

四川盆地剑阁-九龙山地区长兴期与飞仙关期古地貌演化特征及其对礁滩体的控制

陈辉¹, 郭海洋¹, 徐祥恺², 张本健³, 梁虹¹, 吴育林¹

(1. 中国石油 川庆物探公司 物探研究中心, 四川 成都 610213; 2. 中国石油 青海油田公司 采油五厂, 甘肃 敦煌 736202;
3. 中国石油 西南油气田分公司 川西北气矿, 四川 江油 621700)

摘要: 根据钻井、测井及三维地震资料, 利用层拉平技术、切片及属性分析技术对四川盆地剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组主要层序界面进行了古地貌恢复, 探讨了古地貌演化特征及其对礁滩的控制作用。研究表明, 该区古地貌整体具有西南高北东低的格局, 在古地貌演化过程中研究区内碳酸盐台地沉积区具有由西南向北东不断扩张的趋势, 反映了长兴期至飞仙关期整体海退、沉积物不断向深水充填的特征。随着台缘及台内正地形等古地貌高带的迁移, 礁滩体发育有利区也随之迁移, 其中剑阁地区的 Lg68 井—Lg63 井—Lg62 井一带为长兴末期继承性古地貌高地, 是长兴组与飞仙关组各时期礁滩体垂向叠置发育最为有利的区域。九龙山构造主体为飞仙关组二段多期台缘滩横向迁移叠置的区域, 是飞仙关组鲕滩体发育最为有利的区域。

关键词: 长兴组; 飞仙关组; 古地貌演化; 礁滩体; 剑阁-九龙山地区; 四川盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

Features of paleogeomorphological evolution and its control on reef flat composite in Changxing-Feixianguan Formation in Jiange-Jiulongshan region, the Sichuan Basin

Chen Hui¹, Guo Haiyang¹, Xu Xiangkai², Zhang Benjian³, Liang Hong¹, Wu Yulin¹

(1. Research Center of PetroChina, CCDC Geophysical Prospecting Company, Chengdu, Sichuan 610213, China;

2. No. 5 Oil Production Plant of PetroChina Qinghai Oilfield Company, Dunhuang, Gansu 736202, China;

3. Northwest Sichuan Gas Mine of PetroChina Southwest Oil & Gasfield Company, Jiangyou, Sichuan 621700, China)

Abstract: Utilizing core, well logging and 3D seismic data, technologies such as horizon flattening, section and attribute analysis were used to reconstruct the paleogeomorphology environments in Changxing and Feixianguan Formations' main sequence boundaries in Jiange and Jiulongshan districts, the Sichuan Basin. The features of paleogeomorphological evolution were investigated and their control on the reef flat were discussed. Results show that paleo topography of the area is featured by higher southwestern parts and dipping down to the Northeastern parts. The carbonate platform's constant progradation from southwest to northeast during the paleo-geomorphological evolution in the area leads to features such as marine regression, sediment filling into deep water during the periods of Changxing and Feixianguan deposition. The reef flat's favorable depo-center areas were also transferred in tune with the migration of paleo-landform's high belt and platform margin. The area around wells Lg68, Lg63 and Lg62 is an inherited paleogeomorphological high grounds, representing the most favorable place for the reef flat's vertical aggradation of Changxing and Feixianguan carbonates in the Jiange district. The major positive structure in Jiulongshan area is composed of Feixianguan formation's second section, which are a set of platform margin oolitic beaches superimposed one on another in transverse and overlaying fashion. It is also the most favorable area for development of oolitic beach in Feixianguan formation.

Key words: Changxing Formation, Feixianguan Formation, paleogeomorphological evolution, reef flat, Jiange-Jiulongshan region, Sichuan Basin

收稿日期: 2015-11-06; 修订日期: 2016-10-09。

第一作者简介: 陈辉 (1980—), 男, 博士, 地震与地质综合研究。E-mail: 478176859@qq.com。

基金项目: 中国石油西南油气田分公司重大科技专项 (2013ZD01-02)。

1 地质概况

剑阁-九龙山地区位于扬子克拉通北缘,属于米仓山-汉南地块的一部分,北起秦岭造山带,西止龙门山和松潘-甘孜推覆构造带,东至大巴山造山带,南靠四川盆地。平面上由北向南,可分为米仓山基底冲断推覆构造带和米仓山-龙门山前陆盆地,地理位置包括广元、苍溪、剑阁与旺苍等县市(图1)。近十年勘探实践表明,川西北地区长兴组与飞仙关组礁滩气藏集性能好、产量高,具有良好的勘探前景,因而引起了油气勘探部门及地质工作者的高度重视。相对于川东北地区,在龙岗西地区针对长兴组与飞仙关组勘探开发程度较低,井点稀少,对礁滩气藏的基本地质特征认识存在局限性,导致在礁滩气藏勘探开发过程中存在一系列地质问题。主要表现在长兴组与飞仙关组相带分布及礁滩体迁移规律不清,礁滩气藏具有储层纵向与横向分布变化大及非均质性极强等特点,为进一步勘探开发带来很大困难^[1-2]。因此开展川西北部剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组古地貌恢复及沉积环境分析,研究古地貌对礁滩体发育及迁移的控制作用,有助于深化对该区礁滩体发育及分布规律的认识,为礁滩有利储层分布预测奠定基础,同时也为川西北地区二叠系与三叠系礁滩气藏的下一步勘探开发提供依据。

