

文章编号:1004-7824(1999)03-44-07

沉积事件及其在地层中的记录

秦锡虎 编译

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要:这里定义的某些侧向延伸的事件沉积物几乎均产于各种类型的沉积盆地中。它们既反映了局部的盆地内的作用过程,也与区域的或全球的机制有关。事件层的某些类型,如沉积物重力流、砂质和泥质浊积岩,通常保存完好,它们构成盆地大部分充填物;而另一些事件层,如海啸沉积物和原地地震构造,在地质记录中却不太常见或十分稀少。事件沉积物的体积、频率和相受事件前沉积物的堆积、触发机制和搬运机制,以及最后沉积的方式等作用的控制。

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

1 定义

术语“事件”使用于地球科学领域中的许多不同现象。这里定义的沉积事件是指在相对缓慢背景下的沉积物堆积体系中短暂的(几小时至几天)、通常罕见的快速沉积层段。对类似现象使用的其他术语是“沉积幕”(Dott, 1983),或对特殊的突发情况,使用“灾变地质事件”(Clifton, 1988)。事件层构成断续的、常常广泛延伸的沉积层,其在岩层的结构构造和化石含量等方面一般不同于它们的围岩(Einsele 等, 1991)。事件沉积作用常与下伏岩层,如近源浊积岩和风暴岩的侵蚀作用有关。事件层掩埋或削蚀先存的生物扰动表层,其顶部常常定殖底栖生物。事件层的层序可以被合并成较厚的复合层。其他类型的岩层,如凝缩层、含特殊动物群的岩层和各种滞后沉积(包括海侵和海退滞后层)都不是事件沉积。所有这些层都代表了相当长的时期,而有些甚至是穿时的。

事件沉积既反映了盆内的作用过程(自旋回、局部机制),也反映了盆外的作用过程(更大区域至全球性的它生旋回机制)。沉积事件通常重复出现,其中某些沉积事件呈现出周期性(旋回性事件),即有一定的重复间隔,其他的沉积事件呈无规律的间隔(非周期性或非旋回性事件)。在有些地方,冰川性的海平面变化、有规律的地震活动或多或少被认为是触发周期性沉积事件的机制,而风暴事件、灾难性洪水或重力块体流出现的间隔往往不具规律性。

2 事件沉积物的类型

事件沉积物存在于陆地和海洋环境(表1)。事件层的解释可以在某些现代教科书和沉

积学专著中找到答案(见参考文献)。在海洋环境中,很常见的事件沉积包括浅水区的风暴沉积和较深水区的由沉积物重力流(如浊流)造成的各种沉积。是在浅水区由风暴浪诱发的而沉积在中陆棚至外陆棚的远源风暴沉积岩和斜坡崩塌造成的深水源浊积岩的鉴别还存在一定的问题。不管是沉积物的成分、结构和沉积构造,还是这些岩层中的动物群的组成和遗迹化石,以及它们的背景沉积,对这些事件沉积层的正确鉴定都是有用的(Einsele 和 Seilacher, 1991)。同样,区别某些潮上风暴沉积和海岸海啸沉积常常也有一定的难度。由海啸回流形成的海啸层虽然频繁地存在于高能海岸线地区,但在文献中很少涉及(如 Yamazaki 等, 1989)。地质历史中由陨石撞击诱发的海啸沉积作为灾变事件近来已经引起了人们极大的兴趣。原地地震构造可称为“地震岩”,包括砂墙、喷砂、泥火山,已经在年轻的河流、湖泊、海岸和围绕岛弧的海洋环境以及在造山带中作了报道(如 Sims, 1979; Obermeier 等, 1990; Kanaori 等, 1993)。

表 1 事件沉积物的类型

海 洋	海洋和大陆	大陆和湖泊
海啸沉积(海底和海岸)	原地地震构造(地震岩)	洪泛沉积物
风暴沉积, 湖上	火山灰沉积物	
风暴岩, 湖下 (硅质碎屑和生物成因砂、泥)	行星撞击形成的沉积物	
浊积岩 (硅质碎屑和生物成因的砂、粉砂和泥, 含有机质、火山灰)	岩崩、滑动、滑塌沉积	湖泊浊积岩
	沉积物重力流沉积 (泥、砂粒、碎屑、火山碎屑流沉积、滑塌沉积)	

