

文章编号: 1000-0550 (2005) 02-0225-07

东濮凹陷下第三系沙三段盐岩和膏盐岩的成因

纪友亮¹ 冯建辉² 王声朗² 谈玉明² 张宏安² 王德仁²

1 (同济大学海洋与地球科学学院 上海 200092) 2 (中原石油勘探局 河南濮阳 457001)

摘要 在东濮凹陷下第三系沙三段发育暗色泥岩与盐岩和膏盐岩的频繁互层沉积,暗色泥岩为深水成因。根据盐岩和膏盐岩的沉积序列特点、与盐岩和膏盐岩互层的泥岩和砂岩的沉积特点,沙三段沉积期的古气候和古环境特点,认为盐岩和膏盐岩是浅水蒸发成因的。深水相泥岩与浅水成因的盐岩或膏盐岩频繁互层,说明沙三段沉积时期,湖平面变化频繁。也正是由于湖平面变化频繁,在沉积中心的周围主要物源方向上形成一系列低水位期的砂体。这些低水位期砂体是形成岩性油气藏的主要储层。

关键词 盐岩和膏盐岩成因 湖平面变化 低位期砂体

第一作者简介 纪友亮 男 1962 年出生 教授 石油地质学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

关于东濮凹陷下第三系沙三段盆地中央暗色泥岩中的岩盐和砂岩的成因,前人作过很多工作,也一直存在着争议。李任伟等认为是陆相湖盆蒸发成因^[1]。也有许多学者持深水成盐的观点^[2,3,4,5],认为来自地壳的深层卤水是盐岩的主要来源,其证据有三:(1)盐岩与深湖相暗色泥岩、油页岩互层;(2)深水泥岩中有深水重力流砂体;(3)缺少干旱气候环境的红层。但深水成盐说不能解释盐岩和膏盐岩平面分布范围局限(仅分布在盆地的沉积中心),利用“分层卤水”^[2,4]或“密度差”^[2,4]来解释这种分布不附和扩散定律,由于扩散作用的存在,湖水中不可能形成如此大的浓度差,以至于局部地区沉积盐岩,大部分地区沉积暗色泥岩,若是深水成盐,全盆地都应该有盐岩分布。而且,在本次研究过程中发现了许多浅水标志和蒸发成因的沉积序列。深湖相泥岩含蒸发盐,说明湖平面变化引起了深水与浅水的交替,深水时形成暗色泥岩,浅水时形成蒸发盐,即盐岩为深盆浅水成因。出现这些争议的原因,在于其所建立的模式为静态沉积模式。本次研究通过分析下第三系沙三段沉积时期的湖平面变化,建立起动态沉积模式,认为暗色泥岩为高水位期的沉积,盐岩和膏盐岩为低位期的盐湖沉积,砂岩为低水位三角洲砂体。

1 东濮凹陷下第三系沙三段地层岩性特征及盐岩成因分析

1.1 东濮凹陷下第三系沙三段地层岩性特征

东濮凹陷下第三系沙河街组沙三段为一套下细上粗的暗色反旋回沉积,在中央隆起带其厚度为 1 500~2 500m 左右,在凹陷深处厚达 3 500 m。沙三段自上而下划分为沙三¹、沙三²、沙三³、沙三⁴四个亚段^[2,3]。沙三段发育有三套盐岩沉积^[2,3],其分布特征见图 2。沙三段是东濮凹陷主要生油层系,也是主要储集层系之一。其岩性特征可以归纳为如下三种类型:

第一种为膏盐沉积类型。主要分布在文留南部及胡状集地区,该区沙三⁴亚段下部为灰白色泥膏岩、膏盐岩、盐岩与深灰色泥岩互层,上部为泥岩、灰质页岩夹粉砂岩、泥质粉砂岩、向南砂岩增多。盐岩及膏岩往往向四周依次过渡为薄层碳酸盐岩、暗色泥岩和粗碎屑岩。

第二种类型为半深湖—深湖相的灰色泥岩、黑色油页岩沉积。主要分布于前梨园、濮城、卫城、葛岗集、海通集地区。岩性主要为灰、深灰色泥岩、薄层高电阻灰质页岩与粉砂岩互层,夹少量油页岩,在某些位置也夹有 0.20~5.0m 厚的砂岩。