2 地震层序划分及对比

剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组具有沉积时

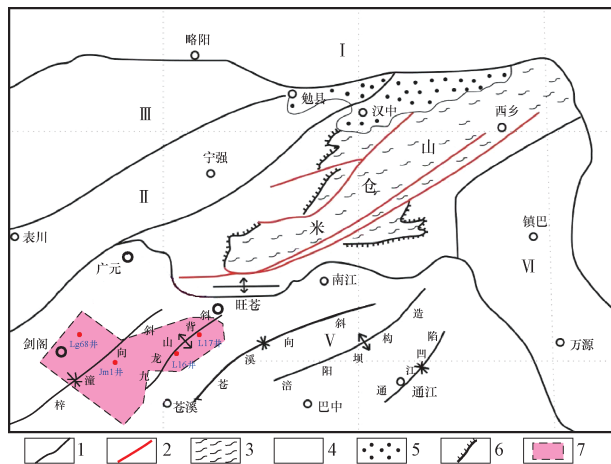


图1 剑阁-九龙山地区构造位置

Fig. 1 Location map of Jiange-Jiulongshan region

1. 一级构造单元界线;2. 断层;3. 前震旦纪基底;4. 震旦纪以后沉积盖层;5. 第四系;6. 角度不整合界线;7. 研究区范围

I. 秦岭造山带;II. 龙门山推覆构造带;III. 松潘-甘孜造山带;IV. 大巴山推覆构造带;V. 四川盆地

间长、地层厚度大以及礁滩体纵横向迁移范围大等特点^[3],为了更好地研究目的层段不同时期古地貌及礁滩体迁移特征,首先需要对剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组进行地震层序划分及对比。采用沉积学、层序地层学及地震层序学的基本原理,通过对钻、测井资料及地震资料的分析,在研究区共划分出5个三级地震层序(相当于长期基准面旋回),10个体系域。其中PSQ2层序相当于长兴组沉积,TSQ1层序相当于飞一段早期沉积,TSQ2层序相当于飞一段中晚期沉积,TSQ3层序相当于飞二段沉积,TSQ4层序相当于飞三段及飞四段沉积。在层序划分的基础上,以区内单井及连井的层序对比为基础,依据从点一线一面的工作流程,建立了全区统一的等时层序地层格架(图2)。然后通过井震结合与对比,在地震剖面上对主要层序界面进行全区追踪闭合。

3 古地貌恢复方法

目前,古地貌恢复的技术主要包括残留厚度法、印模法、回剥法、压实恢复、沉积学分析法及层序地层学恢复法等,在实际应用中需要综合考虑沉积作用、压实效应、剥蚀作用及后期构造运动等因素,选取不同的技术方法进行古地貌恢复^[4-6]。

剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组古地貌恢复的主要目的是为了寻找台缘及台内正地形等古地貌高地,这些区域也是颗粒岩发育的有利区域。在沉积盆地不断下沉的过程中,随着上覆沉积层的增厚,长兴组与飞仙关组礁滩相沉积物和非礁滩相沉积物表现出的固结程度和本身抗压实能力的差异,会形成差异压实效应,使滩相地层压实量远小于非滩相地层,从而导致台缘及台内正地形等古地貌高部位隆起幅度进一步增大,由此可见压实作用未对该区正负地形造成根本改变。剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组地层连续沉积,不存在大规模的风化剥蚀面,剥蚀作用对区内古地貌格局影响也相对较小。从区域构造演化来看,剑阁地区始终处于稳定地台沉积区,地层沉积后整体均匀下沉,保留的埋藏地貌与沉积前古地貌大致相当,而九龙山地区则处于盆山转换带,受差异构造运动影响,现今地貌与沉积前古地貌变化较大。综上所述,本次研究重点考虑消除九龙山地区后期构造运动对沉积地貌的影响,选取了层拉平、切片及属性分析两种技术方法对目的层段进行古地貌恢复。

