

文章编号: 1009-3850(2002)03-0019-06

# 洼陷中浊积岩沉积特征及油气富集规律研究

严进荣<sup>1</sup>, 陈 东<sup>1</sup>, 郭勤涛<sup>1</sup>, 丘东洲<sup>2</sup>

(1. 胜利油田东胜精攻石油开发有限公司, 山东 东营 527000; 2. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

**摘要:** 随着油气勘探的不断深入, 我国东部地区主要含油气盆地勘探的主要目标逐渐转为一些较复杂的隐蔽油气藏, 尤其是盆内的次级洼陷, 已成为勘探的重要地区。多年的勘探实践表明, 对于我国东部的陆相箕状盆地, 洼陷中含油气是必然规律。在洼陷内最重要的油藏类型是砂体岩性与构造-岩性油藏, 并且绝大多数为浊流成因。本文以山东济阳拗陷与昌潍拗陷的德南、牛庄、利津、博兴等几个洼陷为例, 介绍洼陷生油条件的地震研究方法, 与三角洲-浊积扇体系中浊积岩发育区的沉积特征、油气富集规律及地震综合研究方法。

**关键词:** 洼陷; 生油; 地震研究方法; 浊积岩; 山东

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

随着勘探的不断深入, 我国东部地区主要含油气盆地中较易发现的构造油气藏逐渐减少, 勘探的主要目标转为一些较复杂的隐蔽油气藏。盆内的次级洼陷, 越来越被普遍重视, 成为勘探的重要地区。多年的勘探实践表明, 对于我国东部的陆相箕状盆地, 洼陷中含油气不是偶然现象, 而是必然规律。目前, 多数洼陷的勘探程度较低, 有的洼陷甚至尚未钻探, 因此每个洼陷在深入勘探之前, 都必须进行以地震资料为基础的地震地层学研究, 揭示洼陷的生油条件, 总结沉积模式及油藏模式, 预测有利油气富集区, 为进一步勘探开发提供可靠的依据。

虽然每个洼陷内可形成多种类型的油气藏, 但最重要的类型是岩性与构造-岩性油藏, 并且绝大多数为浊流成因。本文将以渤海湾盆地济阳拗陷与昌潍拗陷的几个洼陷为例, 介绍洼陷生油条件的地震研究方法, 与三角洲-浊积扇体系中浊积岩发育区的沉积特征、油气富集规律及地震综合研究方法。

## 1 洼陷生油条件的地震研究

传统的生油条件的研究方法是在洼中打参数井, 录取各种资料后通过计算得到盆地的远景储量。对于一个较大盆地的勘探初期, 这种方法无疑是必要的。但对于盆地中的次级洼陷而言, 它们面积小、数目多、生油岩埋藏深, 若都用打参数井的方法来解决每个洼陷的生油量无疑是成本高、效率低。因此, 对这种数目多, 勘探程度低的次级洼陷, 我们主要利用地震资料, 结合欠压实带的研究, 确定洼陷内主要生油岩的几何特征, 通过盆地类比初步计算出生油量和聚集量。利用这种方法在德州凹陷的德南、抬头寺洼陷的勘探中取得成功。

### 1.1 生油岩的地震反射特征

陆相沉积中的生油岩主要是半深湖—深湖相还原环境下的暗色泥岩。按地震地层学观点, 陆相有效生油岩具有以下特征:

(1) 是一个反射密集段, 具有低频、高连续、强振

幅,反映静水还原环境下沉积的,并富含有机质的泥岩类沉积物。

(2)反射结构为平行、亚平行反射,反映深水环境中以水平沉积为主的湖相地层。

(3)反射密度段内无不整合,反映连续沉积的湖相地层,并且持续沉降。

(4)反射层序段应具有一定的厚度、分布范围及足够的埋藏深度,主要反映生油岩是否进入生油门限和是否形成具有工业价值的油气。

但具备上述特征的并不都是生油岩,如大面积的浅湖三角洲所形成的大范围砂泥互层也可具备以上特点。如何区别?笔者认为区别的最重要依据是层序内是否存在欠压实带。

### 1.2 欠压实带的形成机制

欠压实带主要是指在特殊地质条件下,泥岩中流体与外界呈隔绝状态,当泥岩埋藏到一定深度时,在上覆地层的重荷作用下,不仅不能大量排出流体,反而将压力传递给流体。由于流体的压缩系数极小,所以压实作用基本停止,形成欠压实的异常高压带,这时的泥岩具有较高的孔隙度和较低的地震速度及密度<sup>[1]</sup>。

