

文章编号: 0253-9985(2009)05-0539-09

川东北地区长兴组—飞仙关组碳酸盐岩台地层序充填结构及成藏效应

陈洪德, 钟怡江, 侯明才, 林良彪, 董桂玉, 刘家洪

(成都理工大学 油气藏地质与开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 川东北地区长兴组和飞仙关组可分别划分为两个 II 型层序: PSQ1, PSQ2, TSQ1 和 TSQ2。除 TSQ2 由 TST, EHST 和 LHST 组成以外, 其他层序均由 TST 和 HST 组成。在古断裂的控制下, 长兴期至飞仙关期川东北碳酸盐岩台地呈现出独特的台—盆相间以及台地内的滩—洼相间沉积格局。古断裂和相对海平面变化分别通过控制沉积格局和沉积环境的水体能量变化而制约碳酸盐生产率和产出类型, 从而影响碳酸盐岩层序充填结构特征。层序充填结构中发育的各成藏要素构成了川东北礁、滩气藏完整的生储盖组合。

关键词: 层序充填结构; 成藏效应; 长兴组; 飞仙关组; 川东北

中图分类号: TE122.3 文献标识码: A

Sequence styles and hydrocarbon accumulation effects of carbonate rock platform in the Changxing-Feixianguan formations in the northeastern Sichuan Basin

Chen Hongde, Zhong Yijiang, Hou Mingcai, Lin Liangbiao, Dong Guiyu, Liu Jiahong

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: The Changxing and Feixianguan formations in northeastern Sichuan Basin can both be divided into two type II sequences, PSQ1, PSQ2, TSQ1 and TSQ2. The TSQ2 sequence can be subdivided into TST, EHST and LHST, and the rest can be divided into TST and HST. Controlled by fossil fractures, during Changxing-Feixianguan period, unique sedimentary pattern of platform alternating with basin and shoal alternating with topographic low occurred in the carbonate rock platform in northeastern Sichuan Basin. The fossil fractures and relative sea-level changes influenced the productivity and type of carbonate by controlling sedimentary pattern and water energy change, and further influenced the sequence structures of carbonate rocks. Hydrocarbon pooling elements developed in the sequence structure constitute the integrated source-reservoir-caprock assemblages of reef and shoal gas reservoirs in northeastern Sichuan Basin.

Key words: sequence style; hydrocarbon accumulation effect; Changxing Formation; Feixianguan Formation; northeastern Sichuan Basin

研究区位于四川盆地东北部 (俗称川东北) 地区, 属于上扬子台地^[1], 区域构造上属于大巴山北西向弧形隔挡式构造带、川东北东向高陡隔挡式褶皱带以及米仓山推覆构造及其之间的叠加区

块。四川盆地上二叠统一三叠统沉积过程始于东吴运动造成的下二叠统剥蚀面上的海侵, 结束于飞仙关组末期全区均一化的含石膏岩的碳酸盐台地蒸发潮坪的海退^[2], 沉积环境为中上扬子克

收稿日期: 2008-06-14

第一作者简介: 陈洪德 (1956-) 男, 教授、博士生导师, 层序地层学与含油气盆地分析。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (40739901)。

拉通盆地内的碳酸盐台地。在晚二叠世的“地裂运动”和南秦岭洋的拉张背景之下^[3~6],由古断裂控制的断块差异沉降导致了沉积环境的分异,上升区块成为浅水台地沉积环境,下降区块则成为相对深水沉积环境。目前,对川东北地区长兴组—飞仙关组的沉积格局在认识上还存在一定的分歧,主要争议焦点在于是否存在与广旺深水盆地相连的“开江—梁平海槽”、命名以及“海槽”内充填的沉积物类型问题。

目前国内对此相对深水沉积环境有 3 种认识:①硅质岩质海槽^[2,7];②碳酸盐质台盆^[8];③碳酸盐质台棚(缓坡)^[9,10]。文章认为“开江—梁平海槽”内应为碳酸盐质台盆沉积环境。川东北上二叠统长兴组—下三叠统飞仙关组独特的台—盆相间及台地内滩—洼相间的沉积格局(图 1),使得不同相带的相序组合和层序充填结构差异明显。前人对这一沉积格局中的沉积环境、沉积相^[2,7~14],特别是储层发育的台地边缘礁、滩相带^[7,15,16]进行了大量的研究。层序地层学方面也有相关研究^[17~19],但结合层序结构探讨成藏效应

