

中原油田科技攻关地学成果

东濮凹陷油气生成地球化学研究

中原石油勘探局 编

石油工业出版社

P618.130.1/005

069805

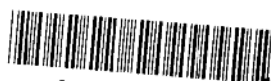


中原油田科技攻关地学成果

库本

东濮凹陷油气生成地球化学研究

中原石油勘探局 编



200302920

S613/25



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是中原油田科技攻关会战的研究成果之一，是专门论述石油和天然气生成的论文集，书中收入了有关单位提供的7篇论文。

本书的内容包括了生油和生气两个方面，在生油方面，比较系统地论述了东濮凹陷生油岩建造的特点，主要是含盐建造生油层的沉积和地球化学方面的特点。在生气方面，比较系统地论述了东濮凹陷中天然气来源于煤系地层的问题，并且探讨了有机地球化学和同位素地球化学有关问题。

本书可供科研、教育、生产部门的石油地质、地球化学方面的工程技术人员，以及各类院校师生们参考。



中原油田科技攻关地学成果 东濮凹陷油气生成地球化学研究

中原石油勘探局 编

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京海淀吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本113/4印张 283千字 印1—1200

1991年5月北京第1版 1991年5月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0528-X/TE·504

定价：6.55元

出版者的话

中原油田是我国东部渤海湾地区70年代中后期发现和建成的油气田。油气田所在的东濮凹陷是一个次一级断陷盆地。其地质条件除了具有渤海湾地区其它含油气凹陷的复杂性之外,还有其更复杂的一面。主要表现在断裂更发育,沉积变化更剧烈,油气藏类型更多。这种复杂性成为快速勘探开发中原油田在认识上和实践中极为不利的客观条件。

根据党中央、国务院的指示,在石油工业部的组织下,中原石油勘探局编制了《中原油田石油天然气勘探开发建设规划(1983~1985)》,规划拟定从石油地质、地震勘探、钻井工艺、泥浆技术、测井技术、开发工艺技术、试油工艺、油气集输八大方面进行科技攻关,进行了我国石油会战史上第一次以科技攻关为主要内容和形式的夺油大会战。在充分调动全局广大职工认真执行这个规划投入科技攻关会战的同时,与中国科学院地学部、有关高等院校、石油部内的科研院所、兄弟油田等39个单位,共同承担了约80个科技攻关课题。结合引进国外先进技术与21个国家和地区接触,形成了国内外相结合、部内外相结合、上下结合、厂校结合、专项攻关与群众性技术革新相结合的科技攻关会战局面。

由于科技攻关会战紧紧围绕着勘探开发和生产建设,结合实际重在应用,大大促进了科学技术水平的提高和生产的发展。经过1983~1985三年会战,提前实现了“规划”所规定的探明石油地质储量5亿吨、天然气储量500亿立方米、生产原油500万吨的目标,使中原油田迅速发展成一个新兴的石油天然气工业生产基地。

在科研方面,取得了一批比较有份量的研究成果,解决了一批关键技术,连同消化引进的先进技术和科研装备一起,使中原石油勘探局的科学技术水平有了较大幅度的提高,在石油工业科技发展史上书写了重要的一章。

目前中原石油勘探局所发现的油气田集中在东濮凹陷。

东濮凹陷处于临清拗陷的南端,南邻开封拗陷,东西分别被鲁西和内黄隆起所夹持,南北长、东西窄,为北东—北北东向发育在华北古生界地台上的中新生界,以新生界为主的狭长裂陷盆地,经过几期构造运动和断裂活动之后,构成了盆地内部十分复杂的局面。由于基底断裂活动对上覆盖层的控制,以及盖层内部的次一级断裂活动的影响,不同时期的、不同方向运动的断块差异活动使东濮凹陷的今构造格局极为复杂。内陆盆地的多物源条件和频繁的升降活动,造成各时期复杂的古地貌景观,使沉积物在平面上产生多类型、多形态和纵向上多旋迴的特征。下第三系沙河街组以闭塞盐相沉积有别于渤海湾地区的其它沉积盆地。除存在着大量的构造与断层分别或同时起控制作用的油藏外,又存在着岩性(包括成岩作用)和地层起控制作用的油气藏,并且油气水关系复杂。

中原石油勘探局为了把三年来东濮凹陷石油地质研究成果表现出来,与有关单位协商决定出版这方面的论文集三本,分别是《东濮凹陷油气生成地球化学研究》、《东濮凹陷下第三系沉积相与成岩作用研究》、《东濮凹陷及邻区构造特征与油气关系研究》。并且邀请王文彦、刘和甫、朱国华、田在艺、吴奇之、卢松年、陈昌明、陈发景、张恺、张万选、张厚福、周自立、徐永昌、钱绍新、黄第藩、傅家谟、程克明、裘亦楠、薛叔浩等专家对稿件进行了评审。本书由朱家蔚负责主编。

虽然这场石油科技会战已经过去5年了,但从这些论文中还可以看到我国石油科技前进的步伐。

目 录

东濮凹陷油气生成特征.....	朱家蔚等 (1)
东濮凹陷生油层特征及评价.....	程克明 辛茂安等 (49)
东濮凹陷生油岩研究.....	汪本善 辛茂安等 (86)
含蒸发岩建造湖盆生油特征及其意义.....	李任伟 辛茂安等 (104)
东濮凹陷煤成气的有机地球化学和同位素地球化学研究.....	傅家谟 朱家蔚等 (125)
东濮凹陷煤成气地球化学特征.....	徐永昌 朱家蔚等 (155)
油、气产率的实验室研究.....	许化政 (175)

