

# 柴达木盆地三湖地区第四系沉积相研究

杨玲<sup>1</sup>, 鲍志东<sup>1</sup>, 陈开远<sup>2</sup>, 赵欢欢<sup>2</sup>, 李进波<sup>3</sup>

1. 中国石油大学地球科学学院, 北京 102249
2. 中国地质大学能源学院, 北京 100083
3. 中国海洋石油总公司研究总院, 北京 100027

**摘要** 柴达木盆地三湖地区第四系自下而上划分为 5 个层序。对野外露头、岩心、测井、地震和地化等资料的综合研究表明, 本区主要发育冲积扇、扇三角洲、三角洲、湖泊等沉积相类型, 以湖泊相为主。冲积扇相可划分为扇根、扇中和扇端 3 个亚相; 扇三角洲相、三角洲相均以前缘亚相为主; 湖泊相则可分为滨湖、浅湖和半深湖 3 个亚相。不同层序发育时期内各种沉积相的发育规模不同。各种沉积相在空间上有规律分布: 在南部斜坡和北部的喇叭尔、全吉地区主要发育冲积扇和扇三角洲沉积, 在盐湖和察尔汗地区主要发育河流三角洲沉积, 其他地区发育湖泊沉积。各个层序的沉积相平面展布表明半深湖沉积位置和沉积中心有由西向东不断迁移的趋势。在综合分析各种成果的基础上, 建立了研究区的沉积模式, 并指出研究区的有利勘探带大致位于涩南—金达一带以及驼西鼻隆、台东鼻隆、涩东鼻隆等北斜坡构造发育带。

**关键词** 柴达木盆地; 三湖地区; 第四系; 沉积相; 沉积模式

**中图分类号** TE111.3

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)14-0059-08

## Study on Sedimentary Facies of the Quaternary in Sanhu Area of Qaidam Basin

YANG Ling<sup>1</sup>, BAO Zhidong<sup>1</sup>, CHEN Kaiyuan<sup>2</sup>, ZHAO Huanhuan<sup>2</sup>, LI Jinbo<sup>3</sup>

1. College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China
2. School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
3. China National Offshore Oil Corporation Research, Beijing 100027, China

**Abstract** The Quaternary of the Sanhu area in Qaidam Basin is subdivided into 5 sequences from bottom to top. The comprehensive analysis of outcrop, core, drilling, logging, seismic and analysis testing data indicates that in the area are developed the facies types such as alluvial fan, fan delta, delta and lake facies, with the lake facies being predominant. The alluvial fan can be subdivided into three subfacies as root, middle part and extremity. The front is predominant in the fan delta and the delta. The lake facies can be subdivided into three subfacies as the shore lake, shallow lake and half-deep lake. In different sequence periods there are different scales of facies. Various facies distribute regularly in space. The alluvial fan and the fan delta facies develop in the southern slope and northern Yaba'er and Quanji areas. The delta facies develop in Yanhu and Qarhan areas. And other areas are all occupied by the lake facies. Each plane distribution of sedimentary facies in each sequence indicates that the depositional places of the half-deep lake and the depositional center have the migration trend from west to east. Finally, on the basis of the comprehensive analysis on various results, the sedimentary model in the studied area is built. And it is pointed that the favorable exploration regions in the studied area are located in Senan-Jinda area and the structure development zones in the northern slope such as Tuoxi, Taidong and Sedong uplifts.

**Keywords** Qaidam Basin; Sanhu area; Quaternary; sedimentary facies; sedimentary mode

收稿日期: 2010-05-21

基金项目: 国家油气重大专项(2008ZX05030-05-001); 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2006CB202300)

作者简介: 杨玲, 博士研究生, 研究方向为沉积(岩石)学与储层地质学, 电子信箱: yangling8472657@yahoo.com.cn; 鲍志东(通信作者), 教授, 研究方向为沉积相及岩相古地理, 电子信箱: baozhd@cup.edu.cn

## 0 引言

柴达木盆地三湖地区是青藏高原持续隆升背景下形成的大型第四系生物气富集区。自 1956 年开始勘探以来,发现探明了涩北、台南、台吉乃尔、驼峰山和盐湖 5 个生物气田,累计探明天然气地质储量  $2771 \times 10^8 \text{m}^3$ 。但自 1988 年台南气田发现以后,除了在伊克雅乌汝构造的上第三系区域勘探有所发现外,其他地区均无勘探突破。前人经过研究和实践认为,前期工作投入不足,对三湖地区的成藏条件和圈闭发育规律缺乏系统认识,一定程度上制约了区域的勘探和开发。为了解决三湖地区第四系沉积的岩性圈闭识别问题,需要对沉积特征进行系统的研究,即在层序地层格架下研究三湖地区第四系沉积演化规律,明确不同层序内的相展布特征,建立沉积模式,为研究区第四系岩性圈闭和有利勘探区带预测提供理论指导和依据。

## 1 地质背景

三湖地区第四系是在第三纪末期的新构造运动作用形成的拗陷型盆地中沉积的,主要由台吉乃尔湖、涩聂湖、达布逊湖以及霍布逊湖等第四系沉积中心构成。西起落燕山、红三旱三四号构造带,东至南北霍布逊湖,北以陵间、锡南、埃南等深大断裂为界,南至昆仑山前的格尔木、乌图美仁、塔尔丁一线<sup>[1]</sup>,如图 1 所示。

