

文章编号:1673-5005(2008)03-0030-06

东营凹陷古近系膏盐岩成因模式及其与油气藏的关系

徐磊¹, 操应长¹, 王艳忠¹, 黄龙²

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石油大学 资源与信息学院, 北京 102249)

摘要:通过钻井资料分析、岩心观察、地球化学研究等技术手段,结合该区古构造、古气候、古盐度等资料,对东营凹陷古近系膏盐岩的垂向序列、平面分布、物质来源、形成环境、控制因素及其与油气藏的关系进行了探讨。结果表明,东营凹陷孔店组一段至沙河街组四段发育有 4 套厚层膏盐岩,在剖面上具有泥岩-碳酸盐岩-石膏岩类-盐岩类的蒸发序列,在平面上,整个凹陷都有分布。其盐源主要是陆源,由周围凸起的寒武、奥陶系提供。随着盐湖的演化,膏盐岩形成环境由初期的“浅水蒸发”到后期的“深水蒸发”。膏盐岩沉积主要受控于气候条件、物源供给等因素。由于膏盐岩的封隔作用,孔店组及沙四段形成了两个独立的含油气系统,这为东营凹陷深层油气勘探指明了方向。

关键词:东营凹陷; 古近系; 膏盐岩; 成因模式; 含油气系统

中图分类号: P 588.247; TE 121.1

文献标识码: A

Genetic model of salt-gypsum rock of Paleogene in Dongying depression and its relationship with hydrocarbon reservoir

XU Lei¹, CAO Ying-chang¹, WANG Yan-zhong¹, HUANG Long²

(1. Faculty of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China;

2. School of Resource and Information Technology in China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The vertical sequence, plane distribution, material source, formation environment, control genesis of the salt-gypsum rock in Dongying depression and its relationship with hydrocarbon reservoir were studied by means of drilling data analysis, cores observation, geochemical research as well as the analysis of palaeostructure, palaeoclimate and palaeosalinity of the area. The results show that four thick bedded salt-gypsum rocks developed in member 1 of Kongdian formation and member 4 of Shahejie formation in Dongying depression. In the vertical direction, mudstone-halite-gypsum-carbonate are deposited successively upward. And the plane distribution is so comprehensive that salt-gypsum rock can be found all over the depression. The salts are continental source and come from the Cambrian and Ordovician systems of the surrounding uplifts. Along with the evolution of palaeolake, the depositional environment of salt-gypsum rock varies from "shallow water evaporate" to "deep water evaporate". The deposition of the salt-gypsum rock is mainly controlled by palaeoclimate and provenance. As a result of the mothballing of the salt-gypsum rock, two independent hydrocarbon-bearing systems developed in the Kongdian formation and member 4 of Shahejie formation.

Key words: Dongying depression; Paleogene; salt-gypsum rock; genetic model; hydrocarbon-bearing system

1 区域地质概况

东营凹陷属于渤海湾盆地济阳坳陷中的一个次级构造单元,其周围为凸起环绕,北部为陈家庄凸起,西部为青城凸起和滨县凸起,南部为广饶凸起及

鲁西隆起,是一个典型的箕状盆地。盆地北陡南缓,其中包括北部陡坡带、牛庄洼陷、利津洼陷、博兴洼陷、民丰洼陷及南部缓坡带等二级构造单元。

东营凹陷油气资源丰富,但经过 40 余年的勘探开发,勘探程度不断提高,已由中浅层系向中深层系

收稿日期:2007-12-21

基金项目:“十五”国家科技攻关项目(2003BA613A-02);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0604)

作者简介:徐磊(1982-),男(汉族),山东成人,硕士研究生,从事沉积学及储层地质学研究。

发展,其中古近系的孔一段及沙四段发育厚层膏盐岩,对油气生成、储集、运移及保存有重要影响。因此,探讨该区膏盐岩的成因模式及其与油气藏的关系对下一步油气勘探工作有着重要的指导意义。

