

湖相碳酸盐岩油气藏特征及成藏分析

——以柴达木盆地南翼山油气藏为例

唐丽^{1,2}, 张晓宝¹, 龙国徽³, 徐峰³, 王波³,
韩海燕⁴, 徐丽³, 杨梅³, 李海鹏³, 王国仓¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究重点实验室, 甘肃兰州 730000;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国石油青海油田分公司勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736202;
4. 中国石油青海油田公司格尔木炼油厂厂办, 青海格尔木 816000)

摘要:通过对柴达木盆地南翼山碳酸盐岩油气藏下干柴沟组(E_3)至上油砂山组(N_2^2)储层和油藏特征进行系统研究, 认为与湖相碎屑岩油气藏相比, 南翼山湖相碳酸盐岩油气藏在生、储、盖、生储盖组合、圈闭类型和油气藏类型及其组合关系等方面都有其特殊性, 主要体现在: ①南翼山构造处于生烃凹陷, 存在多套烃源岩, 油气就近捕获; 油源来自南翼山的西南小梁山凹陷, 深层 E_3^3 原油来自 E_3^2 烃源岩, 浅层 N_2 原油来自 N_1 烃源岩。②南翼山共存在 4 套含油气层系 (E_3 、 N_1 、 N_2^1 、 N_2^2), 可分为 2 类: 一类是中浅层 (N_1 — N_2^2) 发育在构造背景上的以泥晶灰(云)岩、藻灰(云)岩和颗粒灰(云)岩为储层, 以粒间孔和溶蚀孔为储集空间的层状岩性油气藏; 另一类是 E_3^2 上部, 以泥灰(云)岩为储层, 以孔隙—裂隙为储集空间的凝析气藏。③南翼山油气藏碳酸盐岩储层与泥岩垂向上构成频繁互层的生储盖组合。④南翼山 N_2^2 油气藏油层薄, 渗透率低, 驱动类型以弹性驱动和溶解气驱为主, 油藏类型是受背斜构造控制的岩性层状油藏; 中深层凝析气藏气层纵向集中, 平面受构造和断层控制; 裂隙性储集空间, 产能不一。⑤南翼山油气田成藏主控因素主要包括南翼山构造处于生烃凹陷、油气就近捕获, 断裂和断裂系统是良好的疏导体系, 湖相碳酸盐岩储层是油气聚集成藏的关键。⑥南翼山构造在上新世之前背斜构造发育缓慢, 发育高峰期在上新世早中期, 并最终定型; 上新世早中期下干柴沟期进入生烃高峰, 形成自生自储的油气藏; 上新世晚期—第四纪上干柴沟期进入生油高峰, 油气沿构造两翼断层运移至 N_1 、 N_2^1 和 N_2^2 成藏。

关键词:柴达木盆地; 南翼山; 湖相碳酸盐岩; 油气藏; 成藏分析

中图分类号: TE122.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1926(2013)03-0591-08

引用格式: Tang Li, Zhang Xiaobao, Long Guohui, *et al.* Pool features and hydrocarbon accumulation analysis of lacustrine carbonate rock; Take Nanyishan reservoir in Qaidam Basin as an example[J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24(3): 591-598. [唐丽, 张晓宝, 龙国徽, 等. 湖相碳酸盐岩油气藏特征及成藏分析——以柴达木盆地南翼山油气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(3): 591-598.]

0 引言

湖相碳酸盐岩油气藏是我国陆相盆地特有的油气藏类型, 与湖相碎屑岩油气藏相比, 其烃源岩、储层、生储盖组合、油气藏类型及其组合关系等都有其

特殊性。柴达木盆地南翼山油气藏是湖相碳酸盐岩油气藏的典型代表, 自 1985 年发现以来随着勘探程度的提高, 油气储量规模也不断增加, 到 2012 年探明石油地质储量已达近 $4\ 000 \times 10^4$ t, 是柴西北区最大的油气田。前人^[1-7]围绕南翼山油气藏储层岩性

收稿日期: 2013-02-16; 修回日期: 2013-05-20.

基金项目: 国家科技重大专项基金(编号: 2011ZX05003-006); 2013 年西部之光项目(编号: Y304RC1WGC) 联合资助.

作者简介: 唐丽(1985-), 女, 土家族, 湖南常德人, 硕士研究生, 主要从事油气储层沉积研究. E-mail: fingerdoctor@126.com.

通讯作者: 王国仓(1978-), 男, 甘肃天水人, 助理研究员, 博士, 主要从事石油地质研究. E-mail: 408535606@qq.com.

与储集空间、油气藏成藏特征、储层与成藏关系等开展了大量的研究工作,但目前尚未有从湖相碳酸盐岩油气藏角度,对南翼山油气藏储层、油气藏特征、成藏条件、成藏主控因素和成藏模式进行综合性的研究。尤其是近年来,在南翼山又发现了储量规模上千万吨、以碳酸盐岩作为储层的 V 油组,因此,对南翼山油气藏进行系统研究就显得更为必要。