陆相沉积中洼陷的沉积方式主要有两种,一种是垂向加积,一种是侧向加积。以垂向加积为主的洼陷,洼陷中部既是沉积中心,也是沉降中心,沉积物以泥岩为主,并且厚度很大,缺乏渗透层,易形成压实带。以侧向加积为主的洼陷,由于湖盆一侧有大型三角洲作用,其沉积中心不断侧移,但底积层以厚层泥岩为主,前积层中也以大套泥岩夹薄层砂岩为主,并且沉积速度很快,所以该类洼陷更利于形成欠压实带。因此在洼陷中,不论是以垂向加积为主,还是以侧向加积为主,深湖相泥岩存在欠压实现象具有普遍规律。如胜利油田近40个洼陷中,除个别面积很小、埋深较浅的外,绝大多数都有欠压实现象。

### 1.3 欠压实带的地震特征

欠压实带在地震速度谱上有明显的特征。由于欠压实带速度较低,并基本保持不变,所以叠加速度谱上有一个速度基本不变的等速台阶。当欠压实带很强时,甚至出现速度回转(图1),同时由于欠压实带还具有较低的密度,在经过特殊处的Glog剖面和波阻抗剖面上呈明显的低值异常带<sup>[2]</sup>。

### 1.4 在德南、抬头寺洼陷中的应用

德南与抬头寺洼陷是德州凹陷6个次洼中北部的两个,属外围地区,勘探程度较低,且没有探井。

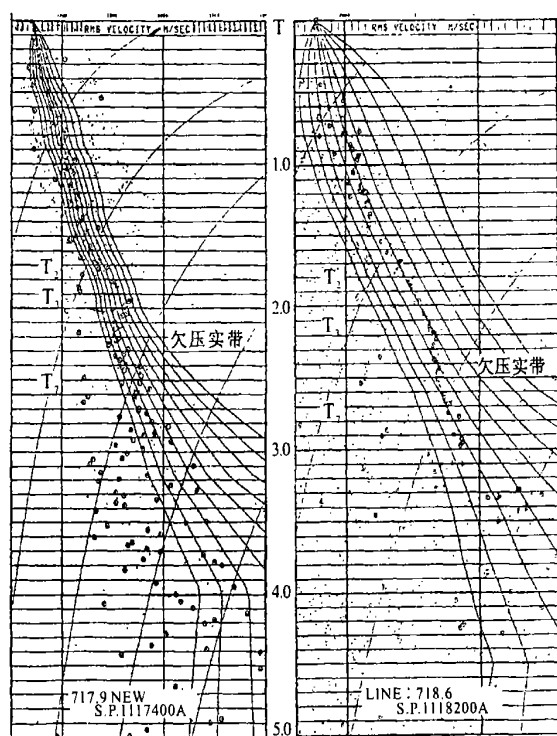


图1 德南(左)、抬头寺(右)洼陷欠压实段速度谱特征

Fig.1 Seismic velocity spectrum lines in the undercompacted zones of the Denan (left) and Taitousi (right) secondary depressions

在深入勘探之前,两个洼陷的生油条件就成为首先要解决的问题。由于两个洼陷面积小、生油岩埋藏深(井深3000~400m),如果打参数井则成本高,且钻井周期长。因此主要用地震方法结合邻区资料来研究生油岩。

