

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

丁一¹⁾, 李智武¹⁾, 冯逢²⁾, 翟中华²⁾, 孙玮¹⁾, 汤聪¹⁾, 张葳¹⁾, 张长俊¹⁾, 刘树根¹⁾

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) 中石油西南油气田分公司川中油气矿, 四川遂宁, 629000

内容提要:下侏罗统自流井组大安寨段是川中地区的主力产油层之一,通常认为储集体为高能介壳滩相的“纯”灰岩。本文基于露头、岩芯、薄片、扫描电镜等观察,认为川中龙岗地区自流井组大安寨段为一套典型的湖相混合沉积,包括狭义的混积岩和广义的混合层系。狭义混积岩成分以碳酸盐为主,由碳酸盐、陆源碎屑和泥质以不同比例混积而成,包括含砂泥质介壳灰岩、含泥砂质介壳灰岩、含介壳含泥钙质砂岩、含介壳含砂钙质泥页岩等岩石类型。广义混合层系主要为介壳灰岩、泥页岩、砂岩与狭义混积岩等构成的互为夹层或近等厚互层。混合沉积类型主要有间断混合、原地混合和相混合3种,分别受控于风暴作用、水动力条件和优势相。由于后期强烈的压实作用,原生孔隙消失殆尽,无论是较纯的介壳灰岩还是混合沉积都极为致密,其储集空间主要为溶蚀孔洞、溶蚀微孔、微裂隙和构造裂缝。除了“纯”的介壳灰岩外,由介壳和粉砂—泥质混积而成的泥质介壳灰岩和含介壳泥页岩由于微裂隙相对发育,部分物性好的层段也可以作为储层。上述结果和钻测成果暗示:临近烃源的低能介壳滩和介壳滩缘等混积相的粉砂—泥质介壳灰岩和含介壳泥页岩是一种广泛发育的潜在储集体,这对于致密油勘探而言尤为重要,应该引起重视,建议进行试点勘探。

关键词:下侏罗统;大安寨段;湖相;混合沉积;储层;微裂隙;致密油;川中

早在20世纪50年代,陆源碎屑与碳酸盐的混合沉积现象就已被认识到;有关混合沉积的研究始于70年代初期(Maxwell and Swinchatt, 1970; Button and Vos, 1977; Price, 1977);直到Mount (1984)正式提出了混合沉积物(mixed sediments)的概念,混合沉积的研究才步入正轨。此后,混合沉积研究在岩相、混积作用方面进一步发展: Davies (1989)、Davis等(2003)、罗顺社等(2004)、董桂玉等(2008)先后建立了碳酸盐台地和潮汐三角洲、三角洲及其相邻的沉积环境以及盆地边缘—深水斜坡环境的沉积模式; Mount (1984)、张雄华(2000)、王国忠(2001)、董桂玉等(2007)先后对混合沉积作用类型进行划分。近年来,混合沉积的石油地质意义逐渐得到了学界的重视,但其研究尚以理论为主,含油气混合沉积的实例报道较为罕见。董桂玉等(2008)、冯进来等(2011)从理论上说明了混合沉积可以形成良好的油气藏; Palermol等(2008)讨论了荷兰东北部 De

Wijk 和 Wanneperveen 气田混积储层特征, Poepelreiter等(2003)研究了 Keuper 组混积储层分布规律,通过实例分析证实了混合沉积储层的存在性。

下侏罗统自流井组大安寨段是川中原油勘探的主要层位,主力产油层段通常被认为是一套高能滩相的“纯”介壳灰岩(李耀华, 1996),为裂缝型储层(刘殊和许红梅, 2001; 何冰等, 2010; 梁狄刚等, 2011)。大安寨介壳灰岩异常致密,属于超低孔渗型储集岩(何冰等, 2010)。近年来,北美非常规油气的勘探成功(Schmoker, 2005),使非常规油气资源受到广泛关注。致密油属于非常规油气资源,指与生油岩层系共生的,油气经过短距离运移,在各类致密储集层聚集,储集层岩性主要包括致密砂岩和致密灰岩等,覆压基质渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙度小于10%,单井无自然工业产能(邹才能等, 2012)。本文通过岩芯观察、薄片鉴定、扫描电镜分

注:本文为高等学校博士学科点专项基金项目(编号200806160008)及国家自然科学基金项目(编号40802049)共同资助的成果。

收稿日期:2012-05-08;改回日期:2012-12-12;责任编辑:黄敏。

作者简介:丁一,男,1987年生。硕士研究生,石油地质学专业。Email:693756053@qq.com。通讯作者:李智武,1976年生,副教授。主要从事油气地质和构造地质研究。Email:lizhiwu06@cdut.cn。

析等手段,认为大安寨段是一套典型的淡水湖相混合沉积,其混合沉积与致密油形成条件有一致性;并从混合沉积的角度对其混积和储层特征进行了分析,结合实际钻测成果讨论其致密油勘探意义。

1 区域地质概况

研究区位于川中东北部龙岗地区,地理上属于四川省营山县—仪陇县—仪昌县境内,地表为低山丘陵地貌,主要出露侏罗系上统蓬莱镇组。区域构造位于川中平缓褶皱区与川北低缓褶皱区分界处(图1),其构造演化受到秦岭和盆地硬性基底共同控制,主要发育营山、仪陇、龙岗等次级构造,构造轴向以北西向为主,同时可见有北东向和近东西向构造(刘树根等,2011)。自晚三叠世印支运动以来,研究区进入陆相湖盆的演化阶段;上三叠统为海陆过渡相沉积,以碎屑岩沉积为主;侏罗系—第三系为陆相沉积。中下侏罗统由下往上依次发育下统自流井和凉高山组、中统沙溪庙组。其中自流井组大安寨段在该区厚度为75~100m,发育暗色页岩、介壳灰岩,偶见泥质粉砂岩,自上而下可以细分为大一、大一三、大三3个亚段,其大一段介壳灰岩层为勘探重点。凉高山组在该区厚度为80~140m,发育泥页岩与粉、细砂岩的互层,通常认为其与大安寨段各自为一套自生自储的生储盖组合(汪泽成等,2004)。下沙溪庙组厚度一般在400~500m,发育紫红色、灰绿色泥岩夹砂岩,其底部向上大约50m范围为川中区域性含油气层,为下生上储型生储盖组合(汪泽成等,2004)。

2 混合沉积特征

混积岩指陆源碎屑与碳酸盐组分混合沉积而形成的岩石,不包括成岩作用或后期经改造的假混合(沙庆安,2001);混合沉积在广义上则包括了狭义的混积岩和陆源碎屑与碳酸盐层构成交替互层或夹层的混合层系(郭福生等,2003)。研究区内大安寨段既发育有狭义的混积岩,也发育有广义的混合层系。

2.1 广义混合沉积

宏观上看,大安寨段在龙岗地区的厚度集中在80~100m,纵向上反映了一套完整的湖进—湖退序列,到大一三中期达到最大水进。因此,大安寨段岩性在纵向上略显对称性,大一和大三亚段主要为粉砂岩、泥岩和介壳灰岩的互层;大一三亚段主要为页岩夹少量薄层介壳灰岩、粉砂岩。通过岩芯、薄片观

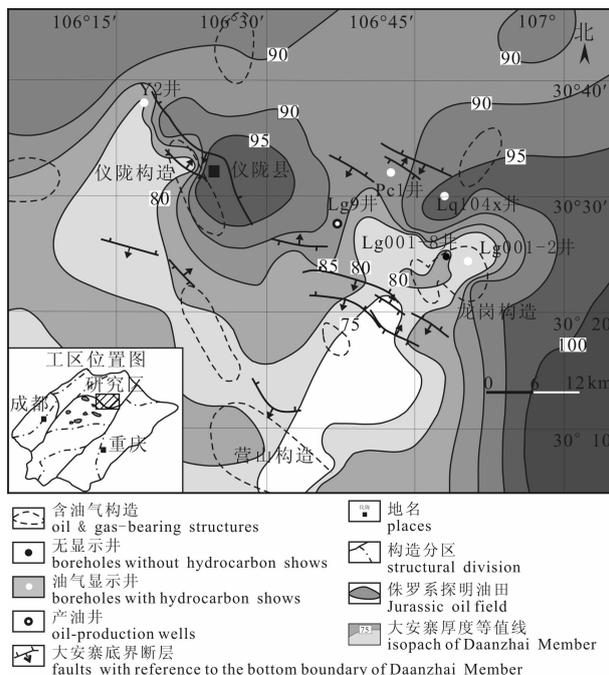


图1 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段沉积厚度和油气分布示意图(构造分区据刘树根等,2011)

