

川东北元坝地区三叠系飞仙关组 鲕粒滩暴露标志的识别与地质意义

刘雁婷¹, 傅恒², 陈骥³, 李秀华², 曹峻锋⁴

(1 中国石化勘探南方分公司研究院; 2 成都理工大学能源学院)

(3 中国石油西南油气田公司; 4 成都地质矿产研究所)

摘要 四川盆地东北部元坝地区下三叠统飞仙关组储层主要为台地相鲕粒滩灰岩沉积。以研究区6口井岩心观察描述、15块岩心薄片及200块岩屑薄片鉴定为基础,结合扫描电镜及电子探针等分析手段,识别出元坝地区飞仙关组鲕粒灰岩成岩过程中的五种暴露标志:大气淡水方解石胶结物、溶蚀现象(鲕粒内溶孔充填淡水方解石)、含砾屑鲕粒灰岩(砾屑为海滩岩的破碎产物)、渗流黏土及渗流粉砂、褐铁矿化现象。综合区域地质及构造演化,认为飞仙关组二期末期海平面下降,使原沉积区暴露地表,经受大气淡水淋滤和溶蚀。这些暴露现象可作为识别碳酸盐岩层序界面的重要标志,也可以对精细层序的划分进行印证。暴露溶蚀作用易形成大量的次生孔隙,有利于优质储层的形成。

关键词 四川盆地; 元坝地区; 下三叠统; 飞仙关组; 碳酸盐岩储层; 鲕粒滩相; 暴露标志

中图分类号: TE121.3²

文献标识码: A

碳酸盐岩礁滩体的暴露现象,是其发育过程中因海平面下降或后期地层抬升而产生的。沉积物经常暴露于潮上,导致礁滩体遭受大气淡水淋滤和溶蚀并在礁滩体内形成孔隙,这对礁滩体储集空间的形成具有重要作用^[1]。尽管碳酸盐岩的高化学活动性贯穿于整个埋藏史,但最为强烈的孔隙改造发生在成岩早期,它受层序边界的沉积物暴露于大气淡水所驱动^[2]。

四川盆地是海陆相叠合的具有油气潜力的沉积盆地,其蕴藏油气资源的地层主要为海相碳酸盐岩地层^[3]。1995—2000年在四川盆地东北部先后发现了渡口河、罗家寨、铁山坡等气田的飞仙关组鲕粒滩气藏^[4],2003年又发现了普光大气田长兴组—飞仙关组台缘礁滩相气藏^[5],其后又陆续发现了元坝、龙岗等气田的长兴组—飞仙关组大型台缘礁滩相气藏^[6]。在对盆地东北部下三叠统飞仙关组层序、沉积及储层的研究中,不少人认为飞仙关组储层发育的优劣与其鲕粒滩相是否有过暴露密切相关。目前,对

飞仙关组鲕粒滩暴露现象的认识有:(1)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^[7];(2)鲕粒滩在次级海平面升降过程中可能出现频繁暴露^[8];(3)川东北蒸发台地的鲕粒岩层序上部常见渗流豆粒、层间岩溶角砾岩、钙结壳、充填渗流物的垂直溶解缝等现象反映了沉积间断或暴露面发育^[9];(4)飞仙关组的二段与三段之间存在暴露侵蚀不整合界面,且沉积物经常暴露,岩石孔隙度很高,储集物性非常好^[10]。但前人的研究多未对暴露现象有详细描述,且对其如何进行识别也未做深入探讨。

本文以盆地东北部元坝地区飞仙关组鲕粒滩相地层6口井(YB2、YB101、YB102、YB12、YB5、YB4井)的岩心观察、15块岩心薄片及200块岩屑薄片的鉴定为基础,运用扫描电镜、薄片能谱以及电子探针等测试方法,对飞仙关组鲕粒滩中的暴露现象进行识别,并探讨了这对层序界面的识别和划分的作用,以及对储层的影响。

收稿日期: 2013-01-28; 改回日期: 2013-06-18

本文为中国石化股份有限公司重点研究项目“元坝地区长兴组—飞仙关组储层描述与预测”(编号:P09024)部分研究成果

刘雁婷:女,1986年生。2011年成都理工大学毕业,获硕士学位。主要研究方向为含油气盆地地震地层学与层序地层学。通讯地址:610041四川省成都市高新区吉泰路中石化科研办公基地

1 地质背景

研究区位于四川盆地东北部元坝地区(图1),北为九龙山背斜构造带南端,南为苍溪—巴中(川中)低缓构造带,东北与通南巴背斜构造带相邻^[11]。研究区处于多个构造的交接地区,具有构造复合叠加的

典型特征^[12]。元坝地区下三叠统飞仙关组上覆下三叠统嘉陵江组,下伏上二叠统长兴组。飞仙关组主要由一套台地相的沉积物组成,由下至上可分为四个段(图2):一段主要为浅灰色微晶灰岩、泥质灰岩,二段主要为浅灰色鲕粒灰岩,三段为紫红色微晶灰岩夹鲕粒灰岩,四段为灰色、灰紫色白云岩与硬石膏。