本区地震资料品质较好,因此首先利用地震地层学方法确定标准层T3—T7之间的低频、高连续、强震幅的反射密集层序段为半深湖—深湖相暗色泥岩沉积。本区速度谱资料上存在明显的欠压实带,表现为湖盆中心的回转式,向边缘过渡为台阶式并逐渐消失。按照前面的分析,速度谱的欠压实段应是暗色泥岩的反映,而且欠压实段的厚度应是暗色泥岩的最小厚度,并可用欠压实带上限的深度作出欠压实带顶面埋深图。这样我们就得到了德南、抬头寺洼陷主要暗色泥岩的分布范围、厚度变化及埋藏深度。利用与之沉积特征相似的相邻恩城洼陷的地化参数,对本区欠压实带的远景储量进行估算,为 $2.65 \times 10^7$ t。根据淮北凹陷等已知地区的经验,欠压实带的生油量约占总生油量的60%,所以本区总的远景储量可达 $(4 \sim 5) \times 10^7$ t,生油条件比较有利。于是在德南与抬头寺洼陷之间选择有利构造位置直接

钻探井——德1井,获得12.9t的工业油流。

## 2 洼陷中浊积岩发育区的沉积特征及地震综合研究

由于陆相盆地湖盆面积小、边坡陡,水体为低密度淡水,所以洼陷内易形成各类浊积岩。

在解决了洼陷的生油条件后,如何正确研究沉积体系,判断浊积岩发育区成为重要问题。根据浊积岩的沉积理论胜利油田对洼陷中浊积岩的勘探实践表明:洼陷中浊积岩的形成主要与三角洲(扇三角洲)和冲积扇(水下扇)的沉积密切相关,并且类型众多,成因各异,但归纳起来主要有两大类6种成因类型<sup>[3,4]</sup>。

### 1. 与三角洲沉积有关的浊积岩

(1)三角洲快速连续推进过程中所形成的满洼分布的多个小型滑塌扇体。此种类型的典型代表为牛庄洼陷。牛庄洼陷位于东营凹陷中部,面积约240km<sup>2</sup>,构造形态总体为向斜,断层少,并缺少构造圈闭。

勘探初期,面对零星井中沙三段大套泥岩里的砂岩油层,曾有过沿岸砂坝与浊流砂体的激烈争论。之后,在该区进行了地震地层学研究,利用地震反射特征判断该区为三角洲沉积,属东营三角洲的一部分,并建立了三角洲沉积与地震反射的对应关系(图2)。通过地震综合研究认为,该区三角洲为快速连续推进,由于推进速度快,造成前积角度大,在前方深水區形成滑塌浊积体;又由于是连续推进,滑塌次数虽多却不易叠置,难以形成较大规模的浊流扇体;

再由于底积层较平,同生断层较少,缺少大型滑塌,浊流砂体多为薄层,最厚不超过20m。在此基础上,建立了沉积模式(图3)与油藏模式。同时,整个洼陷都是三角洲侧向加积填满的,沉积条件相似,所以满盆都有许多浊流砂体,于是提出了整个牛庄洼陷“满洼含油”的地质设想,并在洼陷中心位置验证井王69井,钻遇油层39m。之后就均匀按2~3km井距满洼布探井。随大量探井的陆续见油,证实了这一设想。

(2)三角洲进积作用与湖盆沉降均衡时,前缘砂体垂向加积,并在前三三角洲中形成滑塌叠置的巨厚浊积岩。此种类型的典型代表为博兴洼陷的樊家地区。樊家地区位于博兴洼陷西部,面积约300km<sup>2</sup>。

首先通过地震地层学研究确定本区有两大三角洲沉积体系,即西部高青三角洲和南部缓坡三角洲。初步认为樊家砂体为浊流成因。通过对高青三角洲的细致研究认为,高青三角洲与牛庄三角洲不同,具有独特性。牛庄三角洲的前缘相始终盖在前三三角洲相之上,属于湖面相对静止的模式;而高青三角洲向西推进时,由于湖盆持续沉降,并且三角洲的沉积速率与湖盆的沉降速率大致均衡,三角洲向东几乎推而不进,造成前缘砂体长期加积叠置,形成了巨厚的高青砂岩体。樊家地区处于前三三角洲相带,砂体性质主要是从高青三角洲前缘相滑塌形成的浊积扇体(图4)。樊家砂体虽然与牛庄砂体一样同属滑塌浊积岩,但樊家砂体是沿较缓的坡度下滑,能量较小,搬运距离短。由于高青三角洲几乎推而不进,滑塌砂体分布范围则主要在靠近三角洲前缘的前三三角洲