Fig. 1 Isopach map of the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, and hydrocarbon distribution in Longgang area, central Sichuan basin (the inset shows study area and structural division in Sichuan Basin, modified from Liu Shugen et al., 2011)

察,发现大安寨段岩性转换极快,且几乎不发育单一岩性:泥岩、页岩中常夹介壳条带,介壳灰岩中也常夹泥质条纹、条带。因此,川中龙岗地区自流井组大安寨段整体可以看作一套混合层系,其类型主要包括:介壳灰岩和泥岩的互层,介壳灰岩中的砂—泥岩的夹层,介壳灰岩、泥岩与混积岩的互层(图2)。

(1) 介壳灰岩和泥岩的互层:介壳灰岩主要以泥晶介壳灰岩为主,另有少量亮晶介壳灰岩,颜色以浅灰色、褐灰色等暗色为主,其次为灰黄色,常夹浅色泥质条带、粉砂质条带。泥岩一般是黑色、灰黑色,常夹有介壳薄层、粉砂质条带。

(2) 介壳灰岩中的砂—泥岩的夹层:特征为介壳灰岩中夹一段砂—泥岩。夹层岩性主要以泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、粉砂岩、泥岩为主,另有少量细一中砂岩。颜色以灰绿色到灰色为主。

(3) 介壳灰岩、泥岩与混积岩的互层:介壳灰岩和泥岩特征同上。混积岩主要为暗色泥、粉砂质介壳灰岩(图3a)、含介壳砂泥岩。厚度从几十厘米到1m不等,纵向上反映了沉积环境的变化。

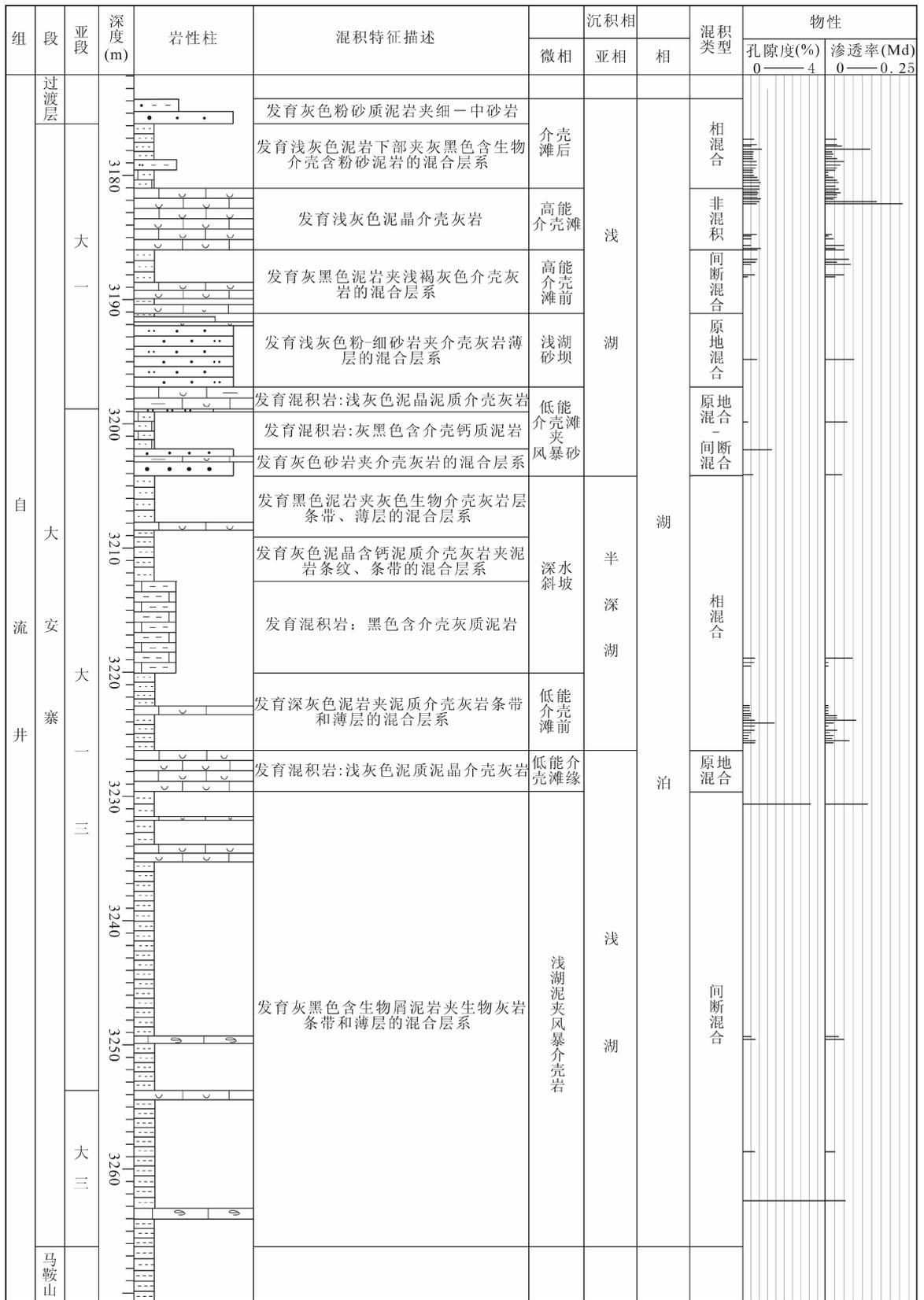


图 2 川中龙岗地区 Pc1 井综合柱状图

Fig. 2 Comprehensive column of the Well Pc1 in Longgang area, central Sichuan Basin

2.2 狭义混合沉积

通过薄片观察与统计(取样以灰岩、砂岩为重点),发现川中龙岗地区大安寨段混合沉积的现象相当普遍:267片薄片中,混积岩有229片,约占86%;非混积岩38片(砂岩26片、灰岩11片、泥岩1片),占14%。混积岩的分类方案较多,本文采用两端元3分法,将粘土归入到陆源碎屑中,但在投影

和命名中将陆源碎屑和粘土单独列出(郭福生等,2003;董桂玉等,2007)(图4)。混积岩成分以碳酸盐为主,类型主要为陆源碎屑—碳酸盐岩。主要岩性类型有含砂泥质介壳灰岩、含泥砂质介壳灰岩、含介壳含泥钙质砂岩、含介壳含砂钙质泥岩。

