

四川盆地回龙地区下侏罗统自流井组大安寨段 混积岩特征及模式

谭梦琪^{1,2} 刘自亮^{1,2} 沈芳² 谢润成² 刘成川³ 邓昆² 徐浩²

(1.成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室 成都 610059;

2.成都理工大学能源学院 成都 610059;3.中石化西南油气分公司勘探开发研究院 成都 610041)

摘要 川西回龙地区自流井组大安寨段发育湖相碳酸盐岩和碎屑岩的混合沉积,结合野外露头、钻井岩芯、测井和显微组构等资料的综合分析,对该研究区混积岩沉积微相特征进行了精细刻画。研究认为,回龙地区大安寨段属湖泊混合沉积相,分为滨浅湖混合沉积和半深湖混合沉积两个亚相,并划分了五个沉积微相,分别为高能介壳滩混合沉积微相,低能介壳滩混合沉积微相,砂质浅滩混合沉积微相,浅湖混合沉积微相以及半深湖混合沉积微相。基于所划分的混合沉积相的特征和四川盆地以及研究区回龙大安寨段在侏罗纪的沉积相演变过程,分析了该区混积岩的成因及混合沉积演化模式。得出结论:研究区湖相混合沉积主要受物源供给和水动力条件的控制,在五种不同混合沉积微相控制作用下形成了不同类型的混积岩。

关键词 四川盆地 侏罗系 自流井组 混积岩 沉积模式

第一作者简介 谭梦琪 男 1993年出生 硕士研究生 沉积学 E-mail:843646449@qq.com

通讯作者 刘自亮 男 副教授 E-mail:bugliu2001@163.com

中图分类号 P534.52 P588.2 **文献标识码** A

0 引言

“混合沉积物”(mixed sediments)这一概念是由 Mount^[1]于1984首次正式提出,用来表述陆源碎屑岩和碳酸盐混合沉积的产物。在陆、海、浅水、深水等不同的沉积环境中,都有混合现象广泛出现^[2-3]。混合沉积的研究具有重要的沉积学意义,不仅有助于解释海平面变化、海岸线迁移、区域沉降速率、古气候对沉积的控制作用、划分层序地层^[4-5],而且混合沉积往往能够指示良好的油气储集层和烃源岩组合,因而对混合沉积的研究逐渐受到重视^[6-9]。混合沉积在定义上有狭义和广义之分。狭义的混合沉积是指在同一岩层内,陆源碎屑组分与碳酸盐组分的混合。在狭义混合沉积的基础上,广义混合沉积的概念还包括了硅质碎屑岩层与碳酸盐层构成的混合层系^[10-13]。另外,对于混合沉积的作用类型,Mount(1984)将其划分为四种类型:间断混合,原地混合,相混合和母源混合。而张雄华^[14]结合古生代相关资料,将其作用类型分为五类:事件突变沉积混合,相缘渐变沉积混合,原地沉积混合,侵蚀再沉积混合,岩溶穿插再沉积混合。

根据对南海北部大陆架现代礁源混合沉积作用的分析研究,王国忠^[15]划分了五类沉积类型。而董桂玉^[13]在研究惠民凹陷混合沉积时,根据混合沉积定义,将其划分为渐变式、突变式以及复合式三种混积类型。

对于海相硅质碎屑与碳酸盐岩的混合沉积,国内外的学者都有了较深入全面的理解,但对于陆相盆地硅质碎屑与碳酸盐岩的混合沉积,研究还较薄弱^[16-18]。并且主要集中在混合沉积的分类,作用类型以及沉积的机制^[19]等几个方面。因此,本文以四川盆地回龙地区下侏罗统自流井组大安寨段为例,讨论陆相湖盆混积岩的沉积微相特征、差异、沉积过程及发育模式。

1 区域地质背景

研究区位于川西凹陷回龙地区,地理上属于四川省中江县境内。区域构造位于川西凹陷东部斜坡与川中古隆起的过渡带上(图1)。自晚三叠世后期,由于扬子板块的隆升,四川盆地进入了陆相盆地沉积阶段。下侏罗统为大型的陆相淡水湖泊沉积,介壳灰岩

十分发育,以自流井组为典型代表;中侏罗统发育了以千佛崖组砂泥岩为主的河湖相沉积;上侏罗统为浅水湖泊沉积。下侏罗统自流井组从下到上依次发育了珍珠冲段、东岳庙段、马鞍山段和大安寨段。其中大安寨段时期的四川湖盆是一个稳定的陆相凹陷盆地。湖盆发展经历了水进期、最大水进期及湖盆水萎缩3个阶段^[20]。前期研究证实回龙地区大安寨段岩性为褐灰色灰岩与灰黑色泥、页岩互层,厚约70~80 m。有一定的生油气能力,但差别较大,在该区西部中江地区较差,其东侧的回龙地区相对较好,具有一定的油气勘探前景。目的层大安寨段自下而上可分为大一亚段、大二亚段、大三亚段3个亚段^[21]。

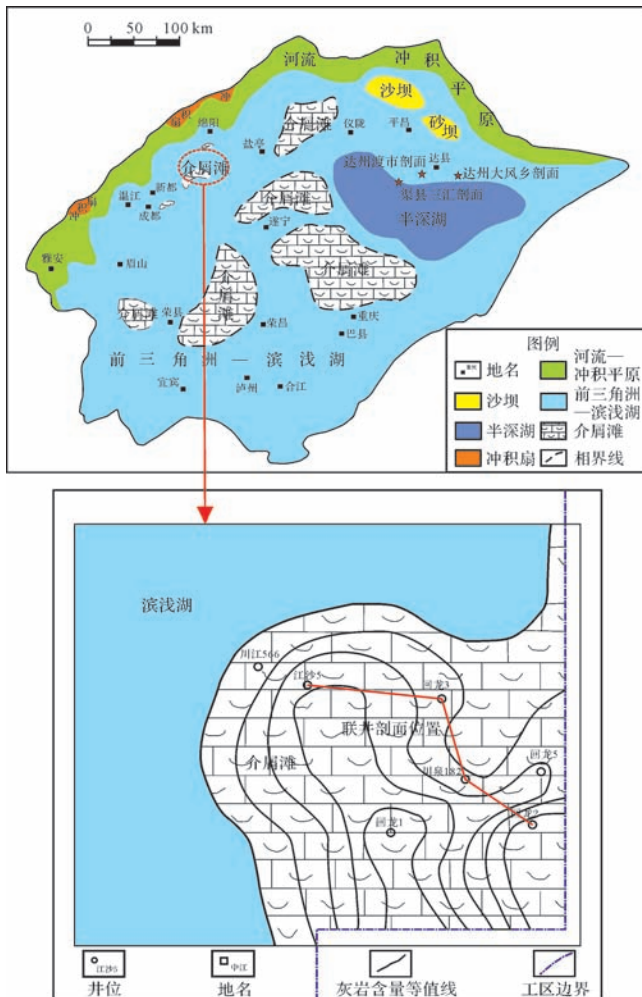


图1 四川盆地侏罗统沉积相及研究区位置图

Fig.1 Lower Jurassic sedimentary facies of the Sichuan Basin and location of the study area

