

柴北缘冷湖构造带古近系沉积体系及演化特征

王 波, 周 飞, 石正灏, 朱 军, 马进业, 李哲翔, 桓芝俊, 郭力军

中国石油青海油田分公司勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736200

摘 要: 通过对柴达木盆地北缘西段重点探井的岩心观测、重矿物分析、测井数据及地震资料的分析, 研究了冷湖构造带古近系沉积体系及演化特征和不同时期沉积微相及砂体的展布规律。结果认为, 冷湖构造带古近系主要发育冲积扇-辫状河-辫状河三角洲-湖泊沉积体系, 物源来自北东方向的小赛什腾山和赛什腾山附近。古近系路乐河组(E_{1+2})沉积期, 主要发育辫状河以及辫状河三角洲平原沉积, 仅在靠近山前发育少量冲积扇沉积; 至下干柴沟组(E_3)沉积时期, 主要发育辫状河、辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘及滨-浅湖沉积。古近纪时期冷湖构造带表现为一次较大规模的水进过程, 纵向沉积继承性明显, 很好地记录了这一沉积演化过程。这一沉积体系及演化过程有利于粗碎屑和细碎屑交互沉积, 形成较好的储盖组合, 为柴达木盆地冷湖构造带下一步的油气勘探提供了可靠的地质依据。

关键词: 沉积相; 沉积演化; 冷湖构造带; 柴达木盆地

THE PALEOGENE SEDIMENTARY SYSTEM AND EVOLUTION CHARACTERISTICS OF LENGHU STRUCTURAL BELT IN NORTHERN Q Aidam BASIN

WANG Bo, ZHOU Fei, SHI Zheng-hao, ZHU Jun, MA Jin-ye, LI Zhe-xiang, HUAN Zhi-jun, GUO Li-jun
Exploration and Development Research Institute of Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang 736200, Gansu Province, China

Abstract: The Paleogene sedimentary system and evolution characteristics of Lenghu structural belt are studied based on the core observation, analysis of heavy mineral, logging data and seismic data of key exploratory wells in the west section of northern Qaidam Basin. The results indicate that the alluvial fan-braided river-braided river delta-lacustrine sedimentary system is developed in the Paleogene strata, with the provenance from the nearby Xiaosaishitengshan and Saishitengshan in the northeast. The braided river and braided river delta plain were mainly developed during the depositional stage of Paleogene Lulehe Formation (E_{1+2}), with only a few alluvial fan deposits near the piedmont. There were mainly braided river, braided river delta plain, braided river delta front and shore-shallow lake deposits in the sedimentary period of Xiaganchaigou Formation (E_3). The Paleogene Lenghu structural belt is shown as a large-scale transgression process with obvious vertical depositional inheritance, which well records the sedimentary evolution. The sedimentary system and evolution process are favorable for the alternating deposition of coarse and fine clastics and form good reservoir-cap association, which provides reliable geological basis for further oil-gas exploration in Lenghu structural belt of Qaidam Basin.

Key words: sedimentary facies; sedimentary evolution; Lenghu structural belt; Qaidam Basin

收稿日期: 2018-12-24; 修回日期: 2019-03-12. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国石油天然气股份有限公司科技专项“柴达木盆地建设高原大油气田勘探开发关键技术研究与应用”项目(编号 2016E-01).

作者简介: 王波(1984—), 男, 地质工程师, 主要从事含油气盆地地质勘探工作, 通信地址 甘肃省敦煌市七里镇昆仑中路 16 号, E-mail//wboqh@petrochina.com.cn

0 引言

柴达木盆地是青藏高原北部一个大型的中、新生代陆相含油气盆地,被阿尔金山、祁连山和东昆仑山所环绕^[1-2].盆地内可划分为柴西拗陷、一里坪拗陷、三湖拗陷及柴北缘块断带4个二级构造单元,总面积约 $13 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[3-4].冷湖构造带位于柴北缘断块带西段,是一个由南向北抬升的晚期隆起构造带,勘探面积约 $0.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[5],发育有巨厚的古近纪—第四纪沉积,呈一系列NW向大型背—向斜构造组合^[6](图1).勘探实践证明,冷湖构造带紧邻烃源岩,油源充足,生排烃和构造配置关系好,发育了构造、构造—岩性、不整合面等各类油气藏,是柴达木盆地最先发现工业油气流的地区之一^[7-9].近年来,又陆续在冷湖四号、冷东地区、冷湖五号和冷湖七号等发现多个油气藏,成为柴达木盆地北缘构造带内的勘探热点^[10-12].

孙国强等^[13]研究认为冷湖构造带是生烃拗陷内部的断块隆起,以构造组合油气藏为主;陈波等^[14]研究认为研究区有利储层主要分布在三角洲前缘水下分流河道和河口坝内,以岩性油气藏为主;翟志伟等^[15-16]则认为冷东古近系油藏、冷湖五号—高点古近系油气藏为斜坡背景下的岩性油气藏,油气藏的分布受岩性和物性变化控制.前人对油气藏类型及有利储层分布

做了研究,但是对其目的层内沉积微相的变化规律及砂体的变化过程研究较少,成为制约该区域进一步油气勘探的关键问题,因此亟需准确落实主要目的层沉积微相及砂体的展布,以期冷湖构造带油气勘探提供必要的地质基础.

笔者在前人研究成果的基础上,选择典型探井进行详细的岩心观测,利用80余口井的薄片、测井、地震等资料,确定地层厚度和砂地比,分析砂体分散体系及类型,进一步研究了古近纪各时期目的层段的沉积相类型、物源特征、沉积环境演化过程等.

1 地质背景

冷湖地区古近系—第四系发育齐全,其中古近系自下而上命名为路乐河组(E_{1+2})、下干柴沟组(下段: E_3^1 ,上段: E_3^2),新近系包括上干柴沟组(N_1)、下油砂山组(N_2^1)、上油砂山组(N_2^2)和狮子沟组(N_2^3)(图2)^[6].冷湖构造带主要形成于晚侏罗世—白垩纪时期,燕山运动晚期柴达木盆地北缘构造带全面抬升,形成中生界和古近系之间的不整合面,而古近系内部地层之间都以整合接触为主^[17].受构造运动影响中生界地层在研究区分布较为局限,而古近系地层在全区分布广,且厚度稳定.路乐河组在冷湖地区分布广泛,岩性以棕