东濮凹陷油气生成特征

朱家蔚 辛茂安 许化政

(中原石油勘探局勘探开发研究院)

前 言

东濮凹陷是一个富含油气的内陆盐湖断陷盆地。它在构造演化、沉积发育史上独具特征,在油气生成和演化上也极具特色。

本文综合了大量的地质和地球化学资料,运用现代生油理论,采用了色谱、色谱-质谱、红外光谱、电镜、热模拟及岩石热解等现代实验技术,研究了本区下第三系 Es_3 、 Es_4 上段生油层油、气生成的特征,认为:深水盐湖沉积环境有利于喜咸水生活环境水生生物的发育和大量繁殖、保存;含灰质、白云质泥(页)岩与砂岩层纵向和平面上的相变关系有利于油气的短距离运移和聚集。文中讨论了油气生成的门限温度、深度和时间;并通过模拟实验求出了生油岩各热演化阶段的产油率、产气态烃率,应用氯仿“A”法、氯仿“A”蒙特卡罗法、恢复干酪根原始浓度法,预测了全凹陷的总油、气生成量、资源量。并且求出了“湿气、干气”的总生成量、资源量和成熟生油岩各热演化阶段的生油量、生气量、排烃量和油气远景资源量。

在天然气研究方面,认为东濮凹陷中存在有两种气源——下第三系生油岩生成的油成气和石炭-二叠系煤系地层生成的“煤成气”。运用了稳定碳同位素、氢同位素、氦同位素、含汞量测试等方法,根据东濮凹陷两套气源岩(石炭-二叠系和下第三系)同位素年代差别极大的特点,对两种成因类型的天然气进行了成因研究。并研究了石炭-二叠系有机质组成和有机地球化学特征,探讨了其生气机理、演化阶段、生烃模式。通过对煤和暗色泥岩的模拟生气试验,求出气体发生率参数。通过试验手段并与实际天然气组成相类比,证实了本区存在有“油成气+煤成气”的混合气,并对各“混合气”气田中“煤成气”所占的比例进行了计算。另外,较有依据地计算了文留地区煤成气聚集系数。

一、石油、天然气地质特征

东濮凹陷位于渤海湾裂谷系最南端,走向北北东向,横断面为箕状,北窄南宽,东陡西缓,面积5300km²。

(一) 地层与沉积特征

以古生界为基底,以中生界、新生界为盖层,自下而上由5套沉积层组成:

1. 下古生界奥陶系 (O)

下统为冶里组和亮甲山组, 含燧石结核粗晶白云岩。中统为马家沟组和峰峰组厚层状隐晶灰岩及薄层状隐晶白云岩、含膏白云岩。

2. 上古生界石炭-二叠系 (C-P)

中上石炭统与中奥陶统呈假整合接触, 为海陆交互相含煤建造。向上过渡为二叠系陆相含煤建造和陆相砂泥岩建造。

中石炭统本溪组 (C_2b): 厚20~120m, 下部由铝土质页岩、炭质泥岩和灰色泥岩、粉砂岩组成, 含有赤铁矿团块; 上部由深灰色泥岩、薄层状细砂岩、灰岩或生物碎屑灰岩夹煤层组成, 含煤1~2层, 厚度1~2.5m。

上石炭统太原组 (C_3t): 厚度30~97m, 下部由深灰色泥岩、细砂岩、炭质泥岩及煤层组成, 夹不规则铝土层, 底部为硅质细砂岩; 上部为深灰色泥岩、灰岩、细砂岩夹煤层组成。含煤1~8层, 厚1.5~7m。

下二叠统山西组 (P_1s): 厚100~150m, 为陆相含煤建造。共含煤1~12层, 厚2.5~20.5m。下部由灰色泥岩、白云质泥岩、粉砂岩夹煤层组成。中部为煤层集中段, 单层最大厚度达8m。上部为深灰色泥岩、细砂岩、白云质泥岩不等厚互层、夹薄煤层。

下二叠统下石盒子组 (P_1x): 厚度50~180m, 由灰色、紫红色泥岩与白云质泥岩、粉砂岩略等厚互层组成。

上二叠统上石盒子组 (P_2s): 厚度80~320m, 由石英砂岩、含砾细砂岩与灰、紫红色泥岩不等厚互层组成。

上二叠统石千峰组 (P_2si): 厚度100~300m, 由暗紫红色泥岩、白云质泥岩与灰白色、紫红色砂岩, 含砾细砂岩组成。

石炭-二叠系中, 本溪、太原、山西组这套含煤层系, 厚160~300m, 构成东濮凹陷煤成气的主要气源岩。这套煤系沉积相当稳定, 在全凹陷, 甚至整个华北地区广大范围内均可对比。

3. 中生界下三叠统红层 (T_1)

