

渤海湾地区下第三系湖相 碳酸盐岩及沉积模式

杜 韞 华

(胜利石油管理局地质科学研究所)

湖相碳酸盐岩是渤海湾盆地第三系的重要油气储集层, 主要分布在沙河街组四段上部 and 一段中、下部。有骨架碳酸盐岩、颗粒碳酸盐岩及泥晶碳酸盐岩三大类。骨架碳酸盐岩岩体类型有礁、礁丘和骨架生物层。礁主要分布于水下台地(或隆起)上的清水区, 以礁核及礁前微相的储油物性最好, 有原生骨架孔隙、生物体腔孔隙及次生溶蚀孔隙等。礁丘分布于盆地或古岛屿的陡坡水域, 以礁丘核的厚度最大, 孔隙最发育。生物层分布于盆地及古岛屿的缓坡水域, 或有陆源碎屑注入的浑水区, 厚度较小, 孔隙分布比较均匀。颗粒碳酸盐岩岩体类型有滩、堤、坝、沙咀及藻滩等, 分布在滨、浅湖区。原生孔隙及次生孔隙都比较发育。泥晶碳酸盐岩由化学沉积及生物化学作用形成, 主要分布于深湖和浅湖区, 储集空间有层间缝及溶沟。据此建立的湖相碳酸盐岩沉积模式, 已在油气勘探中取得实效。

关键词 湖相碳酸盐岩 沉积模式 渤海湾盆地 下第三系

一、区域地质背景

研究区为现代渤海水域及其周围的山东、河北及辽宁三省沿岸地区。下第三系湖相碳酸盐岩的发育与区域地质构造、盆地发育历史及古地理变迁密切相关。

(一) 区域地质

渤海湾盆地是华北地台内部发育起来的中、新生代复式断拗盆地。沧县、埕宁、海中及内黄等四大隆起将盆地分割为济阳、黄骅、冀中、辽河、临清及渤中六个拗陷, 每个拗陷又发育若干凹陷和凸起, 彼此相间排列。研究区包括济阳、黄骅、冀中及辽河四个拗陷及其中众多的次级凹陷(图 1)。

研究区基底为太古界泰山群硅铝质混合岩化变质岩; 中、晚元古界以海相碳酸盐沉积为主; 下古生界寒武系和中、下奥陶统为厚层碳酸盐岩夹泥岩及蒸发岩的海相沉积; 中奥陶世以后, 随着华北地台整体上升, 缺失部分奥陶系一下石炭统及三叠系, 普遍沉积了中、上石炭统、二叠系海陆交互相含煤地层。这期间地壳以振荡升降为主, 构造较平静。晚侏罗世发生了强烈的燕山运动, 使华北地台裂解、沉陷, 沉积一套陆相碎屑岩、火山岩夹煤系。早第三纪强烈的拉张和扭转沉降的结果, 形成一系列断陷盆地。其边界及中心受北东、北西及近

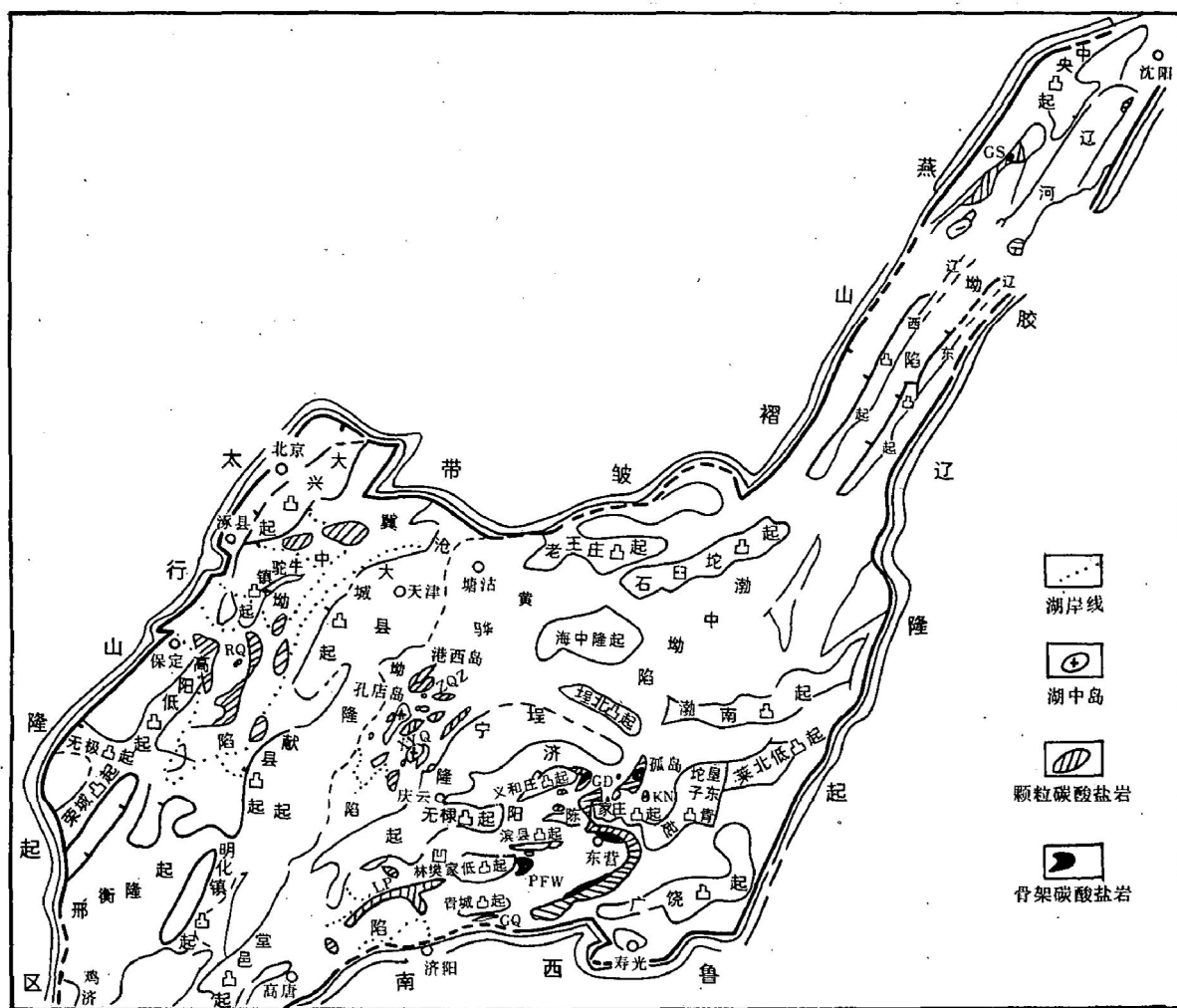


图1 渤海湾盆地早第三纪碳酸盐岩分布区域图

(碳酸盐岩范围比例有所放大)

东西向三组基底断裂控制，结构上多为基底倾斜的箕状断陷。湖相碳酸盐岩和生油层主要发育在这个时期的断陷盆地中（图1）。晚第三纪凹陷与凸起逐渐统一为坳陷。其过程是各断陷盆地填平补齐，与周围凸起共同接受沉积，逐渐形成范围广大的坳陷盆地。

（二）碳酸盐岩的层位分布

下第三系自下而上有孔店组、沙河街组、东营组。有近万米厚的砂岩、泥岩、油页岩及碳酸盐岩，是生油、储油层系。各组段岩性及沉积环境列于表1。湖相碳酸盐岩厚度一般2—50 m，单层厚2—5 m，最大累计厚170 m。分布于沙四段上部、沙三段上部及沙一段中、下部，以沙四段上部及沙一段中、下部为主，是渤海湾地区重要的储油层。济阳坳陷的平方王油田、商河油田、垦利油田、高青气田；黄骅坳陷的王徐庄、周清庄油田；辽河坳陷的高升、曙光油田；冀中坳陷任丘岛东部任108井区等（图1），都是以湖相碳酸盐岩作为储集层的高产油气田。其中尤以济阳坳陷碳酸盐岩分布最广，成因类型多，含油气普遍，资料也比较丰富。

