

文章编号: 1001-1749(2023)02-0210-11

# 四川盆地五百梯地区长兴组生物礁发育特征 及测井响应模式

裴文彬<sup>1</sup>, 张兵<sup>1</sup>, 林晓杨<sup>1</sup>, 华青<sup>2</sup>, 李虹<sup>2</sup>, 王昱珩<sup>2</sup>

(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. 中国石油西南油气田分公司 重庆气矿, 重庆 400021)

**摘要:** 为进一步厘定四川盆地五百梯地区长兴组生物礁发育的特征以及响应模式, 通过运用岩心、薄片和测井曲线等资料, 对川东五百梯长兴组生物礁发育模式进行了系统的探究和总结, 明确了研究区生物礁具有“纵向叠置, 横向迁移”的规律, 生物礁期次由西向东逐渐递减; 在此基础上建立了地质-测井一体化的生物礁响应模式。基于分析认为在川东五百梯生物礁亚相中, 礁基对应的测井相为漏斗型、礁核对应的测井相为箱型、礁盖对应的测井相为钟型, 其中“礁核+礁盖”对应的C型为储层最为发育的测井相响应模式。

**关键词:** 四川盆地; 长兴组; 生物礁; 礁基; 礁核; 礁盖; 测井相模式

**中图分类号:** P 631.4 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1749.2023.02.10

## 0 引言

川东北地区二叠系海相碳酸盐岩层系是四川盆地最重要的含气层系之一<sup>[1]</sup>。随着人们对盆地内油气资源更深入的勘探, 陆续在盆地内发现了多个油气藏气田, 其中包括了普光、龙岗、元坝和黄龙场等生物礁气田, 体现出川东北地区生物礁具有较好的勘探前景和潜力<sup>[2-3]</sup>。

前人川东五百梯地区长兴组的生物礁开展了各项研究, 诸如层序地层特征研究、储层特征分析、生物礁沉积特征研究、沉积体系分析等一系列问题。关于在生物礁空间展布特征的研究方面, 总结了研究区生物礁具有条带状的发育规律, 不过对于沉积演化中不同条带上的生物礁纵向上具体的发育特征比较模糊, 不同亚相组合的生物礁测井响应特征还需继续深入研究<sup>[1,4-9]</sup>。笔者在钻、测井资料基础

上, 结合测井与沉积相研究, 刻画了川东五百梯地区生物礁的纵、横向发育特征, 以及生物礁各亚相的响应特征, 建立了不同生物礁亚相组合的测井响应模式, 其结果可为生物礁的勘探起到一定的指导作用。

## 1 区域地质概况

研究区位于四川盆地东部开江古隆起的边缘, 位于开江县和开县境内(图1(a)), 属于川东大天池高陡构造带北倾末端的局部构造, 为短轴状背斜<sup>[10-12]</sup>。其东南侧和南门场构造相邻, 西侧和檀木场构造相望, 北侧为温泉井构造, 长约24 km, 宽约6.5 km<sup>[3]</sup>。依靠对研究区长兴组的取芯井的资料进行的分析, 结合研究区沉积环境, 可以明确研究区主要沉积相包括台缘斜坡、台地边缘生物礁、台地边缘生屑滩和开阔台地(图1(b))<sup>[13]</sup>。有利储层发育的相带主要为台地边缘生物礁和台地边缘生屑滩相

收稿日期: 2022-01-02

基金项目: 西南油气田分公司科研项目(XNS02JS2019-0164)

第一作者: 裴文彬(1993-), 男, 硕士, 研究方向为储层沉积学, E-mail: 1037608076@qq.com。

通信作者: 张兵(1981-), 男, 博士, 副教授, 主要从事储层沉积学的教学和研究工作, E-mail: zb4819890@qq.com。

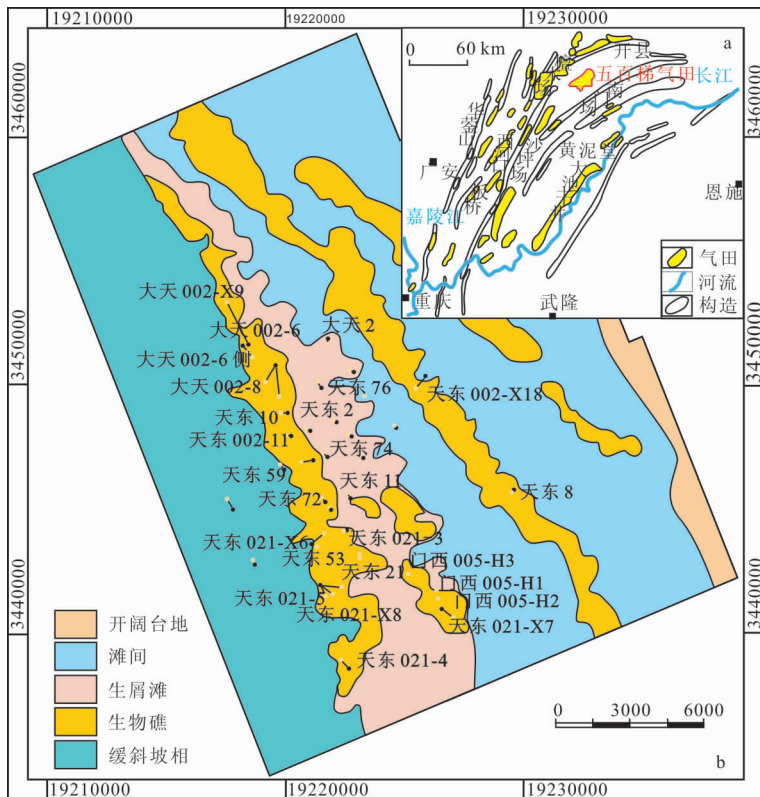


图 1 川东地区五百梯长兴组构造<sup>[11]</sup>及沉积相平面图<sup>[19]</sup>

Fig. 1 Structure and sedimentary facies plan of Wubaiti Changxing formation in eastern Sichuan