的成果尚未见到。本文以野外露头剖面 and 钻井剖面为研究对象,结合地震资料,综合考虑控制层序发育的各种因素,从层序内部体系域充填的物质组成、不同物质的叠置关系以及体系域发育的地层厚度对比等方面,探讨川东北地区上二叠统长兴组—下三叠统飞仙关组的层序充填结构特征,进而讨论其成藏效应,对于我们正确认识碳酸盐岩层序,认识不同背景上碳酸盐岩层序形成的主要控制因素,以及进一步探讨这些碳酸盐岩层序的油气资源潜力,具有重要的理论和实际意义。

1 层序结构

1.1 层序划分及界面性质

川东北长兴组和飞仙关组分别划分为两个三级层序^[20~22](表 1)。PSQ1 和 TSQ1 的底界面为岩性岩相转换面,属于 II 型层序界面。PSQ2 和 TSQ2 的层序底界面为短暂的暴露不整合界面,属于 II 型层序界面。

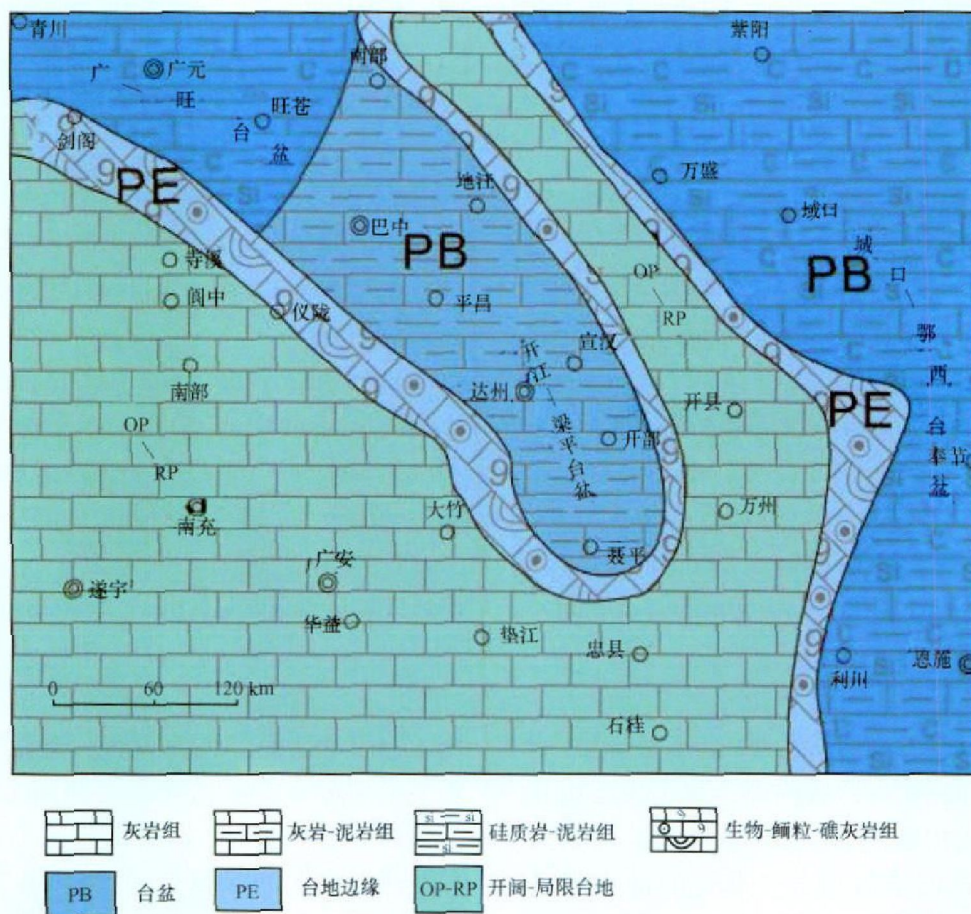


图 1 川东北长兴组—飞仙关组沉积格局

Fig. 1 Sedimentary framework of the Changxing-Feixianguan formations in northeastern Sichuan Basin

表 1 川东北长兴组和飞仙关组层序划分

Table 1 Sequence division of the Changxing and Feixianguan formations the in northeastern Sichuan Basin

统	阶	组	层序界面	沉积层序
T ₁	纳马里阶	飞仙关组	SB2	TSQ2
	格恩巴赫阶		SB2	TSQ1
P ₃	长兴阶	长兴组	SB2	PSQ2
			SB2	PSQ1

