

文章编号: 1000-0550(2000)01-0114-05

# 东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式<sup>①</sup>

袁 静<sup>1</sup> 赵澄林<sup>2</sup> 张善文<sup>3</sup>

1(石油大学资源科学系 山东东营 257062)

2(石油大学 北京昌平 102200)

3(胜利油田地质研究院 山东东营 257000)

**摘 要** 东营凹陷下第三系沙四段广泛发育的蒸发岩类与暗色泥、页岩和深水浊积砂体呈现明显韵律层, 为厚度达千米的盐湖沉积。通过分析了该地区蒸发岩地层的沉积特征和沉积条件, 认为东营凹陷沙四段蒸发岩类的物质基础是深层卤水; 深部古老地层中的盐类物质是其盐源, 凹陷中北部的同沉积深大断裂是沟通凹陷与地壳深部盐类物质的通道。在此基础上提出东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式, 可与东非裂谷基伍湖和东濮凹陷下第三系深水成因盐湖对比。

**关键词** 东营凹陷沙四段 盐湖 深水成因模式

**第一作者简介** 袁静 女 1972年出生 博士 沉积学

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

东营凹陷是中国东部陆相箕状断陷湖盆的典型代表, 属于渤海湾盆地中的一个三级构造单元, 是在古生界基岩古地形背景上经构造运动发育起来的中、新生代断陷—坳陷湖盆。中生代后期至早第三纪, 凹陷北部的陈南大断裂活动强烈、落差大, 南部

断层活动较弱、落差小, 形成北陡南缓的箕状断陷湖盆。凹陷东西长 90 km, 南北宽 65 km, 面积约 5 700 km<sup>2</sup>, 第三系沉积厚达万米(图 1)。主要分布在东营凹陷中北部下第三系深大断裂, 如陈南断层和坨一胜—永断层及其派生的次级断层是控制凹陷

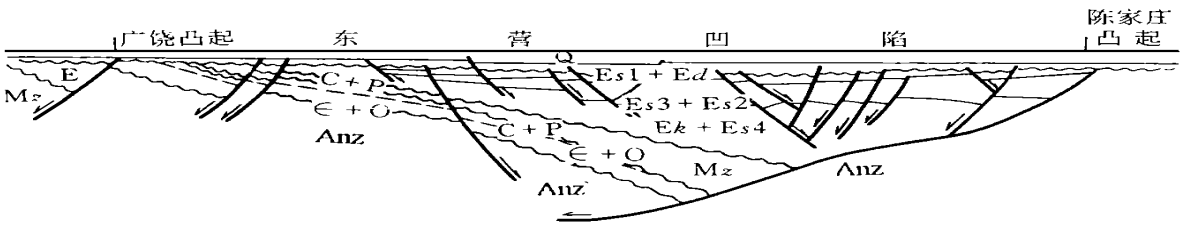


图 1 东营凹陷区域地质概况

Fig. 1 Regional geology of Dongying sag

沉积发育的重要因素。

## 1 蒸发岩地层沉积特征

(1) 东营凹陷蒸发岩只分布在中北部沉积中心, 明显受深大断裂控制。在中央隆起带、民丰洼陷和胜坨地区断裂发育地区形成累积厚度达千米以上的盐岩段, 在胜坨—郝家—六户—东辛地区以氯化物沉积为主, 牛庄地区为膏岩沉积, 纯化镇—王家岗一带有碳酸盐岩沉积。

(2) 中厚层蒸发岩与暗色泥岩(生油岩)、油页岩、软泥岩(ooze, 一般指深海洋底的各种软泥, 也可用于描述湖底的各种细粒有机沉积物)呈明显韵律交互层, 在“油盐共生”岩相组合中发育深水陆源碎屑浊流沉积, 以民丰洼陷丰 8 井和胜坨地区坨 73 井最为典型。蒸发岩广泛发育段未见红层、沉积间断以及干旱氧化标志。自沙四早期到沙四晚期共发育了杂色砂泥岩—盐岩、暗色泥岩—厚层盐岩和暗色泥岩—薄层盐岩三套碎屑岩—蒸发岩类沉积组合。

