

柴西南地区 E_3^1 构造岩性油气藏形成条件 及有利勘探区带

张晓宝^{1,2}, 平忠伟³, 张道伟⁴, 王 琪^{1,2}, 陶辉飞^{1,2}, 王国仓³

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心, 甘肃 兰州 730000;

2. 中国科学院油气资源研究重点实验室, 北京 100029;

3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 中国石油青海油田分公司, 甘肃 敦煌 736202)

摘要:柴西南地区具备 E_3^1 构造岩性油气藏形成的地质条件。生油岩地球化学特征和油源对比研究表明,柴西南地区下第三系发育扎哈泉和英雄岭 2 个大的生油凹陷,凹陷内发育 E_3^1 和 E_3^2 2 套有效生油岩,为构造岩性油气藏形成提供了油源条件。柴西南地区存在与英雄岭和扎哈泉生油凹陷相接的红柳泉—跃进、铁木里克和昆北断阶带 3 个古斜坡,为构造岩性油气藏形成创造了大型的古构造斜坡背景。柴西南地区昆北断阶带和尕斯断陷内存在下倾方向与生油凹陷相邻的成排成带发育的断背斜和断鼻等构造,为构造岩性油气藏的形成提供了局部构造斜坡背景。在区域和局部构造斜坡背景上柴西南地区下干柴沟组下段(E_3^1)沉积时期存在辫状河三角洲和湖泊相构成的沉积体系,发育了 6 个辫状河三角洲。柴西南辫状河三角洲外前缘发育河口坝、远端坝和席状砂,主要分布在尕斯断陷内的构造圈闭的斜坡区,油源和圈闭条件优越,是构造岩性油气藏勘探最有利的地区。柴西南辫状河三角洲前缘发育水下分流河道砂体,分布在昆北断阶带和尕斯断陷部分断鼻或断背斜的斜坡带,油源较充裕,但封堵条件较差,是构造岩性油气藏勘探较有利的区带。

关键词:成藏条件;构造岩性油气藏;柴西南地区

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2011)02-0240-10

引用格式: 张晓宝,平忠伟,张道伟,等. 柴西南地区 E_3^1 构造岩性油气藏形成条件及有利勘探区带[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(2): 240-249.

本文中提到的构造岩性油气藏是指在构造斜坡背景下或背斜两翼形成的岩性油气藏。从构造油气藏勘探向构造岩性油气藏勘探的转变是当前我国油气勘探的主要趋势之一。我国东部地区构造岩性油气藏的探明储量已占到当年新发现储量的 60%~70%,西部地区各盆地中如鄂尔多斯盆地、塔里木盆地和准噶尔盆地,岩性地层油气藏的储量比例也在大幅度上升。与我国其他盆地类似,柴达木盆地自 20 世纪 50 年代以来的油气勘探一直以构造油气藏勘探为主^[1],近年来,柴达木盆地西南地区构造岩性油气藏勘探取得了重大成果^[2],在昆北断阶带、乌南北斜坡、红柳泉斜坡和七个泉斜坡等处找到了亿吨

级的油气控制储量^[3-4],同时在构造岩性油气藏圈闭形成^[5]、储层特征^[6]、成藏控制因素^[2-4]和成藏过程^[7]等研究方面进行了大量的探索。本文系统总结了柴西南地区 E_3^1 构造岩性油气藏形成的油气源、构造和沉积等地质条件,并通过构造图与沉积相图的叠合,指出了有利勘探区带。

1 区域地质概况

柴达木盆地位于青藏高原北部,其北东为祁连山脉,西北为阿尔金山脉,南边为昆仑山脉,大致呈一个不规则菱形区带。盆地东西长 850 km,南北宽 150~300 km,面积约为 $1\ 211 \times 10^4$ km²。盆内沉积

收稿日期: 2011-01-30; 修回日期: 2011-04-13.

基金项目: “稀有气体作为油气田开发天然示踪剂的基础与应用理论”项目(编号: 40472071)资助.

作者简介: 张晓宝(1958-), 男, 新疆奇台人, 研究员, 博士, 从事天然气地球化学、沉积学、油气地质综合研究. E-mail: xzbzhang@lzb. ac. cn.

岩广泛分布,最大厚度为 1 712 km,厚度大于 1 000 m 的沉积岩分布面积占 $9.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。柴达木盆地为一个大型内陆中生代发育的压性或压扭性沉积、沉降盆地^[8-11]。早第三纪的喜马拉雅运动,使盆地古地形逐渐由中生代的南高北低转化为北高南低、东高西低,沉积中心随之向南、向西迁移,沉积湖盆也迅速发展壮大,在盆地中西部地区沉积了巨厚的暗色泥岩。晚第三纪至第四纪的喜马拉雅运动,使盆地周缘山系进一步隆升,盆地西部结束了拗陷的发展时期而进入褶皱回返阶段,沉积中心逐渐向东迁移,到第四纪,沉积中心已迁移到东部三湖地

区,形成第四纪新拗陷^[12-14]。受上述构造沉积演化的控制,柴达木盆地自下而上发育了侏罗系(J)、白垩系(K)、下第三系路乐河组(E₁₊₂)、下干柴沟组下段(E₃₁)、下干柴沟组上段(E₃₂)、上第三系上干柴沟组(N₁)、下油砂山组(N₂₁)、上油砂山组(N₂₂)、狮子沟组(N₃)和第四系(Q)地层。根据柴达木盆地的构造特征、地层分布、沉积特征和石油地质条件可以将柴达木盆地分为柴西拗陷带、柴北缘块断带和三湖拗陷带 3 个一级构造单元。其中柴西拗陷带又可以细分为阿尔金斜坡、柴西南断陷、茫崖凹陷、大风山鼻隆和一里坪凹陷等 5 个二级构造单元(图 1)。

