

文章编号: 1009-3850(2006)04-0105-04

浊积岩神话与砂质碎屑流

夏青松, 田景春

(成都理工大学 沉积地质研究院, 四川 成都 610059)

1 浊积岩传统神话

在浊积岩研究中,著名的鲍马层序是 1962 年通过对法国东南部阿尔卑斯山脉地区 Annot 砂岩浊流沉积研究基础上提出来的,组成该层序的 Ta、Tb、Tc、Td、Td 段应是一次浊流事件的产物。浊流又有高密度浊流和低密度浊流之分。此后,特别是在 Walker(1978) 提出海底扇相模式之后,以鲍马层序为代表的经典浊积岩和海底扇相模式在沉积地质学界广泛流行,甚至几乎在所有的深水砂岩研究中,都用它来进行描述并解释浊流沉积。

Shanmugam 认为在过去 50 年期间,有关浊流沉积的例子导致形成了很多关于深水浊积岩形成的许多神话,并提供了相关实例来说明浊流的十大神话。

神话 1: 浊积岩是非紊流的多种沉积物支撑机制。事实是: 浊流主要是沉积物支撑机制的紊流。

神话 2: 浊积岩是碎屑流、颗粒流、液化流和浊流的沉积物。事实是: 浊积岩只是浊流沉积物。

神话 3: 浊流是高速流,而且缺少物理证据。事实是: 浊流的形成过程的速度变化范围是很大的。

神话 4: 高密度浊流是真正的浊流。Ph. H. Kuenen(1950) 提出的“高密度浊流”概念是基于碎屑流的实验,而不是浊流的实验,因此事实是: 高密度浊流是砂质碎屑流。

神话 5: 泥质流是高密度浊流。事实是: 泥质流是碎屑流。

神话 6: 槽模构造指示了浊流沉积。事实是: 槽模构造只代表有流体侵蚀作用发生而不指示浊流沉

积。

神话 7: 正粒序是多次沉积事件叠加的产物。事实是: 正粒序是单一沉积事件的产物。

神话 8: 交错层理是浊流形成的。事实是: 交错层理是一种属于底流的牵引流作用的结果。

神话 9: 浊积岩相模式是解释浊流的有用工具。事实是: 通过对法国东南部 Annot 砂岩的重新考察,表明原来被认为是浊流的砂岩具有塑性流和底流的复杂沉积机理。

神话 10: 浊积岩相可以使用地震相和几何学解释。事实是: 单一的浊流沉积事件的沉积物只有几厘米到几十厘米厚,不能被地震数据识别出来。

Shanmugam 认为只有浊流的沉积物可以被叫做浊积岩; 浊流是一种有牛顿流和紊流状态的沉积物重力流; 浊流以形成简单的正粒序为特征; 浊积岩没有复杂的颗粒浮层和碎石浮层,不发育逆粒; 深水牵引构造(交错层理和有波痕的细粒沉积)解释为深水底层流可能更好,尤其在海底峡谷中的潮汐底层流成因。

2 造成浊积岩神话的原因

Shanmugam 认为有以下原因造成了浊积岩的神话:

(1) 人们常常把水下浊流与陆上河流紊流沉积相比较,认为二者的沉积特征是非常相似的。实际上,这种认识是错误的。将陆上河流与浊流的不正确对比会导致将不标准的或具平行层理的深水沉积错误地解释为浊积岩。陆上河流为受底沙搬运的流

体重力流 (fluid gravity flows), 而浊流是受悬移质搬运控制的沉积物重力流 (sediment gravity flows), 两者有着明显区别。

(2) 不完善的“高密度浊流”概念为把碎屑流沉积解释为浊积岩创造了机会。Sanders (1965) 指出, Kuennen (1950) 的“高密度浊流”实验中产生的密度分层中的薄层层流 (流动的颗粒层) 和上面的紊流层才是真正的浊流。

(3) 不确切地使用“浊流”概念, 没有恰当地考虑到流体流变学、流体动态和泥砂支撑机制, 结果导致“浊流”的范畴包括碎屑流和底流, 把所有的沉积物重力流的沉积, 包括碎屑流、颗粒流、液化流和浊流都定义为“浊积岩”, 如 Mutti *et al.* (1999) 的分类就将碎屑流沉积当做浊流。

