

一种沿深水箕状谷纵向搬运的重力流沉积

姜在兴 赵徵林 刘孟慧

(华东石油学院)

东濮凹陷西部早第三纪沙三段早期由于庆祖集断层和长垣断层的差异断裂活动, 结果在二断层之间形成了一条走向与盆地长轴平行的箕状谷。重力流从南、北两个方向进入箕状谷后不能径直向前搬运, 而是拐弯沿谷的延伸方向相向流动, 形成拐弯纵向搬运的深水箕状谷重力流沉积。其鉴别标志是: 1, 沙体平面上呈带状或椭圆形, 在走向上砂层向中间变薄, 沉积物粒度虽有变细, 但不十分显著; 在横向上砂岩中间后、两侧薄, 粒度也明显变细。2, 在垂向层序上, 向上变细的正韵律发育, 显似二元结构。其沉积相包括水道和漫溢两个亚相和水道轴、点坝、近水道漫溢和远水道漫溢四个微相。其中的水道部分是最活跃的沉积单元, 具迁移性。

箕状谷重力流沉积是油气勘探的新领域。

一、地质概况

研究区位于东濮凹陷西部的胡状集断阶带上, 西邻内黄隆起, 东靠柳屯—海通集洼陷, 南、北分别与庆祖集构造和马寨构造接壤, 面积约200km², 是胡状集油田的所在地。

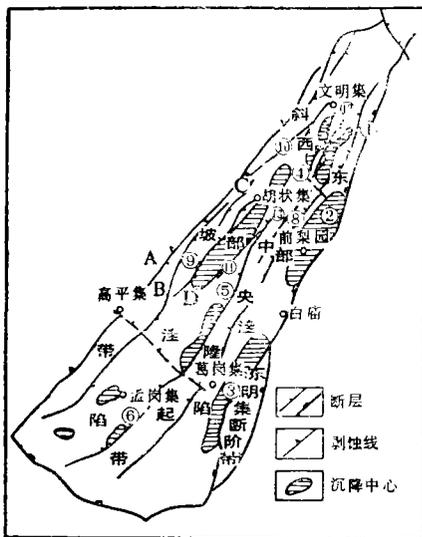


图1 区域构造简图

A. 五星集断层 B. 庆祖集断层 C. 石家集断层 D. 长垣断层

工区内部发育有四条主控断层: 长垣断层、石家集断层、庆祖集断层和五星集断层, 均呈北北东向延伸(图1)。我们重点研究的是下第三系沙三段下部(简称Es₃^{4下}), 这是一套盐岩、粘土岩和砂砾岩剖面, 厚一千余米。其中的碎屑岩的形成环境既不是三角洲, 也不是湖底扇, 而是一种特殊的拐弯纵向搬运的重力流。

二、研究综述

拐弯纵向搬运的重力流沉积属非扇浊积岩的一种, 国内外的报道不多见。

Walker (1978) 认为这类浊积体出现于外枝准地槽环境中。例如加拿大魁北克的中奥陶统和中央阿帕拉契亚山的中奥陶统,

其古水流向与盆地长轴平行，碎屑物质的供给来自各个方向，既有长轴的一端，更有短轴方向斜坡上的许多点，浊流顺斜坡流入盆地后都会转弯向盆地长轴低洼的一端流动、沉积（吴崇筠，1986）。

许靖华等（1980）指出，美国文突拉盆地上新统一更新统主要有四大岩石类型：①泥岩相，②砾岩相，③递变砂岩相，④薄层砂岩相。它们分别形成于盆地斜坡、海底峡谷或扇、海槽、盆地侧翼或陆隆环境中。作者特别强调，海槽递变砂岩相形成于海底峡谷或海底扇浊流的拐弯、沿盆地长轴的纵向搬运、沉积，而海底扇或峡谷沉积不发育。

Hein和Walker（1982）认为，加拿大魁北克寒武—奥陶系Cap Enrage组的浊积体也不是海底扇，而是具阶地的辫状水道。为大陆坡角下与陆坡走向平行的水道沉积，浊流是来自斜坡上的多处物源。

在辽河凹陷的东斜坡上，在边界大断层之西不远有一条与之平行但倾向相对的一条断层，二者构成狭长的断槽，岸上洪流到此不能向西扩张，而是顺断槽南北流动，呈狭长条带状沿边界断层分布，岩性杂乱，泥砂砾混杂。断崖上面可能有多个浊流供给点（吴崇筠，1986）。

