

# 柴达木盆地三湖地区北斜坡岩性地层气藏形成的地质条件与预测技术研究

苏明军<sup>1,2</sup>, 王西文<sup>2</sup>, 何亨华<sup>2</sup>, 刘彩燕<sup>2</sup>, 袁克峰<sup>3</sup>

(1. 中国石油大学, 北京 102249; 2. 中国石油勘探开发研究院西北分院, 兰州 730020;  
3. 中油国际海外研究中心, 北京 100083)

**摘 要** 三湖地区北斜坡褶皱发育, 相变快, 生储盖组合优越, 具备形成岩性地层气藏的构造背景和地质条件. 由于本区储层厚度薄(1~3m), 缺乏三维地震资料, 砂体分布难以准确追踪, 导致岩性地层气藏勘探难以取得突破. 已知气藏解剖和理论研究表明地层含气后会产生特殊的地震响应, 通过地震异常信息研究, 结合构造、沉积和成藏条件分析, 发现驼西地区是岩性圈闭发育带, Tzh2 井获得工业气流证明该区带具备形成岩性气区的潜力.

**关键词** 柴达木盆地, 三湖地区, 岩性地层气藏, 坡折带, 沉积, 地震异常

中图分类号 P631 文献标识码 A 文章编号 1004-2903(2008)04-1190-09

## The lithologic and stratigraphic gas reservoirs in the north slope of the sanhu area, Qaidam basin: a study on their genetic conditions and characterization techniques

SU Ming-jun<sup>1,2</sup>, WANG Xi-wen<sup>2</sup>, HE Heng-hua<sup>2</sup>, LIU Cai-yan<sup>2</sup>, Yuan Ke-feng<sup>3</sup>

(1. *China University of Petroleum, Beijing 102249, China*; 2. *Northwest Subsidiary of PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Gansu 730020, China*; 3. *CNPC International Research Center, Beijing 100083*)

**Abstract** The north slope of the Sanhu area of the Qaidam basin, with its characteristic geologic features such as strong fold, rapid lithofacies variation, promising geologic setting, is prone to have stratigraphic and lithologic gas pools. However, as the reservoir beds are extremely thin (1~3 meters), and lack of 3D seismic data, it is very difficult to identify the sand bodies and trace them laterally, resulting in a very low discovery rate of stratigraphic-lithologic reservoirs. Studies on producing gas trap and theoretical reasoning indicate that abnormal seismic response will be observed when the reservoir is gas accumulated. As a result, based on abnormal seismic response analysis, accompanied by studies on structural, sedimentary, and accumulation conditions, the Tuoxi belt was recognized as a lithologic trap region. A well, Tzh2, drilled afterwards in this belt, showed commercial gas, indicating promising potential of lithologic gas pool in this region.

**Keywords** Qaidam basin, sanhu region, lithologic-stratigraphic gas pool, slope-break, sedimentary, abnormal seismic response

### 0 引 言

三湖地区位于柴达木盆地中东部, 西起船形丘构造、东止南北霍布逊湖、北邻柴中断裂、南到柴南断层, 有效勘探面积约 56300 km<sup>2</sup>. 它是第三纪末

期, 在新构造运动下柴达木盆地沉积中心由西向东迁移的产物, 称三湖新拗陷, 划分为北斜坡、南斜坡、中央凹陷带和茫东断陷带 4 个二级构造单元. 从 1956 年开始有计划勘探以来, 已发现第四系原生的生物气田 5 个和 2 个含气构造, 探明生物气储量

收稿日期 2007-09-10; 修回日期 2007-12-20.

基金项目 中国石油天然气股份公司科技攻关项目(050110-3)资助.

作者简介 苏明军, 男, 1970 年生, 现为中国石油勘探开发研究院西北分院高级工程师、中国石油大学(北京)在读博士生, 主要从事沉积储层研究. (E-mail: smj1310@126.com)

$2770 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 控制  $431 \times 10^8 \text{ m}^3$ . 成为我国陆上四大气区之一.

根据三次资评结果,三湖地区生物气总资源量约为  $14700 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 目前探明率仅为 18.7%. 三湖地区生物气仍有较大的勘探潜力. 但自 1988 年台南气田发现以来,在区域勘探上除了在伊克雅乌汝构造的上第三系有所发现外,其他地区均无突破,特征明显的构造圈闭越来越少,岩性地层圈闭勘探问题严峻地摆到了人们面前. 因此研究本区岩性地层气藏形成的地质条件及预测技术,在理论上和实际上均有重要意义.

多年来人们在岩性地层油气藏的形成条件、分布特征、预测技术等方面做了大量研究,取得了一批有价值的成果<sup>[1-8]</sup>,但上述研究大多基于高质量的三维地震资料,便于储集层横向预测识别目标. 三湖地区没有三维地震资料,二维地震资料主频仅 15~25 Hz, 储层厚度薄(1~3 m),难以横向追踪. 针对上述难点,笔者分析了三湖地区岩性地层圈闭发育的有利条件,进一步从理论上研究本区岩性气藏在地震资料上的响应特征,利用地震异常信息结合烃

类检测和沉积相研究,达到识别地层岩性气藏的目的.

