

文章编号:0253-9985(2006)05-0702-13

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

王一刚,文应初,洪海涛,夏茂龙,张 静,宋蜀筠,刘划一

(中国石油天然气股份有限公司 西南油气田分公司 勘探开发研究院,四川 成都 610051)

摘要:四川盆地及邻区广元-旺苍、城口-鄂西、开江-梁平海槽是上二叠统一下三叠统飞仙关组(P_3-T_1f)的深水碳酸盐沉积区。该区上二叠统上部大隆组是硅质岩、硅质泥岩、硅质灰岩组合,含放射虫、有孔虫等化石,厚12.5~29.0 m,为海槽裂陷期凝缩沉积。三叠系飞仙关组下部为远洋沉积的暗色泥岩、微晶碎屑灰岩和重力流沉积的浊积岩、角砾灰岩组成的深水碳酸盐沉积,厚50.0~300.0 m,是裂陷期后的海槽充填沉积。海槽相区沉积在晚二叠统世末达到最大海泛面沉积了大隆组。海平面缓慢下降期沉积了补偿充填性质的飞仙关组深水碳酸盐岩。海槽相区上二叠统一下三叠统飞仙关组构成了一个完整的三级层序。深水沉积物的有机碳平均值高达6.21%,是良好的烃源岩。但在海槽相区上二叠统不发育生物礁,飞仙关组缺乏鲕粒岩。

关键词:深水碳酸盐;硅质岩;大隆组;飞仙关组;天然气储层;开江-梁平海槽;四川盆地

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

Petroleum geological characteristics of deep water deposits in Upper Permian-Lower Triassic trough in Sichuan basin and adjacent areas

Wang Yigang, Wen Yingchu, Hong Haitao, Xia Maolong, Zhan Jing, Song Shuyun, Liu Huayi

(Exploration and Development Research Institute of Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610051)

Abstract: Three troughs, namely Guangyuan-Wangcang, Chengkou-Exi, and Kaijiang-Liangping, in Sichuan basin and its adjacent areas, is filled with deep water carbonates of the Upper Permian-Lower Triassic of Feixianguan Formation. The Dalong Formation in the upper part of the Upper Permian in the area is a condensed succession of 12.5-29m in thickness deposited in the troughs in the chasmic stage. It is composed of silicalite, siliceous mudstone, and siliceous limestone, with fossils such as radiolarans and foram. While the lower part of the Triassic Feixianguan Formation is a filled succession of 50-300m in thickness deposited in the troughs in post-chasmic stage. It is deep water carbonates consisting of a pelagic melanic mudstone and microcrystalline calcilithite, as well as turbidites and breccia limestone from gravity flow. The Dalong Formation was deposited at the end of the late Permian when the maximum flooding surface occurred in the trough area. And the deep water carbonates of Feixianguan Formation were deposited during slow regression. The Upper Permian-Lower Triassic Feixianguan Formation constitutes a complete third-order sequence. The deep water carbonates are source rocks of excellent quality with TOC up to 6.21%. But no organic reefs were developed in the Upper Permian and the Feixianguan Formation is lack of oolite.

Key words: deep water carbonates; silicalite; Dalong Formation; Feixianguan Formation; gas reservoir; Kaijiang-Liangping trough; Sichuan basin

在四川盆地北部及邻区的上二叠统中上部—下三叠统飞仙关组下部分布有一系列槽形深水相,

收稿日期:2006-05-19

第一作者简介:王一刚(1954—),女,教授级高级工程师,石油地质与沉积学研究

基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209104)

称为广元-旺苍海槽、城口-鄂西海槽及“开江-梁平海槽”^[1-3](图1)。这些海槽的形成,与晚二叠世的“地裂运动”和南秦岭洋的拉张有关^[4,5]。

“海槽”在环境的概念上是指水深在最大波浪作用面(风暴浪底)之下的近线状展布的深水沉积区,它包括较陡的斜坡及平缓的盆底。海槽中的主要沉积物是表层海水悬浮物、浮游生物产生的远洋沉积物和由各种密度流向深水搬运的台地碳酸盐以及少量的火山屑^[6]。

1 海槽相区的大隆组

原地质矿产部全国地层多重划分对比研究项目的研究成果将大隆组定义为:“在四川省以黑色薄层硅质岩、硅质页岩为主,夹硅质灰岩及砂泥岩,含以菊石类为主的化石,厚15.0~42.0 m,与下伏吴家坪组含燧石灰岩及上覆飞仙关组底部灰黄色薄层泥灰岩夹钙质页岩均为整合接触的地层体”^[7]。大隆组中含有菊石、腕足、有孔虫、放射虫、骨针等多门类晚二叠世化石个体或碎屑。其中一些为表层水生物,如放射虫、薄壳菊石、有孔虫等。另一些为台地浅水生物,如腕足屑、厚壁有孔虫等,

其保存特征表明是由重力流过程搬运沉积。由于大隆组具有色暗、层薄而规整,富硅、泥质、含表层水生物化石以及缺乏波浪作用的沉积构造等特征,被认为是深水沉积物。根据大隆组地表露头的分布,在“中国南方晚二叠世长兴组岩相古地理图”中划分出分布在广元、城口、鄂西并东延至武汉、南京一线的“北部硅岩碎屑岩盆地”^[8]。

1.1 广元-旺苍海槽

四川盆地西部、北部龙门山、米仓山前缘带是四川地区大隆组出露最好的地区。被称为“广元-旺苍”海槽(图2)。广元-旺苍海槽相区大隆组厚度在16.6~39.4 m(表1)。虽然硅质岩是大隆组的特征岩类,但纯硅质岩所占比例不高,而硅质灰岩、硅质泥(页)岩、富有机质泥质岩的比例相当大。这些岩石中常见表层水浮游生物化石如微体有孔虫、薄壳菊石、硅质放射虫、骨针等以及异地埋葬的腕足、厚壁有孔虫、钙藻等浅水生物碎屑。化石中的钙质生屑有时强烈硅化。含异地生屑的岩石有重力流搬运的特征,如显微递变层、悬浮状杂乱排列的生屑等结构。此外,岩石中还常见黄铁矿以及少量细粉砂级的石英、长石及云母屑,可

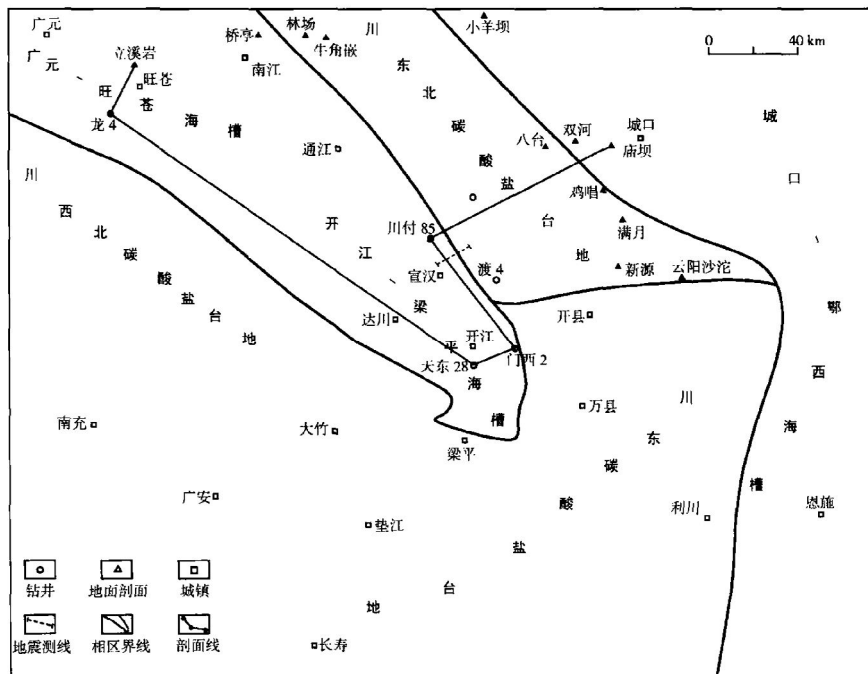


图1 四川及邻区上二叠统一飞仙关组深水沉积区分布

Fig. 1 Sketch map showing the deep water sedimentary zones of the Upper Permian-Feixianguan Fm. in Sichuan Basin and its adjacent areas

