

四川盆地东北部下三叠统飞一—飞三段 孤立碳酸盐岩台地沉积相及相关研究

冯仁蔚¹ 王兴志¹ 张帆¹ 庞艳君¹ 陈更生² 杨雨² 杨天泉²

(1.西南石油大学资源与环境学院,四川成都 610500;2.中国石油西南油气田分公司,四川成都 610051)

摘要:四川盆地东北部在早三叠世飞仙关期的大部分时间内(飞一—飞三期)属于四周被深水海槽围绕的、受南秦岭海演化拉张断裂而形成的一个碳酸盐孤立台地环境,随四级海平面的升降变化、开江—梁平海槽的逐渐关闭和城口—鄂西海槽的东移,各种孤立台地亚相发生移动和转变,最终在飞三晚期至飞四早期孤立台地转化合并为川东北大型连陆台地。根据区域地质背景和地层沉积特征(岩性、古生物、沉积构造、测井)研究,划分了潟湖(包括蒸发潟湖、局限潟湖、半局限潟湖和点滩)、台地边缘滩、斜坡、海槽 4 个亚相;建立起孤立台地的沉积立体模式并分析了沉积相从飞一—飞三期的展布及演化过程;最后着重剖析了具备后期形成良好储层条件的孤立台地边缘滩相带的迁移性、储层发育不均一性、测井和地震特征,沉积相对滩滩气藏分布的控制,最后对孤立台地边缘滩相中有望成为新的天然气勘探突破区进行了地震横向分布预测。

关键词:川东北;飞仙关组;孤立碳酸盐岩台地;沉积相

中图分类号:P588.24*5 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2008)01-0054-13

孤立碳酸盐台地^[1-4],是指孤立的或独立的,被较深水—深水盆地或斜坡所包围的浅水台地,有点像“海岛”^[5,6]而生长在深水盆地中,与连陆台地形成明显的区别。Mullins^[7]和 Neumann^[8]认为其边缘是陡倾斜的,类似于镶边陆棚的边缘;Read^[9]指出“碳酸盐孤立台地常位于断陷陆壳或过渡带上”,较陡边缘的坡度可达 60°或更大,高度差在数百米到 4 km。四川东北部地区在晚二叠世—早三叠世处于被动大陆边缘,与南秦岭洋演化有关的拉张断裂作用明显,形成了多组 NNW、NE 和 SWW 向断裂,具备孤立台地形成的基本条件:①存在明显的台地坡折带和陡坡带;②具有一条近连续沉积的高能相带;③台地内部的水体浅;④台地四周是较深水—深水的海槽或斜坡沉积区。

1 区域地质背景

川东北地区位于四川盆地的东北部,处于东经

108°6′—109°36′、北纬 31°8′—32°6′的范围内,涉及四川省境内的万源、宣汉、达县、开江和重庆市境内的梁平、开县、云阳、城口和巫溪等县(市),面积约 20 000 km²。从传统的大地构造观点来看(图 1),研究区位于“扬子准地台”的西北边缘,与华北板块南缘相邻。区域构造处于现今四川盆地大巴山弧前褶皱带与川东断褶带的交汇处。发育了北东东向的温泉井构造带,北北西向的铁山坡、雷西、黄金口和七里峡构造带,北西向的老鹰岩、金珠坪等构造带,以及中央区域的五宝场构造(凹陷)盆地。

晚二叠世长兴期的地裂运动导致南秦岭拉裂使开江—梁平、万源—巫溪、七跃山一带形成多条同生断层,断层下降盘形成海槽,上升盘形成台地,断层面则构成了陡峻的斜坡地带,东侧是城口—鄂西海槽,西部是开江—梁平海槽^[10],南部是两个海槽的主要连通区,飞一—飞三段时期的孤立碳酸盐岩台地与南边的川东大型连陆台地隔海相望(图 2)。

收稿日期:2007-03-14;改回日期:2007-06-05

基金项目:教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NCET-04-0911);四川省重点学科建设项目(SZD0414)资助。

