



波痕面发育, D、E 中主要为锯齿形。

根据三种泥膜的剖面形态可以推断还原出其在砂体空间中发育的三维形态特征, 见图 3 下。多条泥膜可密集发育形成泥膜群, 泥膜群也有两种类型, 一种是单层泥膜之间的间距很小, 在 1~10 mm 之间, 而整个泥膜群的总厚度不大, 该类型发育在厚度不大

的薄层砂体之中, 其剖面形态以直线形为主, 可发育少量假缝合线形; 另一种单层泥膜之间的垂直间距较大, 在 3~15 cm 之间, 整个泥膜群厚度较大, 通常发育在 50 cm 以上的砂体之中, 可在整个砂体中近乎均匀的发育, 剖面上三种形态均可见到, 以缝合线形和不规则曲线形尤其是后者为多。

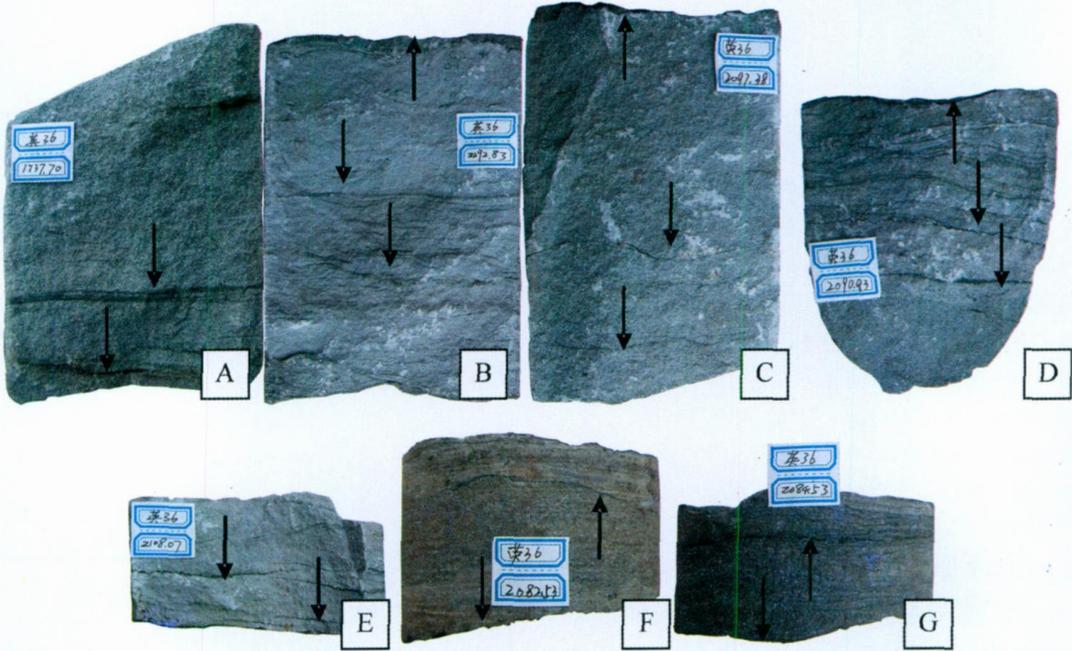


图 2 毫米级泥膜的剖面形态岩心照片  
Fig. 2 Core pictures of the mm level mud-film

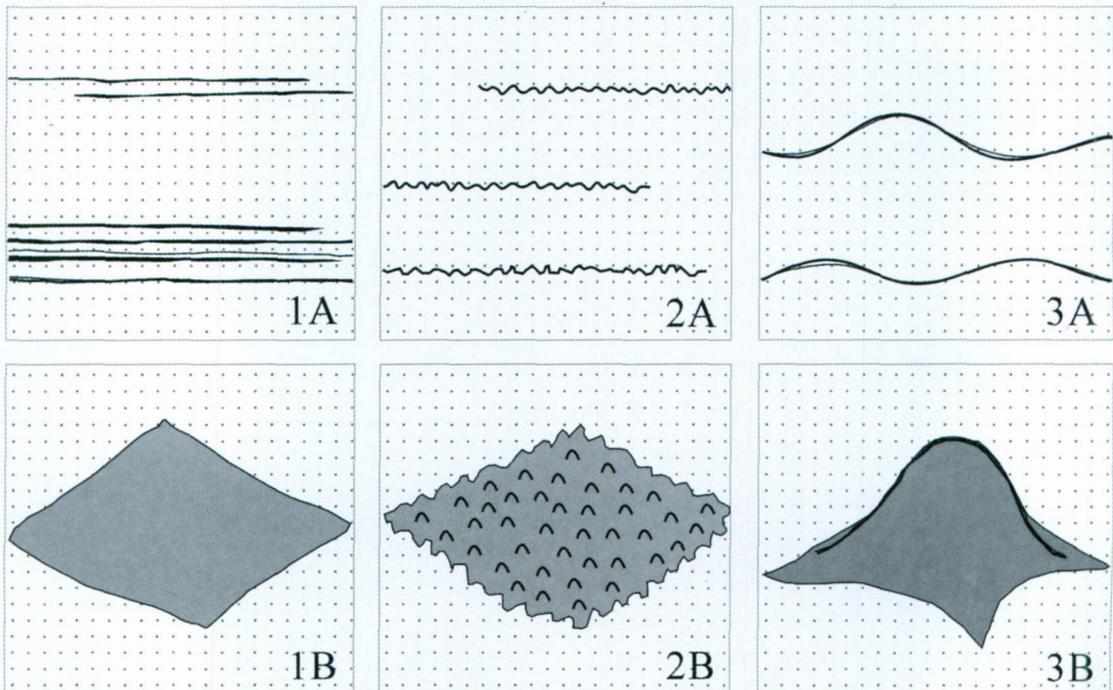


图 3 毫米级泥膜的三种剖面形态及其对应的立体模型示意图  
Fig. 3 Three section configurations and their models of the mm level mud-film

## 2 泥膜表面微变形构造的类型

泥膜的不同剖面形态, 对应了其表面不同的微变形构造。在研究区岩心中可以见到大量完整的泥膜面, 部分岩心照片见图版 I。通过岩心观察发现英台地区粉砂岩中的泥膜表面发育有以下 9 种典型的微变形构造:

### 2.1 直线形

泥膜表面大致平滑, 变形线为直线形, 宽通常小于 1 mm 长度跨过岩心, 可多条平行发育, 变形线两侧可存在一个微弱的高度差。该种变形构造多发生穿透, 见图版 I 中 N5。该类型的微变形构造其成因有成岩收缩和顺层滑动拖拽两种。

### 2.2 C/S形

泥膜表面比较平滑, 变形为 C 或 S 形, 宽 3~5 mm 左右, 长 5~15 cm 变形拐弯比较平滑, 两端尖灭状。该种变形构造多发生穿透, 见图版 I 中 N18。该类型的微变形构造其成因大多与生物扰动有关。

### 2.3 圆形

包含两种不同规模的圆形微变形构造: 一种为 1 mm 左右, 一种为 0.2~2 cm 左右。两种微变形构造其所在泥膜表面整体均比较平滑, 无明显的厘米级别的起伏, 其中前者不会发生穿透, 而后者则既可能发生穿透也可能仅仅是变形而没有穿透。两种不同规模的圆形微变形构造可同时发育在同一个泥膜面上, 见图版 I 中的 N10、N12 和 N16。两种规模的微变形构造其成因也有相应不同, 1 mm 左右的微变形成因是差异压实, 而 0.2~2 cm 左右的微变形构造其成因是生物穿孔或浅水雨滴滴落, 实际上是具有不同变形形态的微型遗迹化石<sup>[1]</sup>。

### 2.4 椭圆形

泥膜面整体比较平缓, 发育有大量的椭圆形或蛹形微变形构造, 大小和形态均比较稳定, 长轴在 1~2 cm 短轴在 0.5~1 cm 左右。该种微变形可见的起伏程度不大, 但是基本都发生了上下砂岩的穿透, 见图版 I 中的 N21。该种微变形构造的成因主要为局部大量同种类生物活动。

