

四川盆地海相大气田和气田群成藏条件

韩克猷¹,孙 玮²

(1. 中国石油西南油气田分公司 勘探开发研究院,四川 成都,610051; 2. 成都理工大学 地球科学学院,四川 成都,610059)

摘要:为了探讨四川盆地海相大气田或气田群的成藏条件,利用构造、岩相等方法综合分析了印支期古隆起和加里东期古隆起对海相油气成藏的控制作用。四川盆地海相气田勘探由找背斜构造裂缝性气田,走向了找滩相孔隙储层和古隆起复合型大气田的广阔道路。由泸州古隆起找构造小气田群,到找川东石炭系孔隙性气藏,从开江古隆起上找到了五百梯石炭系大气田和气田群,至该区二叠系和三叠系礁滩勘探更上一层楼,找到了以普光大气田为代表的大中气田群。目前在乐山-龙女寺古隆起获震旦系灯影组和寒武系龙王庙组高产井,出现大好形势。该区储层、古构造和现今构造三位一体叠加在一起,可望获得特大型气田。

关键词:储层;古隆起;泸州古隆;四川盆地

中图分类号:TE122.3 **文献标识码:**A

Conditions for the formation of large marine gas fields and gas field clusters in Sichuan Basin

Han Keyou¹, Sun Wei²

(1. Exploration & Production Research Institute, Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610051, China;

2. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: This paper discussed the forming conditions of large marine gas fields and gas field clusters in Sichuan Basin. Based on comprehensive analyses of structure and lithofacies, we discussed the control of the Indosinian and Caledonian paleouplifts on the marine petroleum accumulation. There are significant changes in exploitation targets in the Sichuan Basin, from anticlinal gas fields in the early stage to large gas fields correlated with porous reservoirs of bank facies, and to composite large gas fields related with paleouplifts now. In the first stage of exploration, small gas field clusters were found in Luzhou paleouplift. In the second stage, the Carboniferous porous gas reservoirs were discovered in eastern Sichuan Basin. In the third stage, the Wubaiti large gas field and gas field cluster were discovered in the Kaijiang paleouplift. In the fourth stage, medium-to-large gas field clusters represented by Puguang gas field were found in the Permian and Triassic reservoirs of reef-shoal facies. Recently, several highly-productive wells have been successfully completed in the Sinian Dengying Formation and the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in the Leshan-Longnvsi paleouplift. The favorable superimposition of reservoirs, paleostructures and modern structures makes it possible to form giant gas field in this area.

Key words: reservoir, paleouplift, Luzhou paleo-uplift, Sichuan Basin

四川盆地对海相碳酸盐岩的油气勘探已有 70 多年的历史,随着勘探的进程所发现的气田越来越大,特别是 2002 年之后,先后发现了两个超千亿方的气田(普光气田、元坝气田)和一个未来可能超千亿方气田(磨溪-高石梯气田)。这不仅反映出盆地的天然气资源丰富,更重要的反映出勘探理论和技术的进步,突破了四川盆地单纯找背斜构造气田的束缚,走向了找滩相碳酸盐岩孔隙性储集层与古隆起相搭配的复合型大气田或气田

群的道路,进入了资源更丰富、储量丰度高的勘探领域。

为了对这个问题有更清晰的认识,现对与四川盆地古隆起相关勘探成果进行总结。通过对泸州古隆起,开江古隆起,乐山-龙女寺古隆起以及龙岗-元坝古隆起的勘探成果的分析研究后得出,这类大气田和气田群形成条件是:储层岩相条件为主,古隆起为辅,现今构造分割复杂化的成藏模式。现将各古隆起的勘探成果分述于后。

1 泸州印支期古隆起勘探成果

泸州地区于 1956 年进行钻探,最早发现永川黄瓜山气田^[1],之后成为勘探的重点区,随着钻井增加印支期古隆起被发现,隆起高部位在阳高寺和九奎山构造地区,这里只残留嘉陵江组三段(嘉三),隆起幅度达 800 m^[2],以雷口坡组的剥蚀范围算有 15 000 km²。在古隆起上发现地表构造 60 个,潜伏构造 90 个并引起关注,于 1966 年提出大上泸州古隆起。气田不断被发现,日产百万方的高产大气井不断涌现,泸州地区天然气的勘探开发呈现出热火朝天的局面,在隆起上共发现二叠系、三叠系裂缝性气田 35 个,含气构造 17 个。成为当时新中国天然气主力产区,这也是四川盆地发现的第一个气田群。钻探证实古隆起的顶部背斜和向斜中都产油气,如得胜向斜和况厂向斜下二叠统产气而三叠系嘉陵江组产油,多个构造嘉陵江组大量沥青的存在^[3],都表明古隆起曾聚集油气(图 1)。

图 1 中可以看出气田基本上都是背斜构造。由于二叠系、三叠系主要是致密的石灰岩、白云岩,储集条件差,孔隙度大多数小于 1%,只有靠裂缝渗储,所以每个气田都由数个互不连通的裂缝系统组成,因此只

能用试采资料计算各系统的压降储量。由此,获得的储量很少,平均每个气田储量为 $17.2 \times 10^8 \text{ m}^3$,储量最大的是阳高寺气田为 $49.69 \times 10^8 \text{ m}^3$,共计获得压降储量 $604.34 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中二叠系 $361.9 \times 10^8 \text{ m}^3$,三叠系 $242.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。从上述情况可以看出:在海相碳酸盐岩地层中,有古隆起具早期聚油气的条件而无孔隙性好储层只能形成裂缝性气田,而很难形成大气田。

2 开江古隆起石炭系勘探成果

川东石炭系是盆地中发现的第一套分布较广的孔隙性白云岩储层^[4-5]。据统计共发现气田和含气构造 30 个,获储量 $2\,646 \times 10^8 \text{ m}^3$,平均每个气田储量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。使盆地储量快速增长,天然气工业走向正规开发的轨道。勘探取得了很好的效果。取得了以下认识。

2.1 气藏受储层岩相控制

石炭系只残留有中统黄龙组沉积,其厚度仅 0 ~ 80 m,储层厚一般为 8 ~ 30 m,总体看可分为 3 层:下部为潟湖蒸发岩相石膏和去白云化灰岩,厚 0 ~ 20.5 m,