3.1 层拉平技术

随着层序地层学理论和地震勘探技术的发展,由

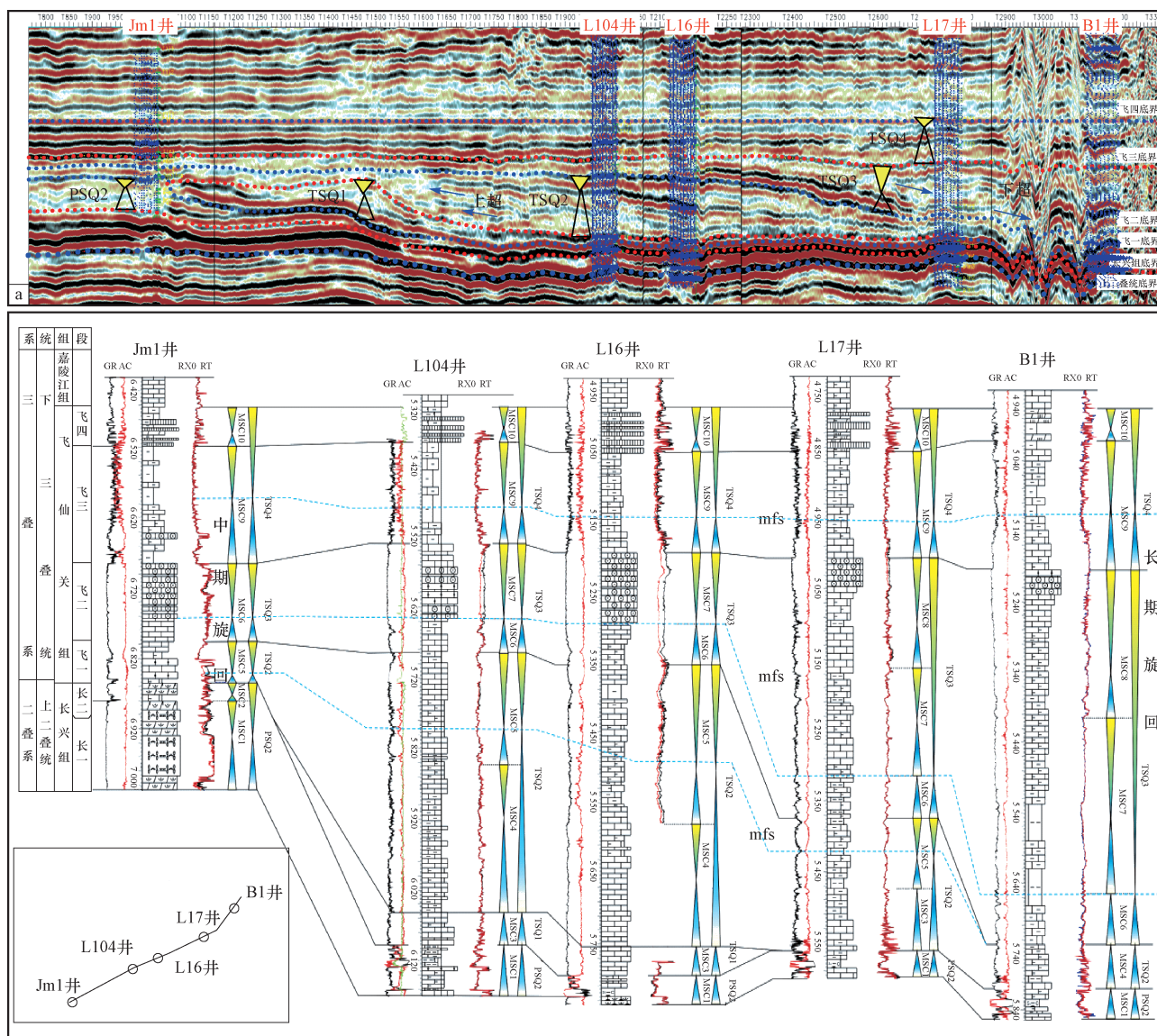


图2 剑阁-九龙山地区 Jm1 井—B1 井长兴组与飞仙关组井—震统一层序地层格架剖面

Fig. 2 Sequence stratigraphic framework of Changxing Feixianguan Formations in well logging and seismic profile from Well Jm1 to Well B1 in Jiange-Jiulongshan region

a. 过 Jm1—B1 井飞四底层拉平剖面地震层序对比; b. Jm1 井—B1 井连井剖面

于层拉平技术的更简单易行而得到广泛运用。层拉平是以地震资料为基础,在关键地震层序界面解释的基础上,选取适当的参考面对地震剖面进行层拉平,近似消除后期构造运动引起的地层形变,恢复地层沉积时的地貌情况。

层拉平恢复古地貌具体可以通过印模法及残厚法两种方法实现^[7-8]。区内长兴组与飞仙关组厚度变化及迁移规律较为复杂,其地层厚度变化是由构造沉降、海平面变化、碳酸盐沉积速率及物源进积等因素综合控制,地层残厚并不简单反应古地貌的变化情况,相对而言,印模法更适合该区长兴期与飞仙关期古地貌恢复。

古水平面的选择是利用印模法恢复古地貌成功的关键,首先代表古水平面的沉积层形成环境在横向上

应没有发生明显变化;其次,该界面在地震剖面上反射特征清晰、全区范围内可对比追踪;此外,该界面还应尽量靠近被恢复的目的层位,即选取大规模构造运动之前的沉积层位,以保证参考面与被恢复层位经历相同的构造运动。区域沉积相分析表明,飞仙关组沉积晚期,包括研究区在内的川北地区台地-海槽格局基本消失,以蒸发台地或潮坪等浅水沉积为主,区域地貌趋于填平补齐。通过已有钻井资料分析,剑阁-九龙山地区飞四底至各层序顶界厚度能较好地反映台盆分异的古地貌格局,台地及台缘带地层厚度减薄区为礁滩发育有利部位(图3)。从区内地震剖面也可以看出,飞仙关组飞四段为一组强振幅反射,发育平行-亚平行反射结构,表明当时沉积环境较稳定,地层厚度横向变化小。沿飞四底拉平后,能很好消除飞四段沉积

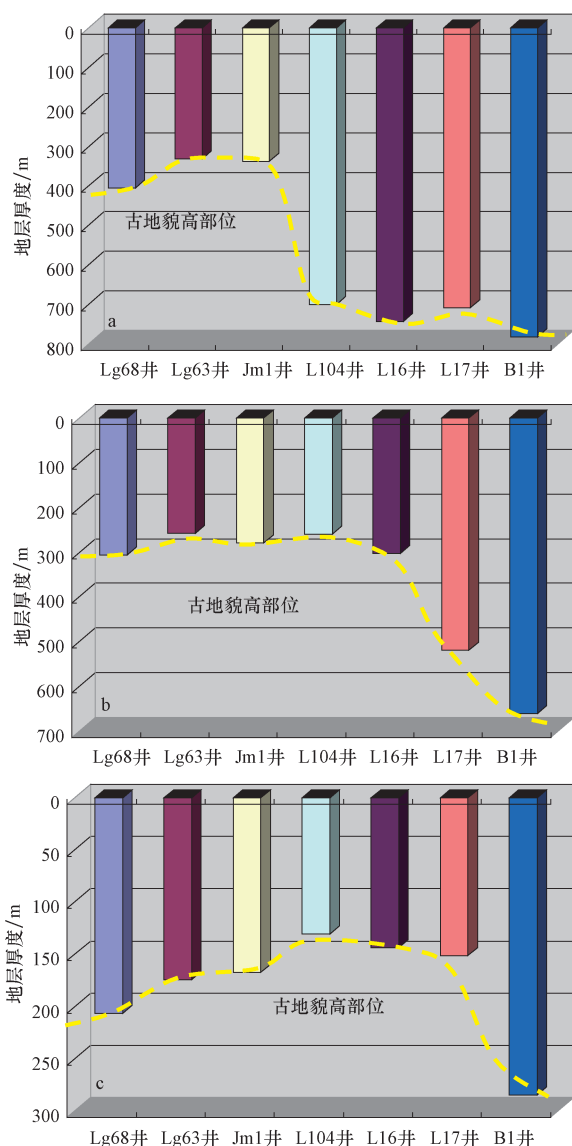


图3 剑阁-九龙山地区飞仙关组飞四段底界至主要沉积界面地层厚度直方图

Fig. 3 Thickness histograms of sediment section from the bottom boundary of Triassic Feixianguan Formation's 4th Member to the Main Sedimentation Boundary of Changxing Feixianguan Formations in Jiange-Jiulongshan region

a. 飞四底至长顶; b. 飞四底到飞二底;
c. 飞四底至飞三底

后构造运动影响,达到近似恢复长兴组与飞仙关组飞一段—飞三段主要地层单元古地貌的目的(图4)。因此,本次研究主要选取飞仙关组飞四底界作为层拉平参考面,利用印模法恢复长兴组与飞仙关组主要层序界面的古地貌形态。