开展南翼山油气藏特征和成藏模式分析,一方面可以深化对湖相碳酸盐岩油气藏的地质认识;另一方面可以对近年来获得发现的、与南翼山油气藏

特征类似的小梁山、油泉子和尖顶山等构造的研究提供借鉴。因此,本文将通过与湖相碎屑岩油气藏的简要对比,对南翼山碳酸盐岩油气藏特征和成藏模式进行综合分析。

1 油气藏地质特征

1.1 研究区概况

南翼山油田位于青海省柴达木盆地西部北区,构造上居于柴达木盆地西部坳陷茫崖凹陷亚区南翼山背斜带(图 1)。

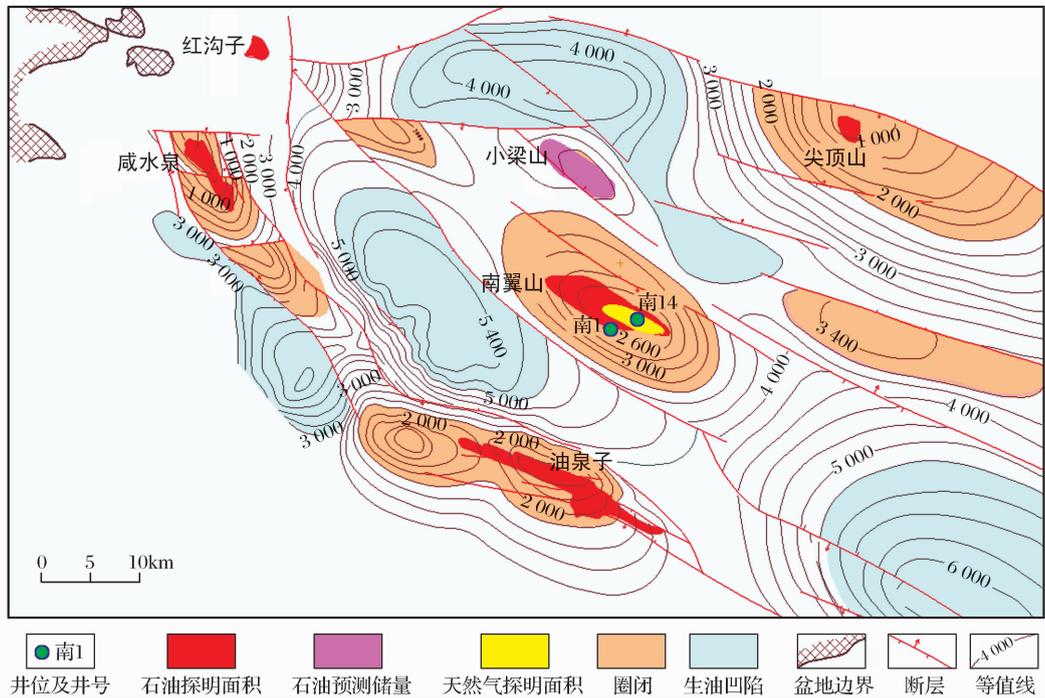


图 1 南翼山构造位置与断裂分布

1.2 构造特征

南翼山构造具双层地质结构,基底有隆起背景,构造形态主要受控于翼南、翼北边界断裂,构造模式为柴西北区典型的“两断夹一隆”,表现为较为完整的背斜构造形态,构造长轴方向为 NW—SE 向,短轴方向为 NE—SW 向,南北两翼基本对称。构造的长轴超过了 12km,短轴为 2~3km,构造幅度表现为顶缓翼陡的特征。由于受到了南北边界断层的限制,构造主体圈闭面积较大,地层横向变化稳定,构造继承性强,各层的高点均位于南 14 井附近(图 1)。在柴达木盆地,这种构造样式在湖相碳酸盐岩油气藏中比较常见,如小梁山、尖顶山、大风山等,而湖相碎屑岩油气藏则比较少见^[8-10]。

1.3 地层特征

南翼山地区目前已钻遇 7 套地层,自上而下分

别为狮子沟组(N_3^3 ,未见顶)、上油砂山组(N_2^2)、下油砂山组(N_1^1)、上干柴沟组(N_1)、下干柴沟组(E_3)和路乐河组(E_{1+2} ,未见底),沉积厚度约为 6 000m。

1.4 生储盖组合及特征

南翼山地区存在多套生储盖组合(图 2),发育了 E_{1+2} 、 E_3^1 、 E_3^2 、 N_1 、 N_2^1 和 N_2^2 共 6 套烃源岩,以暗色泥岩为主,同时它们也是良好的盖层。发育 E_3^2 裂缝性泥灰岩储层,以及 N_1 — N_2^2 含少量泥质粉砂岩的泥晶灰岩、藻灰岩储层。生储盖纵向叠置,形成良好的生储盖组合^[11]。

已证实存在 4 套含油气层系(图 2):① N_2^2 油藏(I—IV 油组),储层以泥晶灰岩和藻灰岩为主,单层厚度为 1~6m;② N_2^1 油藏(V—VI 油组),储层以泥晶灰岩和藻灰岩为主,单层厚度为 1~7m;③ N_1 油藏(VII 油组),储层以泥晶灰岩和藻灰岩为主,单层厚