## 1 岩性地层圈闭发育的有利条件

### 1.1 地质背景

第三纪始新世末印度板块与欧亚板块强烈碰撞,使青藏高原大幅度崛起,内部产生了强烈的差异升降运动. 在弱压扭应力作用下,柴中、柴南断层左行走滑,三湖断陷向南北两侧逆冲,并在北斜坡上发育了多级坡折带. 由于弱压扭应力环境持续至第四纪晚期,所以坡折带影响了第四系沉积的全过程. 图 1 是北斜坡一段地震剖面,当 K1 反射层被拉平后,可见下伏地层发育两级坡折,在坡折下部有明显的上超和地层增厚现象. 坡折带下方是低位域储集层和地层超覆发育的有利地区,其上又往往被首次湖泛面的泥岩所覆盖,组成自生自储的成藏组合. 地层岩性圈闭的形成与坡折带关系密切,坡折带往往就是一个油气聚集带,其中岩性地层油气藏也相对更为发育,常沿着坡折带呈串珠状展布<sup>[9]</sup>.

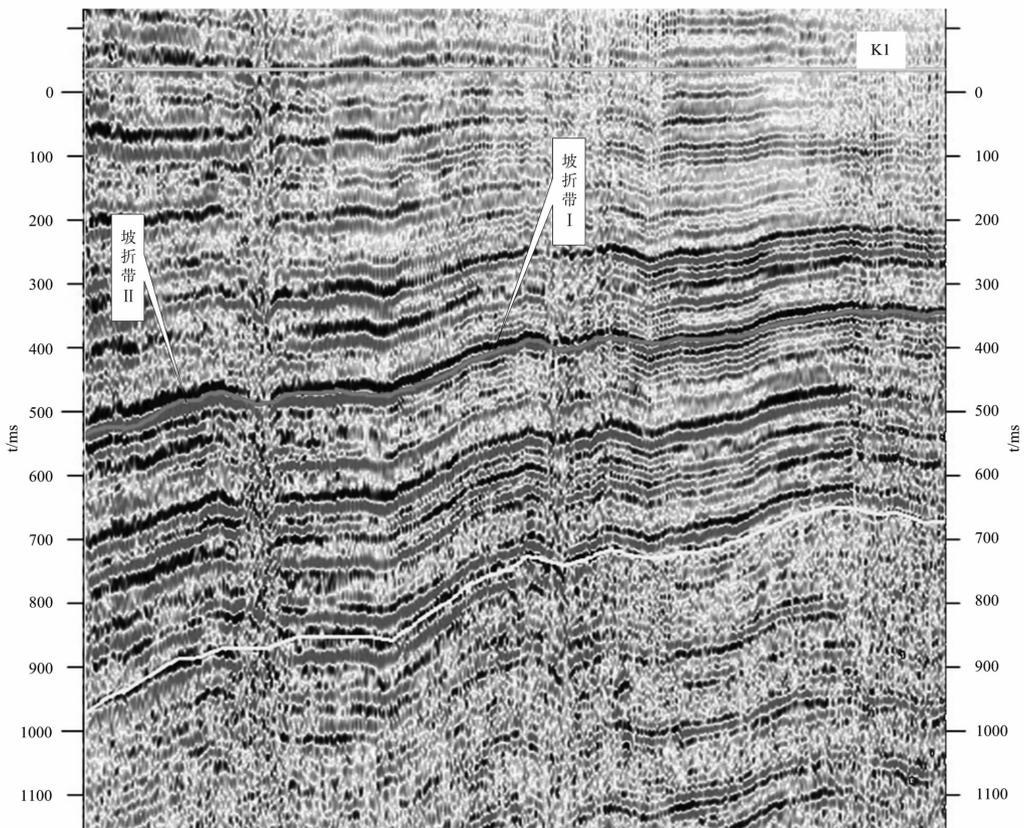


图 1 坡折带在地震剖面上的特征

Fig. 1 Characteristic of seismic responses of slope-break

三湖地区多旋回的构造运动,多期湖平面升降,造就了多种类型沉积体系的发育,发育有冲积扇相、河流相、三角洲相、湖泊相等沉积相,相变快,为形成岩性圈闭奠定了良好的沉积背景.昆仑山前和埃姆尼克山前及绿梁山前发育冲积扇-河流三角洲-湖泊沉积体系,整体上呈环带状分布.在那北1井区发育三角洲相,影响到台南及邻区;在塔尔丁、乌图美仁地区发育的三角洲相砂体,影响到台南、涩北一号等地区;在格尔木地区发育的三角洲相砂体,影响到涩北二号、涩东、察尔汗地区;在驼峰山地区发育的三角洲,影响到驼峰山、涩北二号等地区;在鸭湖地区发育的三角洲影响到伊克雅乌汝、台吉乃尔等地区.它们在纵向上相互重叠、横向上相变、共存,为各类岩性圈闭的形成提供了良好的沉积条件和背景.

## 1.2 成藏规律分析

### 1.2.1 生储盖层质量

岩性油气藏多与源岩共生,间互成层.三湖地区由于受燕山、喜山及新构造运动影响,在第四系短短的3.05 Ma的地质历史中,就快速沉积了3100~3500 m的第四系地层.下部发

育有1500 m大套生气岩,气源岩以湖相暗色泥岩为主,主要分布在台吉乃尔-涩聂湖一带,呈北西西展布,为该区第四系岩性气藏的形成提供了物质基础.

由于沉积水体的频繁进退,加之处于早成岩阶段,第四系储集体具有单层厚度薄(1~3 m)、层数多、结构疏松、原生孔隙发育的特点.

大量储层研究表明<sup>[10]</sup>,储层孔隙度最高达43.4%,最低也在20%以上,平均达32.2%,孔径多为30~50 μm,渗透率平均值大于 $100 \times 10^{-3} \text{um}^2$ ,最大高达 $1000 \times 10^{-3} \text{um}^2$ 以上.

