

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2021.03.015

元坝气田长兴组生物礁储层特征及主控因素研究

景小燕¹, 张小青¹, 高蕾¹, 张明迪¹, 李国蓉²

(1. 中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川 成都 610041; 2. 成都理工大学能源学院, 四川 成都 610059)

摘要:通过岩心观察、铸体薄片鉴定、扫描电镜以及物性测试分析, 可知长兴组储集岩的主要岩石类型为晶粒白云岩、生屑白云岩、生物礁白云岩; 主要储集空间类型为晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔及裂缝; 喉道类型主要为片状、孔隙缩小型、缩颈型喉道。储层的发育主要受控于沉积相、白云岩化及溶蚀作用, 储层主要发育于生物礁礁盖的潮坪及浅滩环境, 主要分布于研究区东部长兴组上段的晚期浅滩和西部的礁盖中。

关键词:元坝气田; 长兴组; 生物礁; 白云岩成岩模式; 储层评价

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1009-6248(2021)03-0188-10

Research on the Reservoir Characteristics and Controlling Factors of the Changxing Formation Reef in Yuanba Gas Field of Sichuan Basin, China

JING Xiaoyan¹, ZHANG Xiaoqing¹, GAO Lei¹, ZHANG Mingdi¹, LI Guorong²

(1. Research Institute of Exploration and Development, Southwest Oilfield Company, SINOPEC, Chengdu 610041, Sichuan, China; 2. College of Energy Resources, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: On the basis of core observation, identification of thin casting section, scanning electron microscopy and physical test and analysis, it is found that the reservoir rocks in Changxing Formation are mainly composed of grain dolostones, bioclast dolostone and reef dolomite. Types of the reservoir space are mainly the intracrystalline pore, the intercrystalline denudation pore, the dissolved pores in grains and the fractures. And the throat types are mainly slice-shape, pore-shrinking and the contracted neck throat. The reservoirs were mainly developed in the reef cap of the western part of the studied area and the shoal in upper Changxing Formation of the eastern part, dominated by sedimentary facies, corrosion and dolomitization.

Keywords: Yuanba gas field; Changxing Formation; reef; diagenesis model of dolomite; reservoir evaluation

元坝地区位于四川盆地川东北部苍溪县—阆中市一带。其构造主体为川中低缓构造带北部斜坡, 东

邻通南巴构造带西南端、北为九龙山背斜南端(图 1)。元坝气田勘探工作始于 20 世纪 50 年代, 相继历

收稿日期: 2019-10-02; 修回日期: 2020-12-08

基金项目: 中国石化西南油气分公司(KJ-464-1725)A。

作者简介: 景小燕(1981-), 女, 成都理工大学油气田开发硕士学位, 工程师, 现主要从事气藏描述工作。E-mail: 21268857@qq.com。

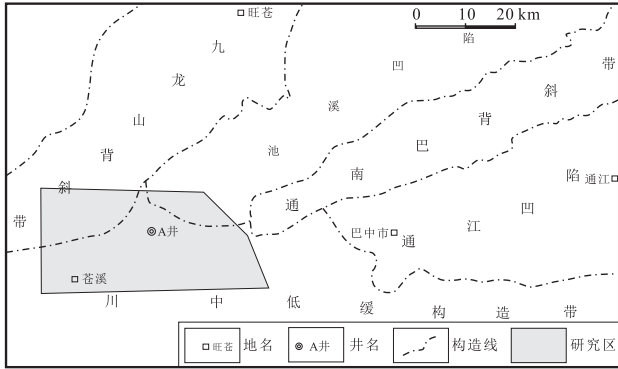


图 1 川东北元坝—通南巴地区构造简图

Fig. 1 Structural map of Yuanba-Tong Nanba area in the northeastern Sichuan basin

经了普查勘探阶段(1967~2005年)、发现及成果扩大阶段(2006~2009年初)和勘探开发一体化阶段(2009年初一至今)。2009年A井钻获低产气标志着长兴组气藏的发现,是川东北地区继普光、龙岗气田之后油气勘探的又一次突破,使得元坝地区成为目前的研究热点地区之一。同时也

显示沿“梁平—开江”陆棚一带分布的碳酸盐岩台地礁滩相带具有良好的勘探前景(马永生等,2005,2006a;祝海华等,2013;王一刚等,2006a,2006b)。长兴组储层具有很强的非均质性,明显受沉积相及成岩作用的控制(郭彤楼,2011;马永生等,2007)。通常情况下,在生物礁相储层中,储集层一般发育于礁核亚相。然而,随着元坝气田进入试开发阶段,大量的岩性与实验分析数据揭示元坝气田的储集层主要发育于礁盖微相,这一点与常规的认识不同。因此,深入研究长兴组礁滩相储层的发育规律对于指导该地区下一步的滚动勘探开发工作具有重要的意义。

1 沉积特征

长长期川东北地区古地理面貌呈北西—南东展布,呈现陆棚—台地相间格局(图 2)。中部为梁平—开江陆棚,向北与广旺—鄂西深水陆棚相通,沉积大隆组碳质页岩夹硅质岩,沿梁平—开江陆棚东西侧两