为一套高电阻红色砂泥岩层, 中、上三叠系及侏罗系、白垩系由于本区尚未钻遇, 故尚不能确定其是否存在。厚约700~1000m。

4. 新生界下第三系

新生代本区强烈断陷, 沉积了巨厚的新生界, 最大厚度可达7600m。其中下第三系最厚达5900m。由下而上为: 沙河街组四段 (Es_4)、三段 (Es_3)、二段 (Es_2)、一段 (Es_1) 和东营组 (Ed)。 Es_3 和 Es_1 为两套主要生油岩系, Es_3 最厚为3200~3400m, 暗色泥岩最厚为500m, 上述地层沉积中心位于兰考-聊城基底断层下降盘一侧, 与沉降中心大致吻合。

下第三系可概括分为两大沉积旋回, 自下而上为: Es_4 — Es_3 — Es_2 下部和 Es_2 上部— Es_1 — Ed 。

其基本沉积特征为: 由下而上, 粒度由粗—细—粗; 颜色由红—灰—红; 水体含盐度由淡水—咸水—淡水; 沉积环境由较干旱的亚热带气候的深水盐湖相—较干旱气候的河流沼泽相。

下第三系沉积时期, 本凹陷南部和北部湖盆的水体含盐度和生物发育情况差别甚大。南部无盐、膏层沉积, 水体较淡, 属于弱还原沉积环境。该区的有机质丰度、类型及保存、转化较北凹差; 而北部的 Es_1 、 Es_3 中分布有巨厚的盐、膏层, 最大钻遇厚度约 840m, 覆盖面积达540km²以上。近几年对本区进行的大量的沉积相研究, 从多方面论证了 Es_3 、 Es_1 盐、膏层属于深水盐湖相, 而且在这种强还原环境中发育着比较丰富的生物, 形成了比较优质的生油岩。对大量的样品进行化验已经证实: 含石盐、石膏及碳酸盐的泥质生油岩仍可含有丰富的有机质。而且它们的可溶有机质含量、有机碳含量和岩石热解烃量均成正比例变化, 烃产率(HC/C_{OT})也随着埋深、受热程度增加而增大(表1), 另外, 在本区卫20井、濮63井盐岩样品中发现丰富的原生包裹体, 其内部含无定形颗粒腐泥型干酪根, 在荧光显微镜下观察, 它们的发光特征, 随样品埋藏深度增大, 成熟度加深, 由黄色—褐色—亮兰白色, 与有机质油气生成和演化的特征是一致的。所有这些, 证明这些与盐膏层共生的生油岩, 它们的高有机质丰度是原生的, 而且随着热成熟作用的增强, 呈现出有规律地成烃转化现象。今天, 蒸发岩成油问题已日益被重视。J. Pet提出, 在深水盐湖盆地中, 表层水产生的有机质可被保存于密度层的下底部高盐度缺氧盐水中, 被细菌分解、溶解或沉积于水底。而水底沉积物中的硫、方解石、石膏、钾、碱等, 可作为催化剂, 使其转变为烃。粘土和微晶方解石主要捕集大型烃类分子, 小型烃类分子则可通过渗透层进入含水层, 分散于储层之中。E. T. 迪更斯提出, 裂谷型盆地水体, 可形成盐跃层, 水体按密度成层分布, 从而形成还原环境; 本盆地 Es_3 蒸发岩形成的水体也具有分层现象; 卫20井石膏层稳定硫同位素(δS^{34})含量为33.1~37.5‰, 远远高于第三系海相蒸发岩, ($\delta S^{34} < 25‰$), 其成因可能是由于湖盆底部高密度水体处于强还原环境, 发育了较多的酸还原菌, 它们所产生的硫化氢富集轻的硫同位素(δS^{32}), 而使残存的碳酸盐富集较重的 δS^{34} 。本区 Es_3 生油岩泥岩中含数量较多的星散状黄铁矿颗粒, 与其互层的盐膏层矿物成分主要为石盐、硬石膏, 无水芒硝、钙芒硝, 这种巨厚的盐、膏层由何而来? 有两种看法: 一种认为由于“海漫”或者地下、地表径流溶解古生界沉积岩中的盐、膏类物质使卤水聚集于深裂谷盆地中沉淀而成。但难于解释如此大量的卤水如何能数次地注入。另一种看法认为盐膏物质主要来源于深层热卤水, 它们沿深断层注入湖盆水体底部, 并与季节性淤泥层互层沉淀下来。在本区 Es_3 盐、膏层段取岩样与东非裂谷系火山活动频繁的基伍湖底各类沉积物相比较(表2), 可以看到: 二者的重金属元素组成较相似, 而与现代盐湖青海湖底页岩截然不同。推断这种深层热卤水注入湖盆时, 可能带来一定数量的氮、磷物质, 从而促成了浮游生物和细菌的大量繁殖, 是盐湖相生油岩有机物富集的物质基础。

另一较特殊的沉积特征是, 同生断层密度大, 地壳振动频繁, 故而水退、水进期间短。且湖盆沉积呈东西分带, 而各带间距近。由于上述原因, 使本区生油层、储集层纵向、横向上频繁相变。暗色泥岩单层多为5~15m, 属最佳排烃厚度。

5. 新生界上第三系

假整合于下第三系之上, 中新统馆陶组块状砂岩下粗(砾状砂)而红, 上细(粉—细砂岩)而绿; 上新统明化镇组为一套棕红—棕黄色近似等厚的砂泥岩互层地层。厚度1000~2700m, 南厚北薄。