泥质岩是本区第四系气藏的主要盖层.对多块盖层样品的实测结果表明,排替压力一般只有0.29~2.45 MPa,平均仅1.02 MPa.但由于以下三个方面的原因,使泥质岩仍是本区的有效盖层.

(1)泥质盖层厚度大,在一定程度上弥补了盖层质量的不足.

(2)第四系中饱含有高矿化度的地层水(大部分在100g/L以上),这对天然气保存具有非常重要的意义:一是增强了泥岩可塑性,抑制了裂缝发育;二是由于亲合作用,粘土矿物体积膨胀,降低渗透率.大幅度提高其突破压力.实验数据表明,泥饱和和盐水后的突破压力可以达到2~4 MPa.

(3)烃浓度封闭,作为直接盖层的暗色泥岩,同

时又是气藏的气源岩,盖层中生成的生物气,当其随烃浓度的增加而膨胀时,无疑又对下伏储层中天然气的向上运移和溢散产生相应的阻力.增加了泥岩盖层封盖能力.

### 1.2.2 成藏规律

岩心观察和钻井数据表明,疏松、欠压实的砂泥岩交互沉积是柴达木盆地第四系地层的重要特征.同时,连井对比结果表明,本区储层具有较好的横向连续性,横向连续的砂层组成了天然气大规模横向运移的快速通道,泥质岩生成的生物气受到上覆盖层的遮挡在储层中聚集,并由较低部位的高势区顺储层向南、北斜坡低势区侧向运移.生物气的运移相态主要是水溶气和游离气,在运移过程中遇到合适的圈闭将进一步聚集成藏.

圈闭保存条件与盖层质量关系密切,不同的圈闭类型保存天然气的的能力不同,本区泥岩仍处于成岩早期,盖层封堵性较差,在此条件下,好的圈闭为背斜圈闭,四周生成的天然气均可向圈闭运移,背斜圈闭中的天然气,只要气藏压力小于上覆盖层毛管压力就可在圈闭中聚集成藏.其次是鼻隆背景上的岩性圈闭,在此情况下底部和三侧生成的天然气均可向圈闭中运移.当上覆盖层和上倾部位被封堵后即可成藏.再次一等就是单斜背景上的岩性圈闭.此时其上部及前、左、右三侧均需质量好的盖层封堵才可能成藏,其余情况下将很难成藏.

## 2 地层岩性气藏预测技术

三湖地区岩性地层圈闭预测存在以下难点:

(1)储层厚度薄(1~3m);

(2)除已知气区外,缺乏井资料,缺取芯资料;

(3)没有三维地震资料,二维地震资料信噪比和分辨率不足;

(4)难以开展精细的沉积微相和沉积体系研究.针对以上难点,我们改变以往直接寻找岩性地层圈闭的思路,开展已知气藏解剖,分析气藏的地球物理特征,在此基础上,通过地震异常识别、烃类检测、测井相分析结合区域沉积相研究,达到识别地层岩性气藏的目的.

### 2.1 地层含气将引起地震异常反射

在地震资料连片处理基础上<sup>[11]</sup>,通过对已知气区地震剖面研究发现,含气区在地震剖面上具有下列特征:

