

渤海湾盆地古近纪沙三、四段沉积期古盐度 不均衡性研究

张守鹏 李保利 贺振建 张存霞

(中国石化胜利油田分公司勘探开发研究院 山东东营 257015)

摘要 渤海湾盆地不同凹陷区钻井岩芯资料显示,古近纪沙三、沙四段沉积的泥岩、灰岩、云岩、膏岩多呈现相互间隔的韵律层分布。但在不同凹陷及各洼陷内,其发育的厚度、缺失程度以及韵律的完整性却是不尽一致的。通过对孢粉资料的分析发现,当时的古气候在全盆地基本趋于稳定,干、湿程度的微弱变化不足以引发沉积剖面上如此大的岩性差异。对比下辽河、东营、沾化和东濮凹陷的沉积记录和古盐度数据,发现各地岩性组合的不一致性主要是由于各地湖盆古盐度差异所致。综合各项数据分析推断,沉积时期盆地东北部隆—坳夹持区下辽河凹陷(上游)的动态淡水不断向盆内注入,最终在西南部低洼区东濮凹陷(下游)汇集,造成了盆内咸化环境产生了较大的不均衡性。上游区咸化环境被淡水稀释,盐岩类型单一、厚度小;下游区则由于较稳定的高盐度环境,在遇干旱气候时,盐、膏层大量析出,而位处中游的东营、沾化凹陷则呈现由淡趋咸的过渡状态。高盐度咸化环境有利于有机质的保存,能够促成烃类的早生早排,对规模油气资源量的形成极为有利。

关键词 古近纪 沙三、沙四段沉积时期 渤海湾盆地 古盐度 不均衡性

第一作者简介 张守鹏 男 1963年出生 博士 教授级高工 油气实验地质 E-mail: zhangshoupeng.slyt@sinopec.com

中图分类号 P618.13 **文献标识码** A

0 引言

沙三、沙四段沉积时期的渤海湾盆地,多呈现咸水湖沉积特征^[1-5]。岩性剖面上,自上而下常见泥灰岩—泥云岩—膏云岩—膏岩—硬石膏岩等与泥质岩类的间互层沉积。渤海湾盆地由南至北分布的多个凹陷或洼陷内,蒸发盐沉积组合序列(岩性叠加剖面)的完整性和厚度变化在各地常呈现不一致性,通常认为是局部气候差异的体现^[6-8]。一些资料显示,渤海湾盆地的南部、西南部多呈现较为干旱的气候;而北部、东北部则呈现相对湿润的气候^[9-11]。在渤海湾盆地腹部的几个洼陷内,如孤南、渤南洼陷,还见到有孔虫、颗石藻和海绿石等在海相地层中常见的化石属种,虽无可靠证据确定此类洼陷曾经受到海侵影响^[12-13],但足以说明当时水环境的古盐度值较高,处于较稳定的咸化环境中。

近年来,随着对古环境、古盐度研究工作的不断深化和数据的进一步积累,发现了一些新的线索。古生物数据显示,当时渤海湾盆地的古气候相对于整个

盆地而言差异性并不大,即干旱和湿润区的分界线并不易确定。古盐度在南北不同凹陷区的差异并非完全与古环境变化相吻合,或者说古盐度值的变化幅度远远超出古气候的变化节奏。因此,造成古盐度发生了如此大的变化,应另有其因。

现已证实,盆地的高盐度对原始有机质的保存及后期生、排烃作用十分有利^[14-17],因此研究盆地的古盐度变化,将有助于揭示盆地的油气资源潜力及生烃能力。那么对于渤海湾盆地各凹、洼区较明显的古盐度差异,应该有怎样的解释呢?本文以渤海湾盆地长轴向SSW—NNE向的辽河—济阳—临清坳陷为线,以下辽河、东营、沾化和东濮凹陷为点,对其古盐度资料与蒸发盐相关的岩性剖面进行了分析,发现了渤海湾盆地沙三、沙四段沉积时期特有的NNE向微咸化环境(上游)向SSW向广布的汇集区咸化环境(下游)注入补给的“动态单向流”规律。即,沙三、沙四段沉积时期的渤海湾盆地可区分为上游淡水补给型低、中盐度环境、中游过渡型高盐度环境和下游汇聚型超高盐度环境三种类型(图1)。