表1 东濮凹陷盐间泥岩、灰质、白云质泥岩有机质丰度、类型统计表

井号	井 段 (m)	层位	岩 性	CoT (%)	CHCl ₃ - "A" (%)	HC (ppm)	HC/ CoT	Tmax (°C)	S ₂ (mg/g)	S ₃ (mg/g)	S ₂ /S ₃	I _M	I _o	干酪根类型
文35	2870—2872	Es ₃ ³	灰质页岩	1.55	0.3990	2100	13.5	429	6.01	1.27	5.20	426	82	II ₁
	2883—2887	Es ₃ ³	灰质页岩	14.04	0.4848	2418		434	2.98	1.55	47.32	522	11	II ₁
卫18—5	2844.31—2847.7	Es ₃ ³	灰质页岩、泥灰岩	1.24	0.4238	2599	21	425	1.23	1.64	3.31	438	132	II ₁ ~I
	2851.31—2957.9	Es ₃ ³	灰质页岩、泥灰岩	1.43	0.3815	1701	12	430	0.38	0.97	8.02	544	68	II ₁ ~I
濮参1	2318—2320	Es ₁	盐间泥岩	0.84	0.161	203	2.4							
文1	2934—2937	Es ₃ ⁴	盐间含膏泥岩	1.88	0.128	508	4.7							
文26	2965—2970	Es ₃ ⁴	盐间含膏泥岩	3.43	0.898									II ₁
27	2620—2700	Es ₃ ²	盐间含膏泥岩	0.60	0.091	330	5.5							
204	3900.78—3916.87	Es ₃ ⁴	盐间含膏泥岩	1.09	0.3614	2530	23.2							
218	3342	Es ₃ ²	盐间含膏泥岩	1.06	0.5589	3768	35.6							
	3844	Es ₃ ⁴	盐间含膏泥岩	0.93	0.3689	2797	30.1							
文10—3	2270.5—2272	Es ₃ ³	含膏泥岩	1.77	0.3472	1181	6.7	420	0.99	2.04	3.48	401	115	II ₁
文30	3300—3360	Es ₃ ²	灰质、白云质泥岩、含膏泥岩	0.84	0.115	769	9.6							II ₁ ~I
204	3909	Es ₃ ⁴	盐间泥岩	3.43	0.3934									
210	3804.27—3806.86	Es ₃ ⁸	灰质泥岩	1.07	0.4202									
	3743.14—3743.64	Es ₃ ⁸	灰质泥岩	1.11	0.4195	2547	32							

续表

井号	井段 (m)	层位	岩性	Cor (%)	CHCl ₃ "A" (%)	HC (ppm)	HC/ Cor	Tmax (°C)	S ₂ (mg/g)	S ₂ (mg/g)	S ₃ (mg/g)	S ₂ /S ₃	I _M	I ₀	干酪根类型
港35	3778.9—3778.95	Es ₈ ⁸	灰质泥岩	1.21	0.4119	3359	28								
	3332.07—3364.3	Es ₈ ⁸	灰色含膏白云质 泥岩	3.79	0.8474										
	3333.83—3334.3	Es ₈ ⁸	灰色含膏白云质 泥岩	3.61	0.5005										I
港45	3429.4—3330	Es ₈ ⁴	页岩	1.59	0.3110	2055	12.9								I
	3491.2—4292	Es ₈ ⁴	白云质泥岩、白 云岩	2.20	0.3941	2711	12.3								
	3478.7—3479.5	Es ₈ ⁴	页岩	1.17	0.2433	1598	13.7								
文93	2608	Es ₁	盐间泥岩	5.24				428	2.83	42.09	2.43	16.97	803	47	I

表2 东濮凹陷北部E₃沉积物与基伍湖沉积物金属元素比较表

井号	层位	深度 (m)	岩性	Pb	Zn	Cu	Ni	V	Sr	Ca	Mn	Fe	Li	Rb	Cd	Br	Cl-	SO ₄ ²⁻
文204	E ₃ ²	3495	深灰色泥岩	71.3	26.2	32.4	5.1	7.2	399.6		>100	>100	6.9	4.56	0.5		15100	137
文204	E ₃ ⁴	3905	深灰色泥岩含石膏	67.0	49.4	58.2	12.9	5.3	764.9	1075	>100	>100	3.5	5.52	1.2		34300	471
文204	E ₃ ⁴	3909	盐岩含膏状粘土	90.0	51.2	49.6	38.6	10.9	1100.4	908	12.9	>100				3.0	5.0540700	120
文204	E ₃ ⁴	3910	黑色泥岩含石膏晶体	71.0	42.7	32.9	43.7	8.1	910.0	12740	>100	>100	5.9	6.18	1.0		97700	
新文401	E ₃ ²	3140	盐岩, 含灰色粘土	44.0	55.3	41.8	37.1	11.7	724.9		14.3	440		2.76	3.11	0.0579400		98
新文401	E ₃ ²	3141	黑色页岩含石盐	50.6	41.4	27.6	11.9	6.4	990.4	871	>100	>100	1.5	3.2	1.3		37640	
新文401	E ₃ ²	3142	黑色页岩含石膏	70.0	39.7	24.1	10.0	8.6	718.4	36450	>100	>100	1.2	4.2	0.9		27580	35400
明48	E ₃ ²	2005.2	深灰色泥岩	9.4	7.2	3.8	5.7	3.2	324.9	4570	>100	27.0	0.8	2.28	1.6		5400	48
			基伍湖页岩	102	52	45	54	16	1774	130	1080	5530						
			基伍湖有机物	645	61	62	70	151	1626	11	569	5110						
			基伍湖卤水	250	7000	200	80			90	1200	4500						
			海水	0.1	12.0	2.0	5.0			410	1.0	7.0				600	19350	2710
			青梅湖底页岩				130			22100	85	47200					180	

