

高密度浊流还是砂质碎屑流?

傅文敏 编译

(石油物探局物探地质研究院)

一般认为,浊流是流体流,其内沉积物由流体的紊流支撑;而碎屑流是塑性流,其内沉积物由基质强度、分散压力以及浮力支撑。高密度浊流的概念指高浓度的、通常为非紊流的流体流动,其内沉积物主要由基质强度、分散压力和浮力支撑。但是,有关浊流和高密度浊流的概念相当混乱。此外,深海地区块状砂岩几乎毫无例外地解释为由高密度浊流形成。

Mobil 石油公司的Shanmugam 等较长时期研究了北海白垩系和古新统深水块状砂岩、挪威海域白垩系、尼日利亚滨外上新统、加蓬滨外的白垩系、墨西哥湾的上新统一更新统、以及阿肯色州和俄克拉何马州沃希托(Ouachita)山脉的宾夕法尼亚系,认为许多以前解释为高密度浊流成因的沉积应该为砂质碎屑流成因。

1 水下重力驱动作用

Shanmugam^[3]认为许多广为接受的有关分类方案并不包括常见的斜坡垮塌,例如滑动和滑塌,因此提出多种重力驱动作用,诸如滑动、滑塌、碎屑流和浊流,将沉积物从陆架边缘沿斜坡向下搬运至深海斜坡和盆地环境。

滑动是块体沿着基本平坦的滑移界面向下的移动,内部没有发生变形。滑塌作用是一种沿着上凹的滑移面沿斜坡向下移动的同时发生旋转作用的运动,内部发生变形。滑塌相的识别标准包括:(1)滑塌褶皱;(2)扭曲层理;(3)陡倾地层(可达60度),倾向多变;(4)底部(初次)滑移面和剪切带;(5)内部(二次滑移面)形变导致的组构突变;(7)倾斜的碟状构造;(8)角砾岩化带;(9)碎屑的挤入^[3]。随着滑塌体沿斜坡向下移动,沉积物与水混合和物质的分解作用不断增强,这种滑塌流动可能形成碎屑流,其内沉积物以松散的粘性块体流形式流动,具有塑性流变特征。碎屑流沉积物的可靠标志包括:(1)突变性上下界面;(2)底部剪切带;(3)飘浮的泥岩颗粒,飘浮的石英颗粒(发育于细粒砂质基质内);(4)面状碎屑组构(碎屑的长轴与层面平行)以及(5)逆递变序列和塑性变形特征等^[3]。

随着碎屑沿斜坡向下流动,其内流体组分增加,塑性碎屑流可能演变成流动性紊流流体,称为浊流。浊流是一种沉积物重力流,由流体湍流支撑,其内由于流体紊流作用沉积物呈悬浮状态。更重要的,层状和非紊流性流体不能当作浊流。浊流的沉积作用的发生是由于颗粒从悬浮状态中停止下来,从而产生正常递变序列。浊流的沉积物称为浊积岩,其辨别标志是:(1)正粒序;(2)底部突变界面;(3)顶部渐变界面;(4)鲍马序列^[3]。其中只有正粒序是可靠的标志。

鲍马建立了浊流沉积物的沉积构造的标准层序,称为鲍马层序。一般情况下,该层序包括5个分段,即TA, TB, TC, TD 和TE,认为是单一浊流事件的产物。但是,最近研究表明鲍

马层序也能由浊流之外的作用引起,诸如砂质碎屑流和底流。

除了重力驱动的沿斜坡向下作用之外,在许多盆地中,由深海底部流旋转作用造成的与斜坡平行的等高环流也能剥蚀、搬运和重新沉积沉积物。与浊流不同,底流改造的砂岩通常由薄透镜状层段构成,可以通过其牵引构造进行识别,诸如水平层理、波纹-斜交层理和交错层理等。这些砂岩可能表现出齿状电缆测井曲线模型,它们的总体几何形态了解甚少。但是,在某些情况下它们可能具有席状几何形态。

2 浊流和高密度浊流

浊流可以依据粒度、颗粒浓度和支撑机制分为低密度流和高密度流两类。低密度流由泥质至中粒砂构成,其支撑机制(如湍流)不受颗粒浓度的制约。高密度流,如果为粗砂至细砾物质组成的砂质高密度流,颗粒由受阻沉降和湍流支撑。在由细砾至粗砾组成的砾质高密度流中,颗粒主要由基质的浮力和分散压力支撑。

