

黄骅拗陷几种砂体的粒度分布特征 及其水动力条件的初步分析*

郑浚茂 王德发 孙永传

(武汉地质学院)

概 述

砂体成因的研究是项综合性工作,用于成因研究的指标有生物的、化学的和物理的。砂岩粒度分布是一个重要的物理标志。

砂体的粒度分布受沉积时水动力条件的控制,是反映原始沉积状况的直接标志,可直接提供沉积时的水动力条件,其中包括:明确搬运介质性质(风、水、冰等);判断搬运介质的能量和能力(流速、流量、起动能力);确定搬运方式(滚动、跳跃、悬浮)等。从而可以得出沉积作用模式(浊流、牵引流等)为环境分析提供重要依据。

用于环境研究的粒度方法中,目前应用广泛和效果较好的要算帕塞加(R.Passega)所提出的CM图解,和莫斯(A.J.Moss)及维希尔(G.S.Visher)所提出的概率标度的累积曲线(简称概率曲线)。

不同环境有着不同的水动力条件,从而造成不同的粒度分布,相应形成不同CM图和概率曲线。用未知样品所作图形与已知图形对比,从而得出环境概念,这是简单易行的方法。为了提高对于环境的判别能力,近

年来国内外大力从研究现代各种不同环境的沉积物着手,总结出各种已知环境的CM图和概率曲线,为判别环境提供大量客观对比标准,无疑这是一项重要的基础工作。从这些实践结果来看,有些环境间的粒度分布,有着明显的差别,它们各有独特的图形。但是,由于粒度分布主要是受水动力因素控制,不同环境中可以有类似的水动力条件,因而产生相似的粒度分布;而同一环境中的不同部分,粒度分布又可有不同的曲线、图形。因此根据图形的简单对比,往往得不出满意的结果。

为了避免上述单个图形的多解性,进一步提高粒度分布在环境分析中的作用。近年来,我们在黄骅拗陷着重研究不同环境的粒度分布的组合关系,即研究沉积层序上粒度分布的特征。虽然有些环境间有某些曲线、图形相似,但其组合关系却有各自的特点,因此可以认为粒度分布的层序组合是判别环境的一个更为有效的指标。

由于我们研究对象为钻井剖面,横向等时对比困难,因此主要进行剖面的垂向层序的研究。在观察岩心的基础上,在垂向剖面中,划分出各个成因单元,按成因单元系统

* 该文曾系统地总结了黄骅拗陷第三系浊流、河流、水下冲积扇、三角洲和堡砂坝等不同的砂岩体的粒度分布特征及水动力条件。本刊囿于篇幅所限,仅选择浊流、河流、三角洲等三种砂岩体的粒度分布特征及水动力条件分析予以发表。参加该文的作者还有海秀珍同志。

而又有重点的取样分析,每个应用单元作一CM图,及一组概率曲线。CM图是样点集合图形,其图形、粒度范围,及有关参数,反映作图单元沉积时流动状态的基本特征、沉积过程的总面貌。概率曲线更为灵敏地反映取样点亚环境的水动力条件,它根据曲线组成的次总体数、各总体含量、粒度范围、分选性、截点位置等来分析水动力状态,作出环境判别。根据概率曲线在层序内的组合关系及有关参数在层序上的变化规律也可以得出总的水动力特点。在一层序内CM图与概率曲线配合使用,是整体和局部、粗与细的结合,起到了相互补充、相互验证、取长补短的作用,使得环境解释更加可靠。现将黄骅拗陷常见的几种砂体的粒度特征总结如下。

滑塌浊流砂体粒度特征

1. 层序特征:

一般来说,浊流是指沿着水下斜坡向下流动的高密度流(图1)。在黄骅拗陷北部

组合具有清楚的包马序列,每一韵律底部为中—细砂,有时含砾,由粗到细的递变层即A段(递变段),向上过渡为不明显水平层理砂岩—B段(下水平段),上覆为发育变形层理、波状交错层理的C段(变形段),再上为泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,具水平纹理的D段(上水平段),顶部为块状泥岩E段。有时在剖面上缺失下段或上段,发育不完整,这可能因剖面所处位置不同或与其后的浊流冲刷剥蚀有关。此类浊积岩,与典型浊流有共同性,但也有其特殊点,这在粒度分布上反映得很明显。

2. CM图特征:

典型浊流的CM图特征明显,它成平行C=M基线的长条图形。库宁(P.H. Kuenen)等人从水槽试验、大西洋现代深水沉积及著名温图拉盆地上新统典型浊积岩所得CM图均具此特点(图2)。它们的图形较窄,C/M值比值不大,表示相对分选较好。

黄骅拗陷北部沙三段CM图以港8—55井2788—2843米为代表(图3),其CM图的

| 岩性 | 剖面层序 | 沉积构造 | 粒度分布 | | 厚度 | 环境 |
|---------------|------|---------------|-------|-----|-----------|----------------|
| | | | CM图 | 概率图 | | |
| 质纯泥岩 | | 块状层理 | 平行 | | 15 cm | 深水泥 E 段 |
| 泥岩—粉砂质泥岩 | | 明显水平纹理 | C=M | | 2 / 30 cm | 上水平层 D 段下部水流状态 |
| 泥质粉砂岩—粉砂质泥岩 | | 变形层理滑面波状透镜状层理 | 线浊流 | | 6 / 14 cm | 变形 C 段下部水流状态 |
| 粉砂—细砂岩 | | 不明显断续水平层理个别清楚 | 型 | | 2 / 80 cm | 下水平层 B 段下部水流状态 |
| 含砾中—细砂岩或中—细砂岩 | | 递度层理具底基印模 | C/M=4 | | | 递度层理 A 段上部水流状态 |

图1 浊流沉积层序及粒度特征

沙河街组三段上部,浊流沉积岩为大致泥岩中夹由粗到细组成的砂泥岩互层段,其层序

粒度范围为C=200—2000 μ , M=60—350 μ ,图形以C=1000 μ 线为界,分上下两段。上段粒度粗,点少且分散,为图形的次要部分,它平行于C轴,即M值变化不大,C值变化大,说明底部有滚动搬运颗粒存在。下段为图形的主要部分,图形平行于C=M基线,其C/M比值为4。这种浊流与盆地构造作用有关,在断陷盆地中,很可能由于断层活动形成陡坡的滑塌作用而形成,所以有人称作滑塌浊流。