作者简介:冯仁蔚,男,1982 年生,博士生,研究方向为沉积学及储层地质学;E-mail:frwswpu@126.com。

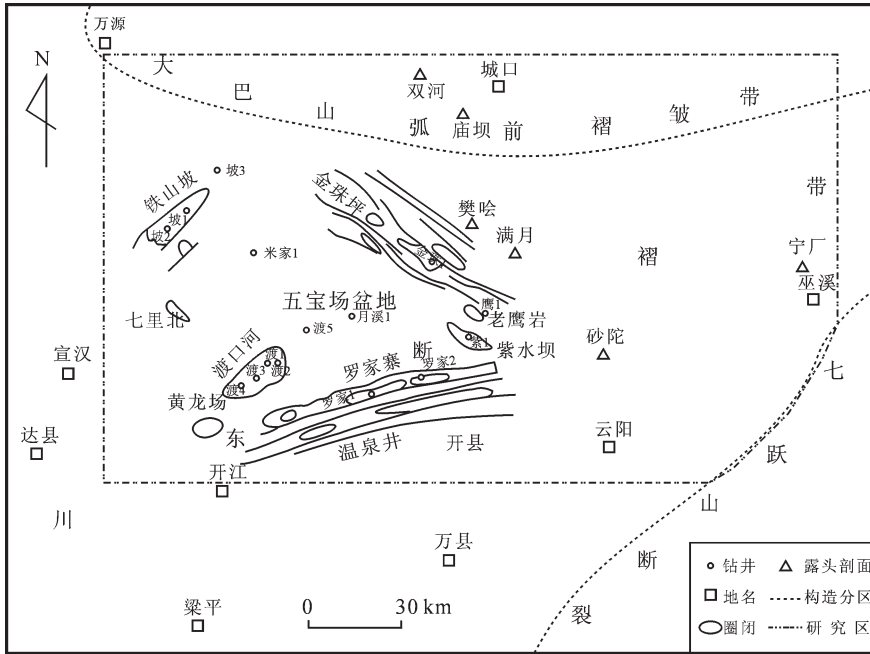


图 1 研究区位置图

Fig.1 Location map of the study area

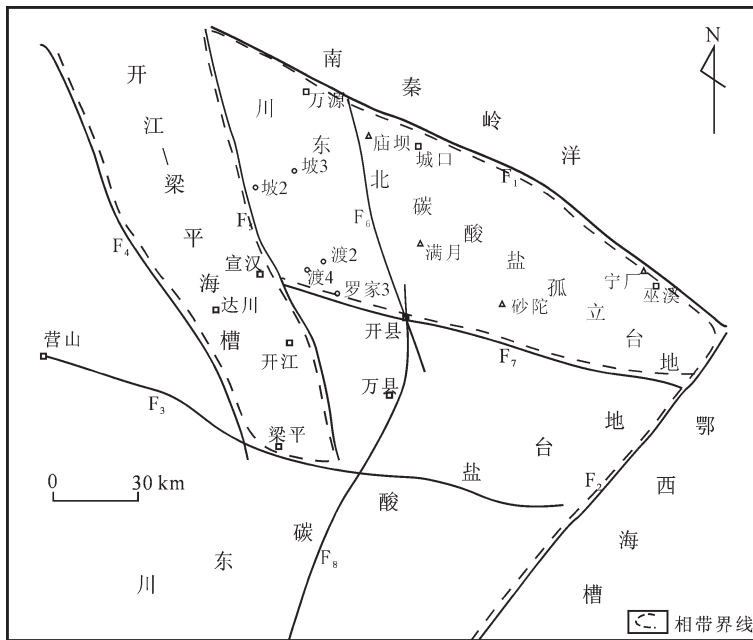


图 2 基底断裂及沉积相分布图

F₁—万源—巫溪断裂; F₂—七跃山断裂; F₃—大竹梁平断裂; F₄—达县—梁平断裂; F₅—云安—黄龙断裂;
 F₆—万源—开县断裂; F₇—开江—开县断裂; F₈—万县—长寺断裂

Fig.2 Distribution of basement faults and sedimentary facies

F₁—Wanyuan-Wuxi fault; F₂—Qiyueshan fault; F₃—Dazhu-Liangping fault; F₄—Daxian-Liangping fault;
 F₅—Yunan-Huanglong fault; F₆—Wanyuan-Kaixian fault; F₇—Kaijiang-Kaixian fault; F₈—Wanxian-Changshou fault

2 孤立台地——海槽地层特征(图3)

2.1 飞一段

区内既处于一个三级海平面的最大海泛期,又处于一个四级海平面的高海平面期,水体深度大;到飞一晚期海平面有所下降。孤立台地形成的主要是灰、浅灰色的泥晶灰岩、泥粉晶白云岩和鲕粒白云岩(储集岩),局部井区,如紫1、鹰1、金珠1和坡3井含有较多的石膏,含化石 *Claraia wangi* 组合类型,自然伽马较光滑平直的低值,仅在低部较高;而两个海

槽内堆积一套中—薄层状深灰、灰黑色的泥质泥晶灰岩、泥晶灰岩、泥岩夹重力流砂砾屑灰岩,对应的底部常为大段高自然伽马低电阻率,向上自然伽马降低、电阻率增高,顶以明显的低自然伽马高电阻率结束。地层厚度为60~320 m。

2.2 飞二段

区内处于一个三级和一个四级海平面下降期,水体相对变浅。孤立台地地区主要由厚层至块状的浅灰、褐灰、灰色鲕粒白云岩(储层)和泥晶灰岩、膏岩、泥粉晶白云岩组成,含化石 *Claraia tachei* 组合类型,

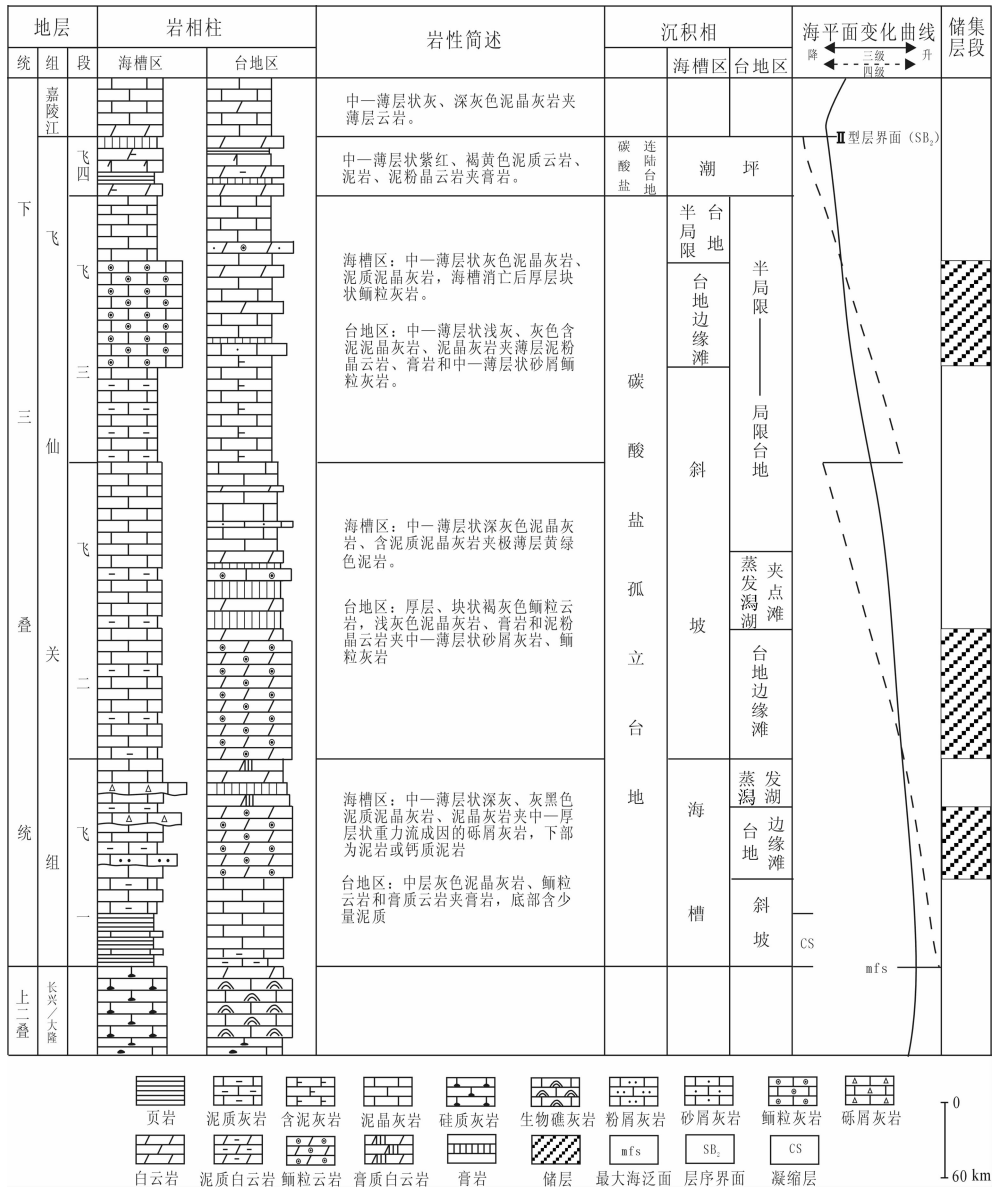


图3 川东北地区下三叠统飞仙关组地层、海平面变化及特征简图

Fig.3 Diagram showing the strata, sea level change and features of the Lower Triassic Feixianguan Formation in northeastern Sichuan

