

东濮凹陷盐湖层序结构与隐蔽油气藏

杨香华¹, 陈开远¹, 石万忠¹, 张洪安², 吕新华², 黄龙威²

(1. 中国地质大学资源学院石油系, 湖北武汉 430074; 2. 中国石化中原油田分公司, 河南濮阳 457001)

摘要: 东濮凹陷岩盐层序的低位体系域主要为厚层块状岩盐夹薄层泥岩和砂岩, 地震上表现为强振幅连续反射; 湖侵期为深湖-半深湖相泥岩夹薄层岩盐和重力流砂体; 高位体系域为厚层块状岩盐夹薄层泥岩和砂岩。东濮凹陷沙河街组古生物化石资料显示, 藻类生物发育, 缺少淡水种类, 介形虫成层出现, 说明盐类沉积环境以潮湿和半干旱气候交替为主, 在还原的深湖-半深湖的背景中仍有碎屑物供给。该区盐湖隐蔽圈闭多发育于盐类重力流扇体和盐湖碎屑重力流透镜体中。

关键词: 盐湖层序; 盐类来源; 响应模式; 隐蔽油气藏; 东濮凹陷

第一作者简介: 杨香华, 男, 36 岁, 副教授(博士), 石油地质与沉积学

中图分类号: P618

文献标识码: A

1 岩盐层序

1.1 层序结构

东濮凹陷下第三系岩盐层序结构非常明显: 低位域主要为厚层块状岩盐夹薄层泥岩和砂岩, 地震上表现为强振幅连续反射; 湖侵期为深湖-半深湖相泥岩夹薄层岩盐和重力流砂体; 高位域主要为厚

层块状岩盐夹薄层泥岩和砂岩(图 1)。岩盐、膏岩、碳酸岩盐在垂向上可以构成典型的沉积序列: 每一个层序均以暗色泥岩与薄层碳酸岩盐互层开始; 中部为薄层石膏或暗色泥岩夹薄层石膏或暗色泥岩含各种石膏晶体; 顶部为 10~30 cm 厚的岩盐层。

上述岩盐层序结构在地球化学指标上也有反映: 低位域期湖水较浅, 湖泊水体盐度高, 沉积物中以高铁镁方解石、白云石、自生粘土为主; $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值较高, 正偏; 硼、锶、钡等微量元素含量较高。湖侵期湖水变深, 湖泊冲淡, 具较小湖面波动, 沉积物中以低铁镁方解石、泥灰岩、碎屑粘土为主; $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值较低, 负偏; 氯、硼、锶、钡等微量元素含量较低^[1]。

控制盐类矿物沉淀的直接因素是水体盐度, 而不是水体深度。不管湖水是深还是浅, 气温是高还是低, 只要水体盐度足够高, 盐类矿物就会发生沉淀。控制和影响湖泊水体化学组成的主要作用包括大气降水、湖底沉积物和水的作用、生物化学作用、岩石土壤风化及蒸发作用等^[2]。对于特定沉积盆地某一沉积时期来说, 如果气候、构造活动、物源等相对稳定, 那么湖盆的盐类供应保持稳定, 影响湖水盐度的主要因素就是湖水的体积。如果上述假设成立, 采用碎屑岩层序研究中可容纳空间的分析方法, 就很容易解释岩盐层序的结构。

在低位域发育期, 可容纳空间增加, 但由于沉积范围较小, 水体分布范围不大, 因此水体体积不大, 湖水中水体盐度相对较高, 因而低位域中岩盐较发育, 而且盐层较厚; 在湖侵期, 可容纳空间增加