(1)含砂泥质介壳灰岩:该种岩类在川中龙岗地区自流井组大安寨段最为发育,颜色主要为灰褐

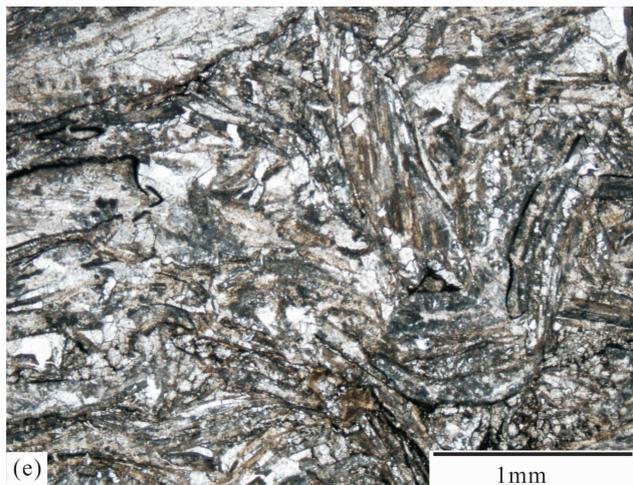
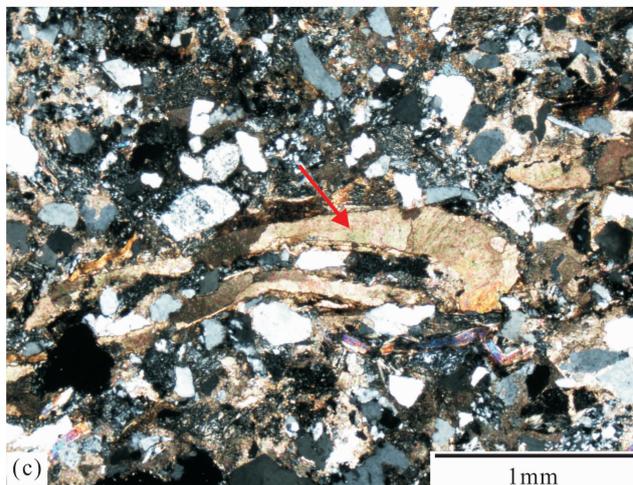
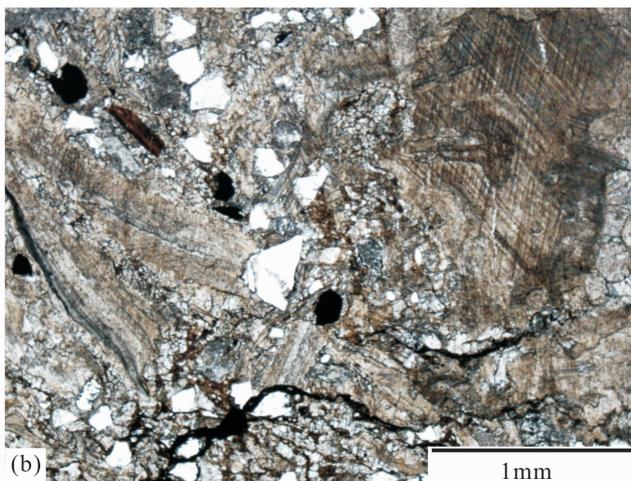
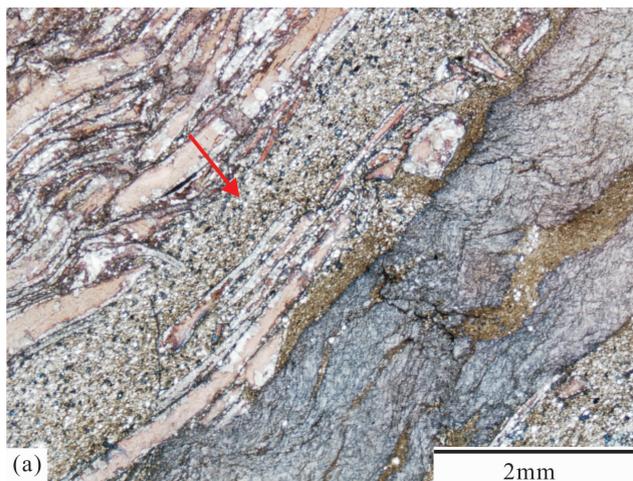


图3 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段混合沉积特征

Fig. 3 Features of siliciclastic—carbonate sediments in the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang area, central Sichuan Basin

- (a) 介壳、碳酸盐岩和泥粉砂条带状分布,红色箭头指示泥粉砂条带,左上为介壳条带,右下为泥晶灰岩条带(Pe1井,单偏光,3224.38m,泥粉砂质介壳灰岩);(b) 介壳灰岩中的陆源石英和缝合线,白色棱角状为陆源石英,缝合线被黑色沥青充填(Lq104井,单偏光,3497.33m,含砂泥晶介壳灰岩);(c) 碎屑中的介壳,红色箭头指示介壳(Lq104井,正交偏光,3509.24m,含介壳钙质长石岩屑不等粒砂岩);(d) 风暴成因的冲刷面,见泥砾,红色箭头指示(Pe1井,3262.25m,灰黑色泥岩/灰绿色泥岩);(e) 介壳杂乱堆集,风暴成因(Lq104井,单偏光,3496.47m,细—微晶介壳灰岩);(f) 变形层理,红色箭头指示(Pe1井,3187.95m,粉砂岩夹泥岩)
- (a) Interbedding of shell-concentrated layer (upper left part), shelly limestone (lower right part) and argillaceous siltstone (marked by red arrow) (Well Pe1, plane polarized light, 3224.38m, argillaceous silty shelly limestone); (b) Terrigenous quartz and sutures filled with black asphalt within shelly limestone (Well Lq104, plane polarized light, 3497.33m, sandy micritic shelly limestone); (c) Shell fragments marked by red arrow within sandstone (Well Lq104, plane perpendicular polarized light, 3509.24m, shelly calcareous lithic feldspathic inequigranular sandstone); (d) Scour surface with mud clasts caused by storm wave action (Well Pe1, 3262.25m, grey black mudstone/ grey green mudstone); (e) Disorderly-stacked shell fragments as an indicator of storm deposit marked by red arrow (Well Lq104, plane polarized light, 3496.47m, micritic shelly finely crystalline limestone); (f) Deformed cross-bedding marked by red arrow (Well Pe1, 3187.95m, siltstone intercalated by mudstone)

色、灰黄色。成分以碳酸盐为主体,含量在58%~97%之间,粘土质的含量为0%~20%,陆源粉砂的含量为0%~21%。本区灰岩层中含有大量的碳酸盐生物碎屑,主要有瓣鳃类、腹足类、轮藻、介形虫。粘土质和粉砂质常以填隙物的形式同灰泥分布在介壳和内碎屑间(图3b)。

(2) 含泥砂质介壳灰岩: 此类混积岩,颜色以灰褐色、灰色为主。成分仍以碳酸盐为主体,含量在51%~72%之间,陆源碎屑含量较高,达到26%~43%,粘土质的含量为2%~20%。该种混积岩中陆源碎屑的种类明显增多,除了石英之外,还有较多的长石、岩屑、云母,另有锆石等重矿物零星分布。除了碎屑种类增加,碎屑颗粒的大小也有部分大于粉砂级。粘土质和粉砂质常呈纹层状分布于灰岩中(图3a)。

(3) 含介壳含泥钙质砂岩: 砂岩中普遍有生物碎屑分散分布或成层分布,但类型较为单一,主要是介壳和鱼骨(图3c)。岩石多为灰色、灰绿色,其碳酸盐含量为4%~24%,粘土质含量为4%~20%,陆源碎屑含量高达67%~92%。碎屑粒径部分可达中粒,成分以石英和沉积岩岩屑为主,含少量长石和云母;另外还有极少量的钙质、泥质内碎屑和重矿物,钙质胶结强烈。

(4) 含介壳含砂钙质泥岩: 颜色多为深灰—黑色,生物仅有介形虫和介壳。常具水平层理,薄片下反映为生物定向排列,泥质、砂质呈条带状分布。其碳酸盐含量为2%~34%,粘土质含量高达51%~98%,陆源碎屑为0%~26%。泥质有部分呈纤维状、细毡状。

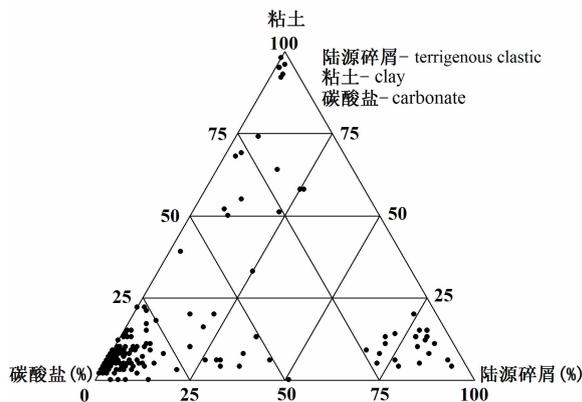


图4 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段混积岩分类图

Fig. 4 Classification of mixed siliciclastic—carbonate rocks of the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang area, central Sichuan Basin

