

邻水 - 大竹地区长兴组生物礁储层特征及发育模式

黎 李^{1*}, 李祖兵^{2#}, 刘 菲¹, 易娟子¹, 姚永君¹, 陈守春¹, 高红灿², 赵东升², 周小兆²

¹西南油气田分公司重庆气矿, 重庆

²复杂油气田勘探开发重庆市重点实验室, 重庆

收稿日期: 2026年3月20日; 录用日期: 2026年8月17日; 发布日期: 2026年8月25日

摘 要

为了进一步弄清邻水 - 大竹地区长兴组生物礁储层的非均质性, 基于岩心、岩石薄片、物性测试及地震资料, 开展了长兴组生物礁储层特征及发育模式研究。结果表明: 长兴组生物礁的空间展布受沉积古地貌控制较为明显, 发育有台地斜坡生物礁、台地边缘生物礁和台内洼陷生物礁3种类型, 在长兴组二段及长兴组三段的生物礁相对更加发育。生物礁灰岩在后续的构造成岩过程中形成了颗粒白云岩、晶粒白云岩、颗粒灰岩、晶粒灰岩等岩性。其中, 白云岩、颗粒灰岩及生物礁灰岩是主要的储集岩类。发育的储集空间有孔隙、溶洞及裂缝等类型, 但裂缝 - 孔隙型为主要的储集类型。储层物性较差, 总体表现为低孔低渗和低孔超低渗储层。生物礁储层的发育程度受沉积作用、成岩作用及构造作用的共同控制。长兴组一段沉积时期主要发生同生 - 准同生白云化作用和多种溶蚀作用, 长兴组二段沉积期除发生少许断裂作用外, 主要发生了各种溶蚀作用和埋藏白云化作用。在长兴组中后期, 各种构造作用及峨眉山省火山作用形成的各种断裂及热液活动促进了各类溶蚀作用的发生及热液白云岩的形成。

关键词

邻水 - 大竹地区, 长兴组, 生物礁储层, 发育模式

Characteristics and Development Model of Changxing Formation Bioreef Reservoir in Linshui-Dazhu Area

Li Li^{1*}, Zubing Li^{2#}, Fei Liu¹, Juanzi Yi¹, Yongjun Yao¹, Shouchun Chen¹, Hongcan Gao², Dongsheng Zhao², Xiaozhao Zhou²

¹Chongqing Gas Mine of Southwest Oil and Gas Field Company, Chongqing

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 黎李, 李祖兵, 刘菲, 易娟子, 姚永君, 陈守春, 高红灿, 赵东升, 周小兆. 邻水-大竹地区长兴组生物礁储层特征及发育模式[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(8): 1282-1292. DOI: 10.12677/ag.2026.168114

²Chongqing Key Laboratory of Complex Oil and Gas Field Exploration and Development, Chongqing

Received: March 20, 2026; accepted: August 17, 2026; published: August 25, 2026

Abstract

In order to further clarify the heterogeneity of the Changxing Formation reef reservoir in the Linshui Dazhu area, a study was conducted on the characteristics and development patterns of the Changxing Formation reef reservoir based on core samples, rock thin sections, physical property testing, and seismic data. The results indicate that the spatial distribution of biological reefs in the Changxing Formation is significantly controlled by ancient landforms and stratigraphy. There are three types of biological reefs developed: platform slope biological reefs, platform edge biological reefs, and platform depression biological reefs. The biological reefs in the second and third members of the Changxing Formation are relatively more developed. During the subsequent tectonic process, biogenic reef limestone forms various lithologies such as granular dolomite, grain dolomite, granular limestone, and grain limestone. Among them, dolomite, granular limestone, and biogenic reef limestone are the main reservoir rock types. The developed reservoir space includes types such as pores, caves, and fractures, but the reservoir type is mainly fracture pore type. The reservoir has poor physical properties and is generally characterized by low porosity, low permeability, and low porosity, ultra-low permeability reservoirs. The development degree of reef reservoirs is jointly controlled by sedimentation, diagenesis, and tectonic processes. The first sedimentary period of the Changxing Formation mainly experienced syngenetic quasi syngenetic dolomitization and various dissolution processes, while the second sedimentary period of the Changxing Formation mainly experienced various dissolution and burial dolomitization processes, except for a small amount of faulting. In the middle and late stages of the Changxing Formation, various tectonic processes and volcanic activity in Emeishan Province during the late Changxing Formation promoted the occurrence of various dissolution processes and the formation of hydrothermal dolomite.

Keywords

Linshui-Dazhu Area, Changxing Formation, Biogenic Reef Reservoirs, Developmental Pattern

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

四川盆地长兴组生物礁中蕴藏着大量的油气资源，目前已在川中地区、川西北地区、川东北地区生物礁中均发现了储量可观的工业气藏。近年来，相继在开江 - 梁平海槽两侧的台缘带中发现了大猫坪、龙岗、元坝、铁山坡及普光等大中型生物礁气田[1]-[5]。截至目前，在武胜 - 石柱洼陷的北部区域发现的板东和卧龙河气藏，分别提交了 $6.87 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $5.98 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的地质探明储量。受沉积环境、成岩作用、及成藏作用等因素的影响，气藏内部储层发育程度差异较大，礁体间的储层被隔夹层隔开，总体呈现出“一礁一藏”的地质特点。

前人对开江 - 梁平海槽和武胜 - 石柱凹陷周缘的生物礁成因、生物礁储层特征及发育控制因素进行了研究，并取得了较为丰硕的研究成果。唐雨等人(2021)在研究开江 - 梁平海槽西侧长兴组储层特征时认