带,因此不能只对生物礁岩性和沉积特征进行阐述,还需从测井分析生物礁以及不同亚相组合的生物礁测井相模式与特征。

## 2 生物礁发育特征

### 2.1 生物礁纵向发育特征

五百梯长兴组生物礁可分成单期次生物礁与多期次生物礁两个类型:单期次生物礁纵向上仅生长一套生物礁,成礁旋回:礁基—礁核—礁盖亚相,发育在海侵体系域和早期高位体系域<sup>[14]</sup>;多期生物礁在纵向生长两套(或两套以上)生物礁。五百梯主体部位生物礁生长期次较多,由于生物礁的发育速度较快,各期次礁顶容易暴露并形成多套礁盖储层,旋回表现为:礁基—礁核—礁盖—礁核—礁盖亚相;部分地区生物礁生长期次较少,发育速度较慢,只在末期暴露在海水面并形成一套礁盖储层,旋回表现为:礁基—礁核—礁基—礁核—礁盖亚相<sup>[15]</sup>。

#### 2.1.1 礁基亚相

礁基位于礁体的基底部位,发育在生物碎屑滩之上。根据取心井绘制的生物礁剖面图(图 2),礁

基仅在第 10 层发育,岩性以深灰色生屑灰岩为主,厚度较薄,生屑密集均匀分布,部分生屑被选择性云化,可识别骨针、有孔虫、海绵、苔藓虫、藻屑、蜓等。基质由泥晶方解石构成,局部溶蚀充填方解石、白云石亮斑,少量有机质不均匀浸染(图 3(a)~图 3(c))。礁基多数生长于长兴组中下方。

#### 2.1.2 礁核亚相

礁核生长于礁体的主体部位,生长在礁基上部,多以海绵障积礁灰(云)岩或以粘结骨架海绵礁灰(云)岩组成;岩性为浅灰色块状海绵障积岩和海绵骨架岩,造礁生物主要为硬海绵、纤维海绵和残余海绵。大多数海绵垂直层面发育,少数斜交层面发育,构成良好的礁骨架围绕海绵生长。附礁生物有孔虫、介形虫、腕足、红(绿)藻等,含量介于 5%~20%。以生物碎屑、砂屑填充为主,灰泥含量低<sup>[16]</sup>。礁核亚相主要发育在剖面中的第 11 层和第 16 层~第 18 层。第 11 层是第二旋回中的礁核亚相,以灰白色块状礁灰岩岩性为主(图 3(d)~图 3(f)),由块状海绵构成格架,部分被选择性云化,水管系统清晰,填积泥晶方解石,清晰者为硬海绵,体腔内内生少量瓣鳃、苔藓虫、有孔虫等生物。基质以泥晶方解