2 沉积微相研究

川西回龙大安寨段属于浅湖—半深湖的沉积环境。本次研究主要通过研究区川泉182、回龙2、回龙

3和江沙5井4口井的岩芯数据(图2),渠县三汇州河煤矿、达州渡市(背斜东翼、西翼)和达州大风乡野外剖面的观察(图3),以及岩石颜色、组合类型、沉积构造、生物化石、遗迹化石、矿物学和测井相标志等资料,在前人研究的基础上,分析认为研究区回龙大安寨段沉积相主要分为滨浅湖、滨浅湖—半深湖两个亚相,以及低能介壳滩、高能介壳滩、砂质浅滩、半深湖以及浅湖与其他沉积微相的混合沉积5个微相类型^[22](图4)。

2.1 低能介壳滩混合沉积微相

低能介壳滩发育在水体能量较弱的滨浅湖沉积相区,位于最低湖水面和浪基面之间靠深湖一侧的地形高凸的坡带上。该相带受地形突变的影响,在平面上呈局部区域的环形分布。在大一亚段中部和大三亚段的下部,都可见低能介壳滩,其中在川泉182井和回龙3井的大三亚段下部低能介壳滩混合沉积微相尤为发育。其主要物源为原地沉积的碳酸盐岩,岩性为介壳颗粒堆积而成的介壳灰岩,介壳破碎(图5A),介壳顺层排列。垂向上多见中薄层介壳灰岩夹薄层的砂泥岩,多呈不连续上下展布,介壳灰岩厚度多为0.5~1 m变化不等,砂泥岩层多小于0.2 m。在该相区,水动力条件相对较弱,受波浪,湖水影响小。可见平行层理广泛发育(图2c)。GR曲线形态多呈丘状或指状(图4,6)。

在低能介壳滩微相中,泥质介壳灰岩(图2f),含砂质灰岩等混积岩可见,且岩芯中可见泥沙质呈条带状分布,多为小于5 cm的薄层状。较为常见的混积层系为介壳灰岩与含泥质介壳灰岩的互层(图3F),介壳灰岩主要以薄—中层灰色泥晶介壳灰岩为主,也有少量含泥质细晶介壳灰岩,介壳含量较高,颗粒较大。此外,在大一亚段的低能介壳滩中可见灰色富含介壳的泥岩薄层,泥质或灰质含量较高,单层厚度较小。

2.2 高能介壳滩混合沉积微相

高能介壳滩微相在剖面上位于最低湖水面和浪基面间向陆一侧的倾角小于30度的斜坡带上,在该斜坡带上,受到的湖浪冲刷最为强烈。该沉积微相反应了该地层发育时期水动力条件强,能量高的特点。高能介壳滩微相分布广泛,在大安寨各段地层都有出露,但在江沙5井和回龙3井的大一段中下部和大二亚段该微相最为发育。该相带平面上围绕着回龙地区呈北东—西南向环带状分布。其岩性为介壳颗粒堆积而成的厚层介壳灰岩(图2d、图3G),其厚度多

大于 1.5 m,但由于水动力较强,其介壳含量高且介壳破碎,杂乱排列(图 3F)。在 高能介壳滩微相发育的岩层,垂向上以发育厚层的介壳灰岩与混积岩为特征,且介壳灰岩中所含泥质含量低,几乎不可见砂泥岩充填。在沉积构造上,槽状交错层理、板状交错层理十分发育,反映了其动荡的水动力条件。在 GR 测井中曲线呈箱型或齿化箱型特征,AC 曲线呈低平形(图 4,6),反应其沉积过程能量高且一致,物源供应较充足。

在该微相中,由于水动力较强,泥页岩等多破碎成颗粒夹在介壳灰岩中,可见部分含泥质介壳灰岩等

混积岩的存在。在大一亚段中部和大三亚段上部的高能介壳滩相中,可见破碎的介壳灰岩局部夹有一些深灰色破碎成细小颗粒页岩形成的混积岩,但其延展不足 0.3 m。介壳灰岩与混积岩的互层在 高能介壳滩微相中较常见,介壳灰岩多具有中—厚层,颗粒大,含泥质少等特点,其混积岩较介壳灰岩要薄,厚度小于 0.5 m,局部混积岩呈透镜体状产出。

