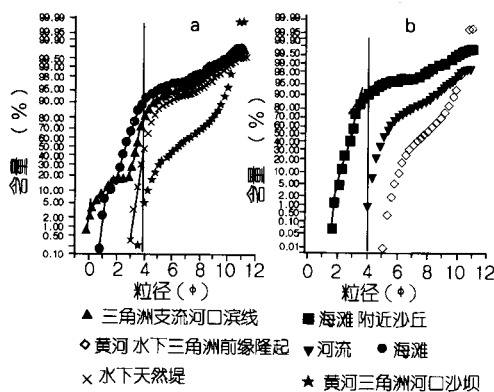


图2 CBG4a 孔概率累积曲线

Fig.2 Probability curves of core CBG4a

20%上,这可能与前滨带波浪冲刷和回流作用有关。跃移组分含量较少为16%,悬浮组分含量却很高为68%,与密西西比河三角洲上支流河口沙洲上滨线的图相^[3]相似,说明沉积物形成于三角洲支流河口滨线附近,波浪能较小,也可说明该沉积物形成时已受到黄河的影响。

2.3 海滩附近的沙丘沉积(S 47, S50, S58 和 S61)

曲线由3个总体组成,跃移总体89%,跃移组分分选很好,推移总体在0~2 φ间截断,推移质数量很少均不大于2%,与 G.S. Visher 1969 年^[3]标准图相比,与佛罗里达州克雷森特海、阿美利加岛和圣布拉斯角的图相相近,属于海滩附近的沙丘沉积。

2.4 黄河三角洲水下三角洲前缘隆起沉积(S2, S4, S5, S9, S11, S12, S14, S65, S80 和 S109)

均呈正切曲线形状,粒度区间为4~12 φ的沉

积物含量分别达到99.97%, 99.58%, 99.965%, 99.94%, 99.93%, 99.68%, 99.97%, 99.998%和99.68%,均在90%以上。通过与CB20-1孔岩芯的对比,发现S2, S4, S5, S9, S11, S12和S14等层位的沉积物属于黄河三角洲水下三角洲前缘隆起沉积,因此S65, S80和S109等层位的沉积物也属于黄河三角洲水下三角洲前缘隆起沉积,只是沉积年代不同而已。

2.5 黄河三角洲河口沙坝沉积(S17, S31, S33, S107 和 S108)

曲线呈正切曲线形状,粒度区间为4~12 φ的概率累积曲线与黄河三角洲水下三角洲前缘隆起沉积的很相近,只是多了少量粗颗粒组分,推测为黄河三角洲河口沙坝沉积。

2.6 水下天然堤沉积(S85, S87 和 S90)

曲线尾部与三角洲支流河口滨线沉积极其类似,区别在于0~4 φ粒度区间的沉积物基本上由单一的悬浮总体组成,与密西西比河三角洲水下天然堤的图相^[3]接近,可能是由于悬浮物质沿流两侧,因流速突然降低而急速沉积造成的。

2.7 河流沉积(S20, S70, S72, S75, S103 和 S105)

粒径区间为4~12 φ的沉积物含量分别为94.1%, 85.1%, 94%, 90.6%, 91.4%和98.2%,在粒径间隔为1 φ的概率图上,概率图由两个总体构成,一个是跃移,另一个是悬浮,通常缺乏推移总体,悬移总体含量由2%至30%,根据 Visher 由300个古代样品得出的结论,推测为河流沉积,只是粒径偏细而已。

3 聚类分析

选取4组不同的变量分别对CBG4a孔进行Q型聚类分析,得到以距离为分类尺度的4种谱系图(见图3)。第1组变量共11个,为各粒组百分含量及粒度参数:即黏土Y,粉砂T,细砂FS,中砂MS,粗砂CS, C值,中位数M,平均粒径M,全面图解标准差σ,全面图解偏态S_k和峰态,对应图3a;第2组变量共53个,分别为47个粒级的百分含量及前面提到的6个粒度参数,对应图3b;第3组变量共47个,仅为47个粒级的百分含量,对应图3c;第4组变量共13个,比第1组变量多了Q, Q₃,对应图3d。其中样品之间的距离均采用欧几里德公式进行计算:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}$$