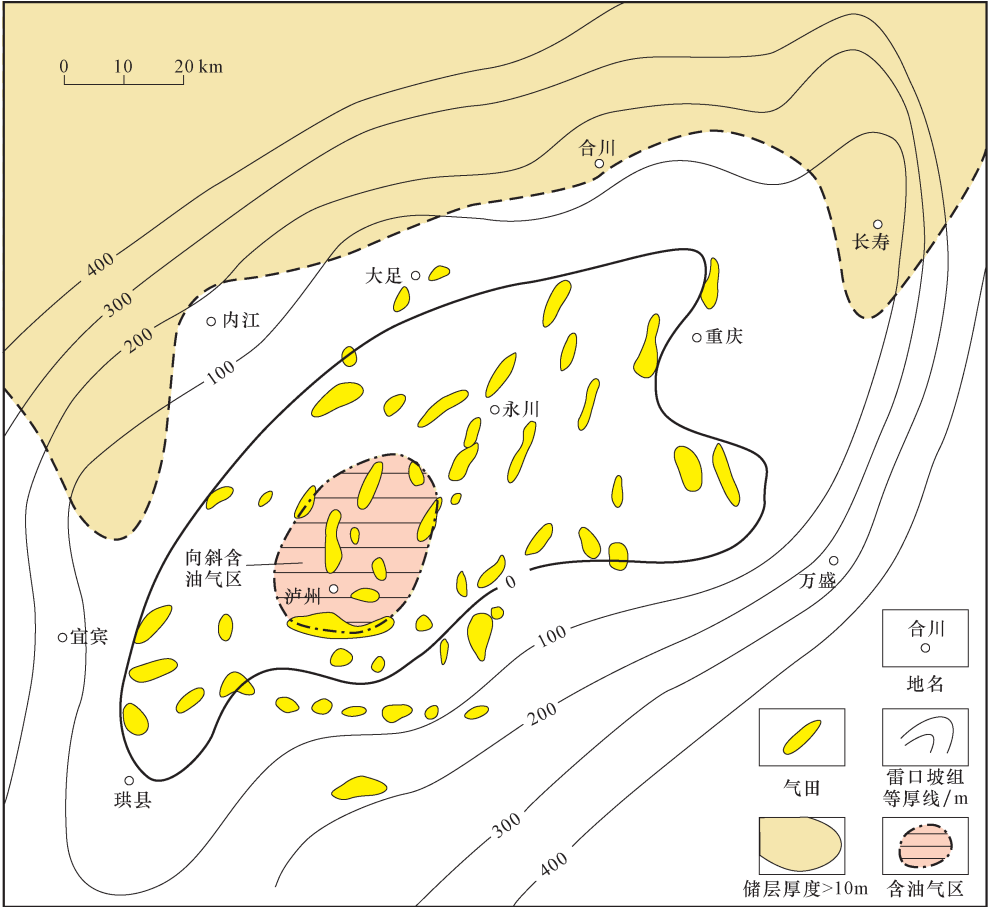


图 1 泸州古隆起气田分布
Fig. 1 Gas fields distribution on Luzhou paleo-uplift

中部为含砂、生屑滩坝相溶蚀孔洞白云岩夹砾石状白云岩,为孔隙发育白云岩储集层,厚 3~43 m。储层的好坏与粒屑含量为正相关,与泥质含量为负相关。上部为灰色生物石灰岩或云质灰岩,厚 0~35 m。由于储层的分布较广,所以形成了大批的气田。气田的分布严格地受储层好坏控制,气田都分布在储层系数大于 0.25 m 的范围内,储量大于 $100\times 10^8\text{ m}^3$ 的大中气田大多数分布在储层系数大于 1 m 的区域内,单储系数大,容易形成大中气田。石炭系中发现储量大于 $100\times 10^8\text{ m}^3$ 的大中气田 9 个,它们的储量占石炭系总储量的 76.77%(图 2)。

2.2 具备早期聚油气的条件

古隆起早期聚油气要具备 3 个条件,一是有构造圈闭;二是有油气的供给;三是具有油气运移的通道和储存空间。

开江古隆起形成于中三叠世末印支运动,隆起幅度为 460 m,圈闭面积为 $15\,200\text{ km}^2$,隆起中心在开江地区,这里中三叠统几乎被侵蚀殆尽,由于隆起的剥蚀卸载作用地层压力下降约 4~5 MPa,地温下降约 12~15℃,给隆起早期聚油气创造了条件。

石炭系的烃源层是下伏的志留系龙马溪组,隆起形成时其埋深 2 100~2 600 m,地温在 95~110℃,正处在生油高峰期,具备烃源条件。

石炭系储层孔隙度平均 4.2%,据石炭系储层孔隙演化曲线反演当时的孔隙度为 10%~12%,这种级次的储层的排驱压力小于 0.04 MPa,有较好的运移和储集空间,具备早期捕获油气的条件。

勘探证实,在开江隆起核部油气早期聚集的现象很明显,如:五百梯大气田和沙罐坪气田、温泉井气田低部位都未见地层水,在五百梯气田东南部向斜中钻的天东 21 井石炭系产气 $21\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 等;该地区的储层岩心孔隙中含有沥青^[6]。包裹体分析表明:在第一世代充填矿物石英中有液态烃包体,均一温度在 110~120℃,第三世代的方解石有沥青包裹体,均一温度为 170~180℃,充分表明古隆起三叠纪末期是聚油期,曾形成油藏,中侏罗世油被裂解为气成为古气藏。

