

## 论滨岸和浅海的风暴沉积

严 钦 尚

(华东师范大学)

在地质记录中,大至陨星碰撞地球,小至某些外力作用下的沉积现象,虽然作用时间短促,作用次数不多,但往往比长时期的经常作用遗留更加深刻的影响。在滨岸和浅海区域,水体内一次高能量突发事件,如台风、飓风、风暴潮、或地震海啸等,可以冲毁长时期正常天气条件下的波潮流沉积和堆积风暴沉积。

关于滨岸和浅海的风暴沉积,在我国地学文献中很少论及。作者与邵虚生在1980年研究上海潮坪沉积时,除见到粒度较细的粉砂质泥和泥质粉砂组成呈潮汐纹层的潮坪沉积外,还见到单层厚度较大、粒度较粗的粉砂组成以平行层理为主的风暴沉积,两者交互成层,构成韵律性组合<sup>[1]</sup>。其后,许世远与邵虚生在1981年14号台风(11级)期间,在上海潮坪现场观测了风暴作用的冲淤过程,确证上海潮坪沉积剖面中,风暴沉积占有重要比重<sup>[1]</sup>。

任美镔、张忍顺、杨巨海等在研究江苏省大丰县王港附近淤泥质海滩沉积时,也发现在风暴作用下,沉积了粒度比相应部位的平常沉积物粗得多的层次,具有风暴沉积特征性构造,以夹层形式出现<sup>[2]</sup>。

风暴作用引起巨大灾害早为气象气候学者的重要研究课题,地质地理方面过去侧重在观察其强大破坏力以及对海岸地貌的影响。国外对风暴沉积的研究在六十年代刚刚开始,但七十年代以来,已刊出相当多论文。这些论文论述了现代滨岸和浅海的碳酸盐沉积区和陆源碎屑区的风暴作用和风暴沉积特征,分析了古老地层中滨岸和浅海相区出现的风暴沉积,对比了古今风暴沉积的特点,提出了风暴沉积层序的模式。特别值得提出的是 Lavelle, Swift 等<sup>[22]</sup>在纽约州长岛外内陆架上水深 20—22 m 处,投下示踪砂,定期观测海底沉积物移动情况。他们先后在 1974 年春、夏好天气期,以及 1974—1975 年之间多风暴的冬季工作 135 天,观测得知,示踪砂的移动主要是 1974 年 12 月上旬二天内强烈风暴作用的结果。

研究者鉴于风暴作用在滨岸和浅海沉积中的重要性,七十年代内提出了一些专指风暴沉积的词汇,如 Brenner 和 Davies<sup>[3]</sup> 提出 Storm lag (风暴残留沉积), Goldving 和 Bridges<sup>[6]</sup> 提出 Sublittoral Sheet Sandstone (浅海席状砂岩),以及 Kelling 和 Mullin<sup>[10]</sup> 提出 Tempestite (风暴岩)等。

收稿日期:1983年1月24日。

- 1) 许世远、邵虚生,1982。台风与杭州湾北部潮坪沉积。海洋沉积与浅层地层学学术讨论会论文摘要集(下册)。中国海洋湖沼学会,17-1页。
- 2) 任美镔、张忍顺、杨巨海,1982。江苏省大丰县王港附近淤泥质海滩的沉积规律。海洋沉积与浅层地层学学术讨论会论文摘要集(上册)。中国海洋湖沼学会,9-(1-4)页。

## 一、风暴沉积的层理特征和形成机理

研究现代风暴沉积遇到的一些困难,在一定程度上影响了对其形成机理和层理特征的认识。主要是(1)发生风暴时,现场观测比较困难;(2)现代沉积物疏松,常为水浸透,采样的层理构造极易破坏,而且岩芯和箱状样品的长度和体积小,不易从而获知风暴沉积的完整概念;(3)紧接在风暴作用之后,滨岸区受到波潮流的改造,陆架上受潮流脊和生物活动的干扰,而且容易与某些第四纪残留沉积相混淆。