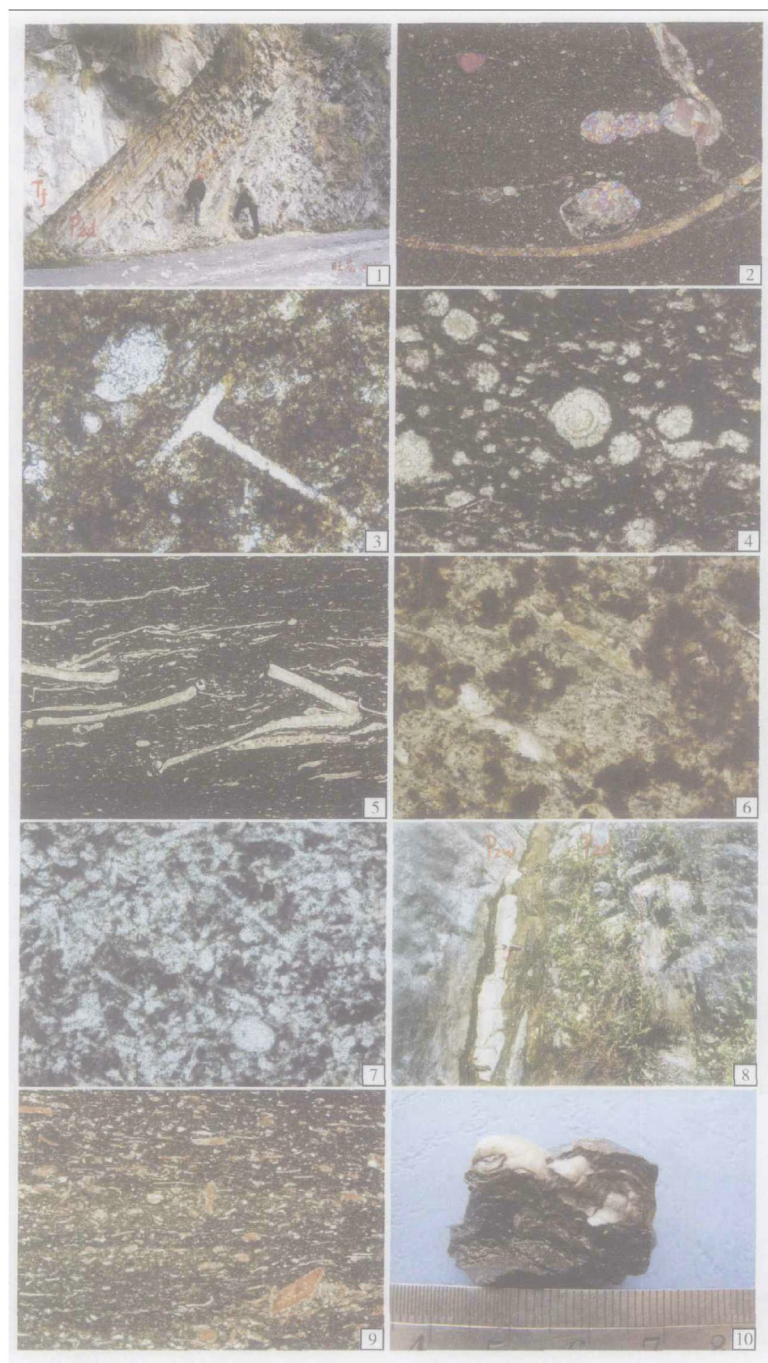


图2 广元-旺苍海槽、城口海槽大隆组沉积特征

Fig. 2 Depositional characteristics of the Dalong Fm. in Guangyuan-wangcang trough and Chengkou trough
 1. 旺苍双河大隆组硅质岩,上覆飞仙关组厚层状碎屑流沉积的砾屑灰岩;2. 广元朝天大隆组硅质泥岩中的硅化生屑(中右为菊石),照片长边4.0 mm,正交光加石膏试板;3. 广元矿山梁大隆组泥质硅岩中的硅质骨针、放射虫,照片长边0.6 mm,单偏光;4. 广元麻柳大隆组硅质泥岩中的放射虫,照片长边1.0 mm,单偏光;5. 广元朝天大隆组钙质泥岩中的腕足屑,照片长边4.0 mm,单偏光;6. 广元麻柳大隆组泥质硅岩中的云母屑(右上)、石英屑(左下),照片长边0.5 mm,单偏光;7. 龙4井大隆组(5 909 m)泥质硅岩中的骨针、放射虫,照片长边1.0 mm,单偏光;8. 城口庙坝大隆组的黑色泥岩;9. 城口庙坝大隆组钙质泥岩中的生屑,部分硅化(茜素红染色片),基质支撑,垂直沉降的生屑是重力流搬运沉积的特征;10. 城口庙坝黑色泥岩中的腕足屑

表1 四川盆地上二叠统大隆组厚度统计
Table 1 Statistics of thickness of the Upper Permian Dalong Fm. in Sichuan Basin

位 置	厚度/m	
广元－旺苍海槽	广元葛底	39.4
	广元长江沟	27.5
	广元清风峡	33.0
	广元朝天	19.4
	旺苍双河	34.9
	旺苍立溪岩	16.6
	旺苍大两会	30.4
	射1井	34.5
	河15井	36.5
	河12井	32.0
	河深1井	33.5
	矿1井	33.5
	龙4井	59.5
碓1井	22.0	
城口－鄂西海槽	城口庙坝	6.1
	万源官渡	17.3
	镇巴凉桥	21.0
	巫溪威瑞	4.7
	城口双河	15.0
	西乡烧房沟	30.0
开江－梁平海槽	门西2井	28.0
	大天1井	17.0
	天东28井	12.5
	雷西2井	18.0
	川岳84井	29.0
	川付85井	26.5
	罐10井	29.0

能为降落火山灰(图2)。

1.2 城口-鄂西海槽

城口-鄂西海槽相区的大隆组与广元-旺苍海槽相大隆组相比,其最明显的差异是以黑色页状、薄层状泥岩为主,而硅质岩所占比例很低(图2)。这些泥页岩具不规则显微纹理,富有机质,多黄铁矿,细粉砂级的石英、长石屑呈分散状或沿纹层富集。所含化石仍然包括表层水浮游的微体有孔虫、鱼鳞和鱼化石碎片及重力流搬运来的浅水台地生屑碎片,其中有的钙质生物屑被硅化(图2)。

1.3 开江-梁平海槽

开江-梁平海槽相区的大隆组深埋地下,据岩石薄片镜下鉴定该段地层的特点与广元-旺苍海槽大隆组非常相似,岩性主要为富有机质的暗色泥岩、泥质硅质灰岩以及硅质岩,岩石中含微体浮游有孔虫、骨针、及晚二叠世的腕足屑、厚壁有孔