$i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p; d_{ij}$ 为p维空间中两

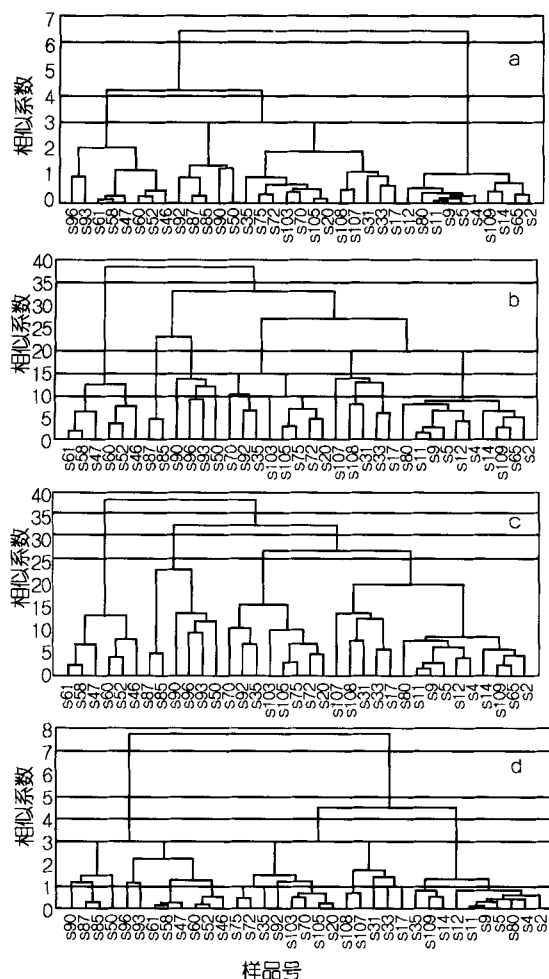


图3 CBG4a 孔 Q 型聚类分析谱系

Fig. 3 Tree diagrams of Q mode cluster analysis of core CBG4a

点间的距离,而两群之间的距离采用两群中所有元素的加权平均距离。

应用聚类分析对样品进行分类的效果,关键在于分类统计量的选择是否合理^[5]。聚类分析把沉积特征、沉积环境大致相同的层位划归为一类,但粒度分析结果常代表一个复合的分布,要用多种粒度参数表征,因此进行聚类分析时,若将分类统计量重点放在各粒级百分含量上,分类效果并不好(见图 3b, 3c);而当分类统计量为各粒组百分含量及相关的粒度参数时,分辨力及代表性更强(见图 3a, 3d)。总之谱系图 3d 更为合理。当群间距离为 1.8 时,样品可划分为 6 组(见图 3d):第 1 组代表黄河三角洲水下三角洲前缘

隆起沉积环境,包括 S2, S4, S80, S5, S9, S11, S12, S14, S65, S109;第 2 组代表黄河三角洲河口沙坝沉积,包括 S17, S33, S31, S107, S108 等层位;第 3 组代表河流沉积,包括 S20, S105, S70, S103, S92, S35, S72, S75;第 4 组代表滨海海滩及其附近沙丘沉积,包括 S46, S52, S60, S47, S58, S61;第 5 组代表三角洲支流河口滨线沉积,为 S93 和 S96;第 6 组代表水下天然堤沉积,包括 S50, S85, S87, S90。

4 结构参数散点图

在 CBG4a 孔沉积物结构参数散点图(图 4)中,河流、海滩、沙丘等环境的沉积物有较明确的界线。样品的粒度参数与沉积物的形成环境有很好的相关性,其中平均直径对标准差、峰态对偏态等散点图效果较好。

在 K_g-S_k 散点图中(见图 4a),黄河三角洲河口沙坝与水下三角洲前缘隆起沉积物, $K_g < 0.9$, 峰态平坦;而 $K_g > 0.9$, $S_k > 0.45$ 的沉积物表现为河流沉积; $K_g > 0.9$, $S_k < 0.45$ 的沉积物为水下天然堤、海滩、三角洲支流河口滨线等沉积,这 3 种类型的沉积物难以区分。一般来讲,海滩砂应呈负偏态($S_k < 0$),河流砂呈正偏态($S_k > 0$),但由于黄河中携带大量的泥质悬浮物质,来不及冲洗掉,就渗入海滩砂中沉积下来,从而使小部分海滩砂、水下天然堤、三角洲支流河口滨线的沉积物也呈正偏态。

在 $M_z-\phi$ 散点图中(见图 4b),不同沉积环境的沉积物都有明显的界线。其中 $M_z > 6 \phi$ 为黄河三角洲河口沙坝与水下三角洲前缘隆起沉积,由于黄河(现代或古代)河口附近悬浮物质运移堆积而成,所以颗粒最细; $4.7 \phi < M_z < 6 \phi$ 为河流砂,由于黄河上游流