有关浊流的概念很混乱,Mutti(1992)认为,粘滞性碎屑流和浊流应当当作两种搬运和沉积了大部分浊积沉积物的两种机制;Labume等(1987)采用术语巨浊积岩代表大规模碎屑流沉积物,但是碎屑流沉积物不是浊积岩;Mc Cave和Jones(1988)则认为在Madeira深海平原内的高浓度非紊流性浊流沉积了巨厚的各种密度的泥,并认为一旦浊流停止,它基本上是非紊流性的,因此沉积泥质沉积物。显然,这不合适,不存在非紊流性浊流。

有关高密度浊流的概念也很混乱,在宣称的术语(即浊流)和所指的沉积(即可能为塑性介质的层状流)之间存在极大的差异。高密度浊流概念的主要吸引力在于它能解释一种成因不明的深海“块状”(即无构造的)砂岩的沉积作用,更重要的是可用来推断近端海底扇环境,例如上扇谷,那里认为高密度浊流较普遍。应该特别注意Normark(1991)和Walker(1992)已经废弃了且得到广泛应用的上扇朵叶概念和相关的扇模式。所以,目前不清楚高密度浊流和上扇环境之间的关系。

3 高密度浊流

有关高密度浊流的相关问题可以分下列六个方面进行讨论,即(1)流体密度和浓度,(2)流体流与塑性流,(3)沉积机制和搬运机制,(4)理论分类,(5)块状砂的实验形成,以及(6)漂浮碎屑的成因^[1]。

3.1 流体密度和浓度

Kuenen(1950)首先描述高密度浊流概念。“低”、“高”密度流之间的分界线定为 $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度数值。Middleton等(1973)认为包含高密度浊流的高浓度流体的密度范围为 $1.5\sim 2.4\text{g}/\text{cm}^3$ 。Hampton(1972)的实验中采用的碎屑流的密度为 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ 。Pickering等(1989)的计算结果表明, $1.1\text{g}/\text{cm}^3$ 的密度值可以按体积转换为6%的固体浓度,这意味着高密度特征可以在6%的浓度时开始。Middleton(1967)的实验中高密度流需要44%的体积固体浓度。Lowe(1982)则认为浓度必须超过20%~30%才能出现高密度流。Pierson等(1987)的超浓缩流体概念认为沉积物的浓度为20%~60%。总之,高密度流概念相当混乱,例如,沉积物浓度为20%的流体会认为是低密度流(按Middleton,1967的概念),按Kuenen(1966)的概念属于高密度流,按Pierson和Costa(1987)的概念则应该属于超浓度流(hyper-concentrated flow)。由于没有区分高密度流和其它流体类型的特定的浓度和密度值,实际

上不能区分高密度浊流和其它的沉积物重力流。

沉积物-水混合物的流变性质主要受控于沉积物的浓度,在较小的程度上,也受控于颗粒大小和被搬运的固体物质的物理和化学性质。高颗粒浓度的重要意义在于它不仅使密度增加,也使流体的粘度和分散压力增加。流体的高密度和浓度往往对紊流起着抑制作用,这是区分浊流和其它沉积物重力流的最重要的标志。选择术语浊流代表高密度流(其内紊流不是主要的沉积物支撑机制)不合适。

总之,从流动流变学、沉积物支撑机制、流体密度或沉积物浓度的角度看,没有明确的高密度浊流的定义。

3.2 流体流和塑性流

低密度浊流和碎屑流分别代表流体流和塑性流。这两种流体不仅受控于流变特征(即流动性与塑性),也受控于流动的状态(即紊流和层状)。在低密度浊流中,细粒沉积物(粘土—中粒砂)可能由于紊流作用而保持悬浮状态,在很大程度上与沉积物浓度无关。但是,在具有高沉积物浓度的流体中,紊流作用不能单独支撑沉积物。一般情况下,多种沉积物支撑机制,诸如基质强度,分散压力和浮力对于高浓度塑性流具有重要意义。在塑性流中,紊流作用的影响较小,流动具有层状形态。因此,毫不奇怪,在碎屑流中主要的搬运机制是层状流。由于塑性流中沉积物浓度较高,垮塌和滑移作用有可能产生沉积物崩塌作用。Shanmugam 等^[3]认为这些作用能够解释挪威海域、北海、尼日利亚岸以外及阿肯色和俄克拉何马州沃希托山脉地区砂质碎屑流沉积物与滑动、滑塌沉积物的复杂的互层现象。