度为1~5m;④E₃凝析气藏,储层以裂缝性灰岩为主,单层厚度为2~13m。

受浅湖相到半深湖相沉积环境的控制,在柴达木盆地碳酸盐岩油气藏中可以见到多套碳酸盐岩储层与暗色泥岩生油岩的垂向密切共生组合。这种现象在湖相碎屑岩油气藏中并不多见。

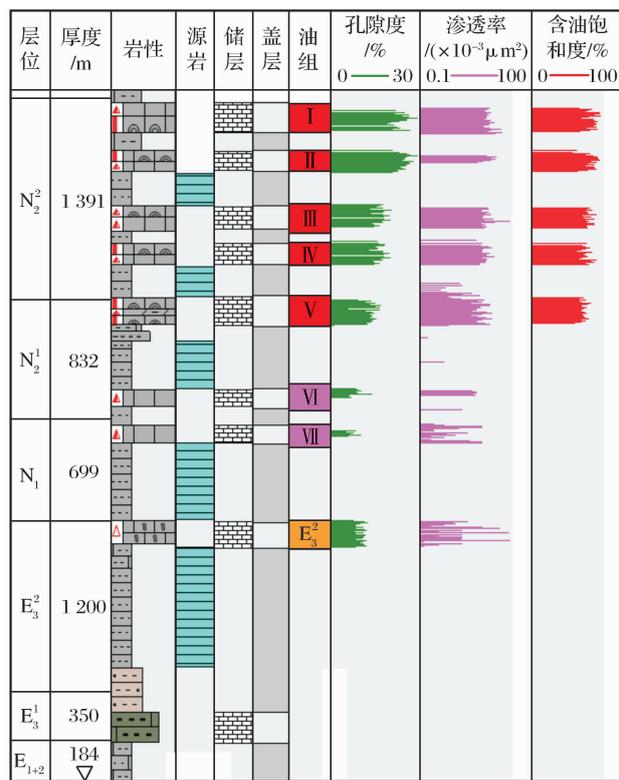


图2 南翼山地区地层综合柱状图

1.4.1 烃源岩特征

南翼山构造位于柴西北最重要的生油区域——小梁山—南翼山—油泉子生油凹陷内,处于南、北2个生烃中心所夹持的地域(图1)。发育了E₁₊₂、E₃、E₃¹、N₁、N₂¹和N₂²共6套烃源岩,以暗色泥岩为主。其中E₃²—N₂²具有生烃能力,且生油岩烃转化能力较强。E₃¹及E₁₊₂有机质丰度低,为非生油岩。E₃²有机质类型评价为Ⅲ型,浅层N₁—N₂²烃源岩有机质主要以Ⅱ₂型为主^[12]。在同一个碳酸盐岩油气藏中发育多套与储层频繁互层的烃源岩,这也是湖相碳酸盐岩油气藏的重要特征。

烃源岩研究成果表明,南翼山构造及其南、北两侧的E₃生油岩目前已进入成熟阶段,部分生油岩已进入高熟阶段(形成E₃²凝析气藏);N₁生油岩大部分进入成熟阶段,其上部部分生油岩处于低熟阶段;N₂¹下部的烃源岩也已进入低熟阶段。

目前浅层油藏已探明石油地质储量为4 500 × 10⁴t,充分证实南翼山油源充足。

1.4.2 储层特征

(1)N₂²碳酸盐岩储层。N₂²时期南翼山主要以浅湖相沉积为主,发育砂坪、颗粒滩、灰坪和泥坪4种微相^{①②}。自上而下共划分为4个油组(图2)。

I + II油组储层主要包括泥晶灰(云)岩、泥质灰岩,储集空间主要为粒间孔、粒内孔、溶蚀孔和溶蚀缝。岩石压实作用较弱,在岩心中见水平层理、水平纹层和层间缝;孔隙结构属中高孔中细喉型,平均孔隙度为25.9%,平均渗透率为9.82 × 10⁻³ μm²,属于中孔低渗储层。

III + IV油组储层主要包括泥晶灰岩和藻灰岩,储集空间主要为粒间孔、溶蚀孔和溶蚀缝。孔隙结构以粗孔小喉型和粗孔微喉型为主,平均孔隙度为15.78%,平均渗透率为2.976 × 10⁻³ μm²,属于中孔、特低渗储层。

(2)N₂¹碳酸盐岩储层。N₂¹油藏V油组储集层主要为藻灰(云)岩和泥晶灰(云)岩,储集空间主要为次生溶蚀孔、粒间孔和微裂缝等(图3),微裂缝是主要渗流通道,形成了具有双重孔隙介质的储集空间特征。孔隙结构多属于低孔、微细喉道类型,平均孔隙度为11.1%,平均渗透率为2.43 × 10⁻³ μm²,属于中低孔、特低渗储层(图4)。

在构造东部还发育部分粉砂岩类储层,包括钙质、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩,其非均质性强,泥质含量高,平均孔隙度为13.7%,主要是粒间孔。由于颗粒细,钙泥胶结物含量高,孔喉结构复杂,渗透率很低,多属于无效储层。

(3)E₃²上部碳酸盐岩(裂缝)储层。E₃²时期南翼山地区为深湖相—半深湖相沉积,储层主要为泥灰(云)岩和含粉砂泥灰岩,取心大部分都可见宏观缝(张开缝),宽度在0.1~0.5mm之间,被裂缝贯通井段较长。储集空间以孔隙—裂缝型为主,孔隙度分布在1.02%~11.6%之间,平均为3.58%,渗透率在(1.3~6 265) × 10⁻³ μm²之间,多小于3 × 10⁻³ μm²,属于特低孔、特低渗储层。

(4)储层特征。通过以上各油藏的储层分析,认为南翼山构造储层整体具有以下特征。①储层类型以碳酸盐岩和混积岩为主,碎屑岩为辅。储层岩性主要为泥晶灰(云)岩和藻灰(云)岩类,泥灰岩和粉砂岩次之。②储集空间以粒间孔,溶蚀孔为主。随

① 郭璞,李军,魏学斌,等.南翼山油田N₂²油藏I + II油层组新增石油探明储量报告.内部报告,2009.

② 刘健,李军,龙国徽,等.柴达木盆地南翼山油田N₂¹油藏V油层组新增石油探明储量报告.内部报告,2012.

着埋深的增加,粒间孔由于压实作用比例在变小,而溶蚀孔在溶蚀作用下比例增大。③储层物性随着埋深逐渐变差(图2)。平均孔隙度从25.9%(N_2^2)递减至3.58%(E_3^2);平均渗透率从 $9.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (N_2^2)递减至 $2.43 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (N_2^1)。湖相碳酸盐岩油气藏中浅层储层发育溶蚀缝,深层发育裂缝性储层也是其特有的储层发育特征^[5-6]。