大陆范围内的事件沉积(表 1)包括岩崩、滑动和滑塌、沉积物重力流和火山碎屑流沉积。湖泊浊积岩大都具有有限的范围和厚度。火山灰降落沉积存在于各种不同的沉积环境。在冲积平原上,灾难性的洪流(片流、山洪暴发)主要见于冰前河流(如 Maizels, 1989)和干旱地区(Karcz, 1972; Pflüger 和 Seilacher, 1991),留下特殊的砾石层作为冰前河流的记录。但大部分大陆事件沉积物未在文中述及。

3 地质记录中事件沉积物的意义

对各类盆地充填物中事件沉积补给的研究是很有意义的(表 2)。特别是陆源碎屑物和火山碎屑物输入量很大的盆地,如深海扇、深海沟、弧前盆地和弧后盆地及某些相邻盆地往往以事件沉积为主(表 2)。另外,冲积扇和扇三角洲,以及许多湖泊盆地均以大量的事件层为特征。这些沉积环境在裂谷盆地和前陆盆地的充填中也起着重要作用。然而,各种不同类型盆地中事件沉积的比例的系统研究仍是空白。

因此应该注意,盆地充填沉积物中事件沉积物的百分比在某种程度上取决于鉴别事件层与“正常”背景沉积物的可行性。如果我们研究很薄的细粒事件层,如泥质浊积岩,这就有其问题。另外,有些事件层受到了强烈的生物扰动,使之很难识别。甚至所谓的背景沉积或宿主沉积都可能主要由小规模的沉积事件造成的沉积物质组成(Dott, 1983)。

表 2 各种环境(主要是第三纪和第四纪;仅为宏观事件层)中的事件沉积在总沉积物中的比例

盆地类型(或部分盆地充填物)	事件沉积物(%)	参考文献
深海扇(沉积速率 $\geq 100\text{m/Ma}$)	≥ 90	自测
深海沟	30~90	自测
弧前盆地	40~80	如 Makino 等(1992), 自测
弧后盆地(海相)	20~60	如 Klein(1985), 自测
残余盆地(含复理石)	20~60	自测
裂谷盆地(早期阶段, 大陆和海洋沉积)	10~40	自测
陆隆和深海平原(主要为泥质浊积岩, 来自半远洋斜坡沉积)	≥ 50	Kelts 和 Arthur(1981)
全新世与更新世(高振幅海平面变化)	$\leq 10/\geq 50$	自测
靠近洋脊和海山的盆地(远洋泥质浊积岩)	20~50	自测
相邻盆地		
地中海(沿边缘和盆地内主要为再沉积泥)	70	Stanley(1985)
加利福尼亚湾(深海盆地中的泥质浊积岩)	60~70	Einsele 和 Kelts(1982)
红海、黑海	5~20?	
前陆盆地(初始深水相、冲积扇/扇三角洲)	10~40?	自测
山麓湖泊(部分为冰川湖泊)	10~50	自测
冲积扇和扇三角洲(特别是在干旱地区)	10~60	自测
洪积平原	10~50?	自测

注: 自测建立在各地区野外观察和大量文献资料基础上, 各类盆地中事件沉积的比例可能与表中相应盆地类型给出的数值不一致。

大部分泥质浊积岩通常见于陆隆或现代海洋的深海平原(Kelts 和 Arthur, 1981), 以及“邻近的盆地”, 如地中海和加利福尼亚湾。应该注意, 在对事件层进行专门研究的几乎所有的盆地中, 事件层的百分比率被证明是非常重要的。该经验甚至可以应用于洋脊和海山附近的盆地, 这些盆地出现纯远洋沉积充填物, 包括幕式再沉积物质。

