

文章编号:1000-0550(2004)02-0254-07

川北下三叠统飞仙关组“槽台”沉积体系及演化

魏国齐¹ 陈更生² 杨威¹ 杨雨² 胡明毅³

张林¹ 吴世祥¹ 金惠¹ 沈珏红¹

1(中国石油勘探开发研究院廊坊分院 河北廊坊 065007)

2(西南油气田分公司 成都 610051) 3(江汉石油学院 湖北荆州 434102)

摘要 川北地区下三叠统飞仙关组沉积主要受开江-梁平海槽控制,短期存在的海槽在其两侧形成了较为对称的类似于威尔逊相模式的碳酸盐岩沉积体系。通过详细的钻井、露头等岩石学资料的研究,认为飞仙关组主要发育蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘滩、斜坡和盆地相共六类沉积相。其盆地相较深海盆地相浅,主要发育深色泥灰岩和灰质泥岩;斜坡沉积特征明显,见浊流、碎屑流沉积,但陆棚相不发育,可能是海槽深度小、面积小引起的;随着海槽的关闭,海水变浅,海槽内部的沉积由盆地相向斜坡、台地边缘滩、开阔台地、局限台地、蒸发台地相演化特征明显;到飞四段顶部,整个川北地区均一化为局限台地相或蒸发台地相沉积。由于海槽存在时间短,沉积相在平面上和纵向上的演化过程十分清晰。随着海槽的关闭,海水向广海方向退却,台缘滩也向海槽边界,即向广海方向发生了迁移,而且其发育层位逐渐变高。

主题词 槽台 沉积体系 台缘滩 模式 演化 四川 飞仙关组

第一作者简介 魏国齐 1964年出生 高级工程师(博士) 石油天然气地质

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 概述

川北地区是指四川盆地资阳-合川-忠县一线以北的广大地区,该区是西南油气田分公司主要油气产区。

近几年,该区下三叠统飞仙关组鲕滩天然气勘探取得了重大突破,探明天然气地质储量近 $1000 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为中国石油重点勘探领域,所发现的气田(藏)环开江-梁平海槽^[1~4]分布。开江-梁平海槽的概念是王一刚等1998年提出的,初步认为其成因与峨嵋“地裂运动”和南秦岭洋勉略-紫阳洋盆裂陷有关^[5],主要发育于晚二叠世长兴期-早三叠世飞仙关期,存在时间约700万年(255~248 Ma^[6]),从而影响了川北地区晚二叠世长兴组生物礁气藏和早三叠世飞仙关组鲕滩气藏的分布。飞仙关组开始沉积时,开江-梁平海槽分布范围最广;飞仙关组沉积结束时,开江-梁平海槽完全关闭,因此,飞仙关组沉积记录了开江-梁平海槽和其两侧台地形成的特殊“槽台”沉积体系,对该体系的研究具有重要的理论意义,而且对川北飞仙关组鲕滩气藏的进一步勘探具有重要的实践意义。

2 地层

飞仙关组在川北地区主要发育碳酸盐岩沉积,与

下伏二叠系长兴组(或大隆组)呈连续沉积(整合接触),与上覆下三叠统嘉陵江组呈整合接触。根据岩性和电性不同,飞仙关组由下至上可分为四个岩性段飞一~飞四(图1)。

飞一段,深灰色、灰色薄-中层状含泥质、泥质灰岩,底部夹深灰色页岩,川西北部分地区有鲕粒灰岩发育;含化石 *Claraia wangi* 组合类型;其视电阻率曲线呈锯齿状高阻,自然伽玛曲线上部呈块状低值,中、下部呈锯齿状中值;厚度约58.2~323 m。

飞二段,灰绿色、灰色中-薄层状含泥-泥质灰岩与灰紫色、暗紫色灰质泥岩互层夹条带状砂屑灰岩,大部分区域有鲕粒灰岩发育;含化石 *Claraia stachei* 组合类型;视电阻率曲线呈锯齿状低阻,自然伽玛曲线块状低值;厚度约78.4~382.5 m。

飞三段,灰色中-厚层状灰岩含泥-泥质灰岩,上部及底部夹鲕粒、砂屑灰岩;含化石 *Claraia aurita* 组合类型;其视电阻率曲线块状高阻或锯齿状低阻,自然伽玛曲线上部低值锯齿成块状,下部锯齿状高值;厚度约71~166.3 m。

飞四段,灰紫、暗紫色薄页状灰质泥岩、泥灰岩夹厚层状灰岩,含泥灰岩,下部夹砂屑、鲕粒灰岩;在研究区的东部石膏层发育(图1),西部主要发育泥岩、泥质

粉砂岩,夹石膏斑块,含化石 *Eumorphotis multitoymis* 组合类型;其视电阻率曲线较平直或具细小的锯齿状,自然伽玛曲线密集的锯齿状中值;厚度约 26.8~200.1 m。