2.3 砂质浅滩混合沉积微相

砂质浅滩微相主要分布在大三亚段和大二亚段过渡带及大二亚段和大一亚段的过渡带,其中由于大 三段为多呈滨浅湖混合沉积,砂质浅滩混合沉积微相

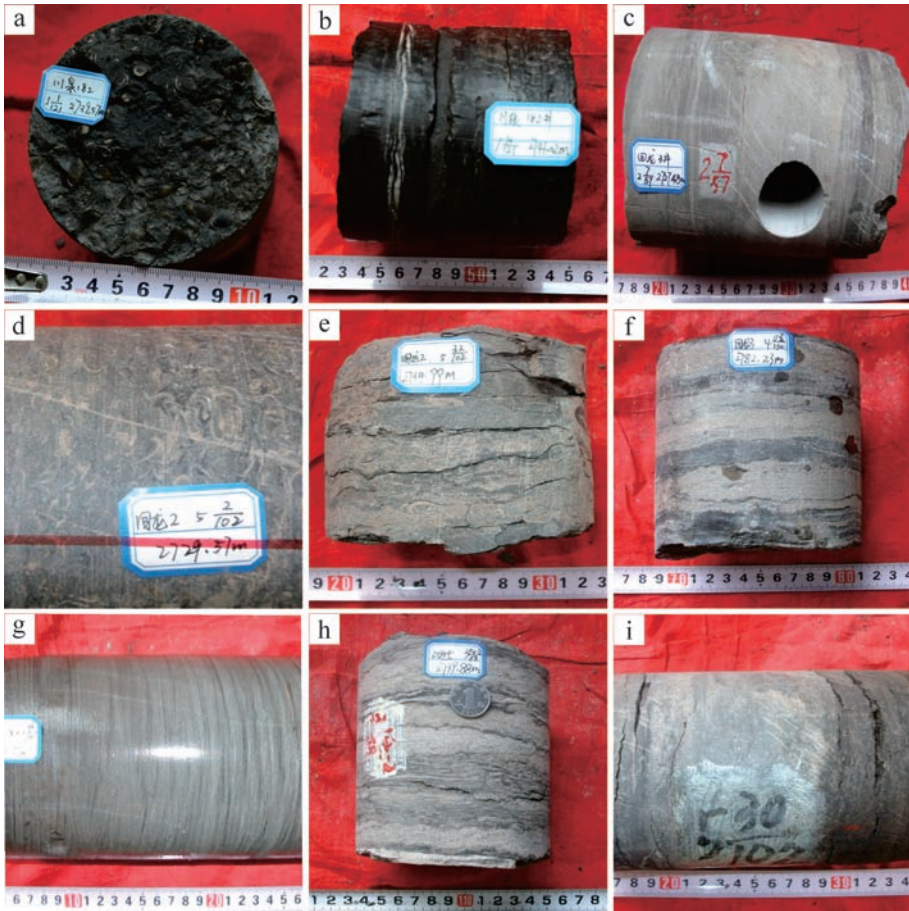


图 2 四川盆地回龙地区大安寨段典型岩芯照片

a. CQ182,大安寨三段,2 739.59 m,黑色含介壳灰质泥岩,介壳多为顺层排列,部分杂乱,一部分凸面向上,一部分凹面向上;b. CQ182,大安寨二段,2 741.02 m,黑色泥岩,部分含灰质,少量介壳存在下部压实不一样,弯曲,顺层变形;c. HL3,大安寨三段,2 727.48 m,灰绿色泥质粉砂岩与灰色钙质泥岩互层,见平行层理,粉砂岩呈块状或者呈纹理状分布;d. HL2,大安寨二段,2 729.37 m,灰色微晶介壳灰岩,颗粒结构,颗粒组分主要是介屑,颗粒之间为微晶方解石;e. HL2,大安寨一段,2 734.99 m,灰黑色含介壳泥岩,局部页理发育,见顺层发育的方解石纹层;f. HL3,大安寨一段,2 782.23 m,褐灰色条带状含介壳泥质灰岩,可见条带构造,有黑色,灰色,棕色条带,其中灰色和棕色条带介壳含量较高,顺层滴酸,剧烈起泡,黑色条带主要为泥灰质,起泡不剧烈,中上部条带出现变形特征,变形构造发育,见煤屑混入;g. CQ182,大安寨二段,2 753.77 m,灰色粉细砂岩,上部见平行层理,小型槽状交错层理,砂岩里见碳屑发育,层理清晰,砂岩底部见冲刷面;h. JS5,大安寨三段,2 739.88 m,灰色介壳灰岩与深灰色含介壳泥岩互层;i. HL2,大安寨段,2 736.16 m,黑灰色含介壳泥质灰岩,局部夹介壳密集层。

Fig.2 Typical core photos of Da'anzhai Member in Huilong area, Sichuan Basin



图3 四川盆地侏罗系大安寨段野外剖面

A.达州渡市东翼,深灰色含介壳灰岩;B.达州渡市东翼,从左到右岩性依次为灰绿色含灰质泥岩,深灰色含介壳灰岩,灰绿色含灰质泥岩,深灰色含介壳灰岩,灰绿色含灰质泥岩;C.达州渡市东翼,左侧为深灰色含介壳灰质泥岩夹薄层泥质灰岩,厚2.1 m,右侧为深灰色含介壳灰岩,厚0.45 m;D.达州大风乡,介壳灰岩;E.达州大风乡,露头上深灰色介壳灰岩,新鲜面见油味零星分布,介壳层厚度约为0.5 m,底部为深灰色薄层含介壳泥岩;F.达州渡市西翼,深灰色介壳中—粗晶灰岩与深灰色中—粗晶含介壳灰岩互层;G.渠县三汇,中厚层深灰色介壳灰岩,厚1.2 m,介壳含量高达80%;H.渠县三汇,中厚层深灰色介壳灰岩,厚1.2 m。

Fig.3 Field outcrop of Jurassic Da'anhai Member, Sichuan Basin

发育普遍。在平面展布上,该相带与高能介壳滩相类似,也呈北东—西南方向围绕回龙环带分布。其剖面位置在最高湖水面和最低湖水面之间,在此相带,水动力弱,湖浪影响小,砂泥岩可以较好地沉积下来。

该微相主要由分选较好的粉砂岩、细砂岩组成(图5B),碎屑颗粒磨圆一般,多为次棱—次圆状,其水体能量弱。垂向沉积层序上以薄层砂岩和泥岩互层为主,局部也夹介壳灰岩,但其层厚多薄层,小于0.1 m。

在岩层中可见底冲刷、中小型交错层理(图2g)、浪成砂纹层理、平行层理、生物遗迹构造等沉积构造特征。GR值较高,局部夹介壳灰岩处,表现为指状突起。AC测井曲线呈低平行(图4,6)。

砂质浅滩最靠近陆相一侧,冲刷的砂泥岩在此慢慢沉积下来,因此在该微相中砂泥岩最为发育,且其颗粒较细,所含杂质较多。但也有部分介壳的发育,多由介壳滩冲刷而来。在该沉积微相中混积岩多为含薄层介壳砂泥岩,但为局部分布。而混合层系也以

砂泥岩夹介壳灰岩为主,且夹层多为薄层。

2.4 浅湖混合沉积微相

浅湖混合沉积微相介于最低湖水面和浪基面之间的相对低洼地带,由图7可知在大一亚段中部和大三亚段中下部该微相最为发育。平面上,紧邻着高能介壳滩相呈带状延伸。从图8中看出浅湖沉积微相夹在**高能介壳滩微相和低能介壳滩微相之间,可知有部分的介壳在此缓慢沉积下来,其岩性为中厚层介壳灰岩,介壳灰岩中常夹浅灰色的泥质条带或细砂岩