3.2 切片及地震属性分析技术

切片及属性分析是“地震地貌学”研究的重要手段,其基本思想是根据三维地震数据导出的平面图像研究地貌,识别和描述沉积体系及其组成单元。通过对研究区地震层序对比追踪,得到了主要目的层

段的层位信息,这些地震层序界面相当于地质等时面或具有年代意义的地质界面。沿这些层位提取的地震属性反映了不同时期岩性与岩相的变化,也反映了当时的沉积地貌的变化^[9-10]。

以钻、测井及三维地震资料为基础,通过井震标定,分析认为剑阁-九龙山地区长兴组与飞仙关组主要层序界面地震反射特征变化与古地貌存在密切联系。一般古地貌相对高部位地震反射振幅明显减弱,对应台缘及台内正地形的高能滩相沉积;而古地貌相对低部位地震反射振幅增强,一般由相对深水区域泥质含量增加所引起。据此,通过对剑阁-九龙山地区主要地震层序界面制作沿层切片及属性分析,可以反应研究区内主要目的层沉积地貌单元的展布和变化。

4 古地貌演化特征及其对礁滩体的控制

研究区长兴组与飞仙关组古地貌的分布及演化影响了不同时期沉积物的分配和相分异,控制了台缘及台内正地形等高能带的分布和迁移,进而决定了区内礁滩体的展布和纵横向上的迁移规律^[11]。以该区钻测井资料为基础,通过井震结合研究,选取了PSQ2层序顶界、TSQ1层序顶界、TSQ2层序顶界及TSQ3层序顶界等4个对礁滩发育起关键控制作用层序界面进行了古地貌恢复,以此分析长兴组与飞仙关组礁滩体分布及迁移规律。

4.1 长兴组沉积末期

海西末期,受峨眉地裂运动影响,川北地区形成了台槽相间的古地貌格局。剑阁-九龙山地区长兴组沉积期,在上述持续拉张沉陷的构造背景下,整体以海侵期沉积为主,沉积中心位于剑阁及其西南地区,发育开阔台地相及台地边缘相带,岩性为灰色泥晶灰岩、生屑灰岩及生物礁灰岩,向九龙山地区过渡为海槽相的泥质灰岩或泥灰岩等低能沉积^[12-13]。从长兴组沉积末期(PSQ2层序顶界)古地貌特征也可以看出,该区古地貌具有西南高北东低的特征,由南向北依次发育开阔海台地、台地边缘、斜坡及盆地相沉积,台盆分异特征明显(图5)。总体上看,该期台地边缘表现为高低相间的古地貌格局,3个相对高带分别位于Lg62井、Lg63井及Lg68井附近,其台缘坡折带坡度最陡,水动力条件最强,是台缘礁滩体发育最为有利的区域。长兴组顶界均方根振幅属性分布图上对应弱振幅分布区,也表明这3个区域位于有利地震相分布区;3个高带之间的台地边缘隆起幅度相对较低,坡度较缓,礁滩发育情况相对较差,在海平面上升期这些区域也可以成为台内与广海沟通的主要通道。