飞仙关组主要发育蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘滩、斜坡和盆地相共六类沉积相。

3.1 蒸发台地相

该相带盐度高、水流循环受限制,古地貌较高或长期出露地表,蒸发作用强烈,包括膏坪和云坪两类亚相,以膏坪亚相为主。膏坪亚相以膏岩沉积为主,见藻纹层状白云岩、针状石膏假晶等;云坪亚相以白云岩沉积为主,都呈层状发育,暴露性沉积标志明显,如泥裂、角砾化、石膏假晶、石盐假晶等。该相带在飞四段上部发育且分布较广;飞一段发育范围局限,主要分布于金珠坪、老鹰岩一带。

3.2 局限台地相

该相带位于障壁岛或大的浅滩之后,并一直延伸到蒸发台地。海水循环不畅,水体极浅、能量低,发育有各种暴露性的沉积标志。沉积物颜色主要为紫红色、褐灰色等,沉积物主要有泥晶灰岩、白云质泥晶灰岩、泥质灰岩、叠层石灰岩、白云岩、泥(页)岩及膏岩、粉砂岩、粉砂质泥岩等。该相带内主要发育泻湖亚相和潮坪亚相。

泻湖亚相位于局限台地内的低洼地区,沉积以灰、深灰色薄层泥晶灰岩为主,夹白云质泥晶灰岩、白云岩、球状泥晶灰岩和泥灰岩,沉积物颜色暗,反映水体能量低,在飞仙关组的上部较发育。

潮坪亚相位于局限台地内的地貌较高地区,以紫红色、灰紫色泥晶灰岩、泥灰岩和钙质泥岩为主,夹粉砂岩、粉砂质泥岩等,局部含少量石膏斑块。主要发育于川西北地区的飞仙关组的上部。

3.3 开阔台地相

该相带位于台地边缘滩相带之后,水体较浅,一般为几米到几十米,与广海连通性较好,海水循环畅通,盐度正常,生物繁盛。主要由浅灰色、灰色中-厚层状泥晶灰岩、鲕粒灰岩、泥质灰岩、砂屑生屑灰岩组成。可进一步分为两类亚相:台内滩亚相和滩间海亚相。

3.3.1 台内滩亚相

它是开阔台地相带中受潮汐或波浪作用控制形成的高能沉积。台内滩亚相平面上呈席状、透镜状展布,单层厚度不大,一般在几米到十几米,具有平面上分布不规则,纵向上不稳定的特征。主要由浅灰色中厚层状亮晶鲕粒灰岩、亮晶生屑鲕粒灰岩或砾屑鲕粒灰岩组成,鲕粒圈层发育,以真鲕为主。发育有交错层理、平行层理等沉积构造。台内滩亚相在飞三段上部最为发育,几乎遍布整个川北地区。