(1)气层顶界反射出现振幅异常,含气区地震振幅变弱,连续性差,甚至呈杂乱相,气层边界可能出

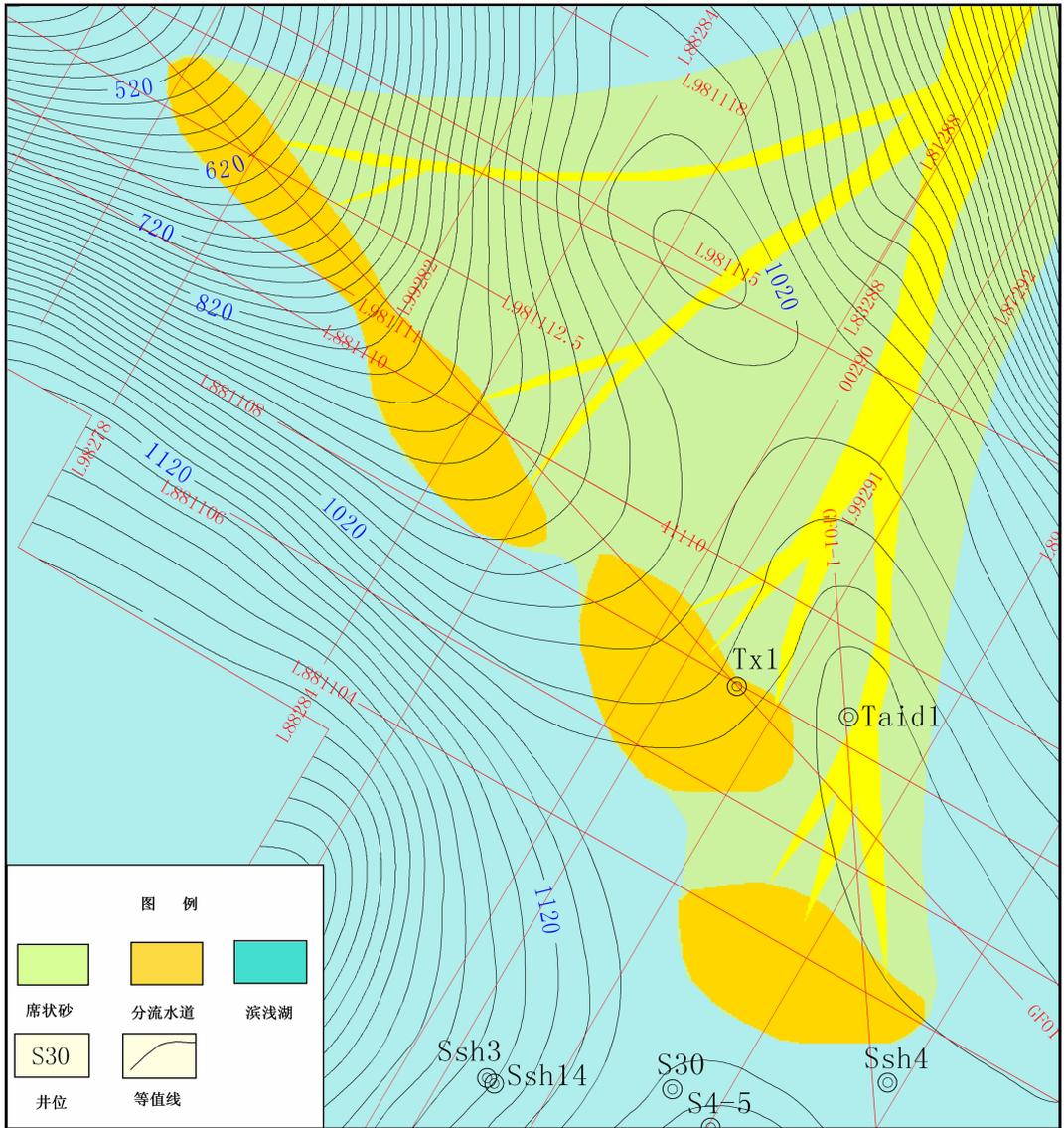


图 2 驼西地区沉积相与构造叠合图

Fig.2 Sedimentary facies superimposed on the structural map of the Tuixi area

现极性反转,地震异常外形呈不规则状;

(2)气层下伏地层反射同相轴存在程度不同的下拉现象,在多气层情况下,中深层下拉幅度大于浅层;

(3)气层下伏地层的反射波频率骤然降低.

上述含气地震异常在国内外油气勘探领域很罕见,它与本区特殊的地质背景密切相关.本区第四系沉积尚处于早成岩阶段,胶结疏松、地层孔隙度平均在 30%以上,决定了它具有较低的层速度背景.从对本区 6 口井的含水砂岩、含气砂岩和泥岩的速度统计结果发现,含气砂岩速度低于 2400 m/s 的约占 68%,含水砂岩速度低于 2400 m/s 的约占 30%,泥岩速度低于 2400 m/s 的占 80%以上.这样低的速度,在国内外含油气盆地中都是罕见的.

### 2.1.1 含气区地震反射呈断续状、弱振幅特征

三湖地区已知气藏在地震剖面上主要表现为弱振幅反射,有些层位甚至还出现空白反射现象,在弱反射区边部,个别层位还出现相位反转现象,而两侧与之相对应的未储集天然气部位的反射波同相轴的连续性较好、反射能量很强.这是由于未聚集天然气的储集层部位,反射参数比较稳定,在聚集了天然气的部位,储集层的地震层速度与不含气的储集层相比,其下降幅度达 300 m/s 以上,使储集层界面的反射系数急剧下降,以致含气区地震反射振幅与非气区有较明显的区别.