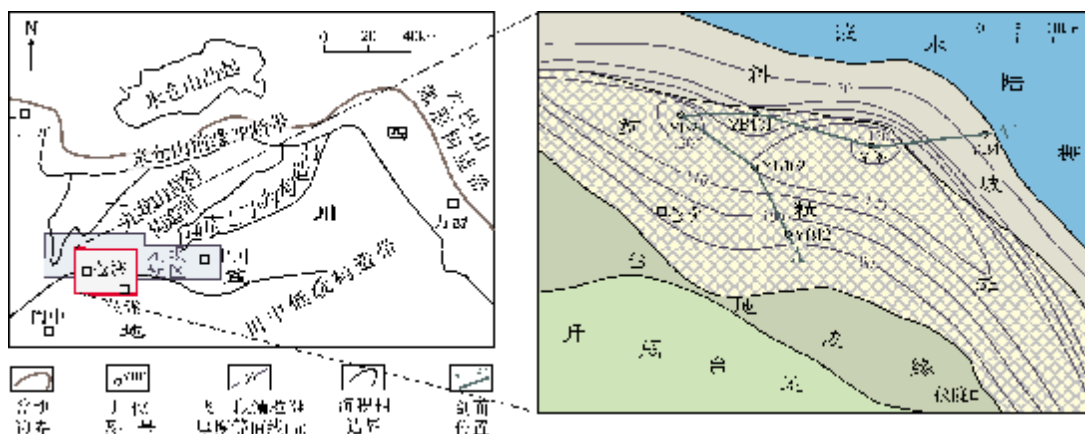


图1 元坝地区研究区位置及飞仙关组二段鲕粒滩相分布图

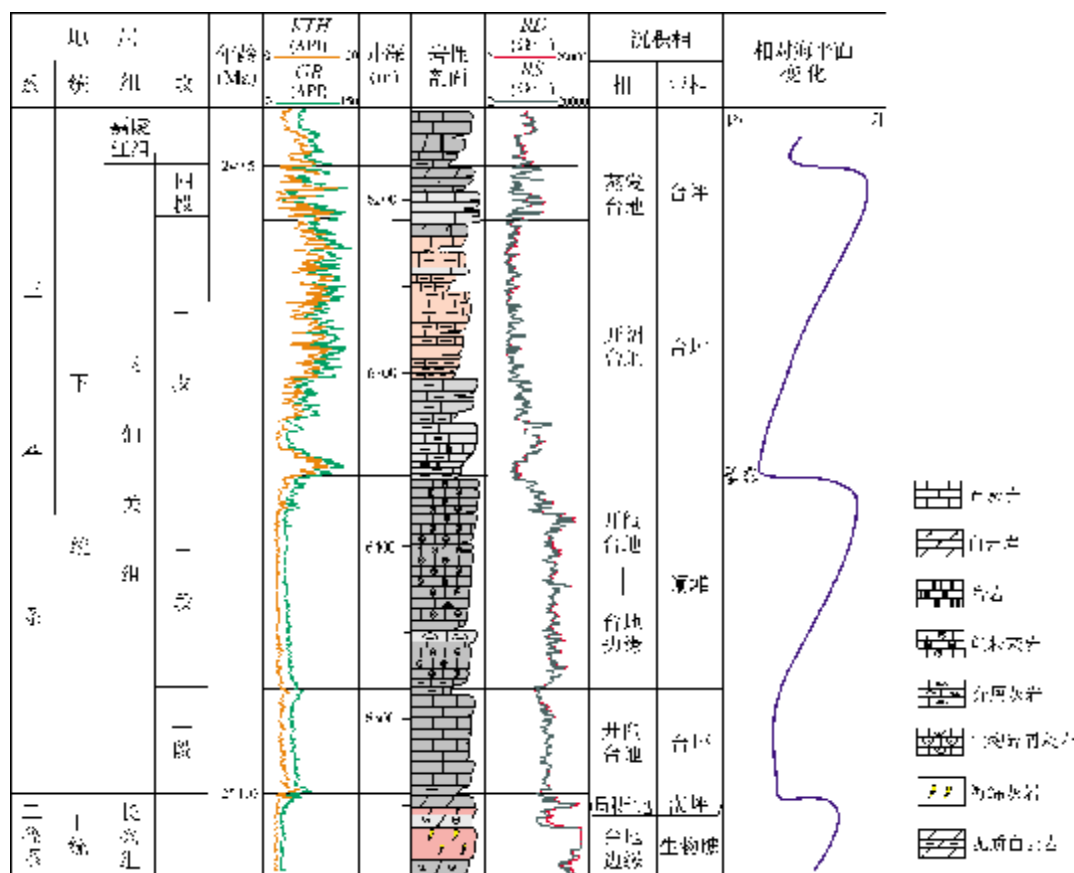


图2 元坝地区YB2井飞仙关组地层柱状图与沉积相划分

早三叠世,四川盆地处于相对稳定时期,元坝地区飞仙关组以浅海开阔台地相沉积为主,局部为台盆相。飞仙关期二时,研究区主要沉积了开阔台地—台地边缘相中的鲕粒滩亚相(图1)。飞仙关期二时末期,海平面下降,使原沉积区暴露地表;由于暴露时间短,海平面相对下降幅度小,飞仙关组二段与三段界面之间为整合接触(图2)。这次暴露事件对川东北元坝地区飞仙关组储层有着重要影响。

