

四川盆地东北部元坝地区 下三叠统飞仙关组层序—沉积相特征

段金宝, 彭劲

(中国石化勘探南方分公司研究院)

摘要 四川盆地东北部元坝地区三叠系飞仙关组沉积期继承了二叠系长兴组末期沉积格局,经历了由陆棚相、斜坡相到台地相的演化。综合钻井资料和地震资料,飞仙关组划分为2个三级层序(SQ₁和SQ₂)及8个四级层序(C₁—C₈)。SQ₁沉积早期(C₁—C₂),受长兴末期古地貌差异性的影响,西北部相对快速充填,发育台地边缘相沉积。SQ₁沉积晚期(C₃—C₄),主要发育两期鲕粒滩,第一期发育于台地边缘相带,第二期鲕粒滩大面积分布,在开阔台地和台地边缘均有发育。SQ₂沉积时期(C₅—C₈),沉积相带相对单一,仅在C₅沉积期有一定差异,在相对低部位发育开阔台地鲕粒滩和准间亚相,晚期全区演变为局限台地相和台地蒸发岩相。鲕粒滩的分布受控于层序—沉积相,但鲕粒滩储层的发育受控于高频层序与微地貌的耦合关系。

关键词 四川盆地;元坝气田;下三叠统;飞仙关组;层序地层;沉积相;沉积特征

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 概况

近些年,在四川盆地相继勘探发现了普光、元坝、龙岗等礁滩气田。2003年以来,对盆地东北部元坝地区的综合研究,发现了上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组礁滩地震异常体,并在长兴组礁滩主体、礁后浅滩相储层以及飞仙关组鲕粒滩相储层相继试获工业天然气流。目前已在元坝地区钻了数十口井,完钻井均在飞仙关组钻遇不同级别的鲕粒(白云质)灰岩储层,但储层的非均质性较强,储层预测评价的难度较大,制约了勘探部署。因此,加强飞仙关组层序地层和沉积相的研究,对进一步油气勘探有着重要的现实意义。

近十年来,众多学者针对四川盆地东北部飞仙关组层序地层和沉积相开展了研究工作,其中对飞仙关组的层序划分认识已逐渐趋于一致(将飞仙关组划分为2个三级层序)^[1-4],近年又对元坝地区开

展了飞仙关组鲕粒滩的叠置迁移沉积特征研究^[4-6],但这些均未系统地开展元坝地区鲕粒滩纵向、横向迁移规律的研究。

本次研究工区选元坝地区(图1),因在该区已获得丰富的钻井、录井资料和岩心资料。本次研究工作是将沉积相研究与层序地层学研究紧密结合,利用元坝地区层序界面和其他关键界面,以层序地层和体系域为研究单元,研究沉积相展布,编制元坝地区等时或瞬时沉积相图。这种研究方法,从上世纪末期提出编图思路,到最近几年在川东北、川东—渝北等地区相继应用^[7-11],已取得了一定效果,但这些地区的前期研究因受研究区域资料的限制,沉积相的横向展布情况主要依据钻井和露头资料向外推测,而元坝地区具有高品质三维地震资料,飞仙关组构造平缓,断裂不发育,横向追踪性较好,这为开展精细层序—沉积相编图提供了可能。本次研究在单井层序的划分对比以及等时层序地层格架建立基础

收稿日期: 2013-03-18; 改回日期: 2013-07-03

本文受国家科技重大专项专题“四川盆地二、三叠系碳酸盐岩大中型气田富集规律与勘探评价”(编号:2011ZX05005-003-002)资助

段金宝: 1981年生,工程师。2007年毕业于中国地质大学(武汉),获能源地质工程专业硕士学位。主要从事油气地质与勘探部署研究工作。通讯地址: 610041 四川省成都市高新区吉泰路中国石化西南科研办公基地; 电话: (028)85164798; E-mail: jbdan@126.com

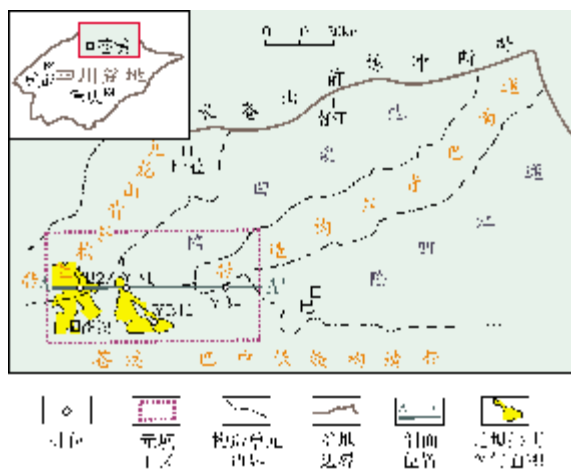


图 1 元坝地区地理位置及盆地构造位置图

(据文献[5]修改)

上,以四级层序界面与高水位体系域压缩法相补充作为沉积相图编图单元,通过单井层序的精细标定,运用沿层属性提取以及斜坡反射手工追踪等技术方法,完成了元坝地区飞仙关组层序—沉积相图的编制。

2 层序与沉积相划分

2.1 层序划分

在前期研究的基础上,利用元坝地区 42 口钻井的常规录井、成像测井资料以及累计近 200 m 的岩心资料,结合高品质三维地震资料,运用碳酸盐岩层序地层学、地震层序地层学及测井层序地层学的研究方法,对元坝地区下三叠统飞仙关组层序界面类型、层序划分标志等进行了识别,将飞仙关组划分为 2 个三级层序(SQ₁ 和 SQ₂)及 8 个四级层序(C₁—C₈)(图 2)。

三级层序 SQ₁ 由飞仙关组一、二段组成,包括 4 个短期旋回(为四级层序 C₁、C₂、C₃ 和 C₄)。层序底部界面为长兴组与飞仙关组分界面,属二类层序界面(SB₂),海侵体系域沉积不明显。下部两个短期旋回(C₁和 C₂)对应一段沉积,岩性主要为大套的石灰岩和含泥灰岩;上部两个短期旋回(C₃和 C₄)对应二段沉积,岩性主要为鲕粒灰岩和灰岩,为台地边缘相、开阔台地相沉积,旋回中上部发育鲕粒滩沉积。

三级层序 SQ₂ 由飞仙关组三、四段组成,包括 4 个短期旋回(为四级层序 C₅、C₆、C₇ 和 C₈),底部层

序界面为飞仙关组三段与二段的分界面,属岩性岩相转换二类层序界面(SB₂)。海侵体系域由飞仙关组三段下部组成,岩性为含泥较重的泥质灰岩,高水位体系域岩性主要以含泥灰岩、膏岩沉积为主,为局限台地、台地蒸发岩相沉积。

2.2 沉积相划分

在钻井岩屑和岩心观察、测井相分析、地震资料解释的基础上,根据岩石组合、沉积组构、剖面序列、沉积机理、电性、地震相等资料,将元坝地区飞仙关组划分为以下六类沉积相^[12-13]。

台地蒸发岩相 位于局限台地向陆一侧的潮上带,又可称之为萨布哈,以干旱炎热的气候为形成条件。主要由蒸发成因的石膏、白云岩、以及潮上带的古表生期岩溶角砾岩组成,常见各种潮汐层理、暴露溶蚀构造。

从元坝地区钻井揭示的地层情况来看,台地蒸发岩相主要发育于飞仙关组四段下部,岩性以膏岩、含膏白云岩薄互层为标志,全区分布较为稳定。

局限台地相 局限台地是滩坝后向陆一侧十分平缓的海岸地带和极浅水区域,以沉积泥质灰岩为主,夹少量砂、砾屑和藻团粒等颗粒灰岩。

在元坝地区,局限台地相主要发育于飞仙关组三段与四段晚期。三段局限台地相发育受到一、二段斜坡、陆棚区填平补齐后的地貌差异性控制,在相对高部位的 YB1、YB2、YB12、YB102 井,在三段沉积时演化为局限台地相沉积,而相对低部位的 YB3、YB4、YB5 井,则在经历三段早期的开阔台地相沉积后进入局限台地相沉积,以紫红色含泥灰岩沉积为主。