3.3.2 滩间海亚相

它是开阔台地相带中分布于台内滩亚相之间的大面积低能环境沉积。沉积物以灰色-深灰色薄-中层状

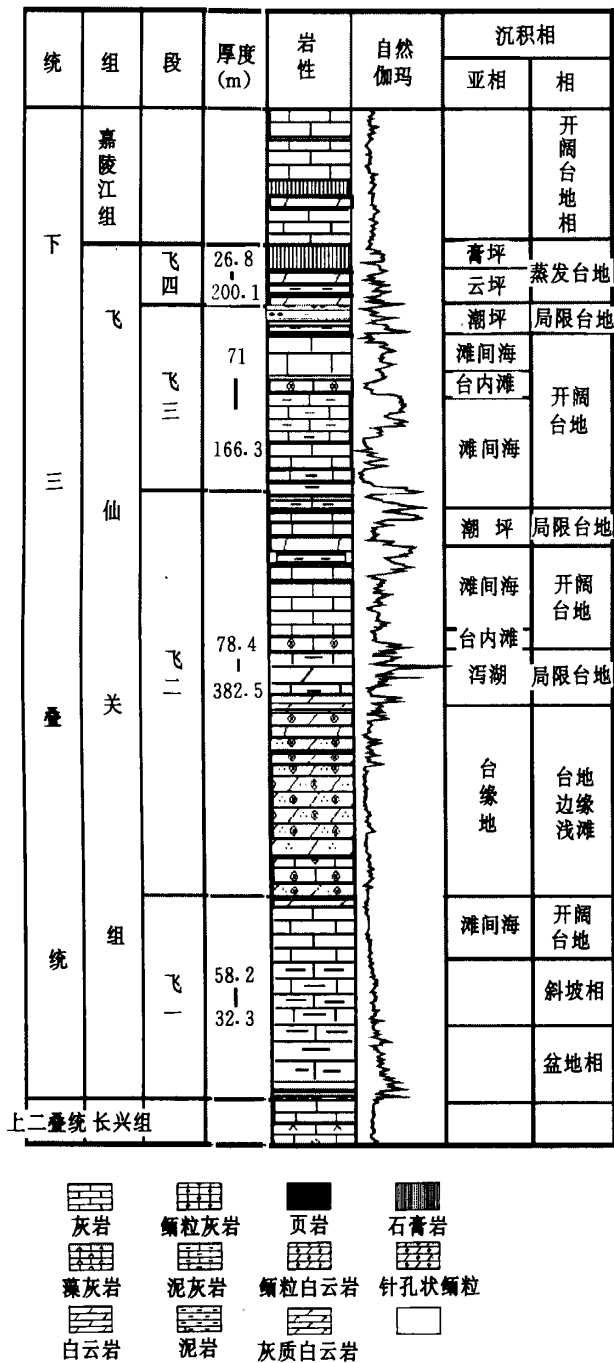


图1 川北飞仙关组地层综合柱状图

Fig. 1 Integrated column of Feixianguan group sequence stratigraphy

3 沉积相

根据野外实测剖面、井下岩心和录井资料观察分析,结合前人的研究成果^[2,3,5],认为研究区下三叠统

泥晶灰岩为主,同时发育有泥质灰岩、含泥灰岩、生屑泥晶灰岩等。发育水平层理,见有孔虫、双壳类、腹足类化石等。该类亚相带主要发育于飞仙关组的中部。

3.4 台地边缘滩相

3.4.1 台地边缘滩相特征

位于碳酸盐台地与斜坡相带之间,是波浪和潮汐作用改造强烈的高能地带。沉积物主要由鲕粒灰岩、鲕粒白云岩、粉晶白云岩、砂屑灰岩和少量泥晶灰岩等组成。由于受波浪、潮汐水流或沿岸流的簸选,因而比较洁净。鲕粒分选较好,圈层较发育和颗粒含量高。可见大型板状或槽状交错层理。

由于位于台地边缘,水体能量高,有利于鲕粒的形成和堆集,故沉积厚度大,一般可达20 m到100 m,分布稳定。台地边缘滩常在台地边缘呈条带状分布,并随着台地的发展而逐渐迁移,具有明显的穿时性。台地边缘滩生长快,常呈凸起状,当海平面下降时,可以暴露出海平面,遭受大气淡水淋滤作用和混合水白云石化作用^[7]。在后期的改造中,鲕粒白云岩常被溶蚀形成大量的溶蚀孔,成为好的油气储集层,残余鲕粒白云岩是该区飞仙关组最好的天然气储层。在鲕滩和鲕滩之间有地势比较低的凹地,沉积物主要为泥晶灰岩为主,夹少量薄层鲕粒灰岩,见双向交错层理,是广海与台地连通的通道。

3.4.2 台缘滩与台内滩的差异

研究区内发育两种类型的鲕滩:台内滩和台缘滩。台缘滩发育于台地边缘相带中,具有四个方面的特征:①厚度较大,一般大于20 m,最厚可达100多米;②亮晶胶结物非常发育,几乎所有的胶结物都是亮晶胶结物;③正常鲕含量高,一般在90%以上;④白云石化作用强烈。台内滩发育于开阔台地相中,与台缘滩相比,其厚度一般小于20 m,仅有个别达50 m,亮晶胶结物含量相对低一些,一般60%~70%,发育较多的表鲕,没发生大面积的白云石化作用。

气藏主要发育于台缘滩中,主要原因是台缘滩发育时间长,厚度大,在海平面下降时,易暴露出海平面发生白云石化作用,有利于后期埋藏溶蚀作用的发生,可形成好的储层。

3.5 斜坡相

该相带为深水盆地与碳酸盐台地之间的过渡沉积。位于正常浪基面之下、氧化界面附近,水深几十米到200 m,水体总体上比较安静。沉积物以紫灰、紫红、灰黑色薄层、极薄层泥晶灰岩、泥质灰岩为主,夹钙质泥岩、页岩,颜色呈杂色到灰色,发育水平层理、水平虫孔等,含双壳类、菊石类化石。该相带在纵向从飞一段到飞三段均有发育,其中飞一段分布最广。该相带的识别主要是