高密度浊流可能被认为属于流体流和塑性流端员组分之间的过渡类型^[1]。问题在于这个术语包含浊流概念,这意味着属于流体流端员组分。但是,在解释为“高密度浊积岩”的北海块状砂岩中,Shanmugam^[3]认为存在塑性流变的证据,这意味着存在塑性端员组分,因此高密度浊流的特征与塑性流非常相似而不属于中间组分。

在地表沉积物-水混合物的流变学分类方案中,认为牛顿流体和非牛顿流体分别具有流体和塑性流动特征。Shanmugam 等^[1]怀疑在水下沉积物-水混合物中也存在流体和流动行为之间的类似关系。如果的确如此,确定牛顿流体和非牛顿流体之间的中间流体类型就没有意义。这是因为牛顿与非牛顿特征并不仅取决于颗粒浓度,也取决于颗粒大小和组分。因此,不可能利用特定的颗粒浓度值来确定流动和塑性流动类型之间的界线。这可以解释公开发表的各种沉积物重力流的密度和浓度值。利用颗粒浓度和密度划分浊流的概念从开始就有缺陷。一种流体或者属于牛顿流体,或者属于非牛顿流体。在这两者之间不可能有中间流体类型。当然,在一系列牛顿流体内可能存在低浓度和高浓度端员组分,但是超过一定的沉积浓度的临界值,牛顿流体就开始表现出非牛顿流体特征。例如,有关泥质水粘度的实验表明在沉积物浓度较低时为牛顿流体(即流体流),但是当浓度到达一定的临界值时就变成Bingham 流体(即塑性流体)。由于这个原因,认为高密度浊流包括牛顿流体和Bingham(即非牛顿)流体的想法是不现实的。实际上,尽管存在流变差异,牛顿流体和Bingham 流体可能共同起作用(其中一种占优势),但没有理由把它们混在一起,而统称为高密度浊流。

在有关地表水流的文献中,牛顿流体和Bingham 流体统称为超浓度流者大有人在,例如,在中国(Qian 等,1988),术语超浓度流用于指示两种明显不同的流体:(1)牛顿流体,以低沉积物浓度为特征,并具有紊流状态,其内粗粒和细粒颗粒分别发生沉降;(2)Bingham(即非牛顿)流体,以高沉积物浓度和层状形态为特征,其内粗粒和细粒颗粒共同沉积(即混

杂)。

虽然在介于“正常水流(normal stream flow)”和“碎屑流”之间的地表环境中引入“超浓度水流”(hyperconcentrated stream flow)这一概念似乎解决了过渡流的问题,这些流动类型之间的边界(根据沉积物浓度确定)随着颗粒大小和组分而变化。Pierson 等(1987)认为超浓度流体和碎屑流是非牛顿流体,都表现出塑性特征。在中国,术语“超浓度流”包括牛顿流体和Bingham 流体^[1]。与采用术语超浓度流指代地表环境中的紊流和层状流动^[1]相似,术语高密度浊流也应用于水下环境中的紊流和层状流体,这种术语的错误运用是文献中产生混乱的主要原因。

在地表环境中,Pierson 等(1985)和Smith(1986)已经确认碎屑流和超浓度流,并可以相互转换。不过,Shanmugam 等^[1]指出,没有证据表明水下碎屑流和浊流可相互转换:浊流沉积物基本缺失。实际工作中可较容易地从流体的流动流变与塑性流变特征角度解释沉积特征,而不是从低浓度与高浓度流体的特征进行解释。

3.3 沉积机制和搬运机制

可以根据搬运机制确定沉积作用,但是怎样根据沉积记录确定搬运机制是一个问题。可以利用沉积特征推断在沉积作用的最后阶段占优势的作用,但是这些特征不一定与整个搬运过程有关。对于所有的沉积物都是如此。目前,没有公认的标准从沉积物中确定搬运机制,这是未来研究的课题。