开阔台地相 开阔台地系指发育在台地边缘礁滩与局限台地之间的广阔浅海,水循环条件较好。

在元坝地区,飞仙关组一段为边缘不发育礁、滩的无镶边台地,岩性主要为泥晶灰岩;飞仙关组二、三段开阔台地相发育鲕粒滩与滩间亚相,主要由灰岩、砂屑灰岩和鲕粒灰岩组成。

台地边缘相 台地边缘相位于台地与斜坡之间的转折带位置。该区域沉积环境与台地、斜坡有别,水动力能量较高,发育鲕粒滩与滩间亚相,岩性主要为亮晶鲕粒灰岩和泥晶灰岩。

在元坝地区,该相主要发育于飞仙关组二段。

台地前缘斜坡相 台地前缘斜坡相指台地与陆

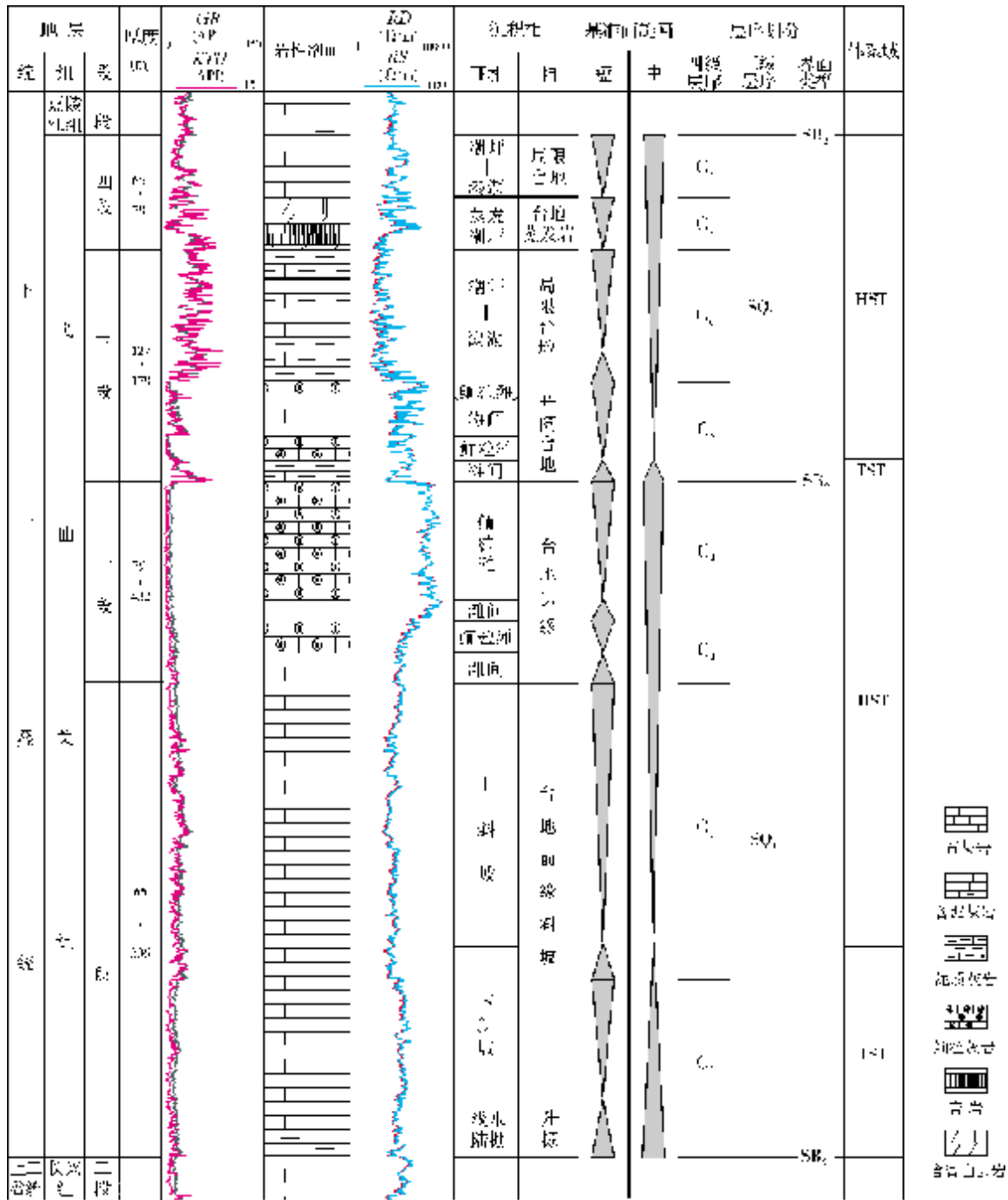


图2 元坝地区下三叠统飞仙关组沉积相与层序地层综合柱状图

棚之间斜坡沉积区,是陆棚至台地边缘高能带之间的部分,其基底呈一角度向盆地倾斜,斜坡相带主要有面流和远洋沉积作用、重力流沉积作用,以及各种底流的沉积作用。

元坝地区 YB3、YB5 井在飞仙关组早期为台地

前缘斜坡相沉积,岩性主要为灰岩、含泥灰岩。

陆棚相 可进一步划分为浅水陆棚亚相和深水陆棚亚相。

从元坝地区钻井揭示来看,深水陆棚亚相在钻井中尚未揭示。YB4 井在飞仙关组早期为浅水陆棚

亚相沉积,因其沉积时海水较深、能量较低,主要沉积了深色含泥灰岩、灰岩和灰质泥岩。

3 层序—沉积相展布特征

在单井层序划分与连井对比分析基础上,开展

了单井层序三维地震精细标定,在剖面上识别出了不同层序内台地边缘的迁移特征(图3)。与地震属性提取相结合,识别出鲕粒滩、滩间、台地前缘斜坡及陆棚相,精细刻画了层序内沉积相带展布,编制了元坝地区层序—沉积相展布模式图(图4、图5)。