深水异地沉积的发现和判别。

3.5.1 深水原地沉积

主要由紫红色、黄灰色薄层、页状泥灰岩、灰质泥岩组成,发育毫米级水平纹层和滑动变形层理,沿层面可见水平虫迹和较丰富的双壳类化石,为典型低能斜坡环境下的产物。

3.5.2 深水异地沉积

①碎屑流沉积

碎屑流沉积广泛分布于南江桥亭、旺苍天台、广元上寺一带的飞一段中。碎屑流沉积由浅灰色-灰色中厚层状灰质角砾岩组成,其上下均为深水原地沉积的薄层状泥灰岩、灰质泥岩沉积组成(图2,图版I-1,2)。岩层单层厚度一般在30~60 cm之间,最大可达90 cm。角砾岩中砾石一般呈长条状,大者可达5 cm×10 cm,小者仅1 cm×2 cm,砾石含量可达35%~50%,砾石以次棱角状为主,磨圆差,砾石主要成分为灰岩,填隙物以灰泥为主。

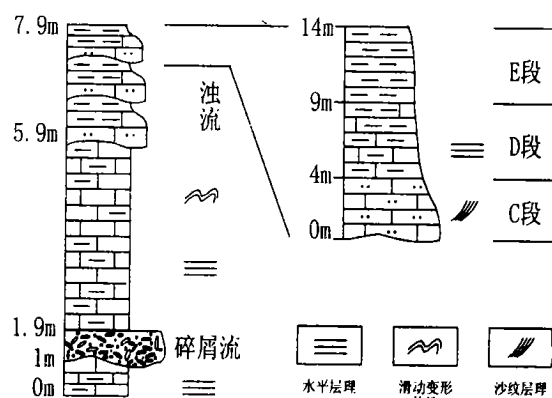


图2 旺苍天台飞仙关组碎屑流剖面图

Fig. 2 Profile of detrital sediment of Feixianguan group in Wangcang Tiantai

②浊流沉积

浊流沉积分布在广元上寺、南江桥亭一带的飞一段中。根据其组成不同,可细分为根部浊积岩和末梢浊积岩两种类型,前者以浊流A段发育为特征,后者以C、D、E段发育为特征。在广元上寺,浊流沉积发育完整,以A、D、E段组合为主,A段主要由含砾屑泥质灰岩组成,砾屑大小在0.2 cm×0.2 cm~1 cm×2 cm之间,底部界面起伏不平,由底向上具明显的正粒序层理,往上逐渐过渡为泥晶灰岩段(E段)。在南江桥亭,浊流沉积以末梢浊积岩为主,C、D、E段极其发育。C段由浅灰色薄层含粉屑泥晶灰岩组成,单层厚3~4 cm,发育小型沙纹层理;D段由紫红色含泥灰岩与含灰泥岩组成,具水平层理;E段由紫红色块状泥岩组成,

具块状层理(图2,图版I-3)。

斜坡相带以深水原地沉积为主,并发育有不同类型的重力流沉积。斜坡相带可分为上斜坡和下斜坡两种亚相,上斜坡以深水原地沉积为主,发育碎屑流沉积,见有水平层理和滑动变形构造。下斜坡以深水原地沉积为主,发育末梢浊积岩沉积。随着台地的增生、开江-梁平海槽的闭合,该相带分布范围逐渐缩小直至消失。

3.6 海槽盆地相

是川北地区飞仙关组发育的一种特殊的盆地相,认为其为盆地相的主要原因是其在古地理上位于开江-梁平海槽影响范围内的沉积深度最大的地区。但该相带特征与深海盆地相沉积差别很大,①其沉积水体的深度仅200~300 m,位于氧化界面之下,碳酸盐岩补偿界面之上;②沉积物以碳酸盐为主,不含硅质岩,岩性主要为深色、灰黑色薄层-页状泥灰岩(图版I4)、泥灰岩夹褐色薄层钙质泥岩,局部夹末梢浊积岩;③岩石颜色暗,发育水平层理,化石稀少。纵向上该相带主要分布在飞仙关组底部,相当于飞一段;平面上,主要分布在开江-梁平海槽内部,随海槽的关闭,分布范围逐渐变小。沉积厚度不等,在沙罐坪地区可达100多米,在广元地区的张

家扁构造带厚度可达200m。

4 沉积相展布和演化

飞仙关组早期,川北地区海槽盆地相主要发育于剑阁、苍溪、开江、通江广元一带;斜坡相主要发育于梓潼、忠县、两河口一带的窄的“U”形条带上;台地边缘相带主要发育于江油、垫江、万县一带的窄的“U”形条带上;局限台地相和蒸发台地相带发育范围十分局限,主要分布于资阳、安岳和樊吟渡口地区;蒸发台地相沉积发育于局限台地相区的边缘,仅在局部地区发育(图3)。