注: 转引自金强“东濮凹陷下第三系盐湖相生油岩形成及其成烃演化的研究”。

(二) 构造概要

东濮凹陷是中生代末期开始发生强烈断陷后形成的裂谷盆地，主要受兰考-聊城大断层控制，在早第三纪最为发育，至晚第三纪由断陷期进入拗陷期。区域构造及圈闭有4个突出特点：

1. 东西分带、南北分区的特点

这是由北东向发育的三条大断层长期差异性活动，奠定了凹陷的构造格局，并控制了沉积物的分布的结果。它们均切割至下古生界基岩，走向北北东，自东而西平行排列为：兰考

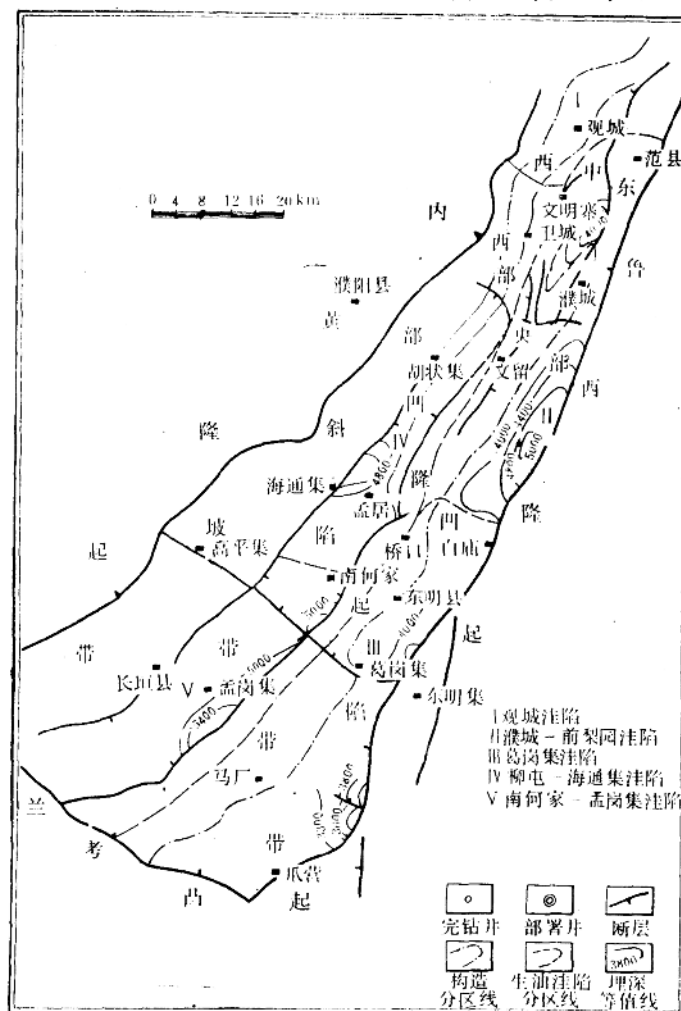


图1 东濮凹陷构造分区略图

东部洼陷带：濮城-前梨园洼陷，葛岗集洼陷；

西部洼陷带：观城洼陷，柳屯-海通集洼陷，南何家-孟岗集洼陷

—聊城，黄河—文西—卫西、长垣断层。东侧落差最大（约7600m），中间抬升形成走向北东横贯盆地南北的中央隆起带（长145km），而其东西两侧沿断层的下降盘形成两条洼陷带，并被纬向潜伏构造进一步分割为5个次级生油洼陷（图1）

洼陷带内下第三系沉积厚度大（约5000~6000m），盐、膏层发育，暗色泥岩含量高，而中央隆起带部位地层明显减薄（3000~4000m），除Es₃底部外，其它层段盐膏层不发育，砂岩百分含量高。上述构造特征为在中央隆起带上富集大量油气提供了优越条件。

2. 圈闭和圈闭类型多的特点

华北运动在本区表现为两幕活动。一幕活动表现为Es₃—Es₄超覆于下伏老地层之上，同生断层发育，伴生逆牵引背斜。二幕活动发生于渐新世末，使盆地整体抬升，Ed及其下伏地层遭受强烈剥蚀，造成其与上覆的Ng区域不整合接触。因而形成众多的不同类型的背斜和非背斜圈闭类型。