虫等化石、化石碎片和放射虫,钙质生屑部分硅化;此外,岩石中也含细粉砂级陆屑,多黄铁矿(图3;表2)。

2 海槽相区飞仙关组的深水碳酸盐沉积

二叠纪向三叠纪交接时期有多种生物灭绝,但在区域上二者的沉积是连续的,沉积环境具有继承性,这在深水海槽相区尤为明显。海槽相区飞仙关组的深水沉积在其下部即飞仙关组一段,厚度数十至300.0 m,深水沉积物包括远洋、半远洋沉积和重力流沉积两大类。剖面上表现为极薄层泥页岩与薄层微晶灰岩规则间互并间夹中一厚层状基质支撑或填隙的钙屑灰岩(图4)。

2.1 远洋沉积

飞仙关组沉积的远洋、半远洋悬浮物主要是微晶碳酸盐和泥质物,以及少量的降落火山灰。与上二叠统的深水沉积物相比,明显的差别除表现在以碳酸盐为主、硅化弱以外,主要是生物碎屑含量很低,在薄片中仅偶见微体生物屑、介屑、有孔虫(屑)。

深色微晶灰岩、泥质微晶灰岩、泥灰岩是飞仙关组深水沉积的主体,这些细粒钙质沉积物是多种沉积过程从台地上搬运出的细粒碳酸盐悬浮物^[9~11]。一些微晶灰岩的颗粒在20 μm以下,不同的形态和不均一的粒径表明可能主要是破碎的生物屑而非新生变形的泥晶碳酸盐。有时含有直径30~100 μm的生屑或有孔虫,以及分散的细粉级石英、长石和云母屑(图5)。

飞仙关组深水环境中的泥质沉积常在底部形成一层较纯的泥页岩,其发育程度因地区而异。在广元-旺苍海槽相区飞仙关组底部的泥质岩很薄或缺失。而城口-鄂西海槽相区飞仙关组底部的泥页岩则较厚,这些泥页岩通常颜色较大隆组浅,所含化石稀少至缺乏。飞仙关组下部深水泥质沉积物除来自悬浮的陆源泥外,其含有石英、长石、云母等极细的粉砂屑,说明可能有较多降落火山尘。

2.2 碳酸盐重力流沉积

在海槽相区飞仙关组下部深水沉积中的重力流沉积主要是碎屑流、浊流成因的砾级-粉砂级钙

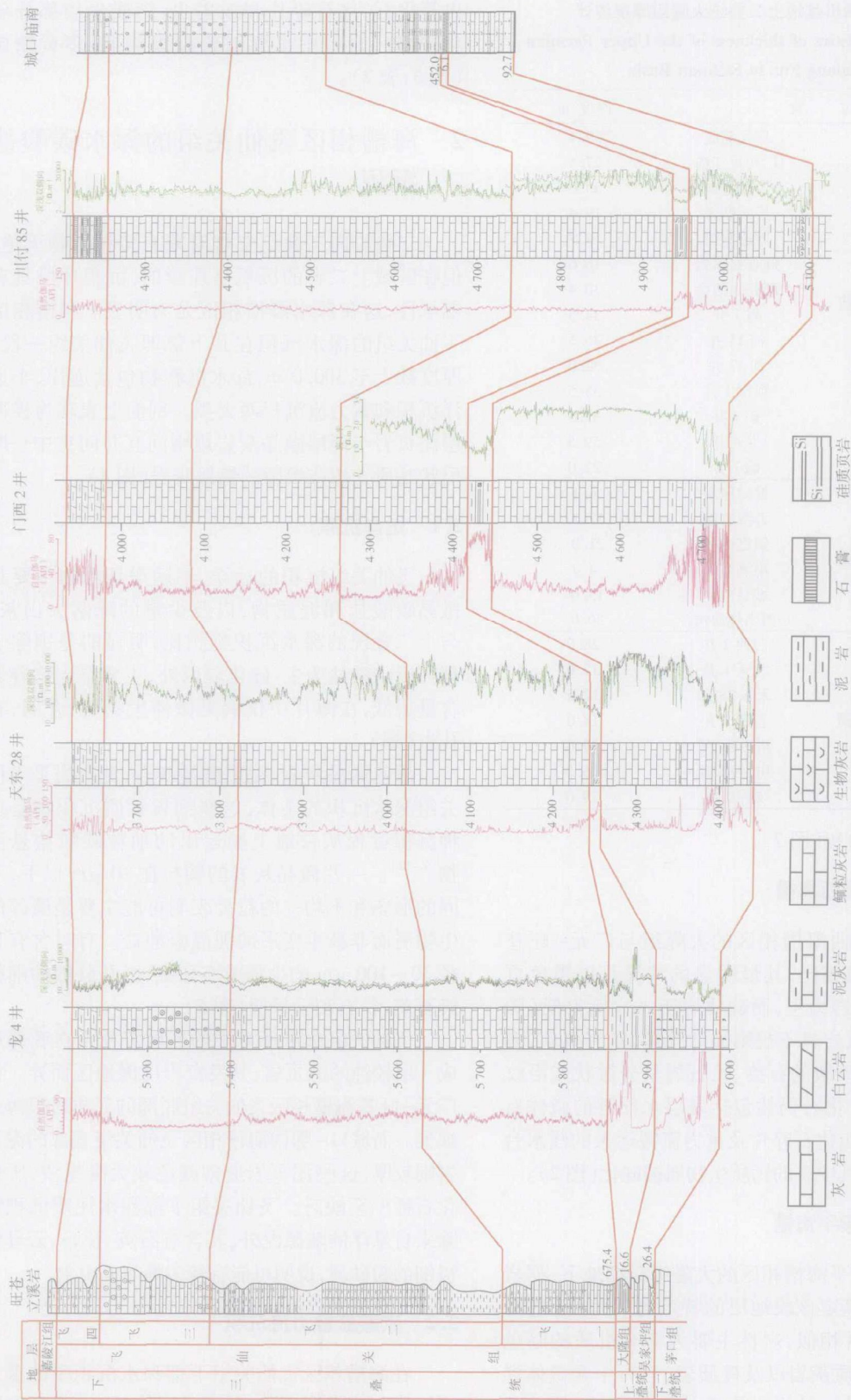


图3 四川盆地上二叠统—飞仙关组深水沉积区剖面对比
(剖面位置见图1)

Fig.3 Correlation of cross sections of the Upper Permian-Lower Triassic Feixianguan Fm. in troughs
(剖面位置见图1)

表2 四川盆地各相区上二叠统、飞仙关组厚度对比
Table 2 Correlation of the thickness of the Upper Permian Feixianguan Fm. in various facies areas in Sichuan Basin

位 置		厚度/m	
		飞仙关组	上二叠统
广元-旺苍海槽	龙4井	716.0	121.0
	射1井	806.0	107.0
	河12井	740.5	88.0
	河15井	749.5	105.5
	碛1井	775.0	77.0
	旺苍罐子坝	769.0	59.3
开江-梁平海槽	门西2井	473.0	321.0
	大天1井	597.0	302.0
	天东28井	620.5	199.0
	雷西2井	824.0	104.0
	川岳84井	699.0	200.0
	川付85井	714.0	175.0
碳酸盐台地	坡1井	423.0	504.5
	黄龙1井	406.5	449.5
	天东21井	435.0	352.0
	水深1井	380.5	481.8
	铁山8井	443.5	424.0
	宣汉渡口岩	448.0	505.0