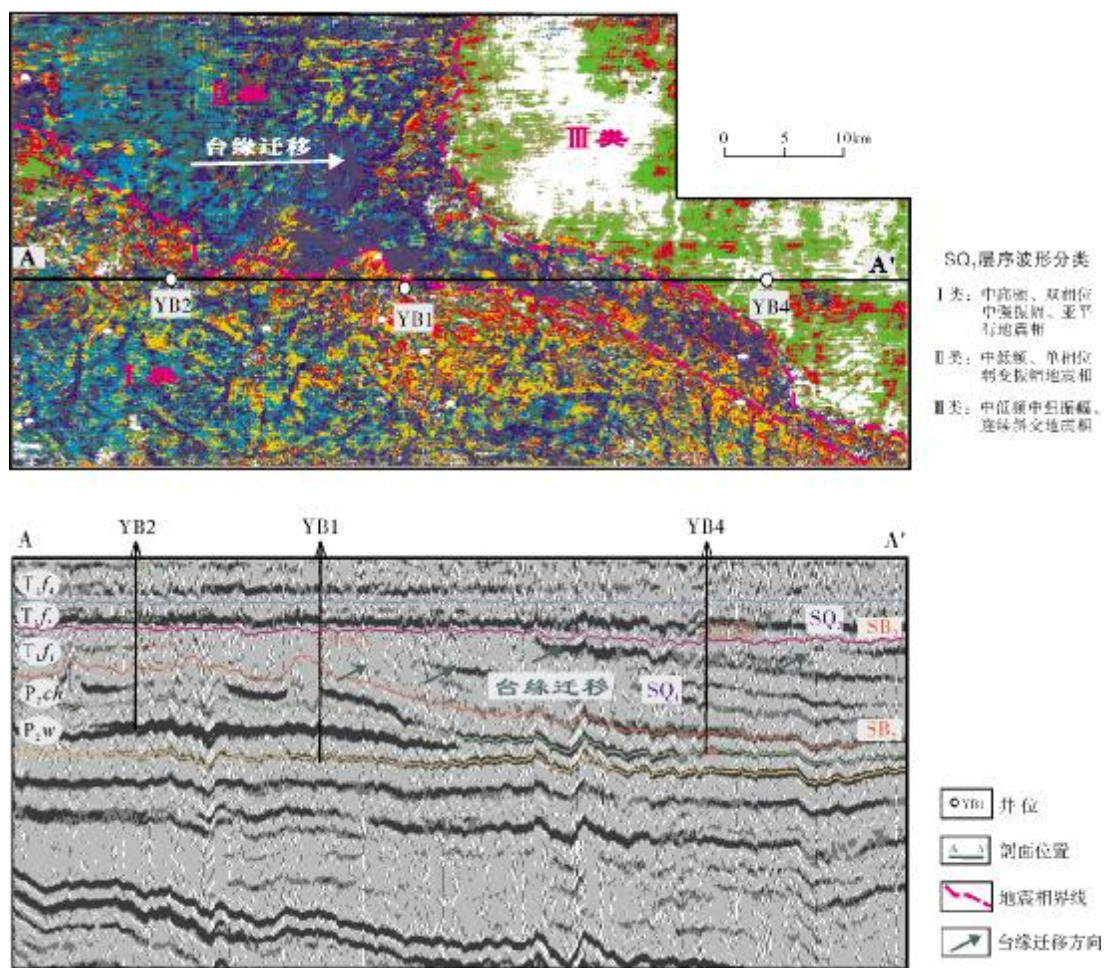


图3 元坝地区下三叠统飞仙关组台地边缘迁移特征

A—A'剖面位置见图1

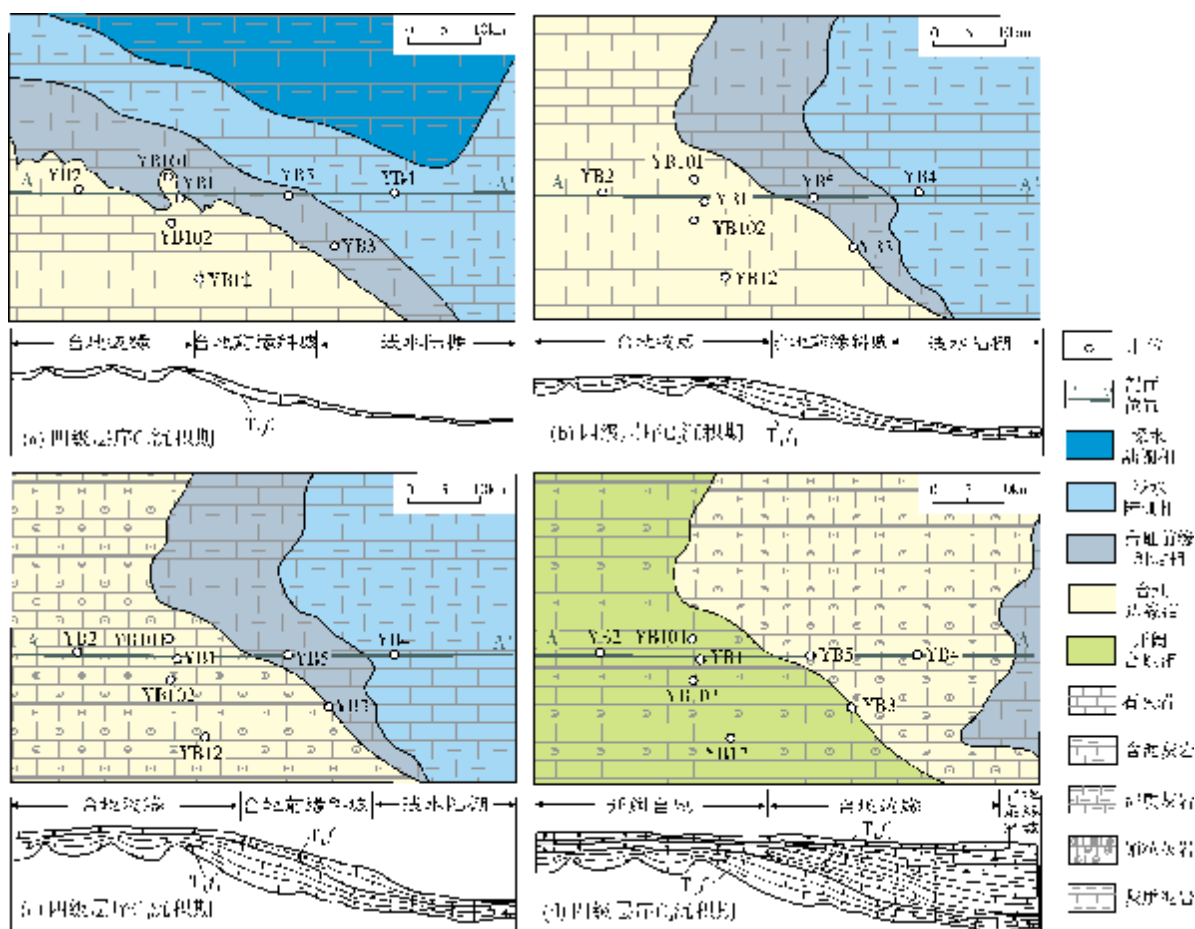
P_{2w} 吴家坪组; P_{2ch} 长兴组; T_{1f} 飞仙关组

3.1 SQ₁展布特征

四级层序 C₁ 沉积期(图 4a) 沉积继承了晚二叠世长兴期末沉积格局。西南部为台地边缘相沉积,但该时期表现为快速海侵,水体相对较深,鲕粒滩不发育;向东北方向依次发育台地前缘斜坡相、陆棚相沉积。

四级层序 C₂ 沉积期(图 4b) 受长兴组沉积末

期的古地貌控制,西北部快速充填。结合元坝地区三维地震数据对长兴组沉积末期古地貌的分析认为,该时期本区台地前缘斜坡相具有东陡西缓特征,西部斜坡相向陆棚方向延伸较远,且具有二级台阶,因此这一时期的水深较适合于碳酸盐岩沉积,造成了西北部的相对快速充填,台地边缘相沉积向西北方向增生,西北部早期的台地前缘斜坡相、陆棚相逐渐演化为台地边缘相。至层序 C₂ 沉积晚期,西南部为

图4 元坝地区下三叠统飞仙关组 SQ₁(C₁—C₄)层序沉积相展布模式

A—A'剖面位置见图1

台地边缘相,中部为台地前缘斜坡相,东部为浅水陆棚相沉积。

四级层序 C₃ 沉积期(图 4c) 延续了层序 C₂ 时期的沉积格局。在 C₃ 沉积早期,台地边缘相带发育鲕粒滩。这一时期海侵体系域占了主导地位,水体相对较深,鲕粒滩较薄,前积现象不明显,台地沉积平面上没有进一步扩大。由西向东,依次发育了台地边缘相、台地前缘斜坡相和浅水陆棚相沉积。

四级层序 C₄ 沉积期(图 4d) 为鲕粒滩大面积分布时期。元坝地区飞仙关组鲕粒滩分为两类,一类为开阔台地相鲕粒滩,与泥晶灰岩沉积互层;一类为台地边缘相鲕粒滩,厚度大、能量相对较高。这一时期,高水位体系域占主导地位,前积现象明显,台地边缘前移,台地沉积范围进一步扩大。层序 C₄ 沉积末期,仅东部小范围为台地前缘斜坡相沉积。

3.2 SQ₂ 展布特征

元坝地区经历了层序 SQ₁ 沉积期由陆棚相、斜坡相到台地相的演化之后,层序 SQ₂ 沉积时期发育开阔台地相、局限台地相、台地蒸发岩相,四级层序 C₅ 沉积时期在相对低部位为开阔台地相沉积,发育鲕粒滩、滩间亚相。总体上,层序 C₅ 时期的沉积格局在西南部为局限台地相、东北部为开阔台地相沉积(图 5)。

