

东濮凹陷盐岩形成环境

顾家裕

(石油工业部石油勘探开发科学研究院)

东濮凹陷随着大量油气资源的发现,对凹陷内巨厚盐层的成因及盐的来源已引起广大地质工作者的极大兴趣和关注,笔者仅就凹陷中成盐环境作尝试性的探讨,不妥之处请批评指教。

一、盐岩沉积的构造背景

东濮凹陷为渤海湾盆地临清拗陷的次一级沉积单元,呈北东向延伸,南宽(60公里)北窄(15公里),南北长140公里,面积约5300平方公里,凹陷跨越豫鲁两省,现今黄河流经凹陷东南部。凹陷以兰聊断裂为界,东临鲁西隆起,北为马陵断裂与辛县凹陷相接,西与内黄隆起呈超复接触,南与兰考-胙城凸起相毗邻,是一个中生代燕山运动华北地台解体后进一步发育的凹陷。北东、北北东向的主断裂,控制凹陷生成和演化,形成了两洼一隆一斜坡的构造格局。这些断裂在各个构造带的发育时间早晚不一,活动程度相差较大,导致了沉积物南北分区、东西分带的特征,甚至次级断裂形成的垒堑相间的构造格局,也对沉积和油气的运移、聚集起决定的作用。

主要的沉积发育期,从晚始新世—渐新世沉积了厚达7000米的陆相砂泥岩夹石膏、盐岩地层。根据沉积特征,层序可分为两个旋回,沙河街组四段和三段为第一旋回,旋回底部为充填型沉积,以河流相紫红色砂泥岩为主,见含砾和砾状砂岩;沙河街组四段上部和三段为稳定的深灰色、灰色砂泥岩互层,在北部地区则为泥岩和岩盐组成的韵律层。沙河街组二段、一段和东营组为第二旋回。沙二段为正旋回的灰色暗紫红色块状砂岩,局部地区为含膏泥岩或泥膏岩,沙一段以灰色、深灰色泥岩为主,同时也发育了较厚的盐韵律层;东营组时期,湖水迅速退缩,主要为红色砂泥岩互层和含砾砂岩组成的河流沉积(图1)。