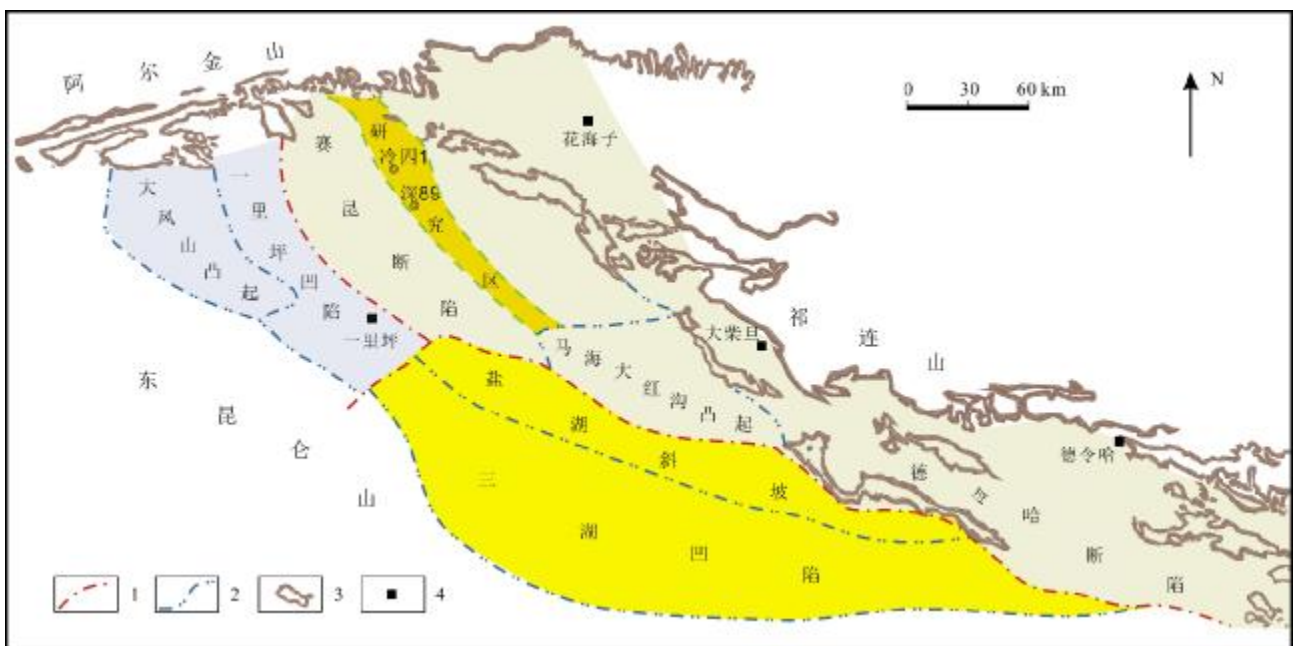


图1 柴达木盆地北缘构造单元划分图

Fig. 1 Tectonic division of northern Qaidam Basin

1—一级构造边界(first-order tectonic boundary); 2—二级构造边界(second-order tectonic boundary); 3—山脉(mountain); 4—地名(place name)

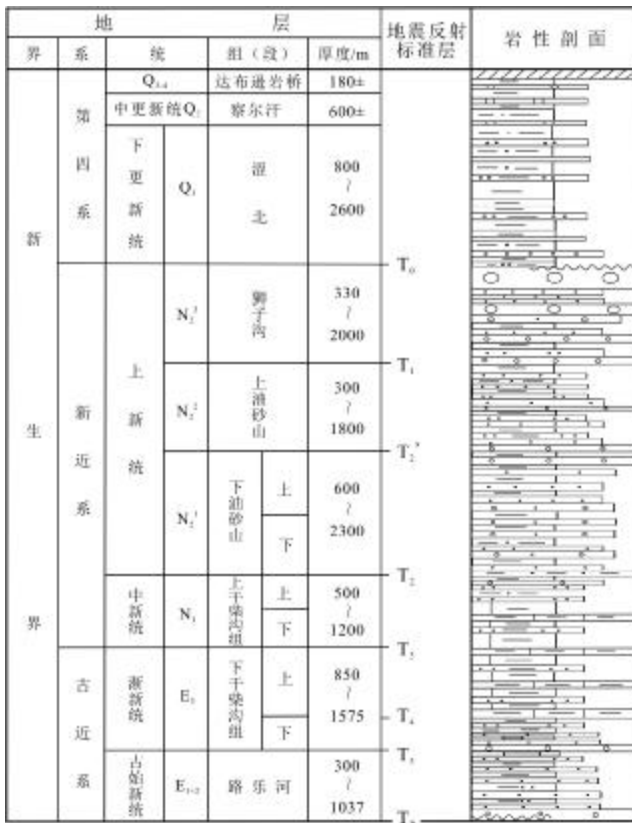


图 2 柴北缘冷湖地区综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic column of Lenghu area in northern Qaidam Basin

红色粗碎屑岩为主,为棕红色、紫红色的砾岩、砾状砂岩、含砾砂岩、细砂岩夹棕色砂质泥岩、泥质粉砂岩,自下而上由粗变细呈较明显的正韵律旋回,形成较好的储盖组合。路乐河组地层厚度从盆地边缘至盆内总体逐渐增厚^[18],地层厚度最大达 1300 m 左右。

下干柴沟组地层在冷湖地区分布广泛,地面露头厚 200~1195 m,钻井揭示的最大厚度达 3000 m 左右,从盆地边缘至盆内地层厚度总体逐渐增厚^[18]。下干柴沟组进一步可分为上、下两段。下干柴沟组下段(E₃¹):下部以棕红色砂砾岩为主,夹棕红色砂质泥岩、泥岩、砂岩、粉砂岩;上部以棕红色砂质泥岩和泥岩为主,夹粉砂岩、砂岩、少量砾状砂岩;总体呈较明显的正旋回。下干柴沟组上段(E₃²):下部以灰黄色、灰色砾岩为主,夹砂质泥岩及少量泥质砂岩、砂岩、粉砂岩;上部以灰色、灰绿色、褐灰色砾岩、砂质泥岩为主,夹粉砂岩、砂岩。下干柴沟组上段岩性总体较下段粗。

2 沉积相类型

通过对冷湖构造带不同构造部位的 23 口重点探井的岩芯观察,分析认为研究区古近纪主要发育冲积扇、辫状河、辫状河三角洲相及滨-浅湖相沉积。

2.1 冲积扇沉积

冷湖地区古近纪冲积扇主要分布于山前地带,多见于露头。主要由棕红色、棕褐色和棕灰色中、粗砾岩、含砾砂岩和粗砂岩等岩石类型组成。沉积物杂乱,以砂、砾石为主,泥充填于砂、砾之间,碎屑粒度粗,分选性差,多为棱角状一次棱角状。砾岩含量占 20%~90%,层理构造不发育。

2.2 辫状河沉积

冷湖地区路乐河组河流相沉积以心滩和河床滞留为主,河漫滩不发育(图 3)。心滩沉积主要为中-粗砂岩、砾质砂岩和砾岩。砂、砾岩单层厚度多为几米至二十几米。砾岩以细砾岩为主,也有中砾岩。砾石为次棱角状至次圆状,向下游方向圆度增高。砂砾岩中主要发育平行层理和大型板状、槽状交错层理。颗粒磨圆较差,主要为次棱角状,分选也较差,成分和结构成熟度均较低。碎屑颗粒整体上表现为自下而上由粗变细的旋回特征,具有明显的河流相沉积旋回。在测井曲线上,心滩沉积自然电位曲线上主要为箱状或钟形。

