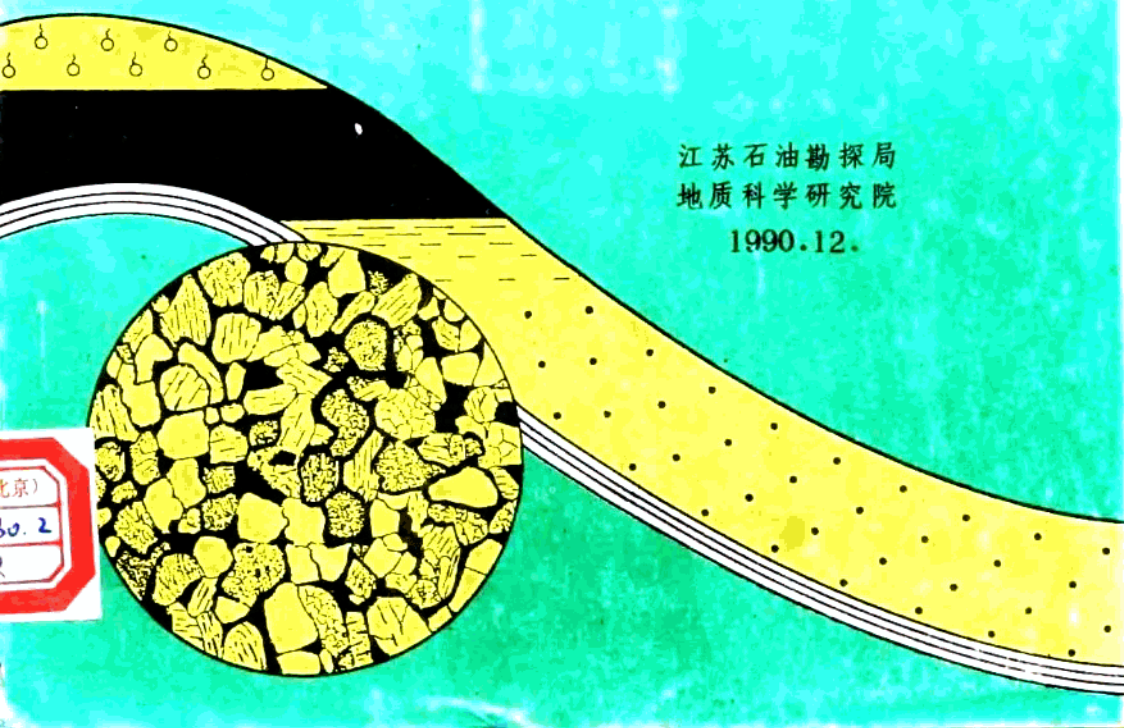


七五期间总公司重
点科技攻关课题

课题号 10501
(下属分课题)

金湖凹陷阜二段储层研究

江苏石油勘探局
地质科学研究院
1990.12.



085698
P618.130.2
052

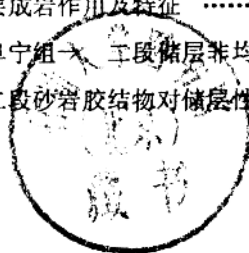
目 录

5月25/16



200290265

金湖凹陷阜二段储层研究.....	蔺毓秀(1)
1. 金湖凹陷下一闵一杨地区阜二段微相研究	钱 基 马英俊(32)
2. 金湖凹陷阜宁组储层成岩作用及特征	陆梅娟 黄善炳(71)
3. 金湖凹陷下杨地区阜宁组一、二段储层非均质性研究	张建良(105)
4. 金湖凹陷阜一、阜二段砂岩胶结物对储层性质的影响及其意义	邱旭明(157)



00777261



石油大学
图书馆
赠书
赠书者: 地科系
日期: 95.12.18

金湖凹陷阜二段储层研究*

鞠毓秀

前 言

《金湖凹陷阜二段储层研究》是总公司级课题《中国油气储层研究》的下属分课题，是1989年五月份在杭州召开的储层工作会议上增补决定的，研究时间从1989年九月正式下达任务算起到1990年底。

确定本课题的根据有二，一是金湖凹陷以阜二段为主体的目的层系（卞东油田、杨家坝油田）是我局近期进行滚动勘探开发、增产上储的重点，因生产迫切需要，从1988年底即已开始在下东—闵桥——杨家坝地区进行阜宁组储层研究；二是金湖凹陷阜宁组二段储层沉积相为比较典型的滩、坝类型，是浅湖相沉积体系储油的代表性储层。除了储层研究的各项内容外，并重点要求研究滩坝类型的一维特征，识别标志，以便提供具有指导意义的成果。因此，在研究内容上除沉积相外，还有以下四方面专题：（1）金湖凹陷阜二段储层成因类型研究；（2）成岩作用研究；（3）粘土基质研究；（4）非均质性研究，以及非均质模型的制作。做为金湖凹陷阜二段储层研究的基础。

为了完成上述研究内容，本课题尽量采用较先进的手段进行样品分析，如铸体薄片、扫描电镜、X-衍射分析、压汞以及岩石性质方面的流动工程试验，求取开发学上的特征等等。完成的主要工作量有：岩心观察22口井，550米，粒度64块，薄片95块，铸体薄片41块，压汞65块，孔隙度406个，渗透率199个，等效渗透率8块，模拟地层水渗透率17个，扫描电镜56块，X-衍射17块，高压渗透率5块，速度敏、水敏各5块，盐敏、酸敏各4块，粘土稳定剂，体积流量试验，化学分析各1块。

* 该报告是在以下4个分报告的基础上总结的。

注：本文附图1-2，图版1-3于正文后。

金湖凹陷位于苏北—南黄海盆地的陆上部分的西部，走向北东，面积 5000km²。属于第三系沉积凹陷，它的生成、发展、消亡以及构造史、沉积史、成岩史等都与苏北盆地的演化密切相关。(图 1)。

金湖凹陷阜二段储集层在开发静态、动态上具十分明显的特点，它是沉积作用、构造作用、成岩作用三方面地质作用的综合结果。沉积作用是原始的、决定性的内因，成岩作用、构造作用则是后期的，对原始储层起着影响和改造作用。影响和改造程度的深浅则受原始沉积的制约。为此，要想认识阜二段储层，必须首先认识沉积学特征，而后认识它的成岩作用以及开发学上的特征。

一、沉积学特征

一) 沉积背景

研究表明阜二段沉积时期苏北盆地属于亚热带近海潮湿断陷型沉积盆地。

1. 古构造

由于库拉—太平洋板块向北斜向俯冲作用，导致苏北—南黄海盆地产生强烈的区域性拉张。在阜二段沉积期(约 60.2—58.4Ma)，盆地已进入拉张阶段的中期，即盆地的断陷期。

金湖凹陷阜二段沉积时期的古构造格局是：受凹陷东南侧的杨村边界大断裂控制，自东而西，形成龙岗次凹和汜水次凹以及它们之间的卞、闵、杨玄武岩台地，形成了三河次凹以及龙岗、三河次凹以西的广阔的西部斜坡带，是控制金湖凹陷阜二段沉积的重要因素。

2. 古气候

根据孢粉研究(邱旭明 1988 年)，阜二段沉积时，古气候属于中—南亚热带气候区，植被类型为乔木生的常绿阔叶树种—落叶阔叶树种混交林，气候温暖潮湿。阜二段的古气候特征可以分为两个阶段，早期是由 E₁f¹ 沉积期的干热气候向温湿气候过渡，属半干旱—半湿润的中—南亚热带气候，晚期转为湿润的中—南亚热带气候。