自然伽马为低值的锯齿状,向上有降低的趋势;在海槽内堆积了一套中—薄层状深灰色泥晶灰岩、含泥质泥晶灰岩夹极薄层黄绿色泥岩;自然伽马为略高值的锯齿状,向上有降低的趋势,电阻率略有升高。地层厚度为 80~390 m。

2.3 飞三段

区内处于该三级海平面下降的晚期和一个四级海平面的高海平面期,水体较飞二段深。孤立台地区和海槽的多数地区堆积了一套灰、浅灰色厚层的泥晶灰岩、云质泥晶灰岩夹膏质泥晶白云岩,局部发育厚层块状鲕粒灰岩可做良好储层,含化石 *Claraia aurita* 组合类型,自然伽马下部为变化较大的锯齿状,向上值降低,并趋于平滑。地层厚度为 70~170 m。

2.4 飞四段

区内处于一个三级海平面下降的末期和一个四级海平面的低海平面期,水体极浅。随着开江—梁平海槽消失,川东北孤立碳酸盐岩台地以及整个川东地区演化为一个较为均一的连陆碳酸盐台地,区内处于这一台地的潮坪—潟湖环境中。主要堆积了一套紫红、褐黄、浅灰色的泥质白云岩、泥岩夹膏岩类等潮坪沉积,并含较多暴露标志,含化石 *Eumorphotis multitoymi* 类型,自然伽马表现为大块高值的锯齿状,变化幅度较大,电阻率较低。地层厚度 30~200 m。

3 孤立台地——海槽沉积相类型及特征

根据野外实测剖面、井下岩心和录井资料观察分析,综合前人的研究成果^[12],认为研究区下三叠统飞仙关组 1~3 段的孤立碳酸盐岩台地相进一步分为潟湖、台地边缘、斜坡、海槽 4 个亚相。

3.1 潟湖相

根据潟湖水体的盐度和沉积产物等特征进一步划分为蒸发潟湖、局限潟湖、半局限潟湖和点滩微相。

3.1.1 蒸发潟湖

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,主要由大套灰、浅灰色的、塑性变形而形成肠状构造的膏岩和回流渗透交代成因的、发育水平层理的花斑状膏质泥粉晶白云岩及泥粉晶白云岩组成。该相带在电性特征上十分醒目,表现为高锯齿状高阻、低锯齿状伽马、高密度值及锯齿状低声波,纵向上常分布在台地边缘滩的上部,平面上多位于区内中部紫 1、鹰 1、金珠 1、

坡 3 和朱家 1 井一带的飞一段和飞二段台地边缘滩的内侧,向四周减薄。由于沉积物粒度较细且含大量石膏,受压实影响孔隙度 $<2\%$,储集性极差,仅能作为良好的盖层。

3.1.2 局限潟湖

该相带环境与广海水体之间的连通性变化较大,水体循环受到一定程度的限制。由于受到频繁的低级海平面升降(五级)变化影响,当海平面下降时形成回流渗透交代泥粉晶白云岩;当海平面上升时形成盐度正常的、中—薄层状、深灰色的泥晶灰岩沉积,故两者常组成旋回性沉积且不等厚互层,发育水平层理、生物扰动构造及少量结核状、透镜状膏质组分。此沉积相带主要出现在区内多数井区的飞二晚期—飞三段早期。在后期压实影响下,一般只能形成致密岩体,孔隙度多 $<2\%$,常作为盖层。

3.1.3 半局限潟湖

该相带位于台地内部靠近广海一侧,连通性相对较好,水体能量虽低,但循环较好,盐度略高。主要堆积中—厚层状灰、浅灰、褐灰、紫灰色的泥晶灰岩、含泥泥晶灰岩及少量生屑泥晶灰岩,水平层理发育,见有孔虫、双壳类、腹足类。主要分布在飞三段中晚期的区内大部分地区 and 飞四段时期的庙坝—宁厂一带。经过后期成岩作用的改造,岩性致密,其平均孔隙度 $<1.5\%$,仅能作为盖层。

3.1.4 点滩

台地潟湖内局部地貌高地或由沉积作用、生物作用形成的隆起区,受一定波浪和潮汐作用的改造,主要由中—薄层状、透镜状灰、浅灰色的泥亮晶砂屑灰/云岩、泥亮晶鲕粒灰/云岩、亮晶生屑灰岩和含生屑亮晶砂屑鲕粒灰岩形成的点滩沉积体,小型交错层理发育,顶部常有波痕。点滩具有数量多、规模小、逆粒级递变、厚度 0.5~6 m,横向分布不稳定,随机分布性强,多以中—薄层状和透镜状分布在大套的细粒沉积物之间,与之渐变过渡或突变。区内主要发育飞一段时的坡 3 井和金珠 1 井,飞二段时期的罗家 5 井,飞三段时期的坡 1、坡 2 井、渡 4 井和飞四段时期的庙坝一带。点滩亮晶胶结后难于云化和溶解,孔隙度 $<1\%$,无储集性。

3.2 台地边缘鲕滩

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 20~100 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。在后期的改造中,鲕粒白云岩常被溶蚀形成大量的溶蚀孔,宏观面孔率一般 5%~15%,平均孔隙度在 10%左右,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。飞一段时期,鲕粒滩沿坡 1—渡 5—罗家 5—满月—河口一线呈环带状分布;至飞二段时期,该鲕粒滩向深水区一侧迁移至坡 2—渡 2—罗家 2—砂陀—鸡唱—河口一带;到飞三段时期,此滩体则快速移动到黄龙 2—天东 23—门南 1—宁厂—城口一线;飞四段时期,区内仅在东北角的镇平一带有所分布。

3.3 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。该类沉积物经后期成岩后变得致密,储集性能极差,孔隙度一般小于 1%,仅能作为差的生油岩。但值得注意的是,该相带在开江—梁平海槽东侧处于深埋藏环境之中,邻近海槽生油区,重力流成因的颗粒沉积体在有机质成岩演化过程中,可受到酸性地层水的影响,发生溶解作用,可能形成具有一定储集性能的储集体,构成成岩—岩性圈闭体,这一点从其他地区在深水沉积相带中发现有大量的浊流型油气藏可得到证实。