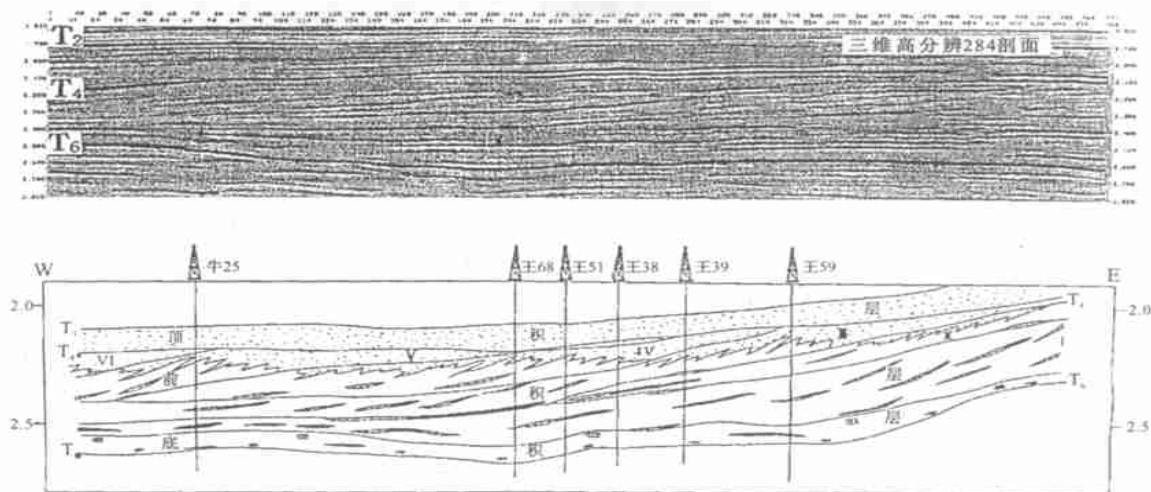


图2 牛庄三角洲沉积地层与地震反射关系图

Fig. 2 The relationship between the sedimentary strata of the Niuzhuang delta and seismic reflection profiles

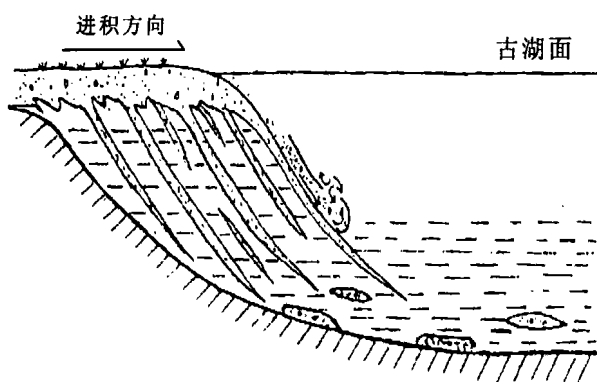


图3 牛庄三角洲沉积模式图

Fig. 3 Sedimentary model for the Niuzhuang delta

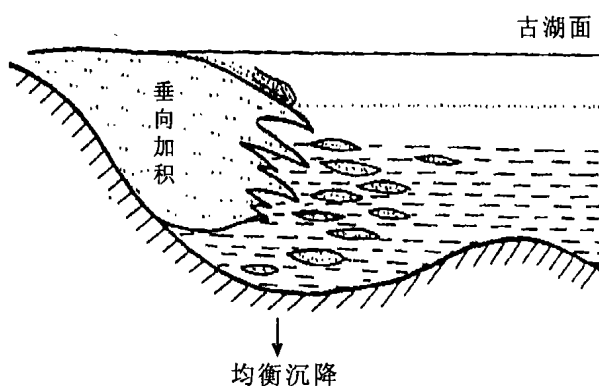


图4 高青三角洲沉积模式图

Fig. 4 Sedimentary model for the Gaoqing delta

地区, 远离三角洲前缘的地区, 砂体数量极少。另外, 樊家砂体由于滑塌下来后基本处于一个位置, 因此垂向上叠置厚度很大, 如樊家23井浊积岩净砂层厚度可达140m, 单层可达70m。

