

柴达木盆地南翼山湖相 碳酸盐岩油气藏特征及形成条件

甘贵元, 魏成章, 常青萍, 严晓兰, 崔俊, 王爱民, 陈登钱

(中国石油 青海油田分公司 勘探开发研究院, 甘肃 敦煌 736202)

摘要: 柴达木盆地南翼山油气田是一个由浅层油藏和中深层凝析气藏组成的湖相碳酸盐岩油气藏的典型例子。共有 4 套烃源岩, 整个地层剖面以泥质岩为主, 泥晶碳酸盐岩次之。油气储层为碳酸盐岩, 主要有泥质泥晶云岩、泥质泥晶灰岩、泥晶灰岩、藻灰岩等, 储集空间主要为晶间孔、粒间孔、溶蚀孔、裂缝和溶洞, 储层厚度一般 2~ 5m, 平面分布相当稳定。地面至地下构造裂缝均很发育, 在油气分布区的中深层存在明显的地震波速度降低现象和异常高压。裂缝充填物方解石的裂变径迹测试表明, 裂缝在油气生成运移之前已赋存在。生物标志化合物的分析表明油气均来自大于 4 300m 的烃源岩。

关键词: 油气藏特征; 湖相碳酸盐岩; 南翼山; 柴达木盆地

中图分类号: TE122. 3

文献标识码: A

南翼山构造是柴达木盆地茫崖坳陷南翼山背斜构造带上的一个三级构造(图 1)。地面构造轴线北西南东向, 为一大而平缓的箱状背斜, 构造长 39. 3 km, 宽 15. 7km, 面积 620km², 两翼基本对称, 只是西端有南陡的现象^[1]。

该构造钻遇地层均为第三系, 已钻遇的 5 套地层分别为狮子沟组(N₂³ 未见顶)、上油砂山组

(N₂²)、下油砂山组(N₂¹)、上干柴沟组(N₁) 和下干柴沟组上段(E₃² 未见底)。各地层间均为整合接触, 整个剖面主要由泥质岩和碳酸盐岩组成, 夹少量粉砂岩, 整套地层均为湖相沉积。N₂³ 以浅湖沉积为主, N₂²-N₁ 上部以浅湖-较深湖沉积为主, N₁ 中下部至 E₃² 多系较深湖-深湖相沉积。从浅至深(N₂³-E₃²) 碳酸盐岩湖泊相沉积不断增多。

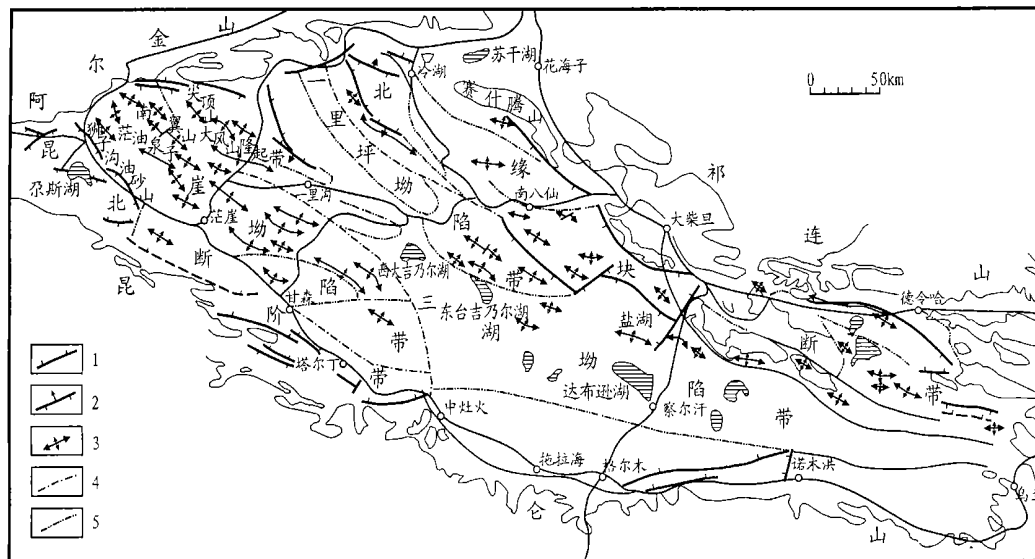


图 1 柴达木盆地南翼山构造区域位置图

1. 重力断层; 2. 地震断层; 3. 构造背斜; 4. 一级构造分界线; 5. 二级构造分界线

Fig. 1 Regional location map of the Nanyishan Structure in the Qaidam Basin

收稿日期: 2001- 11- 28; 修订日期: 2002- 08- 16.