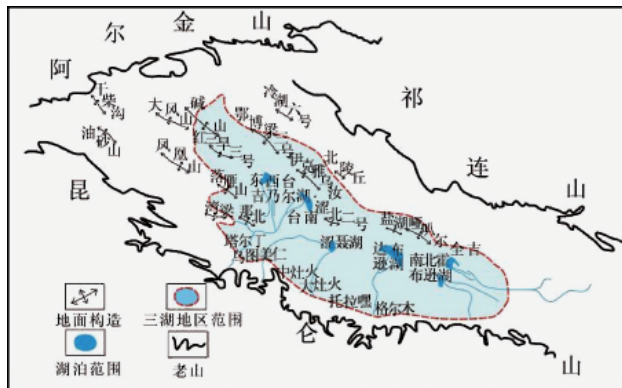


图 1 柴达木盆地构造区划和三湖地区位置示意

Fig. 1 Geotectonic divisions of Qaidam Basin and the location of the Sanhu area

柴达木盆地可分为北缘块断带、中央拗陷带、昆北断带 3 个一级构造单元<sup>[2]</sup>。研究区位于中央拗陷带中的亚一级构造带三湖拗陷。三湖地区的地面构造大部分位于北斜坡,可分为伊克雅乌汝—南陵丘和台吉乃尔—驼峰山 2 个构造带。中央拗陷带是一个负向构造背景下的构造单元。南斜坡为一个向北东方向倾斜的斜坡(图 1)。研究区第四系沉积的岩性较细,主要为砂质泥岩和泥质粉砂岩、粉砂岩互层,垂向上岩性旋回变化频繁。在第四系顶部,湖盆严重萎缩,沉积以较纯的石盐为主。

## 2 层序划分

以经典层序地层学和地震层序地层学理论为指导,通过对地质、岩心、钻测井、地震等资料的综合分析,将三湖地区第四系自下而上划分为 5 个层序(表 1),建立全区的层序地层格架。各层序界面在地震反射终端、岩性和电性等方面的鉴别特征明显。

为了满足生产的需要,油田根据测井曲线对比,将三湖第四系划分成若干个电性标准层(简称 K 层)。不同的地区,各 K 层不具备等时性和统一性。本次根据层序划分结果,通过对比调整或重新划分,使各地区 K 层统一并具有等时性。各层序界面与主要 K 层具有一一对应的关系,如表 1 所示。本次沉积相研究是在该等时地层格架下进行的,单井的沉积相、亚相和微相的划分,沉积相连井剖面研究以及各种平面图的绘制均以层序为单位。

表 1 研究区层序界面与地层和 K 层界面对应表

Table 1 Table of sequence boundaries boundaries of stratum and K beds in the studied area

|     |      | 年代地层              | 岩石地层    | 层序划分       |          |           |
|-----|------|-------------------|---------|------------|----------|-----------|
| 系   |      | 统                 | 组       | 层序         | K 层      |           |
| 第四系 | 七个泉组 | 上更新—全新统 $Q_3-Q_4$ | 达布逊—盐桥组 |            |          |           |
|     |      | 中更新统 $Q_2$        | 察尔汗组    | SQ5        | K2<br>K3 |           |
|     |      | 下更新统 $Q_1$        | 涩北组     |            | SQ4      | K4<br>K5  |
|     |      |                   |         |            | SQ3      | K6<br>K7  |
|     |      |                   |         |            | SQ2      | K9<br>K10 |
|     |      |                   | SQ1     | K11<br>K13 |          |           |

## 3 沉积相类型和特征

通过各项资料的综合研究,根据测井相、地震相、沉积构造、粒度等相标志<sup>[3]</sup>,对三湖地区第四系沉积相进行了较全面、系统的研究,结果表明该区主要发育了冲积扇、扇三角洲、曲流河三角洲、湖泊等沉积相类型,以湖泊相为主。同时识别出主要的亚相类型 10 个,主要的微相类型 15 个,如表 2 所示。

### 3.1 冲积扇相

冲积扇发育在山谷出口处,是由暂时性洪水水流冲刷作用形成的类似于圆锥状的山麓粗碎屑堆积体<sup>[4-7]</sup>。冲积扇可分为扇根、扇中和扇端 3 个亚相,沉积物类型主要有泥石流、扇面河道和漫流沉积等(图 2)。在地震剖面上表现为中振幅低连续楔形乱岗状反射结构特征<sup>[8-9]</sup>(图 3)。

研究区的冲积扇主要发育于盆地南缘的昆仑山、东北缘

表 2 研究区主要沉积相、亚相和微相类型

Table 2 Primary sedimentary facies, subfacies and microfacies types in the studied area

| 相    | 亚相            | 微相                      |
|------|---------------|-------------------------|
| 冲积扇  | 扇根, 扇中, 扇端    | 泥石流沉积, 漫流沉积, 扇面河道沉积     |
| 扇三角洲 | 扇三角洲前缘, 前扇三角洲 | 水下分流河道, 分流间湾, 河口砂坝, 远砂坝 |
| 三角洲  | 三角洲前缘, 前三角洲   | 水下分流河道, 分流间湾, 河口砂坝, 远砂坝 |
| 湖泊   | 滨湖, 浅湖, 半深湖   | 砂坝, 砂滩, 泥, 滑塌沉积         |

的锡铁山和埃姆尼克山山前。扇根亚相岩性以砂砾岩、含砾粗砂岩和砾石质砂泥岩为主; 沉积物主要为扇面河道和泥石流沉积; 测井曲线形态为块状高幅箱形<sup>[10]</sup>; 南部昆仑山前的格参 1 井, 亚相十分发育。扇中亚相是构成冲积扇的主体, 以扇面河道和漫流沉积为主; 岩性以砂岩、砾状砂岩为主; 测井曲线形态主要为高幅齿化箱形或钟形; 中灶火地区的灶地 3 井中, 该亚相当发育(图 2)。扇端亚相以漫流沉积为主, 也可见到扇面河道沉积; 岩性以中、粗砂岩夹粉砂岩、泥岩为主; 测井曲线形态主要为低幅齿化钟形或线形。