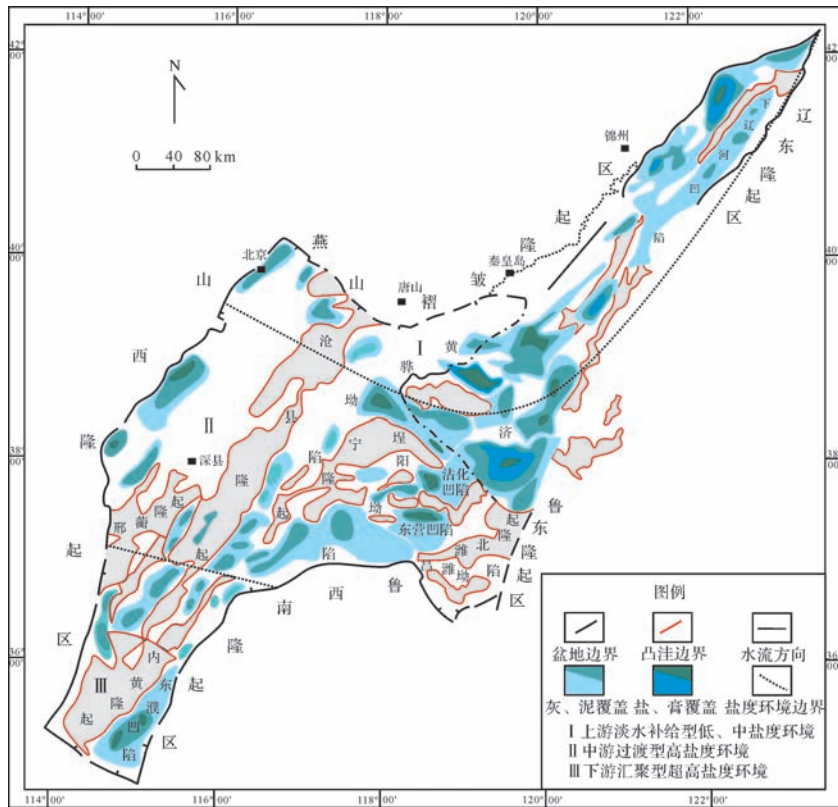


图1 渤海湾盆地沙三、沙四段沉积时期古盐度环境分布

Fig.1 Paleosalinity environmental distribution at Es₃-Es₄ stage in Bohaiwan Basin

1 稳定的古气候特征

根据对辽河、济阳、濮阳凹陷区不同洼陷内的孢粉资料分析,沙四段沉积时期,被子植物花粉主要以亚热带类型的栎粉属 *Quercoidites* 和温带类型的 *Ulmipollites* 为主^[18],热带和亚热带花粉占较大比重、类型较多,常见 *Rhoipites*, *Cupuliferoipollenites*, *Meliacidites*, *Rutaceipollis*, *Liquidambarpollenites* 等,在各个地区的组成不尽相同,但总体上,此时渤海湾的气候处于亚热带是无疑的;裸子植物花粉以具双气囊类的松科为主,说明沉积水体周围有地势起伏。*Ephedripites* 普遍含量较高,反映气候相对干旱。综上,沙四段沉积时期,各洼陷的气候基本趋于一致,均为相对干旱的亚热带气候。

沙三段沉积时期,在全盆地的孢粉组合中,亚热带类型的 *Quercoidites* 含量都很高,辽河拗陷和济阳拗陷的裸子植物花粉中,耐旱的 *Ephedripites* 普遍较低,在冀中凹陷和济阳拗陷一般低于 4%^[19],东濮凹陷的盐间深灰色泥岩中, *Ephedripites* 含量为 3%~6%^[20],个别样品可能达到 10%^[21],说明该区此时的

气候尽管较其他两个地区略干和热,但仍以湿润为主,少量的 *Ephedripites* 可能来自陆上斜坡无水区。

因此,从 NNE 向的下辽河凹陷延伸至 SSW 向的东濮凹陷,沙四段沉积时期基本趋于偏干旱的稳定气候;沙三段沉积时期基本趋于较湿润的稳定气候,但两期古气候在地理位置上相对稳定,变化不明显,至少不足以造成蒸发盐序列发生较大的变化。实际岩性剖面中岩层的厚度和类型有着明显的差异(图 2)。