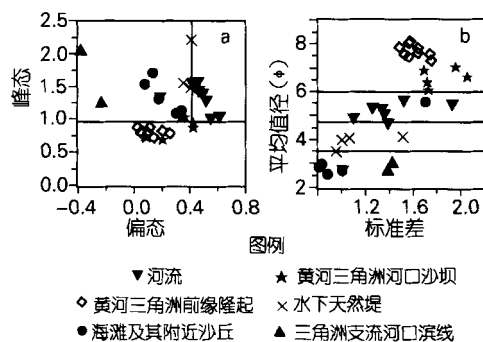


图4 CBG4a 孔结构参数散点

Fig. 4 Scatter plots of grain size parameters of core CBG4a

经黄土高原,所以河流沉积物中粉砂黏土含量较高; $3.5\phi < M_0 < 4.7\phi$,为水下天然堤沉积; $M_0 > 3.5\phi$,为海滩砂、海滩附近沙丘沉积及三角洲上支流河口滨线沉积,多为中细砂。

5 粒度象特征

作者选用一些与沉积搬运有密切关系的粒度参数如 C 值, M 值, F , L , A 等做 GM , FM , LM , AM 图(见图 5),其中 GM 图表征样品的粗粒级组分,后面 3 种图表征样品不同的细粒级组分,这些图由所有样品粒度参数构成,构成沉积物的粒度象,反映沉积物粒度分布总体特征,间接地指示沉积环境。

对 CBG4a 孔岩芯各亚相做了系统的 GM 图(见图 5a),发现各亚相在图上的分布有一定的规律。 GM 图由 PQ, QR, RS 等几段组成,其中 PQ 段代表三角洲支流河口滨线、海滩及附近沙丘沉积,为悬浮和滚动组分;QR 段代表水下天然堤,为递变悬浮组分;RS 段代表河流沉积,为均匀悬浮组分;另外 RS 末端还有一个近似方形的区域,代表黄河三角洲前缘沉积区。

在 FM 图(见图 5b)中,大致可区分出几种环境:当 F 几乎为 100 时,属于黄河三角洲河口沙坝与水下三角洲前缘隆起沉积及河流沉积;而 $F < 100$ 时为海洋沉积环境,又可划分为几种亚相: $F > 80$ 为水下天然堤, $50 < F < 80$ 为三角洲支流河口滨线, $F < 50$ 为

海滩及其附近沙丘沉积。

在 LM 图中(见图 5c),相同沉积环境的点较为集中。 $L > 90\%$ 为黄河水下三角洲前缘隆起沉积; $60\% < L < 90\%$,为黄河三角洲河口沙坝沉积; $20\% < L < 60\%$,为河流沉积环境; $L < 20\%$ 时为水下天然堤、三角洲支流河口滨线沉积、海滩及其附近沙丘沉积,这 3 种亚相不易区分。

在 AM 图中(见图 5d), $35\% < A < 60\%$,为黄河水下三角洲前缘隆起沉积; $16\% < A < 35\%$,为黄河三角洲河口沙坝沉积; $5.5\% < A < 16\%$,为河流沉积环境; $A < 5.5\%$ 为水下天然堤、三角洲支流河口滨线沉积、海滩及其附近沙丘沉积,这 3 种亚相的 A 值均接近于零不易区分。

6 结论

对埕岛海域 CBG4a 孔岩芯进行粒度分析,区分出海滩、三角洲支流河口滨线、海滩附近沙丘、黄河三角洲河口沙坝、黄河三角洲水下三角洲前缘隆起、水下天然堤、河流等 7 种沉积环境。选择 4 组不同的变量对样品进行 Q 型聚类分析,识别出分辨率及代表性更强的一组分类统计量:各粒组百分含量及相关的粒度参数(C , M , M_0 , δ_1 , S_k , K_0 , Q_1 , Q_3)。样品的结构参数散点图与沉积环境有很好的相关性,不同环境的沉积物尤其是河流、海滩、沙丘等沉积物有较明确的界线,其中 M_0 - δ_1 , K_0 - S_k 等散点图效果较好。粒度象图(如 GM , FM , LM , AM)反映了沉积物分布总体特征,间接地指示了沉积环境,其中水下天然堤、三角洲支流河口滨线沉积、海滩及其附近沙丘沉积等亚相易于在 FM 图中区分,而黄河水下三角洲前缘隆起沉积、黄河三角洲河口沙坝沉积、河流沉积等在 LM 图和 AM 图中均易于区分。

