

doi:10.3799/dqkx.2012.089

川东北地区飞仙关组台缘带鲕滩分布规律

刘建强¹, 罗冰², 谭秀成^{1,3*}, 江兴福⁴, 李宗银⁴, 乔琳⁴, 薛玖火⁴, 赵长城⁵

1. 西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610500

2. 中国石油西南油田分公司勘探开发研究院, 四川成都 610051

3. 西南石油大学资源与环境学院, 四川成都 610500

4. 中石油西南油田分公司勘探事业部, 四川成都 610041

5. 中国石油川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院, 四川成都 610051

摘要: 对四川盆地飞仙关组台缘带鲕滩分布规律的认识不清, 极大地制约着该区鲕滩气藏的勘探开发成效。以四川东北部飞仙关组为例, 分析台缘带鲕滩的发育特征, 探索其分布规律。研究发现区内飞仙关组鲕滩沿台地边缘呈NW向展布, 并在NE、NW两组基底正断裂交叉处向台地内部呈指状延伸, 其延伸方向与台地边缘近于垂直。讨论认为基底断裂同沉积活动形成的古地理格局、沉积古地貌与相对海平面的升降变化共同控制了该区飞仙关组台缘带鲕滩的纵、横分布规律。指出NW向基底断裂的同沉积张裂活动形成了台坳分异的沉积格局, 控制了台缘带及台缘带鲕滩相带展布; NE向基底断裂的同沉积正断活动加剧了台地边缘带的沉积地貌分异, 台缘带鲕滩发育于NE-SW向基底断裂“断隆”地貌高地, 并向台地内部延展, 形成“北西控带、北东修饰”的断控型台缘鲕滩指状窄相带分布规律。考虑相对海平面升降变化对鲕滩沉积厚度及沉积范围的叠加影响, 总结了台缘鲕滩的分布模式。

关键词: 基底断裂; 鲕滩; 台地边缘; 飞仙关组; 川东北地区; 沉积学; 油气藏。

中图分类号: P618

文章编号: 1000-2383(2012)04-0805-10

收稿日期: 2012-02-07

Distribution of Marginal-Platform Oolitic Shoal in Feixianguan Formation, Northeast Sichuan, China

LIU Jian-qiang¹, LUO Bing², TAN Xiu-cheng^{1,3*}, JIANG Xing-fu⁴, LI Zong-yin⁴, QIAO Lin⁴, XUE Jiu-huo⁴, ZHAO Chang-cheng⁵

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

2. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Chengdu 610041, China

3. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China

4. Exploration Division of PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu 610041, China

5. Geological Exploration and Development Research Institute, Chuangqing Drilling Engineering Co. Ltd. of CNPC, Chengdu, China 610051

Abstract: To better probe the laws of distribution of oolitic shoal which lies in the platform margin of Feixianguan Formation, Sichuan basin to facilitate the exploration and development on the oolitic shoal gas pool, this paper analyses the development properties and distribution law of platform margin shoal by means of case study of northeastern region of Sichuan basin, after which it points out that this type of oolitic shoal expands in the direction of NW-SE along the platform margin and stretches in “finger-shape” to the platform interior from which two groups of positive faults basement cross in directions of NE and NW, while the extension direction of the “finger-shape” is vertical to the platform margin. Furthermore, paleogeography framework formed by syndepositional activities of basement cracking, sedimentary paleogeomorphology and relative sea level change dominates the longitudinal and horizontal discipline of this oolitic shoal jointly. First, syndepositional tension of basement cracking in the direction NW contributes to the sedimentary framework of platform-hollow differentiation, which simultaneously controls the distribution of platform margin and also facies of oolitic shoal on

基金项目: 中国石油科技创新基金研究项目(No. 2011D-5006-0105); 国家“973”项目(No. 2012CB214803).

作者简介: 刘建强(1986—), 男, 在读硕士研究生, 储层地质学. E-mail: liujq86@163.com

* 通讯作者: 谭秀成, E-mail: tanxiucheng70@163.com

it., while that of NE one aggravates the degree of differentiation of sedimentary geomorphy in the researching area. Oolitic shoal of platform margin occurs on the “cracking uplift” highland formed by the basement cracking in the direction of NE-SW, which migrates to the internal platform, characterized by the fault controlling oolitic shoal of platform margin fingered slim zone of “belts dominated by NW, decorated by NE”. Second, the relative eustasy regulates sedimentary thickness and scale. Consequently an integration model of multi-factor on the shoal of platform margin can be established eventually.

Key words: basement cracking; oolitic shoal; platform margin; Feixianguan Formation; Northeast Sichuan; sedimentology; petroleum reservoirs.

近年来,海相碳酸盐岩礁滩相油气藏是我国油气资源勘探的重点与热点。我国已在川东北地区三叠系飞仙关组中相继发现了铁山坡、普光、渡口河、罗家寨、七里峡、龙岗等优质礁滩气藏或气田,仅普光气田台缘带探明的礁滩气藏天然气地质储量就超过 $2\,500\times10^8\text{ m}^3$,表明该地区滩相油气藏具有巨大的勘探潜力。一般认为,碳酸盐岩颗粒滩的发育与分布主要受到板块运动与基底断裂(孟祥化和葛铭,2002;邬光辉等,2005)、相对海平面变化(李凌等,2008;谭秀成等,2009;Bergman *et al.*, 2010; Tan *et al.*, 2011a)、沉积微地貌(周彦等,2007;李凌等,2008;刘宏等,2009;谭秀成等,2009)、洋流及潮汐变化(Flavio *et al.*, 2000; Reeder and Rankey, 2008; Bergman *et al.*, 2010; Eberli and Westphal, 2010)等多种地质因素影响。目前针对川东北地区飞仙关组台缘带礁滩的研究认为:台缘带礁滩普遍发育于北西—南东向的开江—梁平海槽(台盆)两侧,滩体呈条带状分布于台地边缘且平行于海槽(台盆)边界。

延伸,与海槽(台盆)以及台地内部的相界限平行,属于宽相带(王兴志等,2002;魏国齐等,2006;郑荣才等,2009;乔占峰等,2010).然而,在实际勘探过程中发现鲕滩在台缘带内并非普遍发育,也未表现出宽相带特征,同时在后期气藏开发生产过程中也反映出鲕滩储层并非成带连片分布.鉴于此,本文针对四川东北部地区飞仙关组台缘带的鲕滩地区开展研究,讨论其发育分布规律及主控因素,研究结果将有助于开拓台缘带鲕滩气藏勘探的新领域.