2.3 现今构造对气田形成的作用

喜马拉雅运动使盆地全面褶皱形成了各种背斜构造,为盆地背斜构造气田形成创造了条件,对石炭系而言在储层好的地区的构造可以成为气田,对开江古气

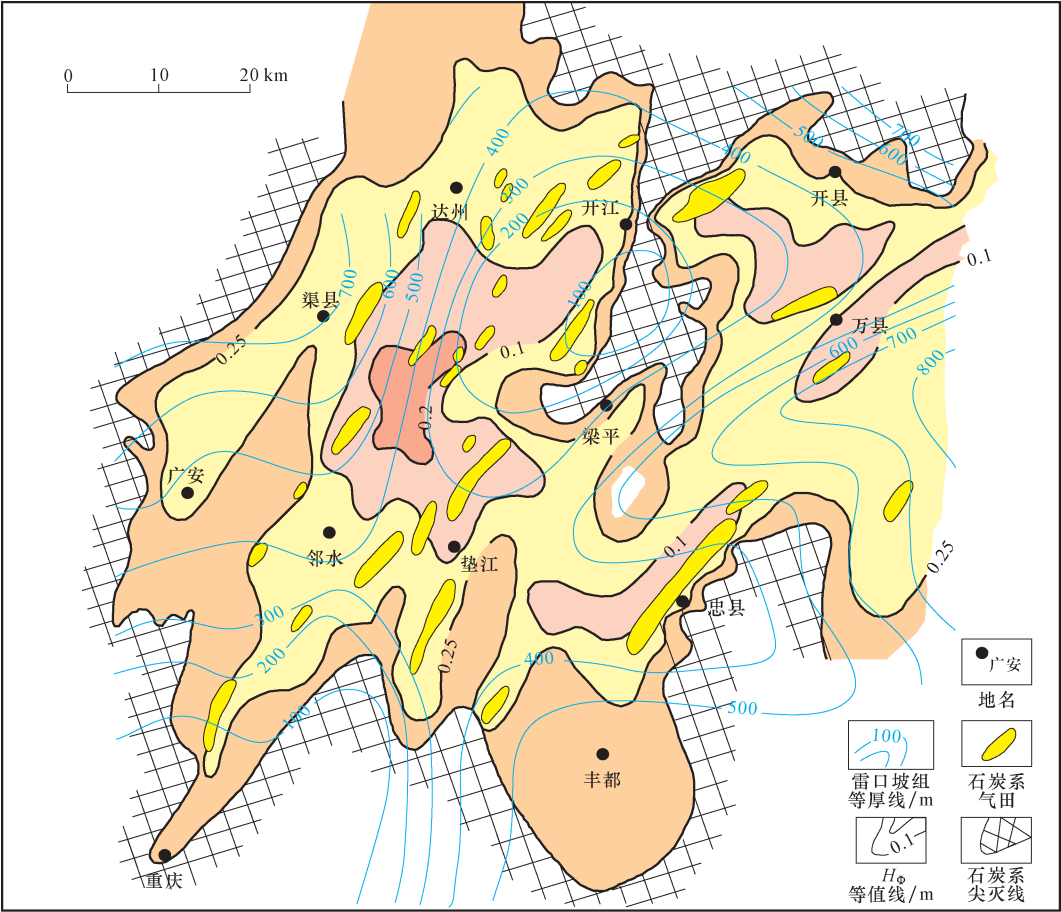


图 2 川东石炭系储层系数(H_ϕ)等值线及开江古隆起气田分布

Fig. 2 Carboniferous reservoir coefficient(H_ϕ) contour and gas fields distribution on Kaijing paleo-uplift in eastern Sichuan Basin

藏则进行了天然气的重新分配与分割作用。尽管如此,古隆起上气田分布密度大,大中气田多(五百梯就是石炭系第一大气田,储量 $539.88 \times 10^8 \text{ m}^3$ 就在隆起核部)。隆起区共有气田和含气构造 15 个,其储量占石炭系总储量的 64.7%。有大中气田 5 个,储量占总储量的 61.3%,充分说明开江古隆起是石炭系天然气最富集的地区。

同时认为,在隆起核部没有背斜、储层较好的地区岩性圈闭含气的可能性,具备一定的勘探潜力。

3 开江和龙岗 – 元坝古隆起三叠系飞仙关组鲕粒滩和长兴组生物礁勘探成果

长兴组生物礁和飞仙关组鲕粒滩相,特别是鲕粒滩相发现了普光和罗家寨等大气田和气田群共计 12 个,平均每个气田储量为 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$,使天然气储量高速增长了近 $6\,300 \times 10^8 \text{ m}^3$,使储量上了一个新台阶,有力的促进了四川天然气工业的发展^[7-8]。礁、滩是继承性成长的,一般是长兴组有礁,而上面飞仙关组就有鲕粒滩,作为储集层滩较礁分布宽广是主力储层。所以本文以鲕粒滩层为重点,结合古隆起进行气田形成概述。

3.1 储层岩相控制气田的形成

对四川盆地的飞仙关组研究后认为,在川东北地区有 4 个大型鲕粒岩台地(图 3)。图中可以看到台地

被槽、沟所分割成为 4 个不同性质的台地,Ⅰ是半蒸发岩台地,Ⅱ是开放型台地,Ⅲ是蒸发岩台地,Ⅳ是水下潜伏台地。这些台地形成的地理环境各异,储集层发育程度不同,形成的气田规模相差甚大,所产的天然气含硫程度也不同。在各台地中鲕粒岩厚度大于 50 m 的地区是溶孔鲕粒白云岩储层发育区,各台地上大中气田都分布在储层系数大于 5 m 区内。储层最发育的是川东北蒸发盐鲕粒台地^[9],因此形成了普光、罗家寨、渡口河和铁山坡大中气田群,天然气高含硫;次为川中北部台地有龙岗和元坝气田,天然气含硫中等;再次是川东台地有铁山和龙门等小气田,天然气不含硫。川东北台地是个蒸发岩台地,它的中心是石膏、云岩潟湖,围绕潟湖是潮间溶孔溶洞发育的鲕粒白云岩堤坝,再外围是潮下鲕粒石灰岩,南邻是广元 – 梁平海槽,北接大巴山开阔海,是个典型的环状蒸发台地(图 3)。

其中鲕粒白云岩堤就是储集层发育带,大中气田群分布在云岩堤坝带上,普光大气田就在云岩最厚储层系数大于 20 m 的地方(图 4)。普光大气田之所以有 $3\,500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的储量就得益于储层厚度大,储层系数最高达 20 m。由此可以得出:大中气田是受储层发育程度的控制。