参考文献

- 1 胜利油田管理局、青岛海洋大学组编。埕岛油田勘探开发海洋环境。青岛:青岛海洋大学出版社,1993.327~396
- 2 刘效国、朱孝强。埕岛海域水深地形特征及冲淤规律探讨,黄渤海海洋,2000,18(1):34~39
- 3 成都地质学院陕北队。沉积岩物粒度分析及其应用。北京:地质出版社,1976.31~100
- 4 鹿化煜、安芷生。黄土高原红黏土与黄土古土壤粒度特征对比——红黏土风成成因的新证据,沉积学报,1999,17(2):226~232
- 5 陈上及、马继瑞。海洋数据处理分析方法及应用。北京:海洋出版社,1991.181~239

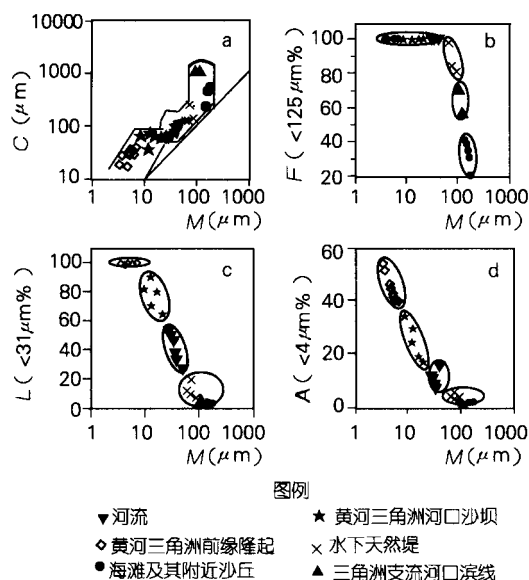


图 5 CBG4a 孔粒度象

Fig.5 Grain size distributions of core CBG4a

- 6 Blair T.C., Mcpherson J.G. . Grain size and textural
classical of coarse sedimentary particles , *Journal of*
Sedimentary Research , 1999 , **69**(1) : 6 ~ 19

辅助参考文献

- Psaaga R. . Grain size representation by CM pattern as a
geologic tool , *Journal of sedimentary Petrology* , 1964 , 34 :
830 ~ 847
Folk R.L. . A review of grain size parameters ,
Sedimentology , 1966 , 6 : 73 ~ 92

- Visher G.S. . Grain size distribution and depositional
processes . *Journal of Sedimentary Petrology* , 1969 , **39**(3) :
1 074 ~ 1 106
Antony T. . Buller and John Mcmanus . The Quatile devi -
ation/ Median diameter relationships of glacial deposits ,
Sedimentary Geology , 1973 , 10 , 135 ~ 146
Mcmanus J. . Grain size determination and interpretation .
In : Tucker . M.(ed) . Techniques in sedimentology .
Oxford : Blackwell , 1988 . 63 ~ 93

THE GRAIN SIZE PROPERTIES AND PALEOENVIRONMENT OF ROCK COLUMN OF CORE CBG4a IN THE MARINE AREA OF CHENGDAO

ZHUANG Li-hua CHANG Feng-ming YAN Jun

(*Institute of Oceanology , Chinese Academy of Sciences , Qingdao , 266071*)

Received : Mar., 8, 2001

Key Words : Marine area of Chengdao , Grain size analysis , Cluster analysis , Grain size parameter , Grain size distributions

Abstract

Grain size analysis is done on the sediment of drilling core CBG4a in the marine area of Chengdao, and the authors divide seven sedimentary environments as follows : beach , sand dune near the beach , shoreline of tributary stream outlet of delta , barrier of estuary of the Yellow River Delta , subaqueous prodelta rise of the Yellow River Delta , subaqueous natural levee and river . We select four different classification variables to do Q mode cluster analysis , and find that the resolving power and representative property are stronger when the variables are the percentage content of every particle size group and relevant grain size parameters such as $Y\%$, $T\%$, $FS\%$, $MS\%$, $CS\%$, C , M_0 , M_1 , δ_1 , S_k , K_g . The grain size parameters are well interrelated with sedimentary environment , for example , the scatter plots of $M_0 - \delta_1$ and $K_g - S_k$ are effective . The grain size distribution plots (such as $G M$, $F M$, $L M$, $A M$) reflect the total characteristics of sediment , we can distinguish some sedimentary environments including subaqueous natural levee , shoreline of tributary stream outlet of delta beach and sand dune near the beach in the plot of $F M$, while other sedimentary environments including barrier of estuary of the Yellow River Delta , subaqueous prodelta rise of the Yellow River Delta and river are easily distinguished in the plots of $L M$ and $A M$.

(本文编辑 : 李本川)