飞仙关组二段鲕粒滩亚相是台地潮下较高能环境下的沉积产物,岩石类型主要为鲕粒灰岩、砂屑灰岩、鲕粒砾屑灰岩、生物碎屑灰岩、豆粒灰岩、鲕粒微晶灰岩及微晶灰岩等。鲕粒以真鲕为主,薄皮鲕少量,大小以0.25~0.6 mm为主,伴生组分有豆粒、复鲕及砂砾屑。灰白色微晶灰岩在飞仙关组二段内呈薄夹层产出,鲕粒微晶灰岩鲕粒晶化现象易见,夹在微晶鲕粒灰岩或亮晶鲕粒灰岩内。

2 鲕粒滩暴露标志的识别

本研究所选6口井(图1)中,5口井(YB12、YB102、YB2、YB101、YB5井)的飞仙关组二段均为鲕粒滩亚相;另一口井YB4井,其飞仙关组二段的优势相为斜坡相,由于海平面变化,在二段顶部发育台地边缘的鲕粒滩亚相。

根据对6口井岩心的详细观察描述,以及对其15块岩心薄片和200块岩屑薄片鉴定中成岩矿物典型特征的分析,识别出飞仙关组具有五种暴露现象:大气淡水方解石胶结物发育、溶蚀作用强烈、含砾屑鲕粒灰岩(砾屑为海滩岩的破碎产物)、渗流黏土和渗流粉砂,以及褐铁矿化。研究区6口井暴露标志样品出现的井深及层位分布见图3。这些标志均表明了由于海平面曾有下降,鲕粒滩因此暴露于大气淡水环境。

2.1 暴露标志1——大气淡水方解石胶结物发育

大气成岩环境中既可发生溶蚀作用,也可造成方解石沉淀。在YB2井、YB101井、YB102井、YB12井、YB5井、YB4井飞仙关组二段顶部及其附近的鲕粒灰岩中,发现由细粒状方解石组成的新月形及悬垂状胶结物(大气淡水方解石样品出现的井深及层位见图3),因YB2井的样品较好,通过对该井6 427 m

样品的电子探针分析,发现其微量元素成分几乎均不含Na₂O、FeO、K₂O、SrO和MnO,MgO含量较低(见表1)。6口井的特征均相似,这些特征表明,它们为典型的大气淡水渗流带的产物;同时发现等轴细粒状、菱形、六面体粉—细晶方解石胶结物沿充填原生孔隙的纤状环边胶结物的外缘生长,并与之呈胶结不整合接触,晶体干净明亮,半自形—自形,表明为大气潜流带的产物。

表1 元坝地区飞仙关组二段大气淡水方解石胶结物电子探针成分分析表(YB2井6427.00m样品)

探针点	胶结物(w%)							
	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	MnO	FeO	SrO	BaO
1	0.034	0.363	0.009	54.564	0.023	0.008	0.016	0.094
2	0.635	0.314	0.005	54.970	0.015	0	0.008	0

2.2 暴露标志2——溶蚀作用强烈

早三叠世,受沉积旋回的控制,海平面相对下降,碳酸盐台地上鲕粒滩等极浅水沉积区的沉积物时而出露海面,受到富含CO₂的大气淡水的淋滤,对鲕粒灰岩中不稳定组分进行选择性的溶蚀。

因铸体薄片资料有限,仅在YB102井6 601.35 m和YB2井6 431.50 m飞仙关组二段中见大小不一、形态各异的溶孔(粒内溶孔、粒间溶孔、铸模孔等)、溶缝(图4a和4b),粒内溶孔孔径大小不均,视鲕粒直径大小而定,最大的有1 mm,一般在0.05~0.3 mm;部分溶孔大,形成负鲕,而溶缝多为微裂缝。YB2井6 400~6 409 m、6 426~6 434 m和6 453~6 461 m井段溶蚀孔缝面孔率达3%~5%,YB102井6 595~6 606 m井段溶蚀孔缝面孔率达3%~6%。部分鲕粒灰岩粒内溶孔未被胶结物充填,说明当时处在大气渗流带环境;而部分鲕粒内溶孔呈半充填状,可见残留溶孔,充填淡水方解石,呈小菱形等粒状(如图4c、图5),化学成分单一,只有C、Ca、O元素,无Fe、Sr、K、Mg、Na元素(表2,图5),这些现象均表明为大气淡水成因。

被胶结物充填的孔隙多为无效孔隙,但后期的埋藏溶解常常沿此类孔隙再次发生溶蚀。次生孔隙在碳酸盐岩储层中十分重要,由大气暴露产生的溶蚀孔隙被认为是产生次生孔隙的主要方式^[13]。