3.4 海槽相

区内飞仙关期属于真正意义上的深水海槽仅存于飞仙关早期西部的开江—梁平海槽和东部的城

口—鄂西海槽,形成的地层相当于这些部位的飞—飞二段。前者形成于晚二叠世秦岭洋开裂形成的裂谷延伸至区内,到飞仙关期区域上的海平面下降及古断裂性质发生逆转、“填平补齐”晚二叠世形成的深水欠补偿海槽,沉积厚度则大于 600 m,最大可达 800 m(如罐 10 井)。沉积产物单调,主要由薄层、极薄层的灰黑、深灰色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩和钙质泥岩组成,发育水平层理,化石稀少,电性特征表现在自然伽马为高值的锯齿状,电阻率较低。后者形成于早二叠世南秦岭洋的扩张期,在早三叠世后随南秦岭洋的收缩和海平面的下降而迅速向东迁移。沉积厚度小于开江—梁平海槽,约为 400 m。岩性以中—薄层状灰黑、深灰色的泥岩、钙质泥岩和泥质泥晶灰岩为主,发育水平层理,富含有机质,具有良好的生油能力。

4 孤立台地沉积模式

在飞仙关组沉积时期,研究区基本属于一个以坡 3—朱家 1—金珠 1—樊吟—鹰 1 井一线为中心的、近 NNW 向展布的椭圆状碳酸盐孤立台地。由中心向四周依次发育以下相带:①蒸发潟湖—台内点滩沉积区;②台地边缘鲕滩沉积区;③斜坡沉积区;④海槽沉积区。其中西部的开江—梁平海槽的水体深度、坡度和堆积的地层厚度大于东部的城口—鄂西海槽,但分布范围明显较后者狭窄。图 4 代表川东北地区早三叠世飞仙关期飞—飞三段时期的孤立台地沉积立体模式。

5 各时期沉积相平面展布及演化

5.1 飞一段时期

早三叠世飞仙关初期的飞一段时期,川东北地区基本继承了早期的沉积格局,即为一四面由深水海槽或较深水斜坡围绕的碳酸盐孤立台地。由台地内部向海槽方向依次出现蒸发潟湖、台地边缘鲕滩、斜坡和海槽(图 5)。蒸发潟湖位于坡 3—金珠 1—樊吟—鹰 1 一带,四周由台地边缘滩围绕。台地边缘鲕滩位于坡 1—渡 5—罗家 5—满月—河口一线,向西北方向可能继续延伸。斜坡沿坡 2 井西—罗家 2—马槽 2—鸡唱—双河一线与七里 6—天东 8—云安 6—城口一线之间分布,西部狭窄,东南部宽阔。双石 1—温泉 1—天东 7 井一线及西南部为开江—梁平海槽,在区内分布范围较小;东部的城口以东—宁

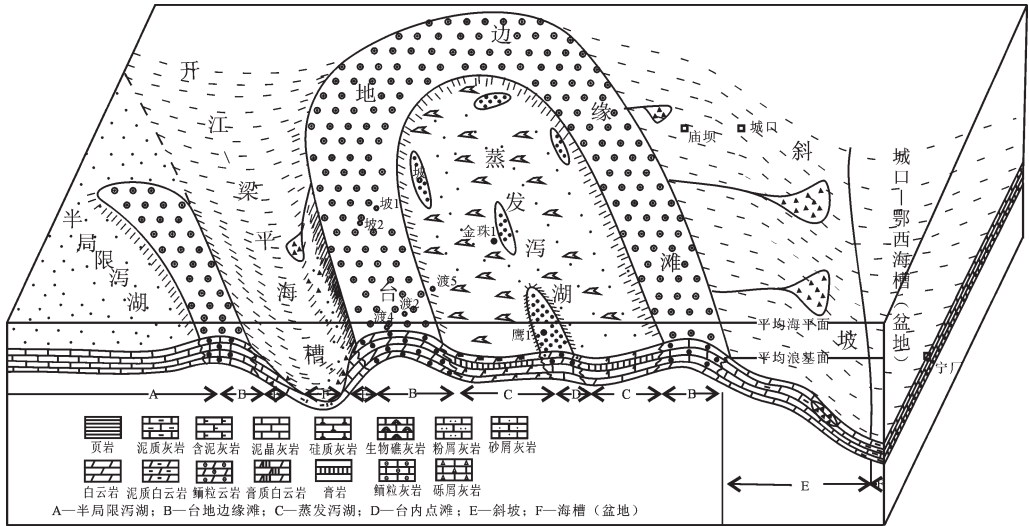


图 4 川东北地区飞一—飞三段时期孤立碳酸盐台地沉积立体模式图

Fig.4 Stereo depositional model of isolated carbonate platform from phases 1 to 3 of the Early Triassic Feixianguanan age in northeastern Sichuan

厂一带则属于城口—鄂西海槽,范围宽阔。

5.2 飞二段时期

飞仙关期的飞二段时期,受印支运动的影响,南秦岭洋自东向西逐渐闭合,导致川东北地区自晚二叠世以来的拉张活动停止,构造开始回返。在区域性海平面下降的影响下,台地范围逐渐扩展,深水区沉积速度加快,区内的开江—梁平海槽内水体有所变浅,并演化为斜坡环境;同时,城口—鄂西海槽向东部迁移至区内的东北角。台地内部与早期海槽的连通性仍然很差,形成一个范围扩大的孤立台地(图6)。蒸发泻湖随台地边缘向深水区扩展至朱家1—渡5—罗家5—红花—双河一线。台地边缘鲕滩向深水区扩展到坡2—渡2—罗家2—砂陀—鸡唱一线,主要堆积一套鲕粒沉积,其厚度占相应地层厚度的50%以上。斜坡沉积在区内分布较广,处于台地边缘滩以外的广大地区。由于飞一段时期的填平补齐和海平面的下降,区内早期开江—梁平海槽和城口—鄂西海槽区大多演化为水体相对较浅的斜坡沉积区,仅在北东部的镇平一带保留有深水海槽沉积。