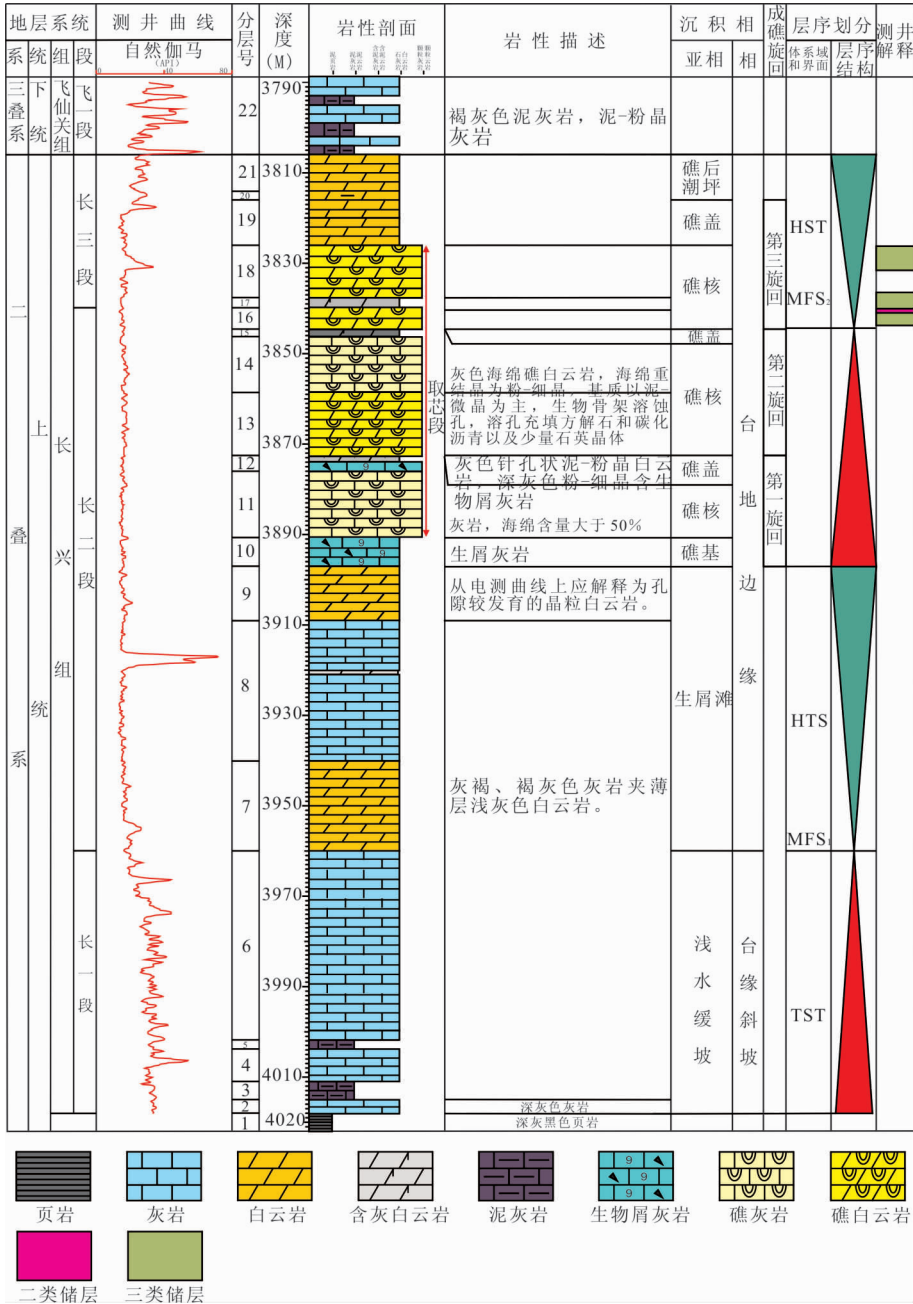


图 2 五百梯长兴组生物礁剖面柱状图

Fig. 2 Bar chart of reef profile of Changxing formation, Wubaiti

石为主,粉晶云石(化)次之构成。第 16 层~第 18 层发育了第三旋回的礁核亚相,礁核发生了显著的白云岩化作用,此时生物礁的岩性从礁灰岩变成礁白云岩。以灰白色块状礁白云岩岩性为主,可见海绵礁白云岩(图 3(d))。通过阴极发光显微镜显示,白云石呈暗红色光,生屑呈亮红色光(图 3(e)),残余海绵呈块状分布,部分可识别为串管海绵和纤维海绵,纤维海绵可见弯曲的水管系统,多被云石选择交代或浸染有机质,个别附生棘皮、有孔虫。

### 2.1.3 礁盖亚相

礁盖生长于生物礁的顶部,岩性以各类云岩为主,中间夹少量薄层灰岩,包括细晶、粉晶、粉晶白云岩等,溶蚀孔隙发育显著。礁盖亚相发育在剖面柱状图的第 19 层~第 20 层之间,礁盖的岩性为浅灰色泥-粉晶白云岩,白云岩化作用显著(图 3(g)~图 3(i)),为典型的礁盖沉积。礁盖亚相发育在长兴组的中、上部位。该剖面中礁盖在第二、第三成礁旋回的上部均有发育。

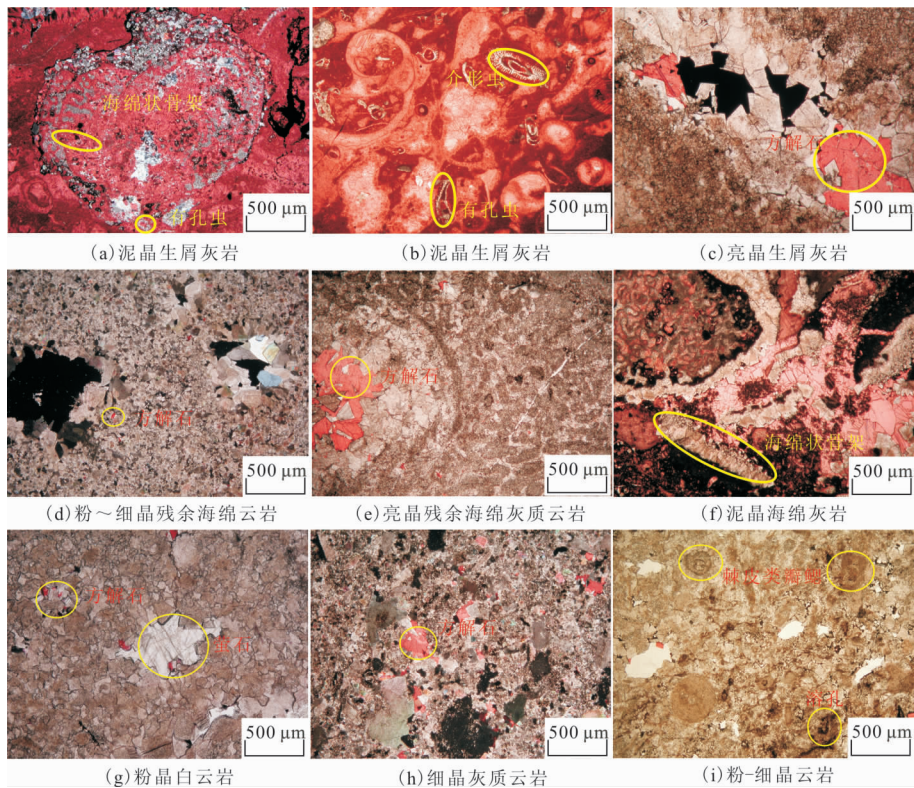


图3 五百梯长兴组生物礁岩石薄片特征

Fig. 3 Thin section characteristics of reef rocks in Changxing formation, Wubaiti

## 2.2 生物礁横向发育特征

五百梯工区沉积相包括台缘斜坡、台地边缘和开阔台地。图4为发育在台地边缘相带的TD2—TD76—TD002—X18—TD23井的沉积相连井对比剖面。从图4可以看出,TD2和TD002—X18井发育了大量的生物礁,TD76井有少量的生物礁发育,TD23井几乎不发育生物礁,几乎全部为开阔台地沉积。在横向上,从台地边缘过度到开阔台地,生物礁的发育期次逐渐减少,礁体呈迁移的特征。生物礁的发育生长大致相同,它们分别是:①下部三级层序(SQ1)高位体系域生物礁;②上部三级层序(SQ2)海侵体系域生物礁;③上部三级层序早期高位体系域生物礁;④上部三级层序晚期高位体系域生物礁。

## 2.3 生物礁展布

研究区生物礁横向上呈多排条带状发育,逐渐迁移的特点,不同条带的礁体间发育礁间亚相;生物礁在纵向上呈多期叠置发育的特点(图5)。宏观上呈现多个条带生物礁体,其中靠近海槽斜坡相条带的礁体发育多期次的生物礁,在往东迁移的过程中,生物礁发育的期次逐渐减少。

## 3 生物礁测井响应特征及测井相类型

### 3.1 生物礁测井响应特征

在各类常规测井曲线中,GR曲线的变化取决于测试地层中放射性元素的高底,间接判别沉积物颗粒大小与沉积环境,也是区分生物礁段与非礁段其他岩性最直接的方式<sup>[17]</sup>。根据现代海洋生物礁的资料,生物礁适宜生长在清澈、盐度和温度适宜的浅海环境中,其生长环境对应的泥质含量较低,放射性物质相对较少,自然伽马呈低值。可以根据GR值的变化情况与其曲线形态来间接判断生物礁的沉积环境的能量高低、测井相形态<sup>[18]</sup>。根据已有的钻井数据资料,该工区内的生物礁白云岩自然伽马值在13 API~35 API之间,平均为16.7 API,而生物礁灰岩的自然伽马值在12 API~46 API之间,平均为25.3 API。根据TD002—11井的测井数据,绘制自然伽马、电阻率、声波时差和密度之间的交会图(图6),发现生物礁与非生物礁在岩电交会图上具有很清晰的岩电特征,生物礁具有较好识别的标志。非礁段岩性具有高自然伽马值、高密度的测井特征;生物礁具有中—高伽马、中—高电阻率、较低的密度