作者简介: 甘贵元(1961-), 男(汉族), 青海湟中人, 博士生, 高级工程师, 主要从事石油地质实验及石油地质的研究工作。

已钻遇 N_2^2 、 N_2^1 、 N_1 、 E_3^2 4 套烃源岩,有机碳含量范围为 0.28% ~ 0.33%, 氯仿沥青“ A ”含量为 0.0422% ~ 0.1324%, HC 为 254×10^{-6} ~ 954×10^{-6} 。有机质类型以混合型为主, 约在 700m 进入低成熟阶段(790m 处 R_o 为 0.57%), 在 1500m 以下进入成熟阶段(1450m 处 R_o 为 0.65%)。

1 两个油气藏

1.1 浅油藏

油层埋深 31 ~ 1450m。地面原油相对密度 0.818g/cm³, 天然气相对密度 0.7586g/cm³, 甲烷含量 73.4%, 油田水为 CaCl₂ 型, 总矿化度平均为 281066mg/L, 氯离子含量 172434mg/L。试油获得工业油流的层均为高阻碳酸盐岩层, 岩性为灰色泥质泥晶云岩、灰—深灰色泥质泥晶灰岩、泥晶灰岩和藻灰岩, 储集空间为基质孔隙、粒间孔和缝洞。全直径岩心分析孔隙度平均 26.2%, 渗透率 12×10^{-3} μm²。油层薄, 不具水驱条件。但有一定的溶解气和气顶气, 驱动条件为溶解气, 其次为气顶气。单井常规试油产量大多较低, 措施后的日产油量可达 20m³。浅油藏构造为背斜构造, 油藏位于构造高部位以西断层和节理发育区, 油层按断块分布, 同一断块内油气水分异清楚, 储层平面分布稳定, 油藏富集因素以背斜构造为主, 断层次之。

1.2 中深层凝析气藏

南翼山构造为一典型的两断夹一隆背斜构造, 构造两翼被逆断层所切, 地震 T₄(E₃²) 底反射层以上各层构造极为相似, 深浅构造形成与发展有明显

的一致性, 具同心褶皱的特征。中深层凝析气藏气层主要埋藏深度 2970 ~ 3500m, 最深的是南 1 斜 1 并于 4425m 钻遇的气层, 气层纵向上分布比较集中, 储层平面上变化小, 分布稳定。储层岩性为碳酸盐岩, 主要为泥质泥晶灰岩, 其次是含粉砂的泥晶灰岩, 也有泥晶云岩和泥质泥晶云岩, 储集空间有晶间孔、粒间孔、溶蚀孔、裂缝和溶洞, 为孔隙—裂缝型储集类型, 储层厚一般 2 ~ 5m, 最薄 1.6m, 最厚 13m。见油岩心孔隙度分析平均值为 4.11%, 裂隙率电测平均值为 0.46%, 南 9 井岩心统计为 1.85%。南 2 并于 2981m 发生强烈井喷, 折合日产凝析油 724m³、天然气近百万立方米; 南 9 井 3010.70 ~ 3099.40m 井段试油获凝析油 55.2m³, 天然气 213262m³。凝析油密度 0.768g/cm³, 凝析油含量平均 208g/m³, 天然气相对密度 0.588g/cm³, 甲烷含量 95.4%, 水为 CaCl₂ 型, 总矿化度为 164806mg/L, 氯离子含量 105197mg/L, pH 值为 6。中深层凝析气层平面方向延伸性好, 分布稳定, 凝析气层分布于构造高部位, 主要受背斜构造高点的控制。

2 断裂及裂缝分布规律

2.1 断裂和裂缝在平面上的分布

2.1.1 地面构造断裂分布

断层: 南翼山构造地面有断层 199 条, 大多为正断层, 主要分布在构造高部位及其以西(图 2), 延伸 1.5 ~ 2km, 最长 4km, 地面高点附近 20km² 范围内断层带中充填沥青脉^[2]。