三、拐弯纵向搬运重力流的形成

早第三纪沙三段是东濮凹陷的裂陷期，本区的四条主控断层开始有不同程度的活动。断层生长曲线和古构造发育史都揭示沙三段早期五星集和石家集断层活度不强，庆祖集和长垣断层起控制作用，而前者的活动强度（生长指数 $Q = 3.9$ ）又远大于后者（ $Q = 0.8$ ）。结果导致基底向庆祖集断层回倾，向盆地翘起，形成一侧陡、一侧缓不对称的谷地，称为箕状谷（图2）。其地貌特征（图3）是：①夹于庆祖集与长垣断层之间，延伸方向与其一致，平行于盆

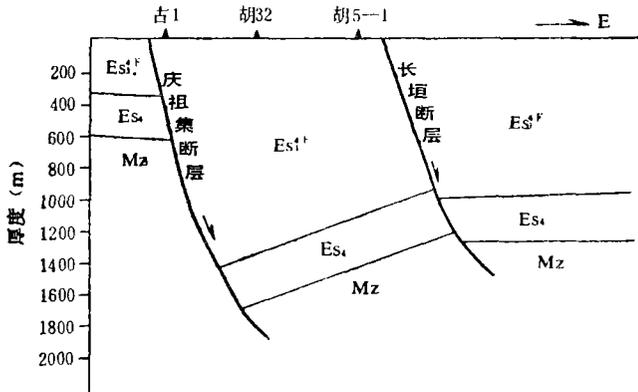


图2 沙三段早期古构造横剖面图

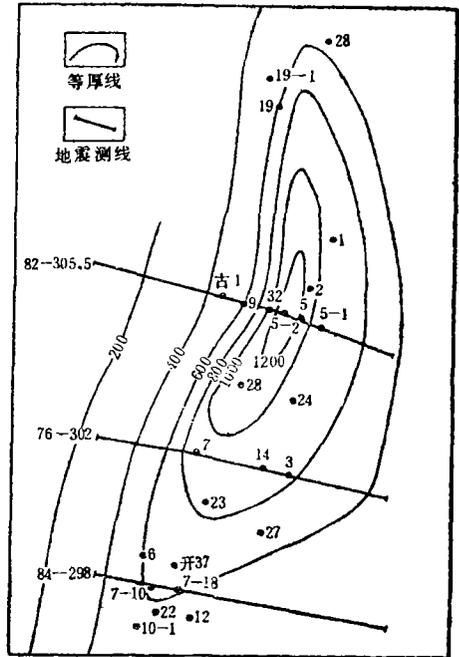


图3 沙三段下部地层等厚图（反映了箕状谷的地貌特征）

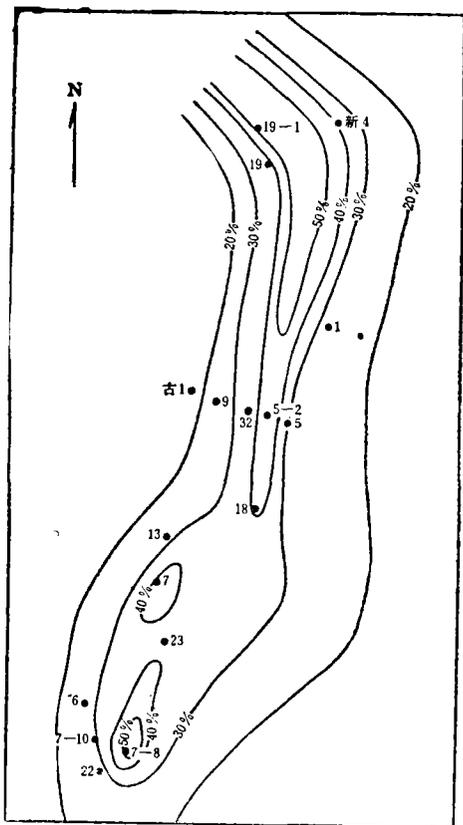


图4 沙三段下部砂岩百分比图
(说明物源来自南部和北部两个方向)

区(胡32井)岩屑含量明显降低,稳定的岩屑—多晶石英含量最高。清楚地反映了重力流是从南、北两个方向朝中间流动的。

表 1 沿箕状谷走向岩屑的变化

井 号	胡19-1	胡 32	胡7-18
平均含量	35.0%	21.2%	30.9%
丰度顺序	碳酸盐岩、多晶石英、 流纹岩、砂泥岩	多晶石英、燧石、流纹岩、 砂岩、碳酸盐岩	泥岩、流纹岩、碳酸盐岩、多晶石 英、燧石