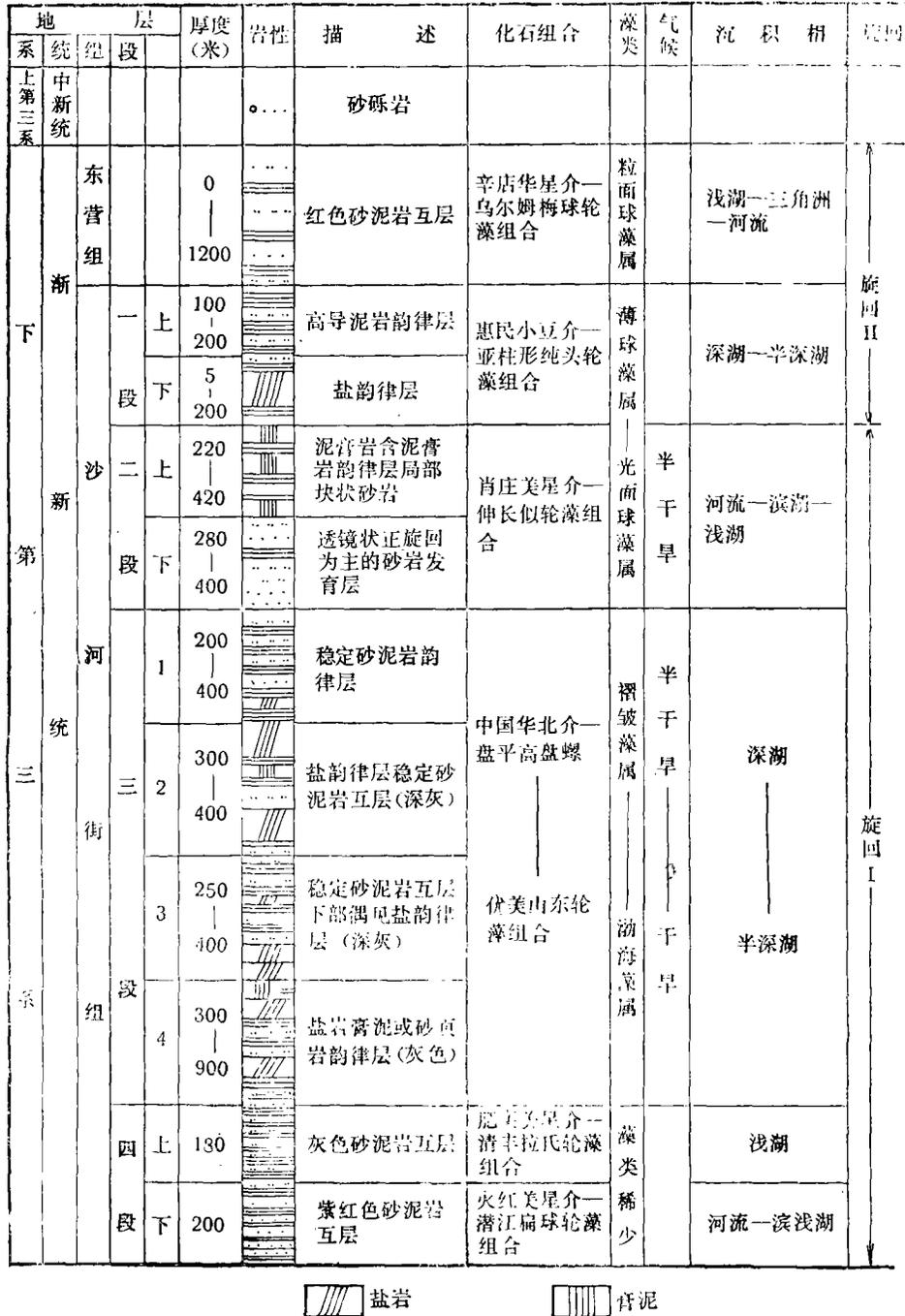


图1 东濮凹陷盐类沉积特征图

二、盐岩分布及成盐环境

(一) 盐岩分布及沉积特征

沙河街组时期是东濮凹陷主要成盐期，沙三段和沙一段为凹陷发育的两次深陷期，在不同地区沉积了四套盐韵律层（图2）。最底部为沙三⁴亚段盐韵律层，主要分布于文留地区，盐层厚度4000米左右，由37个韵律层组成，向卫城、古云集、文明寨、濮城地区逐渐过渡为砂泥互层。沙三³亚段盐沉积区向北转移，在卫城及濮城西侧，厚度150—200米，由8个韵律层组成，向四周依次出现泥膏岩、泥岩、砂岩，呈环带状分布。沙三²亚段盐类沉积区相对沙三³又有南返的趋势，以文留地区为主，在濮城、卫城部分区域也见盐类沉积，由10—13个韵律层组成，厚200余米。沙一段盐层分布面积最广，文留、文南、濮城的大部分地区都有广泛分布，厚度250米左右，由8—13个韵律层组成，盐韵律层中有较稳定的灰质夹层。

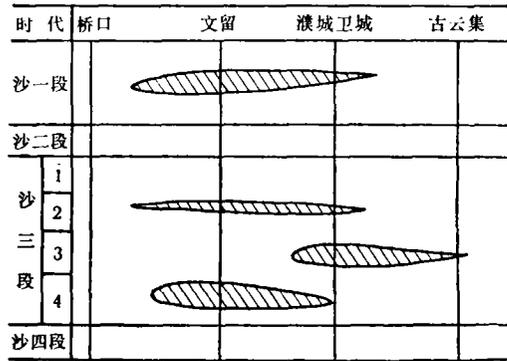


图2 东濮凹陷盐类沉积展布示意图

四套盐韵律主要由厚层状泥岩、盐岩与石膏互层或膏盐与泥岩、油页岩互层组成，单层盐岩层厚一般为20—40厘米，盐岩中所夹的石膏或泥质层往往因钻井盐岩溶解而使石膏或泥质层呈竹节状向外突出。盐岩一般呈云雾状，透明度较差（是否因钻井所致？），晶形不完整，常相互挤压镶嵌；石膏层往往与泥岩互层，黑白相间，呈斑马状条纹，石膏层厚数毫米至1厘米，少见厚层状，一般为不透明的粉末状，其中构造多种多样，常见纹层状、盘肠状，亦见竹叶状、瘤状、结核状。少量的结晶石膏有针状、纤维状，偶见石膏脉或白云岩脉垂直层面穿越。盐类夹层中具深灰色、灰色质纯的泥岩或具褐色、性脆具浓烈沥青味的油页岩，层面上有少量白云母片或植物碎屑。

(二) 深水深盆成盐环境

1. 东濮凹陷位于兰聊大断裂西侧下降盘，兰聊断裂延伸140公里，最大落差达8000余米，造成东侧高山叠嶂而西部湖区成为雨影区。气候炎热干燥，孢粉分析结果表明含多量的干旱、半干旱的植物孢粉化石，特别是喜生于干旱气候条件下的麻黄属花粉含量，在盐类夹层中，约占15—20%，最高可达25%。