1 区域地质概况

川东北地区位于四川盆地东北部(图 1),南起大竹—梁平、北至开江—平昌、西邻华蓥山、东到开县一带;区域构造上位于大巴山弧前褶皱带与川东南断褶带交汇处,构造主体走向受到 NW 向、NE 向两组基底断裂控制(曾云贤等,2005),整体属于上扬子板块川东碳酸盐岩台地的一部分(杨雨和文应初,

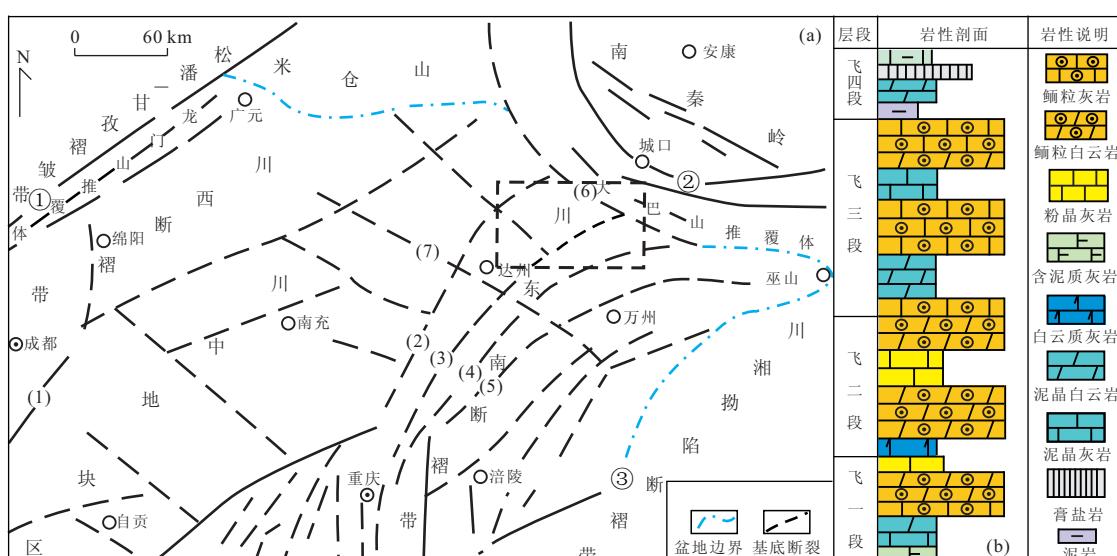


图1 川东北地区构造位置(据童莹光,1992修改)(a)及飞仙关组地层剖面(b)

Fig. 1 Tectonic location of study area (a) and stratigraphic section of Feixianguan Formation (b)

岩石圈深大断裂:①龙门山,②城口,③七曜山;地壳深大断裂:(1)龙泉山,(2)华蓥山,(3)铜锣峡,(4)明月峡,(5)黄泥堂,(6)巫溪—铁溪,(7)广元—利川;图中黑色虚线框示研究区

2002). 晚二叠至早三叠世期间的川东北地区在台地边缘相带多发育生物礁及颗粒滩, 其中飞仙关期主要以鲕滩建造为特征, 且多环绕开江—梁平海槽(台盆)发育分布。开江—梁平海槽最早由王一刚等(1998)提出, 因主要分布在开江、梁平地区而得名, 并认为该海槽由于晚二叠世南秦岭洋的强烈扩张而形成, 并于飞仙关沉积末期完全关闭(杨雨和文应初, 2002), 同时魏国齐等(2006)讨论确定了该海槽的两侧边界。马永生等(2006)则认为开江—梁平地区在晚二叠世长兴期至早三叠世飞仙关期仅是碳酸盐台地内相对深水的台棚(缓坡)环境, 而不宜称其为海槽。

因川东北地区距离四川盆地飞仙关期主要物源供给区(康滇古陆)较远, 受其陆源碎屑物质影响较小, 故该区飞仙关组地层以碳酸盐岩类为主, 夹有少量的泥岩、膏岩。飞仙关组地层厚度在区内一般为350~500 m, 依据岩性差异将该组自下而上共划分为4段: 飞一段($T_1 f^1$)、飞二段($T_1 f^2$)、飞三段($T_1 f^3$)及飞四段($T_1 f^4$)。其中飞一段和飞二段主要由鲕粒白云岩、鲕粒灰岩、白云质灰岩、泥粉晶灰(白云)岩等组成; 飞三段以鲕粒白云岩、鲕粒灰岩、泥晶白云岩、泥晶灰岩为主; 飞四段以泥质灰岩、泥灰岩

为主, 见膏层(图1)。

2 台缘带鲕滩基本特征

通过对野外剖面和岩心的观察, 结合测录井等资料以及区域沉积背景分析, 在川东北地区飞仙关组中共识别出半局限—蒸发台地、台地边缘、台缘斜坡、台盆及台内洼地5种沉积相以及多种亚(微)相。其中鲕滩亚相大致包括台内鲕滩与台缘带鲕滩2种类型, 还可进一步划分为滩核和滩缘微相。受潮汐作用和较强风浪作用的影响, 在开江—梁平一线东侧的地貌高地上, 开始发育台缘带鲕滩, 并随飞—飞二期台盆沉积填平而演化为台内鲕滩(张喜亭等, 2009), 而台缘带鲕滩为川东北地区飞仙关组最有利的储集相类型(杨雨和文应初, 2002; 陈宗清, 2007; 黄思静等, 2008; 张喜亭等, 2009; 郑荣才等, 2009)。

2.1 岩石学特征

区内台缘带鲕滩岩性多为厚层块状浅灰、灰褐色亮晶鲕粒白云岩(图2)、鲕粒灰岩, 鄂粒含量可达50%~83%, 多为正常鲕, 同心圈层结构特征明显(图2a), 直径一般为4~10 mm(图2d)。由于后期白云岩化作用强烈, 原始鲕粒结构发生粉晶化, 在镜下