屑灰岩,间夹于规则的远洋沉积的泥岩、微晶灰岩中。碎屑流成因的钙屑角砾岩一般中-厚层状,分选很差,角砾随机分布,砾径为细砾至粗砾,多为砾石支撑基质填隙。钙屑泥晶灰岩有的具有典型浊积岩特征,即冲刷的底、递变层及近乎完整的鲍玛层序、基质支撑的结构特征等(图4)。

由于碳酸盐重力流的发育与碳酸盐斜坡有关。较粗的碎屑流多沉积在斜坡下部和坡足,而碳酸盐浊流则常常进入深水盆地底部^[12,13],野外剖面飞仙关组下部的深水沉积段中的重力流沉积物有由下向上变厚、变粗的趋势,显示了水体逐渐变浅、海槽被充填的过程。

2.3 深水沉积特征

海槽相区飞仙关组下部的沉积特点可归纳为:

- 1) 缺乏底栖生物化石、遗迹化石,反映水体停滞缺氧环境;
- 2) 岩石颜色较深,多黄铁矿,是还原环境产物;
- 3) 除重力流外,沉积层薄而成层性好,层面平整,缺乏与波浪作用有关的沉积构造,是最大浪基面之下的深水沉积;
- 4) 规则的薄层泥质岩、微晶灰岩与中、厚层重

力流沉积的钙屑灰岩的组合反映其主要的沉积过程是悬浮沉积和事件沉积,缺乏牵引流沉积过程。

综合以上几点,表明海槽相区的飞仙关组下部沉积于深水环境,该环境与一些现代的深水碳酸盐沉积环境具有相似性。

3 海槽相区上二叠统一飞仙关组的相序

3.1 碳酸盐沉积相序分区

四川盆地上二叠统一下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潮坪的海退。在二叠纪“地裂运动”拉张背景之下,由断块的差异沉降导致了沉积环境的分异,下降区块在晚二叠世晚期和飞仙关早期成为深水海槽环境,上升区块则主要为浅水台地环境。这使不同地区的上二叠统一飞仙关组有完全不同的相序组合,依据特征相的差异,将上二叠统一飞仙关组的沉积区划分为“海槽相区”和“台地相区”(图6)。

强子同等^[14]指出四川盆地碳酸盐台地相区上二叠统的总体特征是随海侵过程于吴家坪期进入碳酸盐深缓坡环境后,在长时期逐渐向碳酸盐台地环境转化。王一刚等^[1]后来的研究表明这个转化在盆地东北地区(宣汉、开县以北)较早,在川东地区相对较晚。这种差别也影响到飞仙关组的沉积演变。川东北区台地相飞仙关组以极浅水陆表海沉积为特色,由鲕粒白云岩和膏岩、膏质碳酸盐岩,构成多种潮坪旋回^[15];川东区则主要是潮下鲕粒滩和滩间泻湖的鲕粒颗粒岩、微晶灰岩组成的潮下旋回^[16]。

广元-旺苍海槽、城口海槽和开江-梁平海槽相区的相序特征总体上都表现出从裂陷沉降到充填变浅过程的完整的海侵-海退旋回(图5)。

3.2 海槽相区相序单元

海槽相区由下往上依次分为6个主要相序单元。

3.2.1 上二叠统吴家坪组底部的“王坡页岩”相

海侵初期海陆交互环境沉积的碳质泥页岩、泥质灰岩等,有时富火山灰,夹有透镜状劣质煤层或黄铁矿层。广元、旺苍及城口地区厚度不足10.0 m,开江、梁平海槽钻井剖面可达100.0 m以

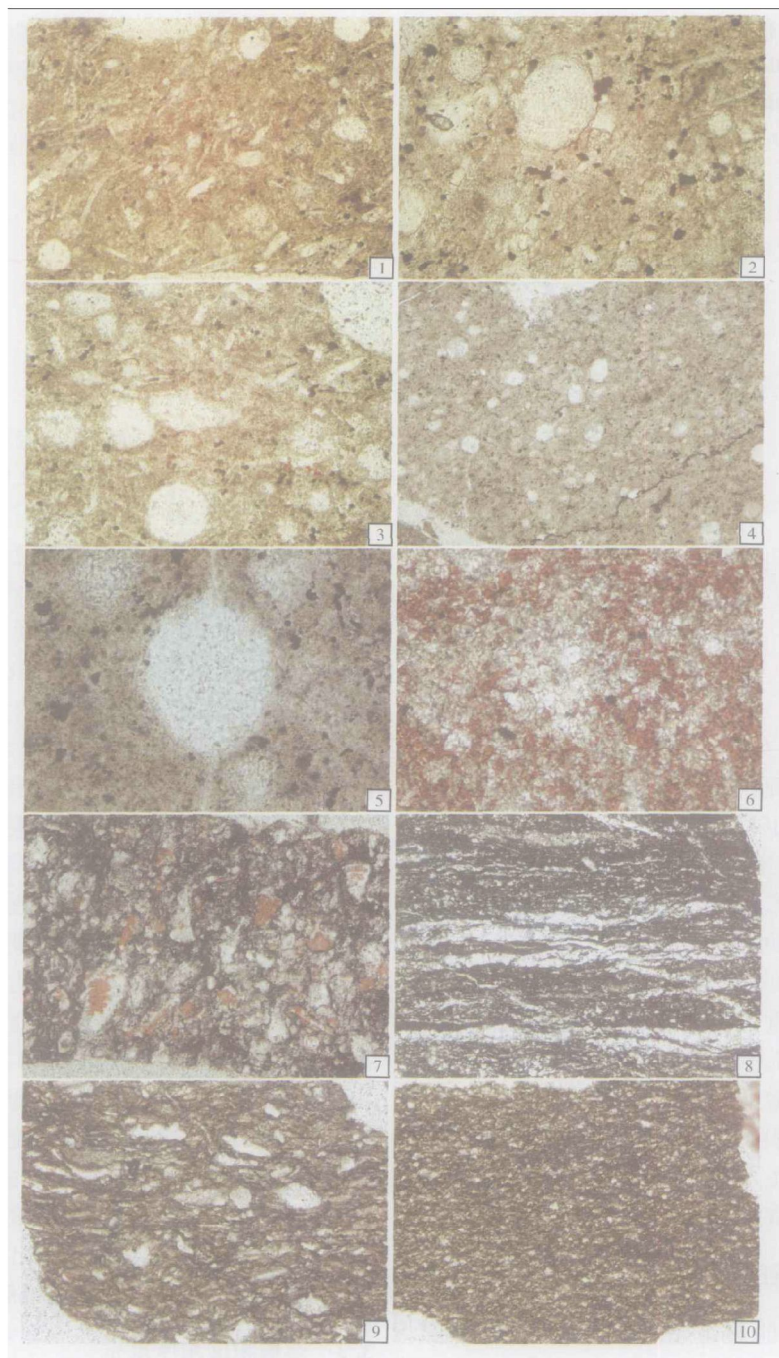


图4 研究区下白垩统沉积中心分布图

Fig. 4 Depositional characteristics of the Dalong Fm. in Kaijiang-Liangping trough