1.2 层序充填结构特征

1.2.1 长兴组

台地内滩—洼相间的沉积格局,导致不同沉积相带的层序充填结构特征差异明显(图 2)。台地内水深较浅的高能环境适合生物生长,海侵期和

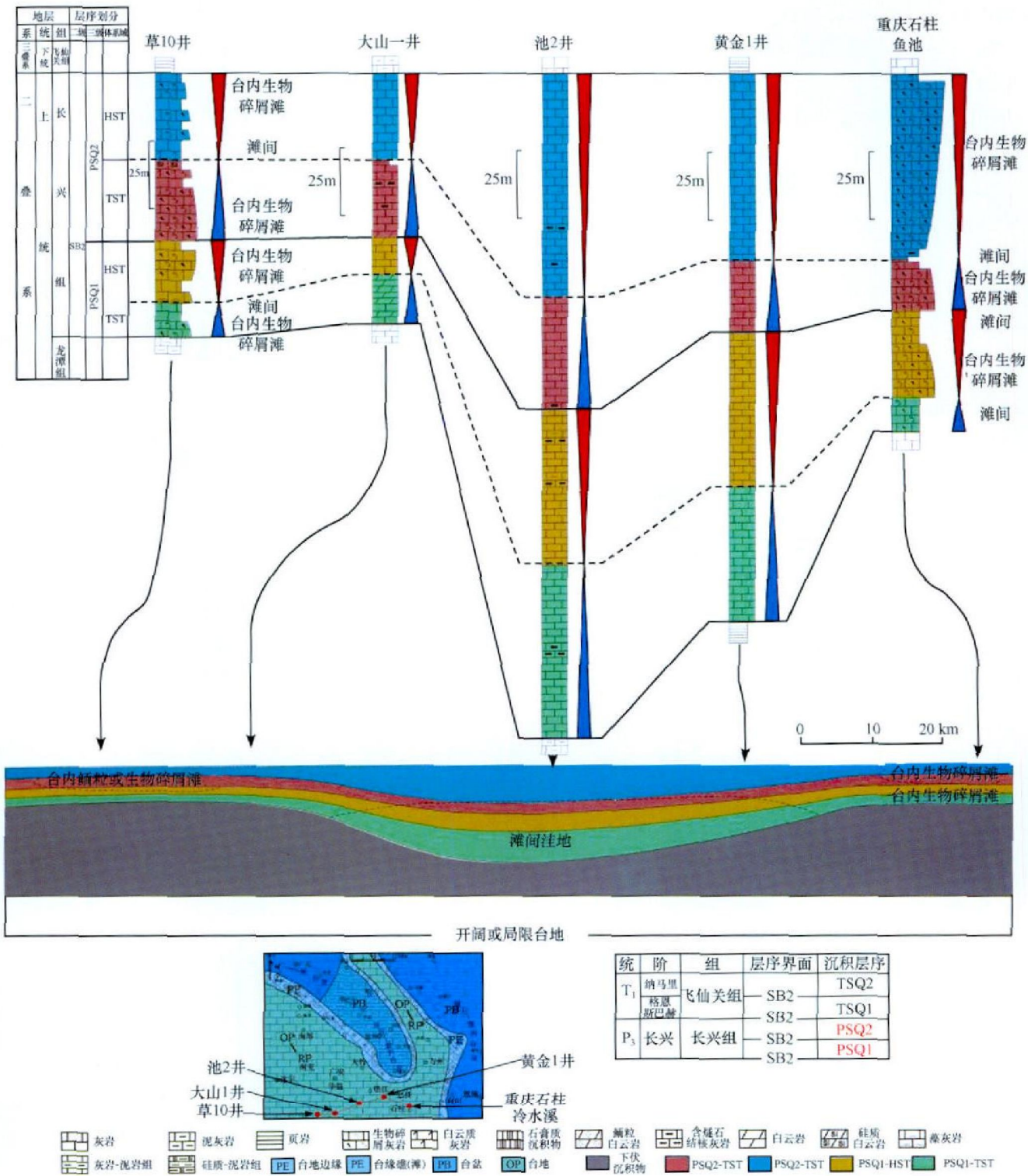


图 2 长兴组层序充填结构特征及沉积模式

Fig. 2 Sequence style and sedimentary model of the Changxing Formation

发育页岩为主。向台盆边缘,相对海平面上升速度减慢,水体环境较之要浅,碳酸盐生长环境有所改善,但仍然发育欠补偿沉积的泥晶灰岩。高位期相对海平面下降,水深变浅,台盆内均发育欠补偿沉积的泥晶灰岩。台地边缘环境水体较浅,对海平面变化响应敏感,水体能量大,有利于碳酸盐的生产,以发育高能相带的鲕粒灰岩、砂屑灰岩和生物碎屑灰岩等为主要特征,能对可容纳空间进行有效的充填,形成的准层序或准层序组都能形成很好的对比,具有 $TST < HST$ 的结构特征。海侵期台地边缘礁滩相带向台内迁移变化不明显,发育的相带较稳定,形成加积或退积式准层序组。高位期,虽然处于二叠纪末最大海侵的背景^[16],但由于台地边缘生物礁和生物碎屑 鲕粒滩具有较高生产率,发育海侵并进型生物礁^[16],台地边缘礁滩相带和台缘斜坡相带向台盆方向强烈进积,出现了相对浅水相带向相对深水相带的超覆现象,形成进积式准层序组,如图 3 中毛坝 2 井、毛坝 3 井和通江平溪诺水河剖面所示。台地内为滩洼相间的沉积环境,与图 2 所示环境相似,发育的层序充填结构特征也具有相似性。