四、深水重力流沉积相标志

(一) 深水标志

1. 沉积物为暗色。根据岩心观察,粘土岩为灰—灰黑色纹层状泥岩或灰褐—黄褐色

地的长轴方向。②中心轴线处深度最大,朝东、西两侧变浅,但变化梯度西大东小,反映西陡、东缓。③纵贯全工区,北起胡19井一带,南至胡10井一带,且南、北浅,中间洼,如胡19至胡5—2井至胡22井的地层厚度变化是600m—1300m—580m。

上述古构造、古地理背景决定了沉积物的分散型式:当内黄隆起上的山地暴洪时,高密度的洪流(泥石流)将跨越斜坡(庆祖集断层以西),并在箕状谷的陡坡—庆祖集断崖处获得位能而加速,直插湖底—箕状谷内,由陆上泥石流转变成深水重力流。但由于箕状谷向东翘起(倾角达 20°),故重力流不能直接向前运动,而只能在坡角处拐弯,沿谷的轴线向低洼处搬运、沉积,即从北部的胡19井一带和南部的胡10井一带相向朝胡5井一带流动,形成拐弯纵向搬运的重力流(图4)。

目前国内外发现的拐弯纵向搬运的浊流其古流向是单向的,而本区的古流向则为双向的相向运动。根据镜下岩屑的研究(表1),发现近源区(北部的胡19-1井和南部的胡7-18井)的岩屑含量普遍高,且不稳定的组分,如碳酸盐岩、泥岩大量出现;而远源区

的油页岩，系重力流过后的正常深湖沉积。砂砾岩呈浅灰—黑灰色，砾岩中的细粒填隙物也为暗色，反映为还原较强的深水沉积环境。

2. 深水觅食迹发育，见于页岩的层面上或平行层理砂岩的底面。
3. 未见浅水标志，如水流波痕、垂直生物潜穴及扰动构造等。

(二) 重力流沉积标志

1. 结构。①低结构成熟度、低成分成熟度。杂基支撑砂砾岩发育，砾岩成分复杂，由泥岩、碳酸盐岩、中酸性喷出岩和硅质岩等组成。在镜下，砂岩中见极不稳定的陆源碳酸盐晶屑及海百合茎；杂基含量多在15%以上，构成杂基支撑或似斑状结构。②分选、磨圆差。粒度概率图上以单段式和上拱式为主，粒度变化范围大(图5a)；C-M图点群中可划出一条平行于C=M基线的中线(图5b)，反映了高密度流的递变悬浮沉积。砾岩的岩块一般磨圆极差，有的具一定的圆度，可能是再轮回的；砂岩中的颗粒以棱一次圆状为主。

2. 构造。重力流形成的沉积构造十分发育，如递变层理、变形-滑塌构造、槽模、重荷模、水下岩脉、鲍玛序列、撕裂屑等。

五、相模式

(一) 岩石相(Lithofacies)

如前所述，本区为一套深水碎屑岩体，其岩石相可归纳为如下八个类型。

1. 杂乱砾岩相，较常见。分选、磨圆差，无结构，复成分，填隙物为泥沙，底冲刷明显，厚10~240cm，平均50cm。

2. 卵石砂砾岩相，常见。分选较差—中等，次棱一次圆状，复成分；卵石多呈定向排列，有的见平行层理和单斜层理；底面一般具冲刷，有时为冲刷-充填构造；厚8—90cm，平均40cm。