1. 门西2井大隆组(4 442 m)泥质硅岩中的放射虫(圆形)单射骨针(短针状),照片长边1.0 mm,单偏光;2. 照片1中放射虫放大,照片长边0.5 mm,单偏光;3. 同照片1,另一视域,照片长边0.5 mm,单偏光;4. 天东28井大隆组(4 245 m)泥质硅岩中的放射虫,照片长边2.2 mm,单偏光;5. 照片4中的放射虫,长径140 μm ,照片长边0.3 mm,单偏光;6. 邓1井大隆组(3 682 m)钙质泥质硅岩中的微体球形硅质生屑($d=14 \mu\text{m}$),茜素红染色片,照片长边0.3 mm,单偏光;7. 门西2井大隆组(4 450 m)钙质硅质泥岩中的生屑,多硅化(茜素红染色片),右下有孔虫长0.3 mm,单偏光;8. 大天1井大隆组(3 224 m)钙质泥岩中的腕足屑,照片长边1.0 mm,单偏光;9. 门西2井大隆组(4 441 m)硅质泥岩中的硅化生屑(茜素红染色片),照片长边1.0 mm,单偏光;10. 邓1井大隆组(3 686 m)含生屑钙质泥岩,照片长边1.6 mm,单偏光

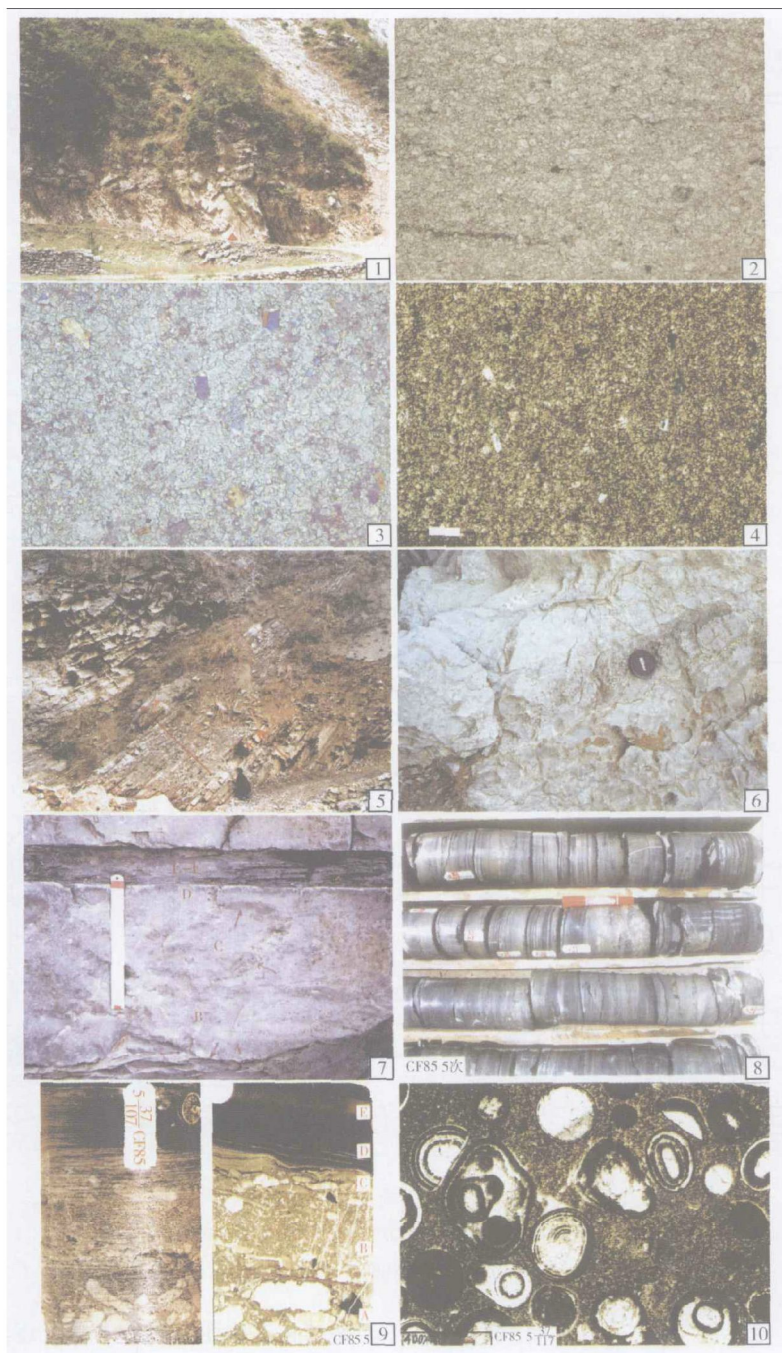


图5 飞仙关组深水碳酸盐沉积特征

Fig. 5 Depositional characteristics of the deep water carbonate of Feixianguan Fm.

1. 城口庙坝飞佩关组下部薄层微晶碎屑灰岩夹碎屑流沉积的中-厚层状钙屑角砾岩(红三角处);2. 照片1中的薄层微晶碎屑灰岩的显微照片,中心微体有孔虫长约140 μm ,照片长边1.0 mm,单偏光;3. 邓1井飞一段(3 603 m)微晶碎屑灰岩,含细粉陆屑,照片长边0.4 mm,正交光加石膏试板;4. 川东85井飞一段(4 848 m)微晶碎屑灰岩,含细粉陆屑,单偏光,标尺100 μm ;5. 广元长江沟飞仙关组底部的两个向上变粗、变厚沉积层序(红三角处为角砾灰岩);6. 城口庙坝飞一段钙屑角砾岩中的鲕粒灰岩砾石(镜头盖处);7. 旺苍天台飞一段下部钙屑浊积岩的鲍玛层序;8. 川付85井飞一段中部(4 855.6~4 859.6 m)薄-极薄层暗色泥质微晶灰岩间夹薄-中层状钙屑浊积岩;9. 照片8中红色记号笔处钙屑浊积岩的鲍玛层序,左为岩心弧面,右为岩心剖面,岩心长14.5 cm;10. 照片9中部显微照片,基质支撑的鲕粒泥岩,鲕粒破碎,鲕粒非泥晶化部分被溶解后充填块状晶方解石是深水海底成岩作用的结果,标尺400 μm

