

塔里木盆地西北缘震旦纪风暴岩成因探讨

马宝林

(中国科学院兰州地质研究所)

提要 本文首次论证了塔里木盆地西北缘震旦纪风暴岩的存在。就风暴岩的结构特征、沉积序列、成因模式作了探讨。震旦纪风暴岩具有底面侵蚀-充填构造、无规则排列的砾屑灰岩层、粒序层及丘状层理,以及水平纹理和纹状交错层。风暴岩可分为二种类型:钙屑风暴岩为强的风暴产生的风暴浪和风暴流而形成,由一套砾屑灰岩及泥灰岩、泥岩组成;砂屑风暴岩是由强度相对较弱的风暴离岸回流将风暴高峰悬浮起的砂屑物带到浪基面以下的地方沉积而成,由砂岩、粉砂岩及粉砂质泥岩组成。

关键词 震旦系 风暴岩、风暴浪、沉积序列 沉积模式

作者简介 马宝林 男 57岁 研究员 沉积学和石油地质学

塔里木盆地西北缘震旦纪沉积物中,前人很少提到风暴岩。笔者将塔里木盆地的风暴岩介绍如下:

一、风暴岩的分布范围、层位及类型

风暴岩主要分布于盆地西北缘阿克苏以西的地区,肖尔布拉克、水泥厂一带最发育。在上震旦统苏盖提布拉克组分布的地方,均有不同规模的风暴岩存在。风暴岩以两种形式出现在苏盖提布拉克组中,一种为钙屑风暴岩,分布在苏盖提布拉克组上亚组的中下部碎屑岩组合中;另一种为砂屑风暴岩,分布于苏盖提布拉克组上亚组顶部的碳酸盐岩组合中。

二、风暴岩的特征

1.结构特征

由飓风、台风和中纬度冬季强风所造成的风暴流产生的沉积物,其特征如下:

(1) 具侵蚀-充填构造的底面 按形态可分沟状、箱状、袋状和波状四种。充填物为砾屑灰岩。袋状构造为长方形一般宽30—100cm,深10—15cm;沟状构造横剖面形态似倒三角形;袋状构造形态不规则。沟状和袋状构造规模较小,一般宽10—30cm,深5—15cm,波状构造为舒缓波状。

(2) 底部砾石层 为风暴高峰期产生的强烈的风暴涌流和具多向性的涡流在侵蚀-充填构造底面之上形成的粗屑沉积,这种粗屑沉积砾屑灰岩层在钙屑风暴岩中最为发育,其砾屑排列复杂,排列方式有倒“小”字形、多向叠瓦状、“羽状”放射形和圆弧形。

(3) 粒序层及块状层 风暴高峰期被卷起的悬浮物,在风暴减弱时,按重力分异作用,形成了粒序层和块状层结构。在盆地内的砂质风暴岩中,这种沉积结构极为发育,一般层厚几厘米至十几厘米。钙屑风暴岩中块状层可见,粒序层少见。

(4) 丘状层理 是风暴沉积最特征的标志。以微波状、低角底交错纹层为特征。纹层弯曲上凸而呈丘状,纹层倾斜的最大角度 10° — 15° 。在地层中所见到的丘状层理其纹层交错是复杂多样的。

盆地内风暴岩丘状层理十分发育,主要有三种类型:简单式、叠加式和复台式。

① 简单式 为单个的丘状层理,中心上凸两侧收敛,丘径约20cm—2m,丘高1—15cm,层系从几厘米到50厘米厚。

② 叠加式 为多个单一的丘状层理的重叠,无截切现象,表现出上攀波痕纹理构造的特点。丘径约15—25cm,丘高约1cm,层系厚约10cm。

③ 复合式 也是由多个丘状层理重叠而成,但丘顶有侵蚀截切现象,层系厚5—15cm。

(5) 底模构造 盆地内上震旦统风暴岩底面的底模构造,其形状、大小不同,无优选方位,底模形态有近圆形、“马蹄”形、“弹头”形。可能系风暴涡流对底层沉积物改造而成。