（三）区域古地理因素

渤海湾诸盆地在早第三纪均为近海湖盆^[1], 呈群山环湖, 湖中有岛的地理景观。物源区碳酸盐岩广泛发育, 提供丰富的碳酸钙补给。碳酸盐岩在沙四、沙一段集中分布的主要因素是: 湖泊稳定、气候湿热、盐度适宜、有海侵影响, 其环境演化特征列于表1。

表1 渤海湾下第三系湖相碳酸盐岩沉积期环境演化表

时 代	地 层	剖 面	碳 酸 盐 岩 厚 度 (m)	沉 积 环 境	古 气 候	古 盐 度 ‰	当 量 B ppm	Sr Ba	古 生 物 化 石	
									陆 相	源 于 海 水
第四纪	平原组									
晚 第三纪	上新世	明化镇组(Nm)		河流相	热 旱					
	中新世	馆陶组(Ng)	上段	河流组	热 旱				<i>Viviparus huangheensis</i> 黄河田螺 <i>Comasphaeridium minutum</i> 微刺藻	
		下段								
早 第三纪	渐新世	东营组(Eo)	一段	湖 相 河流相	热 旱	6.8-7.6	113-134	0.2	<i>Dongyingia</i> 东营介 <i>Dictyotidium</i> 网面球藻屑	
			二段			6.8-9.0	100-130	0.2		
			三段							
	早 渐新世	沙一段	上部	一般 5-20 最厚 134 微咸水 湖泊相	湿 热	7.8-12.2	113-183	0.3	<i>Phacocypris huiminensis</i> 惠民小豆介 <i>Sentus idinium</i> 多刺甲藻	<i>Wangia yiheshunensis</i> 义和庄王氏介 <i>Cladosiphonia</i> 枝管藻 <i>Reticulofenestra bahiensis</i> 渤海网窗石藻
			中部			10.5-13.5	167-217	0.5		
			下部			11.2-17.3	217-343	0.4		
	晚 渐新世	沙二段	上部	河流及 三角洲相	干 旱	4.8-6.1	67-100	0.2	<i>Charites longa</i> 伸长似轮藻 <i>Tulotomoides terrassa</i> 阶状似瘤田螺	
			中部			6.1-10.5	100-150	0.2		
			下部							
	早 中新世	沙三段	上部	1-10 61 微咸水 湖泊相	湿 热	5.0-8.5	100-250	0.3	<i>Huabeinia chinensis</i> 中国华北介 <i>Eohaidina-Parabohaidina</i> 渤海藻—付渤海藻属 <i>Valvata (C.) applanata</i> 扁平高盘螺	
			中部			2.2-8.5	40-250	0.3		
			下部			20-26	229-347	0.8		
	晚 中新世	沙四段	上部	10-40 170 咸水湖 泊相 稳定 盐湖相 间歇性 盐湖相	湿 热 热 旱 热 旱	28.0-32.2	360-400	1.46	<i>Austrocypris levis</i> 光滑南星介 <i>Hydrobia Lingiroensis</i> 柳桥水螺 <i>Gyrogonia giarjiangica</i> 潜江扁球轮藻	<i>Deflandres</i> 德弗兰藻 <i>Cladosiphonia</i> 枝管藻 <i>Ammonia</i> sp. 卷转虫 <i>Triloculina</i> sp. 三块虫 <i>Sphenotithas</i> sp. 颗石藻楔石属
			中部					2.38		
			下部					0.42		
中生代 白垩世	王氏组	一段		冲积相	热 旱				<i>Eucypris wutuensis</i> 五图真星介	<i>Diplomysius shengliensis</i> 双棱蚌 <i>Serpula shandon sinensis</i> 山东龙介形
		二段		浅湖相						
		三段								

注: 古盐度、微量元素据济阳坳陷的资料

1. 湖泊稳定

渤海湾早第三纪湖泊在沙四、沙一段时期都有湖广、水浅、无大规模陆源碎屑、地层在广大区域内稳定展布、极易对比的特点。反映了这两个时期地形反差很小, 湖泊非常稳定。据古地磁及裂变径迹年龄的测定, 东营盆地连续性较好的沙三、沙一段的平均沉积速率分别为 37 mm/ka, 和 13 mm/ka, 也就是说, 沙一段时期的沉积速率大约只有沙三段的三分之一。

2. 古气候

沙四段中、下部孢粉潮湿系数最低, 为 80 和 40, 气候干热; 沙三段中部最高为 242, 气候湿热; 沙二段上部为 80, 气候较干旱; 沙一段系数再度升高达 138, 较湿润。反映沙四段

中、下部及沙二段上部为两个相对干旱期,沙四段上部,沙一段中、下部气候由于干旱转为湿热,碳酸盐岩发育。

3. 古盐度及水体性质

根据济阳坳陷古湖泊的盐度测定,各段古盐度变化范围较大,从2.2—32‰。沙四段上部最高28—32‰,平均31‰,为咸水湖,水体为真盐水;沙三段上部5.0—13.2‰,平均8.0‰,沙一段中、下部为10.5—17.3‰,平均13.3‰,都为微咸水湖泊,水体为中盐水。

4. 海侵影响

关于渤海湾地区早第三纪的海侵问题,已有许多文章论述^[2,3,4],认为沙四段、沙三段及沙一段都有海侵影响,以济阳坳陷的东营盆地沙四段上部为例。

(1) 有与海水有关的生物化石。大体有6个门类。①沟鞭藻和疑源类^[5],以德弗兰藻属为代表,但其优势成分是具有腔式囊泡,未见收缩囊泡,而且属种单调,复杂程度有限,与正常的海相组合不同。②广海相钙质超微化石——颗石藻^[6],属种单调,分异度低。③藻类化石^[7],以广海绿藻门中国枝管藻等最繁盛。④海相多毛类龙介虫^[3]。⑤有孔虫^[2],有卷转虫、三块虫、五块虫及曲房虫等。个体微小,属种单调,种类变异强烈,畸形个体多。⑥鱼类化石^[4],有鲱形目的胜利双棱鲱,渤海艾代鱼和鲈形目等。

(2) 微量元素有海相指标^[8]。①沙四段上部当量B的变化范围为369—400 ppm,平均390 ppm,与正常海水当量B300—400 ppm相当。②沙四段上部Sr/Ba为2.38,沙四段中部为1.46,均在Sr/Ba>1的海相范畴。③一般认为B/Ga值淡水为1.5,近岸为5.6,海相为7,沙四段上部B/Ga为6.1,也指示有海侵因素。

(3) 岩矿特征。沙四段中部由灰色泥岩、硬石膏岩及盐岩组成互层,主要盐类矿物有石盐、硬石膏,次要成分有杂卤石、天青石及钙芒硝等。都是通常易见于海水蒸发浓缩环境的盐类矿物。沙四段上部,湖水淡化,没有盐类沉积,而有礁碳酸盐岩组合,造礁生物与海侵有关。