1.2.2 飞仙关组

飞仙关组沉积特征对长兴组具有明显的继承性,但不同沉积环境中的沉积特点和层序充填结构特征又有差异。TSQ1 层序由 TST 和 HST 组成,TSQ2 层序由 TST, EHST 和 LHST 组成。LHST 沉积时期的区域性海退导致川东北发育蒸发台地相的石膏岩,在区域上能形成很好的对比。

飞仙关期开江—梁平台盆以南的开阔—局限台地中继承了长兴期滩—洼相间沉积环境,在相对海平面升降变化过程中,台内滩和洼地平面展布的纵向变化导致不同地区发育的层序充填结构存在差异(图 4)。在滩间洼地中,环境较局限海侵期以发育页岩、泥晶灰岩和泥质灰岩等欠补偿沉积为主要特征,对可容纳空间没有完全充填,而高位期相对海平面下降后的水深条件有利于碳酸盐生产,对可容纳空间进行有效的充填,一般都具有 $TST < HST$ 的结构特征。在地势较高的地区,海侵期碳酸盐的生产率较高,碳酸盐以追补或并进生产为主,高位期相对海平面下降,水

深条件更有利于碳酸盐的生产,特别是高能地区发育砂屑灰岩或鲕粒灰岩,都对可容纳空间进行了有效的充填,一般具有 $TST \approx HST$ 的结构特征。TSQ2 层序与 TSQ1 层序相比,层序充填结构的最大差别就是 HST 可分为 EHST 和 LHST, TST 和 EHST 时期的碳酸盐物质充填特征以及控制因素与 TSQ1 层序具有很大的相似性,只是由于在二级海平面整体下降的影响下,水体能量条件加大,台内滩增多,从而导致不同地区层序充填结构在纵向上的有所变化,以 $TST < HST$ 为主。TSQ2 层序的 LHST 时期,相对海平面下降,川东北准平原化古地势^[11]的沉积环境已经均一化为蒸发台地,以发育石膏岩、泥灰岩、泥岩、泥质白云岩等为特征。

控制台盆发育的断裂活动从飞一期开始减弱,至飞二末期停止,台盆相带内经历了填平补齐过程(图 5)。TSQ1 层序中台盆相带内海侵期断裂活动仍然较强,沉积环境与 PSQ2 沉积时期相似,发育泥岩和泥晶灰岩等欠补偿沉积。高位期断裂活动强度开始减弱,相对海平面下降,“碳酸盐工厂”的生产率急剧增加,碳酸盐以加积和追补的生长方式对前期已经存在的可容纳空间进行快速充填,具有 $TST \ll HST$ 的结构特征。飞一末期,由于台地向台盆增生,开江—梁平台盆向北迁移,TSQ1 层序的 HST 时期台盆边缘水体变浅,能量增强,台缘生物礁发育,最后由于相对海平面下降和生物礁的快速生长,暴露水面而停止生长。城口—鄂西台盆边缘海侵期发育砂屑和鲕粒滩,高位期发育生物礁,都为台地边缘高能带的产物。台地内仍然为滩—洼相间的沉积环境,低能相带发育泥灰岩,局部高能带发育砂屑灰岩和鲕粒灰岩。普光 2 井海侵期白云岩到鲕粒白云岩的 3 个向上变浅的准层序或准层序组在纵向上组成了加积叠置关系,而金珠 1 井与之对应的 3 套厚度明显较小的白云岩到鲕粒白云岩的沉积旋回为普光 2 井所在地的成滩规模扩大向两侧进积的结果。TSQ2 沉积时期,由于断裂活动减弱,再加上前期对开江—梁平台盆的充填,使得台盆内水体变浅,更有利于碳酸盐的生产,沉积了大套的灰岩,且层序结构从 TSQ1 的 $TST \ll HST$ 变为 $TST \approx HST$ 。台地边缘相带仍然为高能的礁滩沉积,台地相带内的地势变平坦,主要为低能环境的灰岩、泥灰岩、泥质白云岩等沉积。高位期台盆相带内基本结束了