节理: 除上述断层外, 地面节理也很发育, 最发

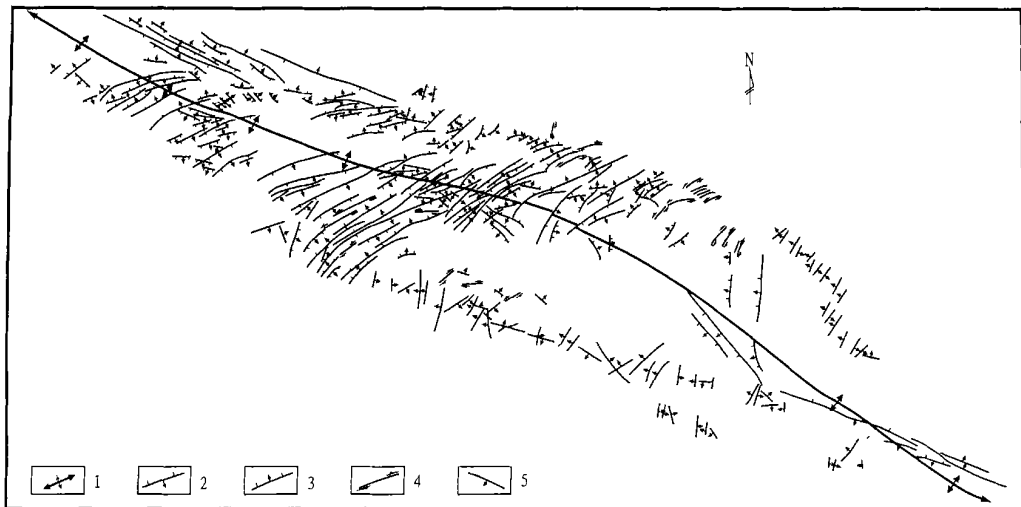


图 2 南翼山构造地面断裂分布图

1. 背斜轴; 2. 逆断层; 3. 正断层; 4. 平行断层; 5. 节理

Fig. 2 Distribution of surface faults in the Nanyishan Structure

育的是横节理,在主高点附近最为密集,节理间的距离一般2~3m,节理是张开的,其中充填着沥青脉。

2.1.2 浅油藏断层分布情况

浅油藏分布在构造断层发育区,主要断层有17条,大多为正断层,断距一般小20m,其规模、分布、断层要素等类同于地面,随深度增加而断距减小,断层条数也随之减小,断层切割形成的断块也随深度的增加而减少。

2.1.3 中深层构造小断层布

三维地震资料通过剖面局部放大、同相角和相位产状的变化、水平切片3种方法,对储层顶底界面进行精细解释,识别和解释了许多小断层,这些小断层主要分布在构造顶部、东北端和西端,以北西向逆断层为主。

2.1.4 裂缝在构造平面上的分布

断层和构造裂缝在形成机制上是“同根”的,特别是小规模断层与裂缝更为接近,小断层集中发育的地方也一定是构造裂缝的发育区。据此,可以确定构造裂缝在构造平面上分布。

研究认为,浅层裂缝发育区位于构造中部及西部,而中深层除具浅层裂缝发育区分布的特征外,东北部还存在一个裂缝发育区。

2.2 裂缝的录井、钻井及测井显示

2.2.1 岩心裂缝观测

在岩心上主要为垂直缝和平行缝。垂直缝单个规模较大,往往把岩心往垂直劈开,其宽度不论是整个取心段,还是单个岩心柱,均表现出上窄下宽的特点,一般宽约1mm以上,最大10mm。水平缝主要为层理缝,即沉积—构造缝,其特点是间距小、密度大、宽度较窄,一般<0.5mm。

2.2.2 裂缝的镜下观测

铸体薄片分析几乎全为张开裂缝,占总数的96%,方解石等充填的缝仅4%。其宽度为2~160 μ m,一般5~10 μ m。主要为层间缝和层间—溶蚀缝,少量斜交或垂直缝,还有少量溶孔,面孔率<1%。

偏光显微镜下看到碳酸盐岩中大多不同程度地含有粉砂及泥质,微细水平层理普遍发育。据有裂缝和溶孔存在的薄片的统计资料,裂缝和溶孔主要发育在碳酸盐岩中,占66.5%,泥质岩占25.5%,粉砂岩占8%。