5.3 飞三段时期

进入飞三段时期,川东北碳酸盐孤立台地发育至鼎盛时期,台地迅速向周围扩展,并在飞三段末期与整个川东碳酸盐连陆台地相连,形成一个统一的

台地环境。与此同时,区内可能伴随有一级次级海平面(四级)的快速上升或是构造作用导致台地整体下降,使得台地边缘和台内水体较早期深,台地内面积扩大,与广海的连通性变好,水体盐度降低。总体演化为一个较开阔的孤立台地(图7)。半局限—局限泻湖主要分布在区内渡4—开县—马槽1—庙坝—双河一线的内部和西南部,其中局部有小型台内点滩,如坡2—坡1井一带。台地边缘滩位于七里6—天东23—门南1—宁厂—城口一线,堆积的是一套厚层鲕粒灰岩夹泥—粉晶灰岩。区内西侧早期的开江—梁平海槽在填平补齐作用的影响下基本消失,并演化成台地的一部分;城口—鄂西海槽也快速迁移至研究区外的东部。整个研究区飞三段时段的沉积厚度与其他沉积区的厚度差已明显减小,说明区内沉积地貌差异在飞三期已明显缩小,仅在北东侧、东南侧有少量较深水的斜坡沉积。

5.4 飞四段时期

飞仙关期的飞四时期,整个四川盆地处于晚二叠世—飞仙关期三级海平面升降旋回的末期,快速的碳酸盐沉积作用使区内孤立碳酸盐岩台地环境演化(合并)为川东大型连陆台地的浅水低能的潮坪—泻湖环境,开江—梁平海槽完全消失,城口—鄂西海槽也远

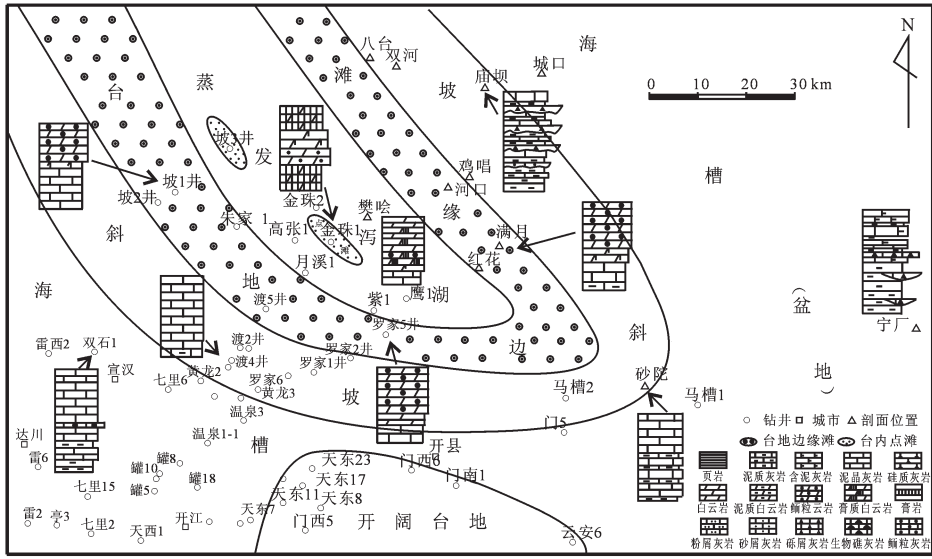


图5 川东北地区早三叠世飞一段时期孤立碳酸盐岩台地沉积相平面展布图

Fig.5 Distribution of sedimentary facies of isolated carbonate platform in phase 1 of the Early Triassic Feixianguan age in northeastern Sichuan

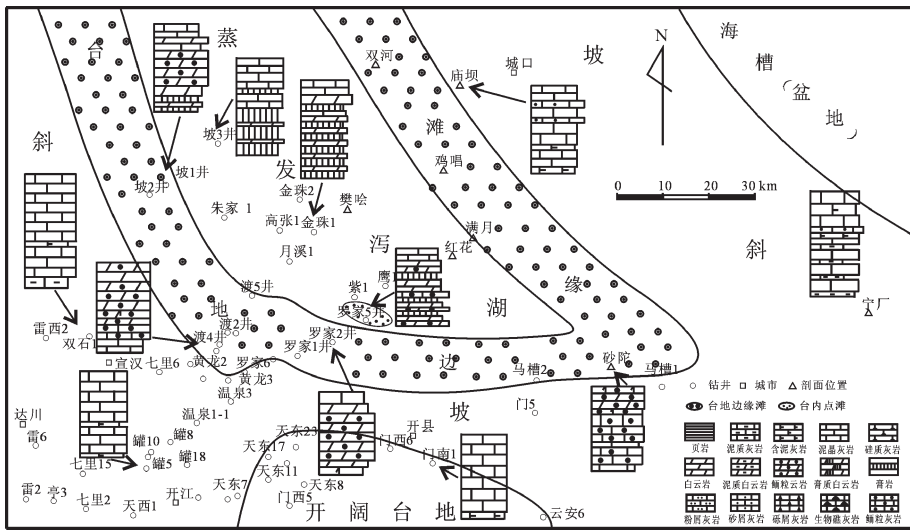


图6 川东北地区早三叠世飞二段时期孤立碳酸盐岩台地沉积相平面展布图

Fig.6 Distribution of sedimentary facies of isolated carbonate platform in phase 2 of the Early Triassic Feixianguan age in northeastern Sichuan

离本区,台地边缘滩仅在区内的东北侧镇平一带有所分布(图8)。区内由西向东,沉积环境中水体变深、盐度降低。在樊哙—开县一线以西,主要是一潮坪沉积区;双河—满月—砂陀—云安6井一线为局限潟

湖;城口—宁厂一带则主要是半局限潟湖分布区。

6 孤立台地边缘滩相的综合分析

研究表明,川东北地区飞仙关组储层特征及分

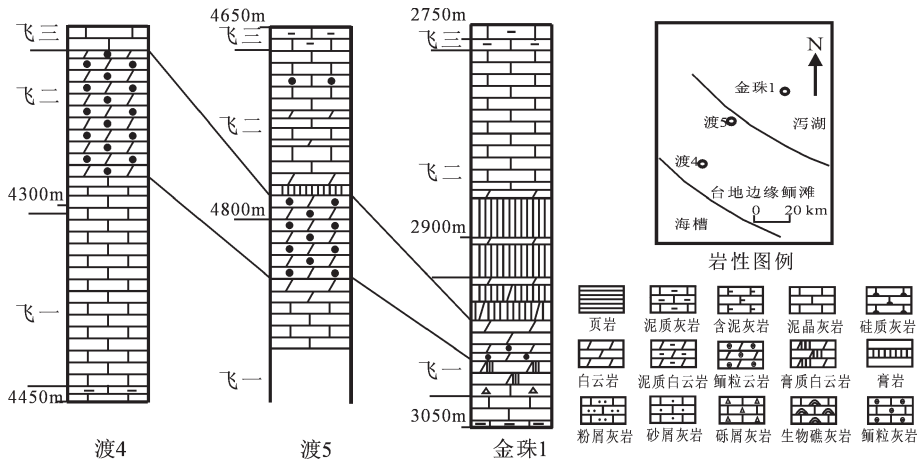


图9 渡4井—金珠1井储层对比图
Fig.9 Correlation of the reservoir shown by wells Du 4 to Jinzhu 1