3 混合沉积类型与相模式

Mount(1984)通过对浅水陆棚环境混积岩研究,将混合沉积与混积岩划分出间断混合、相混合、原地混合、母源混合4种成因类型(Mount,1984)。张雄华(2000,2003)在前人研究的基础上,结合湖南和江西古生代地层的有关资料,将陆源碎屑和碳酸盐的混合作用归为以下5种类型: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,以及岩溶穿插再沉积;并在雪峰古陆边缘上石炭统研究中,划分了混合冲积扇、砂质海滩与碳酸盐海滩相缘区的沉积相类型。Davies(1989)、Davis等(2003)通过澳大利亚白垩纪碳酸盐台地和佛罗

里达海湾的潮汐三角洲的研究,先后建立了碳酸盐台地沉积模式和潮汐三角洲相沉积模式。王国忠(2001)研究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,将混合沉积方式分为:随机式混合、相变式混合和随机—相变式混合;并深化了珊瑚岸礁—堡礁沉积相模式。董桂玉等(2007)按照“沉积事件+剖面结构”的原则,提出了渐变式、突变式和复合式3种混合沉积/混积岩的成因类型,并建立了湖相混合沉积相模式。罗顺社等(2004)针对渤南洼陷沙四段,建立了适用于三角洲及其相邻沉积环境的相模式。董桂玉等(2008)在总结先前研究的基础上,以湖南石门杨家坪下寒武统为例,分析了盆地边缘—深水斜坡环境的沉积模式。

综上所述,混合沉积类型与相模式的研究正在不断的深入。研究区大安寨段属于浅湖—半深湖环境(李耀华,1996)。通过研究比较,Mount的划分方式更能反映混积模式。综合岩芯、薄片、岩屑录井等资料,识别出间断混合、原地混合、相混合3种混合沉积类型。结合罗玉宏等^①对川中大安寨的微相划分和董桂玉等(2007)对湖相混合沉积相模式的研究,建立大安寨湖相混合沉积相模式;划分出风暴沉积、低能介壳滩/高能介壳滩、介壳滩缘、介壳滩前、介壳滩后、浅湖砂坝、深水斜坡等混合沉积微相(图2.5)。其中低能介壳滩、介壳滩缘为致密油潜储集体——泥质介壳灰岩发育的最有利相带。

3.1 间断混合

间断混合(punctuated mixing)指由风暴和其他间歇高强度事件,将沉积物从其沉积环境搬运到其他沉积环境,风暴沉积和深水斜坡就是这种混积方式的产物。研究区内可见零星的风暴介壳和风暴砂薄层,其中风暴介壳层发育更为普遍。风暴介壳主要来源于介壳滩沉积环境,风暴砂主要来源于浅湖砂坝沉积环境。纵向剖面结构上,风暴介壳和风暴砂可以叠置于任何浅湖—半深湖微相之上,反映风暴沉积的随机性;平面展布上,其可以发育于浅湖—半深湖亚相的任意位置,反映只要是风暴浪可以作用的区域,均可以产生风暴沉积。这种混合沉积最为复杂,多种混合层系和混积岩都可以在这种环境下产生。最具代表性的是介壳灰岩、泥岩与混积岩的互层以及含介壳含泥钙质砂岩。其岩性类型和沉积厚度受控于源岩、再沉积区岩性,风暴浪的规模、波及范围、能量大小。风暴作用对下伏沉积有侵蚀、冲刷作用,常常形成冲刷面(图3d)、冲沟、冲坑等沉积构造。介壳大小不均一,保存不完整,杂乱堆集

(图3e)。风暴砂粒度跨度大,常常出现不等粒砂岩(图3c),且泥砾、碳酸盐岩内碎屑较为常见。部分保存完整的风暴沉积可见向上变细的沉积层序。

深水斜坡微相是一种最常见风暴沉积,且其混合沉积只受控于风暴作用。深水斜坡位于浅湖和半深湖交界区域坡降较大的地区,由于水体加深,该区不受湖浪作用,局部地区偶尔遭受风暴影响。该环境通常形成泥、页岩夹风暴介壳灰岩条带的混合层系,页岩中含一定量的生物化石,体型小但保存较完整。由于间歇的风暴作用,偶有冲刷面发育,冲刷面上常见泥砾。

3.2 原地混合

原地混合(in-situ mixing)指由原地死亡的钙质生物所组成的碳酸盐组分,堆积在碎屑岩基底之上或基质之内。研究区内浅湖砂坝微相、低能介壳滩微相就是这种混积方式。不同之处在于浅湖砂坝属于相对高能环境,陆源物质供应以砂质为主,发育含介壳砂岩、砂质介壳灰岩、介壳灰岩,以及三者的混积层系;而低能介壳滩属于相对低能环境,其陆源物质供应主要是粘土质,发育泥质介壳灰岩、含介壳泥岩,以及两者的混积层系。浅湖砂坝和高能介壳滩水动力条件类似,其混积特征受控于陆源物质供给:当砂质供给饱和时,形成纯的砂坝沉积;当砂质供给较丰富时,形成含生物碎屑砂坝沉积;当砂质供给量不足时,形成砂质介壳滩沉积;当无砂质供给时,形成高能介壳滩沉积。砂质粒度以细粒为主,由于离物源区相对较近,重矿物、岩性等不稳定成分较多。时常发育平行层理和滑移变形构造(图3f),

纵向上偶见反韵律特征,其顶底常与泥岩、灰岩呈突变接触。低能介壳滩与浅湖泥水动力条件类似,其混积特征也受控于陆源物质供给,粘土质供给丰富,形成浅湖泥沉积;而粘土质供给不足,形成富含泥质的低能介壳滩。浅湖泥和低能介壳滩环境水平层理发育,介壳薄层时常具有定向性。

3.3 相混合

相混合(facies mixing)指沉积物沿不同相之间的过渡区发生混合。这种混积方式发生于碳酸盐岩沉积相、砂泥岩沉积相以及混合沉积相过渡区。其混积成分受控于优势相,比如相混合区域离介壳滩越近,其沉积特征越接近介壳滩。介壳滩缘、介壳滩前、介壳滩后微相均属于该种混积方式,都是低能介壳滩/高能介壳滩微相与周缘微相相混合的产物。罗玉宏等^①将这3种微相统称介壳滩缘,通过它们与介壳滩的相对位置可以进一步加以区分:介壳滩