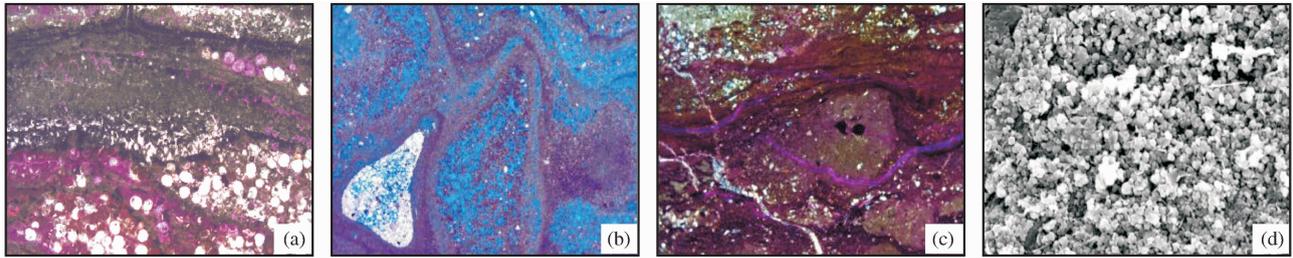


图3 南翼山 N_2 油藏 V 油组储层储集空间类型

(a)南浅3-09井,1537m,藻云岩晶藻孢孔,部分充填,50 \times ; (b)南浅3-6井,1589.7m,藻灰岩溶蚀孔发育,50 \times ;
(c)南浅3-09井,1577.42m,泥晶云岩微裂缝发育,50 \times ; (d)南浅3-09井,1575.38m,泥晶云岩晶间孔发育,3000 \times

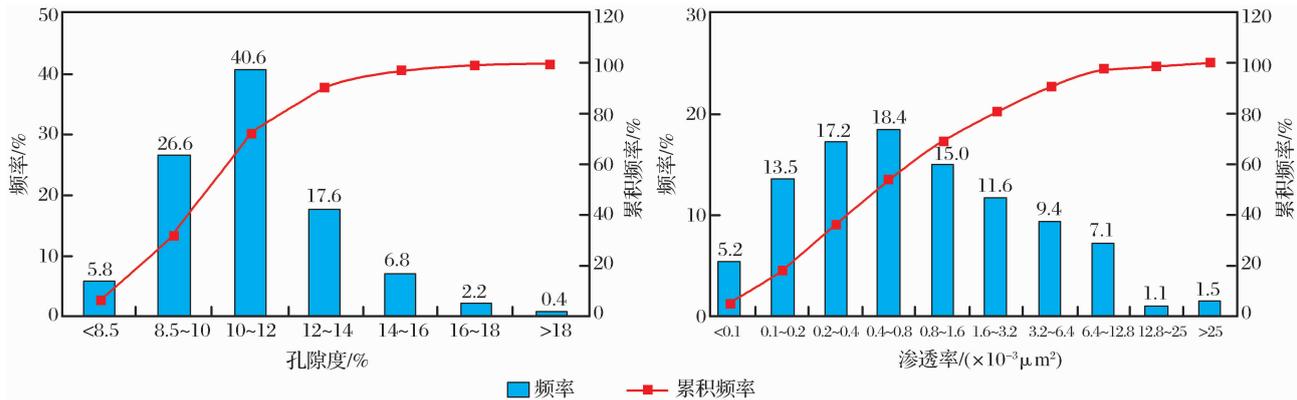


图4 南翼山 N_2 油藏 V 油组储层孔隙度、渗透率直方图

1.5.1 中浅层构造岩性油藏

(1) N_2^2 油藏(I、IV油组)。南翼山 N_2^2 油藏共划分了4个油组,共探明石油地质储量为 $2500 \times 10^4 \text{t}$ 。I+II油组分布在 N_2^2 上部,油层埋深为110~650m;III+IV油组分布在 N_2^2 下部,油层埋深为850~1600m。

油层SN向分布基本受构造控制,沿构造高点聚集,EW向受岩性影响比较突出,主要分布在构造西端和构造高点,向东则变为干层或水层。

根据大量的试油、试采资料及地质情况综合分析,南翼山 N_2^2 油藏油层薄,渗透率低,驱动类型以弹性驱动和溶解气驱为主,油藏类型是受背斜构造控制的岩性层状油藏。

(2) N_2^1 油藏(V油组)。 N_2^1 油藏V油组分布在 N_2^1 地层中上部,已探明石油地质储量为 $1500 \times 10^4 \text{t}$ 。油藏顶部埋深为1520m,油藏高度为240m,

1.5 油藏特征

根据南翼山各油藏控制因素,将南翼山油藏分为2种类型:一类为中浅层,以碳酸盐岩储层为主的,以粒间孔和溶蚀孔为储集空间的,发育在构造背景上的岩性层状油藏(图5);另一类为 E_3^2 上部,以孔隙-裂缝型为储集空间的凝析气藏,这种油气藏组合也是湖相碳酸盐岩所特有的。

油藏中部深度为1640m(南2-4井)。

同 N_2^2 油藏I-IV油组一样,油层SN向分布基本受构造控制,沿构造高点聚集,EW向受岩性影响比较突出,主要分布在构造西端和构造高点(图5),地震剖面上构造西端有明显下拉现象,试油试采都证实是由含油丰度高引起,构造东端含油性较差。

储集层岩石颗粒小,孔喉细,部分相对大的孔喉内充注了油气,而细小孔喉内仍然被原始水所占据,油藏原始含油饱和度平均为47.2%,属于低含油饱和度油藏,油井投产初期就具有一定含水率,如南V3-2井,投产初期平均日产油为8.31t,含水为68%,随后呈“水落油出”势态,含水下降,油量增加,2个月后稳定在平均日产油为6.14t,含水为23%。

1.5.2 中深层凝析气藏特征

(1)气层纵向集中,平面受构造和断层控制。南

翼山中深层凝析气藏分布在 E_3^2 上部,埋藏深度为 2 994m,纵向分布在 200m 井段内,比较集中,以南 6 井为例,气层井段长 154m,气层共 11 层 43.2m。气藏面积较小,分布在背斜构造高部位,且被断层分割成块,受断裂系统控制明显。

(2) 裂隙性储集空间,产能不一。如前所述, E_3^2 凝析气藏储集空间以孔隙—裂缝型为主,渗透率在

$(1.3 \sim 6\ 265) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间。在有宏观缝将孔、洞、缝连通的区域,形成高富集高产凝析气藏,比如南 6 井共试油 3 层组 8 个小层,都获得高产油气,最高日产油为 21.5m^3 ,日产气为 $12.3 \times 10^4\text{m}^3$ 。在连通性差的地方富集程度差,甚至没有产量。中浅层发育在构造背景上的岩性层状油藏,深层发育凝析气藏,这也是南翼山湖相碳酸盐岩油气藏的特色^[5-6]。