近年来，根据古地磁分析资料，古新世时本区处于北纬 11—22° (林金录 1988 年)。又据氧同位素方法，在卞塘和刘庄地区的阜二段地层中，用白云石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值求得 E₁f² 沉积期的平均古温度为 22.6℃。

上述各项资料均说明阜二段沉积期的古气候较现今暖，属亚热带气候。

3. 海侵影响

金湖凹陷阜二段和阜四段一样，在沉积物内发现了受海侵影响的证据：

(1) 发现海相化石：有孔虫、钙质超微化石、鲱鱼、膨胀新单角介(介形类)、笔毛

纲虫管化石及部分藻类化石(赵政章 1985、张国栋 1987)。

(2) 与古盐度有关的各类元素,指示咸化水介质环境: Sr/Ba 比值普遍 >1 , 具有海水介质特征; B 含量介于 $70-110mg/g$ 之间,具海陆过渡相的水介质特征(同济大学海洋地质系 1988); Al/Ti 的比值为 20 左右(淡水一般为 $70-120$,海水为 $15-70$); 碳氧同位素所确定的 Z 值为 $125.6-130.5$ (海水大于 120) (钱基, 1989)。

(3) 与海水有关的黑云母转化型海绿石矿物的存在(张国栋, 1989)。

(4) 苏北盆地第三纪沉积期的湖平面变化曲线与全球海平面升降曲线有着良好的一致性。(马力、钱基等 1990)。这也表明苏北盆地阜宁组沉积期的湖平面变化明显受着海平面升降的控制,是重要的因素之一。

阜宁组沉积层序表明,海侵影响起始于阜一段晚期,且由东向西渐进,随着海侵影响加强,下一段一杨地区在阜二段沉积期水体逐渐加深,从而形成 E_1-E_2 的二个正向旋回。

4. 物源条件

金湖凹陷 E_1^2 的物源问题,本文仅根据近几年岩相研究工作所得认识:西南张八岭变质岩为主的母岩区对金湖凹陷阜二段的物源供应量大大而时间长;还有西部的盱眙物源量小而间断性的,西北部的洪泽供应量小而长期性的。这几个物源的认识比较一致。问题是本次研究工作结果认为存在南源,来自南部的天长凸起。

E_1^2 砂岩中的轻、重矿物组合特征反映母岩性质为混合型,包含三大岩类(钱基, 1988),扫描电镜可见砂岩中的伊利石多为碎屑型,表明源区含有较老的沉积岩。

二) 沉积相

1. 金湖凹陷阜二段石油产层的位置

阜二段处于阜宁组地层不完整正旋回的中下部。据 1988 年研究,阜宁组地层分为四个段,计阜一、二、三、四段,在段内分为亚段,共 12 个,其中阜一段 4 个,阜二段 3 个,阜三段 3 个,阜四段 2 个。

阜宁组是一套水进式沉积,岩性自下而上由粗变细,属正旋回,厚约 1100-1500 米,其中阜二段地层是阜一段沉积末的最大水进的开始,阜二段在水进过程中,由于脉动作用,自下而上形成三个亚段:第一亚段(E_1^1)称“山字型”为砂、泥岩互层夹生物灰岩段,厚 80-120 米,是金湖凹陷的主要产油层;第二亚段(E_1^2)称“四尖峰”和“七尖峰”段,为暗色泥岩与灰质泥岩、云灰岩、生物灰岩、粉砂质泥岩的组合,是一套优质生油岩,厚 50-80 米;第三亚段(E_1^3)称“泥脖子”段,为暗色泥岩段,厚 60-120 米,也是一套生油岩。

第一亚段是个水进—水退—水进系列,在水退期形成浅、湖相粉细砂岩,为了认识油层及其非均质性,并为开发地质服务,将这段产层自上而下划分了四个砂层组,17 个小层。第一砂层组包括 1、2、3 小层,第二砂层组包括 4、5、6、7、8、9 小层,第三砂层组包括 10、11、12、13 小层,第四砂层组包括 14、15、16、17 小层。

卞东、杨家坝油田的主力产层为第一、第二砂层组的 1、5 小层,其次为 3、8 小层和第三砂层组的 10 小层。故本文研究的主要对象为 1、5 和 3、8、10 小层中的砂体(储层)。

2. 沉积相类型

据 1988 年研究成果,金湖凹陷阜二段第一亚段($E_1f_2^1$)的沉积相主要为浅湖亚相和较深湖亚相,北部和南部各有物源较小的三角洲相和四个生物丘(礁)—碳酸盐岩滩相,并在卞杨地区形成了碎屑岩滩坝相。(图 2、作注—图 1)①。

考虑研究储层的需要,故将碎屑岩滩坝相作为本文研究的重点。

3. 碎屑岩滩坝的沉积特征及空间展布

(1) 碎屑岩滩坝砂体的古沉积环境

已如前述,在卞、闵、杨地区的东部(闵桥),为阜一段后期开始喷发形成的水下玄武岩台坪(基座),玄武岩平台西侧为一西斜宽广的斜坡,可延伸达 14 公里,经浅湖区继续向西与龙岗深湖区相接,南部以天长凸起为障壁,由天长凸起向东北延伸的菱塘桥低凸起,可与东部的玄武岩台坪接应,从而在东南形成一个天然的半封闭的湖湾性质的古地形,向北西则为开阔的浅湖区,在南部由天长凸起物源形成了规模不大的三角洲。

本区的水动力类型基本上有四种:

- 1) 来自天长物源的方向流;
- 2) 波浪脉动流;
- 3) 波浪作用产生的沿岸流;
- 4) 风暴流。

上述由古构造格局所形成的阜二段沉积早期($E_1f_2^1$)的东高西低的宽广斜坡等古地貌与四种水流有机结合形成了以下四种古沉积环境:

砂滩环境和砂坝(砂坪)环境—当天长水系携带物源向东北方向入湖时,与波浪形成的沿岸流相遇,由于湖浪强度小,形成的沿岸流速度也小,必然受方向流的控制,向东北流去,遇玄武岩台坪及其斜坡较陡的坡脚下受阻,减速堆积下来。在定向流的作用下,形成浅湖砂滩砂,在坡脚下砂滩厚度大。在斜坡的相对宽缓地区,受到波浪的改造,在定向流和波浪流的双重作用下,形成浅湖砂坝,厚度较小,并向台坪方向尖灭。在砂坝顶部由于受到波浪流的淘选作用,往往形成砂坪砂的沉积环境,厚度和岩性比较稳定,成为席状砂,分选较好。阜二段下部湖水的扩张和收缩过程中,形成了阜二段下部沉积晚期的第一砂层组比较典型的砂坪砂和阜二段下部早、中期的第二、三、四砂层组浅湖砂滩砂和砂坝砂。第四、三、二砂层组反映了湖水缓慢收缩的过程,陆源的补给仅缓慢增加,形成的是一套进积式沉积,下细上粗,浅滩自下而上渐长,到二砂层组最大。第一砂层组反映湖水转为扩张,陆源补给由多突然变少,所以一砂层组形成了厚度小于二砂层组的砂坪砂,为一套退积式沉积,下粗上组,砂体向上变薄变大,到第一小层薄而稳定。这是由于后期受波浪簸选的时间较长、间或有风暴浪的干扰所致。以上所述都是 $E_1f_2^1$ 在本区沉积上的重要特征。