3. 构造圈闭具有形成时间早的特点

本区绝大多数圈闭均在华北运动一幕活动期形成，而后继承性发育而成。类型较多，且又被北东、北西走向众多断层切割成复杂的小断块，单个圈闭的面积，闭合高度均比较大。

4. 圈闭多为复合型的特点

由于古构造发育控制湖盆沉积相及砂体展布，其它因素形成的圈闭多为复合型圈闭。

（三）古生态与古生物发育特征

本区早第三纪高盐度深水湖相沉积的特殊环境，影响着古生态和古生物的发育。古生物化石中较渤海湾其它盆地为富集了喜咸水和半咸水生活环境的种属（如华北介、渤海藻等），且数量较丰富。另一个重要特征是：疑源类、沟鞭藻及绿藻等水生浮游生物极为发育，种属较多（约60多个属，120多个种），在地层中呈多层出现（统计的1300m井段中，平均100m有10.75层），是极好的生油母质。盐湖中所特有的各种古细菌，可能是本区另一特有的生态体系（据李任伟等）。此外，陆源高等植物碎屑和孢子花粉等也占有相当比重。在凹陷北部，前者常被盐湖还原环境中的细菌、微生物改造为“无定形”母质，生烃能力也随之增强。这种变化可以在干酪根透射光显微镜下鉴定和在甾类、萜类化合物分析中得以证明。

二、下第三系油气生成特征

本区主要生油层为下第三系沙河街组Es₄上，Es₃和Es₁中的暗色泥（页）岩、油页岩、碳酸盐质泥（页）岩等。另外，Es₂的浅湖相泥（页）岩也具有一定生油能力。

（一）有机质的来源及富集因素

约90%的油气资源量蕴藏于凹陷北部，这是和它的强还原深水盐湖相沉积环境息息相关的。北区生油岩的主要分布模式为，数十层含蒸发盐类的暗色泥（页）岩与盐、膏层频繁交互，平面上稳定延伸，并常受古地形影响，在短距离内即相变为砂岩、泥岩。这些含石盐、石膏和碳酸盐质成分的泥（页）岩的有机质丰度、类型均比较好，有机质丰度平均值为

$C_{OT} = 1.0 \sim 3.5\%$, $CHCl_3$ “A” $= 0.1 \sim 0.5\%$, 岩石总烃 $= 1000 \sim 3500 \text{ ppm}$, 残留热解烃 (S_2) $= 5 \sim 7 \text{ kg 烃/T 生油岩}$ 。干酪根类型为腐泥型 (I 型) 和腐植-腐泥型 (II₁ 型)。它们的一个突出特点是: 随着表征水体含盐度参数的增高 (Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CaO 、 MgO 等), 生油岩有机质丰度、类型也达到极好类别 (表3, 图2)。造成这种现象的原因初步分析有以下两种。