这些特征在渤海湾地区其他坳陷的沙三段上部,沙一段中、下部都有不同程度的显示(表1),说明该两段碳酸盐沉积期也都有海侵影响。

二、骨架碳酸盐岩的沉积相与储层评价

已鉴定出来的造架生物属种很多,仅就蓝绿藻和红藻门就有10属14种,主要的造架生物是中国枝管藻,山东枝管藻^[7]及龙介虫的栖管化石(图版I-1—9)。中国枝管藻 *Cladosiphonia sinensis*,原植体具互生的管状分枝,辐射状生长,主轴直径35—55 μm,分枝直径30—45 μm,分枝和主轴为锐角,也有近平行的分枝,互不缠绕。山东枝管藻 *Cladosiphonia shandongensis*,藻体分枝扭曲,与中国枝管藻混生,数量较少。这些藻类固着生长,所形成的碳酸盐建造有抗风浪的作用。另一种造礁生物为环节动物的多毛纲山东龙介虫 *Serpule shandongensis* 的栖管,是彼此平行的圆柱形管,横切面为圆形或椭圆形,内径4—6 mm,栖管壁厚达1 mm。山东龙介虫生活在水体搅动强度较大、藻类繁盛、营养丰富的浅水湖区,与中国枝管藻共生,构成岩石的骨架。关于古代湖泊骨架岩的报道目前仅有林格等(1967)的德国莱茵河谷中新世湖泊及美国犹他州绿河组有由绿藻类组成的骨架岩,分布仅有数平方公里面积。研究区骨架碳酸盐岩见于济阳坳陷的沙四段上部及沙一段。分布于浅湖区,可分为礁相、礁丘相及骨架生

物层, 大多是高产储集层。

(一) 礁相碳酸盐岩及其储层评价

1. 礁体特征

位于东营凹陷西部(图2), 即平方王礁相碳酸盐岩体^[11,12]属沙四段上部。面积100 km², 最大残余厚度49.5 m。自1967年发现以来, 先后打出4口日产超千吨的油井, 是我国发现的第一个生物礁油气田。

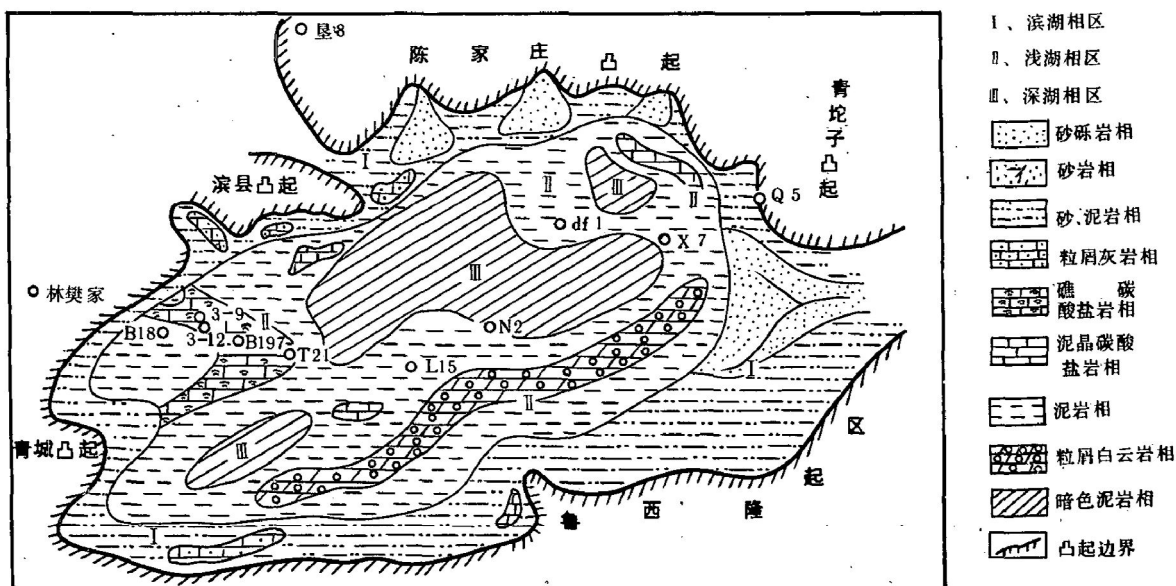


图2 东营凹陷沙四段上部沉积相图

(1) 古地理环境

礁相碳酸盐岩体形成条件有三, 其一, 形成于清水区。由图2可见该区陆源碎屑岩分布在盆地东部和东北部的滨湖区, 由青坨子凸起和陈家庄凸起提供大量硅铝变质岩碎屑, 形成浑水区, 与平方王礁体沉积区之间有深湖区相隔, 浑水影响不到礁体沉积区。礁体的西部与林埭家构造相邻, 该构造由中生界(或孔店组)泥质粉砂岩组成, 为局部低构造, 即使能为盆地西部提供一些细的陆源碎屑, 也只能就近沉积于盆地边缘洼陷区。礁体北部临县凸起, 为下古生界海相石灰岩, 可为盆地提供高矿化度的水介质, 有利于礁体的形成。大量薄片资料、显微照相及残渣分析结果表明, 厚层礁相碳酸盐岩几乎不含陆源碎屑, 这些情况说明清水环境是礁体形成的条件之一。其二是形成于水下低隆起上(包括斜坡带的上部)。通过平方王礁体作东营凹陷沙四段上部沉积剖面图(图3-1), 沙四段上部沉积之前古湖盆分为三部分, 自东向西为: 盆地主体、盆内低隆起及盆地洼陷; 对应的岩性组合为: 砂砾岩组合→泥岩及油页岩组合→礁相碳酸盐岩组合→油页岩及薄层泥晶白云岩组合。平方王礁发育于盆内低隆起区及其斜坡带的上部(图3-1), 这里水体循环好, 阳光充足适宜生物繁殖和碳酸盐沉积。该隆起是被北西、北东两组大断裂切割, 在孔店组沉积期(古新世)形成的。其三是形成于咸水湖泊的淡化阶段, 在海侵证据一节已阐述东营盆地沙四段湖泊经历了间歇性盐湖期、稳定盐湖期及咸至半咸水湖泊期, 礁碳酸盐岩发育于咸至半咸水湖泊期。不仅有5次涉及东营盆地的海侵, 使一些海相生物得以繁衍。同时由于淡水的注入, 一些淡水相化石, 如光滑南星介及中华扁卷螺等贝壳类生物大量兴盛并与海相生物共生。礁碳酸盐岩组合发育区古盐度为