2 古盐度控制的蒸发盐分布

目前探知的渤海湾盆地古隆起背景多为早古生代形成的碳酸盐沉积物,也夹杂有晚古生代形成的陆表海沉积物,说明当时的沉积物以不乏碳酸盐和咸水背景为主要特点。这些隆起区沉积的海相碳酸盐岩是古近纪的主要物源区。中生代的渤海湾盆地,随着燕山隆起的形成,NEE 向扭张作用加强,裂谷、裂陷开始增多,并在渐新世幅度达到最大,周围隆起区碳酸盐台地背景尤为发育,为湖盆咸化环境的形成提供了丰富的物质资源。

一些观点认为盐膏层的物质来源源自深部,是由

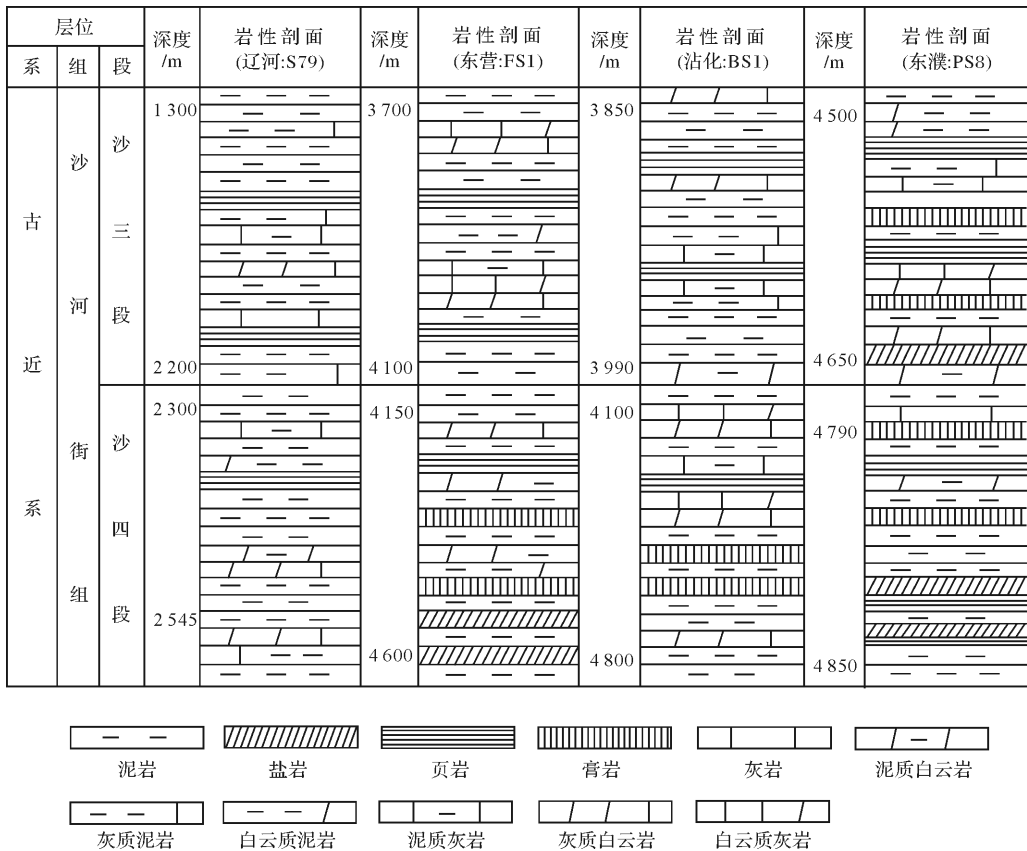


图 2 辽河、济阳、濮阳凹陷区沉积—蒸发岩性剖面对比图

Fig.2 Sedimentary-evaporation lithology profile contrast chart in Liaohe, Jiyang, Puyang Depression area

热液形成的高矿化度流体在幕式断裂作用下分不同期次上涌至近地表结晶而成^[22]。一般而言,盐湖在干旱条件下发生蒸发作用,并导致水中溶解度的降低,随着溶解能力的不断下降(干旱持续过程),湖水中最先析出碳酸钙,即方解石沉淀,依次是白云石、石膏、钠盐、钾盐、钙芒硝、天然碱等。这一规律与渤海湾盆地多数凹陷的实际岩性剖面相吻合,其岩性叠置顺序完全符合水中溶解度变化而引发的正常蒸发盐排列顺序,而深源热液活动形成的盐层则无此规律。所以,渤海湾盆地地层中的结晶盐大部分是正常蒸发沉积而形成的,包括盐膏层,而非热液活动成因。