C₅ 层序沉积之后,全区演变为局限台地相与台地蒸发岩相沉积。

4 层序—沉积相与鲕粒滩的关系

钻井资料显示,飞仙关组鲕粒滩相平面分布广,单井累计厚度较大(31~73.5 m),为多期鲕粒滩的累加;鲕粒灰岩和泥晶灰岩不等厚互层,纵向旋回性变

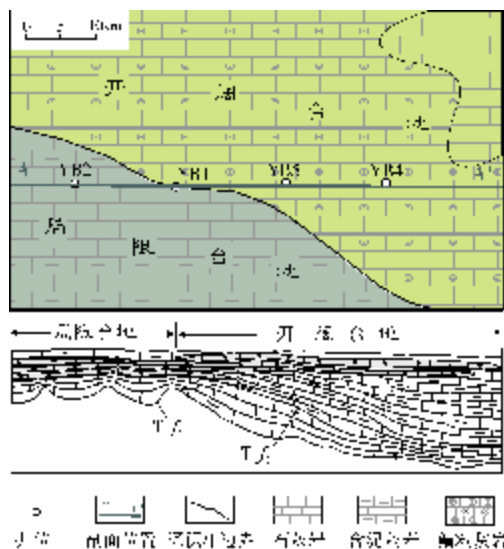


图5 元坝地区下三叠统飞仙关组 $SQ_2(C_3)$ 层序沉积相展布模式
A—A'剖面位置见图 1

化频繁,单层鲕粒滩厚度相对较薄。

以 YB2 井第 4 回次取心(岩心长 7.8 m)为例。

该段岩心发育鲕粒灰岩和泥-微晶灰岩互层,共划分为 27 小层;根据颗粒的发育程度和颗粒大小、以及泥晶和亮晶胶结物,可明显划分出 12 个高频旋回。每个旋回的底部为泥-微晶灰岩,为水体较深、水动力条件较弱时的沉积物;向上沉积细粒鲕(颗粒直径大多在 0.5 mm 以下),且多为泥晶胶结;再往上鲕粒逐渐变大(0.5~1 mm),并多为亮晶胶结;到鲕粒大小变为 1~2 mm 时,基本全为亮晶胶结;部分旋回顶部发育豆粒灰岩,颗粒大小大多在 2~4 mm,部分可达 7~8 mm,为亮晶胶结(图 6)。

在每个旋回内部,各个小层之间多以缝合面为界,显示水动力条件在周期性变化的过程中有短暂的间隔。这些特征说明,在鲕粒滩沉积时期,研究区海平面升降较为频繁,造成了鲕粒滩的多期叠加,鲕粒滩储层在纵横向非均质性较强。

研究认为:飞仙关组鲕粒滩的分布受控于层序-沉积相,但鲕粒滩储层的发育受控于高频旋回内水动力的强弱与微地貌的耦合关系,台地—斜坡转折带与微地貌高部位为高能鲕粒滩发育的有利部位。

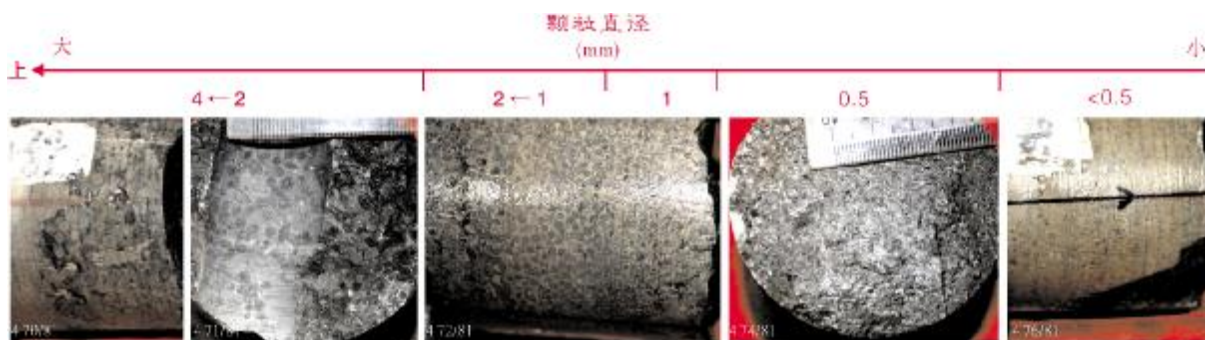


图 6 元坝地区 YB2 井飞仙关组二段第 4 回次取心段高频旋回中颗粒大小变化

5 结 论

(1)元坝地区早三叠世飞仙关期发生了两次规模较大的海平面升降,飞仙关组由此可划分为 2 个三级沉积层序,分别为 SQ_1 (飞仙关组一、二段)和 SQ_2 (飞仙关组三、四段)。

(2)三级层序 SQ_1 沉积早期(四级层序 C_1-C_2),受晚二叠统世长兴末期沉积古地貌差异性的影响,元坝地区西北部发生快速充填,早期的陆棚相和台地前缘斜坡相演变成成为开阔台地相;晚期(四级层序 C_3-C_4)台地边缘发育两期鲕粒滩亚相(第一期发育于早期开阔台地相带,第二期鲕粒滩大面积分布),

仅东部小范围为台地前缘斜坡相沉积。

(3)三级层序 SQ_2 沉积时期,元坝地区相带变得相对单一,仅在层序 C_5 沉积期有一定差异,在相对低部位为开阔台地相沉积,发育鲕粒滩和滩间亚相,晚期全区演变为局限台地相、台地蒸发岩相沉积。

(4)飞仙关组鲕粒滩的分布受控于层序-沉积相,但鲕粒滩储层的发育受控于高频层序与微地貌的耦合关系。

参考文献

- [1] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等.四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J].矿物岩石,2005,20(4):73-79.
- [2] 郑荣才,罗平,文其兵,等.川东北地区飞仙关组层序—岩相

- 古地理特征和鲕滩预测[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 1-8.
- [3] 张建勇, 周进高, 郝毅, 等. 四川盆地环开江—梁平海槽长兴组—飞仙关组沉积模式[J]. 海相油气地质, 2011, 16(3): 45-54.
- [4] 郭彤楼. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组台地边缘层序地层及其对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 387-394.
- [5] 段金宝, 黄仁春, 程胜辉, 等. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组碳酸盐岩台地沉积体系及演化[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 663-668.
- [6] 赵文光, 蔡忠贤, 邹华耀, 等. 川东北元坝地区三叠系飞仙关组碳酸盐岩台地演化影响因素分析[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(3): 411-413.
- [7] 陈洪德, 覃建雄, 王成善, 等. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 511-521.
- [8] 侯中健, 陈洪德, 田景春, 等. 层序岩相古地理编图在岩相古地理分析中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(14): 376-382.
- [9] 徐强, 刘宝珺, 何汉漪, 等. 四川晚二叠世生物礁层序地层岩相古地理编图[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 47-50.
- [10] 李国军, 郑荣才, 唐玉林, 等. 川东北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(4): 64-70.
- [11] 戴荔果, 郑荣才, 李爽, 等. 川东—渝北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 110-119.
- [12] 贾振远. 碳酸盐岩沉积学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- [13] 马永生. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

编辑: 赵国宪

Lower Triassic Feixianguan Stratigraphical Sequences and Sedimentary Facies Characteristics in Yuanba Area in the Northeast of Sichuan Basin

Duan Jinbao, Peng Jin

Abstract: After inheriting the sedimentary pattern of the Upper Permian Changxing Formation, the Lower Triassic Feixianguan Formation undergone evolutions from carbonate shelf and slope facies to platform facies in Yuanba area in the northeast of Sichuan Basin. According to the drilling and seismic data, Feixianguan Formation can be divided into 2 sequences (SQ₁ and SQ₂) and 8 subsequences (from C₁ to C₈). In the early phase of SQ₁ sedimentation (i.e. Subsequences C₁ and C₂), influenced by the topographic difference at the end of Changxing sedimentation, open platform facies developed accompanying with quick filling in the northwestern part of Yuanba. In the late phase of SQ₁ (i.e. C₃ and C₄), two episodes of oolitic shoal subfacies developed, the first episode developed in the early open platform and the second one widely distributed in this area except locally distribution in platform foreslope. During SQ₂ sedimentation (i.e. Subsequences C₅ to C₈), the sedimentary facies was relatively simple only except some difference in the C₅ sedimentation, in which open platform oolitic shoal and inter-shoal subfacies developed in relatively low positions. In late phase of SQ₂, the open platform evolved into restricted platform and platform evaporite facies in the whole area. Although the distribution of oolitic shoal facies is controlled by stratigraphical sequence and sedimentary facies, the reservoirs in oolitic shoal facies are controlled by the coupling of high-frequency sequence and microtopography.