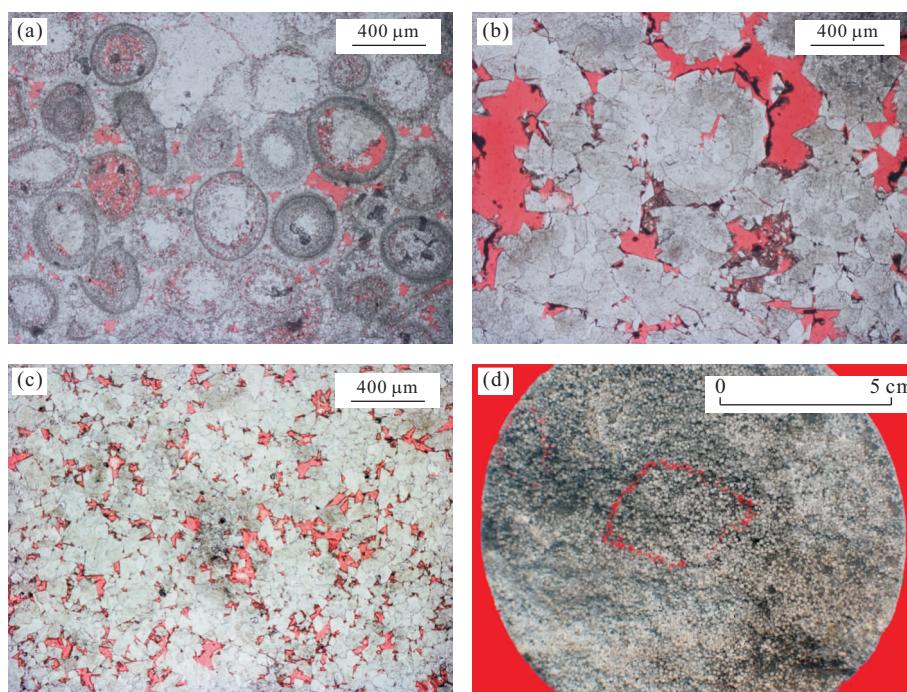


图2 飞仙关组边缘带鲕滩常见岩石类型

Fig. 2 Pictures showing the common rock type of marginal-platform oolitic shoal in Feixianguan Formation

a. 罗家9井, 1(17/46), 飞仙关组, 鄂粒白云岩, 普通薄片, 单偏光, $\times 5$; b. 渡3井, 4 325.88 m, 飞一段, 鄂粒白云岩, 铸体薄片, 单偏光, $\times 5$; c. 坡1井, 3 424.08 m, 飞二段, 细粉晶白云岩, 铸体薄片, 单偏光, $\times 5$; d. 七里北1井, 5 809.33 m, 飞二段, 鄂粒白云岩, 岩心照片

仅观察到模糊的鲕粒幻影(图 2c). 此外可见少量的砂屑、生屑颗粒, 颗粒分选与磨圆均较好(图 2d).

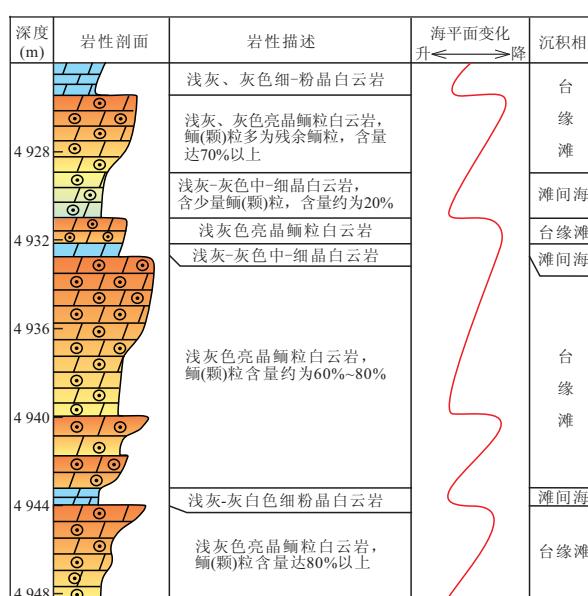
2.2 台缘带鲕滩纵向沉积特征

在碳酸盐台地, 海平面高频振荡表现为短暂快速海侵和持续等效海退(李凌等, 2011). 短暂快速海侵之后, 受沉积物垂向加积的影响, 台地边缘的局部高地开始处于浪基面附近并发育鲕滩, 并随鲕滩的不断建造, 沉积基准面水体能量持续升高, 直至出露于海平面之上滩体才终止建造, 故此台缘鲕滩发育向上变浅和向上变粗的沉积序列(图 3). 川东北地区飞仙关期台缘环境不同部位的单个鲕滩的向上变浅序列的厚度变化较大, 不同的能量环境和可容空间使单滩体出现 1~10 m 不等的厚度变化: 在迎浪面, 由于浪基面扰动深度大, 单个高频旋回发育的可容空间较大, 其形成的单滩体厚度接近 10 m(图 3a); 而在台缘带的背风面, 浪基面扰动深度相对较小, 其发育的单滩体厚度往往较薄(图 3b). 此外, 在滩体顶部地带, 由于沉积基准面距离海平面很近, 可容空间被压缩变小, 颗粒滩极易因露出海平面而终止发育, 单滩体厚度更薄. 由于海平面的多旋回高频振荡, 鄂滩在垂向建造过程中相互叠置形成累计厚度规模较大的台缘滩体, 最厚可达 300 m(图 4). 由于受相对海平面下降的影响, 浪基面位置降低、滩体发生横向迁移叠置. 但如果滩体暴露时间较短, 将不会从根本上改变先期的古地理及沉积地貌格局(谭秀成等, 2011b), 最终将在古地貌高地上继承性地发育颗粒滩, 而横向则相变极快(图 4).

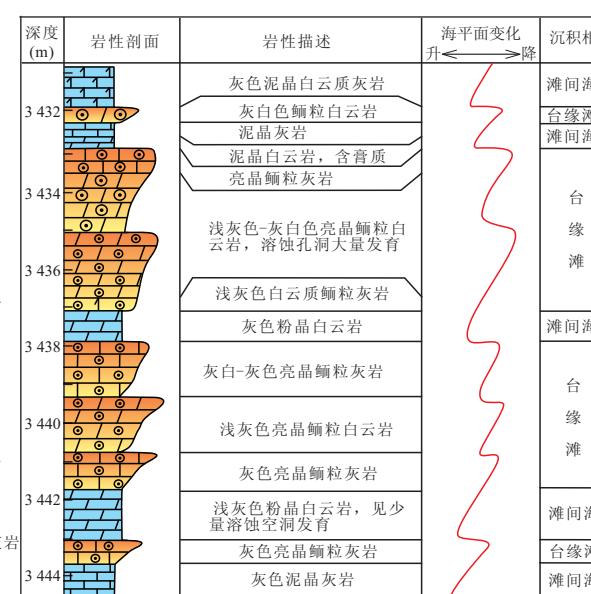
2.3 台缘带鲕滩横向发育特征

一般认为, 在碳酸盐台地中, 伴随着相对海平面的高频升降变化, 波浪所能影响的高能水体范围也会出现相应改变. 在海侵期时水体变深, 海平面相对于沉积基底升高, 波浪能量仅能影响至水下的局部高地; 海退期或是沉积物垂向加积使海水相对变浅时, 波浪的影响范围将由水下微地貌高地扩大至高地周缘, 优先发育在水下微地貌高地的滩体则发生向相对低地的侧向迁移(李凌等, 2008; 谭秀成等, 2009), 进而使台缘滩体的横向分布范围逐渐扩大.