第三种类型是分布于凹陷边缘及马厂构造高部

位的滨湖—浅湖、三角洲相的红、灰色砂泥岩和砂岩沉积,砂岩很发育。最大厚度在胡状集地区为 1 500 m 以上,前梨园地区在 1 800 m 以上。

1.2 东濮凹陷下第三系沙三段盐岩成因分析

在研究东濮凹陷沙三段盐岩的沉积特征时,发现暗色生油岩(泥岩和页岩)与盐岩和膏盐岩密切共生,并认为是盐岩和膏盐岩是蒸发成因的,即深盆浅水成因的蒸发岩,其主要证据如下:(1)蒸发岩只分布在凹陷北部的沉积中心;(2)盐岩和膏盐岩与暗色泥岩(生油岩)和油页岩在横向上呈相变关系,在垂向上呈频繁韵律互层;(3)化石组合与整个渤海湾盆地一致,仅某些层位化石偏少,没有发现海相化石;(4)某些盐岩和膏盐岩发育段有较薄的红层、偶见沉积间断,局部发育干旱氧化环境标志;(5)这些膏盐岩在平面上和横向上都具有像干旱环境成因的蒸发岩那样的完整的碳酸盐—硫酸盐—石盐组合序列,在

这种序列中,石盐较发育,石膏次之,泥岩不同程度地含钙质。而与之互层的暗色泥岩具有深水成因的标志^[2-5](图 1A)。

1.3 盐岩的垂向序列与海水成因的盐岩的成因序列相同

东濮凹陷沙三段具有巨厚的盐岩、膏盐岩沉积。整个凹陷中盐岩都具有相似的沉积特征。盐岩、膏盐岩层分布于凹陷北部的沉积中心,面积约 250 km²。剖面上为暗色泥页岩与盐岩和膏盐岩组成的韵律层(盐岩和膏盐岩占地层总厚度的 35%),盐岩单层厚度 1~30 cm,其中夹石膏或泥质,在岩心上形成“年轮”(竹节状突起)^[1-7](图 1D)。石盐晶体大约 8~12 mm,他形为主^[1-7](图 1D)。石膏为白色纤维状晶体,纹层状,与黑色泥岩互层(图 1B、C),或成雪花状晶体分布于黑色泥岩之中。

东濮凹陷沙三段盐岩、膏盐岩、碳酸盐岩在垂向

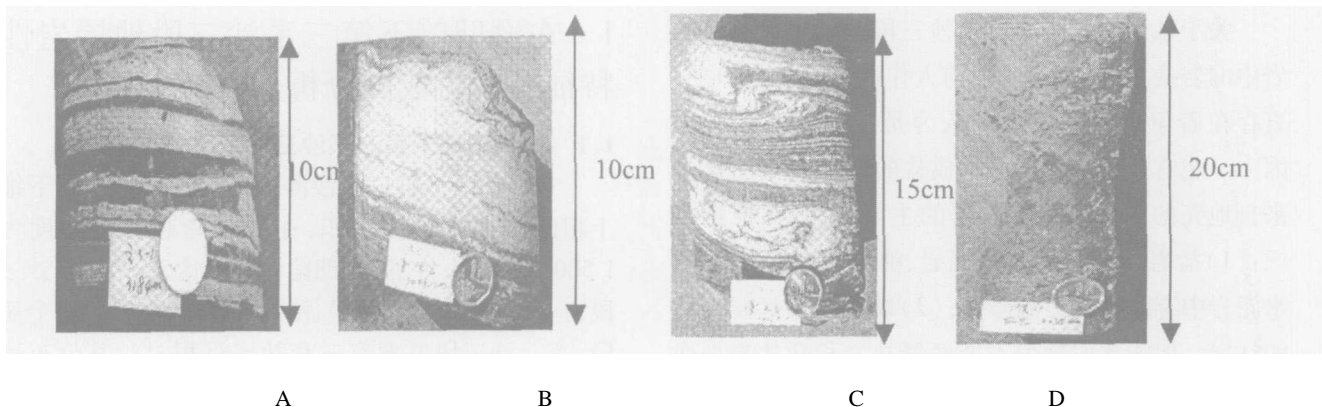


图 1 东濮凹陷沙三段盐岩的沉积及结构特征(A碳酸盐岩纹层,B、C石膏,D盐岩)