在港中8—55井附近,港中7—59井沙三段的CM图与港中8—55井类似(图4)。但上段不发育,主要为下段,其粒度范围为:C=200—1000 μ , M=

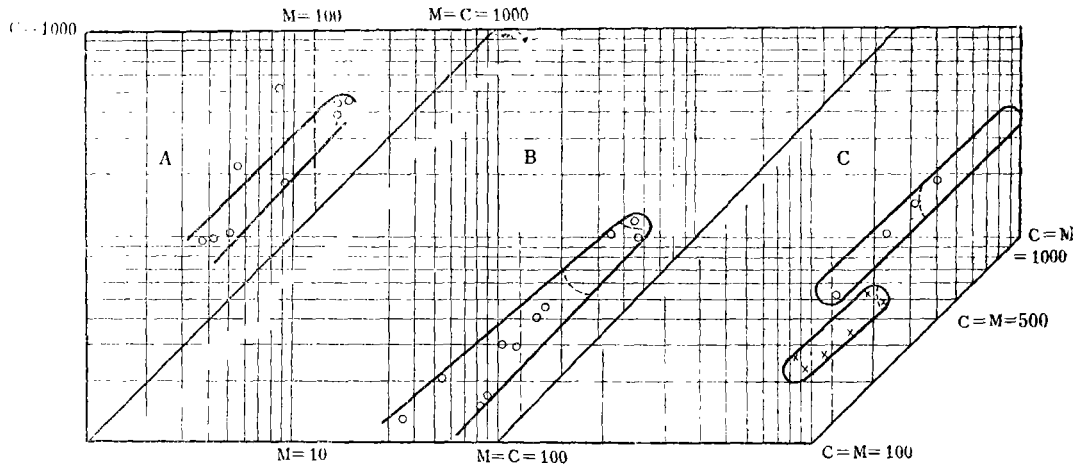


图2 浊流沉积CM图 (根据库宁)

A. 现代大西洋深水浊流 B. 实验浊流 C. 温图拉盆地上新世浊流

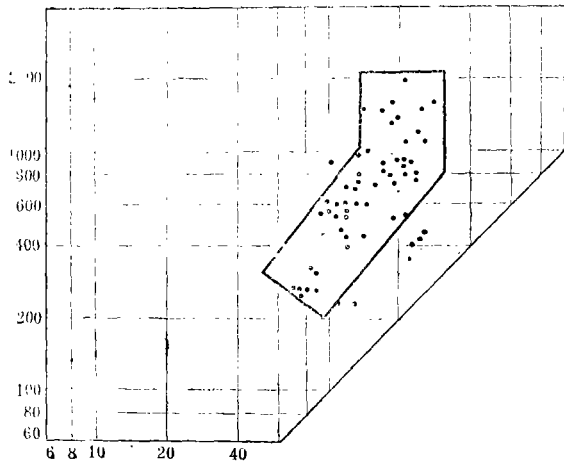


图3 港中3—55井沙三段上部2787.95~2842.98米概率图

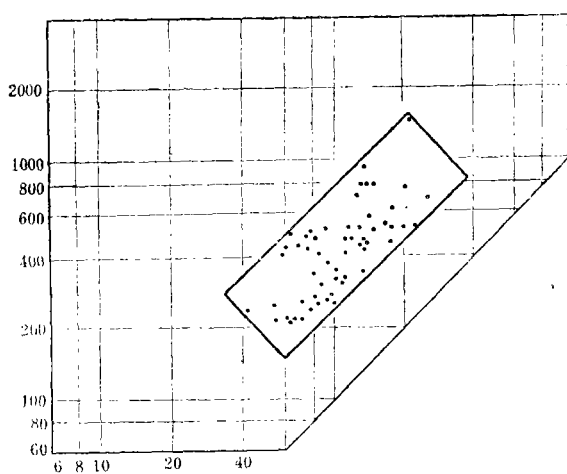


图4 港中7—59井沙二、三段2795—2950米CM图

40—350 μ ，图形平行于C = M基线，C/M比值为4，与港中8—55井下段基本相同。整体看来，港中7—59井粒度较细，无滚动搬运，全为悬浮沉积。根据相对位置，港中7—59井属浊流边侧，而港中8—55井代表滑塌浊流中心“水道”沉积。

3. 概率曲线特征：

黄骅拗陷北部沙三段浊积岩的概率曲线比较简单，大于0 ϕ 的粒级，基本上呈一条平缓向上微凸的曲线（图5），说明其颗粒全在悬浮体中。在A段下部，少数样品具滚动颗粒，其最大悬浮颗粒可达-1 ϕ ，表明底部扰动能量较大。曲线倾斜角一般为20°—30°，比较平缓，分选差。但一般粗端曲线明显变陡。