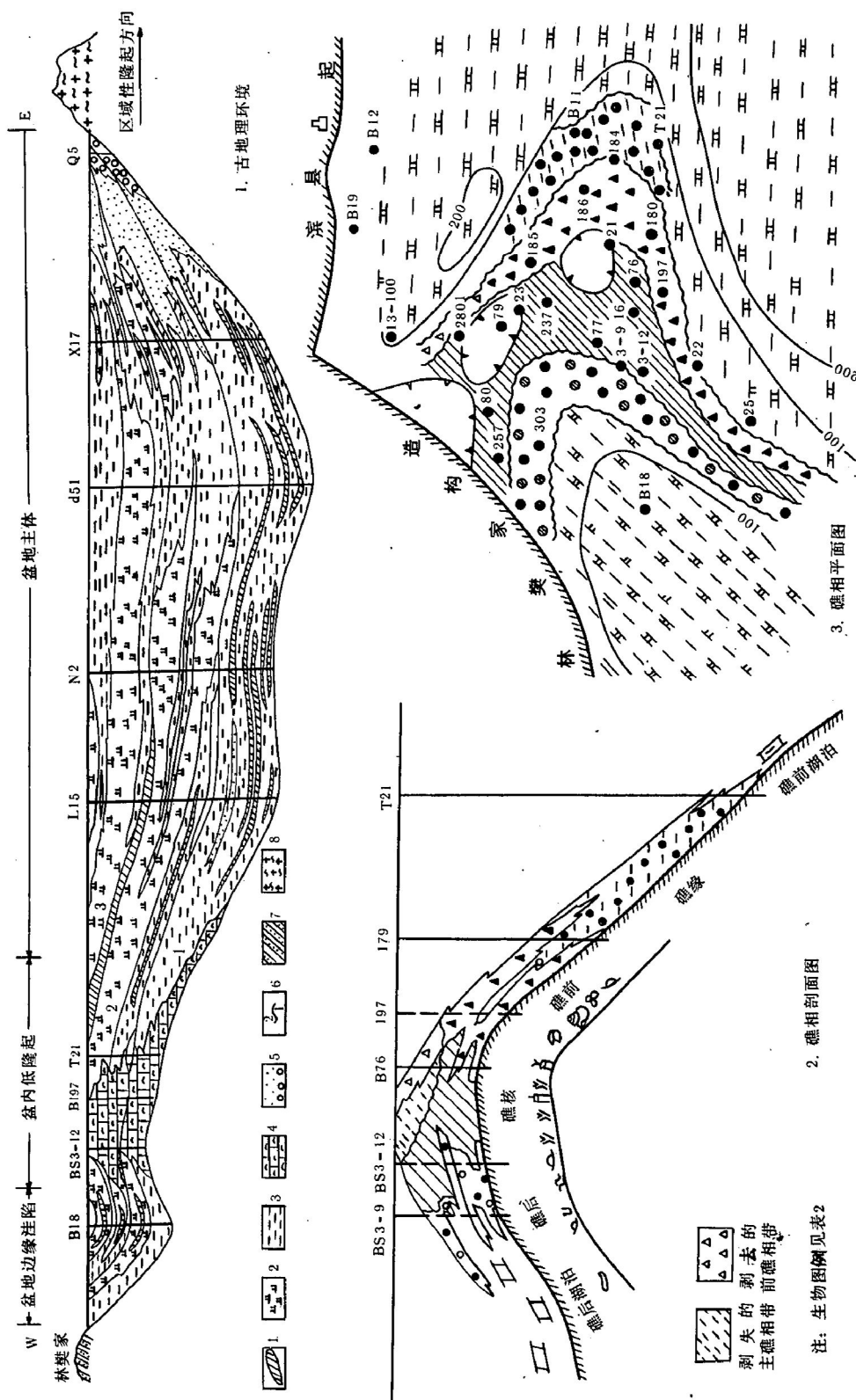


图3 东营平方王礁相古地理位置及微相分布图 (据钱凯等, 1980)

1—薄层泥晶白云岩组合, 2—油页岩夹泥岩组合, 3—泥、页岩组合, 4—藻礁碳酸盐岩组合, 5—砂、砾岩组合, 6—沉积单元界

18—32‰,盆地东部粪球粒碳酸盐岩古盐度为8—10‰。这种海侵后又淡化的湖泊条件形成了淡水相和海相生物繁盛共存,这是东营平方王礁体的环境特色之一。

(2) 礁体的微相

礁体分四个微相(图3-2):礁核、礁前、礁缘、礁后(图3-2,3),各微相的沉积特征及岩石类型列于表2,主要微相特征简述如下。

表2 平方王礁体微相特征综合表

相带	6. 礁后湖泊	5. 礁后	4. 礁核	3. 礁前	2. 礁缘	1. 礁前湖泊
灰质泥岩						
泥灰岩						
亮晶白云质砂屑灰岩						
亮晶灰质砾屑白云岩						
中国枝管藻白云岩						
龙介虫枝管藻白云岩						
含藻介形虫白云岩						
泥晶粒屑白云岩						
泥晶白云岩						
泥晶含铁白云岩						
泥晶含铁灰岩						
德弗兰藻						
介形虫						
腹足类						
瓣鳃类						
龙介虫						
枝管藻						
线纹状藻						
弯管虫						
生物碎屑						
球粒						
砾屑						
砂屑						
鲕粒						
藻团块						
块状构造						
皮壳结构海绵构造						
结壳结构						
水平层理						
冲刷构造						
干裂构造						
鸟眼构造						
细分散黄铁矿						

礁核微相岩石类型有中国枝管藻白云岩、龙介虫枝管藻白云岩、球粒白云岩及白垩等,以B西3-12井最典型,厚度最大约28.05 m。B16、76、246及80诸井都有。礁核部位最宽约4 km。礁后微相以泥晶白云岩为主,含部分管藻屑、生物碎片及核形石等。反映礁后部位由于受到礁核微相的障壁,水动力较弱。礁前微相以亮晶藻砾屑白云岩、亮晶螺灰岩为主,螺壳较厚,个体完整,该相带水体活跃,适宜喜在迎风坡繁殖的腹足类生活。这里坡度大,易滑塌,碳酸盐颗粒大小混杂。礁缘微相以泥晶粒屑灰岩及含粒屑泥晶灰岩为特征,夹泥岩薄层,孔隙性差。

平方王礁体纵向上微相变化明显,单体规模小,相邻的微相叠加,类似的微相重复频繁,如西3-9井碳酸盐岩总厚度30 m,由礁后及礁后湖泊两个微相重复12次;西3-12井碳酸盐岩总厚度42 m,由礁核、礁后及礁前湖泊三个微相重复10次;还有B80、B197等井都非常类似。因此礁体是在水体进退、升降较为频繁的条件下,由不同时期沉积的不同礁体,以不同

相带相互叠加而成的。

2. 礁体储层评价

平方王礁体储集性很好；以礁核微相最好，平均孔隙度 37.9%，最高达 42.5%。渗透率一般 $100-380 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。最高达几个平方微米，原生孔隙及次生孔隙都很发育，骨架孔隙是最有效的储集空间。礁前微相的储集性仅次于礁核，孔隙度平均 36.7%，渗透率 $10-100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。即使储集性相对较差的礁后相带孔隙度也达 20%，渗透率 $5-8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。平方王礁体是复式礁体，相邻微相在纵向上叠加使具较好储集性的储集岩厚度增大，这是平方王礁体成为高产储集体的有利条件。

(二) 礁丘相碳酸盐岩及其储层评价

1. 岩体特征

礁丘相碳酸盐岩是礁相与泥丘相的过渡相，由泥晶碳酸盐岩、颗粒碳酸盐岩及骨架碳酸盐岩组成。见于济阳坳陷的沾化凹陷义和庄凸起的东部陡坡带。凸起由奥陶系碳酸盐岩组成，没有硅铝酸盐岩物源，陡坡带沉积区水体清澈，碳酸盐浓度高，有利于厚层碳酸盐岩沉积。礁丘呈扁平的透镜体，沿义和庄东部的陡坡发育（图 4-1）。埋深 3019.5—3191 m，厚 160 m。泥晶灰岩（含粒屑）90 m，占 56%；泥晶藻屑白云岩 39 m，占 24%；亮晶藻屑（包括球粒）白云岩 14 m，占 9%；枝管藻（即骨架碳酸盐岩包括龙介虫栖管）白云岩 17 m，占 11%。以泥晶碳酸盐岩为主，骨架岩仅占次要地位。这种以静水沉积为主又含骨架岩的沉积是礁丘的特点。