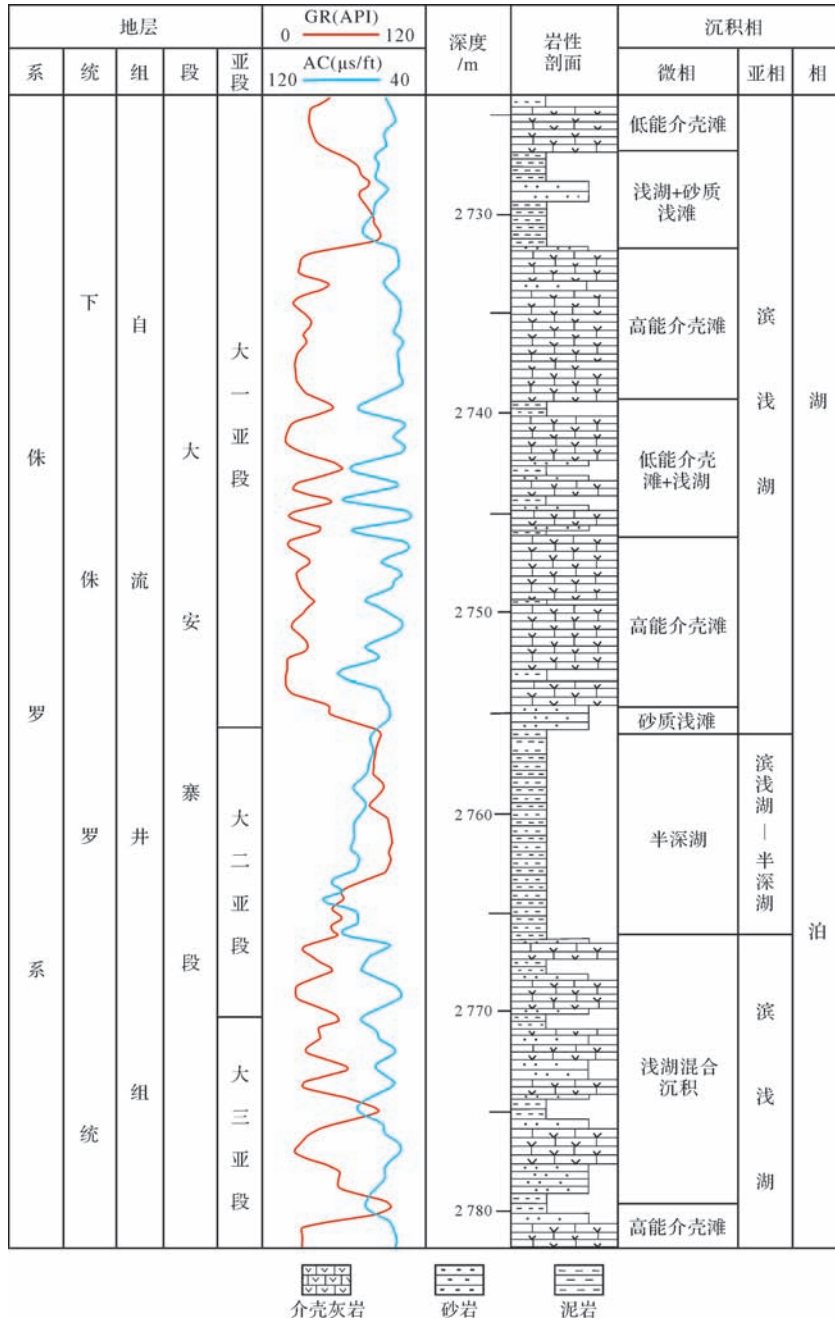


图4 HL3井大安寨段沉积相柱状图

Fig.4 Histogram of the sedimentary facies of Da'anzhai Member in Well HL3

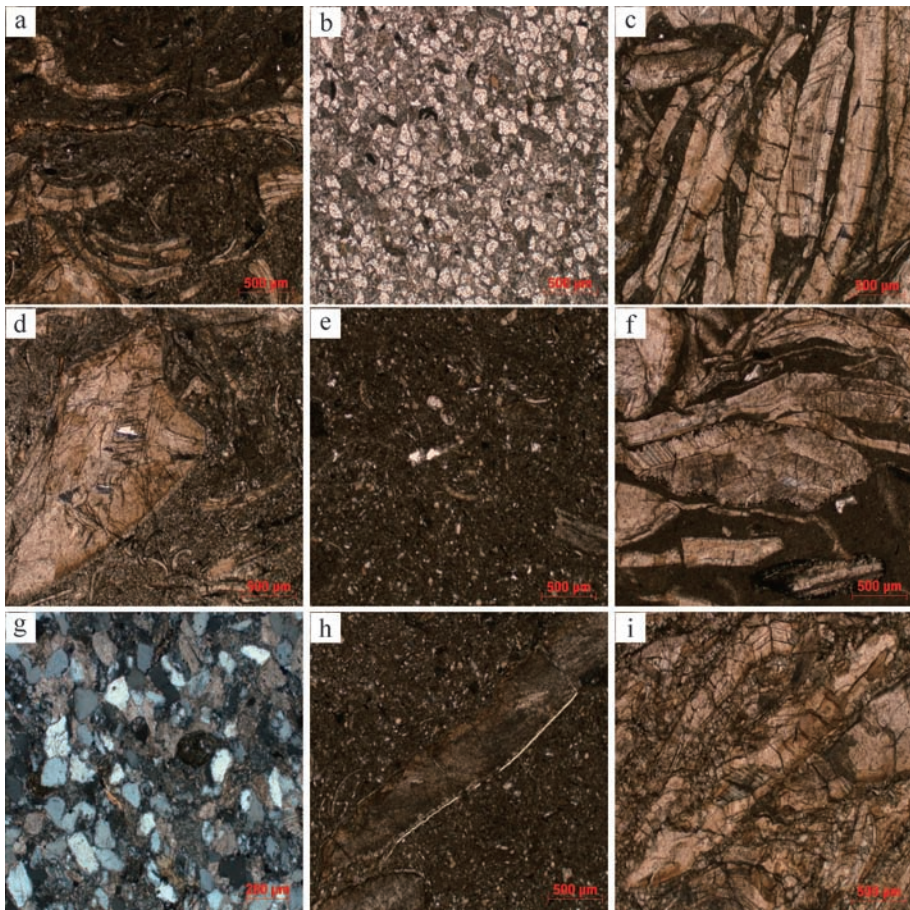


图5 大安寨段岩石镜下薄片照片

a. CQ182, 大安寨一段, 2 740.16 m, 含泥质介壳灰岩, 介壳破碎, 泥质充填于介壳中(-); b. CQ182, 大安寨二段, 2 744.31 m, 砂岩, 分选较好, 碎屑颗粒为次棱角状, 胶结物主要为泥质(-); c. CQ182, 大安寨二段, 2 744.68 m, 介壳灰岩, 介壳顺层排列, 可见微裂缝发育(-); d. HL2, 大安寨三段, 2 741.12 m, 介壳灰岩(-); e. CQ182, 大安寨二段, 2 739.36 m, 含介壳灰质泥岩, 介壳零星状分布, 充填于泥质中(+); f. HL3, 大安寨二段, 2 751.32 m, 含泥质介壳灰岩, 介壳较破碎, 杂乱排列, 泥质含量低(+); g. JS5, 大安寨三段, 2 753.54 m, 含灰质细砂岩, 胶结物主要为灰质, 碎屑颗粒成分为石英, 长石(+); h. JS5, 大安寨二段, 2 740.11 m, 夹介壳条带泥岩(-); i. HL2, 大安寨三段, 2 741.52 m, 介壳灰岩, 介壳破碎, 泥质含量低(+).

Fig.5 Microsection photos of Da'anzhai Member

层, 可见发育的细小水平层理。垂向上频繁出现夹有薄层状和条带状分布的泥质介壳灰岩和泥灰岩(图3B), 介壳灰岩, 薄层砂岩, 泥岩三者垂向上交替出现(图6), 底部为一层沉积较厚的泥岩。岩样中有较多的生物化石, 多为腕足类, 泥质或灰质条带充填。GR曲线为箱状特征显示(图4, 6)在浅湖混合沉积微相中, 含介壳的泥岩与灰质介壳灰岩的互层是该微相主要发育的混合层系, 介壳灰岩颗粒较大, 多顺层排列。而泥页岩则以泥质粉砂岩、泥岩、粉砂岩为主, 泥岩中可见微裂缝存在。在大三亚段发育的浅湖微相中, 可见一套褐灰色含介壳泥岩与褐灰色介壳灰岩混合层系的存在, 厚度在两米左右, 其中也夹杂着薄层的砂岩层。