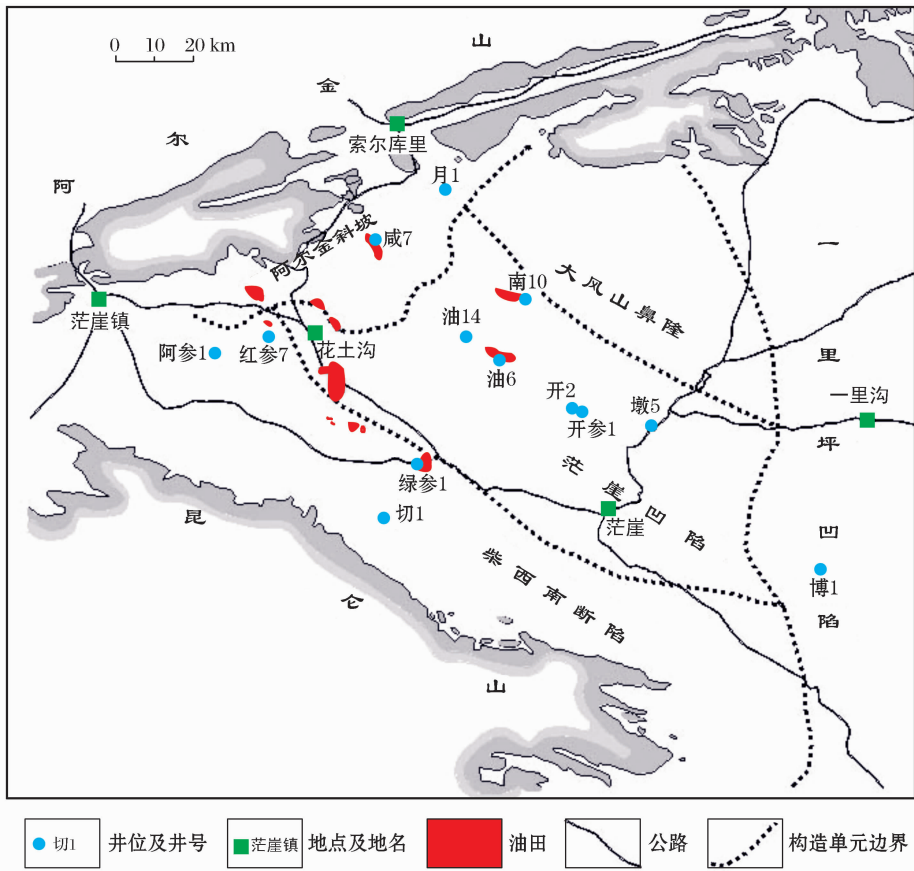


图 1 研究区构造单元分区

柴西南地区是指昆仑山以北、英雄岭以南、西北抵阿尔金山前、东至东柴山地区,有利勘探面积为 $6\,000 \text{ km}^2$,由昆北断阶带、尕斯断陷和狮子沟—油砂山断阶带组成^[1]。研究区位于柴达木盆地柴西拗陷带柴西南断陷,西起砂西—尕南 1 井—一切 2 井—线,东至茫崖镇,南部以昆仑山为界,北至砂新 1 井—北参 1 井—茫南 1 井—线,以Ⅺ号断层为界,研究区面积约为 $5\,000 \text{ km}^2$ 。柴西南第三纪以来经历了走滑拉分、挤压拗陷和抬升剥蚀 3 个构造演化阶段^[5],第三系厚度超过了 $5\,000 \text{ m}$ 。柴西南地区是柴达木盆地

的油气富集区,石油资源量为 $2.558 \times 10^8 \text{ t}$,天然气资源量为 $275.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[1]。柴西南地区勘探程度相对较高,是青海油田主要产油区。目前油气勘探主要集中于尕斯断陷和昆北断阶带,主要勘探目的层为 E₃₁、E₃₂、N₁ 和 N₂₁。经过 50 年的勘探,截至 2006 年底,已发现七个泉、红柳泉、狮子沟、花土沟、尕斯库勒、跃进二号、油砂山和乌南等 8 个油田,累计探明石油地质储量为 $2.51 \times 10^8 \text{ t}$,被称为“油气富集黄金带”^[15]。

柴达木盆地第三纪湖盆的演化是一个随着青藏高原隆升而变化的,经历了从第三纪早期的路乐河期、

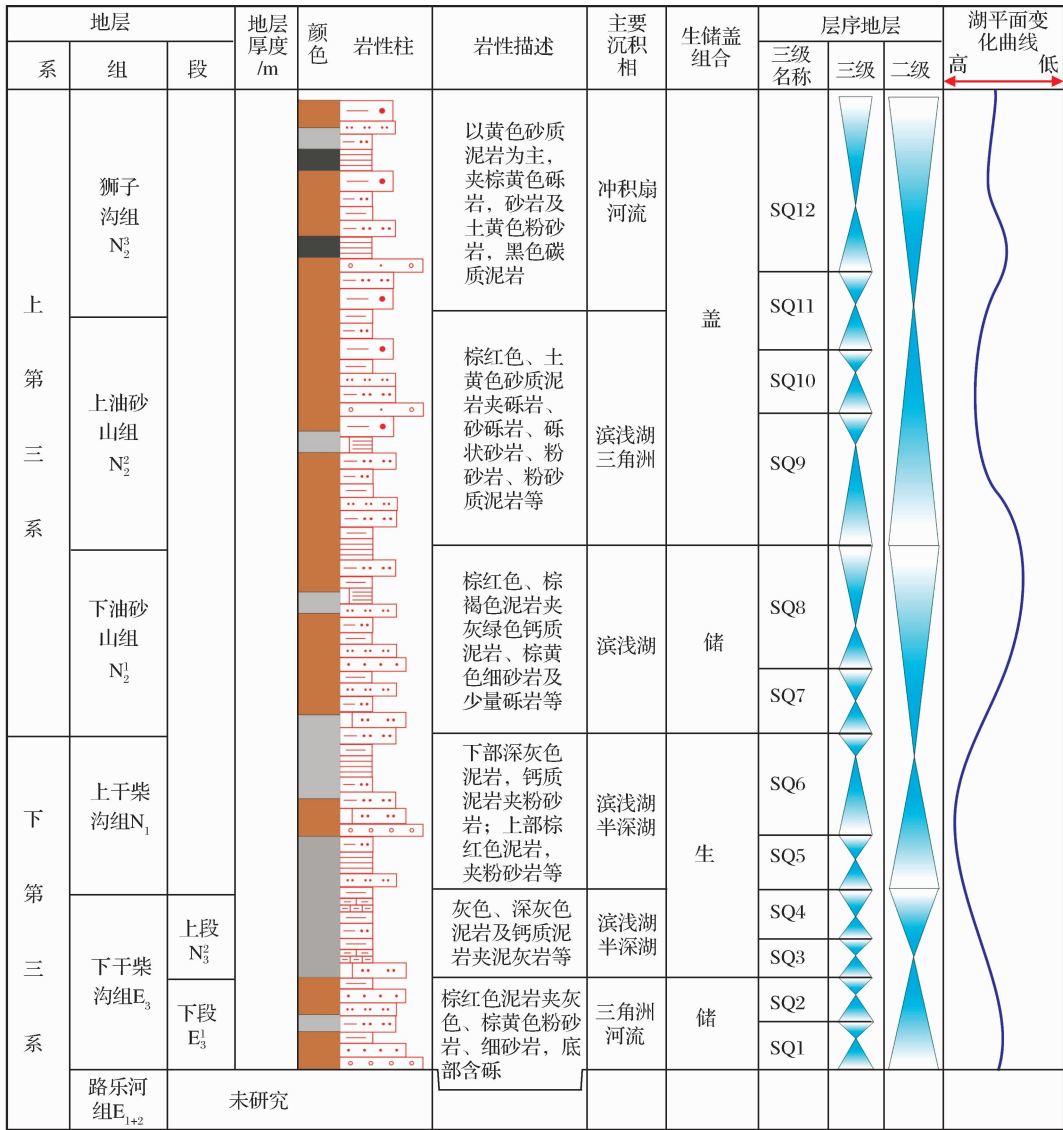


图 2 研究区层序地层格架划分

下干柴沟期早期湖盆开始发展,到下干柴沟期晚期和上干柴沟期湖盆从发展到鼎盛,最后到狮子沟期湖盆结束这样一个完整的过程^[2-3,5,16-17](图 2)。柴西南地区第三系可划分为 12 个三级层序: E₃³、E₃²、N₁、N₂¹ 都为 2 个, N₂² 为 2 个半, N₂³ 为 1 个半(图 2)。柴西南地区 E₃¹ 垂向上存在 SQ1 和 SQ2 2 个三级层序,分别代表 2 次湖进、湖退和辫状河三角洲退积和进积过程(图 2)。柴西南地区 E₃¹ 平面上是由辫状河三角洲和湖泊相构成的沉积体系。