3. 块状砂岩相，较不常见。平均厚30cm(10—100cm)，为中粗、中细砂岩，内部不显构造，底部一般无冲刷。

4. 平行层理砂岩相，较常见。为粗粉砂-中砂岩，底多无冲刷，以厚度大(最厚达300cm，平均100cm)、不与鲍玛序列配套、夹于暗色泥岩中为特征。

5. 鲍玛序列浊积岩相。常见Tab、Tabc、Tbc组合。

6. 叠复冲刷砂岩相。常见。平均厚60cm，最厚达250cm，以Taa、Tab、Tbb或Taa•bb序的重复出现为特征，底具冲刷或重荷模。

7. 滑塌岩相。包括页岩滑塌、砂岩滑塌和沙泥混杂滑塌三类。

8. 暗色粘土岩相。为正常深湖沉积的泥岩和页岩，厚度最大可达十几米，见深水遗

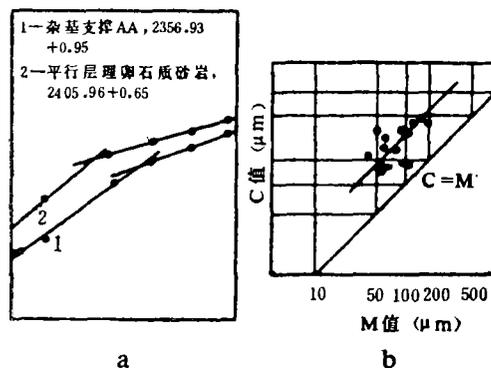


图5 粒度概率图(a)和C-M图(b)

迹化石-古网迹类。

(二) 沉积相

拐弯纵向搬运的箕状谷重力流沉积可以分出两个亚相、四个微相(图6)：

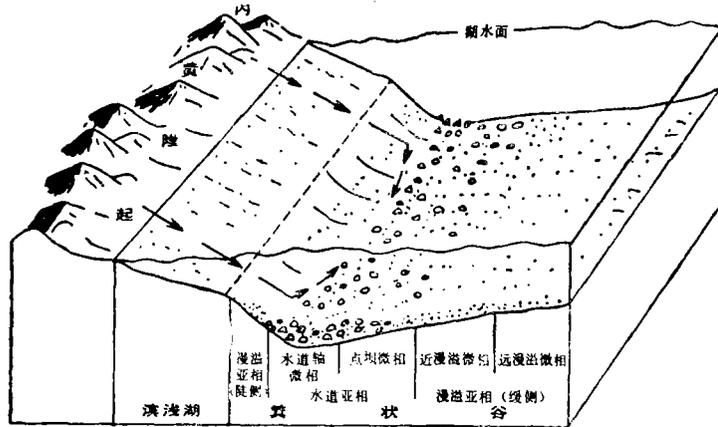


图6 箕状谷重力流沉积的立体模式

1.水道亚相。位于箕状谷中较陡的一边，由两个微相组成。水道轴微相是水道中最深的沟槽，是水下重力流最粗碎屑沉积的场所，以岩石相1(简称相1)为代表，见相2和相6。点坝微相发育于水道轴以外的缓侧，呈坝状突起，其形成可能与重力流弱的侧向加积有关。沉积以相2为特征，有相6、3、4等。

2.漫溢亚相。位于水道的两侧，系重力流溢出水道沉积而成。该亚相向岸方向(陡侧漫溢)不发育，而向盆地方向(缓侧漫溢)发育，面积大、范围广。包括两个微相：

(1)近水道漫溢微相，它有天然堤(水下)的特点，以相5和相7沉积为主，也见相4和相3。

(2)远水道漫溢微相以相5和相8组合为特点，系低密度流沉积的产物。

箕状谷重力流沉积的垂向层序有三种。

1.向上变细变薄层序：可与曲流河的层序相比较，具二元结构。底为一明显的冲刷面；下部是水道沉积的相1、2、3、4、6组合，厚达7m；上部为漫溢亚相的6、5、7、4、3、8岩石相组合，砂层变薄，甚至被泥岩分隔；顶为相8。在自然电位(SP)曲线上，下呈宽缓的箱形，向上变成指状(图7a)。

这种层序可以单独出现，夹于正常深湖沉积的相8中，但更常见的是多个层序叠置在一起，

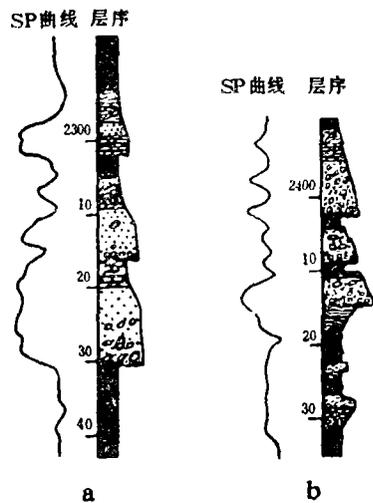


图7 箕状谷重力流沉积的垂向层序

层序间以冲刷为界，远漫溢发育不全。构成迭复冲刷的向上变细（变薄）复合序列。砂层厚度大、连续好，是理想的勘探目的层。

向上变细、变薄层序形成重力流能量的逐渐衰减或水道的倾向加积、迁移；复合型层序则反映了重力流事件的反复进行。另外，一个完整的向上变细、变薄层序代表着箕状谷从形成到消亡（对于某观察点而言）的一个沉积旋回，故可用其厚度估计箕状谷的深度，结果约达35m，其规模略见一斑。