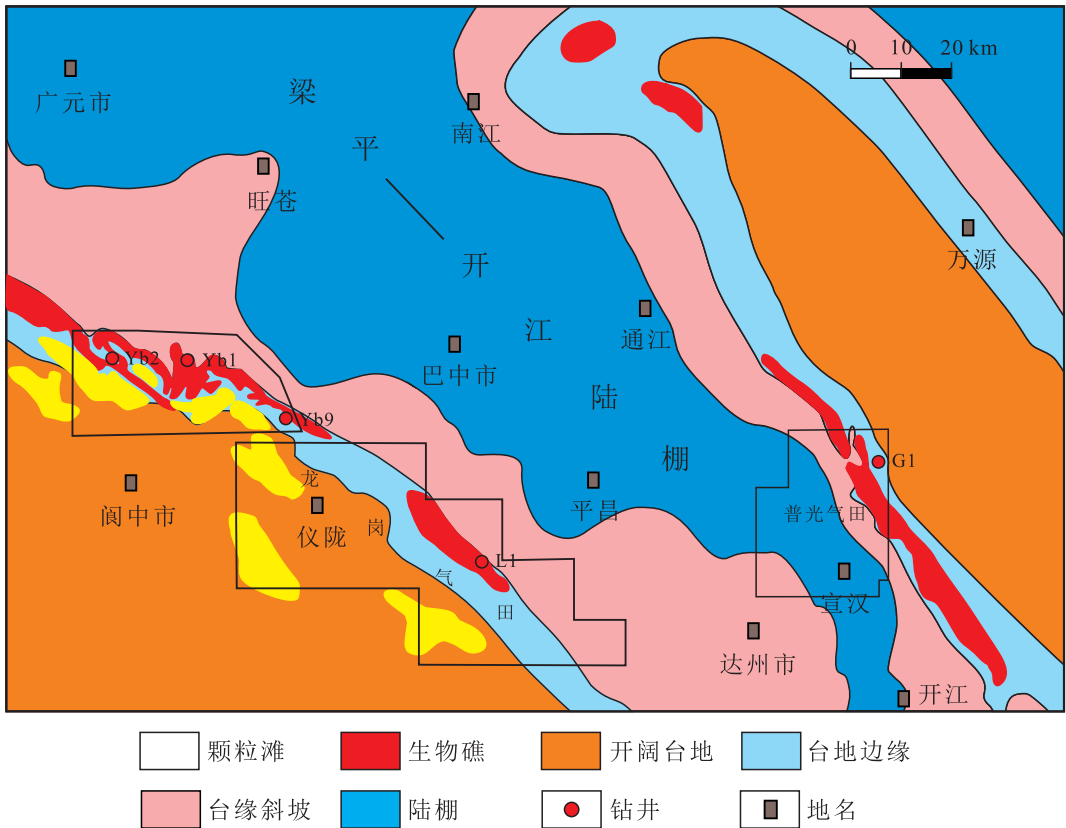


图 2 川东北地区长兴期沉积相图

Fig. 2 Sedimentary facies graph of the Upper Permian Changxing Formation in the northeastern Sichuan Basin

台地边缘发育边缘礁滩相沉积(马永生等,2006b;王一刚等,2009;郭川等,2011)。陆棚西侧沿元坝—龙岗一带发育生物礁;陆棚东侧在普光1井—开江一带发育生物礁。

元坝地区位于梁平—开江陆棚西侧,主要发育开阔台地、台地边缘礁滩、斜坡、浅水陆棚沉积相带,古地形总体为西南高东北低,西南部为台地,东北为浅水—深水陆棚。综合利用岩心、测井资料,及地震资料分析(陈勇,2011),认为长兴组气藏区发育碳酸盐缓坡和碳酸盐台地2种沉积背景,深缓坡、浅缓坡、台地边缘生物礁、台地边缘浅滩等亚相以及生屑滩、滩间、生物礁(礁基、礁核、礁盖)、礁间等多种微相类型。

2 生物礁及储层岩石特征

元坝地区长兴组生物礁由礁基、礁核及礁盖三部分组成(图3)。礁基为碳酸盐岩缓坡浅滩相灰色厚层状生物碎屑白云岩、生物碎屑白云质灰岩、生物碎屑灰岩,生物碎屑包括有孔虫、蜓、珊瑚、腕足、苔藓虫、三叶虫、棘皮、双壳、腹足、介形虫、绿藻等,其

中有孔虫是最主要的生物碎屑类型,生物碎屑间可为粒状亮晶方解石、泥晶灰岩胶结,局部为藻黏结结构。测井曲线上(图4),生物碎屑灰岩或白云质灰岩层段显示出自然伽玛值低、声波时差较小、密度较大、电阻率较高的特征;生屑碎屑白云层段则显示出自然伽玛值低、密度较低、电阻率较低、声波时差升高的特征。礁核岩性为灰色块状海绵骨架岩。造礁生物主要为串管海绵,见少量板状珊瑚,含量可达50%~80%。附礁生物主要为腕足类、棘皮类、有孔虫。礁骨架间填隙为泥晶灰岩,见少量泥质及生物碎屑。海绵骨架岩白云岩化程度低。礁核在电测

