

川中地区公山庙油田侏罗系大安寨段 致密油资源潜力分析

汪少勇¹ 李建忠¹ 李登华¹ 龚昌明²

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 西南油气田公司川中油气矿勘探开发研究所, 四川 遂宁 629001)

摘要:公山庙油田侏罗系大安寨段油层孔隙度大多小于 2%, 渗透率一般小于 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 属于典型的致密油层。该油层平面上大面积分布, 存在明显的“甜点”区; 剖面上非均质性强, 顶部大一亚段和底部大三亚段的厚层介壳灰岩为主力产油层, 中部大一三亚段的介壳灰岩与页岩薄互层为次要产油层。构造、介壳灰岩及暗色泥岩厚度对致密油富集没有明显的控制作用, “甜点”主要分布在公山庙构造西侧斜坡区。通过对公山庙油田大安寨段沉积演化、烃源岩生烃条件、储层特征及油气分布规律的研究, 结合生产井数据, 运用容积法和产量递减拟合法分别计算可采资源量, 预测公山庙油田大安寨段致密油可采资源量分别为 338.11 万 t 和 155.74 万 t。

关键词:川中地区; 致密油; 公山庙油田; 大安寨段; 资源潜力

中图分类号: P618.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)02-0477-10

公山庙油田构造上位于四川盆地中部古隆起斜坡低缓带, 地理上处于四川省南充市以北约 40 km, 已勘探面积约 500 km² (图 1)。油田发现于 1990 年 12 月, 其后, 按照低孔、低渗复杂裂缝性油藏的开发思路, 针对大安寨段的构造高点和裂缝发育带开展钻探。截止目前, 公山庙油田共完钻井 102 口, 年产油 4 万余吨, 其中大安寨段原油产量约占 75%。虽然获得了部分工业油流井, 但平均单井日产油小于 1.5 t, 原油富集规律不清, 石油可采资源量不明, 严重制约了该油田的勘探开发步伐。本文将通过深入分析公山庙油田的基本石油地质条件, 预测有利勘探区, 测算石油可采资源量, 以期对该油田的下步勘探开发提供目标与方向。

1 概 况

四川盆地面积约 $19.1 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是一个在前震旦系变质岩基底上沉积了巨厚的震旦纪—中三叠世海相碳酸盐岩和晚三叠世陆相碎屑岩的大型叠合含

油气盆地^[1]。公山庙油田位于四川盆地中部西北向倾斜的平缓斜坡上, 区内构造平缓, 最大落差不超过 400 m。大安寨段顶面构造为一个完整的短轴背斜, 两翼平缓对称, 构造北翼有一东西向延伸的南倾逆断层, 延伸长度约 35 km, 向上消失在侏罗系沙溪庙组, 向下消失在中三叠统嘉陵江组内 (图 1)。

川中地区从中三叠世末期进入湖盆发展期, 大安寨时期为早侏罗世中期发育的一套大型内陆淡水湖泊相建造^[2], 为厚达 100 余米的生物灰岩及页岩沉积 (图 2)。生物灰岩与页岩呈“三明治”式互层, 生、储、盖组合配置良好。公山庙地区大安寨段地层厚度为 70~110 m, 埋藏深度一般为 2 400~2 500 m, 由南向北埋深逐渐增大。根据公山庙地区的纵向沉积旋回、岩性组合及电性特征, 结合川中地区大安寨油层划分对比结果, 将公山庙地区大安寨段自上而下分为三个亚段, 即大一亚段, 大一三亚段和大三亚段。其中大一三亚段以厚层黑色页岩为主, 厚 40~70 m, 为主要生油层, 大一、大三亚段以介壳灰岩为主, 厚

收稿日期: 2012-09-03; 改回日期: 2012-11-05

基金项目: 中国石油天然气集团公司重大专项“四川盆地侏罗系石油勘探开发关键技术研究” (2012E-2601) 资助。

作者简介: 汪少勇, 男, 1988 年生, 硕士研究生, 主要从事油气资源评价研究工作; E-mail: wsy19880129@163.com。

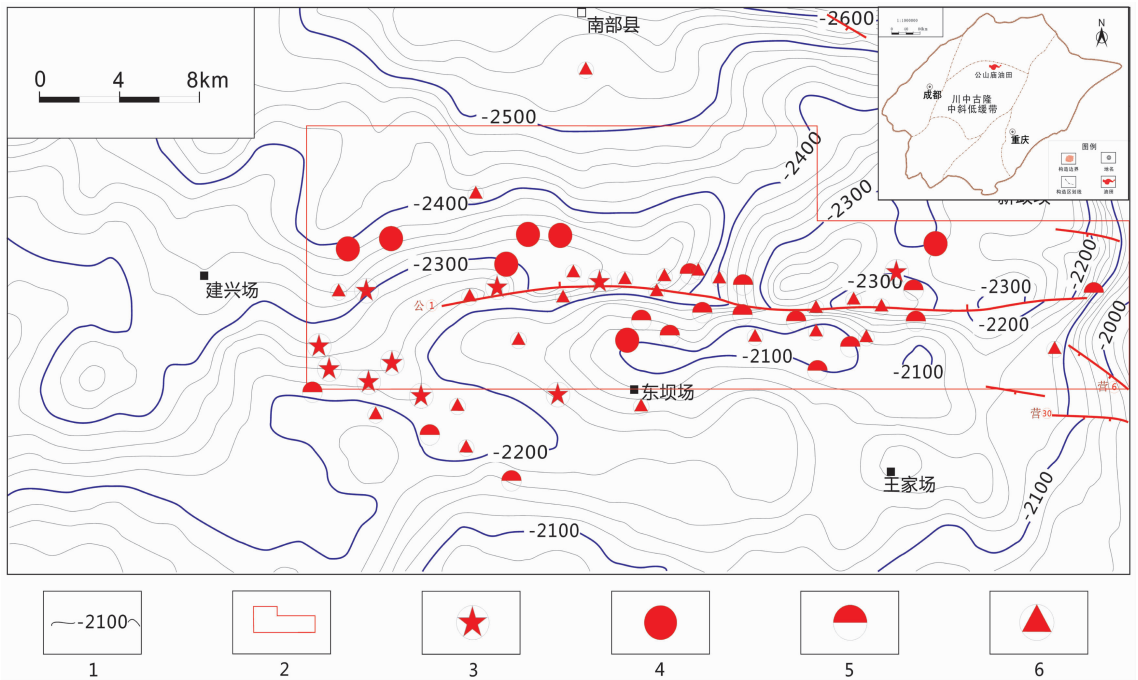


图1 公山庙油田构造背景和大安寨段油井累计产量分布

1—构造等值线;2—三维地震区;3—累产大于1万t井;4—累产大于5000t小于1万t井;5—累产大于1000t小于5000t井;6—累产小于1000t井

Fig.1 The distribution of oil wells' accumulated production in Da'anzhai section, the Gongshanmiao oil field