研究区飞仙关组台缘鲕滩在 NW 向(台缘带延伸方向)的发育具有如下特点: 在发育时期方面, 飞一初期, 随着相对海平面下降, 北部的局部地貌高地(毛坝地区)优先处于浪基面附近, 鄂滩最早在该区发育建造, 而至飞一中晚期, 南部渡口河地区的局部高地才处于浪基面附近而发育鲕滩, 表明区内台缘带地貌具向南倾伏的特点, 从而使鄂滩的初始发育层位向南“爬升”; 在横向连续性方面, 鄂滩的分布极不稳定, 如毛坝 4 井区的飞一—飞二期鄂滩极其发育, 而普光 8 井区则鲜见鄂滩沉积, 这表明台缘带内部存在次一级的地貌单元隆凹分异, 而鄂滩发育区一般为地貌高地, 欠发育区则为相对低地; 从滩体发育区域而言, 颗粒滩发育区域具有明显的继承性, 如



(a)



(b)

图 3 飞仙关组台缘带鲕滩纵向沉积序列

Fig. 3 Longitudinal sedimentary sequence of marginal-platform oolitic shoal in Feixianguan Formation

a. 普光 2 井飞仙关组二段($T_1 f^2$); b. 坡 1 井飞仙关组二段($T_1 f^2$)

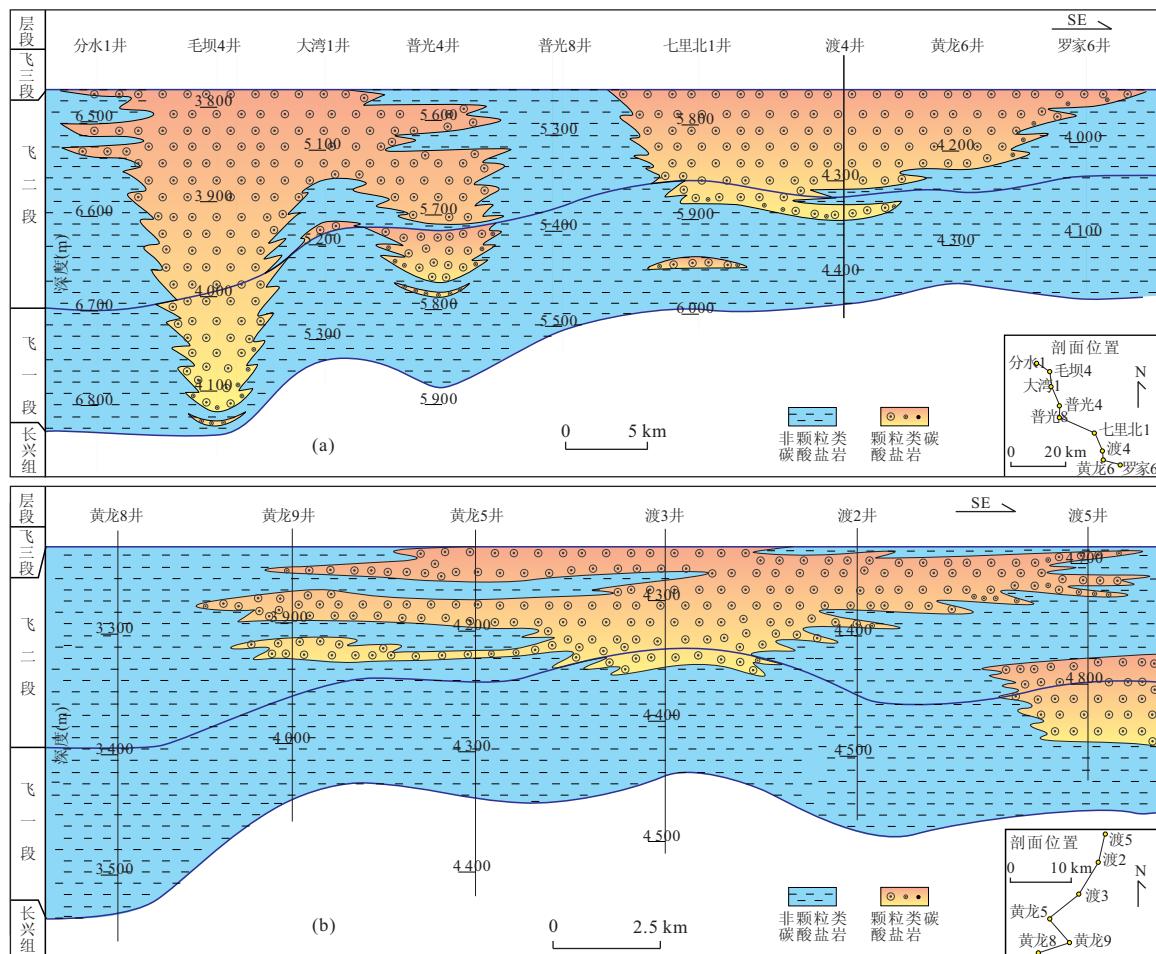


图 4 台缘带鲕滩横向迁移模式示意

Fig. 4 Lateral migration model of marginal-platform oolitic shoal in study area

毛坝 4、普光 4、七里北 1 和渡 4 井区,始终是鲕滩的有利发育区,这也表明沉积基底的沉降速率与鲕滩建造速率基本一致,而其纵向继承性发育也表明地貌高地能够较长时间的继承发展。此外,从飞一期至飞二期,由于台缘滩侧向加积作用不断进行,滩体横向分布范围扩大(图 4a)。

在研究区东南部垂直横切台缘的 NE 向剖面上, 台缘带鲕滩最先发育于早期水下地貌高地(渡 5 井区), 至飞一末期, 外移至台缘带高地的渡 3 井区, 并始终在该井区优势发育。随着渡 3 井区鲕滩的建造, 其对波浪的遮挡作用逐渐彰显, 使得波浪在渡 5 井区不能影响至沉积基底, 颗粒滩在该处终止发育。伴随着海平面持续下降, 酷滩主体受其影响出现多旋回短暂暴露, 并发生侧向加积作用, 沉积范围也逐渐向台地边缘和台地内部扩大、迁移(图 4b)。荣辉等(2010)对江油二郎庙鱼洞子剖面飞仙关组鲕粒滩进行研究时也发现此种现象。

3 台缘带鲕滩分布特征

已有的钻探成果表明,在飞一期,川东北地区沉积相带沿近北西—南东向展布,台地边缘呈条带状分布于毛坝—铁山坡—普光—七里北—渡口河—黄龙场—罗家寨一线,并以鲕滩沉积作为其典型特征,岩性多为鲕粒白云岩和鲕粒灰岩;研究区西南侧主要发育台缘斜坡—台盆相,岩性多为泥质灰岩、泥晶灰岩;东北侧由于水体受台缘滩体的阻隔和遮挡,与外海沟通受限,以发育局限台地—蒸发台地相沉积为特征,岩性主要为白云岩和膏岩等岩类。值得注意的是,台缘鲕滩呈窄条带状断续分布在台地边缘带内,边界弯曲,尤其是在毛坝—铁山坡、黄龙场—渡口河、温泉井—滚子坪一线最为明显,具有沿北东向向台地内部指状延伸的典型特征,其延伸距离可达10~25 km。从台地边缘鲕滩向台内指突位置来看,与NE向断裂系统的分布密切相关(图5a)。与飞一