2.5 半深湖混合沉积微相

位于浪基面以下的半深湖混合沉积微相, 水体安静, 不受湖浪的影响。该微相主要在大二亚段中上部广泛发育, 从图8可明显看出在江沙5井、回龙3井、川泉182井和回龙2井的大二亚段中上部半深湖微相的发育。岩性为夹介壳条带的黑色泥岩(图2b、图5E)以及夹黑色炭质页岩的薄层介壳灰岩。在该微相的岩层中, 以发育的厚层泥页岩为特征, 而且在岩层中多见水平层理, GR测井曲线和AC测井曲线显示为低幅齿状或平直(图4, 6)。在生物遗迹中化石类型较为丰富, 还可见水平虫迹发育。

夹薄层介壳泥岩在该混合沉积微相中可见(图5H), 主要发育了含介壳泥岩与泥页岩的混合层系,

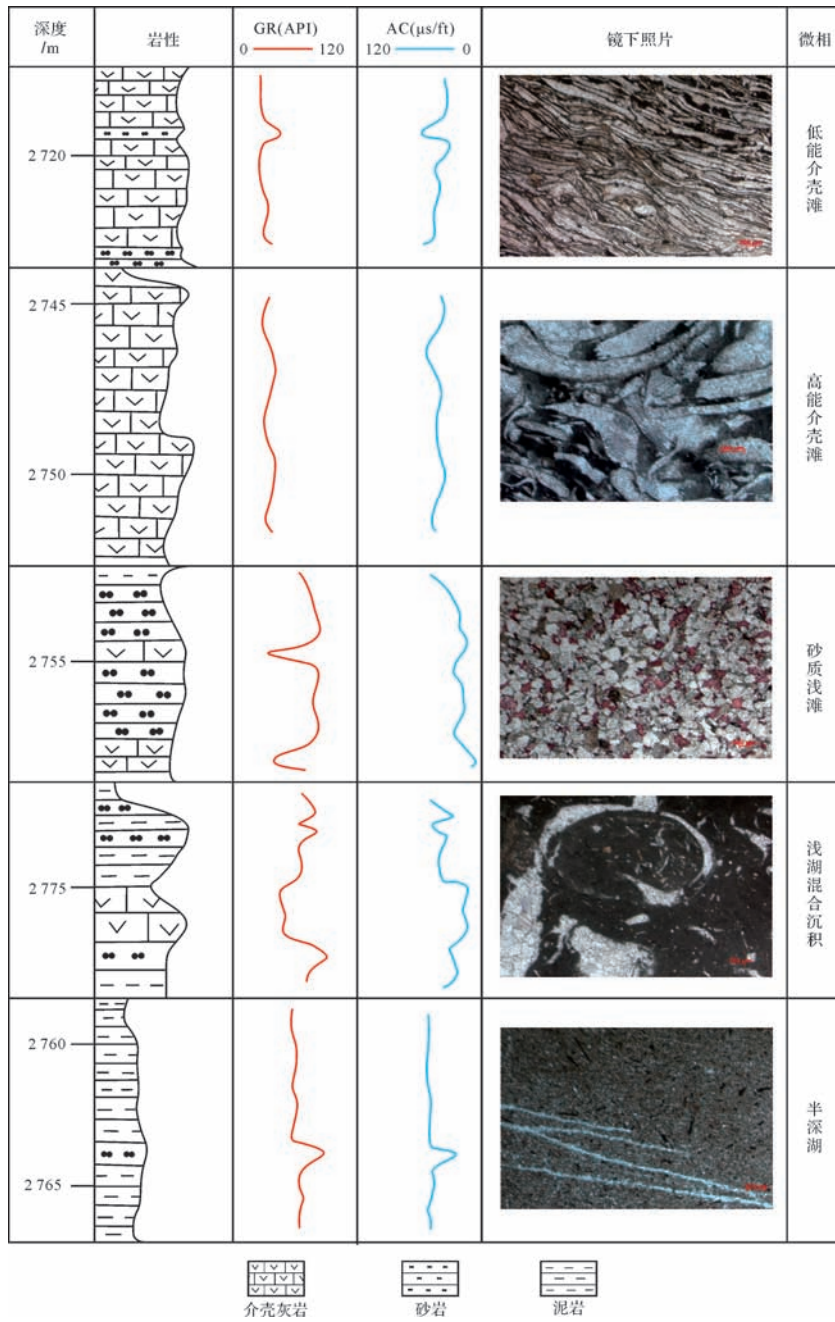


图6 大安寨段混合沉积微相图

Fig.6 Mixed sedimentary microfacies of Da'anzhai Member

泥页岩多为黑色,灰黑色,介壳也多偏深灰色,且多呈细粒。

根据上述分析,总结如表1 沉积相类型以及特征。

3 沉积演化模式

对于混合沉积的演化模式,罗顺社^[17]结合对湖南洼陷沙四段的地形演变和沉积相的综合研究,划分了该地区的三角洲混合沉积相模式图。董桂玉^[23]在

环渤海湾寒武系地层,充分研究了岩石类型、生物组合、沉积机理以及沉积环境等因素,建立了该地区的碳酸盐台地混合沉积模式图。另外,董艳蕾^[24]研究了黄骅坳陷沙河街组一段下亚段的混合沉积,基于研究区的岩石类型、混积特征、混积成因及沉积环境等因素,建立了该区层序地层格架控制之下的混合沉积模式。本次对川西回龙大安寨的研究,主要结合了四川盆地侏罗世的沉积演化过程、岩样分析、湖平面变

表1 回龙大安寨沉积相类型、特征以及混积岩类型和差异性原因

Table 1 Sedimentary facies types, features, diamictite types, and difference reasons in Da'anzhai Member, Huilong area

相	亚相	微相	特征	混积岩类型	差异性原因
湖泊	滨浅湖	砂质浅滩	由分选较好的粉砂岩、细砂岩组成,碎屑多为次棱—次圆状,垂向上以薄层砂岩和泥页岩互层为主,局部也夹薄层介壳灰岩。可见浪成砂纹层理,生物遗迹等构造特征。	薄层含介壳砂泥岩	水动力条件弱 陆源碎屑充足
		高能介壳滩	以厚层介壳灰岩为特征,泥质含量低且介壳破碎,杂乱排列,垂向上发育介壳灰岩和混积岩的混合层系,槽状交错层理,板状交错层理十分发育。	含泥质介壳灰岩	水动力条件强 生物发育繁盛
	浅湖	发育中厚层介壳灰岩,介壳灰岩中常夹泥质条带或细砂岩层,岩样中生物较多,多为腕足,发育细小水平层理。	褐灰色含介壳泥岩 含泥质灰岩	水动力条件较弱	
		低能介壳滩	发育的介壳灰岩破碎,但多顺层排列,垂向上见中薄层介壳灰岩夹薄层砂泥岩,呈不连续分布,发育平行层理。	泥质介壳灰岩 含砂质介壳灰岩	水动力条件较弱 生物发育繁盛
半深湖	半深湖	该微相岩层中,发育的厚层泥页岩为特征。垂向上夹薄层泥质介壳灰岩和泥灰岩,水平层理发育。	含介壳泥岩 夹介壳条带黑色碳质页岩	水动力条件弱	