2. 粒度特征

风暴岩中不同纹层的岩石粒度分布是不同的,与正常沉积的岩石相比,风暴岩的概率累积曲线的斜率小,起始粒度 φ 值小,也就是说分选差,起始粒度粗。

3. 岩石学特征

(1) 砾屑灰岩 砾屑含量80—90%,三维空间呈片状和盘状,二维空间主要呈竹叶状,少数塑性弯曲呈波状。砾屑直径2mm—13cm,成分简单,为粉砂质微晶灰岩、泥晶灰岩。少数砾屑表面有一层泥质薄膜。结构不均一,以颗粒支撑为主,杂基成分主要为粉晶,粉砂次之。砾屑排列显示多向性。属近源型风暴岩,即风暴搬运距离较近,是风暴高峰期被风暴波击碎掏蚀、固结较弱的碳酸盐沉积,再由涌浪将这些碎片推拥到附近堆积而成。

(2) 再沉积的鲕粒灰岩 鲕粒含量约80—85%,杂基为粉晶和石英、长石,鲕径0.15—0.7mm,以0.4mm为主,鲕粒类型复杂,有正常鲕、薄皮鲕、负鲕、残余鲕及破鲕等,其形状为圆形和椭圆形,具同心圆结构,鲕心为破鲕、粉屑灰岩、残余鲕屑及石英砂等,这些不同环境下形成的不同类型的鲕混杂堆积,只有风暴搅动作用才有可能。

(3) 丘状层理发育的粉砂质灰岩、砂质砂屑灰岩 钙屑风暴岩中多数丘状层理纹层是由粉屑灰岩组成,粉屑含量约75—90%,粒径0.03—0.05mm,粉砂成分为石英、长石及少量的海绿石等,粉砂一般沿丘状纹层层面集中。它是风暴卷起的悬浮物质在风暴衰退期产生差异性的沉积作用下的产物。

(4) 钙屑砂岩 具水平层理,颗粒含量高(>90%),成分为石英(45%)、长石(10%)、灰岩岩屑(25%)、云母及少量的泥岩岩屑、海绿石、褐铁矿等,最大粒径0.2mm,一般为0.08—0.1mm高的颗基比,复杂的成分,分选较差,不同程度的磨圆,表明它是风暴衰退期悬浮物质在高流态下快速沉积产物。

(5) 具粒序层理的砂岩 颗粒含量高,成分以石英为主,长石、碳酸盐岩岩屑次之,还有少量的泥岩岩屑,具正粒序层理,粒序层理厚几毫米至几厘米,它是风暴后的离岸回流作用形成的,由于风暴回流能量小,形成稀性密度流,在风暴流基面以下的水体中沉积而形成薄层的正粒序结构的沉积物。

(6) 含斑性砂岩 一般为中—中细粒结构，水平层理较发育，层厚几毫米至几厘米，细颗粒为主，粗颗粒“悬浮”在细颗粒之中而呈斑状。它是风暴离岸回流形成的低密度流的产物。

4. 风暴岩的沉积序列

(1) 风暴岩的理想沉积序列

一次风暴的发生、发展过程形成的完整的沉积序列可归纳为一个理想的剖面序列（图 1）由下而上具有以下部分：侵蚀底面 A、粒序层 A、块状层 B、丘状层 C、平行层 D、沙纹交错层 E 和泥岩层 F。侵蚀面 A 是风暴高峰期的产物；A、B 层为风暴衰退期的前期产物；C、D 为风暴衰退期的后期产物；E、F 为风暴停息期的产物。

| 沉积剖面 | 代号 | 沉积层态 | 水流动态 | 沉积速率 | 沉积 (v) | 风暴阶段 |
|------|----|-------|-------------|------|--------|------|
| | F | 泥岩层 | 层流 | 低 | 上部与物 | 停息期 |
| | E | 沙纹交错层 | 低流态 | 中—低 | | |
| | D | 平行纹层 | 高流态 | 高 | 下部序列 | 衰退期 |
| | C | 丘状层理 | | | | |
| | B | 块状层 | 悬浮颗粒 再沉积 | 很高 | | |
| | A | 粒序层 | | | | |
| | A | 砾屑层 | | | 高峰期 | |
| | P | 基底 | | 很低 | | |

