

文章编号:1000-0550(2000)03-0384-05

# 东濮凹陷下第三系沙河街组 层序地层划分及盐岩成因探讨

陈发亮<sup>1</sup> 朱 晖<sup>2</sup> 李绪涛<sup>1</sup> 苗翠芝<sup>1</sup>

1(中原油田地质调查处 河南濮阳 457001) 2(中原油田勘探开发科学研究院 河南濮阳 457001)

**摘要** 应用层序地层学理论,通过对地质、地化、古生物、钻井和测井资料进行综合分析,再现了东濮凹陷下第三系沙河街组地层沉积岩相古地理,并再次探讨了该地区分布广泛、厚度巨大的盐膏地层的成因及盐的来源问题,认为东濮凹陷大量的盐膏层属于一种潮湿气候条件下受深大断裂控制的深水成盐模式,这种模式由于大量盐膏层与生油岩同期形成并与大量沉积砂体相匹配故极有利于形成生储盖配置良好的岩性地层油气藏。

**关键词** 层序地层 体系域 盐膏成因 下第三系 东濮凹陷

**第一作者简介** 陈发亮 男 1973年生 工程师 石油地质

**中图分类号** P539.2 P588.24<sup>7</sup> **文献标识码** A

## 1 引言

东濮凹陷位于渤海湾盆地西南端,东侧以兰聊断裂为界与鲁西隆起为邻,西侧以长垣断裂为界与内黄隆起相接,南以封丘北断层和埵阳断层与兰考凸起相邻,北以马陵断层为界与莘县凹陷相望。凹陷呈北北东向,南宽(62 km)、北窄(14~18 km),面积约5 300 km<sup>2</sup>。根据区内构造特征及地层结构将东濮凹陷自西向东划分为西部斜坡带、西部洼陷带、中央隆起带、东部洼陷带和兰聊断阶陡坡带五个次级构造单元(图1)。东濮凹陷在构造演化及沉积相带上具有明显的南北分区、东西分带的特征,其中区内兰聊大断裂为东濮凹陷的控盆断层,对东濮凹陷的发展、演化起着主要的控制作用<sup>[1]</sup>。东濮凹陷以古一中生界地层为基底,以新生界地层为盖层,是一东断西超式单断箕状凹陷,区内发育巨厚的下第三系地层,形成多套生储盖组合,其中沙河街组发育四套盐膏层,其对于区内地层成岩演化、油气的生成、运移、聚集和保存发挥着重要的控制作用。前人虽然已对这四套盐膏层做了大量的研究工作,但对其形成机制及控油规律仍有待进一步认识。本文试图运用层序地层学这一先进的基础理论,通过深入分析同这些盐膏层相伴生的特殊地质现象来给出更为合理的解释。

## 2 层序地层划分及岩相古地理

### 2.1 层序地层划分

笔者综合地质、钻井、地震、测井、岩心、古生物和

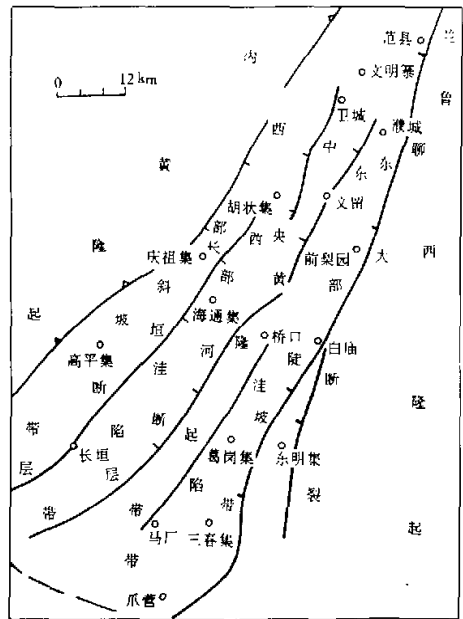


图1 东濮凹陷构造分区略图

Fig.1 Schematic map of structures in Dongpu depression

地化资料,结合构造演化史和地层沉积特征,把东濮凹陷下第三系沙河街组、东营组地层划分为两个层序、八个体系域<sup>[2]</sup>,其中沙四段、沙三段和沙二下亚段为层序 I,沙二上亚段、沙一段和东营组为层序 II,每个层序又可根据沉积特征和地层叠置关系划分为低水体体

