

二连盆地阿南地区早白垩世风暴沉积

张天营 赵激林 刘孟慧

(石油大学北京研究生部)

阿南地区早白垩世腾格尔组一段下亚段湖相碎屑岩中存在风暴沉积,层序自下至上依次为:(1)突变的底界与冲刷充填构造;(2)滞留沉积段;(3)大波状层理段;(4)丘状交错层理段;(5)波纹段;(6)生物活动段。本区风暴岩属搅混成因,其主要特征是:(1)不具单向底模;(2)底部粗碎屑段表现出振荡和多向水流形成的组构特征,无明显的粒序;(3)缺乏平行层理,发育丘状交错层理和波状层理。根据其层序差异和分布位置,划分出近岸型(粗型)和远岸型(细型)两类。

关键词 风暴沉积 丘状交错层理 搅混成因 近岸型 远岸型 碎屑岩

第一作者简介 张天营 男 24岁 助教 沉积学

二连盆地位于内蒙古自治区中部,为中、新生代断陷盆地。阿南凹陷位于盆地东北部,面积2700 km²以上,是在侏罗纪晚期大规模岩浆喷发后,经风化侵蚀转变而成的断陷型河流-湖泊充填盆地。其中阿南地区位于阿尔善同生断裂的下降盘(图1),其下白垩统发育完全。在腾格尔组一段下部亚段(以下简称腾一下亚段)沉积时期,以浅水湖泊环境为主。

笔者通过对该区十几口钻井岩芯的详细观察,在腾一下亚段中发现了多个风暴沉积层。

一、沉积相标志

(一) 主要沉积特征

一次风暴事件,可分为风暴前期、增强期、高峰期、衰减期和风暴后期五个阶段^[1],其沉积特征记录了风暴流在风暴事件各阶段的演化发展过程及标志。

1. 突变的底界和冲刷充填构造

在风暴增强期和高峰期形成的强烈涡流和无定向底流,对前期沉积物的表面挖蚀、冲刷,形成特殊的底面构造,如钵模、口袋构造等(图版I-1),这种特殊的底面构造仅在部分风暴层中见到(这与

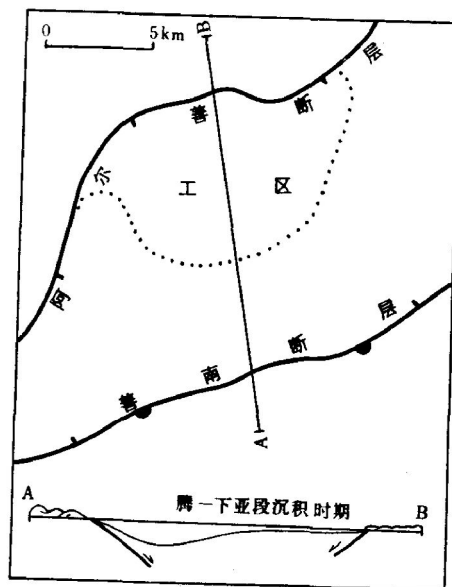


图1 工区概况示意图

取芯位置有关)。与海相比较,由于湖相风暴流的能量很低,因而其冲刷规模小,充填物也较细。

2. 滞留沉积

本区可见有两种组构:(1)内碎屑、细砾和砂形成的放射弧形组构(图版 I-2)和粗碎屑不均匀涡状组构(图版 I-5 底部)。这种滞留沉积的基质含量高,粗碎屑呈漂浮状分布,表现出明显的重力流沉积特征,反映了振荡为主、快速沉积的突发性风暴事件;(2)特殊的锯齿形弧片状砾屑顺层分布,凸面向上,个别斜立(图版 I-3);这种较稳定的分布反映延续时间稍长的风暴浪作用。滞留层的这种组构特征是风暴成因的重要标志^[2]。