在地震反射特征上, 牛庄砂体层薄, 基本处在欠压实泥岩之间, 砂岩与泥岩速度差别大, 可形成强反射, 所以砂体基本上是强波峰; 而樊家地区由于砂体发育, 砂层之间泥岩基本为正常压实, 砂泥速度相差不大, 因此反射多为弱波峰。

通过上述分析, 结合钻井资料, 我们建立了高青地区的油藏模式图, 指出在正理庄一带, 发育构造-岩性油藏, 而在东北部樊家地区则主要为砂体岩性油藏。并且勘探方法与牛庄不同, 靠近前缘的地方砂体发育。于是选择有利地区一次布井11口, 完钻后均见到较厚油层。

(3) 三角洲停止推进时, 前缘砂体在同生断层作用下, 形成的大型峡谷浊积扇。此种类型的典型代表是利津洼陷的梁家楼地区。梁家楼地区位于利津洼陷的南翼。

通过地震地层学研究, 确定本区的东部是较大的东营三角洲, 东南部是较小的陈官庄三角洲, 并且由于当时利津洼陷较深, 斜坡高差大及暂时的湖进作用使两个三角洲的进积作用停止。在同生盆倾断层作用下, 三角洲前缘砂体形成连续的大型滑塌, 并沿固定的补给水道向北部深湖区撒开, 形成大型峡谷浊积扇(图5)。由于滑塌浊流是重力驱动的底流, 进入深湖区后, 能量大减, 只能顺低处缓慢流动, 所以浊积岩主要分布在当时地形的低洼处。在上述分析的基础上, 利用地震综合研究方法, 预测了砂体的厚度及分布范围, 确定小断层对油气富集起控制作用。每个小断块的高部位, 均应是油气富集区。

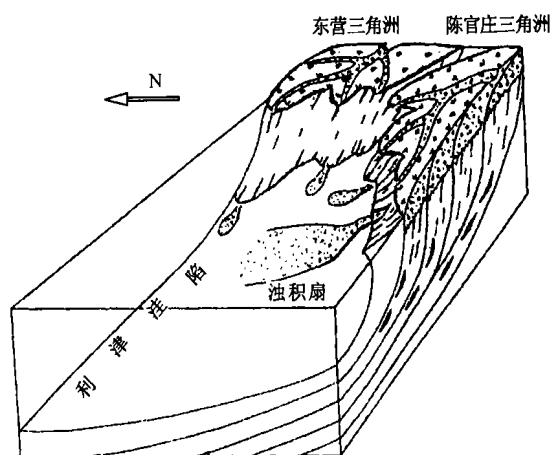


图5 梁家楼深水扇沉积模式图

Fig. 5 Sedimentary model for the Liangjialou deep-water fan

通过进一步做工作, 使本区的含油面积不断扩大, 探明石油地质储量不断增加。

## 2. 与洼陷周边冲积扇沉积有关的浊积岩

(1) 洪浊扇。洪浊扇是在洪水浊流作用下, 大量碎屑物质注入较小湖盆后形成的一半在水上、一半在水下的大型扇体。此种类型典型代表为桩西洼陷。桩西洼陷位于沾化凹陷东部, 面积约100km<sup>2</sup>, 呈南北延伸的狭长型箕状洼陷。

通过对洼中砂体成因及分布进行综合研究, 认为沙三段沉积时, 洼陷总体上是南浅北深, 物源主要来自于5号桩与孤岛潜山之间的古山口处。由于湖盆面积小, 碎屑物质入湖后能量并不立即消退, 继续向北部深湖区推进, 形成一部分在水面、一部分在水下的大型扇体(图6), 即洪浊扇。此扇上部为洪积, 下部为浊积。