化以及大安寨段的沉积相分析,划分了回龙大安寨的沉积相模式图(图8)。

四川盆地早侏罗世总体上来说是稳定的淡水湖泊沉积,其中以自流井组为典型代表,发育了一套中薄层状的夹介壳灰岩的泥沙混合层系^[25]。在这一时期介壳灰岩在达县一带发育普遍,但其大小混杂,厚度薄,且多为定向排列。在湖盆的周边,则发育了山麓洪冲积及河流、滨湖相沉积,说明周边仍是处在一个相对活跃的地质背景下。而在早侏罗世后,四川盆地发生了一次区域性的地质抬升—燕山构造运动^[26-27],盆地周缘造山带的进一步构造隆升,水流的下切作用增强,湖相沉积范围明显缩小,河流相的沉积增多,导致了从早侏罗世湖相沉积为主到中侏罗世以河流相沉积为主的转变^[28]。岩性上,河流相的厚层砂岩广泛发育,湖相发育夹介壳的砂泥岩减少。在晚侏罗世,四川盆地构造又处在一个相对稳定时期^[29],沉积物有足够的时间被风化成泥沙,中侏罗世形成的盆地内部高差较大的河流相地貌也被夷平,形成以浅水湖泊相沉积为主地貌特征。

四川盆地地下侏罗统大安寨时期,为一稳定的淡水湖泊沉积,气候温暖湿润,未发生大的构造运动,因此构造运动对此阶段的控制作用不明显。而结合岩性和沉积微相的识别分析,物源供给和水动力条件是控制大安寨段沉积的主要控制因素。

研究区西部发育了山麓洪积,从西至东注入到湖泊相中,提供了源源不断的碎屑物质供应。同时,在淡水湖泊滨浅湖沉积相区,湖盆构造稳定、湖泊水体扩张,生物发育繁盛,加上良好的水动力条件,为碳酸

岩原地沉积创造了良好的条件。在此阶段,大安寨段还经历了一个完整的湖进、湖退沉积过程^[30]。在该过程中,水动力条件对沉积作用的控制比较明显。结合野外实际观察以及所取岩石样品的分析可知:在大三亚段,相对水动力较弱,砂质浅滩,低能介壳滩等混合沉积微相发育。此时陆源碎屑供应较多而碳酸岩的生成较少,因此此时局部地区才可见明显混积现象。随着湖进过程,湖平面的上升,沉积的介壳灰岩呈叠瓦式上超。大二亚段高能介壳滩微相极为发育,此时水动力条件强,生物发育,有较多的碳酸盐岩沉积下来。在大二亚段大部和大三亚段的中部沉积的介壳灰岩中可见较多陆源碎屑物(图3C),这表明在沉积过程中不时的有河流碎屑物注入到湖中,介壳滩等微相发育,陆源碎屑与碳酸岩的混积现象较普遍。而在湖退萎缩时期,介壳灰岩则随湖平面下降而呈叠瓦式后退,结合沉积相特征分析(图7),随着湖退过程,大一亚段下部介壳滩发育(图3D),而其中、上部则沉积了砂岩、泥岩,且颜色逐渐变浅,这表明在大一亚段湖水逐渐变浅,该段为一过渡相沉积。在图4中看出大一段先后呈现了高能介壳滩微相、低能介壳滩微相以及浅湖+砂质浅滩微相,岩性也由混积岩向泥岩、砂岩转变。总体来看大安寨段的相带自西向东呈滨浅湖相、浅湖相、浅湖—半深湖相展布,向湖盆中心过渡,介壳滩呈不规则环状展布。

4 结论

(1) 四川盆地地下侏罗统自流井组大安寨段属湖泊混合沉积相,划分为滨浅湖混合沉积和半深湖混合

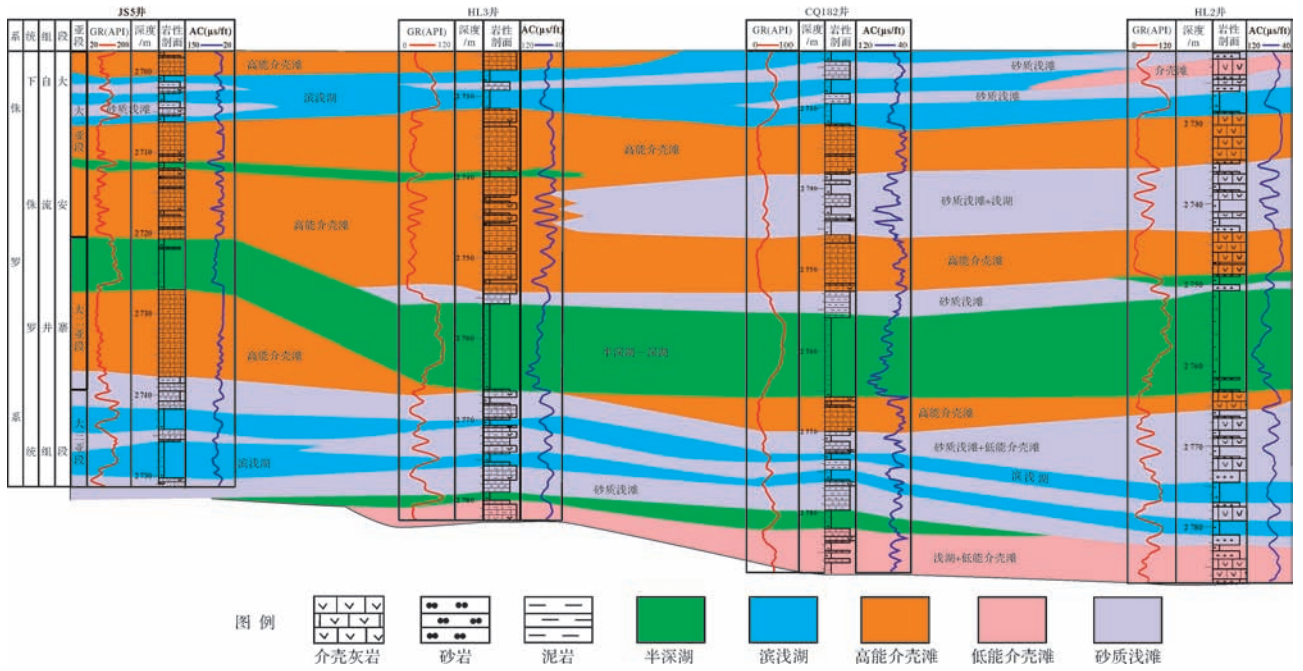


图7 JS5井—HL3井—CQ182井—HL2井沉积相对比剖面图

Fig.7 Correlation profile of the sedimentary facies of Well JS5, HL3, CQ182 and HL2