本区风暴沉积底部粗碎屑段粒序不明显,平行层理也不发育。

3. 丘状交错层理

风暴衰减期的重要沉积构造,连同洼状交错层理,是风暴沉积的典型标志^[3]。

根据 Duke 等^[4]所提出的丘状交错层的一系列鉴别特征,在本区确认出多个丘状交错层(图版 I-4, 5),它们产于混合中粒砂至粉砂岩中,随岩性变细,丘的规模变小,并随泥质和碳质的介入使交错纹层显得清晰(图版 I-5)。在中粒丘状交错层的纹层中偶尔可见有磨圆的顺层泥砾屑(图版 I-4 右侧中部),这一现象可能反映水体较浅、风暴扰动强或接近物源区^[4]。

本区丘状交错层的丘高一般 0.8—2.5 cm,间距 7—20 cm,交错层倾角小于 10—12°,其规模远比海相的要小(后者丘高 10—50 cm,丘间距 1 m 以上,交错层倾角小于 10—15°)^[5],但形态相似。反映了海相与陆相小湖盆风暴浪能级的巨大差异。

丘状交错层可形成于风暴浪作用波及的各个深度,但能保存下来的是位于正常浪基面以下到风暴浪基面之间。

4. 生物成因标志

生物活动特征是风暴沉积的重要标志。在沉积缓慢的风暴后期,由于风浪的搅动,使水体中养分含量高,底栖滤食性生物开始发育,出现少数石针迹(*Skolithos*)属的垂直潜穴;随着环境逐渐稳定,潜穴数量增多并变小,为克鲁兹迹(*Cruziana*)所代替(图版 I-6);最后,水体静止,富含有机质的悬浮泥沉淀下来,底栖食腐泥生物开始发育,形成大量层面爬迹和觅食迹(图版 I-7),为软底构造。这是完整风暴层的遗迹化石组合特征。

若水体过浅(接近或位于正常浪基面),风暴过后环境依然动荡,营养供应仍充足,底栖滤食性生物很活跃,就在风暴砂层的顶部形成强烈的扰动而呈斑状构造。

本区还常见发育垂直小潜穴的固底,其顶面与下次风暴层的底呈冲刷突变接触。

5. 风暴砂层的顶面突变

因为大部分风暴沉积物有强烈的预选,这就形成一个间断分开了风暴砂与泥^[6],而与浊积物迥然不同。并且,此种突变界面常由于其下砂层的液化作用而变得不规则(图 2)。

(二) 粒度分布特征

从几处风暴砂层中取样得出的粒度概率图基本上为两段式(图 3);具少量分选差的滚动粗尾,跳跃总体分选较好,含量高达 50%,并与悬浮总体之间具过渡带,反映了经振荡水流作用的快速突变悬浮沉积。

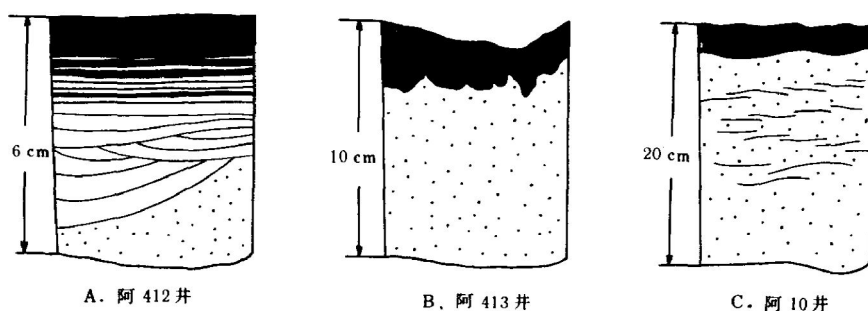


图2 突变的砂岩顶面

二、发育条件和类型

中生代至早第三纪是间冰期，全球气候比现在温暖得多，因而飓风（热带强气旋）在较高纬度地区出现频繁^[4]。早白垩世二连盆地处于热—亚热带气候，还受中纬度波动性气旋（冬季大风暴）的影响；加之火山、地震活跃（也可能成为风暴流形成的营力），本区风暴流的诱发机制很发育。