Key words: Lower Triassic; Feixianguan Fm., Stratigraphical sequence; Sedimentary facies; Sedimentary characteristics; Yuanba, Sichuan Basin

Duan Jinbao; male, MSc, Geology Engineer. Add: SINOPEC Research Institute of South Exploration and Exploitation Company, Jitai Rd., Chengdu, 610041, China

四川盆地东北部元坝地区 下三叠统飞仙关组层序—沉积相特征

段金宝, 彭劲

(中国石化勘探南方分公司研究院)

摘要 四川盆地东北部元坝地区三叠系飞仙关组沉积期继承了二叠系长兴组末期沉积格局,经历了由陆棚相、斜坡相到台地相的演化。综合钻井资料和地震资料,飞仙关组划分为2个三级层序(SQ₁和SQ₂)及8个四级层序(C₁—C₈)。SQ₁沉积早期(C₁—C₂),受长兴末期古地貌差异性的影响,西北部相对快速充填,发育台地边缘相沉积。SQ₁沉积晚期(C₃—C₄),主要发育两期鲕粒滩,第一期发育于台地边缘相带,第二期鲕粒滩大面积分布,在开阔台地和台地边缘均有发育。SQ₂沉积时期(C₅—C₈),沉积相带相对单一,仅在C₅沉积期有一定差异,在相对低部位发育开阔台地鲕粒滩和准间亚相,晚期全区演变为局限台地相和台地蒸发岩相。鲕粒滩的分布受控于层序—沉积相,但鲕粒滩储层的发育受控于高频层序与微地貌的耦合关系。

关键词 四川盆地;元坝气田;下三叠统;飞仙关组;层序地层;沉积相;沉积特征

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

1 概况

近些年,在四川盆地相继勘探发现了普光、元坝、龙岗等礁滩气田。2003年以来,对盆地东北部元坝地区的综合研究,发现了上二叠统长兴组一下三叠统飞仙关组礁滩地震异常体,并在长兴组礁滩主体、礁后浅滩相储层以及飞仙关组鲕粒滩相储层相继试获工业天然气流。目前已在元坝地区钻了数十口井,完钻井均在飞仙关组钻遇不同级别的鲕粒(白云质)灰岩储层,但储层的非均质性较强,储层预测评价的难度较大,制约了勘探部署。因此,加强飞仙关组层序地层和沉积相的研究,对进一步油气勘探有着重要的现实意义。

近十年来,众多学者针对四川盆地东北部飞仙关组层序地层和沉积相开展了研究工作,其中对飞仙关组的层序划分认识已逐渐趋于一致(将飞仙关组划分为2个三级层序)^[1-4],近年又对元坝地区开

展了飞仙关组鲕粒滩的叠置迁移沉积特征研究^[4-6],但这些均未系统地开展元坝地区鲕粒滩纵向、横向迁移规律的研究。

本次研究工区选元坝地区(图1),因在该区已获得丰富的钻井、录井资料和岩心资料。本次研究工作是将沉积相研究与层序地层学研究紧密结合,利用元坝地区层序界面和其他关键界面,以层序地层和体系域为研究单元,研究沉积相展布,编制元坝地区等时或瞬时沉积相图。这种研究方法,从上世纪末期提出编图思路,到最近几年在川东北、川东—渝北等地区相继应用^[7-11],已取得了一定效果,但这些地区的前期研究因受研究区域资料的限制,沉积相的横向展布情况主要依据钻井和露头资料向外推测,而元坝地区具有高品质三维地震资料,飞仙关组构造平缓,断裂不发育,横向追踪性较好,这为开展精细层序—沉积相编图提供了可能。本次研究在单井层序的划分对比以及等时层序地层格架建立基础

收稿日期: 2013-03-18; 改回日期: 2013-07-03

本文受国家科技重大专项专题“四川盆地二、三叠系碳酸盐岩大中型气田富集规律与勘探评价”(编号:2011ZX05005-003-002)资助

段金宝: 1981年生,工程师。2007年毕业于中国地质大学(武汉),获能源地质工程专业硕士学位。主要从事油气地质与勘探部署研究工作。通讯地址: 610041 四川省成都市高新区吉泰路中国石化西南科研办公基地; 电话: (028)85164798; E-mail: jbdan@126.com

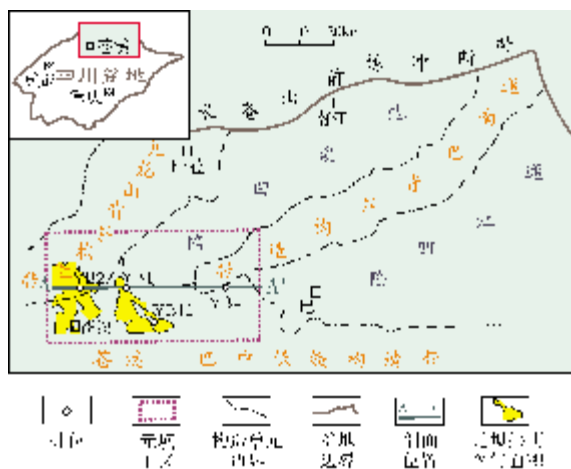


图 1 元坝地区地理位置及盆地构造位置图

(据文献[5]修改)

上,以四级层序界面与高水位体系域压缩法相补充作为沉积相图编图单元,通过单井层序的精细标定,运用沿层属性提取以及斜坡反射手工追踪等技术方法,完成了元坝地区飞仙关组层序—沉积相图的编制。

2 层序与沉积相划分

2.1 层序划分

在前期研究的基础上,利用元坝地区 42 口钻井的常规录井、成像测井资料以及累计近 200 m 的岩心资料,结合高品质三维地震资料,运用碳酸盐岩层序地层学、地震层序地层学及测井层序地层学的研究方法,对元坝地区下三叠统飞仙关组层序界面类型、层序划分标志等进行了识别,将飞仙关组划分为 2 个三级层序(SQ_1 和 SQ_2)及 8 个四级层序(C_1 — C_8)(图 2)。

三级层序 SQ_1 由飞仙关组一、二段组成,包括 4 个短期旋回(为四级层序 C_1 、 C_2 、 C_3 和 C_4)。层序底部界面为长兴组与飞仙关组分界面,属二类层序界面(SB_1),海侵体系域沉积不明显。下部两个短期旋回(C_1 和 C_2)对应一段沉积,岩性主要为大套的石灰岩和含泥灰岩;上部两个短期旋回(C_3 和 C_4)对应二段沉积,岩性主要为鲕粒灰岩和灰岩,为台地边缘相、开阔台地相沉积,旋回中上部发育鲕粒滩沉积。

三级层序 SQ_2 由飞仙关组三、四段组成,包括 4 个短期旋回(为四级层序 C_5 、 C_6 、 C_7 和 C_8),底部层

序界面为飞仙关组三段与二段的分界面,属岩性岩相转换二类层序界面(SB_2)。海侵体系域由飞仙关组三段下部组成,岩性为含泥较重的泥质灰岩,高水位体系域岩性主要以含泥灰岩、膏岩沉积为主,为局限台地、台地蒸发岩相沉积。

2.2 沉积相划分

在钻井岩屑和岩心观察、测井相分析、地震资料解释的基础上,根据岩石组合、沉积组构、剖面序列、沉积机理、电性、地震相等资料,将元坝地区飞仙关组划分为以下六类沉积相^[12-13]。

台地蒸发岩相 位于局限台地向陆一侧的潮上带,又可称之为萨布哈,以干旱炎热的气候为形成条件。主要由蒸发成因的石膏、白云岩、以及潮上带的古表生期岩溶角砾岩组成,常见各种潮汐层理、暴露溶蚀构造。

从元坝地区钻井揭示的地层情况来看,台地蒸发岩相主要发育于飞仙关组四段下部,岩性以膏岩、含膏白云岩薄互层为标志,全区分布较为稳定。

局限台地相 局限台地是滩坝后向陆一侧十分平缓的海岸地带和极浅水区域,以沉积泥质灰岩为主,夹少量砂、砾屑和藻团粒等颗粒灰岩。

在元坝地区,局限台地相主要发育于飞仙关组三段与四段晚期。三段局限台地相发育受到一、二段斜坡、陆棚区填平补齐后的地貌差异性控制,在相对高部位的 YB1、YB2、YB12、YB102 井,在三段沉积时演化为局限台地相沉积,而相对低部位的 YB3、YB4、YB5 井,则在经历三段早期的开阔台地相沉积后进入局限台地相沉积,以紫红色含泥灰岩沉积为主。