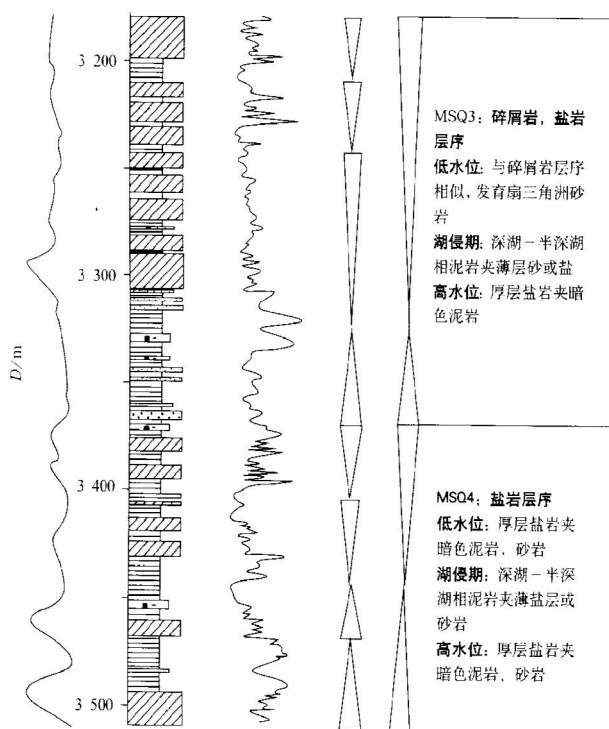


图 1 东濮凹陷岩盐层序(卫 43 井)

Fig. 1 Salt sequence in Dongpu depression(Wei- No. 43 well)

到最大,湖水最深,因而水体体积最大,因此湖水中水体盐度最低,因而湖侵期岩盐不发育,而且盐层较薄;在高位域发育期,尽管水体分布范围较大,但由于可容纳空间的减少和湖泊的淤浅,湖泊水体体积并不大,因此湖水中水体盐度相对较高,因而高位域期岩盐较发育,而且盐层较厚。

1.2 盐类成因

岩盐是岩盐层序的主要特征,东濮凹陷下第三系发育 4 套岩盐层,累积厚度超过 1 000 m,是渤海湾盆地内独特的含盐盆地。这些岩盐层对油气藏的形成具有重要影响,然而,对上述岩盐的成因还存在较大争议。

薄片 X-衍射分析结果表明,东濮凹陷岩盐的矿物组成主要为石盐(NaCl)、硬石膏(CaSO₄)、无水芒硝(Na₂SO₄)和钙芒硝(CaSO₄·Na₂SO₄),岩盐重

结晶明显,晶体颗粒粗大。

陆相咸化湖泊的硫同位素组成范围较宽,为 0.10 ‰~ 3.23 ‰^[3],而新生代海相蒸发岩的 δ³⁴S 值大约为 2 ‰,最大不超过 2.5 ‰。决定一个盆地水体和沉积物中硫同位素的组成有两个重要因素:陆源和盆地内生物的分馏作用。不同来源的硫自身的同位素组成可能存在差别。当硫来源于以前的蒸发岩时,常常相对富集重同位素;而来源于黑色页岩风化的产物时,则常常富集轻硫同位素。东濮凹陷下第三系蒸发岩的 11 个硬石膏样品的 δ³⁴S 值为 3.31 ‰~ 3.75 ‰,明显富集 δ³⁴S,有别于典型的海洋成因,这主要是生物分馏作用的结果。

从东濮凹陷矿物微量元素组成看(表 1),除东濮 Q1 样品外,其他样品 V/Ni< 1, Mn 和 Pb 含量明显低于基伍湖热卤水成因岩盐的含量^[4],以陆源为主。

表 1 盐湖盆地含盐层段微量元素组成

Table 1 Microelements composition for salt-bearing intervals in the saline basin

样号	岩性	Pb/10 ⁻⁶	Ni/10 ⁻⁶	V/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	Co/10 ⁻⁶	Mn/10 ⁻⁶	Fe/10 ⁻⁶
东濮 Q1	深灰色泥岩	71.3	5.1	7.2	399.6	—	> 100	> 100
东濮 Q2	深灰色泥岩	67.0	12.9	5.3	704.9	1 075	> 100	> 100
东濮 Q3	石盐	90.0	36.6	10.9	1 100.4	908	12.9	> 100
东濮 Q4	含膏页岩	71.0	43.7	8.1	910.0	127 400	> 100	> 100
东濮 Q5	石盐	44.0	37.1	11.7	724.9	—	14.3	44.0
东濮 Q6	含盐页岩	50.6	12.9	6.4	990.4	871	> 100	> 100
东濮 Q7	含膏页岩	70.0	10.0	8.6	718.4	36 450	> 100	> 100
东濮 Q8	深灰色泥岩	9.4	5.7	3.2	324.9	4 570	> 100	27.0
基伍湖	页岩	102	54	160	1 774	13	1 080	55 300
基伍湖	有机物	645	70	151	1 626	11	569	51 100
基伍湖	热卤水	250	30	—	—	90	1 200	45 000
青海湖	泥页岩	—	130	68	—	22 100	85	47 200
海水	—	0.1	5	—	—	410	1.0	7.0