飞仙关中期,开江-梁平海槽开始关闭,盆地相的沉积范围逐渐变小,斜坡相、台地边缘滩相随盆地相的退却,向广海方向迁移。但由于构造运动,早期较高的地区(局限(蒸发)台地相区)与开阔台地相区的沉积慢慢均一化形成统一的开阔台地或局限台地沉积。飞仙关晚期,盆地相和斜坡相沉积退出该区,台地边缘滩相也不发育,全区均一化为开阔台地到局限台地沉积,最后以发育蒸发台地沉积为主。

纵向上,飞仙关早期,在海槽范围内,飞仙关组以海槽盆地相沉积为主;向上发育斜坡相沉积;再向上依

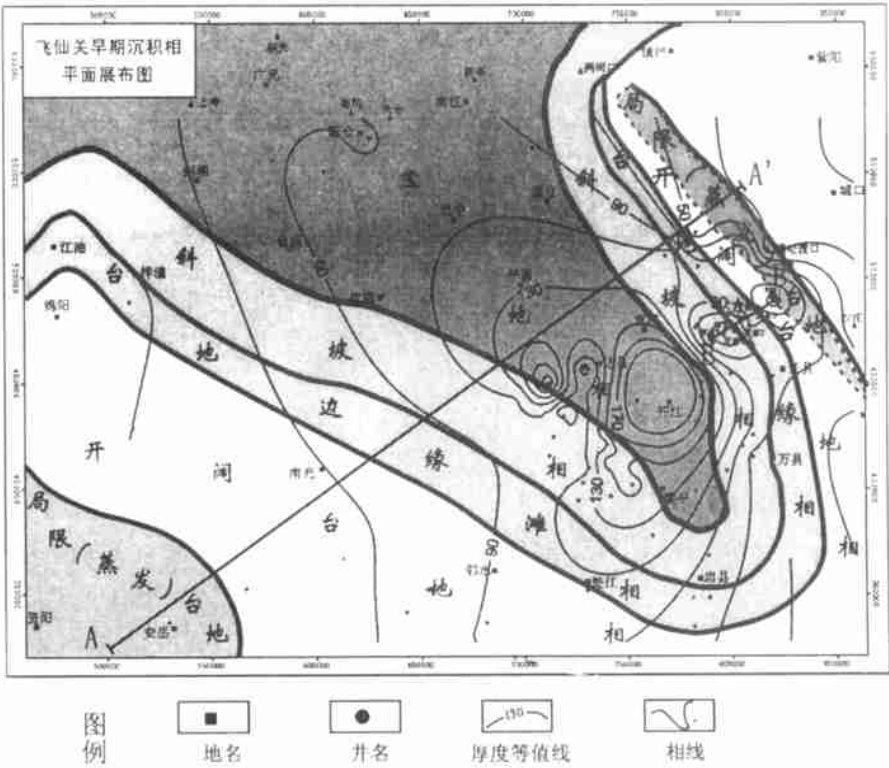


图3 川北地区飞仙关早期沉积相展布图

Fig.3 Sedimentary facies distribution of early Feixianguanian in the northern Sichuan

次主要以台地边缘滩相、开阔台地相、局限台地相和蒸发台地相(图 1)。随着海槽的关闭,沉积由盆地相向蒸发台地相发展。到飞四段顶部,整个川北地区均一化为局限台地相或蒸发台地相,最后全区主要以蒸发台地相沉积结束。

该区碳酸盐岩由海槽至台地沉积相类型发育较全,而且在平面上和纵向上反映水体逐渐变浅的演化特征十分明显,这可能是由于该海槽存在时间较短,海槽关闭速度快造成的。也可能正是海槽存在时间较短,由海槽控制的沉积特征能在较小沉积厚度(时间)内得到全部反映。

5 沉积模式

开江-梁平海槽盆地相的沉积在飞仙关组刚开始沉积时,展布范围最大。由海槽向东西两侧的延伸方向上(图 3 中 AA' 线段的位置),沉积相的展布依次为斜坡相、台缘鲕粒滩相、开阔台地相、局限台地相和蒸发台地相(图 4),与威尔逊相模式^[8]比较相似。