2. 向上变粗、变厚层序，不常见。形成于重力流能量的增强或水道的退积作用（向漫溢沉积区迁移）。

3. 向上变粗、变厚—变细、变薄层序，最常见，可以看作是层序2与层序1的迭加，而以向上变细的层序为主（图7b）。层序下部为细粒沉积，厚度较小，冲刷不发育；上部沉积粒度粗，往往由多个向上变细层序组成，厚度大，构成该层序的主体。总厚一般十几米，最厚达50余米。

这种层序可以形成于重力流能量的不断加强和多次发生，但更重要的是水道朝陡侧的侧向迁移。结果陡侧沉积多被侵蚀掉，仅有少量保存，主要为水道和缓侧漫溢沉积。

从岩石相和垂向层序的平面分布来看，横向（垂直于箕状谷的走向）变化大（图8a），这是因为水道为砾质和砂质高密度流沉积（胡7-18井），粒度粗；而其两侧（胡7井和胡27井）则以漫溢砂质低密度流和砂质低密度流沉积为主，粒度显然变细。在纵向（平行于箕状谷走向）上又有南、北粗、中间细的趋势，但变化不快（图8b）。其原因可能是：（1）多物源供应，南、北为主物源，但途中也可能有小物源的加入；（2）搬运距离近、沉积速率快，使得水道里的高密度重力流来不及发生机械分异作用或分异得极不完全；而水道外的漫溢沉积受到的局限小，可发生一定的分异。

六、砂体分布

1. 平面上呈带状和椭圆状：砂岩等厚图（图9）和砂岩百分比图（图4）都说明，砂体的延伸与箕状谷的走向一致，近NE向。砂层厚度和砂岩百分比南、北两端高，中间低。如果横过砂体的延伸方向来看，中间（轴部）砂岩厚度大、百分比也高，可出现独立的椭圆状砂体；而向东西两侧厚度减小、百分比降低。这是因为中间轴部为水道，是粗碎屑长期沉积的场所，椭圆状砂体可能相当于水道的点坝部位，砂质更发育；两侧则为漫溢沉积，有较多的泥质夹层，最外侧的远水道漫溢砂层开始尖灭。可见砂体的分布受沉积单元（亚—微相）的控制是很明显的。