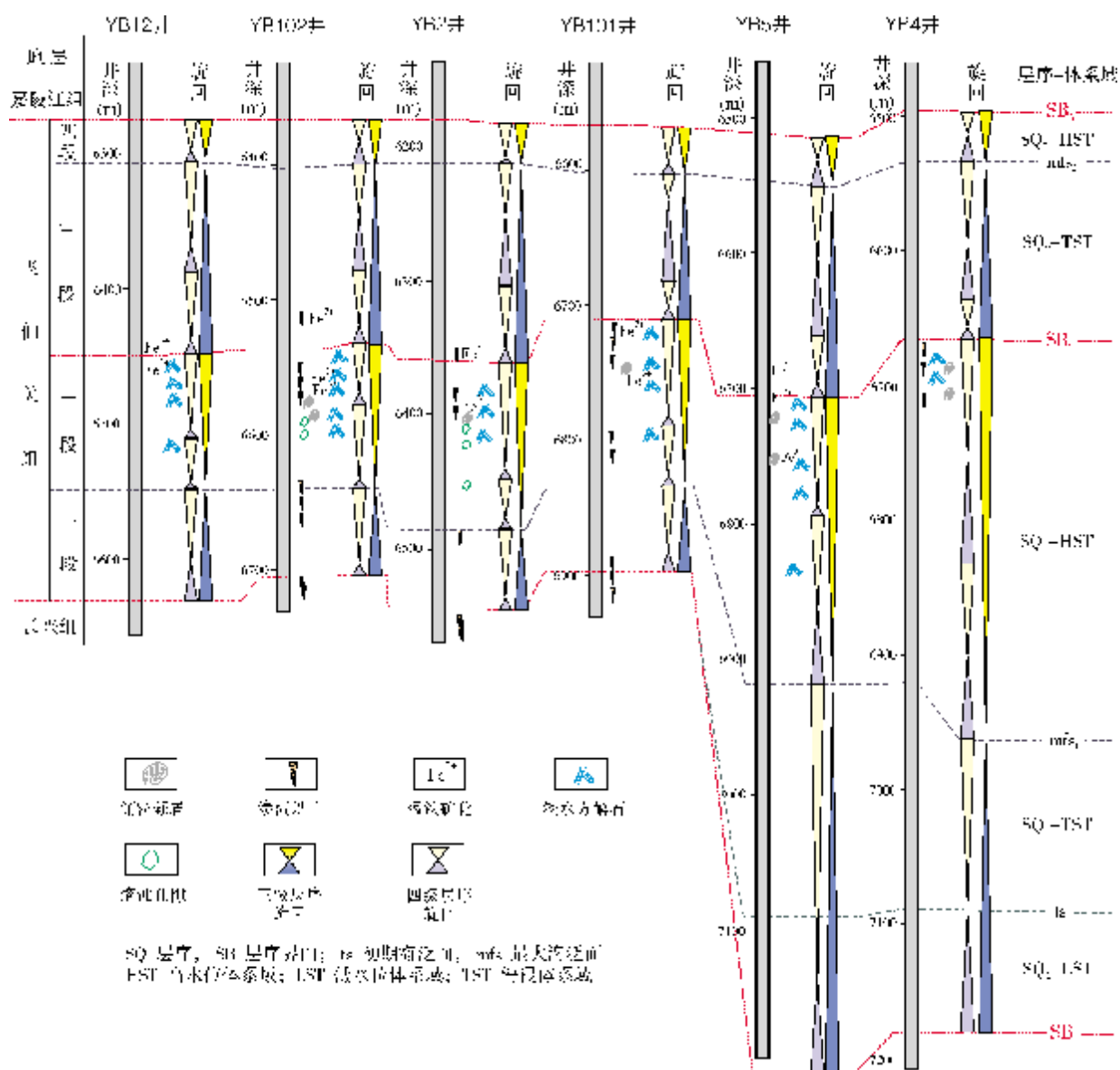


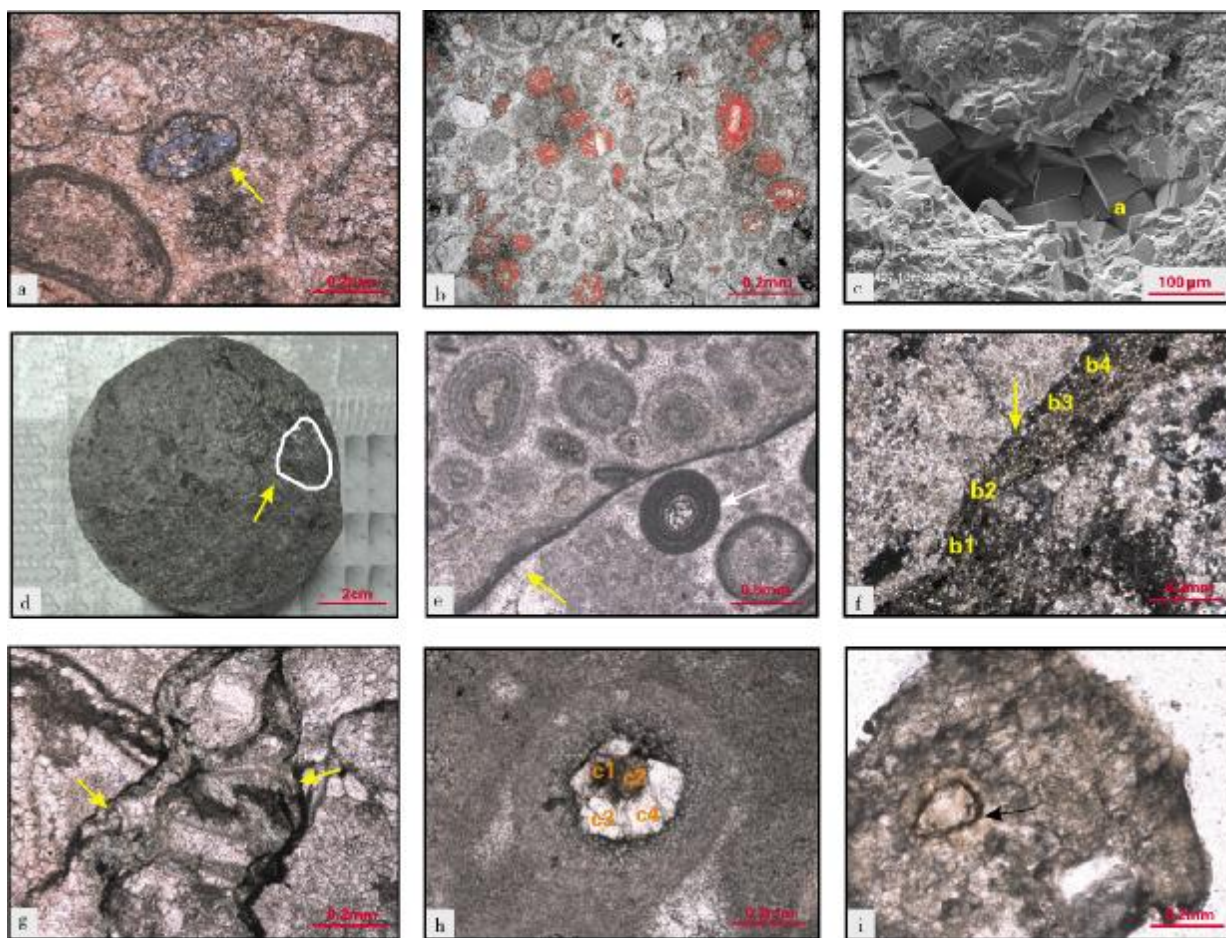
图3 元坝地区飞仙关组暴露标志分布及层序地层对比图

表2 元坝地区飞仙关组二段鲕粒灰岩粒内溶孔充填淡水方解石元素含量电子探针分析数据表
(YB2井 6427.10m 样品)

探针点	计量	元素含量(%)			总量(%)
		C	O	Ca	
a	重量百分比	9.26	40.12	50.62	100.00
	原子百分比	16.98	55.21	27.81	100.00

2.3 暴露标志3——含砾屑鲕粒灰岩

在研究区 YB101 井、YB102 井、YB5 井、YB4 井飞仙关组二段中均可见含砾屑的鲕粒灰岩(样品出现的井深及层位见图3), 石灰岩中鲕粒含量大于80%, 且鲕粒粒度较均匀(约1mm), 见少量生物碎屑, 如海百合、腕足等。砾屑成分为亮晶鲕粒灰岩屑, 砾屑的形态一般较规则, 似球形, 磨圆中等, 砾屑大小不等, 长轴一般在0.2~0.5cm, 最大可达2~3cm。



(a) 亮晶鲕粒灰岩中的溶孔。YB102井6601.35m。薄片(-), 10×10