在垂向上，从A段到C段，其概率曲线均为同一类型，为分选差的悬浮总体单一曲线，但由下（A）而上（C），粒度由粗变细，曲线逐渐变陡，分选变好（图6）。

概率曲线所反映的水动力条件与上述CM图是一致的，即搬运物质几乎全呈悬浮状态，物质混杂，水体密度大，底

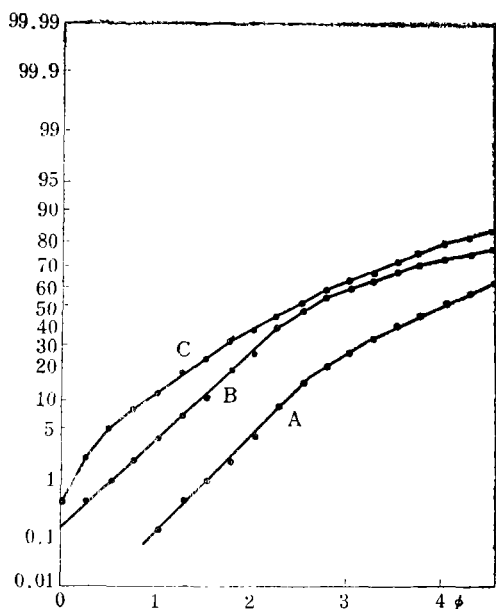


图5 港中7—59井浊流沉积粒度概率图
A 2769.55米 B 2790.14米 C 2795.46米

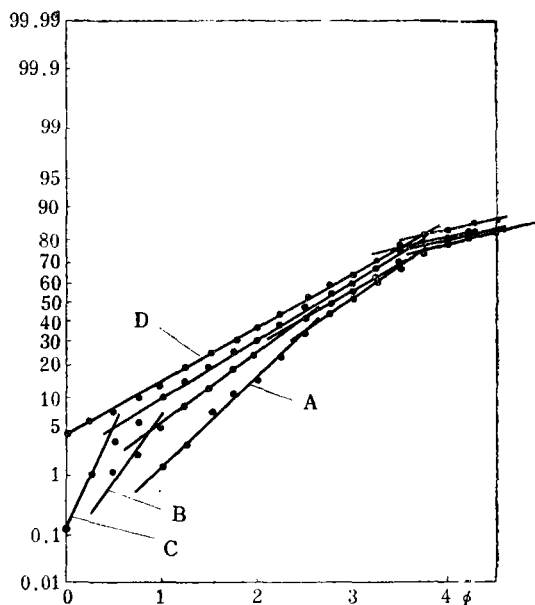


图6 港中8—55井沙三段下部浊流层粒度概率组合图
A 2787.52米 B 2794.60米 C 2794.76米 D 2796.91米

部扰动能量强。曲线粗端变陡是反映随着能量降低,较粗颗粒重力分异更为明显,而使粗端分选显著变好。垂向上,由下而上曲线变陡是反映浊流强度逐渐减弱的流动体制,即当一股高速度的高密度流冲来之后,首先沉积了包括最粗颗粒,粗细混杂的底部沉积物即A段下部,随着能量降低,密度变小,重力分异显著,分选变好,曲线逐渐变陡,形成A上部到C段沉积。能量继续降低,最后沉积了细悬浮沉积层D、E段。因此,浊流层各段可看作高速密度流能量不断降低的产物。

4. 水动力特征:

根据上述粒度分布特征,可得出这种滑塌浊流的几个水动力的基本特点:

(1) 滑塌浊积岩为高密度流沉积,几乎全部为悬浮搬运,但浊流中心“水道”底部可有少量滚动颗粒,我国东部盆地均以 1000μ 为界,滚动颗粒大于 1000μ 。

(2) 其流体密度、粒度大于典型深水浊流,而大大低于泥石流。这可由C/M比值说明,深水浊流一般C/M比值为2.3,泥石

流则一般大于10,而黄骅拗陷的滑塌浊流C/M比值为4。C/M比值是流体密度及其相应粘度的函数,流体中泥质含量大,粘度则高,带动颗粒就粗,下沉时大量细物质与其一起下沉,故粗细混杂,分选不好,C/M值变大,图形远离C=M基线。当悬浮体中泥质较少时,流体粘度低,为使同等级保留于悬浮体中,则需要更高的速度,当颗粒随着能量变化而下沉时,在低密度流中,下沉粒级与流速关系更密切,其沉积物相对泥质较少,C/M比值小,图形更靠近C=M基线。

(3) 在平面上,浊流强度由中心向边侧逐渐变小。中心部分层序发育完整,并有少量滚动颗粒,边侧常缺下部层序,均为较细的悬浮沉积。在垂向上,粒度曲线组合反映沉积过程中能量不断的降低。

河流砂体的粒度特征

1. 层序特征

河流为单向水流,其沉积作用有侧向加

积和垂向加积两种，侧向加积就是河床不断侧向迁移而在凸岸形成点砂坝，其搬运方式主要为底负载搬运，总称河床沉积（图7）。垂向加积为洪水期河水溢出的岸外沉

| 岩性 | 剖面层序 | 沉积构造 | 粒度特征 | | 厚度 | 环境 |
|--------------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|
| | | | CM图 | 概率曲线 | | |
| 红色泥岩 | | 块状层理 含植根 | | | 0.5 5 m | 河漫泥滩 |
| 灰绿色粉砂岩及粉砂质泥岩 | | 水平层理波状交错层理 含植根 | RS段 | | 2 5 m | 河漫泥滩 |
| 粉砂岩及砂岩 | | 幅波状大型交错层理及槽状交错层理 | QR段 | | 2 4 12 m | 河道砂 |
| 砾状砂岩及砾岩 | | 不明水平层理块状层理 | PQ段 | | 0.5 1 m | 河道底砾 |

图7 河流沉积层序及粒度特征

积，主要为悬浮沉积。河流因其大小、部位（上、下游）不同，其沉积各有差异。黄骅拗陷馆陶组为一套河流沉积，它在沉积层序上具有明显的下粗上细的正旋迴特征。底部具明显冲刷面，与下覆沉积呈冲刷侵蚀接触，冲刷面上的砂砾岩为河道滞留沉积，中下部粗——中——细砂岩，具平行纹理、大型板状交错层理、槽状交错层理和水平层理，为典型河道沉积，上部粉砂岩和泥质粉砂岩，具断续波状交错层理和水平纹理，含较多植物碎屑、炭屑和漂浮矿物属河漫砂滩。顶部块状泥岩，含草木植根，为河漫泥滩。此综合层序与国内外网状河——低蛇曲河的层序相似。馆陶组进一步可分馆I、II、III段，在黄骅拗陷的中部地区，馆I、III段，上述上部层序发育差，主要发育粗粒部分。而馆II段较细，上部层序较发育。此外根据砂体形态，河流曲率指数及侵蚀特点的研究，进一步确定馆I、III段为网状河沉积，而馆II段为低蛇曲河沉积。粒度特征的研究也完全

符合这个结论。

2. CM图特征

对现代河流和古代河流的研究，帕塞加曾总结出河流沉积CM理想模式图（图8）。

其图形可分P—Q—R—S各段，分别代表河流各种搬运方式及沉积水流特点，并以此图形作为河流沉积的鉴别标志，其中Q点C值（即Cs）代表底部最大扰动指数，R点C值（Cu），表示均匀悬浮最大颗粒，代表上部最小扰动指数，根据这些系数大小可得出河流水流强弱概念。

对于某一具体河段或古代砂岩的某一层段，不一定上述各段都存在，而往往只有其中的某些段，各段发育程度、粒度范围决定于河流的特点。

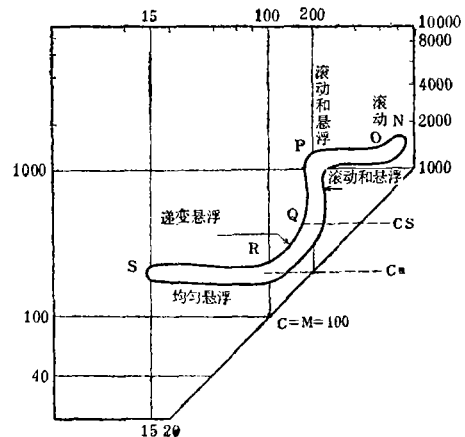


图8 理想河流CM图（根据帕塞加）

黄骅拗陷中部馆I、III段，以粗碎屑物为主，砂砾岩比例占60%以上，河流沉积的上部层序不发育，其CM图（图9）主要由P—Q—R段组成，其中以QR段最发育，PQ段次之，RS段不太发育。PQ段其粒度范围 $C > 1000\mu$ ， $M = 300-500\mu$ 。该段C值 $> 1000\mu$ ，说明河流起动能量大，即河床坡陡，