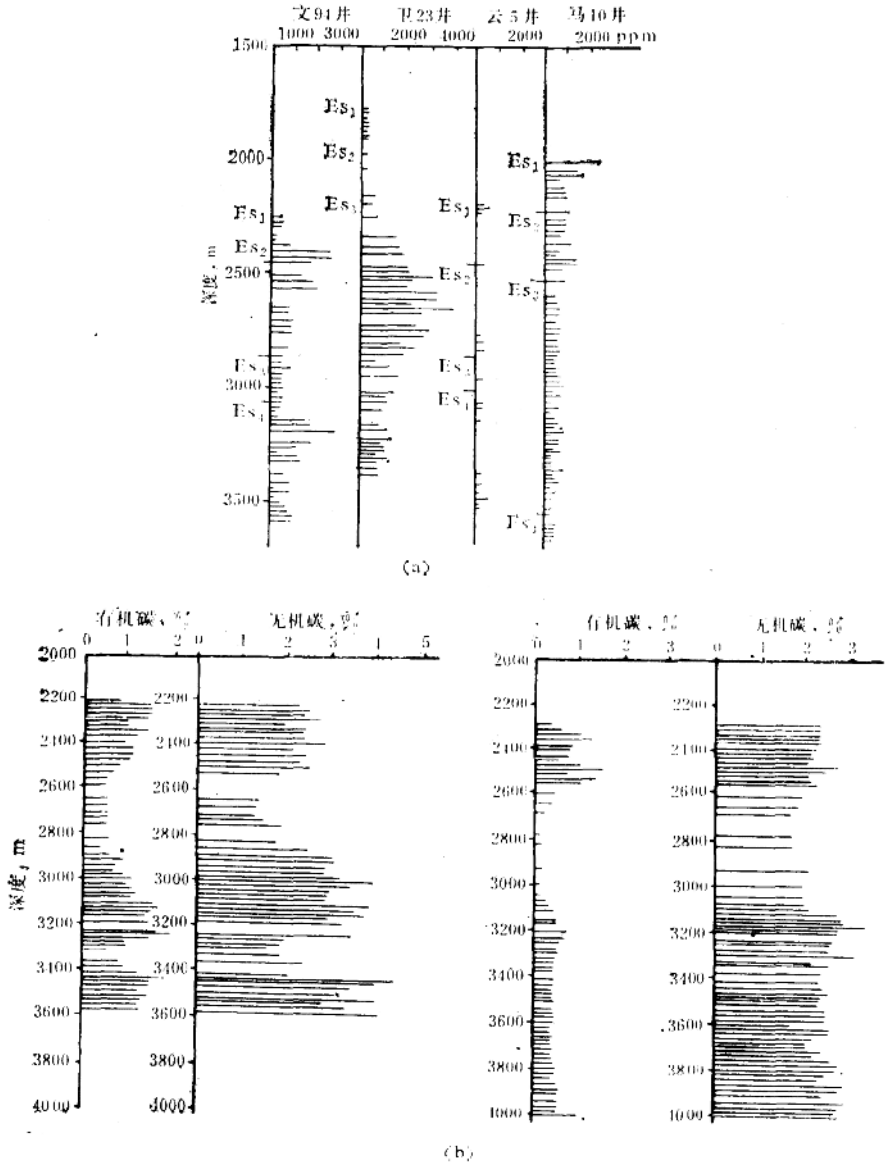


图2 东濮凹陷氯根含量对比 (a) 和有机碳与无机碳变化关系 (b) 图

表 1 工20井Es₃生油岩与盐、膏、灰质含量关系表

深度 (m)	岩性	离子色谱 (mg)		化学分析 (%)		有机质丰度		热 解		pr/ph
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CaO	MgO	CoT (%)	CHCl ₃ "A" (%)	IH (mg/g)	D %	
2298	钙质泥岩	9.9	7.0	30.5	0.69	2.97	0.215	734	62.3	0.0
2307	钙质泥岩	5.7	12.9			3.36	0.558	392	33.5	0.15
2388	钙质泥岩	3.8	8.2			4.81	0.194	886	74.4	0.64
2407.5	钙质泥岩	6.2	7.3	30.5	0.88	2.50	0.320	892	75.8	0.46
2408.5	钙质泥岩			21	1.38	4.71	0.182			0.74
2432	钙质泥岩 含大量介形虫化石	4.3	11.9			7.94	0.206	989	83.3	0.75

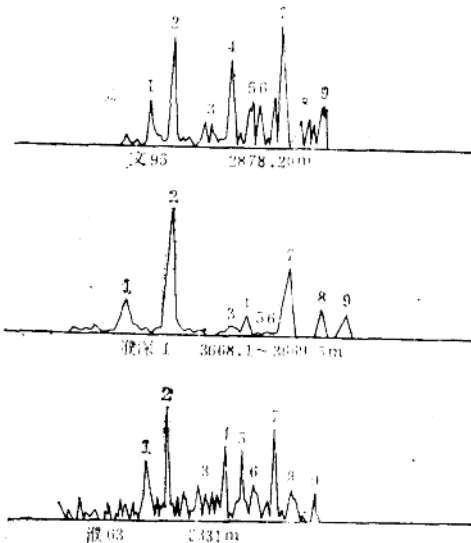


图3 4-甲基甾烷在凹陷北部的分布

- 1—5 β -C₂₇; 4—5 α -C₂₈; 7—5 α -C₂₉(20R);
 2—5 α -C₂₇; 5—5 α -C₂₉(20S); 8,9—4-甲基甾烷
 3—5 β -C₂₈; 6—5 β -C₂₉;

生油岩主要属于腐泥型和腐植——腐泥型(原子比: H/C=1.4, O/C=0.1)。盐湖相生油岩中何以会富集如此多的生物, 初步设想这可能与本区盐、膏类物质来源有关; 如果深层热卤水是本区盐、膏物质的主要来源之一, 就可能随之携带入湖盆中一些氮(硝酸盐)、磷(磷酸盐)物质。W.K.道格拉斯认为: 浮游植物繁茂生长所必需的营养物质是氮、磷化合

第一, 本区盐湖水体较深, 并具有密度分层现象, 底层含盐度较高, 而且可能大量发育着硫还原菌和喜盐菌, 它们不仅强烈改造注入湖水中的大量高等植物碎片成为“无定形”, 而且本身也是重要的生烃物质之一。如: Es₃生油岩广泛含有的C₃₀4-甲基甾烷(图3), 它们在抚顺、茂名的生油岩中也曾检出。张大江、黄第藩等认为: 它们的前身化合物4-甲基甾醇可能存在于一些生物烃和沉积物中(Bird曾在一些真核生物中, 尤其是在一种靠甲烷生存的细菌*Methylococcus capsulatus*中检出过大量的4-甲基醇类), 它们是原始有机质经微生物改造的标记, 一部分沉积物质首先被微生物分解转化为自身的类脂, 以后这些微生物的残骸和代谢物随埋藏加深经热降解而转化为石油。

第二, 伴随着水体交替地咸化和淡化, 本区沙河街组地层中发育了比较丰富的介形类、藻类、鱼类等水生生物, 除上述生油母质之外, 尚发育了数量极为丰富的低等水生浮游植物——疑源类、沟鞭藻及绿藻等。含有它们的

物……。每立方米需几毫克磷和重量大约为其8倍的氮，而仅仅是浓度上的细微差异，就可促使其快速生长和突然繁盛。他认为：“在中盐度环境中，近于石膏沉淀的盐水（12%或是正常海水的3.43倍），可含有许多适合浮游植物最佳生存条件所需的氮磷化合物。适当的营养浓度可造成浮游植物的繁盛，然而，如果营养物质的供给变得不合适了，这种浮游生物的繁盛会很快衰落下来。”可以推断，在本区北部，随断层活动的脉动性而周期地注入湖水中的卤水，影响着氮、磷浓度的改变，从而使湖盆中个别种类生物往往突然繁盛而又迅速死亡。这类富含类脂的大量有机体沉入盆地底水之中，而高密度卤水层所具有的强还原环境使它们得以完善地掺入沉积物中保存下来，形成了多层富含有机质的生油岩。