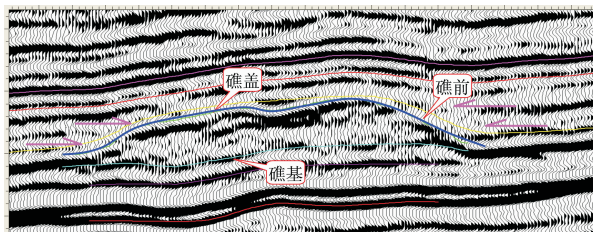


图3 A井生物礁地震剖面图

Fig.3 Seismic profiles of reef in the A well, Yuanba gas field

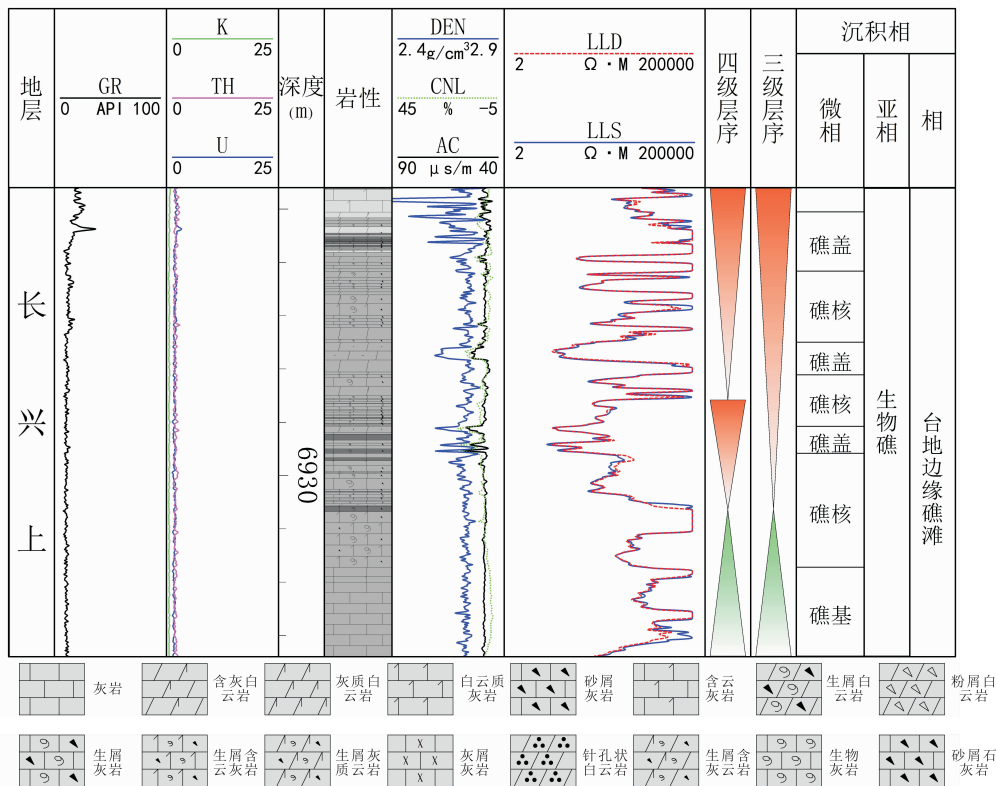


图4 C井长兴组上段台地边缘生物礁沉积相图

Fig.4 Sedimentary facies graph of reef of the Upper Permian Changxing Formation in the C well, Yuanba gas field

曲线上表现为低伽玛、极高电阻的特征,自然伽马表现为平直的低值特征,指示礁灰岩整体岩性较纯, FMI 为亮色块状特征。礁盖为潮坪相浅灰色残余生屑(粒屑)白云岩、结晶白云岩及灰色藻黏结微粉晶白云岩。礁盖白云岩中溶蚀孔洞发育,充填有大量的沥青。礁盖表现出疏松多孔的测井响应特征,如密度,电阻率值下降,声波、中子孔隙度上升等, FMI 为暗色厚层状,反映溶孔发育。

据此,可将元坝地区长兴组按岩石组合特征及测井响应特征可分为上、中、下三段。下段地层

为灰色白云岩、灰质白云岩、含灰白云岩、含云生屑灰岩、生屑灰岩、砂砾屑灰岩,为礁基。中段地层底部为深灰色含泥灰岩、灰色灰岩、生屑灰岩、礁灰岩和云质灰岩,为礁核。顶部为浅灰色中粗晶白云岩、溶孔白云岩、生屑白云岩、生屑灰岩,为礁盖。

研究表明,储层的发育程度与白云岩化程度密切相关,如上述生屑滩灰岩,发生完全白云石化时溶蚀孔洞较发育,在 FMI 测井上反应明显(图 5);未完全白云石化时则岩性相对致密。