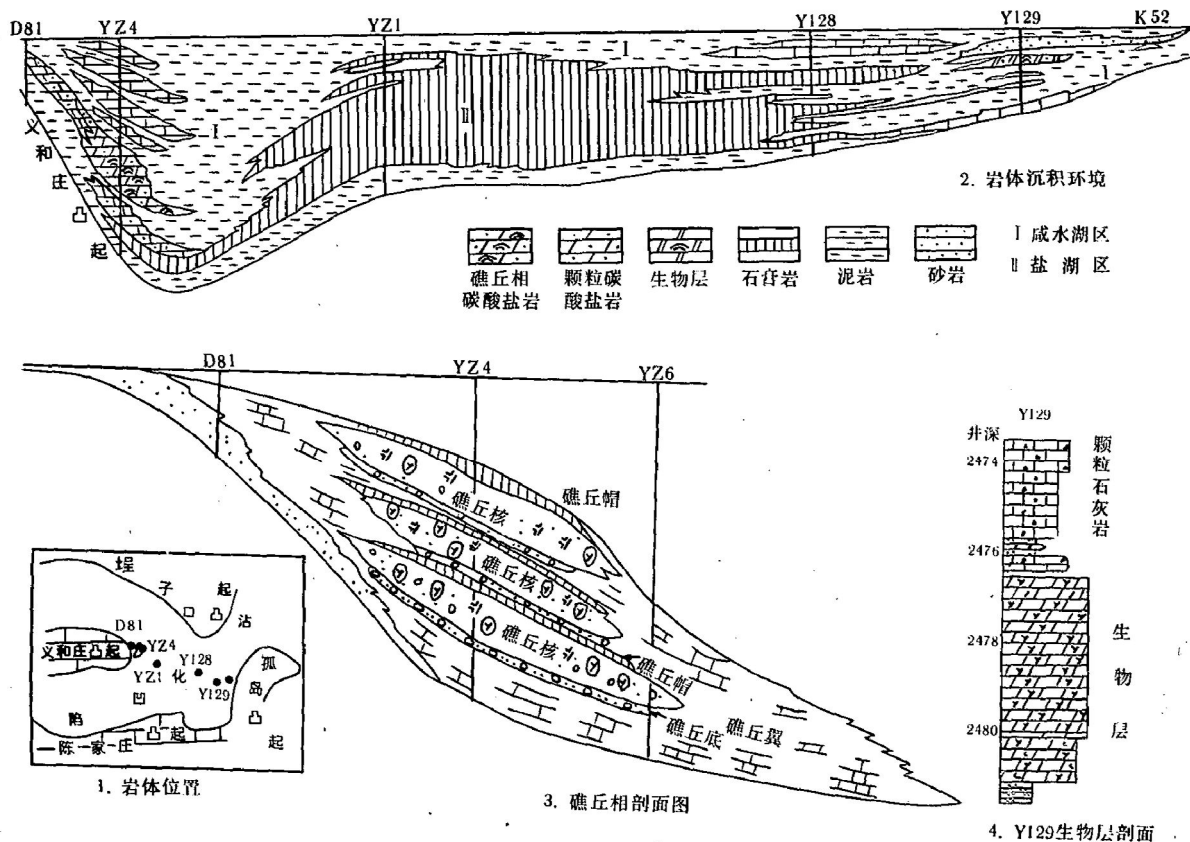


图 4 沾化凹陷礁丘相及 Y129 生物层沉积环境

点^[13]。义东礁丘被薄层泥灰岩及泥岩分隔为六个透镜体(图4-2)。2号透镜体骨架结构较发育,由三个礁丘组成,每一礁丘可分出礁丘底、礁丘核及礁丘帽三个微相。礁丘底由含生物碎屑的泥晶灰岩组成,含颗粒。礁丘核微相以泥晶及亮晶藻屑白云岩为主,间夹含砾屑状的枝管藻骨架白云岩,后者呈层状、漂砾状及枕状。单井见最大连续厚度9m,仅30cm长的岩芯就有两个直径2—4cm的晶洞,由砾屑支撑。礁丘帽是由经分选的亮晶颗粒白云岩组成。礁丘相的微相划分及沉积特征如图5。每一礁丘岩性序列为细—粗—细,反映礁丘大致发育过程是:义东陡坡发育的藻类沉积物到一定程度失去平衡,滑塌后堆积于深水灰泥之上,随着堆积物增加,水变浅,繁殖枝管藻类造架生物形成骨架岩,但很快又下沉,被细粒沉积物覆盖,完成一个礁丘的沉积,以后再重复这种沉积规律。其他五个透镜体骨架岩含量比2号透镜体少得多,而以泥晶为主体。礁丘间为礁丘翼,由微含有孔虫泥晶灰岩组成。

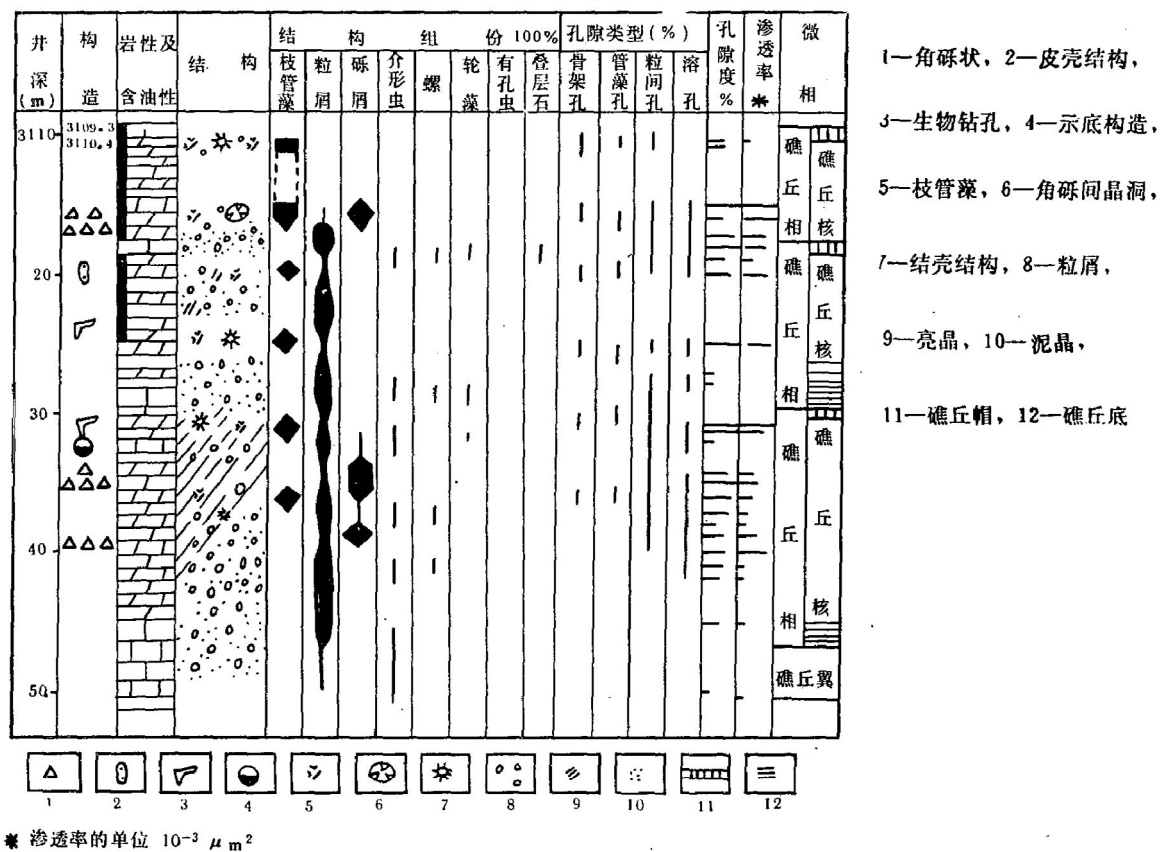


图5 义东礁丘微相划分及岩石特征图(据YZ4井岩芯)

2. 储层评价

礁丘相的储集性以礁丘核微相最好,孔隙度一般10—25%,最高41.9%,除生物体腔孔及骨架孔外,还有粒内孔及粒间孔、溶孔等。渗透率 $8—100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最高 $687 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,也是很好的储集体。

(三) 骨架生物层及其储层评价

生物层以济阳沙一段“针孔灰岩”层最典型。分布在东营凹陷的北部陡坡和南部缓坡带。北部陈家庄凸起由前震旦系硅铝质变质岩组成,碎屑入湖形成浑水区,对骨架岩的发育不利,只能形成2—5m厚的薄层生物层(图6)。东营凹陷南临鲁西隆起,由奥陶系石灰岩组成,入