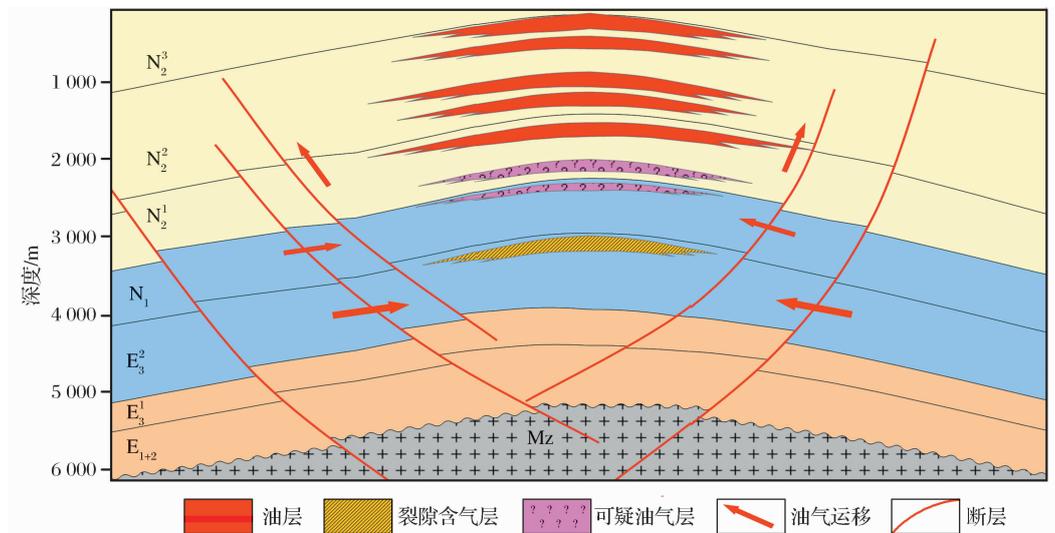


图 5 南翼山构造油藏特征

2 成藏主控因素

通过对南翼山地区成藏模式分析,归纳出南翼山油气藏的主控因素为:

(1) 南翼山构造处于生烃凹陷,油气就近捕获。南翼山构造位于小梁山—南翼山—油泉子内,处于南、北 2 个生烃中心所夹持的地域,油源充足。南翼山深层 E_3^2 原油来自 E_3^2 烃源岩,浅层 N_2 的油来自 N_1 烃源岩。柴西北区原油不是来自南部凹陷的生油岩,而是来自构造附近的烃源岩,为就近捕获产物。原油以自生自储和短距离的垂向、侧向运移聚集成藏。何国源等^[12]通过综合原油含氮化合物、成熟度、总体物理化学性质和其他地球化学指标分析认为,油源来自南翼山西南的小梁山凹陷。同时通过地层水矿化度平面分析从 SW 向 NE 方向有逐渐变高的趋势,说明从 SW 向 NE 方向水驱油的过程,也证明油源来自小梁山凹陷。受咸化湖相沉积环境的控制,柴达木盆地湖相碳酸盐岩一般发育在湖盆的中部,因此距烃源岩更近^[13-15]。

(2) 断裂和断裂系统是良好的疏导体系。南翼山“两断夹一隆”构造模式(图 5),表现为较为完整的背斜构造形态,其中 NW 向的翼南 I 号、翼南 II

号以及翼北 I 号、翼北 II 号断裂为油源断裂,油气由 WS、WN 两侧向着构造高部位运移,在有利储层处聚集成藏。

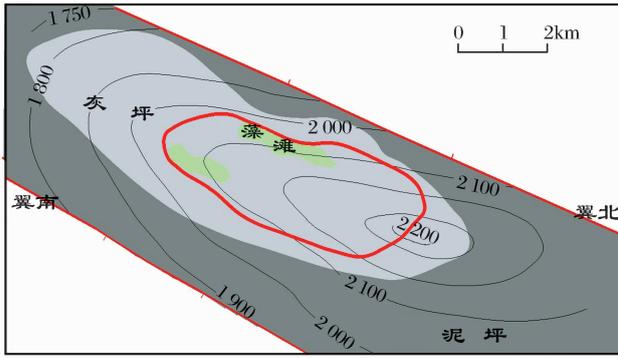
(3) 湖相碳酸盐岩储层是油气聚集成藏的关键。湖相碳酸盐岩由于具备储集条件且多靠近油源,形成油气藏的可能性较大,在有合适的圈闭和盖层的条件下,就能形成油气藏^[9]。南翼山地区在 E_3 — N_1 主要发育深湖相、半深湖相, N_2 时期广泛发育半深湖相、滨浅湖相,由于湖盆深,离物源远,未发育有效碎屑岩储层,但发育了丰富的碳酸盐储层,储层中的粒间孔、溶蚀孔以及微裂缝为油气提供储集空间和渗流通道。与湖相碎屑岩油气藏比较,由于湖相碳酸盐岩油气藏一般不缺乏烃源层和盖层条件,因此是否发育碳酸盐岩储层就显得十分关键。