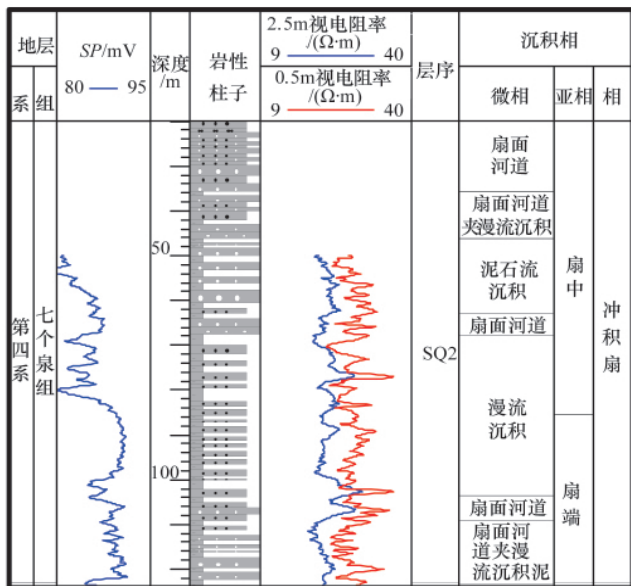


图 2 灶地 3 井沉积相柱状剖面图

Fig. 2 Column map on sedimentary facies in Zaodi 3

### 3.2 扇三角洲相

扇三角洲是指来自陡坡或较缓坡的碎屑物质推进到滨浅湖地区形成的扇形堆积体<sup>[4-7]</sup>, 地震剖面上表现为弱振幅斜坡充填型杂乱状反射结构特征(图 3)。研究区的扇三角洲相主要分布于那北、大灶火、全吉和哑叭尔等地区。本文研究的

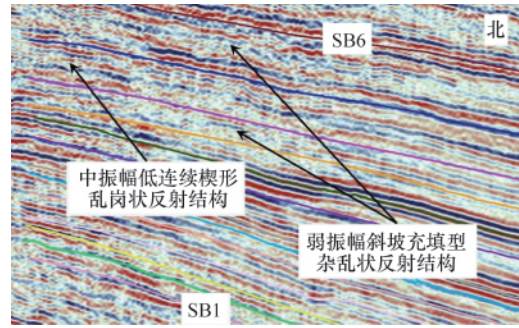


图 3 冲积扇和扇三角洲相的地震反射特征

Fig. 3 Seismic reflection characteristics of the alluvial fan and fan delta facies

并, 以扇三角洲前缘亚相为主。

扇三角洲前缘由水下分流河道、分流间湾、河口坝、远砂坝、前缘席状砂等微相组成, 偶尔可见碎屑流沉积(图 4)。水下分流河道沉积以中粗砂岩为主, 结构成熟度低, 颗粒多为次棱角状, 分选较差—中等(图 5(a)); 测井曲线形态以箱形或钟形为主。分流间湾岩性主要为砂质泥岩和泥岩, 测井曲线形态以齿化线形为主。河口坝以中细砂岩为主, 常呈反韵律特征, 测井曲线形态为中高幅漏斗形。远砂坝以粉细砂岩和泥质粉砂岩为主, 韵律特征与河口坝相似, 厚度和规模较河口坝小。席状砂以粉细砂岩为主, 厚度很薄, 测井曲线形态为指形。

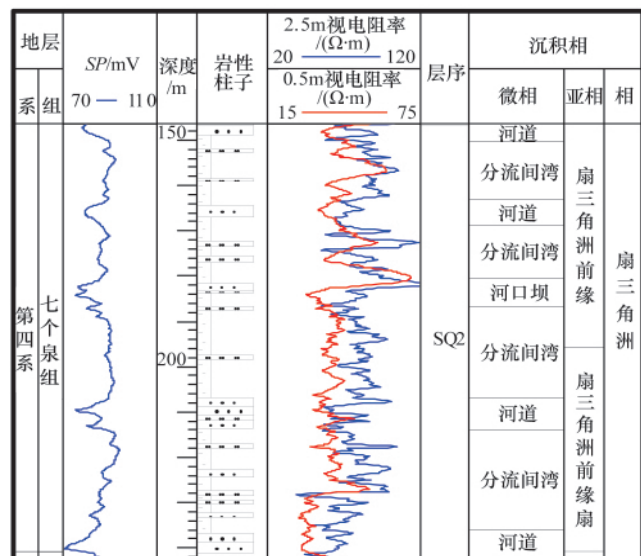


图 4 灶地 1 井沉积相柱状剖面

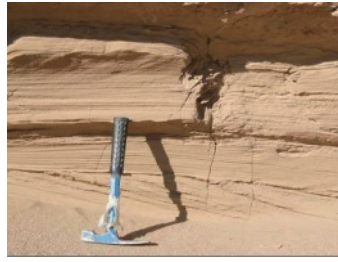
Fig. 4 Column map on sedimentary facies in Zaodi 1

### 3.3 三角洲相

三角洲是曲流河直接入湖(海)形成的沉积体<sup>[4-7]</sup>, 地震剖面上表现为中弱振幅前积反射结构特征。研究区三角洲相主要分布于盐湖和察尔汗等地区, 可分为三角洲平原、前缘和