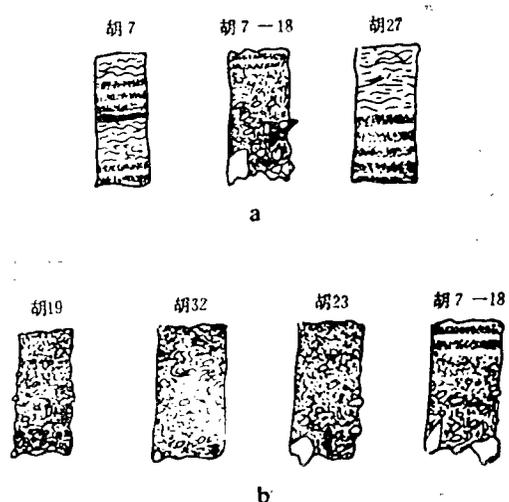


图8 箕状谷重力流沉积的横向（a）和纵向（b）分布图

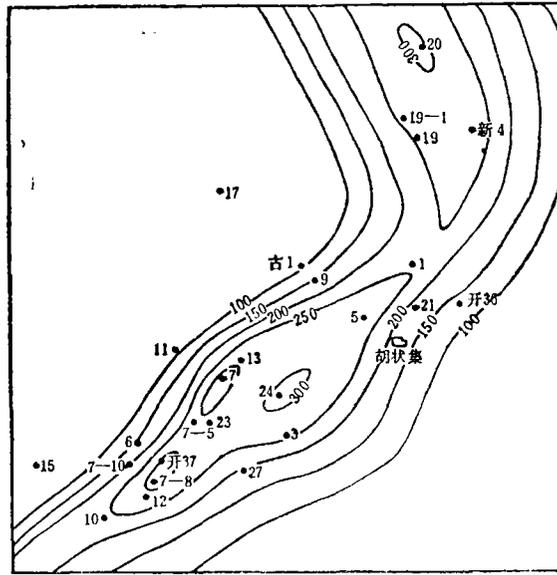


图9 沙三段下部(E₃s₄F)砂岩等厚图

箕状谷重力流砂体的这种平面特征是区别于三角洲和水下扇沉积的重要依据之一(表2)。

表2 箕状谷、水下扇、三角洲三种砂体的平面特征

类 型	箕 状 谷	水 下 扇	三 角 洲
区 别			
延 伸 方 向	与岸线平行	垂直或斜交	垂直或斜交
形 态	带状、椭圆状	扇 形	扇状、指状
粒 度	轴部粗, 向岸、向盆地变细	由岸向盆地变细	由岸向盆地变细
厚 度	轴部厚, 向岸、向盆地变薄	由岸向盆地变薄	由岸向盆地变薄

2.剖面上呈楔状或透镜状:重力流进入箕状谷后,一方面沿着谷中最深的水道纵向运动,另一方面部分流体将漫出水道,向其左右两侧搬运。前者叫做水道流,后者称为漫溢流,二者的运动方向相互垂直。

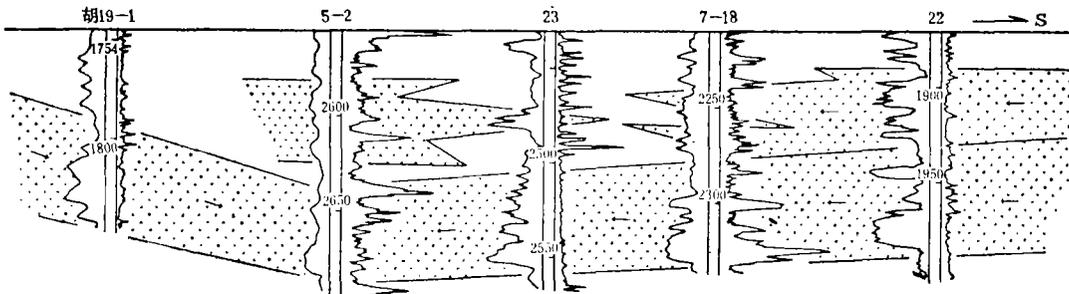


图10 箕状谷重力流沉积纵剖面图

水道流沉积构成箕状谷重力流沉积层序的下部，重力流沉积的标志也最典型。在水道的延伸方向上砂层连通，朝下游方向厚度变薄，呈楔状，但变化递度不大。图10是沿水道走向作的地层对比和沉积剖面图，箭头指示水道流的搬运方向；古水流是从南部的胡22井和北部的胡19-1井相向朝胡5-2井运动。近物源的胡22井、胡7-18井和胡19-1井等的SP曲线呈块状、箱状和王冠状，低幅；岩石相有相1、2、6、3和4，厚40多米。居中的胡23和胡5-2井的SP曲线下为低幅指状和钟状，向上明显齿化，向上变细的正韵律发育，上部实为漫溢沉积。砂层厚度薄于前述几口井。可见水道流砂体南部和北部厚，向中间变薄。

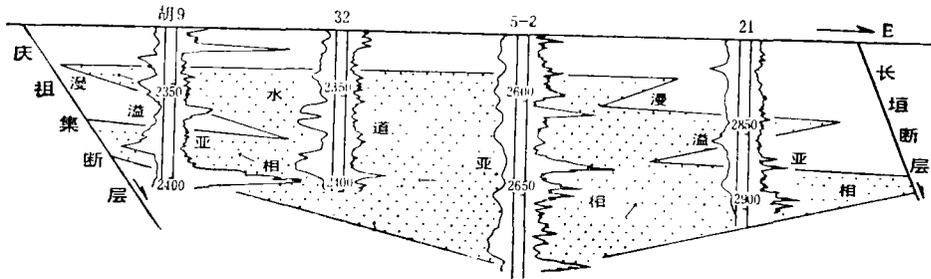


图11 箕状谷重力流沉积横剖面图

漫溢流砂体位于水道两侧，往往与水道流砂体连通。图11是横过箕状谷作的地层对比和沉积剖面，水平箭头代表水道流在水道内部的运动方向，斜箭头代表漫溢流的运动方向。胡32至胡5-2井为水道的位置。其中胡5-2井发育有完整的向上变细韵律，为水道轴微相—漫溢沉积序列；胡32井的SP曲线呈阔指状，为点坝沉积；东西两侧的胡21和胡9井自然电位曲线呈齿状，砂层厚度减薄、断续，有较厚的泥岩夹层，为远漫溢微相沉积；再向东跨过长垣断层砂质基本上不发育。根据地层对比，水道部分砂体最厚，向两侧变薄乃至尖灭，呈下凸上平的透镜状。