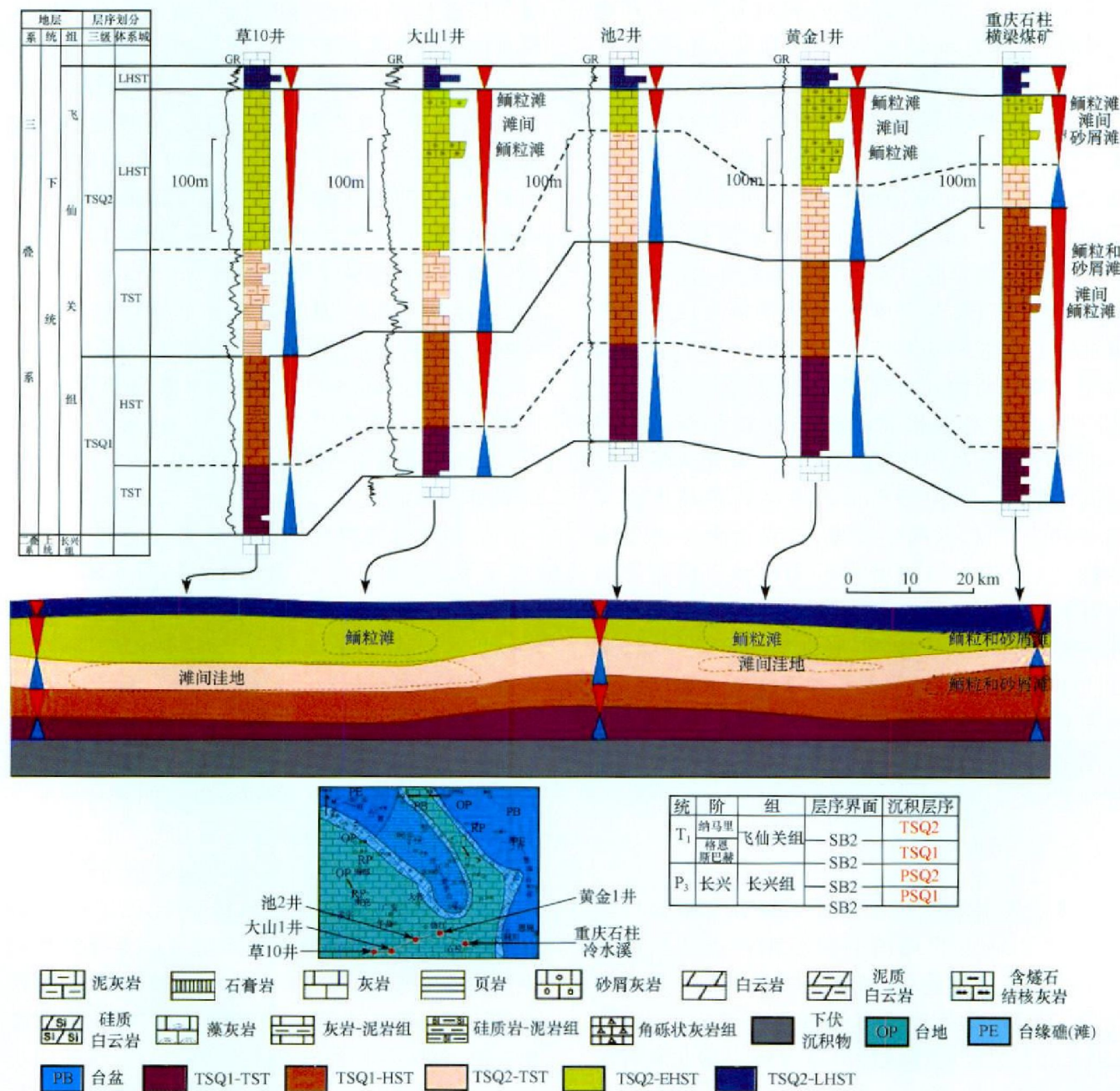


图 4 飞仙关组层序充填结构特征及沉积模式(一)

Fig 4 Sequence style and sedimentary model of the Feixianguan Formation (1)

填平补齐阶段,整个川东北都为台地相沉积,除龙会 1 井、通江平溪诺水河剖面 and 城口庙坝剖面见高能滩相沉积外,其他钻井都为台地内低能的灰岩、泥灰岩和泥质白云岩沉积,形成了滩、洼相间的沉积格局。TSQ2 层序的 LHST 时期,相对海平面下降,在均一化的蒸发台地相内以沉积石膏岩或石膏质灰岩为主要特征,但通江平溪诺水河和城口庙坝剖面所处古地理环境水体较深,仍然沉积了生物碎屑灰岩,从而形成不同的层序充填结构。