玄武岩台坪环境—在玄武岩台坪上,由于受不到前三种水动力作用,相对水浅而静,清澈,光照好,十分有利于生物生长发育,如广盐性多毛纲虫类、藻类、介形类等,从而形成了碳酸盐岩生物礁,在侧翼(与斜坡过渡部位)形成鲕滩或碎屑与碳酸盐岩的混合滩。在湖水收缩过程中,闵桥地区的玄武岩台坪上的生物礁和鲕滩等有时露出水面,遭受风化淋滤作用,形成淋滤带,有时并受风暴浪的影响,使掘穴生物进一步向深层转移(唐

①注:指《金湖凹陷卞杨地区阜宁组一、二段储层非均质性研究》一文,下同。

天福, 1984.6), 这是水上沉积间断的重要标志。在湖水扩大过程中, 在湖水复盖区内, 当陆源补给减少或中断时, 形成水下沉积间断 (即无物源沉积间断), 没有陆源补给的水体, 适于生物生长繁殖, 在下、杨地区普遍发现造迹生物遗迹化石, 甚至形成痕迹岩 (生物挠动岩)。这是水下沉积间断的重要标志, 是 E_1^1 在本区沉积上的另一个重要特征。

风暴沉积环境—风暴沉积一般形成于浅湖区正常浪基面以下, 风暴浪基面之上。正常气候条件下形成细粒沉积, 风暴期则形成粗屑沉积。下杨地区的风暴岩主要分布于沙滩或砂坝的侧缘, 属于近源风暴沉积。物源主要来自西南方向的天长凸起定向物源和斜坡上的滩坝环境。风暴流在对滩、坝砂的改造作用十分明显, 加之正常天气条件下的沉积作用, 从而形成了独特的风暴岩序列, 由下至上为: 冲刷的底面—递变段—平行层理—丘状构造—生物挠动水下间断面。风暴成因的砂体在侧向上常与沙滩砂、席状砂相连, 两者不易划出明确的界限, 往往将此两种砂体统称为“浅湖—风暴砂”。

(2) 微相及砂体类型

阜二段早期在古沉积环境的影响下, 下杨地区共有浅湖沙滩砂、砂坝 (砂坪) 砂、浅湖席状砂、风暴砂和虫管生物礁、鲕滩等微相。(沉一—图 2、3、4)①。

砂体成因类型如下 (碳酸盐岩的礁 滩不在此文中讨论)。

1) 砂坝 (砂坪) 砂体 (沉一—图 10)

岩性以浅灰色粉砂岩和粉砂质细砂岩, 与暗色泥岩、偶夹薄层鲕灰岩和生物灰岩为组合。砂岩矿物成分成熟度比较高, 石英含量 65—70%, 长石 20—25%, 岩屑 10—15%。胶结物以碳酸盐为主要成分, 含量达 10—20%, 粒度分布的标准偏差为 1.2—1.5, 表明结构成熟度也比较好。孔隙度 17%, 渗透率 $52 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

据岩心观察, 浅湖砂坝砂具有向上变粗的岩性序列。粒度以反韵律和完整韵律为主, 构造序列, 下部具水平层理、波状层理和生物挠动的泥质粉砂岩, 对称波痕 (沉一—图版 I、2) 柱具发育, 波痕指数 $R_i = 6 \sim 7$, $RSI \approx 1$, 为典型的浪成波痕 (Reineck, 1973)。遗迹化石丰度高, 多见斜交, 垂直潜穴及“Y”型迹 (沉一—图版 I、6), 上部具有小型交错层理、平行层理的粉砂岩和粉砂质细砂岩, 偶见双向交错层理和低角度交错层理。

根据倾角测井资料指示, 下 6 井的一小层和杨 3 井的八小层, 在测井图上为典型的兰模式, 反映层理角度上陡下缓的反韵律特点。

2) 沙滩砂体 (沉一—图 22 下部)

岩性以红 或粉砂岩、细粉砂岩或泥质粉砂岩与泥质岩组合, 单层最大厚度 6.5 米, 砂岩的成熟度较高, 石英含量 65—70%, 长石含量 20—25%, 岩屑 10—20%。胶结物为碳酸盐, 含量 18%, 粒度 2—4 ϕ , 粒度韵律多样, 正韵律、完整韵律和反韵律, 砂岩孔隙度平均为 15—20%, 渗透率经常 $< 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均约 $14 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 基本岩性与砂坝砂相近。

又下 6 井五小层为红—兰模式, 反映层理角为上、下缓中间陡的完整韵律的特征, 与实际岩心观察韵律特征相一致 (沉一—图 7)。

3) 风暴砂体 (沉一—图 9、11)

岩性组合为细砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和黑色泥岩, 呈向上变细排列。一般底部具

①指《金湖凹陷下、冈、杨地区阜二段微相研究》一文, 下同

冲刷构造, 向上为递变由粗到细, 依次为水平层理的极细粉砂岩, 丘状层理粉细砂岩, 生物挠动面粉砂质泥或泥质粉砂, 即水下沉积间断面。

一个风暴层序, 其粒度变化为向上变细的正韵律, 多个序列组成复合正韵律, 一个序列的完成厚度为 10—50 厘米。

岩性特征与沙滩砂相似, 因为风暴砂岩沉积在沙滩砂或砂坝砂的侧缘, 沙滩(坝)砂就是风暴砂的物源组成。概率曲线为两段过渡到三段过渡式, 过渡是指段间的交角大于沙滩砂。两段式的交角为 3ϕ , 下段百分含量很低, 约 20% 左右, 分选好, 反映原环境特征, 上段(或中段加上段)的百分含量较大, 分选稍差, 表明在风暴浪的改造过程掺入了一定的悬浮物质。

风暴砂岩的倾向测井特征以红模式为主, 即层理倾角上缓下陡, 如杨 3 井的第二砂组下部的砂体沉积, 符合正韵律为主的情况。

4) 生物挠动岩和震积岩砂体

是两种准同生沉积储层。

生物挠动岩的岩性组合具有浅湖沉积特征, 本区主要以细、粉砂岩和泥质粉砂岩, 粉砂质泥岩为主, 由于蠕虫群落作用, 使原来的沉积构造受到改造, 改造的程度不同, 岩石本来的构造面貌全非, 岩性粗粒集中或是细屑减少, 提高了孔、渗的性能, 称为生物挠动岩, 具有储集意义。在下 9 井已见到这类储层, 但未见到它的分布和延伸, 因而当前这类储层是小范围的, 另散的分布在其它成因砂体之中。蠕虫将泥质粉砂和粉砂质泥改造的不彻底, 还保留原始结构构造特征, 泥质和细屑尚有保存, 故在粗屑集中处孔、渗比较高, 并可以造成局部含油, 这类含油产状的砂岩有否产油价值, 尚待进一步工作, 储集意义较小。轻微挠动岩, 储集意义更小, 这里不再讨论。

震积岩, 主要表现其沉积构造序列, 是在浅湖砂、泥沉积的基础上, 由于地震活动而形成, 可以在泥岩、砂岩或砾岩中形成它的独特构造序列, 从微断裂来看, 无论是在砂岩中或是泥岩中对油气迁移或渗流可以起通道作用, 实际上在目前储集意义不大。