火山尘和宇宙尘的间断出现及其对缓慢沉积的远洋沉积物成分(包括稀有元素)的影响也可列入事件沉积的范畴内, 但超出了本辑的范围。

4 事件沉积的形成过程

大多数的事件沉积为早期沿盆地边缘堆积的再沉积物质。我们将事件层形成过程划分为几个阶段(图 1a): (1)事件前沉积物的堆积阶段(作为沉积事件的物源); (2)临界条件和再沉积作用的启动(斜坡坍塌、风暴、地震和/或海啸、火山喷发、天然堤坝的破坏、行星撞击); (3)搬运机制(滑动、重力块体运动、悬移质流、各种水流); (4)事件层的最后沉积。

4.1 事件前沉积物的堆积

事件前沉积物的堆积和过渡沉积物保存场所的特征显然是其后沉积事件的先决条件。非补偿沉积盆地沉积事件很稀少, 而沉积物大量输入的盆地往往呈现时间间隔较短的明显事件层(见 Einsele 的文章)。例如在天气晴好的条件下堆积在海滨和前滨带或海岸沙丘上的砂砾为事件沉积提供了物源(图 1b、c)。这样, 所形成的事件层的结构和成分很大程

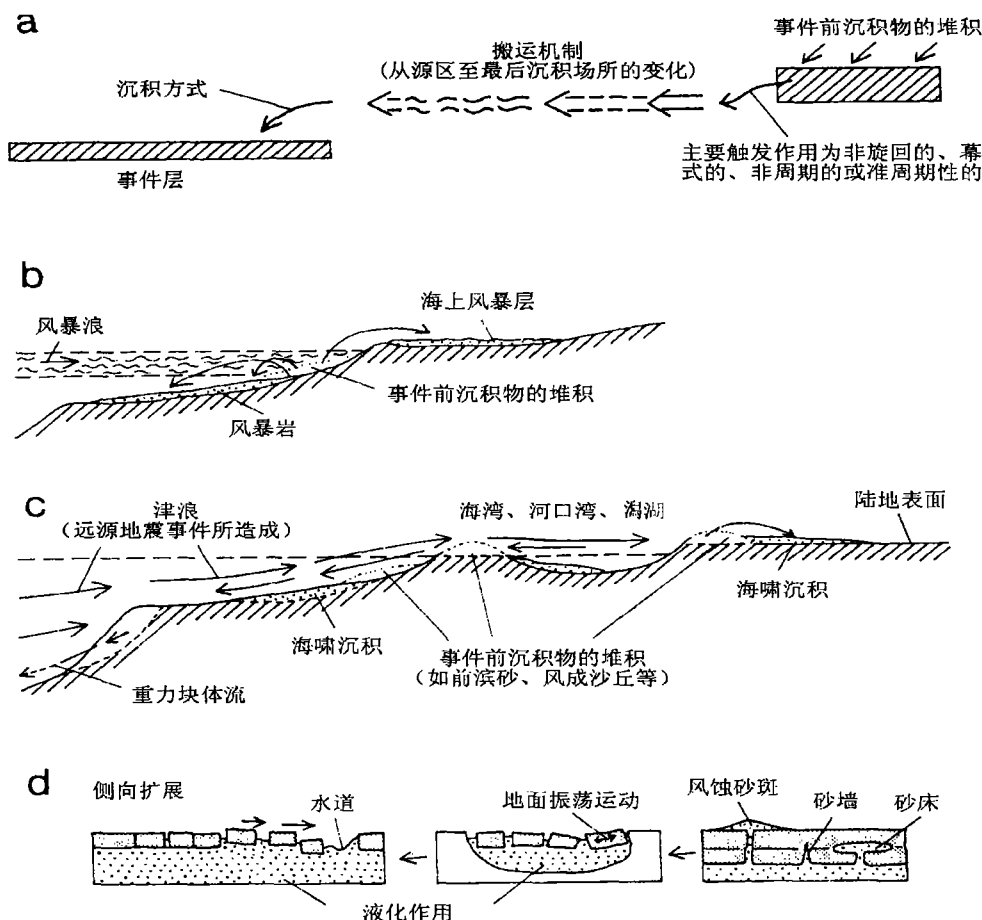


图1 事件沉积的形成过程

a. 事件前堆积的沉积物的再沉积形成的事件层略图, 该模式尤其适用于重力引起的块体运动; b. 风引起的风暴造成了主要由堆积在前滨带的事件前沉积组成的潮上带风暴层和潮下带风暴岩; c. 地震引起的津浪逼近陆棚, 淹没海岸带(据 Minoura 和 Makaya, 1991)。海啸沉积物形成于向陆流动和回流, 以及水下斜坡坍塌(造成泥流和浊积岩)。海啸沉积主要由前滨和海岸带的事件前沉积物组成; d. 平伏的事件前沉积物被地震振荡原地扰动

度上取决于事件前沉积物堆积的环境条件。但高能灾变事件可侵蚀并将“外来”物质搬运到事件层的“正常”物质中。

在发生沉积物重力流时, 细粒泥质物(其可与前三三角洲斜坡或陆棚边缘的较粗物质交互产出)的快速堆积可以形成机械准稳条件, 进积扇三角洲上带砂、砾的泥即代表该状况。边坡的临界角度变陡, 和/或如果渗透性太低孔隙水不易泄漏而某一深度沉积物未固结, 均造成斜坡坍塌(图 2a)。控制块体运移的另一个重要因素是半远洋海相斜坡沉积物液化的可能, 尤其是分选好的细粒砂极易受到地震冲击。但看来即使含有大量生物硅和钙质超微浮游生物、粘结性有限的粉砂质泥岩液化的可能性也很大(Einsele, 1990)。在海底之下最上部的 10~100m 内, 这些松软沉积物中的水含量常常较高或者与其液限含水量接近(图 2b)。