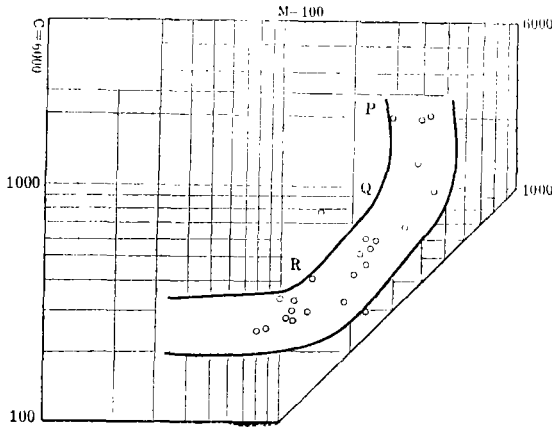


图9 港205井1835—1846米馆I组CM图

水流速度高。同时C值变化大而M值变化不大，但其数量还不足以对M值产生较大影响，很明显该段代表河床底部沉积。QR段 $C = 1000 - 250\mu$ ， $M = 100 - 400\mu$ ，C与M按比例变化，并由下而上总体粒度是变细的递变悬浮沉积，它由湍流引起颗粒升举和跳跃而造成。 $C_s = 1000\mu$ ，可见底部扰动特大（一般河流 $< 600\mu$ ），并由此而造成QR段粒度区间长，图形发育，代表河道砂沉积。图中所示上部最小扰动系数 $C_u = 300\mu$ ，比一般河流也大，其上部在水流比较活动条件下，细粒悬浮难以下沉，因此RS段不发育。总之馆陶组I、Ⅲ段， C_s 值、 C_u 值大，PQ、QR段发育，RS段不发育，是网状洪水河流的特点。

馆Ⅱ组其层序与馆I、Ⅲ组相似，但泥岩粉砂岩增加，砂砾岩相对减少，其CM图形（图10）为PQ段不发育，以QR、RS段为主。QR段 $C = 500 - 250\mu$ 、 $M = 100 - 250\mu$ ，RS段 $C = 200 - 300\mu$ ， $M = 40 - 150\mu$ ， $C_s = 500\mu$ ，可见河床底部已无滚动颗粒，趋于平缓，水流比较稳定，底部扰动中等。其图形与长江下游有些相似（图11），长江下游PQ段也不发育，主要发育QR段和RS段，分别代表主河道与分支河道沉积，其 $C_s = 400\mu$ ，水流扰动能力比馆Ⅱ小。因此，馆Ⅱ河流不

如馆I、Ⅲ湍急，也不象长江下游平缓稳定，具低蛇曲河性质。QR为河道砂，而RS为河漫沉积。

3. 概率曲线特征：

河流沉积的概率曲线也易辨认，其基本形式是由分选差的悬浮总体和分选好的跳跃总体所组成。但某些上游网状河的粗碎屑沉积，其概率曲线以牵引总体为主（50—70%），分选中等，悬浮总体次之（30%），分选差，而跳跃总体却很少。这种分布主要是由于网状河负载量多变所致。

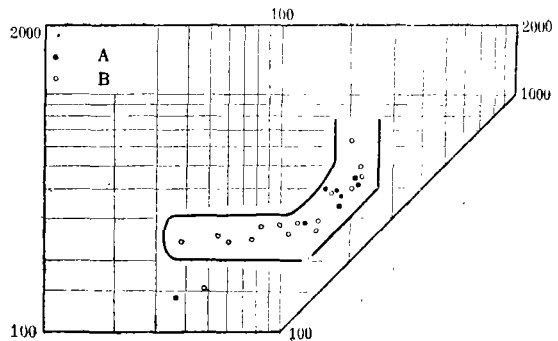


图10 港205井馆陶组Ⅱ组CM图

A 2064—2072米 B 2085—2129米

黄骅拗陷中部的馆陶组河流沉积中，未见有以牵引为主的曲线类型，主要发育以跳跃为骨架，跳跃悬浮两段式曲线。在不同层位及地区曲线类型不变，但各总体比例、粒级及截点位置有明显变化，这主要反映河流能量的变化。

河流能量大小，可以用最大粒径及最大悬浮粒级来衡量，它们分别代表河流起动力和悬浮能力。尤里斯特龙等对不同粒度的起动力作了研究，得出除底部为粘性粘土外，能推动的颗粒大小与水流速度成正比，即颗粒越粗，需要越高的水流速度才能搬运。一般情况最大颗粒可相对地表示临界流速。最大悬浮粒径反映涡流大小，二者也成比例关系。霍姆斯（Holmes, D. W）等人

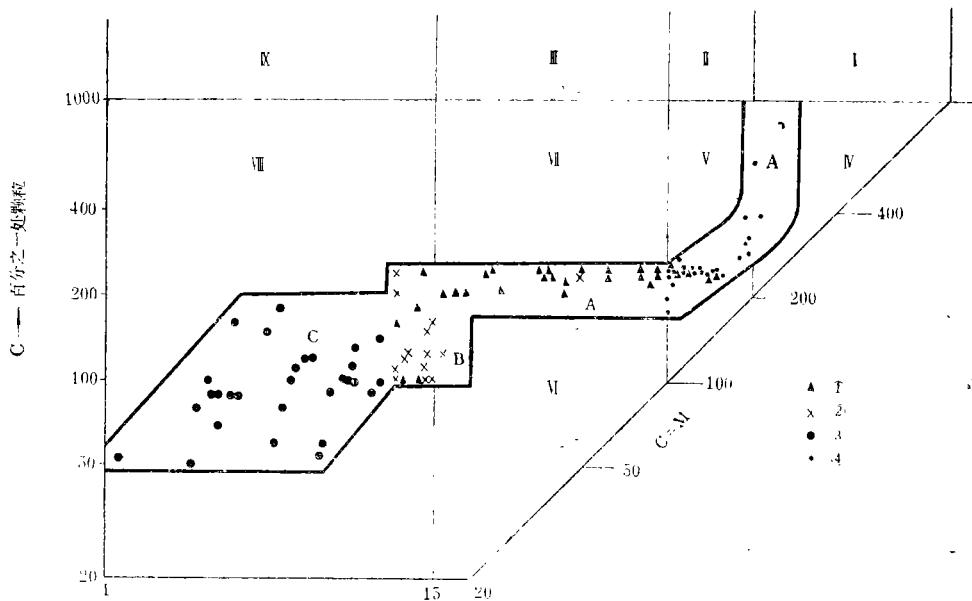


图11 长江下游及三角洲沉积CM图 (根据同济大学)