正因如此,完好的风暴沉积层理特征、沉积系列与模式往往从研究古老地层的成果中得到。Kreisa<sup>[1]</sup>在研究美国弗吉尼亚州西南部的中、上奥陶统 Martinsburg 组古敞开海台上风暴沉积的基础上,归纳了已发表的各家意见,提出以下十一个辨识风暴沉积的特征:(1)粗的(风暴)和细的(好天气)沉积的互层;(2)清晰的受冲刷的底面—递变的具潜穴的顶部;(3)底面上的壶状和槽状模(Pot and Gutter Cast);(4)残留层和悬浮层构成成对小层(Couplets);(5)横向上变厚变薄,并呈透镜层;(6)受改造的,但却是原地的生物群;(7)粒间渗透结构;(8)生物逃逸潜穴;(9)风暴浪引起的波状起伏的纹层层理(按:这就是 Harms 所谓波状起伏的交错层理 Hummocky Cross Stratification—HCS);(10)沉积构造垂向层序,下为平行纹层理,上为波痕纹层理;(11)具纹层的层次向上变薄,杂基增多,粒级递变现象变弱。

Kreisa 指出,上列(1)(2)(9)(10)为较多学者引为主要的几种特征。现结合风暴作用机理进行论述。

在风暴作用最强劲的高峰期,水体中挟带多量泥砂随风暴潮退潮向海外输送,强烈冲刷海底,形成一清晰的冲刷底面,明显地与风暴作用前的好天气条件下的沉积层分开,并截切下伏层次的层理构造。

风暴潮在海底大体上呈面状冲刷,但同时也有漩涡和股流活动,以致出现壶状和槽状模。如果风暴作用区有粗重物质,则在冲蚀底面上将残留砾、泥砾、碎块、贝壳等,这是风暴高峰期底部的粗粒残留沉积。

风暴高峰期之后,能量迅速衰退,水体中挟带的物质发生大量堆积。随着能量的逐步衰退,沉积层自下向上出现粒度变细的递变趋向。Kreisa 称这一阶段的沉积薄层为纹层层(Laminated Unit),它和上述风暴高峰期粗粒残留沉积层共同构成成对小层。其厚度一般从 30 厘米至几厘米,最大可达 2 米,在风暴作用尾间的深水区甚至可薄至几毫米。

风暴高峰之后的纹层层,随着风暴强度的减弱而出现不同的层理构造。最具风暴特征的特征是平行纹层和波状起伏的交错层理(HCS)。Harms 等<sup>[7]</sup>提出 HCS 的主要特征是:(1)各层组都有一低角度的、侵蚀的下部底面;(2)紧接底面上的纹层平行于下部底面;(3)纹层在横向上可以有序地增厚,纹层倾角有规律地向上减小;(4)纹层倾角的方向散乱。Harms 等认为 HCS 是由于风暴浪的波动作用将海底物质扫起,并堆积在丘状起伏的风暴冲蚀面上。波状起伏的波幅约 10—50 cm,波长一米至几米。

在上述一些风暴沉积层理堆积之后,水体能量继续减弱,出现爬升波痕层理和波痕交错层理。这时的沉积速度快于好天气条件下平常堆积速度,不利于生物活动,因此沉积物中少见生物化石和生物扰动痕迹,仅见少数生物逃逸痕迹。

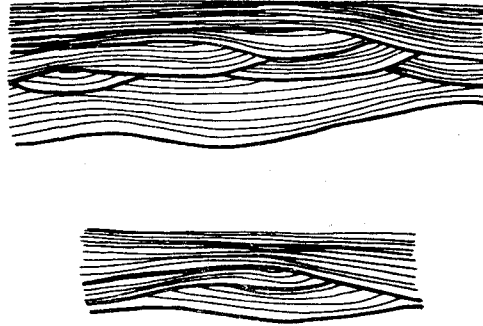


图1 波状起伏交错层理 (HCS)

上述各种风暴沉积层理在一个地区的剖面上未必都能出现,往往只出现一种或少数几种。平行层理和波状起伏交错层理是典型风暴层理,可借此与滨岸区平常波潮流作用下形成的交错层理相区别,也可借此与陆架上波潮流作用下水下砂坝移动后形成的交错层理相区别。风暴沉积少生物化石和生物扰动痕迹,可借此与具有众多生物遗骸和生物扰动痕迹的某些陆架残留沉积相区别。

风暴沉积与浊流沉积容易混淆,区别是: 风暴沉积层横向上厚薄变化快,底部的粗粒残留沉积无粒级递变现象,常见特征性的 HCS 层理,所含的生物化石主要是原地附近的生物群;而浊流沉积横向上变化慢,且变化系统有序,底部的波马层系的 A 层却有一定的粒级递变现象,多单向的爬升波痕交错层理和波痕交错层理,生物化石含有从较远地区来的成分。