为长兴组台缘带礁滩体储层发育主要受沉积相带、成岩过程中的准同生期大气淡水溶蚀作用、回流渗透作用、白云化作用及早成岩近地表岩溶和埋藏溶蚀等多成岩作用的控制[1]。王蓓等人(2021)利用岩心资料、测井资料及地震资料对川东北地区龙会场地区的长兴组生物礁储层特征及发育控制因素进行了研究,认为沉积相带、成岩作用、构造作用及裂缝控制是生物礁储层发育的主要控制作用[2]。调研发现,目前很少有学者对邻水-大竹地区台地内部生物礁储层分布特征及其发育模式进行深入研究。

笔者在总结前人对开江-梁平海槽和武胜-石柱洼陷周缘生物礁展布规律、储层特征研究成果的基础上,基于现有的钻井资料、岩心资料、测井资料及试油试采资料,结合岩石薄片及扫描电镜鉴定成果,对生物礁储层的岩性、储集空间、储层微观结构进行了分析,剖析了生物礁储层特征及发育模式,旨在为研究区长兴组下一步的勘探目标区优选提供理论支撑。

2. 区域地质特征

在石炭纪-早二叠世,整个四川盆地的构造运动不很明显,在盆地北部及东北部区域为潮汐和浅水陆棚沉积区域,而在盆地中南部有构造抬升运动,地层遭受剥蚀。在下二叠统的梁上组-栖霞组时期,盆地整体表现为克拉通内坳陷与边缘裂陷盆地性质[1]-[8]。下二叠统茅口组沉积末期的峨眉山火成岩省控制着盆地的沉积与构造,盆地南部有轻微的抬升剥蚀。晚二叠世的龙潭组沉积期,继承了南高北低的古地貌特征,盆地的南部沉积了海陆过渡的煤系地层,北部沉积了浅海碳酸盐岩台地地层,此时形成了开江-梁平海槽的雏形[7]-[12]。晚二叠世长兴组沉积期,盆地受康滇古陆的影响,从南向北由陆相、海陆过渡向逐渐演化成浅水碳酸盐岩台地,盆地中北部发育武胜-石柱洼陷的浅水沉积和开江-梁平海槽的深水-半深水沉积(图 1)。长兴组沉积期,盆地大部分区域的生物极其繁盛,富含有蜓科、有孔虫、海绵、珊瑚、藻类等多种门类的生物,以发育生物礁灰岩和生屑灰岩为主要的沉积特征。

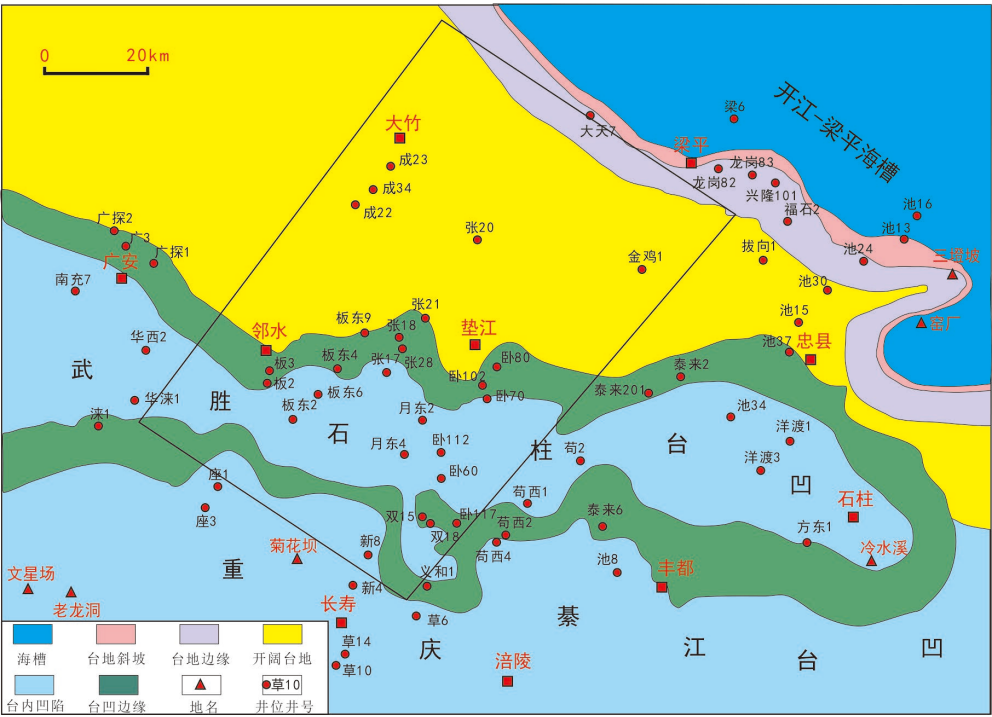


Figure 1. Comprehensive stratigraphic features of the middle and late stages of the Changxing formation in the research area
图 1. 研究区长兴组中晚期沉积特征图

钻井资料显示, 长兴组地层从下往上可划分为长兴组一段、长兴组二段和长兴组三段, 发育有开阔台地、局限海、颗粒滩、生物礁及滩间海等沉积微相。

3. 生物礁分布特征

3.1. 生物礁类型

根据钻井资料所揭示的生物礁展布特征, 并结合地震剖面资料分析可知, 研究区长兴组生物礁主要有台地斜坡生物礁、台地边缘生物礁和台地内部洼陷生物礁 3 种类型。生物礁在地震剖面上常常表现为地层上隆, 其内部地震反射杂乱。

3.1.1. 台地斜坡生物礁

台地斜坡生物礁主要是指发育于研究区北部开江 - 梁平海槽南边斜坡区域的生物礁。台地斜坡生物礁有时和台地边缘生物礁连成一块, 在地震剖面上明显可见生物礁的连片特征(图 2)。由于斜坡带上的生物礁发育程度受海平面变化的影响较大, 致使台地斜坡生物礁多呈点状或排状展布。