Fig 1 The character of sedimentation and structure of salt rock in 3rd member of Shahejie Formation in Dongpu depression (A: Carbonate lamina B, C: Gyp sum, D: Halite)

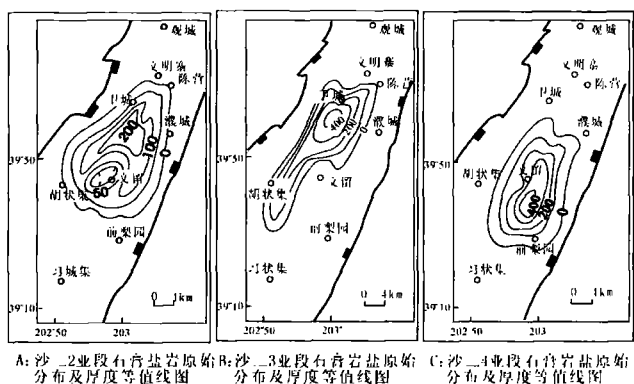


图 2 东濮凹陷沙三段岩盐的分布特征

Fig 2 The character of distribution of salt rock in 3rd member of Shahejie Formation in Dongpu depression

上有明显的沉积序列,每一完整的序列都由三部分组成(图 3):1)在每一沉积序列的开始,为暗色泥岩与薄层碳酸盐岩韵律互层,为相对湖平面较高,水深较大时期的沉积;2)之上为薄层石膏、或暗色泥岩夹薄层石膏、或暗色泥岩中含各种石膏晶体,为湖水开始大量蒸发、相对湖平面开始明显下降、水深较浅时期的沉积;3)最上部为 10~30 cm 厚的盐岩层,这是由于湖水大量蒸发,相对湖平面下降到最低、甚至湖水消亡时期的沉积。有时在盐岩序列中,缺少第一部分。序列中下部的碳酸盐纹层为湖水刚刚开始浓缩时沉淀的,因为碳酸盐的溶解度低,只要湖水稍微浓缩,碳酸盐就开始沉淀。湖水的浓缩是由于蒸发量大于河流的注入量引起的,并不是只有蒸发没有注入,

所以此时仍有陆源碎屑物质的供给,因此在靠近盆地的中心部位易形成碳酸盐与暗色泥岩互层,但在盆地的边缘地区仍然沉积三角洲等粗碎屑岩体。当湖水浓缩到海水浓度的 10%时,石膏开始沉淀^[7],主要形成石膏纹层。由于此时仍不可避免有陆源碎屑物质的供给,因此在靠近盆地的中心部位出现黑色泥岩含石膏晶体,在盆地的边缘地区继续出现三角洲等粗碎屑岩体。当湖水浓缩到海水浓度的 5%时,盐岩开始沉淀^[7],由于盐岩的溶解度高,因此其沉淀的速度也快,往往形成 10~30 cm 厚的盐岩。此时,盆地周围河流往往发生断流,陆源碎屑物质的注入停止,因此盐岩周围没有对应的碎屑沉积物,单层盐岩内部也不夹暗色泥岩。

整套层段以盐岩为中心向四周过渡为膏盐岩、暗色泥岩夹薄层膏盐岩和薄层碳酸盐岩^[1,2],即在湖水的浓缩过程中的沉积顺序为:碳酸盐岩、膏盐岩和盐岩。横向沉积积序列与海水蒸发盐的沉积序列相同,说明东濮凹陷沙三段盐岩是蒸发成因的。