盐类夹层中主要有灰色、深灰色泥岩、页岩、油页岩。泥质岩较纯且页理发育，盐岩层也较洁净，没有风吹砂粒及其它物质进入盐层之中。在夹层中也尚未见到由于暴露干旱失水而形成的泥裂或干裂后其他物质充填形成的碎屑脉等，也未见植物的立生根等，证实盐岩沉积时为一个较深水的安静环境。

2. 东濮凹陷中介形虫类型丰富，以主要成盐期沙三段为例，介形虫主要分布于灰黑、深灰色泥岩中，壳体较扁平或腹侧膨大，壳壁薄，两瓣近等或叠覆不明显，壳体多样。具有水体较深和还原环境中生活的底栖介形虫类特征。以华北介（Huabeinia）、

玻璃介 (Candona) 属占优势。华北介往往是壳体上带瘤脊而腹部宽平, 这种壳体构造是长期环境改造的结果。一般认为它主要生活于深水环境、水体安静、底质为淤泥质的环境。为了在底质表面匍匐行动, 防止壳体下陷于淤泥中就必须有突出的瘤、脊和宽平的腹部以增加托浮力。至于玻璃介主要是壳壁较厚、壳面较粗糙的鞍状玻璃介, 这种壳瓣强烈叠覆的种类也是深水环境的产物*。

3. 东濮凹陷盐类沉积厚1200余米, 但据岩芯观察, 绝大部分盐岩具成层构造, 其中泥质夹层局部有滑动变形的现象, 但仍不失其成层性, 因而我们认为原始沉积盐岩层是主要的。

根据国内外资料表明, 在干旱气候条件下, 盐类沉积每年的速率可达10—15毫米, 而盆地的沉降速率一般仅为0.03—0.3毫米。渤海湾断陷盆地的沉降速率也与国外相仿, 东濮凹陷每年约0.26毫米 (表1)。

表1 渤海湾盆地早第三纪渐新世沉降速率 [3]

凹陷名称	地层厚度 (米)	沉降速率 (毫米/年)
东 濮	5500	0.26
东 营	4850	0.23
辽 西	5000	0.24
冀 中	3800	0.18
黄 骅	4000—5000	0.19—0.24

如采用现代蒸发岩沉积速率的平均值, 即每年20毫米计, 则通过代入沉积物厚度与沉积和沉降速率关系式

$$D_i = T_{max} (1 - R_s/R_d)$$
 (式中 D_i 为盆地原始深度, T_{max} 为沉积的极限厚度, R_s 为盆地沉降速率, R_d 为沉积物沉积速率), 可以得到沙三³时期

东濮凹陷原始深度约175米左右。倘若凹陷中的盐岩属“萨布哈”性质, 那么按沉积岩沉积速率1/5计算, 则每年相对水深减少3.74毫米, 当盐类沉积数米以后就会完全暴露于水上而遭淋滤、溶解或被滨岸碎屑物所复盖。因此可以认为要沉积巨厚盐层就必须具有相适应的沉降速率和沉积速率, 保持深盆深水环境才能形成, 而不是盆底频繁升降或湖水深浅变化的结果。

4. 根据地层对比, 盐类一般分布于凹陷中心或近断层下降盘一侧, 沿斜坡或断层上升盘一侧明显变薄、尖灭或缺失。

总之, 从目前初步分析, 东濮凹陷盐类沉积环境为高山屏障、半封闭深盆深水环境。

三、关于盐源问题讨论

东濮凹陷盐岩的来源问题有过不少的设想, 但较难定论。概括起来有三种: 其一, 认为盐来自地表迳流水, 经蒸发浓缩、结晶析出盐类; 其二, 盐类沉积与兰聊大断裂有密切关系, 深部热卤水释放, 冷却析出盐类。最后, 盐类来自部分海水的浸入, 短期的海侵是盐类的又一来源。笔者认为这三种可能并不矛盾, 不管哪一种可能都不能排斥另

* 唐祥华, 1984, 东濮凹陷渐新世早期含盐地层生物群古生态及其成盐环境。

外两种可能, 本文仅就海水的短期侵入提出几点进行讨论。

1. 东濮凹陷沙三段实体化石与遗迹化石较特殊, 藻类以渤海藻(Bohaidina)、付渤海藻(Parabohaidina)、德林兰藻(Deflandrea)、褶皱藻(Campenina)为代表, 渤海藻一般生活于与海水较为接近的水域中, 绝非淡水环境的产物。德林兰藻目前国内外普遍认为是属海相的沟鞭藻类, 而作为海相环境的标志, 同时在沙三段还发现保存完好与海水有关的鱼类化石(Perciformes Knightia Sp.)^{*}