在密度流-层状流中,影响流体底部(即高浓度层状层段)沉积作用的各种机制与整个流体(即低浓度紊流层段)中起作用的机制极为不同。在沉积物浓度较高的底部层段凝结时往往保留一些特征,诸如突变的上界面(由于凝结作用造成)、飘浮碎屑(浮力和流体强度造成)以及面状组构(层状流造成)。岩石记录中的这些特征应当解释为一种砂质碎屑流的沉积产物,不论碎屑流代表整体还是流体的底部。从流变学考虑,底部层与上部层不同,虽然在成因上可能有联系。同样地,如果悬浮云团状沉积来自于碎屑流,导致具正粒序的薄层沉积,就应当解释为浊积岩。从沉积物中不能确定悬浮云团状沉积物是碎屑流的一部分或形成于搬运过程中。

虽然在搬运过程中流体可能发生改变和转换,保存的特征仅对于沉积作用的最后阶段的分析是有用的,例如在关于高密度浊流的实验中,沉积牵引层的底部层流最初完全是紊流性的。但是在沉积阶段,紊流转换成半塑性层流。如果一种流体或流体的一部分变为层状,水流的层状部分不再认为是浊流。水流的层状部分是了解高密度浊流的基础,因此,高密度浊流这一术语是一个错误名称,它代表层状和紊流层段。

在缺乏从沉积记录中确定搬运机制的标准的情况下,假定所有砂质碎屑沉积物均由紊流搬运是不现实的,但恰好在沉积之前水流转换为层状流。实际上,碎屑流的确能够出现于缺失上覆的和伴生的紊流悬浮物的情况下。同样地,浊流也的确能在下伏和伴生的碎屑流缺失情况下出现。总而言之,不是所有的密度流均具有层状特征。在呈层状时,每种密度层的流动性均具有足以划分为流体性浊流和塑性碎屑流的差异。

在一个盆地中沉积层段的主要搬运机制可以间接通过确定各种沉积相的相对重要性推断。如果浊流沉积物比碎屑流沉积物多,那么有理由假定也许浊流是一种比碎屑流更重要的搬运机制。但是,Shanmugam 等^[1]指出,根据其研究,这种情况不存在,例如,挪威海的深水“块状”砂,加蓬岸外,墨西哥湾以及阿肯色和俄克拉荷马州沃希托山脉。当重新计算北海岩

心中观察到的各种类型重新沉积的岩相的百分比(即,垮塌与碎屑流沉积物与浊流和底流沉积物的比)绘制在三角图解中时^[3],显然碎屑流和滑塌沉积(75%~100%)占优势。底流沉积物具有某种重要性(大约为25%),浊流基本缺失(不到1%)。所以,在象北海这样的盆地内,沉积记录没有证据表明浊流沉积占优势,显然不能假定整体流动呈紊流性质。

3.4 理论分类

Lowe(1982)根据粒度总体、颗粒浓度和沉积物支撑机制,将浊流分成两种主要类型:低密度流和高密度流。低密度浊流由总体1颗粒(粘土至中粒砂)组成,其内沉积物支撑机制(即紊流)与颗粒浓度无关。在低密度浊流中,沉积物支撑机制取决于浓度。砂质高密度流体由总体2(粗粒砂至较小的砾石)构成,颗粒由受阻沉降和紊流作用支撑。在含总体3的砾石质(砾石和巨砾)高密度流中,颗粒主要由基质浮力和分散压力支撑。由于受阻沉降,基质浮力和分散压力是低密度浊流沉积物支撑的重要机制。这些由Lowe(1982)确定的低密度流,应当更具有砂质碎屑流的特征,而不是流体性浊流。浊流可以并且的确也形成了各种粒度的沉积物(例如,细粒浊积物和粗粒浊积岩),而紊流总是主要的沉积物支撑机制。

Lowe(1982)有关低密度流的分类及其沉积作用的机制在很大程度上是推测性质的,他提出了一种典型的砂质低密度流的理想结构序列,诸如 S_1 (牵引层)、 S_2 (毯状牵引层)以及 S_3 (悬浮层)。在这三个层段中,仅有 S_3 段沉积于浊流的紊流悬浮作用。这一关键性的层段一般呈“块状”,或具碟状构造。由于碟状构造也可能形成于沉积期后,没有或具有碟状构造的 S_1 层段并不是沉积作用的可靠标志。此外,由于流体极不稳定,通常在理想的沉积序列中不包含 S_3 部分。在细砂岩中, S_2 段缺失是因为这些细粒颗粒之间的分散压力极小,主要由细粒和极细粒砂组成的水流将不能沉积牵引层。