开阔台地相 开阔台地系指发育在台地边缘礁滩与局限台地之间的广阔浅海,水循环条件较好。

在元坝地区,飞仙关组一段为边缘不发育礁、滩的无镶边台地,岩性主要为泥晶灰岩;飞仙关组二、三段开阔台地相发育鲕粒滩与滩间亚相,主要由灰岩、砂屑灰岩和鲕粒灰岩组成。

台地边缘相 台地边缘相位于台地与斜坡之间的转折带位置。该区域沉积环境与台地、斜坡有别,水动力能量较高,发育鲕粒滩与滩间亚相,岩性主要为亮晶鲕粒灰岩和泥晶灰岩。

在元坝地区,该相主要发育于飞仙关组二段。

台地前缘斜坡相 台地前缘斜坡相指台地与陆

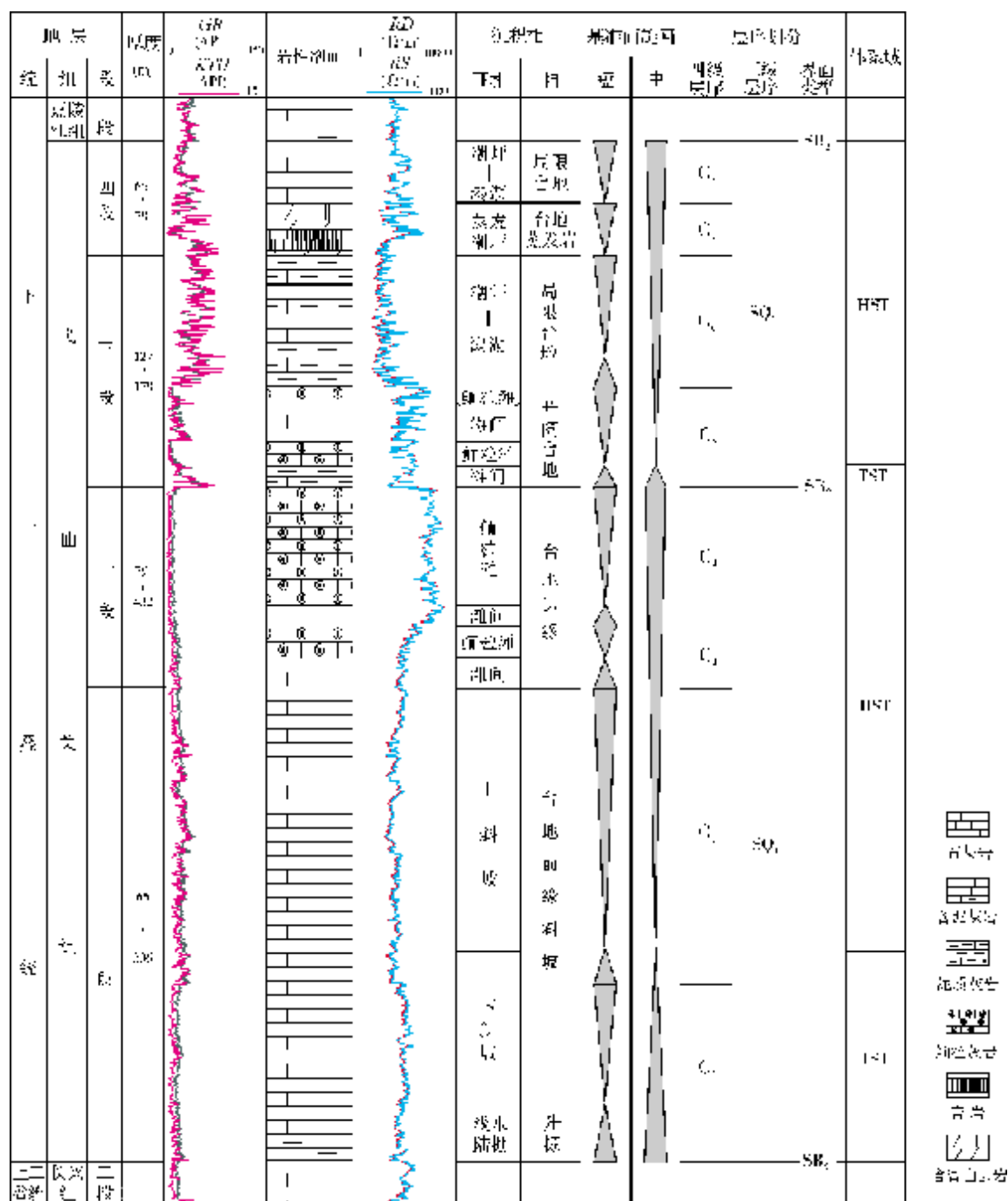


图2 元坝地区下三叠统飞仙关组沉积相与层序地层综合柱状图

棚之间斜坡沉积区,是陆棚至台地边缘高能带之间的部分,其基底呈一角度向盆地倾斜,斜坡相带主要有面流和远洋沉积作用、重力流沉积作用,以及各种底流的沉积作用。

元坝地区 YB3、YB5 井在飞仙关组早期为台地

前缘斜坡相沉积,岩性主要为灰岩、含泥灰岩。

陆棚相 可进一步划分为浅水陆棚亚相和深水陆棚亚相。

从元坝地区钻井揭示来看,深水陆棚亚相在钻井中尚未揭示。YB4 井在飞仙关组早期为浅水陆棚

亚相沉积,因其沉积时海水较深、能量较低,主要沉积了深色含泥灰岩、灰岩和灰质泥岩。

3 层序—沉积相展布特征

在单井层序划分与连井对比分析基础上,开展

了单井层序三维地震精细标定,在剖面上识别出了不同层序内台地边缘的迁移特征(图3)。与地震属性提取相结合,识别出鲕粒滩、滩间、台地前缘斜坡及陆棚相,精细刻画了层序内沉积相带展布,编制了元坝地区层序—沉积相展布模式图(图4、图5)。