期相比,飞二期沉积相带展布是对飞一期沉积面貌的继承和发展,各相带分布特征大体相似,但台地边缘带明显较飞一期台地边缘相带变宽,并具有向斜坡—台盆方向迁移的特征,而台地边缘鲕滩断续窄条带状向台内指突的特征仍然明显(图 5a)。

4 讨论

前已述及,碳酸盐颗粒滩的发育需要较为苛刻

的环境条件,受到多种地质因素的综合作用影响。早三叠世开始时期上扬子地区所处的古特提斯海水循环近乎停滞,之后才变为动荡海洋(时志强等,2010),且主要受巨型季风气候控制(曾德勇等,2011),这表明川东北地区乃至整个上扬子地区具有相似的古水文条件和古气候条件。基底断裂带活动形成的古地理格局、沉积古地貌与相对海平面的升降变化便成为控制区内飞仙关组带鲕滩发育及分布的主要因素。

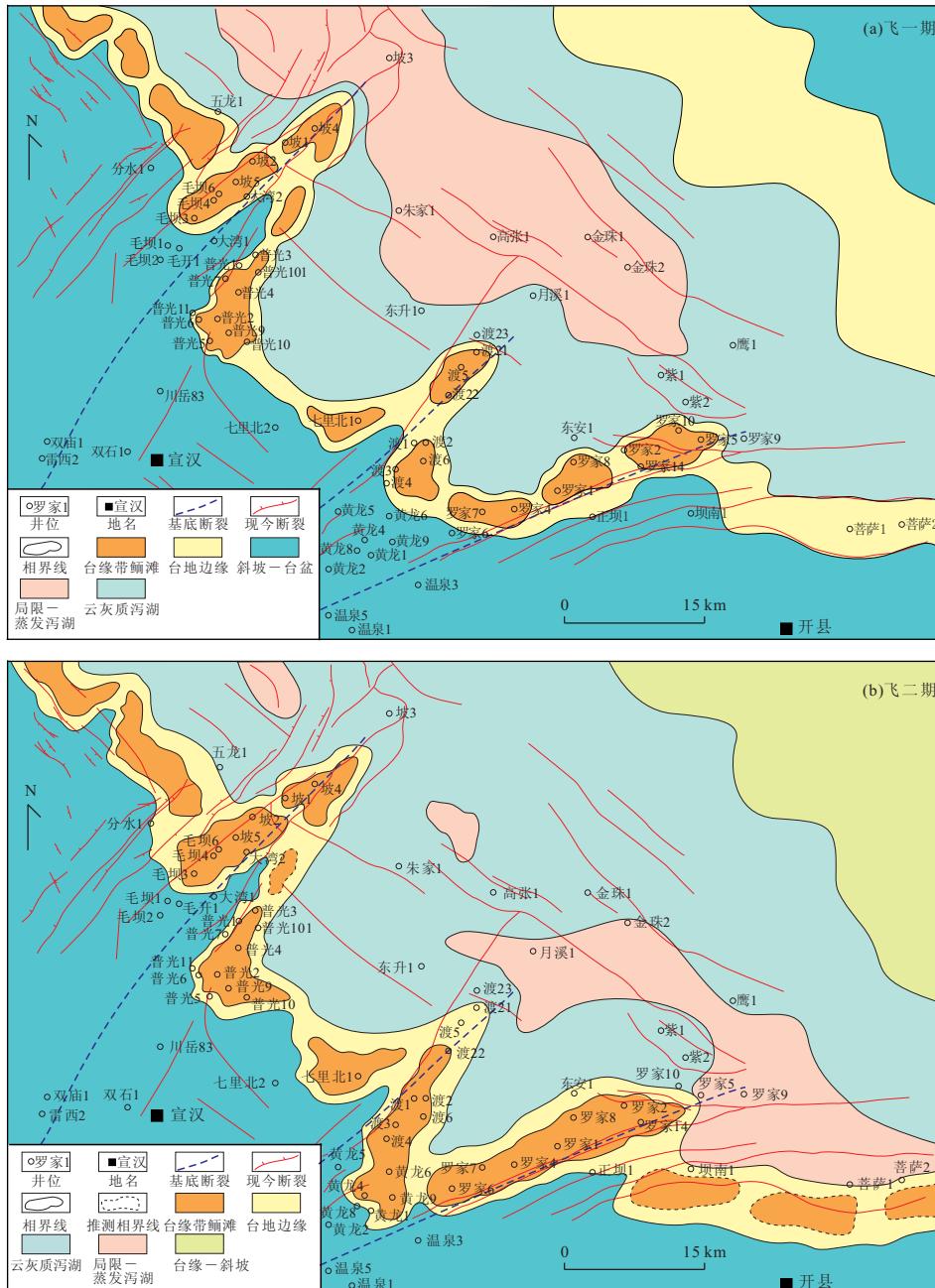


图 5 研究区飞一、飞二期沉积相平面展布

Fig. 5 The horizontal distribution of sedimentary facies in Feixianguan period, north Sichuan

4.1 基底断裂同沉积活动对鲕滩分布的影响

从区内飞仙关组台缘带鲕滩的发育分布特征看,台缘带鲕滩相带的断续带状展布与NW向的现今断裂叠合较好,沿近北东向向台地内指突与现今的NE向断裂系统密切相关(图5),故对现今断裂系统的演化分析成为研究台缘带鲕滩分布规律的关键和重点。由于四川盆地在晚三叠世印支运动后期才逐渐转变为挤压环境(宋子堂和罗志立,1990;吴巧生等,1998),先期活动的正断层发生构造反转可能转换为逆断层,只是因为后期构造反转的强烈改造,断裂早期活动面貌难以保存,但在基底断裂附近仍可识别出一些正断层存在过的痕迹。

加里东—印支运动早期四川盆地发育了大量相互切割的NE、NW向张性基底正断裂,且NW向基底断裂的活动性强于NE向的正断活动(张亮鉴,1985),并具有一定的阶段性(汤良杰等,2009)。纵贯区内的基底断裂有NW向的广元—利川断裂和NE向华蓥山断裂、铜锣峡断裂、明月峡断裂等(图1)。这些基底断裂与现今的NE向华蓥山断裂、铜锣峡断裂、明月峡断裂带大体上一致,同时这些断裂系统在飞仙关期一直处于同沉积活动状态(罗冰等,2009)。晚二叠世长兴期,NW向基底断裂系统间的开江—梁平断块下沉,形成由北向南推进的拉伸型台盆沉积区(王一刚等,1998;王兴志等,2002;魏国齐等,2006;郑荣才等,2009),而断块两侧上升盘则相对抬升形成碳酸盐岩台地,最终构成了区内晚二叠世—早三叠世“台坳分异”的沉积格局。NE向基底断裂呈叠瓦状成排切割NW向断裂系统,而断层下降盘相对沉降切割台地边缘,最终在台地边缘带