(4) 在野外用鲍马序列 (一种解释模型) 对深水砂进行描述, 这就必然会导致出现一种由于套用模型产生的浊积岩解释结果。

(5) 浊积岩普遍存在的认识促使人们下意识地大多数深水砂解释为一种浊积岩, 在思维方式上常假定深水砂是浊流沉积。

(6) 有人对应用已经过时的包含有水道和舌状体 (它们需要一种浊积岩解释) 的海底扇模型仍有兴趣。虽然浊积岩的模式在积极起作用, 但是浊积岩本身却变成一个不是十分清晰的岩相。

3 砂质碎屑流

Shanmugam 等研究了法国东南部阿尔卑斯山脉地区 Annot 砂岩、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、以及美国沃希托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和底流改造成因, 只有一小部分才是真正的浊积岩。构成这种重新解释的基础是对厚6402m常规岩心和365m露头剖面的详细描述。

3.1 砂质碎屑流的概念

依据 Shanmugam 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。

3.2 砂质碎屑流与浊流的区别

流体流变学主要研究剪切应力与剪切应变率相互间的关系。根据对浊流和碎屑流流变学特征进行的研究, 表明浊流为牛顿流体 (Newtonian fluids), 碎屑流为宾汉塑性体 (Bingham plastics)。

所谓牛顿流体, 是指流体本身并不具有固有内在的强度, 例如水。而与此相反, 宾汉塑性体则具有强度。从图 2 中可看出, 牛顿流体的变形是与所施加的应力呈线性正相关的, 紊流的判别值是雷诺数 (R), 即当 $R > 2000$ 时, 就开始有紊流发生。而宾汉塑性体则是要当所施加的应力超过一个临界值后, 变形才开始出现并呈线性正相关。其发生紊流的判别值应为雷诺数值 (R) 和宾汉值 (B)。据 P. Enos (1977) 研究, 虽然碎屑流可以发展成紊流, 但这并不是碎屑流的典型特征, 相反, 纹层状流动才是其识别标志, 即在线状流动间无流体的混合现象发生。由此可以认为浊流是一个由水和固体组成的二相流动, 碎屑流则是一相流动。其整个流动体经历了较大而又连续的可变形 (Coussot 和 Meunier, 1996)。二者的区别首先表现在流动状态上, 浊流是完全呈紊流

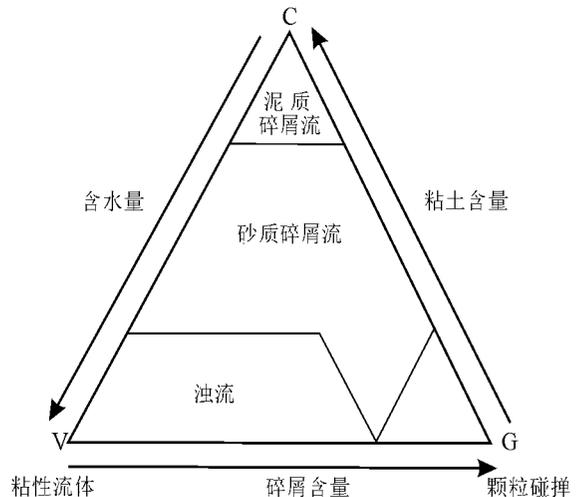


图 1 沉积物重力流分类

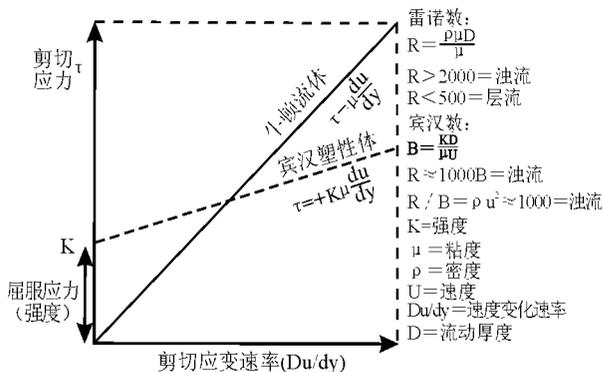


图2 牛顿流体(油流)和宾汉塑性体(碎屑流)的流变学特征(应力-应变关系)

状的而碎屑流则表现为纹层状流动。其次,在物质搬运状态上,油流表现为紊流支撑的悬浮搬运,而碎屑流表现为由杂基强度、分散压力和浮力的支撑。在流体物质浓度上,油流沉积物的浓度较低,体积浓度为1%~23%(Middleton, 1993),相反,在碎屑流中较高,一般为50%~90%(Coussot 和 Meunier, 1996)。最后,在沉积物沉积方式上,油流表现为沉积颗粒由悬浮状态的顺序沉降,而碎屑流则表现为沉积物的整体冻结(图3)。