Lowe(1982)依据流变学特征进行的分类在野外的实际工作中并不适用,理由包括:(1)没有令人信服的野外实例确证存在理想的构造序列。实际上,砂质低密度浊流的完整的层序的唯一公开发表的实例是田纳西州一个前寒武系单元的草图。(2)在理想层序中关键性的 S_3 部分通常缺失。(3)砂质碎屑流的沉积作用与 S_3 段相同。(4)从实验中从未再造出理想的构造层序。(5)牵引层的成因不太清楚,在很大程度上具有推测性质(这种层段是理想层序的一个组成部分)。(6)低密度浊流按Lowe(1982)的定义不是真正的浊流,更象砂质碎屑流。

3.5 块状砂的实验形成

依据实验,Middleton(1967)认为浊积岩层的块状部分可能形成于高浓度的“浊流”,巨厚的深海层序的“块状”砂岩通常解释为低密度浊流沉积物,推断由于形成扩展的“快速”层段,从而沉积了块状层段,这种层段具有假塑性单元特征。他还认为沉积作用来自快速的凝结作用。在块状层段从低密度流体中沉积下来时的沉积物支撑机制是分散压力。Shanmugam等^[1]认为这是可能的,因为44%的体积浓度用于高浓度流体实验,其处于分散压力具有重要影响的范围内。在高浓度(即体积超过30%)情况下,分散作用并不具有牛顿流体的性质。此外,高浓度往往抑制维持浊流所需的紊流作用。

总之,Middleton(1967)有关高浓度浊流的实验满足块体流(即碎屑流)的所有标准。按Dott((1963)的定义:(1)它们是非牛顿流体,具有塑性特征;(2)它们是高浓度流体,沉积物由分散压力支撑,以及(3)这些流体因“凝结”而发生沉积。因此,深水块状砂岩通常解释为低密度浊流是有问题的。

3.6 漂浮碎屑的成因

在将含漂浮碎屑的砂岩解释为浊积岩时,Postma 等(1988)进行了异常陡的陡坡(25°)条件下高密度浊流的实验研究。真实的海底梯度可能没有这样大的梯度。他观察到靠近流体底部颗粒迅速沉降形成的床砂载荷,从而形成高浓度砾石质砂层,称之为惰性流体层(inertia-flow)层段。在实验中,特别大的碎屑沿着流变界面牵引,这个界面发育于缓慢移动的“惰性流体层”(层状流)和快速移动的紊流悬浮(紊流)层之间。依据这些实验观察,Postma 等(1988)认为惰性流体层顶部附近的漂浮碎屑为高密度浊流的产物。

Postma 等(1988)在岩石记录中识别出惰性流体层,其依据是存在含漂浮碎屑的逆粒序单元。在Karlskaret 扇三角洲(挪威泥盆纪Hornelen 盆地),这种惰性流认为属于碎屑流。而在圣埃斯皮里图吉尔伯特(Eepiritu Santo ilbert)类型三角洲(西班牙上新统)中,惰性流体认为属于毯状牵引层。因此,Shanmugam 等^[1]指出,这意味着惰性流、碎屑流和毯状牵引层应视为同一类型。Postma 等(1988)认为碎屑流和毯状牵引层为两种不同的作用,但其沉积物可能比较相似,可能都具逆粒序层。不过,Shanmugam(1996)指出,碎屑流和毯状牵引层具有类似的流变性质和沉积物支撑机制,因此它们应当属于同一种流动类型。

逆粒序单元也与密度变化的颗粒流有关(Lowe,1976),和深海底流改造的砂岩有关^[1]。问题是在惰性流动层内颗粒的支撑机制不是流动紊流,诸如分散压力(由颗粒碰撞造成),受阻沉降作用以及浮力(由水和细粒物质的混合作用造成)。Lowe(1982)也认为,由于颗粒碰撞,分散压力成了毯状牵引层的主要支撑机制(即惰性流动层)。显然,层状惰性流动层内的沉积物的支撑机制不是紊流作用。因此,其漂浮碎屑不应当属于浊流沉积物。Middleton(1993)也认为,如果一种水流真正属于非紊流,它不应当划为浊流,对于惰性流动层的情况正是如此。