3.1.2. 台地边缘生物礁

此类生物礁主要发育于研究区的北部, 紧邻开江 - 梁平海槽南部的台地边缘微相中, 在地震剖面上显示生物礁发育于台地区域(图 2)。录井资料显示此类生物礁的厚度一般 40~80 m, 多数井的厚度为 50 m 左右, 近于沿海槽方向展布。在长兴组一段沉积期间, 研究区处于水进期, 水体较深, 生物礁不发育, 仅在部分井区呈点礁或塔礁形式分布。长二段沉积期为水退期, 水体变浅, 各种生屑滩和生物礁相对发育, 其空间分布范围较大。

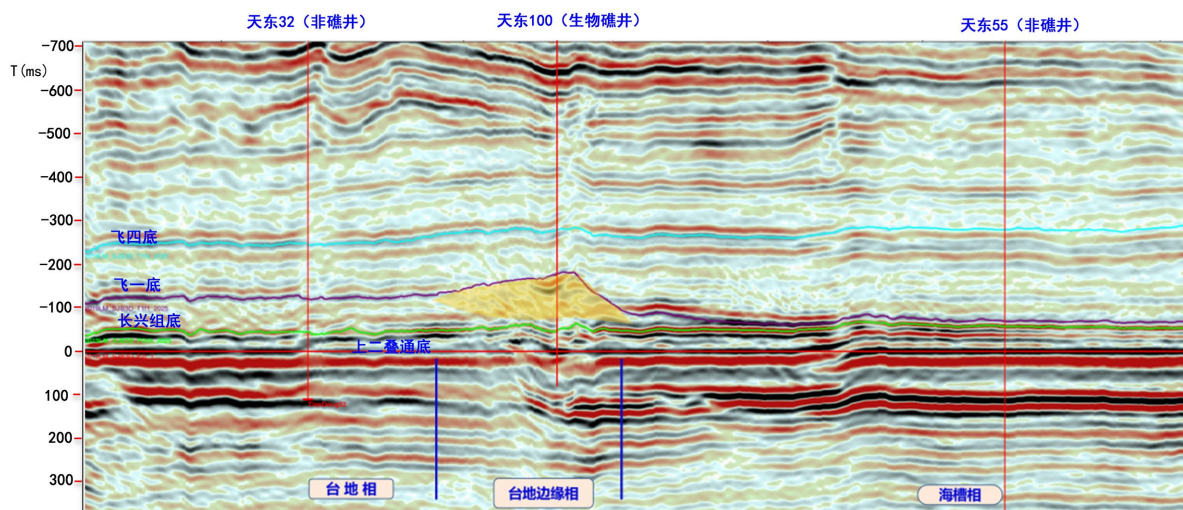


Figure 2. Pre stack time offset profile of connected wells from Tian Dong 32 to Tian Dong 55

图 2. 过天东 32~天东 55 井的连井叠前时间偏移剖面

3.1.3. 台内洼陷生物礁

此类生物礁主要发育于研究区南部的武胜 - 石柱洼陷周缘、及武胜 - 石柱洼陷与开江 - 梁平海槽之间的台内洼陷区域, 水体能力较低, 温度及其它理化条件合适, 适宜于生物礁的生长(图 3)。

3.2. 生物礁的空间展布

在长兴组沉积期, 研究区总体呈现“北高南低、西高东低”的古构造地貌, 生物礁的分布受沉积古

地貌的控制较为明显,致使研究区北边和西边的生物礁发育时间较早,发育规模较大。随着长二段开始水退,生物礁发育范围及发育厚度逐渐扩大,直至长兴组三段时期达到鼎盛时期,但生物礁的发育也止于长兴组三段。

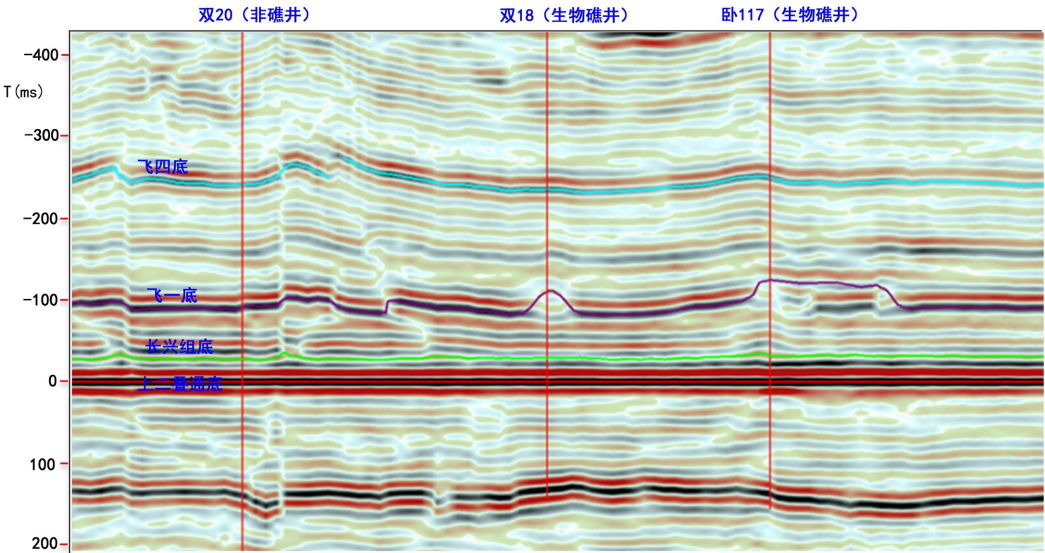


Figure 3. Pre stack time offset profile of the connected wells from Shuang 20 to Shuang 18 to Wo 117
图 3. 过双 20-双 18-卧 117 井的连井叠前时间偏移剖面