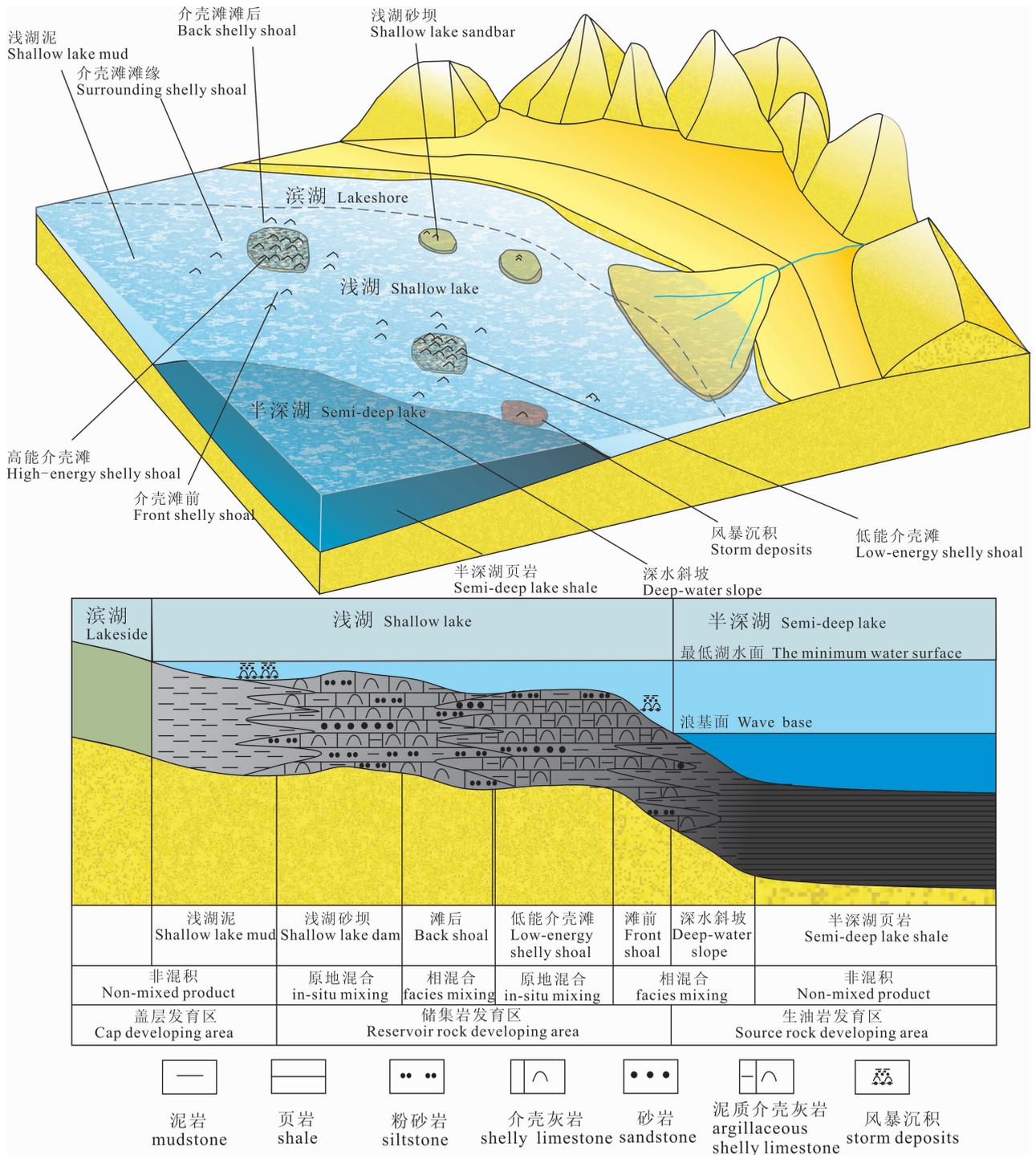


图 5 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段沉积模式图

Fig. 5 Depositional model of the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang area, central Sichuan Basin

后位于介壳滩靠近物源区的一端,通常为介壳滩与浅湖泥、浅湖砂坝的过渡环境;介壳滩缘位于介壳滩侧缘,通常为介壳滩与周边浅湖泥夹席状砂的过渡区域;介壳滩前位于浅湖和半深湖交界区域,在正常

浪基面附近,通常为介壳滩与半深湖页岩或深水斜坡的过渡区域。从滩后到滩缘再到滩前,水体深度不断加大,水体能量依次降低;混积岩中砂质成分不断减少,粘土质含量不断增加。介壳滩后发育含泥

砂质介壳灰岩与砂岩、泥岩、介壳灰岩的混积层系。含泥砂质介壳灰岩中砂质含量高,其碎屑成分也如浅湖砂坝多样。介壳分选较好,但保存较差。介壳滩缘发育介壳、泥质、粉砂质互层的混合层系和含泥质、泥质介壳灰岩,水平层理较为发育。生物介壳较破碎,磨圆及分选作用比高能滩的灰岩差,水体能量相对较弱(罗玉宏等^①)。介壳滩前微相主要发育含介壳泥岩、页岩及其互层,介壳体型较小,零星分布,大部分保存完整。

4 储层特征

研究区内“纯的”介壳灰岩(30块)孔隙度为0.81%~3.22%,渗透率为 $6.95 \times 10^{-3} \sim 1.58 \times 10^{-1} \mu\text{m}^2$;混积岩样品泥质介壳灰岩(131块)孔隙度为0.2%~5.8%,渗透率为 $3.38 \times 10^{-5} \sim 4.27 \times 10^{-1} \mu\text{m}^2$ 。大安寨段灰岩非均质性很强(王当奇,1987),部分泥质介壳灰岩物性好于“纯的”介壳灰岩。

储集空间主要包括孔隙和裂缝两大类(表1)。

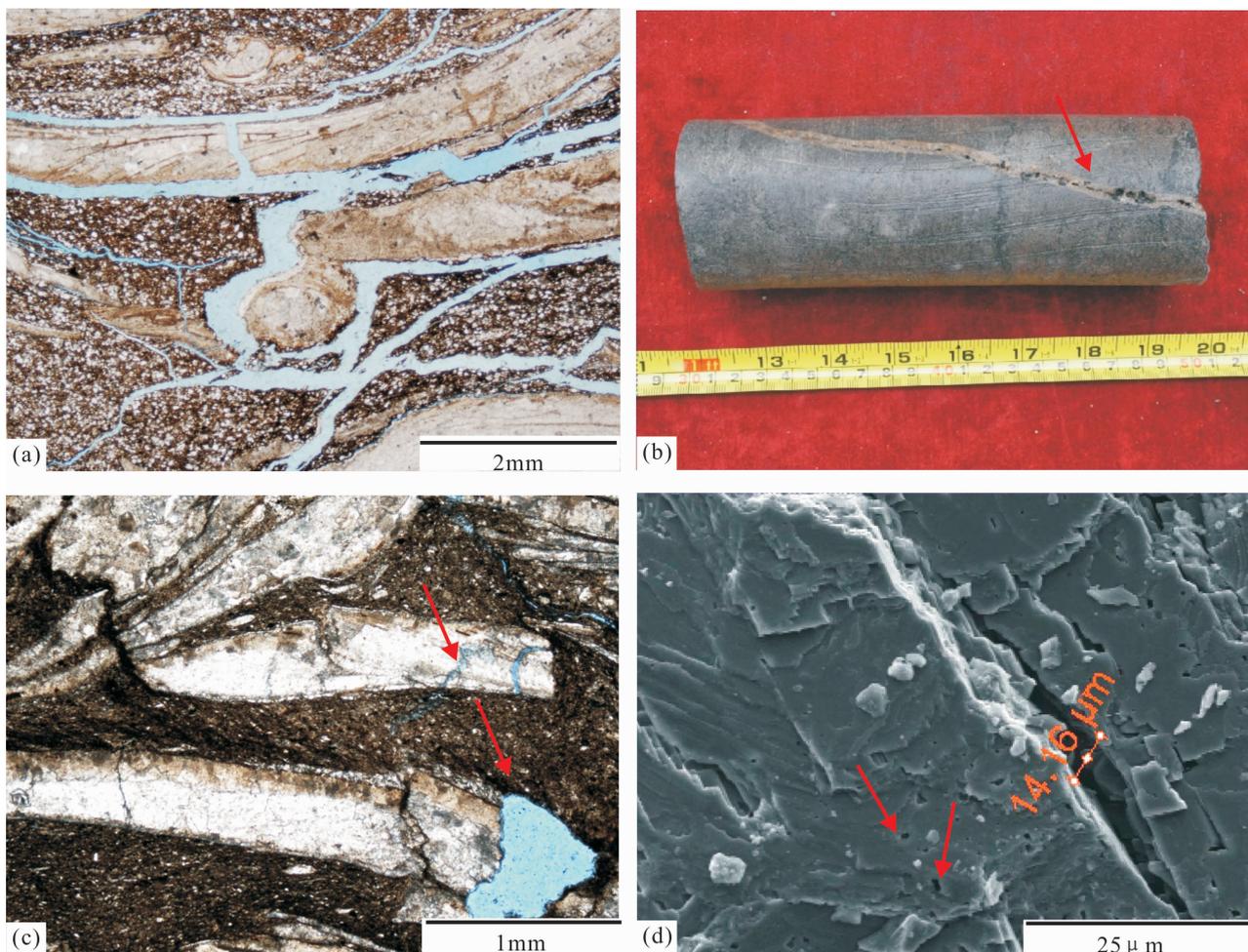


图6 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段主要孔隙类型

Fig. 6 Main pore spaces in the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang area, central Sichuan Basin