3.2 开江古隆起对大中气田形成的作用

飞仙关组的烃源来自上二叠统吴家坪组,开江古隆起形成时其埋深为 1 850 ~ 2 300 m, R_o 为 1.0% ~

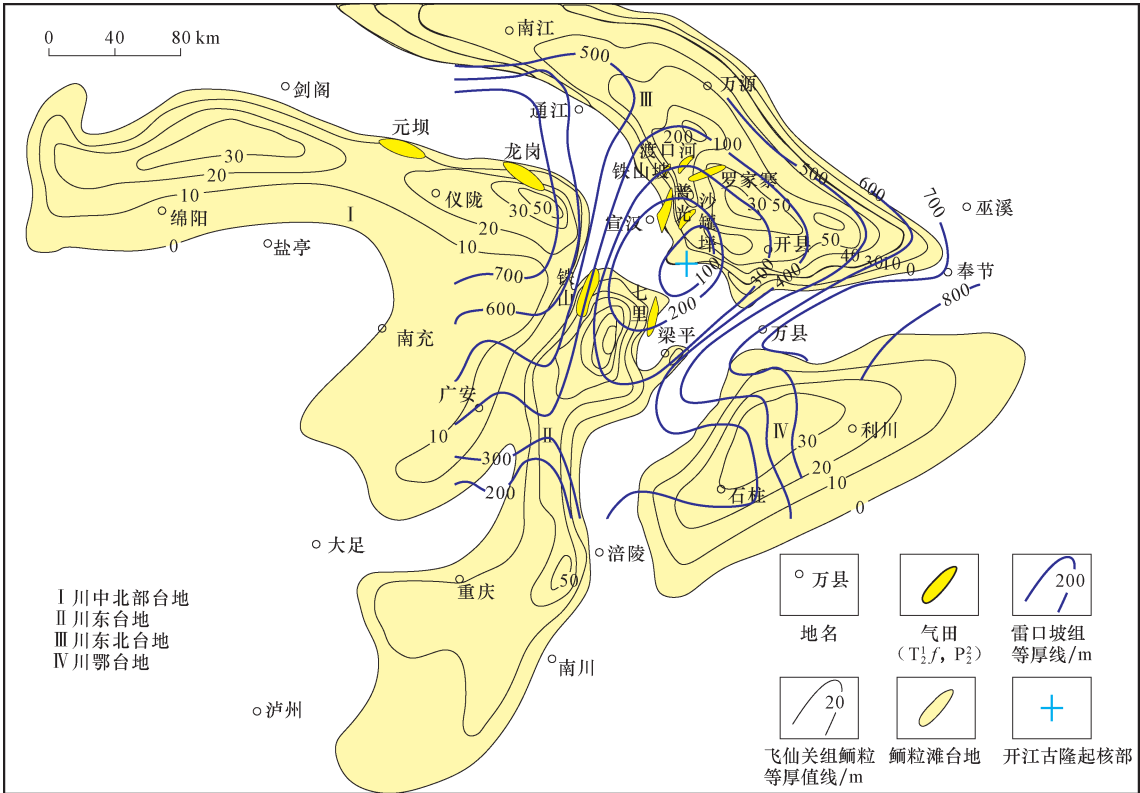


图 3 川东北飞仙关组鲕粒岩台地分布

Fig. 3 Oolitic platform distribution of the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan Basin

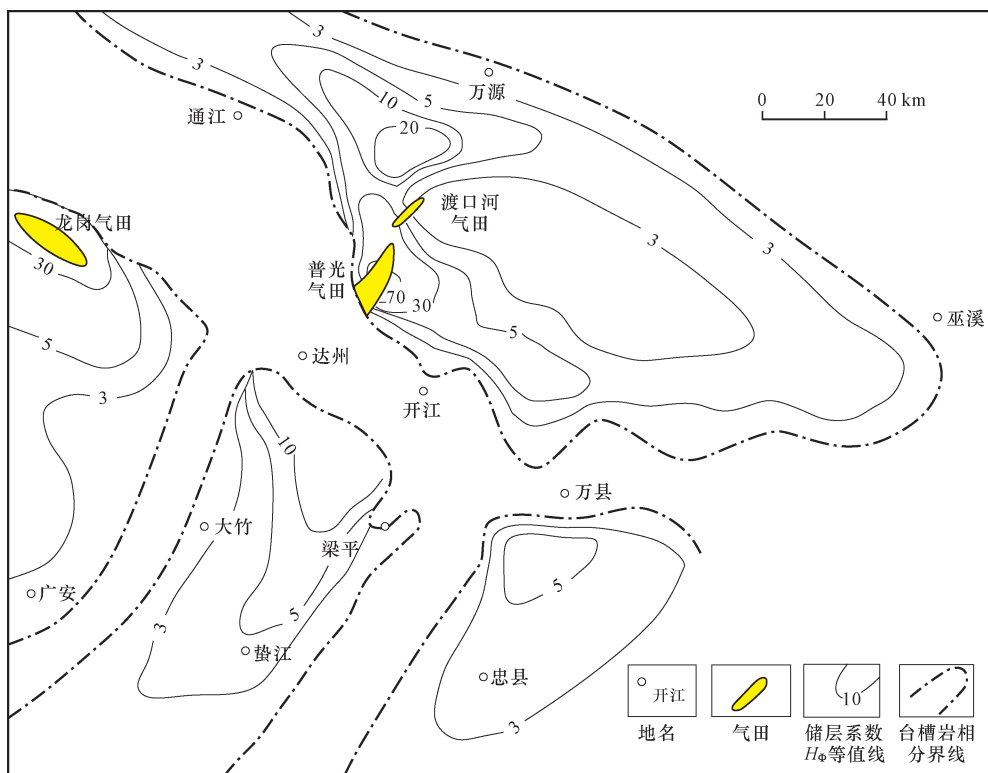


图 4 川东北飞仙关组储层系数与气田分布

Fig. 4 Gas field distribution and reservoir coefficient of the Feixianguan Formation in northeastern Sichuan Basin

1.25%生烃岩进入生油高峰期。而储层埋深为 1 400 ~ 1 800 m,依据碳酸盐岩的溶蚀孔隙演化曲线反演,当时的平均孔隙度为 14%,其相应的渗透率为 $7 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。加之隆起卸载减压和减温,完全具备了石油向隆起之上储层发育的区域富集而形成古油藏的条件。钻探证实普光 6 井飞仙关组储层中普遍有沥青,说明有古油藏形成。到晚侏罗世油裂解为天然气成为古气藏,至喜马拉雅运动现今构造形成,天然气再分配形成现在气田。而龙岗古隆起,是个东西向隆起,幅度只有 80 m,圈闭面积 120 km²。该地现今构造是向西北倾的单斜。所以龙岗飞仙关组气藏是个岩性古构造圈闭气藏(图 3)。

由此说明古隆起确实对油气早期聚集起着重要作用,为大气田和气田群的形成奠定了基础。开江古隆起对石炭系和二叠系、三叠系礁、滩大中气田群形成有重要作用,在隆起上共有气田 36 个,大中气田 9 个,其中储量上 $3\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田 1 个, $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田 2 个, $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田 3 个。共获得天然气储量 $6\,750 \times 10^8 \text{ m}^3$,目前是四川盆地天然气最丰富的地区。

4 乐山-龙女寺古隆起寒武系-震旦系勘探成果

对乐山-龙女寺古隆起的勘探从 1964 年发现威

远气田就已开始了,在近半个世纪里勘探工作没有停止过^[10-14],在此期间认识到古隆起的下组合(震旦系、寒武系、奥陶系)都产气,是个多产层的大气区,其中威远气田是 2011 年之前仅有的被发现气田,到 2011 年高石 1 井在震旦系灯影组获日产 $102 \times 10^4 \text{ m}^3$ 大气井,再次点燃了人们找大气田的欲望,2012 年又在磨溪获下寒武统龙王庙组特大气井。从此展开了古隆起下组合的勘探,龙王庙组成果突出,高产井不断涌现,展现出了具特大气田的特质。为预判勘探前景,对古隆起,现今构造特征,龙王庙组的储层岩相古地理环境,结合生油条件进行综合分析,预判其勘探前景。