### 2.1.2 气层下伏地层反射同相轴存在程度不同的下拉现象

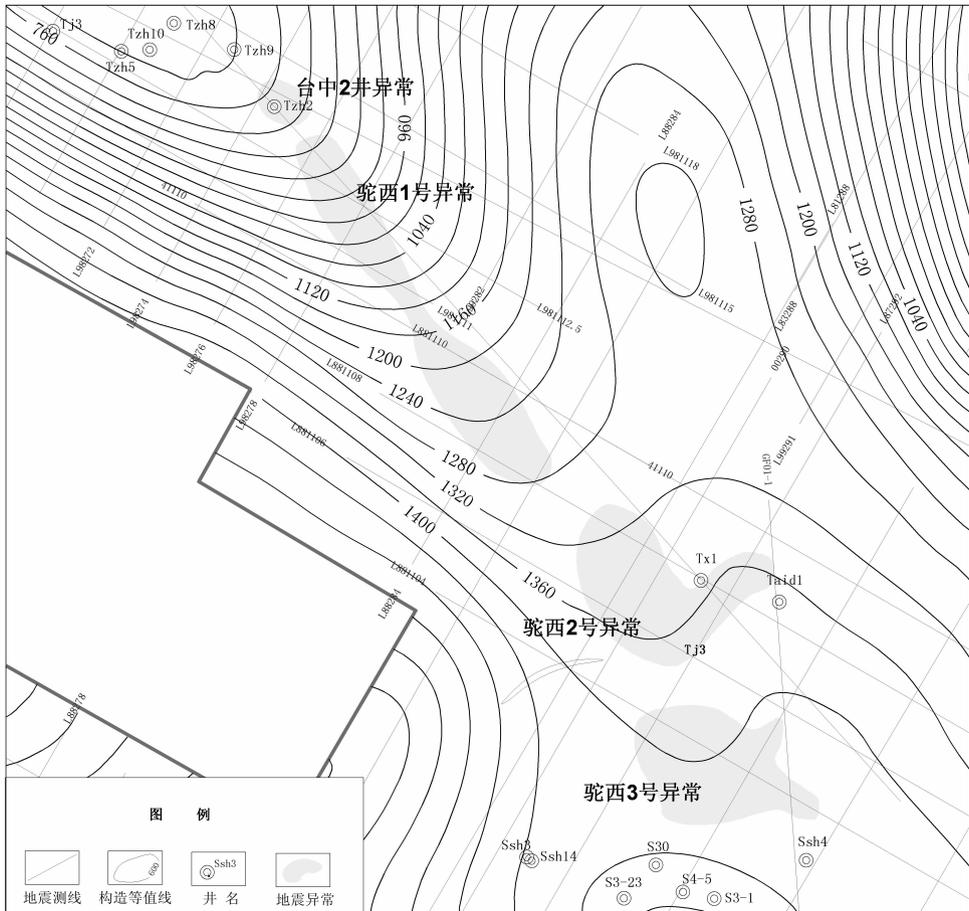


图3 驼西异常与构造叠合图

Fig. 3 Anomalies superimposed on the structural map of the Tuoxi area

在  $n$  层水平层状均匀介质中, 其中任意第  $k$  层的层速度为  $v_k$ , 厚度为  $h_k$ , 双程垂直旅行时间为  $t_k$ , 反射波到达  $n$  层的双程垂直旅行时间为:

$$t_{0,n} = \sum_{k=1}^n t_k = 2 \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{v_k}, \quad (1)$$

当含水砂层的水被天然气取代后:

$$t_{0,n}^* = \sum_{k=1}^n t_k^* = 2 \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{v_k^*}, \quad (2)$$

其中  $t_{0,n}^*$  为通过所有含气层的双程垂直旅行时间,  $t_k^*$  为通过第  $K$  层含气层的双程垂直旅行时间,  $v_k^*$  为第  $K$  层含气层的速度. 由于水砂岩变成气砂岩后, 层速度降低, 造成旅行时间延长, 延迟的时间为  $\Delta t$ , 那么:

$$\Delta t = t_{0,n}^* - t_{0,n} = 2 \left[ \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{v_k^*} - \sum_{k=1}^n \frac{h_k}{v_k} \right]. \quad (3)$$

理论计算表明, 当  $v_k < 2400$  m/s 后,  $\Delta t$  将随  $v_k$  的降低而明显增大, 并且  $v_k$  越低, 相同层速度降低量所产生的  $\Delta t$  增量越大. 研究表明, 本区第四系整

体低速的地质背景是造成含气后地震同相轴下拉的主要原因.

### 2.1.3 气层下伏地层的反射波频率呈低频特征

三湖地区天然气藏在地震剖面上表现出明显的低频特征, 从同一储层段含气地层与不含气地层的频谱分析可知气藏频率响应范围在 12~24 Hz 之间, 而非含气地层响应在 24~60 Hz 之间. 反射波频率由相对高频向低频转化, 原因很多, 其中有激发条件的变化、接收参数的差异, 也有地层对地震波高频成分的吸收作用, 还有储集层中聚集的油气对地震波高频成分的吸收作用等. 鉴于本区相同的地质条件, 以及野外激发和室内处理条件的基本一致, 在这种情况下, 地层的地震波频率下降, 只能认为是地层对地震波高频成分的滤波作用或是油气对地震波高频成分的吸收作用. 鉴于本区疏松的地层、高的空隙率和含气层段, 聚集了天然气的储集层部位出现地震低频反射波是必然的.

## 2.2 综合分析预测地层岩性气藏发育区

### 2.2.1 地质分析

北斜坡发育两级坡折带(图 1),在坡折下部有明显的上超和地层增厚现象.由于坡折带制约着沉积充填可容纳空间的变化,控制着低位域、高位域三角洲-岸线体系的发育部位,对沉积体系的发育和砂体的分布起着重要的控制作用,往往有利于形成与构造走向平行或垂直的三角洲分流河道砂体,是地层岩性圈闭发育的有利地区.

区域沉积相研究表明,北斜坡发育有北东-南西走向的三角洲沉积体系,影响到驼峰山、涩北二号等地区,Tx1 和 Taid1 等井单井相分析结果表明,主力

目的层段 K5-K13 是滨浅湖环境下的三角洲沉积,发育三角洲分流河道、河口坝和席状砂.结合区域沉积研究结果,驼西地区发育三角洲前缘沉积,和构造相配对,可形成沿驼西鼻隆发育的地层岩性圈闭(图 2).

### 2.2.2 地震相分析

通过对研究区地震资料的反复对比解释,在驼西地区发现 3 个地震异常(驼西 1 号、驼西 2 号和驼西 3 号),异常呈 NW-SE 向排列,与已知的台中 2 异常一起组成串珠状,位于台吉乃尔背斜朝 NW-SE 向潜伏的鼻隆上(图 3),与沉积研究结果相吻合.地震异常具有以下特点:

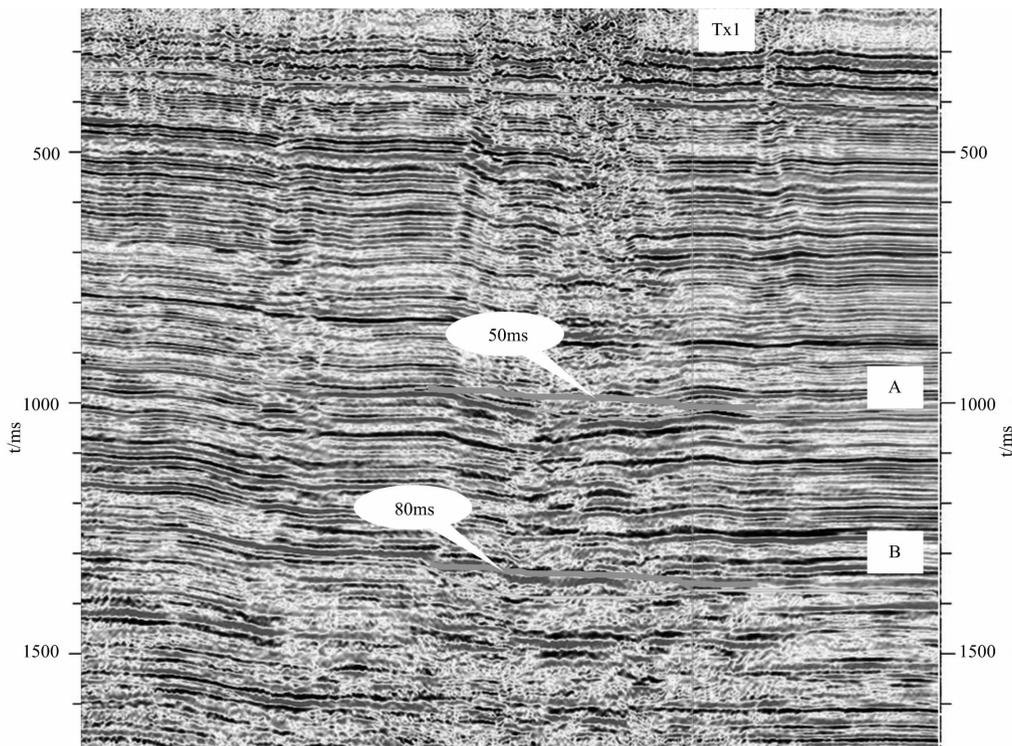


图 4 过驼西 2 号异常的 L881108 线叠加剖面

Fig. 4 The L881108 seismic profile crossing the Tuoxi No. 2 abnormality

(1)反射同相轴下拉,边界塔松状:图 4 是过驼西 2 号异常的 L881108 线叠加剖面,表层构造平坦,在其下部选择了 2 个层分析,即 A 层和 B 层.以构造趋势线作为参考线,参考层同相轴与参考线之间的差为同相轴下拉量.由图可见,A 层下拉量约 50 ms,B 层下拉量约 80 ms.同相轴下拉量依次增大,推断该区可能含气.

(2)地震反射呈低频特征:频谱分析结果表明,异常区频率表现为相对低值(18.2HZ,两翼为 28.2HZ).

(3)异常区地震反射呈断续状,能量中等,两侧呈平行状、连续反射,能量强.

### 2.2.3 烃类检测

储层含烃后产生复杂的地质和物理的不均匀性,使地震波场发生变化.因此,通过研究地震波场的动力学参数变化与含油气的关系,可达到直接或间接检测油气的目的<sup>[12]</sup>.根据各种参数的物理意义及多年的经验,选用有效带宽能量、加权平均频率和吸收系数三种参数对储层进行评价,进行油气检测.计算公式如下.

有效带宽能量  $E$  :