海洋钻探也揭示出斜坡沉积物经常含有在低温和高压条件下(水深 400m, 水温 4℃, 图 2c, Kvenvolden 和 Kastner, 1990)呈稳定的固态天然气水化物(笼形化合物)。这些笼形化合物

常产于海底之下厚度为 200 ~ 500m 的沉积层中。在沉积物表面之下更大的深度处,由于温度增加,压力较大,天然气水化物变得不稳定。笼形化合物层形成一种盖层,阻止气泡(主要是甲烷)上升至海底,从而使天然气水化物集中于相界面,即沿笼形化合物层的底部分布。温度增加(热流、气候和洋流变化),或压力减小(如相对海平面下降)都能使笼形化合物分解为水和甲烷。如果其不易泄漏,则会降低沉积物的剪切强度,因而促进了边坡的坍塌。与这些或别的一些作用(如海底的地下水流动)有关的孔隙水化学成分的变化也可在降低斜坡的稳定性方面起到某些作用(图 2c,如 Matsumoto, 1987; Hesse, 1990)。

4.2 诱发沉积事件的机制

风引起的风暴浪和由海洋地震造成的津浪的波长较长,因此在海平面之下搅拌并搬运事件前堆积的沉积物的深度加深。风暴浪既能将其侵蚀的物质沉积在潮上带(海岸风暴砂)或者由于回流的结果沉积在深水处向盆地一侧(风暴岩,图 1b)。根据波高和水体的搬运,大的津浪远远地大于风暴浪(图 1c),它们可以搬运很远的内陆剥蚀物质。集中在某些“出口处”的海啸回流可能在深达数百米的浅水中留下各种沉积层(图 1c)。这些沉积层含有大陆和海洋混合成因的沉积物和动物群(见 Shiki 和 Yamazaki 的文章)。津浪不大可能对深海底部产生直接影响,因为这些波浪的轨道速度在这一深度不足以高达可侵蚀和携带沉积物质。但应该记住,许多大型风暴持续的时间比海啸更长,因此在海岸带,风暴的影响比海啸更大。

这两种波浪,特别是触及陆棚坡折下的准稳斜坡的津浪,都可能触发重力块体运动(图 3a),使水压发生周期性变化,并对下伏沉积物施加了一些侧向剪切应力(如 Okusa 和 Yoshimura, 1987)。但在造成斜坡坍塌方面,波浪的重要性未被充分认识。