表 1 东濮凹陷下第三系层序地层划分表

Table 1 Sequence stratigraphy of Lower Tertiary system in Dongpu depression

地 层		年 龄 Ma	层 序	体 系 域	主要岩性	盐膏 层分 布位置	兰聊断层 活动强度 强 弱	湖平面升降 高 ← → 低
组	段							
沙河街组	Ed	Ed	24.6	层序 II	FSST	棕红色砂岩夹紫色泥岩		
					HST	灰色粉细砂岩夹泥岩		
	Es <sub>1</sub>	Es <sub>1</sub> <sup>L</sup>	32.1	层序 II	TST	暗色泥岩、油页岩、盐岩		
					LST	棕褐色泥岩、粉砂岩		
	Es <sub>2</sub>	Es <sub>2</sub> <sup>L</sup>	37.3	层序 II	LST	棕褐色泥岩、粉砂岩		
					FSST	棕色粉细砂岩夹紫色泥岩		
	Es <sub>3</sub>	Es <sub>3</sub> <sup>1</sup>	41.5	层序 I	HST	灰色粉砂岩夹暗色泥岩		
					TST	暗色泥岩、油页岩、盐岩夹灰色粉砂岩、细砂岩		
	Es <sub>3</sub>	Es <sub>3</sub> <sup>2</sup>	45.2	层序 I	TST	暗色泥岩、油页岩、盐岩夹灰色粉砂岩、细砂岩		
					TST	暗色泥岩、油页岩、盐岩夹灰色粉砂岩、细砂岩		
	Es <sub>4</sub>	Es <sub>4</sub>	50.8	层序 I	LST	紫红色泥岩夹棕色砂岩		

系域 LST(Lowstand Systems Tract)、湖侵体系域 TST (Transgressive Systems Tract)、高水位体系域 HST (Highstand Systems Tract)<sup>[3]</sup> 和下降体系域 FSST (Falling Stage Systems Tract)<sup>[4]</sup>, 详细划分见表 1(本文主要通过层序地层划分来进一步阐述东濮凹陷大量盐岩的成因,对于本区具体的层序地层划分方法和划分依据这里不再赘述)。

2.2 沉积演化分析

根据层序地层学理论,通过沉积相综合分析,恢复了东濮凹陷沙河街组及东营组沉积演化史。

沙四段沉积时期东部的兰聊断层刚刚开始活动,东濮凹陷处于断陷湖盆初期阶段。由于构造沉降,盆地沉积可容空间扩大,同时气候也由炎热干旱变得温暖湿润,湖盆水体注入量增大,导致相对湖平面升高,发育了一套河流—滨浅湖沉积,沉积物由氧化环境时的红色、棕色砂泥岩转变为还原环境下的灰色、灰黑色泥岩。

沙三段沉积时期兰聊断层剧烈活动,湖盆沉积可容空间快速扩大,潮湿的气候导致大气降水快速注入湖盆,湖平面迅速升高,发育了一套巨厚的深湖—半深湖暗色沉积,形成一套灰色泥岩、褐色油页岩和多套盐岩互层的地层,根据沉积物颜色、岩性、构造、自生矿物等综合分析认为此时水体深度不会小于 50 m。