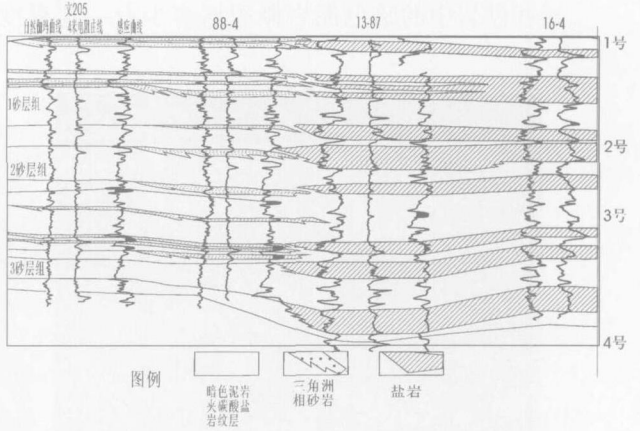


图 4 东濮凹陷文东地区沙三段岩性横向变化

Fig 4 The lateral variation of lithology of the 3rd member of Shahejie Formation in Wendong area of Dongpu Sag

1.5 东濮凹陷沙三段湖平面变化频繁的证据

根据沙三段暗色泥岩与岩盐的互层频率,得出沙三³⁻⁴亚段的湖平面变化频率大于 1000 次/Ma,其证据如下:

1.5.1 暗色泥岩与盐岩和膏岩频繁互层 (图 1、图 4)

若盐岩和膏岩的平均单层厚度按 10 cm 计算,则沙三段至少发育 5 000 层膏盐岩。这些膏盐岩只分布在凹陷北部沉积中心,某些盐膏岩发育段有较薄的红层、偶见沉积间断,局部发育干旱氧化环境标志。这些膏盐岩还具有象干旱环境成因的蒸发岩那样的完整的碳酸盐—硫酸盐—石盐组合序列,在这种序列中,石盐较发育,石膏次之,泥岩不同程度地含钙质。而与之互层的暗色泥岩具有深水成因的标志,同时这种暗色泥岩也与砂岩互层^[2,3,4,5,7]。

1.5.2 与深水相暗色泥岩互层的块状砂岩中含“同生砂岩角砾”(图 5A)

(1) “同生砂岩角砾”的棱角很明显,说明在沉积前没有经过长途的搬运和磨圆,即不是从远处长距里搬来的,而是就地取材就地沉积。

(2) “同生砂岩角砾”中含有层理,说明其“原岩”沉积慢,即从河流带来的砂质沉积物在高水位期的三角洲或滨湖环境缓慢沉积而成。而含“同生砂岩角砾”的砂岩呈块状,反映其沉积速度快,这由于湖平面下

柱状图	岩性	成份	形成条件	
			湖水浓缩到原来90%	沉积强度大
	盐岩	NaCl	湖水浓缩到原来90%	沉积强度大
	页岩含团块状、雪花状石膏	CaSO ₄	湖水浓缩到原19%	沉积强度中等
	钙质页岩页理为粘土与方解石纹层互层	CaCO ₃	湖水刚开始浓缩	沉积强度小