(a) 全吉地区, 扇三角洲前缘河道, 粒序层理  
(a) Quanjij, channel of the front of fan delta, size grading bedding



(b) 盐湖地区, 浅湖泥, 水平层理  
(b) Yanhu, horizontal bedding of mudstone in shallow lake



(c) 涩 20 井 (1279.6m), 浅湖环境, 介壳化石, 植物茎化石  
(c) Well Se20 (1279.6m), shallow lake, shell fossil and plant stalk fossil



(d) 驼峰山地区, 浅湖环境, 波痕构造  
(d) Tuofengshan, shallow lake, ripple



(e) 涩 20 井 (1281.4m), 浅湖环境, 浪成沙纹交错层理  
(e) Well Se20 (1281.4m), shallow lake, wave ripple cross bedding



(f) 东台吉乃尔地区, 浅湖环境, 透镜状层理  
(f) Linsen bedding in shallow lake

图 5 研究区第四系典型沉积构造

Fig. 5 Typical sedimentary structures of the Quaternary in the studied area

前三角洲 3 个亚相<sup>[10]</sup>。本次研究过程中主要识别出了三角洲前缘亚相。

三角洲前缘的微相组成与扇三角洲前缘相似 (图 6), 微相的韵律特征及测井曲线形态特征与扇三角洲前缘微相相

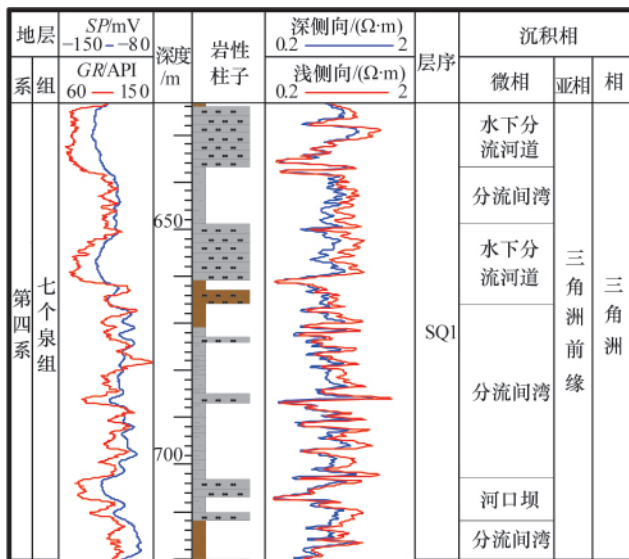


图 6 盐 14 井沉积相柱状剖面图

Fig. 6 Column map on sedimentary facies in Yan14

似, 但岩性较扇三角洲前缘微相更细。

前三角洲是三角洲体系中分布最广、沉积最厚的地区。岩性主要以暗灰色泥岩为主, 仅含有少量极细砂。测井曲线形态为低幅值线形。

### 3.4 湖泊相

湖泊相是研究区发育最广的沉积相类型, 红三旱三四号、台南、涩北、达布逊湖等地区都发育广泛的湖泊沉积。湖泊相可分为滨湖、浅湖、半深湖亚相<sup>[4-7]</sup>, 研究区以浅湖相沉积为主 (图 7)。

滨湖亚相可分为滨湖砂坝、滨湖沙滩和滨湖泥 3 个微相。研究区滨湖相发育范围很窄, 且与扇三角洲等边缘相互层。

浅湖亚相是研究区发育最广泛的亚相类型, 在地震剖面上以弱振幅中连续席状平行结构为特征 (图 8), 主要由浅湖泥、浅湖砂坝和浅湖沙滩 3 个微相组成。浅湖泥主要由灰色、灰绿色泥岩或砂质泥岩组成, 发育水平层理, 可见有植物茎化石、介壳化石等 (图 5(b)、图 5(c))。浅湖砂坝主要由灰色粉砂岩、泥质粉砂岩组成, 发育波痕构造和沙纹层理等 (图 5(d)、图 5(e)); 测井曲线呈中幅齿化箱形; 浅湖相地层中, 砂泥岩频繁互层, 常见透镜状层理等 (图 5(f))。沙滩的测井曲线呈窄指状负异常组合, 单砂层厚度和单韵律层厚度比砂坝小, 砂层数较多。

半深湖相在地震剖面上以强振幅高连续席状平行结构

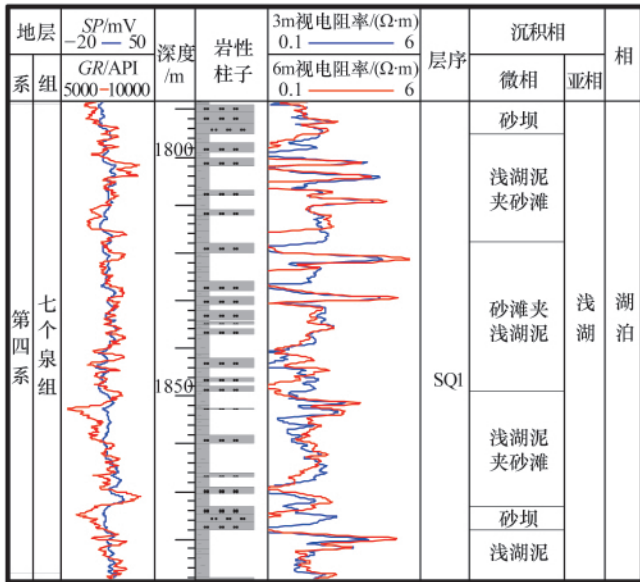


图7 台南5井沉积相柱状剖面图  
Fig. 7 Column map on sedimentary facies in Tainan5

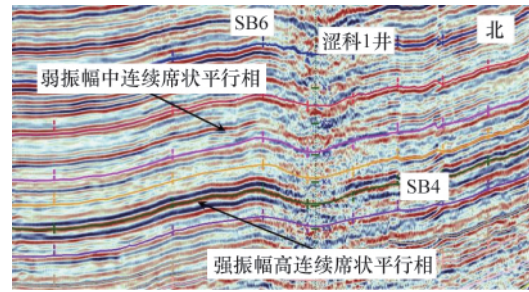


图8 浅湖和半深湖相的地震反射特征  
Fig. 8 Seismic reflection characteristics of the shallow and half-deep lake facies