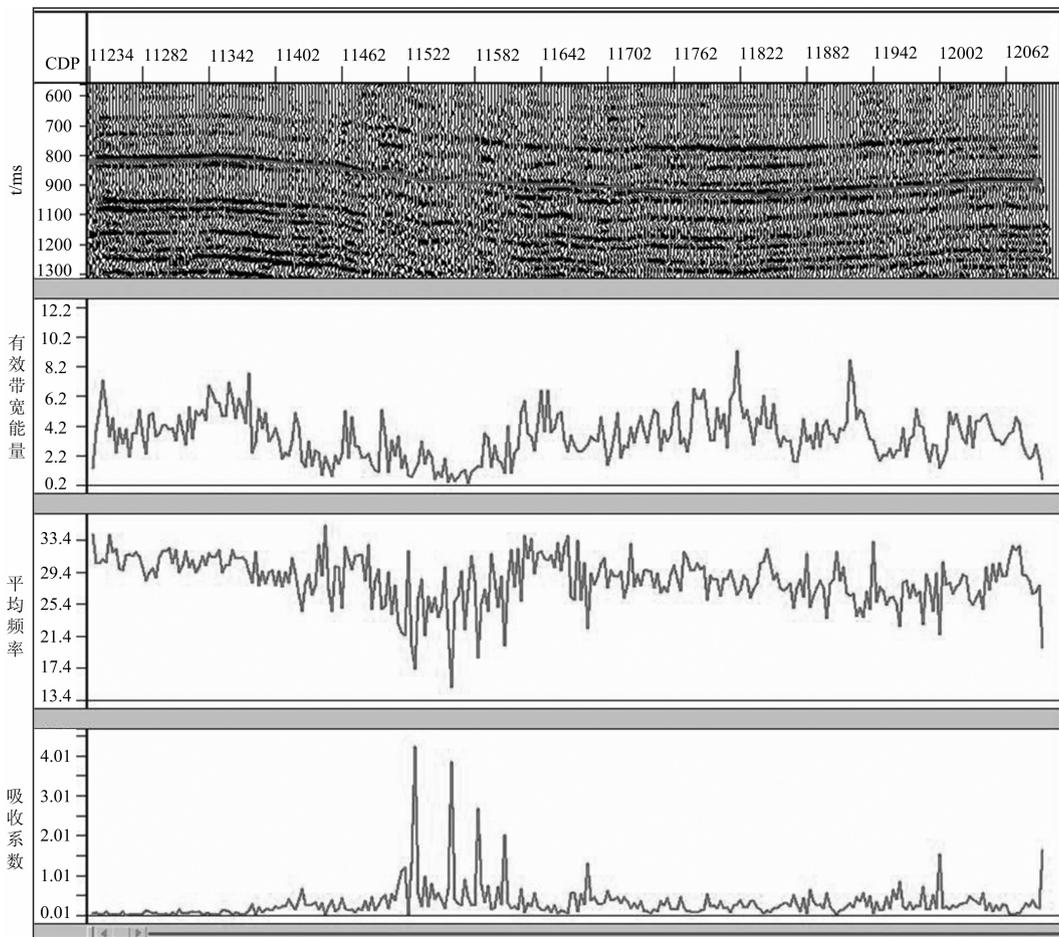


图 5 过驼西 2 号异常的 L881108 测线烃类检测图

Fig. 5 L881108 hydrocarbon inspection chart crossing Tuoxi No. 1 abnormality

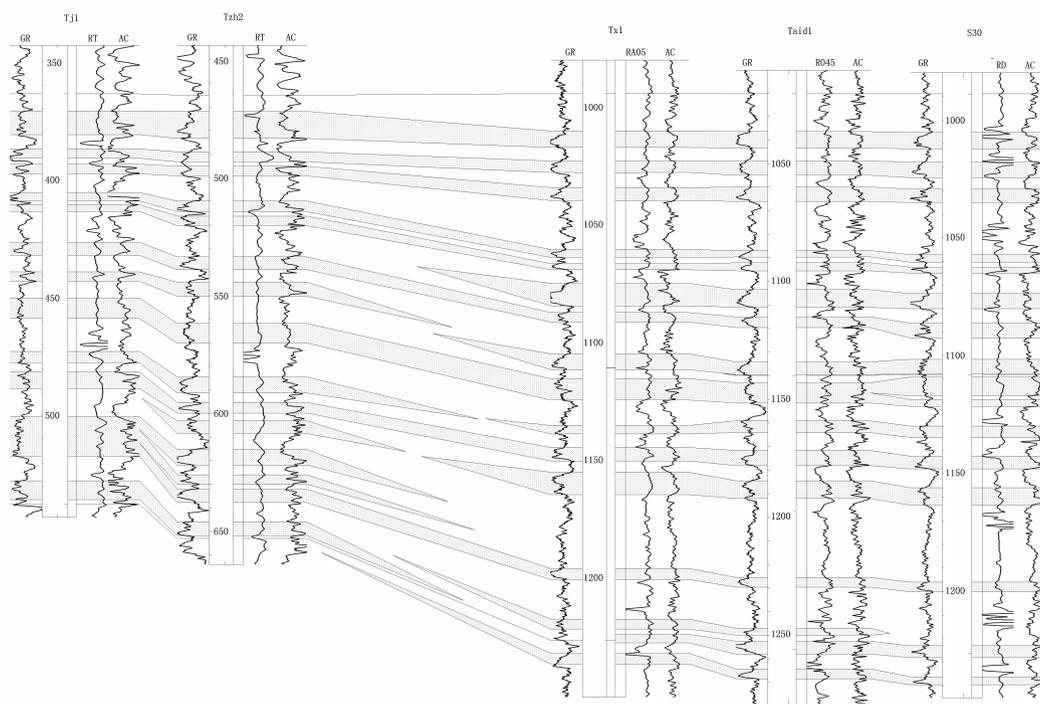


图 6 Tj1-Tzh2-Tx1-Taid1-S30 井连井对比剖面

Fig. 6 Correlation chart along wells of Tj1, Tzh2, Tx1, Taid1, and S30

$$E = \int_{f_1}^{f_2} A(f) df, \quad (4)$$

(4)式中,  $A(f)$  为地震子波的振幅谱,  $f_1$ 、 $f_2$  为地震子波的频带范围。

加权平均频率  $\bar{f}$  :

$$\bar{f} = \frac{\int_{f_1}^{f_2} A(f) f df}{\int_{f_1}^{f_2} A(f) df}, \quad (5)$$

(5)式中,  $A(f)$  为地震子波的振幅谱,  $f_1$ 、 $f_2$  为地震子波的频带范围。

吸收系数  $\delta$  :

$$\delta = \frac{\int_{f_1}^{f_0} A(f) df}{\int_{f_0}^{f_2} A(f) df}. \quad (6)$$

(6)式中  $A(f)$  为地震子波的振幅谱,  $f_1$ 、 $f_0$ 、 $f_2$  分别为地震子波的低截频、主频和高截频。

图 5 地震叠加剖面 and 波动力学参数曲线, 结果表明驼西异常具有明显的低频、吸收系数高等含气特点。

图 6 是 Tj1-Tzh2-Tx1-Taid1-S30 井连井对比剖面, 可以看到 Tzh2 的砂体向上倾方向尖灭, 单层测试获 7753m<sup>3</sup>/d 的工业气流, Tzh2 井位于 Tzh2 异常, 该异常处于台吉乃尔背斜朝 NW-SE 向潜伏的鼻隆上, 且构造高部位的 Tzh9 井没获工业气流 (图 3), 因此 Tzh2 异常是一个岩性气藏。从连井剖面还可以看到, 从 Tx1 井向上倾方向也存在砂体上倾尖灭, 也可形成岩性圈闭, 预示在北斜坡上可能发育串珠状的岩性气藏带。

综合以上分析结果, 驼西异常是三角洲前缘与构造相配对形成的岩性圈闭, 后期充注天然气后在地震反射上造成的异常。Tzh2 井获得工业气流展示三湖地区岩性勘探的良好前景。