1.3 井—震结合

文章分析的地震剖面(图 6)通过川岳 84 井、普光 5 井、普光 2 井和普光 4 井,跨越开江—梁平台盆东侧宣汉附近的台盆、台缘斜坡、台地边缘和台地内部 4 个沉积相带。长兴组顶部在礁顶反射较强并见明显隆起,礁体内部呈现空白反射,普光 5 井长兴组 PSQ2 的 HST 早期发育的生物礁灰岩与之形成对应。长兴组 PSQ1 层序向斜坡方向见下超现象,反映了水体变浅过程中斜坡向盆地方

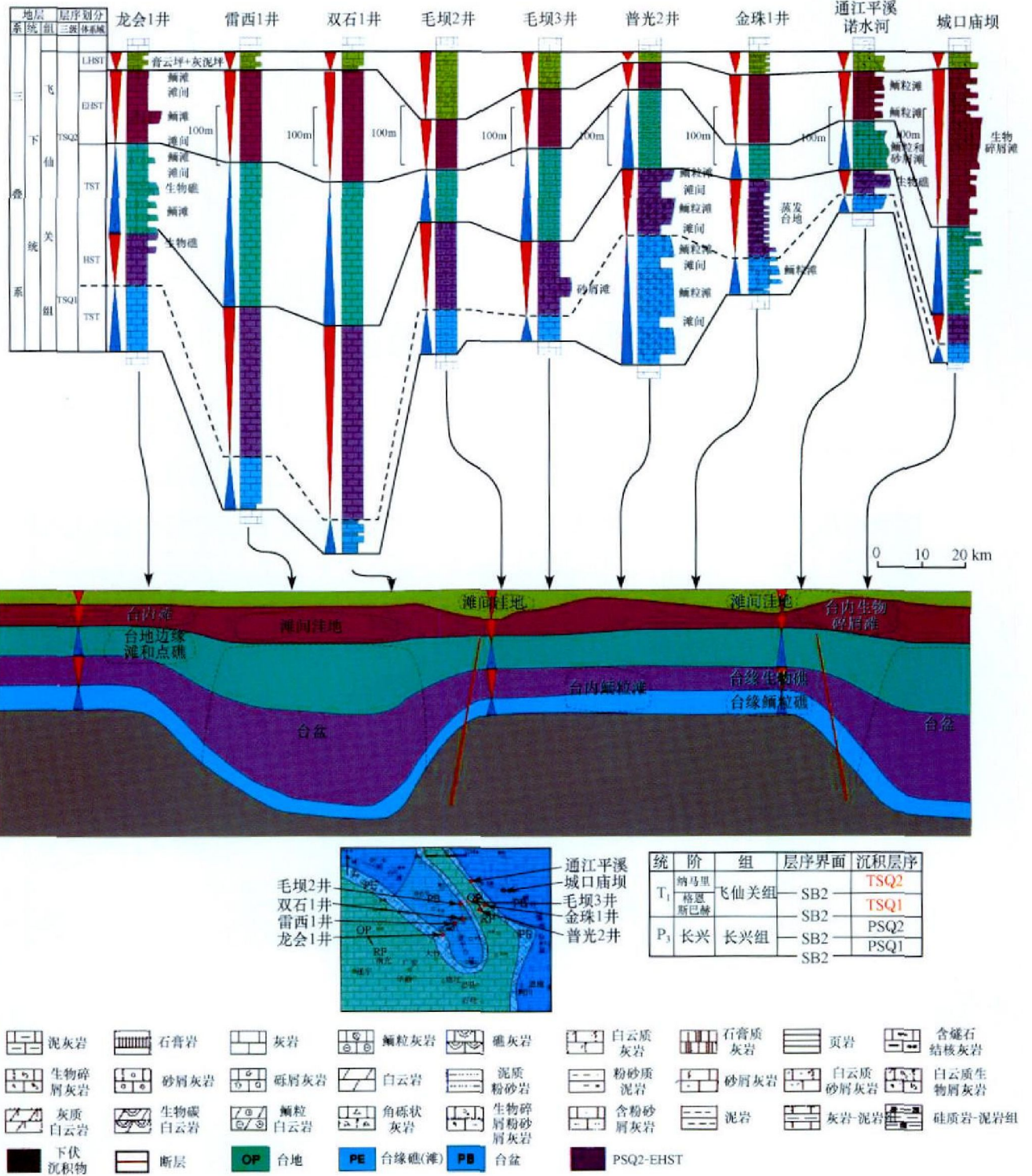


图 5 飞仙关组层序充填结构特征及沉积模式 (二)

Fig 5 Sequence style and sedimentary model of the Feixianguan Formation (2)

向强烈的进积过程。飞仙关组内部反射能量强, 反射相位增多, 台地边缘及台内主要发育的鲕粒滩在地震剖面上也有隆起显示, 隆起两侧在飞仙关组一段和三段分别有下超现象, 普光 2 井 TSQ1 及 TSQ2 的 TST 时期都发育了大套的鲕粒白云岩, 成滩规模较大。飞仙关组一段沉积时期礁后出现