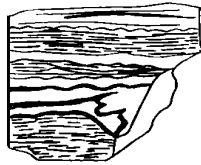
① 中国石油天然气总公司九五科技工程项目(编号 970206-02-01)研究的一部分

收稿日期: 1998-12-01

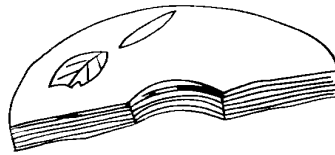
另外, 蒸发岩序列的主要沉积构造表现出明显的深水成因特征(图 2):

- a. 深灰色泥岩和灰白色盐岩呈水平韵律层频繁地叠置在一起。
- b. 与厚层盐岩间互的深灰色泥岩、油页岩层面上见丰富的黄铁矿、植物碎屑和水平蛇形迹。

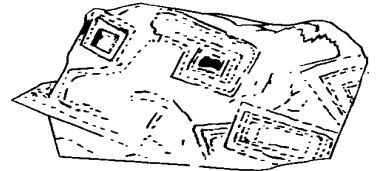
- c. 深灰色含盐泥岩表面见丰富石盐晶体印模。
  - d. 细碎屑岩中常见同生石膏结核、透镜体或条带顺层分布。
- (3) 具有与渤海湾盆地基本一致的化石组合, 未见海相化石(表 1), 反映半干旱—半潮湿为主气候条件下的盐湖沉积环境。



郝科 1 井 4.18.4m 粉砂质泥岩与盐岩间互层(白色为盐岩)



丰 8 井 3131.4m 深灰色页岩含植物碎屑



郝科 1 井 3442.7m 深灰色盐膏质泥岩层面上的石盐晶体印痕

图 2 深水成因盐湖沉积特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of the salt lake formed in deep water

表 1 东营凹陷中北部沙四段生物化石组合特征<sup>[3]</sup>

Table 1 Fossil assemblage of Sha-4 member in the central & north of Dongying sag

地 层	化石组合(水生)	代表环境	孢粉组合(陆生)	代表环境
沙 四 段	光滑南星介	微咸水…半咸水	栎粉属…榆粉属— 杉粉属—麻黄粉属 —希指蕨孢属	半干旱—半潮湿 为主
	五图真星介	较深湖—深湖		
	渤海藻属—副渤海藻属	微咸水…半咸水 滨湖—半深湖		
	褶皱藻属	淡水, 沼泽—浅湖		
	盘星藻属	滨浅湖		
	角凸藻属	浅湖—半深湖		

以孢粉组合为例, 沙四段中下部, 由于承袭了孔店组的干旱—半干旱气候, 被子植物花粉中反映干旱的榆粉属占 3%~52%, 喜湿的栎粉属占 3.2%~43.3%; 裸子植物花粉中代表干旱的麻黄粉属占 3.4%~66%, 喜湿的以及生于中高山地的杉科、松科粉属占 4.8%~40%。沙四段中上部, 榆粉属占 10%~40%, 栎粉属占 16%~61%; 麻黄粉属占 8%~28%, 杉科、松科粉属占 3.4%~60%。孢粉的分布表明东营凹陷自沙四段早中期, 气候已由半干旱向半潮湿转化, 没有出现干旱的“小气候”。

(4) 蒸发岩不具有干旱环境那样完整的碳酸盐—硫酸盐—石盐—钾盐序列, 仅石盐较发育、膏盐次之, 有少量碳酸盐岩, 泥岩常不同程度地含灰质, 与浅水环境密切相关的钾盐<sup>[1]</sup>不发育。

(5) 蒸发岩的广泛发育集中在沉积旋回的中期, 而不是旋回的末期。

上述沉积特征表明东营凹陷沙四段蒸发岩序列

是半干旱—半潮湿气候下的深水沉积。

## 2 古地貌与古气候条件

根据层序地层学研究结果, 东营凹陷沙四段沉积时期湖盆扩张, 北部陈南大断层、胜北断层的活动强度明显增大, 使得湖盆地形高差变大, 具很宽的半深湖相带, 遭受强烈风化剥蚀的边界隆起向凹陷提供了丰富的沉积物, 凹陷沉积地层厚度平均为 1 000 m, 最大可达 2 700 m<sup>[2]</sup>, 呈典型的“高山深盆”地貌景观。