1—Contour line;2—3D seismic zone;3—Well's accumulated production greater than 10000 t;4—Well's accumulated production between 5000 t and 10000 t;5—Well's accumulated production between 1000 t and 5000 t;6—Well's accumulated production below 1000 t

度分别为20~35 m和5~15 m,为主要储层。

整体而言,大安寨段为一个湖侵→半深湖→湖退的沉积旋回^[4]。储层展布主要受岩相古地理环境的控制。

马鞍山期沉积的泥岩颜色逐渐变深,地壳开始下降。到了大三期,湖侵加快,且湖底平缓,水域宽广,富有机质生物繁盛,沉积了大三亚段的泥质介壳灰岩或含泥质介壳灰岩。故大三亚段介壳灰岩在公山庙地区稳定连续分布,一般为单层厚度较大的介壳灰岩,为大安寨段介壳灰岩主要发育段,累计厚度6~10 m,在电测曲线上表现为低伽马高电阻率的特征。

大一三早期,水体逐渐加深,沉积了一套厚层的黑色页岩。到了大一三中晚期,地壳升降运动频繁,水介质较为动荡,水体生物繁盛,沉积了一大套黑色页岩与泥质介壳灰岩薄互层的沉积旋回。故大一三亚段下部以黑色页岩为主,中上部为黑色页岩夹褐色泥质介壳条带。一般认为大一三亚段为大安寨段的主力烃源岩^[4]。其中的介壳条带薄层也可能为

较好的储层。这类储层主要分布在大一三亚段的上部,在测井曲线上表现为高伽马低电阻特征,有效厚度为8~16 m,全区分布稳定。

大一期进入湖退阶段,湖盆平缓,水体生物较繁茂,沉积了一套介壳灰岩和黑色页岩。大一亚段介壳灰岩单层厚度最大为4.5 m,主要分布在大一亚段顶部,累计厚度8~10 m,全区分布稳定,在测井曲线上主要表现为低伽马高电阻的箱型特征,下部一般以三段低伽马高电阻的峰型为界,岩心上表现为三段较薄的介壳灰岩。到了大一末期,湖退加快,沉积了一套过渡层的灰绿色砂泥质泥岩,为大安寨段的良好盖层。

公山庙油田处于浅湖—半深湖相带,是大安寨段生、储岩类相对发育和油气富集有利区域。

2 油气地质条件与油气分布规律

2.1 烃源岩特征

公山庙地区烃源岩全区分布,主要集中在大一

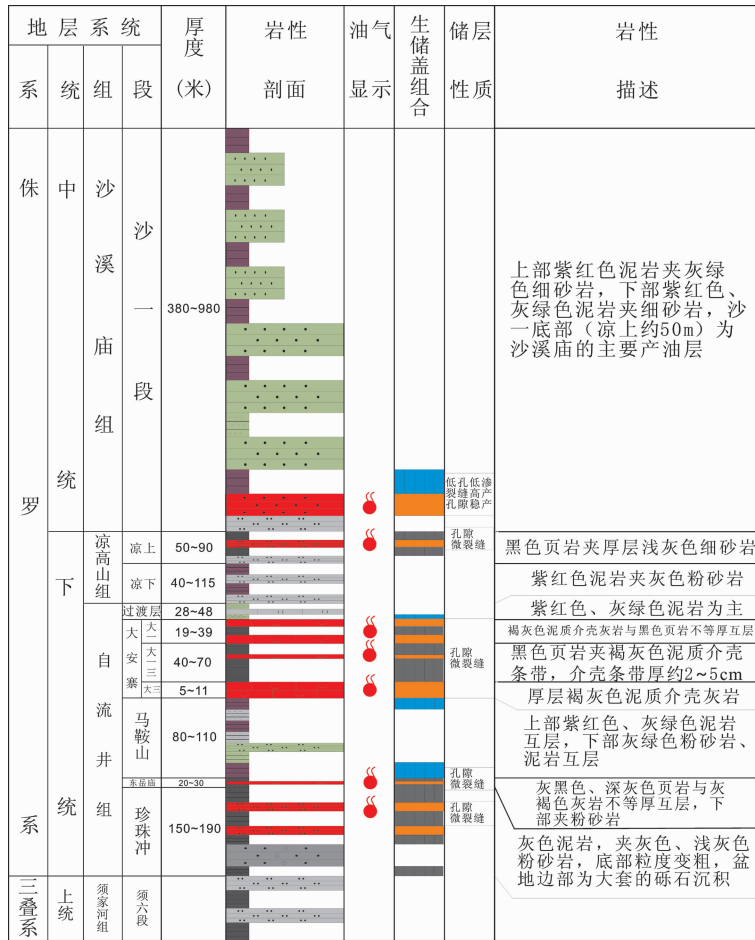


图 2 川中地区中下侏罗统地层综合柱状图(修改)^[34]

Fig.2 Integrated stratigraphic histogram of Lower Jurassic strata in central Sichuan Basin(modified)^[34]

三亚段,向东部及北部厚度增大,但整体分布稳定,厚度为 50~65 m(图 3)。有机碳含量 1.4%~2.0%,镜质体反射率 0.7%~1.12%,处于生油高峰期^[5-7]。大安寨段暗色泥岩的氯仿沥青“A”含量平均为 0.1%~0.2%,介壳灰岩平均为 14%~24%^[5]。目前,公山庙地化分析资料较少,根据公山 1 井的地化剖面,公山庙大安寨段烃源岩 S₁+S₂ 在 1.6~6 mg/g,氢指数 100~200 mg/gm,生油母质以腐殖-腐泥型为主^[7]。大一亚段顶部的介壳灰岩和大三亚段的介壳灰岩夹持烃源岩,形成“三明治”式的配置关系,烃源岩生成的油气就近聚集在夹持或相邻的介壳灰岩中。