2 膏盐岩地层发育特征

2.1 剖面特征

东营凹陷膏盐岩主要发育在古近系孔店组一段(以下简称为孔一段)上部及沙河街组四段(以下简称沙四段)。根据岩心、录井、地震等资料可以将

其划分为孔一段上部、沙四段下部一、二套,沙四段上部共 4 套膏盐层(图 1)。这 4 套膏盐岩由几十个小

的盐韵律层组成。该区膏盐岩在垂向上有比较明显的蒸发成因的沉积序列(图 2)。每一典型旋回分为 3 层:旋回开始时为泥岩或薄层碳酸盐岩层;之上为膏质泥岩、泥膏岩、泥质膏盐岩、膏岩或杂卤石层;最上部为膏盐岩及盐岩层。盐岩单层最大厚度可达 21 m。在部分井段只发育旋回的前两个部分,例如东风 1 井主要旋回为泥岩-石膏、杂卤石或钙芒硝。

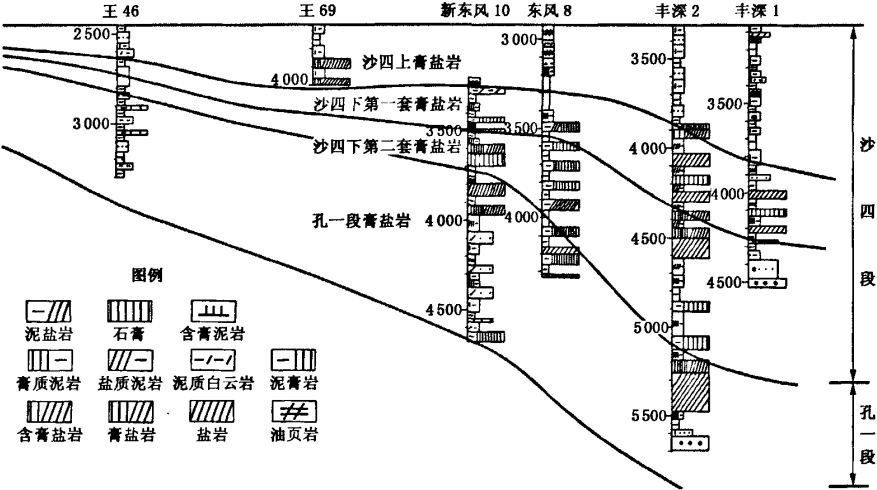


图 1 东营凹陷膏盐岩南北向对比剖面

地层 组段	深度 H/m	岩性剖面	岩性描述	盐类矿物演化	盐度
沙 河 街 组 四 段	4000		灰白色盐岩及薄层石膏岩与深灰色泥岩互层	盐岩	浓
	4050				
	4100		灰白色厚层石膏岩夹深灰色薄层泥岩	石膏	
	4150				
	4200		下部为杂色砂砾岩,向上变为深灰、灰褐色泥岩与灰白色砂岩、白云质砂岩、灰质砂岩、白云质泥岩、白云岩互层	碳酸盐类矿物	淡
	4250				

图 2 东营凹陷东风 2 井盐类矿物演化序列

2.2 平面特征

东营凹陷膏盐岩平面分布广泛,民丰洼陷、中央隆起带、牛庄洼陷及滨南-利津地区都有膏盐岩发育,并具有环状分布特征,从湖盆中心向盆地边缘依次沉积盐岩、石膏、泥膏岩、碳酸盐岩、泥灰岩、碎屑岩(图 1),但不同时期膏盐岩的沉积中心及沉积厚度随着盐湖的演化有所变化(图 3)。

孔一段沉积后期,凹陷北部开始出现膏盐岩沉积,盐类沉积中心位于民丰洼陷的丰深 2 井附近,主

要是盐岩、膏盐岩、石膏、泥膏岩及泥盐岩组成的韵律层。盐岩沉积范围较小,主要集中在民丰洼陷以及中央隆起带附近,向北突变为砂砾岩,向其他方向渐变为砂泥岩。

沙四下第二套膏盐岩沉积时期,盐类沉积中心基本不变,但盐类沉积范围、沉积厚度都有所扩大,反映了第二套膏盐岩对第一套膏盐岩具有继承性、发展性的沉积特点。

沙四下第一套膏盐岩沉积时期,盐类沉积中心开始向南迁移,但迁移规模较小,仍然以民丰洼陷及中央隆起带为中心。盐岩及石膏沉积范围迅速扩大,膏质泥岩分布全区,盐湖发育处于鼎盛期。