### 2.5 竹叶形

与椭圆形微变形构造类似, 但是长宽比明显要大很多, 且两端为尖峰状。宽度通常在 3~10 mm 左右, 长 1~6 cm 左右, 基本也可分为两种规模, 一种较大, 所在泥膜的平面同时发育有小规模的细小起伏, 未穿透, 见图版 I 中 N22。另一种较小, 所在泥膜面较

为平滑, 大都发生穿透, 见图版 I 中的 N19。

### 2.6 波痕形

该类型包含了两种不同波长规模的波痕形态: 一种波长在 1 cm 左右, 波高 3 mm 左右, 基本对称, 可见到明显的干涉; 见图版 I 中的 N15、N17; 一种波长在 6~8 cm 左右, 波高 8 mm 左右, 波痕的不对称性非常明显, 见图版 I 中的 N9、N13。这两种规模的波痕形微变形构造均不发生穿透, 其成因为浅水波浪的影响。

### 2.7 树枝形

微变形构造的形态与树枝相似, 表现出一定的方向性, 同时又有频繁的交叉, 宽度大多在 5 mm 以下, 朝一个大致方向逐渐变细, 见图版 I 中的 N6。

### 2.8 网状

不同方向的长条形微变形构造杂乱的发育在一起, 共同组成了一个网状的微变形构造, 单条微变形的宽度在 3~5 mm 左右, 见图版 I 中的 N7、N8。

### 2.9 不规则形状

数量最多的微变形构造类型, 几何特征无明显规律性, 有穿透和未穿透两种类型, 成因也有多种, 多数与差异压实或生物扰动有关, 图版 I 中除以上类型的微变形构造外其他均为不规则形状。

## 3 泥膜表面微变形构造的成因

砂岩内部泥膜的成因通常是短期的沉积间断时, 泥质悬浮物沉降或泥质沉积物被侧向冲刷至此而形成, 其物质来源主要有垂积和侧积两种, 前者为水中悬浮泥质的沉降, 后者为水体侧向侵蚀或冲刷所携带的泥质沉降。由于研究区轻微的沉积波动较为频繁, 因此泥膜的发育频率较高。根据岩心观察, 泥膜主要发生在三角洲前缘席状砂环境下, 河口坝次之, 水下分流河道最少。

### 3.1 同沉积干扰

由于泥膜本身的厚度在毫米左右, 因此其在形成时的微弱的扰动就可以引起变形, 如波浪、雨滴、生物等的扰动。由于研究区白垩纪相当一部分时间内水体非常浅, 导致波浪可对底部沉积物形成直接影响和改造, 甚至雨滴落入水中的压力都可对底部沉积的一层泥质薄层形成压迫而产生一个凹坑, 见图版 I 中的 N16 照片为断面的底部, 可见到一个明显的圆形下凹变形; 雨滴落入水中也可以直接击穿底部的一层泥质薄层, 见图版 I 中的 N12。据此岩心照片也可以推断当时所在位置在岸线附近, 水体是非常浅的, 判断

在数厘米以内。

### 3.2 差异压实

平缓的泥膜在成岩过程中会受到上下砂岩颗粒的不断挤压,从而在其表面形成状如蛙皮的凹凸起伏变形,规模大多在毫米以下。这种微弱的变形在大部分的泥膜表面都可见到,是一种基础背景型的微变形构造,常与多种典型的微变形构造伴生发育。

### 3.3 顺层滑脱拖拽

地下岩体受力后有时会发生一种小规模顺层滑动以卸载应力,当砂岩内部发育泥膜时,这种顺层滑动就很容易从泥膜面上发生,本次岩心观察中在部分泥膜表面发现了顺层拖拽的痕迹,见图版 I 中的 N5 和 N24 泥膜表面见到了不明显的滑动摩擦面和拖拽痕(N24 表面有拖拽痕迹并见黄铁矿粉末)。但 N5 的两条线性微变形构造并不是拖拽造成,因为其滑动方向并不一致,而是由其他原因造成。