图 3 东濮凹陷盐岩的垂向沉积序列

Fig 3 Vertical succession of salt rocks in Dongpu depression

1.4 盐岩分布的横向序列与蒸发成因的盐岩的成因序列也相同

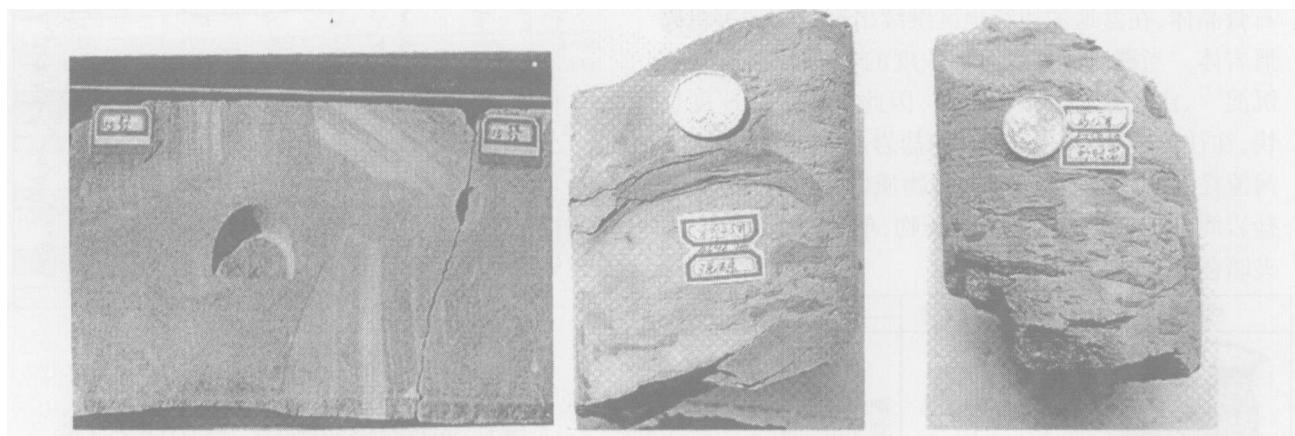
位于东濮凹陷沙三段沉积中心的文留地区、濮城和卫城地区盐岩夹泥岩段的厚度约有 1 000 多米。盐岩段单层向北到观城、陈营、文明寨,向东、向西、向南到习城集以南地区逐渐尖灭(图 2),而与之互层的深湖-半深湖相的暗色泥岩夹薄层膏盐和薄层碳酸盐岩、油页岩向周围相变为三角洲砂岩沉积,这些砂体较薄,单层 20cm~5m,夹在深湖相暗色泥岩中,所以过去被认为是深水重力流砂体^[7-8]。经过本次详细的岩心观察和粒度分析,发现这些砂体中发育明显的牵引流成因的槽状及波状交错层理,粒度概率累积曲线成典型三段式,且跳跃总体很发育,因此定为三角洲砂体,浅水成因的砂体与深水泥岩频繁互层,是湖平面频繁变化的证据。

降,高位期已沉积的砂岩遭受侵蚀,形成“同生砂岩角砾”或完全破碎成砂,并再次快速沉积所至。

1.5.3 与深水相暗色泥岩互层的砂岩中含有暗色泥岩撕裂屑

这些砂岩中的暗色泥岩撕裂屑多少有一定程度的磨圆(图 5B),而且表现出在被撕裂、再沉积前已经

是固结或半固结的泥岩(至少是湖底泥暴露地表晒干所至),而不是湖底软泥。这种泥岩只有经过浅水湖浪流、甚至是河流的侵蚀、磨圆、再沉积,才能形成上述特征。只有在湖平面下降,使原来的浅湖相、半深湖相泥岩暴露出水面时,才能形成这种条件。



胡 7 - 18 2340m

桥 25 4696m

马 15 3250m

A

B

B

图 5 内碎屑图版

A: 块状砂岩含砂岩内碎屑; B: 块状砂岩含泥岩内碎屑

Fig 5 Photograph of endogenous scraping A: Black colored mud scraping contained in sandstone with no cross bedding; B: Sandstone scraping contained in sandstone with no cross bedding