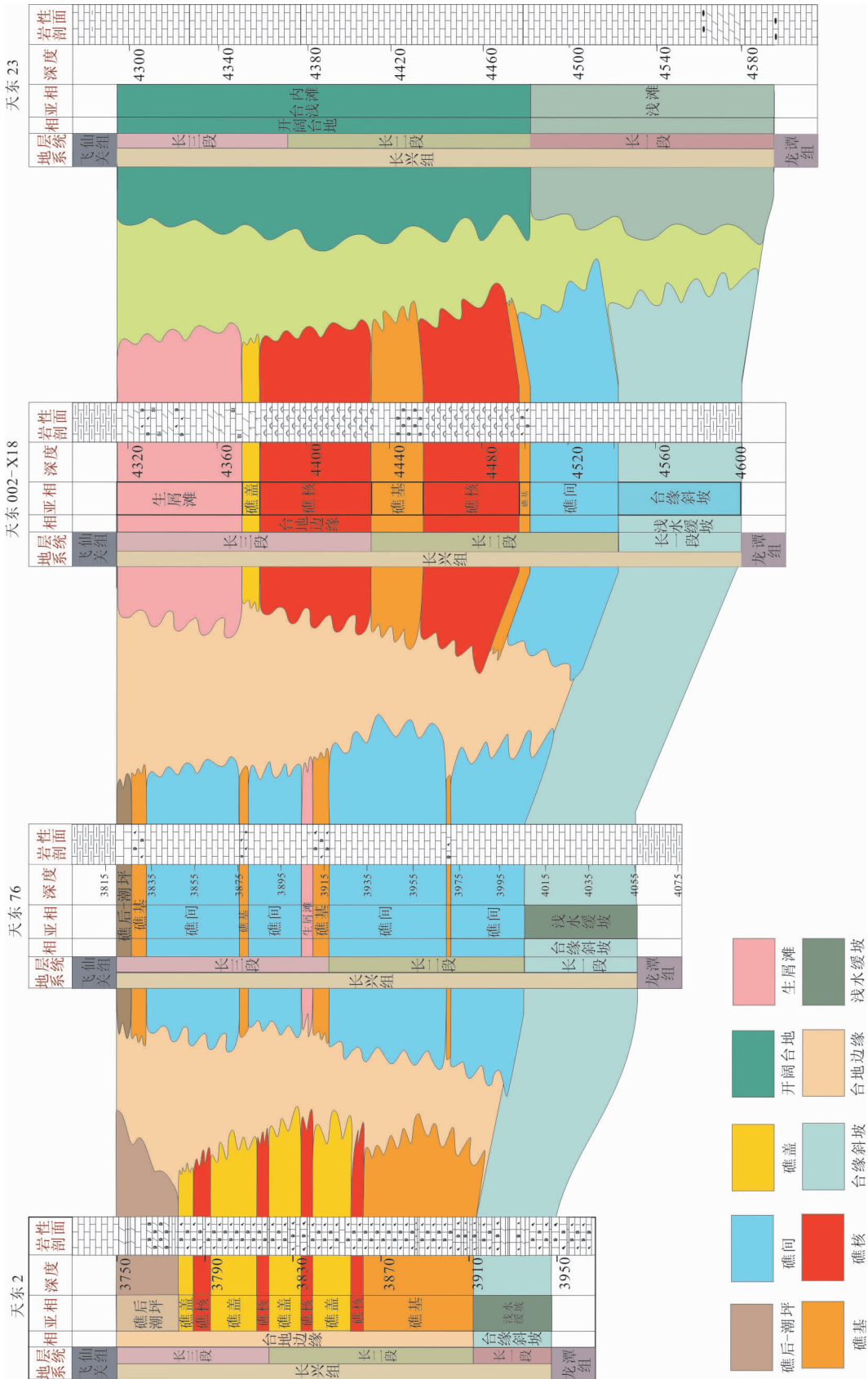


图 4 五百梯长兴组生物礁连井剖面

Fig. 4 Reef well connection section of Changxing formation, Wubaiti

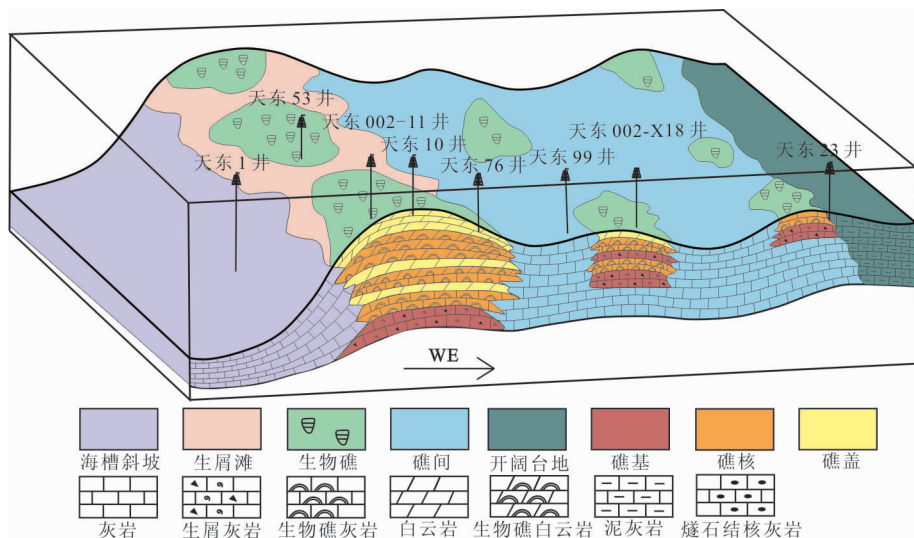


图 5 五百梯长兴组生物礁发育分布模式

Fig. 5 Development and distribution model of reef in Changxing formation, Wubaiti