干旱程度、蒸发量(持续蒸发时间)与湖水的古盐度值共同决定了岩性序列特征。动荡、雨水充沛的湿润环境,即使盐度较高也不一定伴有完整结晶盐序列的形成,相反,沉积物多以泥、砂为主;随着干旱气候的到来,蒸发作用可能导致碳酸盐岩的沉淀,如果仅仅沉积了一层碳酸钙,气候又恢复湿润,地层岩性剖面即体现灰、泥间互层;如果干旱程度达到结晶了大量的石膏,继而又转为湿润,则岩性剖面呈现泥、

灰、云、膏互层;但目前尚未发现干旱程度达到出现天然碱的级别,南方江汉盆地的局部见有极干旱条件下形成的钙芒硝等^[23];有时气候的变化非常复杂,即多个不同级次的气候带相互叠加,岩性剖面上出现较为杂乱的现象,甚至其旋回性也很难区分。

就渤海湾盆地而言,根据各地区岩性剖面中存在的盐岩层数量和类型,可以看出湖盆古盐度差异性较大,但古盐度变化亦存在某些规律性。

沙四段沉积时期,下辽河洼陷内的岩性记录中并没有见到盐岩和石膏的发育层,仅见有少量薄层灰岩和泥岩的薄互层,泥云化现象多出现于含灰质条带较多的层段,但并不是具备灰质发育的层段都见有白云石的出现,其分布范围较为局限。说明下辽河地区当时的水环境相对偏淡。在济阳坳陷的东营和沾化凹陷,这一时期则广泛发育石膏和盐岩沉积,与上述孢粉数据特征相吻合,当时的古环境应该是较为干旱的气候,而水体古盐度值亦偏高。东濮凹陷在这一时期同样发育了大套的盐岩和石膏沉积,同时在盐岩沉积层中伴有少量钙芒硝的出现。

沙三段沉积时期,下辽河凹陷的湖相沉积层中多以泥、粉砂和局部分布的薄层灰质间互层为主,极少见有云质层的分布,盐岩、膏岩沉积少见,证实古盐度演化更趋淡化。东营、沾化凹陷在这一时期广泛发育灰、云质层,膏岩层规模较沙四段沉积时期大为缩减,盐岩层很少发育,由于古环境变化不大,证实该地区水体古盐度亦有所降低。东濮凹陷沙三段地层中仍发育较厚的盐岩沉积,并伴有大量的膏岩和灰、云质层分布,证实其仍具有较高的古盐度值。

沙三段、沙四段沉积的地层记录均显示,同一沉积期 NNE 向下辽河凹陷的水体古盐度值最低,SSW 向东濮凹陷古盐度值最高,东营、沾化凹陷居中(表 1)。在古盐度完全均一的湖盆内,蒸发盐以及其沉积层的岩性具有一定规律性。如果湖盆面积过大,轴向延伸距离远,即具有跨气候的区域分布,则可能造成沉积和蒸发岩层的岩性差异。但上述分析已经证实沙三、沙四段沉积时期自辽河至濮阳具有气候一致性特征,从地理位置上分析,由于古气候的稳定性,盐岩沉积的这种规律性排除了由各地干、湿度引发的可能性。说明造成沉积和蒸发沉淀的岩性差异原因并非气候因素,而是存在其他因素。

表 1 下辽河、东营、沾化、东濮凹陷沙三、沙四段古盐度均值(‰)

Table 1 E_{s_3} - E_{s_4} pale salinity mean(‰) of Xialiaohe, Dongying, Zhanhua, Dongpu depression

组段	下辽河凹陷	东营凹陷	沾化凹陷	东濮凹陷
沙三段	$E_{s_3上}$: 1~10	$E_{s_3上}$: 0.5~10	$E_{s_3上}$: 0.5~8	$E_{s_3上}$: 14~33
		$E_{s_3中}$: 1~15	$E_{s_3中}$: 1~10	$E_{s_3中}$: 12~37
		$E_{s_3下}$: 9~13	$E_{s_3下}$: 8~15	$E_{s_3下}$: 20~47
沙四段	E_{s_4} : 8~30	$E_{s_4上纯上}$: 15~40	$E_{s_4上纯上}$: 13~38	
		$E_{s_4上纯下}$: 21~40	$E_{s_4上纯下}$: 19~40	E_{s_4} : 18~49
		$E_{s_4下}$: 17~43	$E_{s_4下}$: 16~46	