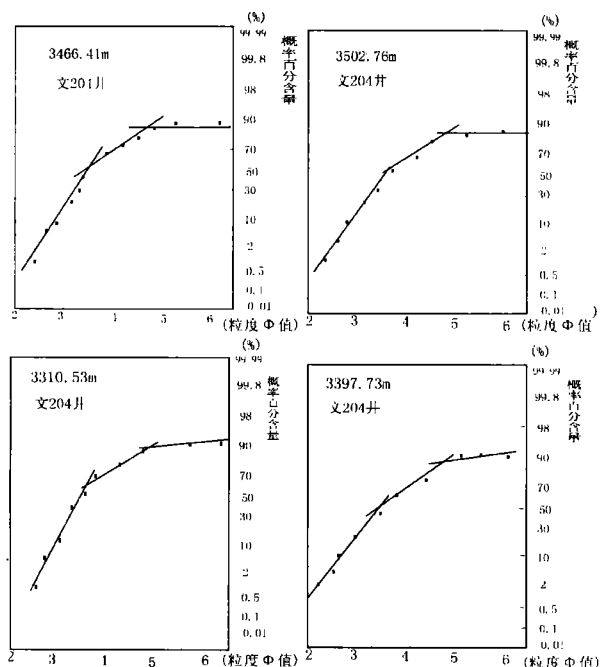


图 6 各种牵引流粒度累计概率曲线

Fig 6 The probability accumulative curve of granularity of current flow

1.5.4 几乎整个盆地中都存在浅水砂岩与深水泥岩互层

(1) 原来在湖盆中部发现的‘重力流砂岩’^[3], 绝大部分具有牵引流成因的标志(图 6)。

粒度概率曲线几乎全部为牵引流型,多为两段式(跳跃总体和悬浮总体)和三段式(滚动总体、跳跃总体和悬浮总体)。

(2) 层理类型为平行层理、交错层理、爬升层理、波状层理。

这些浅水成因的砂岩与深水泥岩的频繁互层是湖平面频繁升降的证据。

1.5.5 垂向上缺少完整的三角洲沉积层序

多数井柱子剖面发育浅湖—前三角洲泥岩,与三角洲前缘砂岩互层,而缺少平原亚相,也说明由于湖平面的频繁升降,很难形成稳定的三角洲层序。

1.5.6 缺少长期稳定的水体条件下形成的前积反射结构

东濮凹陷沙三段地震反射轴几乎平行,缺少长期稳定的水体中形成的前积反射结构。

2 古气候变化对湖平面变化和成盐环境的影响

2.1 沙三段成盐期的古气候特征

据倪炳荣等对东濮盐湖相沙三段孢粉资料(样品为盐间深灰色泥岩),沙三段沉积时东濮地区植物分异度与温带植物特征相同。耐旱的麻黄粉含量为 3% ~ 6%;喜湿的被子植物栎粉占 25%左右,说明沉积时湿润气候为主,干旱气候为辅,或半干旱半潮湿气候。

从调查的东濮凹陷下第三系古生物化石资料看(表 1,图 7),东濮凹陷沙三段有在不含盐的层段含有较多的藻类和淡水介形虫等水生生物,在含盐的层段的暗色泥岩中含有较多的微咸水和咸水水生生物,说明沙三段沉积时期不完全是干旱成盐环境,而是潮湿与干旱气候交替,因为干旱成盐环境不利于淡水生物生栖繁殖。暗色泥岩与膏盐岩的交替沉积正好说明了这一点。

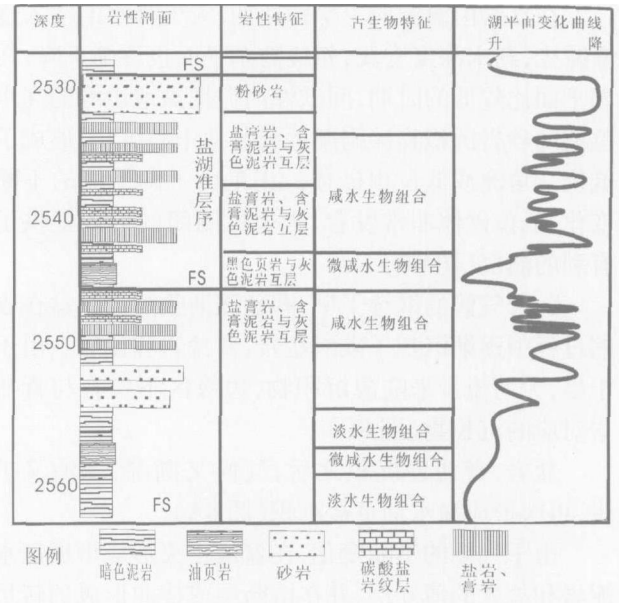


图 7 文 209 井沙三段的岩性、古生物和湖平面变化特点
Fig 7 The character of lithology, paleoorganism and paleolakelevel change in the 3rd member of Well Wen209

表 1 东濮凹陷北部文 209 井下第三系沙三段生物化石组合特征

Table 1 The character of organism fossil combination in lower Tertiary of Dongpu depression

地层组段	深度 /m	代表化石	水深变化	古气候
沙河街组	2536 ~ 2537	咸水生物: <i>Campania</i> , <i>Bohaidina</i>	浅	干旱
	2545 ~ 2546	微咸水生物: <i>Bohaidina</i> , <i>Parbohaidina</i> , <i>Campania</i> ,	较深	较湿润
	2555	淡水生物: (<i>Huabeinia chinensis</i> , <i>H. huidongensis</i> , <i>H. costatispinata</i> , <i>H. obscura</i> , <i>Candona Binxianensis</i> ,	深	湿润
	2558	微咸水生物: <i>Bohaidina</i> , <i>Parbohaidina</i> , <i>Campania</i> ,	较深	较湿润
	2560	淡水生物: <i>Shandongochara deconsa</i> , <i>Shandongochara longa</i> , <i>Melanoides</i> , <i>Tulotm oides spiralicostata</i> , <i>Succinea dongyingensis</i> , <i>Campania circella</i> , <i>C. irregularis</i> , <i>C. Microreticulata</i> , <i>C. verrucosa</i>	深	湿润