水道流砂体与漫溢流砂体的连续程度决定于漫溢流的发育程度，即取决于进入箕状谷中重力流的规模。如果有大量的山洪进入谷中，则两种砂体可能在整个箕状谷中都有分布；反之若重力流规模较小，只限于在水道中运动，则漫溢流不发育，只有水道砂体的存在。

七、水道的迁移

水道沉积砂层最发育，因对砂体的控制也最大。但地震反射和地层对比都揭示，水道的位置不是固定的，而是具迁移性。其原因是水道流的环流作用（与河道的迁移类似）和断层的控制作用，而以后者为主。

水道在箕状谷中的迁移大约经历了三个阶段。早期时庆祖集断层和长垣断层刚开始活动，基底翘倾角度不是很大，于是重力流在势能的作用下继续向前推进一段距离，尔后拐弯纵向运动，此时水道的位置基本上是长垣断层的位置（图12 I）。后来庆祖集断

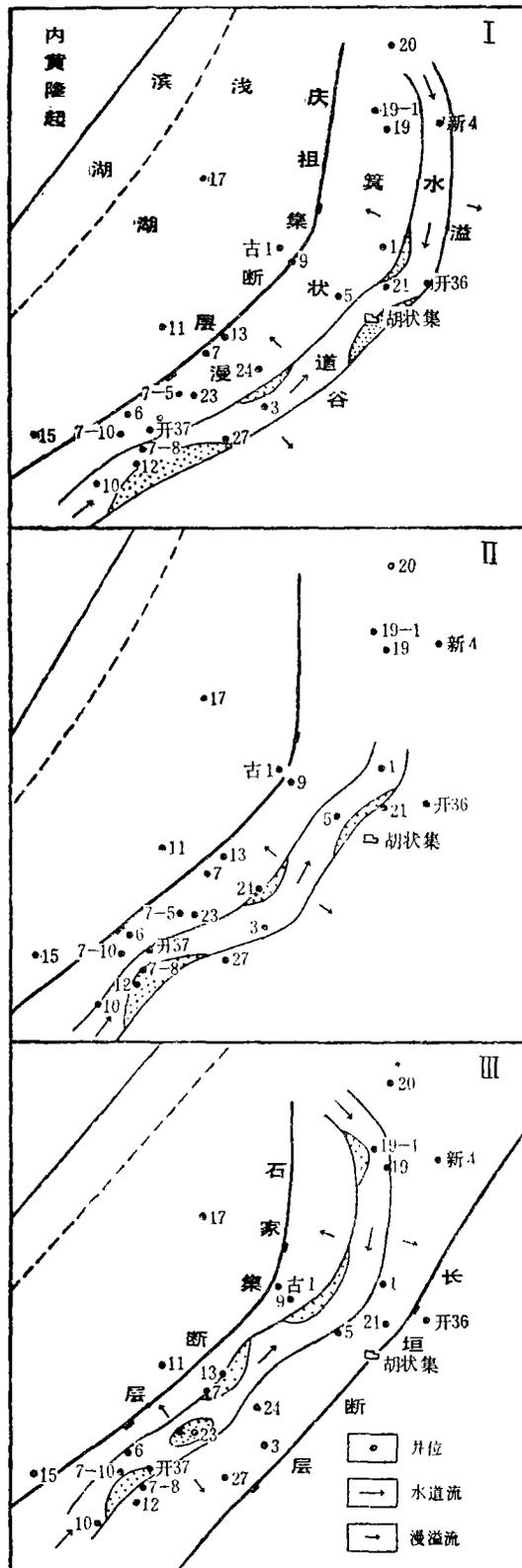


图12 水道在箕状谷中的迁移图
(I、II、III代表早、中、晚阶段水道的位置)

层活动逐渐加剧，基底翘倾坡度增大，重力流向前推进不远便拐弯了，水道开始西迁（图12 II）。随着庆祖集和长垣断层差异断裂活动的加剧，重力流朝盆地方向推进的距离越来越小，最后只能在庆祖集断层坡角下发育（图12 III）。在这段时间里水道向西迁移了约1.9km。