此外,大安寨段的介壳灰岩也具有部分生油能力,川中大安寨段正处于生油高峰期,其中黑色—灰黑色介壳灰岩的有机碳含量平均为 0.34%。一般认为,四川盆地的介壳灰岩在 TOC>0.1%时即具有生油能力。川中大安寨段的介壳灰岩有机碳含量大多

在 0.1%以上,也具有一定的生油能力^[6]。

2.2 储层特征

2.2.1 储层类型

岩心及露头分析表明,公山庙大安寨主要发育 3 种类型的介壳灰岩:(1)褐灰色厚层介壳灰岩,为滨湖低洼地区无水动力筛选条件下的瓣鳃介壳灰岩,介壳分布清楚,大小均一,体态完整,常分布在大一亚段顶部或大三亚段。厚层介壳灰岩性脆,在相同的构造应力下容易产生裂缝,在以前的研究中被认为是好的储集层^[1,6,7]。(2)泥质介壳灰岩。根据泥质含量的不同(含泥介壳灰岩泥质含量 10%~25%、泥质介壳灰岩泥质含量>25%)划分为不同类型。泥质介壳灰岩颜色较深,侧面与泥页岩相似,在横截面上常见完整的介壳。通常呈厚层状分布。(3)与页岩互层的介壳条带,介壳条带厚度一般在 2~3 cm,为浅湖高能滩边缘相—半深湖低能相带,基质孔、构造水平

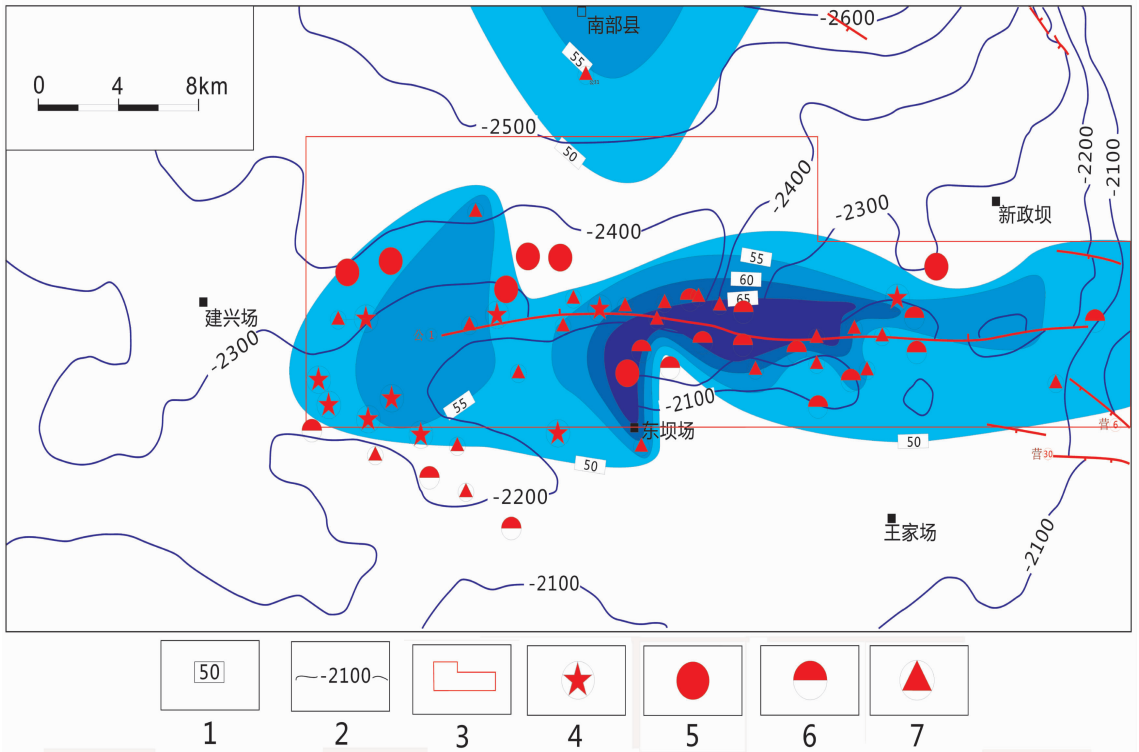


图3 公山庙油田大安寨段暗色泥岩等厚图

1—泥页岩厚度值;2—构造等值线;3—三维地震区;4—累产大于1万吨井;4—累产大于5000 t小于1万吨井;5—累产大于1000 t小于5000 t井;6—累产小于1000 t井

Fig.4 The thickness contour map of source rock in Da'an寨 section, the Gongshanmiao oil field

1—Thickness of source rock;2—Contour line;3—3D seismic zone;4—Well's accumulated production greater than 10000 t;
5—Well's accumulated production between 5000 t and 10000 t;6—Well's accumulated production between 1000 t and 5000 t;
7—Well's accumulated production below 1000 t

裂缝、成岩缝较发育,富含有机质,常与暗色泥页岩薄互层。虽然以前的研究认为此类介壳灰岩在某些地区也产油^[8],但并没有引起足够的重视。新的研究表明,此类介壳灰岩也为较好的储集层,主要分布在大一亚段下部及大三亚段上部。

2.2.2 储层物性

公山庙大安寨段储层物性主要表现为特低孔、特低渗的特征,根据公山庙油田大安寨段135个样品的统计,样品孔隙度一般小于2%,渗透率小于 $0.05 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表1)。然而,由于大安寨储层孔喉结构相对简单,喉道类型以片状为主,荧光薄片鉴定结果表明基质大面积含油,而动态研究结果也表明基质岩块对油气产出具有一定的贡献^[6]。因此,尽管为低渗储层,但基质岩块仍有一定的渗透能力。