其与威尔逊相模式不同的是该套沉积缺乏明显的陆棚相沉积,主要原因可能是海槽盆地深度较小,盆地相带与台地边缘相带中间仅隔一个较窄的斜坡相,斜坡相特征明显。

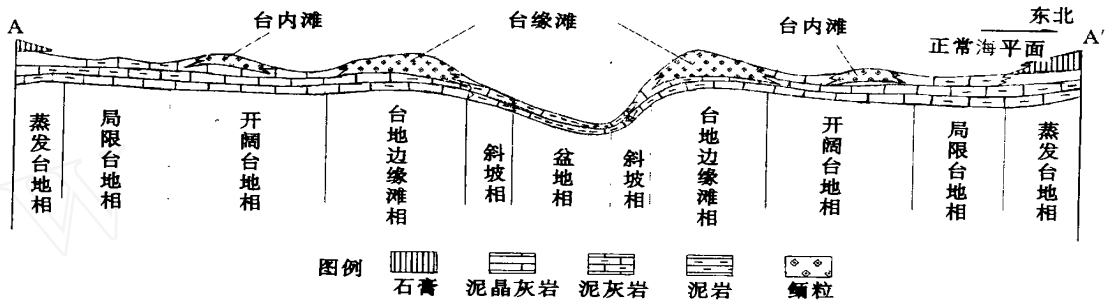


图 4 川北飞仙关组沉积体系模式图

Fig. 4 Model of depositional system of Feixianguan group in the northern Sichuan

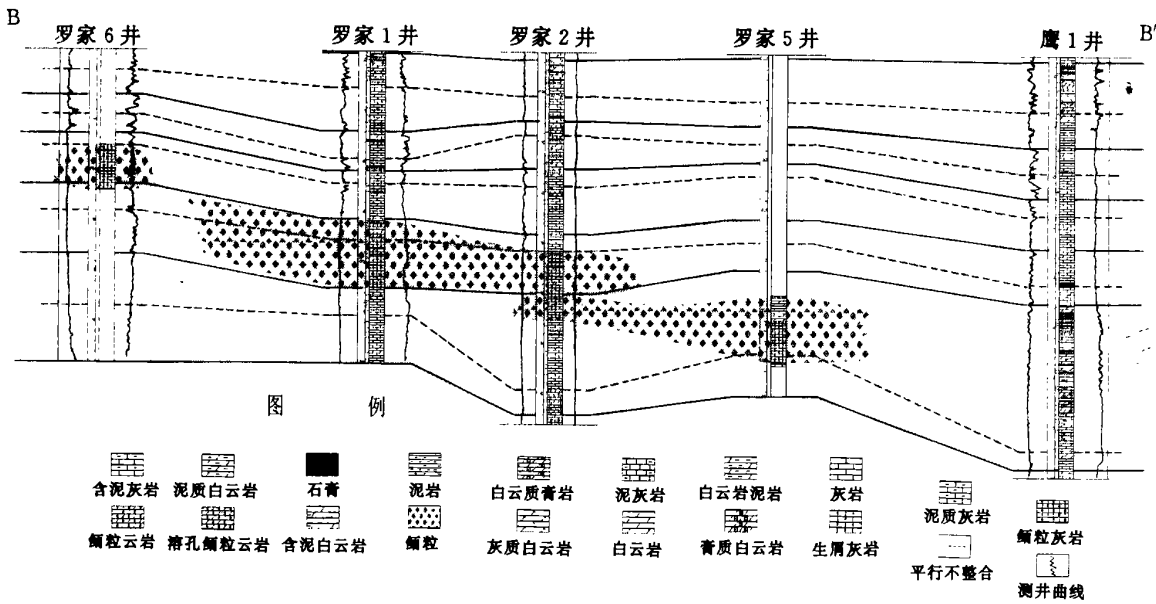


图 5 罗家寨构造台缘鲕滩迁移规律

Fig. 5 Migration law of oolitic beach in Luogiazhai structural belt

6 台缘鲕滩迁移规律

研究飞仙关组沉积特征的主要目的是预测台缘鲕

滩的分布。通过不同区域单井或野外露头沉积相展布和演化规律的研究,可以总结出整个川北地区飞仙关组台缘鲕滩的展布和迁移规律。当飞仙关组开始沉积

时,由于海槽规模大,海槽相沉积范围广,台缘鲕滩在远离海槽边界的区域发育,随着海槽的关闭,海水向广海方向退却,台缘鲕滩也向海槽边界,即广海方向发生了迁移,而且其发育层位逐渐变高。

如在罗家寨构造带上(相当于图3的BB'的位置),刚开始台缘鲕滩发育于罗家5井区,而且发育层位很低,位于飞仙关组的底部;随着时间的演化,海槽向广海方向退却,台缘鲕滩向海槽边界方向发生了迁移,发育到罗家1井、罗家2井区,其发育层位向上变化,位于飞仙关组的中下部;随着时间的演化,海槽继续向广海方向退却,台缘鲕滩也向海槽边界方向继续迁移,台缘鲕滩发育到罗家6井区时,其发育层位到了飞仙关组的中上部。很明显,随着时间的演化,台缘鲕滩向海槽边界发生了迁移,而且其发育层位逐渐向上变高(图5)。