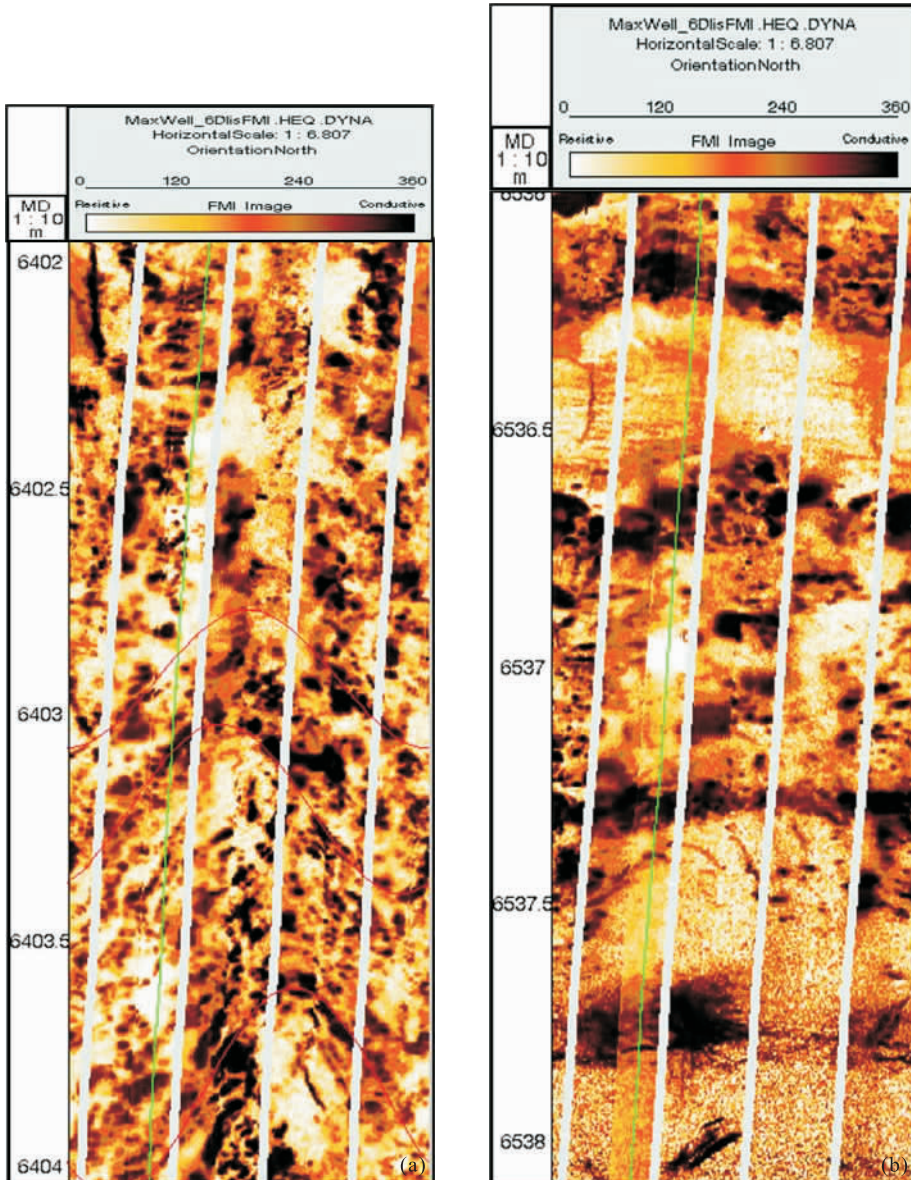


图 5 长兴组气藏储层成像测井特征

Fig. 5 Characteristics of imaging of reservoir in Changxing Formation

根据野外剖面和 23 口钻井岩心详细观察、镜下铸体薄片鉴定以及扫描电镜分析,认为长兴组储集岩类型主要包括以下几种。

2.1 晶粒白云岩

晶粒较粗以粗-中晶为主,粉-细晶次之。晶粒自形程度较高,以半自形至自形晶粒为主,有时具雾心亮边结构。无生物或其他残余结构。该类白云岩除发育大量的晶间孔外,还容易发生溶蚀作用形成晶间溶孔和晶体铸模孔。此类白云岩多发育于礁滩顶部及礁盖潮坪环境中。

2.2 残余生屑晶粒白云岩

残余生屑晶粒白云岩为生屑灰岩白云石化形成。岩石结构以粉晶、细晶和中晶白云石为主,少量粗晶白云石、白云石晶体呈他型-半自形状,见生屑幻影,这类岩石晶间(溶)孔、溶孔发育,可以形成优质储层。

2.3 生物礁白云岩

长时期的造礁生物主要为海绵。海绵骨架生物含量高、个体大,一般直径为 1~3 mm,且较完整,形态各异,其内部脑纹结构特征明显。海绵类生物间由亮晶胶结,胶结期次不明显,局部海绵骨架间空隙部分由泥晶灰质充填,形成直径为 1~1.5 mm 不规则的团块,团块内泥质和细小生屑含量高,多被选择性白云化。自形粉晶白云石沿海绵类生物边缘形成等厚细晶白云石环,部分晶间被沥青充填,局部沥青呈条纹状分布。

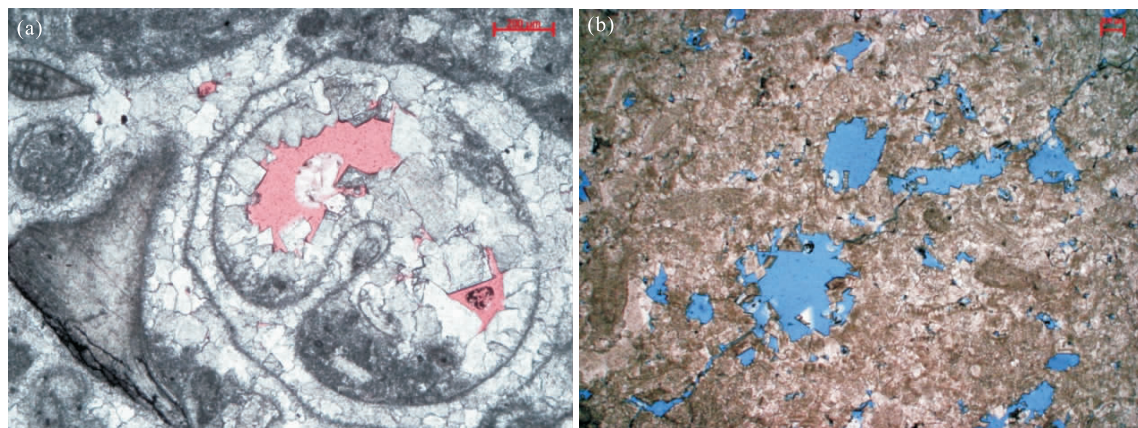
此外,灰质白云岩、白云质灰岩、生物礁灰岩、生屑(生物)灰岩、泥-微晶灰岩作为储集岩较为少见,构造裂缝构成该类储集岩的主要空间,以高角度斜交缝及垂直缝为主。

3 储集空间类型及其结构特征

3.1 储集空间类型

前人的研究成果表明,元坝地区长兴组的主要储集空间类型包含以下 4 种:晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔及裂缝(郭彤楼,2011;王瑞华等,2007;彭光明等,2014)。笔者根据研究区长兴组的普通薄片、铸体薄片鉴定观察及扫描电镜分析认为储集空间类型还包括以下 2 类:粒内溶孔和超大溶孔。

(1)粒内溶孔。主要为鲕粒、生物(生屑)内部溶蚀而成。鲕粒内溶孔主要沿鲕粒同心圈层发育成环状、半月形溶孔,局部鲕粒完全溶蚀形成铸模孔。生物(生屑)内溶孔储集体包括海绵和珊瑚等造架生物的体腔孔、腹足类体腔孔、有孔虫和蜓类房室溶孔和双壳体溶孔等(图 5a)。这类孔隙是沉积后生物体内软体组织等不稳定组分在早期溶蚀的基础上叠加后期多期溶蚀和改造而成(黄勇等,2013),其大小通常受生物体腔、虫室、房室等大小的控制,孔隙直径变化范围较大,从 0.01 mm 到 2 mm 均有发育,面孔率一般为 0.2%~1.5%,溶孔内常充填或半充填沥青(图 6a)。



a. 生物的粒内溶孔,C井;b. 生屑灰云岩,白云石斑块内溶蚀孔洞发育,D井

图 6 长兴组储层孔隙空间类型

Fig. 6 Reservoir Space types of the Changxing Formation

(2)超大溶孔。超大溶孔孔径大于岩石支撑颗粒直径,常由粒间溶孔、晶间溶孔和铸模孔溶蚀扩大形成非组构性溶孔,形状不规则,大小差异大,孔径多大于2 mm。溶孔的发育常与裂缝相伴,呈串珠状、补丁状,以裂缝为中心向外侧溶蚀孔径逐渐变小(图6b),具有连通性好、分布广泛的特点。超大溶孔孔中清洁、干净,未见充填沥青,可见其发育于原油演化为沥青之后,是晚期溶蚀产物。