注:计算方法: $\log Sp = (\log b - (\ln) - 1.375) / (0.49)$ [24]

3 引发古盐度变化的因素

在气候均衡的情况下,封闭盆地内连续水体的古盐度值应保持一致性;但当水域是动水环境时,即有注入端,亦有泄水端时,盆地内古盐度受来自端口处淡水的稀释作用影响,则会造成由上游注入端至下游泄水端古盐度值的不断变化。这种现象在中国内陆湖并不鲜见 [25]。通过对渤海湾盆地不同地区含有蒸发岩的岩性剖面分析,在整体气候一致条件下,渤海湾水体的古盐度值变化应属于上述情形。

根据渤海湾盆地各凹陷区沙三下普遍存在的最大湖泛面及所形成的密集段(渤海湾盆地沙三下暗色泥岩标志层)推测,这一地质历史的演化过程可还原为:沙三、沙四段沉积时期,随着断陷盆地的进一步扩张和盆地基底的再次沉降(伴随一系列拉张断层的形成),原本孤立的次级洼陷相互贯通,成为一个以“千岛湖”面貌呈现的、统一的水系统。由于白垩纪构造挤压作用形成的古隆起处于盆地西北缘至燕山古隆起东段,这一地区成为渤海湾盆地水体的淡水补给注入口,位于盆地东北部松辽盆地的狭长地带成为最上游的注入区域,而临清坳陷南部东濮凹陷等地成为广阔的汇水区域,虽然也有向南的泄水河口,但由于湖盆在这一地区的古边界宽泛,泄水部位不集中,盐湖淡化趋势不明显。在淡水不断向湖盆注入的动态环境下,湖水古盐度的不均衡性取决于咸水—淡水的置换速度,上游注入端由于其面积狭小,淡水相对注入量大,淡水的置换速度远远大于下游汇水区域,这就造成了长期动态环境下整个渤海湾盆地中水体盐度呈现 NNE 向低而 SSW 向偏高的状态。下游汇水区域由于其面积宽泛,相对来自上游的淡水注入量较少,淡—咸水的置换速度低,保存了较高的水体古盐度。同时,盐岩层在垂向上的结晶顺序既符合咸水溶解度变化所体现的蒸发盐序列(由下向上:灰—云—膏—盐—硝—碱),在横向上也吻合了湖泊水体由深至浅的岩相分布规律(由腹部至边缘:盐—膏—云—灰—泥),这也解释了临清坳陷内有些小洼陷因为水浅不含盐,而水体稍有加深即有盐类析出现象。由于盆洼格局的不断变化,实际岩相分布情况更为复杂。

随着沙三段中、晚期最大湖泛面的形成,沙四段和沙三早期沉积时期的这种盐度动态不均衡性被打破,随之出现了一套遍布于整个渤海湾盆地的暗色泥岩标志性沉积,在此之后盆地淡水的注入呈现多源化特征,古盐度值一直保持均衡且逐渐淡化的趋势,尤以沙二段沉积时期,河流相广泛发育,湖盆整体淡化。进入沙一段沉积时期,由于相对偏干旱的气候和相对较稳定的水体条件,湖水古盐度值再次升高。但总体而言,后期的古盐度值均未能超越前期的沙三早期至沙四段这一特殊阶段。

4 高盐度环境与油气地质意义

古盐度值的偏高对有机质保存十分有利。相对于整个渤海湾盆地而言,南部东濮凹陷发育有多个高

盐度内陆盆地,有机质丰度极高,且以Ⅰ型和Ⅱ型干酪根为主,由于受氧化环境的改造不大,姥/植比较低;相反,东北部辽河地区,古盐度值相对偏低,对有机质保存不利,氧化环境明显,姥/植比偏高,原油稠化程度高。因此,我国东部的油气资源在渤海湾盆地南部广大区域尚有较大的潜力。受古盐度影响,该地区有机质类型偏Ⅰ型较多,多以浮游藻类为主,且易于保存,生、排烃期多对应于强还原条件下的高温、高压环境,生成的油质较轻;北部干酪根类型由Ⅰ型向Ⅱ型转化,氧化条件明显,不利于有机质的保存,油气资源量相对贫于南部。