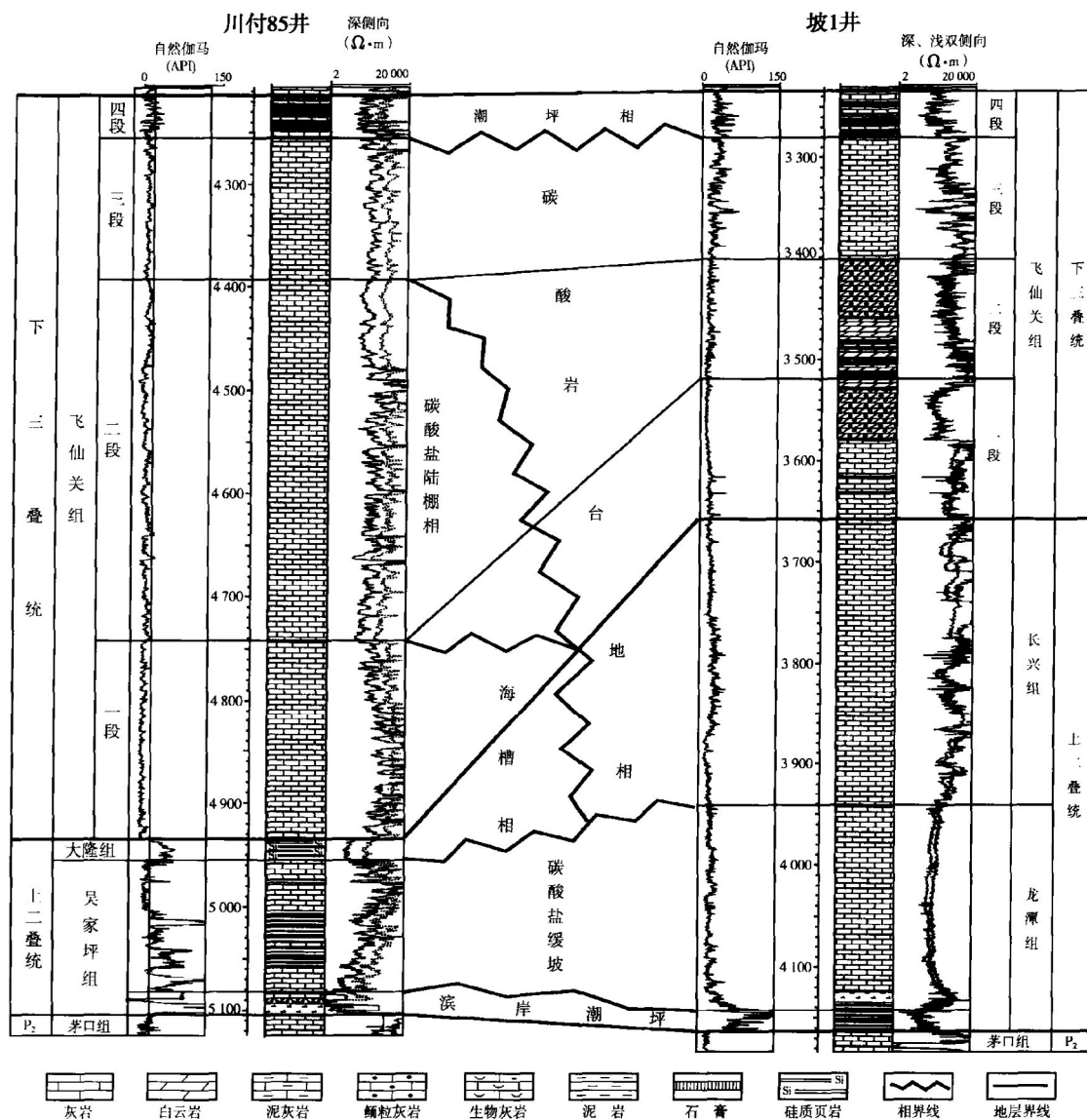


图6 上二叠统一飞仙关组海槽相与台地相相序对比

Fig. 6 Correlation of facies sequences of trough-platform of Upper Permian-lower Triassic Feixianguan Fm.

上(川付85井)。

3.2.2 上二叠统吴家坪组的含燧石条带、团块生屑灰岩相

深灰色中层状生屑泥粒岩,富含晚二叠世有孔虫、蠕、藻、棘皮等生物化石及碎片,富硅质团块、硅质条带,层面规整或具波状起伏。这些特征表明为碳酸盐深缓坡(碳酸盐陆棚)沉积环境。野外剖面可以看到吴家坪组上部出现薄层暗色泥页

岩夹层和这些泥页岩夹层向上逐渐加厚并过渡到大隆组,记录了沉积水体逐渐加深。生物化石也由正常浅海底栖生物(有孔虫、蠕、腕足棘皮等)向浮游生物(钙球骨针、放射虫)过渡的变化。海槽相区吴家坪组厚一般小于100.0~150.0 m。

3.2.3 上二叠统大隆组的硅质岩、暗色泥页岩相

大隆组的岩性特征反映了最大风暴浪底之下的沉积环境,是海槽相区快速下降至水体最深、沉

积物供应不足的凝缩层沉积,代表了上二叠统一飞仙关组沉积层序中的最大海泛面。

3.2.4 下三叠统飞仙关组飞一段的泥页岩、微晶灰岩、颗粒-角砾灰岩相

海槽相区飞一段由远洋悬浮的泥、微晶碳酸盐和重力流过程搬运的台地碳酸盐间互沉积的深水碳酸盐组成,厚度变化在100.0~300.0 m之间,在各海槽相区深水沉积特征都非常相似。

3.2.5 下三叠统飞仙关组飞二段的深灰色微晶灰岩、泥质微晶灰岩相

与飞一段相比,该段有两个变化:一是出现水平的生物潜穴;二是不再有重力流沉积,代之以层面顶部有波浪构造或双向流层理的含砾、砂屑、生屑、鲕粒等的砾屑颗粒灰岩、泥粒灰岩薄夹层。这些特征反映沉积水体较飞一时变浅,已进入风暴浪底之上,即相当于陆棚或斜坡环境。飞二段薄层状微晶灰岩仍间夹暗色极薄层页岩,灰岩中泥质物含量的高低与距陆源区远近关系较明显,广元地区泥质含量就高于开江、梁平地区。

3.2.6 下三叠统飞仙关组飞三段的灰色微晶灰岩相和鲕粒岩、微晶灰岩、紫灰色泥灰岩相

1) 灰色微晶灰岩相

此岩相主要出现在开江-梁平海槽内,以较规则的薄-中层状灰色微晶灰岩为主,少见颗粒灰岩、含颗粒灰岩。接近顶部颜色变浅至紫灰色并夹有薄层生屑、鲕粒泥粒-颗粒灰岩。生物扰动迹、潜穴较常见。该相区反映浅水、低能的环境,属碳酸盐台地的台内泻湖沉积环境。

2) 鲕粒颗粒岩、微晶灰岩、紫灰色泥灰岩相

此岩相分布在广元-旺苍海槽及城口-鄂西海槽相区,是台地边缘鲕粒滩及滩后泻湖-潮坪沉积组合,厚约120.0~160.0 m。鲕粒灰岩具厚层一块状,下部常含鲕粒岩砾石及少量生屑,多个旋回叠加厚度达60.0 m以上,大、中型双向流交错层理发育,并夹富渗流豆粒层。鲕粒岩之上是薄层状灰色、紫灰色微晶灰岩、紫灰色、灰黄色泥灰岩等组成的数米至10.0 m以上的旋回层,并夹有中、厚层的云岩夹层。其中特征的是极薄层紫灰色、灰黄色泥灰岩中常见有干裂、泥蓬、泥板及薄纹层等暴露标志,表明其沉积于极浅水环境。

该相带在广元-旺苍一线呈东西向展布而在城口地区呈北东-南西向展布,表明此时在四川盆地内碳酸盐沉积区都已进入台地浅水沉积环境。

3.2.7 下三叠统飞仙关组飞四段的紫灰色泥灰岩、钙质泥岩、微晶白云岩和膏岩相

该岩相是典型的蒸发潮坪环境的产物。地面露头可见多种暴露标志,膏岩则成为溶塌角砾岩。该岩相在盆地内无论是海槽相区还是台地相区分布都非常稳定,厚度在35.0~50.0 m之间,常作为地层对比标志层。飞仙关组顶部该岩相的广泛分布,表明盆地内(包括海槽相在内)整个碳酸盐沉积区水体极浅,经常暴露,地貌已均一化。

3.3 晚二叠世—飞仙关期海槽相区沉积演化史

海槽相区的7个岩相单元组合清楚地表现了晚二叠世—早三叠世飞仙关期深水沉积盆地的发生、发展和充填的过程,可分为4个阶段。

3.3.1 吴家坪期:海平面上升,断块相对缓慢沉降——前海槽阶段

在开江、梁平及华蓥山地区上二叠统底部有玄武岩、辉绿岩侵入^[1],这是“地裂运动”在盆地内的表现。在拉张背景下,晚二叠世因断块沉降的差异造成了不同的海侵层序的沉积记录。海槽相区厚度明显偏薄的“王坡页岩”和吴家坪灰岩反映了断块持续下沉、沉降水体逐渐加深的初期沉降过程。

