

# 四川盆地龙岗和罗家寨-普光地区二、三叠系长兴-飞仙关组礁滩体天然气成藏对比研究与意义

赵文智<sup>①\*</sup>, 徐春春<sup>②</sup>, 王铜山<sup>③\*</sup>, 王红军<sup>③</sup>, 汪泽成<sup>③</sup>, 卞从胜<sup>③</sup>, 李霞<sup>③</sup>

① 中国石油勘探与生产分公司, 北京 100007;

② 中国石油西南油气田公司, 成都 610051;

③ 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083

\* 联系人, E-mail: zwz@petrochina.com.cn; wts2007@petrochina.com.cn

2011-05-11 收稿, 2011-06-30 接受

国家重点基础研究发展计划(2007CB209500)和国家重大科技专项(2008ZX05004)资助项目

**摘要** 四川盆地龙岗和罗家寨-普光地区都发现了二、三叠系礁、滩体天然气藏, 但气藏规模、丰度与分布差异较大. 二者既有共性, 更有差异. 共性是: (1) 礁、滩储集体岩性、物性及储集空间类型基本一致; (2) 都具有良好的盖层条件, 流体系统封闭性较好; (3) 都存在液态烃早期充注、后期热裂解生气与抬升阶段气藏调整、晚期定型. 差异性: (1) 罗家寨-普光地区以油型裂解气为主, 多源供给, 气源充足; 龙岗地区以煤型气为主, 气源充分性较差; (2) 龙岗地区储层非均质性更强, 横向变化较大; (3) 罗家寨-普光地区深大断裂发育, “源-储-输”匹配较好, 龙岗地区断层较少, 裂缝输导为主, 横向变化较大. 上述差异导致罗家寨-普光地区发育高丰度构造型气藏, 规模与整装性较好, 龙岗地区岩性控制更明显, 丰度、规模与整装性较差. 指出下一步针对礁、滩体气藏的研究应该向川东北、川西北九龙山等地区拓展, 应特别加大对龙岗与开江-梁平海过渡区新层系的研究和探索, 努力获得新发现.

## 关键词

断层优势输导  
裂缝非均衡输导  
高丰度整装成藏  
低丰度非均质成藏  
四川盆地

四川盆地二叠系长兴组和三叠系飞仙关组礁滩体自1995年渡1井在鲕滩储层获得高产天然气流以来, 这几年陆续在开江-梁平海湾两侧地区发现一批大、中型天然气藏, 主要包括渡口河、铁山坡、罗家寨、普光、七里北等5个探明地质储量大于 $3 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 大气田以及金珠坪、毛坝场、黄龙场等含气构造<sup>[1-4]</sup>. 2006年以来, 龙岗台缘带钻探的龙岗1井在长兴组生物礁和飞仙关组鲕滩储层获得高产工业气流, 揭开了龙岗地区礁、滩体气藏勘探的序幕, 同时也揭示该区礁、滩体天然气成藏与罗家寨-普光地区既有共性、更有差异. 及时总结二者在天然气成藏与分布方面的差异, 对于天然气勘探开发工作趋利避害, 提高勘探开发的成功率和效益, 都具有重要意义.

本文运用天然气地质学、地球化学与地球物理等多学科手段, 从成藏条件、过程及成藏特征与分布等多方面, 对比研究了龙岗与罗家寨-普光地区长兴组-飞仙关组礁、滩体天然气成藏的共性与差异, 进而总结提出了两地区天然气成藏分布的基本规律, 并从差异性分析入手, 预测提出了下一步围绕礁滩体勘探的方向和目标, 以期推动礁滩体勘探向纵深发展.

## 1 地质背景

四川盆地是古生代海相克拉通盆地与中生代陆相前陆-陆内拗陷型沉积叠合的大型含油气盆地, 构造上可分为川东、川中、川西和川南4个二级构造单元<sup>[5-8]</sup>, 龙岗和罗家寨-普光地区位于川中和川东两

**英文版见:** Zhao W Z, Xu C C, Wang T S, et al. Comparative study of gas accumulations in the Permian Changxing reefs and Triassic Feixianguan oolitic reservoirs between Longgang and Luoheizhai-Puguang in the Sichuan Basin. Chinese Sci Bull, 2011, 56, doi: 10.1007/s11434-011-4668-8

大构造单元的结合部位(图 1). 四川盆地从震旦纪至中三叠世主要沉积海相碳酸盐岩层序, 晚三叠世以后由于周缘山系隆升, 盆地被封闭, 沉积转为陆相碎屑岩组合. 震旦系至中三叠统海相碳酸盐岩层系发育多个沉积旋回, 厚度巨大. 这套碳酸盐岩组合在漫长地质历史中经历了多期改造和成岩作用, 纵向上形成多套生储盖组合(图 2).

四川盆地目前已发现的长兴组-飞仙关组礁滩气藏主要分布在开江-梁平海湾近邻的台缘带, 勘探找气前景好、发现潜力大, 是现阶段现实的有利勘探区带. 其中, 龙岗与罗家寨-普光地区已发现的礁、滩体气藏分别位于海湾的南西和北东两侧的台缘带主体部位. 前者具体分布于华蓥山断裂带以西的构造平缓区, 后者位于华蓥山断裂带以东的高陡构造区, 二者成藏特征的共性与差异性以及勘探意义是本文讨论的重点.