根据公山庙大安寨196个样品的统计数据,泥质介壳灰岩的物性好于纯介壳灰岩(表1),且随着泥质含量的增大,介壳灰岩的孔隙度增大。这主要是

因为泥质含量增高,基质孔隙体积会相应增大,且泥质中的有机质阻碍了储层的成岩作用,使储层的原生孔隙得到一定程度的保护。

一般认为,泥质含量的增高没有使孔喉结构发生建设性改变,因此其渗透率无明显变化,而纯介壳灰岩在同一应力作用下,容易产生应力集中而破裂,形成的裂缝可改善渗透通道,是大安寨段主要的产层^[1,6]。根据国内外致密油的勘探实践^[9-11],渗透率可以通过压裂等措施大幅提高,大的孔隙度可以容纳更多的油气。故在构造受力较弱的地区,裂缝不发育,泥质介壳灰岩的资源潜力要好于纯介壳灰岩。

2.3 油气分布规律

大安寨段烃源岩生成的油气除少量通过断层转移散失外,大部分聚集在大安寨段内部^[12,13],生储配置方面属于典型的自生自储或近源生储类型。公山庙油田大安寨段油藏剖面图(图4~5)表明,除大一、大三亚段厚层介壳灰岩外,大一三亚段也为较好的

表 1 公山庙油田大安寨段储层岩心基质物性统计表

Table 1 Statistical tables of cores' matrix properties in Da'anzhai section, the Gongshanmiao oil field

井号	纯灰岩			含泥质介壳灰岩			泥质介壳灰岩		
	(Vsh<10%)			(Vsh: 10%~25%)			(Vsh: 25%~50%)		
	样品数 /个	孔隙度 /%	渗透率 /10 ⁻³ μm ²	样品数 /个	孔隙度 /%	渗透率 /10 ⁻³ μm ²	样品数 /个	孔隙度/%	渗透率/10 ⁻³ μm ²
G1	/	/	/	11	1.04	<0.23	3	0.97	<0.05
G2	19	0.88	0.0038	15	1.34	0.0182	11	2.66	0.0291
G3	30	0.83	0.0092	12	1.18	0.0057	4	1.08	0.0097
G4	30	0.85	0.0087	18	1.34	0.0186	6	2.06	0.0307
G6	19	0.87	0.0148	8	0.96	0.0077	3	1.6	0.0545

产油层。整体上看,油气主要分布在公山庙大安寨段的西部 G026-1 井附近,在东西向剖面上(图 4),表现为致密油大面积连续分布,大一亚段、大一三亚段与大三亚段均为较好油层,但非均质性明显,油层与差油层常间互出现。构造和介壳灰岩及暗色泥岩的厚度对油气富集没有明显的控制作用,储层物性是决定油气富集程度的主要因素。

大安寨段顶部为过渡层的灰绿色或紫红色泥岩,底部为马鞍山段灰绿色泥岩(图 2),这两段泥岩可以作为大安寨段的盖层。在大安寨段内部,烃源岩

内生成的油气通过微裂缝运移到相邻的介壳灰岩中,微孔隙、微裂缝是大安寨段油气富集的主要空间,是稳产的关键,裂缝是沟通孔隙及油气运移的主要通道,为初期高产的必要条件。油气主要分布在生烃潜力大的烃源岩与物性好的储层附近,而在储层物性较差,排烃不畅的位置则为差油层。

致密油是指以吸附或游离状态赋存于生油岩中,或与生油岩互层、紧邻的致密砂岩、致密碳酸盐岩等储集岩中,未经过大规模长距离运移的石油聚集^[13,14]。公山庙大安寨段储层致密,大面积分布;烃源

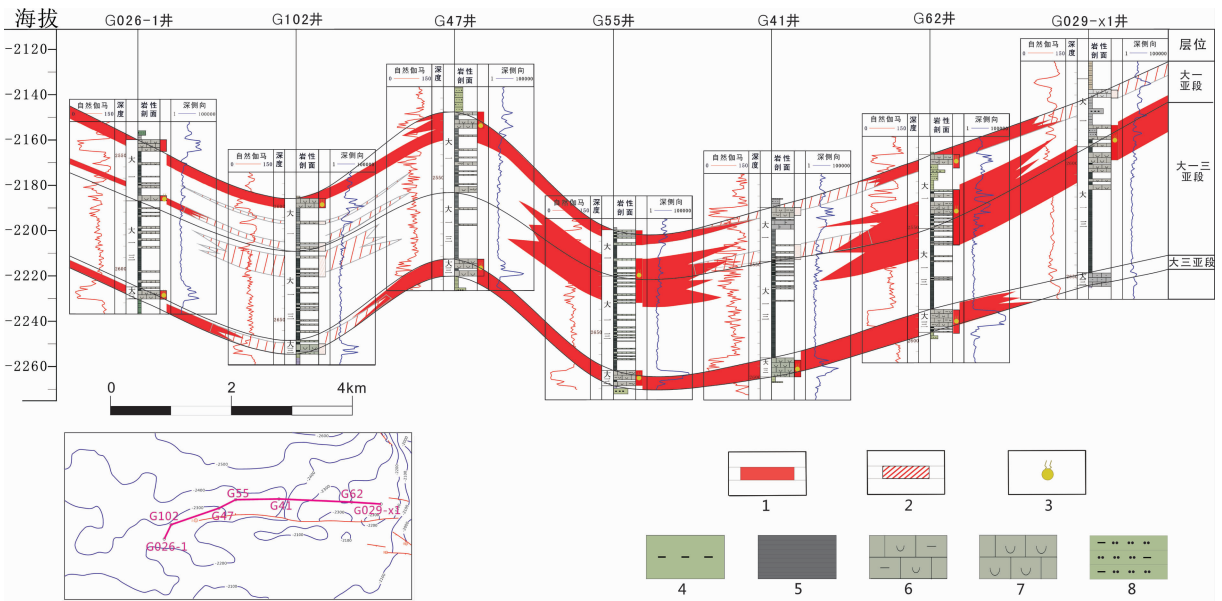


图 4 公山庙大安寨段东西向油藏剖面图

1—油层;2—差油层;3—油气显示;4—泥岩;5—页岩;6—泥质介壳灰岩;7—介壳灰岩;8—泥质粉砂岩

Fig.4 EW-striking reservoir profile of Da'anzhai section, the Gongshanmiao oil field

1—Oil reservoir;2—Poor oil layer;3—Hydrocarbon indications;4—Mudstone;5—Shale;6—Argillaceous shelly limestone;7—Shelly limestone;8—Muddy siltstone