从图 4 中可以看出,由于长兴组一段处于水进时期,生物礁不发育,仅在古地貌高处的七里 43 井区相对发育。在长兴组二段沉积期,生物礁分布范围要比长一段广,在张 18 井区、张 20 井区及七里 43 井区均有发育。进入长兴组三段时期,在张 18 井、张 20 井及七里 43 井区发育的生物礁规模均比长二段大。该剖面显示张 12 井区和七里 7 井在长兴组生物礁不发育。

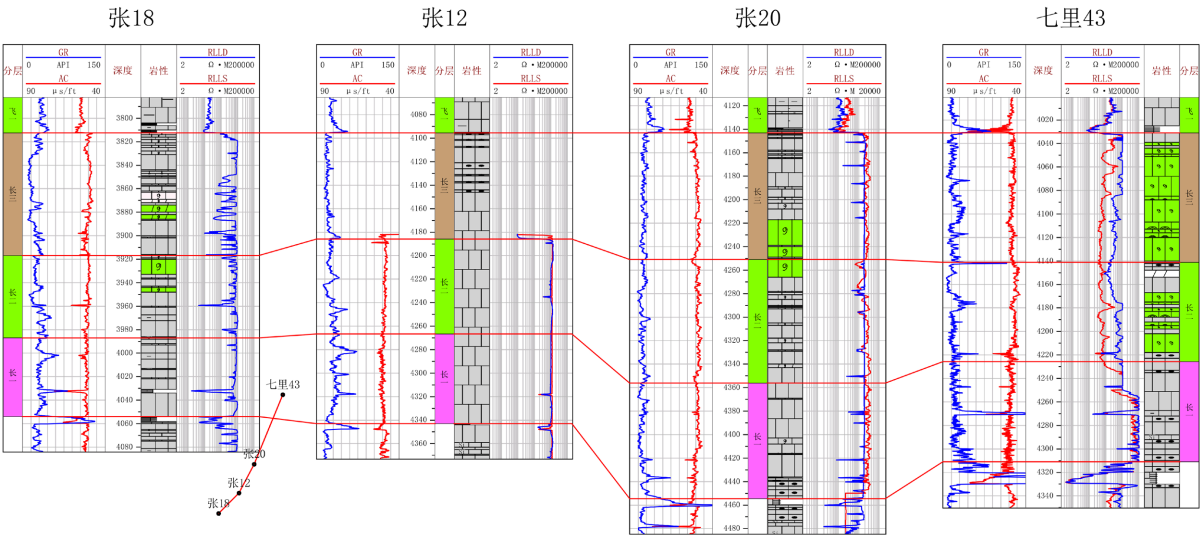


Figure 4. Zhang 18-Zhang 20-Qili7-Qili43 Well Changxing formation biological distribution profile
图 4. 张 18-张 12-张 20-七里 7-七里 43 井长兴组生物分布剖面图

4. 生物礁储层基本特征

4.1. 岩石学特征

岩石薄片鉴定资料显示，长兴组地层中的生物可分为 3 类，分别是造礁生物、障积 - 粘结生物和附礁生物(图 5)。造礁生物主要有海绵(常见纤维海绵和串管海绵)、水螅及部分层孔虫(图 5(a)~(f))，多呈枝状展布。障积 - 粘结生物主要有粗枝的层孔虫、珊瑚、海绵等。由于障积 - 粘结生物的原地遮挡，使得水流减慢，灰泥沉淀下来形成了相应的生物礁灰岩。附礁生物种类较多，常见的有棘皮、腹足、藻类等(图 5(g))。尽管附礁生物对生物礁的发展没有贡献，但其遗骸是各类生屑灰岩及生物礁成长的重要沉积物来源。

生物礁灰岩在后期的构造成岩中，逐渐发生不同程度的白云化作用、溶蚀作用及构造成岩作用，形成了各类白云岩储层和灰岩储层(图 5(h)和图 5(i))。研究区长兴组储层主要发育于晶粒白云岩、(残余)颗粒白云岩、晶粒灰岩、颗粒灰岩及生物礁灰岩中(图 6)。其中，白云岩、颗粒灰岩及生物礁灰岩是主要的储集岩类。