## 2 天然气成藏对比研究

研究发现, 龙岗和罗家寨-普光地区礁、滩体天然气成藏特征既有共性, 更有差异. 其共性特征表现在: (1) 礁、滩储集体的发育都受开江-梁平海湾南北两侧发育的高能相带控制, 并在不同的时间段, 随着古环

境与古地形的变化, 在宽度与空间位置上表现出些许变化. 礁、滩储集层的岩性及储集空间类型则基本相似, 储层的孔隙度、渗透率等也变化不大. 龙岗地区飞仙关组鲕滩储层孔隙度 2%~12%, 平均 5.8%, 渗透率 0.06~223.7 mD, 平均 27.7 mD; 罗家寨-普光等地区飞仙关组鲕滩储层孔隙度 2%~12%, 平均 7.8%, 渗透率 0.01~446 mD, 平均 54.4 mD( $1 D=0.986923 \times 10^{-12} m^2$ , 余同). (2) 盖层条件相似. 下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组膏盐岩层厚度较大(117~557 m)、分布面积较广, 是两个地区礁、滩体气藏形成的有效盖层. 地层水的水型和矿化度也反映出, 龙岗和罗家寨-普光地区礁、滩体层系保存条件较好, 都具有很好的封闭性. (3) 成藏过程大体相当. 都存在液态烃早期充注和后期裂解生气, 抬升阶段气藏发生调整, 晚期定型. 龙岗和罗家寨-普光地区礁、滩储层流体包裹体均一温度都表现为 3 期, 第一期均一温度较低( $<120^{\circ}C$ ), 为液相烃类包裹体, 标志着早期液态烃充注; 第二期均一温度在  $130\sim 150^{\circ}C$  之间, 为气-液两相烃类包裹体, 反映液态烃及其伴生气和煤系生成的气态烃混合充注; 第三期均一温度大于  $160^{\circ}C$ , 为含盐水气烃包裹体, 激光拉曼检测出以甲烷为主的含硫化氢高温气烃包裹体, 反映液态烃高温裂解生气