湖水质较好,但沉积区坡度较小,也只能形成骨架生物层。生物层以枝管藻骨架白云岩为主体,混有多种粒屑成分的粘结岩,具生物生长层理。管状藻白云岩常覆于颗粒碳酸盐沉积之上,组成砾屑白云岩、鲕粒白云岩、藻团粒白云岩、管状藻生物骨架岩的顺序,为湖侵式沉积特征。此外沾化凹陷礁丘发育时期,在义129井区(图4-1,4)有5 m厚的球粒-藻白云岩生物层;孤西桩57、65井、垦25井;义南的义42井、邵10、邵4井都有生物层。桩57井多毛类龙介虫管白云岩仅有20 cm厚,这些骨架生物层分布面积小。

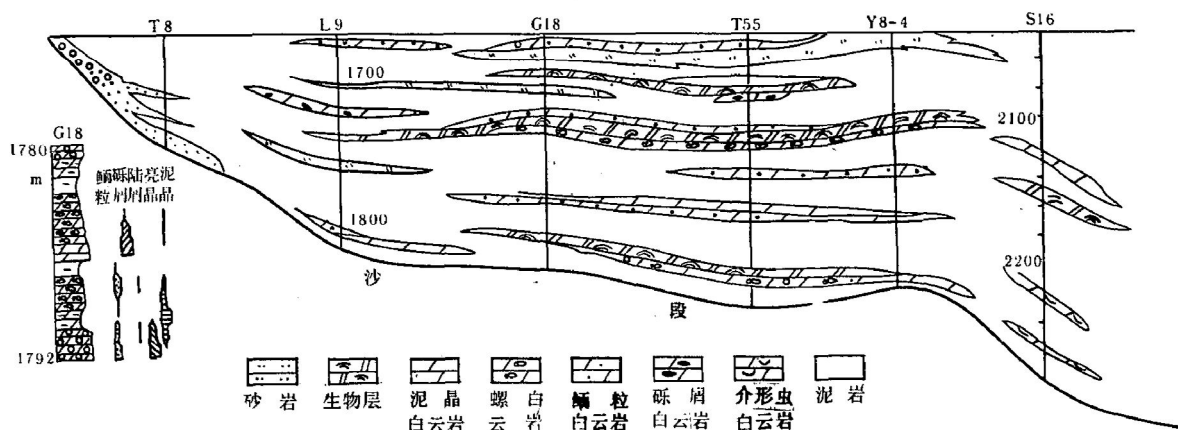


图6 东营凹陷东辛水地区“针孔灰岩”生物层及鲕-生物滩分布特征

骨架生物层的储集性也比较好的,孔隙度8—20%,最高32.1%。有的地区生物层与其他类型的岩体组合,也可以成为高产储集层,如邵10井,是生物层与螺灰岩呈互层。初日产原油上千吨。

三、颗粒碳酸盐岩沉积相与储层评价

区内颗粒碳酸盐岩可分为粒屑滩、粒屑堤、粒屑坝、沙咀及藻滩等五个沉积相,分布在滨湖及浅湖区。在渤海湾地区各拗陷中均有分布,可根据水动力学原理预测其分布^[14]。主要岩石类型及组分特征见图版I各图片。

(一) 黄骅拗陷的生物-鲕粒滩、鲕粒坝相及储层评价

黄骅拗陷古湖区在孔店岛、港西岛及徐杨桥岛一带水域,颗粒碳酸盐岩相当发育(图7-1),近来对其沉积环境做了详细的分析^[15]。

1. 岛斜坡或岛坪生物-鲕粒滩 分布于孔店岛西端的台坪及孔店岛西坡,以螺灰岩及(藻)鲕粒灰岩为主,与砂屑灰岩、泥晶灰岩组成向上变细的水进式沉积序列。厚5—10 m,在古地形凹沟中或坡度突然变陡处厚度加大。另一种是鲕粒滩,由鲕粒灰岩、泥晶灰岩及白云质灰岩组成正旋回序列。鲕粒大,鲕圈发育,反映浅水区搅动能量较高的沉积环境。该粒屑滩总面积约200 km²。

2. 湾口鲕粒坝 港西岛东部鲕粒坝,以表鲕为主,粒屑层厚10—20 m,面积约50 km²。

上述滩坝岩体孔隙发育,有螺及螺屑的铸模孔、粒间孔及粒内溶孔等。孔隙度5—15%,最高达30%,是高产油田。

(二) 辽河拗陷球粒滩及储层评价

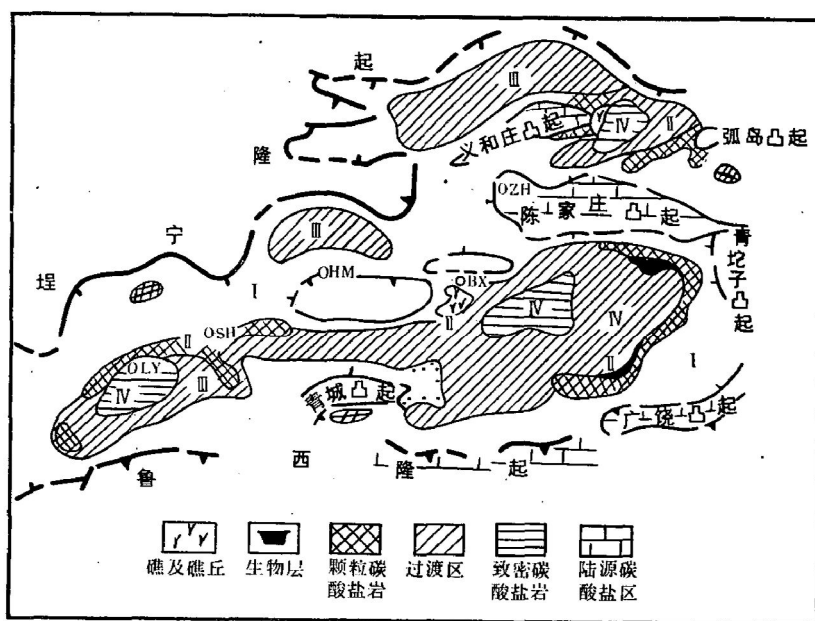


图8 济阳坳陷下第三系湖相碳酸盐岩分布

(据钱凯修改)

I—滨湖区, II—浅湖区, III—一半深湖区, IV—深湖区

围内有数十次的岩性变化,每一层内泥晶含量向上递增(图6),反映湖泊水域波动频繁,不断扩大的沉积环境。分布面积144 km²。孔隙度5—15%,最高达42%。铸模孔及溶孔发育,但单层厚度小,产能不大。

类似的是高青沙一段鲕-生物滩。分布于青城凸起南湖岸线转弯处(图8)。湖流能量在此大量释放,被纵向流及横向流携带的表鲕、陆源碎屑、高能鲕粒及生物碎片等,未经分选即快速堆积在湖坡凹折处,形成宽不足1 m,长仅3.5 m,而厚达156.5 m的粒屑滩。岩性较致密,以石灰岩为主。孔隙大小悬殊,以微孔隙及孤立的螺铸模孔隙为主。孔隙度5—20%,渗透率变化大,以低渗透为主,在构造缝发育处连通性才较好。这种低渗透层连通性虽差,不影响天然气的储存是高气田。

2. 垦利沙一段粒屑堤 分布于孤岛南部水下隆起边缘(图8, 9),长4.5 km,最大单层厚度近30 m,以介形虫白云岩为主,化石已白云石化,孔隙度平均20%,有生物溶孔及白云石晶间孔。单层厚度大,是济阳油区的高产稳产储集层之一。