沙四上沉积时期,盐类沉积中心南迁明显,开始以牛庄洼陷为沉积中心,盐类沉积范围缩小,分布局限,厚度明显减薄。盐岩仅在牛庄洼陷发育,先期的沉积中心民丰地区及中央隆起带以发育膏岩、泥膏岩为主,碳酸盐岩类沉积范围增大,厚度增加。该时期湖平面迅速上升,开始由盐湖向咸水湖转化。

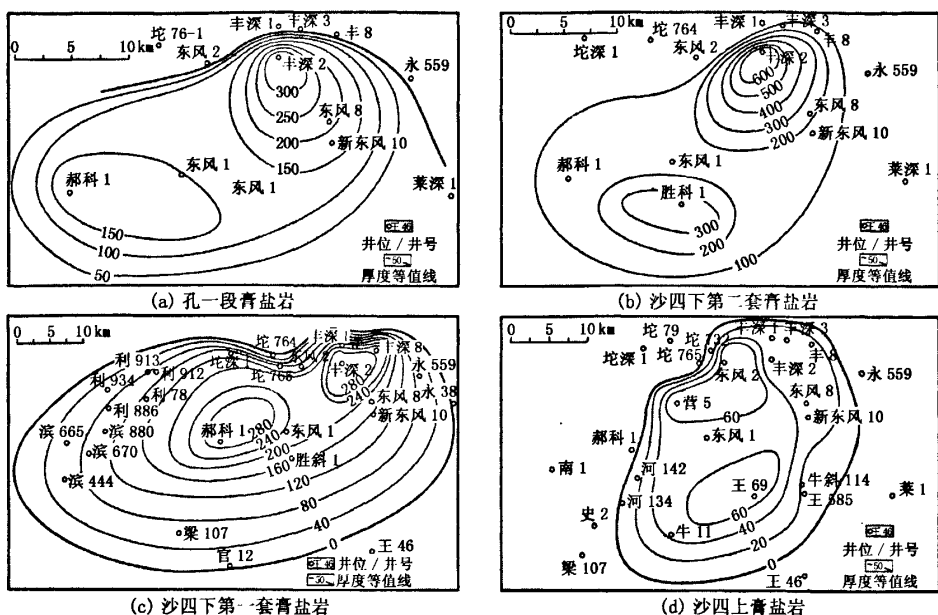


图3 东营凹陷古近系膏盐岩厚度等值线图

3 膏盐岩成因探讨

膏盐岩的形成有两方面的要素,其一是盐类物质来源,其二是盐类沉积环境。其中盐类物质来源是成盐的关键,主要有:(1)海源,盐类由海侵或海啸提供;(2)陆源,即由周围物源提供;(3)火山或岩浆活动;(4)天然水热溶液(温、热、沸泉水)循环;(5)通过深大断裂上涌的深部卤水^[1]。盐类形成机制主要由盐源决定,盐源为深层卤水时一般为“对卤成盐”,而当盐源为陆源时一般为蒸发成盐^[2]。盐类沉积环境有深水成盐和浅水成盐两种。

对于东营凹陷膏盐岩成因,前人主要认为是由深部卤水携带古老地层中的盐类物质提供盐源的深水成盐,成盐基本形式为“分层卤水”^[3-6]。

3.1 盐源

根据孔店组及沙四段火山岩的普遍发育特征,认为由深大断裂沟通下部含盐层系提供盐源,通过“对卤作用”而沉积一些具有深水沉积特征的膏盐岩是可能的。但含盐层系的沉积特征、古地理背景等反映了东营凹陷主要盐源是陆源,其沉积环境则比较复杂,主要证据如下。

(1)东营凹陷膏盐岩平面上分布广泛,特别是沙四下第一套膏盐岩在整个凹陷都有分布,孔一段及沙四段第二套膏盐岩由于钻井资料限制还没有完

全揭示,但根据地震资料分析,这两套膏盐岩在全区分布也比较广泛^[5]。若盐源仅由深大断裂提供,则膏盐岩分布只会集中在大断裂处,与膏盐岩在全区的广泛分布相矛盾。

(2)引发断层活动的应力是一个逐渐积累的过程,通常情况下,深部断层都呈封闭状态,断层开启时间非常短暂,相应的流体排替具有周期性、间歇性、脉冲的特点^[7-8]。若盐源仅由短期卤水提供则无法解释从孔一段至沙四段都有厚层膏盐的发育。