从东濮凹陷下第三系沙河街组三段古生物化石资料来看,东濮凹陷含盐层段发育较多的藻类等水生生物^[5],说明东濮凹陷盐类沉积环境不同于完全干旱的成盐环境,而是以潮湿与半干旱气候交替为主,因为干旱成盐环境不利于上述生物生栖繁殖。另外,东濮凹陷水生生物中缺少淡水种属,岩芯中可见介形虫成层出现,同时富含黄铁矿和高等植物碎屑与植茎化石,说明在还原的深湖-半深湖背景中仍有碎屑物供给,而且水体盐度较高,这也是东濮盐湖的沉积特色之一。

据东濮凹陷沙河街组三段盐间深灰色泥岩孢粉资料分析结果,东濮凹陷四周植物分异度与温带植物特征相同,耐干旱的麻黄粉含量为 3 ‰~ 6 ‰,喜湿的被子植物占 25 ‰,说明气候以湿润为主,或为半干旱半潮湿气候^[6]。

综上所述,东濮凹陷盐类成因不能简单套用干旱气候条件下蒸发模式进行解释,必须结合东濮凹陷早第三纪的古地理背景和古气候背景进行综合分析。东濮凹陷岩盐沉积中心与沉降中心基本一致,岩盐与暗色泥岩互层,富含有机质的深湖相泥岩中通常含有石膏晶体,这些说明东濮凹陷沙河街组三段盐类是在深湖-半深湖背景中沉淀的。东濮凹陷早第三纪沉积中心较厚的纯岩盐层有 1 000 多层,如果认为岩盐是在浅水环境中形成的,并试图用水体震荡模式进行解释,那么在第三系盐湖平面的大规模变化就高达 1 000 余次,很显然这种解释是不合实际的,与 20 世纪初对浊积岩的错误解释完全是一样的。东濮凹陷沉积中心除发育岩盐外,还发育厚层暗色泥岩,是一个长期继承发育的生烃洼陷,如果发生 1 000 余次的大规模湖平面波

动,不仅沉积中心不会发育良好的烃源岩,而且沉积中心四周相应的碎屑岩和砂体也会剥蚀殆尽。

2 层序响应模式

2.1 盐类重力流

盐湖多为封闭湖盆,盆内水体分层现象明显。高盐度水体密度较大,容易形成盐类饱和流或盐类重力流,这样盐类就可以在湖泊中心或斜坡带底部沉淀。由于湖盆四周有陆源碎屑供给,水体不断被冲淡,不利于盐类沉淀;而湖泊中心受陆源碎屑和淡水的影响较小,湖水盐度较高,有利于盐

类沉淀。

在东濮凹陷沙河街组一段底部发育大型透镜体,经钻井揭示该透镜体的岩性组成为岩盐夹泥岩和薄层砂岩,是典型的盐类湖底扇(图2),从而证实了盐湖盐类重力流的存在。盐类重力流沉积可以很好解释洼陷沉积中心岩盐的沉淀,以及岩盐层与深湖相烃源岩频繁互层的现象。