- (1) 叉道河床亚相 (2) 前缘斜坡亚相 (3) 前三角洲亚相 (4) 长江主河岸亚相
A主河床及分流河床沉积区 B三角洲前缘沉积区 C前三角洲沉积区

综合上述二个因素来表示水流强度, 作出一最粗跳跃颗粒及最粗悬浮颗粒的交叉图解。何镜宇付教授把水流强度相对地分为12级, 0—4级为很弱水流, 4—5.5级很弱至弱水流, 5.5—7级弱至中等水流, 7—8级中至强水流, 8—12级为强水流。

馆陶组河流沉积的概率曲线, 根据各总体粒级、比例、分选性, 以及所求相对水流强度, 可以分为以下几类:

(1) 急流型 (图12): 主要由跳跃和悬浮两总体组成, 只有少数样品含少量 (< 5%) 牵引总体。跳跃总体粒粗, 粒度 2ϕ — 1ϕ , 分选中等, 斜度 40° , 含量为 50—80%; 悬浮总体较粗 (最大颗粒为 2ϕ), 含量较高 (20—50%), 分选差, 细截点在 2ϕ , 相对水流强度 > 10 级, 属急流。跳跃和悬浮两总体分选均不好, 且悬浮总体较粗, 含量大, 为高密度的水介质, 属强湍流, 能量波动大。

此类曲线岩性为粗—中砂, 含砾, 具块

状层理, 为河床底部沉积。

(2) 强水流型 (图13): 跳跃总体为主 (65—85%), 粒度 $0-2\phi$, 分选较好 ($\sim 60^\circ$)。悬浮总体含量为 15—35%, 分选差, 细截点为 2ϕ , 相对水流强度为 9—10 级, 属强水流。

(3) 中等水流型 (图14): 跳跃总体为主 (65—85%), 但粒度较细 ($4-3\phi$), 分选较好 (60°)。悬浮体占 15—35%, 分选较差, 其细截点为 3ϕ , 其相对水流强度为 7—8 级, 属中强水流。

(4) 弱水型 (图15): 主要为悬浮总体组成, 占 80% 以上, 其岩性为含泥粉砂和粉砂岩, 层理为断续波状交错层理及水平纹理, 是低能条件下的沉积, 为河漫相。

上述各类曲线在一层序中由下而上粒度变细, 跳跃总体分选变化, 细截点移向细端, 曲线由急流型变到弱水流型, 组成河流沉积概率曲线的垂向组合 (图16)。

上述各类曲线, 在各井剖面中, 馆 I、

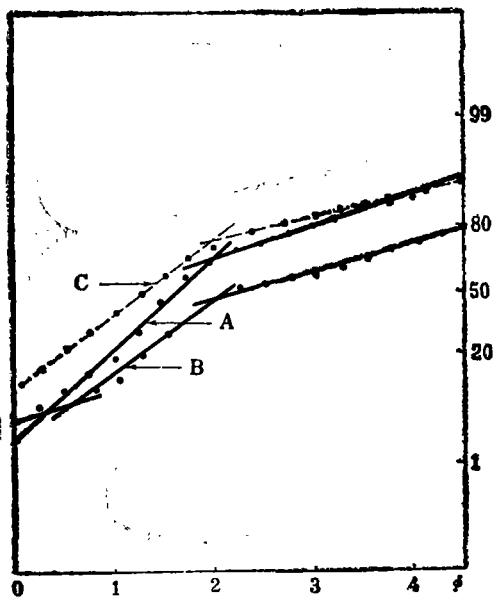


图12 河道底砾岩粒度概率图

A 羊-井1328.50米 B 羊-井1326.30米
C 港205井1845.68米 (块状层理)