4.1 乐山-龙女寺古隆起对油气的捕控

古隆起在 10 亿年前的晋宁运动已形成,它缺失上元古界青白口系,南华系和震旦系陡山沱组约 4 亿年沉积地层,可以认为它是四川盆地的地核。在 6 亿年前的震旦纪灯影期才被海水淹没,桐湾期曾隆起剥蚀^[15],其后又沉降至志留纪末的加里东运动再次上升形成加里东古隆起,在盆地范围部分经 1.4 亿年陆地历史,地层被剥蚀(剥蚀到下寒武统)。至二叠纪再次被海水淹没,之后继承发展,燕山期以震旦系顶面为准,隆起范围在乐山-龙女寺之间,圈闭面积 19 960 km²,幅度 350 m,成为一个北东东向巨型隆起^[16]。

喜马拉雅运动在燕山期构造基础上褶皱,形成了盆地中最大的以威远构造为主体的威远-龙女寺隆

起带,以震旦系顶构造图 - 5 000 m 等高线为界隆起范围为 12 000 km²。

它是个长期继承发展的大型构造,它不仅对油气的聚集有重要的作用,在一定程度上对地层的厚度和岩性岩相、储层和生烃岩形成都起着控制作用。因此它是形成大气田的理想场所。

4.2 龙王庙组储层特征及沉积环境

龙王庙组储层是厚 57 ~ 142 m 的砂屑溶孔白云岩,孔隙度 2.3 % ~ 11.5 %,平均为 5.8 %,是分布较稳定储层。龙王庙组产气早在 60 年代威远气田勘探中已经发现,为此钻了一些专层井,20 世纪末还开展了寒武系专项勘探,获得了一定的效果。在女基井也有气显示,现在以磨溪地区为中心的重大突破,说明龙王庙组西起威远构造东至龙女寺 200 km 长的古隆起区都有天然气产出。

这种储层是滩相沉积环境的产物,经对盆地和威远 - 龙女寺地区的研究:盆地的中东部龙王庙期是一个被深海包围的大型台地,在台地上有以重庆为中心区是个东西宽 140 km,南北长 450 km 大型的云膏潟湖^[17];潟湖的外围为宽广的环状云岩浅滩,其

上分布着一些鲕粒滩和小的潟湖,台地东部边缘是浅水相藻丘藻席,西部台地边缘因距龙门山物源区近砂屑含量高形成了威远 - 龙女寺狭长的砂屑云岩高能潮间滩坝就此形成了龙王庙组溶孔砂屑白云岩储层(图 5)。

龙王庙组砂屑云岩浅滩就是台地西部边缘的屏障,它的形成受乐山 - 龙女寺古隆起的控制(图 6)。

图 6 中可以看出龙王庙组的沉积厚度,沉积相与加里东期古隆起相关,隆起上厚度较薄 50 ~ 100 m,砂屑碳酸盐岩含量较高占 20 % ~ 40 %,白云岩占 60 % ~ 85 %,砂屑白云岩的溶孔发育。由此看是个典型的台缘潮间高能砂屑云岩滩坝。因常暴露地表,经溶蚀和交代形成孔洞发育的砂屑白云岩成为良好的储层。该滩坝范围西端起于威远,东端暂定在龙女寺(向东北延伸不明),这样它南北宽约 40 ~ 50 km,东西长约 250 km,面积约 8 000 km² 是一巨大的储集体。滩坝的东南侧的内江 - 合川地区厚度增加到 200 ~ 300 m,砂屑碳酸岩降低为 10 % ~ 20 %,砂屑云岩减少,偶有 10 % 的致密似鲕粒白云岩,为滩相沉积。再向东南的宜宾 - 重庆地区为云岩和石膏潟湖沉积,石膏占 20 % ~ 40 % 几乎没有砂屑云岩,厚度大于 300 m。