3.3.2 长兴期(大隆组沉积期):海平面上升,断块相对快速沉降——海槽发育阶段

大隆组硅质岩、泥页岩与吴家坪组灰岩的相变,反映了晚二叠世后期海水迅速加深,是海槽断块相对于台地区快速沉降的结果。由于处于海侵过程后期的台地相区提供的碳酸盐沉积物不足,大隆组欠补偿沉降作为凝缩层记录了三级层序中的最大海泛面。

3.3.3 飞仙关前期:海平面下降,断块沉降相对稳定——海槽充填消亡阶段

在飞仙关期海平面开始缓慢下降,进入高位域沉降阶段。碳酸盐台地区提供的沉积物明显增加,海槽区的沉积以泥质为主转变为碳酸盐为主,表明海槽断块沉降速率与台地断块区的差异变

小,海槽进入充填阶段,飞仙关组一段时期主要是由台地带出的细粒悬浮碳酸盐的垂向加积过程和台地边缘及斜坡带碳酸盐重力流过程。飞仙关组二段时期,海槽区水体变浅,台地与深水区之间坡度变缓,向深水区搬运的细粒悬浮物的垂向加积过程成为主要过程,深水海槽环境演变为陆棚缓坡环境。

3.3.4 飞仙关后期:海平面快速下降,断块差异沉降消失——台地均一化阶段

飞仙关后期海平面下降加快,进入高位域晚期。在广元-旺苍海槽、城口-鄂西海槽有明显的向台地外侧进积过程。开江-梁平海槽的大部分地区因北面广元-旺苍海槽地区飞仙关组三段台缘鲕粒滩的屏蔽而成为宽阔的台内泻湖沉积区,缺乏鲕粒等颗粒滩沉积。至飞仙关组四段沉积时期,海平面进一步下降,基底断块沉降差异消失,盆地内整个碳酸盐沉积区均一化为蒸发潮坪环境。

4 海槽相区的油气地质特征

4.1 烃源岩发育良好

海槽相区的深水环境有利于烃源岩的形成。采自广元-旺苍海槽和城口海槽的大隆组暗色泥页岩地面样品的有机碳含量2.49%~16.91%,8个样品平均值为6.21%,属于非常好的烃源岩。采自开江-梁平海槽井下和广旺海槽地面吴家坪组上部暗色泥质微晶灰岩样品中的有机碳含量在4.69%~0.48%,9个样品平均值为2.22%,也属于生烃能力较好的碳酸盐岩烃源岩。这些烃源岩是形成川东北大、中型气藏的重要物质基础。

4.2 孔隙性储层发育条件较差

孔隙性碳酸盐储集层是形成大中型气藏必要条件。四川盆地上二叠统气藏的储层多属与生物礁有关的白云化生屑灰岩。由于海槽的深水环境不利于生物礁生长,故海槽相中缺乏上二叠统的孔隙性储层。

飞仙关组气藏的孔隙性储层大多数是各种白云岩和鲕粒灰岩,但储量较大气藏的储层主要是残余鲕粒白云岩和具有鲕粒幻影的晶粒白云岩,

即与鲕粒滩沉积有关。由于海槽区长期处于低能环境,特别是开江-梁平海槽在飞仙关组几乎没有厚层鲕粒岩发育。广元-旺苍海槽和城口海槽也只在台地化后在台地边缘相带有厚10.0~70.0 m不等的鲕粒岩,他们有潜力成为孔隙性储层。但至今无论在地面露头或钻井剖面上都未见到明显白云石化或发育有足够的孔隙,而是被强烈的成岩胶结作用变成致密岩类。

研究海槽相区微晶灰岩致密的原因,可能是由于沉积物主要是来自台地的细粒文石质悬浮颗粒,在深层冷海水中矿物稳定性差,矿物转化或溶解-再沉淀过程致使原生粒间微孔很快消失,成为致密层岩类。

4.3 裂缝性气藏是主要气藏

目前在海槽相区沙罐坪、亭子铺等构造上发现4个上二叠统裂缝性气藏或气井,储层为生屑泥粒岩-粒泥岩。在飞仙关组发现沙罐坪、毛坝、东岳庙和河湾场等7个气藏或含气构造,储层岩性是微晶灰岩及鲕粒灰岩,层位主要在飞仙关组三段-飞仙关组四段,储层压力系数大多高于1.6,裂缝系统是其主要的储渗空间。这些裂缝性气藏中仅有沙罐坪气藏用压降法计算储量,许多气井开井后压力和产量都很快递降,表明裂缝性气藏是海槽相区的主要气藏。

4.4 开江-梁平海槽与大、中型礁、鲕粒滩气藏分布

开江-梁平海槽的发现不但是使四川盆地晚二叠世—早三叠世飞仙关期的沉积环境区划变得清晰,也让人们对长兴组生物礁气藏和飞仙关组鲕粒滩气藏的分布规律有了进一步认识。开江-梁平海槽相区是良好的烃源区,台地边缘发育有规模较大的台缘生物礁和台缘鲕粒障壁滩。因此,大、中型礁、礁气藏勘探的最有利相带是台地与海槽过渡的台缘带^[17,18],其次是浅水台地内。最近发现的普光、毛坝和七里北长兴组大、中型生物礁气藏及黄龙场、天东和云安厂长兴组生物礁气藏都在边缘相带上。而位于飞仙关组边缘相带的铁山坡5井及普光鲕粒滩气藏鲕粒岩储层厚度超过200.0~300.0 m。表明四川盆地上二叠统一下三叠世飞仙关组的大、中型礁、鲕粒滩气藏的分布特征与开江-梁平海槽的展布密切相关(图7)。

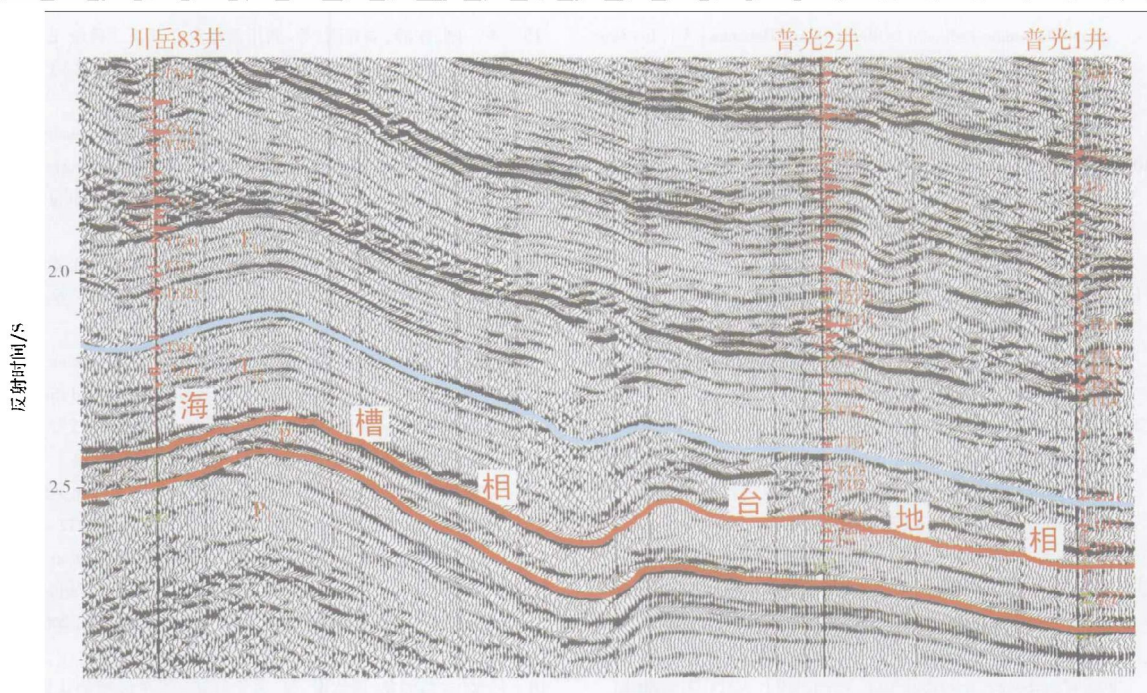


图7 过开江-梁平海槽与台地相的地震剖面

(测线位置见图1)