扇体南部属浅水的弱氧化—氧化环境, 北部属

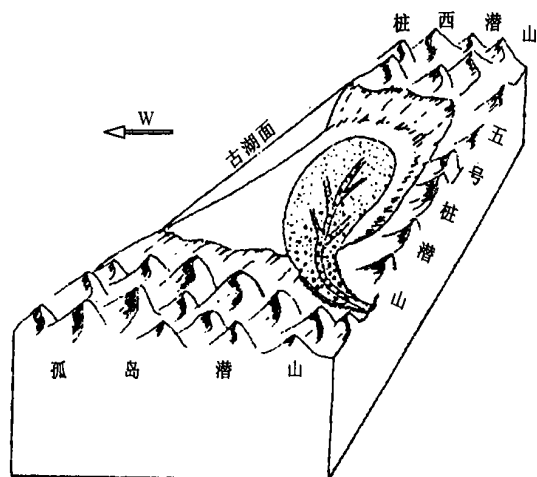


图6 桩西洼陷洪浊扇沉积模式图

Fig. 6 Sedimentary model for the Zhuangxi depression pluvial-turbidite fan

深水的还原环境。由于南部本身不生油,距油源较远,并且砂层厚、封堵条件差,不易形成油藏,因此南部构造高点的多口井均是见砂不见油。而北部浊积砂处于暗色泥岩之中,易形成岩性油藏,所以将重点转到北部。桩23、28、29、66等多口的钻探成功,使含油面积由 $18\text{km}^2$ 扩大到 $32\text{km}^2$ ,石油地质储量增加近 $5 \times 10^7\text{t}$ 。

(2)与冲积扇相连的浊积扇。特大洪水将冲积扇中碎屑物质带入湖盆深处,形成浊积扇,并在古地形的低凹沟槽中形成相连的水道。此种类型典型代表为淮北凹陷的东北部。淮北凹陷是昌潍拗陷的一个次洼,面积约 $800\text{km}^2$ 。

1990年开始对本区砂体进行研究,认为主要是东北部的冲积扇中碎屑物质在突发性地质事件(如暴雨、洪水)作用下,进入深湖后形成的浊积扇体(图7)。在湖盆底部有许多沿北东向延伸的断层沟,为浊流的搬运水道,沟中砂体必然较厚,向两侧砂体变薄。利用地震反射特征,作出了断层沟的分布图,指出在钻探孔二段浊积岩油藏中心必须兼顾岩性,这一观点被后完钻的十几口井所证实。

(3)与冲积扇断根相关的浊积扇。其形成原因也是特大洪水将冲积扇中碎屑物质带入湖盆深处形成浊积扇,但浊积扇与冲积扇无水道相连。此种类型的典型代表是利津洼陷的滨1区。滨1区位于滨县凸起南部,滨县凸起沿岸发育着大型的冲积扇裙,其南部冲积扇的前方是利津深洼陷。

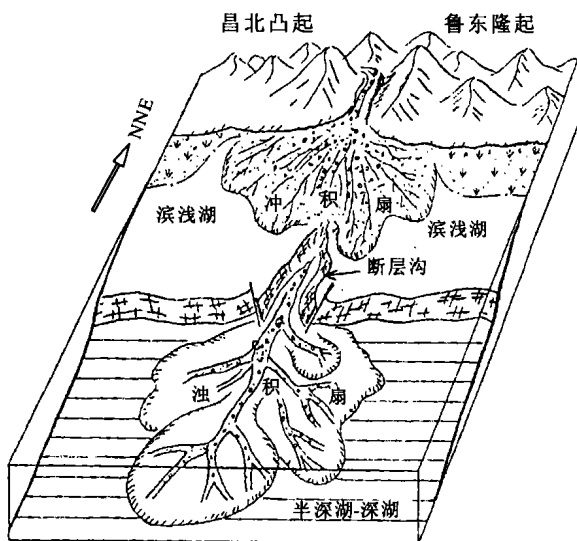


图7 淮北凹陷孔二段浊积扇沉积模式图

Fig. 7 Sedimentary model for a turbidite fan in the Kong-2 member of northern Weifang depression