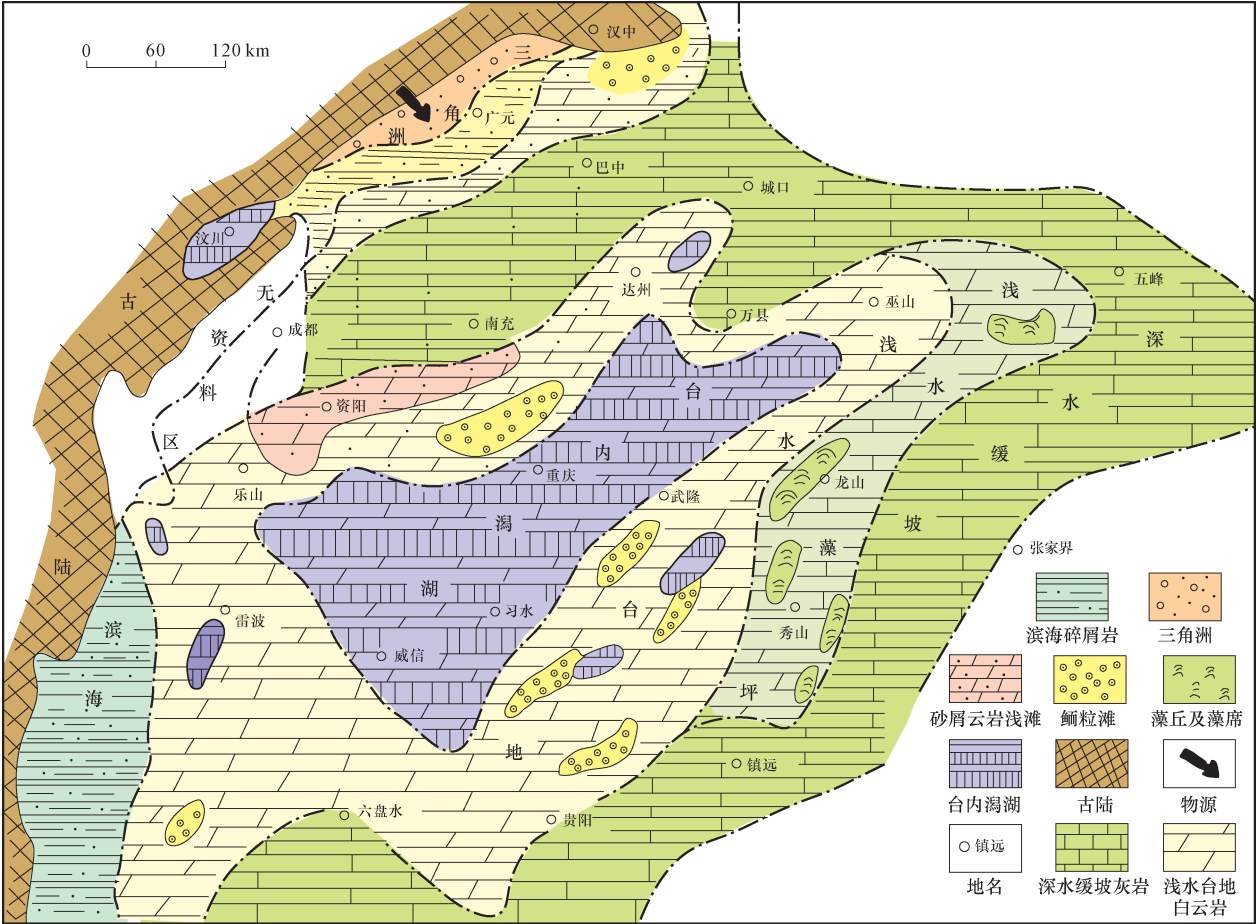
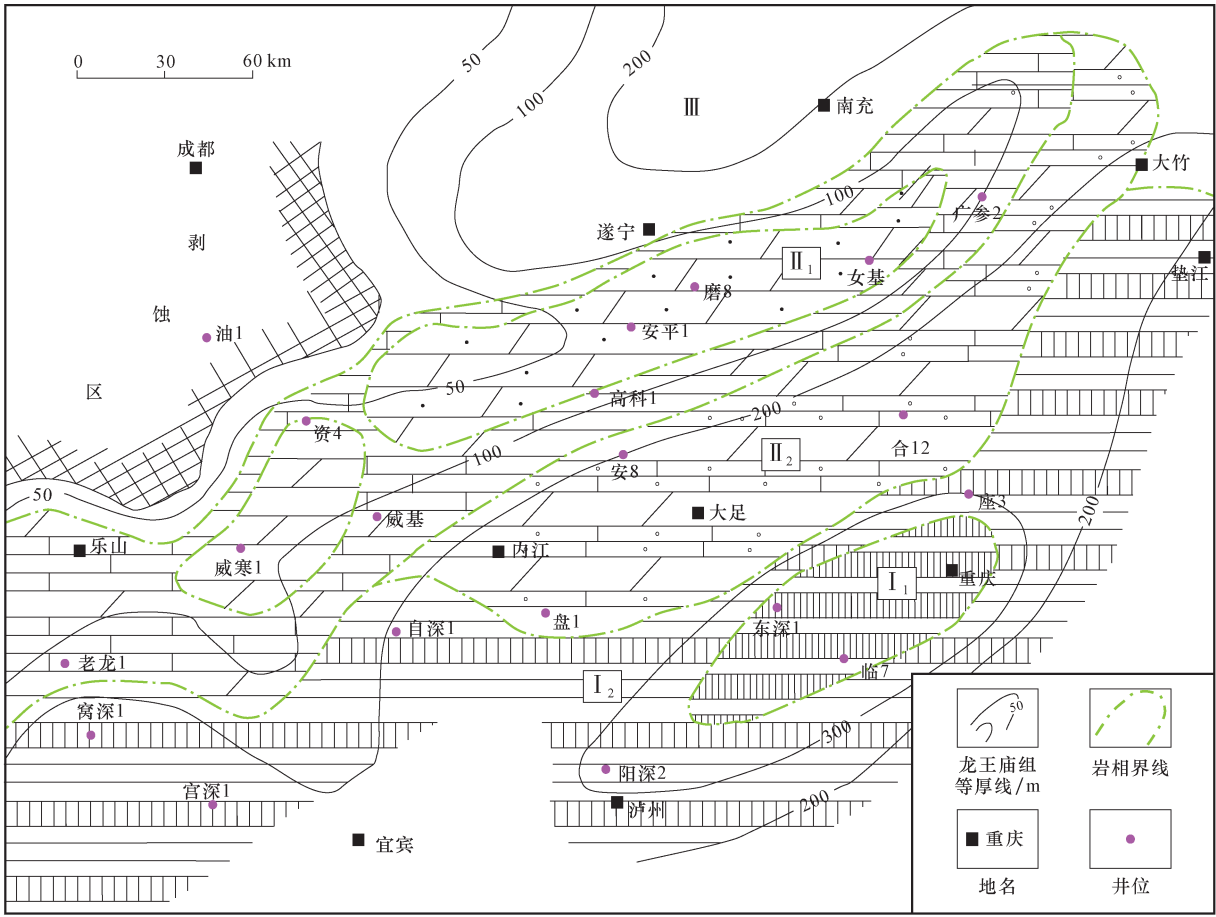


图 5 四川盆地龙王庙组岩相

Fig. 5 Lithofacies diagram of the Longwangmiao Formation in Sichuan Basin



I. 云膏相潟湖; I₁. 膏盐 40%, 云岩 60%; I₂. 膏盐 20%, 厚 30 ~ 60m, 云岩 80%; II. 潮间粒屑云岩滩; II₁. 砂屑云岩浅滩, 云岩厚 40 ~ 145m, 溶孔发育; II₂. 鲕粒灰、云岩滩, 鲕粒岩厚 40 ~ 20m; III. 砂屑灰岩开阔浅海相

图 6 乐山 - 龙女寺隆起带龙王庙组岩相古地理
Fig. 6 Lithofacies paleo-geography of the Longwangmiao Formation in Leshan-Longnvsi paleo-uplift

上述可以得出:乐山 - 龙女寺隆起龙王庙组储层是台缘高能量砂屑云岩滩坝沉积,在其以下又有筇竹寺组黑色页岩生烃层,东部厚 50 ~ 100 m,生气强度 $5 \times 10^8 \sim 10 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,在中部磨溪一带厚 80 ~ 150 m,生气强度 $10 \times 10^8 \sim 20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,西部安岳以西厚达 250 m,生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,与龙王庙组形成很好的生储组合(下生上储)。所以认为它有充足的烃源,具有很大的勘探潜力。值得指出的是,龙王庙储层中含有大量沥青,表明曾有古油藏存在,按油裂解气观点^[18],龙王庙组也存在古油藏向古气藏的转变,最终气藏是古气藏的调整成藏的思路,燕山期古构造就非常重要,是形成古气藏的主要部位。