该类溶孔主要发育在长兴组下段的残余颗粒白云岩、晶粒白云岩、海绵礁白云岩、生屑白云岩等各类白云岩中,是本地区重要的储集空间。

3.2 喉道类型

喉道是影响储集岩渗透性的关键要素,是储集空间的联通通道,直接决定储集空间是否有效。研

究表明,长兴组礁滩相储层喉道类型主要为片状、孔隙缩小型、缩颈型喉道(图7)。

(1)孔隙缩小型喉道:是晶间孔之间的缩小部分,与孔隙很难区分,此喉道既是渗流通道又是孔隙的一部分,是储集岩的最佳喉道(图7a、图7b)。

(2)缩颈型喉道:当颗粒或晶粒经过压实,之间常以点接触形式,使两颗粒之间喉道变成“瓶颈”状,此种喉道由于在“瓶颈”处变得很小,因而其渗透作用比孔隙缩小型喉道要小得多(图7a、图7c)。

(3)片状喉道:此类喉道是孔隙缩小型喉道的进一步缩小,使颗粒间、白云石晶间溶孔隙呈网状相连,喉道宽在 $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$,是区内较普遍发育的一种喉道,对储层孔隙连通具重要意义(图7d)。

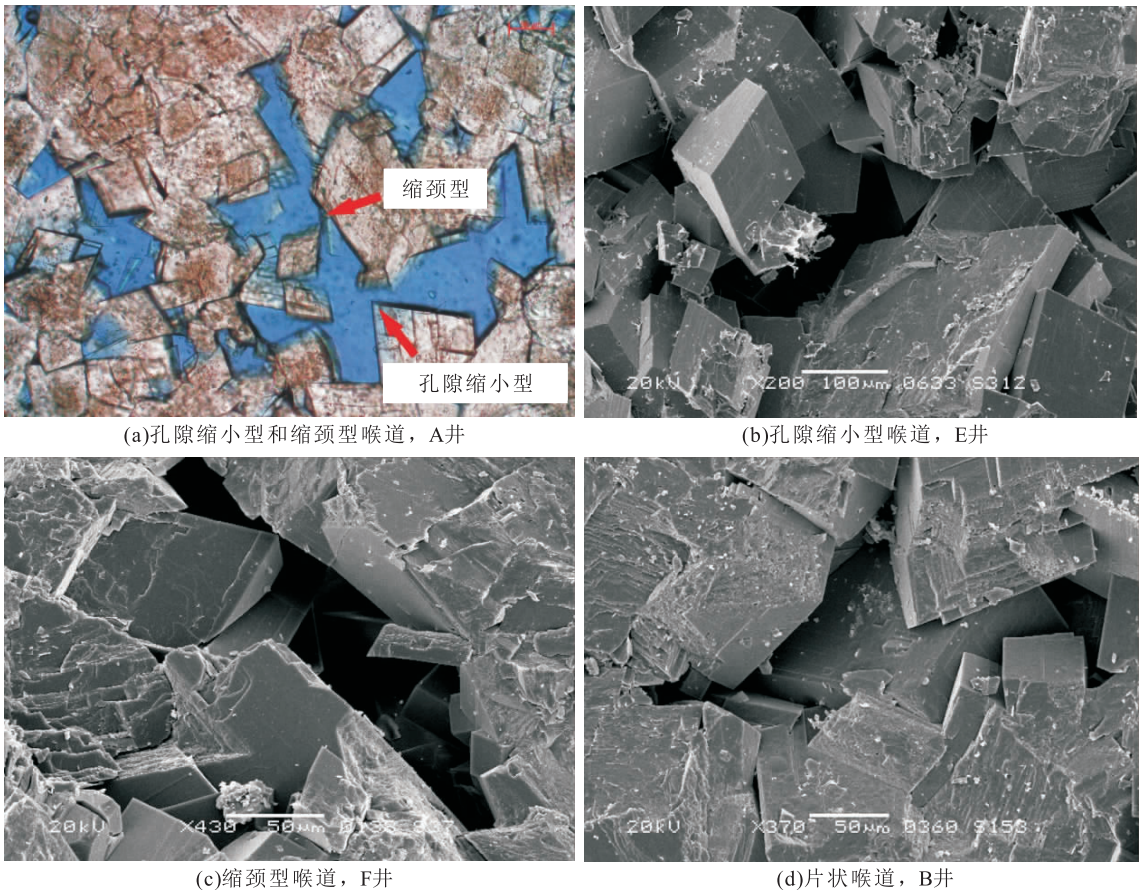


图7 长兴组储层喉道类型特征

Fig.7 Reservoir throat Characteristics of the Changxing Formation

3.3 储集物性特征

通过对元坝气藏19口取心井1126个岩心样

品进行了详细的统计,储层具有如下特征:孔隙度分布区间为 $0.53\%\sim 24.65\%$,平均孔隙度为 4.51% ,

其中孔隙度 $>2\%$ 的样品平均值为 5.46% 。主要分布在 $2\% \sim 5\%$,约占 48% ;孔隙度 $<2\%$ 次之,约占 24% ;渗透率为 $0.0018 \times 10^{-3} \sim 2571.903 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,几何平均为 $0.3478 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,主峰值位于 $0.002 \times 10^{-3} \sim 0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,渗透率级差大、非