### 3 结 论

(1)三湖地区第四系生物气资源丰富, 属于自生自储的成气组合。北斜坡褶皱发育, 相变快, 生储盖组合优越, 具备形成岩性地层气藏的构造背景和地质条件。

(2)北斜坡发育多级坡折带, 控制了地层超覆和岩性圈闭的发育。

(3)通过对已知气区的研究, 发现含气后地震反射均有明显异常。

(4)在目前资料和技术条件下, 通过地震异常信息研究, 结合构造、沉积和成藏条件研究, 是发现和落实地层岩性圈闭的有效途径。

(5)Tzh2 井获得工业气流, 预示驼西地区是岩性气藏发育带, 可能在北斜坡上发育串珠状的岩性气藏带。

### 参 考 文 献 (References):

- [1] 马丽娟, 郑和荣, 陈霞. 隐蔽油气藏地震预测技术研究新进展 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 294~300.  
Ma L J, Zheng H R, Chen X. The New progress of seismic forecast technology of Subtle Traps [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(1): 294~300.
- [2] 马丽娟, 郑和荣, 陈霞. 隐蔽油气藏地震预测技术研究新进展 [J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 294~300.  
Ma L J, Zheng H R, Chen X. The New progress of seismic forecast technology of Subtle Traps [J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(1): 294~300.
- [3] 贾承造, 赵文智, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏勘探的两项核心技术 [J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(3): 3~9.  
Jia C Z, Zhao W Z, Zou C N, et al. Two key technologies about exploration of stratigraphic/ lithological reservoirs [J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3): 3~9.
- [4] 刘震, 赵政璋, 赵阳, 等. 含油气盆地岩性油气藏的形成和分布特征 [J]. 石油学报, 2006, 27(1): 17~23.  
Liu Z, Zhao Z Z, Zhao Y, et al. Predominant characteristics of formation and distribution for lithologic reservoirs in petroliferous basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(1): 17~23.
- [5] 张明振, 谭明友, 王兴谋. 济阳凹陷第三系隐蔽藏储层配套技术 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 42~48.  
Zhang M Z, Tan M Y, Wang X M. Combined describing techniques of tertiary hidden hydrocarbon reservoir in Jiyang depression [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(1): 42~48.
- [6] 邹才能, 李明, 赵文智, 等. 松辽南部构造一岩性油气藏识别技术及应用 [J]. 石油学报, 2004, 25(3): 32~43.  
Zou C N, Li M, Zhao W Z, et al. Recognition technique and application of structure\_lithology pool in the south of Songliao Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(3): 32~43.
- [7] 方杰, 赵力民, 赵太良, 等. 用层序地层学构建辫状河三角洲岩性油藏地质模型 [J]. 石油学报, 2004, 25(5): 29~33.  
Fang J, Zhao L M, Zhao T L, et al. Construction of geologic model for lithologic oil reservoirs in braided river delta with sequence stratigraphy [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 29~33.
- [8] 张延玲, 杨长春, 贾曙光. 地震属性技术的研究和应用 [J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4): 1129~1133.  
Zhan Y L, Yang C C, Jia S G. The application of the seismic attributes [J]. Progress in Geophysics, 2005, 20(4): 1129~1133.
- [9] 刘豪, 王英民. 准噶尔盆地拗陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用 [J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 422~427.  
Liu H, Wang Y M. Significance of slope break zones in down-warped lake basins to exploration of non-structural traps in Junggar basin [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4): 422~427.
- [10] 朱筱敏, 康安. 柴达木盆地第四系储层特征及评价 [J]. 天然气

工业, 2005, 25(3): 29~31.

Zhu X M, Kang A. characteristics and evaluation of the quaternary resersolrs in Chaidamu basin[J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(3): 29~31.

[11] 王西文, 胡自多, 田彦灿, 等. 地震子波处理的二步法反褶积方法研究[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(4): 1167~1179.

Wang X W, Hu Z D, Tian Y C, *et al.* Study of seismic wavelet

processing method in two step deconvolution[J]. Progress in Geophysics, 2006, 21(4): 1167~1179.

[12] 尚永生, 杨长春, 王真理, 等. 柴达木盆地第四系气藏烃类检测研究[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 831~835.

Shang Y S, Yang C C, Wang Z L, *et al.* The research of hydrocarbon indicationon gas reservoir of Qaidam basin[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(3): 831~835.

## 查阅本刊网站获取详细信息

(<http://www.progeophys.cn>)

## 欢迎订阅《地球物理学进展》

2008年《地球物理学进展》为双月刊, 每年6期, 每期定价50元, 全年定价为300元。

### 订刊联系方式

(1) 本刊编辑部(邮局汇款与单位电汇均可)

汇款地址 100029 北京市 9825 信箱《地球物理学进展》编辑部

电话传真 010-82998113, 010-82998105, 010-62369620

联系人 刘少华

电子邮件 [shliu@cgs.org.cn](mailto:shliu@cgs.org.cn), [geophys@163.com](mailto:geophys@163.com)

网 站 <http://www.progeophys.cn>

开户行 中国农业银行北京建德支行 账 号 190901040000456

收款单位 中国科学院地质与地球物理研究所

(务必在注释行写上: 购《地球物理学进展》款, 同时写上您的姓名和联系地址)

(2) 天津全国非邮发联合证订服务部

邮编地址 300385 天津市大寺泉集北里别墅17号

电话传真 022-23973378, 022-23962479

网 址 <http://www.LHZD.com>

E - mail [LHZD@public.tpt.tj.cn](mailto:LHZD@public.tpt.tj.cn)