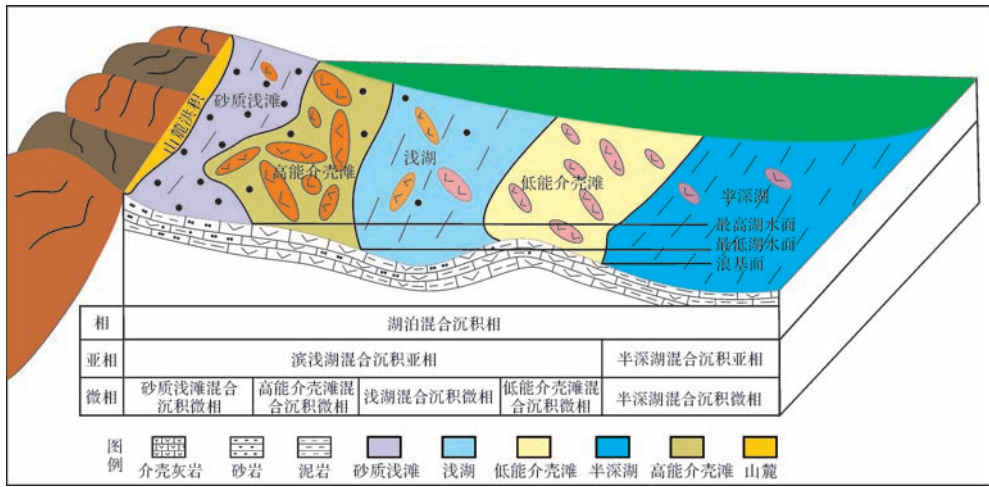


图8 四川盆地回龙地区下侏罗统自流井组大安寨段沉积演化模式

Fig.8 Sedimentary evolution model of Da'anzhai Member in Lower Jurassic Ziliujing Formation, Huilong area, Sichuan Basin

沉积两个亚相,进一步区分为砂质浅滩混合沉积微相,高能介壳滩混合沉积微相,浅湖混合沉积微相,低能介壳滩混合沉积微相以及半深湖混合沉积微相等五种沉积微相。

(2) 从沉积过程分析,回龙地区大安寨段的硅质碎屑主要来自于陆源物质供给,碳酸盐岩主要来自生物介壳。受湖平面升降以及距陆源远近的影响,砂质浅滩和高能介壳滩成因混积岩表现为异地混积,而低能介壳滩、滨浅湖和半深湖成因混积岩多属于原地混

积。其中硅质碎屑含量受控于水动力条件和波浪作用强弱的控制。

(3) 早侏罗世大安寨期经历了完整的湖进,湖退过程,陆源碎屑和生物介壳的稳定沉积,形成了狭义的层内混积岩,也形成了广义的混合层系。从湖盆边缘向湖盆中心依次发育砂质浅滩、高能介壳滩、浅湖、低能介壳滩和半深湖成因的混积岩。

致谢 两位审稿专家对本文提出了宝贵的修改意见,在此表示感谢。

参考文献(References)

- 1 Mount J F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. *Geology*, 1984, 12(7): 432-435.
- 2 张锦泉,叶红专. 论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积[J]. 成都地质学院学报, 1989, 16(2): 87-92. [Zhang Jinquan, Ye Hongzuan. A study on carbonate and siliciclastic mixed sediments[J]. *Journal of ChengDu College of Geology*, 1989, 16(2): 87-92.]
- 3 Caracciolo L, Gramigna P, Critelli S, et al. Petrostratigraphic analysis of a Late Miocene mixed siliciclastic - carbonate depositional system (Calabria, Southern Italy): implications for Mediterranean paleogeography[J]. *Sedimentary Geology*, 2013, 284-285: 117-132.
- 4 Meneill D F, Klaus J S, Budd A F, et al. Late Neogene chronology and sequence stratigraphy of mixed carbonate-siliciclastic deposits of the Cibao Basin, Dominican Republic[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2012, 124(1/2): 35-58.
- 5 Dix G R, Parras A. Integrated diagenetic and sequence stratigraphy of a late Oligocene-early Miocene, mixed-sediment platform (Austral Basin, southern Patagonia): resolving base-level and paleoceanographic changes, and paleoquifer characteristics [J]. *Sedimentary Geology*, 2014, 307: 17-33.
- 6 嵯喜准,王琪,张瑞,等. 柴达木盆地北缘下干柴沟组下段湖相混合沉积发育特征及其对储层的影响[J]. 沉积学报, 2013, 31(4): 724-729. [Zhuo Xizhun, Wang Qi, Zhang Rui, et al. The characteristics of lacustrine mixed deposit in Lower Xiaganchaigou Formation and its effect on reservoir property: A case in the central areas of northern Qaidam Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2013, 31(4): 724-729.]
- 7 张金亮,司学强. 断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段为例[J]. 地质论评, 2007, 53(4): 731-737. [Zhang Jinliang, Si Xueqiang. Mixed siliciclastic-carbonate sediment in rift lacustrine basin-A case on the upper part of the fourth member of the Eocene Shahejie Formation in Jinjia area, Dongying depression[J]. *Geological Review*, 2007, 53(4): 731-737.]
- 8 董朔朋,祝彦贺. 澳大利亚波拿巴盆地北部中新统硅质碎屑与碳酸盐混合沉积特征及控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(8): 41-47. [Dong Shuopeng, Zhu Yanhe. Characteristics and governing factors of Miocene mixed siliciclastic and carbonate sediments in northern Bonaparte Basin, Australia[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2011, 27(8): 41-47.]
- 9 江茂生,沙庆安. 碳酸盐与陆源碎屑混合沉积体系研究进展[J]. 地球科学进展, 1995, 10(6): 551-554. [Jiang Maosheng, Sha Qing'an. Research advances in the mixed siliciclastic-carbonate sedimentary systems[J]. *Advance in Earth Sciences*, 1995, 10(6): 551-554.]
- 10 卢炳雄,郑荣才,梁西文,等. 四川盆地东部地区大安寨段页岩气(油)储层特征[J]. 中国地质, 2014, 41(4): 1387-1398. [Lu Bingxiong, Zheng Rongcai, Liang Xiwen, et al. Characteristics analysis of Da'anzhai shale gas (oil) reservoirs in eastern Sichuan Basin[J]. *Geology in China*, 2014, 41(4): 1387-1398.]
- 11 沙庆安. 混合沉积和混积岩的讨论[J]. 古地理学报, 2001, 3(3): 63-66. [Sha Qing'an. Discussion on mixing deposit and Hunji rock [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(3): 63-66.]
- 12 郭福生,严兆彬,杜杨松. 混合沉积、混积岩和混积层系的讨论[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 68. [Guo Fusheng, Yan Zhaobin, Du Yangsong. The discussion of mixed deposition, Hunji rock and Hunji sequence[J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10(3): 68.]
- 13 董桂玉,何幼斌,陈洪德,等. 惠民凹陷沙一中湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东商河地区为例[J]. 沉积学报, 2007, 25(3): 343-350. [Dong Guiyu, He Youbin, Chen Hongde, et al. Mixed sedimentation of carbonates of lagoonal facies and terrigenous clastics of the middle submember of member 1 of Shahejie Formation in Huimin sag: Taking Shanghe area in Shandong province for an example[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(3): 343-350.]
- 14 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. 地质科技情报, 2000, 19(4): 31-34. [Zhang Xionghua. Classification and origin of mixed sedimentite [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2000, 19(4): 31-34.]
- 15 王国忠. 南海北部大陆架现代礁源碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积作用[J]. 古地理学报, 2001, 3(2): 47-54. [Wang Guozhong. Mixed sedimentation of recent reefoid carbonates and terrigenous clastics in the north continental shelf of the South China Sea [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2001, 3(2): 47-54.]
- 16 陈怀龙,王兆峰,汪文,等. 阿富汗喀什喀里油田下白垩统阿普第阶地层混合沉积特征研究[J]. 石油天然气学报, 2013, 35(11): 11-14. [Chen Huailong, Wang Zhaofeng, Wang Wen, et al. The mixed sedimentary characteristics of Cretaceous aption of Kashkari oilfield in Afghanistan [J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(11): 11-14.]
- 17 罗顺社,刘魁元,何幼斌,等. 渤海洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征与模式[J]. 江汉石油学院学报, 2004, 26(4): 19-21. [Luo Shunshu, Liu Kuiyuan, He Youbin, et al. Study on sedimentary facies of Jialingjiang Formation of Early Triassic at Changyuanba Structure [J]. *Journal of Jianghan Petroleum Institute*, 2004, 26(4): 19-21.]
- 18 Feng J L, Cao J, Hu K, et al. Dissolution and its impacts on reservoir formation in moderately to deeply buried strata of mixed siliciclastic-carbonate sediments, northwestern Qaidam Basin, northwest China [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2013, 39(1): 124-137.
- 19 Myrow P M, Taylor J F, Runkel A C, et al. Mixed siliciclastic-carbonate upward-deepening cycles of the upper Cambrian inner detrital belt of Laurentia [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2012, 82(4): 216-231.
- 20 罗啸泉,张涛. 川西回龙地区大安寨段成藏条件分析[J]. 天然气技术, 2007, 1(6): 14-16, 78, 93. [Luo Xiaquan, Zhang Tao. Analysis of reservoir-forming condition of Da'anzhai member in Huilong area of West Sichuan [J]. *Natural Gas Technology*, 2007, 1(6): 14-16, 78, 93.]
- 21 丁一,李智武,冯逢,等. 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段湖相混合沉积及其致密油勘探意义[J]. 地质论评, 2013, 59(2): 389-400. [Ding Yi, Li Zhiwu, Feng Feng, et al. Mixing of lacustrine siliciclastic-carbonate sediments and its significance for tight