内瀉湖向台地边缘鲕滩储层发育层位又不断迁移抬升,相带的迁移造成了储层在较大范围内分布,规律性十分明显;横向上,储层主要分布在环开江—梁平海槽和城口—鄂西海槽的台地边缘滩中,就具体地区来说,其储层主要分布在铁山坡—渡口河—罗家寨—砂陀—满月—双河一线,分布较为稳定,分布面积大。

6.2 边缘鲕滩相储层发育的不均一性

环海槽分布的台地边缘鲕滩相储层发育程度极不均一,靠近开江—梁平海槽的发育程度远较靠近城口—鄂西海槽及海槽连通区大。前者储层孔隙度一般在8%以上,渗透率一般在 $10 \times 10^{-3} \mu m^2$ 以上,储层厚度一般在60m以上,后者储层孔隙度一般 $<6\%$,渗透率一般 $<1 \times 10^{-3} \mu m^2$,储层厚度一般在20m以下。究其原因,是孤立台地的不对称性造成。开江—梁平海槽和城口—鄂西海槽是不对称的箕状断陷海槽,不对称的海槽造就了不对称的孤立碳酸盐台地,台地西南侧靠近开江—梁平海槽的陡坡带,水体相对较浅(图10),台地东北侧靠近城口—鄂西海槽的缓坡带,水体相对较深。这样台地西南侧的台地边缘鲕滩在沉积时水动力能量就更高、鲕粒岩更发育。同时,由于古地貌高,滩更容易暴露在海平面之上,因而有利于混合水白云石化和同生—准同生期的溶蚀作用。另外,由于靠近海槽的陡坡带,断裂较发育,有利于埋藏期有机酸性水的活动,因而埋藏溶蚀作用也较强烈。

以上原因使得台地西南侧的台地边缘滩储层发育良好。台地东北侧的台地边缘滩其沉积和成岩条件正好相反,因而储层发育较差,其储层发育情况在

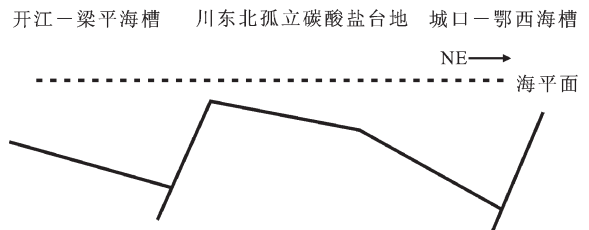


图10 孤立台地形态示意图
Fig.10 Diagrammatic map of the shape of the isolated platform

一定程度上类似于开江—梁平海槽西南侧的台地边缘滩。另外,台地东北部和城口—鄂西海槽地区抬升相对较早,可能在燕山期就已开始,这种情况也不利于埋藏溶蚀作用进行。

6.3 沉积相对边缘鲕滩气藏分布的控制

(1)川东飞仙关组边缘滩气藏均分布于鲕粒岩发育厚区的溶孔鲕粒云岩及溶孔鲕粒灰岩中,沉积相对鲕粒岩的控制从而制约了气藏储层的分布。沉积相还对成岩作用有明显的控制作用,如早期的溶解作用、混合水云化作用都与滩体暴露有关。鲕粒云岩分布在边缘滩形成大型气藏,而鲕粒灰岩在台内只形成小型分散气藏。

(2)鲕滩气藏的盖层主要是潮坪相的泥灰岩、泥页岩、泥晶灰岩、石膏层以及台地瀉湖相的泥晶灰岩。这些岩层发育非常致密从而封盖保存储层内的工业气流。

(3)飞仙关组边缘滩气藏的烃原来自下伏上二叠统的烃源岩,而 T_f 海槽相地层亦具有较强的生烃潜

力,烃源岩的类型及分布明显受沉积相带的控制。

6.4 边缘鲕滩沉积相对地球物理特征的控制

6.4.1 测井方面

①测井响应特征

该区边缘鲕滩气层和水层均具有低声阻抗特征($1.32 \times 10^7 \sim 1.87 \times 10^7 \text{ kg/m}^2\text{s}$, 门限值为 $1.66 \times 10^7 \text{ kg/m}^2\text{s}$), 并与围岩的高声阻抗($1.77 \times 10^7 \text{ kg/m}^2\text{s}$)明显区分。区别是:产气层的电阻率一般呈中—高阻($2.98 \sim 4.31 \Omega \cdot \text{m}$, 门限值为 $3.65 \Omega \cdot \text{m}$)与较致密的围岩特征相近;产水层的电阻率表现为较低值与气层和致密围岩差异较大。此现象在渡口河地区较为明显。

②FMI 在边缘鲕滩相中应用

在储层沉积构造特征及孔、洞、缝分析方面,FMI 井周成像测井具有优势。图 11 为罗家 2 井 4255~4257 m 的边缘滩储层,井周围出现大范围的暗色板块,显示溶孔极为发育(图 11-①②)且有顺层发育的趋势;储层中存在大量层理及交错层反映边缘鲕滩相水流反复淘洗的主要特征(图 11-③④)。

6.4.2 地震方面

①地震响应特征

边缘鲕滩储层在地震剖面中清楚显示飞仙关组内部存在 3 个较强相位,第一相位为飞四段泥灰岩的反射,强度弱,但连续性较好。第二、三个强同相轴为边缘滩储层反射,时差为 $0.02 \sim 0.03 \text{ s}$, 对应厚度 $40 \sim 80 \text{ m}$ 。因此,在边缘滩储层发育区与非储层之间

形成强的波阻抗界面,一般出现两个相位的反射(图 12),而在其他区则无此反射。

②地震异常特征识别

飞一至飞三段由于地震“亮点”也即鲕滩储层和石膏的存在,使得如何区分“亮点”就成为油气勘探成功与否的关键。鲕滩储层的低速低密度对应的围岩(非鲕滩层)高速高密度;石膏较高的声波时差和较高的密度对应的围岩(非石膏层)则是较低的声波时差和较低密度的特征。两者在地震剖面上都形成了较强的反射,因此较难区分。根据分析,认为边缘滩的地震异常特征在剖面上表现为强振幅、多相位、反射波纵向位置靠前的特征;而蒸发台地的石膏层表现为弱振幅、相位减少、反射波纵向位置靠后的特征。