## 二、风暴沉积的地区差异性和模式

风暴沉积在形成时和形成后所经历的改造,随不同沉积环境而出现显著差异。影响因素主要有: 水深、风暴作用与平常波潮流作用两方面相互消长关系、海陆变迁、物源等。

风暴沉积是在风暴高峰期间及其后能量衰退阶段堆积的。在风暴潮退潮作用下,岸边及近岸海底物质向海外输送。随水深的增大,风暴作用效应相应减弱,风暴沉积单层和总厚度都变薄,组成物质变细,并大体出现上述有序列的不同层理构造。

现知强大的风暴潮所能影响海底沉积物的深度远远超过一般波基面 15—20m 的深度。一些研究者观察了现代大陆架上风暴期间砂粒被搬动现象<sup>[4,14]</sup>。Hayes<sup>[8]</sup> 在墨西哥湾水深 40 m 处,Reineck 和 Singh<sup>[13]</sup> 在离岸 45 km 的北海水深 40 m 处都见到风暴沉积。在特大风暴时,风暴浪引起的海底周期流可出现在 200 m 水深处<sup>[4,5]</sup>。

海底沉积物受风暴潮及平常波潮流作用的效应,都随水深增加而逐渐减弱。因此,滨岸和浅海沉积的发育取决于这两方面作用的相互消长。一般说,越近岸,整个沉积剖面上风暴沉积所占比重越大,风暴沉积层次越多,风暴层单层厚度越大。

风暴沉积的发育与保存和海陆变动的趋势有密切关系。在有风暴作用的情况下,在

1) 同 p.14, 2)。

岸线向陆蚀退或比较稳定的地段, 滨岸不可能保存大量沉积, 而在滨面和浅海区应有风暴沉积留存。但在岸线向海外展地段, 特别在有大量泥砂供应的河口段, 风暴作用未必能将风暴前平常波潮流沉积全部冲蚀掉, 这样, 既发育了风暴沉积, 也保存好天气条件下的沉积, 形成具韵律性的多层成对小层结构。

风暴沉积的结构和层理特征受到源地供给物质粒度分布的直接影响。如果物源区没有粗粒物质供给, 当然就不可能出现风暴层底部的粗粒残留层; 相反, 如近岸区仅有粗粒物质而缺少细粒物质, 则风暴作用后仅残留砾石、贝壳等类粗粒层。在这些情况下就不出现风暴沉积的成对小层结构。

下面列举一些风暴沉积发育模式来表明在不同沉积环境下出现的差异性。这些模式都是从研究古代岩层中的风暴沉积相成果中得出的。

例一: 美国弗吉尼亚州西南部, 中、上奥陶统 Martinsburg 组, 古敞开海台风暴沉积<sup>[1]</sup> (见图 2)。

图 2 所示是一次向上变细的风暴沉积, 单层厚度 1—80 cm。A 与 B 之间界面清晰。B, C 为风暴沉积的成对小层。B 为骨骸完整的粒屑灰岩, C 为灰屑岩、粉砂岩、石英质粉砂岩和极细砂岩。C 层层理: 下为平行层理, 中为 HCS, 上为波痕交错层理, 有生物逃逸痕迹。A, D 为风暴后悬浮的最细物质及平常半深海沉积。

例二: 美国俄勒冈州西南部上白垩统 Cape Sebastian 但砂岩, 古前滨及滨外风暴沉积, 包括滨岸和近岩的、内陆架的、外陆架的沉积<sup>[2]</sup> (见图 3, 4)。