2.3 辫状河三角洲沉积

辫状河三角洲沉积分为三角洲平原和三角洲前缘平原两部分。冷湖地区三角洲平原沉积主要为棕红色、浅灰色、杂色的泥岩、粉砂质泥岩与砂岩互层的特征。砂岩分选中等,磨圆较好,一般为次棱角-次圆状,较大砾石可见定向排列构造,砂砾岩中可见交错层理、平行层理(图 4a)。泥岩主要为红色,是水上暴露氧化环境的标志。其中砂岩岩层厚度较薄,一般为几米至十几米。岩心上可见泥砾及重荷构造(图 4b),在下干柴沟组底部河流相和三角洲的过渡地带发育底砾岩(图 4c)。三角洲前缘是三角洲平原的水下延伸部分,沉积物主要以浅灰色砂岩夹灰色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、泥岩为主,偶见滑塌变形(图 4d)。

2.4 湖泊沉积

滨-浅湖相沉积仅在本区西南角发育,主要为紫红色、浅灰色、灰绿色薄中层状泥岩,泥质粉砂岩,粉砂岩,局部浅湖亚相中见有灰岩,常含植物碎片,泥岩中可见水平层理,波状层理,粉砂岩中发育小型交错

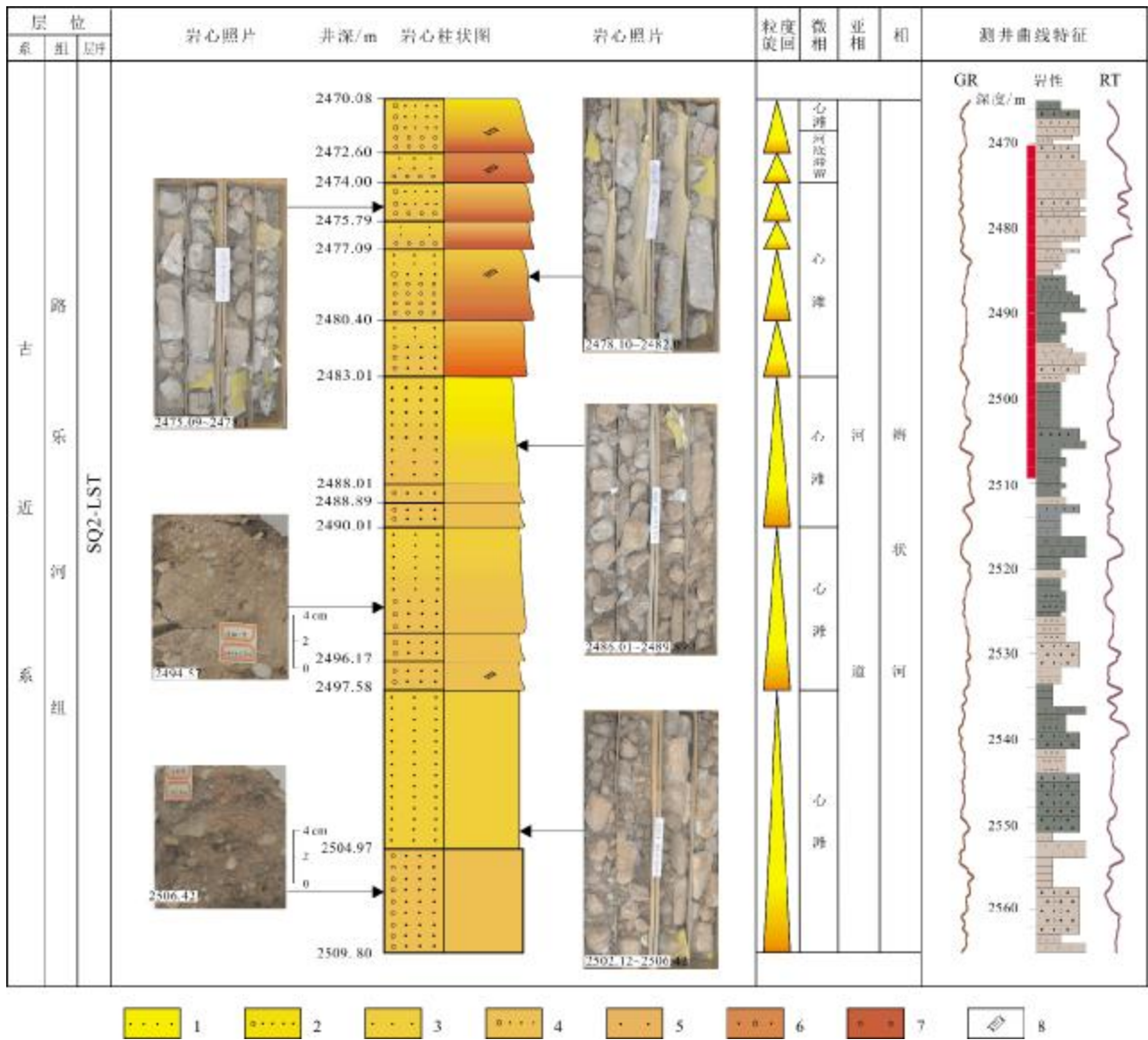


图3 冷湖地区路乐河组(E₁₊₂)沉积相柱状图

Fig. 3 Sedimentary facies columnar section of Lulehe Formation in Lenghu area

1—细砂岩(fine sandstone); 2—含砾细砂岩(gravel-bearing fine sandstone); 3—中砂岩(medium sandstone); 4—含砾中砂岩(gravel-bearing medium sandstone); 5—粗砂岩(coarse sandstone); 6—含砾粗砂岩(gravel-bearing coarse sandstone); 7—细砾岩(fine conglomerate); 8—植物碎片(phytoclast)

层理,间有生物扰动构造,自然电位曲线较为平直(图5).

3 沉积物源分析

确定研究区古近系—新近系沉积期的物质来源与方向、物源体系的时空展布特征,对于恢复不同沉积期沉积相的展布规律和储层预测意义重大. 本文重点利用研究区古水系资料、重矿物组合分布、砂岩分散体系等对古近系各沉积期进行物源分析.

3.1 古水系分布研究

柴达木盆地自古新世以来一直是一个内流汇水盆地^[19],柴北缘主要位于南祁连山水系范围内,该水系多垂直于南祁连山山前发育,形成冲积扇、辫状河、辫状河三角洲、滨湖相的沉积体系格局^[20]. 古水流方向整体以东北至南西方向为主^[21],主要接纳来自柴达木盆地东缘祁连山造山带剥蚀陆源碎屑沉积物^[22].