岩生烃潜力大,处于生油高峰期,且广覆式;致密储层与生油岩紧密接触,呈“三明治”式的共生关系,无明显圈闭边界,无油“藏”的概念;原油的密度多处于 $0.75\sim 0.825\text{ g/cm}^3$ 之间。这些基本特征符合致密油的 4 个明显的标志^[4],故公山庙油田大安寨段油层属于典型的非常规致密灰岩油层。

3 资源潜力分析

3.1 资源评价方法

目前,常用的油气资源评价的方法有几十种,归纳起来主要有成因法、统计法和类比法三大类^[1,15,16]。成因法主要通过地层的埋藏史、盆地热史、生烃史进行盆地模拟,得到烃源岩的生烃量、排烃量与运聚量而求得资源量。该方法的关键是取准排烃效率和运聚系数,但这两个关键参数的选取受人为主的影响较大。统计法是通过对比油田基本地质情况的解剖研究,获得其储层参数或规模分布特征,通过统计的方法求得资源量。类比法是通过建立类比刻度区,进而推测类比单元的一种方法,它贯穿于各种评价方法中。

致密油烃源岩生、排烃机理和致密储层充注机制等基本原理由目前尚未研究清楚,成因法计算致密油的资源量时,大部分关键参数需要人为假定,计算出来的资源量只能作为参考。统计法的各参数来源于油田地质条件分析,得到的资源评价结果较为可靠,是国内外广泛采用的一种方法,目前适合致密油资源评价的统计方法主要为容积法。类比法中的 EUR(单井最终可采储量)法是国外常采用的一种致密油资源评价方法,该方法中的各参数来自于油井的实际生产数据,评价结果较保守,但更可靠。

本次选取统计法中的容积法和类比法中的产量递减拟合法计算资源量。

3.1.1 容积法计算资源量

容积法计算资源量的公式为:

$$N=100A \times h \phi (1-S_w) \times \rho / B_w$$

其中: N 为地质资源量, A 为面积, h 为储层厚度, ϕ 为储层孔隙度, S_w 为含水饱和度, ρ / B_w 为地面原油密度与体积系数的比值。

通过对公山庙油田大安寨段基本地质参数的分析,公式中的各项参数选取如下:以目前 102 口井控制的面积外推 1 km 作为资源量计算的面积,面积约 410 km^2 ;从油藏剖面图中可以看出,除厚层介壳灰岩外,与页岩呈薄互层的介壳灰岩条带也为较好

的储层,统计得到储层厚度约为 25 m;储层的孔隙度、含油饱和度及体积系数均取已有的研究值,分别为 1.06%、 $1-S_w=89\%$ 、 $\rho / B_w=0.555$ ^[6]。带入计算得到的地质储量为 5366.77 万 t。若采用以前的可采系数 6.3%,可采资源量为 338.11 万 t。

3.1.2 产量递减拟合法计算资源量

目前公山庙油田的大多数井已进入产量递减期,可以使用产量递减拟合法计算单井的最终可采储量(EUR)^[7]。在一个独立的石油地质体系内,以油田规模序号为横坐标,以油田规模为纵坐标,在双对数坐标系内大致能形成一条直线,即 Pareto 定律,通过求得规模分布的斜率及规模数,可以求得总资源量。这就是传统的油田规模序列法^[18-21]。这种方法适用于一个完整的、独立的石油体系。油田中油藏规模分布是面积不确定性和油藏特征不确定性的集合,每个规模所代表的点反映的是面积内所有油井的总体特征与油藏的平均特征^[2]。根据油藏规模序列的启示,在一个油田中,油井规模主要反映了井下的油藏特征,即井控区域内地下的地质特征,油井规模序列也遵循一定的分布。所以,油藏规模分布是一条曲线,而油井规模分布则可能是多条曲线,曲线围成的面积则组成了单井产量集合,即为区域内的可采储量。

公山庙油田目前钻井 102 口,以 30 年为拟合时间段^[2],使用产量递减拟合法计算各井的最终可采储量(EUR),得到公山庙油田大安寨段油气富集分布图(图 6)。从图中可以看出,公山庙大安寨段油气主要分布在西部地区 G026-1 井附近,分布面积约 49 km^2 ,在中部 G55 井、G57 井、G24 井及 G9 井附近,油气的富集程度较好,分布面积约 68 km^2 。在公山庙油井分布范围内,其余地方的油气富集程度较差,总面积约 293 km^2 。

公山庙大安寨段单井 EUR 可以分为 3 个级别:Ⅰ类区的单井 $\text{EUR} \geq 2.5$ 万 t,为“甜点”区;Ⅱ类区 $1\text{ 万 t} \leq \text{EUR} < 2.5$ 万 t,为扩展区;Ⅲ类区的 $\text{EUR} < 1$ 万 t,为外围区(图 6~7)。

根据 18 口井的产量数据,得到 EUR 分布图(图 7),拟合曲线为,相关度为 0.9496。根据得到的拟合函数,预测单井的 EUR 分布(图 7)。可采储量为 155.74 万 t。