同时，本区在腾一下亚段时期以浅水为主，湖底平缓，南端为阿南凹陷深水区（图1），这种开阔的浅水环境十分有利于形成风暴流。

前已述及，本区风暴层滞留段的组构特征（粗碎屑的放射弧形和涡状分布，以及锯齿形片状砾屑的顺层上凸分布）均表明它们是在振荡和多向流状态下形成的，而风暴回流沉积中常出现的粒级递变构造^[7]却在本区罕见。同时，由高流态的层流所形成的平行层理，在本区缺乏，而是发育波状层理；也没见到单向流成因的底模。

造成以上这些结果，与本区的古地理条件密切相关。腾一下亚段时期，本区处于阿尔善断裂带的下台阶上（西北侧是较陡湖岸带，东南侧是通向凹陷深处的斜坡带），湖浅底缓，地形起伏不大，不存在形成风暴回流的关键条件——大范围一定坡度的斜坡。在风暴期间，本区处于风暴浪持续不断地搅动之中，即使有回流的产生，在其始发地也很微弱；并且，浅水水体的振荡运动复杂，能削弱和瓦解这种单向回流。

通过上述分析，对比刘焕杰等的风暴岩成因类型^[8]，本区腾一下亚段的风暴岩为搅混成因。此类风暴岩主要形成于开阔浅湖，其平缓湖底基本上位于风暴浪基面之上，在风暴期间，由直接作用于湖底的风暴涡流和无定向底流挖蚀、冲刷簸选而改造以往的碎屑物，并以悬浮状态为主，在振荡水体条件下，就地或近距离搬运后再沉积而成。分布广泛，遍及整个阿南地区。这种搅混型风暴岩层序发育都较完整，只少数上部受过其它水流或正常湖浪的改造，反映当时的沉积水深主要介于正常浪基面与风暴浪基面之间。