A、砾屑灰岩 A、粒序层 B、块状层 C、丘状层 D、平行纹层 E、沙纹交错层 F、泥岩层

图 1 塔里木盆地西北缘震旦纪风暴岩理想沉积序列图

Fig.1 The idealized sedimentary sequence of Sinian in the northwest margin of Tarim Basin

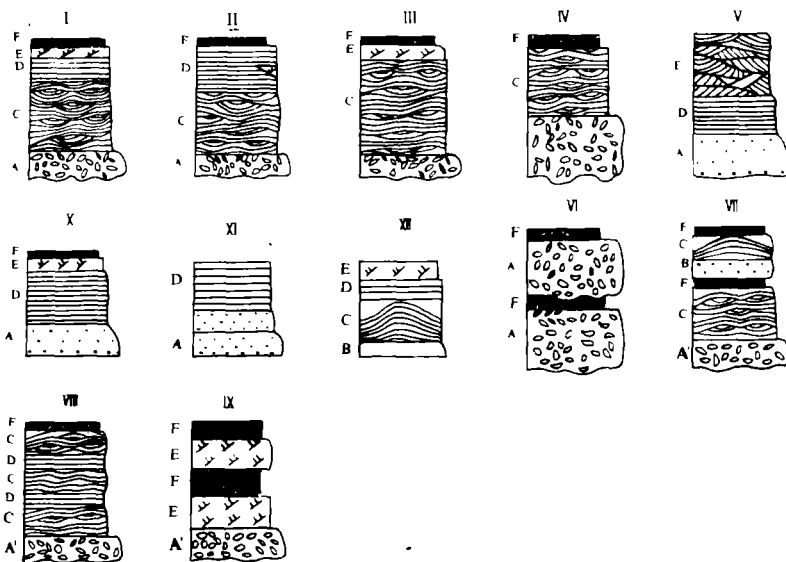


图 2 塔里木盆地西北缘震旦纪风暴岩沉积序列类型（图例同图 1）

Fig.2 The types of sedimentary sequence of Sinian tempestites in the northwest margin of Tarim Basin

(2) 震旦系风暴岩的沉积序列:

将塔里木盆地震旦系风暴岩与理想风暴岩序列进行对比,可分为三类(图2)。

A.似完整型 即在一次风暴事件中,风暴的高峰期、衰退期和停息期都有代表性的沉积物的保存痕迹。在盆地内发现的风暴岩有以下三种类型:

A-1 由A、C、D、E、F五个层组成:一般厚35—40cm。A层底部多为波状侵蚀面,丘状层C较厚(十几至廿几厘米),缺失A、B层,C、D、E、F层完整,层较薄,为风暴期较短的结合类型。

A-2 由A、C、D、F四层组成。基本特征与A-1相似,多缺失了E层,为一种水体底面较平坦环境的风暴产物。

A-3 基本特点与A-1相似,由A、C、E、F组成。

以上三种剖面序列,基本反映了只有一次风暴的三个发展期的产物,都缺少了衰退期前期的粒序层和块状层,重要的是风暴高峰期的产物明显,即风暴砾石层发育;衰退期后期的涡流产物保存较好,即丘状层理发育;停息期的产物较薄。这是一种强烈的风暴,风暴的高峰期迅速发展至衰退期,水体从涌流到涡流的发展较快。由于水体深度小于或接近于风暴浪基面,不易产生离岸流的重力流而缺失粒序层和块状层。故多发生在近滨带至前滨带。