### 3.4 生物扰动

生物扰动可发生在沉积的同时,也可发生在沉积之后的一段时间内,主要发生在水体能量比较弱的地方,这也是泥膜发育的有利条件之一。

### 3.5 成岩收缩

无论是泥岩还是砂岩在成岩和受压力过程中通常都会发生一定程度的收缩<sup>[2,3]</sup>,但是砂岩与泥岩因其物性和矿物骨架的不同而具有不同的收缩程度<sup>[4]</sup>,由于泥膜的厚度仅在毫米级别且上下均为砂岩,因此收缩后无法进行体积补充,导致出现多种不同形态的收缩裂缝。图版 I 中的 N5 两条直线形微变形构造可能是成岩收缩造成的,另外成岩收缩也可以形成树枝形和网状的微变形构造。

### 3.6 其他成因

除了以上几种常见的成因,一些偶发性事件也会造成泥膜表面发生微变形构造,如地震活动。地震造成的剧烈震动对地层尤其是处于半固结状态的砂泥互层沉积物具有很强的形态改造能力<sup>[5]</sup>,而泥膜面上下是物质转换面,不同的物性在震动中的反应程度不同造成砂泥界面发生明显的变形<sup>[6~8]</sup>。

## 4 泥膜的发育频率

限于岩心完整程度等多种因素,通过岩心观察并不能找到所有的泥膜,尽管如此,在研究区岩心观察过程中还是发现研究区的泥膜发育非常频繁。以英 36 井为例,其中 1 707.61~1 752.7 m 段岩心中发现断开的完整泥膜 15 层,2081.03~2119.63 m 段岩心

中发现断开的完整泥膜 31 层,这只是岩心沿泥膜面断开的数量,实际泥膜数量要多的多。在金 191 井对泥膜发育频率最高的 4 段席状砂微相成因的粉砂岩砂层进行了泥膜数量统计,见表 1,发现其发育的最大频率可达 30.7~48 条/m。根据英 36 井中统计到的最小泥膜数量和英 191 井统计到的最大泥膜数量情况,认为在正常情况下粉砂岩中泥膜的发育频率应该在 15~20 条左右,这一数量相当客观。

表 1 英 36 井岩心中毫米级泥膜发育数量统计及预测表

Table 1 Number and forecast of the mud films

序号	顶深 /m	底深 /m	岩心厚度 /m	完整泥膜数量 /条	完整泥膜频率 / (条/m)
Jin36-1	1707.61	1752.7	45.09	15	0.52
Jin36-2	2081.03	2119.63	38.6	31	1.8
Jin191-1	1824.85	1826.25	1.4	43	30.7
Jin191-2	1833.45	1833.95	0.5	22	44
Jin191-3	1834.25	1835	0.75	36	48
Jin191-4	1839.21	1839.81	0.6	25	41.7

从岩心统计可以看出,毫米级泥膜的发育频率与砂岩单层厚度或砂地比大致成线性反相关关系,即砂地比越小砂岩内毫米级泥膜的发育频率就越高,见图 4。这可以作为英台地区预测毫米级泥膜发育频率的一个重要参考依据,可以在确定沉积微相分布的基础上,根据微相类型和砂体单层厚度情况综合做出预测。

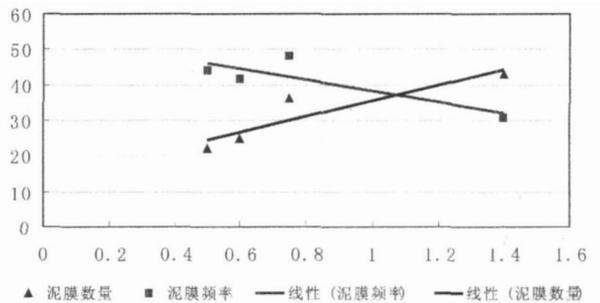


图 4 泥膜发育频率与单层砂岩厚度的关系

Fig 4 Relationship between the frequency of mud film and the thickness of single sand layer

## 5 泥膜对储层空间的影响

从部分含油岩心中可以看出,即使是砂岩内部的层理截面,对含油情况都会有一个明显的影响甚至控制,见图 5。这种由各种层理控制的界面在不含油的纯净的砂岩中基本是无法观察到的,但是其界面附近的微观孔隙特征对其渗透率造成了很大影响,导致界



图 5 层理面对含油情况的影响(北 1-55-检 E66 井)