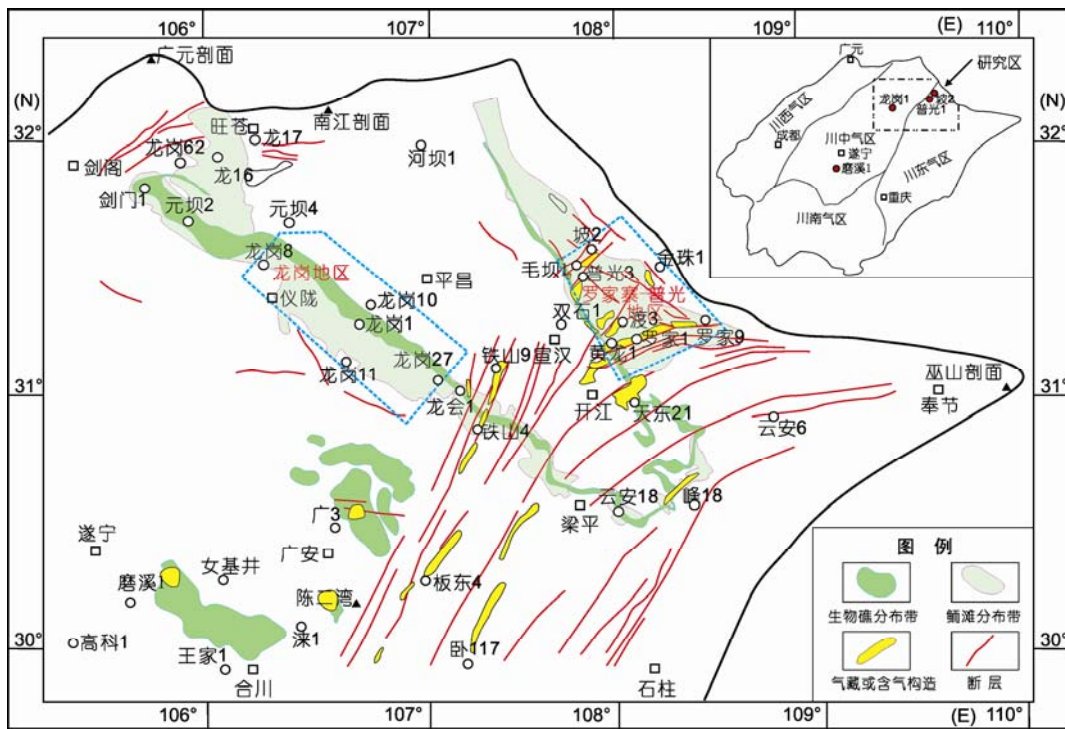


图 1 龙岗和罗家寨-普光地区长兴组-飞仙关组沉积格局及构造位置图

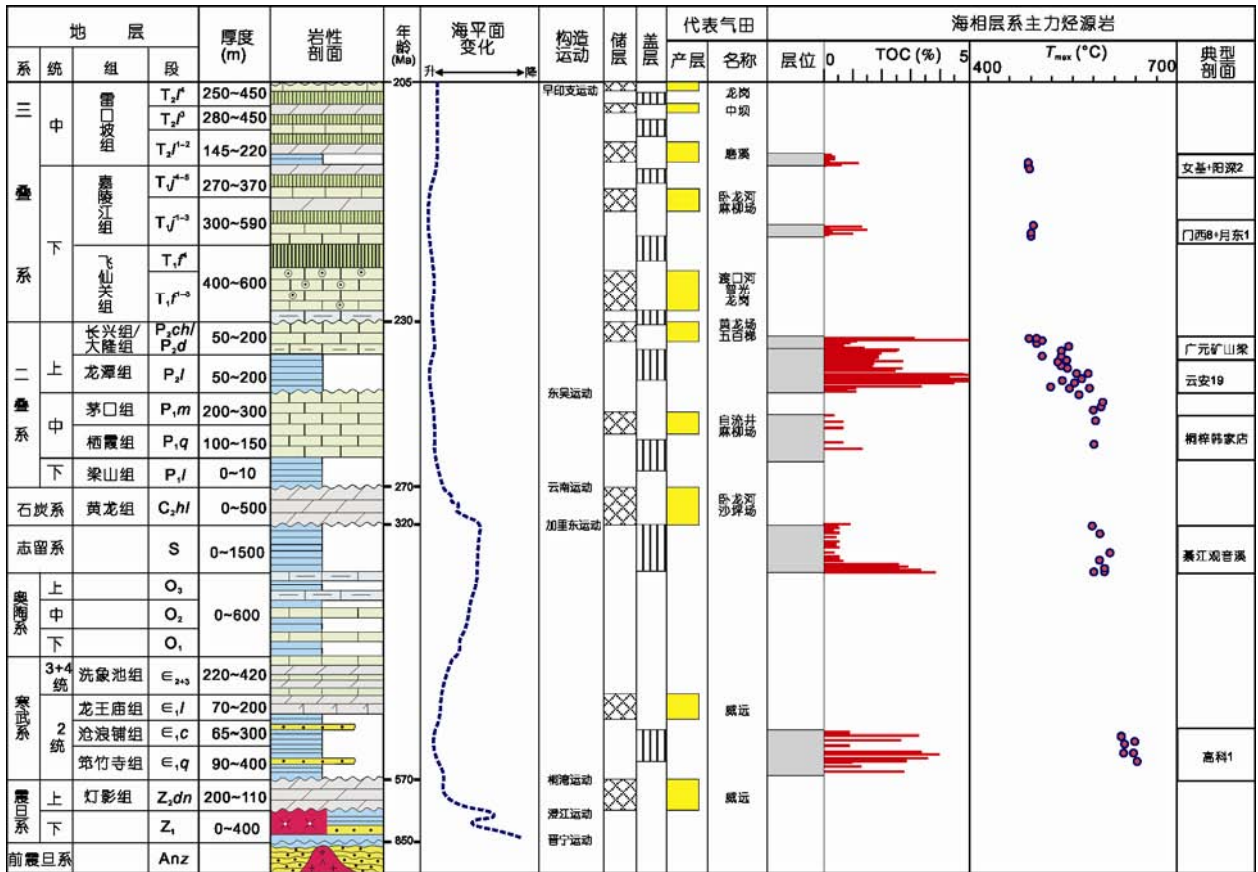


图2 四川盆地海相碳酸盐岩地层综合柱状图及烃源岩地球化学剖面

成藏事件(龙岗地区发育大量不含硫化氢的气烃包裹体,反映煤系大量生烃充注);喜山期构造活动使气藏被破坏或被改造,喜山期后气藏定型。

除上述共性特征外,龙岗和罗家寨-普光地区礁、滩体气藏在成藏条件与分布方面的差异性更突出。

### 2.1 气源条件

罗家寨-普光地区以油型裂解气为主,龙岗地区以煤型气为主,气源充分性差异较大。

四川盆地礁、滩层系之下共发育四套主要烃源岩,自下而上依次是下寒武统筇竹寺组泥页岩、下志留统龙马溪组泥页岩、下二叠统栖霞-茅口组碳酸盐岩、上二叠统龙潭组泥质和煤系烃源岩<sup>[9-12]</sup>。此外,在开江-梁平海湾相区因环境稳定、能量较低,与二、三叠系礁、滩体同期沉积的大隆组硅质和灰质泥岩是局部发育的优质烃源岩。上述烃源岩的厚度、TOC、成熟度、有机质类型(表1)以及成藏贡献等在龙岗和罗家寨-普光地区有较大差异。

气源对比发现,罗家寨-普光地区礁、滩体天然气以油型裂解气为主,具有多源供给的混源特征,而龙岗地区则以煤型气为主,主要来自上二叠统龙潭组,二者在气源供给充分性上差异较大。

天然气组分及其同位素特征是判识天然成因及气源的直接依据,其中碳同位素是最有效和最实用的判别指标<sup>[13-17]</sup>。根据天然气 $\delta^{13}C_1$ - $\delta^{13}C_2$ 交汇关系(图3),龙岗与罗家寨-普光地区礁滩天然气成因特征不同,前者主体为煤型气,后者主体是油型气。龙岗地区礁滩天然气 $\delta^{13}C_1$ 和 $\delta^{13}C_2$ 值主要分布在 $-28‰$ ~ $-32‰$ 和 $-21‰$ ~ $-28‰$ 之间,主体为煤型气特征,台缘带局部井区或层段天然气 $\delta^{13}C_2$ 值为 $-28.2‰$ ~ $-29.7‰$ ,存在油型气混入。罗家寨-普光地区天然气 $\delta^{13}C_1$ 和 $\delta^{13}C_2$ 值明显偏轻,主体表现油型气,其值介于龙岗礁滩天然气和四川石炭系、震旦系天然气之间(图3),考虑到石炭系天然气主要来自志留系烃源岩<sup>[18,19]</sup>,震旦系天然气则主要来自寒武系<sup>[20-22]</sup>,志留系、寒武系等深层烃源岩对罗家寨-普光地区礁滩

表 1 龙岗与罗家寨-普光地区礁滩气藏下伏烃源岩地球化学特征<sup>a)</sup>

层位	位置	厚度 (m)	TOC (%)	Ro (%)	$\delta^{13}C$ (‰)	类型
P <sub>2</sub> d	海湾相区	10~30	1.0~8.5	1.6~1.8	-26~-28.5	II
P <sub>2</sub> l	龙岗	40~80	2.0~3.0	2.0~2.8	-23.2~-27	II, III
	罗家寨-普光	120~160	3.0~5.0	2.5~3.2	-26.9~-29.4	II
P <sub>1</sub> q-m	龙岗	0~50	0~1.0	2.2~2.5		
	罗家寨-普光	100~150	0~1.0	2.6~3.2	-26~-30.5	I, II
S <sub>1</sub> l	龙岗	10~20	0~0.5	2.4~2.8		
	罗家寨-普光	40~60	2.0~5.0	3.2~3.8	-28~-32	I, II
∈ <sub>1</sub> q	龙岗	10~20	0.5~1.0	3.0~3.5		
	罗家寨-普光	40~60	1.0~1.5	3.5~4.0	-30~-34.9	I