3 成藏模式

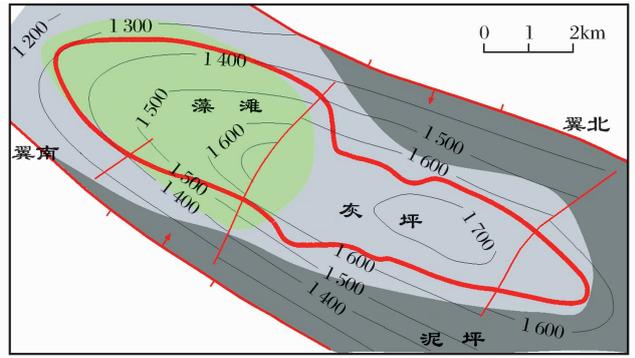
南翼山构造在上新世之前背斜构造发育缓慢,发育高峰期在上新世早中期,并最终定型。下干柴沟组上段烃源岩在上新世早期进入生油门限,上新世中期进入生油高峰,上新世晚期进入高成熟阶段,生成大量凝析气,在下干柴沟组碳酸盐岩储层中形成自生自储的凝析气藏。上新世晚期开始,小梁山

凹陷内部和南翼山构造本部下干柴沟组上段烃源岩进入成熟阶段,油气大量沿背斜断层向上运移,聚集于上油砂山组—狮子沟组的藻灰岩、颗粒灰岩和泥

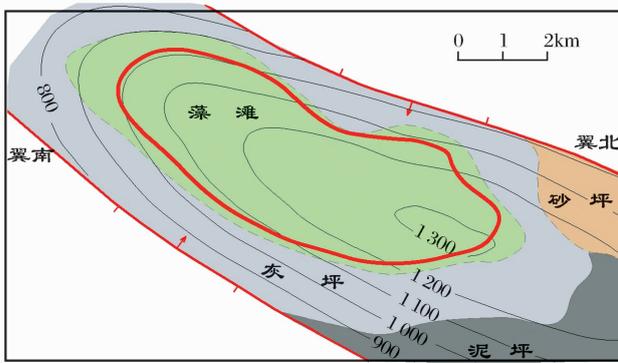
晶灰岩储层中,形成中浅层油藏(图6)。尽管第四纪该构造受到了喜马拉雅晚期构造运动的改造,但基本未影响该构造上油下气分布格局。



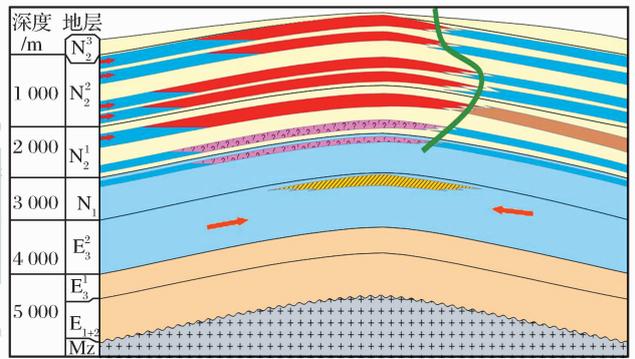
(a) I+II 油组沉积微相平面特征



(b) III+IV 油组沉积微相平面特征



(c) V 油组沉积微相平面特征



800 等高线 油藏面积 油层 裂隙含气层 可疑油气层 油气运移方向 岩性过渡带

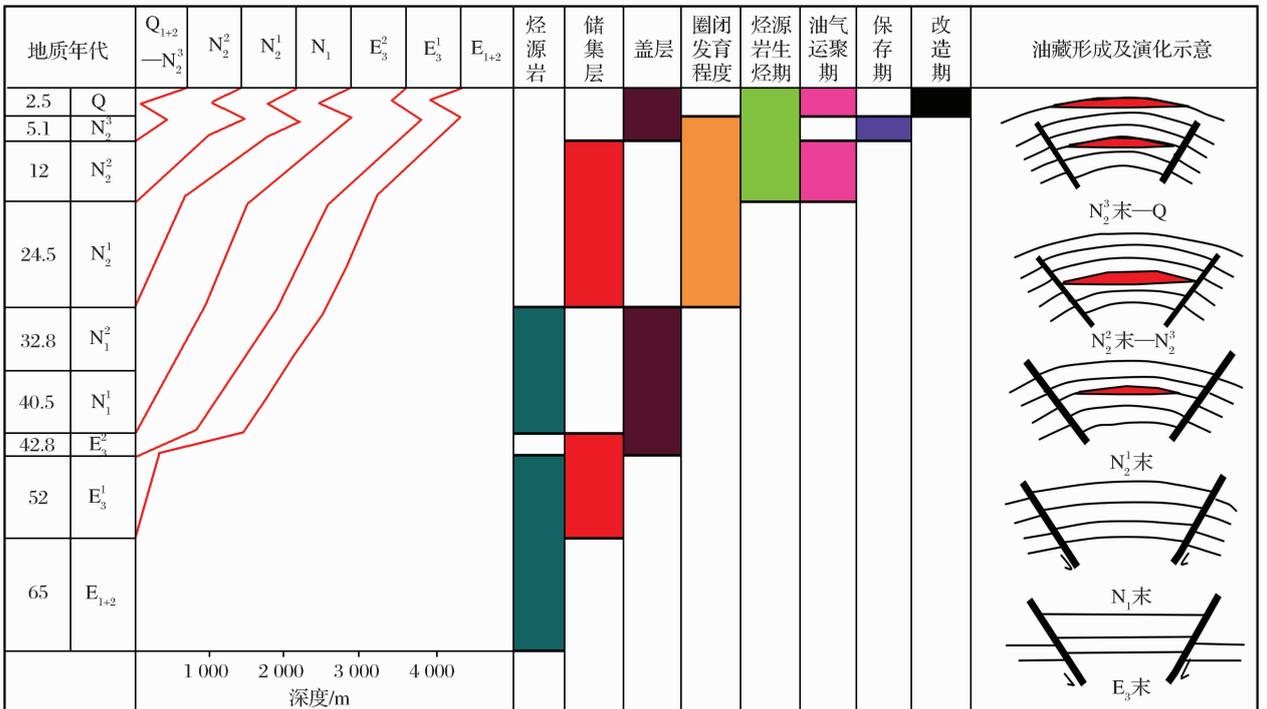


图6 南翼山油气藏成藏模式(据党玉琪等^①,2004,修改)

① 党玉琪,徐风银,段书府,等.柴达木盆地油气富集规律和目标综合评价.内部报告,2004.