3. 义南沙一段湾口坝式粒屑碳酸盐岩 分布于义和庄构造台地边缘(图8, 10-1),由纵向流、横向流共同作用的结果。

4. 孤西沙一段沙咀式和连岛沙洲式粒屑碳酸盐岩体 前者为沿岸流速度突然降低时形成的一端与岸相连的岩体。后者形成于屏障岛屿后方,碳酸盐岩体使陆岛相连(图8, 10-2),也属粒屑滩沉积

5. 惠民中央隆起带粒屑滩 分布于惠民凹陷中央隆起水下高地及商河水底喷发岩形成的隆起带的顶部。以铸模孔极为发育的螺屑白云岩为主要的岩石类型,孔隙度38%,以次生孔隙为主,是长期稳产的储集层。

(五) 颗粒碳酸盐岩体分布与地貌的关系

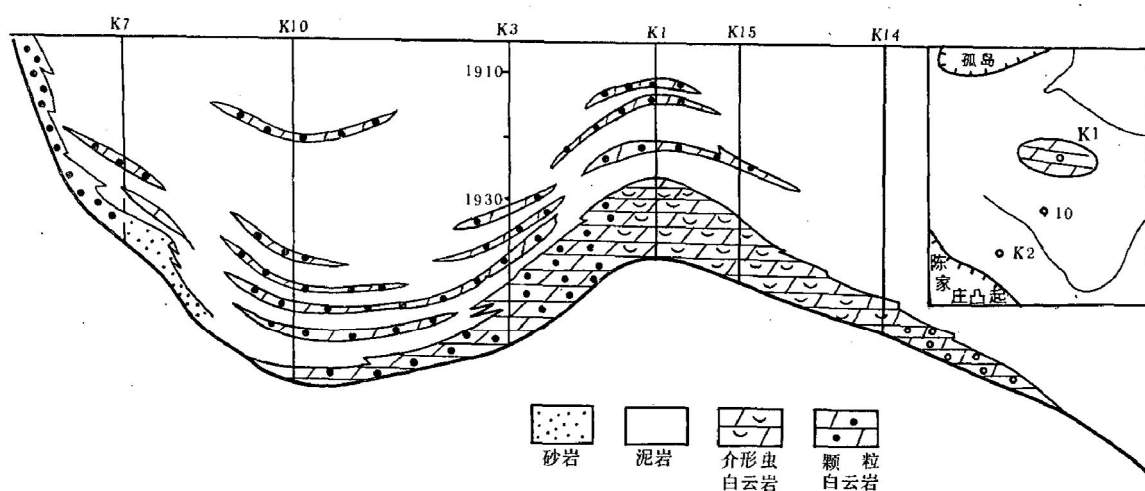


图9 垦利砂屑堤分布及岩性剖面

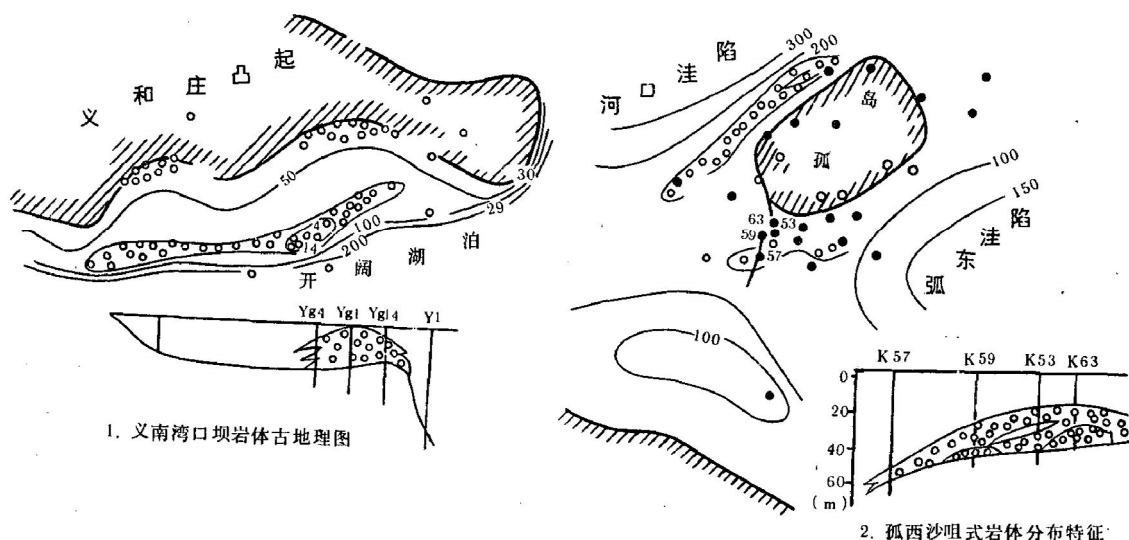


图10 湾口坝及沙咀式粒屑碳酸盐岩分布特征

根据渤海湾下第三系主要湖相颗粒碳酸盐岩储集体的研究,其分布与地貌的关系是:在湖盆缓坡区有边缘粒屑滩型、粒屑滩坝型。前者如辽河拗陷高升油田沙四段球粒滩;后者如济阳拗陷垦利沙一段粒屑堤、义南湾口坝。在岛屿及其围翼有岛缘粒屑堤型及藻滩型,前者如黄骅拗陷港西岛、孔店岛的沙一段鲕粒滩,即周清庄、王徐庄油田,还有济阳孤西沙一段沙咀;后者如冀中拗陷任丘岛东部任108井区的藻滩。在水下高地上有粒屑浅滩型,如济阳惠民凹陷中央隆起顶部的生物粒屑滩及桩西-孤东的生物粒屑滩。

四、泥晶碳酸盐岩沉积相及储层评价

泥晶碳酸盐岩分为块状及纹层状两种,前者由泥晶含铁碳酸盐岩组成,厚度小于2 m,质纯,各相带都有分布,储集意义不大。纹层状泥晶灰(云)岩含有较多泥质及丰富的有机质,纹层极发育。单层层厚一般0.2—1 mm,由泥、泥晶方解石及泥晶白云石三者按不同的比例

组成薄层。单层的色调深浅相间,深色者有机质含量高。含介形虫化石碎片,也含有大量颗石藻。分布于沙三段及沙一段的浅湖和深湖之中。以沾化凹陷最厚约100 m,面积约600 km²。纹层状泥晶碳酸盐岩层间缝发育,可以形成裂缝型储集层。

五、湖相碳酸盐岩的沉积模式与预测

沉积模式就其形式而言,有二维模式如Willson (1975)的海相碳酸盐岩沉积模式和国内众多的湖相碳酸盐沉积模式。有的是三维的,如Fouch (1983)的湖相碳酸盐沉积模式和国内的一些立体图式。二维模式简单明了,但往往不能反映平面上的客观情况。而三维模式到目前为止所能看到的都仅仅是盆地的一个局部切块,容量十分有限,只能反映少数几种碳酸盐岩体的关系。笔者认为,模式既要反映碳酸盐岩体的成因特征,又要表达其空间分布,并且对预测岩体的分布起指导作用。因此以剖面模式和平面模式相结合,加必要的说明来构成湖相碳酸盐岩体的三维分布概念更为适合。图11是渤海湾地区碳酸盐岩的剖面模式,图8是实例性碳酸盐岩沉积的平面图,将两张图联系起来看,可以得到关于渤海湾湖相碳酸盐岩的成因分布并能预测。