4.3 乐山 - 龙女寺隆起含气前景初步预测

隆起的最基本的石油地质特征为长期继承性古隆起,在隆起控制下形成了龙王庙期的滩坝储集体,发展到喜马拉雅期又叠加了威远 - 龙女寺隆起。可以说古隆起现今构造和龙王庙组储集体三位一体,具备形成特大气田条件(图 7)。

图 7 中展现了三位一体的情况。图中标出的含气范围是已控制的现今局部构造圈闭的地区,由勘探情况看,如若气田是由岩性古构造控制,现今构造不起主控作用,龙王庙组很可能是以滩坝储集体控制为主大面积含气区,据该储层分布和储层物性条件初步估计(不含灯影和奥陶系):含气强度 $4 \times 10^8 \sim 6.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,以 1/3 滩坝含气其储量在 $10\,000 \times 10^8 \sim 17\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。如果现今构造圈闭起主控作用,气藏将被复杂化,有可能被局部构造和断层带分割成不同的块区,会影响总体勘探效果,估计含气范围约 900 km²,储量可达 $3\,600 \times 10^8 \sim 5\,400 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

值得提出的是,威远构造的龙王庙组要给予重视,以往虽然取得了一些成果,但是没有重大突破。根据岩石特征它具有较大的勘探的潜力,应对已取得资料重新研究评价,选择有条件的旧井进行试油,有复活气田的可能。经初步分析龙王庙组上覆的中寒武统的高台组有与龙王庙组相似的沉积环境,也可能存在储层,钻探中要给予关注。除此灯影组也具大面积含气迹象,在高石梯以东有两套产气层,也很值得重视。女

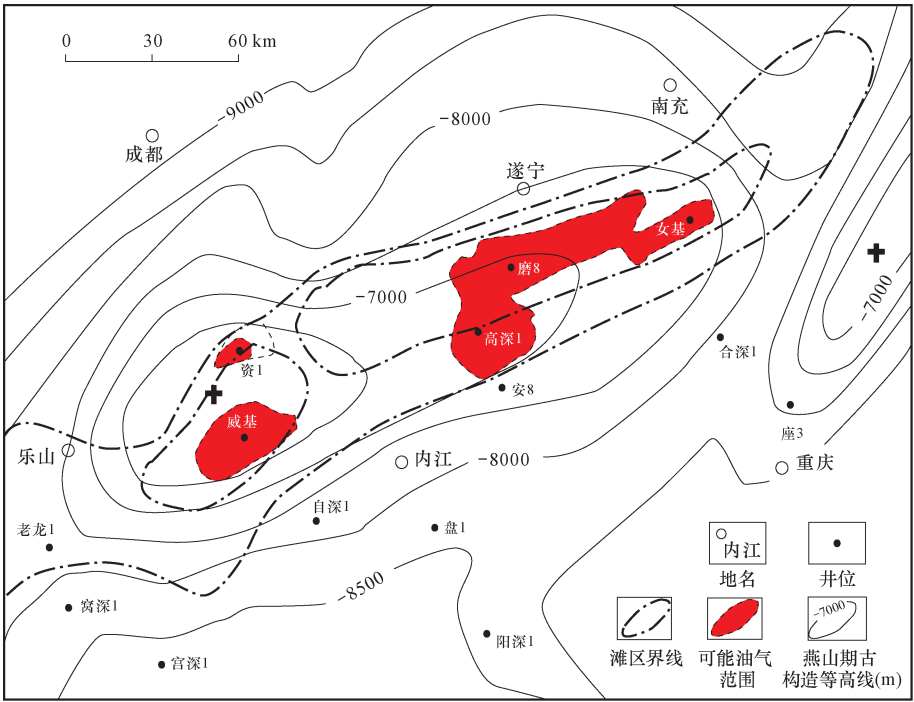


图 7 乐山 - 龙女寺隆起含气条件综合图

Fig. 7 Gas-bearing conditions of Leshan-Longnvsi paleo-uplift

基井在下奥陶统也曾获工业气流。由此可以推测：乐山 - 龙女寺隆起可能是个多产层大面积天然气富集带。

乐山 - 龙女寺隆起在勘探下组合中地层水是影响勘探效益的主要因素，震旦系灯影组绝大多数井是气水同产，如威远气田灯影组气藏储量 $400 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，仅采出 35% 而被水淹，资阳地区地层水活跃等，甚至包括女基井灯影组和奥陶系也是气水同产。现在龙王庙组也出现了水的干扰，要予以充分的关注。这有 3 种可能性：一是地层封闭水，虽试采而产量减少，对勘探影响不大。二是断层带水体推进，可能对气藏分割，对勘探有一定的影响。三是气藏边底水，这对储层不厚的龙王庙组气藏影响严重，它将大大的缩小气藏范围而影响储量和产量。现在看来气水关系较为复杂，有纯气井，也有水井和气水同产井，由此推测可能是前两种情况都有，边底水的可能性不大。若如此可望找到特大气田，从而改变四川天然气的工业面貌，迎来新的快速发展期！

5 结论

四川盆地海相天然气勘探在近 10 年气田越找越大，由早期泸州古隆起上发现平均每个气田储量 $17.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的小气田群到开江古隆起石炭系气田群，平均储量为 $120 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，再到川东北开江古隆起和龙岗 - 元坝古隆起勘探飞仙关滩、礁，发现了以普光为代表的大中气田群，平均气田储量约 $500 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

现在乐山 - 龙女寺古隆起震旦系灯影组获高产气井，尤其是寒武系龙王庙组的突破具有重要意义，勘探前景看来远大于滩、礁成果，有希望找到特大气田。所以今后要重视古隆起和滩坝沉积，这是找大气田的有利场所。目前盆地中还有天井山古隆起^[19]，华蓥山燕山期古隆起，泸州古隆起深层等。滩相已知的有雷口坡组三段的广元 - 安县藻堤溶孔白云岩，雷一段的台坪滩相溶孔白云岩等，都需深入研究和勘探。

控制四川盆地海相大气田的地质条件主要有 3 个：即①优质的储集层；②古构造控制古油气藏的分布，如古隆起，开江 - 梁平海槽等；③现今构造对古构造的分割，喜马拉雅运动造成四川盆地海相古构造解体，造成古气藏的调整和重新分配。