4 结论

柴达木盆地南翼山油气藏是湖相碳酸盐岩油气藏的典型代表。本文通过对南翼山油田下干柴沟组(E_3)至上油砂山组(N_2^2)储层和油藏特征进行系统对比研究,认为与湖相碎屑岩油气藏比较,南翼山湖相碳酸盐岩油气藏在生、储、盖、生储盖组合、圈闭类型及油气藏类型及其组合关系等方面都有其特殊性,具体得出以下结论:

(1)南翼山构造具双层地质结构,基底有隆起背景,构造形态主要受控于翼南、翼北边界断裂,构造模式为柴西北区典型的“两断夹一隆”,表现为较为完整的背斜构造形态。

(2)南翼山构造处于生烃凹陷,油气就近捕获。油来自南翼山的西南小梁山凹陷,深层 E_3^2 原油来自 E_3^2 烃源岩,浅层 N_2 原油来自 N_1 烃源岩。

(3)南翼山共存在4套含油气层系(E_3 、 N_1 、 N_2^1 、 N_2^2),分为2类:一类是中浅层(N_1 — N_2^2)以泥晶灰(云)岩、藻灰(云)岩和颗粒灰(云)岩为储层,以粒间孔和溶蚀孔为储集空间的,发育在构造背景上的层状岩性油藏;另一类是 E_3^2 上部凝析气藏,以泥灰(云)岩为储层,以孔隙—裂缝为储集空间。

(4)根据大量的试油、试采资料及地质情况综合分析,南翼山 N_2^2 油藏油层薄、渗透率低、驱动类型弹性驱动和溶解气驱为主,油藏类型是受背斜构造控制的岩性层状油藏。中深层凝析气藏油藏气层纵向集中,平面受构造和断层控制;裂隙性储集空间,产能不一。

(5)受浅湖相到半深湖相沉积环境的控制,南翼山碳酸盐岩油气藏中以多套碳酸盐岩储层与暗色泥岩生油岩垂向上密切共生组合。

(6)南翼山油气田成藏主控因素主要包括:①南翼山构造处于生烃凹陷,油气就近捕获;②断裂和断裂系统是良好的疏导体系;③湖相碳酸盐岩储层是油气聚集成藏的关键。

(7)南翼山构造在上新世之前背斜构造发育缓慢,发育高峰期在上新世早中期,并最终定型,此时下干柴沟组进入生烃高峰,形成自生自储的油气藏。上新世晚期—第四纪上干柴沟期进入生油高峰,沿背斜两翼断层在 N_1 、 N_2^1 和 N_2^2 成藏。

参考文献(References):

[1] Zang Shibin, Cui Jun, Zheng Yongxian, *et al.* Analysis of characteristics of low-permeable reservoir with micro-fracture and their origins of the Neogene Youshanshan Formation in Nanyishan Oilfield, Qaidam Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(1): 133-141. [臧士宾, 崔俊, 郑永仙, 等. 柴达

木盆地南翼山油田新近系油砂山组低渗微裂缝储集层特征及成因分析[J]. 古地理分析, 2012, 14(1): 133-141.]

- [2] Zhang Changhao, Guo Shaojie, Cui Jun, *et al.* Lithotype and sedimentation model of Nanyishan shallow oil pools[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(5): 903-908. [张长好, 郭召杰, 崔俊, 等. 柴达木盆地南翼山浅层油藏岩石类型及沉积模式[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(5): 903-908.]
- [3] Gan Guiyuan, Wei Chengzhang, Chang Qingping, *et al.* Characteristics and forming conditions of lake-facies carbonate-rock oil and gas pools in the Nanyishan structure of the Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24(5): 413-417. [甘贵元, 魏成章, 常青萍, 等. 柴达木盆地南翼山湖相碳酸盐岩油气藏特征及形成条件[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 413-417.]
- [4] He Guoyuan, Guan Ping, Tan Yanhu, *et al.* The path of hydrocarbon charge and accumulation in Nanyishan Oilfield of the north-west Qaidam Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(4): 769-776. [何国源, 关平, 谭彦虎, 等. 柴达木盆地南翼山油田的油气充注成藏途径[J]. 沉积学报, 2009, 27(4): 769-776.]
- [5] Zhang Ningsheng, Ren Xiaojuan, Wei Jinxing, *et al.* Rock types of mixed-sedimentite reservoirs and oil-gas distribution in Nanyishan of Qaidam Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 27(1): 42-46. [张宁生, 任晓娟, 魏金星, 等. 柴达木盆地南翼山混积岩储层岩石类型及其与油气分布的关系[J]. 石油学报, 2006, 27(1): 42-46.]
- [6] Luo Fang, Mou Zhonghai, Luo Xiaolan, *et al.* Mixed sedimentary facies of Youshanshan Formation in Nanyishan structure of Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(6): 5-10. [罗芳, 牟中海, 罗晓兰, 等. 柴达木盆地南翼山构造油砂山组混积沉积相特征[J]. 石油地质与工程, 2009, 23(6): 5-10.]
- [7] Shou Jianfeng, Shao Wenbin, Chen Ziliao, *et al.* Lithological types and distribution features of Tertiary algal-limestone in Chaixi area, Qaidam Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4): 37-39. [寿建峰, 邵文斌, 陈子料, 等. 柴西地区第三系藻灰(云)岩的岩石类型与分布特征[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(4): 37-39.]
- [8] Liu Zhen, Dang Yuqi, Li Heyong, *et al.* Characteristics of the late hydrocarbon accumulation of the Tertiary in the western Caidamu Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2007, 22(1): 1-7. [刘震, 党玉琪, 李鹤永, 等. 柴达木盆地西部第三系油气晚期成藏特征[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(1): 1-7.]
- [9] Dang Yuqi, Xiong Jihui, Liu Zhen, *et al.* Main factors controlling hydrocarbon accumulation in Qaidam Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(6): 614-619. [党玉琪, 熊继辉, 刘震, 等. 柴达木盆地油气成藏的主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 614-619.]
- [10] Yu Yixin, Tang Liangjie, Ma Dade, *et al.* Features and hydrocarbon potential of the structural traps in Qaidam Basin[J]. Journal of Xi'an Shiyou University: Natural Science Edition, 2006, 21(5): 1-6. [余一欣, 汤良杰, 马达德, 等. 柴达木盆地构造圈闭特征与含油气性[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2006, 21(5): 1-6.]