沙三段沉积末期兰聊断层活动强度减弱,同时气候也由湿润变得比较干旱,发育了一套以红色为主的沙二下亚段的滨湖—河流相沉积。

沙二上亚段的沉积属于湖盆又一个发育阶段初期的产物。气候由于旱变为潮湿,湖平面升高,可容空间增加,发育了一套杂色砂泥岩沉积。

沙一下亚段沉积时期湖水范围非常开阔,此时湖盆底平水深,在盆地内发育了一套分布广泛的盐岩和

暗色泥岩沉积,这套地层为沙二段巨厚的储集层提供了良好的盖层条件。

沙一上亚段的地质层属于湖水退缩时陆源碎屑向湖盆充填形成的一套进积式三角洲砂体。东营期整个湖盆进入萎缩阶段,发育了一套巨厚的河流相砂泥岩沉积。

3 层序控制因素

层序地层学优越于其它地层学关键就在于它是从成因上来研究地层的沉积演化。陆相沉积层序的控制因素主要有构造升降、气候变化和沉积物供应,三者的综合效应就表现为湖平面的变化,这是与海相地层层序明显不同的一点,其中构造升降是影响陆相湖盆层序演化的重要因素,它直接决定着盆地沉积可容空间的形成和消亡,不同级别的构造运动控制着不同级别的层序演化;但气候这一因素对于陆相层序的发展演化有着更为重要的影响,东濮凹陷沙河街组、东营组地层之所以形成两个层序而不是一个层序就是主要受气候的影响;沉积物的充填则主要影响着沉积层序中地层的迭置关系,对于非构造油气藏的形成发挥着决定性的控制作用;三者的综合效应——湖平面升降主要决定着沉积盆地的生储盖组合和油气藏类型。

4 盐膏层时空展布

东濮凹陷在沉积地层上有着与渤海湾盆地其它凹陷明显不同的特点,本区在沙河街组沉积了四套巨厚的、分布广泛的盐膏层沉积,其中沙三段三套(即沙<sup>4</sup>盐、沙<sup>3</sup>盐、沙<sup>2</sup>盐)、沙一段一套<sup>①</sup>,这四套盐在纵

① 焦大庆,王德仁,任来义等.东濮凹陷储层精细评价及技术研究. 1994

向上都分布于湖侵体系域内(表1),即形成于气候湿润、水体不断加深、可容空间不断扩大的水进时期,在横向上主要分布在凹陷的北部(图2),而且不同时期各套盐的分布范围还不一致,这主要与盆地地形有关,也就是受盆地内次级构造控制,由图2可以看出沙三<sup>2</sup>盐和沙一盐已明显受中央隆起带的控制。通过研究认为东濮凹陷盐岩在成因上与一般的蒸发盐不同,应属于深水事件性(突发性)成盐模式。

在东濮凹陷盐岩中  $Br < 30 \times 10^{-6}$ , 另外由于东濮凹陷在古构造上其东西南三面都是古隆起,如果有海水入侵的话,海水通道只能是北面,但位于东濮凹陷北面的德州凹陷和惠民凹陷在同一时期几乎没有发现盐岩<sup>②</sup>,可见东濮凹陷大量的盐岩形成与海水无关;

(2) 古生物特征:一般纯盐岩层生物数量相对较少,岩心观察表明,纯盐岩中基本不存在古生物化石,而只在盐岩夹层的泥页岩中见到一些,无盐地层中生物化石分布较丰富。这是由于盐岩沉积时湖水含盐度高不利于生物的繁殖发育;

(3) 岩性特征:通过岩心观察,纯盐岩层(厚度一般10~30 cm)具一定透明度,玻璃光泽,晶体大小约8~12 mm,个别可达20 mm(如新文401E.s<sub>3</sub><sup>4</sup>),一般与深水暗色泥页岩和油页岩共生,其间夹有具水平层理的泥岩或泥膏岩或页岩夹层,缓慢沉积的蒸发盐难以具有这种特征<sup>③</sup>;

(4) 分布特征:一般在纵向上表现为由下向上由无盐→多盐→少盐→无盐,在平面上表现为由凹陷沉降中心向四周由多盐→膏盐→含膏泥岩→砂泥岩的变化规律<sup>④</sup>,且一般不与氧化环境下的红色砂泥岩共生;东濮凹陷盐岩主要为石膏和石盐,空间变化上缺少正常蒸发盐的成盐系列即先后形成碳酸盐、石膏→石盐→硫酸钠镁盐→钾盐→光卤石→水卤镁石;

(5) 构造:兰聊大断裂控制着整个东濮凹陷的形成和演化,它的强烈活动期也就是东濮凹陷的主要发育期,兰聊断层活动系数如图3,可见沙三、沙一时期兰聊断层活动强度最大,导致盆地与周围高山落差急剧增大,这时只有配以潮湿的气候使水体注入量大于蒸发量才能使盆地沉积可容空间增大,形成巨厚的深水沉积物,而此时也正是盐膏层大量发育时期;