燕山褶皱带形成后, 在区域引张应力作用下形成包括渤海湾盆地在内的一系列沉积盆地的同时, 大陆边缘弧形山系阻止了古太平洋潮湿气流入侵, 使中国东部形成了半干旱—半潮湿气候, 并形成了内陆河湖沉积体系, 东营凹陷蒸发岩序列与深灰色泥岩、油页岩、软泥岩间互层, 形成盐湖沉积体系。

综上所述, 东营凹陷沙四段盐湖具有深水沉积

特征,并且拥有“高山深盆”的古地貌条件和半干旱—半潮湿为主的古气候条件。那么,它的成盐物质基础是什么?盐源从何而来?通道是什么?从这些问题出发,我们提出了东营凹陷沙四段盐湖的深水成因模式。

### 3 盐湖的深水成因模式

#### 3.1 分层卤水是深水成盐的物质基础

盐水比重大于淡水,在封闭的湖泊形成下部是卤水,上部是微咸水的分层现象,含盐度高的水在下沉的同时向更深的湖底流动,富集在最深处(凹陷中北部),河水、雨水等进入湖盆浮在盐水之上,形成分层卤水,由上而下依次为稀释层、盐跃层、卤水层(表2)。

稀释层相当于半咸水到咸水,大部分位于波基面以上。由于受太阳照射,蒸发量大,当淡水注入量

表2 分层卤水结构表<sup>[3]</sup>

Table 2 Structure of water layers in salt lake

各层名称	含盐度(摩尔数)	盐湖水柱	分界面
稀释层	0.3~0.5		湖平面
			波基面
盐跃层	0.8		密度界面
卤水层			卤水顶面
沉积物			湖底

减少或盐类物质增多时,稀释层会减薄或消失。盐跃层盐度迅速增加,与稀释层有一密度界面,该层不受风浪搅动,水体安静,嗜盐厌氧细菌大量生存。卤

表3 东营凹陷中北部 E<sub>34</sub> 样品金属元素与基伍湖、东濮凹陷、

海水以及青海湖金属元素对比表<sup>[3]</sup>(据东营凹陷郝科1井及金强等1986年资料)

Table 3 Comparative analysis of metal elements in samples of Sha-4 member in the central north of Dongying sag and those of Kivu Lake, Dongpu sag sea water and Qinghai Lake

层位	样品		Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Sr	V	Zn
	样品号	岩性	/10 <sup>-6</sup>	/%	/%	/10 <sup>-6</sup>	/%	/10 <sup>-6</sup>	/10 <sup>-6</sup>	/10 <sup>-6</sup>	/10 <sup>-6</sup>
沙四段	1	盐岩	4700	0.26	1.16	166.2	27.0	7.35	438.4	7.38	15.79
	2	深灰泥岩	16500	0.78	3.20	513.2	1.01	15.12	1526.0	26.69	45.09
	3	灰色泥岩	31900	1.70	5.32	1175	1.84	26.84	339.27	58.83	102.6
	4	灰色泥岩	40900	1.73	2.88	651.42	3.47	44.38	1117.0	53.47	104.7
	5	深灰泥岩	27500	1.56	2.56	470.54	2.27	29.32	1399.7	62.00	92.64
	6	膏盐岩	24700	1.39	2.40	399.93	11.5	27.82	657.68	61.59	81.50
	7	盐岩	3900	0.22	0.34	28.20	24.6	5.88	770.22	6.93	11.76
	8	含盐泥岩	68900	3.78	2.05	746.49	1.18	62.78	1294.0	50.38	199.80
基伍湖	页岩		55300			1080		54	1774	160	52
	有机物		51100			569		70	1626	151	61
	热卤水		45000			1200		30			7000
东濮凹陷	深灰泥岩		>100			>100		12.9	704.8	5.3	49.4
	石盐		>100			12.9		36.6	1100.4	10.9	51.2
	黑色页岩		>100			>100		43.7	910.04	8.1	42.7
海水			7			1		5			12
青海湖底泥页岩			47200			85		130		68	