凹陷南部Es₁、Es₃沉积中无盐、膏类，水体较北部淡化，喜咸水环境生物发育程度亦较差，沉积物有机质中高等植物碎片占较大比例。

(二) 有机质的性质

有机质的来源、后期改造程度和保存环境决定了有机质性质。半深湖—深湖相环境中可具有特殊的生物标志化合物，甾烷特征：5 α H，14 α H，17 α H，(20S+20R)——胆甾烷系列

表4 有机质性质与沉积环境的关系

地区	井号	层位	C ₂₇ aaR /C ₂₉ aaR	γ -蜡烷 /C ₃₁ H ₆₂ 22S	甾烷R构型归一 (%)			OEP	P _r /P _h	沉积相带
					C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉			
凹 陷	文210	Es ₃	2.42	4.46	62	12	26	0.93	0.36	半深湖 深湖
	云3	Es ₃	1.35	1.50	50	15	35	0.72	0.22	
	卫26	Es ₃	3.76	5.94	67	14	19			
	观2	Es ₃	1.74	/	48	23	29	1.77	0.31	
北 部	文14	Es ₃	1.57	2.5	51	17	32	0.91	0.44	滨、浅湖、 水下隆起
	文121	Es ₃	0.74	0.47	29	31	40	1.29	0.61	
	文22	Es ₃	0.38	/	22	18	58	1.06	1.26	
	文96	Es ₃	0.61	/	31	14	50	1.07	1.10	
	明48	Es ₃	0.61	0.62	32	14	52	1.37	0.33	
凹 陷 南 部	液75	Es ₃	0.70	0.95	32	20	46	1.04	1.03	半深湖 深湖 滨、浅湖
	开25	Es ₃	1.57	/	57	18	24	1.04	1.69	
	白12	Es ₃	1.65	0.42	49	20	31	1.09	0.47	
	兰1	Es ₃	1.15	3.66	38	27	33	/	0.92	
	唐1	Es ₃	0.68	0.85	32	27	39	1.07	1.26	
	马10	Es ₃	0.68	0.51	30	24	44	1.05	1.02	
	白9	Es ₃	0.56	/	26	16	58	1.05	0.96	

是在动植物体中广泛分布的相应甾醇及其衍生物。 C_{27} 胆甾醇含量高于 C_{29} 豆、谷甾醇,即 $C_{27}\alpha\alpha R > C_{29}\alpha\alpha R$ 往往指示一种水生生物较发育,陆源植物来源相对较少的沉积环境。萜烷中的伽马蜡烷含量可指示盐湖相沉积环境,这是因为伽马蜡烷的前驱物质或为一种既抗盐,又含丰富的四膜醇的原生动物,或是由某些植物中所含的芒柄蜡素等萜类化合物在氯化物盐和硫酸盐作催化剂的还原环境中转化而成。类异戊二烯烷烃中植烷优势($P_i/P_n < 0.5$),除表示盐湖相沉积外,并和正构烷烃偶碳优势($OEP < 1$)代表强还原相环境。

应用上述指标对比本区沙河街组生油岩(表4),可见:凹陷南北部均存在有半深湖—深湖相和滨湖—浅湖相沉积,而且北部半深湖—深湖沉积具高盐度特征,处于强还原环境。向南部水体含盐度降低,故 $OEP > 1$, $P_i/P_n > 1$,伽马蜡烷含量也普遍降低。这种特殊的沉积环境决定了本区 Es_1 、 Es_3 有机质的性质:由北向南,由主要是喜咸水生存环境的生物群落形成的有机质,逐渐变化为喜半咸水—淡水生存环境的生物群落形成的有机质。

(三) 有机质类型

表5 东濮凹陷下第三系生油岩镜下鉴定、电镜扫描统计

注脂地区	层位	样品总数	I型		I ₁ 型		I ₂ 型		II型	
			个数	%	个数	%	个数	%	个数	%
观城	Es_3	1	1	—						
濮城	Es_1									
前梨园	Es_3 、 Es_4 上	41	8	19.5	17	37.8	8	19.5	8	19.5
柳屯	Es_1	3	2	—	1	—				
海通集	Es_3 、 Es_4 上	23	9	32.1	5	17.9	5	17.9	9	32.1
凹陷北部	Es_1	3	2	—	1	—				
	Es_3 、 Es_4 上	70	13	25.7	22	31.4	13	18.5	17	24.3
葛岗集	Es_1	5	1	20	2	40	2	40		
	Es_3 、 Es_4 上	42			7	16.7	7	16.7	28	66.7
南何家	Es_1									
孟岗集	Es_3 、 Es_4 上									
凹陷南部	Es_1	5	1	20	2	40	2	40		
	Es_3 、 Es_4 上	42			7	16.7	7	16.7	28	66.7
全凹型	Es_1	8	3	37.5	3	37.5	2	25		
	Es_3 、 Es_4 上	112	18	17	29	25.8	20	17.9	45	40.2
	Es_1 、 Es_3 、 Es_4	120	21	17.5	32	26.7	22	18.3	45	37.5