 (b) 亮晶鲕粒灰岩中的铸模孔、粒内溶孔。YB2井6431.50m。薄片(-)
 (c) 亮晶鲕粒灰岩粒内溶孔充填的淡水方解石。YB2井6427.10m。扫描电镜。图中a点电子探针分析数据见表2
 (d) 深灰色含砾屑鲕粒灰岩。砾屑成分(黄色箭头所指)也为鲕粒灰岩; 砾屑似球形, 颜色较原岩深。YB5井6757.85m。岩心
 (e) 含砾屑鲕粒灰岩中的海滩岩砾屑(黄色箭头所指)和鲕粒灰岩原岩(白色箭头所指)。YB5井6759.10m。薄片(-), 10×4
 (f) 鲕粒灰岩中的溶缝被渗流黏土充填。YB101井6796.70m。薄片(+), 10×10。图中各b点电子探针分析数据见表3
 (g) 鲕粒灰岩中渗流成固的绿泥石黏土。YB2井6353.00m。薄片(-), 10×10
 (h) 褐铁矿化鲕粒灰岩。鲕粒核心被褐铁矿化, 圈层被淡水方解石胶结, 周围发育氧化铁环边, YB5井6707.50m。薄片(-), 10×10。
 图中各c点电子探针分析数据见表4
 (i) 褐铁矿化鲕粒灰岩。鲕粒圈层被褐铁矿化。YB12井6450.00m。薄片(-), 10×10