3.2 重矿物物源分析

重矿物是指密度大于 2.68 g/cm³,在沉积岩中的质

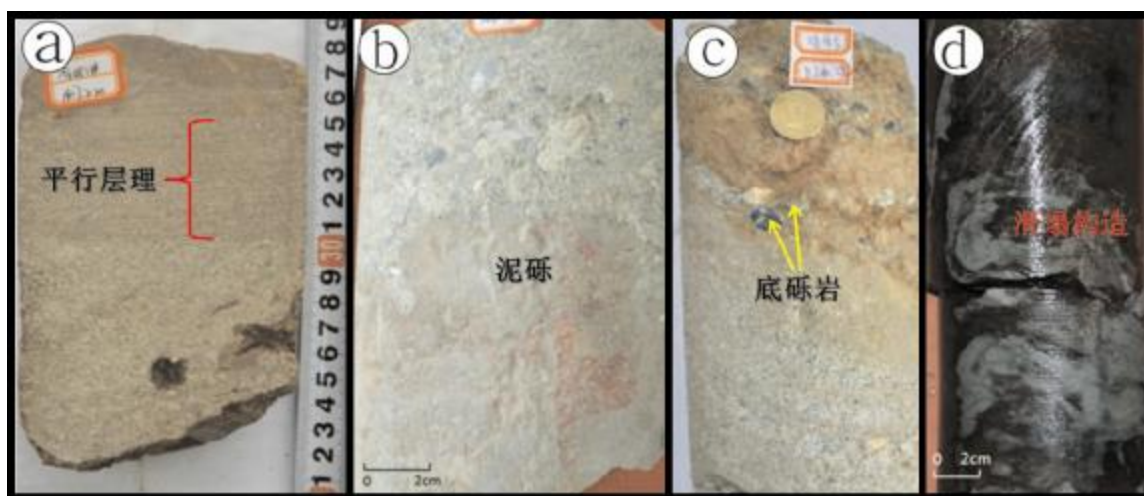


图 4 冷湖地区下干柴沟组辫状河三角洲沉积构造特征

Fig. 4 Sedimentary structures of the braided river delta in Xiaganchaigou Formation, Lenghu area

量分数常常小于 1%，颗粒粒度比较小，化学性质稳定，抗风化能力较强的矿物。由于对源区母岩的较好限定，重矿物分析被广泛应用在物源判别中^[23-25]。

根据冷湖构造带及冷东地区 17 口井重矿物资料，对研究区古近系 350 个样品进行分析统计，选取锆石、电气石、金红石、石榴石、磁铁矿和绿帘石等多种重矿物作为重点研究对象，绘制冷湖构造带及冷东地区古近系重矿物组合分布图（图 6）。重矿物组合特征具有明显的分区性，可分为 2 个物源方向：一是东北部的小赛什腾山和赛什腾山物源区，重矿物组合以磁铁矿+石榴石+锆石+绿帘石+白钛矿+电气石为主，石榴石和磁铁矿含量也较高，累计超过了 55%，说明源区发育变质岩类源岩；第二个物源是西北部阿尔金山物源区，重矿物组合以磁铁矿+石榴石+锆石+绿帘石+白钛矿为主，重矿物中磁铁矿平均含量超过了 45%，说明其物源区岩性以中基性的岩浆岩为主，较高含量的石榴石和绿帘石也说明源区含有一定量的深变质岩。和前人研究的小赛什腾山和赛什腾山物源区母岩类型主要以中高级变质岩和中基性岩浆岩为主，阿尔金山物源区母岩主要以中基性岩浆岩和中高级变质岩为主一致^[25-28]。这也进一步说明了冷湖构造带古近系沉积主要来自小、大赛什腾山和阿尔金 2 个物源区。

不同的物源区具有不同的影响范围，所波及的沉积区的重矿物组合分布特征也具有各自的特点。受东北方向小赛什腾山和赛什腾山物源的供给，根据碎屑沉积物重矿物种类及含量组合特征将研究区进一步划

分为冷东地区（I 区）、冷湖四号构造和冷湖五号构造（II 区）、冷湖六号构造（III 区）、冷湖七号构造（IV 区）等 4 个区域，其中 I 区重矿物组合以磁铁矿+绿帘石+石榴石+角闪石为特征，不稳定重矿物绿帘石和角闪石较其他区域含量较高，具有近物源的特点，但其 ZTR 指数均值为 20.16，明显高于其周围的冷湖四号构造带 ZTR 指数，ZTR 等值线图上呈明显的高值区，认为其含有远距离搬运而来的次级物源的影响，结合前人研究成果^[26-28]，推测其可能来自西北方向的阿尔金山；II 区重矿物组合以磁铁矿+石榴石+锆石+绿帘石为代表，自北东向西南 ZTR 指数变大，稳定重矿物含量增加，不稳定重矿物含量减少，其主要受东北方向小赛什腾山物源区的影响；III 区的重矿物种类组合则是锆石+磁铁矿+石榴石+白钛矿，ZTR 指数变化趋势同样是由北东向西南方向变大，稳定重矿物含量增加，不稳定重矿物含量减少，认为东北方向的赛什腾山西北部为该沉积区的主要物源供给区；IV 区沉积碎屑重矿物中的白钛矿、锆石和磁铁矿等稳定重矿物的含量相对较高，冷湖七号构造带的 ZTR 指数均值也达到 23 左右，较 II 区和 III 区 ZTR 均值呈明显较高，具有远物源的特点，认为该区沉积主要受北东方向赛什腾山东南部的影响，同时还可能受东南部马仙地区物源控制。