7 结论

(1)下三叠统飞仙关组主要发育蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘滩、斜坡和盆地相六类沉积相,盆地相与传统的深海盆地沉积差别较大,斜坡相特征明显。

(2)随着海槽的关闭,沉积由盆地相向蒸发台地相发展。到飞四段顶部,整个川北地区均一化为局限台地相或蒸发台地相;沉积相由深水相向浅水相演化特征明显,其与威尔逊相模式不同在于该套沉积缺乏明显的陆棚相沉积。

(3)随着海槽的关闭,海水向广海方向退却,台缘鲕滩也向海槽边界,即广海方向发生了迁移,而且其发育层位逐渐变高。

参考文献(References)

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. 天然气工业, 1998, 18(6): 10~15 [Wang Yigang, Wen Yinchu, Zhang Fan, et al. Distribution law of the organic reefs in Changxin formation of upper permian in east Sichuan. Natural Gas Industry, 1998, 18(6): 10~15]
- 2 杨家静,王一刚,王兰生,等. 四川盆地东部长兴组-飞仙关组气藏地球化学特征及气源讨论. 沉积学报, 2002, 20(2): 349~353 [Yang Jiajing, Wang Yigang, Wang Lansheng, et al. The origin of natural gas pool, geochemistry characters of Changxin reef and Feixiangguan oolitic beach gas reservoir in Eastern Sichuan basins. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 349~353].
- 3 王一刚,刘划一,文应初,等. 川东飞仙关组鲕滩储层分布规律勘探方法与远景预测. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 14~19 [Wang Yigang, Liu Huayi, Wen Yingchu, et al. Distribution law, exploration method and prospectiveness prediction of the oolitic beach reservoirs in Fei Xian Guan Formation in northeast Sichuan basin. Natural Gas Industry, 2002, (Supp.): 14~19]
- 4 杨雨,文应初. 川东北开江-梁平海槽发育对 T_1f 鲕粒岩分布的预测. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 30~32 [Yang Yu, Wen Yinchu. Control of Kaijiang-Liangping trough growing on T_1f oolite distribution in north east Sichuan basin. Natural Gas Industry, 2002, (Supp.): 30~32]
- 5 王兴志,张帆,马青,等. 四川盆地东部晚二叠世-早三叠世飞仙关组礁滩特征与海平面变化. 沉积学报, 2002, 20(2): 249~254 [Wang Xingzhi, Zhang Fan, Ma Qing, et al. The characteristic of reef and bank and the fluctuation of sea level in Feixiangguan period of late Permian-early Triassic, east Sichuan basin. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 249~254]
- 6 许效松,刘宝鑫,赵玉光,等. 上扬子西缘二叠纪-三叠纪层序地层与盆山转换耦合. 北京:地质出版社, 1997. 9~16 [Xu Xiaoshong, Liu Baojin, Zhao Yuguang, et al. Sequence stratigraphy and basin orogen coupling in Permian-Triassic in upper Yangtze platform. Beijing: Geological Publishing House, 1997. 9~16]
- 7 刘宝鑫,张锦泉. 沉积成岩作用. 北京:科学出版社, 1994. 237~255 [Liu Baojin, Zhang Jinquan. Sedimentary diagenesis. Beijing: Science Press, 1994. 237~255]
- 8 冯增昭. 沉积岩石学(上、下册). 北京:石油工业出版社, 1991 [Feng Zhenzhao. Sedimentary Petrography. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991]

Sedimentary System of Platform Trough of Feixiangguan Formation of Lower Triassic in Northern Sichuan Basin and Its Evolution

WEI Guo-qi¹ CHEN Geng-shen² YANG Wei¹ YANG Yu² HU Ming-yi³
ZHANG Li¹ WU Shi-xiang¹ JIN Hui¹ SHEN Jue-hong¹