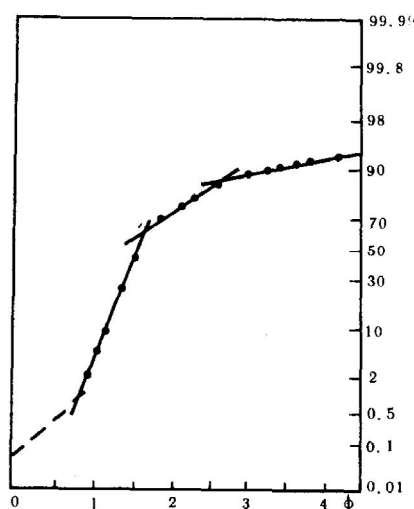


图3 风暴砂的粒度概率曲线

这种搅混风暴岩与原地风暴岩有很大区别。后者主要形成于滨岸带，层序上仅保存有下部的粗碎屑沉积，表现出很强的冲刷作用，见不到发育的丘状交错层。

当然，在本区西北侧的湖岸带可能有原地粗碎屑风暴岩，在东南端的斜坡带也可能存在回流风暴岩，但无钻井取芯，在此不做论述。

三、搅混型风暴岩层序类型与分布模式

本区风暴岩层的厚度一般小于 60 cm，比浅海相的要薄，出现频率也小。据其层序发育特点，划分出两种类型（图 4）：

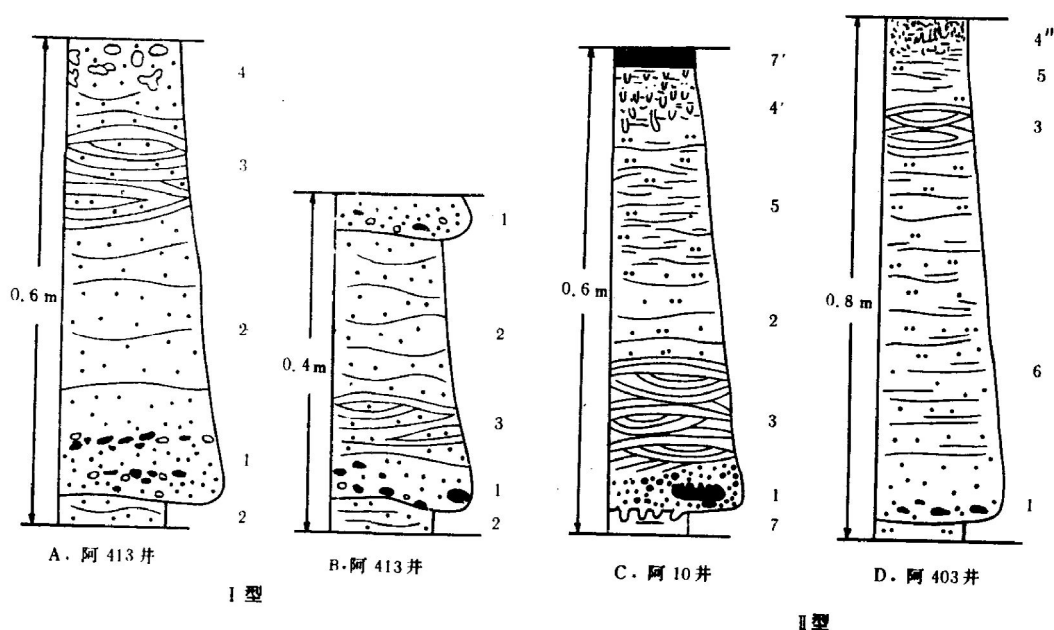


图 4 搅混型风暴岩的层序类型

1—含砾屑砂岩，2—波状层理砂岩，3—丘状交错层，4、4'、4''—分别为斑状构造、潜穴、生物扰动紊乱层，

5—浪成波纹层理，6—平行至斜波状层理，7、7'—分别为绿灰色和暗灰色泥岩

1. I 型（图 4A、B）

岩性较粗，底具明显的冲刷突变面，下伏为波状层理砂岩。从下至上由含砾屑粗砂岩渐变为波状细—中砂岩；顶部由于生物强烈扰动而呈斑状构造，或以冲刷面与其它沉积突变接触。丘状交错层规模较大，反映该类型形成于较浅的水体环境，主要位于正常浪基面—风暴浪基面之间的上部或正常浪基面附近。由于离岸近风暴浪能量强，能搅起近岸的粗碎屑而形成粗粒风暴岩。同时，由于位于正常浪基面附近，风暴过后环境持续波动，营养供应充足，底栖滤食性生物大量发育，从而形成强烈的生物扰动，或由于近岸其它水流的作用（如本区的沿岸水下扇入湖重力流），而使 I 型风暴岩层的顶部被冲刷掉，因此，层序有时不完整。

2. II 型（图 4C、D）

层序发育完整，从下至上由含泥质砾屑中—细砂岩变为泥岩，下伏为绿灰—深灰色泥岩至泥质粉砂岩。层序底为不太强的冲刷突变，丘状交错层的规模较小（有的丘高不足 1 cm），

表明该型风暴层是在风暴浪能量较低的较深湖中形成的。层序上部波纹状泥粉砂岩具一系列直立到倾斜的潜穴，再到表面迹的遗迹化石组合，有时原生纹理破坏较严重形成紊乱层；顶部一般突变为灰黑、暗灰色泥岩，为正常较深湖沉积。