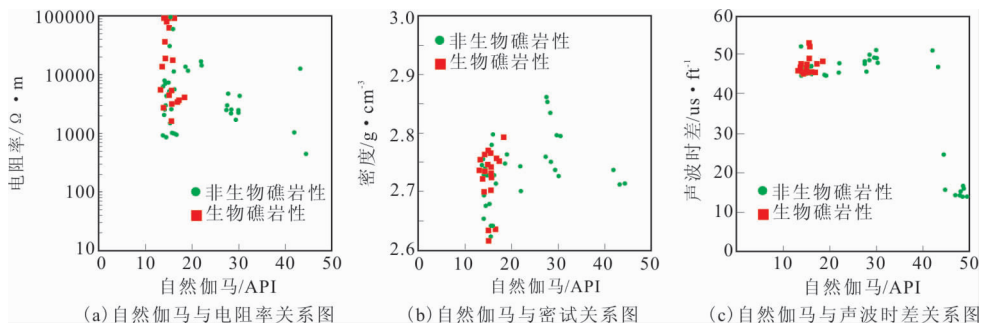


图 6 五百梯长兴组二叠系生物礁测井关系图

Fig. 6 Logging relationship of Permian reefs in Changxing formation, Wubaiti

的测井特征。

### 3.2 生物礁测井相类型

在研究区长兴组早期,由于水体等沉积环境相对局限,未能达到生物礁发育的条件,沉积岩主要以泥晶灰岩和燧石结核灰岩为主。直到长兴组中晚期,海侵改变了沉积环境,为台地边缘生物礁的发育带来了大量的营养物质。由于此时海平面的上升速度较早期慢,导致生物礁的生长速度超过海平面上升与构造运动叠加而增加的可容空间,当生物礁顶部生长于海平面附近时,可形成向上变浅的生物礁;在较大海平面上升过程中伴随有多个次一级的海平面升降旋回,导致多个海侵并进型生物礁在垂向上叠加<sup>[11]</sup>。而自然伽马等测井曲线也呈现出相应的多旋回变化特征,这就为生物礁测井相以及不同期次生物礁的沉积相分析提供了条件。通过与多口钻井取心井段地质解释的对比标定,自然伽马曲线形态变化特征与生物礁不同亚相能较好地对应起来,

在长兴组生物礁亚相中识别出以下 3 种测井相模式。

#### 3.2.1 礁基

自然伽马曲线多以光滑、微齿化为主,GR 数值从下到上逐渐下降,顶底的接触不同,通常显示为顶部突变、底部渐变,呈漏斗型的曲线形态。漏斗型的 GR 曲线形态是体现向上开始变浅、变粗沉积序列响应,表明了水动力开始逐渐增强的沉积环境。研究区 TD10 井 4 360 m~4 372 m 井段中的 GR 曲线为漏斗型,自然伽马值为 8.8 API~23.5 API,平均为 15.2 API。根据薄片的观测分析,上方是一组藻灰岩,向下渐变为灰岩,底部为燧石结核灰岩。声波时差由下往上逐渐增大,电阻率由下往上逐渐降低。

#### 3.2.2 礁核

自然伽马曲线多以光滑、微齿化为主,相对于围岩呈箱型,GR 曲线的顶、底部均显示为突变接触。该类型自然伽马值相对最低且数值变化范围较小,

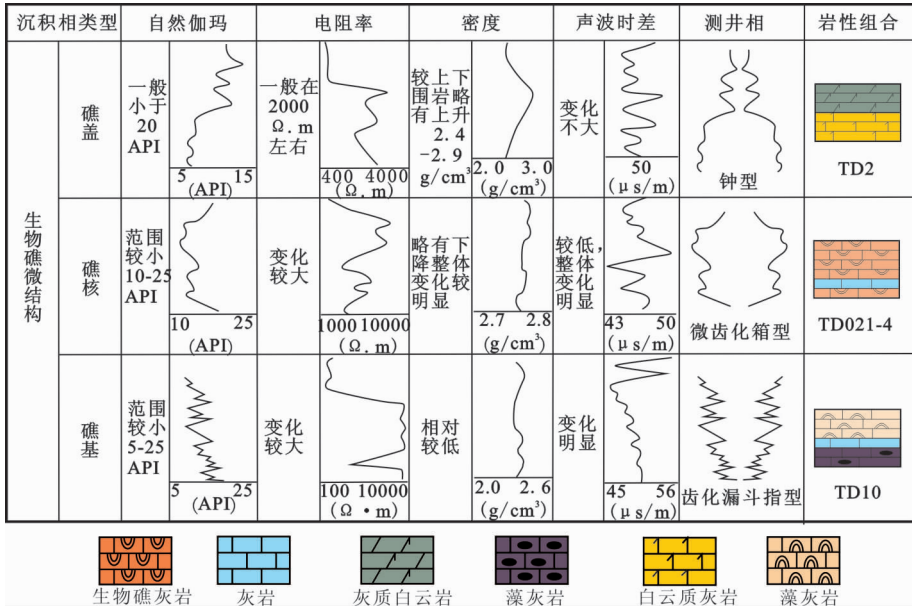


图 7 五百梯长兴组生物礁亚相测井相

Fig. 7 Logging facies of reef subsacies in Changxing formation, Wubaiti

表明沉积水动力较强且比较稳定的沉积环境,礁体以垂向加积为主,体现台缘生物礁具有较大的厚度。通过对薄片的观测分析,TD021-4 井的 4 457 m~4 471 m 井段岩性主要以生物礁灰岩为主,该井段自然伽马值为 11.9 API~25.4 API,平均为 16.8 API。电阻率变化范围较大,声波时差位于低值,总体变化明显。在研究区中的 TD10 井与 TD53 井中的取心段也出现箱型的 GR 曲线,这类取心段均属于水动力逐渐增强的台缘礁盖亚相的沉积环境。