4. 下、杨油田砂体(储层)特征及空间分布

本区的砂体几何形态、大小、厚度等取决于西南方向天长凸起物源补给量的多少, 补给量少, 发育土豆状沙滩砂体, 补给量增加时, 发育肾形砂体。补给量丰度比较高时发育缓丘状砂体和席状砂体。由于本区补给量始终未能很丰富, 因而在斜坡之上的玄武岩台坪部位, 补给量等于零, 发育了生物礁和鲕滩。

自下而上, 四个砂层组的砂体形态特征如下:

第四砂层组可分四个小层, 即 14、15、16、17 号层, 由于后 3 个层本区不发育, 未见有储集意义, 故不讨论。从 14 小层开始, 本区发育零星沙滩砂体。下东油田有两肾状沙滩砂体, 东部的下₁₃₋₂—下₁₃₋₃井厚 3.26—2.11 米, 呈北东向, 中部的下₉、下₄₋₃、下₄₋₂、下₉₋₁和下₇₋₁、₇₋₃等井区, 厚从 3.4—2.0 米, 为西厚东薄不规则的肾形体。呈东西向分布, 其周围与 1 米左右薄层席状砂相连(沉一图 21)。杨家坝油田在杨四井发育土豆状沙滩砂体, 厚 2.3 米, 向南西与 <1 米的席状砂相连(沉一图 19)。西部闵 1—闵 5 为碳酸盐岩体。

第三砂层组共四个小层, 即 10、11、12、13 号小层。

13 号小层一两个油田均为小于 2 米的席状砂, 并在下₆₋₁井出现砂岩零线, 总体向东

尖灭。

12号小层——两个油田为统一的<2.0米的席状砂，向东尖灭。

11号小层——两个油田均为席状砂，杨家坝油田的西部杨3井处发育一肾状砂体，厚3.84-2.02米，方向北东，周围与两米以下砂岩相连接。砂体向东至闵桥地区尖灭。

10号小层（沉一图20）——下东油田西部发育两个肾状砂体，靠北的以下₃₋₆井为代表，中心厚度3.4米，靠南的以下_{12、12-3}井为代表，最厚3.7米，方向南北略偏东排列，砂体均以2米厚等值线圈闭，在西部还有另呈土豆砂分布，周围均以1米多的砂席相连（沉一图21）。杨家坝油田砂岩比较发育，整个油田包括墩1井都被厚度>2.0米的砂岩所覆盖。在西部发育缓丘状砂体，最厚达4.7米，呈南北走向，与下东油田的两个滩体呈断续带状分布，长6750米，宽1250米左右，南部砂体大，北部小，为本组储油最好的一个小层（沉一图19）。

第二砂层组

9小层——下东油田以1-3米厚的砂层为背景，发育两个砂体，西部下₃₋₆—下₁₀为肾状砂体，下₇₋₁井土豆状砂体厚2.0-3.77米和2.0-2.54米，北西方向，从西往东平行排列。周围被1米和1米多厚的席状砂岩所围绕。杨家坝油田发育三个土豆状砂体，杨4井厚4.6米、杨10-5井厚2.19-4.43米，墩1井厚4.5米，分别为三个砂体。前二者东西向略偏北，后者为南北向略偏西，周围与<3米的砂岩相连接。总之，9小层是二砂层组进积式沉积的初始沉积，砂岩发育比10小层差。

8小层（沉一图18）——在下东油田主体部位发育一缓丘形砂体，面积比较大，约六平方公里，北起下₃井，南至下₁₂井，西起下₆₋₄井东到下₇₋₄井，厚度分布均匀，2.0-2.7米，长宽比为3（东西）：2（南北）。周边围绕1米多厚的薄层席状砂，向东变的宽缓，并向台坪方向砂层尖灭（沉一图13）。杨家坝油田，在主体部位发育一丘状砂体，面积约2平方公里，砂体范围包括杨₃、杨₄、杨₃₋₁、杨₁₁₋₃等井，东西向，厚度2.0-3.4米，砂体除西部与>2.5米的砂层相接外，其它三个方向都与<2.5米厚的砂层相接。在杨₅井还有一个土豆状砂体（沉一图15）。

7小层——下东油田发育两个砂体，下₃₋₆—下₃井砂体为肾形，厚2.0-2.5米，面积小，<1平方公里，呈北西向，与砂岩等值线平行。下₄井—下₁₃₋₃井砂体为长条形，长宽比为4:1，厚度由2.0-3.14米，面积1.25平方公里，呈东西向分布与砂岩等值线平行。砂体周边均与<1.5米厚的砂层连接（沉一图13）。杨家坝油田，发育西厚东薄的楔状砂体，厚度西从2.5米到东部杨₄₋₁井为砂岩零线（沉一图15）。

6小层——下东油田和杨家坝油田发育砂体，包括井点北下₆₋₁和下₄₋₃，南杨₁₀₋₂和杨₄井，厚度为2.4米和3.5米，与7小层砂体类型具继承性发育。

5小层（沉一图16）——下东油田发育一丘状砂体，覆盖整个油田，面积达8平方公里，长宽比为2:1，东西向分布，与砂岩等值线的总趋势垂直，中心部分厚度5米（下₃）至6.5米（下₇₋₃井），一般厚3-4米，西侧厚度大5米以上，东侧厚度小<2.0米至尖灭，北翼缓南翼陡（沉一图13）。杨家坝油田发育一个丘状砂体，面积1.6平方公里，东西向分布，中心部位厚度大于6米，杨₁₁₋₅井厚6.4米、杨₁₀₋₆井厚6.1米，南翼缓减薄为4米，北东两翼陡减薄至3米，西侧厚至5米以上（沉一图15）。

5小层沉积时期，砂岩丰度高和厚度厚，面积大，是阜二段下部重要储层，又是首要

产油层。

4 小层一下东油田发育三个砂坝砂体,从西往东,第一个,卞₆、卞₆₋₂、卞₆₋₄等井范围的肾状砂坝砂体,厚度 2.6—4.0 米,面积约 1 平方公里,第二个,包括卞₆₋₃、卞₁₂等井的肾形砂坝砂体,厚度 > 2.0 米,面积约 0.5 平方公里,第三个包括卞₉₋₁、卞₄₋₂等井的肾形砂坝砂体,厚度 2.2—4.17 米,面积约 0.8 平方公里,砂体呈北西向,排列为北东向,表明沿着玄武岩台坪的斜坡波浪流脉动作用的结果(沉一图 13)。在杨家坝油田以发育沙滩砂为主,以杨₁₀₋₆井、杨₁₁₋₅井为中心的丘状砂体,厚 2.15—3.74 米,北东向,面积约 2.5 平方公里,周边与大于 1 米的薄层砂层相连接,此外,还有一些另星滩砂,如墩₁井,厚 3.6 米(沉一图 15)。

4 小层沉积期,处于湖盆收缩转为扩张的前夕,砂岩丰度低于 5 小层时期,致使砂岩分割性强。

第一砂层组

3 小层(沉一图 14)一下东油田两个土豆状沙滩砂体。杨家坝油田发育以杨₁₀₋₅井为中心的丘状沙滩砂体,砂岩厚度 > 5 米,面积约 8 平方公里(3 米的砂岩等值线圈闭),呈北东走向,南翼缓北翼陡。