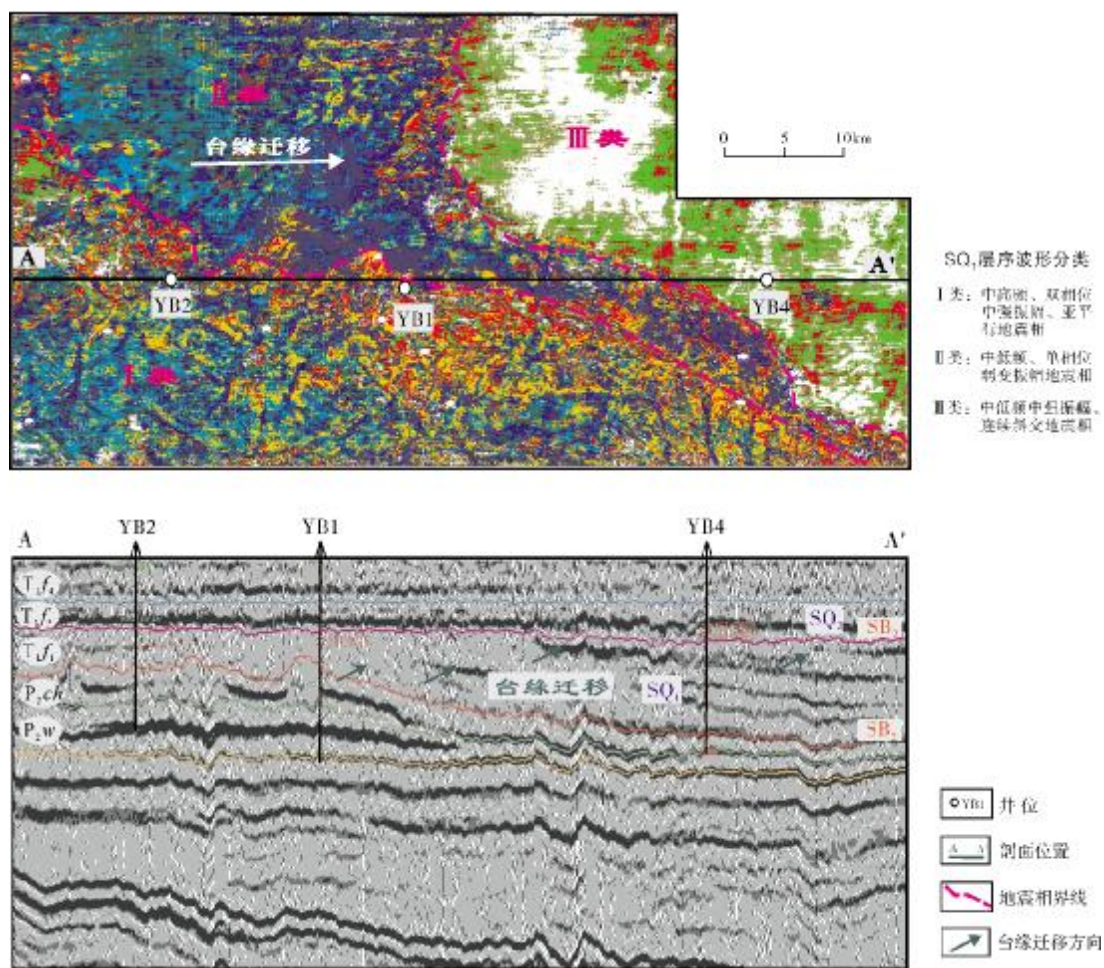


图3 元坝地区下三叠统飞仙关组台地边缘迁移特征

A—A'剖面位置见图1

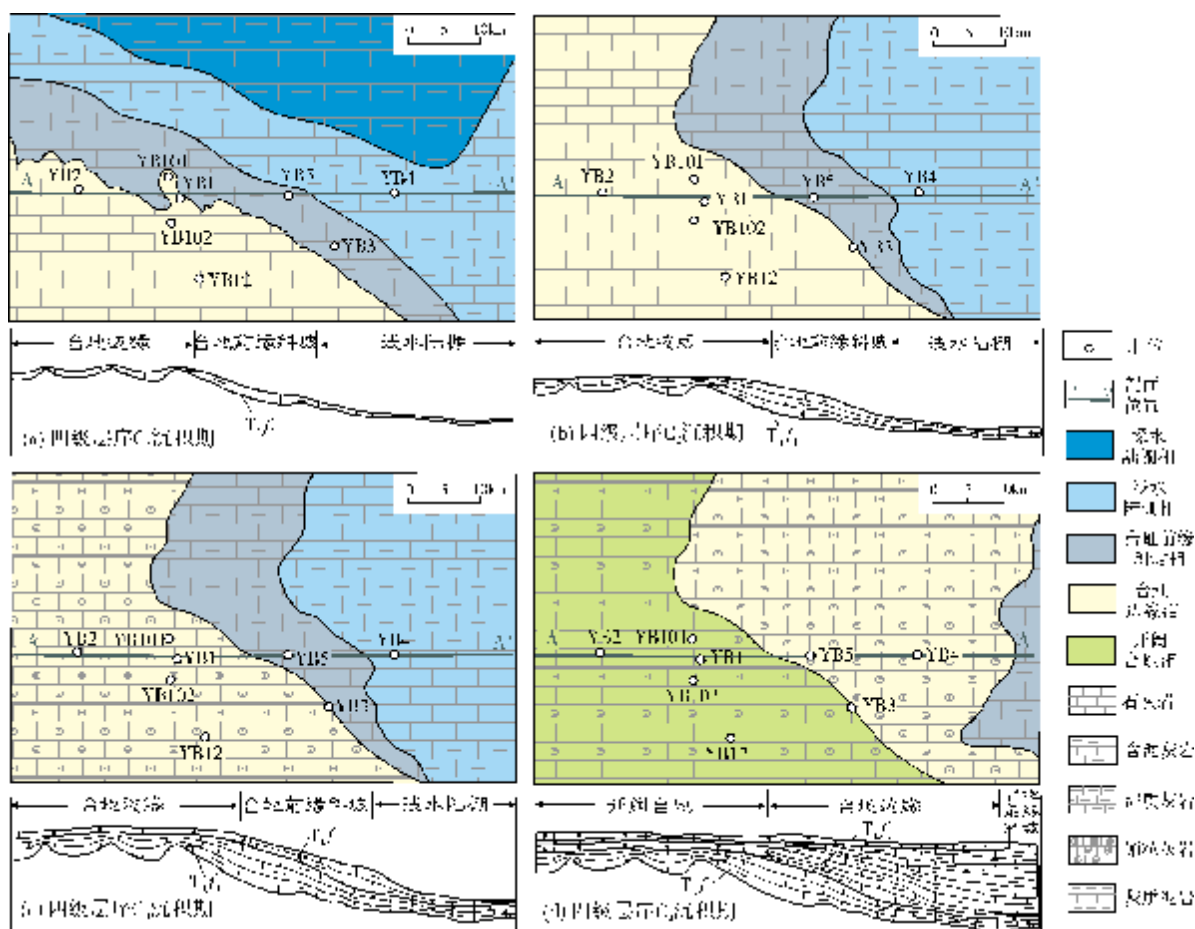
P_{2w} 吴家坪组; P_{2ch} 长兴组; T_{1f} 飞仙关组

3.1 SQ₁展布特征

四级层序 C₁ 沉积期(图 4a) 沉积继承了晚二叠世长兴期末沉积格局。西南部为台地边缘相沉积,但该时期表现为快速海侵,水体相对较深,鲕粒滩不发育;向东北方向依次发育台地前缘斜坡相、陆棚相沉积。

四级层序 C₂ 沉积期(图 4b) 受长兴组沉积末

期的古地貌控制,西北部快速充填。结合元坝地区三维地震数据对长兴组沉积末期古地貌的分析认为,该时期本区台地前缘斜坡相具有东陡西缓特征,西部斜坡相向陆棚方向延伸较远,且具有二级台阶,因此这一时期的水深较适合于碳酸盐岩沉积,造成了西北部的相对快速充填,台地边缘相沉积向西北方向增生,西北部早期的台地前缘斜坡相、陆棚相逐渐演化为台地边缘相。至层序 C₂ 沉积晚期,西南部为

图4 元坝地区下三叠统飞仙关组 SQ₁(C₁—C₄)层序沉积相展布模式

A—A'剖面位置见图1

台地边缘相,中部为台地前缘斜坡相,东部为浅水陆棚相沉积。

四级层序 C₃ 沉积期(图 4c) 延续了层序 C₂ 时期的沉积格局。在 C₃ 沉积早期,台地边缘相带发育鲕粒滩。这一时期海侵体系域占了主导地位,水体相对较深,鲕粒滩较薄,前积现象不明显,台地沉积平面上没有进一步扩大。由西向东,依次发育了台地边缘相、台地前缘斜坡相和浅水陆棚相沉积。

四级层序 C₄ 沉积期(图 4d) 为鲕粒滩大面积分布时期。元坝地区飞仙关组鲕粒滩分为两类,一类为开阔台地相鲕粒滩,与泥晶灰岩沉积互层;一类为台地边缘相鲕粒滩,厚度大、能量相对较高。这一时期,高水位体系域占主导地位,前积现象明显,台地边缘前移,台地沉积范围进一步扩大。层序 C₄ 沉积末期,仅东部小范围为台地前缘斜坡相沉积。

3.2 SQ₂ 展布特征

元坝地区经历了层序 SQ₁ 沉积期由陆棚相、斜坡相到台地相的演化之后,层序 SQ₂ 沉积时期发育开阔台地相、局限台地相、台地蒸发岩相,四级层序 C₅ 沉积时期在相对低部位为开阔台地相沉积,发育鲕粒滩、滩间亚相。总体上,层序 C₅ 时期的沉积格局在西南部为局限台地相、东北部为开阔台地相沉积(图 5)。