(a) 构造微缝和成岩缝,构造缝切穿介壳且边缘平整,成岩缝张开度小且缝面弯曲(Y2井,正交偏光,3189.35m,泥粉砂质泥晶介壳灰岩);(b)高角度缝,红色箭头指示(Y2井,3194.8m,介壳灰岩);(c)介壳溶蚀孔和微裂缝,红色箭头指示介壳溶蚀孔与溶蚀微缝(Lg001-8井,单偏光,3178.28m,泥质泥晶介壳灰岩);(d)溶蚀缝和基质溶蚀微孔,红色箭头指示微孔,溶蚀缝宽14.16 μm (Lg001-8井,3170.07m,泥晶介壳灰岩)

(a)Structural fractures and diagenetic fractures,Structural fractures cut through the shell, the edges of which are smooth,Diagenetic fractures have smaller width and ragged surface(Well Y2, perpendicular polarized light,3189.35m,argillaceous silty micritic shelly limestone); (b) High angle fracture marked by red arrow(Well Y2,3194.8m, shelly limestone); (c) Dissolution pore and microfracture marked by red arrows within shelly limestone(Well Lg001-8, plane polarized light,3178.28m, argillaceous micritic shelly limestone); (d) Dissolution microfracture and micropores marked by red arrows within the matrix of shelly limestone(Well Lg001-8,3170.07m, micritic shelly limestone)

其中裂缝主要可以分为成岩缝、构造缝和微裂缝 3 大类。成岩缝是在岩石成岩过程中形成的裂缝,包括泥质收缩缝(图 6a)和压溶缝合线两种类型,其中主要是泥质收缩缝,常见于泥质介壳灰岩。构造缝有低角度缝和高角度缝(图 6b),常见于“纯的”介壳灰岩。无论是泥质介壳灰岩还是“纯的”介壳灰岩,微裂缝都广泛发育,主要是成岩成因的溶蚀缝(图 6c、6d)和构造成因的破裂缝(图 6a)。微裂缝的发育对川中低孔低渗储层尤为重要。这 3 类裂缝为主要的储集空间,找准裂缝发育地带是勘探关键。

孔隙主要可以分为原生孔隙和次生孔隙两大类。原生孔隙包括生物体腔孔、生物遮蔽孔、壳间孔 3 大类。由于压实、胶结作用,原生孔隙基本消失殆尽。次生孔隙包括生物溶蚀孔(图 6c)、基质溶蚀孔(图 6d)、溶蚀孔洞。次生孔隙见有自生石英、黄铁矿等充填,仅部分残余。虽然原生孔隙发育差,但残余的次生孔隙,一定程度上改善了物性。另外,相对发育的微孔隙,或成为重要储渗空间。

研究区内部分样品泥质介壳灰岩的面孔率高于“纯的”介壳灰岩,且有在一定范围内面孔率随泥质含量增加而增加的趋势。从镜下鉴定结果来看,泥质收缩缝的大量发育是促使泥质介壳灰岩储集性改善的直接原因。此外,部分“纯的”介壳灰岩,介壳堆集紧密,重结晶作用强烈,导致其储集性严重劣化

(黄恒铨,1989)。大安寨混合沉积储层具有低孔低渗的特点,裂缝为主要的渗储空间,储层纵向上非均质性很强,烃源岩分布广泛、油气分散(李军等,2010);反映了混积岩或混积岩系一般具有单层厚度薄,平面上分布不稳定,非均质性强等特点(冯进来等,2011)。因此,无论是“纯”的介壳灰岩储层还是泥质介壳灰岩储层,都应在保证裂缝发育的前提下,寻找孔隙发育较好的“甜点”地带。同时说明混合沉积储层一般为孔隙—裂缝型,通常具有孔渗低、裂缝发育、非均质性强的特点。

5 致密油勘探意义

早在 20 世纪 60 年代初就曾明确:川中大安寨组油层属“裂缝型”(梁狄刚等,2011);但裂缝只是必要条件之一(刘殊和许红梅,2001);其介壳灰岩异常致密,岩石基质的储渗性能很差,属于超低孔渗型储集岩(何冰等,2010)。同时,大安寨油气藏基本不受局部构造圈闭的控制,也与构造位置高低无关,无论背斜、向斜、高点、低点都可能获得高产井(赵辉等,1997)。研究区内大安寨段介壳灰岩主要包括 2 大类:高能介壳滩相发育的“纯的”介壳灰岩,低能介壳滩相和其他混积微相发育的泥质介壳灰岩。罗玉宏等^①对川中金华、中台山、莲池地区大安寨段灰岩孔隙度和渗透率的统计则与研究区 Y2

井相似,出现了泥质介壳灰岩物性好于介壳灰岩的情况,且有在一定范围内,孔隙度和渗透率随泥质含量增加而升高的趋势(图 7)。从物性上说明泥质介壳灰岩有潜在的储渗能力。

研究区内 Lg9 井大一段每日产油 80.6t,其产层也并非“纯”的介壳灰岩,而是介壳灰岩与页岩的混合层系(图 8)。生产实践表明除了“纯”的介壳灰岩层段,靠近烃源部分物性相对好的泥质介壳灰岩层段和介壳灰岩与页岩的混合层系也可以作为储集层。

冯进来等(2011)总结了与油气有关混合沉积发育的一般规律,认为滨浅湖相

表 1 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段灰岩储层储集空间类型表
Table 1 Types of pore spaces in limestone reservoir of the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang area, central Sichuan Basin

储集空间	发育岩类	发育程度	主要特征	储集性	
裂缝	成岩缝	介壳灰岩泥质介壳灰岩	差好	泥质失水收缩	有效
	构造缝	介壳灰岩泥质介壳灰岩	好差	构造成因,见低角度缝和高角度缝	有效
	微裂缝	介壳灰岩泥质介壳灰岩	好好	成岩溶蚀微缝和构造破裂微缝	可能储集空间
原生孔隙	体腔孔	介壳灰岩泥质介壳灰岩	差差	生物体腔内孔隙	多被充填
	壳间孔	介壳灰岩泥质介壳灰岩	差差	介壳间孔隙	多被充填
	生物遮蔽孔	介壳灰岩泥质介壳灰岩	差差	介壳遮蔽形成的孔隙	多被充填
次生孔隙	基质溶蚀孔	介壳灰岩泥质介壳灰岩	差中	填隙物溶蚀形成	可能储集空间
	溶蚀孔洞	介壳灰岩泥质介壳灰岩	中中	溶蚀形成的较大孔洞	可能储集空间
	介壳溶蚀孔	介壳灰岩泥质介壳灰岩	中差	介壳溶蚀形成	可能储集空间

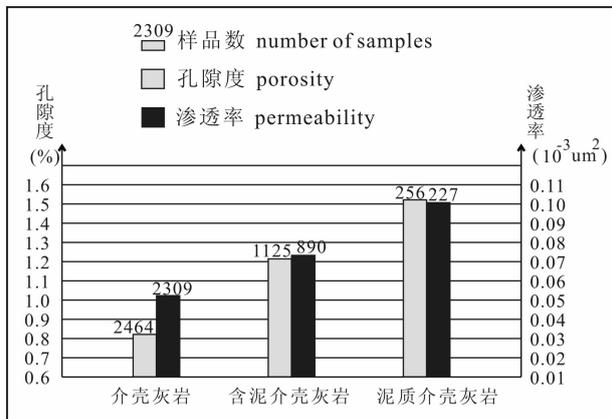


图7 川中莲池、中台山、金华地区下侏罗统自流井组大安寨灰岩孔渗柱状图(数据来源于罗玉宏等^①)