2 构造岩性油气藏形成条件

2.1 构造岩性油气藏形成的油气源条件

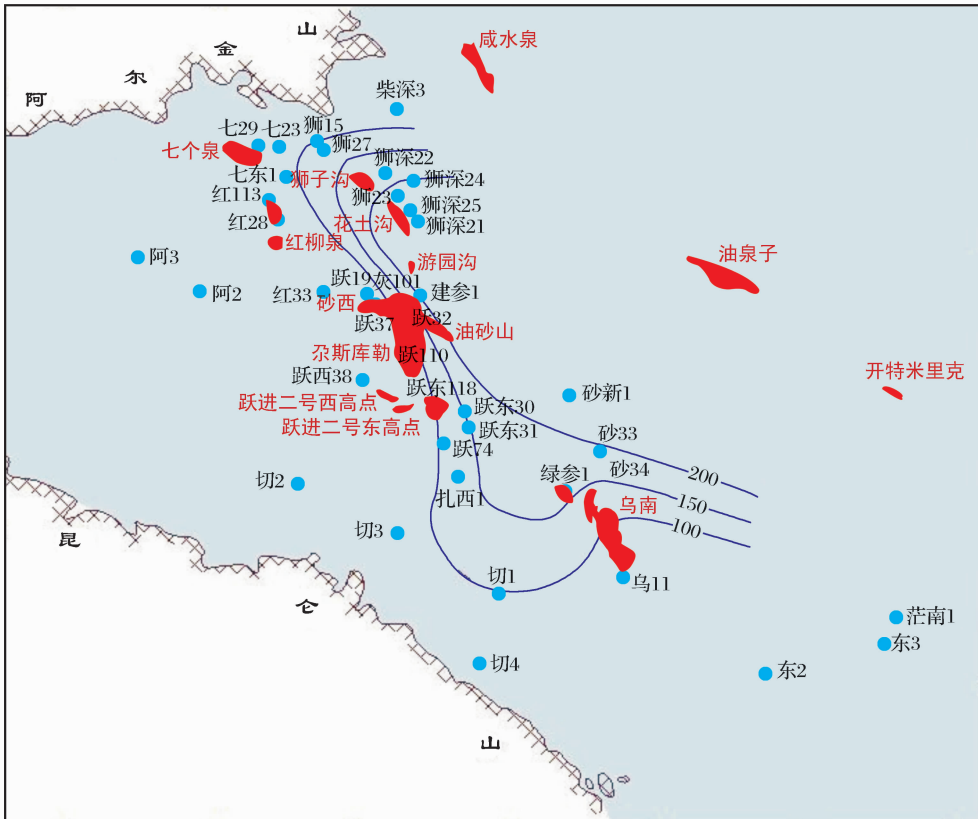
2.1.1 有效烃源岩分布

油源对比和有机质丰度数据表明,柴西南地区主要烃源岩为 E₃²、E₃¹ 上部和 N₁ 下部^[1-4]。如果以

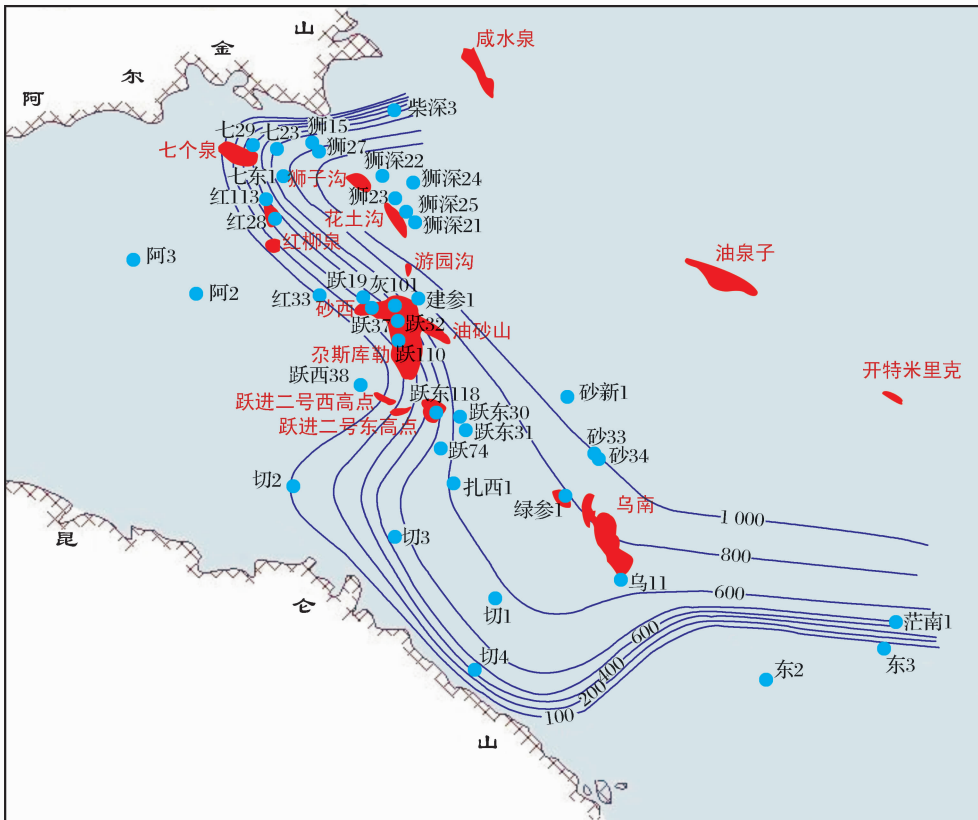
有机碳含量 0.4% 作为标准,并考虑成熟度 (R_o) 大于 0.5% 且厚度大于 100 m 为有效烃源岩,则柴西南地区 E₃¹ 有效烃源岩主要分布于七个泉—跃进一号—一切 1 井以东地区,面积约为 2 800 km²(图 3a)。柴西南地区 E₃² 有效烃源岩分布于七个泉—砂西—跃西和切克里克以东地区,面积约为 3 600 km²(图 3b)。

2.1.2 油源对比

油源对比表明,柴西南地区原油分为 2 类: I 类——具有高伽玛蜡烷,主要来源于高盐度—强还原沉积体系; II 类——低(中)伽玛蜡烷,来源于相对盐度较高—较弱还原性的沉积体系。2 类原油的分界点位于跃进一号构造和跃进二号构造之间。综合 E₃ 有效烃源岩分布特征和现有油藏原油类型分布特征,在柴西南区存在 2 个主要生烃凹陷,英雄岭生油凹陷和扎哈泉生油凹陷^[15]。以阿拉尔断裂为界,