3.3 砂分散体系分析

在物源体系宏观框架指导下编制出来的精细砂体厚度图和砂地比等值线图，不仅是对物源体系的反证，而且能够更精细刻画物源推进方向和展布特征^[29]。沉

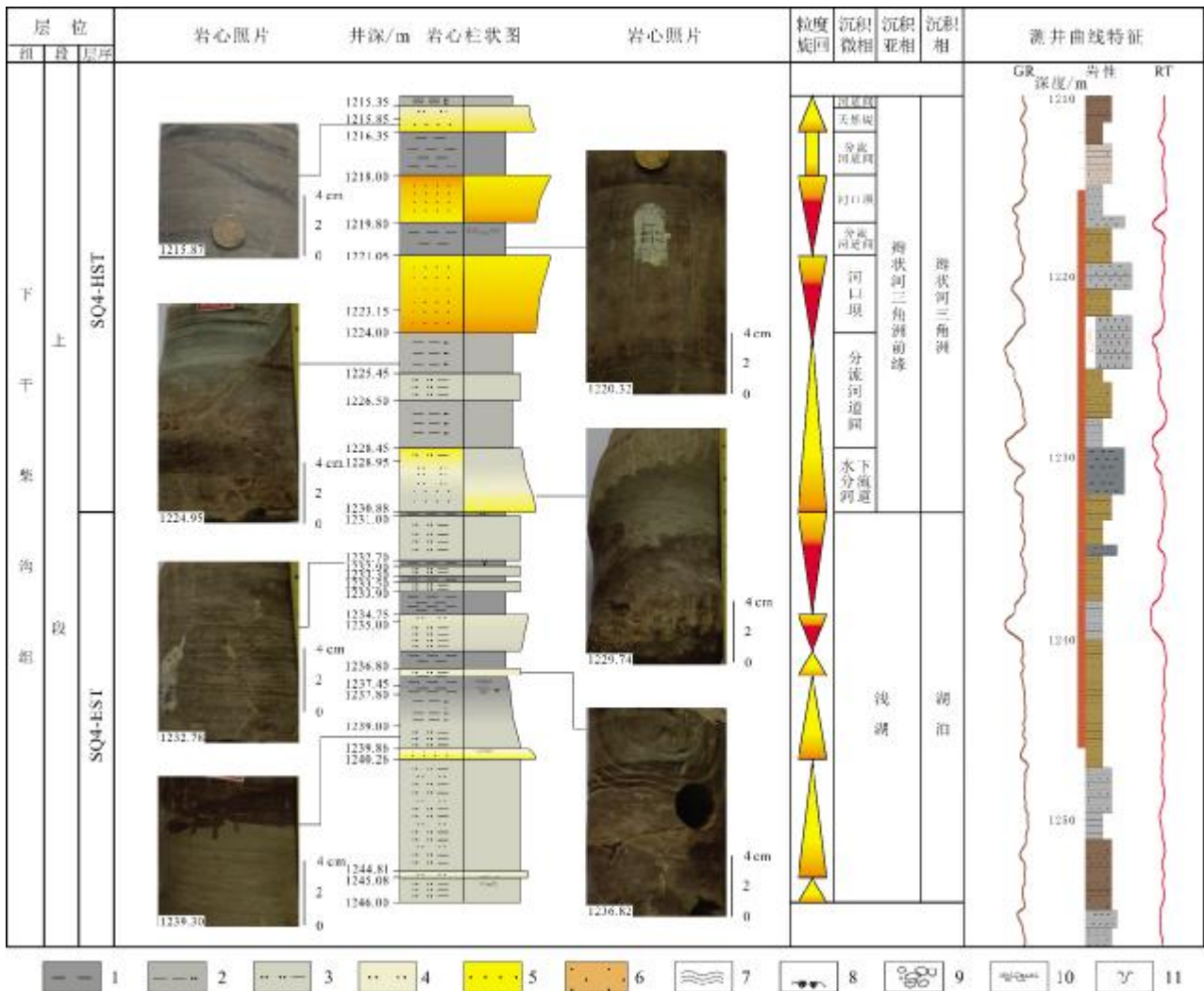


图5 冷湖地区冷89井下干柴沟组(E₃)沉积相柱状图

Fig. 5 Sedimentary facies columnar section of Xiaganchaigou Formation in L89 well, Lenghu area

1—泥岩(mudstone); 2—粉砂质泥岩(silty mudstone); 3—泥质粉砂岩(argillaceous siltstone); 4—粉砂岩(siltstone); 5—细砂岩(fine sandstone); 6—粗砂岩(coarse sandstone); 7—波状层理(wavy bedding); 8—冲刷面(erosion surface); 9—滑塌构造(slump structure); 10—火焰状构造(flame structure); 11—虫孔(wormhole)

积物中砾岩、砂岩和泥岩等碎屑物含量指示沉积环境、碎屑物搬运距离^[30]. 可通过统计从源到汇过程中,砂砾百分含量比例变化特点来分析沉积物的入口、沉积物运动的方向和沉积相带解释.

本次研究共统计了约80口单井的砂砾岩百分含量,覆盖面积大概为400 km²,研究区域包括冷湖四号、五号构造及冷东地区. 砂砾岩百分含量在平面上具有明显的由北向南呈带状逐渐降低的变化规律(图7). (1)来自小赛什腾山方向的砂岩分两支向盆地内部推进,其中靠南部的一支仅能够推进到冷东地区,

而靠近北部的一支砂体可一直延伸至冷湖四号构造后进一步分为南北两支;(2)冷湖五号构造1高点处发育孤立砂体,为上述砂体推进形成的砂坝,其长轴方向与冷湖四号构造南部砂体延长线方向一致;(3)冷湖五号构造1高点及4高点均处于砂地比百分含量等值线脊处,二者所在等值线形态指示砂体近北东东向推进,由于离物源较远,此处砂地比百分含量值较低;(4)研究区古近系物源由路乐河组至下干柴沟组上段,整体砂砾岩百分含量呈逐渐降低的趋势,由此认为古近系阶段小赛什腾山和赛什腾山的物源供给强度整体呈减弱

趋势.

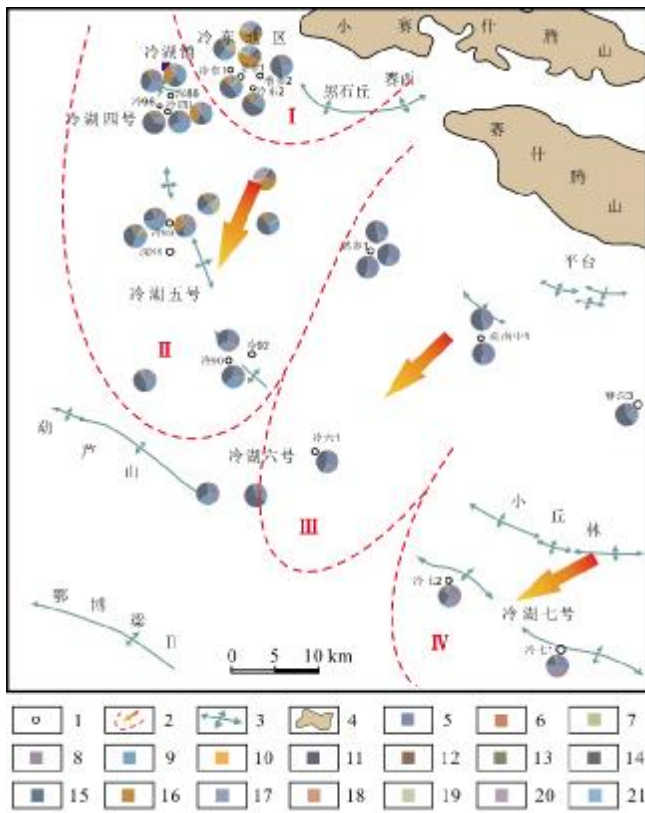


图 6 冷湖地区古近系重矿物组合分区图

Fig. 6 Distribution of Paleogene heavy mineral assemblage in Lenghu area

- 1—井名 (well name); 2—物源 (provenance); 3—背斜 (anticline); 4—山脉 (mountain); 5—锆石 (zircon); 6—金红石 (rutile); 7—电气石 (tourmaline); 8—白钛矿 (leucosphenite); 9—石榴石 (garnet); 10—十字石 (staurolite); 11—磁铁矿 (magnetite); 12—赤铁矿 (hematite); 13—榍石 (sphene); 14—透闪石 (tremolite); 15—黝帘石 (zoisite); 16—绿帘石 (epidote); 17—蓝晶石 (kyanite); 18—绿泥石 (chlorite); 19—辉石 (pyroxene); 20—角闪石 (hornblende); 21—硅灰石 (wollastonite)

4 沉积相分布与演化

在取心井分析基础上,结合冷湖构造带冷东地区、冷湖四号、五号构造等地区较为典型的测井曲线特征(图 8),可以大致识别区分冲积扇、辫状河、辫状河三角洲、湖盆等沉积相及亚相特征,结合砂分散体系和砂地比等值线制图,恢复古近纪不同时期沉积相分布特征.