Fig.5 Pictures of the oil-bearing cores with laminations interbeds (B1-55-JE66)

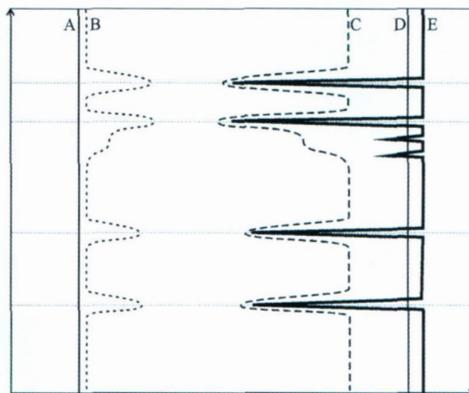


图 6 低渗层对储层影响的模式图

Fig.6 Model of the effect of low permeability layers to the reservoir

面处的垂直渗透率非常低,上下严重被分隔。而毫米级泥膜的厚度比这种层理截面要大很多,因此可以判断其对砂层内含油情况的控制作用将更加明显。

已有研究表明,砂岩中即使是各种层理构造中的泥质纹层也可以起到一定的阻挡作用,一个完整砂层的垂直/水平渗透率主要决定于层内不连续薄隔夹层的数量<sup>[9]</sup>,大量发育的毫米级泥膜对储层空间非均质性<sup>[10-11]</sup>和剩余油的影响是比较严重的<sup>[12-13]</sup>。毫米级泥膜的大量发育为储层内遗留较多的剩余油创造了条件,而且在开发后期,大量泥膜的存在能够使水淹变的非常复杂<sup>[12]</sup>,并使储层的开发效果发生明显改变<sup>[14]</sup>。毫米级泥膜对储层可以总结为图 6 所示的模式,其中左边线到 A 为常规剩余油范围,到 B 为实际剩余油范围, C 为实际含油饱和度, D 为常规含油饱和度, E 为实际渗透率。在通常情况下,即没有毫米级以下低渗层发育或他们没有被认识到的时候,均质砂岩储层的含油饱和度可以达到 D 剩余油为 A;当发育毫米级以下低渗层的时候,最大含油饱和度只能达到 C 而相同开采条件下的剩余油则要增加到 B 即大量低渗层的发育不仅可以降低储层的最大含油饱和度,还能够增加常规剩余油。

由于泥膜的厚度很小,因此其发育范围不会很大,只能,但如果一套储层中发育较多泥膜,开采时大部分油水要达到井筒就必须绕过泥膜的穿孔或边缘,导致在砂体内部的运移路线被复杂化,如图 7 所示。砂体内任意 AB 两处的油水要达到射孔位置而被采出,绕过泥膜的路径总长度是其直线运移长度的 3~5 倍以上,这明显加大了开采的难度,能够在一定程度上开发曲线特征。图 7 中只是顺层发育的平面泥膜,如果其有一定倾角或形状不规则,那么影响程度将更加明显,同时也会造成更多的剩余油。

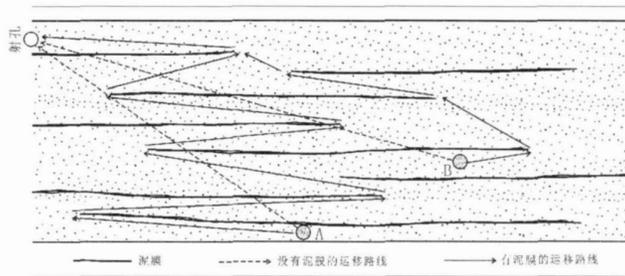


图 7 泥膜对砂体内部油水运移路线的影响示意图

Fig 7 Sketch map of the effect of mud-films to the transfer route of the oil-water in sand