出现与台盆相联通的陡槽,谓之“断陷”;断层上升盘则相对抬升为水下地貌高地,谓之“断隆”。“断陷”、“断隆”的相间出现造成台地边缘带内部形成次一级的隆凹相间地貌,进而加剧了“台坳分异”沉积地貌差异。“断隆”地处台地边缘带内的相对微地貌高地,海水浅且水动力条件强,最利于鲕滩发育;而“断陷”虽然同处于台地边缘带,但与“断隆”处相比,其在地势上要低得多,海水较深,不利于鲕滩发育。

在NW、NE向两组活动性深大断裂系的共同作用下,台地边缘带原本相对平直的边界发生弯曲变形,形成整体呈蛇曲状沿北西—南东向展布的特征。在两组断裂系统的交叉处,台地边缘相带边界凹向台内,斜坡—台盆相则随之扩张深入到台地内部(图5)。台缘带鲕滩发育在连通台盆的陡槽两侧“断隆”处,断续分布在台地边缘带内部,并呈指状向台地内部延伸,其延伸方向与台地边缘带相垂直或角度相交,最终形成“北西控带、北东修饰”的台缘带鲕滩分布特征(图6)。

4.2 相对海平面升降对鲕滩分布的影响

四川盆地在晚二叠世长兴期发生过一次重大海退(罗冰等,2010),早、中三叠世海侵逐渐开始,扬子区至早三叠世中期海侵达到高峰(殷鸿福等,1994)。川东北地区在飞一段沉积期有过短暂的海侵(海平面上升)过程,至飞二段沉积期则由海进转变为海退,飞三段在沉积早期发生短暂的海侵后随即进入海退阶段,飞四段沉积期海平面大幅下降(陈志斌等,2010)。从研究区台缘带鲕滩的纵横向沉积分布特征可以看出,相对海平面的升降变化与之密切相关。可容空间直接取决于海平面相对沉积基底的位

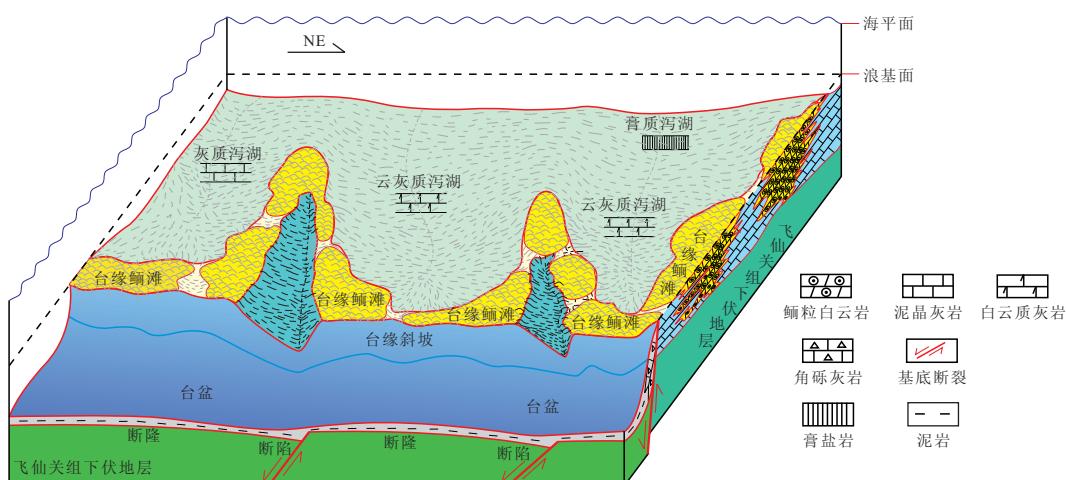


图6 川东北地区飞仙关组台缘带鲕滩分布模式

Fig. 6 The distribution model of marginal-platform oolitic shoal, northeast Sichuan

置,而可容空间的大小也决定着台缘带鲕滩的单滩体厚度和累计沉积厚度。正是由于动荡海洋环境下海平面的高频振荡变化,水下地貌高地长期持续处于相对高能水体环境,加之有充足的盆地内碎屑供给,才最终形成了川东北地区飞仙关组累计厚度愈数百米的台缘鲕滩体。同时其相对下降造成了台缘滩侧向加积作用加强,其沉积范围扩展至地貌高地周缘的相对低地内,滩体的横向分布范围扩大、单滩体厚度变薄(图3、4、6)。

总之,基底断裂同沉积活动形成的古地理格局、沉积古地貌与相对海平面的升降变化均影响和控制着台缘鲕滩的发育和分布规律。鲕滩的沉积过程中,这些因素同时产生并共同作用。而飞仙关组鲕滩气藏在四川盆地油气勘探中占有重要地位,随着勘探的深入和勘探技术的进步,建议对川东北台缘带鲕滩气藏的勘探重点放在北部铁山坡西部台缘鲕滩带上,将有望获得类似于普光气田的重大突破。

5 结论

(1)台缘鲕滩优先发育于水下地貌高地,单滩体厚度不等,一般为1~10 m,并由海平面高频振荡使古地貌高地上始终继承性地发育颗粒滩,最终形成累计厚度可达数百米的台缘带鲕滩体。

(2)台缘鲕滩呈北西向断续窄条带状、北东向台内指突的窄相带分布特征,川东北北部地区地貌相对较高,颗粒滩具发育时间早、持续时间长的特点,其纵向规模大,可作为今后鲕滩气藏的勘探重点。

(3)NW向基底断裂的同沉积张裂活动的形成决定了“台坳分异”的沉积格局;NE向基底断裂的同沉积正断活动加剧了台地边缘带的沉积地貌分异。两者共同作用形成“北西控带、北东修饰”的断控型断续窄相带台缘鲕滩分布模式。