(a) 下干柴沟组下段



(b) 下干柴沟组上段

油田
 厚度等值线
 井位及井号

图 3 柴西南地区有效烃源岩分布

英雄岭凹陷湖盆较为封闭,而扎哈泉凹陷相对开放。目前,柴西南地区发现的油藏都在 E_3^2 优质烃源岩附近或运移方向上,油藏与烃源岩相距不远,符合陆相盆地的特征。优质烃源岩的分布控制着油气藏的分布。油源对比表明,跃进二号—跃进四号原油主要来自扎哈泉凹陷。乌南油田北侧原油来自英雄岭凹陷,而南侧原油与跃东原油有相似之处都自于扎哈泉凹陷^[15]。扎哈泉凹陷生成的油气可以向东西两侧运移,也应该向南通过昆北断裂运移至切克里地区。油源对比表明,前述现今构造的斜坡部位都在油气运移的路径上,是构造岩性油气藏成藏的可利部位^[15]。

2.2 构造岩性油气藏形成的构造条件

2.2.1 古构造斜坡

据研究,从柴西南构造形成时间和油气成藏的匹配关系来看,晚期成藏的有效性跟构造形成的时间有很大的关系,晚期高效成藏的时间(N_2 末期以来)决定了柴西南地区发育 N_2 末之前形成的构造或构造背景的部位是油气富集的可利部位,油气往往在具有古构造背景的部位相对富集。在认识到 N_2 末期以前构造背景与油气规模成藏关系密切基

础上,通过古构造恢复可以发现,现今的油气藏分布与当时的古构造及相关斜坡带的分布吻合甚好(图 4),显示关键成藏期之前的构造背景和构造雏形对柴西地区油气分布的可利控制作用^[4]。柴西南区现今表现为以阿拉尔和昆北断层为界,形成了红柳泉—跃进、铁木里克和昆北断阶带 3 个斜坡与英雄岭和扎哈泉凹陷相接的构造格局(图 4)。这一格局有较强的继承性,只是在 E_{1+2} 和 E_3^1 时期,中生界向山前加厚,沉积的填齐补平作用,使红柳泉—跃进斜坡不很明显。但 E_3^2 时期,柴西南湖盆扩大,3 个斜坡和 2 个凹陷格局显现。上、下第三系之间柴西地区构造有一个较大的变化,阿尔金山的隆升使七个泉和红柳泉地区抬升较快,湖盆由狮子沟地区向东迁移到扎哈泉地区。现今发现的油藏大多都位于古斜坡区,说明 3 大斜坡区是油气运移的可利指向区^[2]。

2.2.2 今构造斜坡

现今背斜、断背斜和断块的斜坡部位往往是构造岩性油气藏形成可利的具体构造位置。因此,本文对研究区现今构造斜坡部位也进行了研究。该区的构造是由下第三系断拗复合演化阶段所形成,由于

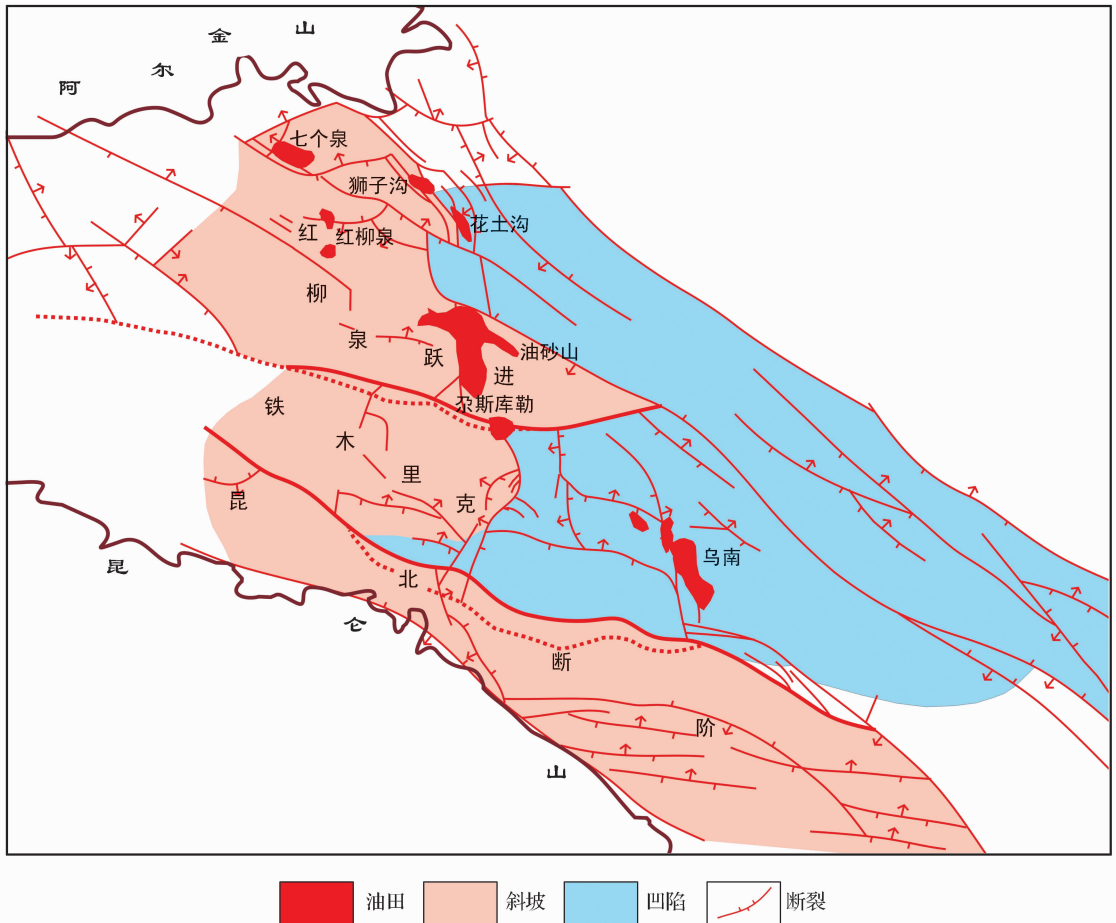


图 4 柴西南地区古构造格局

走滑拉分作用,形成的七个泉、红柳泉、阿拉尔、Ⅲ号、切南等 NWW 向深大断裂呈雁行排列。上新世—第四纪褶皱回返阶段,早第三纪断陷构造格局消失,只有部分断裂得到继承和发展,由于昆北断裂开始活动,Ⅵ号断裂对冲,使 SN 挤压应力集中释放在昆北断阶带和狮子沟—油砂山构造带。该区断裂十分发育,以走滑—逆断层为主,主要有 3 组,即 NWW 向逆断层、NNW 向逆断层和 NE 向逆断层。研究区跨盆地内存在 3 个一级构造单元:昆北断阶带、尕斯断陷带和狮子沟—油砂山断阶带^[15](图 5)。目前油气勘探主要集中于尕斯断陷带和昆北断阶带。