扫描电镜下微孔隙以溶孔和晶间孔为主,夹少量粒间孔和生物钻孔等。微裂缝宽度一般3~5 μ m,与溶孔的连通性较好。

2.2.3 裂缝在钻井过程中的显示标志

在钻井过程中,未出现过放空现象,在取出岩心上也未见到较大的溶洞存在,说明面南翼山构造中深层不存在大或较大的溶洞。

对泥质灰(云)岩,泥晶灰(云)岩储层来说,井漏、井涌、井喷、钻时变快4个方面可视为是裂缝(含溶蚀孔洞,下同)发育的显示标志。例如南9井,在3000~3100m(产高产油气流的井段)曾发生两次井涌和两次井漏,反映该井段裂缝发育。3087~3099m时,钻时由上下邻层平均30多min/m变小至20min/m,反映此段有更为发育的裂缝存在。南2井2981m和南7井2983.12m强烈井喷,都是钻遇裂缝发育储层的显示标志。

2.3 裂缝的地球物理测井识别

南翼山过去测井资料多为581测系列,由于该系列中属于孔隙度系列的仅有一条声时差曲线,而电法测井又都是非聚焦型,因此,在识别碳酸盐岩渗透层上很局限。仅易于识别岩石破碎严重、网状裂缝发育的I类储层。表现出井径扩大、声波跳跃、自然伽马和中子伽马低、电阻低的特点。目前采用3700测井系列等测井新技术,对裂缝的识别大为改观。详情不再赘述。

2.4 裂隙、异常高压的地震检测

在南翼山背斜西北倾没端0.8~2s的构造层内有一明显的时间沉陷。这个时间沉陷沿背斜轴分布,在构造顶以北约4km处为沉陷中心(图3)。最大低速异常是地震波速度从3000m/s降至2500m/s,地震波有低频和强振幅。认为是发育的裂缝直接影响沉陷区速度的降低,而又被天然气饱和及裂缝内的异常压力所加强^[3](图4)。

钻井证明南翼山构造中深层存在异常高压,其顶界在N₁顶界附近,压力系数1.3左右。获高产油气流的井段均位于异常高压带内。2800~3100m左右为一过剩压力低值段,此低值段裂缝发育是油气运移在剖面上的指向所在,具有较好的油气聚集,因油气从下向上运移,所以此段下部有首先捕获油气形成富集高产的有利条件,南2、南7、南6、南9等井均在此段获得高产油气流,就是很好的证明。

2.5 裂缝形成时期及控制因素

2.5.1 裂缝形成时期

南9井E₃²层段,裂缝充填物方解石的裂变径迹测试表明其年龄为20.08Ma \pm 2.17Ma,大约在N₁早期,其中含烃包裹体的均一温度为124~147 $^{\circ}$ C,以现今构造平均地温4.5 $^{\circ}$ C/100m算,认为南翼山构造中深层油气是在该层段埋深约2800~3300m时形成的,其时间大约在N₂晚期至N₂³早

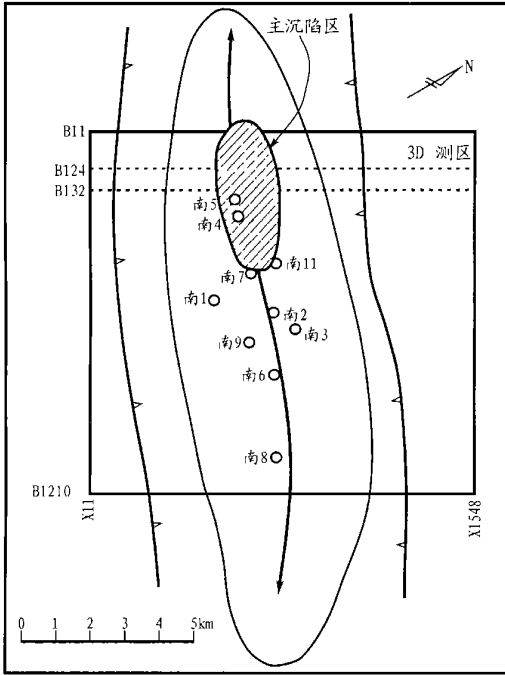


图 3 南翼山构造三维测区及主时间沉降区域^[3]

Fig. 3 3-D surveyed area and principal time subsided region of the Nanyishan Structure^[3]