3.2 评价结果分析

容积法中直接以介壳灰岩的累计平均厚度作为储层的有效厚度,没有考虑储层有效性的因素,储层

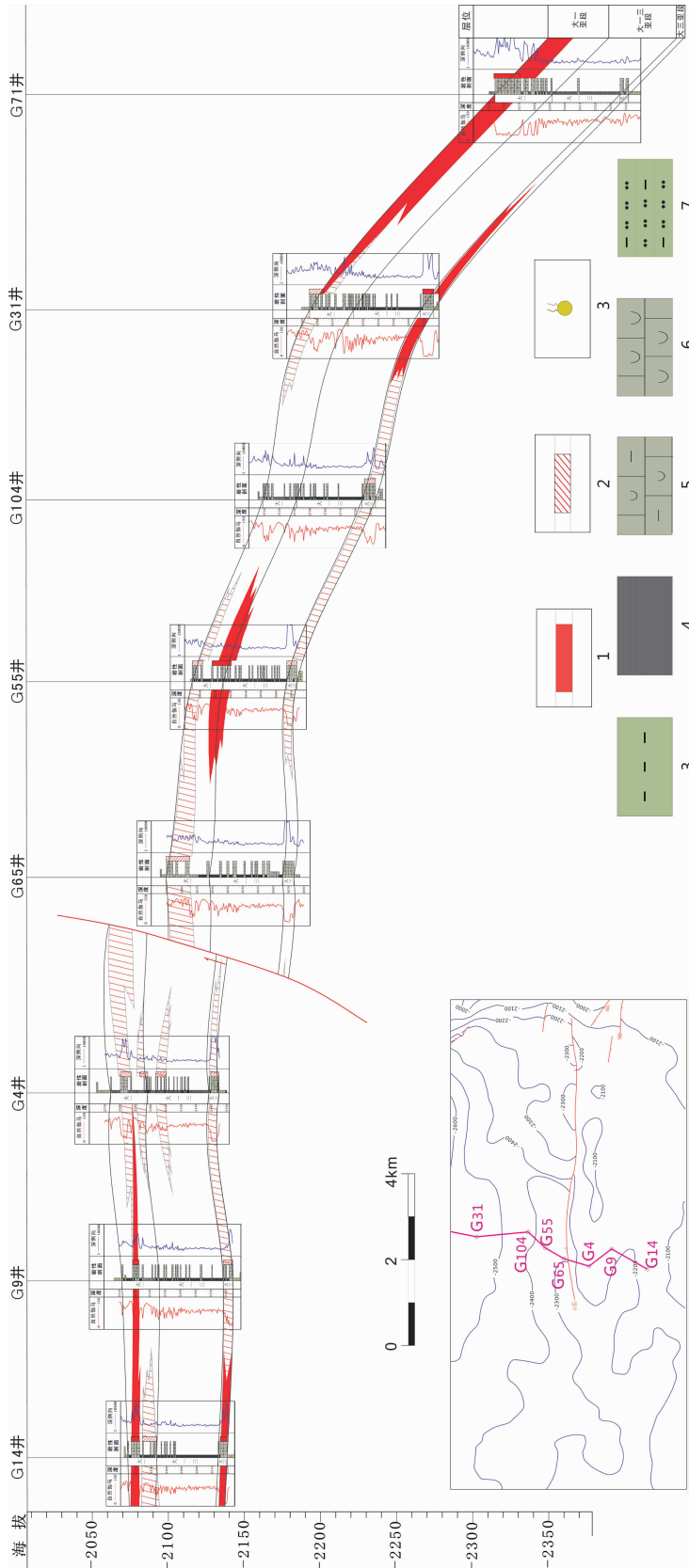


图 5 公山庙大安寨段南北向油藏剖面图

1—油层;2—差油层;3—油气显示;4—泥岩;5—页岩;6—泥质介壳灰岩;7—介壳灰岩;8—泥质粉砂岩

Fig.5 NS-striking reservoir profile of Da'anzhai section, the Gongshanniao oil field

1—Oil reservoir;2—Poor oil layer;3—Hydrocarbon indications;4—Mudstone;5—Shale;6—Argillaceous shelly limestone;7—Muddy siltstone

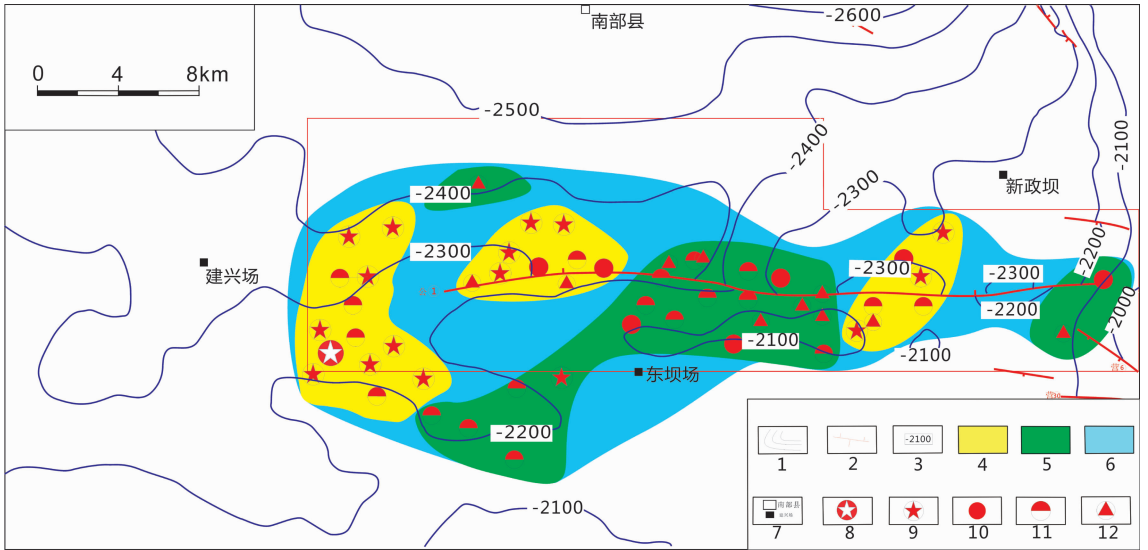


图 6 公山庙大安寨段致密油井分布图

1—构造等值线;2—逆断层;3—等值线值;4—“甜点”区;5—扩展区;6—外围区;7—地名;8—EUR 大于 50 000 t 井;
9—EUR 为 10 000t~50 000 t 的井;10—EUR 为 5 000~10 000 t 的井;11—EUR 为 1 000t~5 000t 的井;12—EUR 小于 1 000 t 的井

Fig.6 Tight oil well map of Da'anzhai section, the Gongshanmiao oil field

1—Contour line;2—Reverse fault;3—Contour value;4—Sweet spots;5—Favorable area;6—Poor target;7—Place;8—EUR greater than 50000t;
9—EUR between 10000t and 50000t;10—EUR between 5000t and 10000t;11—EUR between 1000t and 5000t;12—EUR less than 1000