为特征(图8),由半深湖泥和滑塌沉积组成,以深灰色泥岩为主,见水平层理。

研究区湖泊相的粒度概率曲线为两段式,总体上以悬浮与跳跃构成,反映粒度较细;可分为两个亚类:①跳跃总体含量大于30%,反映滨浅湖环境下,入湖河流的泥砂沉积受波浪作用影响相对较大(图9(a)、图9(b));②跳跃总体小于

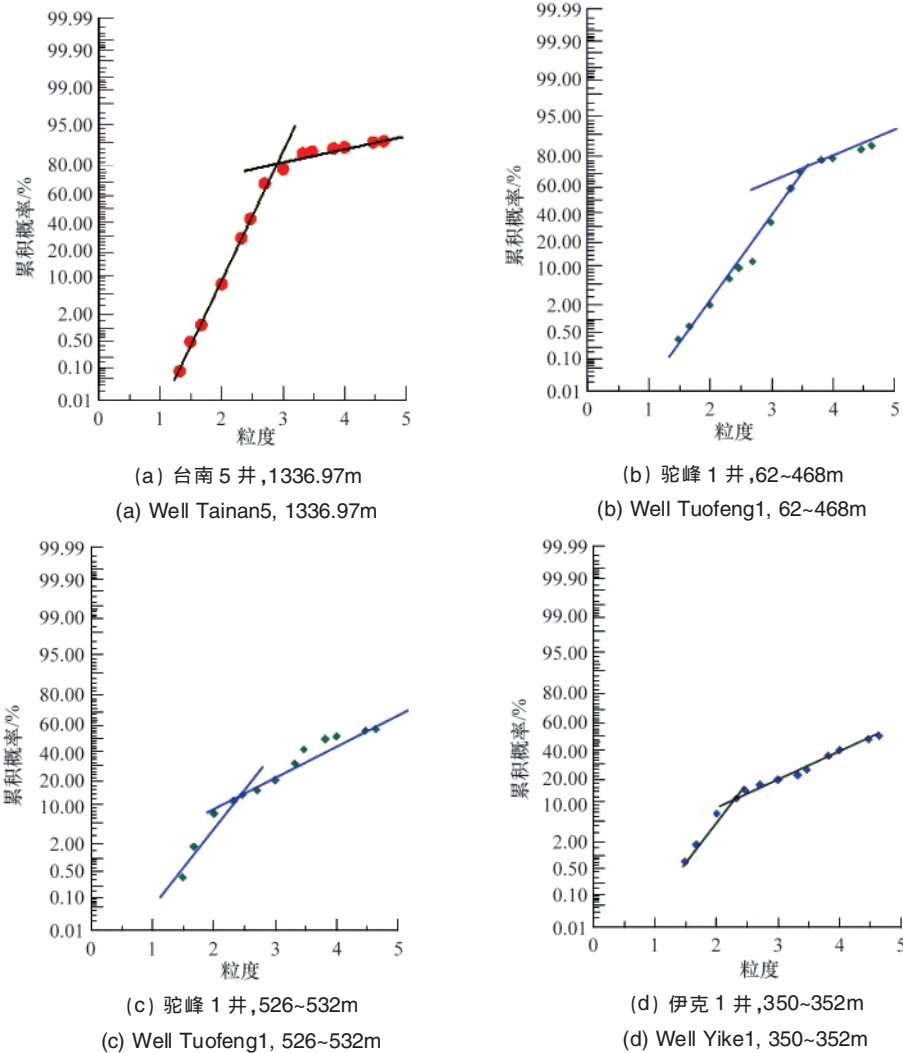


图9 研究区第四系典型粒度累积概率曲线  
Fig. 9 Grain size accumulation curve for the Quaternary in the studied area

15%,为滨浅湖环境下,入湖河流的泥砂沉积受波浪作用影响相对较小,泥质含量较高(图 9(c)、图 9(d))。

#### 4 沉积相平面展布

对各单井和连井沉积相、地层厚度、砂岩厚度和砂地比平面图及地震相的综合分析揭示了研究区第四系的沉积相平面展布特征以及纵向演化规律。各个层序时期的沉积相发育与展布特征既有相似性也有差异性。

1) SQ1 时期。湖盆处于发育初期,水体浅,物源供给十分

充足,主要发育滨湖和浅湖相沉积,缺乏半深湖沉积。滨湖相沉积范围相对较广,驼峰山、台吉乃尔和南陵丘等地区都有发育。湖盆的广大地区仍以浅湖相为主,包括涩北、涩东、涩南、台南、金达和达布逊等地区。南部昆仑山山前的大灶火、中灶火和乌图美仁等地区,冲积扇和扇三角洲极其发育,分布范围也较广。东北锡铁山和埃姆尼克山前的哑叭尔、全吉等地区也发育冲积扇和扇三角洲沉积。三角洲沉积分布于盐湖和察尔汗等地区(图 10)。