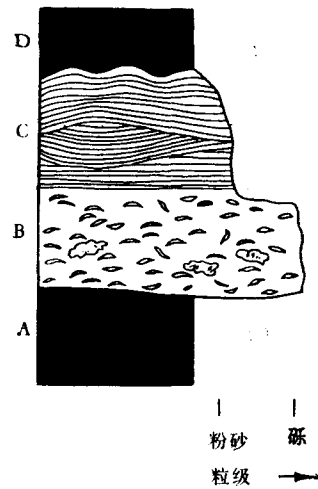


图 2 理想的风暴层序

A. 页岩; B. 骨骸完整的粒屑灰岩; C. 纹层层; D. 页岩。

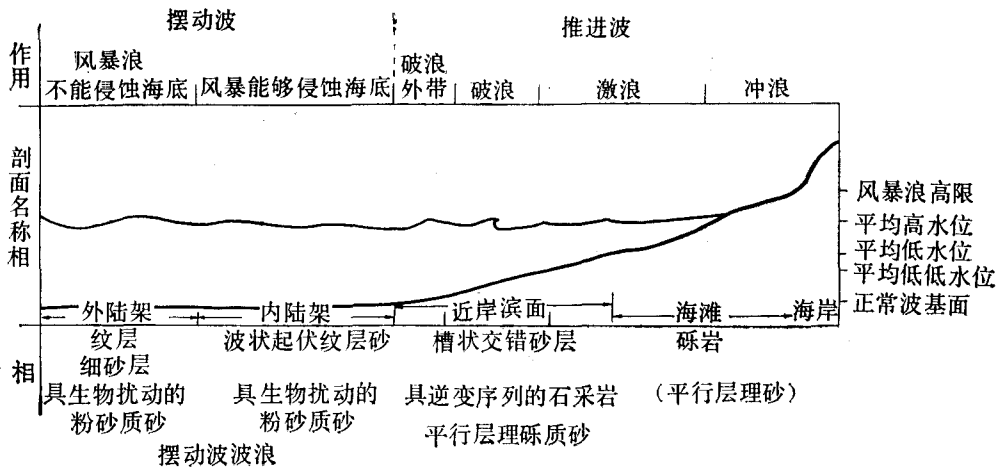
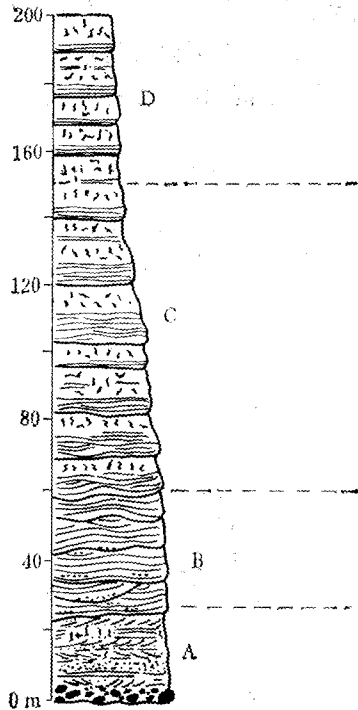


图 3

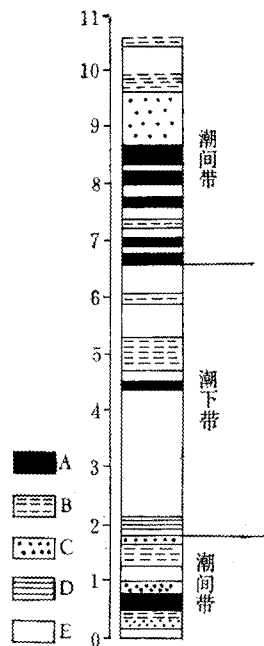


D段为平行纹层和生物扰动的砂质粉砂岩相。呈纹层的极细砂岩和生物扰动的砂质粉砂岩互层；爬行生物化石的数目、大小以及植物碎片数量，都向上渐增。属外陆架沉积；平常陆架沉积与陆架风暴沉积互层。

B段和C段为上部波状起伏交错层和生物扰动层砂岩相。本层的粒度、砾透镜体、波状起伏交错层理层的厚度都自下向上变小变少。生物扰动层的厚度，平行纹层层的厚度，生物扰动孔斑、植物碎片数量等自下向上增多。属内陆架沉积；C段为陆架风暴沉积与平常陆架沉积互层；B段为陆架风暴沉积。

A段为砾岩相。下为贝壳、砾岩等；上为槽状交错层理的砾质砂岩、平行层理的粗砂岩和粒级逸变的粗砂岩，局部有直立的生物孔穴痕迹。属海滩至近岸的风暴沉积。

图 4



高能条件下沉积(无生物化石):  
A. 层内砾岩; B. 内碎屑贝壳灰岩;  
C. 贝壳灰岩。  
低能条件下沉积(有丰富、多种生物化石): D. 微晶灰岩; E. 碎屑泥质灰岩。  
潮间带: 风暴沉积夹少量平常波潮流沉积。  
潮下带: 平常波潮流沉积夹少量风暴沉积。