2 小层一下东和杨家坝两油田发育砂岩均匀分布的薄层席状砂岩,厚度一般 0.8—1.2 米,最厚 1.8 米,最薄 0.6 米,砂岩厚度趋势为西厚东薄。

此时湖盆水域进一步扩张,物源碎屑减少到很小,在波浪作用下,使先期砂岩受到淘洗,砂岩性质变好,且砂岩厚度得以重新调整,变的均匀,两油田砂层分布为统一体。

1 小层(沉一图 12)一发育了较为典型的砂坝、砂坪砂体。两个油田象是复盖着一床大席子,面积超出油田范围,可达 16km²(是有一定厚度的席状砂体),厚度变化幅度不大,卞东油田最厚 3.0 米,杨家坝最厚 3.2 米,一般厚 1.8—2.2 米,也有几口井 1.4—1.7 米厚。具有西厚东薄的趋势(沉一图 15)。

1 小层砂体的均匀稳定分布,在于砂体与水体直接接触时间较长,从而得到波浪充分的筛选作用,砂岩变粗、分选度高,物性变好,在卞东的卞₆₋₃—卞₇₋₁井的范围内,砂坪是明显的,周围以砂坝砂体与其相接。因此 1 小层的砂体虽然比较薄,但是一个比较好的油层。

综上所述,砂体类型的特征和空间展布,可归纳如下:

(1)砂体类型多。以沙滩砂为主,砂坝砂次之;砂体个体小,土豆状和肾状砂体多,丘状和席状砂体少,最大的达 16 平方公里,覆盖两个油田,如 1 小层的席状砂,覆盖一个油田的丘状沙滩砂体面积约 8 平方公里,如 5 小层,最小的土豆状砂体 1 口井;砂体厚度薄,一般 2—3 米厚,最厚 6.5 米,最薄 < 1.0 米;砂体的延伸方向有两个,一是北西的砂坝砂体,如卞东油田的 4 小层,一是北东东向的沙滩砂体,如 5 小层。

(2)砂体的空间分布,以斜坡和坡脚为主要位置。沙滩砂发育在斜坡和坡脚,砂体的轴向与斜坡的倾向一致,如 5、8 小层砂体,砂坝砂体发育在斜坡上,砂体的轴向与斜坡的走向一致,砂坪砂分布全区。砂体的时间分布,自下而上由小、另星(三、四、砂层组)一大(二砂层组)一最大覆盖两个油田(一砂层组)。

三) 浅湖滩坝砂体的识别标志

综合沉积学特征的研究,在一维柱状剖面上,浅湖滩坝的识别标志总结如下:

- 1.剖面上砂岩含量少,泥质岩为主要,一般为反旋回;
 - 2.砂坝(坪)砂的粒序为全韵律或反韵律,砂滩砂的粒序除前者外,也有正粒序和复合粒序;
 - 3.粒级细。一般为粉砂级,坝(坪)砂的粒级为粉+细粒,均匀,而滩砂则以粉砂级为主加上少许细砂和极细粉砂级;
 - 4.层理构造以水平层理为主,还有小型斜(交错)层理,波痕比较发育;
 - 5.在泥质粉砂岩和粉砂质泥岩中,痕迹化石发育,在滩砂中常见有水下沉积间断面;
 - 6.砂岩厚度不大,最厚6.5米,席状砂发育,侧向连通性好。
- 风暴砂的识别标志,除前述岩性组合和沉积序列外,更重要的是具有典型的丘状层理。

二、成岩作用特征

当沉积物堆积埋藏后,到压实成为沉积岩,须要经过一系列物理化学作用。这些作用对金湖凹陷卞杨地区的阜二段储层,有着深刻的影响。

卞杨地区的储层部分位于阜二段第一亚段的上部,厚度60~100米,在卞东和杨家坝两个油田的油层埋藏深度从1500~1800米,向西(油田西部)油层的深度为1900~2200米。本文试图通过阜宁组成岩作用的研究,来认识卞杨油田的储层性质在成岩演化过程中的特点和影响。

一) 成岩阶段划分及其对储层性能的影响

本区由于台地(斜坡)和深洼带所处构造部位、沉积环境、埋深及沉积期后的物理化学条件的不同,形成了台地带和深凹带不同深度、不同地区的两个相类似的成岩作用和模式,以下分析台地(或斜坡)带和深凹带的成岩阶段特征及其对储层孔隙的影响。

台地(斜坡)带(岩性—图6)①。

1.早成岩A期(相当埋深1270米以上)

岩石随着埋深不断增加,压实作用增强,包括(1)颗粒紧密填集;(2)软性颗粒压实变形;(3)泥质岩屑、火山岩屑等软岩屑被挤压形成假杂基、充填粒间孔隙等,从而使岩石不断变为致密。除压实作用外,还有早期黄铁矿、菱铁矿和泥晶状碳酸盐胶结物的形成和充填孔隙。到本阶段晚期,泥晶碳酸盐在温度、压力增高的作用下,又发生不同程度的重结晶,从而进一步使岩石胶结更为致密。由于成岩阶段中的机械压实和早期碳酸盐充填、重结晶作用,在宏观上直接表现为物性变差,在1270米处,孔隙度已降为20%±。粘土矿物以蒙脱石为主(I/S混层中蒙脱石含量>70%),压实特征为正常压实段或混合压实段,平均 R_0 为0.47%,平均最大温度为429.8℃,孢粉颜色为黄色、色变指数为2.25,这些均表现为未成熟特点。

2.早成岩B期(相当埋深1270~1430米)

进入该阶段后,机械压实作用已不重要,胶结作用上升为主导地位,主要是碳酸盐的重结晶和沉淀作用,继续充填粒间孔隙,使砂岩进一步失去储集空间,原生孔隙可降至

①指《金湖凹陷阜宁组储层成岩作用及特征》一文,下同

15%左右。粘土岩中的蒙脱石开始向 I/S 混层或伊利石转化, 主要以 I/S 混层为主, 平均含量 54.8%, 混层中蒙脱石含量最高 67.0%, 最低 25%, 平均 38.8%, 属于无序混层带时期, 泥岩压实进入欠压实段, R_0 为 0.5% 左右, 最大平均温度为 430.4℃, 孢粉色变指数 2.2~2.28, 颜色黄至深黄。由于下部有机质逐渐成熟, 促使该阶段末期砂岩储集层发生部分溶蚀, 产生一定量的次生孔隙, 使孔隙度一直处于随埋深增大而下降的趋势转变回升。并伴有少量铁方解石和铁白云石形成和石英颗粒的局部加大, 该段相当有机质属半成熟至低成熟期。

3. 晚成岩 A 期 (相当埋深 1500 米以下, 进入油层的埋深井段)

砂岩中溶蚀作用强烈, 现象普遍而多样, 主要以碳酸盐胶结物及易溶碎屑溶蚀为主。表明溶蚀作用的主要岩石学证据包括 (1) 岩心中常见不规则含油条带及致密不含油夹层或不均匀的油斑。(2) 镜下观察碳酸盐胶结物溶蚀形成不规则残余结构, 后期又被铁碳酸盐围绕其残余颗粒沉淀, 或者残余碳酸盐胶结物不均匀分布, 造成孔隙分布不均。(3) 镜下和扫描电镜观察见易溶碎屑具不同程度的溶蚀, 形成粒内孔、铸模孔、特大孔等, 次生孔隙发育, 由于次生孔隙的补偿, 使孔隙度 15% 不再随埋深增加而降低。同时又有高岭石沉淀。

溶蚀作用过后, 溶液中富集了各种元素, 在环境发生变化后, 先后形成了铁碳酸盐、片钠铝石、方沸石及重晶石等自生矿物、粘土岩中伊利石含量增加、I/S 混层含量减少, 混层中蒙脱石含量为 20%±, 属有序混层带时期, 并与泥岩压实的欠压释放段相对应。 R_0 平均为 0.6%, 平均最大温度为 435.6℃, 孢粉色变指数为 2.37, 颜色属深黄色, 相当有机质属成熟期。