a) 表中统计数据基于本文实测的 54 个烃源岩样品和文献[11]中相关数据

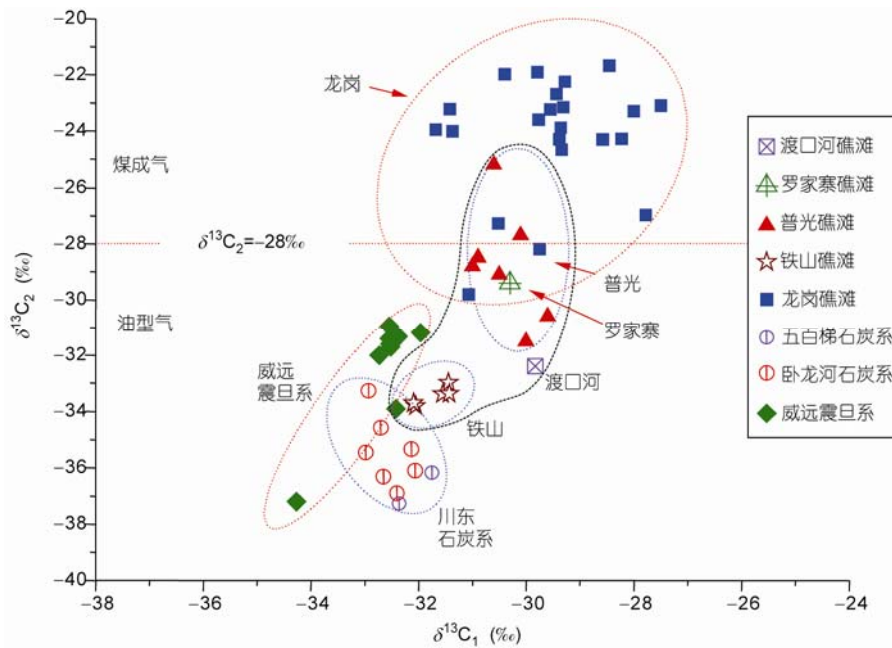


图 3 四川盆地礁、滩体天然气与其他层系天然气成因对比

气藏形成有重要贡献, 气源充分性明显优于龙岗地区。

储层固体沥青可提供有关气源及成因信息。罗家寨-普光地区礁滩气藏储层固体沥青是具有高温热变质成因的焦沥青<sup>[23]</sup>, 它是古油藏发生裂解的产物, 也是判识油型裂解气的重要依据。龙岗台缘带礁滩储层固体沥青在镜下呈角片状、镶边状及球粒状, 沥青反射率(Rb%)高, 在 2.2%~3.2%之间。沥青碳同位素( $\delta^{13}C$ )平均-29.0‰, 是腐泥型来源的热成因焦沥青; 龙岗台内礁滩储层仅发育侵染状沥青, 沥青反射率(Rb%)低, 仅 0.92%, 沥青碳同位素( $\delta^{13}C$ )平均-26.2‰, 反映其腐殖型来源且不具有热裂解成因。因此, 依据储层固体沥青以及天然气 $\delta^{13}C_1$ 和 $\delta^{13}C_2$ 特征进行综合判识, 罗家寨-普光地区礁滩天然气以油

型裂解气为主; 龙岗台缘带以煤型气为主, 但存在油型气混入; 龙岗台内礁滩则是单一的煤型气聚集。

根据氩同位素年代累积效应, 可利用  $^{40}Ar/^{36}Ar$  值估算天然气源岩的年代<sup>[24-26]</sup>。前人测得普光气田天然气  $^{40}Ar/^{36}Ar$  值, 长兴组-飞仙关组天然气在 1280~1690 之间, 气源年龄为 383(D<sub>2</sub>)~323Ma(C<sub>1</sub>), 但四川盆地主体缺失这两套烃源岩, 测试结果与地质情况不符, 更合理的解释是, 普光气田的天然气并非单一来源, 应该是早于 383 Ma(寒武系、志留系)和晚于 323 Ma(二叠系)的多套烃源岩混源贡献。这是罗家寨-普光地区礁、滩体气藏具有寒武系、志留系等深层气源供给的重要佐证。

用碳同位素分馏变化指标亦可判识气源岩。有

文献记载,天然气 $\delta^{13}\text{C}_2$ 值轻于母岩干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $1\text{‰}\sim 2\text{‰}$ <sup>[27,28]</sup>,固体沥青 $\delta^{13}\text{C}$ 值则可与干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 值直接对比<sup>[29,30]</sup>.龙岗地区天然气乙烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值整体较重,若减去 $1\text{‰}\sim 2\text{‰}$ 的分馏度,与上二叠统气源岩干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 区间值对应,是煤成气特征,但局部有油型气混入,则可能来自大隆组和龙潭组偏腐泥型气源岩.罗家寨-普光地区天然气乙烷 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布范围较宽,与上二叠统大隆组和龙潭组、下二叠统、志留系和寒武系多套气源岩有关.特别是渡口河、铁山等气藏,天然气来源与志留系和寒武系气源岩关系密切.值得注意的是,寒武系烃源岩对罗家寨-普光地区礁、滩体气藏的贡献途径与其他源岩不同,因为现今气藏储层固体沥青与寒武系气源岩并无相关性,说明寒武系烃源岩在高-过成熟阶段主要通过滞留分散液态烃热裂解气为礁、滩气藏提供了部分气源.固体沥青则是来自上二叠统和志留系烃源岩的古油藏液态烃热裂解以后的残留物.

## 2.2 输导条件

罗家寨-普光地区以断层优势输导为主,龙岗地区以裂缝非均衡输导为主,气藏充满度与规模差异较大.罗家寨-普光地区位于川东高陡构造带北部与大巴山断褶带交汇部位,构造起伏大,发育近NE和NW两组断裂(图1).断层落差、延伸距离等均较大,向下断至奥陶系甚至寒武系,向上消失于中三叠统嘉陵江组、雷口坡组膏盐层系.由于断层规模大,可向下沟通多套烃源岩,加之断裂活动期与烃源岩排烃期有效匹配<sup>[31,32]</sup>,构成高效的断层优势输导体系,气源供给及输导条件十分有利.

龙岗地区则整体处于平缓的单斜背景上,构造起伏不大,有断层但不多,且缺乏规模断层,小规模断层主要断穿龙潭组-长兴组.天然气输导体系主要以裂缝为主,具很强的不均衡性,因而导致不同区块和层段由因与气源岩直接接触的机会不同而在充注度上差异较大.由于缺乏规模较大断层,龙岗地区礁、滩储集体难以与下二叠统、志留系、寒武系等深层气源岩沟通,天然气主要来自上二叠统烃源岩,气源供给的充分性及优势输导条件都不及罗家寨-普光地区,故气藏充满度与规模整体较差.龙岗地区多数气藏充满度(平均68.3%)普遍比川东北地区(平均94.6%)小.相比而言,长兴组距离龙潭组烃源岩更近,具有近水楼台之便,所以气藏充满度(平均78%)高于

三叠系飞仙关组气藏(平均58.3%),而且长兴组礁体成藏机率也高.