由于高盐度环境在地层中形成了许多致密化学胶结层,如硫酸盐结晶形成的致密膏岩层、碳酸钙结晶形成的致密灰质层(钙壳)^[26]以及极干旱条件下形成的巨厚盐岩层等,均有利于地温、地热的保存,能够促成干酪根过早进入热演化阶段,对生成油气较为有利。同时,白云岩化过程能够形成大量的自形晶间孔隙,所以,有条带状白云岩发育的地层常常为油气运移提供通道,有利于油气成藏。

高盐度环境对规模油气资源量的形成极为有利,这一结论有助于深化渤海湾盆地油气勘探部署和提高钻井准确率。

5 结语

渤海湾盆地沙三、沙四段沉积时期发育了古盐度值不均等的内陆湖泊沉积,咸化环境对有机质的保存和油气成藏有着重要的意义,研究湖盆古盐度的变化规律将有助于对本地区的油气资源做出正确的评估,同时能够指导勘探开发的决策方向,也为渤海湾盆地古近系油气分布的不均衡性和深化勘探部署提供借鉴。本文尚有部分观点系推论,还待今后新的认识、新的依据辅以佐证、补充或修正。

参考文献(References)

- 1 朱光有,金强,张善文,等. 渤南洼陷盐湖—咸水湖沉积组合及其油气聚集[J]. 矿物学报,2004,24(1):25-30. [Zhu Guangyou, Jin Qiang, Zhang Shanwen, et al. Salt lake-saline lake sedimentary combination and petroleum accumulation in the Bonan sag[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2004, 24(1): 25-30.]
- 2 宋一涛,廖永胜,张守春. 半咸—咸水湖相烃源岩中两种赋存状态可溶有机质的测定及其意义[J]. 科学通报,2005,50(14):1531-1534. [Song Yitao, Liao Yongsheng, Zhang Shouchun. Quantification and implications of two types of soluble organic matter from brackish to saline lake source rocks [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(14): 1531-1534.]
- 3 甘志红. 沉积环境对阳信洼陷生物气成藏的控制作用[J]. 油气地质与采收率,2006,13(6):46-49. [Gan Zhihong. The control of sedimentary environment over biogas reservoir formation in Yangxin subsag [J], Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2006, 13(6): 46-49.]
- 4 金强,朱光有. 中国中生代咸化湖盆烃源岩沉积的问题及相关进展[J]. 高校地质学报,2006,12(4):483-492. [Jin Qiang, Zhu Guangyou. Progress in research of deposition of oil source rocks in saline lakes and their hydrocarbon generation [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12(4): 483-492.]
- 5 陈中红,查明,刘太勋. 东营凹陷古近系古湖盆演化与水化学场响应[J]. 湖泊科学,2008,20(6):705-714. [Chen Zhonghong, Zha Ming, Liu Taixun. Response and evolution of formation water chemical fields of the Paleogene in Dongying sag [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(6): 705-714.]
- 6 王兆荣,支霞臣,张汉昌. 华北古气候与海面变化的初步研究[J]. 科技通报,1996,12(6):343-346. [Wang Zhaorong, Zhi Xiachen, Zhang Hanchang. Preliminary study on paleoclimate and sea level changes in North China [J]. Bulletin of Science and Technology, 1996, 12(6): 343-346.]
- 7 王冠民,高亮,马在平. 济阳拗陷沙河街组湖相页岩中风成粉砂的识别及其古气候意义[J]. 地质学报,2007,81(3):413-418. [Wang Guanmin, Gao Liang, Ma Zaiping. Identification of aeolian silty sand in lacustrine shale of the Shahejie Formation in the Jiyang depression and its indication to paleoclimate [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(3): 413-418.]
- 8 刘占红,李思田,辛仁臣,等. 地层记录中的古气候信息及其与烃源岩发育的相关性——以渤海黄河口凹陷古近系为例[J]. 地质通报,2007,26(7):830-840. [Liu Zhanhong, Li Sitian, Xin Renchen, et al. Paleoclimatic information in stratigraphic records and its relation to the formation of hydrocarbon source rocks——A case study of the Paleogene strata in the Huanghekou subbasin of the Bohai Bay Basin, China [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(7): 830-840.]
- 9 闫东育,张同兴,黄国平,等. 东濮凹陷沙三段盐丘浅析[J]. 石油勘探与开发,2001,28(6):99-100. [Yan Dongyu, Zhang Tongxing, Huang Guoping, et al. An approach to the formation of salt domes in Dongpu sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(6): 99-100.]
- 10 王秀林,张孝义,王运所,等. 东濮凹陷盐岩成因与油气聚集[J]. 大庆石油地质与开发,2002,21(5):11-20. [Wang Xiulin, Zhang Xiaoyi, Wang Yunsuo, et al. Discussion on genesis of halites and petroleum accumulation in Dongpu depression [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development In Daqing, 2002, 21(5): 11-20.]
- 11 马寅生. 燕山东段—下辽河地区中生代盆山构造演化[J]. 地质力学学报,2001,7(1):79-91. [Ma Yinsheng. The evolution of Mesozoic-Cenozoic basin-mountain structure in the East Yanshan area and Xialiaohe Basin [J]. Journal of Geomechanics, 2001, 7(1): 79-91.]
- 12 袁文芳,陈世悦,曾昌民. 济阳拗陷古近系沙河街组海侵问题研究[J]. 石油学报,2006,27(4):40-44, 49. [Yuan Wenfang, Chen Shiyue, Zeng Changmin. Study on marine transgression of Paleogene