图 5

例三: 加拿大北部 Somerset 岛上志留统 Read Bay 组灰岩, 古潮间带和潮下带风暴沉积和平常波潮流沉积<sup>[9]</sup>(见图 5)。

### 参 考 文 献

- [1] 邵虚生、严钦尚, 1982。上海潮坪沉积。地理学报 37(3): 241—251。
- [2] Bourgeois, J., 1980. A transgressive shelf sequence exhibiting hummocky stratification: The Cape Sebastian Sandstone (Upper Cretaceous) Southwestern Oregon. *Jour. Sed. Petrology* 50 (3): 681—702.
- [3] Brenner, L. R. and D. K. Davies, 1973. Storm-generated coquinaoid sandstone: Genesis of high energy marine sediments from the Upper Jurassic of Wyoming and Montana. *Geol. Soc. America Bull.* 84: 1685—1698.
- [4] Butman, B., M. Noble and D. W. Folger, 1979. Long term observation of bottom current and bottom sediment movement on the Mid-Atlantic Continental Shelf. *Jour. Geophys. Res.* 84(3): 1182—1205.
- [5] Ewing, J. A. 1973. Wave-induced bottom currents on the outer shelf. *Marine Geology* 5: M31—M35.
- [6] Goldring, R. and P. Bridges, 1973. Sublittoral sheet sandstone. *Jour. Sed. Petrology* 43: 736—747.
- [7] Harms, M. O., J. B. Southard, D. R. Spearing et al., 1975. Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Short Course 2, p. 161.
- [8] Hayes, M. O., 1967. Hurricane as geological agents: South Texas Coast. *Am. Assoc. Petroleum Geologists, Bull.* 51: 937—942.
- [9] Jones, B. and O. A. Dixon, 1976. Storm deposits in the Read Bay Formation (Upper Silurian), Somerset Island, Arctic Canada (An application of Markov Chain analysis). *Jour. Sed. Petrology* 46(2): 393—401.
- [10] Kelling, G. and P. R. Mullin, 1975. Graded limestones and limestone quartzite couplets: Possible storm deposits from Moroccan Carboniferous. *Sed. Geology* 13: 161—190.
- [11] Kreisa, R. D., 1981. Storm-generated sedimentary structures in subtidal marine facies with examples from the Middle and Upper Ordovician of Southwestern Virginia. *Jour. Sed. Petrology* 51(3): 823—848.
- [12] Lavelle, J. W., D. J. P. Swift, P. E. Gadd et al., 1978. Fair weather and storm sand transport on the Long Island, New York, Inner Shelf. *Sedimentology* 25: 823—842.
- [13] Reineck, H. E. and I. B. Singh, 1972. Genesis of laminated sand and graded rhythmities in storm-sand layers of shelf mud. *Sedimentology* 18: 123—128.
- [14] Smith, J. D. and T. S. Hopkins, 1972. Sediment transport on the continental shelf off Washington and Oregon in light of recent current measurements. In: Shelf sediment transport: Process and Pattern (D. J. P. Swift, D. B. Duane and O. H. Pilkey ed.). Stroudsburg, Pa, Dowden, Hutchinson and Ross, Inc., pp. 143—180.

## OVERVIEW OF THE STORM-GENERATED DEPOSITS ON NEARSHORE ZONE AND OPEN SHELF

Yan Qinshang

(*East China Normal University*)

### ABSTRACT

The investigation of storm as important mechanism for the transportation of sediments and generation of sedimentary structures in nearshore zone and open shelf has been increasingly carried out during the last decade, because these rare high energy events have the potential of preservation in the geological record disproportionate to their frequency and duration. Owing to the difficulty of making observation of modern storm deposits, many concrete results are summarized from the studies of storm sequences in the ancient rocks.

Sedimentary structures and textures used as criteria for identifying storm deposits are discussed in the light of the mechanics of storm process. A pair of basal lag deposit and laminated unit is formed, which is thought to have recorded a single storm event comprising storm peak erosion, subsequent rapid deposition and post storm reworking.

Storm deposits are complex and varied in different sedimentary environments. Four principal factors seem to control the variability in facies: (1) water depth, (2) relationship between the strengths of storm process and fair weather marine processes, (3) prograding stationary and transgressive trends, (4) availability of source materials. Thus, quite different storm sequence models appear. Models interpreted by other authors are also presented.