(1)昆北断阶带。昆北断阶带呈北西向展布,南以昆仑山为界,北以阿拉尔断层西段和昆北断层为界与尕斯断陷相邻(图 5)。构造带内的断层主要发育在该构造带的东部,与昆北断层基本平行,构造圈闭与断层相间出现,也主要发育在该构造带的中东部。目前已发现和落实了切南 1 号、切 2、切 4 号、切 6 号、切 8 号、切 9 号、切 11 号、切 12 号、切 13 号和切 14 号等小型断鼻、断块及背斜构造。

(2)尕斯断陷带。尕斯断陷带亦呈北西向展布,南以昆北断层为界,北以Ⅺ号断裂为界。尕斯断陷带包括跃进二号—跃东—跃东东构造带、尕南—跃进四号—扎哈泉构造带、乌南—绿草滩构造带和东柴山构造带。跃进二号—跃东—跃东东构造带是发育在阿拉尔断裂上盘并受该断裂控制的构造带,构造带走向与阿拉尔断裂走向一致,该构造带主要包括跃西断背斜、跃进二号背斜、跃进三号背斜、跃东断鼻及跃东东断鼻构造。尕南—跃进四号—扎哈泉构造带位于阿拉尔断裂以南、Ⅲ号断裂以北,总体为一西高东低、北高南低走向北西的斜坡带,由西向东主要发育有尕南斜坡,跃进四号单斜构造,跃进三号断块构造,扎哈泉背斜和扎西断鼻构造。乌南—绿草滩构造带是一被断裂复杂化了的由东南向西北倾伏的大型鼻状构造。Ⅲ号断裂控制了扎哈泉—绿草滩—乌南构造带的发育。通过三维地震资料精细解释,在鼻状构造轴线高部位断裂十分发育,形成乌南主体含油构造。东柴山构造带位于昆北断层下盘,呈北西向展布,由一系列与断层相间排列的断背斜和断鼻组成。

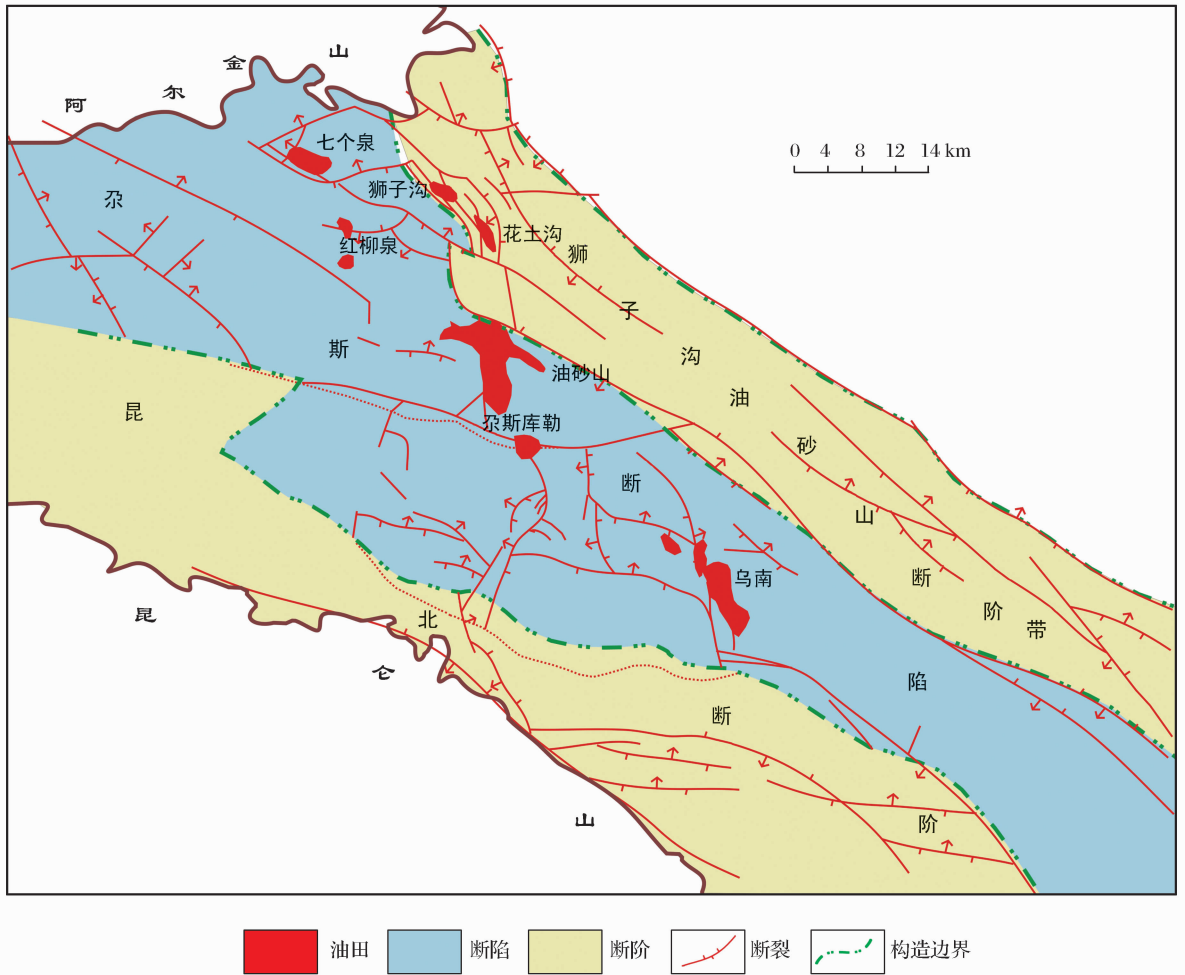


图 5 柴西南地区构造分区

(3)狮子沟—油砂山断阶带。狮子沟—油砂山断阶带受控于其南部的Ⅺ号断层和北部的英北断层。该构造带主要发育砂西—尕斯—油砂山深层构造带。砂西—尕斯—油砂山深层构造带受控于Ⅺ号断裂,构造带走向 NWW,自西向东包括:狮子沟、花土沟、游园沟及砂西深层断鼻,跃进一号深层断背斜,油砂山深层断块等。该构造带除跃进一号深层背斜为近南北走向外,其余构造与Ⅺ号断裂的展布方向基本一致。

2.3 构造岩性油气藏形成的沉积储层条件

下干柴沟组下段(E₃)时期柴西南地区平面上呈辫状河三角洲和湖泊相构成的沉积体系(图6),受典型的缓坡式沉积模式控制^[5]。柴西南地区第三系碎屑岩沉积主要有6大物源供给方向,分别是阿尔金山前物源、阿拉尔河物源、铁木里克河物源、祁漫塔格山东物源、东柴山和茫南物源。受以上沉积物源的控制,发育了6个辫状河三角洲。广义的辫状河三角洲前缘又可以进一步划分为辫状河三角洲前缘和辫状河三角洲外前缘(图6)。辫状河三角洲前缘主要发育水下分流河道砂体,辫状河三角洲外前缘主要发育河口坝、远砂坝和席状砂。阿尔金山