图4 元坝地区飞仙关组二段鲕粒滩中的暴露标志特征

砾屑颜色较围岩深, 砾屑内亮晶方解石胶结物结构与砾屑外鲕粒之间、鲕粒与砾屑之间亮晶方解石胶结物结构差异大, 但砾屑内外鲕粒特征相似(图4d、4e), 表明含砾屑鲕粒灰岩中的砾屑来源于已胶结但胶结较松散的鲕粒灰岩的破坏产物, 反映了此含砾屑鲕粒灰岩为原来的鲕粒滩灰岩暴露之后被波浪破坏、近距离搬运的再堆积体, 即海滩岩产物。由于海滩岩是由海滩沉积物在未埋藏之

前胶结作用形成的^[14], 属于同生暴露的标志性岩石, 所以含砾屑鲕粒灰岩是一种代表该时期曾经暴露的标志。

2.4 暴露标志4——渗流黏土及渗流粉砂

渗流黏土及渗流粉砂是由于随着海平面的相对下降, 沉积物暴露于大气水中时, 渗流带淡水沿孔隙渗滤、溶解, 携带的碳酸盐灰泥、粉屑物质或黏土充

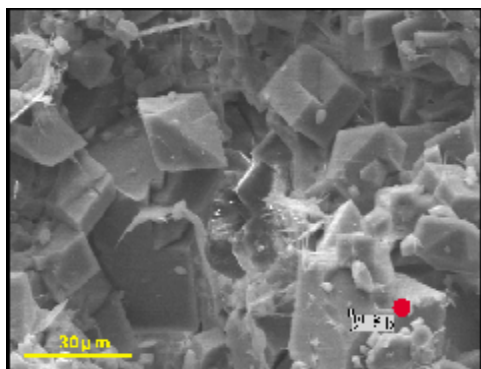


图5 元坝地区飞仙关组二段鲕粒灰岩粒内充填淡水方解石特征
6025.7m, 飞仙关组二段, 红志组的深部(图4f)

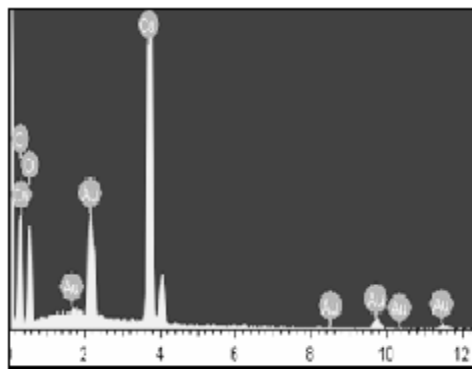


图5 元坝地区飞仙关组二段鲕粒灰岩粒内充填淡水方解石特征
6025.7m, 飞仙关组二段, 红志组的深部(图4f)

图5 元坝地区飞仙关组二段鲕粒灰岩粒内充填淡水方解石特征

填于孔隙或裂缝而形成的^[15]。在所有6口井的飞仙关组二段鲕粒灰岩中均见渗流黏土(样品出现的井深及层位见图3), YB101井中见沿“V”型溶缝(图4f), 部分溶蚀孔中充填有渗流黏土及渗流粉砂。渗流充填物中有破碎的鲕粒、暗色灰泥、粉砂及黏土等, YB2井见渗流的绿泥石黏土(图4g)。

YB101井样品的渗流黏土较具有代表性(其探针成分见表3), 矿物以硅铝质 SiO_2 和 Al_2O_3 为多, 其次为 CaO , 还含有少量 MgO 、 K_2O 、 FeO 、 TiO_2 、 Na_2O 、 MnO 成分。渗流粉砂易被后期酸性成岩流体溶蚀而形成具粒(砾)间孔、粒(砾)间溶孔的孔隙型储层^[16]。

表3 元坝地区飞仙关组二段渗流黏土成分电子探针分析数据表(YB101井6796.70m样品)

探针点	黏土成分含量(w%)*								
	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO
b1	0.102	2.825	11.088	19.652	3.223	23.440	0.185	0.012	2.020
b2	0.137	3.302	18.490	36.849	6.129	12.917	0.525	0	0.910
b3	0.445	3.207	20.899	40.227	7.549	2.816	2.638	0	2.762
b4	0.439	9.295	13.923	24.968	4.477	12.052	1.554	0.039	1.973

* 表中各探针含量数据合计不足100%的部分为 CO_2 含量

2.5 暴露标志5——褐铁矿化

褐铁矿化在YB2井、YB101井、YB102井、YB12井、YB5井飞仙关组二段和三段中均有发现(样品出现的井深及层位见图3), 这些井中的微晶鲕粒灰岩、含鲕粒微晶灰岩和变晶鲕粒灰岩, 鲕粒核心、鲕粒圈层或基质均有被褐铁矿化的痕迹(如图4h、4i)。例如YB5井, 基质及外圈层被褐铁矿染, 核心被褐铁矿化, 鲕粒周围发育氧化铁环边, 圈层被淡水方解石胶结(图4h)。