③滩体储层的地震横向分布预测

采用地震常规、高分辨率、Strata 速度反演剖面对川东北地区飞仙关组鲕滩储层进行综合预测(图 13),川东北地区飞仙关组具有一定规模的鲕滩储层(I+II 级)发育区块共 30 块,I 级鲕滩储层发育区面积为 426.5 km^2 , II 级鲕滩储层发育区面积为 458.6 km^2 , 累计面积为 885.1 km^2 。目前勘探证实,在铁山坡南段—渡口河—罗家寨一带的台地边缘地区,预测的 I+II 级地震异常区最有勘探价值且已获得 3 个大、中型气田,地震异常与边缘鲕滩储层对应关系良好。在铁山坡和渡口河构造之间,还有较多的未经钻探的构造圈闭,如东升、扬家坪、黄家场、黄

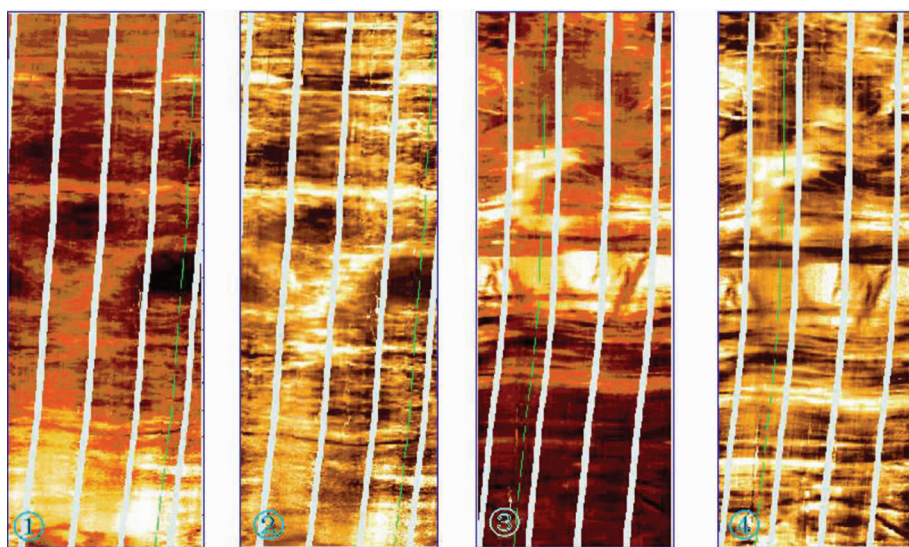


图 11 罗家寨构造罗家 2 井飞仙关组鲕滩储层 FMI 测井图

Fig.11 FMI borehole log of the oolitic beach reservoir of the Feixianguan Formation of well Luoja 2 of the Luoja structure

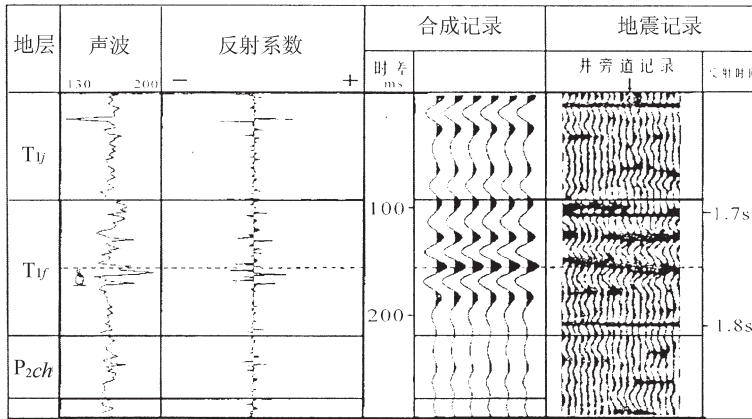


图 12 渡 1 井飞仙关组鲕滩储层声波地震合成记录

Fig.12 Composite acoustic wave-seismic record of the oolitic beach reservoir of the Feixianguan Formation of well Du 1

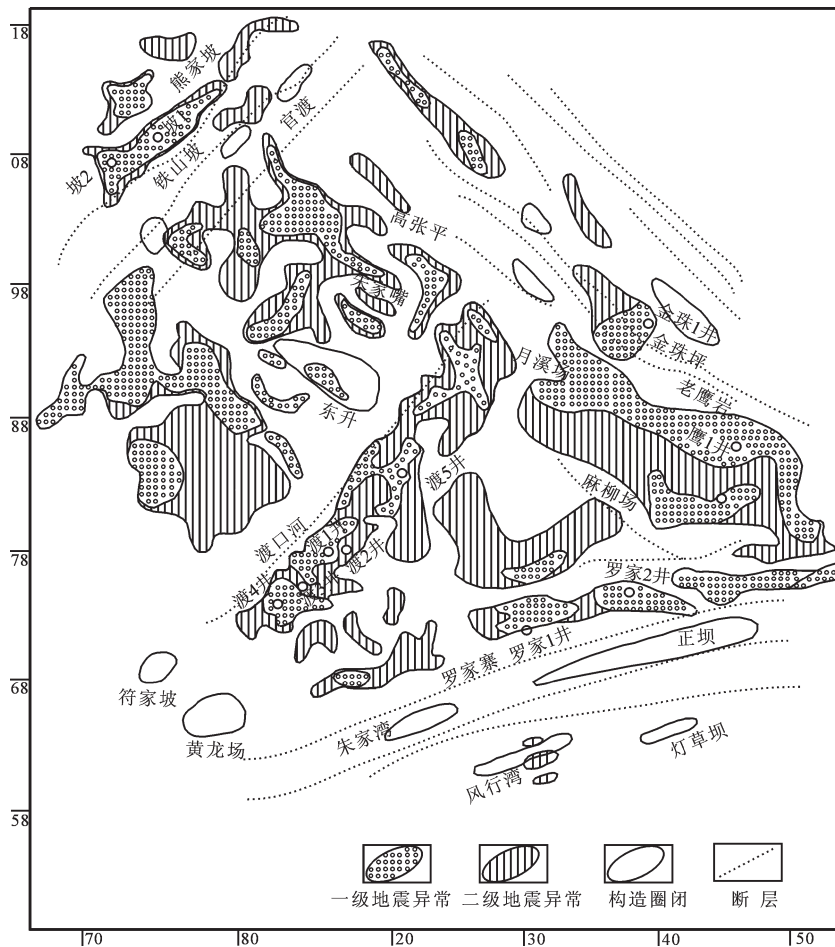


图 13 飞仙关组储层地震横向预测图

Fig.13 Map of lateral seismic prediction of the reservoir of the Feixianguan Formation