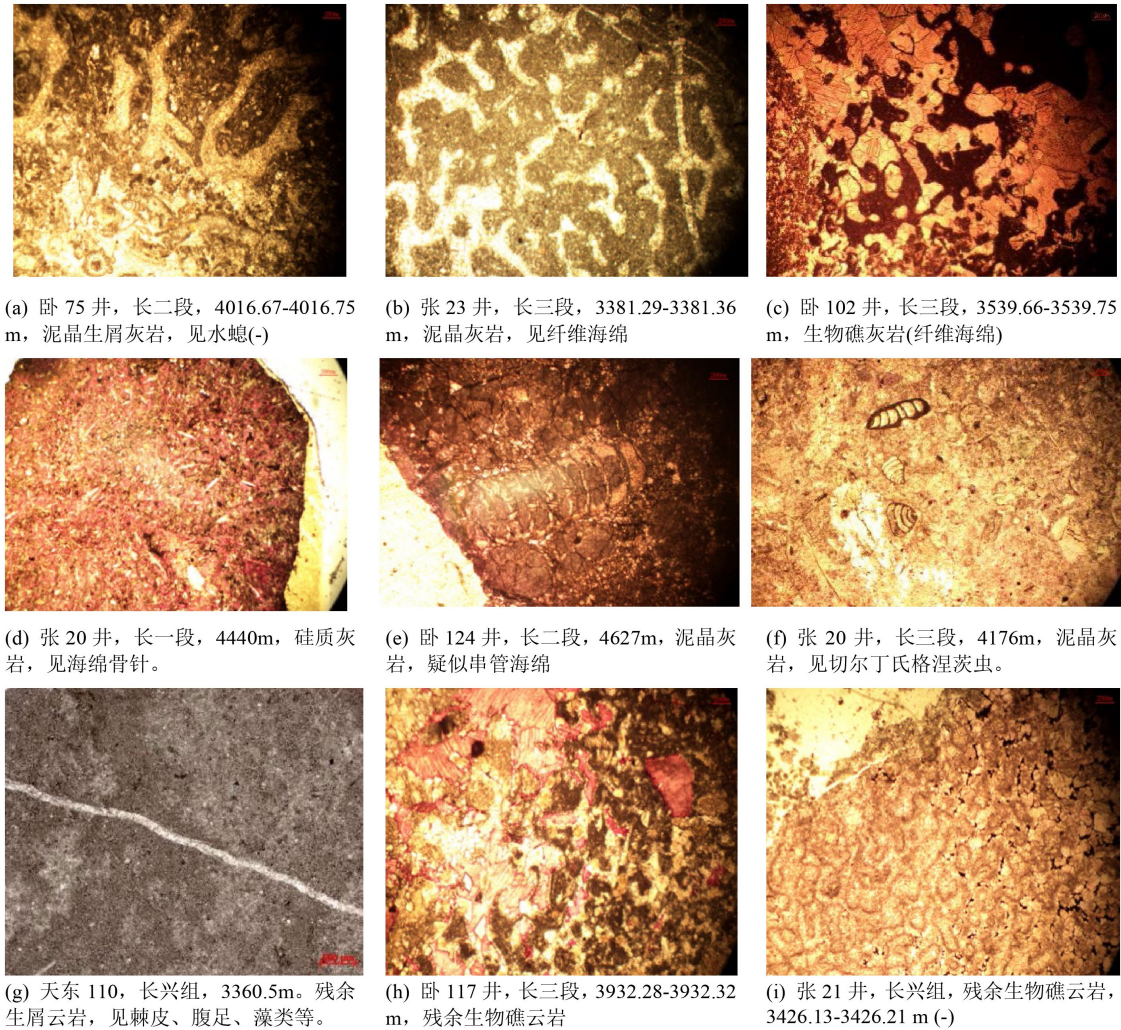


Figure 5. Microscopic photo of reef rocks
图 5. 生物礁岩石的镜下照片

4.2. 储集空间特征及储集类型

按照储集空间特征及成因类型, 可将研究区长兴组储层的储集空间分为孔隙(溶蚀孔、晶间孔、晶间溶孔)、裂缝和溶洞 3 类。

4.2.1. 孔隙

镜下见到的孔隙主要有晶间溶孔和粒间溶孔, 其次为晶间孔, 偶见粒间孔和生物格架孔。晶间溶孔主要发育于晶粒白云岩和礁灰岩中, 常见孔隙及其充填物发生过选择性的溶蚀作用, 其边缘多呈港湾状或不规则状展布(图 6(a)~(c))。在部分岩样中可见粒间溶孔(图 6(e)), 其孔径一般介于 40~350 μm , 少数孔径大于 400 μm 。

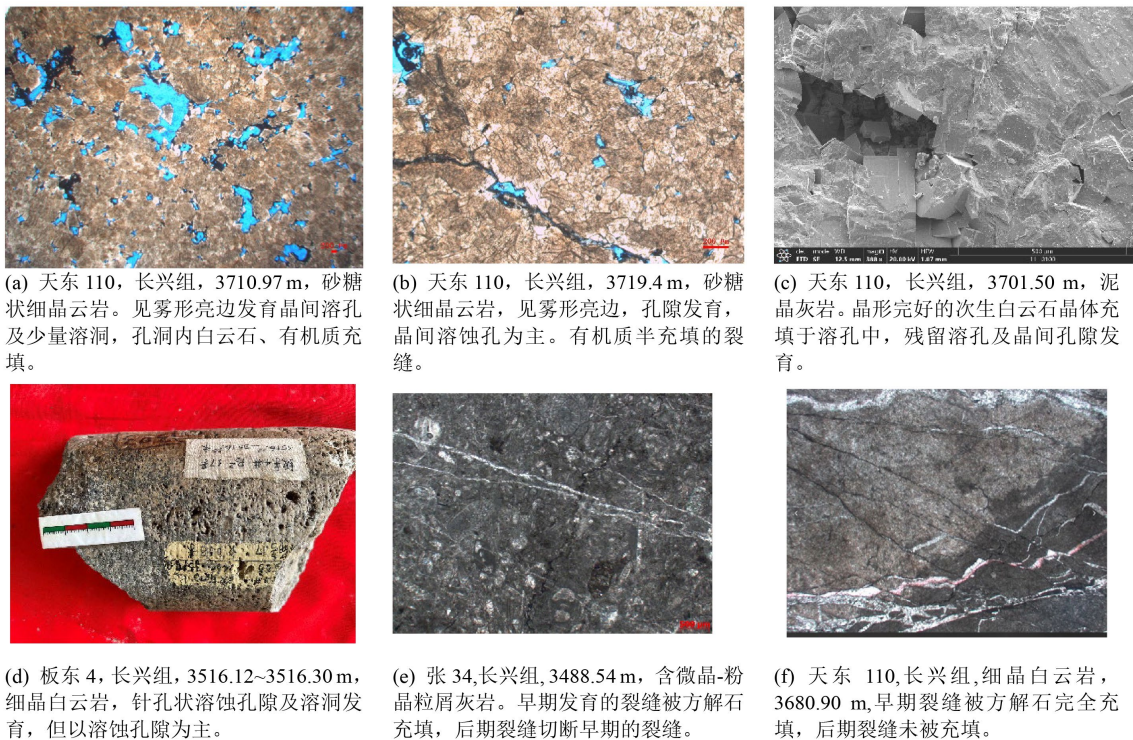


Figure 6. Core and microscopic characteristics of reservoir space in Changxing formation