C₅ 层序沉积之后,全区演变为局限台地相与台地蒸发岩相沉积。

4 层序—沉积相与鲕粒滩的关系

钻井资料显示,飞仙关组鲕粒滩相平面分布广,单井累计厚度较大(31~73.5 m),为多期鲕粒滩的累加;鲕粒灰岩和泥晶灰岩不等厚互层,纵向旋回性变

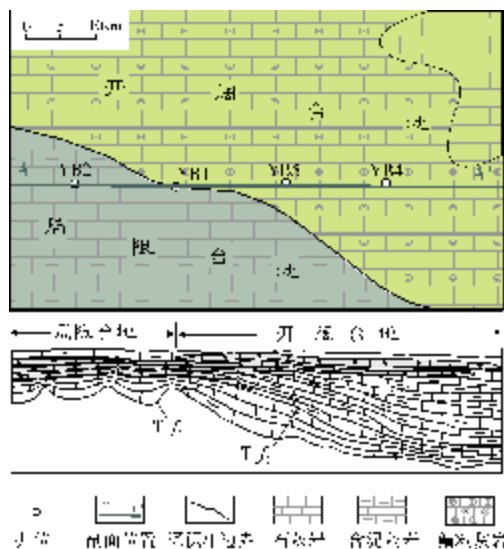


图5 元坝地区下三叠统飞仙关组 $SQ_2(C_3)$ 层序沉积展布模式

A—A'剖面位置见图 1

化频繁,单层鲕粒滩厚度相对较薄。

以 YB2 井第 4 回次取心(岩心长 7.8 m)为例。

该段岩心发育鲕粒灰岩和泥-微晶灰岩互层,共划分为 27 小层;根据颗粒的发育程度和颗粒大小、以及泥晶和亮晶胶结物,可明显划分出 12 个高频旋回。每个旋回的底部为泥-微晶灰岩,为水体较深、水动力条件较弱时的沉积物;向上沉积细粒鲕(颗粒直径大多在 0.5 mm 以下),且多为泥晶胶结;再往上鲕粒逐渐变大(0.5~1 mm),并多为亮晶胶结;到鲕粒大小变为 1~2 mm 时,基本全为亮晶胶结;部分旋回顶部发育豆粒灰岩,颗粒大小大多在 2~4 mm,部分可达 7~8 mm,为亮晶胶结(图 6)。

在每个旋回内部,各个小层之间多以缝合面为界,显示水动力条件在周期性变化的过程中有短暂的间隔。这些特征说明,在鲕粒滩沉积时期,研究区海平面升降较为频繁,造成了鲕粒滩的多期叠加,鲕粒滩储层在纵横向非均质性较强。

研究认为:飞仙关组鲕粒滩的分布受控于层序-沉积相,但鲕粒滩储层的发育受控于高频旋回内水动力的强弱与微地貌的耦合关系,台地—斜坡转折带与微地貌高部位为高能鲕粒滩发育的有利部位。

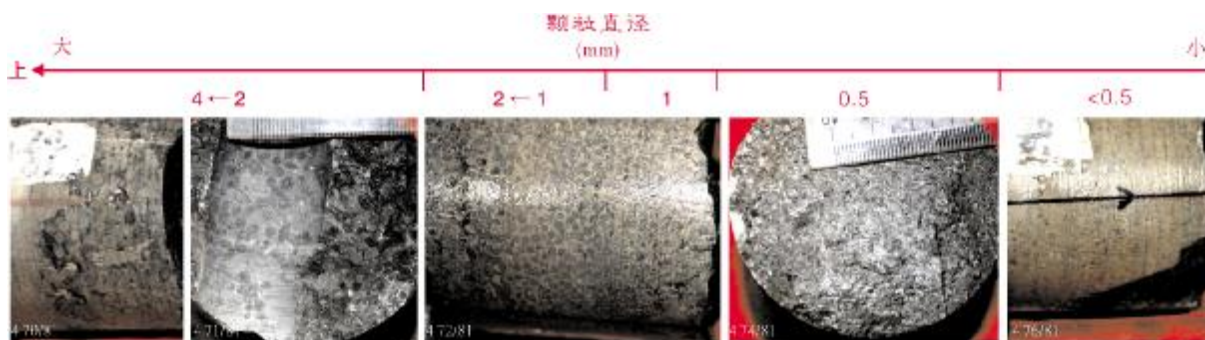


图 6 元坝地区 YB2 井飞仙关组二段第 4 回次取心段高频旋回中颗粒大小变化

5 结 论

(1)元坝地区早三叠世飞仙关期发生了两次规模较大的海平面升降,飞仙关组由此可划分为 2 个三级沉积层序,分别为 SQ_1 (飞仙关组一、二段)和 SQ_2 (飞仙关组三、四段)。

(2)三级层序 SQ_1 沉积早期(四级层序 C_1-C_2),受晚二叠统世长兴末期沉积古地貌差异性的影响,元坝地区西北部发生快速充填,早期的陆棚相和台地前缘斜坡相演变成成为开阔台地相;晚期(四级层序 C_3-C_4)台地边缘发育两期鲕粒滩亚相(第一期发育于早期开阔台地相带,第二期鲕粒滩大面积分布),

仅东部小范围为台地前缘斜坡相沉积。

(3)三级层序 SQ_2 沉积时期,元坝地区相带变得相对单一,仅在层序 C_5 沉积期有一定差异,在相对低部位为开阔台地相沉积,发育鲕粒滩和滩间亚相,晚期全区演变为局限台地相、台地蒸发岩相沉积。

(4)飞仙关组鲕粒滩的分布受控于层序-沉积相,但鲕粒滩储层的发育受控于高频层序与微地貌的耦合关系。

参考文献

- [1] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等.四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J].矿物岩石,2005,20(4):73-79.
- [2] 郑荣才,罗平,文其兵,等.川东北地区飞仙关组层序—岩相

- 古地理特征和鲕滩预测[J]. 沉积学报, 2009, 27(1): 1-8.
- [3] 张建勇, 周进高, 郝毅, 等. 四川盆地环开江—梁平海槽长兴组—飞仙关组沉积模式[J]. 海相油气地质, 2011, 16(3): 45-54.
- [4] 郭彤楼. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组台地边缘层序地层及其对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 387-394.
- [5] 段金宝, 黄仁春, 程胜辉, 等. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组碳酸盐岩台地沉积体系及演化[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 663-668.
- [6] 赵文光, 蔡忠贤, 邹华耀, 等. 川东北元坝地区三叠系飞仙关组碳酸盐岩台地演化影响因素分析[J]. 石油地球物理勘探, 2010, 45(3): 411-413.
- [7] 陈洪德, 覃建雄, 王成善, 等. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(4): 511-521.
- [8] 侯中健, 陈洪德, 田景春, 等. 层序岩相古地理编图在岩相古地理分析中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(14): 376-382.
- [9] 徐强, 刘宝珺, 何汉漪, 等. 四川晚二叠世生物礁层序地层岩相古地理编图[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 47-50.
- [10] 李国军, 郑荣才, 唐玉林, 等. 川东北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(4): 64-70.
- [11] 戴荔果, 郑荣才, 李爽, 等. 川东—渝北地区飞仙关组层序—岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 110-119.
- [12] 贾振远. 碳酸盐岩沉积学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992.
- [13] 马永生. 碳酸盐岩储层沉积学[M]. 北京: 地质出版社, 1999.

编辑: 赵国宪

Lower Triassic Feixianguan Stratigraphical Sequences and Sedimentary Facies Characteristics in Yuanba Area in the Northeast of Sichuan Basin

Duan Jinbao, Peng Jin

Abstract: After inheriting the sedimentary pattern of the Upper Permian Changxing Formation, the Lower Triassic Feixianguan Formation undergone evolutions from carbonate shelf and slope facies to platform facies in Yuanba area in the northeast of Sichuan Basin. According to the drilling and seismic data, Feixianguan Formation can be divided into 2 sequences (SQ₁ and SQ₂) and 8 subsequences (from C₁ to C₈). In the early phase of SQ₁ sedimentation (i.e. Subsequences C₁ and C₂), influenced by the topographic difference at the end of Changxing sedimentation, open platform facies developed accompanying with quick filling in the northwestern part of Yuanba. In the late phase of SQ₁ (i.e. C₃ and C₄), two episodes of oolitic shoal subfacies developed, the first episode developed in the early open platform and the second one widely distributed in this area except locally distribution in platform foreslope. During SQ₂ sedimentation (i.e. Subsequences C₅ to C₈), the sedimentary facies was relatively simple only except some difference in the C₅ sedimentation, in which open platform oolitic shoal and inter-shoal subfacies developed in relatively low positions. In late phase of SQ₂, the open platform evolved into restricted platform and platform evaporite facies in the whole area. Although the distribution of oolitic shoal facies is controlled by stratigraphical sequence and sedimentary facies, the reservoirs in oolitic shoal facies are controlled by the coupling of high-frequency sequence and microtopography.

Key words: Lower Triassic; Feixianguan Fm., Stratigraphical sequence; Sedimentary facies; Sedimentary characteristics; Yuanba, Sichuan Basin

Duan Jinbao; male, MSc, Geology Engineer. Add: SINOPEC Research Institute of South Exploration and Exploitation Company, Jitai Rd., Chengdu, 610041, China