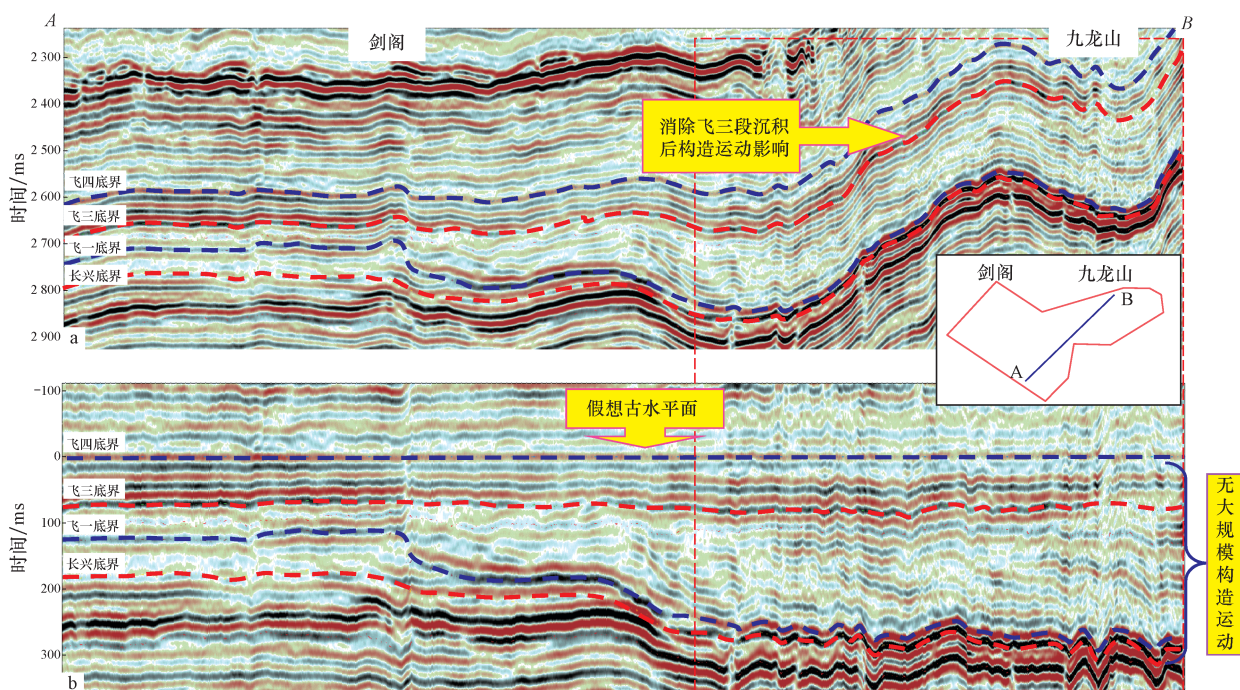


图4 剑阁-九龙山三维任意线沿飞四底层拉平前、后剖面对比

Fig. 4 Comparison of an arbitrary seismic section before and after horizon flattening along bottom boundary of Triassic Feixianguan Formation's 4th Member in Jiange-Jiulongshan region

a. 飞四底层拉平前; b. 飞四底层拉平后

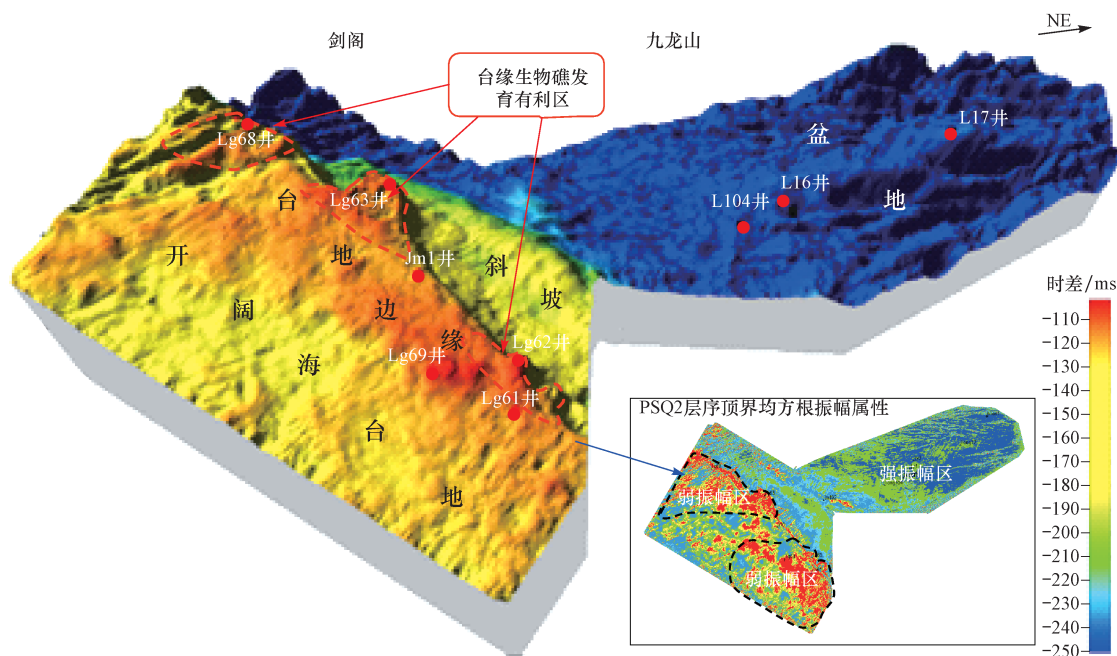


图5 剑阁-九龙山地区长兴组沉积末期古地貌特征

Fig. 5 Paleogeomorphological features in late deposition period of Changxing Formation in Jiange-Jiulongshan region

4.2 飞一段沉积早期

飞仙关组沉积早期,由海西末期的拉张沉陷逐渐进入构造平稳期,海平面变化也由早期的大规模海侵逐渐演变为相对海退^[14]。飞一段沉积早期(TSQ1层序顶界)古地貌特征表明,随着相对海平面下降,研究区沉积中心向九龙山方向迁移,古地貌格局仍然呈西

南高北东低的趋势,由西向东依次发育开阔台地、台地边缘及斜坡相沉积(图6)。区内存在两个古地貌相对高带,第一个高带位于剑阁地区 Lg68井, Lg63井, Jm1井, Lg62井及 Lg61井一线,基本继承了晚二叠世长兴晚期古地貌特征,主要为台内古地貌相对高带;第二个高带是随着相对海平面下降,台缘带向北东方向迁移的产物。TSQ1层序沉积期台地边缘相对长兴期向北