(3)从岩性来看,深部卤水主要是高纯氯化物卤水,多以盐岩为主,但本区3套膏盐岩中除了在沉积中心外,盐岩并不占绝对优势,石膏、泥膏及膏质泥岩都占有相当大的比例(图2)。

(4)膏盐岩垂向序列及平面分布都具有蒸发成因特征。垂向上由下而上依次为泥岩、碳酸盐岩类、石膏岩、盐岩(图1),平面上从湖盆中心到湖盆边缘膏盐岩沉积厚度减薄,渐变为碳酸盐岩类及砂泥岩沉积,具有环状分布特点。

(5)东营凹陷孔店组至沙四段主要由周围凸起提供物源,其中北部主要受东、西、北3个方向物源影响,南坡地区主要受南部物源影响^[9-10]。根据郝科1等井的化学元素资料及区域地质资料,孔店组和沙四段沉积时期,寒武系和奥陶系是主要的物源供给层系^①。

①王宁,李经荣,等. 济阳凹陷深层地层划分与分布研究. 胜利油田地质科学研究院和中石油勘探开发研究院,1998.

盐湖中主要溶质为 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等碱性阳离子以及 HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Cl^- 等阴离子。盐湖的化学成分主要受溶质含量支配,膏盐岩沉积是长期地质作用及地球化学反应的结果^[11]。物源区母岩的风化是一个十分复杂的过程,若母岩本身含有膏盐岩,经风化溶解后可释放出大量溶质离子,十分有利于后期盐湖中膏盐岩的形成。若母岩不含膏盐岩但经风化作用同样可以释放出丰富溶质离子或具有高矿化度的地层水,经搬运及分异作用,也可以为膏盐岩的形成提供原始盐类物质。

济阳坳陷各凹陷寒武系深部水样中钾、钠、溴、氯、镁含量较高,并发育有膏盐岩,如车古 202 井在寒武系下统馒头组底部钻井取心发现石膏,中下奥陶统则普遍发育膏盐岩,车西洼陷陡坡及义和庄凸起北坡奥陶系八陡组都发现较多膏岩层^[1,12]。此外,与东营凹陷同属于渤海湾盆地的东濮凹陷寒武、奥陶系普遍发育层状石膏及盐岩晶粒,岩心出筒后可见盐渍,地层水矿化度也很高^[13]。

(6)从临近区域看,沾车凹陷沙四段盐源主要由陈家庄凸起、义和庄凸起及埕东凸起奥陶系风化剥蚀提供^[12],东营凹陷与沾车凹陷相邻,在同一时期,相似的古地理背景下,同样有陈家庄凸起提供物源,其盐类来源也应该具有相似性。

3.2 沉积环境

3.2.1 古盐湖演化

从孔店末到沙四段,东营凹陷盐湖水体环境发生了明显变化,这在沉积物特征、古盐度及古气候等方面都有体现。

(1)沉积特征。孔店组及沙四下第二套膏盐岩在盆地的大部分地区表现为浅水沉积,岩性上以暗紫色、紫红色细碎屑岩与膏质泥岩、泥膏岩、石膏及盐岩互层为主(图 4(a)),只在盐湖水体最深处和比较小范围内沉积一些膏盐岩与灰色、灰绿色、红色泥岩的互层,盐剖面上砂岩发育平行层理、波状层理、槽状交错层理、生物浅穴及生物扰动构造,粒度概率图以两段及三段式为主,显示出牵引流特征。