水道的这种自东向西的迁移导致了砂体相应的迁移，即早期砂体靠近长垣断层发育，后期则主要在庆祖集断层下分布。弄清该规律对于油气勘探意义重大。

八、油气评价

1. 拐弯纵向搬运的箕状谷重力流是一种深水沉积，重力流过后是正常深湖沉积阶段，暗色泥岩十分发育，具备自身生油的条件。其东紧邻长期继承性沉降的柳屯—海通集深洼，故具近油源且油源充足的特点；长垣断层的通道作用使得油气从深洼运移进箕状谷砂体中成为可能。

2. 从储集条件看，单砂层厚度大，可达40m（如胡22、胡7-18、胡7-8井等），沿着水道基本连续分布。实测连通孔隙率平均约20%，空气渗透率平均约514mD，最高达七千多毫达西，储油物性良好。

3. 盖层也很发育，重力流砂砾岩被正常深湖泥、页岩覆盖，是良好的盖层。特别是胡5井至胡19井一带尚有盐岩（石膏、膏泥岩、泥膏岩、岩盐）分布，其遮挡能力更理想。

4. 箕状谷自始至终都受断层的控制，同生断层的遮挡作用可形成断层遮挡圈闭。特别是在其发育的后期，砂体明显受庆祖集断层的控制，于是形成了构造-岩性圈闭（图11）。再一种圈闭类型是单一的岩性圈闭：由于庆祖集和长垣断层间的地层翘斜和砂层向长垣断层的减薄和尖灭，故可形成上倾尖灭圈闭；同时，水道

砂体可呈透镜状向四周倾伏、尖灭，形成砂岩透镜体岩性圈闭。

总之，箕状谷重力流沉积有着广阔的含油气远景，本区已有若干口井出油，且产量较高，是油气勘探的新领域。

致谢：中原油田勘探开发研究院的冯建辉、袁正文等曾给予帮助和支持，特表谢意。

（收稿日期：1987年2月30日）

参 考 文 献

- [1] 吴崇筠, 1986, 湖盆砂体类型, 沉积学报, 第4卷第4期.
- [2] 吴崇筠, 1986, 对国外浊流沉积和扇三角洲沉积研究的评述, 国外浊积岩和扇三角洲研究, 石油工业出版社.
- [3] 赵徽林等, 1984, 湖底扇相模式及其在油气预测中的应用, 华东石油学院学报, 第4期.
- [4] 姜在兴等, 1987, 东濮凹陷白庙地区沙三段重力流沉积的研究, 华东石油学院学报, 第1期.
- [5] F.L. Hein et al, 1982, The Cambro-Ordovician Cap Enrage Formation, Quebec, Canada: Conglomeratic Deposits of Braided Submarine Channel With Terraces. *Sedimentology*, Vol.29, No.3, P.309-330.
- [6] K.J.Hsü et al, 1980, Resedimented Facies in Ventura Basin, California and Model of Longitudinal Transport of Turbidity Currents. *AAPG Bulletin*, Vol. 64, No.7, P.1034-1045.

REPLACED DEPOSITION OF GRAVITY
FLOWS ALONG MOVING A DEEP WATER
DUSTPAN THALWEG

Jiang Zaixing Zhao Weiling Liu Menghui

(East China Petroleum Institute)

Abstract

In the early stage of the deposition of the 3rd Member of Tertiary, Shahejie Section, a dustpan thalweg developed between Qingzuiji and Changheng faults due to differential faultings in western Dongpu Depression and the strike line of the thalweg paralleled with the axial line of the depression. Since the gravity flows entered the dustpan thalweg from the opposite directions of south and north, it had to be turned in direction and moved along the extensional trend of the thalweg. Therefore, the replaced deposition of the gravity flow developed, for which the recognized configuration is band or ellipsoid.

1, Laterally, the sand sequences are quite thick at central part and thin out toward both sides with obvious changes in grain size.

2, Vertically, the upper the sequence, the finer the grain size.

The depositional facies includes channel and outflow subfacies with four microfacies of channel axis, point bar (bam), outflow near channel and outflow far from channel in which the channel microfacies are the most active depositional unit with moving feature. However, the replaced deposition of gravity flows is a frontier for oil/gas exploration.