图 6. 长兴组储层储集空间的岩心及镜下特征

4.2.2. 溶洞

溶洞一般是溶孔进一步扩大而形成的。在部分岩心上可见溶洞, 主要发育于粉-细晶白云岩、细晶白云岩及生屑灰岩中, 在部分白云质灰岩中也有分布。这类储集空间的基质孔隙较为发育, 连通性较好(图 6(d))。

溶洞的存在常常会在钻进过程中出现钻具落空及泥浆漏失等现象[8]-[12]。一般认为, 钻具落空或泥浆漏失速度在 20 m^3/h 及以上, 钻遇层有大型的溶洞分布; 若泥浆漏失速度在 10 m^3/h ~20 m^3/h 之间, 钻遇层有裂缝或小型溶洞的存在; 若泥浆漏失速度在 10 m^3/h 以内, 钻遇层为高渗透带。研究区有 99 口井在钻进长兴组地层中出现了井漏、气测异常、井涌后井喷等钻井显示共有 147 井段, 其中可判断为溶洞型井漏显示的仅为 27 段, 占比为 18.36%。由此看出, 长兴组溶洞型储层的占比不大, 不是主要的储集类型。

4.2.3. 裂缝

长兴组的裂缝成因复杂,组合型式多样。有的为区域性剪裂缝,缝壁较平整;有的为成岩缝,缝壁不平整,宽窄不一,延伸不远(图 6(b)、图 6(e)和图 6(f));有的呈雁行式展布,有的呈“X”型展布(图 6(e)和图 6(f))。早期形成的裂缝被方解石几乎完全充填,这类裂缝对储层发育的贡献不大。后期形成的裂缝多被限制或交切先期形成的裂缝(图 6(e)),少见后期的裂缝被完全充填,这类裂缝的形成与分布对储层发育有利。

从研究区 38 口取心井共计 120 段的岩心描述与统计可知,仅在 10 口井 44 段岩心上可见裂缝,间接反映出长兴组裂缝在空间上的分布比较局限。超过 80%的裂缝被完全充填成无效裂缝,有效裂缝分布的取心段不足 3%(图 7)。有效裂缝以小(微)裂缝为主,中裂缝和大裂缝的占比很小(图 8)。由此可见,长兴组单独的裂缝不是主要的储集空间类型。

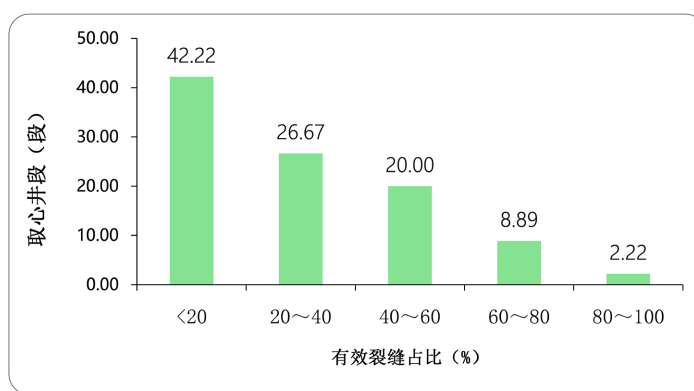


Figure 7. Histogram of effective crack distribution

图 7. 有效裂缝分布直方图

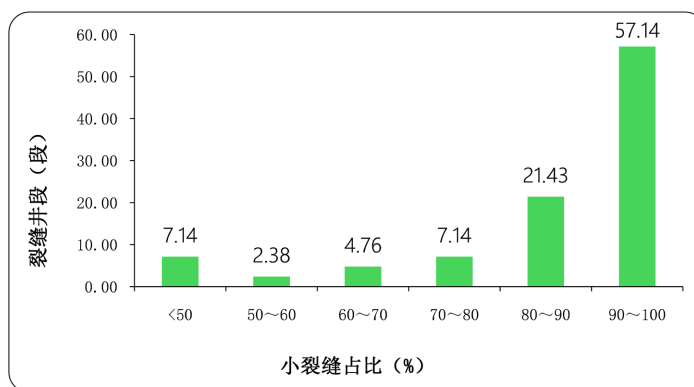


Figure 8. Histogram of the proportion of small cracks

图 8. 小裂缝占比直方图

从长兴组岩心段塞样所测试的孔隙度与渗透率交会图中可以看出(图 9),尽管长兴组存在部分低孔高渗的样品点,多数样品的渗透率随孔隙度增大而增大,但不是很好的线性关系,而是呈指数关系的相关性最好,表明研究区长兴组储层的储集空间并非全部是孔隙型储层,而是由孔隙、裂缝及溶洞组合的复合型储层。无论从岩心上还是物性测试结果看,长兴组的溶洞不是很发育,仅在部分井区有少量的分布,因此,研究区长兴组储集类型主要为裂缝-孔隙型储层。

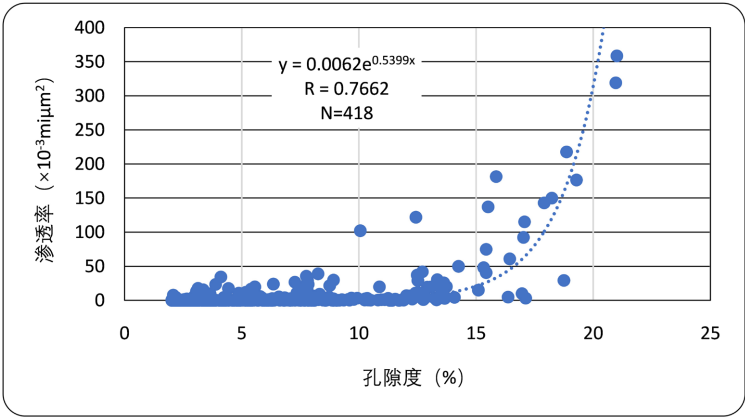


Figure 9. Correlation diagram between porosity and permeability in the physical property testing of Changxing formation
图 9. 长兴组测试的孔隙度与渗透率相关关系图