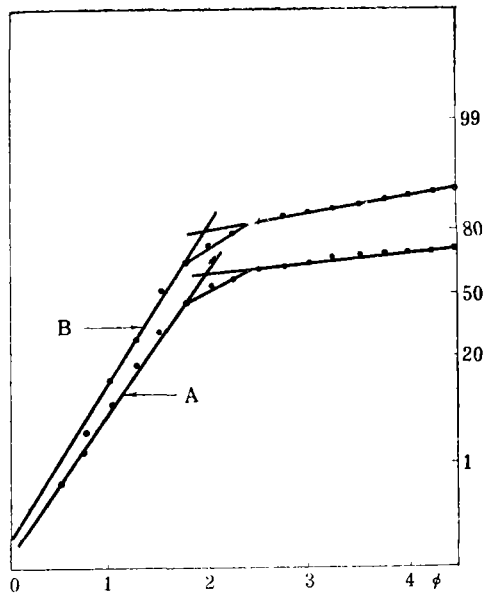


图13 河道砂岩强水流粒度概率图

A 港205井1839.17米 (大型槽状交错层)
B 港205井1845.32米

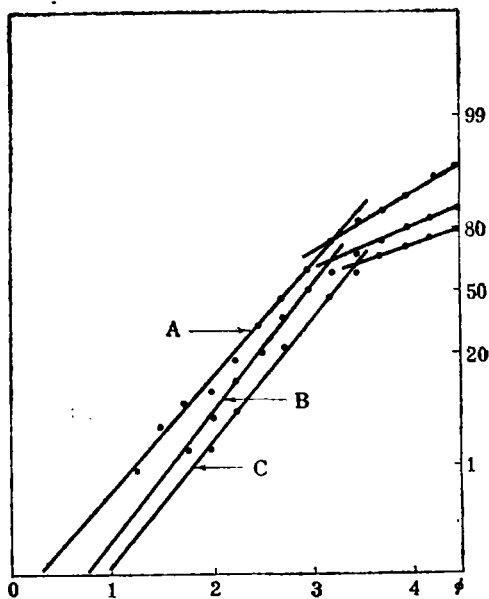


图14 河道砂岩(中等水流强度)粒度概率图

A 羊-井1365米 B 港205井2114.85米
C 港205井2164.40米

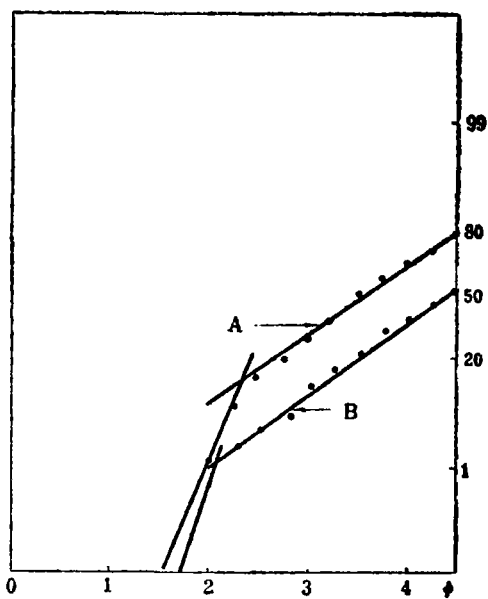


图15 河漫滩沉积粒度概率图

A 港225井1870.15米(断续水平纹层或波状纹层)
B 港205井2142.50米

Ⅲ组以强水流型为主，急流型及中等水流型占一定比例，而在馆Ⅱ组以中等水流及强水流型为主，有一定弱水型，急流型少见。

4.水动力特征：

从砂岩粒度分析资料说明，河流沉积的水动力条件为牵引流，颗粒以跳跃及悬浮搬运为主的快速沉积。

现将馆陶组河流与其他河流有关粒度参数列表对比如下：

从下表可见馆陶组突出的特点是悬浮体含量高，跳跃总体分选差，细截点粗和 C_s 值大。这些特点都说明馆陶组河流比一般河流能量高、水流急、扰动强、沉积速度快。其中馆Ⅰ、Ⅲ与一般河流的差别最大，而馆Ⅱ段与滦河等相对比较接近。因此根据粒度特征，也认为馆Ⅰ、Ⅲ为比较靠近源区，河床坡度较大，冲刷力强的网状河，而馆Ⅱ靠近中下游，具有一定冲刷能力低蛇曲河。

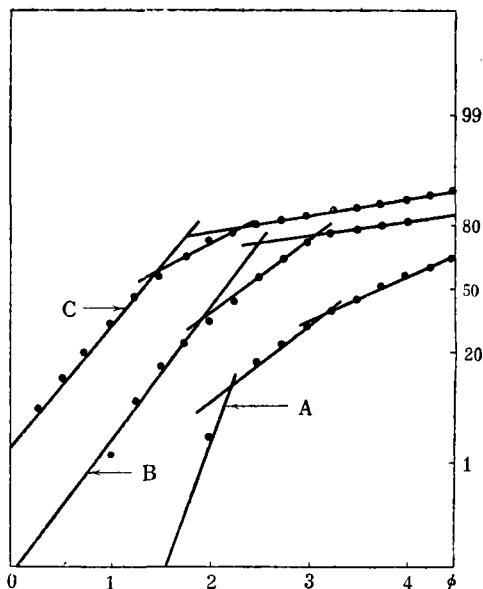


图16 港225井河流沉积粒度概率图

A 1811.80米断续波状层理 B 1891.00米大型单向斜层理 C 1892.20米不明显水平层理

表1 黄骅拗陷中部馆陶河流与其它河流粒度特征对比

| 地区 | 参数 | 跳跃总体 | | | | 悬浮总体 | | 牵引总体 | | 最扰系数 $C_{5\mu}$ |
|------------------|----|-------|-----|------------|------------------|---------------|-----|------|-----|--------------------|
| | | 含量 % | 分选性 | 粗截点 ϕ | 细截点 ϕ | 含量 % | 分选性 | 含量 % | 分选性 | |
| 河流馆陶组 | 馆Ⅰ | 50—80 | 差 | 0.5—1 | 2 | 20 50 | 差 | <5 | 差 | 600 1000 |
| | 馆Ⅱ | 65—85 | 差—中 | — | 2—3 | 15 35 | 差 | — | — | 500 600 |
| 滦河 | | 89—97 | 中 | — | 2.3—2.5 | 3 11 | 差 | — | — | |
| 国外河流 (维希尔等综合) | | 65—98 | 中 | -1—0.5 | 2.75 3.5 | 2 35 | 差 | 不定 | 差 | 400 500 |

三角洲砂体的粒度特征

1.层序特征：

三角洲沉积是河流和海（湖）水（包括波浪、海流、潮汐）相互作用的结果。

三角洲的前积作用的特征是从底到顶粒度由细到粗。黄骅拗陷港521井东三段即属较为典型的三角洲层序，从下到上可分四段：底部为前三三角洲泥，为深灰色具水平纹理泥岩；其上为远砂坝沉积，为粉砂质泥岩和泥质粉砂岩，具压扁层理、波状层理、透

镜状层理，有大量虫孔及生物扰动构造，再向上为河口砂坝沉积，为灰黄色粉—细砂岩、中砂岩，具板状、楔状交错层理、波状交错层理及块状层理；上部沼泽化泥坪沉积，为深灰色、黑色泥岩，块状层理，局部有透镜状层理，具较多植物根、碳化碎屑、介形虫及鱼骨（图17）。

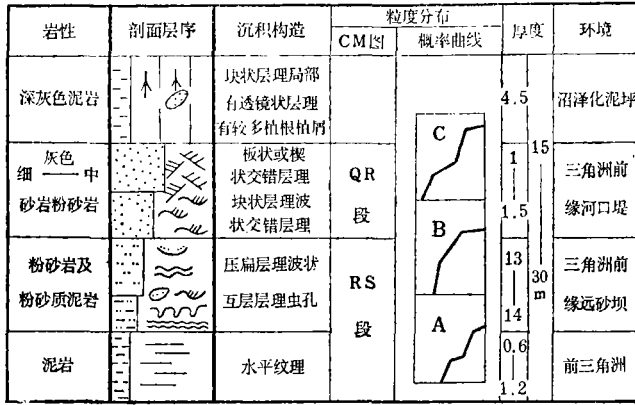


图17 三角洲沉积层序及粒度特征

2. CM图特征：

三角洲沉积的CM图 为牵引流型，相当于完整河流模式图的下游部分。黄骅拗陷东三段的CM图（图18）可分二段，QR段及RS段，其中RS段很发育，一直延到静水区。粒度数据为：QR段 $C = 500 - 250\mu$ 、 $M = 200 - 110\mu$ ，RS段 $C = 250 - 200\mu$ 、 $M = 110 - 25\mu$ ，静水区 $C < 150\mu$ 、 $M = 40\mu - 20\mu$ 。

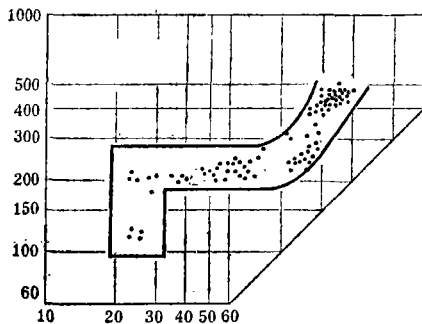


图18 港521井2444.75—2533.7米三角洲沉积CM图

上述各段与岩相带关系密切，其中QR段为三角洲前缘河口砂坝沉积，RS为三角

洲远砂坝沉积，而静水沉积区为前三角洲沉积。在QR段中 粒度 $C = 450 - 480\mu$ 、 $M = 150 - 180\mu$ 范围内，样点特别密集，是河口坝的主体部分，在河口波浪作用下故分选较好。与长江三角洲CM图相比（图11），其图型及粒度都相似，但各段所代表的沉积相不同。东三段河口坝沉积相当于长江下游的主