## 6 结论

英台地区白垩纪沉积环境为典型的浅水三角洲沉积, 沉积物粒度细, 泥质含量较高, 频繁出现的短暂沉积间断期泥质沉积物的侧向冲刷沉淀是毫米级泥膜大量发育的地质背景和主控因素, 泥膜主要发育在席状砂环境中, 河口坝次之, 水下分流河道较少。而同沉积时的各种干扰、差异压实和成岩收缩等作用, 使得泥膜表面出现了大量各种形态的微变形构造, 并且有发生穿透和未穿透两大类。泥膜的发育及其微变形构造的形态特征反映了其沉积环境和后期的成岩作用等的一些细微的差别, 同时这种薄层泥质的存在对砂岩内部空间结构形成了严重干扰, 因此对泥膜及其微变形构造进行深入研究对确定英台地区的精细地质背景和储层结构具有重要意义。

## 参考文献 (References)

- 1 王清山, 王根厚, 李尚林, 等. 藏北比如中侏罗世马里组遗迹化石的发现及其意义 [J]. 现代地质, 2007, 21(3): 462-468 [Wang Qingshan, Wang Genhou, Li Shanglin et al. Ichnofossils from the middle Jurassic Mali Formation in Biyu county northern Tibet and their environmental significance [J]. *Geoscience* 2007, 21(3): 462-468]
- 2 张金功, 袁政文. 泥质岩裂缝油气藏的成藏条件及资源潜力 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 12(4): 336-338 [Zhang Jingong, Yuan Zhengwen. Formation and potential of fractured mudstone reservoir [J]. *Oil & Gas Geology* 2002, 12(4): 336-338]
- 3 赵振宇, 周瑶琪, 马晓鸣, 等. 水下收缩裂隙天然实验研究中获得的新认识 [J]. 地质论评, 2007, 53(3): 306-317 [Zhao Zhenyu, Zhou Yaoqi, Ma Xiaoming et al. Some discoveries on researching subaqueous mud-shrinkage cracks in present muddy sediments [J]. *Geological Review* 2007, 53(3): 306-317]
- 4 周瑶琪, 赵振宇, 马晓鸣, 等. 水下收缩裂隙沉积模式及量化研究 [J]. 沉积学报, 2006, 24(5): 672-679 [Zhou Yaoqi, Zhao Zhenyu, Ma Xiaoming et al. The sedimentary model and quantitative analysis of the subaqueous shrink cracks [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006, 24(5): 672-679]
- 5 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩 [J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 389-394 [Du Yuan sheng, Han Xin. Seismo-deposition and seismites [J]. *Advance in Earth Sciences* 2000, 15(4): 389-394]
- 6 魏垂高, 张世奇, 姜在兴, 等. 东营凹陷现河地区沙三段震积岩特征及其意义 [J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 798-805 [Wei Chui gao, Zhang Shi qi, Jiang Zaixing et al. Discovery and significance of seismite of Silurian in Member III at Shahejie Formation in Xianhe area of Dongying Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006, 24(6): 798-805]
- 7 袁静, 陈鑫, 田洪水. 济阳拗陷古近纪软沉积变形层中的环状层理及成因 [J]. 沉积学报, 2006, 10(5): 666-671 [Yuan Jing, Chen Xin, Tian Hongshui. Formation of loop bedding in Jiyang Sub-basin Paleogene [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006, 10(5): 666-671]
- 8 夏青松, 田景春. 鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组震积岩的发现及地质意义 [J]. 沉积学报, 2007, 25(2): 246-251 [Xia Qingsong, Tian Jingchun. Characteristics and geological significance of seismites of the Yanhang Formation Upper Triassic Ordos Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2007, 25(2): 246-251]
- 9 李琦. 沉积方式与碎屑岩储层的层内非均质性 [J]. 成都理工大学学报, 1996, 4(23(增)), 22-28 [Li Qi. Mode of deposition and intraformational anisotropic property of reservoir of clastic rock [J]. *Journal of Chengde University of Technology* 1996, 4(23( suppl. )): 22-28]
- 10 张吉, 张烈辉, 胡书勇. 陆相碎屑岩储层隔夹层成因、特征及其识别 [J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(4): 1-3 [Zhang Ji, Zhang Liehui, Hu Shuyong. The genesis and characteristics and identification of intercalations in reservoir of clastic rock [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing* 2003, 22(4): 1-3]
- 11 袁彩萍, 姚光庆, 徐思煌, 等. 油气储层流动单元研究综述 [J]. 地质科技情报, 2006, 25(4): 21-26 [Yuan Caiping, Yao Guangqing, Xu Sihuang et al. Review on fluid flow unit in oil & gas reservoirs [J]. *Geological Science and Technology Information* 2006, 25(4): 21-26]
- 12 单敬福, 纪友亮, 史榕, 等. 高分辨率层序地层学对河流相储层薄夹层的识别及其应用 [J]. 海洋地质动态, 2006, 22(5): 25-29 [Shan Jingfu, Ji Youliang, Shi Rong et al. Application of high-resolution sequence stratigraphy to identification of thin interbeds in fluvial reservoir [J]. *Marine Geology Letters* 2006, 22(5): 25-29]
- 13 陈程, 孙义梅. 厚油层内部夹层分布模式及对开发效果的影响 [J]. 大庆石油地质与开发, 2003, 22(2): 24-27 [Chen Cheng, Sun Yimei. The distribution patterns of the interlayers within thick pays and their impact on recovery efficiency Shuanghe Oilfield [J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing* 2003, 22(2): 24-27]
- 14 王振彪, 李伟. 块状气顶底水油气藏低渗透夹层研究 [J]. 石油勘探与开发, 1996, 23(6): 42-46 [Wang Zhenwei, Li Wei. A research method of low permeability interbeds within a massive petroleum reservoir with gas cap and bottom water [J]. *Petroleum Exploration and Development* 1996, 23(6): 42-46]