Fig. 7 Histogram of porosity and permeability of the Daanzhai limestones, the Ziliujing Formation, Lower Jurassic, from Lianchi, Zhong Taishan and Jinhua, central Sichuan Basin(the data from Luo Yuhong et al. , 1999^①)

混积岩有机质丰度高且易于保存,能够发育大套厚层的生油岩,同时广泛发育优质储层。董桂玉等(2007)研究了部分油田混合沉积与油气关系,认为在混积层系发育的地层中,可具备良好的生储盖组合,从而可以形成良好的油气藏。而形成致密油需满足3大条件:①大面积分布的储集层;②广覆式分布的优质生油层;③连续型分布的致密储集层与生油岩紧密接触的共生层系(邹才能等, 2012)。上述研究表明,混合沉积与致密油形成有一定的一致性。

龙岗地区大安寨段混合沉积具备形成致密油的3大条件(杨晓萍等,2005;邹才等,2012)。该区大安寨段泥质介壳灰岩虽然物性差,但微裂缝、次生孔隙广泛发育,其孔隙直径远大于数十纳米的临界孔隙直径(邹才能等,2011)。就致密油储层而言,这些微裂缝、微孔隙是有效的储渗空间。川中龙岗地区可作为致密油勘探的先导区域。

6 结论

(1)川中龙岗地区自流井组大安寨段湖相混积层系类型主要包括:介壳灰岩和泥岩的互层,介壳灰岩中的砂泥岩的夹层,介壳灰岩、泥岩与混积岩的互层3种。混积岩类型有:含砂泥质介壳灰岩、含泥砂质介壳灰岩、含介壳含泥钙质砂岩、含介壳含砂钙质泥岩等。混积组分以碳酸盐为主。纵向上岩性转换非常快,部分混积岩本身就是微型混合层系,其混积

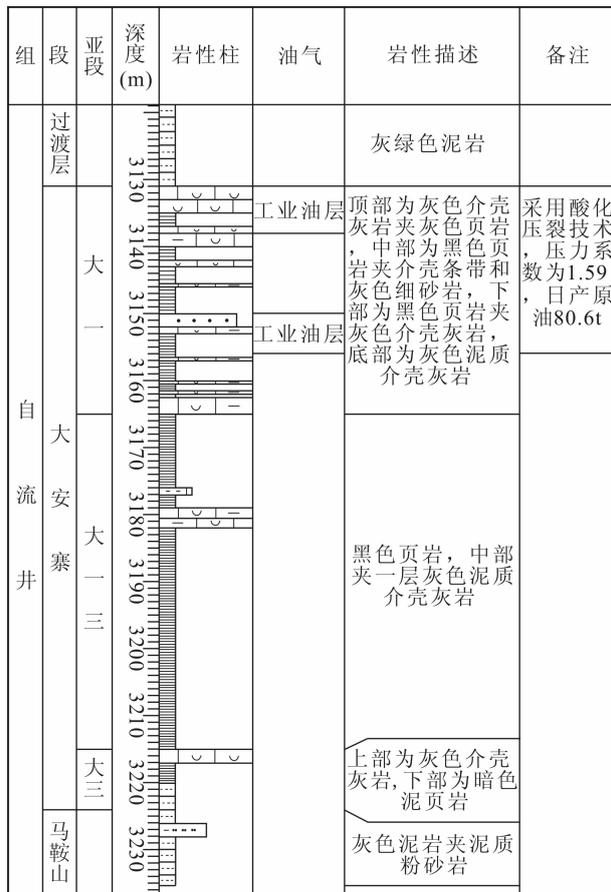


图8 川中龙岗地区Lg9井柱状图及测试成果

Fig. 8 Lithological column of the Well Lg9 in Longgang area, central Sichuan Basin, showing oil testing result

成分、比例受控于沉积微相。

(2)在浅湖一半深湖的沉积环境框架下,结合前人研究,通过岩芯、薄片观察,根据混积方式和微相划分,建立了研究区大安寨段的沉积模式。大安寨段湖相混积方式类型有:间断混合、原地混合和相混合3种类型。它们分别受控于风暴作用、水动力条件和优势相。这三种混积方式又可以细分为8种微相。

(3)混合沉积与致密油形成有一定的一致性,龙岗地区大安寨段具备形成致密油的3大条件。大安寨储层具有低孔低渗,纵向上非均质性很强,烃源岩广泛发育、大面积含油但油气分散等特点;裂缝为主要的渗储空间,找准裂缝和有效孔隙的相对发育区域是勘探重点。由于有利的生储盖组合,有效微孔隙广泛发育,大面积分布的泥质介壳灰岩层作为致密油储层具有广阔的勘探前景。

注释 / Note

- ① 罗玉宏, 黄仕强, 白洋, 龚昌明. 1999. 四川盆地川中侏罗系大安寨油藏勘探经验总结及典型油藏分析. 中石油西南油气田分公司川中油气矿科研报告.

参考文献 / References

- 董桂玉, 陈洪德, 何幼斌, 秦志勇, 罗进雄, 辛长静. 2007. 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考. 地球科学进展, 9(22): 931 ~ 939.
- 董桂玉, 何幼斌, 陈洪德, 罗进雄, 秦志勇. 2008. 湖南石门杨家坪下寒武统榔榔组三段混合沉积研究. 地质论评, 54(5): 593 ~ 601.
- 冯进来, 胡凯, 曹剑, 陈琰, 王龙刚, 张英, 王牧, 赵健. 2011. 陆源碎屑与碳酸盐混积岩及其油气地质意义. 高校地质学报, 2(17): 297 ~ 307.
- 郭福生, 严兆彬, 杜杨松. 2003. 混合沉积、混合沉积岩和混合沉积层系的讨论. 地学前缘, 10(3): 68.
- 何冰, 胡明, 罗玉宏, 邓海波. 2010. 川中李渡—白庙地区大安寨段湖相碳酸盐岩油藏裂缝发育特征分析. 复杂油气藏, 1(3): 23 ~ 27.
- 黄恒铨. 1989. 川北大安寨段成岩作用与储集性能的关系. 石油实验地质, 11(1): 62 ~ 75.
- 梁狄刚, 冉隆辉, 戴弹申, 何自新, 欧阳健, 廖群山, 何文渊. 2011. 四川盆地中北部侏罗系大面积非常规石油勘探潜力的再认识. 石油学报, 1(32): 8 ~ 17.
- 李军, 陶士振, 汪泽成, 邹才能, 高晓辉, 王世谦. 2010. 川东北地区侏罗系油气地质特征与成藏主控因素. 天然气地球科学, 21(5): 732 ~ 741.
- 刘殊, 许红梅. 2001. 大安寨段薄层灰岩油气富集区预测. 中国石油勘探, 6(2): 1857 ~ 1864.
- 刘树根, 李智武, 孙玮, 邓宾, 王国芝, 雍自权, 黄文明, 罗志立. 2011. 四川含油气叠合盆地基本特征. 地质科学, 46(1): 233 ~ 2.
- 罗顺社, 刘魁元, 何幼斌, 高振中, 淡卫东. 2004. 渤海洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征与模式. 江汉石油学报, 4(26): 19 ~ 2.
- 李耀华. 1996. 川中金华油田大安寨段介壳灰岩储集空间演化与油气关系. 成都理工学院学报增刊, 23(增刊): 42 ~ 49.
- 沙庆安. 2001. 混合沉积和混积岩的讨论. 古地理学报, 3(3): 63 ~ 66.
- 王当奇. 1987. 川北地区大安寨段低孔渗油气层地质特征及勘探方法. 石油实验地质, 9(2): 134 ~ 143.
- 王国忠. 2001. 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. 古地理学报, 3(2): 47 ~ 54.