- Shahejie Formation in Jiyang depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2006, 27(4): 40-44, 49.]
- 13 孙镇城,彭立才,李东明,等. 中国东部早第三纪海侵与全球海平面升降[J]. *地质论评*, 1996, 42(增刊 I): 181-187. [Sun Zhencheng, Peng Licai, Li Dongming, et al. Relationship between eustasy and transgression in Early Tertiary in eastern China[J]. *Geological Review*, 1996, 42(Suppl. I): 181-187.]
 - 14 钱焕菊,陆现彩,张雪芬,等. 东营凹陷沙四段上部泥质烃源岩元素地球化学及其古盐度的空间差异性[J]. *岩石矿物学杂志*, 2009, 28(2): 161-168. [Qian Huanju, Lu Xiancai, Zhang Xuefen, et al. Spatial paleosalinity distribution and element geochemistry of argillaceous source rocks in the upper part of 4th Member of Tertiary Shahejie Formation in Dongying sag[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2009, 28(2): 161-168.]
 - 15 刘庆,张林晔,宋国奇,等. 利用石膏产状研究汶东盐湖相沉积与烃源岩特征[J]. *高校地质学报*, 2009, 15(3): 371-379. [Liu Qing, Zhang Linye, Song Guoqi, et al. Application of occurrences of gypsum minerals in saline lacustrine facies analysis and source rocks organic geochemistry evaluation: A case study of Wendong subdepression[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2009, 15(3): 371-379.]
 - 16 张林晔. “富集有机质”成烃作用再认识: 以东营凹陷为例[J]. *地球化学*, 2005, 34(6): 619-625. [Zhang Linye. A restudy on the hydrocarbon occurrence of “enriched organic matter”: A case study of Dongying depression[J]. *Geochimica*, 2005, 34(6): 619-625.]
 - 17 刘庆,张林晔,沈忠民,等. 东营凹陷湖相盆地类型演化与烃源岩发育[J]. *石油学报*, 2004, 25(4): 42-45. [Liu Qing, Zhang Linye, Shen Zhongmin, et al. Evolution of lake-basin types and occurrence of hydrocarbon source rocks in Dongying depression[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(4): 42-45.]
 - 18 姚益民,梁鸿德,蔡治国,等. 中国油气区第三系(IV): 渤海湾盆地油气区分册[M]. 北京:石油工业出版社, 1994: 48-60. [Yao Yimin, Liang Hongde, Cai Zhiguo, et al. Oil and Gas Area of the Tertiary in China (IV): Volumes of Oil and Gas Zone in Bohaiwan Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994: 48-60.]
 - 19 陶明华,王开发,郑国光,等. 冀中拗陷早第三纪孢粉组合及地质时代讨论[J]. *微体古生物学报*, 2001, 18(3): 274-292. [Tao Minhua, Wang Kaifa, Zheng Guoguang, et al. Early Tertiary sporopollen assemblages from Jizhong depression and their stratigraphic implication [J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2001, 18(3): 274-292.]
 - 20 赵俊峰,纪友亮,苏惠,等. 东濮凹陷沙三段盐岩成因及含盐地层层序划分[J]. *海洋石油*, 2009, 29(1): 9-14. [Zhao Junfeng, Ji Youliang, Su Hui, et al. The salt rock genesis of 3rd member of Shahejie Formation in Dongpu depression and the division of saline formation sequence[J]. *Offshore Oil*, 2009, 29(1): 9-14.]
 - 21 贺振建,蒋光秀,贾风华,等. 济阳坳陷古近纪孢粉与层序地层[J]. *地层学杂志*, 2007, 31(4): 407-414. [He Zhenjian, Jiang Guangxiu, Jia Fenghua, et al. The paleogene palynology and sequence stratigraphy in the Jiyang depression [J], *Journal of Stratigraphy*, 2007, 31(4): 407-414.]
 - 22 吉双文. 沾车凹陷沙四段膏岩成因分析[J]. *断块油气田*, 2003, 10(6): 10-12. [Ji Shuangwen. An analysis for forming reason of the plaster rock in Shasi segment of Zhanche sag[J]. *Fault-block Oil & Gas Field*, 2003, 10(6): 10-12.]
 - 23 李春荣,陈开远. 潜江凹陷盐湖层序地层岩石地球化学古环境研究[J]. *海洋石油*, 2004, 24(3): 25-29. [Li Chunrong, Chen Kaiyuan. The research of ancient environment of rock geochemistry and sequence stratigraphy on Saline Lake, Qingjiang depression[J]. *Offshore Oil*, 2004, 24(3): 25-29.]
 - 24 钱凯,王素民,刘淑范,等. 东营凹陷早第三纪湖水盐度的计算[J]. *石油学报*, 1982, 3(4): 95-102. [Qian Kai, Wang Sumin, Liu Shufan, et al. Evaluation of salinity of lake water in Tertiary of the Dongying depression [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1982, 3(4): 95-102.]
 - 25 周云凯,姜加虎,黄群,等. 内蒙古岱海水水质咸化过程分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(12): 51-55. [Zhou Yunkai, Jiang Jiahu, Huang Qun, et al. Analysis on water salinization process of Daihai Lake in Inner Mongolia [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(12): 51-55.]
 - 26 张永旺,曾溅辉,高霞,等. 东营凹陷古近系储层碳酸盐胶结物分布特征及主控因素[J]. *吉林大学学报:地球科学版*, 2009, 39(1): 16-22. [Zhang Yongwang, Zeng Jianhui, Gao Xia, et al. Distribution characteristics and main controlling factors of carbonate cements in the Paleogene reservoirs in Dongying depression [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2009, 39(1): 16-22.]