均质性强。元坝地区取心物性资料分析表明,台地边缘生物礁及台地边缘浅滩相是储层发育最有利相带(图8)。在生物礁中以礁盖微相的物性最好(平均孔隙度为 5.5%),礁核次之(平均孔隙度为 3.2%),而礁基的平均孔隙度仅为 0.5% 。

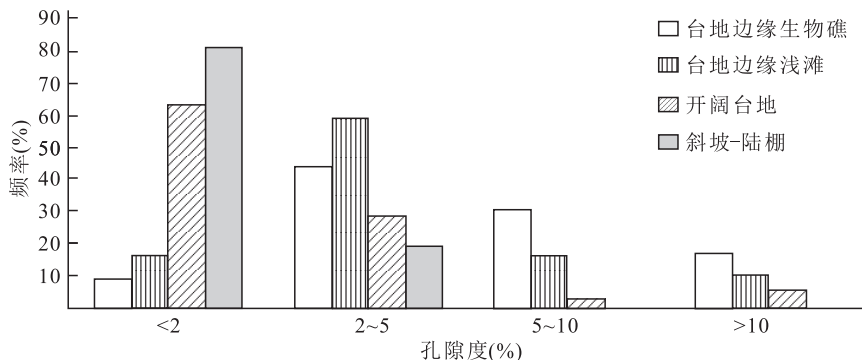


图8 元坝气田长兴组不同相带储层物性特征对比图

Fig. 8 Reservoir properties comparative diagram of sedimentary facies in Yuanba gas field

长兴组气藏礁-滩相储层的孔隙度与渗透率交汇图中(图9),孔隙度与渗透率在半对数坐标中呈正相关关系,渗透率值的增加随孔隙度呈正向区带状分布。A区孔隙度变化小而渗透率变化明显,级差大、非均质性强。该区的数据点主要为生物礁核微相的生物礁灰岩、生物礁白云岩及泥-微晶灰岩。此类储层的原生孔隙不发育,构造裂缝不仅占据相当比例的储集空间同时又是良好的渗滤通道,为裂缝-孔隙型储层;B区内孔隙度与渗透率呈明显的正相关关系,该区内的数据点为生物礁盖微相的晶粒白云岩及滩相的生物碎屑白云岩,晶间孔、晶间溶孔及粒间溶孔为主要储集空

间,发育孔隙缩小型和缩颈型喉道,属于孔隙型储层。

4 储层发育的主要控制因素分析

4.1 有利的沉积相带是长兴组储层形成的物质基础

上述分析表明长兴组储层主要发育在高能相带的礁、滩内。研究表明,长兴早期为碳酸盐岩缓坡,晚期为镶边碳酸盐岩台地,滩具多期次发育特点而生物礁则仅发育于晚期(马永生等,2007,2006b;彭光明等,2014)(图2)。长兴组早期为碳酸盐缓坡沉积,地形总体较平缓,仅在地形稍高、水体能量较大的局部地方发育一些小规模的高能生屑滩,此为第一期滩,该期形成的滩相储层厚度小分布也有限;随着海平面的下降,滩体逐渐向梁平-开江陆棚推进,该期滩体沉积范围扩大,发育一些厚度较大的高能生屑滩,此为第二期滩,滩体具有从西向东、从南向北进积的特征;晚期海平面进一步下降,元坝地区逐渐演化为镶边碳酸盐台地沉积,沿着台地边缘带开始形成生物礁,同时,随着生屑加积及礁屑不断向礁后充填,在生物礁后发育礁后滩沉积,此为第三期滩,该期不仅形成了生物礁储层且滩相储层具厚度大、分布广的特点,是长兴组储层形成的主要时期。

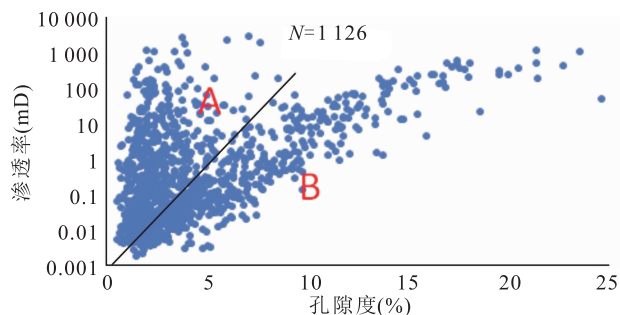


图9 元坝气田长兴组气藏储层孔-渗相关关系图

Fig. 9 Relationship between porosity and permeability of Changxing Formation in Yuanba gas field

长兴组末期由于水体变得局限,主要发育潮坪及潟湖相。

浅滩储层一般形成于浪基面附近,水动力条件强,形成分选、磨圆好和贫灰泥的沉积体,常形成亮晶生屑白云岩、及生物骨架灰岩、生物骨架灰质白云岩,其粒间孔隙发育;同时其沉积表面水体相对较浅,在频繁海平面升降的影响下,顶部常暴露于水体之上,短间接受大气淡水的选择性溶蚀作用和蒸发浓缩白云石化作用的改造,形成较多的溶蚀孔、晶间溶孔,为埋藏期成岩过程中白云石化及溶蚀作用奠定了基础。而生物礁礁盖往往形成于晚期的潮坪环境,有利于白云岩储层的形成。

4.2 白云石化是区内长兴组储层形成的关键作用

大量的前人研究资料表明,川东北地区长兴组的储层发育与白云岩化作用密切相关(孟万斌等, 2014;田永净等, 2014;郑荣才等, 2007)。通过对 YB2 井长兴组取心井段白云石含量与岩石孔隙度的关系分析,储层物性的好坏与白云石化程度密切相关,当白云石含量小于 80%时,样品的孔隙度都