- oil exploration in the Da'anzhai member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang area, central Sichuan Basin[J]. Geological Review, 2013, 59(2): 389-400.]
- 22 吴崇筠. 湖泊沉积相的划分[J]. 石油勘探与开发, 1981(2): 1-10. [Wu Chongjun. Division of lake facies[J]. Petroleum Exploration and Development, 1981(2): 1-10.]
- 23 董桂玉, 陈洪德, 李君文, 等. 环渤海湾盆地寒武系混合沉积研究[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 800-811. [Dong Guiyu, Chen Hongde, Li Junwen, et al. The Cambrian mixed sedimentation around Bohai Sea Bay Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(6): 800-811.]
- 24 董艳蕾, 朱筱敏, 滑双君, 等. 黄骅坳陷沙河街组一段下亚段混合沉积成因类型及演化模式[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(1): 98-107. [Dong Yanlei, Zhu Xiaomin, Hua Shuangjun, et al. Genetic types and evolutionary model of mixed clastic-carbonate deposits in the lower part of the Sha-1 Formation, the Huanghua depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1): 98-107.]
- 25 王永标, 徐海军. 四川盆地侏罗纪至早白垩世沉积旋回与构造隆升的关系[J]. 地球科学, 2001, 26(3): 241-246. [Wang Yongbiao, Xu Haijun. Relations between evolution of sedimentary cycles and tectonic uplift around Sichuan Basin from Jurassic to Early Cretaceous[J]. Earth Science, 2001, 26(3): 241-246.]
- 26 李得立. 川西前陆盆地侏罗纪沉积体系发育分布特征及差异性[D]. 成都: 成都理工大学, 2011. [Li Deli. The distribution characteristic and difference of sedimentary system of Jurassic in the western Sichuan Foreland Basin[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.]
- 27 徐胜林, 侯明才, 林良彪, 等. 川西前陆盆地侏罗纪构造层序地层格架内沉积充填特征[J]. 岩石学报, 2011, 27(8): 2327-2338. [Xu Shenglin, Hou Mingcai, Lin Liangbiao, et al. Depositional characteristics within tectonic sequence of Jurassic, western Sichuan Foreland Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8): 2327-2338.]
- 28 梁诗明. 四川盆地北部晚侏罗世和白垩纪沉积古地理演化[D]. 北京: 中国地质大学, 2009. [Liang Shiming. Study on the Paleogeography of Upper Jurassic and Cretaceous in northern Sichuan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2009.]
- 29 李英强, 何登发. 四川盆地及邻区早侏罗世构造—沉积环境与原型盆地演化[J]. 石油学报, 2014, 35(2): 219-232. [Li Yingqiang, He Dengfa. Evolution of tectonic-depositional environment and prototype basins of the Early Jurassic in Sichuan Basin and adjacent areas[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 35(2): 219-232.]
- 30 郑荣才. 四川盆地侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学[J]. 沉积学报, 1998, 16(2): 42-49. [Zheng Rongcai. High-resolution sequence stratigraphy of Da'anzhai Formation, Lower Jurassic in Sichuan Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(2): 42-49.]

Features and Model of Mixed Sediments of Da'anzhai Member in Lower Jurassic Ziliujing Formation, Huilong Area, Sichuan Basin

TAN MengQi^{1,2} LIU ZiLiang^{1,2} SHEN Fang² XIE RunCheng²
LIU ChengChuan³ DENG Kun² XU Hao²

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration (CDUT), Chengdu 610059, China;

2. College of Energy Resource, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

3. Exploration and Development Research Institute of SINOPEC Southwest Oil & Gasfield Company, Chengdu 610041, China)

Abstract: Mixed sediments of lacustrine carbonate rocks and clastic rocks are developed in the Da'anzhai Member of Ziliujing Formation in Huilong area, western Sichuan. Based on the comprehensive analysis on field outcrops, drilling cores, well logging and microfabric, the sedimentary microfacies of mixed sediments of the study area was finely depicted. The results revealed that the Da'anzhai Member in Huilong area belonged to the lacustrine mixed sedimentary facies consisting of shore-shallow lake and semi-deep lake subfacies, which was further divided into five mixed sedimentary microfacies, including high-energy shelly beach, low-energy shelly beach, sandy shoal, shallow lake and semi-deep lake. Further more, based on the features of mixed sedimentary facies and the evolution process of the Da'anzhai Member in Huilong area in Jurassic Period, the origin and evolution pattern of mixed sediments in the study area was analyzed. It was concluded that the lacustrine mixed sediments in the study area were predominantly controlled by provenance supply and hydrodynamic condition and various type of mixed sediments were formed under the control of five mixed sedimentary microfacies.

Key words: Sichuan Basin; Jurassic; Ziliujing Formation; mixed sediments; depositional model