因此，Ⅰ型风暴层主要形成于正常浪基面—风暴浪基面之间的下部（相当于本区沿岸水下扇的扇端部位），离岸远、水体较深，不受正常湖浪影响，因而风暴层能很完整地保存下来。

以上两类分别代表搅混型风暴岩的近岸型（粗型）和远岸型（细型）。下伏与顶覆沉积，以及层序上部生物遗迹发育特点的差异，是区别这两类风暴岩的重要标志。

根据上述分析，并参考刘光华等人的层序^[9]，笔者总结了本区腾一下亚段碎屑岩风暴沉积的综合层序和两类层序的分布模式，如图5所示。

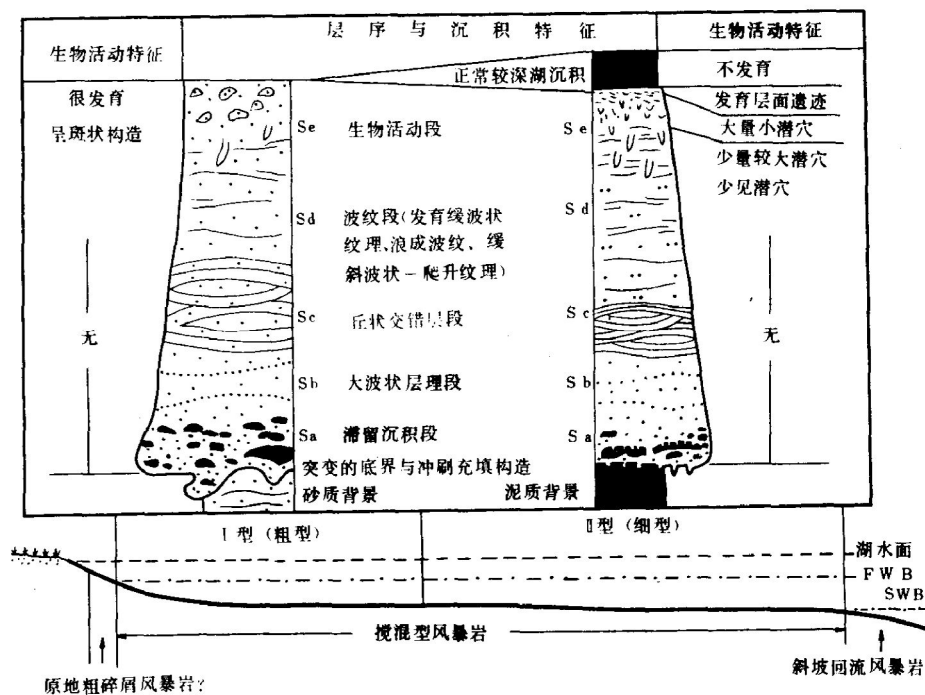


图5 风暴岩的综合层序和层序类型分布模式示意图

五、小 结

(1) 小湖盆同样可产生风暴沉积，丘状交错层也可由能量比海洋风暴小得多的风暴在非常浅（水深甚至仅1—2 m）的湖水中形成并保存下来^[4]，但它的形态很小。本区丘状交错层的丘高一般为0.8—2.5 cm，丘间距7—20 cm。

(2) 搅混型风暴岩，是一种与回流型和原地型风暴岩明显不同的风暴岩类型。形成于底部平缓开阔且水体较浅的湖区（形成范围介于正常浪基面—风暴浪基面之间）。这种搅混型风暴岩的广泛存在，表明当时的湖底基本上位于风暴浪基面之上，并可根据其两种不同类型（近岸型和远岸型）的分布，大致确定相对古水深或离岸远近。

(3) 在小湖盆中, 风暴事件还可能引起湖水位一定幅度的上涨。现代热带风暴常伴随着大规模的降雨, 对于陆相汇水盆地来说, 这种突发性的降雨, 就能引起湖水位明显上涨。这一特殊现象在海相风暴沉积中是见不到的。