2. 沙三、沙一段灰色、深灰色泥岩中经孢粉分析, 发现还含多量的刺球藻(Hystri-chosphaeridinm), 其中多数为个体大、刺长, 基部稍有膨大, 末端分叉呈“Y”形。有关刺球藻的亲缘关系目前尚有一定的争议, 但它的存在和形态特征可以指示大的沉积环境为世人所公认。一般认为刺球藻仅生活于海洋环境, 而其含量变化有一定的规律性, 深水地区刺球藻体大、量多; 而浅水沿岸带则体小、量少, 因而古生物学家根据其存在与否、形态特征确定海相和陆相, 划分滨海—浅海—深海不同的沉积环境。

3. 锶和钡是活动性较强的元素, 容易从风化的岩石中游离出来, 无论在潮湿气候下的酸性溶液中还是在干燥气候下的碱性溶液中, 都有较强的迁移力, 特别是在淡水湖泊中, 由于水介质酸性比较强, 锶钡化合物都呈游离状态保留在水中, 因而湖底淤泥沉积层中很少有锶钡类矿物沉淀。然而东濮凹陷沙三段中锶的含量很高。有人把Sr/Ba比值作为判断海陆相地层的地球化学标志, 比值界限为1, 大于1为海相沉积物, 小于1为陆相沉积物。当然海相地层中Sr/Ba值不一定大于1, 但从陆相向海相过渡, 沉积层中Sr/Ba值增大趋势是客观存在的, 本区沙三段Sr/Ba值为0.94, 接近1, 而特殊层段可高达1.83^{*}。同时其它微量元素如Mn、Cu、Ni、Pb等含量也较高(表2), 其中铜/钡值为0.901, 铁/锰值为1.334, 比凹陷中不含盐层段高得多。

表2 不同沉积盆地泥质岩石中微量元素表

元素 含量	Mn	Sr	Cu	Ni	Pb
地区时代					
东濮沙三段	676	433	30—61		89.8
东海	1000	700	100		100
吐鲁番老第三纪〔5〕		203	10	35	13.7
鄂尔多斯盆地〔6〕		245	12	38	41

单位: Ppm

这些元素为海洋卤水中常见的金属组分, 在海相地层中相对含量较高, 而陆相地层含量一般较低, 沙三段微量元素的含量与东海现代沉积物中微量元素含量有其相似

* 李浩鸣, 1984, 东濮凹陷下第三系含油沉积建造的古生态分析。

性，而与陆相地层中的元素含量差别较大。

结 语

东濮凹陷受兰聊断裂控制，形成了高山深盆的古地貌特征，在干燥气候条件下形成巨厚的盐类沉积。根据沉积物特性及古生物组合所反映盐类的沉积环境应为深水环境。在凹陷发育的深陷期可能受到短期海侵的影响，成为盐类来源的一个组成部分。

本文参阅中原油田地科院及地矿部华北石油地质大队有关资料，在此表示谢意。

（收稿日期：1984年12月30日）

参 考 文 献

- 1.袁见齐等，1959，柴达木盆地的盐湖的类型，地质学报 第39卷第三期
- 2.袁见齐等，1983，高山深盆地成盐环境——一种新的成盐模式的剖析。地质论评 第29卷第三期
- 3.黄醒汉等，1983，东濮凹陷下第三系盐湖沉积与油气成因的初步探讨。华东石油学院学报，第7卷第三期
- 4.黄汝昌，1981，陆相沉积中古气候演变及元素的迁移、聚集和演化。中科院兰州地质研究所集刊，1981，第1号
- 5.范璞等，1974，吐鲁番盆地中生代、新生代沉积岩中微量元素的分布。地球化学，1974年第1期
- 6.范璞等，1973，鄂尔多斯盆地中生代沉积岩中微量元素的分布。地球化学，1973年第4期
- 7.Schmalz, R.F. 1969, Deep Water Evaporitic Deposition: A Genetic Model AAPG V. 53 No.4
- 8.Fred. B. Phleger, 1969, A Modern Evaporite Deposit in Mexico AAPG V. 53. No. 4

THE DEPOSITIONAL ENVIRONMENT OF SALT ROCKS IN DONGPU DEPRESSION

Gu Jiayu

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Ministry of
Petroleum Industry.)

Abstract

Dongpu Depression is a second graded structure unit in Pohai Gulf Basin with thick formation of salt—sediments interbedded with dark mudstones developed during Paleogene. In this paper, the rhyme, cycle, structure and ecological properties of contained fossils in the depression are discussed and the author suggests that the salt rocks were generated in a depositional environment of still—stand deepwater and probably experienced sea water immersions in a short period expect for the salt rocks derived from surface flows. The various haloclines formed in saline lakes caused multiple dissolutions and crystal sedimentations of halogen rocks foming the saline deposits.

Based on macroscopic viewpoint, the saline deposit is controlled by the highland bairt up with the marginal deep faults and is a typical example of “high mountain—deep basin” saline model.