路乐河组(E_{1+2})沉积期,冷湖地区沉积相呈带状自北东向南西方向依次发育辫状河、辫状河三角洲平原、

辫状河三角洲前缘、滨浅湖沉积,主力物源来自北东方向(图 8). 赛中 12 井、冷浅 4 井、潜参 1 井和赛心 1 井所在的冷东地区主要发育冲积扇沉积相及辫状河沉积相;深 81 井和冷 96 井所在的冷湖四号构造主要发育辫状河三角洲平原亚相沉积;冷 87、冷新 1 和冷科 1 井所在的冷湖五号构造 1 高点主要发育辫状河三角洲沉积相,向南逐渐由辫状河三角洲平原沉积过渡为前缘沉积;冷 92、冷 91 和冷 9-2-3 井所在的冷湖五号构造 4 高点及冷六 1 井所在的冷湖六号构造主要发育辫状河三角洲沉积相的辫状河三角洲前缘亚相;冷七 3 井所在的冷湖七号构造主要发育湖泊沉积相的滨浅湖沉积亚相.

下干柴沟组下段(E_3^1)沉积期,沉积相呈带状自北东向南西方向依次发育冲积扇、辫状河、辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘、滨浅湖沉积,主力物源具有继承性特征,依然来自北东方向,与路乐河组相比沉积相带向北东退积,水域面积进一步扩大(图 8). 冷浅 4 井、潜参 1 井和赛心 1 井所在的冷东地区主要发育辫状河沉积相及辫状河三角洲沉积相的辫状河三角洲平原亚相;深 81 井和冷 96 井所在的冷湖四号构造主要发育辫状河三角洲沉积相的辫状河三角洲平原亚相;冷 87 井、冷新 1 井和冷科 1 井所在的冷湖五号构造 1 高点主要发育辫状河三角洲沉积相的辫状河三角洲前缘亚相,北部发育平原亚相;冷 92 井、冷 91 井和冷 9-2-3 井所在的冷湖五号构造 4 高点开始发育湖泊相沉积,并与辫状河三角洲前缘沉积相过渡;冷六 1 井所在的冷湖六号构造和冷七 3 井所在的冷湖七号构造均发育湖泊沉积相的滨浅湖沉积亚相.

下干柴沟组上段(E_3^2)沉积期,沉积相呈带状自北东向南西方向依次发育冲积扇、辫状河、辫状河三角洲平原、辫状河三角洲前缘、滨浅湖沉积,继承性发育北东方向物源,与干柴沟组下段相比沉积相带进一步向北东退积,表现为一水进过程(图 8). 湖泊相面积继续扩大同时其他沉积相范围进一步缩小,冷浅 4 井、潜参 1 井和赛心 1 井所在的冷东地区在上一时期沉积相发育的基础上,其西北部发育的辫状河沉积相范围进一步缩小,大部分地区发育辫状河三角洲沉积的平原亚相;深 81 井和冷 96 井所在的冷湖四号构造也以发育辫状河三角洲平原亚相沉积为主;冷 87、冷新 1 和冷科 1 井所在的冷湖五号构造 1 高点发育辫状河三角洲

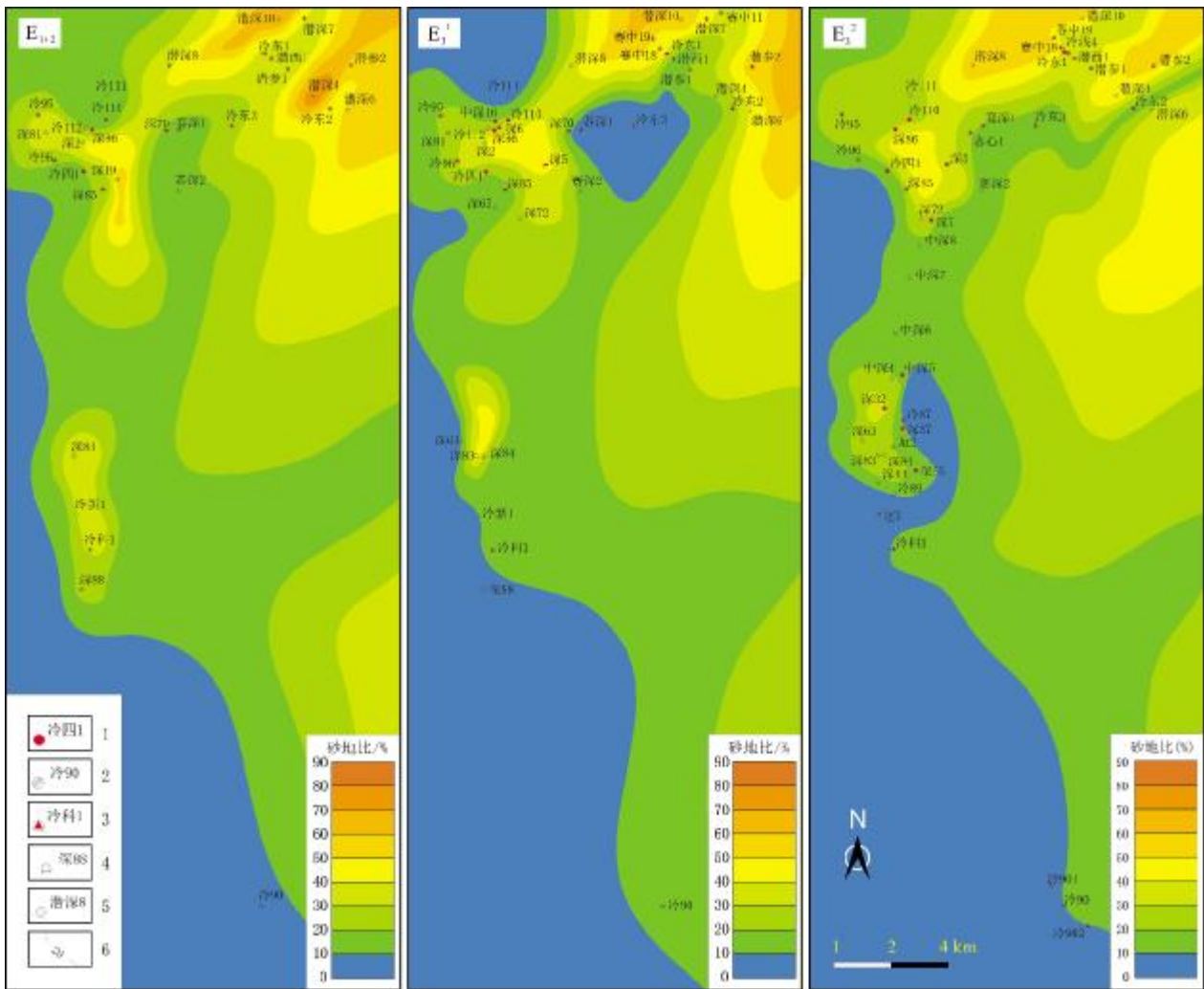


图7 冷湖地区古近系砂地比等值线图

Fig. 7 Contour map of Paleogene sandstone-formation ratio in Lenghu area

1—工业油流油气井 (well with industrial oil flow/ oil-gas flow); 2—工业气流井 (well with industrial gas flow); 3—油气层井 (well with oil-gas reservoir); 4—油气显示井 (well with oil-gas show); 5—预探井 (preliminary prospecting well); 6—砂岩厚度等值线 (sandstone thickness contour)