- [11] Cao Haifang, Xia Bin, Fan Liyong, *et al.* Formation mechanism or-
 mation mechanism and distribution rule of Nanyishan fractured
 reservoirs[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2008, 18(1): 71-77. [曹海
 防, 夏斌, 范立勇, 等. 柴达木盆地西部南翼山裂缝油气藏形成
 机制及分布规律[J]. *天然气地球科学*, 2007, 18(1): 71-77.]
- [12] He Guoyuan, Tan Yanhu, Guan Ping, *et al.* Research on Ter-
 tiary oil source in the northwest Qaidam Basin[J]. *Natura
 Gas Geoscience*, 2008, 19(4): 509-518. [何国源, 谭彦虎, 关
 平, 等. 柴达木盆地西部北区第三系油源研究[J]. *天然气地球
 科学*, 2008, 19(4): 509-518.]
- [13] Tuo Jincui, Huang Xinzheng. Advances on lacustrine carbonate
 source rocks research[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1996, 11
 (6): 585-589. [妥进才, 黄杏珍. 湖相碳酸盐岩生油岩研究进
 展[J]. *地球科学进展*, 1996, 11(6): 585-589.]
- [14] Xia Qingsong, Tian Jingchun, Ni Xinfeng. Lacustrine carbon-
 ate rocks in China: An overview[J]. *Sedimentary Geology and
 Tethyan Geology*, 2003, 23(1): 105-112. [夏青松, 田景春, 倪
 新锋. 湖相碳酸盐岩研究现状及意义[J]. *沉积与特提斯地质*,
 2003, 23(1): 105-112.]
- [15] Li Mingcheng. *Migration of Oil and Gas*[M]. 3rd Editon. Beijing:
 Petroleum Industry Press, 2004: 37-38. [李明诚. *石油与天然气运
 移*[M]. 第三版. 北京: 石油工业出版社, 2004: 37-38.]

Pool Features and Hydrocarbon Accumulation Analysis of Lacustrine Carbonate Rock: Take Nanyishan Reservoir in Qaidam Basin as an Example

TANG Li^{1,2}, ZHANG Xiao-bao¹, LONG Guo-hui³, XU Feng³, WANG Bo³,
 HAN Hai-yan⁴, XU Li³, YANG Mei³, LI Hai-peng³, WANG Guo-cang¹

(1. Lanzhou Key Laboratory for Oil and Gas Resources, Institute of Geology & Geophysics, CAS, Lanzhou 730000, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Qinghai Oilfield Research Institute of Exploration & Development, Dunhuang 736202, China;

4. Ge'ermu Refinery of Qinhai Oilfield Company, Ge'ermu 816000, China)

Abstract: Based on the reservoir and hydrocarbon pool characteristics from Lower Ganchaigou Formation to the Upper Youshashan Formation of carbonate hydrocarbon pool in Nanyishan, comparing with lacustrine clastic hydrocarbon pool, we found there are differences in source, reservoir, cap, source-reservoir-cap assemblage, trap type, type of oil and gas pools, and relation of all the above in Nanyishan lacustrine carbonate oil and gas pools as follows: (1) Nanshishan structure located in the hydrocarbon-generation kitchen, with numbers of source rocks, and hydrocarbon can be captured from the nearby area. The oil source came from Xiaoliangshan Sag, on the southwest of Nanyishan. Crude oil in E₃² in the deep was from the source rock in E₃², while N₂ was from N₁. (2) Four hydrocarbon-bearing series in Nanyishan can be grouped into two types. One is a layered lithologic reservoir controlled by the structure in middle-shallow layer. Lithology of the reservoir is micrite limestone or dolomite, algal limestone or dolomite and grain limestone or dolomite. Intergranular pores and solution pores are storage space. The other was a condensate gas pool in the upper E₃², taking marlstone or argillaceous dolomite as reservoir and pore-fissure as storage space. (3) The Nanyishan carbonate reservoir and mudstone formed source-reservoir-cap assemblage frequently interbedded in vertical. (4) Nanyishan pool in N₂² had characteristics such as thin reservoir and low permeability. It had elastic drive and solution gas drive as main drive type. Layered lithologic reservoir is controlled by anticline structure. While gas layer of the middle deep condensate gas pool was concentrated in vertical and dominated by the structure and fracture in plane. The productivity capacity was quite different due to fissure storage space. (5) There are three main controlling factors on the formation of Nanyishan pool: Firstly, Nanshishan Structure located in the hydrocarbon-generation kitchen. Hydrocarbon can be captured in the nearby area. Secondly, the fracture and fracture system contributed to the translocating system. Finally, the lacustrine carbonate reservoir played a key role in the formation of oil and gas pools. (6) Nanyishan structure developed slowly before Pliocene, and the development peak was in Early-Middle Pliocene, but then it stopped. The Lower Ganchaigou Formation had hydrocarbon generation peak in Early-Middle Pliocene and it formed an authigenic reservoir. The Upper Ganchaigou Formation came into oil generation peak from late Pliocene to Quaternary, and along the northern and southern wing in the structure oil and gas migrated into N₁, N₂¹, N₂² and the reservoirs formed finally.

Key words: Qaidam Basin; Nanyishan; Lacustrine carbonate reservoir; Hydrocarbon reservoir; Analysis of reservoir formation