Fig. 7 Seismic line across the Kaijiang-Liangping trough and platform facies

5 结束语

由于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研究,对四川盆地北部天然气勘探的重大意义,本文愿引起大家对开江-梁平海槽不同认识的交流讨论。

参考文献

- 1 王一刚,文应初,张帆,等. 川东地区上二叠统长兴组生物礁分布规律[J]. 天然气工业,1998,18(6):10~15
Wang Yigang, Wen Yingchu, Zhang Fan, et al. Distribution Law of the organic reefs in Changxing Formation of Upper Permian in East Sichun[J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(6): 10~15
- 2 王一刚,陈盛吉,徐士琪. 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. 2~19
Wang Yigang, Chen Shengji, Xu Shiqi. Formation conditions and exploration technique of gas reservoir for Paleozoic Erathem-Upper Proterozoic Suberathem in Sichuan basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. 2~19
- 3 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
Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, et al. Preliminary study of the boundary of Kaijiang-Liangping trough in northern Sichuan basin and its characteristics[J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(1): 99~105
- 4 杜远生,殷鸿福,王治平,等. 秦岭造山带晚加里东-早海西期的盆地格局与构造演化[J]. 地球科学,1997,22(4):401~405
Du Yuansheng, Yin Hongfu, Wang Zhiping, et al. The Late Caledonian-Early Hercynian basin's framework and tectonic evolution of Qinling orogenic belt[J]. Earth Sciences, 1997, 22(4): 401~405
- 5 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
Luo Zhili. Taphrogenesis since Late Paleozoic and its influence on forming minerals as hydrocarbon et al in Southwest China[J]. Acta Geologica Sichuan, 1981, 2(1): 1~17
- 6 Tucker M E, Wright V P. Carbonate sedimentology[M]. Oxford: Blachwell Scientific Publications, 1990. 228~283
- 7 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
Gu Xueda, Liu Xiaohu. Stratigraphy(Lithostric) of Sichuan province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 147
- 8 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
Feng Zengzhao, Yang Yuqing, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of Permian of sonth China[M]. Dongying, Shandong: Petroleum University Press, 1997. 79~88
- 9 Heath K C, Mullins H T. Openocean, off-bank transport of fine-

- grained carbonate sediment in the northern Bahamas [A]. In: Stow D A V, Piper D J W. Fine-grained sediments; deep water processes and facies [C]. London: Blackwell Scientific Publications, 1984. 199-208
- 10 Black M. The systematics of coccoliths in relation to the palaeontological record [A]. In: Funnell B M, Riedel W R. The micropalaeontology of oceans [C]. Cambridge: University Press, 1971. 611-624
- 11 James N P, Kendall A C. Introduction to carbonate and evaporite facies models [A]. In: Walker R G, James N P. Facies models: response to sea level change [C]. Newfoundland: Geological Association of Canada Publications, 1997
- 12 Eberli G P, Anselmetti F S, Betzler C, et al. Carbonate platform to basin transitions on seismic data and in outcrops: Great Bahama Bank and the Maiella platform margin, Italy [A]. In: Eberli G P, Masafiero J L, "Rick" Sarg J F. Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems [C]. AAPG Memoir 81, 2004. 207-250
- 13 Beloposky A V, Droxler A W. Seismic expressions of prograding carbonate bank margins: Middle Miocene, Maldives, Indian Ocean [A]. In: Eberli G P, Masafiero J L, "Rick" Sarg J F. Seismic imaging of carbonate reservoirs and systems [C]. AAPG Memoir 81, 2004. 207-250
- 14 强子同, 文应初, 唐杰, 等. 四川及邻区晚二叠世沉积作用及沉积盆地的发展 [J]. 沉积学报, 1990, 8(1): 79-89
- Qiang Zitong, Wen Yingchu, Tang Jie, et al. Sedimentology and basin evolution of the Upper Permian, Sichuan and west Hubei provinces [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8(1): 79-89
- 15 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]. 古地学报, 2005, 7(3): 357-371
- Wang Yigang, Zhang Jing, Liu Xinggang, et al. Sedimentary facies of evaporative carbonate platform of the Feixianguan Formation of Lower Triassic in northeastern Sichuan basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(3): 357-371
- 16 文应初, 王一刚, 陈绪彬, 等. 四川地区早三叠世飞仙关组碳酸盐台地增生与有利储集相带展布 [J]. 天然气工业, 1988, 7(3): 357-371
- Weng Yinchu, Wang Yigang, Chen Xubin, et al. Extension of carbonate platform in Feixianguan age of Early Triassic and the distribution of favorable reservoir facies belts in Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1988, 8(2): 375-371
- 17 刘殊, 唐建明, 马永生, 等. 川东北地区长兴组—飞仙关组礁滩相储层预测 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 332-339
- Liu Shu, Tang Jianming, Ma Yongsheng, et al. Prediction of reef and shoal facies reservoirs in Changxing-Feixianguan Formation in northeastern Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 332-339
- 18 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 关于开江—梁平海槽的认识 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 326-331
- Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, et al. A discussion on Kaijiang-Liangping ocean trough [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 326-331

(编辑 陈喜禄)

1990—2005 年世界石油贸易变化

10⁸ t

国家或地区	1990 年	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	年均增长率,%	
								1990—2000 年	2000—2005 年
进口									
美国	3.96	5.47	5.73	5.60	6.04	6.36	6.67	3.3	4.0
西欧	4.83	5.46	5.69	5.87	5.92	6.18	6.55	1.2	3.7
日本	2.37	2.63	2.57	2.50	2.62	2.57	2.58	1.0	-0.4
其他	4.35	7.35	7.60	7.55	8.01	8.62	8.83	5.4	3.7
世界	15.51	20.91	21.58	21.52	22.59	23.73	24.62	3.0	3.3
出口									
美国	0.44	0.44	0.45	0.45	0.45	0.49	0.56	0.0	4.9
加拿大	0.47	0.84	0.89	0.97	1.03	1.06	1.09	6.0	5.3
墨西哥	0.68	0.89	0.93	0.97	1.04	1.02	1.02	2.7	2.6
中南美	1.17	1.52	1.55	1.46	1.45	1.59	1.73	2.7	2.8
欧洲	—	0.97	0.96	1.10	1.02	0.98	1.06	—	1.8
前苏联	1.31	2.11	2.31	2.65	2.96	3.18	3.49	4.9	10.6
中东	7.01	9.34	9.42	8.91	9.34	9.68	9.78	2.9	0.9
北非	1.28	1.35	1.34	1.29	1.34	1.44	1.51	0.5	2.4
西非	1.11	1.62	1.57	1.55	1.78	2.00	2.15	3.9	5.8
亚太	1.08	1.36	1.42	1.41	1.49	1.48	1.46	2.4	1.4
其他	0.96	0.46	0.74	0.76	0.67	0.80	0.76	-7.0	10.4
世界	15.51	20.91	21.58	21.52	22.59	23.73	24.62	3.0	3.3

* 亚太地区不包括日本。

(摘自《国际石油经济》)