层断裂的分布反映中部及西部受力强, 东部相对较弱。中深层小断层分布反映除中部和西部类同于地面外, 东部受力程度变得较浅层强, 尤其在东北部更为明显。

2. 5. 3 裂缝发育程度的控制因素

综上所述, 南翼山构造裂缝的发育程度主要受构造受力、岩性、沉积作用、成岩作用 4 种因素的控制。受力强的构造部位断裂发育, 裂缝相应也发育, 受力弱的部位断裂相对较少, 裂缝相应也不太发育; 岩性对裂缝发育程度的控制反映在碳酸盐岩裂缝 (也含溶孔) 最发育, 泥质岩要少得多, 粉砂岩最少, 也就是说, 裂缝主要发育在碳酸盐岩中; 在南翼山构造中深层, 岩石中微细水平层理极为发育, 多数样品中都可以见到, 层间缝和层间一溶蚀缝就分布在这些微细水平层理之间。沉积作用差异导致沉积物组分发生变化或形成季节性沉积, 成岩收缩作用的差异又使差异沉积物间产生脆弱界面或收缩缝, 为构造力作用和溶蚀作用下裂缝的进一步发育奠定了基础。

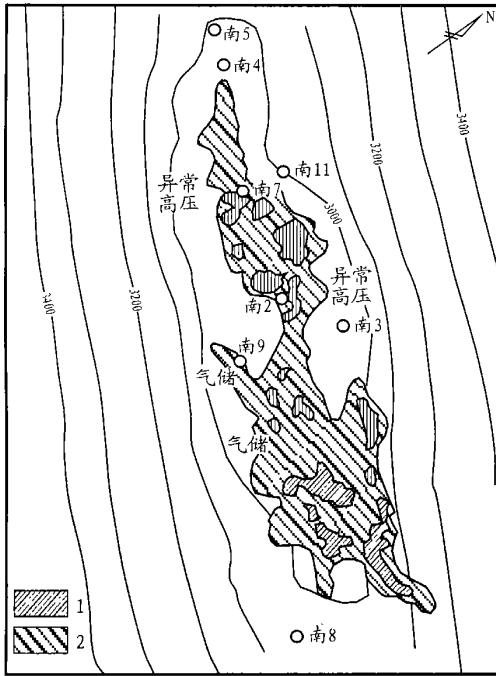


图 4 与异常高压层相当的同相轴振幅重叠在渐新世顶部的深度构造^[3]

1. 高振幅; 2. 中等振幅

Fig. 4 Deep structure of isophased axial amplitude superposition on the top of the Oligocene corresponding to abnormal high-pressure layers

3 油气源

根据生物标志化合物的组成、成熟度特征等分析, 南翼山油田浅层、中深层的油气均来自更深 (> 4 300m)、成熟度更高的烃源岩。

3. 1 油样与岩样化学成分存在明显差异

油样与岩样甾烷的 $5\alpha-C_{27}$ 、 $5\alpha-C_{29}$ 丰度不同, 原油样 $(5\alpha-C_{27}/(5\alpha-C_{29})) > 1.0$, 而烃源岩样则 < 1.0 , 介于 0.43~ 0.79 之间。

4- 甲基甾烷的相对丰度不同, 油样几乎检测不出 4- 甲基甾烷, 烃源岩样则含有相对较高的 4- 甲基甾烷。

三环萜烷相对含量差异甚大, 油样富含 C_{19} — C_{30} 完整系列的三环萜烷, 三环萜烷/ 五环三萜烷的比值高达 0.79~ 5.78, 而烃源岩样的此项比值则只有 0.06~ 0.17 (表 1)。

3. 2 油气主要来自埋深 > 4 300m 的烃源岩

南 2 井是南翼山构造油气产量最高的一口井, 在 2 981m 井段喷凝析油 724m³、天然气近百万立方米。凝析油主要成熟度指标很高, $(20S-C_{29})/(20S+20R)-C_{29}$ 和 $(\beta\beta-C_{29})/\Sigma C_{29}$ 比值分别高达 50.98% 和 60.24%。而南 1 井 4 372.95~ 4 376.4 m 烃源岩样品上述两个成熟度指标分别为 23.36% 和 40.19%, 说明油气来自更深的烃源岩。