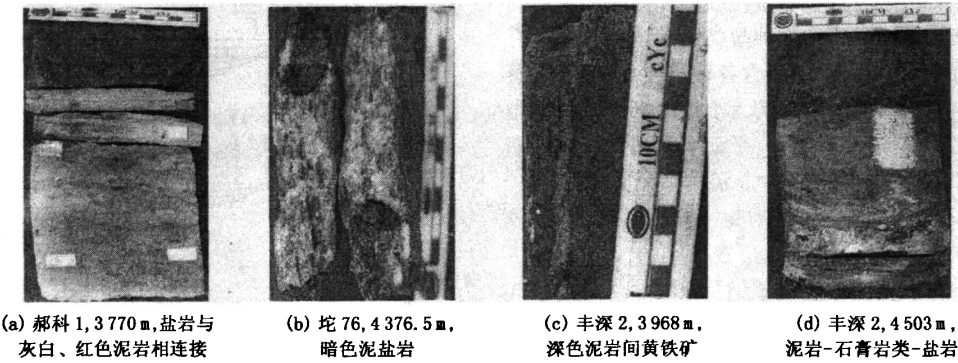


图 4 东营凹陷膏盐岩沉积特征

沙四下第一套及沙四上膏盐岩则主要表现为深水沉积特征,膏盐岩一般与暗色泥页岩和油页岩共生,其间夹有具水平层理的泥岩、泥膏岩或页岩,不发育红色地层;没有沉积间断及干旱氧化标志;深灰色含盐泥岩表面可见石盐晶体印模;在某些层段可见到指示还原环境的黄铁矿(图 4(b)~(d))。

(2)古盐度。锶钡比($w(\text{Sr})/w(\text{Ba})$)、碳氧同位素($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$)及相关 Z 值($Z = 2.048(\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O} + 50)$)^[1,14]都可以在一定程度上反映古盐度,一般说来,这些值越高,代表沉积时水体盐度越高。通过对该区郝科 1 井这几项指标的计算可明显看出,东营凹陷孔一段末期到沙四段古盐度经历了低值-高值-低值的变化过程(图 5)。

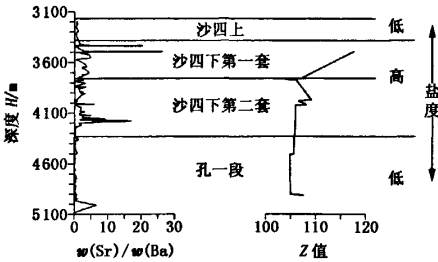


图 5 东营凹陷古盐度变化特征

(3)古气候。据前人古生物及孢粉资料分析,孔店末至沙四段气候类型总体为半干旱-干旱型,经历了由干旱-干旱至半干旱-较湿润的演化,古温度为 $27 \sim 29^\circ\text{C}$,在这种气候条件下湖水易于蒸发形成

膏盐岩^①。

沉积特征、古盐度及古气候都表明东营凹陷孔店未到沙四段的膏盐岩发育期,湖盆水体经历了由浅到深,盐湖经历了由产生-发展-消亡的演化过程。

3.2.2 膏盐岩形成环境

膏盐岩的形成主要取决于水体盐度的高低,导致水体盐度降低的因素主要有大气降水及地表径流,而促使盐度升高的因素主要是蒸发作用。当蒸发作用大于或等于补偿作用时,水体浓缩,盐度不断升高,从而沉积膏盐岩。膏盐岩沉积并不取决于水体深度,在各种成盐水体深度上都可以沉积膏盐岩^[13]。

在深水环境下,水体比较稳定,表层湖水经过蒸发作用,产生密度较大的卤水,当卤水的密度足够大时就会下沉并置换湖底密度较小的淡水,随着卤水的不断下沉,就会产生“分层卤水”结构^[11]。“分层卤水”由稀释层、盐跃层和卤水层3部分组成。稀释层大部分位于波基面之上,受外界因素影响较大;盐跃层水体较为宁静,盐度增加迅速,并与稀释层有一个密度界面;卤水层基本与已沉积的盐类呈动态平衡,当卤水浓度达到某种盐类结晶浓度时就会有该盐类的沉积。卤水中富含各种溶质离子,随着蒸发作用的进行,按溶解度的大小依次沉淀碳酸盐类矿物、石膏类矿物、盐岩等,平面上从湖盆边缘向湖盆中心呈环状分布,沉积物显示出深水蒸发的特点。

在浅水环境下,水体动荡,受外界因素影响较大,常发生蒸干作用,难以形成稳定的“分层卤水”结构,但湖水盐度分层现象仍是存在的。湖盆最低凹处汇集了大量盐类矿物,随着盐湖蒸发作用的进行,湖水浓缩干化,依次析出各种盐类矿物,在平面上呈环状分布,表现出浅水蒸发的特点。