2.2 潮湿与干旱气候交替容易造成湖平面的频繁升降

正是由于这种气候特征,容易造成湖平面的频繁升降。湖平面的频繁升降造成了深水成因的暗色泥岩与浅水干旱成因的盐岩、浅水牵引流成因的砂岩互层^[4~8]。

3 东濮凹陷沙三段盐岩的沉积模式及其意义

在气候潮湿期,由于大气降水的注入,使得湖水深度很大,湖面宽广,沉积中心陆源沉积物少,只有沉积缓慢的油页岩和碳酸盐纹层沉积。粗碎屑岩仅在盆地的边缘沉积,全区无蒸发盐沉积(图 8A)。

在气候由潮湿向干旱转化期,大气降水的注入逐渐减少,湖水深度变浅,相应的湖平面也逐渐下降,在湖平面比较低的时期,间歇性河流把盆地边缘的高水位期的砂岩沉积物冲刷搬运到盆地中心沉积,形成了低位三角洲或低位扇砂体。正是由于湖平面的不断变化,低位砂体非常发育,为岩性圈闭的形成提供了有利的储层(图 8B)。

随着气候的继续干旱,湖盆逐渐收缩。湖盆在收缩过程中逐渐沉积了碳酸盐岩、膏盐岩和盐岩。由于干旱,无河流带来陆源沉积物,边缘区不发育与膏盐岩对应的沉积物(图 8C)。

盐岩、膏盐岩沉积之后,气候又潮湿,湖泊又扩张,再次形成深水油页岩沉积(图 8A)。

由于气候的不断变化,在盆地中央形成深水泥岩和盐岩的薄互层,并在由断层或挠曲形成的转折端处,发育大量的低水位砂体。

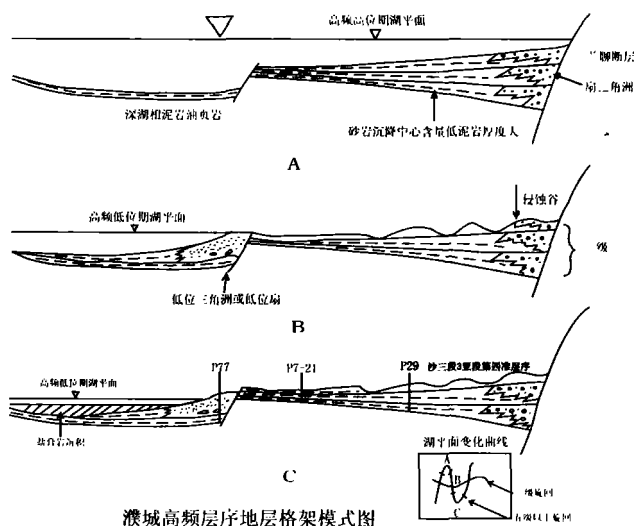


图 8 东濮凹陷由湖平面频繁变化造成的盐岩和砂体的分布特征

Fig 8 The distribution character of salt rock and sandbody introduced by frequent lake level change of Dongpu depression

4 结论

(1) 东濮凹陷沙三段的盐岩为深盆浅水成因,深水期,沉积中心部位形成暗色泥岩沉积,浅水期形成盐岩沉积。

(2) 东濮凹陷沙三段沉积时期,古气候为半干旱半潮湿气候,这种气候条件,导致湖平面变化频繁。也正是由于湖平面的频繁变化,形成深水泥岩和盐岩

的频繁薄互层沉积。

(3) 正是由于湖平面的不断变化,在盐岩的周围低位砂体非常发育,由于这些砂体也与深水时期形成的暗色泥岩互层,为岩性圈闭的形成提供了有利的储层。

参考文献 (References)