水层基本为饱和卤水,密度大而厚度小,与已沉积的盐类呈化学动态平衡,对后者起保护和补充的作用。季节性洪水的涌入、盐类物质来源的减少、特大风暴

使湖水大规模动荡等可能破坏分层卤水结构,主要沉积陆源碎屑岩类(含陆源生物和半咸水生物);盐类物质来源充足,稀释层减薄或消失,水生生物消

亡,则形成厚度较大的盐层。东营凹陷下第三系盐岩与深水碎屑岩繁的韵律层即分层卤水沉淀盐类和正常沉积交替出现的结果。

本区石盐远多于石膏,油田水为典型的氯化钙水型( $SO_4^{2-}/Cl^{-1} < 0.02$ ,  $Na = 25\% \sim 35\%$ ,  $Ca = 10\% \sim 25\%$ ,  $Mg = 3\% \sim 6\%$ ),与 Dundan 得出的深部地层水基本上是高纯氯化卤水,其矿化度大于37%的结论基本吻合,可以认为凹陷内卤水层为高纯氯化物卤水,当其浓度达到某种盐类的结晶浓度时,就有该盐类的沉积。

### 3.2 盐源及其通道

济阳拗陷各凹陷寒武系地层深部水样钾、钠、溴、氯、镁含量较高,中、下奥陶系有发育的膏盐沉积。沙四段中段一下段上部沉积时期东营凹陷北部边缘及凹陷内中北部剧烈活动的深大张性断裂和一系列同生正断层成为沟通凹陷与地壳深部盐类物质的通道。东营凹陷下第三系孔三段、沙四段和沙三段均有火山岩分布即为深部卤水活动有动力基础的明显证据<sup>[4]</sup>(据化工部化学矿山地质研究所,1980)。

深部卤水在断裂部位高温影响下由于膨胀产生巨大压力,沿断裂上涌,汲取围岩中重金属和古老地层中的盐类,以热卤水形式进入湖盆。重金属盐(络合物)进入凹陷后由于温度骤降迅速沉淀成固体小颗粒,沉积在盐层及其附近的泥岩中。东非裂谷基伍湖(Lake Kivu)热卤水深水成盐作用已被确认;东濮凹陷的热卤水成盐作用也已被大多数学者承认。从表3可以看出东营凹陷的成盐特征和成盐条件与它们相似,说明它们的盐类物质来源是类似的,同时也说明东营凹陷的盐类与海水和干旱区的青海湖是不同的。

深层某部位卤水受热上涌之后,邻近的地层水以及通过断裂等渗滤下去的地表水过来补充,受热后再上涌,从而形成深层热卤水循环。热卤水活动受断裂作用等因素的影响是阵发性的,向成盐凹陷提供的盐类物质时多时少,陆源碎屑物质也可进入凹陷,形成蒸发岩与碎屑岩共生的现象,构成沙四段三套碎屑岩—蒸发岩类沉积组合。在上述论证基础上,我们以图3示意东营凹陷沙四段深水盐湖成因模式。