- 汪泽成, 邹才能, 陶士振, 李军, 王世谦, 赵朝阳. 2004. 大巴山前陆盆地形成及演化与油气勘探潜力分析. 石油学报, 25(6): 23 ~ 28.
- 杨晓萍, 邹才能, 陶士振, 汪泽成, 李军. 2005. 四川盆地上三叠统一侏罗系含油气系统特征及油气富集规律. 中国石油勘探, (2): 15 ~ 22.
- 邹才能, 朱如凯, 白斌, 杨智, 吴松涛, 苏玲, 董大忠, 李新景. 2011. 中国油气储层中纳米孔首次发现及其科学价值. 岩石学报, 27(6): 1857 ~ 1864.
- 邹才能, 杨智, 陶士振, 李伟, 吴松涛, 侯连华, 朱如凯, 袁选俊, 王岚, 高晓辉, 贾进华, 郭秋麟, 白斌. 2012. 纳米油气与源储共生型油气聚集. 石油勘探与开发, 1(39): 13 ~ 26.
- 赵辉, 司马立强, 颜其彬, 吴学刚. 1997. 川中大安寨段裂缝评价及储层产能预测方法. 测井技术, 32(3): 277 ~ 280.
- 张雄华. 2000. 混合沉积岩的分类和成因. 地质科技情报, 19(4): 31 ~ 34.
- 张雄华. 2003. 雪峰古陆边缘上石炭统陆源碎屑和碳酸盐混合沉积. 地层学杂志, 27(1): 54 ~ 57.
- Butt on A, Vos R G. 1977. Subtidal and intertidal clastic and carbonate sedimentation in a macrotidal environment; an example from the lower Proterozoic of South Africa. Sedimentary Geology, 18: 175 ~ 200.
- Davies H R. 1989. Shelf sandstones in the Mowry shale; evidence for deposition during Cretaceous sea level falls. Journal of Sedimentary Petrology, 59: 548 ~ 560.
- Davis R A, Cuffe C K, Katherine K A, Shock E J. 2003. Stratigraphic models for microtidal tidal deltas; examples from the Florida Gulf coast. Marine Geology, 200(1~4): 49 ~ 60.
- Mount J F. 1984. Mixing of silicilastics and carbonate sediments in shallow shelf environments. Geology, 12(7): 432 ~ 435.
- Maxwell W G H, Swinchart J P. 1970. Great Barrier Reef; regional variation in a Terrigenous—Carbonate province. Geological Society of American Bulletin, (81): 691 ~ 724.
- Palermol D, Aigner T, Geluk M, Poepplereiter M, Pipping K. 2008. Reservoir potential of a lacustrine mixed carbonate/siliciclastic gas reservoir; the lower Triassic Rogenstein in the Netherlands. Journal of Petroleum Geology, 31(1): 61 ~ 96.
- Price I. 1977. Deposition, derivation of clastic carbonate on a Mesozoic continental margin, Orthos, Greece. Sedimentology, (24): 529 ~ 546.
- Poepplereiter M, Aigner T. 2003. Unconventional pattern of reservoir facies distribution in epeiric successions; Lessons from an outcrop analog (Lower Keuper, Germany). AAPG Bulletin, 87(1): 39 ~ 70.
- Schmoker J W. 2005. US geological survey assessment concepts for continuous petroleum accumulations. Denver: US Geological Survey. 1 ~ 9.

Mixing of Lacustrine Siliciclastic—Carbonate Sediments and Its Significance for Tight Oil Exploration in the Daanzhai Member, Ziliujing Formation, Lower Jurassic, in Longgang Area, Central Sichuan Basin

DING Yi¹⁾, LI Zhiwu¹⁾, FENG Feng²⁾, ZHAI Zhonghua²⁾, SUN Wei¹⁾,
TANG Cong¹⁾, ZHANG Wei¹⁾, ZHANG Changjun¹⁾, LIU Shugen¹⁾

1) State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, 610059;

2) Central Sichuan Oil & Gas Field, Southwest Oil & Gas Field Company, PetroChina, Suining, Sichuan, 629000

Abstract: The Daanzhai Member of the Lower Jurassic Ziliujing Formation is one of the major oil production

horizons in Sichuan Basin, where "pure" limestone from high-energy shelly shoal of shallow lake facies has been usually viewed as the only kind of reservoir rock in previous studies. Based on outcrop surveying and borehole core observation as well as thin section and SEM (scanning electron microscopy) analyses, we propose in the paper that the Daanzhai Member of Ziliujing Formation is a typical lacustrine depositional sequence of mixed siliciclastic—carbonate sediments in Longgang area, central Sichuan Basin, which contains two levels of implication. In narrow sense, the mixed siliciclastic—carbonate rock means mixing of major lacustrine carbonate with minor terrigenous clastics and/or clay in various proportion. Main rock types consist of shelly limestone, sandy/silty/argillaceous shelly carbonate, calcareous shelly sandstone/siltstone/mudstone/shale, etc. In broad sense, the mixed depositional sequence implies alternating layers of shelly limestone, mudstone/shale, sandstone/siltstone and mixed siliciclastic—carbonate rock with unequal thicknesses. In general, there are three ways of mixing: punctuated mixing, in-situ mixing and facies mixing, which are respectively controlled by storm wave action, hydrodynamic condition and predominant facies. Both relatively pure shelly limestone and mixed siliciclastic—carbonate rocks are extremely tight. Almost all primary porosity has disappeared because of intense compaction since burial. The present pore spaces are largely composed of dissolution pore, dissolution micropore, microfracture and structural fracture, etc. In addition to "pure" shelly limestone, some silty/argillaceous shelly limestone and shelly siltstone/mudstone/shale with relatively good porosity and permeability could also serve as one kind of effective reservoir due to better-developed microfractures within them. These observations and drilling results imply that the silty/argillaceous shelly limestone of low-energy shelly shoal and surrounding shelly siltstone/mudstone/shale adjacent to hydrocarbon generating center are extensively developed and potential reservoir. This is particularly important for tight oil exploration, which should be paid special attention to. Therefore, a pilot exploration is recommended to be carried out.

Key words: Lower Jurassic; Daanzhai Member; lacustrine facies; mixing of siliciclastic—carbonate sediments; reservoir; microfracture; tight oil; central Sichuan Basin

GEOLOGICAL REVIEW

Vol. 59 No. 2 2013

CONTENTS

Discussion

- The Location of the Tail of Emeishan Mantle Plume LI Hongbo, ZHANG Zhaochong, Li Yongsheng, Wang Yunfeng (208)
- A Discussion on Eastward Extension of the Miyun—Xifengkou Fault
..... ZHU Weiping, WANG Yan, ZHAO Baimin, XU Luping, CONG Lijuan, YAO Guotao (216)
- Study on Carbonate Limestone Dykes (Neptunian Dykes) of Upper Devonian in Nanbiancun, Guilin, Guangxi
..... PENG Yang, LU Gang, HU Guiang (222)
- The Crustal Carbon Cycling in the Late Cretaceous Extension of Bangong Lake Arc Zone in the Xizang (Tibetan) Plateau
..... SONG Yang, QU Xiaoming, XIN Hongbo, WANG Zhiyun, DU Dedao (233)
- Ore-forming Fluid of Yulekenhalasu Cu—Mo Deposit on the Northern Margin of Junggar Basin, Xinjiang
..... GENG Xinxia, YANG Fuquan, ZHANG Zhixin, LIU Feng, CHAI Fengmei, GAO Wenjuan (247)
- Spatial Characteristics of Climate around 4.0 ka BP and Its Impacts on the Evolution of Prehistoric Civilization in China
..... PENG Yajun, SUN Qianli, CHEN Jing, LI Maotian (266)
- SHRIMP U-Pb Zircon Age and Its Stratigraphic Significance of Tuff at the Bottom of the Upper Triassic Nanying'er Group, Mount