河道沉积，远砂坝沉积相当于长江下游分支河道沉积，即东营各微相粒度比长江相应各微相要粗。这说明东营古河流可能为坡度大、离物源近、流程不长的中等河流，而沉积盆地更不同于长江口波浪作用强烈的海洋。

3. 概率曲线特征：

三角洲沉积体系中不同亚环境其概率曲线是不同的。黄骅拗陷东三段三角洲沉积其曲线有以下几

类：

（1）三角洲河口砂坝，是三角洲沉积的主体骨架部分，由中细砂组成（图19）。概率曲线可见三个总体同时存在。悬浮总体占10—20%，分选很差；跳跃总体占60—70%，它常由两个斜度不同（细端较平缓、粗端较陡）的线段组成，倾斜角 $50^\circ - 70^\circ$ ，分选中一好，细截点在 3.5ϕ ，粗截点在 2ϕ 处，在细截点处常有混合现象；牵引总体含量10—20%，分选差。

这类曲线一方面悬浮含量较多，另一方面跳跃总体又有一定分选，并有一定量较细牵引物，说明它仍以河流作用为主，又有一定波浪作用。

（2）河口砂坝边缘沉积：曲线由悬浮、跳跃两个总体，以及二者之间发育的过渡带所组成（图20），其中悬浮总体所占比例大，占30—40%，粒度 $> 3\phi$ ，分选差，跳跃总体含量20—30%，粒度 $1.75 - 2.25\phi$ ，分选好，过渡带占20—30%，粒度为 $2.25 -$

3 ϕ , 分选中一差。过渡带存在是河流流入盆地后, 水流能量大大降低, 同时不同盐度水介质相混合, 而产生聚凝作用, 使得河水带来物质快速下沉, 以及湖湾地区波浪作用不强, 下沉物质来不及加工重新分选, 使较细部分并入悬浮体粗端使其粗端弯曲, 粗粒部分并入跳跃总体细端而使其细端弯曲, 这样形成了过渡带, 过渡带是河口地区快速沉

积后再分选的滞后现象。

(3) 远砂坝沉积: 主要由细粒悬浮体所组成(图21), 跳跃总体只占5%以下, 离河口较远, 水流能量低微, 而使河流带来粉砂质泥沉积, 只有洪水期才有砂粒沉积。黄骅拗陷东段三角洲的各个旋回从下而上悬浮总体百分含量逐渐减少, 跳跃总体增加, 明显反映三角洲的前积作用。

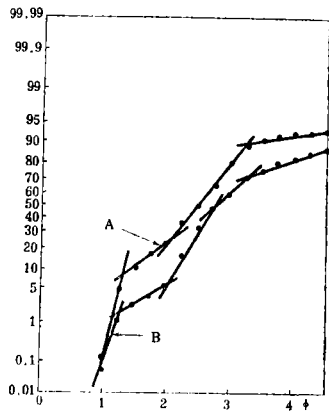


图19 港521井河口坝沉积粒度
概率图

A. 2509.14米 B. 2511.02米

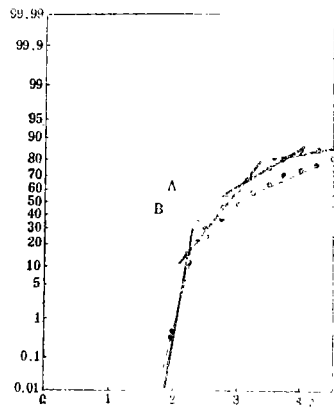


图20 港521井砂坝边缘沉积
粒度概率图

A. 2481.95米 B. 2482.42米

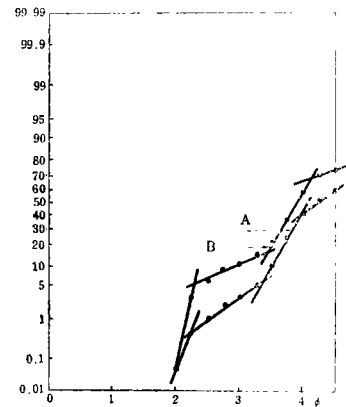


图21 港521井远砂坝沉积粒度
概率图

A. 2490.86米 B. 2492.20米

综化上述CM图及概率图的特点, 可以看出黄骅拗陷东三段沉积是以河流作用为主, 波浪作用为辅, 湖盆比较稳定的小型三角洲沉积。

CM图的演变

如上所述, 浊流、河流、三角洲等环境的CM图都有各自的特点, 但它们之间的变化是有规律的, 密切反映了不同环境的水动力的搬运条件。

一类是以流体之间的密度差作用, 而使高密度流体流动, 这种流体又称密度流。碎屑物呈悬浮状态, 只有少数情况下冲刷底部有少量滚动颗粒, 沉积时在底部湍流的控制下, 从粗到细以递变的近似的C/M比值整体

逐渐沉积。其图型总是平行于C=M基线。泥石流、浊流都属此类, 它们之间的区别只是图形的分散程度, 及与C=M线的接近程度的不同。泥石流粒级粗, 分散大, C/M比值大, 而浊流特别是深水浊流, 粒级细, 图形集中, 并靠近C=M基线(图22)。

另一类以水流为动力, 水流牵引碎屑颗粒搬运, 常称之为牵引流。河流、水下底流等均为牵引流。

牵引流不同于密度流, 它具有明显的三种搬动方式, 当水流向前流动时, 所产生的剪切应力达到临界值以上时, 碎屑物在界面上产生运移, 其方式与颗粒大小密切相关, 最重颗粒沿底面滚动, 在此条件下较细颗粒则顺流跳动, 最细颗粒则被水流带起而悬浮(图23)。牵引流的三种明显不同搬运方