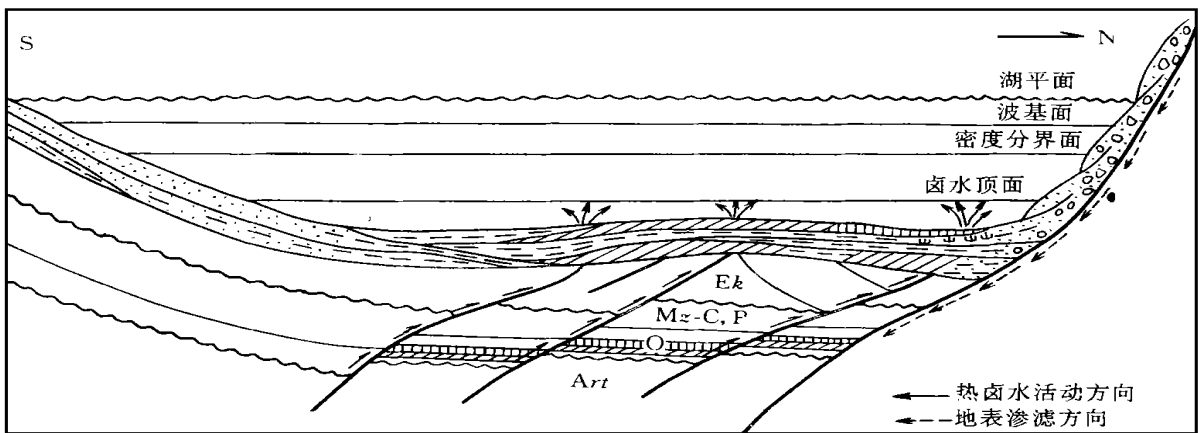


图3 东营凹陷沙四段深水盐湖成因模式图

Fig.3 Genetic model of the deep water salt lake of the Paleogene Sha-4 member in Dongying sag

## 4 结束语

(1) 东营凹陷沙四段具有“高山深盆”的古地貌特征和半干旱—半潮湿为主的古气候条件。

(2) 东营凹陷具有海相寒武系、奥陶系和陆相上二叠统一下三叠统含盐地层提供的成盐物质。

(3) 分层卤水是成盐的物质基础,深大断裂不仅控制东营凹陷沙四段盐湖沉积,也是深部卤水上涌的通道,蒸发岩和碎屑岩的交互沉积是断层和阵发

性洪水活动的结果。

(4) “油盐共生”的岩相组合,为深层勘探提供了新领域。实验表明,地质历史上蒸发岩中有机碳含量一般在2%~55%之间,与其它类型的烃源岩相比较,其有机碳含量比较可观,可与同时沉积的暗色泥岩一起作为烃源岩。近期研究发现硬石膏岩中发育有数量可观的晶间孔,并在其中见荧光显示,说明与生油岩共生的硬石膏岩具有较好的储集性能,且具有优先储集油气的便利条件,可作为含盐地层全

新的勘探目标。

### 参 考 文 献

- 1 袁见齐, 霍承禹, 蔡克勤. 高山深盆的成盐环境——一种新的成盐模式的剖析[J]. 地质论评, 1983, 29(2): 159~165
- 2 纪友亮, 张世奇等编著. 陆相断陷湖盆层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996. 100~101
- 3 金强, 黄醒汉. 东濮凹陷早第三纪盐湖成因的探讨——一种深水成因模式[J]. 华东石油学院学报, 1985(1): 1~13
- 4 孙镇城, 杨藩, 强枝焕等. 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. 167~170
- 5 王秉海, 钱凯主编. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 山东东营: 石油大学出版社, 1992. 189
- 6 赵澄林, 刘孟慧, 姜在兴等. 渤海湾早第三纪断陷盆地含油气岩系沉积学及沉积相的基本特征[J]. 石油学报, 1991, 12(2): 28~32

## Genetic Model of the Deep Water Salt Lake of the Paleogene Sha—4 Member in Dongying Sag

YUAN Jing<sup>1</sup> ZHAO Cheng-Ling<sup>2</sup> ZHANG Shan-Wen<sup>3</sup>

1(University of Petroleum Dongying Shandong 257062)      2(University of Petroleum Changping Beijing 022000)

3(Institute of geology of Shengli Oil Bureau Dongying Shandong 257000)

### Abstract

There were cyclothems consisted of evaporite rocks, deep color mudstones or shales and deep water turbidity sediments of Paleogene Sha—4 member in Dongying sag, which was salt lake sedimentary assemblage with more than 1000m in thickness. The evaporite rocks consisted of halite and anhydrite rocks mainly existed in north and centre of Dongying sag where the deep fractures developed. The fossil assemblage indicated that the climate was semi-dry and semi-moist in Paleogene Sha—4 member in Dongying sag. Analyzed the sedimentary characteristics and depositional conditions, the authors considered that the brine in deep water was the substance basis of the salt sediment, the salt in deep strata was the source of brine and the deep fractures in the north of the sag were the paths where the salt substance entered the developing sag. The deep water genesis model of salt lake in Dongpu sag which can be compared with that of Lake Kivu, was put forward after the discussion. The new field in subsalt strata exploration can be found on the basis of the lithofacies assemblage of source rock and evaporite rock.

**Key words** the Paleogene Sha—4 member in Dongying sag salt lake genetic model in deep water