B.不完整型 没有完整的保存风暴发展的各期的典型沉积,只是部分的保存了风暴产物的痕迹,有以下剖面序列类型:

B-1 由A、D、F层组成,厚13—20cm砾石层呈波状和箱状构造,C层丘状层为复合式。这种组合说明风暴持续时间较短,水体为较浅的滨海带。

B-2 由A、D、E组成,层薄(<10cm,粒序层底面不平,可能为风暴回流的影响而成。水体较深,相当于滨海带的下部。

B-3 由A、D、E、F层组成,厚仅10余厘米,粒序层A发育,底面呈微沟状,微波状,具含斑性砂岩,多出现在砂质风暴岩中,为离岸风暴回流作用形成,具有重力流的沉积特征。说明此种剖面序列形成于风暴波基面以下,其水深大约相当于陆棚区。

B-4 由A、B、D层组成。特征与B-3相同。

B-5 出现在砂质风暴岩中,由B、C、D、E层组成,C层厚度较大(30—45cm),大型的简单式丘状层理发育,缺失砾石层和粒序层,丘状层丘间距为1.1—1.5cm,丘高8—26cm,一般形成于水较深的正常浪基面与风暴波基面之间,相当于内陆区。

C.复合型 为多次风暴沉积叠置的结果,各层组合和缺失重复。

C-1 主要由A和F层叠置,个别由A、D、F层叠置。砾石层A较厚(10—25cm),底面多为箱状或袋状、沟状,横向变化大,呈透镜体。从底面形态可以断定风暴强烈,掏蚀作用明显。A、B、C层缺失,反映了水深较浅,风暴周期间隔短,而形成多次风暴沉积物的重叠。

C-2 由A、C、F、B、C、F层组成,砾石层A底面不平整,呈波状或袋状,厚十几厘米。丘状层,下部为复合式,上部为简单式。这种丘状层理的形成反映水体下浅上深的情况。说明风暴造成海水面的抬升,推测这种组合形成于开阔台地区。

C-3 由A、C、D、C、D、F层组成,丘状层与平行层叠置,以层薄为特征,砾石层底面为波状。丘状层理多为复合式和叠加式。在一次大风暴后又连续发生多次的小风

暴, 风暴周期短。水体较浅, 为滨海与台地之间的地区。

C-4 由 A、E、F、E、F 层组成。为迁移较快的大风暴的结果, 风暴不能在原地形成衰退期的沉积, 由于水浅, 衰退期的产物没能保存, 推测应为潮间滨海带。

(3) 风暴岩沉积模式

塔里木盆地震旦纪的风暴岩可分为两种: 即早期的钙屑风暴岩, 位于苏盖提布拉克组上亚组的中下部碎屑岩段中; 晚期的砂屑风暴岩, 位于苏盖提布拉克组上亚组的顶部碳酸盐岩段中。根据它们的遗留特征, 可再造其沉积模式。

① 钙屑风暴岩特征

- A. 复合式丘状层理极为发育, 可见到大型长波简单式丘状层理。
- B. 涌浪带留层堆积发育, 即砾石层 A' 发育。
- C. 侵蚀-充填构造发育。
- D. 岩层横向变化大。
- E. 风暴旋回层厚度较大 (十几厘米至 2m)。

从以上特征, 可以认为钙屑风暴岩产生的地理环境为浅水环境的潮间和潮下高能带的滨海和开阔台地的靠陆部分。风暴岩形成于正常浪基面附近, 水深一般小于 40m。

② 砂屑风暴岩的特征

主要是一种离岸线较远, 由风暴离岸回流形成的沉积物, 其特征为:

- A. 无涌浪堆积的砾石层。侵蚀-充填构造不甚发育, 岩性以粉砂和砂岩为主。
- B. 粒序层极发育。
- C. 丘状层不发育, 多以大型简单式丘状层和具交错层的丘状层出现。
- D. 沙纹状斜层理发育。
- E. 砂岩具含斑性。
- F. 岩层薄, 一般几毫米到几厘米, 最厚 < 40cm。
- G. 剖面序列较单一。