此外,断层除了沟通烃源岩、建立源-储之间联系而外,在储集空间发育方面也有建设性作用.碳酸盐岩中成岩孔隙的形成往往需要流体的流动携带物质迁移,以促进白云石化和埋藏溶蚀等作用的发生<sup>[33,34]</sup>.罗家寨-普光地区发育的深断裂,可为成岩物质迁移提供良好通道,从而使该区礁滩储层较龙岗地区更优质.

## 2.3 储层条件

罗家寨-普光地区储集体规模与连续性更好,龙岗地区储集体非均质性和横向变化较大.龙岗与罗家寨-普光地区礁、滩体储层厚度、物性条件相差不大,但二者在礁、滩储层的延伸规模与横向连续性方面则差异较大,因而形成气藏的规模与气水非均质性也变化很大.

受古沉积环境影响,罗家寨-普光地区飞仙关组鲕粒滩体规模大,且随着海平面变化不断向前迁移,鲕滩储层呈NE向展布,延伸距离一般在10 km以上,平均17.8 km,罗家寨-滚子坪地区最宽可达33 km.长兴组礁体储层延伸一般在5~8 km,平均6.9 km.此外,生物礁与鲕滩储集体的空间位置并不完全吻合,除普光气田外,罗家寨-普光地区多数台缘礁、滩体并不叠置发育.

龙岗地区礁、滩发育带比川东北地区宽度要窄,礁、滩体呈NW向延展,长度一般不足10 km,平均5.6 km,纵向上呈薄互层分布、横向上延伸规模较小.如龙岗1、龙岗001-3、龙岗2等井彼此相距不足5 km,而长兴组储层横向互不连通、自成一体,纵向上则表现为多套储集体叠置且被致密层分割,气藏具有多气水界面、多压力系统,是“一礁、一滩、一藏”面貌,气水分布比较复杂.

## 2.4 气藏类型与分布

罗家寨-普光地区以构造型气藏为主,丰度高、规模大,龙岗地区岩性控制作用更明显,横向非均质性更强.统计表明,罗家寨-普光地区礁、滩体形成的气藏规模总体较大,圈闭高度一般在500 m以上,气藏储量丰度和充满度均相对较高,丰度平均 $>8.4\times 10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ ;圈闭充满度平均94.6%.因此罗家寨-普光地区主要发育高丰度、整装好的构造型大-中型气藏(图4(a)).龙

岗地区构造平缓,气藏分布范围内构造高差一般低于 100 m,缺少规模断层和构造圈闭,圈闭形成受岩性控制更明显,主体是构造-岩性气藏(图 4(b)).与罗家寨-普光地区相比,龙岗地区气藏丰度相对较低,丰度平均  $2.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ;圈闭充满度平均 68.3%;且呈单斜背景上岩性气藏集群式分布.

### 2.5 天然气成藏与分布基本特征

如前述,龙岗和罗家寨-普光地区二、三叠系礁、滩体气藏的成藏条件虽有共性,但差异性更突出,因而形成的天然气藏特征与分布有很大不同.如何从这种差异性总结入手,寻找进一步指导勘探、发现新储量的有利对策,是本文研究的主要目的.本文就龙岗和罗家寨-普光地区天然气成藏与分布的基本规律进行探索总结,以期指导下一步勘探发展.

(i) “气源-储层-输导通道”三位一体决定礁、滩体天然气富集带的形成和分布,充沛气源、优势输导与大型圈闭匹配共生,决定大型天然气藏的形成和分布.

如前述,川东北地区由于深大断裂切割,沟通了二叠系、志留系甚至寒武系等多套优质烃源岩,提供了充沛的气源供应,圈闭充满度较好,优质白云岩储层与高陡构造叠合形成了大型圈闭,形成的气藏单体规模也比较大(图 5).统计看,川东北地区二叠系长兴组礁体气藏规模  $3.29 \times 10^9 \sim 3.87 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,飞仙关组滩气藏规模  $2.69 \times 10^9 \sim 5.81 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,主体平均  $1.83 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,是龙岗地区平均值的 3 倍以上.

龙岗地区在平缓构造背景上发育了大面积分布的台缘和台内礁、滩体.尽管礁、滩体,特别是二叠系长兴组礁,与下伏龙潭组煤系气源岩在空间上具备了大面积接触之便(图 5),可谓“近水楼台”,应该是一种有利的源-储组合,但由于长兴组礁体之下、与气源岩之间还有一套致密地层,如无断层和裂缝沟

通,成藏的概率将受到影响,礁、滩体成藏就有很大选择性和非均质性.那些通过裂缝和断层与源岩建立联系的储集体,就有了较大的成藏机会,而那些与气源岩联系较差的储集体,成藏机会很差,或含气丰度和圈闭充满度都很低.

(ii) 近断裂、近主裂缝带的礁、滩体含气概率高,气藏规模大.对龙岗和罗家寨-普光地区礁、滩气藏特征统计后发现(表 2),与大断裂和主裂缝带直接联系和近邻的礁、滩体,含气概率较高,气藏规模与充满度一般也较大.罗家寨-普光地区优质礁、滩储层多与深大断裂匹配,储层含气概率较高,一般在 80%以上,已发现气藏平均充满度在 90%左右.龙岗地区凡有裂缝输配的储集体含气概率也较高(平均 61.2%),但比率与充满度都较罗家寨-普光地区差.

(iii) 面状蒸发式加裂缝非均衡供烃,成藏范围大,但成藏规模有限,无源输配的有效储集体,成藏概率较差.