1. 从盆地边缘到盆地中心,碳酸盐岩体的类型呈有规律的变化:湖滩型碳酸盐岩体(灰泥滩和粒屑滩)、堤坝型碳酸盐岩体和藻礁及礁丘型碳酸盐岩体、生物粒屑滩、藻滩、泥晶石灰岩和泥晶白云岩。后两者常以纹层状碳酸盐岩出现。在盐度较高的碳酸盐沉积区,常与盐岩呈互层。这个碳酸盐沉积的总模式,与一般海相碳酸盐岩模式的相同点是:厚层粒屑滩坝和骨架碳酸盐岩都出现在高能带,这是因为无论海相还是湖相碳酸盐岩的分布,都是由水动力条件和生物生活条件所控制。它的显著不同点是海相蒸发岩(包括白云岩)一般在盆地的边缘,即封闭、半封闭台地范围,海盆的中部为泥质和灰泥沉积。而陆相盆地正好相反,蒸发岩在盆地当中或位于主要入河水系的相反一侧。这个截然相反的特点是由于湖相盆地的宏观封闭性和海相盆地的宏观开放性所决定的。

2. 湖相碳酸盐岩的平面分布与湖盆岸线的曲折性(图8),湖盆坡度的差异性(图11),及岛屿在湖盆中所处位置(图8, 11),水下隆起和水下高地的深浅有明显的依存关系。

3. 骨架碳酸盐岩体的地貌分布有三种情况:第一种情况是濒临深水的平缓的水下高地或水下隆起的顶部,这些构造位置受较大断裂的控制。例如平方王礁体底面的水下隆起,被NW、NE两组大断裂切割,礁体发育时期是个明显的平缓构造台地。水深在10 m以内。第二种情况是凸起边缘的陡坡带,如义和庄东坡向深水过渡部位,适宜礁丘发育。陡坡由断层发育形成。第三种情况是凸起边缘斜坡和岛屿周围,如义129、义42、桩67等井所见,岩体分布范围及厚度较小,形成生物层。在有陆源碎屑注入的斜坡向湖心一侧也可有小型骨架岩,如沙一段“针孔砂岩”生物层。

根据以上特点可以预测与大断层有关的台地,尤其是NE、NW的二级大断层下降盘,是勘探骨架碳酸盐岩的有利地区,以盐度适宜(28—32‰)的清水区更佳。

4. 颗粒碳酸盐岩主要发育于多沙水系入湖区以外、岸线平直的湖盆四角、岸线曲折的湖盆湾口、岛屿的近陆一侧、水下隆起的顶部及斜坡凹折带。以活跃、较咸、清水为背景。岸线平直占四角的原因是这里易于形成大入射角充填型粒屑滩。岸线曲折据湾口,是因为这里极易在横向流作用下形成湾口坝,也易形成屏障沉积和沙咀等自由沉积体。水下隆起顶部,并

以凹折带为重点,是因为波浪能量只有在此部位才会大量释放,使得颗粒大量沉积,并以凹折带能量释放最大,颗粒沉积最多。

5. 盆地物源区碳酸盐岩的有无,输入盆地硅铝酸盐岩屑的多寡,对湖相碳酸盐沉积的影响比海相碳酸盐岩影响显著。在物源区碳酸盐岩发育的情况下,注入湖泊的地表水或地下水中碳酸盐浓度高,利于湖相碳酸盐岩沉积。输入盆地的碎屑物质多,说明淡水补给较多,对水体及碳酸盐颗粒起稀释作用,不利于碳酸盐颗粒的形成和沉积。所以,在渤海湾诸次级盆地中,缓坡带碳酸盐岩沉积比较发育,而陡坡带则较差。这些盆地都是华北地台块断解体的产物。缓坡带的物源区古生界碳酸盐岩发育,而陡坡带则因长期断裂剥蚀的结果,硅铝质变质岩裸露,碎屑颗粒入湖较多,形成浑水区,使盆内碳酸盐颗粒难以成层。所以在渤海湾地区,周边山系碳酸盐岩较发育的盆地,或者盆地靠碳酸盐物源的一侧,湖相碳酸盐岩沉积也较发育,这在实例性模式中也可可见一斑。

前述关于湖相碳酸盐岩模式性认识已在油气勘探中见到了实效,根据上述规律预测提出义东邵家地区、罗家地区、东营凹陷西坡地区、惠民中央隆起带总计约700 km²可供勘探的碳酸盐岩发育区,实践结果:在义东扩大了含油范围,邵家找到了新的油田,花沟找到了新的气田,利津西坡开辟了大面积薄层碳酸盐岩中找高产的新领域。我们相信,在今后预测碳酸盐岩分布的实际工作中,也必将继续起指导作用。

本研究得到石油天然气总公司有关领导的关心。任丘油田秦云龙、陶洪兴、谢天阔,华北油田赵瑛,辽河油田翟义宾等同志为本文提供了部分资料。我院钱凯、周自立两位高级工程师给予指导。谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 李云通等, 1984, 中国地层, 13, 中国的第三系。地质出版社。
- [2] 汪品先等, 1975, 地层古生物论文集, 第二辑, 第1—36页。
- [3] 陈 木等, 1979, 海洋学报, 第1卷, 第2期。
- [4] 张弥曼等, 1985, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所集刊, 17号, 第1—60页。
- [5] 石油化学工业部石油勘探开发规划研究院等, 1978, 渤海沿岸地区早第三纪沟鞭藻和疑源类。石油工业出版社。
- [6] 钟筱春等, 1988, 微体古生物学报, 第5卷, 第2期, 第145—151页。
- [7] 朱浩然, 1979, 古生物学报, 第18卷, 第4期, 第327—344页。
- [8] 李成凤等, 1988, 沉积学报, 第6卷, 第4期, 第101—107页。
- [9] 张国栋等, 1987, 中国东部早第三纪海侵和沉积环境——以苏北盆地为例。地质出版社。
- [10] G. V. 奇林格等, 1978, 沉积岩的进展, 碳酸盐岩。石油化学工业出版社。
- [11] 钱 凯等, 1980, 科学通报, 第25卷, 第24期, 第1140—1142页。
- [12] 钱 凯等, 1986, 石油勘探与开发, 第13卷, 第5期, 第1—7页。
- [13] Schoue, P. A. et al., 1983, AAPG. Memoir 33.
- [14] 钱 凯等, 1987, 海洋地质与第四纪地质, 第7卷, 第2期, 第85—97页。
- [15] 武汉地质学院北京研究生院石油地质研究室岩相组等, 1987, 黄骅坳陷第三系沉积相及沉积环境。地质出版社。
- [16] 秦云龙, 1988, 石油勘探与开发, 第3期, 第44—52页。
- [17] 周自立等, 1986, 石油实验地质, 第2期, 第124—132页。

EOGENE LACUSTRINE CARBONATE ROCKS AND SEDIMENTARY MODEL IN BOHAI BAY REGION

Du Yunhua

(Geological Research Institute, Shengli Petroleum Administration)

Abstract

Lacustrine carbonate rocks, distributed mainly at the upper part of the 4th Member and the middle and lower parts of the 1st Member in the Shahejie Formation, are important Eocene reservoirs in Bohai Bay Basin. They can be divided into framework, granular and micritic carbonate rocks. The framework carbonate rock bodies consists of reef, mound and framework organism layer. Reefs are predominantly distributed in the clear water area on the subaqueous platforms or uplifts, the reef-core and front reef microfacies of which have the best hydrocarbon reserving condition with framework pores, organic visceral pores and solution pores. Mounds are distributed in the steep slope areas of fossil islands or basins, the cores of which are the greatest in thickness, and the best in pores. Biobeds are distributed in the gentle slope areas of the basin or fossil islands, or in the deep water areas with terrigenous debris. These beds are usually not so thick and the pores are homogenous. The granular carbonate rock bodies, composed of beach, barrier, bar, sand pit and algal beach, etc. with fine primary and secondary pores, are distributed in shore and shallow lake areas. The micritic carbonate rocks that are formed by chemical and biochemical deposition are distributed in shallow to deep lake areas, the reserving spaces include interlayer fractures and solution channels.