在 4%以下,孔隙度大于 5%的优质储层白云石含量大都在 90%以上。如笔者统计海绵礁白云岩的平均孔隙度为 5.0%,而海绵礁灰岩仅为 2.97%。研究表明长兴组白云石(岩)作用的主要有 3 种模式:即礁滩顶部及礁盖潮坪沉积物的蒸发浓缩白云石(岩)化作用、礁核回流渗透白云石化作用和埋藏成岩环境的压实排挤流白云石化作用(图 10)。即在三级层序高水位体系域中晚期背景下,高频层序(旋回)的海平面下降期,礁滩顶或潮坪沉积物顶部形成蒸发泵,海水被侧向抽吸至上述部位,发生蒸发浓缩作用,使孔隙流体 Mg/Ca 值提高,从而导致礁滩顶部和潮坪沉积物白云石化。同时,在内部蒸发浓缩的高镁盐水受自身重力作用向下回流渗透导致下部沉积物(礁核)完全或部分白云石化。埋藏成岩环境的压实排挤流白云石化作用为成岩压实过程中,这种白云岩化作用主要生成成岩晚期。沉积物中富镁流体向周边或上覆沉积物运移,从而引起碳酸钙沉积物发生白云石化(图 10)。其中包括白云石的交代和白云石的重结晶作用,形成晶粒较粗的白云岩,此类白云岩往往具雾心亮边结构。

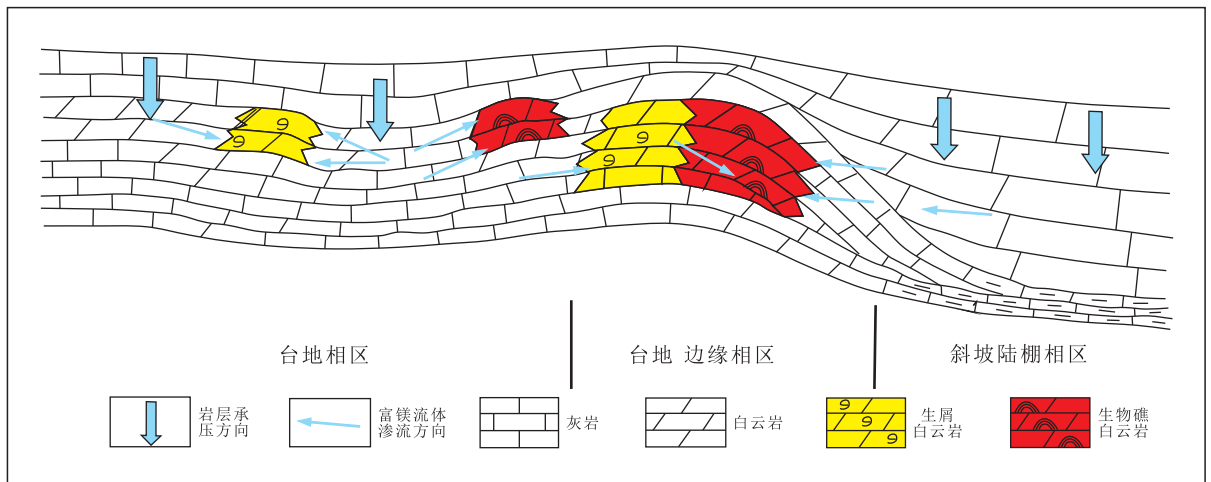


图 10 长兴组埋藏白云石化作用模式图(据孟万斌等,2014 修改)

Fig. 10 Burying dolomitization models of the Changxing Formation (Modified from MENG Wanbing, et al. 2014)

4.3 多期溶蚀作用,特别是晚成岩期溶蚀作用是长兴组天然气储层形成的关键

长兴组存在 3 期溶蚀作用,前面 2 期溶蚀作用发生于液态石油充注之前,它们与埋藏白云石化作用形成的白云石晶间孔隙是液态石油成藏的重要储

集空间,但这些储集空间现在多被液态石油热裂解产生的沥青占据;虽然残存的空间在晚期溶蚀作用的通道作用对于晚期溶蚀孔洞的发育具有重要意义,但现天然气储集的主要空间由晚期溶蚀作用而来,晚成岩期溶蚀作用是长兴组天然气储层形成

的关键,有效沟通下酸性流体沿裂缝及前期残余孔隙对岩石的进一步溶蚀作用,局部形成溶蚀扩大孔隙洞并被气烃充注,该期孔隙多无充填或见少量残留沥青。

5 结论

元坝气田长兴组主要储集岩类型为晶粒白云岩、残余生屑晶粒白云岩、生物礁白云岩。主要储集空间类型为晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔及裂缝等4种,次要储集空间类型为粒内溶孔和粒间溶孔;喉道类型主要为片状、孔隙缩小型、缩颈型喉道。长兴组储集层主要发育于礁盖及浅滩相带中,沉积、溶蚀及白云岩化作用是储层发育的主要控制因素。其白云石(岩)作用的主要有3种模式:即礁滩顶部及礁盖潮坪沉积物的蒸发浓缩白云石(岩)化作用、礁核回流渗透白云石化作用和埋藏成岩环境的压实排挤流白云石化作用。

参考文献(References):

马永生,郭旭升,郭彤楼,等.四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J].地质论评,2005a,51(4):477-480.

MA Yongsheng, GUO Xusheng GUO Tonglou. Characteristic and Framework of the Changxingian Sedimentation in the Northeastern Sichuan Basin[J]. Geological Review, 2005a,51(4):477-480.

祝海华,钟大康.四川盆地龙岗气田三叠系飞仙关组储集层特征及成因机理[J].古地理学报,2013,15(2):276-282.

ZHU Haihua, ZHONG Dakang. Characteristics and formation mechanism of the Triassic Feixianguan Formation reservoir in Longgang Gas Field, Sichuan Basin[J]. Journal of Palaeography, 2013, 15(2):276-282.

马永生,牟传龙,谭钦银,等.关于开江-梁平海槽的认识[J].石油与天然气地质,2006a,7(3):326-331.

MA Yongsheng, MOU Chuanlong, TAN Qinyin, et al. A discussion on Kaijiang-Liangping oceanic trough[J]. Oil & Gas Geology, 2006a, 7(3):326-331.