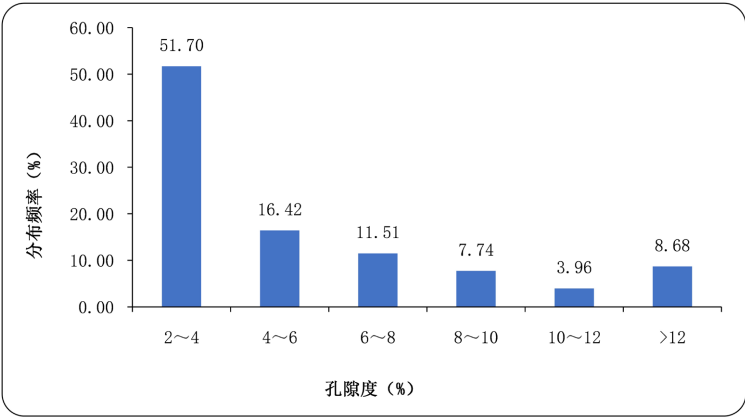


Figure 10. Histogram of porosity distribution in the Changxing Formation reservoir in the research area
图 10. 长兴组储层孔隙度分布直方图

4.3. 储层物性特征

根据对卧 84、卧 117、卧 102、天东 110 等 17 口取心井 530 个岩心段塞样的物性测试结果统计可知，储层孔隙度主要分布在 2%~4%之间，其占比为 51.70%。分布在 4%~6%之间的占比为 16.41%，分布在 6%~12%之间的占比为 23.21%，分布在大于 12%的占比仅为 8.68% (图 10)。从 17 口井 451 个渗透率测试结果统计可知，储层渗透率分布在 $(0.001 \sim 0.1) \times 10^{-3} \text{mD}$ 之间的占比接近 50%，分布在 $(0.1 \sim 1.0) \times 10^{-3} \text{mD}$ 的占比为 20.81%；渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \text{mD}$ 的岩样占比接近 30%。

由此可知，研究区长兴组生物礁储层主要为低孔低渗及低孔特低渗储层。

5. 储层发育模式

在石炭 - 二叠纪早期，研究区南部的武胜 - 石柱凹陷和北部的开江 - 梁平海槽初见雏形[13]-[16]。在长兴组早期阶段，研究区整体处于海进环境，仅在开江梁平海槽的台地边缘及台地内部个别古地貌高地处区域发育少量的生物礁，其余区域均处于局限海台地，发育泥质灰岩。在长兴组中晚期，研究区的水体逐渐退去，海水深度变浅的区域逐渐增多，使得单个生物礁发育的规模和生物礁发育的数量逐渐增多 (图 11)。

在长兴组早期沉积后,研究区便发生同生-准同生阶段的溶蚀作用和白云化作用,形成少量的溶蚀孔隙、晶间孔隙和白云岩。在长兴组二段沉积时期,地层的沉积厚度逐渐变大,埋藏深度逐渐增加,在此过程中发生溶蚀作用和埋藏白云化作用,溶蚀孔隙逐渐增多,白云岩的分布范围也增大。同时,在二叠系中晚期,受构造运动的影响,四川盆地发生岩浆喷发活动,为各种灰岩发生热液白云化作用提供了条件[15]-[18]。同时,构造作用形成的断裂为地下流体的流动提供了通道,为各类溶蚀作用的发生提供了场所,进而形成了各类溶蚀孔隙。

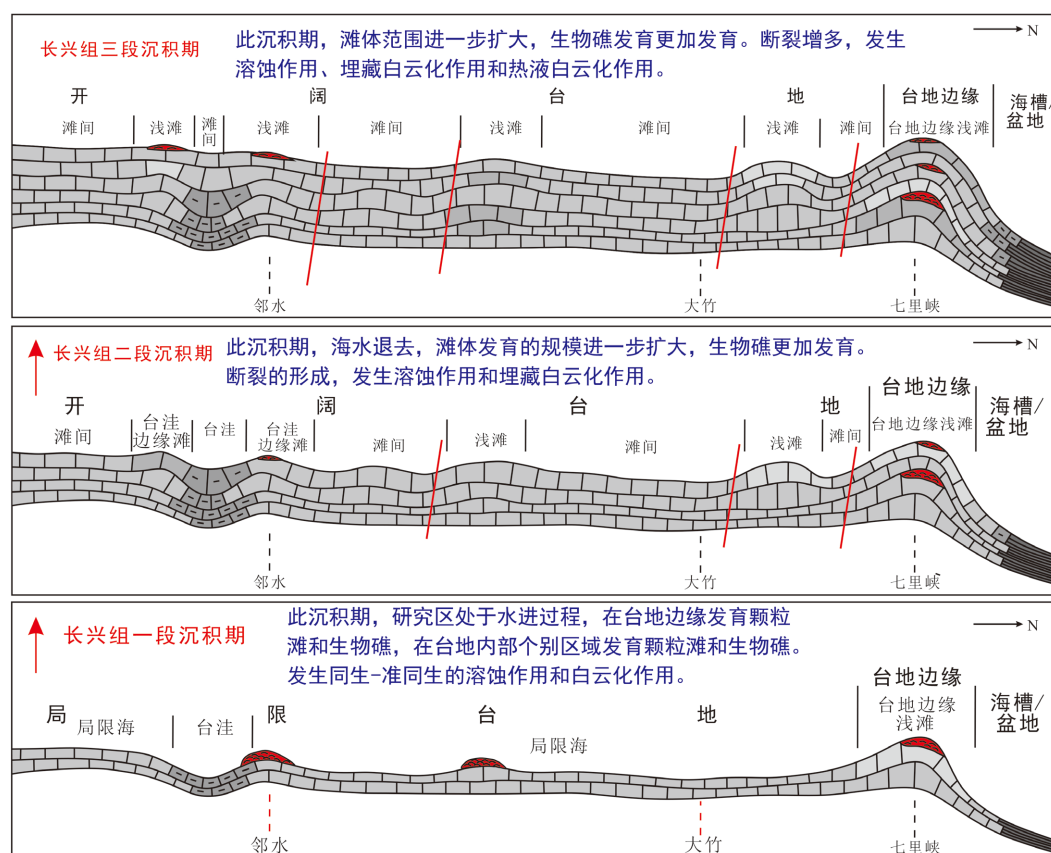


Figure 11. Development model of Changxing formation reservoir in Dazhu-Linshui area