(6) 气候:应用岩性、粒度、地化、古生物等资料进行综合层序地层学分析,认为盐岩形成时期,气候总体表现为温湿气候;东濮凹陷四套盐膏层都同深水细粒黑色泥页岩共生,其间夹有大量指示还原环境的黄铁矿自形晶,地化指标也指示为还原环境,这时的生物丰度和分异度也是最大的,这些都表明盐岩沉积时期正对应着湖盆水体上涨、可容空间增大,即湖侵体系域

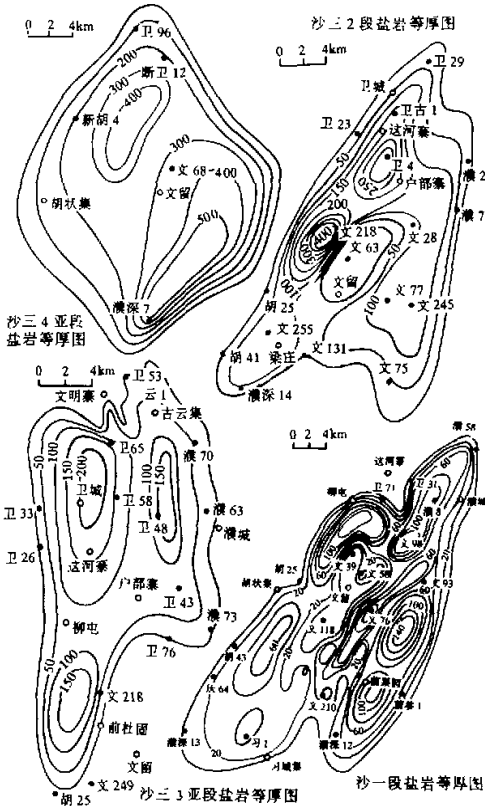


图2 盐岩层平面分布图

Fig. 2 A location map of salt-rock in Dongpu depression (According to Jiao Daqing et al. 1994)

### 5 盐膏层成因探讨

东濮凹陷深水事件性成盐模式的主要依据有以下几点:

(1) 化学成分:盐岩的矿物成分主要为氯化钠,少量为氯化钾、硫酸盐、有机质及含铁矿物<sup>①</sup>,主要化学成分为  $Na^+$ 、 $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $CO_3^{2-}$  等,具有富钠贫钾,高氯低溴的特点,微量元素中 Sr、Ba 丰度高,其它 B、Rb、V、Ni、Mn、Fe、Cr、Co、Br 等元素含量较低,见表2、3,其化学特征表明盐源是海水的

① 王新运,焦大庆.东濮凹陷非背斜油气藏形成分布及资源评价.1990  
 ② 姜在兴,操应长,杨剑祥等.惠民凹陷中央隆起带西部沙三、沙四段沉积体系、储层展布及油气预测研究.1998  
 ③ 黄醒汉,赵煜林,杨绪充等.东濮凹陷第三系石油地质综合研究论文集.1986  
 ④ 张孝义,魏生祥,王德仁等.东濮凹陷北部地区沙三4亚段岩相精细评价.1996



(2) 盐膏层的发育对应着沉积层序的湖侵体系域或高水位体系域,亦即对应着沉积密集段,因此与盆地生油岩的发育有着很好的共生关系;

(3) 快速沉积的盐膏层使下伏的暗色泥岩快速与氧隔绝,有利于有机质的保存;

(4) 巨厚的盐膏层为下伏的生油岩提供了充足的热源和压力,有利于有机质向油气的转化;

(5) 盐岩由于极为致密,易形成异常高压带,利于油气的运移和保存,如文 23 气田由于上覆盐层遮挡形成异常高压气藏,地层压力达 38.62 MPa,文 13 西气藏也是异常高压气藏,压力达 54.44 MPa;

(6) 致密的盐膏层具有比泥岩更好的封堵性,可以作为非常好的盖层,文 23 气田是中原油田最大的纯气田,产气层位为沙四段,其上即为厚达 300~400 m 的  $E_{s3}^4$  盐层段所覆盖,PS7 井也是在钻穿厚达 1 000 m 的盐层段后在盐下喷出大量天然气;

(7) 盐膏层作为盆地下沉、湖水扩张时期的产物,利于最大湖泛面的识别,易于层序地层的划分;