### 3.2.3 礁盖

自然伽马曲线多以光滑为主,数值由下往上逐渐增大,顶底的接触不同,通常显示为顶部渐变、底部突变,呈钟型的曲线形态。钟型的 GR 值相对较大,礁盖通常以后积为主,沉积环境在较强的沉积水动力中开始递减。通过对薄片的观测分析,DT2 井的 3 793 m~3 806 m 井段岩性主要以泥晶白云岩、白云质灰岩为主,符合台缘礁盖亚相的沉积环境。GR 值为 8.1 API~12.8 API,平均为 9.9 API。电阻率变化范围较小,位于低值区;声波时差变化范围较小,相对稳定。在研究区中的 DT002-6、DT002-9 井中的取心段也出现钟型的 GR 曲线,这类取心段均属于水动力逐渐减弱的台缘礁盖亚相的沉积环境。

### 3.3 不同微相组合的生物礁测井相特征

通过对典型取心生物礁井岩相类型辨别以及沉积相划分,结合 20 口钻井测井数据的统计分析,重

点依据自然伽马、电阻率、声波时差、岩性组合的差异,在二叠长兴组生物礁井共识别出 3 类 6 种测井相组合类型(图 8)。即礁基+礁核(A 型)、礁基+礁核+礁盖组合(B 型)、礁核+礁盖(C 型)。

1) A 型对应的生物礁岩性以生屑灰岩—生物礁灰岩为主,其中测井相为微齿化箱型。由于生长速率较慢,仅在长兴组晚期暴露在水面,只形成一套礁盖储层,成礁旋回为礁基—礁核—礁基—礁核—礁盖,其中 A 型对应的是早期礁基—礁核组合。该类组合发育在长兴组的初期沉积,处于台缘斜坡相,由于海平面的上升,使得早期形成的生物礁被不断淹没,该沉积环境不利于生物礁发育,仅形成一套以泥质灰岩、含生屑泥晶灰岩的薄层沉积。之后伴随着相对海平面下降,形成一套泥晶粉屑生屑灰岩、生物礁灰岩沉积,这些堆积物的表层富含了大量的棘屑类生物,逐渐形成了生屑滩,其对应的礁核厚度相对较薄。随着海平面的缓慢上升,在生屑滩之上逐渐沉积了一套泥晶灰岩。

2) B 型包括 3 种类型:①生屑灰岩—生物礁灰岩—生物礁白云岩—白云岩(B1);②生屑灰岩—生物礁白云岩—生屑云质灰岩—白云岩(B2);③生物灰岩—生物礁灰岩—溶孔白云岩—白云岩(B3)。B 型对应的测井相为复合型,B1 型、B2 型为箱型+钟型,B3 对应箱型+漏斗型。B1 型、B2 型对应的是多礁盖成礁旋回,随着海水的短暂上涨,海绵类、棘皮类等生物开始逐渐生长成礁,随着相对海水的缓

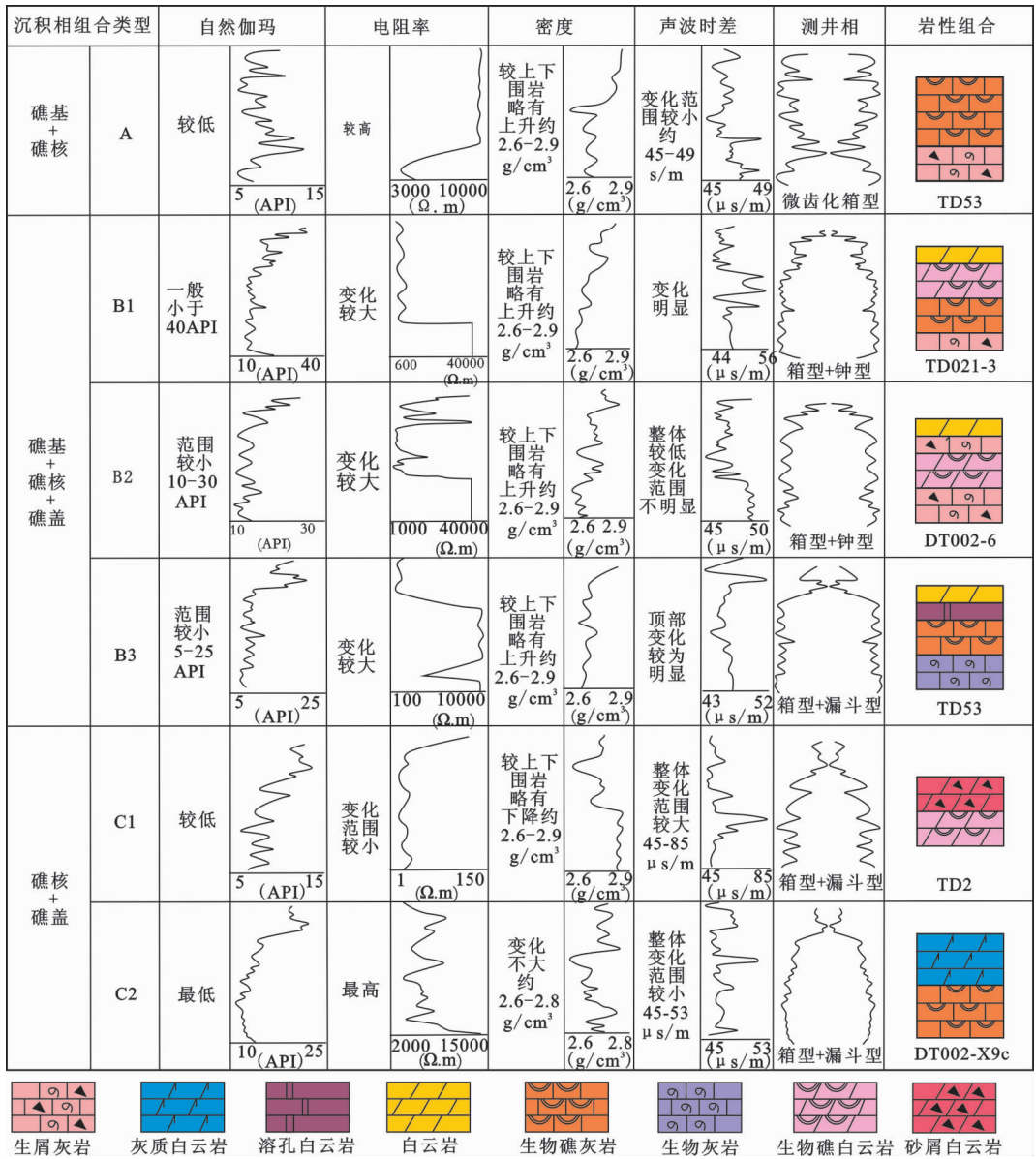


图 8 五百梯长兴组不同生物礁亚相组合测井相

Fig. 8 Logging facies of different reef subsfacies combinations in Changxing formation, Wubaiti