所谓面状蒸发式供烃是指气源岩与储集体呈直接接触,气源岩在下,储集体在上,且接触面积和空间范围较大.来自源岩的天然气在浮力或源储压力差驱动下,以“面状蒸发”的方式向储集体运移.这是天然气大面积成藏的源-储-输基本形式.应该说,龙岗地区二叠系龙潭组气源岩与二、三叠系礁、滩储集体具备这样的成藏条件.但是,两个条件限制了该区天然气大面积成藏:一是礁体孤立与斑块式分布;二是礁体之下与气源岩之间致密隔层的存在.这两个因素决定了龙岗地区礁、滩体成藏的两个必要条件:一是礁体与源岩之间的致密层出现“泄露天窗”;二是断层和裂缝建立源岩与储集体的联系.这两个因素决定龙岗地区天然气成藏的非均衡性,平面变化较大.上述这种面状蒸发式加裂缝(断层)非均衡供烃一般可以有较大的成藏范围,但成藏的丰度较低,非均质性较强.

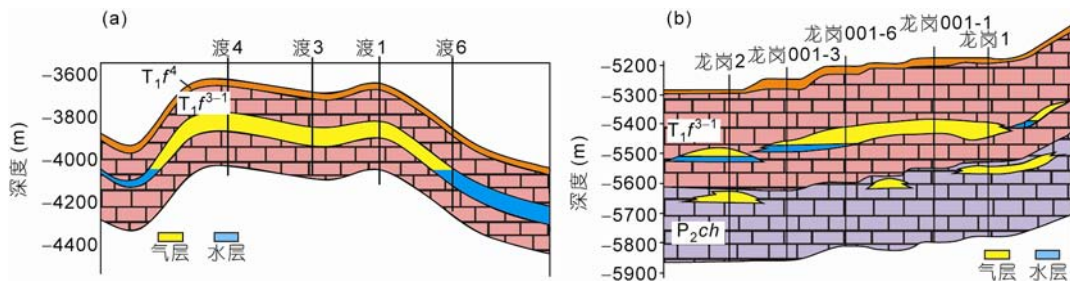


图 4 龙岗与罗家寨-普光地区长兴组-飞仙关组礁、滩气藏剖面对比  
(a) 渡口河飞仙关组气藏剖面; (b) 龙岗 1-龙岗 2 井区长兴组-飞仙关组气藏剖面

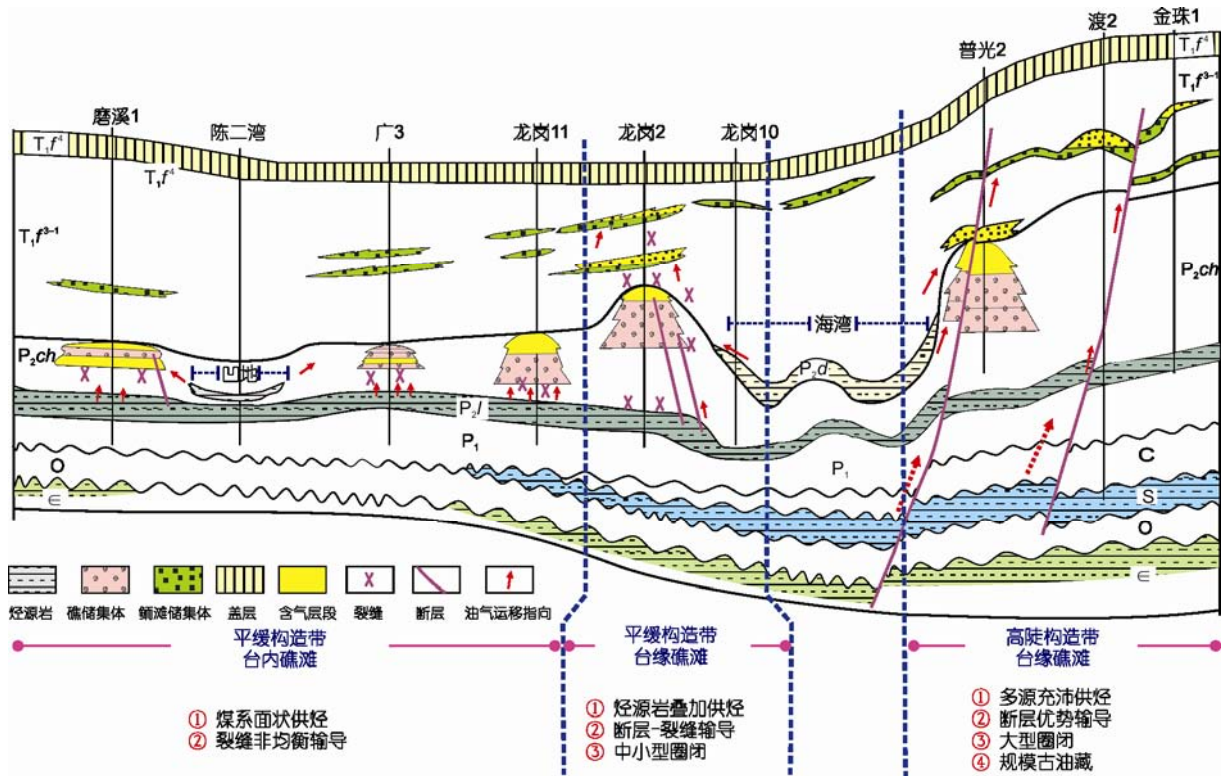


图5 四川盆地礁、滩体天然气成藏与分布模式图

表2 龙岗和罗家寨-普光地区礁、滩体气藏规模、含气概率与断裂发育程度的关系<sup>a)</sup>

地区	层位	名称	储量丰度 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )	充满度 (%)	气源断层	裂缝密度 (条/m)	输配条件	钻遇储层 井数(口)	气井数 (口)	含气概率 (%)
罗家寨-普光	T <sub>1f</sub>	渡口河	10.6	94.6	沟通E	1.8~6.2	深大断裂	40	32	80
		铁山坡	15	86.6	沟通E	3.9~13				
		罗家寨	7.6	100	沟通E	21.8				
		金珠坪	2.3	100	沟通E	20.1				
		滚子坪	7.3	48.5	沟通S	16.4				
	七里北	7.7	92.8	沟通E	1.5~4.6					
	P <sub>2ch</sub>	黄龙场	2.6	100	沟通O	6.7		15	13	86.6
七里北	5.1	88.1	沟通E	1.3~2.0						
主体平均			8.4	94.6					83.3	
龙岗	T <sub>1f</sub>	龙岗2	3.6	51	无	2.5~7	裂缝和小断层	18	10	55.6
		龙岗1	5.8	61	沟通P	5.9~9				
		龙岗26	2	73	无	2.0~4.5				
		龙岗6	2.3	48	无	4.2~6.7				
	P <sub>2ch</sub>	龙岗8	1.4	76	无	0.2~1.2				
		龙岗2	1.6	41	无	2.5~7				
		龙岗1	5.1	100	沟通P	5.9~9				
		龙岗28	4	79	无	0.2~2.0		18	12	66.7
		龙岗26	3.8	49	无	2.0~4.5				
龙岗27	2.6	100	沟通P	3.6~8.6						
龙岗11	2.5	100	无	0.2~1.5						
主体平均			2.6	68.3					61.2	