(8) 致密盐膏层的存在可以与众多沉积砂体组合形成大量岩性圈闭油气藏,如濮城、文留  $E_{s1}^2$ 、 $E_{s3}^2$ 、 $E_{s3}^4$  以及卫城  $E_{s3}^3$  亚段都发现了诸多与盐岩有关的岩性油气藏;

(9) 盐膏层由于具有塑性特点,可以形成盐拱、底辟等多种构造,利于形成岩性或复合油气藏,中央隆起带文留地区一些油气藏的形成多与此有关。

## 7 结论

(1) 通过综合层序地层学分析,把东濮凹陷下第三系沙河街组、东营组地层划分为两个层序、八个体系域;

(2) 在层序划分的基础上对东濮凹陷下第三系四套巨厚的盐膏层作了成因分析,认为其是一种温湿气候条件下的深水事件性成盐模式而非正常蒸发盐的缓慢沉积;

(3) 通过综合分析,认为东濮凹陷的盐源来自受深大断裂活动控制的地下阵发性热卤水而与海侵无关;

(4) 本研究认为东濮凹陷下第三系广布的盐膏层对盆地油气藏的形成起着极大的积极作用。

致谢:本文的完成得益于中原油田地质调查处魏生祥副总地质师的指导和帮助,文中部分图件由王艳丽同志帮助清绘,在此一并表示诚挚感谢。

### 参 考 文 献

- 1 陆荣生,赵春元,陈树文等.中国石油地质志(卷 7,中原油田)[M].北京:石油工业出版社,1993.35~43
- 2 姜在兴,李华启编著.层序地层学原理及应用[M].北京:石油工业出版社,1996.57~68
- 3 C. K. 威尔格斯[美]等编.徐怀大等译.层序地层学原理—海平面变化综合分析[C].北京:石油工业出版社,1993.49~54
- 4 Dag Nummedal, Principles and Applications of Siliciclastic Sequence Stratigraphy Beijing China[R].1993.35~42

## Partition of Sequence Strata and Discussion about Salt-rock Resource in Shahejie Formation of Eocene, Dongpu Depression

CHEN Fa-liang<sup>1</sup> ZHU Hui<sup>2</sup> LI Xu-tao<sup>1</sup> MIAO Cui-zhi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Survey Institute of Geology, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang Henan 457001)

<sup>2</sup>(Institute of Exploration and Development Zhongyuan Oilfield, Puyang Henan 457001)

### Abstract

Dongpu depression is located in the southwest of Bohai Bay basin. The area is about 5300 square kilometers. The south is wide and the north is narrow. Lanliao fault controls its development and evolvement.

On the basis of sequence stratigraphic theory, the author analyzed of the geologic, seismic, geochemical, paleobiological, drilling and logging data. There are two sequences (Sequence I and Sequence II) and eight systems tracts(one sequence includes LST, TST, HST and FSST) has been identified in Shahejie and Dongying formation. They are all have clear characteristics in seismic, geologic, core and logging dada. In continental basin, the influence of the three factors of tectonization, weather and sediments on sequence is different from that in marine basin, the weather is more important than that in marine sequence.

After the synthetical analysis of sedimentary facies markers, the author has made the sedimentary lithofacies

(Continued on page 394)

(Continued from page 388) paleogeographic reconstruction of Shahejie formation of Eocene in Dongpu depression. In this paper the author also re-discussed the resource and the formation of salt-rock, which distributed widely and has a large thickness. The characteristics of chemical components, paleobiota, lithology and distribution of the salt-rock are different from the normal evaporite. It is not come from the evaporation of sea water. Combined the paleotectogenesis and the paleoclimate, the result of the study indicates that the salt-rock is originate from the hot bittern in deep earth and formed under a deep-water environment with a moist climate in Dongpu depression. The formed model is due to an event abruptly.

Development of salt-rock is related to tectonization of Lanliao fault but not the climate. The salt-rock is located in TST or HST and developed with source rock. It is advantageous to source rock by preventing it from oxygen. It can also provide heat and pressure for source rock to change into oil or gas. The salt-rock is tighter than mudstone as seal-rock. Because of so many salt-rock formed with source rock and sand body, It is more propitious to form litho-reservoir which has a good matching relationship among source, reservoir and seal rock.

**Key words** 两方数据 source strata systems tract salt-rock resource Eocene Dongpu depression