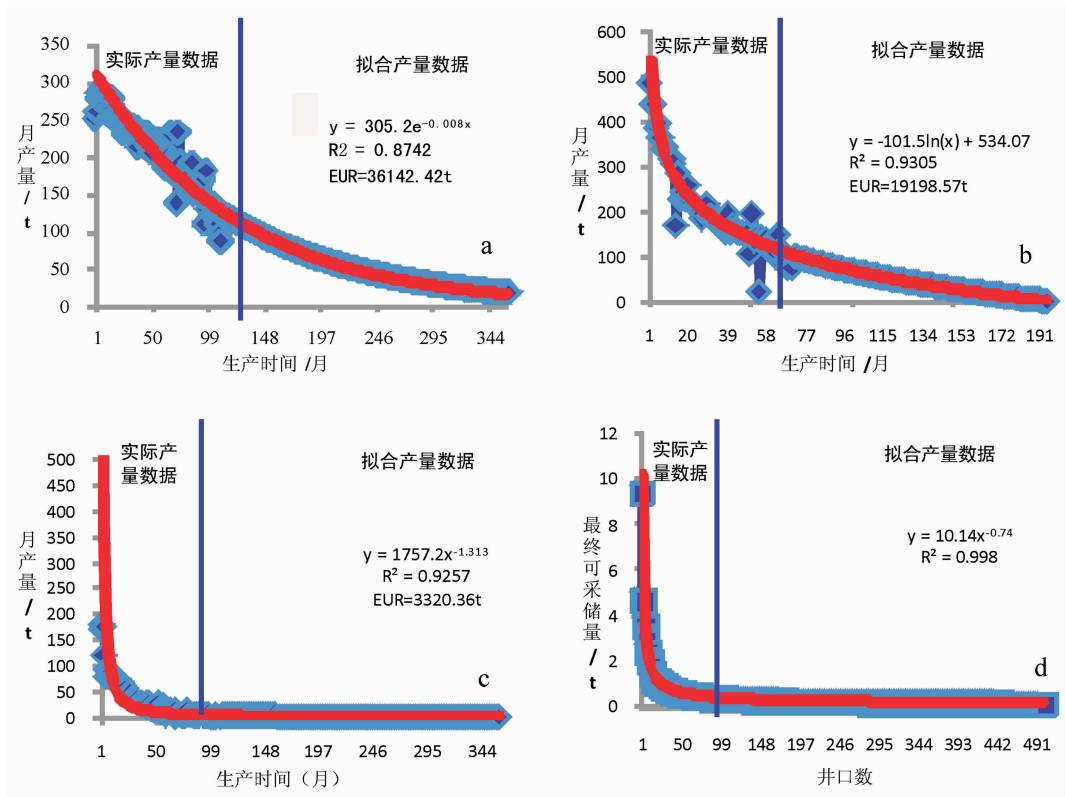


图 7 公山庙油田大安寨段单井 EUR 分布图

a—核心区的单井产量曲线(G26井);b—扩展区的单井产量曲线(G003-1井);c—外围区的单井产量曲线(G19井);
d—公山庙油田大安寨单井 EUR 分布拟合

Fig.7 Well's expected ultimate recovery in Da'anzhai section, the Gongshanmiao oil field
a—EUR of sweet spots (G 26);b—EUR of favorable area(G 003-1);c—EUR in poor target(G19);
d—EUR distribution of Da'anzhai, the Gongshanmiao oil field

的孔隙度、含油饱和度及体积系数均选用以前研究的值,计算出的可采资源量值较为乐观。产量递减拟合法是根据目前已有井的生产数据拟合,得到单井的最终可采储量(EUR),以给定EUR下限(1000 t)的形式,来确定饱和钻井数,最后通过统计得到总的可采资源量。在这种方法中,默认了目前单井最终可采储量最高的井为EUR的最大值。以目前EUR的分布特征去推测所有油井的EUR分布,得出的结果偏于保守,且该方法还有很多需要改进的地方。由计算结果可知,公山庙油田大安寨段原油的可采资源量在155.74~338.11万t。

4 结论

公山庙油田大安寨段油气属于典型的自生自储或近源生储类型。油气大面积非均质分布,局部发育“甜点”。油气主要受储层物性控制,构造和介壳灰岩及生油岩厚度没有明显的控制作用,无明确含油边界和油、水边界,属于典型的非常规致密灰岩油。

除大一亚段和大三亚段的厚层介壳灰岩之外,大一三亚段中的介壳灰岩与页岩的薄互层也为较好的含油气层,是今后重要的勘探领域,在资源量计算中,应考虑在内。

泥质介壳灰岩的物性好于纯介壳灰岩。泥质含量越高,孔隙度越大,渗透率无明显变化。

初步计算公山庙大安寨段可采资源量为155~338万t,约为以前认识的5倍,预示整个川中大安寨的资源潜力比以前大得多。

参考文献(References):

- [1] 国土资源部油气资源战略研究中心等. 全国石油天然气资源评价(上册)[M]. 北京:中国大地出版社,2010:210-211.
Oil and Gas Resources Strategy Research Center of Ministry of Land and Resources, et al. The National Oil and Gas Resource Evaluation (Volume I) [M]. Beijing: China Land Press, 2010:210-211 (in Chinese).
- [2] 郑荣才. 四川盆地侏罗系大安寨段高分辨率层序地层学[J]. 沉积学报, 1998, 16(2):42-44.
Zheng Rongcai. High-resolution sequence stratigraphy of Da'anzhai Formation, Lower Jurassic in Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2):42-44(in Chinese with English abstract).
- [3] 蒋裕强, 漆麟, 邓海波, 等. 四川盆地侏罗系油气成藏条件及勘探潜力[J]. 天然气工业, 2010, 30(3):22-26.
Jiang Yuqiang, Qi Lin, Deng Haibo, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and exploration potentials of the Jurassic