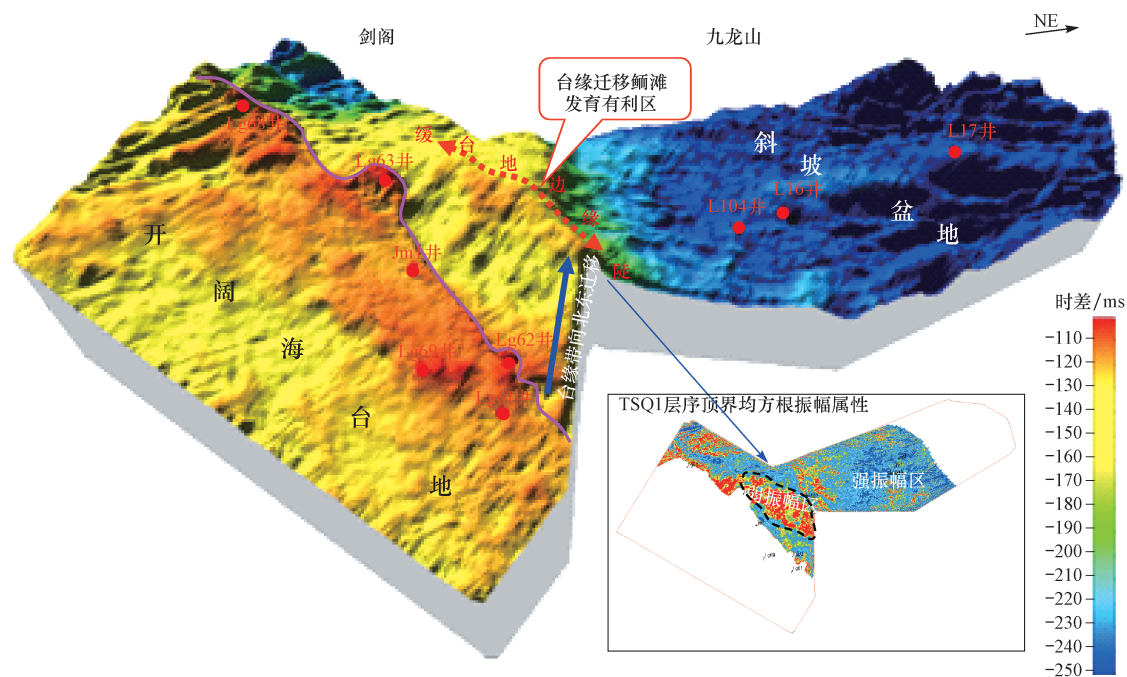


图6 剑阁-九龙山地区飞仙关组飞一段沉积早期古地貌特征

Fig. 6 Paleogeomorphological features in early deposition period of Feixianguan Formation's first section in Jiange-Jiulongshan region

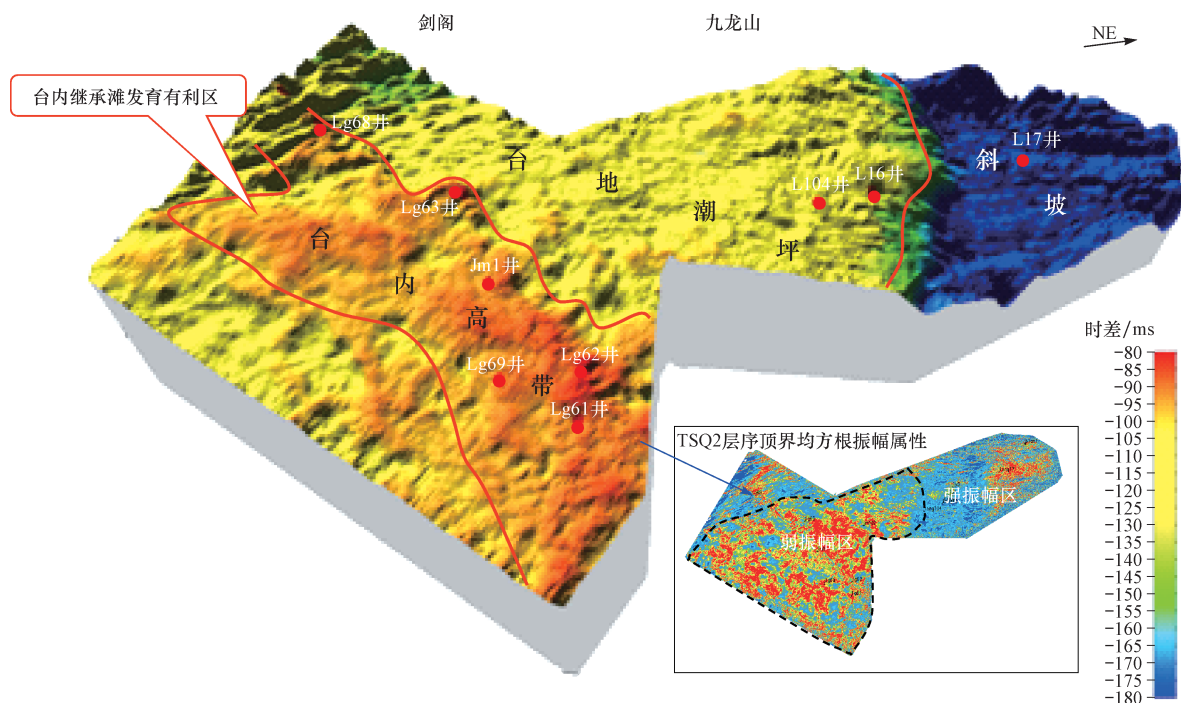


图7 剑阁-九龙山地区飞仙关组飞一段沉积末期古地貌特征

Fig. 7 Paleogeomorphological features in late deposition period of Feixianguan Formation's first section in Jiange-Jiulongshan region

东迁移 10km 左右,这一时期台缘带明显存在东南陡、西北缓的规律,鲕滩发育有利区也主要位于东南部,主要分布于 Lg63 井东北区域,在 TSQ1 层序顶界均方根振幅平面分布图上,该区也位于弱振幅分布区;向西北随着台缘坡折带坡度变缓,逐渐过渡为碳酸盐缓坡模式,鲕滩发育情况变差。

4.3 飞一段沉积末期

飞一段沉积中晚期区内仍然处于构造平稳期,在

整体海退背景下,发育了多个海侵海退旋回,随着相对海平面的迁移,飞一段沉积物不断向深水方向充填,至飞一段沉积末期古地貌已逐渐变得相对平缓。从飞一段沉积末期 (TSQ2 层序顶界) 古地貌特征可以看出,此时台缘坡折带向北东迁移至 L104 井—L16 井附近,沉积模式更接近缓坡模式 (图 7)。剑阁地区依然发育沿 Lg68 井, Lg63 井, Jm1 井, Lg62 井及 Lg61 井一带分布的继承性古地貌高带,该带为飞一段高水位体系域鲕滩发育的有利部位, TSQ2 层序顶界均方根振幅平面

分布图上也可见到相应的弱振幅分布区;由于该期台缘坡折带坡度较缓,水动力条件整体较弱,飞一段形成大规模台缘滩的可能性也较低(L16井及L104井在飞一段未钻遇鲕滩),推测该层序界面附近可能发育缓坡型点滩沉积。