双超现象, 反映了海水向上变浅过程中碳酸盐向礁后和礁降上的双向超覆。

2 成藏效应

海平面变化、同生断层^[24]共同制约着沉积相

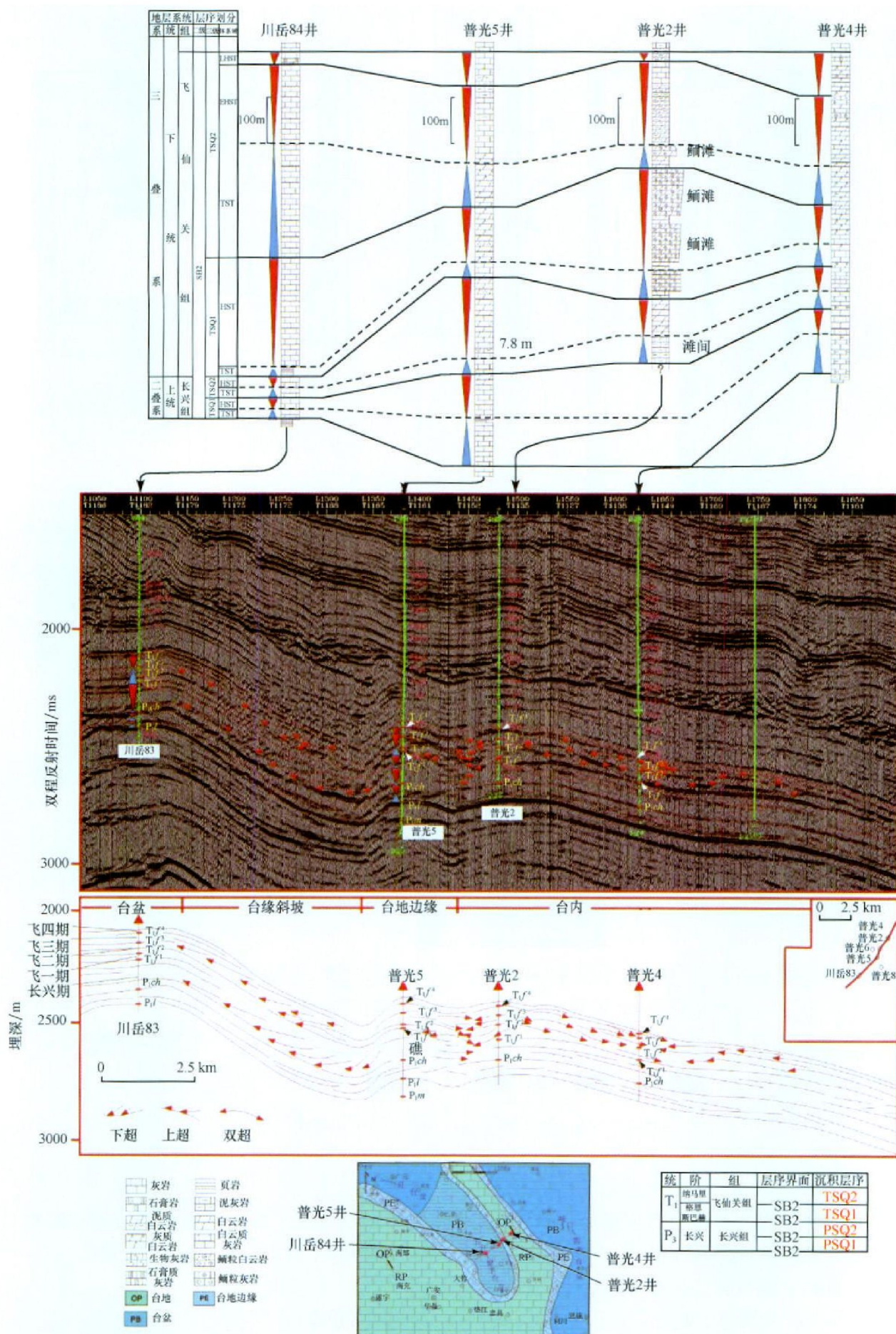


图 6 普光地区长兴—飞仙关组井—震结合

Fig 6 Seismic section tied to wells of the Changxing-Feixianguan formations in Puguang area