由地震冲击引起的侧向循环应力肯定是造成斜坡不稳定性的最重要的作用之一,而在静止的条件下斜坡是稳定的或准稳定的(处于临界状态)。地震诱发的附加应力叠加到由沉积物静态负荷产生的剪切应力上,这样常常使总剪切应力超过沉积物的剪切强度(图 3a)。砂质和粉砂质生物沉积物可能因地震冲击而液化。

原地地震构造没有显著的沉积物搬运。只要地震波的加速作用超过了物质的剪切强度,近地表沉积物就可能液化,形成风蚀砂斑、喷砂、砂墙和砂床,或者液化层可使上覆粘土层遭到破坏并变得杂乱无章(图 1d)。

只要未达到陆棚坡折处,相对海平面下降对海底斜坡稳定性的直接影响就是有限的,原因是暴露的缓坡陆棚沉积物在这些条件下保持了稳定状态。当海平面下降使沉积物加速向陆棚边缘搬运而造成斜坡过陡时,斜坡的稳定性可能间接地受到影响。如果海平面下降至

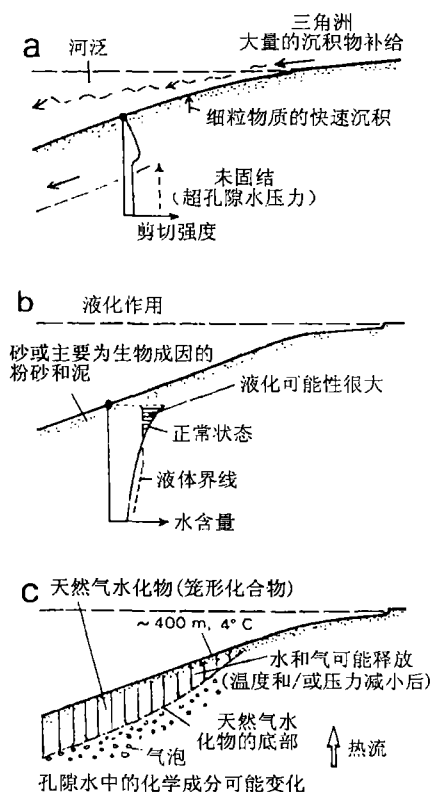


图 2 斜坡坍塌的必要条件
(除构造引起的斜坡外)
解释见正文

陆棚坡折带之下(图 3b), 上斜坡沉积物的浮力降低, 就成为促使斜坡变得不稳定的重要的附加负荷。这种现象已从对人工水库和坝址的边坡调查中发现的。如果上覆物质几乎不透水, 则海平面的下降也可在埋藏的斜坡沉积物中产生超孔隙水压力。

4.3 搬运机制

块体流和水流搬运是再沉积作用的主要机制。在浅水中, 风暴浪和津浪转变成沿海岸、向陆或向海流动的海流。这些紊流的速度很快, 因而能有效地侵蚀和搬运粗粒沉积物, 乃至粗砾和巨砾。如果粒度范围较广, 被搬运的最大粒径在水流地段由近到远可能逐步减小。

如果斜坡坍塌, 滑动和崩塌常常演变成各种块体流(如塑性流、液化流、片流至紊流, 见 Middleton 和 Hampton, 1976; Lowe, 1982; Postma, 1986; Stow, 1986; Einsele, 1992), 其大多数最后转变成高密度至低密度的悬移质流, 通常称之为浊流。长距离的搬运, 如浊流和液化流那样, 大多受到水下地形和底流与上覆水体之间密度差的控制。在流动期间, 由于摄取了被剥蚀的底部物质, 再沉积物质的成分可能发生变化。