慢慢降低,该地区的地貌、光照等方面都朝着有利于生物发育生长环境转变,逐渐沉积了一套以生物灰岩、生物礁灰岩为主的薄层岩性。随着海水的持续降低使礁顶部暴露,在其上部依次沉积了生物灰岩,并随后发生白云岩化作用。由于水动力相对稳定且生物礁生长速度较快,之后继续发育多期礁核—礁盖型生物礁。B3 发育在第一成礁旋回 A 型的基底之上,随着海水慢慢下降,在早期形成的泥质灰岩—泥晶灰岩的生屑沉积环境,逐渐开始沉积生物障积灰岩和生物灰岩,这些堆积物的生屑富集且分布均匀,经藻类黏结固定成为骨架。伴随着海平面的继续下降,地形地貌、阳光等环境都为造礁生物提供

了较好的生长繁殖环境,由于水动力较强生物礁的生长速率相对较慢,该旋回对应的自然伽马值变化范围较 B1 类、B2 类相对较小,仅在长兴组晚期暴露水面,因此只形成一套礁盖储层,因此 B3 对应的测井相为箱型+漏斗型。

3)C 型包括 2 种:①礁白云岩—生屑白云岩(C1);②生物礁灰岩—灰质白云岩(C2)。C 型对应的测井相为复合型,C1、C2 为箱型+漏斗型。C 型对应的生物礁组合发育在多期次生物礁中,发育在 B 型之上。对应的成礁旋回为礁基—礁核—礁盖—礁核—礁盖类型,其中 C2 型成礁旋回大于 3 次,发育在多期生物礁早期,礁核对应的岩性以生物礁灰

岩为主,自然伽马值介于 10 API ~ 25 API。随着海水的短暂上涨,水螅类、棘皮类等生物开始逐渐生长成礁。之后随着相对海水的不断降低,该区的地貌、海水动能、光照等方面都朝着有利于生物发育生长环境转变,礁体的堆积速度加快,造礁、黏结等生物大量发育并且快速增多,大量附礁生物栖居在生物礁表。C1 发育在多期生物礁的晚期,其中礁核对应的岩性一般为生物礁白云岩,随着短时间内的海水上涨,海绵、苔藓虫、孔虫等生物生长成礁。随着海水的缓慢下落,该地区的光照、水体动力、地形为生物礁提供了较为有利的生长环境,与此同时泥质等放射性物质含量极少,C1 的自然伽马值相对于 C2 较低,介于 5 API ~ 15 API,随着海水的不断下落,当礁体生长达到了平均海平面之上,形成了一套浅水的生物礁发育环境,此时生物礁暴露在海平面之上,造成大量的生物死亡。最终导致生物礁停止发育,并在生物礁的顶部沉积一套以生屑灰岩为主的岩性,接着发生了白云岩化作用,形成第三成礁旋回。

## 4 勘探意义

由于研究区长兴组取心井的数量较少,因此可以通过测井解释来识别该地区内的有利储层。为验证上述生物礁测井模式在研究区有利储层识别中的可行性,选取 TD002-11 井(图 2)来进行实验,根据测井相识别出上述 C 型的生物礁亚相组合类型,识别结果表明有利储层多数发育在第二、三旋回中。其中三类储层的孔隙度介于 2%~6%,二类储层的孔隙度在 6%~12%,因此第三旋回中的 3 826.5 m~3 831.5 m、3 836.5 m~3 845.1 m 发育三类储层,对应的是 C2 类型的测井相组合;第二旋回中的 3 855.6 m~3 874.6 m 多数发育三类储层,少量发育二类储层,对应的是 C1 类型的测井相组合。因此验证了测井模式的可靠性,可依据该模式对工区未取心井进行分析识别,为指导以后的生产打下基础。

## 5 结论

1) 四川盆地五百梯长兴组生物礁呈“纵向叠置,横向迁移”的发育规律,其中生物礁的发育期次由西往东逐渐递减。

2) 川东地区长兴组生物礁各亚相主要呈 3 类测

井相模式:①箱型;②钟型;③漏斗型。礁基呈现出水动力开始缓慢增强的漏斗型;礁核呈现出水动力相对稳定的箱型;礁盖呈现出较强的水动力开始逐渐减弱的钟型。在不同亚相组合的生物礁测井相模式中,“礁核+礁盖”代表的 C 型为储层最为发育的测井相响应模式,C 型一般发育多套生物礁储层。

## 参考文献:

- [1] 冯冲,邹华耀,郭彤楼,等.川东北地区二叠系—三叠系礁滩相储层发育机理[J].特种油气藏,2015,22(06):1-4+141.  
FENG C, ZHOU H Y, GUO T L, et al. Development mechanism of permian—triassic reef shoal reservoir in northeastern Sichuan basin[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015,22(06):1-4+141. (In Chinese)
- [2] 马德芹,田景春,林小兵,等.四川盆地二叠系长兴组生物礁发育的差异性及控制因素[J].石油与天然气地质,2020,41(06):1176-1187.  
MA D Q, TIAN J C, LIN X B, et al. Differences and controlling factors of Changxing formation reefs of the permian in the Sichuan basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020,41(06):1176-1187. (In Chinese)
- [3] 王雷.四川盆地五百梯区块长兴组礁滩沉积体系研究[D].成都:成都理工大学,2019.  
WANG L. Study on depositional system of Changxing formation reef beach in Wubaiti block, Sichuan basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019. (In Chinese)
- [4] 邹灏,陈洪德,林良彪,等.贵州平塘地区上二叠统长兴组沉积相与层序地层特征[J].中国地质,2011,38(01):25-32.  
ZHOU H, CHEN H D, LIN L B, et al. Sedimentary facies and sequence stratigraphy of Upper permian Changxing formation in Pingtang, Guizhou province [J]. Geology in China, 2011,38(01):25-32. (In Chinese)
- [5] 邓剑,段金宝,王正和,等.川东北元坝地区长兴组生物礁沉积特征研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2014,36(04):63-72.  
DENG J, DUANN J B, WANG Z H, et al. Research on the reef characteristic of Changxing formation in Yuanba area of Northeast Sichuan province[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science &