此外, 根据油样与第三系烃源岩生物标志化合

期。由此说明, 裂缝在油气生成及运移之前已赋存在。

2. 5. 2 构造受力情况

南翼山构造是压扭应力作用的产物。地表及浅

表 1 原油、生油岩地球化学参数对比表

Table 1 Geochemical parameter correlation of crude oil and source rock

指 标	油 样		生 油 岩			
	芯 65 井 N ₂ ²	南 3 井 N ₁	南 4 井 N ₂ ²	南 1 井 N ₂ ¹	南 1 井 E ₃ ²	
甾	5 α -C ₂₇ /5 α -C ₂₉	1.60	1.13	0.79	0.43	0.75
	5 α -C ₂₉ /5 α -C ₂₉	0.90	0.73	1.00	0.73	0.84
烷	$\frac{20SC_{29}}{(20S+20R)C_{29}}/\%$	36.51	50.98	19.60	36.39	23.36
	$\frac{\beta, \beta-C_{29}}{\Sigma C_{29}}/\%$	45.48	60.24	38.08	51.05	40.19
	T m/T _s	1.93	1.17	3.26	0.96	1.25
萜	$\alpha, \beta-C_{29}/\alpha, \beta-C_{30}$	0.52	0.54	0.44	0.71	0.45
	C ₃₁ (22S/22R)	1.56	2.00	0.64	1.31	1.57
烷	< C ₃₀ 藿烷	2.31	2.75	6.46	2.27	4.44
	> C ₃₁ 藿烷	0.79	5.78	0.17	0.06	0.10
	三环/五环					

物成分上的明显差异, 笔者推断南翼山构造除第三系烃源岩为主油气源外, 在构造尚未钻达的超深层还很可能存在着中生界侏罗系烃源岩, 并很可能是该油气田的主要油气源。

参考文献:

[1] 黄杏珍, 邵宏舜, 顾树松. 柴达木盆地的油气形成与寻找油气田方向[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993. 12- 14.
 [2] 黄汉纯, 黄庆华, 马寅生. 柴达木盆地地质与油气预测[M]. 北

京: 地质出版社, 1996. 222- 228.
 [3] Paul R J. 黄绪德译. 超压及裂隙的地震检测——柴达木盆地的一个实例[J]. 石油物探译丛, 1994, (3): 42- 49.
 [4] 周自立, 等. 湖相碳酸盐岩的沉积相与油气分布关系——以山东胜利油田下第三系碳酸盐岩为例[J]. 石油实验地质, 1986, 8(2): 123- 125.
 [5] 周书欣, 等. 湖相碳酸盐岩的石油地质意义[J]. 石油实验地质, 1993, 15(4): 361- 365.
 [6] 妥进才, 等. 湖相碳酸盐岩生油岩及其有机地球化学特征——以柴达木盆地第三系为例[J]. 石油实验地质, 1995, 17(3): 272- 275.

CHARACTERISTICS AND FORMING CONDITIONS OF LAKE-FACIES CARBONATE-ROCK OIL AND GAS POOLS IN THE NANYISHAN STRUCTURE OF THE Q Aidam BASIN

GAN Gui-yuan, WEI Cheng-zhang, CHANG Qing-ping,
 YAN Xiaolan, CUI Jun, WANG An-min, CHEN Deng-qian

(Research Institute of Exploration and Development, Qinghai Oilfield, CNPC, Dunhuang, Gansu 736202 China)

Abstract: As a typical example of lake-facies carbonate-rock oil and gas pools consisted by shallow oil pools and medium-deep gas condensate pools, Nanyishan oil and gas field in the Qaidam Basin has altogether four sets of hydrocarbon source rocks. The whole stratigraphic profile is dominated by argillite, micritic carbonate rock comes second. The reservoirs of hydrocarbon are carbonate rocks, including argillaceous micritic dolostone, argillaceous micritic limestone, micritic limestone, algal limestone, etc. The storage spaces are mainly intercrystal pores, intergranular pores, solution openings, fissures and karst caves. The reservoirs, which have the thickness of 2-5m in general, have rather stable plane distribution. Tectonic fractures are all well-developed from surface to underground. The clear reducing of seismic wave velocity and abnormal high-pressure are observed in the medium-deep layers of hydrocarbon-distributive areas. The fission-track testing of fracture-infilling calcite revealed that fractures occurred before the generation and migration of hydrocarbon. The analysis of biomarkers showed that hydrocarbon come from source rocks deeper than 4 300m.

Key words: characteristics of oil and gas pools; lake-facies carbonate rock; the Nanyishan Structure; the Qaidam Basin