YB5井褐铁矿化鲕粒较具有代表性, 其探针资料分析(表4)表明, 鲕粒核心及鲕粒圈层的 Na_2O 、

MgO 、 K_2O 、 CaO 、 MnO 等成分含量差不多, 但褐铁矿化的鲕粒核心 FeO 的含量较高(大于3.0), 而未褐铁矿化的鲕粒圈层 FeO 含量大部分很低(小于0.6)。

褐铁矿化强度及探针分析数据表明: 鲕粒灰岩曾暴露于大气淡水中, 经受大气淡水的淋滤; 大气淡水中富含 O_2 和 CO_2 , 鲕粒灰岩处于开放的氧化环境之中, 易形成褐铁矿化。褐铁矿化发生于海平面下降时期, 是形成储层的一个重要时期, 但对于元坝地区而言, 发生在飞仙关组二段鲕粒灰岩内的褐铁矿化对储层的贡献的评估尚有待于进一步研究。

表4 元坝地区飞仙关组二段褐铁矿化鲕粒核心与未褐铁矿化鲕粒圈层探针分析数据对比表(YB5井6707.50 m样品)

褐铁矿化类型	探针点	成分含量(w%) [*]					
		Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	MnO	FeO
褐铁矿化 鲕粒核心	c1	0.061	0.767	0.130	51.262	0.038	3.059
	c2	0.080	1.673	0.502	45.170	0.045	4.879
未褐铁矿化 鲕粒圈层	c3	0	0.673	0.015	57.387	0.019	0.425
	c4	0.049	0.772	0.021	55.948	0.063	0.591

* 表中各探针含量数据合计不足100%的部分为CO₂含量

3 暴露标志的地质意义

3.1 用于划分层序界面

暴露不整合层序界面是盆地构造活动稳定时期海平面升降发生转折形成的界面,主要形成于海平面主体下降期,由发育在坡折带之上的碳酸盐台地暴露而形成^[17]。前文中所述五种典型的暴露标志多发育在飞仙关组二段与三段的分界面附近(见图3),表明此时段曾发生过暴露。这是由于飞仙关二期末期海平面相对下降,碳酸盐台上的鲕粒滩等极浅水沉积物暴露地表而形成的。同时,通过与在地震剖面及测井曲线上划分的层序界面对比,对此分界面也得到了印证。因此,可在飞仙关组二段与三段之间划出一个三级层序界面,为暴露不整合层序界面(SB2)。

3.2 对划分精细层序进行印证

层序的高水位体系域(HST)时期,随着海平面周期性下降,碳酸盐台地开始周期性暴露,这一过程主要为同生暴露,并随着海平面次一级升降在高水位体系域反复进行。由于海平面的周期性升降,可依据测井曲线在层序内部划分出次一级层序界面(由海侵→海退次级旋回组成),次一级(四级)的海退造成鲕粒滩暴露,也可形成各种暴露现象,但不如三级层序界面附近的暴露现象丰富。

通过对研究层段薄片资料的鉴定和整理分析,可获得其深度展布规律。将次一级(四级)层序界面深度与暴露标志的分布深度进行对比分析,发现在YB2井、YB101井、YB102井、YB5井中SQ₁层序内部可见暴露现象(图3),多发育于海退次级旋回界面的附近。由此,间接印证了次级旋回划分的合理性。

3.3 暴露溶蚀有利于提高储层的孔渗性

溶蚀作用对飞仙关组鲕粒灰岩孔渗性的改良具有普遍性。溶蚀作用多发育在层序暴露界面之下的高位体系域,作用程度较强,是最为重要的建设性成岩作用。由于滩体暴露,在湿润古气候条件下遭受大气淡水溶蚀,形成次生储集空间,包括各种粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔及各类溶蚀微裂缝等,且以铸模孔和粒内孔为主^[18-19]。暴露现象发育的层段多为好的储层段,说明其对储层具有建设性改造作用。一是由于暴露形成的孔隙为以后扩溶形成优质储层提供了先决条件,二是渗流粉砂易被后期酸性成岩流体溶蚀而形成具粒间孔、粒间溶孔的孔隙型储层^[16]。

YB2井飞仙关组二段的孔隙度多为3%~5%,渗透率为(0.05~93)×10⁻³μm²; YB101井的孔隙度多为1%~3%,渗透率为(0.01~10)×10⁻³μm²; YB102井的孔隙度多为2%~6%,渗透率为(0.01~14.3)×10⁻³μm²; YB5井的孔隙度多为1%~6.75%,渗透率为(0.01~0.4)×10⁻³μm²。从物性分析上可以看出,暴露溶蚀可形成高孔渗段,这对优质储层的形成做出了重要的贡献。

4 结论

(1)通过岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜及电子探针分析,识别出四川盆地东北部元坝地区三叠系飞仙关组鲕粒滩成岩过程中的五种暴露标志:大气淡水方解石胶结物发育,溶蚀作用(鲕粒内溶孔充填淡水方解石),含砾屑鲕粒灰岩(砾屑为海滩岩的破碎产物),渗流黏土及渗流粉砂的发育,褐铁矿化现象。