金口、天龙山等圈闭,这些圈闭所在地区也是 I、II 级地震异常分布区,在这些圈闭上实施钻探有望获得天然气勘探的重大突破。

位于铁山坡北—朱家嘴—月溪场—麻柳场一线及其东北的 I、II 级地震异常实际上是石膏的反映,它处于瀉湖范围内,钻探证实储层不发育。

7 结 论

(1)川东北地区下三叠统飞——飞三段时期孤立碳酸盐岩台地主要发育了瀉湖(包括蒸发瀉湖、局限瀉湖、半局限瀉湖和点滩)、台地边缘滩、斜坡、海槽等亚环境。随海平面的升降变化、开江—梁平海槽的逐渐关闭和城口—鄂西海槽的东移,各种孤立台地亚相发生转变和移动,最终在飞三段晚期至飞四段早期孤立台地转化为川东北大型连陆台地。

(2)处于地貌隆起区的台地边缘滩可形成良好的油气储层,其储层具有迁移性和非均一性。据多年勘探,探明川东北飞仙关组孤立台地边缘滩的天然气储量巨大近 $1000 \times 108 \text{ m}^3$,是中国油气的重点勘探领域;根据预测,东升、天龙山等圈闭有望继罗家寨之后成为新的气藏勘探突破区。

参考文献(References):

- [1] 梅冥相, 邓军, 高金汉, 等. 广西高龙孤立碳酸盐岩台地的生长发育模式[J]. 现代地质, 2003, 17(4):395-401.
Mei Mingxiang, Deng Jun, Gao Jinhan, et al. The growth model of the Gaolong isolated platform in Guangxi of south China [J]. Geoscience, 2003,17(4):395-401(in Chinese with English abstract).
- [2] Tucker M E, Wright V P. Carbonate Sedimentology [M]. Oxford: Blackwell Scicetific Publication, 1990:1-428 (in Chinese with English abstract).
- [3] 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序[M]. 贵阳:贵州科技出版社,1995:1-206.
Mei Mingxiang. Cycle and Bed Succession of Carbonate [M]. Guiyang:Guizhou Science and Technology Press, 1995:1-206 (in Chinese with English abstract).
- [4] 梅冥相, 马永生, 周丕康, 等. 碳酸盐沉积学导论 [M]. 北京:地震

出版社, 1997:51-65.

- Meimingxiang, Mayongsheng, Zhoupikang, et al. Introduction of Carbonate Deposition[M]. Beijing:Seismological Press, 1997:51-65 (in Chinese with English abstract).
- [5] Johnson M E, Baarli B G. Diversification of rocky-shore biotas through geologic time[J]. Geobios, 1999, 32(2):257-273(in Chinese with English abstract).
- [6] 戎嘉余, Johnson M E, Baarli B G, 等. 中朝板块北缘志留纪海岛的发现[J]. 科学通报, 2000, 45(20):2227-2231.
Rongjiayu, Johnson M E, Baarli B G, et al. The discover of island of Silurian Period in north fringe of China and Korea plate slab[J]. Science Journal, 2000, 45(20):2227-2231(in Chinese).
- [7] Tucker, Wright, Dickson. Carbonate Sedimentology [M]. Blackwell Scientific Publication, 1990.
- [8] Tucker M E. Carbonate Diagenesis and Sequence[M]. 1993.
- [9] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 2003:407-410.
Jiang Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2003: 181-217(in Chinese with English abstract).
- [10] 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 and gas Geology, 2006, 27(1): 99-105(in Chinese with English abstract).
- [11] 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等. 川北下三叠统飞仙关组“槽台”沉积体系及演化[J]. 沉积学报, 2004, 22(2):254-260.
Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, et al. Sedimentary system of platformal through in Feixianguan Formation of Lower Triassic in northern Sichuan basin and its evolution [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (2):254-260 (in Chinese with English abstract).
- [12] 王英华. 中、下扬子区海相碳酸盐成岩作用研究[M].北京:科学技术文献出版社, 1991: 58-67.
Wang Yinghua. The Studying of Diagenesis of Marine Facies Carbonate Rock on the Middle and Down Yangzi District [M]. Beijing:Science and Technology Press, 1991:58-67 (in Chinese with English abstract).
- [13] 刘宝珺. 沉积成岩作用[M]. 北京:科学出版社, 1992: 36-41.
Liu Baoqun, Deposition and Diagenesis[M]. Beijing:Science Press, 1992:36-41(in Chinese with English abstract).

Sedimentary facies of isolated carbonate platform of the first to third members of the Lower Triassic Feixianguan Formation in the northeastern part of the Sichuan basin and other related aspects

FENG Ren-wei¹, WANG Xing-zhi¹, ZHANG Fan¹, PANG Yan-jun¹,
CHEN Geng-sheng², YANG Yu², YANG Tian-quan²

(1. School of Resources and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;
2. Southwest Oil and Gas Field Branch, SINOPEC, Chengdu 610051, Sichuan, China)

Abstract: In most times of the Early Triassic Feixianguanian age (from phases 1 to 3), the northeastern Sichuan basin was in an environment of isolated carbonate platforms surrounded by a deep sea trough and formed by extensional faulting during the evolution of the South Qinling Mountain ocean. Concomitantly with the sea-level change, gradual closing of the Kaijiang-Liangping sea trough and eastward migration of the Chenkou-Exi sea trough, various isolated carbonate platform subfacies moved and were transformed, and finally the isolated carbonate platforms were transformed and amalgamated into a unifying large-scale land platform in northeastern Sichuan from the late part of the third phase to the early part of the fourth phase of the Feixianguanian age. On the basis of the regional geological setting and sedimentary characteristics (lithology character, paleontology, sedimentary structure and logging), the lagoon (including evaporative lagoon, restricted lagoon, semi-restricted lagoon and point beaches), platform-margin oolitic beach, slope and sea trough subfacies. A stereoscopic depositional model of isolated platforms was constructed and the distribution and evolutionary process of sedimentary facies from phases 1 to 3 of the Feixianguanian age were analyzed. Finally the authors analyzed the migration of the platform-margin oolitic beach facies belt that had conditions for the formation of good reservoirs in the late stage, inhomogeneity and log and seismic characteristics of the reservoirs and control of sedimentary facies on the distribution of oolitic beach gas reservoirs and made seismic lateral distribution forecast for the areas in platform-margin oolitic beach facies which are expected to become new breakthrough areas of gas exploration.

Key words: northeastern Sichuan; Feixianguan Formation; isolated carbonate platform; sedimentary facies

About the first author: FENG Ren-wei, male, born in 1982, doctor candidate, specializes in sedimentology and reservoir geology; Email: frwswpu@126.com.