在该阶段中 Ef_2 段的粒屑灰岩也发生白云石化, 并受酸性水溶液的影响, 使鲕粒、砂屑、生物碎屑等发生不同程度的溶蚀。形成了具有能储集油气的储集空间。随着整个环境的改变, 在灰岩裂缝或被溶蚀的粒屑孔中先后发生交代型片钠铝石和方沸石的沉淀。

本阶段反映了埋深 1500~1800 米井段的储层成岩特征。它与阜二段 1、2、3、4 砂组油层和阜一段顶部油层的埋深位置相符, 表明下、杨油田储层成岩作用及其被改造的特征等都发生在晚成岩 A 期阶段。

深凹带 (岩一图 7)

据综合分析, 深洼带所经历的成岩后生变化属后生作用阶段, 其特点如下:

1. 早成岩 B 期 (相当埋深 2200 米以上)

该阶段除与台地带 1270 米以上具有类似的机械压实作用外, 碳酸盐和石英等的化学胶结作用也比较强烈, 造成砂岩物性迅速变差, 在 1900 米处砂岩中原始孔隙度已下降为 10% 左右, 粘土岩中以 I/S 混层为主, 混层中蒙脱石含量平均为 56.5%, 属无序混层带, $R_0 < 0.6\%$ 最大温度 430℃ 左右, 孢粉色变指数 < 2.3 , 颜色黄至深黄, 属有机质半成熟。该期下部由于接近有机质的成熟门限, 砂岩储层受到酸性溶液的影响, 产生了少量的次生孔隙, 使物性略有回升, 并在砂岩孔隙中沉淀少量含铁碳酸盐和自生高岭石。

2. 晚成岩 A 期 (相当埋深 2200 米以下)

从粘土岩和有机质演化大致分为两段。

(1) 2200~3100 米粘土岩中 I/S 混层平均含量 43.67%, 混层中蒙脱石平均含量 36.83%, 属有序混层带, 据雷₂ 井的泥岩压实曲线, 在 2200 米处出现欠压释放拐点, 说

明有大量的层间水排出。 R_0 0.6~0.75%，最大温度 435℃左右，孢粉色变指数 2.3-2.82，颜色深黄~棕黄。

(2) 3100 米以下粘土岩中 I/S 混层明显减少，而伊利石增加，I/S 混层中蒙脱石平均含量 30%。 R_0 > 0.75%，最大温度 > 440℃，孢粉色变指数 > 3.15，颜色棕黄。

从上述指标反映，生油岩在 2200 米进入门限，当埋深达 3100 米有机质完全成熟，砂岩储层资料表明，在上段有次生孔隙的产生，出现物性略有回升的趋势，并有含铁碳酸盐和高岭石的沉淀，但总体看，储层物性较差，表现在砂岩中碳酸盐含量高并对碎屑颗粒交代作用较发育。在碳酸盐胶结物较少的部位，自生石英和长石含量较高，构成凹凸状或缝合线状。岩性致密坚硬。

二) 自生矿物及其对储层性能的影响

1. 碳酸盐自生矿物，按成份可分为方解石、白云石、菱铁矿、铁（含铁）方解石、铁（含铁）白云石。按产状可分为三种类型：

(1) 重结晶型碳酸盐，以方解石和白云石为常见。主要由早期泥晶状方解石、白云石（岩—图版 I4）在成岩阶段期的化学压实作用中借溶解或固体扩散等形式，使泥晶状胶结物重结晶成嵌晶状，分布于沉积颗粒之间，从而使砂岩失去储集空间，储油物性降低。但它对储层在后期成岩作用中有利，因为可以使碎屑颗粒不再或减少被压实。

这一影响因素主要发生在阜三段及以上地层中，对本区的油层部分影响不大。

(2) 沉淀型碳酸盐，主要为铁（含铁）方解石、铁（含铁）白云石，少量为方解石和白云石。铁方解石和白云石是在晚成岩 A 期形成的。是通过富铁物质，在酸性溶液对胶结物和易溶碎屑（长石、火山碎屑、云母等）的溶蚀过程中，逐渐消耗 H^+ ，变为富含 Mg^{++} 、 Fe^{++} 、 Ca^{++} 、 HCO_3^- 的水溶液，当环境改变 pH 值再度增高时，由于各离子浓度变化的影响，先后结晶出铁方解石和铁白云石。它们并在后生阶段早期偏碱性环境中形成不含铁的碳酸盐外围沉淀下来，使胶结物增多，孔隙变小或堵塞，降低储层的储油性能。

这类胶结物出现于本区的 Ef_2 、 Ef_1 的油层部分，表明铁方解石、铁白云石的晶体自形程度高，呈菱面体（岩—图版 II 8）是影响本区油层性能的重要因素。

沉淀型碳酸盐胶结物，还有菱铁矿，它是以泥晶和细粉晶状集合体充填粒间孔隙，堵塞喉道，降低储层物性。这一过程，一般发生在早成岩 B 期阶段，埋深 1500 米以上，对油层影响不大。

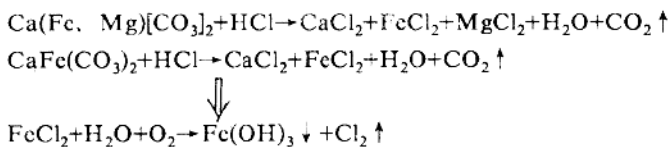
(3) 交代型碳酸盐，主要为白云石、方解石常沿着陆源碎屑或其它矿物的边缘发生不规则的交代，也见有白云石交代方解石（岩—图版 III 8）。这类交代现象在深部地层中常见，对本区油层部分影响不大。

另外一种交代型碳酸盐，则是灰岩中的白云石化，大部分呈粉晶状，部分晶形完好，称砂糖状白云石。在粒屑灰岩中交代方解石胶结物，形成砂糖状白云石晶间孔，从而提高了储层性能。在下₇₋₃井（井深 1650.25 米，砂组），白云石化的生物粒屑灰岩的物性测定，孔隙度 13.6%，渗透率 $55.2 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。表明，粒屑灰岩被白云石化后，未被白云石化的粒屑又遭受酸性溶液的侵蚀，而发生溶解形成具有一定储集能力的空间（岩—图版 III 7）

碳酸盐矿物为 Ef_1 、 Ef_2 砂岩中主要胶结物，含量占 10-30% 不等，平均约 20%，物性分析表明，砂岩中碳酸盐胶结物含量的高低是影响孔隙度变化的因素之一，碳酸盐含量

高, 孔隙度小, 反之孔隙度大 (岩一图 12、13), 一方面反映了砂岩中碳酸盐胶结物多, 能够减少孔隙, 在早成岩期, 泥晶、亮晶的碳酸盐充填孔隙, 伴随着压实作用使孔隙度降低, 晚期碳酸盐的充填, 同样使砂岩减少孔隙, 并使砂岩变的更致密; 另一方面早期碳酸盐对砂岩的胶结, 又阻止了由于压实的增强, 免使颗粒之间紧密接触, 并为在酸性环境下产生次生孔隙增加孔隙度创造了物质条件, 在交代过程中碳酸盐对石英、长石等颗粒的交代, 也更有利于溶蚀孔的增加。