王一刚,文应初,洪海涛,等.四川盆地开江-梁平海槽内发现大隆组[J].天然气工业,2006a,26(9):32-36.

WANG Yigang, WEN Yingchu, HONG Haitao, et al. Da-long formation found in Kaijiang-liangping oceanic trough in the Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2006a, 26(9):32-36.

王一刚,文应初,洪海涛,等.四川盆地及邻区上二叠统-下三叠统海槽的深水沉积特征[J].石油与天然气地质,2006b,27(5):702-714.

WANG Yigang, WEN Yingchun, HONG Haitao, et al. Petroleum geological characteristics of deep water deposits in Upper Permian-Lower Triassic trough in Sichuan basin and adjacent areas[J]. Oil & Gas Geology, 2006b, 27(5):702-714.

郭彤楼.元坝气田长兴组储层特征与形成主控因素研究[J].岩石学报,2011,27(8):2381-2391.

GUO Tonglou. Reservoir characteristics and its controlling factors of the Changxing Formation reservoir in the Yuanba gas field, Sichuan basin, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(8):2381-2391(in Chinese with English abstract)

马永生,牟传龙,谭钦银,等.达县-宣汉地区长兴组-飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约[J].地学前缘,2007,14(1):182-192.

MA Yongsheng, MOU Chuanlong, TAN Qinyin. Reef-bank features of Permian Changxing Formation and Triassic Feixianguan Formation in the Daxian-Xuanhan Area, Sichuan Province, South China and constraint for the reservoirs of natural gas[J]. Earth Science Frontiers, 2007,14(1):182-192.

马永生,牟传龙,郭旭升,等.四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局[J].地质论评,2006b,52(1):25-29.

MA Yongsheng, MU Chuanlong, GUO Xusheng, et al. Characteristic and Framework of the Changxingian Sedimentation in the Northeastern Sichuan Basin [J]. Geological Review, 2006b, 52(1):25-29.

王一刚,文应初,洪海涛,等.四川盆地北部晚二叠世-早三叠世碳酸盐岩斜坡相带沉积特征[J].古地理学报,2009,11(2):143-156.

WANG Yigang, WEN Yingchu, HONG Haitao, et al. Carbonate slope facies sedimentary characteristics of the Late Permian to Early Triassic in northern Sichuan Basin [J]. Journal of Palaeography, 2009, 11(2):143-156.

- 郭川, 李国蓉, 杨莹莹, 等. 川东南地区长兴组层序地层与沉积相特征[J]. 断块油气田, 2011, 18(6):722-725.
- GUO Chuan, LI Guorong, YANG Yingying, et al. Sequence stratigraphy and sedimentary facies characteristics of Changxing Formation in southeastern Sichuan Basin[J]. Fault-block Oil & Gas Field, 2011, 18(6):722-725.
- 吴亚军, 段永明, 柯光明, 等. 元坝气田长兴组气藏滚动区 17 亿方开发方案气藏描述[R]. 成都: 西南油气分公司勘探开发研究院, 2013.
- 李国蓉, 徐国强, 陈辉, 等. 元坝长兴组生物礁储层发育模式及地球物理特征研究[R]. 成都: 西南油气分公司, 2015.
- 陈勇. 川东北元坝地区长兴组生物礁储层预测研究[J]. 石油物探, 2011, 50(2):173-180.
- CHEN Yong. Prediction on reef reservoir in Changxing Group of Yuanba area, Northeast Sichuan Basin[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2011, 50(2): 173-180.
- 王瑞华, 牟传龙, 谭钦银, 等. 达县-宣汉地区长兴组礁滩白云岩成岩过程中的孔隙演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(2): 9-13.
- WANG Ruihua, MOU Chuanlong, TAN Qinyin, et al. Porosity evolution during the diagenesis of the reef shoal dolostones from the Changxing Formation in the Daxian-Xuanhan region, Sichuan[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(2): 9-13.
- 彭光明, 刘言, 李国蓉, 等. 元坝气田长兴组气藏生物礁相储集层发育特征[J]. 新疆石油地质, 2014, 35(5): 511-516.
- PENG Guangming, LIU Yan, LI Guorong, et al. Development Characteristics of Reef Reservoir in Changxing Gas Pool, Yuanba Gas Field, Northeastern Sichuan Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2014, 35(5):511-516.
- 黄勇, 张汉荣, 范小军. 元坝地区长兴组生物孔隙特征及控制因素[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2013, 35(1): 79-85.
- HUANG Yong, ZHANG Hanrong, FAN Xiaojun. The Controlling Factors and Characteristics for Biological Pores of Changxing Formation in Yuanba Area, Sichuan Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2013, 35(1):79-85.
- 孟万斌, 武恒志, 李国蓉, 等. 川北元坝地区长兴组白云石化作用机制及其对储层形成的影响[J]. 岩石学报, 2014, 30(3):699-708.
- MENG WanBin, WU HengZhi, LI Guorong, et al. Dolomitization mechanisms and influence on reservoir development in the Upper Permian Changxing Formation in Yuanba area, northern Sichuan Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(3): 699-708.
- 田永净, 马永生, 刘波, 等. 川东北元坝气田长兴组白云岩成因研究[J]. 岩石学报, 2014, 30(9):2766-2776.
- TIAN Yongjing, MA Yongsheng, LIU Bo, et al. Dolomitization of the Upper Permian Changxing Formation in Yuanba gas field, NE Sichuan Basin, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 30(9): 2766-2776.
- 郑荣才, 胡忠贵, 冯青平, 等. 川东北地区长兴组白云岩储层的成因研究[J]. 矿物岩石, 2007, 27(4): 78-84.
- ZHENG Rongcai, HU Zhonggui, FENG Qingping, et al. Genesis of Dolomite Reservoir of the Changxing Formation of Upper Permian, Northeast Sichuan Basin[J]. Mineral Petrol, 2007, 27(4): 78-84.