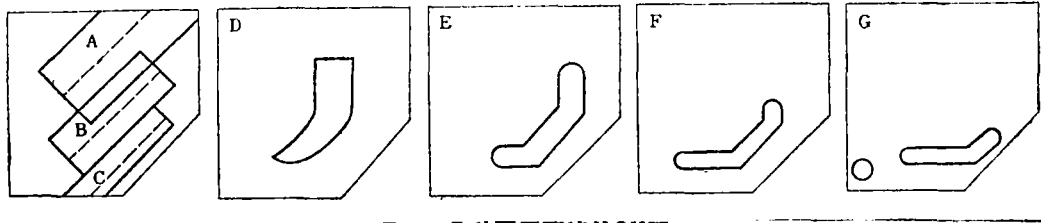


图22 几种不同环境的CM图

A. 泥石流 B. 浅水油流 C. 油流 D. 冲积扇网状河 E. 网状河 F. 蛇曲河 G. 三角洲堡坝

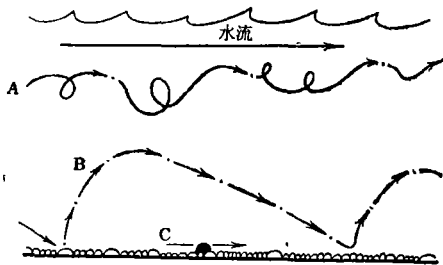


图23 沉积物颗粒搬运机理

A. 悬浮搬运 B. 跳跃搬运 C. 滚动搬运

式，形成了平行于C轴的PQ段，平行于M轴的RS段，和平行于C=M线的QR段。

属于牵引流的各种环境沉积物 CM图是上述三段不同比例组合而成，而且有一演变规律（图22）：冲积扇网状河以发育PQ段为主，QR段亦较发育，而RS段欠发育，PQ段的图型且较宽；河流上游网状河，PQ、QR、RS均发育，但其中以QR段最为发育，粒度区间大；蛇曲河段变为以QR、RS段为主，PQ段则不发育；而三角洲以及底流搬运形成的堡坝，发育QR、RS段，而且RS段别特发育，并常有一静水沉积区。

因此可以看出牵引流图型，从冲积扇直到三角洲、堡砂坝沉积是有较大变化的，其基本规律是粒度由粗到细，PQ段由主要变为次要，最后消失，而RS段从无到在图中占主要地位，QR段粒度区间由大变小，反映水流由急变缓，搬运以滚动、跳跃为主，变为以跳跃和悬浮为主的变化过程，对于此变化趋势的了解，有助于环境的确定。

概率曲线的演变

综合上述各环境的概率曲线及其它有关资料，也可得出同样的演变规律。在概率图上有三条直线，分别代表悬浮、跳跃和滚动。不同环境的不同水动力条件变化导致搬运方式的变化，从而演变出种种的曲线图图形。

总起来说，泥石流—油流沉积，和风成砂丘沉积它们的概率曲线，是两个极端的情况，前者为单一的悬浮总体的沉积，可看出几乎是无分选的，而后者，几乎只有一个单一跳跃总体的沉积，分选极好，可看作分选的极限，而其他种种环境均介于两者之间。它们的演变规律为：从油流、网状河、蛇曲河、三角洲、堡坝、浅滩，到沿岸风成砂丘，其悬浮体的含量逐渐减少（从占样品的全部，变到几乎为零）；跳跃总体逐渐变多（从油流的零到风成砂丘样品的几乎全部），细截点从粗变细；牵引总体的变化比较复杂，在网状河（包括冲积扇网状水道）都为粗粒牵引总体（ $< 1\phi$ ），而在河口三角洲、浅滩，所含的为细粒牵引总体（ $< 2\phi$ ），而在一般河流中牵引总体不存在。根据这一基本规律，也可为环境判别提供依据（图24）。

概率曲线对于水动力条件变化的反映是比较灵敏的，自然界曲线类型多种多样，但其中有几类是基本的，我们称之为：油流型即悬浮体整体沉积，为单一悬浮曲线；河流型即

（下转61页）

[4] Hodgson, G.W.; 1968
Geochemistry of porphyrin, chlorins
and polycyclic aromatics in soils, se-
diments and sedimentary rocks,
《Geochim. Cosmochim. Acta》№7
Vol.32 P.737—771

[5] Younglood, W.W; and Blumer, M. 1975
Polycyclic aromatic hydrocarbons in
the enviroment homologous series in
soils and recent marine sediments,
《Geochim. Cosmochim. Acta》Vol39
P.1303—1314

[6] Giger W. and Schaffner C. 1978
Determination of polycyclic aromatic

hydrocarbons in the enviroment by
glass capillary gas chromatography,
《Anal. Chem.》Vol.50 P.243—249

[7] John G. Windsor, JR. and Ronald A.
Hites 1979
Polycyclic aromatic hydrocarbons in
Gulf of Maine sediments and Nova
Scotia Soils. 《Geochim. Cosmochim.
Acta》№1 Vol.43 P.27—33

[8] Laflamme R.E. and Hites R.A. 1978
The global distribution of polycyclic
aromatic hydrocarbons. 《Geochim.
Cosmochim. Acta》Vol.42 P.289—303

(上接20页)

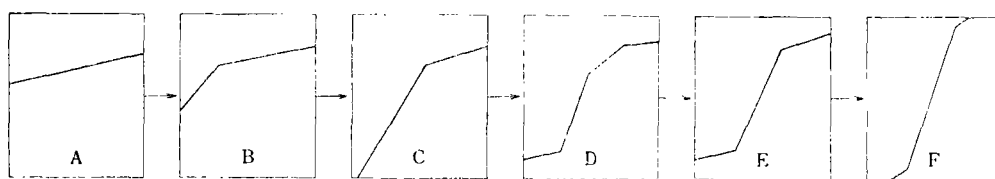


图24 几种不同沉积环境及其演变的粒度概率图

A. 油流 B. 洪水网状河 C. 河流 D. 三角洲堡坝 E. 浅滩 F. 风成沙丘

以跳跃为主，跳跃和悬浮两段组成，是河流快速沉积的产物；浅滩即以分选良好的跳跃总体为主，少量牵引和悬浮，是经波浪加工的沉积物；风成砂丘型即单一高度分选的跳跃总体组成，是风力加工的沉积。这些曲线对于环境判别起着重要作用，它可以用作环境判别的对比标准。

本文所用粒度原始资料均取自大港油田实验室粒度组，研究工作得到武汉地院何镜宇、陈发景老师的指导，并对本文提出宝贵意见，故此，谨向他们表示感谢。

主要参考文献

[1] H. 布拉特等:沉积岩成因 科学出版社1978.
[2] Visher G. S. J; Grain size distribu-
tions and depositional processes sed,

Petrology · Vol.39, P.1074—1106

[3] Gtaister R. P. and Nelson H. W. Grain-
size distributions, an aid in facies
identification Bull. Can Petroleum
Geology Vol.22. №3. P.203—240.

[4] Passega R; Texture as characteristic
of clastic deposition Bull. Am. Assoc.
Petroteum Geologists Vol.41. №9. P.
1952—1984.

[5] Holmes D. W., Oliver, T.A. Source
and depositional environments of the
moose channel formatron northwest
Territories Bull. Can. Petroteum
Geology Vol.21 P.435—478.

[6] Passega, R. Sigrificance of CM diag-
rams of sediments deposited by susp-
ensions—sedimentology 1977. Vol.24
P.723—733.