另一点值得注意的是对膏盐层在勘探中要给予重视，经对以上储层的环境的分析认为膏盐层是找孔隙储层的引子。膏盐层之上下往往有很好的浅滩相粒屑孔隙云岩储层，大套的膏盐层的周围都有台地边缘浅滩粒屑孔隙白云岩。所以找到了膏盐就有望找到孔隙性储层。

总之四川盆地气田越找越大，勘探领域越来越宽广，发展前景看好。

参 考 文 献

[1] 翟光明,高维亮,宋建国,等. 中国石油地质志(卷一)[M]. 北京:石油工业出版社,1996.
Zhai Guangming, Gao Weiliang, Song Jianguo, et al. Petroleum geology of China (V1) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.
[2] 李晓清,汪泽成,张兴为,等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的

- 控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347-351.
- Li Xiaqing, Wang Zecheng, Zhang Xing, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan basin and their control action on natural gases[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347-351.
- [3] 李延钧, 李其荣, 杨坚, 等. 泸州古隆起嘉陵江组油气运聚规律与成藏[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 20-24.
- Li Yanjun, Li Qirong, Yang Jian, et al. Oil and gas migration and accumulation and reservoir formation in Jialingjiang Formation of Luzhou paleo-uplift[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 20-24.
- [4] 韩克猷. 川东开江古隆起大油气田形成及勘探目标[J]. 天然气工业, 1995, 15(4): 1-5.
- Han Keyou. Formint of large-middle scale gas fields at Kaijiang palaeohigh in east Sichuan and exploration target[J]. Nature Gas Industry, 1995, 15(4): 1-5.
- [5] 王兰生, 陈盛吉, 杨家静, 等. 川东石炭系储层及流体的地球化学特征[J]. 天然气勘探与开发, 2001, 24(3): 28-38.
- Wang Lansheng, Cheng Shengji, Yang Jiajing, et al. Characteristics of Carboniferous reservoirs and fluid in east Sichuan[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2001, 24(3): 28-38.
- [6] 李艳霞, 钟宁宁. 川东石炭系气藏中固体沥青形成机理探讨[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 402-404.
- Li Yanxia, Zhong Ningning. Approach to solid migrabitumen mechanism of Carboniferous gas reservoir in the east of Sichuan basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(4): 402-404.
- [7] 王一刚, 刘划一, 文应初, 等. 川东北飞仙关组鲕难储层分布规律、勘探方法与远景预测[J]. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 14-19.
- Wang Yigang, Liu Huayi, Weng Yingchu, et al. Distribution law, exploration method and prospectiveness prediction of the oolitic beach reservoirs in Feixianguan formation in northeast Sichuan basin[J]. Nature Gas Industry, 2002, 22(S0): 14-19.
- [8] 马永生. 中国海相油气田勘探实例之六——四川盆地普光大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2006, 11(2): 35-40.
- Ma Yongsheng. Cases of discovery and exploration of marine fields in China(Part 6): Puguang gas field in Sichuan basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(2): 35-40.
- [9] 王正和, 郭彤楼, 谭钦银, 等. 四川盆地东北部长兴组-飞仙关组各沉积相带储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 56-63.
- Wang Zhenghe, Guo Tonglou, Tan Qinyin, et al. Reservoir characteristics of different sedimentary facies in the Changxing and Feixianguan Formations, northeast of the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 56-63.
- [10] 宋文海. 乐山-龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(增刊): 13-16.
- Song Wenhai. Research on reservoir-formed conditions of large-medium gas fields of Leshan-Longnusi palaeohigh[J]. Nature Gas Industry, 1996, 16(S0): 13-26.
- [11] 罗志立, 刘树根, 刘顺. 四川盆地勘探天然气有利地区和新领域探讨(上)[J]. 天然气工业, 2000, 20(4): 10-13.
- Luo Zhili, Liu Shugen, Liu Shun. A discussion on the favourable regions and new realms of exploring for natural gas in Sichuan basin (I)[J]. Nature Gas Industry, 1996, 20(4): 10-13.
- [12] 王一刚, 陈盛吉, 徐世琪, 等. 四川盆地古生界-上元古界天然气成藏条件及勘探技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- Wang Yigang, Cheng Shengji, Xu Shiqi, et al. The natural gas accumulation conditions and exploration technology of Paleozoic to Upper Proterozoic in Sichuan basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [13] 孙玮. 四川盆地元古宇一下古生界天然气藏形成过程和机理研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- Sun Wei. The Research on the formation process and mechanism of gas pools in proterozoic to Low Paleozoic Erathem, Sichuan basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008.
- [14] 黄籍中. 从四川盆地看古隆起成藏的两重性[J]. 天然气工业, 2009, 29(2): 12-17.
- Huang Jizhong. The pros and cons of paleohighs for hydrocarbon reservoiring: a case study of the Sichuan basin[J]. Nature Gas Geology, 2009, 29(2): 12-17.
- [15] 李启桂, 李克胜, 周卓铸, 等. 四川盆地桐湾不整合面古地貌特征与岩溶分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 516-521.
- Li Qigui, Li Kesheng, Zhou Zhuozhu, et al. Palaeogeomorphology and karst distribution of Tongwan unconformity in Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 516-521.
- [16] 孙玮, 刘树根, 韩克猷, 等. 四川盆地震旦系油气地质条件及勘探前景分析[J]. 石油实验地质, 2009, 31(4): 350-355.
- Sun Wei, Liu Shugen, Han Keyou, et al. The petroleum geological condition and exploration prospect analysis in Sinian, Sichuan basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2009, 31(4): 350-355.
- [17] 徐美娥, 张荣强, 彭勇民, 等. 四川盆地东南部中、下寒武统膏岩盖层分布特征及封盖有效性[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(3): 301-306.
- Xu Mei'e, Zhang Rongqiang, Peng Yongmin, et al. Distribution and sealing effectiveness of Middle-Lower Cambrian evaporite cap rocks in the southeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(3): 301-306.
- [18] 孙玮, 刘树根, 马永生, 等. 四川盆地威远-资阳地区震旦系油裂解气判定及成藏过程定量模拟[J]. 地质学报, 2007, 81(8): 1153-1159.
- Sun Wei, Liu Shugen, Ma Yongsheng, et al. Determination and quantitative simulation of gas pool formation process of Sinian cracked gas in Weiyuan-Ziyang area, Sichuan Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(8): 1153-1159.
- [19] 王铁冠, 韩克猷. 论中-新元古界的原生油气资源[J]. 石油学报, 2011, 32(1): 1-7.
- Wang Tieguan, Han Keyou. On Meso-Neoproterozoic primary petroleum resources[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(1): 1-7.

(编辑 张亚雄)