东营凹陷从孔一段上部到沙四段都有膏盐岩的发育。东营凹陷古盐湖的演化表明,不能单纯的用浅水成因或者深水成因来解释东营凹陷膏盐岩沉积环境,而应将膏盐岩沉积置于湖盆沉积演化的过程中进行研究。在湖盆演化的初期主要是“浅水蒸发成盐”,而到后期主要是以“分层卤水”形式的“深水蒸发成盐”。无论深水成因膏盐岩还是浅水成因膏盐岩,其沉积作用都主要受气候条件控制,干早期蒸发浓缩形成盐类沉积,短暂的湿润期发育碎屑岩沉积。从盆地中心至盆地边缘依次沉积盐岩、石膏岩类、碳酸盐岩类及碎屑岩类,表现出环状分布特点。

4 膏盐岩成因模式

东营凹陷孔一段沉积后期及沙四段第二套膏盐

岩沉积时期(图6)为盆地裂陷初期,气候干旱,降雨量少,缺乏永久性河流补给,断层活动微弱,盐类物质主要由阵发性水体从周围物源区携带而来,膏盐岩主要是浅水蒸发成因。在盆地边缘,为水体较浅的滨浅湖沉积,水体变化频繁,间歇性蒸发干枯。降水时期洪水携带陆源碎屑进入湖盆,沉积砂泥岩;蒸发时期形成一些棕红色、紫色薄层膏质泥岩、泥膏岩、石膏岩,在剖面上表现为膏盐岩与红色碎屑岩的频繁互层。湖盆中心的小范围内水体较深,同时离物源区最近,大量盐类物质汇聚于此,经过强烈蒸发作用,依次沉积灰色泥岩、碳酸盐岩、膏岩及厚层盐岩,旋回末期出现紫红色泥岩及其他干旱氧化特征。该时期是盐湖发展的初始阶段。

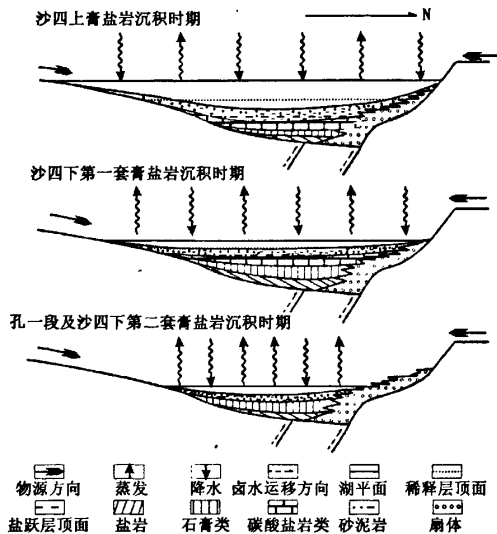


图6 东营凹陷孔一段—沙四段膏盐岩沉积模式

沙四段第一套膏盐岩沉积时期(图6),湖盆扩张,地形高差变大,干旱气候背景基本没有改变,但降水量有所增加,已有永久性河流长期补给盐湖,水体较为稳定,具有“高山深盆”的地貌特征。周围凸起经过强烈剥蚀,向湖盆提供了十分丰富的盐类物质。在强烈的蒸发作用下,形成稳定的“分层卤水”结构,卤水层十分发育,范围广阔,依次沉积深灰色泥岩、碳酸盐岩、膏岩及盐岩。膏盐岩沉积表现出深水蒸发特征,红色泥岩基本不发育,从湖盆中心到湖盆边缘表现出环状分布特征。同时该时期断层活动加剧,短暂的断层开启也可提供少量盐类,并在大断层附近沉积一些盐岩。该时期膏盐岩沉积范围最广,为盐湖发育的鼎盛期。

沙四上段沉积时期(图6),气候条件发生明显改变,由干旱-半干旱型气候转变为半干旱-较湿润

型气候,降雨量明显增加,湖平面迅速上升,水体深而水域广阔,断层活动减弱,湖水盐度降低,由盐湖向咸水湖转化。此时湖水仍具有“分层卤水”结构,只是短期内的干旱蒸发,一般只能达到碳酸盐类析出水平,只有在湖盆中心水体最深处,个别时期沉积一些厚度不大的深水成因膏盐岩。盐湖逐渐消亡。