2.2 盐湖碎屑重力流

由于盐湖水体密度较大,有时盐水密度大于饱含碎屑物水流的密度,这样碎屑物就可以浮在盐水之上,沿湖水表面漂流很远,然后随着水流速度减弱

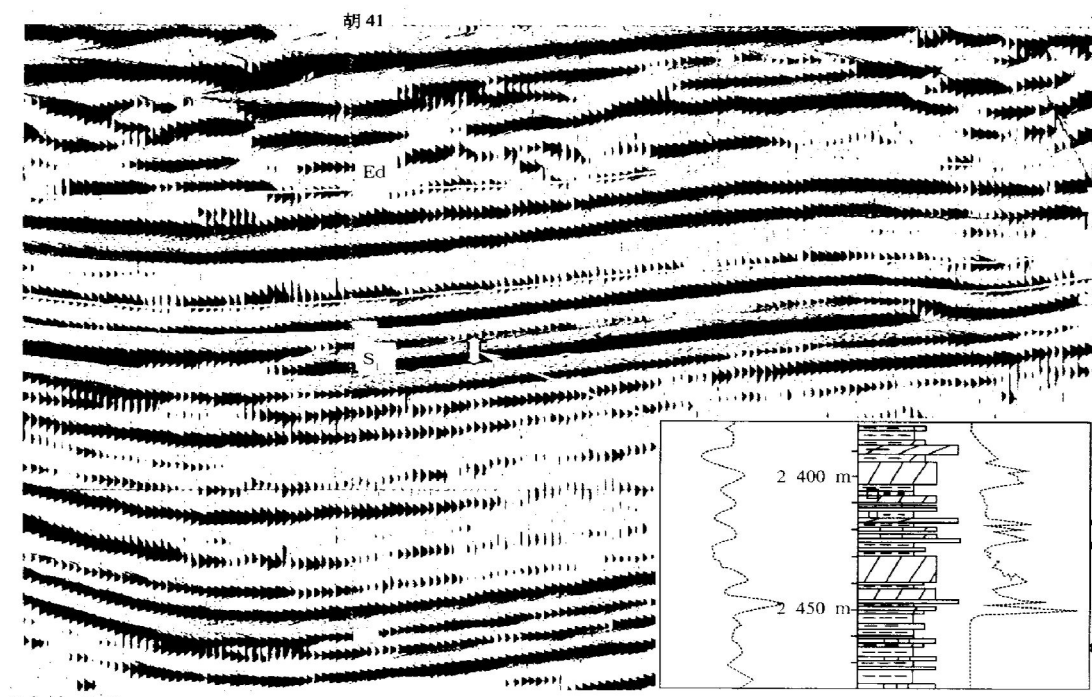


图2 东濮凹陷沙河街组一段的岩盐夹薄层砂岩大型透镜体(Inline1811测线)

而在斜坡带或湖泊中心沉降下来,形成洪水重力流和相应的透镜状砂体。

上述碎屑岩重力流往往与盐类重力流沉积共生。东濮凹陷96井在沙河街组三段发育了重力流砂岩(图3),单层厚度达16 m,并发现了工业油流,试油获 $14.6 \text{ m}^3/\text{d}$ 的油流,实现了洼陷带油气勘探的重大突破。上述重力流砂体与洼陷内良好烃源岩和厚层岩盐互层或呈指状交互。

3 盐湖隐蔽圈闭

盐湖盆地发育多种类型的隐蔽圈闭类型,下面主要论述与岩盐沉积作用密切相关的隐蔽圈闭类型。低位体系域内的盐类重力流沉积往往在湖底形成岩盐夹薄层砂岩的复合扇体,而湖侵期

发育的碎屑重力流则在洼陷中心形成透镜状砂体,这些都是盐湖盆地隐蔽油气藏的重要勘探目标。

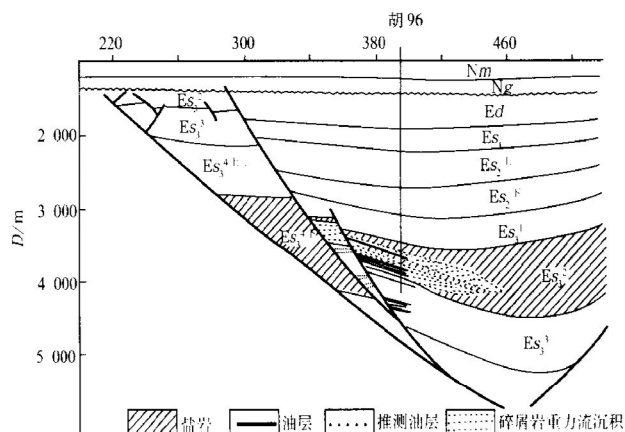


图3 盐湖碎屑岩重力流沉积(东濮凹陷胡96井油藏剖面)