2) SQ2 时期。湖平面逐渐上升,滨湖相沉积范围缩小,盆

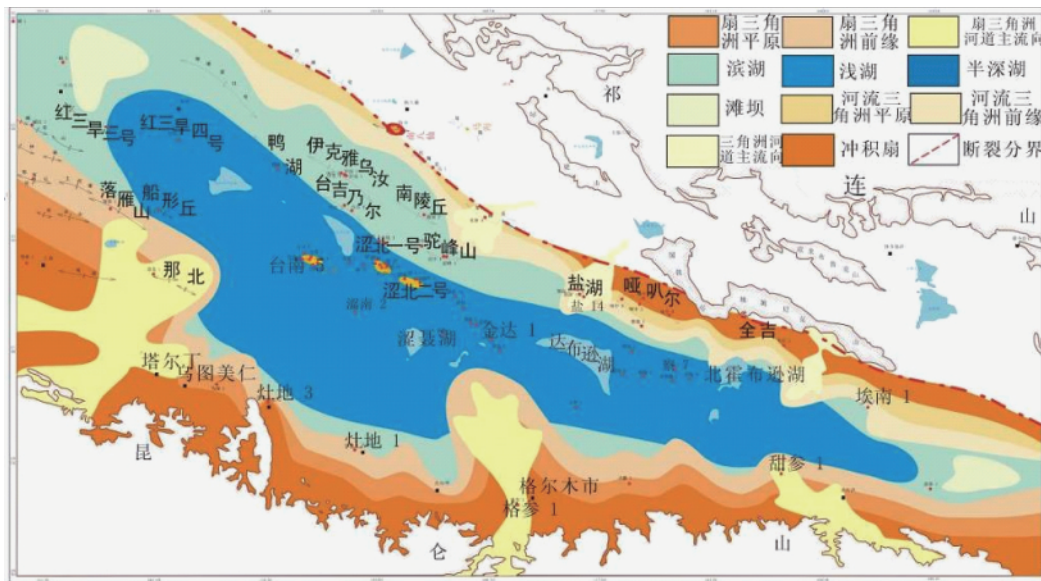


图 10 研究区第四系 SQ1 层序沉积相平面图

Fig. 10 Sedimentary facies plane map of SQ1 sequence for the Quaternary in the studied area

地北斜坡的驼峰山、台吉乃尔等地区由先前的滨湖沉积转为浅湖沉积,半深湖沉积相出现并集中在台南、涩北、涩东、涩南、涩东等地区。冲积扇、扇三角洲和三角洲等边缘相的发育位置和 SQ1 时期基本相同,只是规模有所萎缩,甚至与湖泊沉积互层。就整个研究区而言,湖盆仍以浅湖相为主。

3) SQ3 时期。湖平面上升到最大,滨湖相沉积范围进一步缩小,驼峰山、台吉乃尔和达布逊等地区为浅湖沉积;半深湖沉积位于台南、涩北、涩东、涩南和金达等地区,较 SQ2 层序,沉积中心继续在向东迁移。冲积扇、扇三角洲和三角洲等各种边缘相继承性发育并进一步萎缩。整个湖盆仍以浅湖相为主,且沉积范围达到最大(图 11)。

4) SQ4 时期。湖平面开始下降,湖盆范围不断萎缩,沉积范围减小,加之盆地边缘抬升剥蚀,使第四系沉积范围更加缩小。滨湖相沉积范围较小,浅湖相沉积范围相对较广,包括驼峰山、台吉乃尔、台南、涩北、涩东和达布逊等地区,半深湖沉积相位于金达和达布逊部分地区,可见沉积中心继续向东迁移。各种边缘相依然继承性发育(图 12)。

5) SQ5 时期。湖平面进一步下降,湖盆范围严重萎缩,加

之抬升剥蚀,使第四系沉积范围进一步缩小。滨湖相沉积范围较小,浅湖相沉积覆盖范围依然较广,半深湖相消失。冲积扇、扇三角洲和三角洲等各种边缘相发育很好,向盆地延伸较远。

#### 5 沉积相模式

在对研究区从点到线再到面的沉积相研究的基础上,建立了该区的沉积相模式(图 13)。研究区第四系沉积时期主要以宽缓湖盆的拗陷充填为主,冲积扇、扇三角洲、三角洲和湖泊相等各种沉积相发育相对齐全,以湖泊相沉积为主,尤其湖泊相中的浅湖亚相最为发育。南部昆仑山山前的大灶火、中灶火、乌图美仁等地区和东北锡铁山和埃姆尼克山前的哑叭尔、全吉等地区发育冲积扇和扇三角洲沉积。在盐湖和察尔汗等地区发育河流三角洲沉积。而盆地内的其他广大地区均发育湖泊相沉积。在靠近昆仑山的南部斜坡坡度较陡,滨湖、浅湖等相带的展布范围相对较窄,过度相对较快。而北部斜坡坡度相对于南斜坡较缓,滨浅湖等相带的展布范围相对较宽,过度相对较慢。