# The Micro-Transmutation Structures and the Reservoir Significance of mm-class Mud-film in the Silt in Yingtai Area

ZHOU Yong-bing WANG Xiu-juan WANG Hai-qiao JI Qing-sheng

(Exploration and Development Research Institute of Daqing Oil Field Heilongjiang Daqing 163712)

**Abstract** There are many thin mud laminae of mm-class in the Cretaceous equal silt stone in Yingtai area western Songliao Basin which we call them mud-films have a thickness between 0.2 and 3 mm and the main component is shale while some are carbon dust layers. They are three kinds of conformation of mud-films on section: close-straight line, serrated denticle and irregular curve. There are many micro transmutation structures with the scale less than 3 mm on the surface of mud-films, we divide all the micro transmutation structures into 9 types: straight line, C/S circle, ellipse and leaf of bamboo, ripple mark, twig mesh and irregular patterns. Some micro transmutation structures are too hard to be breakthrough and so the silt stone up and below the mud-film can connect each other. The origin of the mud-films are mud subsidence or sideway mud erosion in may momentary sedimentary break. There are many causes of formations of the mud-films such as syndeposit interfere, differential compaction, bedding glide, bioturbation, diagenesis shrink and earthquake activities. The study on the cause of formations and micro transmutation structures of the mud-films will have an important significance for the research of sedimentary environment and the fine space structure of the reservoirs.