Fig. 3 Gravitational flow deposition of saline lake

3.1 盐类重力流扇体

东濮凹陷早期为“东断西超”的箕状凹陷,沙河街组开始变为“两洼一隆”的地堑式结构,平面上受东西向隆起的控制,南北方向上变化明显。根据层序构成特征和砂体平面展布规律,盐类重力流复合体有利发育带为:东部陡坡带下部与西部断阶带一台阶以及东部洼陷带和西部洼陷带内部。

近年来,在西部断阶带石家集断裂下降盘层序低位体系域中发现盐类重力流扇体,其中薄层砂岩夹层是洼陷内部隐蔽油气藏的重要目标。这些薄夹层封盖条件好,油源不存在问题。

3.2 盐湖碎屑重力流透镜体

东部陡坡带主要发育各种类型砂砾岩体,包括湖底扇、扇三角洲相等,这些与断陷湖盆陡坡带岩性油气藏的分布规律一致;西部断阶带发育扇三角洲、湖底扇等砂体,在胡99井北部、胡96井一带发育大量湖底扇,是东濮凹陷洼陷内部隐蔽油气藏的重要目标;在东部洼陷带和西部洼陷带,可以发育良好的盐湖碎屑岩重力流砂体,这些均被钻井岩芯所证实,这也是盐湖盆地隐蔽油

气藏勘探重要特色之一。近年来,在东濮凹陷西斜坡二台阶和石家集断裂、长垣断裂下降盘(洼陷内部)不断发现有利储集砂体,表明洼陷内部盐湖碎屑岩重力流砂体与盐类扇体具有巨大勘探前景。

参 考 文 献

- 1 Brodylo L A, Spencer R J. Depositional environment of middle Devonian telegraph salts, Alberta, Canada [J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 1987, 75(2): 186~196
- 2 吴丰昌,万国江,蔡玉蓉,等. 控制湖泊水体化学组成的地球化学原理研究[J]. *水科学进展*, 1997, 4(2): 167~175
- 3 彭立才,杨平,濮人龙. 陆相咸化湖泊沉积硫酸岩盐硫同位素组成及其地质意义[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1999, 18(2): 99~102
- 4 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. 142~149
- 5 李任伟,辛茂安. 东濮盆地蒸发岩的成因[J]. *沉积学报*, 1989, 7(4): 141~147
- 6 朱家蔚,辛茂安,许化政. 东濮凹陷油气生成特征[A]. 见:中原石油勘探局. 东濮凹陷油气生成地球化学研究[C]. 北京:石油工业出版社,1991. 1~48

SALINE LAKE SEQUENCE STRUCTURE OF DONGPU DEPRESSION AND SUBTLE RESERVOIR

Yang Xianghua¹ Chen Kaiyuan¹ Shi Wanzhong¹ Zhang Hongan² Lü Xinhua² Huang Longwei²

(1. China University of Geosciences, Wuhan

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Zhongyuan Branch, Puyang)

Abstract: Lowstand system tracts in rock salts sequence of Dongpu depression are predominantly composed of thick-massive rock salts intercalated by thin layers of mudstone and sandstone, showing in seism a continuous reflection with strong amplitude. The lacustrine transgression phase is characterized by sandstone with intercalation of thin layers of rocks salts and gravitational flow rock of deep and semi-deep lacustrine phase. Highstand system tracts are formed by thick-massive rock salts intercalated by thin layers of mudstone and sandstone. Palaeobiological fossil data collected from Shahejie Formation of Dongpu depression indicate that the development of algal-biologies, lack of freshwater biologies and mussel-shrimps appeared in layer have given a clear picture of the depositional environment of rock salts characterized chiefly and alternately by moisture and semi-arid climate, and with clastics supply even in the background of reduced deep lacustrine and semi-deep lacustrine phase. Subtle traps of Saline lake in this region are developed commonly in salt gravitational-flow fans and gravitational lenticular sandbodies of salt clastics.

Key words: saline lake sequence; salt source; response model; subtle reservoir; Dongpu depression