平原亚相沉积的同时,南部前缘亚相面积进一步扩大;冷92、冷91和冷9-2-3井所在的冷湖五号构造4高点、冷六1井所在的冷湖六号构造和仙西1井所在的冷湖七号构造均发育湖泊沉积相的滨浅湖沉积亚相。

5 结论

(1)冷湖构造带古近系沉积时期物源主要来自大、小赛什腾山,沉积相带具有自北东向南西渐变的带状分布特征.自路乐河组沉积时期到下干柴沟组上段沉积时期,整体表现为一个水进过程,湖盆范围逐渐增大,沉积相带逐步后退,纵向上沉积物具有正旋回特

征,具有较好的继承性沉积的特征.砂体分布与沉积相具有很好的匹配性,具带状分布规律。

(2)路乐河组在冷湖地区分布较广泛,岩性粒度较粗,自盆地边缘向盆地中心沉积厚度逐渐增大,自下而上由粗变细呈较明显的正韵律旋回,主要以冲积扇和辫状河沉积为主,粗碎屑发育,利于优质储层的形成;下干柴沟组下段具有完整的正旋回特征,上段粒度变粗,主要发育辫状河和辫状河三角洲平原沉积,局部发育三角洲前缘和滨-浅湖沉积,上部大范围的细粒沉积有利于形成区域盖层,有利于形成较好的储盖组合,对油气藏非常有利。

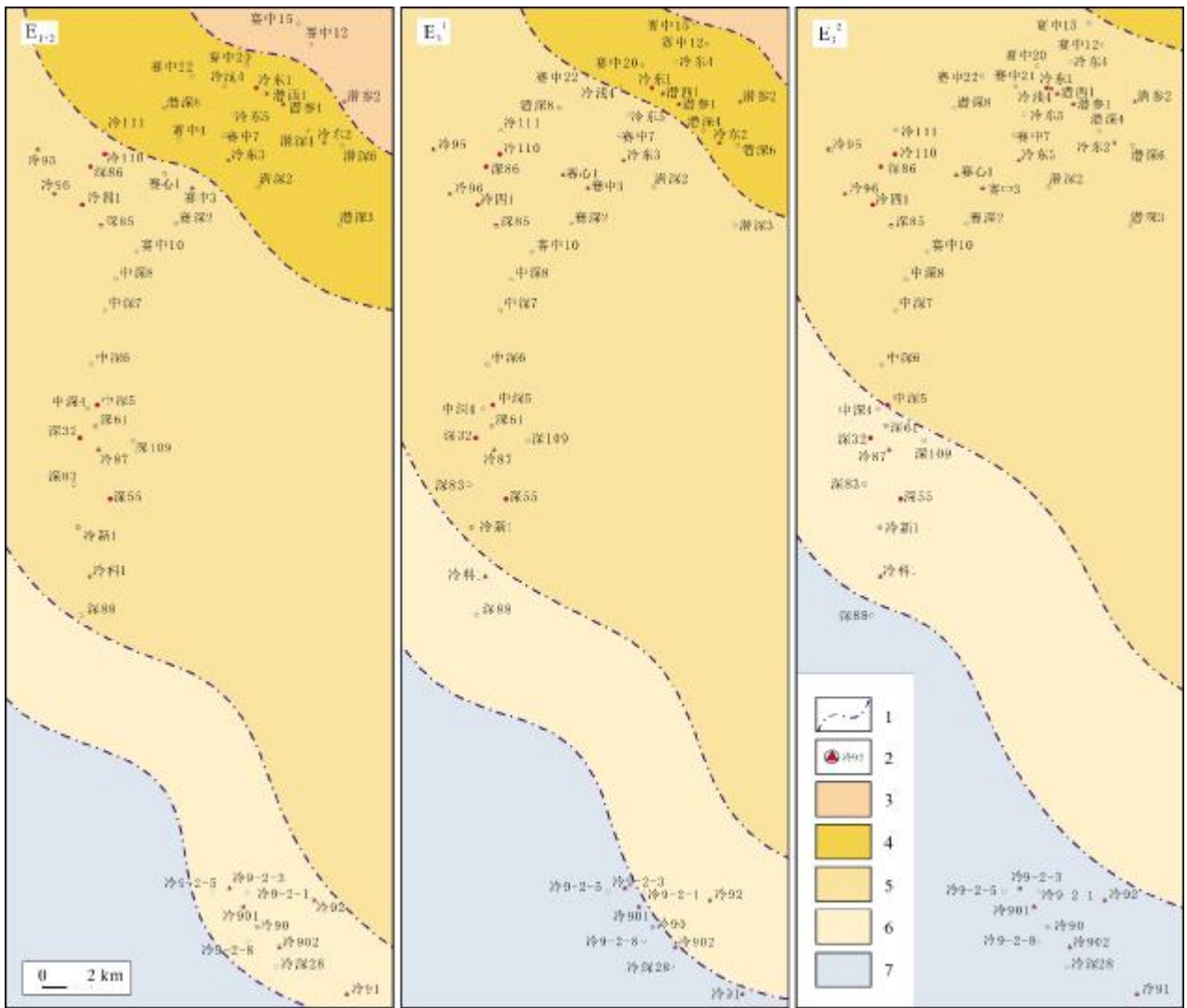


图 8 冷湖地区古近系沉积相平面分布图

Fig. 8 Plane distribution of the Paleogene sedimentary facies in Lenghu area

1—沉积相界(sedimentary facies boundary); 2—井位(well position); 3—冲积扇(alluvial fan); 4—辫状河(braided river); 5—辫状河三角洲平原(braided river delta plain); 6—辫状河三角洲前缘(braided river delta front); 7—滨浅湖(shore-shallow lake)

参考文献:

[1]付锁堂. 柴达木盆地天然气勘探领域[J]. 中国石油勘探, 2014, 19(4): 1-10.

[2]孙国强, 郑建京, 苏龙, 等. 柴达木盆地西北区中-新生代构造演化过程研究[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(2): 212-217.

[3]陈志勇, 肖安成, 周苏平, 等. 柴达木盆地侏罗系分布的主控因素研究[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 149-155.