利津洼陷在沙三段沉积时,是整个东营凹陷最深的地区,并且北部很陡,所以冲积裙中碎屑物质在特大洪水或重力滑脱作用下,以浊流的形式进入利津洼陷在湖底形成浊流砂体。由于坡度很陡,所以一般不容易形成固定补给水道,只是产生多个与冲积扇断根相关的小型扇体,并形成岩性油藏(图8)。所以认为在滨县凸起南部冲积扇裙前方的滨1区,必然存在着大量的浊积砂体油藏,现已为多口探井及开发所证实。

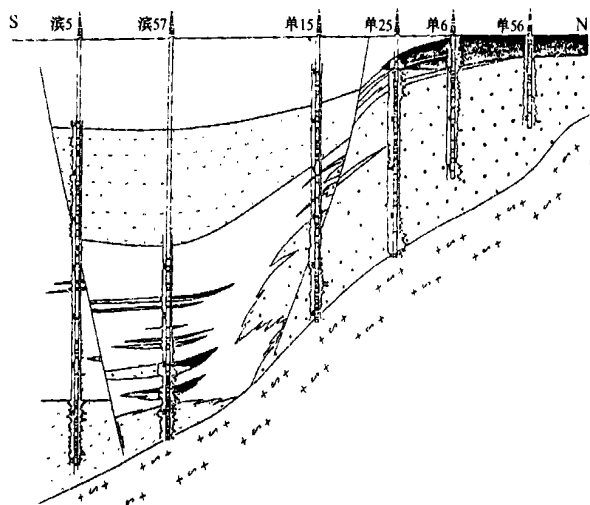


图8 滨5井—单56井南北向油藏剖面图

Fig. 8 Profile through a NS-trending oil pool across the Bin-5 to Darr-56 well zone

### 3 结 论

通过上述研究认为:

(1)陆相沉积的洼陷中含油是普遍规律,其重要原因是浊积岩的存在。

(2)洼陷中厚层暗色泥岩存在欠压实现象亦是普遍规律,可利用地震资料初步研究其生油条件。

(3)靠近三角洲及冲积扇体系的深洼陷区必然有浊积岩发育区。

(4)浊积岩的形成及分布受多种因素控制,必须利用地震及多种资料综合研究,正确建立其沉积模

式及油藏模式,指导勘探开发。

#### 参考文献:

[ 1 ] 真柄钦次著. 陈荷立, 等译. 压实作用与流体运移[ M] . 北京: 石油工业出版社, 1982.

[ 2 ] 李庆忠. 陆相沉积地震地层学若干问题[ J] . 石油地球物理勘探, 1987, 22(5): 461—470.

[ 3 ] G. E. 佩顿著. 牛毓荃 徐怀大译. 地震地层学[ M] . 北京: 石油工业出版社, 1985.

[ 4 ] 张万选, 张厚福. 石油地质学[ M] . 北京: 石油工业出版社, 1981.

## Sedimentary characteristics of the turbidites and oil and gas accumulation in the secondary depressions in eastern China

YAN Jing-rong<sup>1</sup>, CHEN Dong<sup>1</sup>, GUO Qin-tao<sup>1</sup>, QIU Dong-zhou<sup>2</sup>  
(1. Dongsheng Petroleum Development Co., Ltd., Shengli Oil Field, Dongying 257000, Shandong, China;  
2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China )

**Abstract:** Some concealed oil and gas pools especially secondary depressions in eastern China are now becoming the important targets of oil and gas exploration. The types of oil pools consist dominantly of lithologic and structural-lithologic oil pools of turbidity current origin. The combination of oil-generating conditions, sedimentary characteristics and oil and gas accumulation by using seismic techniques as indicated in the Deran, Niuzhuang, Lijin and Boxing secondary depressions has led us to conclude that the presence of turbidites is the main cause for the occurrence of oil and gas in continental secondary depressions. Due to the presence of undercompaction, seismic techniques may be employed as a useful tool for interpreting the oil-generating conditions of the moderate- to thick-bedded dark mudstones.

**Key words:** secondary depression; oil generation; seismic technique; turbidite; Shandong