工作中得到华北油田于英太、王佩金、曹广营、蔺连弟等同志的热情帮助, 在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] Allen J. R. L., *Sedimentary Structures*, Amsterdam-Oxford-Newyork: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982.
- [2] Jeffery D., Aigner T., In: G. Einsele and A. Seilacher eds. *Cyclic and event stratification*. New York: Springer-Verlag, 1982, 248-262.
- [3] Dott R. H., Bourgeois, J., *Geol. Soc. Am.*, 1982, 93, 663-680.
- [4] Duke W. L., *Sedimentology*, 1985, 32, 187-194.
- [5] Swift D. J. P. *et al.*, *J. Sed. Petrol.*, 1983, 53, 1295-1317.
- [6] Seilacher A., In: G. Einsele and A. Seilacher eds. *Cyclic and event stratification*. New York: Springer-Verlag, 1982, 333-349.
- [7] 孟祥化等, 沉积学报, 1986, 4 (2): 1-18.
- [8] 刘焕杰等, 沉积学报, 1987, 5 (3): 73-80.
- [9] 刘光华, 地质论评, 1987, 33 (3): 249-257.

LOWER CRETACEOUS STORM DEPOSITS IN A'NAN REGION, ERLIAN BASIN

Zhang Tianying Zhao Chenglin Liu Menghui

(Beijing Graduate School, University of Petroleum)

Abstract

Storm deposits were discovered in the lower submember of the first member of the Lower Cretaceous Tenggar Formation. The sedimentary sequences in ascending order are:

1. Sharp basal boundary with scour-and-fill structure;
2. Basal lag section;
3. Large current-bedding section;
4. Hummocky cross-stratification section;
5. Ripple bedding section;
6. Bioturbate section.

Based on these features, the tempestites were originated by stir-mix and the main properties are: 1. Having no unidirectional basal casts; 2. The fabric characteristics

formed by oscillation and multidirectional currents in basal clastic rock section; 3. Lacking parallel stratification and developing hummocky cross-stratification and current bedding. According to the sequence differentiae and the distribution localities, the storm deposits can be divided into nearshore (coarse) type and offshore (fine) type.

值得一读的三本学术专著

西北大学地质系邸世祥、祝总祺等编著的《碎屑岩储集层的孔隙结构及其成因与对油气运移的控制作用》《中国碎屑岩储集层的孔隙结构》及由邸世祥编写的《油田水文地质学》等专著，通过专家评审由西北大学出版社陆续出版，已经问世或即将问世。

《碎屑岩储集层的孔隙结构及其成因与对油气运移的控制作用》一书，共收入重要学术论文10篇及由邸世祥撰写的论文综述，涉及孔隙结构、成因及对油气运移的控制作用等诸多问题，是一本理论探讨与实践应用统于一体的专著。既展示了各类孔隙结构的总貌，又从各个侧面揭示了它们的内涵，提出了“有用孔隙度”“最小含油喉道半径”及“储层的孔隙结构应与储集条件有所区别”的新概念和新见解。在对油气运移的作用方面，不仅介绍了光刻模型制作技术，而且从卡断现象出发，提出油气二次运移是以小油滴或气泡方式进行的新观点。从一个角度集中反映了我国碎屑岩成岩研究的进展和水平。

《中国碎屑岩储集层的孔隙结构》一书是前书的姊妹篇，如果说前书深刻揭示了我国碎屑岩储层孔隙结构的内涵，此书则是形象地展现了储层孔隙结构多彩的丰姿。600多幅集精荟萃的图片构成本书的主体，全面、系统地介绍了我国碎屑岩储层孔隙结构、类型、成因及其识别标志，有科学根据地提出新的孔隙分类原则和孔隙级别划分，对我国储层研究的理论发展和油气勘探实践，必将产生潜在的深远影响。

《油田水文地质学》一书是国内第一本系统、完整的油田水文地质教材。此书在简明扼要叙述水文地质基本理论的基础上，以浓墨重彩论述了与油气勘探、开发密切相关的古水文地质和现代水文地质，内容丰富，论证充分，不仅是一部囊括中外最新研究成果的良好教材，而且也是一部对油气勘探、开发指津点迷的指导性专著，正如专家评语中所说，是“一部理论与实践紧密结合的典型著作”。

三本专著的问世为科苑增色添枝，作为一名先睹的读者为此感到高兴，也愿借《石油与天然气地质》的一角向广大读者推荐。

(贺自爱)