The Imbalance Property of Ancient Salinity in Bohaiwan Basin during Es_3 - Es_4 Stage in the Paleogene

ZHANG ShouPeng LI BaoLi HE ZhenJian ZHANG CunXia

(The Institute of Exploration and Development of Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying, Shandong 257015, China)

Abstract: From the drilling core data in different sags within Bohaiwan Basin, the rhythmic layered mudstone, limestone, dolomite, gypsum which had deposited at the Paleogene Es_3 - Es_4 stage, was inter-layer distribution for each other. The rock thickness, whether or not the missing one, or the prosodic integrity, is inconsistent in the different sags or dips. Through the analysis of pollen data, the weak degree change between drought and wetting can't result in the huge difference of the deposition profile under a condition of the stable ancient climate. According to the deposition record and ancient salinity period of Xialiaohe, Dongying, Zhanhua and Dongpu sags, the result was founded that the different lithological combination is due to the different ancient salinity from each basin. Comprehensive analysis and inference, during the deposition of the Es_3 - Es_4 stage, dynamic fresh water is injected into the basin, from Northeast Xialiaohe sag which is upstream region clamped by uplift and rift valley. Finally, water is collected in the southwest of the low-lying areas, the downstream region, Dongpu sag. The salty environment in the basin is not balanced. In the upstream region, salty environment is diluted by fresh water, single rock type and low thickness. In the downstream region, the high salinity environment is stable, and salt rock and gypsum rock strata are well developed when it comes to a dry climate. In the middle reaches of Dongying and Zhanhua sags, water is sometimes too fresh, sometimes too salty, and sometimes in transient state. Salty environment of high salinity is favorable for the preservation of organic matter, and it is capable of contributing to the early discharge of hydrocarbons. The salty environment is favorable for the formation of the oil and gas resources.

Key words: Paleogene; Es_3 - Es_4 stage; Bohaiwan Basin; ancient salinity; imbalance property