- 1 陈发亮,姜在兴.东濮凹陷下第三系沙河街组层序地层划分及岩盐成因探讨.沉积学报,2000,18(3):384~388 [Chen Faliang, Jiang Zaixing. The study of sequence stratigraphy and the origin of halite of Shahejie Formation of lower Tertiary in Dongpu Depression. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 384~388]
- 2 金强,黄醒汉.东濮凹陷下第三系深水成盐模式,华东石油学院学报(自然科学版),1985,9(1):1~14 [Jin Qiang, Huang Xinghan. The deep water environment sedimentation model of salt of lower Tertiary in Dongpu Depression, Journal of East China Petroleum Institute (Natural Science Edition), 1985, 9(1): 1~14]
- 3 纪友亮,张世奇.陆相断陷湖盆层序地层学.北京:石油工业出版社,1996.12 [Ji Youliang, Zhang Shiqi. The Sequence Stratigraphy of Terrestrial Rift Lacustrine Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996. 12]
- 4 纪友亮,张世奇,李红南.东营凹陷下第三系陆相盆地层序地层学研究.地质论评,1994,40(增刊):97~105 [Ji Youliang, Zhang Shiqi, Li Hongnan. The study of sequence stratigraphy of terrestrial basin of lower Tertiary in Dongying Depression. Geological Review, 1994, 40(Supplement): 97~105]
- 5 刘孟慧,赵激林.东濮凹陷文留地区盐下含气层系的储层特征.华东石油学院学报,1986,10(2):1~6 [Liu Menghui, Zhao Zhenglin. The characteristic of reservoir of gas-bearing formation in Wenliu area of Dongpu Depression. Journal of East China Petroleum Institute (Natural Science Edition), 1986, 10(2): 1~6]
- 6 李任伟,辛茂安.东濮盆地沉积岩的成因.沉积学报,1989,7(4):141~147 [Li Renwei, Xin Maoan. The origin of sedimentary rock in Dongpu basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1989, 7(4): 141~147]
- 7 赵激林,刘孟慧主编.东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用.山东东营:华东石油学院出版社,1988.1~17 [Zhao Chenglin, Liu Menghui. Sand body microfacies and diagenesis of lower Tertiary in Dongpu Depression, East China Dongying Shandong: Petroleum Institute Press, 1988. 1~17]
- 8 赵激林,刘孟慧,丁贵春.东濮凹陷下第三系沙三段重力流沉积,碎屑岩沉积相研究.北京:石油工业出版社,1988.50~61 [Zhao Chenglin, Liu Menghui, Ding Guichun. The gravity flow sedimentation of the third number of Shahejie Formation of lower Tertiary in Dongpu Depression, The study of sedimentary facies of clastic rock. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988. 50~61]
- 9 Degenes ET, Ross D A. Stratabound metallic ore deposit found in active rift and the vicinity. Journal of Sedimentary Petrology, 1976, 46: 129~154

Origin of Salt and Gypsum Rock in the Third Member of Shaheje Formation of Lower Tertiary in Dongpu Depression

J I You-liang^{1,2} FENG Jian-hui² WANG Sheng-lang²
TAN Yu-ming² ZHANG Hong-an² WANG De-ren²

1(Department of Geology and Geophysics, Tongji University, Shanghai 200092)

2(Zhongyuan Oilfield Company, Puyang Henan 457001)

Abstract The column of salt and gypsum rock that are interbedded with black mudstone are developed in 3rd - 4th sub-member of Shaheje Formation of Lower Tertiary in Dongpu Depression. The black mudstone was deposited in deep water, and the salt and gypsum have been considered to be deposited in deepwater, too. In recently study, much mark of shallow water origin and evaporation are found, so the salt and gypsum rock is considered of evaporation origin in shallow water. That the black mudstone deposited in deep water interbedded with salt and gypsum deposited in shallow water shows that during the sedimentation of 3rd and 4th sub-member, the lake level changes frequently. And it is because of the frequently change of lake level, lowstand sandbody was deposited in the sedimentation center in the direction of main sediments source, and the lowstand sandbody are the main reservoir of lithic oil pool.

Key words origin of salt and gypsum rock, lake level change, lowstand sandbody