5 膏盐岩与油气藏的关系

膏盐层具有排替压力高、韧性好的特点,可以使烃源岩和储集岩之间在空间和时间上都形成良好的配置关系^[15]。

东营凹陷孔二段沉积时期湖盆广阔,水体深,多口井中发育暗色泥岩,具有可观的生烃潜力^[16],孔一段发育的膏盐岩直接覆盖在湖盆中心烃源岩之上,油气充注于湖盆边缘的碎屑岩储集层中而运聚成藏,从而在孔二段一孔一段间形成了一个独立的含油气系统。

沙四下第一套及沙四上段膏盐岩形成于深水蒸发的还原环境,该环境有利于有机质向油气转化,膏盐岩层中灰色泥岩的有机质含量高,是比较理想的生油岩。同时膏盐岩的存在使得该时期地层普遍存在超压现象,丰深1、丰深2及丰深3井中均可见到泥岩压裂缝并有油气产出,说明这些压裂缝可以作为良好的油气储集空间;再加上膏盐岩自身优良的封盖能力,可以在膏盐岩层内部形成完整的“生、储、盖”组合,形成一个独立的含油气系统。

6 结论

(1) 东营凹陷古近系发育4套膏盐岩,垂向上具有泥岩-碳酸盐岩-石膏岩类-盐岩类的典型蒸发序列,平面上在各层系分布广泛,沉积范围有小-大-小的特征。

(2) 盐源主要来自陆源,由周围凸起的寒武系及奥陶系地层提供。古盐湖经历了产生-发展-消亡的演化,相应地,膏盐岩沉积环境也由“浅水蒸发”向“深水蒸发”转变。

(3) 由于膏盐岩的发育,孔二段-孔一段地层及沙四下第一套膏盐岩-沙四上段形成两个独立的含油气系统。这为东营凹陷深层油气勘探指明了有利方向。

参考文献:

[1] 孙镇城,杨藩,张枝焕,等. 中国新生代咸化湖泊沉积环境与油气生成[M]. 北京:石油工业出版社,1997:

179-216.

[2] 胡光明,纪友亮,张亚京. 陆相盐湖层序地层学研究简述[J]. 盐湖研究,2006,14(1):55-59.

HU Guang-ming, JI You-liang, ZHANG Ya-jing. Summarization on continental salt lake sequence stratigraphy [J]. Journal of Salt Lake Research, 2006, 14(1): 55-59.

[3] 袁静,赵澄林,张善文. 东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式[J]. 沉积学报,2000,18(1):114-118.

YUAN Jing, ZHAO Cheng-lin, ZHANG Shan-wen. Genetic model of the deep water salt lake of the Paleogene Sha-4 member in Dongying sag [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(1): 114-118.

[4] 袁静,覃克. 东营凹陷沙四段深水成因蒸发岩特征及其与油气藏的关系[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2001, 25(1): 9-15.

YUAN Jing, QIN Ke. Characteristics of evaporate generated in deep water of Sha-4 member in Dongying sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2001, 25(1): 9-15.

[5] 刘展,赵健,李云平,等. 东营凹陷盐膏层的重震联合解释技术[J]. 石油大学学报:自然科学版, 2005, 29(6): 16-22.

LIU Zhan, ZHAO Jian, LI Yun-ping, et al. A method to inverse salt-gypsum strata by jointing gravity-magnetic and seismic data in Dongying sag [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2005, 29(6): 16-22.

[6] 赵澄林,陈纯芳,季汉成,等. 渤海湾盆地早第三纪油区岩相古地理及储层[M]. 北京:石油工业出版社, 2003: 263-265.

[7] 阎福礼,贾东,卢华复,等. 东营凹陷油气运移的地震泵作用[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 295-298.

YAN Fu-li, JIA Dong, LU Hua-fu, et al. Seismic pumping mechanism of hydrocarbon migration in Dongying depression [J]. Oil and Gas Geology, 1999, 20(4): 295-298.

[8] 王志欣,信荃麟. 关于地下断层封闭性的讨论[J]. 高校地质学报, 1997, 3(3): 293-300.

WANG Zhi-xin, XIN Quan-lin. Discussion on the sealing property of deeply buried faults [J]. Geological Journal of China Universities, 1997, 3(3): 293-300.