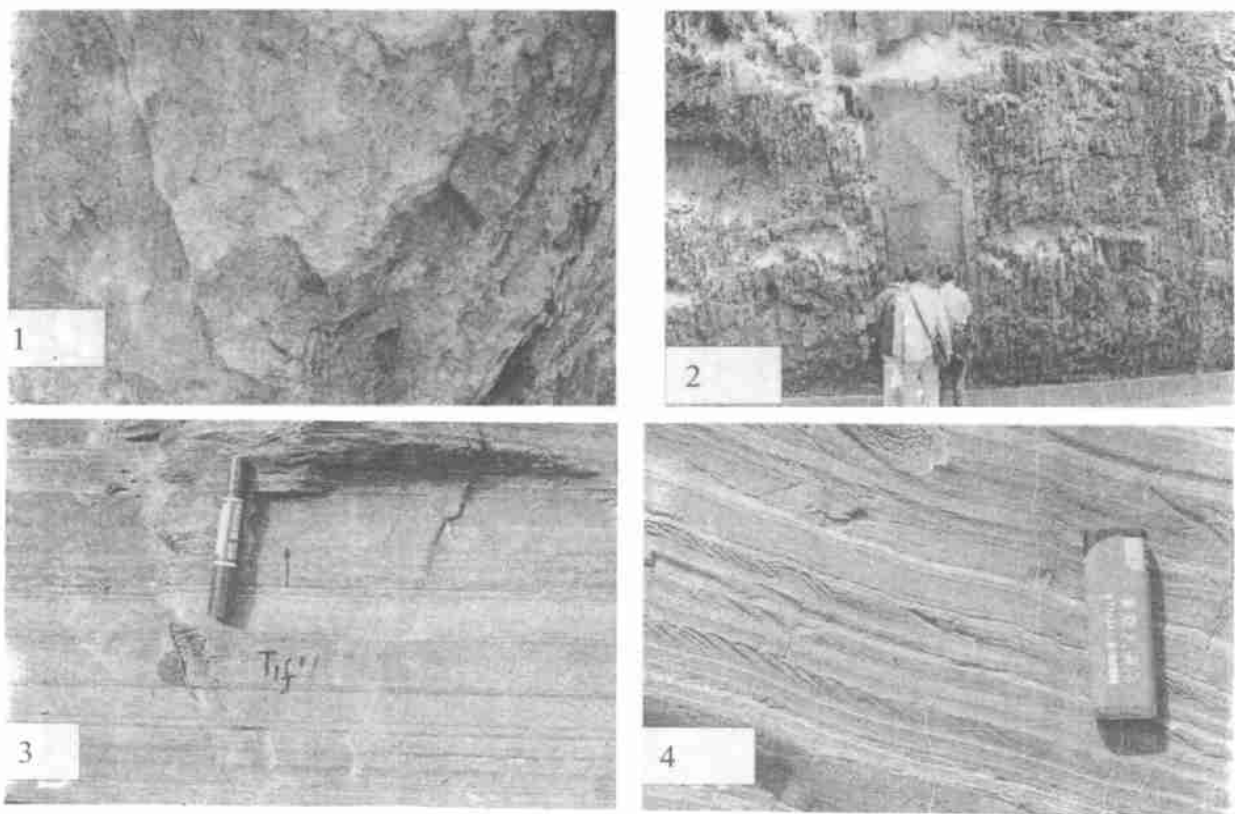
1(Gas Department, Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, CNPC, Langfang Hebei 065007)

2(West-south Oilfield Branch, Chengdu 610051) 3(Jiangnan Petroleum Institute, Jinzhou Hubei 434102)

Abstract Kaijiang-Liangping trough existed for 700 My. controlled the deposition of Feixiangguan Formation of lower Triassic in the northern Sichuan Basin. In the short period of the trough existed, relatively symmetrical carbonate rock sedimentary system that be analogous to Wilson facies pattern could be formed in its both sides. Through researching on petrology

data of detailed drilling , outcrop and so on , Feixianguan Formation mainly developed six types of sedimentary facies including evaporate platform , restricted platform , open-platform , platform margin beach , slope and basin facies. The basin facies that was shallower than deep-sea basin which mainly developed dark marl and lime mudstone ; the depositional characteristics of the slope facies are distinct , but shelf facies poor developed which may be for the sake of the depth of the trough , because it is so small ; with the gradual close of the trough , seawater became shallow , the characteristics of the depositional evolution from basin facies to slope , platform margin beach , open-platform , restricted platform and evaporate platform within the trough are distinct ; to the top of the Member 4 of Feixianguan Formation , all of the Northern Sichuan basin were deposited equally by restricted platform facies or evaporate platform facies. The period of the trough existed is so short that the course of evolution of sedimentary facies is quite clear in plane and longitude. With the gradual close of the trough , seawater receded toward to open sea , platform margin oolitic beaches moved toward to trough too , that was open sea , growing horizons of them rised gradually at the same time.

Key words platformal trough ,sedimentary system ,platform margin oolitic beach ,pattern ,evolution ,Sichuan ,Feixianguan Formation



图版 I说明 1. 南江桥亭 T_1f 发育的深水碎屑流沉积; 2. 南江桥亭 T_1f 发育的深水碎屑流沉积; 3. 南江桥亭 T_1f 发育的深水浊流沉积, 可以发现底部冲刷面; 4. 南江桥亭 T_1f 发育的深水盆地相沉积, 为纹层状的泥灰岩。