利用高密度浊流术语指代发育于浊流沉积之下的惰性流动层段产生混乱。如果将毯状牵引层段作为上覆浊流沉积物的一部分,这更引起混乱,这种层段具有独特的流变学和沉积物支撑机制。目前,高密度浊流的概念极其混乱,因为它包含密度层状流体中碎屑流(底部,高浓度,层状沉积)和浊流(上部,低浓度,紊流层)的各种特征,并得出虚假的印象,即整个流动属于浊流,但实际情况不是如此。

Sanders(1965)尖锐指出,流动颗粒层(即惰性流动层,按Postma 等1988年的定义)不应当属于浊流,其依据是这样的层段能够且的确出现于缺失上覆和相关的紊流悬浮沉积的情况。简言之,毯状牵引层(即惰性流动层)以及上覆的紊流沉积物,从流变学和沉积物支撑机制方面看,应当属于两种不同的种类,因此,其沉积物应当分别对待。

Hampton(1972)的实验表明顶部具有紊流云团的碎屑流(即低密度浊流)非常类似于Postma 等(1988)实验中惰性流动层顶部的高密度浊流沉积。利用Postma 等(1988)的推理,只要碎屑流沉积物之下发育递变浊积层,人们可以将任何砂质碎屑流沉积解释为浊流。关键之点是不同种类的沉积物重力流沉积可相互结合以不同顺序出现,但是这些沉积物仍然需要根据流变学特征和沉积物支撑机制进行区分,而不是根据其出现的垂向顺序区分。否则,将存在把不同种类的重力流划为单一沉积或将单一种类的重力流划分为不同种类的沉积的风险。

实际上未能严格应用依据流变学特征和沉积物支撑机制来区分不同沉积物重力流的标准,这导致产生一系列术语:(1)由密度变化的颗粒流(Lowe,1970);(2)非粘性碎屑流(Postma,1986;Nemec,1990;Martinsen,1994);(3)颗粒流(Bagnold,1956;Stauffer,1967);

(4)惰性流层(Postma 等,1988);(5)流动颗粒层(Sanders,1965);(6)毯状牵引层(Walder, 1965;Lowe,1982);(7)滑塌浊流(fluxoturbidity)(Dzulynski 等,1959)。虽然许多这类流体类型可以合并,并且已经合并,并命名为高密度浊流,但在这些流体类型中主要的沉积物支撑机制不是流体的紊流机制。通过利用砂质碎屑流作为一种代替术语,可以减轻将术语高密度浊流代表非紊流流体产生的混乱问题。

4 砂质碎屑流的概念

依据Shanmugam^[1]有关古代深水块状砂岩的研究,认为砂质碎屑流沉积物在很大程度上未受重视,常常误解为高密度浊积岩,其原因是人们思维中浊积岩占主要因素。在粘性和非粘性碎屑流之间存在连续的各种作用,在沉积物重力流的广为接受的分类中很少涉及。一个例外是Shultz(1984)的碎屑流分类方案。Shanmugam(1996)修改了Shultz(1984)的分类,增加了砂质和泥质碎屑流(图1)。砂质碎屑流代表在粘性和非粘性碎屑流之间的连续作用过程,从流变学特征看属于塑性流,其沉积物支撑机制包括基质强度、分散压力和浮力,顶部具有或不具有紊流云团。其特征是层状流,颗粒浓度中等至较高,泥质含量低至中等,没有准确的颗粒浓度和基质含量数据,因为它们随着颗粒粒度和组分的变化而变化,常见有细粒砂岩。虽然术语碎屑流暗示存在较大的碎屑,但大的碎屑也可能很少和缺失。术语砂质块状流也是合适的,因为块状流指连续的沉积物重力流,其流动的特点表现为塑性流而非流体。Middleton 和Hampton(1973)认为术语块状流与包含浊流的沉积物重力流同义,不过Shanmugam^[1]并不认为浊流属于块状流。

Hampton (1975)的实验资料表明,含细粒砂岩的海相沉积物(细粒砂岩为最粗的物质)可能与砂质碎屑流共同移动,前提是其粘土含量为2%或者更少。碎屑泥质基质含量即使低至5%,也足以阻止颗粒通过润滑而导致磨擦性固结,并提供流动所需要的强度。按照Shanmugam^[1]的研究成果,大部分深海砂岩是细粒砂岩,原生泥质基质为2%~3%。砂质碎屑流概念的优点是它可以用于解释不同地质环境中出现成因不清楚的水下“块状”砂岩,这种砂岩具有塑性流变以及流动强度的特征,基质的百分含量很低。