4.4 沉积方式

沉积事件在地层中的记录是受下列因素控制的: (1) 事件前物源区的特征(主要的); (2) 沉积物的摄取(在浊流和突发性波生水流的情况下); (3) 很大程度上受最后沉积作用的方式控制。例如浊积岩的总的粒度分布和成分(包括动物化石的含量)可以指示物质来自于何处, 但触发沉积事件的机制常不能从留在事件层中的某些标志来判断。因此, 根据触发机制和部分根据水流特征(除了其最后阶段外)提出的有关事件层的术语常常是有问题的, 特别是同一种作用过程的发生存在几种可能性时(如斜坡坍塌)尤其如此。

不过, 事件层及其层序的沉积构造, 如沉积物重力流沉积和浊积岩, 仍揭示出水流在其最后阶段的特征(Postma, 1986), 例如浊积岩底部含砾砂岩中的平行纹理和逆粒序层, 其成因分别为正常的牵引流和摩擦凝结以及悬浮混合沉积(牵引毯状沉积, Lowe, 1982)。当然, 后一种现象也被重新解释为由大规模的浊流中的爆喷/冲刷旋回沉积的(Hiscott, 1994)。总之, 这些常常与泄水构造有关的构造表明为携带砾石和内碎屑的高密度浊流的初始沉积阶段。在某些事件层中的碎屑颗粒、叠瓦状构造和逆行沙丘或各种波痕(如爬升波痕和上叠波痕)的出现都证明沉积期间存在着某种流态。

5 事件沉积物的保存和破坏

地层记录中事件层的保存是研究的另一个重点。成岩叠加, 如碳酸盐的胶结作用, 可以增强沉积物堆积过程中初始的不连续性, 以利对沉积构造的识别。另一些作用也可以导致事件后的破坏作用或事件层的变化。受到长期或经常性水流改造的环境, 如洪泛平原、海岸

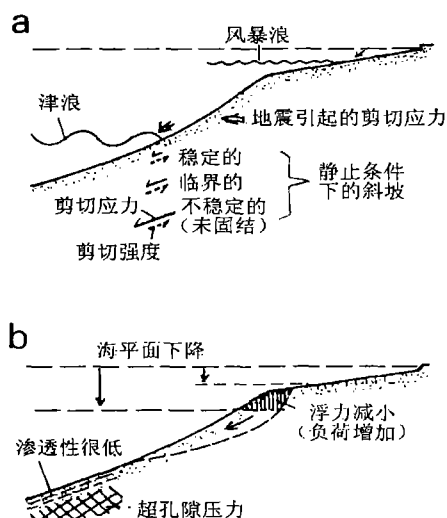


图3 诱发斜坡坍塌的常见机制
(解释见正文)

地区、浅海和海底峡谷的底部,事件沉积物保存的可能性较小,这就是为什么潮上、前滨风暴成因砂岩和海啸成因砂岩在地质记录中常常比从这些事件的出现层段中见到的更少的原因。相对保存差的另一些例子是薄层泥质浊积岩和泥质风暴岩,这些岩层常常被叠复,要么被事件后的生物扰动作用所破坏。有意义的是,由于缺乏大量的遗迹化石,泥质风暴岩在元古界的浅海沉积物中看来特别丰富(Fairchild 和 Horrington, 1989)。

摘译自 G. Einsele et al. "Depositional events and their records
—an introduction". *Sedimentary Geology*, 1996, 104:1-9.

王承书 校

本刊加入万方数据网络系统数字化期刊群的声明

为了实现科技期刊编辑、出版发行工作的电子化,推进科技信息交流的网络化进程,本刊现已入网“万方数据网络系统(ChinaInfo)数字化期刊群”。所以,向本刊投稿并录用的稿件文章,将一律由编辑部统一纳入万方数据网络系统,进入因特网提供信息服务。凡有不同意见者,请另投它刊。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

万方数据网络系统数字化期刊群是国家“九五”重点科技攻关项目,截止 1998 年底已有 200 种期刊全文上网(网址:<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>),读者可上因特网进入万方数据网络系统免费(一年后开始酌情收费)查询浏览本刊内容,也欢迎各界朋友通过万方数据网络系统向我刊提出宝贵意见、建议,或征订本刊。

《岩相古地理》编辑部

一九九九年六月