- reservoirs in the Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(3):22-26(in Chinese with English abstract).
- [4] 李军, 陶士振, 汪泽成, 等. 川东北地区侏罗系油气地质特征与成藏主控因素[J]. 天然气地球科学, 2010, 21(5):738-739.
Li Jun, Tao Shizhen, Wang Zecheng, et al. Characteristics of Jurassic petroleum geology and main factors of hydrocarbon accumulation in NE Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2010, 21(5):738-739(in Chinese with English abstract).
- [5] 杜敏, 陈盛吉, 万茂霞, 等. 四川盆地侏罗系源岩分布及地化特征研究[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(2):15-16.
Du Min, Chen Shengji, Wang Maoxia, et al. Study on distribution and geochemical features of Jurassic source rocks in Sichuan Basin[J]. Nature Gas Exploration and Development, 2005, 28(2):15-16(in Chinese with English abstract).
- [6] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十,四川油气区)[M]. 北京:石油工业出版社,1987:118-120.
Editorial Committee of Petroleum Geology of China. Petroleum Geology of China (Vol.10) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1987:118-120(in Chinese).
- [7] 梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 等. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识[J]. 石油学报, 2011, 32(1):8-17.
Liang Digang, Ran Longhui, Dai Danshen, et al. A re-recognition of the prospecting potential of Jurassic large-area and non-conventional oil in the central-northern Sichuan Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1):8-17(in Chinese with English abstract).
- [8] 刘殊, 许红梅. 四川大安寨段薄层灰岩油气富集区预测[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(2):44-49.
Liu Shu, Xu Hongmei. Forecast oil and gas enrichment areas in thin limestone of Da'anzhai Formation, Sichuan Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2001, 6(2):44-49(in Chinese with English abstract).
- [9] Brent Miller, John Paneitz. Unlocking Tight Oil: Selective Multi-Stage Fracturing in the Bakken Shale[J]. SPE116105, 2008.
- [10] Zargari S, Mohaghegh S D. Field Development Strategies for Bakken Shale Formation [J]. SPE139032, 2010.
- [11] Li X, Wei H, et al. Multi-Stage Fracturing Stimulations Improve Well Performance in Tight Oil Reservoirs of The Changqing Oilfield 2010. IPTC, 2008.
- [12] 陈盛吉, 万茂霞, 杜敏, 等. 川中地区侏罗系油气源对比及烃源条件研究[J]. 天然气勘探与开发, 2005, 28(2):13-15.
Chen Shengji, Wan Maoxiao, Du Min, et al. Jurassic oil-gas source correlation and hydrocarbon source condition in central Sichuan region[J]. Nature Gas Exploration and Development, 2005, 28(2):13-15(in Chinese with English abstract).
- [13] 邹才能, 陶士振, 侯连华, 等. 非常规油气地质[M]. 北京:地质出版社, 2011:50-54.
Zou Caineng, Tao shizhen, Hou Lianhua, et al. Unconventional Oil and Gas Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2011:50-54(in Chinese).
- [14] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、

- 基本特征及资源前景[J]. 石油学报, 2012, 33(3):344-346.
- Jia Chengzao, Zou Caineng, Li Jianzhong, et al. Assessment criteria, main types, basic features and resource prospect of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(3):50-54(in Chinese with English abstract).
- [15] 武守城. 油气资源评价导论—从“数字地球”到“数字油藏”[M]. 北京:石油工业出版社, 2004:268-285.
- Wu Shoucheng. Introduction to Petroleum Resource Assessment—from Digital Earth to Digital Reservoir [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2004:268-285(in Chinese).
- [16] 周庆凡, 张亚雄. 油气资源量含义和评价思路的探讨[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(3):475-478.
- Zhou Qinfan, Zhang Yaxiong. A discussion on petroleum resource concepts and assessment approaches [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(3): 475-478(in Chinese with English abstract).
- [17] 郭秋麟, 周长征, 陈宁生, 等. 非常规油气资源评价方法研究[J]. 岩性油气藏, 2011, 23(4):12-16.
- Guo Qiulin, Zhou Changqian, Chen Ningsheng, et al. Evaluation methods for unconventional hydrocarbon resources [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(4):12-16(in Chinese with English abstract).
- [18] 徐忠美, 金之钧, 孙红军, 等. 基于广义帕莱托分布的关键参数求取方法探讨[J]. 石油实验地质, 2010, 32(5):518-520.
- Xu Zhongmei, Jin Zhijun, Sun Hongjun, et al. The discussion about how to obtain the key parameters of generalized Pareto distribution [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(5): 518-520(in Chinese with English abstract).
- [19] 李晓光, 鲁港, 单俊峰. 油藏规模序列法的改进及应用 [J]. 新疆石油地质, 2009, 30(1):106-108.
- Li Xiaoguang, Lu Xiang, Shan Junfeng. Improvement and application of reservoir size sequential method[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 30(1):106-108(in Chinese with English abstract).
- [20] 祝厚勤, 庞雄奇, 姜振学, 等. 油气聚集系数的研究方法及应用 [J]. 中国地质大学学报, 2007, 32(2):261-263.
- Zhu Houqin, Pang Xiongqi, Jiang Zhenxue, et al. Studying methods and application of the hydrocarbon accumulation coefficient[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(2): 261-263(in Chinese with English abstract).
- [21] 姜振学, 庞雄奇, 周心怀, 等. 油气资源评价的多参数约束改进油气田(藏)规模序列法及其应用[J]. 新疆石油地质, 2009, 14(3):53-55.
- Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Zhou Xinhui, et al. Multiparameter constrained reservoir size sequential method for petroleum resource estimation and the application[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2009, 14(3):53-55(in Chinese with English abstract).
- [22] Haskett W J, Brown P J. Evaluation of unconventional resource plays [C]. SPE96879, 2005.
- [23] Schmoker J W, Klett T R. USGS assessment concepts for conventional petroleum accumulations[Z]. USGS, 2003.

The potential of tight oil resource in Jurassic Da'anzhai Formation of the Gongshanmiao oil field, central Sichuan Basin

WANG Shao-yong¹, LI Jian-zhong¹, LI Deng-hua¹, GONG Chang-ming²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development of Central Sichuan Oil and Gas Field, Southwest Oil and Gas Field Company, Suining 629001, Sichuan, China)

Abstract: The Da'anzhai reservoir in the Gongshanmiao oil field belongs to tight oil type, and its physical properties are extremely tight with porosity less than 2% and permeability below 0.05mD. The oil reservoir in Da'anzhai extends extensively and has relatively oil enriched places called "sweet spots". Vertically, the oil layers in Da'anzhai are strongly heterogeneous. The top and bottom segments of the section are composed of thick shelly limestone and are main producing parts in Da'anzhai section; the middle segment composed of thin shelly limestone interbedded with shale is the secondary pay zone. The structure and the thickness of shelly limestone and dark shale are not the main mechanism of oil enrichment. "Sweet spots" are located in the sloping area on the western side of Gongshanmiao. Based on geological information and production data of wells, the authors calculated the recoverable resource using the volumetric method and production decline fitting method, and the result is 3.38 million tons and 1.56 million tons, respectively.

Key words: central Sichuan basin; tight oil; Gongshanmiao oil field; Da'anzhai section; resource prospect

About the first author: WANG Shao-yong, male, born in 1988, postgraduate, mainly engages in petroleum resource assessment; E-mail: wsy19880129@163.com.