图 11. 大竹-邻水地区长兴组储层发育模式图

6. 结论

(1) 研究区长兴组生物礁主要有台地斜坡生物礁、台地边缘生物礁及台内洼地生物礁 3 种类型。在地震剖面上表现为上凸的特征,内部反射杂乱,连续性较差。

(2) 造礁生物、障积-粘结生物和附礁生物在后续的构造成岩作用下逐渐发生白云化作用、溶蚀作用及构造成岩作用形成了包括晶粒白云岩、颗粒白云岩、颗粒灰岩、晶粒灰岩、生物礁灰岩等类型。储层主要发育于白云岩、颗粒灰岩和生物礁灰岩中。

(3) 储层的储集空间有孔隙、裂缝及溶洞等类型,裂缝和溶洞不是主要的储集空间类,但与裂缝组合成的裂缝-孔隙型储层是主要的储集类型。储层物性较差,整体表现为低孔低渗及低孔特低渗储层。

(4) 受沉积环境的影响和控制,长兴组一段沉积时的水体较深,生物礁不发育,仅在个别井区有分布,长兴组二段和长兴组三段沉积期,研究区水体逐渐退去,生物礁逐渐发育,在长兴组三段达到鼎盛时期。

生物礁在沉积和埋藏过程发生白云化作用、溶蚀作用以及构造作用形成了现今的储层展布特征。

基金项目

重庆市创新基金(编号: 2016D-5006-0104)和校企合作项目资助。

参考文献

- [1] 唐雨, 张云峰, 胡林辉, 等. 开江-梁平海槽西侧中东段长兴组台缘储层特征及差异性[J]. 沉积学报, 2021, 39(6): 1593-1608.
- [2] 王蓓, 任洪明, 朱占美, 等. 四川盆地东北部龙会场区块长兴组生物礁储层特征及主控因素[J]. 天然气勘探与开发, 2021, 44(3): 19-29.
- [3] 陈鑫, 陈雷, 刘菲, 等. 川东地区长兴组生物礁发育特征与迁移规律[J]. 断块油气田, 2022, 29(1): 26-32.
- [4] 何文渊, 云建兵, 钟建华. 川东北二叠系长兴组碳酸盐岩云化成储机制[J]. 岩性油气藏, 2022, 34(5): 1-25.
- [5] 陈旭, 胡明毅, 徐昌海, 等. 四川盆地开江-梁平海槽周缘晚二叠世长兴组台缘礁滩沉积结构及其差异性[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(4): 833-844.
- [6] 姚鑫阳, 胡忠贵, 武赛军, 等. 川东北地区开江-梁平海槽东侧长兴组沉积特征及有利区预测[J]. 沉积学报, 2024, 42(6): 2102-2116.
- [7] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 元坝气田长兴组-飞仙关组礁滩相储层特征和形成机理[J]. 石油学报, 2014, 35(6): 1001-1011.
- [8] 赵虎, 易俊成, 张航, 等. 川东北龙会场-铁山地区长兴组生物礁储层地震地质特征及气藏分布规律[J]. 天然气地球科学, 2024, 35(1): 1-12.
- [9] 付东阳, 汪功怀, 彭鑫岭, 等. 普光气田长兴组礁滩体精细刻画及认识[J]. 断块油气田, 2023, 30(6): 975-981.
- [10] 任杰, 田永敏, 王军, 等. 普光气田礁滩相储层特征及分类评价[J]. 断块油气田, 2020, 27(5): 579-584.
- [11] 魏国齐, 杨威, 刘满仓, 等. 四川盆地大气田分布主控因素与勘探方向[J]. 天然气工业, 2019, 39(6): 1-12.
- [12] 左洛滔, 胡忠贵, 李世临, 等. 开江-梁平海槽东侧长兴组沉积组合类型及分布规律[J]. 断块油气田, 2022, 29(1): 60-65.
- [13] 王兴志, 李博, 杨西燕, 等. 四川盆地北部中二叠世晚期“广元-旺苍”海槽特征及其油气地质意义[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(3): 562-574.
- [14] 沙宇涵, 张云峰, 罗冰, 等. 梁平地区二叠系长兴组台缘礁滩储层演化: 来自天东 110 井岩石学及地球化学证据[J]. 断块油气田, 2024, 31(5): 810-819.
- [15] 乔占峰, 邵冠铭, 罗宪婴, 等. 埋藏白云岩成因类型与规模储层发育规律: 基于元素面扫和激光 U-Pb 定年的认识[J]. 天然气工业, 2021, 41(9): 46-56.
- [16] 冉崎, 陶夏妍, 徐昌海, 等. 缓坡型小生物礁体的精细雕刻与“一井双礁”高产气井的突破: 以川东地区长兴组小生物礁群为例[J]. 天然气工业, 2021, 41(2): 10-18.
- [17] 李秋芬, 苗顺德, 李永新, 等. 四川盆地川中地区盐亭-潼南海槽台缘带二叠系长兴组储层特征及成因探讨[J]. 地球科学, 2018, 43(10): 3553-3567.
- [18] 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.