[9] 张荣红,余素玉,邹金华. 陆相湖盆中沉积物供给因素对层序地层分析的影响[J]. 地球科学, 1997, 22(2): 139-144.

ZHANG Rong-hong, YU Su-yu, WU Jin-hua. The effect of sediments supply condition on sequence stratigraphy analysis in continental lacustrine basins [J]. Earth Science, 1997, 22(2): 139-144.

(下转第39页)

- [9] 左银卿,郝以岭,安霞,等.高束缚水饱和度低阻油层测井解释技术[J].西南石油学院学报,2000,22(2):27-31.
ZUO Yin-qing, HAO Yi-ling, AN Xia, et al. High irritable waters saturation and low resistivity logging interpretation technique[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2000,22(2):27-31.
- [10] 康志勇.低电阻油层成因及其研究方法——以辽河油田为例[J].新疆石油地质,1997,18(4):380-384.
KANG Zhi-yong. Origin of low resistivity pay zone and its study method—an example from Liaohe Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geol, 1997,18(4):380-384.
- [11] 杨青山,艾尚君,钟淑敏.低电阻率油气层测井解释技术研究[J].大庆石油地质与开发,2000,19(5):33-36.
YANG Qing-shan, AI Shang-jun, ZHONG Shu-min. Log interpretation technique of low resistivity reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2000,19(5):33-36.
- [12] 汪华,肖慈珣,文环明,等.新疆准南地区低电阻率油气层测井识别[J].物探化探计算技术,2004,26(2):125-168.
WANG Hua, XIAO Ci-xun, WEN Huan-ming, et al. Logging identifying of low-resistivity hydrocarbon reservoirs in Zhunnan area, Xinjiang [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2004,26(2):125-168.
- [13] 杨庆军,邓春呈,杨永利,等.人工神经网络在低阻油层识别上的应用[J].特种油气藏,2001,8(2):8-10.
YANG Qing-jun, DENG Chun-cheng, YANG Yong-li, et al. Application of nerve network on oil-bearing formation with low resistivity[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2001,8(2):8-10.

(编辑 刘艳荣)

(上接第35页)

- [10] 漆家福,肖焕钦,张卫刚.东营凹陷主干边界断层(带)构造几何学、运动学特征及成因解释[J].石油勘探与开发,2003,30(3):8-12.
QI Jia-fu, XIAO Huan-qin, ZHANG Wei-gang. Geometry, kinematics and mechanism interpretation of the major boundary faults in Dongying sag[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003,30(3):8-12.
- [11] 李思田.含能源盆地沉积体系[M].武汉:中国地质大学出版社,1996:117-130.
- [12] 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 Shuang-wen. 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.
- [13] 苏惠,许化政,张金川,等.东濮凹陷沙三段盐岩成因[J].石油勘探与开发,2006,33(5):600-605.
SU Hui, XU Hua-zheng, ZHANG Jin-chuan, et al. Origin of 3rd member salt rock of Shahejie formation in Dongpu sag [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006,33(5):600-605.
- [14] 彭海艳,陈洪德,向芳,等.微量元素分析在沉积环境识别中的应用——以鄂尔多斯盆地东部二叠系山西组为例[J].新疆地质,2006,24(2):202-205.
PENG Hai-yan, CHEN Hong-de, XIANG Fang, et al. Application of trace elements analysis on sedimentary environment identification—an example from the Permian Shanxi formation in eastern Ordos Basin [J]. Xinjiang Geology, 2006,24(2):202-205.
- [15] 徐文世,于兴河,刘妮娜,等.蒸发岩与沉积盆地的含油气性[J].新疆石油地质,2005,26(6):715-718.
XU Wen-shi, YU Xing-he, LIU Ni-na, et al. Petroliferous property in evaporitic rocks and sedimentary basins [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005,26(6):715-718.
- [16] 袁彩萍,徐思煌,贾霍甫,等.渤海湾盆地东营凹陷孔店组烃源岩特征研究[J].石油实验地质,2006,28(2):177-181.
YUAN Cai-ping, XU Si-huang, JIA Huo-fu, et al. Characteristics of source rock of the Kongdian formation in south slope of the Dongying sag, the Bohaiwan Basin [J]. Petroleum Geology and Experiment, 2006,28(2):177-181.

(编辑 刘艳荣)