a) 主体平均是剔除个别单体而得到的反映总体情况的数值. 含气概率为气井数与钻遇储层井数之比

### 3 研究意义

成藏对比研究揭示出四川盆地龙岗与罗家寨-普光地区礁、滩体天然气成藏虽有共性,更有差异性,二者在成藏主控因素、成藏规模与分布等方面均有不同,及时关注这些差异性,对于深化礁滩领域天然气成藏条件和富集规律研究,以及推动天然气勘探顺利发展都具有重要意义。

#### 3.1 礁滩体成藏有效性受断层输导、气源供给及礁滩发育带联合控制

从成藏对比研究看,川东和川东北地区发育深大断裂和高陡构造,可构成断层优势输导,断背斜与优质礁、滩储层在三度空间有利匹配,加之多套烃源的充沛供气,具有天然气高效成藏的有利条件,可以形成大中型天然气藏。其中,龙岗东-梁平地区、铁山坡以西地区与川东北罗家寨-普光一带成藏条件类似,具备形成高效气藏的地质基础。在广大川中地区,长兴组台内生物礁和生屑滩储集体分布广泛,与龙潭组煤系烃源岩呈面状接触,具有“近水楼台”之便,在有裂缝输配的地方,天然气优先向长兴组充注,其成藏规模不一定大,但成藏概率一定会高于飞仙关组。最新研究发现,这些台内礁、滩体发育与原始沉积阶段的古高地密切共生。古构造研究显示,这些原始沉积高地几乎无一例外,都与基岩古隆起相关。而且,这些古隆起又往往与基底深大断裂活动密切关联。所以,那些与基底深大断裂和古隆起共生的台内滩,在气源输配、储层物性条件与成藏圈闭等方面存在理想匹配,应该具有规模成藏的潜力和前景。

#### 3.2 沉积相变及礁滩体时空迁移形成礁滩体天然气近源成藏

紧邻开江-梁平海湾一侧,与长兴组等时异相的大隆组侧向相变为一套优质烃源岩。由于鲕粒滩体的迁移性,飞仙关组鲕粒滩储层和大隆组烃源岩可以形成“下生上储”的近源成藏组合。应该说,在台缘带礁、滩体和海湾低能沉积区之间,只要有良好储集体发育,就具备成藏的潜力。在台缘礁、滩体面向海湾(外海)的迎风面发育的有利储集体,与龙岗 1-龙岗 2 井区礁滩成藏组合相似,靠近大隆组烃源岩,在断裂输导条件下,可以有效成藏。已有的勘探和研究发现,飞仙关组鲕粒滩从一段至三段,滩体范围变大,并自台缘带向海湾推进。可以进入早期海湾分布区。

具有与大隆组烃源岩接触的条件。现今龙会场和铁山飞仙关组鲕粒滩储层延伸均在 10 km 以上,且已发现工业气藏。最新地震显示,剑门-九龙山及川西北地区鲕粒滩体分布面积广、向海湾方向延伸规模大,其成藏条件与龙岗 1-龙岗 2 井区飞仙关组相似,应该具有良好的勘探前景。因此,向海湾区方向发育的与断层共生的低幅度构造区成藏潜力大,值得深入研究和探索。

### 4 结论和建议

#### 4.1 结论

(i) 龙岗和罗家寨-普光地区二、三叠系礁、滩体气藏的成藏条件虽有共性,但差异性更突出。罗家寨-普光地区以油型裂解气为主,龙岗地区以煤型气为主,气源供给充分性差异较大;罗家寨-普光地区以断层优势输导为主,龙岗地区以裂缝非均衡输导为主,气藏充满度与规模差异较大;罗家寨-普光地区储集体规模与连续性较好,龙岗地区储集体非均质性和横向变化更大;罗家寨-普光地区以构造型气藏为主,丰度高、规模大,龙岗地区岩性控制作用更明显,横向变化与非均质性较强。

(ii) 四川盆地礁滩体天然气成藏和分布规律是:“烃源-储层-输导通道”三位一体决定礁、滩体天然气富集带的形成和分布,充沛气源、优势输导及大型圈闭形成大型气藏;近断裂、近主裂缝带的礁、滩体含气概率高,气藏规模大;面状蒸发式加裂缝非均衡供烃,成藏空间范围大但规模有限,无源输配的有效储集体成藏概率低。

#### 4.2 建议

(i) 四川盆地二、三叠系礁、滩体的形成环境差异较大,尽管二者在空间配位上有一定的吻合性,也应该分开研究,从古地理、古环境的精细刻画入手,对三度空间二者继承、迁移变化规律进行总结。

(ii) 综合利用露头-井下-储层反演等手段,加强等时层序约束下的沉积微相与礁、滩体分布规律研究,以“烃源-储层-输导”三位一体控藏的地质认识为指导,深入开展已发现气藏解剖工作,深化成藏主控因素及富集研究。

(iii) 基底断裂的发育规模、展布、活动强度与期次等,对礁、滩体天然气成藏都十分重要。早期断



裂构造活动形成的古地理和古环境,控制了礁、滩体的分布、规模及宏观展布格局. 伴随基底断裂活动,深部热液流体向上迁移充注,促进白云石化、溶蚀等

储层建设性成岩作用,对礁、滩储层的形成和改善意义重大. 应该深入研究基底断裂的成因机制、分布规律及其对礁滩储层形成和天然气成藏的控制作用.