前辫状河三角洲前缘主要发育在红柳泉斜坡至尕斯库勒油田,外前缘主要发育在花土沟油田和游园沟斜坡一带;阿拉尔辫状河三角洲前缘主要发育在尕斯库勒湖、砂西斜坡到尕斯油田一带,外前缘主要发育在尕斯库勒油田东南斜坡;铁木里克凸起辫状河三角洲前缘主要发育在切11井、切12井附近的斜坡部位、切2井所在的铁克里克凹陷及跃进二号油田斜坡、跃进三号油田斜坡和跃进四号油田斜坡部位,外前缘位于尕斯库勒油田东南斜坡及跃东东、跃进四号和扎哈泉构造向扎哈泉凹陷的斜坡部位;祁漫塔格山辫状河三角洲前缘位于切9井到切东1井所在构造及其斜坡部位,外前缘位于乌南油田斜坡和乌东斜坡;东柴山辫状河三角洲前缘位于东柴山构造带斜坡,外前缘位于东柴山构造向东北进入茫崖凹陷内部的斜坡上。

柴西南地区辫状河三角洲外前缘是岩性油气藏形成的有利区带^[5],一方面它处于湖泊和辫状河三角洲指状交互地带,另一方面该区是次生孔隙带发育的有利部位^[6]。该部位有机质成熟演化过程中释放出的有机酸和CO₂是形成酸性环境的主要因素^[6,18]。柴西南次生孔隙主要发育在1 700~3 900 m的深度

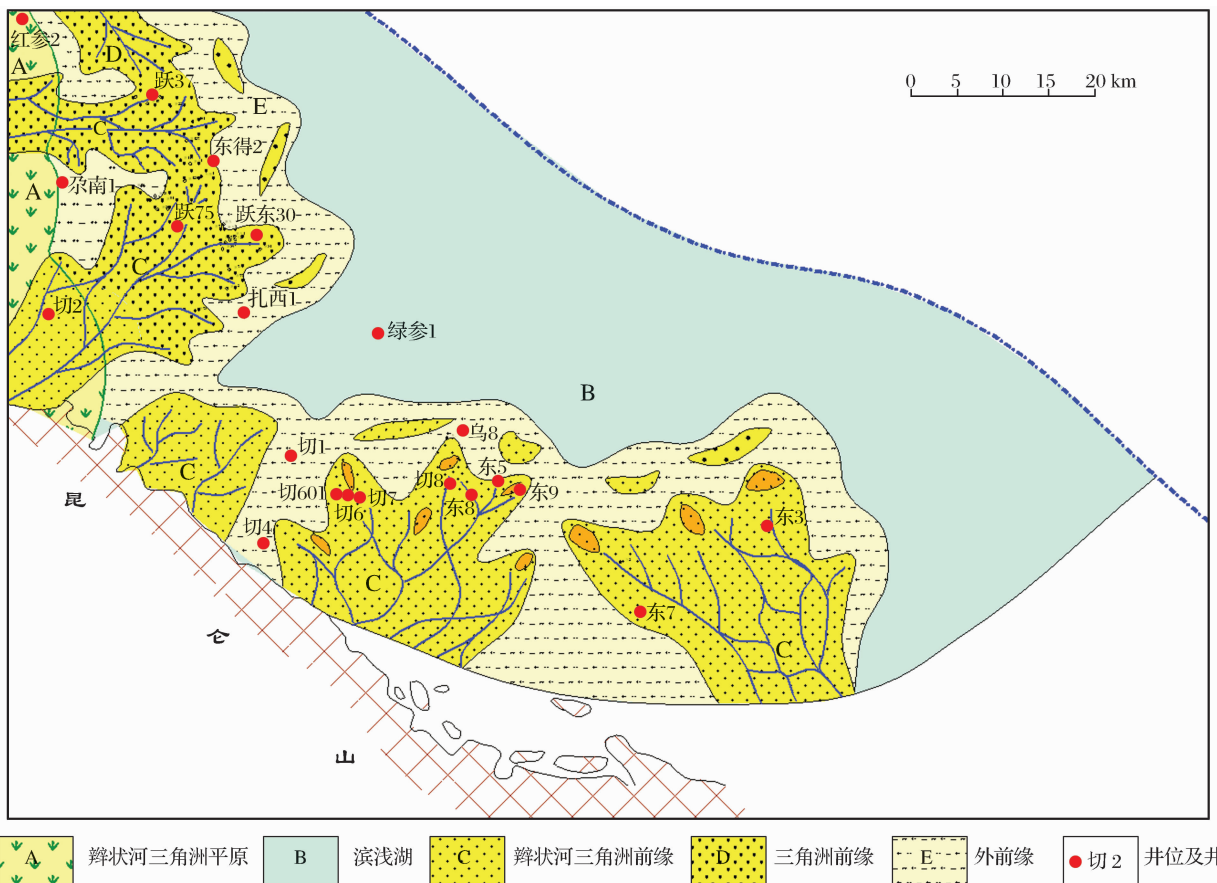


图6 柴西南地区沉积相分布

度范围,其中在 1 700~2 250 m 和 3 250~3 900 m 存在 2 个高孔渗带 [6]。

3 构造岩性油气藏勘探的有利区带

构造岩性油气藏勘探有利区带的划分主要依据油源、构造、沉积等构造岩性油气藏的形成条件。油源主要受控于沉积环境,因此可以把构造岩性油气藏的形成条件归结为构造和沉积 2 个方面。本文通过对下干柴沟组上段底部构造图和下干柴沟组下段 (E₃) 沉积相图的叠合 (图 7),对岩性油气藏有利勘探区带进行了预测。柴西南辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体分布在昆北断阶带切南 1 号、切 2、切 4 号、切 6 号、切 8 号、切 9 号、切 11 号、切 12 号、切 13 号、切 14 号、东 5 号和东 8 号等井区断鼻或断背斜的斜坡带和尕斯断陷红柳泉斜坡、砂西斜坡、尕斯南斜坡、跃进二号两翼斜坡、跃进三号两翼斜坡、跃

东东斜坡、跃进四号斜坡和东 2 井区斜坡。这些斜坡向东北距扎哈泉和茫崖凹陷较近,油源较充裕,同时又发育辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体,但砂体的上倾方向主要靠断层封堵,是构造岩性油气藏勘探较有利的区带 (图 7)。

柴西南辫状河三角洲外前缘主要分布在尕斯断陷尕斯库勒油田东南斜坡、扎哈泉斜坡、乌南两翼斜坡、乌东斜坡、东 2 井和东 3 井北斜坡。这些斜坡向东北面临或位于扎哈泉和茫崖凹陷内,油源十分充裕,同时又发育辫状河三角洲外前缘河口坝、远端坝和席状砂砂体,它们与烃源岩呈指状交错,其中河口坝和远端坝可以形成自我封闭的孤立砂体,同时又是次生孔隙的发育带,因此是构造岩性油气藏勘探最有利的地区 (图 7)。勘探实践证明,柴西南地区岩性油气藏主要发育在远源沉积体系控制下的三角洲前缘砂体中 [5,15]。