3.3 砂质碎屑流沉积的鉴别标志

据Shanmugam 和 Moiola(1995, 1997)研究,砂质碎屑流可从以下几个方面进行鉴别:①在底部具剪切带的块状砂岩,其剪切特征可用以指示块体运动是在一个滑动面上曾发生过滑动作用;②在块状砂岩层的顶部附近有漂浮的泥岩碎屑集中存在的现象;③在砂质碎屑流沉积中,泥岩碎屑可能表现出逆粒序特征;④在细粒砂岩中有漂浮的石英砾石和碎屑出现;⑤板条状碎屑组构和易碎的页岩碎屑的存在,可以揭示流体的纹层状流体特征;⑥上部接触面为不规则状,其沉积几何形体具侧向尖灭的特征。它揭示了原始沉积物的整体冻结过程;⑦碎屑杂基的存在,指示了流体的高浓度流动和塑性流变学特征。

4 碎屑流沉积模式

以Shanmugam 为首的一批学者在对原先被认为是浊积海底扇的地区进行了重新研究后发现,在这些地区能称得上是浊积岩、真正具有正常递变层理的鲍马层是很少的,而主要是砂质屑流沉积。例如,在对新的Sea MARCIA 扫描声纳数据和活塞及重力岩心进行分析后,发现在密西西比扇外缘部分根本不存在所谓的席状沉积(即沉积舌形体),相反,它