4.4 飞二段沉积末期

飞二段沉积期区域构造背景发生了较大的变化,由构造平稳期转化为构造活跃期,大量陆源碎屑物质向海槽(盆地)方向推进,导致整个台盆体系也相应向海槽(盆地)方向迁移^[15]。与飞一段沉积不同,该期沉积速率增大,沉积物供应速率远大于可容纳空间增长速率,沉积物不断向盆地方向进积,以相对海退期的高位域沉积为主。飞二段沉积末期(TSQ3层序顶界)古地貌特征表明,经过飞二段沉积充填之后,沉积相带继续向北东方向迁移,碳酸盐台地相迁移至L17井附近,斜坡及盆地相逐渐退出研究区(图8)。区内依然存在两个古地貌高带,一是剑阁地区的继承性古隆起区,其分布特征与飞一时期有了较大差异,该高带整体向东迁移,具有西北低东南高的古地貌趋势。从区域地质资料及钻井资料可知,随着龙门山陆源碎屑供应的增加,剑阁地区西北部的Lg68井区已逐渐演化为混积台地沉积环境。第二个古地貌高带位于九龙山构造主体L16井及L104井附近,主要为台缘隆起带,该带呈北西-南东向展布。由于飞二段沉积期,龙门山岛链构造活动活跃、水动力作用增强、碳酸盐沉积速率及内碎屑供应增加,为鲕滩迅速生长提供了客观

条件,因此飞二段沉积期台内及台缘鲕滩体较飞一段更为发育。TSQ3层序顶界均方根振幅平面分布图上也可见到,古地貌相对高部位地震振幅也明显减弱,表明这些区域相对于深水区泥质含量减少,反射界面上下地层波阻抗差减小,为区内典型的鲕滩地震异常响应特征。

5 结论

1) 通过对长兴组与飞仙关组主要层序界面的古地貌恢复,认为剑阁-九龙山地区古地貌整体具有西南高北东低的格局,由南向北依次发育开阔海台地、台地边缘、斜坡及盆地相沉积,台盆分异特征明显。在古地貌演化过程中区内具有台地由西南向北东不断扩张、海槽相应萎缩的变化趋势,反映了长兴期至飞仙关期整体海退、沉积物不断向深水充填的特征。

2) 古地貌作为地层沉积发育的背景,很大程度上控制了沉积物的分配和相分异。长兴期至飞二段沉积早期,以海侵为主要背景,碳酸盐沉积速率相对较低,礁滩体围绕台缘及台内正地形等古地貌高带发育,以垂向叠置为特征;飞二段沉积中晚期,以相对海退为主要背景,碳酸盐沉积速率增高,沉积物以前积式向盆地方向推进,鲕粒滩随台缘高带的迁移以横向叠置为特征。

3) 在剑阁-九龙山地区古地貌发育及演化过程中,区内形成了3个明显的台缘坡折带,第一个台缘坡折带位于剑阁地区的Lg68井-Lg63井-Lg62井一

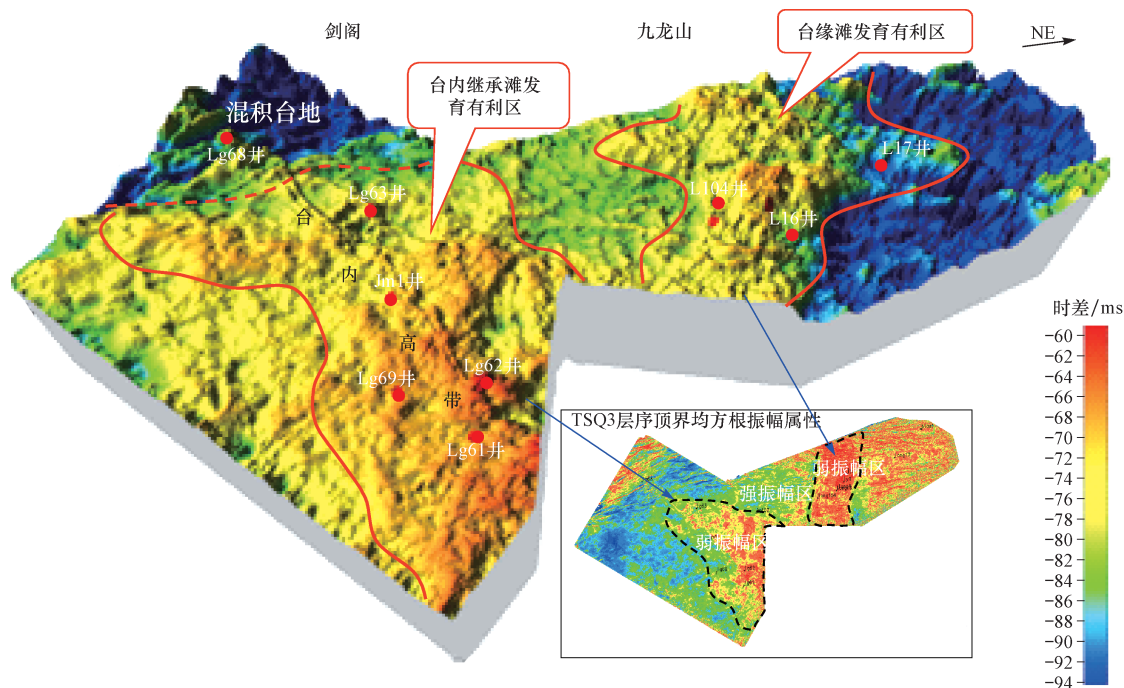


图8 剑阁-九龙山地区飞仙关组飞二段沉积末期古地貌特征

Fig. 8 Paleogeomorphological features in late deposition period of Feixianguan Formation's second section in Jiange-Jiulongshan region