(2)这些暴露标志表明元坝地区飞仙关组二段与三段之间为一个暴露界面,飞仙关二期末期海平面下降,碳酸盐台上的鲕粒滩等极浅水沉积物暴露地表。

(3) 暴露标志具有重要的地质意义, 它可与岩性、岩相突变面, 测井变化界面等结合, 识别碳酸盐岩层序界面, 也可对精细层序的划分进行印证。利用暴露标志也有利于寻找优质的储层层段。

参考文献

- [1] 曾萍, 谭钦银, 余谦, 等. 四川盆地东北部飞仙关组暴露浅滩、非暴露浅滩与储层关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2003, 23(4): 41-45.
- [2] 莫尔 C H. 碳酸盐岩储层——层序地层格架中的成岩作用和孔隙演化[M]. 姚根顺, 沈安江, 潘文庆, 等, 译. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [3] 张婷婷, 刘波, 秦善. 川东北二叠系—三叠系白云岩成因研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2008, 44(5): 799-809.
- [4] 冉隆辉, 陈更生, 徐仁芬. 中国海相油气田勘探实例之一: 四川盆地罗家寨气田的发现与探明[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1): 43-48.
- [5] 马永生. 中国海相油气田勘探实例之六: 四川盆地普光大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2006, 11(2): 35-40.
- [6] 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.
- [7] 冯仁蔚, 王兴志, 张帆, 等. 四川盆地东北部下三叠统飞—飞三段孤立碳酸盐岩台地沉积相及相关研究[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 54-66.
- [8] 王兴志, 张帆, 蒋志斌, 等. 四川盆地东北部飞仙关组储层研究[J]. 地质前缘, 2008, 15(1): 117-122.
- [9] 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岩蒸发台地沉积相[J]. 古地理学报, 2005, 7(3): 359-371.
- [10] 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, 25(4): 73-79.
- [11] 敬朋贵. 川东北地区礁滩相储层预测技术与应用[J]. 石油物探, 2007, 46(4): 363-369.
- [12] 高长林, 刘光祥, 张玉箴, 等. 东秦岭—大巴山逆冲推覆构造与油气远景[J]. 石油实验地质, 2003, 25(增刊 1): 523-531.
- [13] 蔡峰, 许红, 郝先锋, 等. 西沙—南海北部晚第三纪生物礁的比较沉积学研究[J]. 沉积学报, 1996, 14(4): 61-69.
- [14] 刘宝珺, 张锦泉. 沉积成岩作用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [15] 姜在兴, 等. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- [16] 张宝民, 刘静江, 边立曾, 等. 礁滩体与建设成岩作用[J]. 地质前缘, 2009, 16(1): 270-289.
- [17] VAIL P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part I: Seismic stratigraphy interpretation procedure [C]// Bally A W. Atlas of seismic stratigraphy. AAPG: Studies in Geology[J]. 1987, 27: 1-10.
- [18] 赫云兰, 付孝悦, 刘波, 等. 川东北飞仙关组鲕滩沉积与成岩对储集层的控制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 434-443.
- [19] 张学丰, 赫云兰, 马永生, 等. 川东北飞仙关组沉积控储机理研究[J]. 地质前缘, 2011, 18(4): 224-235.

编辑: 赵国宪

Exposure Indications of Triassic Feixianguan Oolitic Beach Reservoir in Yuanba Area, Northeast Sichuan Basin: Recognition and Geological Implication

Liu Yanting, Fu Heng, Chen Ji, Li Xiuhua, Cao Junfeng

Abstract: Lower Triassic Feixianguan reservoirs mainly consist of platform oolitic beach limestone in Yuanba area in the northeastern part of Sichuan Basin. On the base of macroscopic observation of core and lithic thin sections from 6 wells, combining with the analysis of SEM and EP, five exposure indications can be recognized in wide-distributing Feixianguan oolitic limestone during diagenesis: 1) meteoric freshwater calcite cementation, 2) dissolution (filling freshwater calcite within oolitic dissolution pores), 3) gravelly oolitic limestone (gravels are the broken beach rock), 4) vadose clay and silt and 5) ferritization of ooids. Combined with the characteristics of regional geological and tectonic evolution, it is shown that sea level decline during the end of Feixianguan 2 Member sedimentation had made the primary sedimentary region expose to surface and undergo meteoric freshwater leaching and dissolution. Contributing to exposure and dissolution, a great amount of secondary pores develop increase which plays an important role in constructing excellent reservoirs. These exposure indications can be also used to recognize the sequence interfaces in carbonate rock and confirm the division of fine sequences.

Key words: Lower Triassic; Feixianguan Fm.; Oolitic beach facies; Carbonate reservoir; Exposure indication; Yuanba area; Sichuan Basin

Liu Yanting: female, MSc, Petroleum Geologist. Add: SINOPEC Research Institute of South Exploration and Exploitation Company, Jitai Rd., Chengdu, 610041, China