(4)相对海平面升降不仅控制着台缘鲕滩单滩体厚度、台缘鲕滩的累计厚度,还影响着滩体率先发育的层位、鲕滩体的侧向迁移以及沉积范围的扩大等。

References

- Anselmetti, F. S., Eberli, G. P., Ding, Z. D., 2000. From the Great Bahama Bank into the straits of Florida: a margin architecture controlled by sea-level fluctuations and ocean currents. *GSA Bulletin*, 112(6): 829–844. doi: 10.1130/0016-7606(2000)112<829:FTGBBI>2.0.CO;2
- Bergman, K. L., Westphal, H., Janson, X., et al., 2010. Controlling parameters on facies geometries of the Bahamas, an isolated carbonate platform environment. In: Westphal, H., Riegl, B., Eberli, G. P., eds., *Carbonate depositional systems: assessing dimensions and controlling parameters—the Bahamas, Belize and the Persian/Arabian Gulf*. Springer, Beilin, 5—80.
- Chen, Z. Q., 2007. Discussion on gas exploration of Feixianguan Formation in the Lower Triassic of Sichuan basin. *Acta Petrolei Sinica*, 28(5): 12—19 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z. B., Chen, M., Wang, L. Z., et al., 2010. Diagenesis of carbonate reservoir in the Lower Triassic Feixianguan Formation of the NE Sichuan basin, China. *Natural Gas Geoscience*, 21(5): 742—747 (in Chinese with English abstract).
- Eberli, G. P., Westphal, H., 2010. Summary: the depositional systems of the Bahamas, Belize Lagoon and the gulf compared. In: Westphal, H., Riegl, B., Eberli, G. P., eds., *Carbonate depositional systems: assessing dimensions and controlling parameters—the Bahamas, Belize and the Persian/Arabian Gulf*. Springer, Beilin, 215—230.
- Huang, S. J., Qing, H. R., Hu, Z. W., et al., 2008. Cathodoluminescence and diagenesis of the carbonate rocks in Feixianguan Formation of Triassic, eastern Sichuan basin of China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences* 33(1): 26—34 (in Chinese with English abstract).
- Li, L., Tan, X. C., Xia, J. W., et al., 2008. Influences of eustatic movement on the cambrian reservoirs of bank facies in Weiyuan gas field, the Sichuan basin. *Natural Gas Industry*, 28(4): 19—21 (in Chinese with English abstract).
- Li, L., Tan, X. C., Ding, X., et al., 2011. Difference in depositional characteristics between intra-platform and marginal-platform shoals in Leikoupo Formation, Sichuan basin and its impact on reservoirs. *Acta Petrolei Sinica*, 32(1): 70—76 (in Chinese with English abstract).
- Liu, H., Tan, X. C., Zhou, Y., et al., 2009. Prediction of platform-edge bank carbonate reservoir in Feixianguan Formation of Huanglongchang gas field in the north-eastern Sichuan basin. *Acta Petrolei Sinica*, 30(2): 219—224 (in Chinese with English abstract).
- Luo, B., Tan, X. C., Liu, H., et al., 2009. Discovery and recognition marks of seismite of the Fei1 Member in the eastern Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(5): 1012—1017 (in Chinese with English abstract).
- Luo, B., Tan, X. C., Li, L., et al., 2010. Discovery and geologic significance of paleokarst unconformity between Changxing Formation and Feixianguan Formation in

- Shunan area of Sichuan basin. *Acta Petrolei Sinica*, 31(3):408—414 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. S., Mou, C. L., Tan, Q. Y., et al., 2006. A discussion on Kaijiang-Liangping ocean trough. *Oil & Gas Geology*, 27(3):326—331 (in Chinese with English abstract).
- Meng, X. H., Ge, M., 2002. Research on cyclic sequence, events and formation evolution of the Sino-Korea plate. *Earth Science Frontiers*, 9(3):125—140 (in Chinese with English abstract).
- Qiao, Z. F., Li, G. R., Long, S. X., et al., 2010. Characteristics and evolution model of sequence stratigraphy of Feixianguan Formation in the northeast of Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(3):462—470 (in Chinese with English abstract).
- Reeder, S. L., Rankey, E. C., 2008. Interactions between tidal flows and ooid shoals, northern Bahamas. *Journal of Sedimentary Research*, 78(3):175—186. doi:10.2110/jsr.2008.020
- Rong, H., Jiao, Y. Q., Wu, L. Q., et al., 2010. Oolithic shoal composition and its implication of Feixianguan Formation in Yudongzi section of Erlangmiao, Jiangyou, Sichuan, China. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 35(1):125—136 (in Chinese with English abstract).
- Shi, Z. Q., Yi, H. S., Zeng, D. Y., et al., 2010. The lowest member of Lower Triassic Feixianguan Formation in Upper Yangtze region: sedimentary records from Sluggish Water to Turbulent Ocean after the mass extinction. *Geological Review*, 56(6):769—779 (in Chinese with English abstract).
- Song, Z. T., Luo, Z. L., 1990. The extension background of lithofacies differentiation in Dalong period, Late Permian, north Sichuan. *Acta Geologica Sichuan*, 10(2):85—88 (in Chinese).
- Tan, X. C., Liu, X. G., Chen, J. S., et al., 2009. Shoal development within the epicontinental carbonate platform, Jia 2 Member, Lower Triassic, Moxi gas field, central Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(5):995—1001 (in Chinese with English abstract).
- Tan, X. C., Liu, H., Li, L., et al., 2011a. Primary intergranular pores in oolithic shoal reservoir of Lower Triassic Feixianguan Formation, Sichuan basin, Southwest China: fundamental for reservoir formation and retention diagenesis. *Journal of Earth Science*, 22(1):101—114.
- Tan, X. C., Nie, Y., Liu, H., et al., 2011b. Research on the method of recovering microtopography of epeiric carbonate platform in depositional stage:a case study from the layer A of Jia 22 Member in Moxi gas field, Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 29(3):486—494 (in Chinese with English abstract).
- Tang, L. J., Huang, T. Z., Jin, W. Z., et al., 2009. Differential deformation and hydrocarbon accumulation in the superimposed basins. *Earth Science Frontiers*, 16(4):13—22 (in Chinese with English abstract).
- Tong, C. G., 1992. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in Sichuan basin. Geological Publishing House, Beijing.
- Wang, Y. G., Wen, Y. C., Zhang, F., et al., 1998. Distribution law of the organic reefs in Changxing Formation of Upper Permian in East Sichuan. *Natural Gas Industry*, 18(6):10—15 (in Chinese with English abstract).
- Wang, X. Z., Zhang, F., Ma, Q., et al., 2002. The characteristics of reef and bank and the fluctuation of sea-level in Feixianguan period of Late Permian-Early Triassic, East Sichuan basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(2):249—254 (in Chinese with English abstract).
- Wei, G. Q., Chen, G. S., Yang, W., et al., 2006. Preliminary study of the boundary of Kaijiang-Liangping trough in northern Sichuan basin and its characteristics. *Oil & Gas Geology*, 27(1):99—105 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Q. S., Wu, C. L., Wang, H., 1998. Geodynamic features of Sichuan basin in the Late Triassic and their relation with oil gas migration and accumulation. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 28(1):53—58 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. H., Li, Q. M., Zhang, B. S., et al., 2005. Structural characteristics and exploration fields of No. 1 Faulted slope break in Tazhong area. *Acta Petrolei Sinica*, 26(1):27—30 (in Chinese with English abstract).
- Yang, Y., Wen, Y. C., 2002. Control of Kaijiang-Liangping trough growing on $T_1 f$ oolite distribution in northeast Sichuan basin. *Natural Gas Industry*, 22(Suppl.):30—32 (in Chinese with English abstract).
- Yin, H. F., Tong, J. N., Ding, M. H., et al., 1994. Late Permian-Middle Triassic sea level changes of Yangtze platform. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 15(5):627—632 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Y. X., Liu, W., Li, X. N., 2005. Research on structural evolution and oil/gas reservoir of Feixianguan Formation in northwest Sichuan basin. *Natural Gas Industry*, 25(Suppl. A):21—23 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, D. Y., Shi, Z. Q., Zhang, H., et al., 2011. Tempestite of Early Triassic Feixianguan Formation in Shangsi Section, Guanyuan: are they extreme climatic event under megamonsoon system? *Acta Sedimentologica Sinica*, 29(3):440—447 (in Chinese with English abstract).