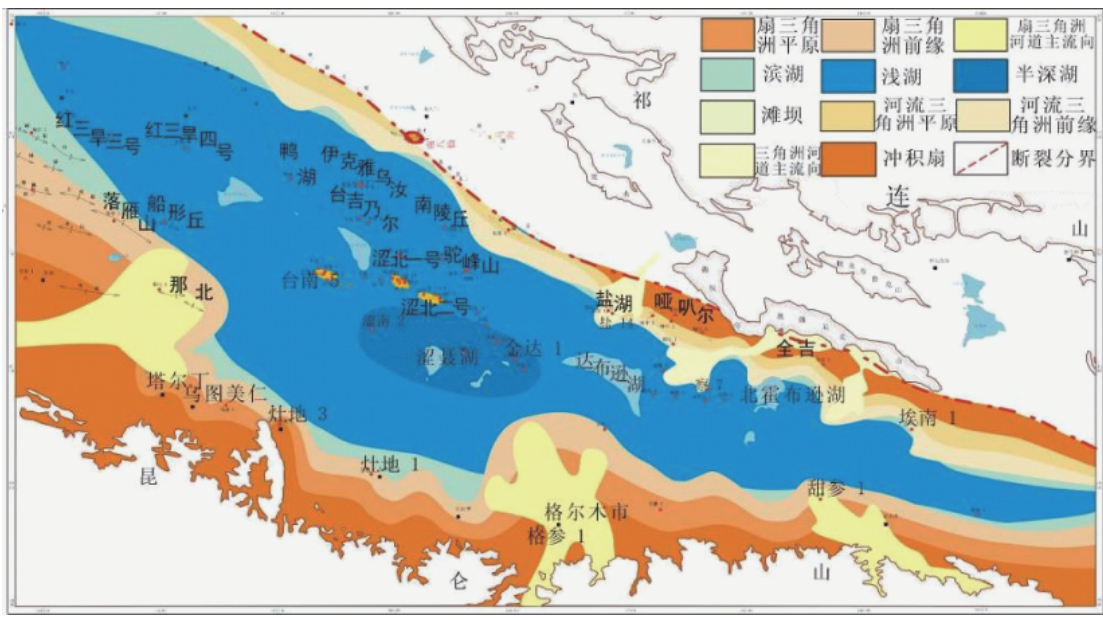


图 11 研究区第四系 SQ3 层序沉积相平面图

Fig. 11 Sedimentary facies plane map of SQ3 sequence for the Quaternary in the studied area

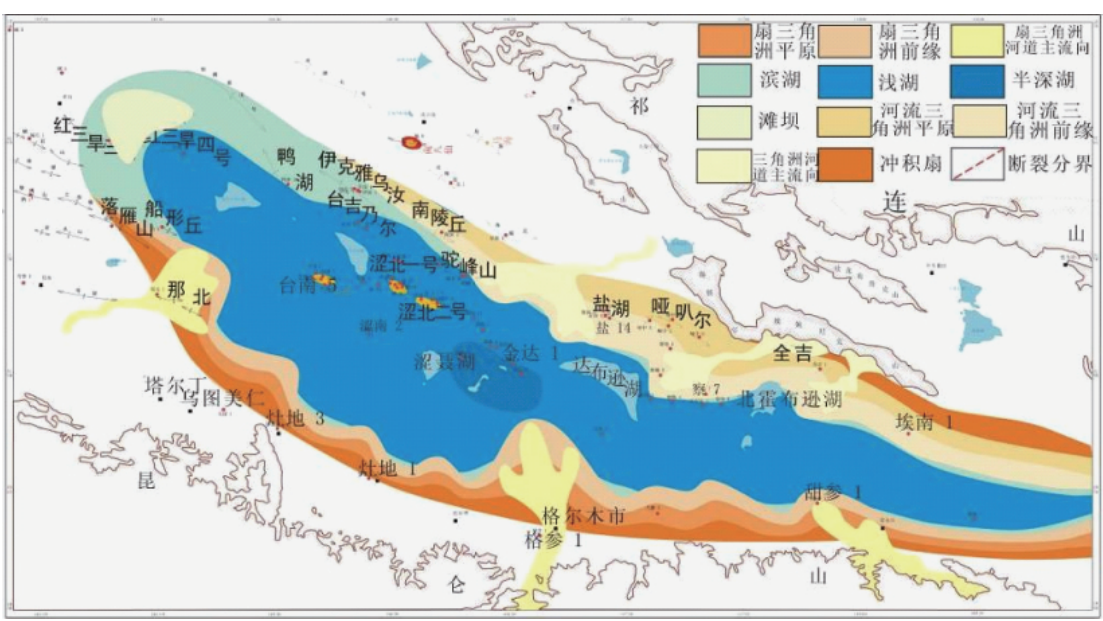


图 12 研究区第四系 SQ4 层序沉积相平面图

Fig. 12 Sedimentary facies plane map of SQ4 sequence for the Quaternary in the studied area

在层序的上升半旋回时期,湖平面处于上升时期,湖平面与物源区的高度落差减小,物源供给的强度逐渐减小,使得各种沉积相不断向陆后退,纵向上沉积地层以退积模式为特征,形成下粗上细的正旋回。在下降半旋回时期,湖平面不断下降,湖平面与物源区的高度落差增大,物源供给的强度逐渐相对增大,使得各种沉积相不断向湖推进,纵向上沉积地层以进积模式为特征,形成下细上粗的反旋回。

### 6 有利勘探目标预测

综合分析研究区沉积相分布及其演化规律和历年勘探成果,对研究区的有利勘探目标进行初步预测。研究区内的冲积扇、扇三角洲沉积体比较发育,砂体丰富,厚度大,储集性能好,但该类沉积体内部或上部的泥岩盖层在平面上分布范围有限,特别不利于天然气聚集。研究区冲积扇和扇三角洲砂体中形成大规模气藏的可能性较小。