表现为水道化沉积,并主要为碎屑流沉积所充填。这些新的研究成果,极大地动摇了曾广为流行的海底扇沉积模式(即具有浊积水道和沉积舌形体沉积)在深水砂岩解释中的地位。

由此,Shanmugam (1996, 1997, 2000) 提出了深水砂岩的碎屑流沉积模式(图4)。

在图4中,以碎屑流为主的海底沉积模式可划分为两种类型,即非水道体系和水道体系。前者,如

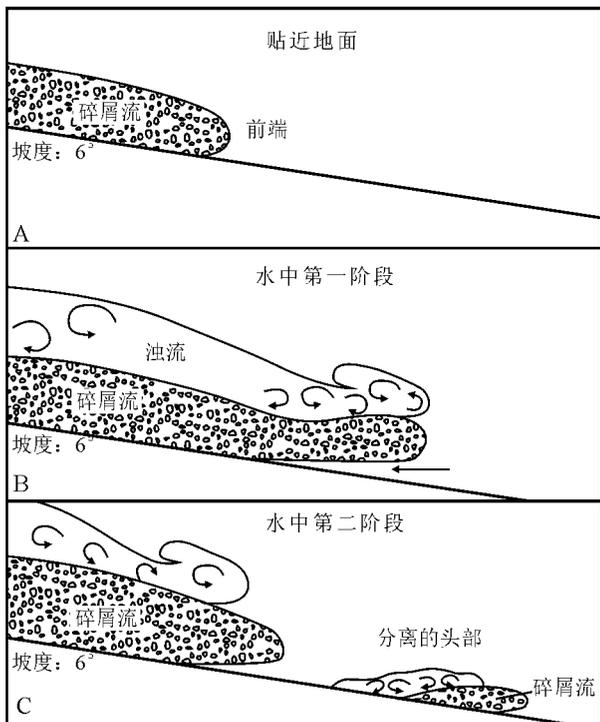


图3 碎屑流的三个过程

(A). 贴近地面缓慢滑动;(B.) 在水中的头部碎屑流快速的移动;(C). 头部分离后能滑行很长的距离

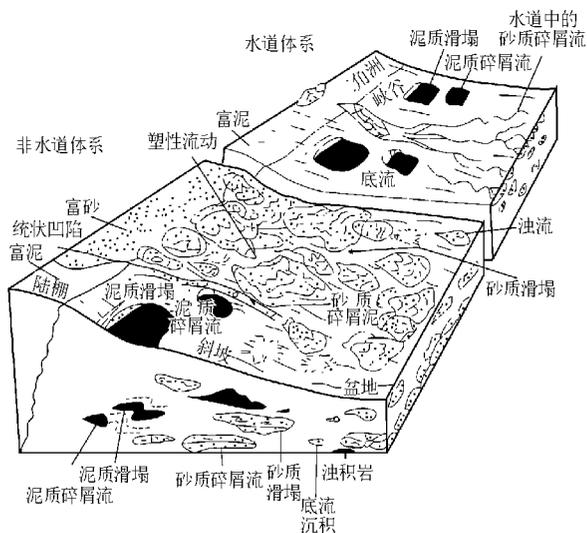


图4 砂质碎屑流和浊流的沉积模式

现代北海深水储集砂体, 后者如现代的密西西比外扇和尼日利亚海岸的 Edop 油田。在碎屑流模式中, 陆棚性质(富含砂或泥), 海底地形(平缓或不规则), 沉积过程(垂直沉降或冻结)这些因素将最终控制着砂体的分布和几何形体。但值得指出的是, 砂质砂屑流也可以形成舌状的砂体(lobate sand bodies), 但它们是不同于由经典浊流在海底扇中形成的沉积舌形体。经典的浊流在平面上呈扇形, 水道砂体在剖面上呈孤立的透镜状, 扇体在剖面上表现为厚层块状砂体; 砂质砂屑流在平面上呈不规则舌状体, 在平面上有 3 种形态: 孤立的舌状体、叠加的舌状体、席状的舌状体, 它们在剖面上分别呈孤立的透镜状、叠加的透镜状和侧向连续的砂体(图 5)。

5 结 语

Shanmugam 关于浊积岩的研究代表了浊积岩研究的最新进展, 他提出的关于浊积岩的新观点和对传统浊积岩理论的批判引起了两次大讨论(1995—1998, 2000—2002), 《50 years of the turbidite paradigm (1950s—1990s)》: deep-water processes and facies models—a critical perspective 一文在 2000 年 3—10 月位居电子期刊《Elsevier》下载排行榜第二名, 可见其在全球地学界影响之大。其研究成果改变了过去的重力流即非牛顿流体的传统认识; 重新解释原来被认为的浊积岩大多数为砂质碎屑流成因; 砂质碎屑流补充和完善了牛顿流体和重力流理论。其对深水沉积作用概念和模式的否定, 提出关于深水沉积作用的新观点和结论都源于实验、剖面的详细描述和对沉积作用过程精细研究。这对于完善和修正已有相模式提供了新的方法和途径。

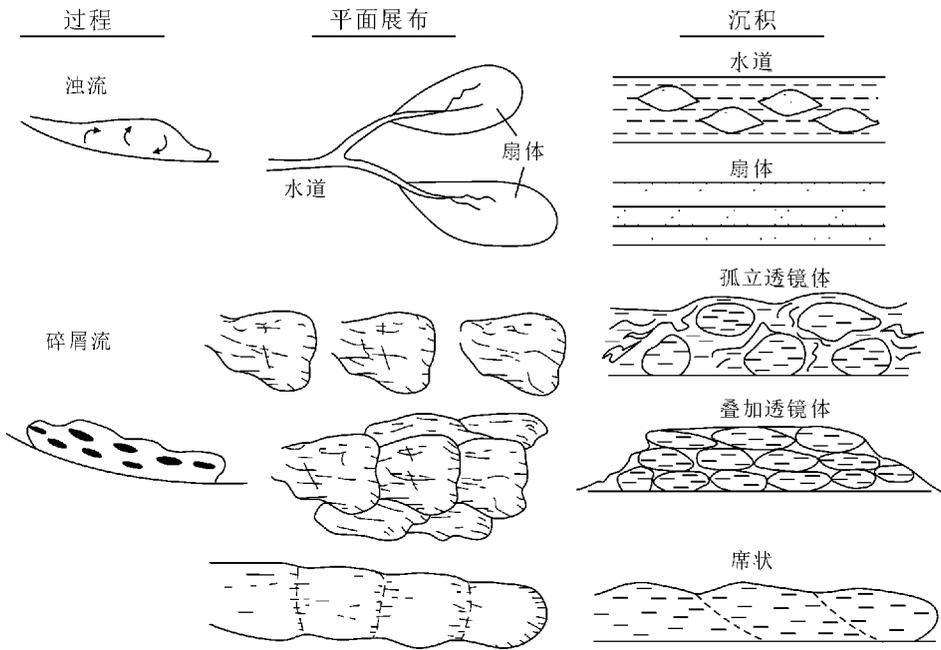


图 5 浊流与碎屑流的平面展布和剖面特征