带,为长兴末期继承性古地貌高地,是长兴组与飞仙关组各时期礁滩体垂向叠置发育最为有利的区域;第二个坡折带位于剑阁-九龙山之间,为飞一段沉积早期台缘迁移滩发育的有利区;第三个坡折带位于九龙山构造主体,为飞二段多期台缘滩横向迁移叠置的区域,也是飞仙关组礁滩体发育最为有利的区域。

参 考 文 献

- [1] 王一刚,洪海涛,夏茂龙,等. 四川盆地二叠、三叠系环海槽礁滩富气带勘探[J]. 天然气工业,2008,28(1):22-27.
Wang Yigang, Hong Haitao, Xia Maolong, et al. Exploration of reef-bank gas reservoirs surrounding Permian and Triassic Troughs in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(1): 22-27.
- [2] 冯仁蔚,王兴志,张帆,等. 川西北广旺地区飞仙关组沉积岩石学特征及沉积环境分析[J]. 地质调查与研究,2007,30(2):98-108.
Feng Renwei, Wang Xingzhi, Zhang Fan, et al. Characteristic of sedimentary petrography and depositing environment of the Feixianguan Fm. in Guangyuan-Wangcang Southwestern Sichuan province[J]. Geological Survey and Research, 2007, 30(2): 98-108.
- [3] 张延充,彭才,杨雨,等. 四川盆地飞仙关组高能滩储层地震层序识别[J]. 天然气工业,2010,30(3):8-11.
Zhang Yanchong, Peng Cai, Yang Yu, et al. Identification of seismic sequences of high-energy oolitic beach reservoirs in the Feixianguan Formation in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(3): 8-11.
- [4] 唐金良,俞建宝,赵曙白,等. 基准面变化在地震层序地层研究中的应用[J]. 勘探地球物理进展,2003,26(3):186-190.
Tang Jinliang, Yu Jianbao, Zhao Shubai. Application of sedimentary base level in the study of seismic sequence stratigraphy[J]. Progress in Exploration Geophysics, 2003, 26(3): 186-190.
- [5] 姜正龙,邓宏文,林会喜,等. 古地貌恢复方法及应用[J]. 石油天然气学报,2009,23(5):865-870.
Jiang Zhenglong, Deng Hongwen, Lin Huixi, et al. Methods and application of Paleo-geomorphologies rebuilding[J]. Geoscience, 2009, 23(5): 865-870.
- [6] 韩敏强,蒲仁海,刘海娟,等. 鄂尔多斯盆地延长探区奥陶纪末古地貌恢复与储层预测[J]. 石油与天然气地质,2011,32(54):760-765.
Han Minqiang, Pu Renhai, Liu Haijuan, et al. Reconstruction of the Late Ordovician palaeogeomorphology and reservoir prediction in Yanchang exploration area, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(54): 760-765.
- [7] 吴丽艳,陈春强,江春明,等. 浅谈我国油气勘探中的古地貌恢复技术[J]. 石油天然气学报,2005,27(4):559-564.
Wu Liyan, Chen Chunqian, Jiang Chunming, et al. Paleogeomorphic restoring techniques in China hydrocarbon exploration[J]. Journal of Jiangnan Petroleum Institute, 2005, 27(4): 559-564.
- [8] 彭莉,刘小平,林畅松,等. 塔中隆起晚奥陶世古地貌及其沉积相特征[J]. 石油地球物理勘探,2009,44(6):767-772.
Peng Li, Liu Xiaoping, Lin Changsong, et al. Late Ordovician palaeogeomorphology and its sedimentary facies characteristics in central Tarim uplift[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2009, 44(6): 767-772.
- [9] 朱筱敏,董艳蕾,胡廷惠,等. 精细层序地层格架与地震沉积学研究——以泌阳凹陷核桃园组为例[J]. 石油与天然气地质,2011,32(4):615-619.
Zhu Xiaomin, Dong Yanlei, Hu Tinghui, et al. Seismic sedimentology study of fine sequence stratigraphic framework: a case study of the Hetaoyuan Formation in the Biyang Sag[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 615-619.
- [10] 刘继顺,毕殿,姚一林,等. 地震沉积学在杏树岗油田扶余油层中的应用[J]. 石油地球物理勘探,2011,11(11):2569-2573.
Liu Jishun, Bi Dianhui, Yao Yilin, et al. Seismic sedimentology and its application in Fuyu layer of Xingshugang Oil Field[J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(11): 2569-2573.
- [11] 邹德江,于兴河,李胜利,等. 古地貌对储层沉积体系控制作用分析[J]. 石油天然气学报,2009,30(2):175-179.
Zou Dejiang, Yu Xinghe, Li Shengli, et al. Analysis on control of paleogeomorphology to reservoir sedimentary system[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2009, 30(2): 175-179.
- [12] 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):458-462.
Ni Xinfeng, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Sedimentary framework of Changxing-Feixianguan Formations and its control on reservoiring in northeastern Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(4): 458-462.
- [13] 洪海涛,王一刚,杨天泉,等. 川东北地区长兴组沉积相和生物礁气藏分布规律[J]. 天然气工业,2008,28(1):38-41.
Hong Haitao, Wang Yigang, Yang Tianquan, et al. Sedimentary facies of Changxing Formation and distribution of organic reef gas reservoirs in northeastern Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(1): 38-41.
- [14] 王兴志,张帆,马青,等. 四川盆地东部晚二叠世一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.
Wang Xingzhi, Zhang Fan, Ma Qing, et al. The characteristics of reef and bank and the fluctuation of sea-level in Feixianguan period of late Permian-Early Triassic, East Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(2): 249-254.
- [15] 陈洪德,钟怡江,侯明才,等. 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[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):539-545.
Chen Hongde, Zhong Yijiang, Hou Mingcai, et al. Sequence styles and hydrocarbon accumulation effects of carbonate rock platform in the Changxing-Feixianguan formations in the northeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 539-545.

(编辑 董立)