**Key words** mud-film, micro transmutation structure, breakthrough, cause of formation

图版 I 说明: N1 英 36 井 1 702.00 m 顶面, 可见差异压实形成的微型不规则铸模; N2 英 36 井 1 712.00 m 顶面, 有轻微起伏和不明显的摩擦痕迹; N3 英 36 井 1 715.00 m 底面, 见轻微的差异压实变形并表现出不明显的定向性, 含少量金黄色黄铁矿粉末; N4 英 36 井 1 721.66 m 顶面, 整个泥膜面表现出波痕的特征, 表面又被细小的差异压实变形所复杂化; N5 英 36 井 2 103.17 m 底面, 平整稳定的泥膜, 厚度 1~2 mm 左右, 发育两条横穿岩心的微裂缝, 宽度在 1 mm 左右, 形成穿孔; N34 英 6 井 2 104.57 m 顶面, 平整稳定的泥膜, 厚度 1 mm 左右, 见少量黄铁矿粉末, 发育明显树枝形穿孔变形, 复杂且互相连通; N7 英 36 井 2 104.67 mm 平整稳定的泥膜, 厚度 1~2 mm 左右, 发育明显的网状穿孔变形; N8 英 36 井 2 104.67 mm 特征同 N35 穿孔面积稍大; N9 英 36 井 1 748.30 mm 底面, 整个泥膜面就是一个明显的不对称波痕, 波高 4~6 mm 左右, 波脊距离 7 cm 左右, 泥膜厚度在 3 mm 左右; N10 英 36 井 1 748.70 m 顶面, 较稳定的泥膜, 发育微型的差异压实变形, 见少量圆形穿孔, 可能为垂向虫迹; N11 英 36 井 1 748.00 m 顶面, 有轻微变形的泥膜, 被差异压实变形复杂化, 局部发生不规则形态的穿透; N12 英 36 井 1 750.9 m 底面, 稳定的泥膜, 厚度在 3~5 mm 左右, 发育有一定数量的圆形或者椭圆形穿孔, 可能为生物钻孔造成; N13 英 36 井 2 083.23 m 顶面, 较稳定的泥膜, 表面被差异压实变形复杂化, 形成类似于生物扰动的变形, 但没有发生穿透; N14 英 36 井 2 082.33 m 顶面, 稳定平整的泥膜, 被差异压实复杂化, 形成大量类似于生物化石槽模的变形, 宽 5 mm 左右, 长 0.5~3 cm 不等, 弯曲, 但没有发生穿透, 整个泥膜面大量发育直径和高度都在 1 mm 以下的细小突起变形, 为上下粉砂岩颗粒对压所形成; N15 英 36 井 2 082.53 m 底面, 平稳的泥膜, 发育大量定向排列的小型波痕, 波高 3 mm 左右, 波脊距离 1.5 cm 左右, 基本对称, 整个波痕面发育次一级的颗粒差异压实变形, 推测形成环境为近岸浅水, 短期内无物源供应, 且风力很小波浪非常细; N16 英 36 井 2 082.53 m 底面, 平稳的泥膜, 厚度在 2 mm 左右, 见不明显的波痕, 整个表面被 2~4 mm 级的颗粒差异压实变形所复杂化, 见多个近圆形的铸模, 推测环境与 N15 相似但是水体稍微变深, 细小的波浪影响不到, 但是较大的雨滴可以对底部沉积的泥质形成压迫造成轻微下凹, 未发生穿透; N17 英 36 井 2 082.83 m 顶面, 平稳的泥膜, 见明显的小型波痕槽模, 波高 3 mm 左右, 并表现出两个方向的波痕发生叠加的特征, 未发生穿透; N18 英 36 井 2 083.23 m 顶面, 平整稳定的泥膜, 厚度在 2~3 mm 左右, 发育大量 C 形或 S 形的穿孔变形, 宽 3 mm 左右, 长 1.5~6 cm 不等, 推测为生物扰动形成; N19 英 36 井 2 084.53 m 底面, 平整稳定的泥膜, 表面被大量毫米级的颗粒差异压实变形复杂化, 见较多树枝状或者折线形穿孔, 宽 4~5 mm 左右, 长 1.5~5 cm 不等, 可能为生物扰动成因; N20 英 36 井 2 086.05 m 顶面, 平整稳定的泥膜, 厚度在 3 mm 左右, 表面见大量可能为生物爬行所形成的变形, 未发生穿透; N21 英 36 井 2 087.03 m 顶面, 平整稳定的泥膜, 见大量椭圆形或蝉蛹形穿透变形构造, 为生物扰动造成, 整个表面被毫米级的颗粒差异压实变形复杂化; N22 英 36 井 2 087.03 m 底面, 稳定的泥膜, 厚度在 2~3 mm 左右, 见大量竹叶状槽模, 但未发生穿透, 推测为生物遗体或蠕虫爬行所形成, 整个表面被 2~3 mm 左右的差异压实变形复杂化, 形成类似橘皮的变形; N23 英 36 井 2 090.83 m 顶面, 平稳的泥膜, 厚度 1~2 mm 左右, 发育大面积的不规则型状穿孔; N24 英 36 井 2 102.65 m 平整稳定的泥膜, 厚度 2 mm 左右, 见不明显的滑动摩擦痕, 表面有大量金黄色黄铁矿粉末顺层发育, 未发生穿透。(标签位于岩心上半部分表示该面为顶面拍摄, 位于下半部分表示为底面拍摄)

图版 I