带的展布和变化,从而影响层序充填结构的形成,因此,层序充填结构的形成过程也是油气成藏条件的形成演变过程。在川东北地区层序充填结构研究基础上探讨油气成藏效应,对川东北地区油气勘探能起到很好的指导作用。研究区长兴组和飞仙关组台盆相带中 TST时期发育欠补偿沉积且有机质含量高的泥岩和页岩,为川东北礁、滩气藏提供了良好的烃源岩。川东北地区主要于 HST时期形成的生物礁和鲕粒滩,特别是此时期发育的白云岩化鲕粒灰岩和白云岩化礁灰岩形成川东北典型的长兴组—飞仙关组礁、滩孔隙性白云岩储层。其次是孔隙类型丰富的生物碎屑滩和砂屑滩中发育的生物碎屑灰岩、白云岩、砂屑灰岩、白云岩等也能成为很好的储层。此时,台地内沉积的致密性的泥晶灰岩、泥晶白云岩特别是滩间洼地内沉积的泥岩和泥灰岩等对丘状的礁体和鲕粒滩形成包围,再经过压实作用使细粒致密的灰岩和白云岩的孔隙系统丧失,从而形成很好的岩性圈闭。TSQ2层序的 LHST时期,在区域范围内发育的石膏岩能成为很好的区域盖层,为气藏的区域性封堵形成很好的条件。因此,在层序结构发育过程中形成的各成藏要素共同构成了川东北礁、滩气藏完整的生、储、盖组合。

参 考 文 献

- 1 四川省地质矿产局.四川省区域地质志[M].北京地质出版社,1991
- 2 王一刚,文应初,洪海涛,等.四川盆地及邻区上二叠统一下三叠统海槽的深水沉积特征[J].石油与天然气地质,2006,27(5):702~714
- 3 罗自立.中国西南地区晚古生代以来地裂运动对石油等矿产形成的影响[J].四川地质学报,1981,2(1):1~17
- 4 杜远生,殷鸿福,王治半,等.秦岭造山带晚加里东—海西期的盆地格局与构造演化[J].地球科学,1997,22(4):401~405
- 5 辜学达,刘啸虎.四川省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.147
- 6 冯增昭,杨玉卿,金振奎,等.中国南方二叠纪岩相古地理[M].山东东营:石油大学出版社,1997.79~88
- 7 王一刚,文应初,洪海涛,等.四川盆地开江—梁平海槽内发现大隆组[J].天然气工业,2006,26(9):32~37
- 8 倪新锋,陈洪德,田景春,等.川东北地区长兴组—飞仙关组沉积格局及成藏控制意义[J].石油与天然气地质,2007,28(4):458~465
- 9 马永生,牟传龙,郭旭升,等.四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局[J].地质论评,2006,52(1):25~31
- 10 马永生,牟传龙,谭钦银,等.关于开江—梁平海槽的认识[J].石油与天然气工业,2006,27(3):326~331
- 11 杨雨,王一刚,文应初,等.川东飞仙关组沉积相与鲕滩气藏的分布[J].天然气勘探与开发,2001,24(3):18~21
- 12 王一刚,张静,刘兴刚,等.四川盆地东北部下三叠统飞仙关组碳酸盐蒸发台地沉积相[J].古地理学报,2005,7(3):357~371
- 13 邓雁,张延充,李忠,等.川东下三叠统飞仙关组沉积相研究[J].勘探地球物理进展,2004,27(5):371~375
- 14 徐丹舟,冯青平,雷卞军,等.川东铁山地区飞仙关组沉积相研究[J].河南石油,2004,18(5):7~11
- 15 张静,王一刚.四川宣汉河口地区飞仙关早期碳酸盐蒸发台地边缘沉积特征[J].天然气工业,2003,23(2):19~22
- 16 王兴志,张帆,马青,等.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[J].沉积学报,2002,20(2):249~254
- 17 王忠东,王津义.川东地区晚二叠世长兴期生物礁分布特征[J].江汉石油学院学报,2003,25(2):30~31
- 18 李登华,唐跃,殷积峰,等.川东黄龙场构造上二叠统长兴组生物礁特征与潜伏礁预测[J].中国地质,2006,33(2):427~435
- 19 孙磊,张帆,陈永刚.川东地区上二叠统层序地层分析[J].新疆石油学院学报,2000,12(3):19~23
- 20 谢继容.川东长兴组生物礁的高分辨率层序地层研究[J].矿物岩石,2002,22(1):49~54
- 21 马永生,牟传龙,郭彤楼,等.四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J].地学前缘,2005,12(3):179~185
- 22 陈洪德,田景春,刘文均,等.中国南方海相震旦系—中三叠统层序划分与对比[J].成都理工学院学报,2002,29(4):355~379
- 23 魏国齐,陈更生,杨威,等.四川盆地北部开江—梁平海槽边界及特征初探[J].石油与天然气地质,2006,27(1):99~105
- 24 黄先平,杨雨.川东北部地区下三叠统飞仙关组鲕滩储层发育控制因素及地质分布规律[J].海相油气地质,2003,8(3~4):89~97

(编辑 董立)