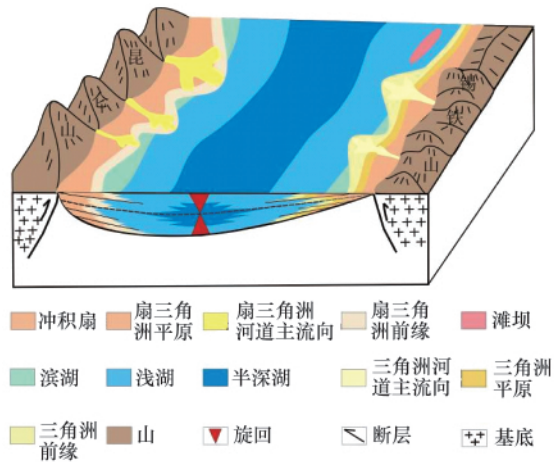


图 13 研究区第四系沉积相模式图

Fig. 13 Model of sedimentary facies for Quaternary in the studied area

对于半深湖相沉积,沉积物以深色泥岩为主,夹重力流成因的滑塌砂岩。泥岩构成很好的烃源岩条件和封盖条件,透镜状滑塌沉积体能够形成透镜体岩性气藏。有利勘探带大致位于涩南—金达一带。靠近南斜坡格尔木地区的扇三角洲沉积体,易在半深湖中发育滑塌沉积体。

对于曲流河三角洲前缘和滨浅湖滩坝沉积体,前三角洲泥岩和三角洲前缘砂体以及滨浅湖泥岩和滩坝砂体频繁互层,多层泥岩为天然气的聚集提供了很好的封盖条件,有利于形成天然气藏。三角洲前缘和滨浅湖滩坝砂体与构造相匹配,易形成上倾尖灭岩性气藏,其有利勘探带大致位于驼西鼻隆、台东鼻隆、涩东鼻隆和涩南、驼南斜坡等北斜坡构造发育带。

## 7 结论

通过分析研究区第四系沉积相,主要得出以下结论。

1) 研究区第四系主要发育冲积扇、扇三角洲、曲流河三角洲、湖泊等沉积相类型,以湖泊相为主。各沉积相类型在空间上有规律分布,在南部昆仑山和北部的哑叭尔、全吉地区发育冲积扇和扇三角洲沉积,在盐湖和察尔汗等地区发育河流三角洲沉积,盆地内其他广大地区均发育湖泊相沉积。

2) 从SQ1~SQ5,湖盆经历了一个湖盆面上升和湖平面下降的过程,SQ3时期湖平面达到最大。各层序沉积相的平面展布分析表明半深湖相的沉积位置和沉积中心有由西向东不断迁移的趋势。

3) 研究区内的冲积扇、扇三角洲沉积体储层非常发育,但盖层质量达不到封闭天然气的要求,很难形成大规模天然气聚集;半深湖环境中的透镜状滑塌沉积体,利于天然气的聚集,可以形成透镜体岩性气藏,其有利勘探带大致位于涩南—金达一带;曲流河三角洲前缘和滨浅湖滩坝沉积体,是天然气成藏的有利砂体,易形成上倾尖灭岩性气藏,有利勘

探带大致位于驼西鼻隆、台东鼻隆、涩东鼻隆等北斜坡构造发育带。

## 参考文献 (References)

- [1] 党玉琪,李维锋.柴达木盆地三湖地区岩性圈闭形成条件研究 [R].荆州:长江大学地球科学学院,2008.  
Dang Yuqi, Li Weifeng. Research about the formation condition of the lithologic trap in San'hu area of the Qaidam Basin [R]. Jingzhou: College of Earth Sciences, Yangtze University, 2008.
- [2] 朱筱敏,徐子远.柴达木盆地第四系沉积特征和储盖层研究 [R].北京:中国石油大学(北京),1998.  
Zhu Xiaomin, Xu Ziyuan. Research about the sedimentary characteristics and reservoirs-cover rock of the Quaternary in the Qaidam Basin [R]. Beijing: China University of Petroleum, Beijing, 1998.
- [3] 曹国强.柴达木盆地西部地区第三系沉积相研究 [D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2005:15-35.  
Cao Guoqiang. Research about the sedimentary facies in the west region of Qaidam Basin [D]. Guangzhou: Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 2005: 15-35.
- [4] 冯增昭.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,1993.  
Feng Zengzhao. Sedimentary petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993.
- [5] 姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003:299-329.  
Jiang Zaixin. The sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003: 299-329.
- [6] 赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学 [M].3版.北京:石油工业出版社,2001:23-73.  
Zhao Chenling, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology [M]. 3rd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 23-73.
- [7] Galloway W E, Hobday D K. Terrigenous clastic depositional systems: Applications to petroleum, coal and uranium exploration [M]. 2nd ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996: 212-255.
- [8] 徐怀大,王世凤,陈开远.地震地层学解释基础 [M].武汉:中国地质大学出版社,1990:1-50.  
Xu Huaida, Wang Shifeng, Chen Kaiyuan. The interpretation foundation of the seismic stratigraphy [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1990: 1-50.
- [9] 马洪,辛仁臣,刘豪.松北宾县—绥化地区下白垩统沉积相研究 [J].沉积学报,2009,27(4):592-605.  
Ma Hong, Xin Renchen, Liu Hao. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(4): 592-605.
- [10] 施振生,杨威,金惠.川中—川南地区上三叠统沉积相研究 [J].沉积学报,2009,26(2):211-220.  
Shi Zhengsheng, Yang Wei, Jin Hui. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 26(2): 211-220.

(责任编辑 刘志远)

### 本期推理小游戏答案

第一次,小强和弟弟先过,然后小强回:用时4秒;  
第二次,小强和爸爸过,弟弟回:用时9秒;  
第三次,爷爷和妈妈过,小强回:用时13秒;  
最后,小强和弟弟一起过:用时3秒。  
这样过桥,总用时是29秒。