[4]赵凡, 孙德强, 闫存凤, 等. 柴达木盆地中新生代构造演化及其与油气成藏关系[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(5): 940-947.

[5]李明义, 岳湘安, 江青春, 等. 柴达木盆地北缘主要构造带构造演化与油气成藏关系[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(3): 461-468.

[6]张正刚, 袁剑英, 陈启林. 柴北缘地区油气成藏模式与成藏规律[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 649-652.

[7]王步清, 王清华, 陈汉林, 等. 柴北缘冷湖地区构造建模和构造分析[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(4): 430-434.

[8]李宏义, 汤良杰, 姜振学, 等. 柴达木盆地北缘冷湖七号构造油气成藏过程与模式[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 267-272.

[9]贾艳艳, 史基安, 申玉山, 等. 柴北缘冷湖五号构造上干柴沟组储层特征研究[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2013, 35(4): 43-50.

[10]孙国强, 陈波, 郑永仙, 等. 柴北缘冷湖五号构造中新统成岩作用及沉积环境[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(4): 679-688.

[11]郭佳佳, 孙国强, 龙国徽, 等. 柴达木盆地北缘冷湖五号构造下侏罗统沉积-成岩环境分析[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(12): 1839-1845.

[12]刘伟明, 孙国强, 谢梅, 等. 柴达木盆地北缘冷湖五号下侏罗统碎屑锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(9):

- 1312-1321.
- [13]孙国强,司丹,王牧,等.柴达木盆地北缘地区构造运动过程及油气藏类型[J].天然气地球科学,2012,23(5):826-832.
- [14]陈波,陈汾君,吴志雄,等.柴北缘冷湖地区古近系路乐河组成岩作用及有利成岩相研究[J].地质科技情报,2015,34(4):20-27.
- [15]翟志伟,张永庶,杨红梅,等.柴达木盆地北缘侏罗系有效烃源岩特征及油气聚集规律[J].天然气工业,2013,33(9):36-42.
- [16]田光荣,阎存凤,妥进才,等.柴达木盆地柴北缘煤成气晚期成藏特征[J].天然气地球科学,2011,22(6):1028-1032.
- [17]陈志勇,汪立群,陈书平,等.冷湖构造带西段新生界构造模型及变形特征[J].新疆石油地质,2005,26(6):614-617.
- [18]嵯喜准,王琪,郝乐伟,等.柴北缘中部下干柴沟组下段成岩演化与储层评价[J].兰州大学学报:自然科学版,2009,45(4):23-29.
- [19]陈吉,史基安,龙国徽,等.柴北缘古近系—新近系沉积相特征及沉积模式[J].沉积与特提斯地质,2013,33(3):16-26.
- [20]汪立群,徐凤银,庞雄奇,等.马海—大红沟凸起油气勘探成果与柴达木盆地北缘的勘探方向[J].石油学报,2005,26(3):21-25,32.
- [21]Zhuang G S, Hourigan J K, Ritts B D, et al. Cenozoic multiple-phase tectonic evolution of the Northern Tibetan Plateau: Constraints from sedimentary records from Qaidam Basin, Hexi Corridor, and subei Basin, Northwest China [J]. American Journal of Science, 2011,311:116-152.
- [22]曾旭,田继先,周飞,等.柴达木盆地中东部深层天然气成藏条件与勘探潜力[J].新疆石油地质,2015,36(1):30-34.
- [23]Morton A C. Influences of provenance and diagenesis on detrital garnet suites in the Paleocene Forties sandstone, Central North Sea [J]. Journal of Sediment Research, 1987,57(6):1027-1032.
- [24]Dill H G. Can REE Patterns and U-Th variations be used as a tool to determine the origin of apatite in clastic rocks? [J]. Sedimentary Geology, 1994,92(3/4):175-196.
- [25]Morton A C, Hallsworth C. Identifying provenance specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones [J]. Sedimentary Geology, 1994,90(3/4):241-256.
- [26]刘伟明,孙国强,郭佳佳,等.柴北缘西段古近纪物源体系分析[J].沉积与特提斯地质,2018,38(1):53-61.
- [27]林洪,李凤杰,李磊,等.柴达木盆地北缘古近系重矿物特征及物源分析[J].天然气地球科学,2014,25(4):532-541.
- [28]李俊武,代廷勇,李凤杰,等.柴达木盆地鄂博梁地区古近系沉积物源方向分析[J].沉积学报,2015,33(4):649-658.
- [29]孙国强,马进业,司丹,等.地震属性在马仙地区下干柴沟组下段沉积环境分析中的应用[J].天然气地球科学,2013,24(6):1246-1252.
- [30]周科.柴西缘干柴沟地区古近系下干柴沟组物源分析与沉积特征[D].西安:长安大学,2015.

(上接第 511 页 /Continued from Page 511)

- [12]黄康有,魏金辉,陈碧珊,等.最佳类比法的孢粉-古气候定量重建研究进展[J].第四纪研究,2013,33(6):1069-1079.
- [13]赵秀兰,赵传本,关学婷,等.利用孢粉资料定量解释我国第三纪古气候[J].石油学报,1992,13(2):215-225.
- [14]刘耕武,李代芸,黄翡,等.云南元谋盆地上新世甘棠组植物和孢粉组合及其古气候意义[J].古生物学报,2002,41(1):1-9.
- [15]唐领余,毛礼米,吕新苗,等.第四纪沉积物中重要蕨类孢子和微体藻类的古生态环境指示意义[J].科学通报,2013,58(20):1969-1983.
- [16]魏雪苹,张宪春.蕨类植物不同孢子裂缝类型在中国的分布格局[J].生物多样性,2016,24(10):1129-1134.
- [17]赖维成,周心怀,腾玉波,等.多期三角洲叠加层序的体系域划分——以渤海海域 BZ19-4 区东二层序为例[J].地层学杂志,2009,33(1):82-86.
- [18]鲁洪波,姜在兴,唐大海,等.孢粉古生态分析在层序地层学研究中的应用[J].石油大学学报(自然科学版),1998,22(4):18-20.
- [19]童国榜,郑绵平,袁鹤然,等.江汉盆地始新世中、晚期孢粉组合特征及其环境意义[J].地球学报,2001,22(1):73-78.
- [20]刘耕武.伏平粉属(新属) *Fupingopollenites* gen. nov. 及其时空分布[J].古生物学报,1985,24(1):64-70.
- [21]Hermann E, Hochuli P A, Bucher H, et al. Terrestrial ecosystems on North Gondwana following the end-Permian mass extinction [J]. Gondwana Research, 2011,20(2-3):630-637.
- [22]Schneebeil-Hermann E, Kürschner W M, Kerp H, et al. Vegetation history across the Permian-Triassic boundary in Pakistan (Amb section, Salt Range)[J]. Gondwana Research, 2015,27(3):911-924.
- [23]陈金霞,石学法,乔淑卿.渤海地区全新世孢粉序列及古环境演化[J].海洋学报,2012,34(3):99-105.