据能谱分析 E_{F1} 、 E_{F2} 段地层的碳酸盐中有较多的是铁碳酸盐, 占碳酸盐总量的 50% 以上, 铁碳酸盐的存在, 在酸化过程中, 会产生 $Fe(OH)_3$ 的沉淀而堵塞孔隙, 方程式为:



因此对铁碳酸盐含量较高的储层, 在酸化时应加入去氧化剂和离子螯合剂来防止 $Fe(OH)_3$ 对储层的损害。

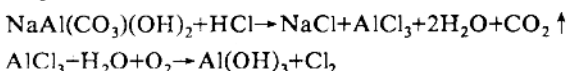
2. 自生石英

在晚成岩 A 期阶段 (1500—2000 米埋深) 石英次生加大, 对油层的储集性能影响较大。

石英次生加大, 主要在碎屑石英、硅质岩等颗粒上呈加大边产出 (岩一图版 III 6、IV 2), 充填孔隙空间, 使孔隙和喉道缩小。本区次生加大, 在纵向上由浅到深, 具有逐渐增加的趋势, 井深 1500 米以上少见, 含量一般 $< 0.2\%$, 1500—2000 米自生石英可构成一定含量, 达 $0.2 \sim 0.5\%$, 或更高, 在下西₁井 1717.13 米井深含量 $> 1.0\%$, 井深 2000 米以下, 自生石英较普遍, 含量一般 $> 0.5\%$, 在河参 1 井 2953.32 米高达 3% 以上, 普遍具再生胶结, 导致岩石致密, 坚硬, 使储油物性变差。这一纵向变化, 表明石英次生加大由浅至深影响储集性能越重。

3. 自生重晶石, (岩一图版 III 4) 在井深 1600 米和 2950 米左右产出, 以斑块状分布充填孔隙, 因为含量很少, 对油层影响不大。

4. 片钠铝石呈纤维状、针状和放射状集合体。在杨家坝油田比较发育, 杨 1,5 井 (E_{F1}^{1-1} 、 E_{F1}^{2-2}) 井深 1500 米左右, 含量比较高, 一般 1—5%, 个别可高达 8% 以上。片钠铝石的成因有两种, (1) 在富含 CO_2 水溶液交代钠铝硅酸盐矿物包括长石、石英、高岭石等而成 (岩一图版 IV 3); (2) 在溶液中 Na^+ 、 Al^{+++} 相对增加就要交代白云石和方解石, 在偏碱性环境中的钠、铝碳酸水溶液在粒间孔和裂缝中产生沉淀, 堵塞孔隙, 片钠铝石的分子式 $AlNaCO_3(OH)_2$, 经成分测定其中 Al 含量高达 46.9%, 由于它遇酸能形成 $Al(OH)_3$ 沉淀, 从而堵塞喉道使产油量降低, 其方程式如下:



因此, 在对杨家坝地区 E_{F1}^{1-1} 、 E_{F1}^{2-2} 段油层进行酸化处理时, 应注意防止 $Al(OH)_3$ 沉淀对油层的损害。

5. 方沸石为自形程度较高的立方晶体, 是在晚成岩期偏碱性环境中从溶液中直接沉淀

的。一般分布于含碳酸量较高的砂岩中,或是在鲕灰岩中与亮晶方解石共生,沿着鲕粒溶蚀孔壁生长或充填溶蚀孔(岩—图版Ⅲ2、IV4)。据镜下观察和X-衍射分析,方沸石在下、杨地区的砂岩和灰岩中分布较广,但含量较小,一般<1%,个别达2-4%,对储层性能有一定影响。

6. 自生粘土矿物

下、杨地区阜二—阜一段油层砂岩部分,X-衍射分析表明,粘土矿物成分主要有高岭石、伊利石、伊/蒙混层和绿泥石四类。平均含量以伊利石最高,高岭石次之(岩—表8),在本区高岭石规则排列的晶体及大量出现于溶蚀性较强的砂岩中充填粒间孔隙,长石蚀变高岭石呈堆积状充填粒内孔中。伊利石和伊蒙混层均呈孔隙衬边(或颗粒包膜)的形态产出,也是降低储层孔渗的一个因素。据X-衍射揭示,伊利石含量高并具有自上而下平均含量变低的规律。如 Et_2^{-1} 含量75%、 Et_2^{-2} 61.4%、 Et_1 21.9%。表明向下伊利石的影响趋于减小。绿泥石在 Et_2 段平均含量<20%,呈杂乱堆积充填孔隙或是以颗粒衬边形式产出,堵塞喉道,从而降低了孔隙度。

Et_1 段砂岩储层中粘土矿物主要为高岭石,在下、杨占粘土总量80%以上,它一般以蠕虫状或书页状充填孔隙,将孔隙改造为晶间孔。高岭石基本无吸附性,但在开发中注入一定流体和压力时易被冲碎产生晶粒运移,堵塞喉道,造成产油量降低。

Et_2 段砂岩储层中以伊利石为主。伊利石一般以分散状充填在孔隙中或以胞膜形式出现在砂岩中造成微孔隙,提高束缚水饱和度,使颗粒表面的润湿性改变,影响渗透率,同时在液体流动过程中容易产生晶粒运移,堵塞喉道(岩—表13)。

综合上述,自生矿物沉淀型碳酸盐铁方解石和铁白云石等是降低 Et_2 段下部油层物性的主要因素,石英次生加大的影响排在第二位,还有自生重晶石、片钠铝石、方沸石以及粘土矿物等由于含量比较少,对储油物性的影响排在第三位。

三) 次生孔隙的形成与发育直接改善了储层的性能

按成因本区 Et_2 储层砂岩孔隙可分为两大类:原生孔隙和次生孔隙。原生孔隙是指沉积物埋藏后,颗粒间、颗粒与胶结物间、胶结物之间保留的未受改造的孔隙;次生孔隙为岩石在成岩作用过程中由于物理、化学条件的改变,颗粒、胶结物发生淋滤、溶蚀、破裂等而新产生的孔隙(包括原生孔再扩大)。储层特征表明,本区孔隙类型主要为次生孔隙。次生孔隙又主要为溶蚀孔。

1. 孔隙度随深度的加大呈有规律变化,本区存在次生孔隙发育带。

如岩—图3-1,1300米以上,孔隙度随埋深加大而减小,取集中值为24-18%,反映早期的压实作用,以原生孔为主。1300-1500米,孔隙度的集中值为20%左右,反映压实和胶结作用,原生孔和次生孔共存。1500-1800米孔隙度随埋深加大而相对稳定,孔隙度集中值为18%左右(变化范围:10-22%),反映溶蚀阶段,产生大量溶蚀孔隙(岩—图版I1,2此段为次生孔隙发育带,孔隙度大小,不随埋深加大而变小,以上反映了以 Et_2 为主的储层在台地、斜坡区的孔隙变化特征。1800-2500米,孔隙度中值埋深加大又保持基本稳定,孔隙度集中值为12%。(变化范围9-15%),此段反映了 Et_2 段在深凹区的次生孔隙带,孔隙度值比浅部位减少了6%,颗粒间紧密接触(岩—图版II6)。即使如此,该段原生孔隙的减少也为次生孔隙的增加而得到部分补偿。这一资料表明深凹区次生孔隙发育带出现的深度远大于斜坡和台地区。2500-3000米孔隙度随埋深而明显减小

二
11
2.