根据上述特征判断, 这些都反映沉积水体较深, 为浅海开阔台地的环境, 由于水体深大于等于风暴浪基面的深度, 风暴流的离岸回流存在, 将风暴流的向岸涌流悬浮物质带回, 由于重力分选作用加强, 而形成粒序层和块状层。当离岸回流流速逐渐减小, 就形成了沙纹交错层和平行层。应属远源风暴岩 (表 1)。

表 1 风暴岩沉积模式表

Table 1 Sedimentary model of tempestites

| 位置 | 陆棚边缘 | 浅海陆棚 | 开阔台地 | 潮坪 |
|--------|--------|--------------|----------------|----------------|
| 底部砾石 | | 不发育 | | 发育 |
| 沙纹层理 | | 发育 | | 不发育 |
| 沉积构造 | 水平层理 | 简单式丘状层理和平行层理 | 简单式丘状层理和平行层理 | 复合式丘状层理多向性砾屑排列 |
| 组构 | 富泥 | 含杂基, 砂岩含斑性 | 含杂基 | 无杂基 |
| 粒序层 | 不明显正粒序 | 明显正粒序 | 逆粒序或正粒序 | |
| 底界形态 | 平直状 | 微波状, 平直状 | 袋状, 沟状, 波状 | 箱状, 袋状, 沟状 |
| 风暴作用 | 无 | 离岸风暴流作用强 | 风暴回流和风暴浪作用 | 风暴浪作用 |
| 沉积序列类型 | | 6, 7, 8 | 1, 2, 3, 5, 10 | 4, 9, 11, 12 |
| 风暴岩类型 | | 砂质风暴岩 | | 钙质风暴岩 |
| 风暴岩性质 | | 远源风暴岩 | | 近源风暴岩 |

参加此项工作的还有温常庆、陈志祥、陈国俊、史基安、成玉等同志，在此表示感谢。

收稿日期 1990 年 8 月 9 日

参 考 文 献

- (1) 孟祥化等, 1986, 沉积学报, 4卷2期, 1-18页。
- (2) 余素玉, 1985, 地质科技情报, 4卷2期, 45-51页
- (3) 刘宝君等, 1987, 沉积学报, 5卷3期, 28-39页。

Discussion on the Origin of the Sinian Tempestites in the Northwestern Margin of Tarim Basin

Ma Baolin

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Sinian tempestites is proved for the first time in the northwestern margin of the Tarim Platform, which occur in the upper sub-formation of the Sugiterblack Formation of Upper Sinian System (simply called "upper sub-formation") and can be divided into two types: 1. Calcareneous tempestites which lie in the nearshore-deposited clastic rocks in the middle and lower parts of the upper sub-formation. 2. Sandy tempestites lie in the shallow-shelf-deposited carbonate at the top of the upper sub-formation

The calcareneous tempestites consist of calcirudites, calcisiltites, calcarenites, oolitic limestones and residual oolitic limestones, calcareneous sandstones, calcilutites and mudstones. The calcirutes are abundant with sharp eroded boundaries at the bottom and many multi-orientation marks. Scour and fill structures, graded beds and a variety of hummocky cross-stratifications are usually found in the typical tempestites.

The synthetic idealized tempestite sequence is composed of seven divisions above the erosional base. They are coarse-grained calcirudite division A (winnowed lag), graded division A, massive division B, hummocky cross-stratification division C, planar parallel lamination division D, ripple cross-lamination division E and pelitic division F from the bottom to the top

In comparison with the synthetic idealized tempestite sequence, the sectional structures may be divided into 12 types of quasi-complete, incomplete and complex sections and 9 of which occur in the calcareneous tempestites. They represent different stages of storm development controlled by storm intensity, the way of storm moving and current effect, duration of storm and depth of sea water.