- Zhang, L. J., 1985. A remote sensing study of relationship between basement tectonic and oil-gas distribution in Sichuan basin. *Journal of Chengdu College of Geology*, (2): 73—81 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, X. T., Tan, X. C., Bi, J. M., et al., 2009. Oolithic beach distribution in Feixianguan Formation, Puguang gas field. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 16(2): 8—11 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, R. C., Luo, P., Wen, Q. B., et al., 2009. Characteristics of sequence-based lithofacies and paleogeography, and prediction of oolithic shoal of the Feixianguan Formation in the northeastern Sichuan. *Acta Sedimentologica Sinica*, 27(1): 1—8 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, Y., Tan, X. C., Liu, H., et al., 2007. Oolithic limestone reservoir characteristics and its genetic mechanism of Jia2 Member in Moxi gas field. *Journal of Southwest Petroleum University*, 29(4): 30—33 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈宗清,2007. 论四川盆地下三叠统飞仙关组天然气勘探. 石油学报,28(5):12—19.
- 陈志斌,陈梅,王龙樟,等,2010. 川东北地区下三叠统飞仙关组碳酸盐岩储层成岩作用. 天然气地球科学,21(5): 742—747.
- 黄思静,卿海若,胡作维,等,2008. 川东三叠系飞仙关组碳酸盐岩的阴极发光特征与成岩作用. 地球科学——中国地质大学学报,33(1):26—34.
- 李凌,谭秀成,夏吉文,等,2008. 海平面升降对威远寒武系滩相储层的影响. 天然气工业,28(4):19—21.
- 李凌,谭秀成,丁熊,等,2011. 四川盆地雷口坡组合内滩与台缘滩沉积特征差异及对储层的控制. 石油学报,32(1): 70—76.
- 刘宏,谭秀成,周彦,等,2009. 川东北黄龙场气田飞仙关组合缘滩型碳酸盐岩储层预测. 石油学报,30(2): 219—224.
- 罗冰,谭秀成,刘宏,等,2009. 川东地区飞一段震积岩的发现及识别标志. 沉积学报,27(5):1012—1017.
- 罗冰,谭秀成,李凌,等,2010. 蜀南地区长兴组顶部岩溶不整合的发现及其油气地质意义. 石油学报,31(3): 408—414.
- 马永生,牟传龙,谭钦银,等,2006. 关于开江—梁平海槽的认识. 石油与天然气地质,27(3):326—331.
- 孟祥化,葛铭,2002. 中朝板块旋回层序、事件和形成演化的探索. 地学前缘,9(3):125—140.
- 乔占峰,李国蓉,龙胜祥,等,2010. 川东北地区飞仙关组层序地层特征及演化模式. 沉积学报,28(3):462—470.
- 荣辉,焦养泉,吴立群,等,2010. 江油二郎庙鱼洞子剖面飞仙关组鲕粒滩内部构成. 地球科学——中国地质大学学报,35(1):125—136.
- 时志强,伊海生,曾德勇,等,2010. 上扬子地区下三叠统飞仙关组一段:大灭绝后从停滞海洋到动荡海洋的沉积记录. 地质论评,56(6):769—779.
- 宋子堂,罗志立,1990. 川北晚二叠世大隆期岩相分异的古拉张背景. 四川地质学报,10(2):85—88.
- 谭秀成,刘晓光,陈景山,等,2009. 磨溪气田嘉二段陆表海碳酸盐岩台地内滩体发育规律. 沉积学报,27(5): 995—1001.
- 谭秀成,聂勇,刘宏,等,2011b. 陆表海碳酸盐岩台地沉积期微地貌恢复方法研究——以四川盆地磨溪气田嘉二2亚段A层为例. 沉积学报,29(3):486—494.
- 汤良杰,黄太柱,金文正,等,2009. 叠合盆地差异构造变形与油气聚集. 地学前缘,16(4):13—22.
- 童崇光,1992. 四川盆地构造演化与油气聚集. 北京:地质出版社.
- 王一刚,文应初,张帆,等,1998. 川东地区上二叠统长兴组生物礁分布规律. 天然气工业,18(6):10—15.
- 王兴志,张帆,马青,等,2002. 四川盆地东部晚二叠世—早三叠世飞仙关期礁、滩特征与海平面变化. 沉积学报,20(2):249—254.
- 魏国齐,陈更生,杨威,等,2006. 四川盆地北部开江—梁平海槽边界及特征初探. 石油与天然气地质,27(1): 99—105.
- 吴巧生,吴冲龙,王华,1998. 四川盆地晚三叠世动力学特征及与油气运聚的关系. 长春科技大学学报,28(1): 53—58.
- 邬光辉,李启明,张宝收,等,2005. 塔中I号断裂带构造特征及勘探领域. 石油学报,26(1):27—30.
- 杨雨,文应初,2002. 川东北开江—梁平海槽发育对T_{1f}鲕粒岩分布的控制. 天然气工业,22(增刊):30—32.
- 殷鸿福,童金南,丁梅华,等,1994. 扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化. 地球科学——中国地质大学学报,15(5):627—632.
- 曾云贤,刘微,李西宁,2005. 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,25(增刊A):21—23.
- 曾德勇,时志强,张华,等,2011. 广元上寺剖面下三叠统飞仙关组风暴岩:巨型季风体制下的极端气候事件? 沉积学报,29(3):440—447.
- 张亮鉴,1985. 应用遥感资料对四川盆地基底构造格局与油气分布关系的筛分. 成都地质学院学报,(2):73—81.
- 张喜亭,谭秀成,毕建敏,等,2009. 普光气田飞仙关组鲕滩分布规律研究. 油气地质与采收率,16(2):8—11.
- 郑荣才,罗平,文其兵,等,2009. 川东北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征和鲕滩预测. 沉积学报,27(1):1—8.
- 周彦,谭秀成,刘宏,等,2007. 磨溪气田嘉二段鲕粒灰岩储层特征及成因机制. 西南石油大学学报,29(4):30—33.