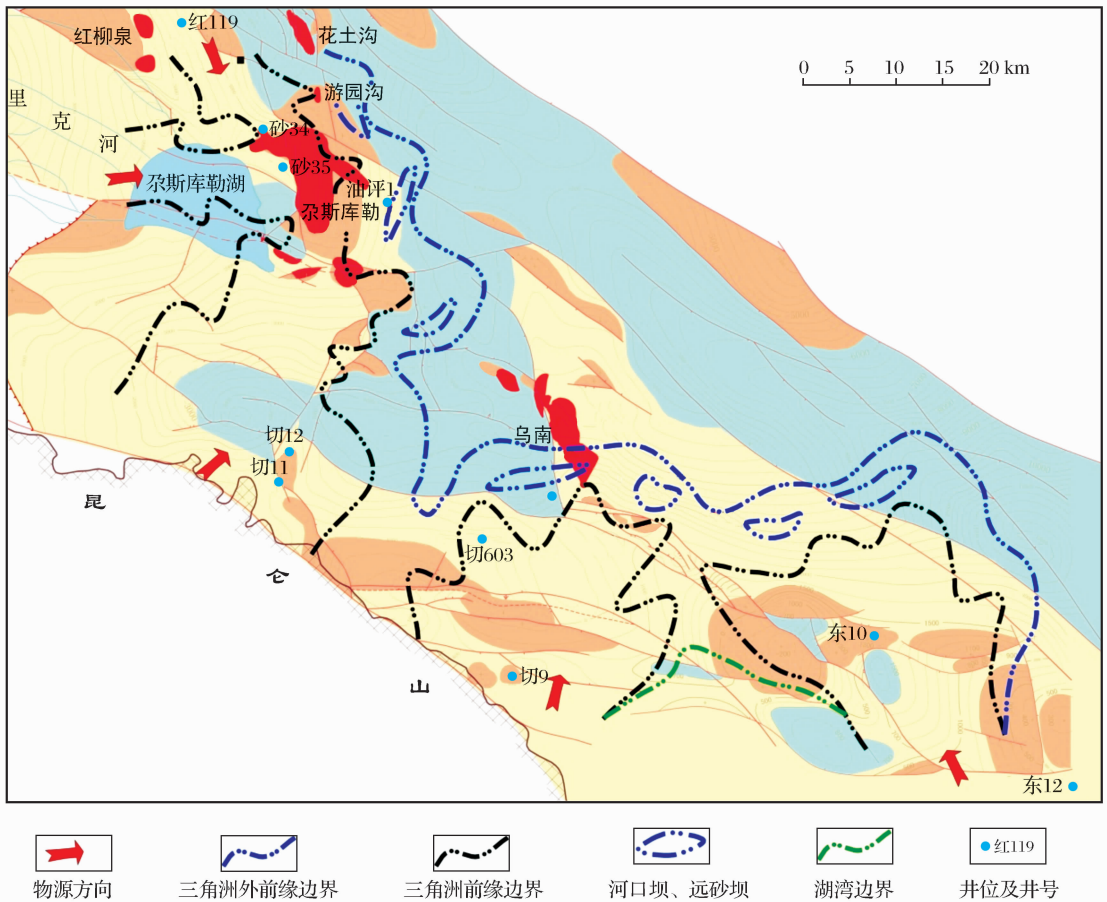


图 7 柴西南地区 (E₃ 底) 构造与下干柴沟组下段 (E₃) 沉积相叠合

4 结论

(1) 柴西南下第三系发育扎哈泉和英雄岭 2 个大的生油凹陷,凹陷内发育 E₃¹ 和 E₃² 2 套有机碳含

量大于 0.4%,成熟度 R_o 值大于 0.5% 有效生油岩。油源对比结果表明,红柳泉、跃进一号和乌南油田北侧原油来自于英雄岭凹陷;跃进二号—跃进四号、乌南油田南侧和切克里克原油主要来自扎哈泉

凹陷;说明上述构造的斜坡背景都具有油气运移的条件。

(2)柴西南地区现今表现为以阿拉尔和昆北断层为界,形成了红柳泉—跃进,铁木里克和昆北断阶带3个斜坡与英雄岭和扎哈泉凹陷相接的构造格局,为构造岩性油气藏形成创造了大型的构造斜坡背景。柴西南昆北断阶带和尕斯断陷内成排成带发育的断背斜和断鼻等构造,这些构造的斜坡面临生油凹陷或位于凹陷内,为构造岩性油气藏的形成提供了局部构造条件。

(3)下干柴沟组下段(E_3^1)沉积时期柴西南区平面上呈辫状河三角洲和湖泊相构成的沉积体系,在阿尔金山前、阿拉尔、切克里克凸起、祁漫塔格山、东柴山和茫南自西北向东南或从西南向东北发育了6个辫状河三角洲。辫状河三角洲前缘发育水下分流河道砂体,外前缘发育河口坝、远端坝和席状砂,为构造岩性油气藏的形成创造了圈闭条件。

(4)柴西南辫状河三角洲外前缘主要分布在尕斯断陷内构造圈闭的斜坡区,这些斜坡向东北面临甚至位于扎哈泉和茫崖凹陷内,油源十分充裕,同时发育辫状河三角洲前缘外带河口坝、远端坝和席状砂砂体,又是次生孔隙发育的有利部位,圈闭条件优越,是构造岩性油气藏勘探最有利的地区。柴西南辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体分布在昆北断阶带和尕斯断陷部分断鼻或断背斜的斜坡带,这些斜坡向东北距扎哈泉和茫崖凹陷较近,油源较充裕,同时又发育辫状河三角洲前缘水下分流河道砂体,但封堵条件较差,是构造岩性油气藏勘探较有利的区带。

参考文献:

- [1] Chen Qilin. Favorable condition and exploration prospecting of lithologic hydrocarbon reservoir in large-scale saline basin-Case study on the Eocene in the southwest of Qaidam basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(1): 46-51. [陈启林. 大型咸化湖盆地层岩性油气藏有利条件与勘探方向——以柴达木盆地柴西南古近纪为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 46-51.]
- [2] Zong Yiping, Fu Suotang, Zhang Daowei, *et al.* The idea and method for exploration of lithologic reservoir in south area in western Qaidam basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2010, 31(5): 460-462. [宗贻平, 付锁堂, 张道伟, 等. 柴西南区岩性油藏勘探思路及方法[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(5): 460-462.]
- [3] Fu Suotang, Xu Ligui, Gong Qinglin, *et al.* Petroleum geologic characteristics of southwestern Qaidam basin and recommendations for further exploration and study[J]. China Petroleum Exploration, 2010, (1): 6-10. [付锁堂, 徐礼贵, 巩庆林, 等. 柴西南区石油地质特征及再勘探再研究的建议[J]. 中国石油勘探, 2010, (1): 6-10.]
- [4] Fu Suotang. Key controlling factors of oil and gas accumulation in the western Qaidam basin and its implications for favorable exploration direction[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 79-85. [付锁堂. 柴达木盆地西部油气成藏控制因素与有利勘探方向[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 79-85.]
- [5] Yang Bo, Chen Haiqing, Wang Guanghua. Formation of lithologic traps and partition of favorable exploration regions in Qaixinan area of Qaidam basin[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2006, 41(supplement): 42-47. [杨波, 陈海清, 王光华. 柴达木盆地柴西南区岩性圈闭形成及有利勘探区带划分[J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(增刊): 42-47.]
- [6] Liu Wei, Zhu Xiaomin. Distribution and genesis of secondary pores in Tertiary clastic reservoir in southwestern Qaidam basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(3): 312-318. [刘伟, 朱筱敏. 柴西南地区第三系碎屑岩储集层次生孔隙分布及成因[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(3): 312-318.]
- [7] Chen Yanpeng, Liu Zhen, Li Heyong, *et al.* Sequence stratigraphic feature of the Paleogene strata in the southwestern area of Qaidam basin and the distribution mode of the subtle traps[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, 22(4): 17-21. [陈艳鹏, 刘震, 李鹤永, 等. 柴西南区古近系层序地层特征及岩性圈闭发育模式[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(4): 17-21.]
- [8] Luo Shaohui. Basin-mountain coupling mechanism of Qaidam basin[J]. Neijiang Science & Technology, 2009, (1): 86. [罗少辉. 柴西南盆地山耦合机制[J]. 内江科技, 2009, (1): 86.]
- [9] Luo Mei, Jia Shuyuan. On the geotectonic evolution of the Qaidam basin and its adjacent areas[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 1991, 13(4): 55-64. [罗梅, 贾疏源. 柴达木盆地及相邻地区地质构造演化[J]. 成都地质学院学报, 1991, 13(4): 55-64.]
- [10] Chen Shiyue, Xu Fengyin, Peng Dehua. Characteristics of basement structures and their controls on hydrocarbon in Qaidam basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2000, 21(3): 175-179. [陈世悦, 徐凤银, 彭德华. 柴达木盆地基底构造特征及其控油意义[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 175-179.]
- [11] Chen Yinbin, Yuan Jianying, Chen Qilin, *et al.* Developmental characteristics and control action of hydrocarbon accumulation in the southwest area of Qaidam basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(5): 645-648. [陈迎宾, 袁剑英, 陈启林, 等. 柴达木盆地西南部断裂发育特征及对成藏的控制作用[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(5): 645-648.]
- [12] Huang Hanchun, Zhou Xianqiang, Wang Changli. Tectonic evolution of the Qaidam basin and the regularity of oil accumulation[J]. Geological Review, 1989, 35(4): 314-323. [黄汉纯, 周显强, 王长利. 柴达木盆地构造演化与石油富集规律[J]. 地质论评, 1989, 35(4): 314-323.]
- [13] Wu Huaguo, Dai Junsheng, Yang Guoquan, *et al.* Types and oiliness of anticlines in Qaidam basin[J]. Journal of China U-

niversity of Petroleum, 2001, 25(1):1-3. [吴花果,戴俊生,杨国权,等.柴达木盆地背斜构造类型及含油气性[J].石油大学学报,2001,25(1):1-3.]

- [14] Cao Zhenglin, Sun Xiujian, Zhang Xiaojun, *et al.* Methods and techniques of lithological reservoir exploration in southwestern Qaidam basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(2): 224-229. [曹正林,孙秀建,张小军,等.柴达木盆地西南区岩性油气藏勘探方法与技术[J].天然气地球科学,2010,21(2): 224-229.]
- [15] Shi Yajun, Cao Zhenglin, Zhang Xiaojun, *et al.* Characteristics of hydrocarbon enrichment in lithologic reservoirs in the southwestern Qaidam basin[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(2): 37-41. [石亚军,曹正林,张小军,等.柴西南地区岩性油气藏的富集特征[J].天然气工业,2009,29(2):37-41.]
- [16] Chen Yanpeng, Liu Zhen, Ma Dade, *et al.* Accumulation

process of lithologic pools in southwestern Qaidam basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(2): 189-194. [陈艳鹏,刘震,马达德,等.柴西南区岩性油藏的形成过程[J].石油学报,2009, 30(2):189-194.]

- [17] Liu Feng, Xiao Chuantao, Ding Jing, *et al.* Study on high-resolution sequence stratigraphy of lower Ganchaigou Formation of Yuejin region in Qaidam basin[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition, 2009, 6(3): 73-80. [刘丰,肖传桃,丁静,等.柴西南跃进地区下干柴沟组高分辨率层序地层学研究[J].长江大学学报:自然科学版,2009,6(3):73-80.]
- [18] Meshric I D. The reaction of organic acid and carbonic acid and the genesis of secondary pore [C]// Reservoir Geochemistry. Xi'an: Northwest University Press, 1992:134-144. [Meshric I D. 论碳酸和有机酸的反应能力和次生孔隙的形成[C]//储层地球化学.西安:西北大学出版社,1992:134-144.]

Formation Conditions of Structural Lithological Oil and Gas Reservoirs and Exploratory Prospects in the Southwest of the Qaidam Basin, China

ZHANG Xiao-bao^{1,2}, PING Zhong-wei³, ZHANG Dao-wei⁴, WANG Qi^{1,2},
TAO Hui-fei^{1,2}, WANG Guo-cang³

(1. Lanzhou Center of Petroleum Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Key Laboratory of Petroleum Resources Research, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Postgraduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

4. Qinghai Oilfield Company, CNPC, Dunhuang 736202, China)

Abstract: E_3^1 of Southwestern Qaidam Basin possesses the geological conditions to form the structural lithologic reservoirs. Characteristics of source rocks and study of oil source correlation show that two large petroleum generative depressions, i. e. , the Zhahaquan and Yingxiongling depressions, developed in the lower Tertiary, including two sets of effective source rocks of E_3^1 and E_3^2 , providing the oil source conditions for the formation of structural lithologic reservoirs. The existence of three structural slopes of Hongliquan-Yuejin, Tiemulike and the Kunbei fault step zone in Southwestern Qaidam basin, connecting the depressions of Zhahaquan and Yingxiongling, created large structural slope backgrounds for the formation of structural lithologic reservoirs. The Kunbei fault step zone and the Gasi faulted depression in Southwestern Qaidam basin have structures of fault anticlines, fault noses and so on aligned in belts, with downdip direction adjacent to petroleum generative depressions, providing the local structural slope backgrounds for the formation of structural lithologic reservoirs. In the backgrounds of regional and local structural slopes, Southwestern Qaidam basin existed braid delta and lacustrine facies depositional systems, and developed six braid deltas during the period of the lower Ganchaigou (E_3^1) Formation. There developed mouth bars, distal bars and sheet sands in delta front outer zones of Southwestern Qaidam basin mainly in the slope areas of structural traps in the Gasi fault depression where there are superior trap conditions and were the most favorable areas for the exploration of structural lithologic reservoirs. Delta fronts of Southwestern Qaidam basin developed underwater distributary channel sands in the slope belts of the Kunbei fault step zone and certain fault noses or fault anticlines of the Gasi fault depression, where there are rich oil source and poor sealing conditions and were more favorable for the exploration of structural lithologic reservoirs.

Key words: Reservoir formed condition; Structural lithologic reservoir; Southwestern Qaidam basin.