(8%)。很少见溶蚀孔(岩-图版 I3 3000 米以下,则小于 8%,基本上处于不可压缩状况。

2. 次生孔隙的形成与有机质热演化和粘土矿物脱水有关。

七十年代以来,人们认识到:酸性水溶液是溶解碳酸盐矿物、长石、石英和岩屑的主要溶剂,当有机质在成岩热演化过程中产生大量有机酸和 CO_2 ,并溶于水中形成酸性溶液,这种酸性溶液随泥岩压实进入碎屑岩中,在碎屑岩储层中酸溶性组分溶解碳酸盐、长石、岩屑等矿物,从而产生次生孔隙。

已如前述,据金湖凹陷 E_2 段粘土矿物 X-衍射分析,蒙脱石矿物随深度增加在成岩三阶段作有规律的演化(岩-图 6),在斜坡(台地)区 1270 米以上为蒙脱石带,储层孔隙属原生孔隙带;1270—1430 米为蒙脱石—伊利石无序混层带,称第一迅速转化带,储层孔隙属于原生孔和次生孔混合带,深度 1500 米以下为蒙—伊有序混层带,称第二迅速转化带,属次生孔隙发育带。在深洼区有同样的演化趋势,相应的为 2200 米以上(无序混层带),2200—3100 米(有序混层带),3100 米以下(伊利石带), (岩-图 7)。

上述蒙脱石向伊利石转化,主要表现为钾离子的置换作用,同时有晶层间水的脱出作用,致使蒙脱石带转变为孔隙水急速脱出带(脱出的粒间水),第一迅速转化带为晶层间水稳定脱出带(均匀脱出),第二迅速转化带,为晶层间水急速脱出带(短时间内迅速脱出)。根据 Perry 计算,蒙脱石转换过程中可放出相当于沉积物 22.17—24.8% 体积的水。因此,蒙脱石的转化和脱水作用准备了大量的酸性溶液组分。

据钱基(1989 年)研究,金湖凹陷的泥岩压实曲线,普遍存在异常压实段,即声波时差值随埋深加大而增大的异常压实现象,从压实曲线特征看,一般经历了四个主要阶段(岩-图 5): (1) 初期正常压实阶段(上排液段),此时随埋深加大首先排出流体,孔隙度减小; (2) 欠压实段(不排液阶段),由于排液受阻,随埋深加大,孔隙度变化很小,孔隙内流体承受了上覆岩柱一部分载荷,形成超静水柱的孔隙压力; (3) 突变压实段(下排液段),当孔隙流体压力增大到一定值,岩层产生微裂缝,开始二次排液过程,产生在曲线下部突变段,孔隙产生突变; (4) 紧密压实段,随压实作用的加深,裂缝增多,岩石密度增大,接近骨架值,压实速率减缓排液渐趋停止。

这四个阶段的深度与蒙脱石成岩演化阶段相吻合(岩-图 6、7),其中欠压实段的下段为突变压实段,与蒙脱石急速脱水带的深度段一致。如李₁井、杨₁井、卞₂井都有这个规律,使得具有足够多的液体在过剩压力差的驱动下排出,而进入储集体。

据黄宛平(88—89 年)研究,金湖凹陷的台坪和斜坡地区,在 E_2^2 沉积时,受海浸影响,发育了厚约 40 米生物礁、藻类沉积,这是一类不受蒂索门限控制的优质生油岩,埋深 1500 米,温度 50℃ 有机质,即开始成熟大量生烃。这些烃类及有机酸和 CO_2 以上述下排液段排出的流体为载体,通过初次运移进入 E_2^2 及 E_1 顶部储层内。这些储层在大量的脱水酸性溶液的长期、持续作用下产生了众多次生孔隙,其面孔率占总孔隙度的 40—90%。金湖凹陷的深凹区(三河和龙岗次凹) E_2^2 、 E_2^3 深湖相泥岩有机质成熟门限和范围为 2200—3100 米,按理在 2200—3100 米范围内应该具备形成大量次生孔隙的机制,但实际上次生孔隙仅在 2500 米以上发育,2500 米以下少见次生孔隙,自生矿物发育,结构十分致密,已进入晚成岩 B 期。其原因有二,一是深凹有机质成熟过程中产生的酸性水及 CO_2 在初次运移时即已有相当数量向斜坡带运移进入到较高构造部位的储层内;二

是深凹内 EF_2 、 EF_1 顶部储层在 EF_2^{-3} 生油岩未成熟前即已压实固结, 阻止流体的进入。据此, 不难看出区域构造对次生孔隙带的发育具有重要控制作用。除此外, 沉积环境和相带对砂岩结构和次生孔隙的发育也有明显控制作用。

综合上述, 本区次生孔隙发育带的形成, 是成岩过程中蒙脱石转化、脱水、以及有机质成熟演化相互影响的综合效应。具有台地(斜坡)和深洼带两套成岩演化模式。其台地(斜坡)型浅成岩演化模式, 是一套新的演化模式。也是金湖凹陷成油的最佳成岩模式。据此, 可扩大金湖凹陷中、浅层的找油领域。也可根据浅成岩带模式预测次生孔隙发育带。

三、开发学特征

在沉积作用和成岩作用以及贯穿在各个作用当中的构造作用影响下, 造就了储层在开发学上各种特征, 包括岩石的基本性质和物理性质、孔隙类型及孔隙结构、粒度韵律和能量单元、渗透率变化及分布等等。

一) 阜二段油层的岩性、物性和敏感性

1. 储层的岩石性质

基本岩性以粉砂岩(包括粗粉砂和细粉砂)为主, 也有细砂岩。岩石类型以长石岩屑质石英砂岩为主, 也有鲕粒砂岩、鲕粒灰岩和粒屑灰岩。砂岩成分成熟度中偏高, 胶结物碳酸盐含量比较高, 结构成熟度较好(非一表 2、3)。

2. 储层的物理性质

本段只谈孔隙度和渗透率的一般情况, 下东阜二段油层的孔隙度中值为 15%, 变化范围为 5—23%, 属中等储集空间, 渗透率中值为 $13.2 \times 10^{-3} \mu m^2$ 、变化范围 $1-163.2 \times 10^{-3} \mu m^2$, 油层为中低渗流能力。杨家坝油田 EF_2 的储集空间和渗流能力与下东油田相近, 孔隙度中值 13.0%, 变化范围为 5.1—23.2%, 渗透率中值为 $3.7 \times 10^{-3} \mu m^2$, 变化范围 $1.2 \sim 197.0 \times 10^{-3} \mu m^2$ (非一表 4)。

3. 储层的敏感性

根据对金湖凹陷下、杨油田五个岩心样品(1、18、49、9、47号)做的岩心流动试验, 取得如下初步成果:

(1) 第二砂层组油层具速度敏感性

速度敏感性是指因油层中流体流动速度变化所引起油层中微粒运移、堵塞孔喉, 造成渗透率下降的现象。

阜二段下₄井 5 小层(9号样)和杨 3 井 5 小层(47号样)具有速度敏感性。其临介流速分别为 <0.25 和 <0.29 (ml/min) 对油层的损害程度分别为 20%、39% 达到弱——中等。在试验时模拟地层水流速的增加, 使渗透率有一明显的下降台阶, 此时相对应的流体速度称为临介速度 (Q_c)。当流体速度达到或超过临介速度时, 会引起孔隙中的粘土分散、运移和长石、石英、碳酸盐等微粒的迁移将明显堵塞孔喉, 影响砂岩渗透率降低。(胶注—表 7、图 8)①。

①指《金湖凹陷阜一、阜二段砂岩胶结物对储层性质的影响及其意义》一文, 下同