**致谢** 本文在研究及成文过程中,得到了中国石油西南油气田分公司陈更生副总地质师和勘探开发研究院王一刚教授的指导与帮助,在此一并深致谢忱!

## 参考文献

- 1 王一刚,洪海涛,夏茂龙,等. 四川盆地二—三叠系环海槽礁滩富气带勘探. 天然气工业, 2008, 28: 22–27
- 2 Zhao W Z, Wang Z C, Li J M, et al. Natural gas resources of the sedimentary basins in China. *Mar Petrol Geol*, 2008, 25: 309–319
- 3 Ma Y S, Zhang S C, Guo T L, et al. Petroleum geology of the Puguang sour gas field in the Sichuan Basin, SW China. *Mar Petrol Geol*, 2008, 25: 357–370
- 4 Zhao W Z, Luo P, Chen G S, et al. Origin and reservoir rock characteristics of dolostones in the early Triassic Feixianguan formation, NE Sichuan basin, China: Significance for future gas exploration. *J Petrol Geol*, 2005, 28: 83–100
- 5 翟光明. 中国石油地质志(卷十二). 北京: 石油工业出版社, 1992. 28–80
- 6 Li J, Xie Z Y, Dai J X, et al. Geochemistry and origin of sour gas accumulations in the northeastern Sichuan Basin, SW China. *Org Geochem*, 2005, 36: 1703–1716
- 7 Ma Y S, Mou C L, Tan Q Y, et al. Reef-Bank features and their constraint to reservoirs of natural gas, from Permian Changxing Formation to Triassic Feixianguan Formation in Daxian-Xuanhan area of Sichuan Province, South China. *Earth Sci Front*, 2007, 14: 182–192
- 8 贾承造,李本亮,张兴阳,等. 中国海相盆地的形成与演化. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 1–8
- 9 黄籍中,陈盛吉,宋家荣,等. 四川盆地烃源体系与大中型气田形成. 中国科学 D 辑: 地球科学, 1996, 26: 504–510
- 10 张水昌,朱光有,陈建平,等. 四川盆地川东北部飞仙关组高含硫化氢大型气田群气源探讨. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 86–94
- 11 梁狄刚,郭彤楼,陈建平. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一): 南方四套区域性海相烃源岩的分布. 海相油气地质, 2008, 13: 1–16
- 12 张水昌,梁狄刚,朱光有,等. 中国海相油气田形成的地质基础. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 19–31
- 13 宋岩,徐永昌. 天然气成因类型及其鉴别. 石油勘探与开发, 2005, 32: 24–29
- 14 戴金星,邹才能,张水昌,等. 无机成因和有机成因烃气的鉴别. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38: 1329–1341
- 15 刘文汇,孙明良,徐永昌. 鄂尔多斯盆地天然气稀有气体同位素特征及气源示踪. 科学通报, 2001, 46: 1902–1905
- 16 田辉,肖贤明,杨立国,等. 原油高温裂解生气潜力与气体特征. 科学通报, 2009, 54: 781–786
- 17 Pulikesi M, Nader M, Thilakavathi M, et al. Thermal cracking and combustion kinetics of asphaltenes derived from Fosterton oil. *Fuel Process Technol*, 2009, 90: 1286–1291
- 18 王兰生,陈盛吉,杨家静,等. 川东石炭系碳酸盐岩气藏地球化学特征. 海相油气地质, 2000, 5: 133–144
- 19 张水昌,朱光有. 四川盆地海相天然气富集成藏特征与勘探潜力. 石油学报, 2006, 27: 1–8
- 20 戴金星. 威远气田成藏期及气源. 石油实验地质, 2003, 25: 473–480
- 21 Wei G Q, Chen G S, Du S M, et al. Petroleum systems of the oldest gas field in China: Neoproterozoic gas pools in the Weiyuan gas field, Sichuan Basin. *Mar Petrol Geol*, 2008, 25: 371–386
- 22 朱光有,张水昌,梁英波,等. 四川盆地威远气田硫化氢的成因及其证据. 科学通报, 2006, 51: 2780–2788
- 23 王铜山,耿安松,孙永革,等. 川东北飞仙关组储层固体沥青地球化学特征及其气源指示意义. 沉积学报, 2008, 26: 341–348
- 24 刘文汇,陈孟晋,关平,等. 天然气成藏过程的三元地球化学示踪体系. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37: 908–915
- 25 王龙樟,戴樟漠,彭平安. 气藏储层自生伊利石  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  法定年的实验研究. 科学通报, 2004, 49(增刊 I): 81–85
- 26 吴河勇,云建兵,冯子辉,等. 松辽盆地深层  $\text{CO}_2$  气藏  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  成藏年龄探讨. 科学通报, 2010, 55: 693–697
- 27 蔡勋育,朱扬明,黄仁春. 普光气田沥青地球化学特征及成因. 石油与天然气地质, 2006, 27: 340–347
- 28 Thompson K F M. Gas condensate migration and oil fractionation in deltaic system. *Mar Petrol Geol*, 1988, 5: 237–246
- 29 熊永强,张海祖,耿新华,等. 正十八烷的裂解及其地球化学意义. 科学通报, 2004, 49(增刊 I): 72–75
- 30 Isaksen G H. Central North Sea hydrocarbon systems: Generation, migration, entrapment, and thermal degradation of oil and gas. *AAPG Bull*, 2004, 88: 1545–1572
- 31 赵文智,汪泽成,王一刚,等. 四川盆地东北部飞仙关组高效气藏形成机理. 地质论评, 2006, 52: 708–717
- 32 曾文贤,刘薇,李西宁. 川东北地区飞仙关组构造演化与油气成藏研究. 天然气工业, 2005, 25(增刊 A): 21–23
- 33 范明,胡凯,蒋小琼,等. 酸性流体对碳酸盐岩储层的改造作用. 地球化学, 2009, 38: 20–26
- 34 黄思静, Hairuo Qing, 胡作维,等. 四川盆地东北部三叠系飞仙关组碳酸盐岩成岩作用和白云岩成因的研究现状和存在问题. 天然气地球科学, 2007, 22: 495–502