砂质碎屑流沉积物的识别

标准如下:(1)靠近砂岩层顶部的漂浮泥岩碎屑的浓度,(2)碎屑的逆粒序,(3)细粒砂岩中(塑性介质流动)漂浮的石英颗粒,(4)面状碎屑组构,(5)保存有易碎的页岩碎屑,(6)不规则

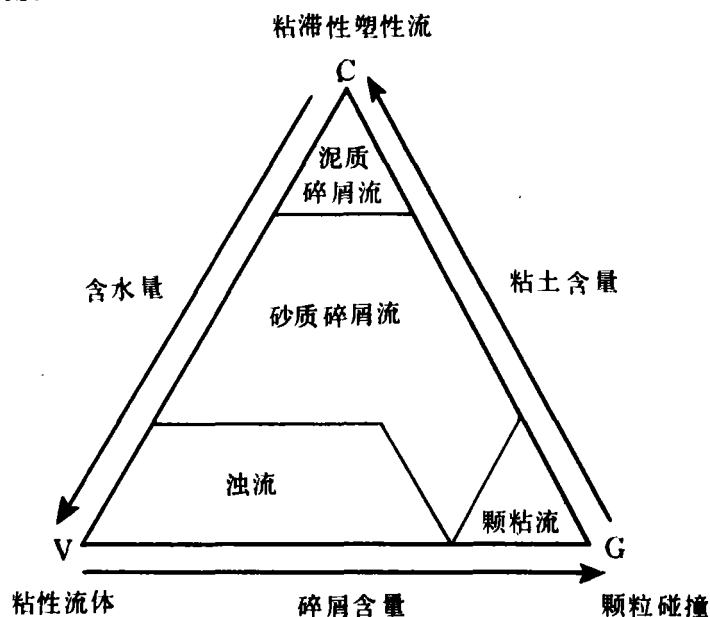


图1 沉积物重力流分类图(据Shultz 修改)
表明砂质碎屑流的特征,术语泥质碎屑流和
砂质碎屑流是Shanmugam 提出的新名词

的上部接触面和侧向尖灭的几何形态,以及(7)碎屑基质。含漂浮碎屑的层状流和塞式流(plug flow)证明极有可能存在碎屑流。具有上述特征的许多深海细粒块状砂岩常解释为高密度浊积岩,实际上其成因为砂质碎屑流,因为只有2%的基质能够提供流动所需的强度。

最后,应该指出,高密度浊流的概念不只是一个理论问题,也具有实际意义。深水扇的浊流在因解释和碎屑流解释导致不同的预测结果^[2]。碎屑流以凝结的方式沉积,产生不连续的砂体,形态复杂,很难预测。而浊流为横向连续的席状砂体,相对简单,可以进行预测。

Shanmugam 等提出的新的观点,即砂质碎屑流概念,摒弃经典的浊流解释观念,已经引起广泛重视和讨论。最近AAPG 已经发表多篇相关文章,涉及不同的意见^[5,6],限于篇幅,本文不再涉及。

(本文摘译自 Journal of Sedimentary Research, Vol. 66, No. 1, January, 1996, 2—10)

主要参考文献

- 1 Shanmugam, G. High-density turbidity currents, are they sandy debris flows? Journal of Sedimentary Research, 1996, 66: 2—10
- 2 Shanmugam, G. Perception vs. reality in deep-water exploration. World Oil, September, 1996
- 3 Shanmugam, G. Basin floor fans in the North Sea, sequence stratigraphic models vs. sedimentary facies, AAPG, 1995, 79(4)
- 4 Shanmugam, G. Reinterpretation of depositional processes in a classic flysch sequence (Pennsylvanian Jackford Group), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma, AAPG Bulletin 1995, 19: 672—695
- 5 Shanmugam, G. Reinterpretation of depositional processes in a classic flysch sequence (Pennsylvanian Jackfork Group), Ouachita Mountains, Arkansas and Oklahoma. Reply. AAPG Bulletin, 1997, 81: 476—491
- 6 Shanmugam, G. et al. Basin floor fans in the North Sea, sequence stratigraphic models vs. sedimentary facies, Reply. AAPG, 1997, 81: 662—672