- Technology Edition), 2014, 36(04): 63—72. (In Chinese)
- [6] 刘文波,汪益宁,赖枫鹏. 四川东北部长兴—飞仙关组沉积相展布及储层发育[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(28): 6952—6955.
- LIU W B, WANG Y N, LAI F P, et al. Clinical study of different methods of indwelling catheterization in patients underwent Gastro—intestinal decompression [J]. Science Technology and Engineering, 2011, 11(28): 6952—6955. (In Chinese)
- [7] 黎虹玮. 川东卧龙河—板东地区长兴组台内礁滩储层特征及主控因素[D]. 成都:西南石油大学, 2017.
- LI H W. Characteristics and main controlling factors of reef beach reservoir in the platform of Changxing Formation in Wolonghe Bandong area, Eastern Sichuan [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2017. (In Chinese)
- [8] 范小军. 元坝地区长兴组沉积特征及对储层的控制作用[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2015, 37(02): 39—48.
- FAN X J. Control sedimentation characteristics of upper permian Changxing formation in Yuanba area and its control action for reservoir[J]. Journal of Southwest Petroleum University(Science & Technology Edition), 2015, 37(02): 39—48. (In Chinese)
- [9] 周喆,胡蝶,沈娇,等. 建南地区二叠统长兴组沉积体系分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(08): 15—17+4—5.
- ZHOU Z, HU D, SHEN J, et al. Sedimentary system analysis of permian Changxing formation in Jiannan area [J]. Journal of Yangtze University(Natural Science Edition), 2013, 10(08): 15—17+4—5. (In Chinese)
- [10] 潘杨辉,郑荣才,张兵. 川东地区五百梯构造带长兴组有利储集相带预测[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(01): 14—20.
- PAN Y H, ZHENG R C, ZHANG B. Prediction of favorable reservoir facies belt in the Changxing formation of Wubaiti tectonic zone, eastern Sichuan basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28(01): 14—20. (In Chinese)
- [11] 贾爱林,孟德伟,何东博,等. 开发中后期气田产能挖潜技术对策——以四川盆地东部五百梯气田石炭系气藏为例[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(04): 580—589.
- JIA A L, MENG D W, HE D B, et al. Technical measures of deliverability enhancement for mature gas fields: A case study of Carboniferous reservoirs in Wubaiti gas field, eastern Sichuan basin, SW China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(04): 580—589. (In Chinese)
- [12] 李杨. 五百梯长兴组生物礁气藏地质建模研究[D]. 成都:成都理工大学, 2011.
- LU Y. Research on geological model of reef reservoir of Wubaiti gas field Changxing formation [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2019. (In Chinese)
- [13] 张兵,郑荣才,文华国,等. 开江—梁平台内海槽东段长兴组礁滩相储层识别标志及其预测[J]. 高校地质学报, 2009, 15(2): 273—284.
- ZHANG B, ZHENG R C, WEN H G, et al. Identification sign and prediction of reef and shoal facies reservoir of the Changxing formation in the eastern Kaijiang—Liangping intraplateform trough [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(2): 273—284. (In Chinese)
- [14] 武恒志,吴亚军,柯光明. 川东北元坝地区长兴组生物礁发育模式与储层预测[J]. 石油与天然气地质, 2017, 38(04): 645—657.
- WU H Z, WU Y J, KE G M. Bioherm development model and reservoir prediction of Changxing formation in Yuanba area, Northeastern Sichuan basin [J]. Oil & Gas Geology, 2017, 38(04): 645—657. (In Chinese)
- [15] 晋达,杜浩坤,孟凡冰,等. 普光地区长兴组生物礁储层分布预测[J]. 物探与化探, 2020, 44(01): 50—58.
- JIN D, DU H K, MENG F B, et al. The prediction of reef reservoir distribution in Changxing formation of Puguang area [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(01): 50—58. (In Chinese)
- [16] 李秋芬,苗顺德,江青春,等. 四川宣汉盘龙洞长兴组生物礁沉积特征及成礁模式[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(05): 1322—1331.
- LI Q F, MIAO S D, JIANG Q C, et al. Sedimentary characteristics and reef—forming model of Changxing formation in Panlongdong section of Xuanhan, Sichuan [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015, 45(05): 1322—1331. (In Chinese)
- [17] 张兵,郑荣才,史建南,等. 四川盆地东部长兴组礁滩相

- 储层测井地质特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012,42(S1):17-25.
- ZHANG B, ZHENG R C, SHI J N, et al. Well logging geological characteristics of reef and shoal facies reservoir of Changxing formation in eastern Sichuan basin [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2012,42(S1):17-25. DOI:10. (In Chinese)
- [18] PANDOLFI J M. The paleoecology of coral reefs[M]. Coral Reefs: An Ecosystem in Transition. Springer Netherlands, Berlin, 2011:13-24.
- [19] 周敏,向阳,张伟,等. 川东地区长兴组生物礁气藏开发特征及技术对策[J]. 天然气勘探与开发, 2020, 43(01):44-51.
- ZHOU M, XIANG Y, ZHANG W, et al. Development characteristics and technical countermeasures of reef gas reservoirs in Changxing Formation, eastern Sichuan [J]. Natural Gas Exploration and Development, 2020, 43(01):44-51. (In Chinese)

## Development characteristics of biological reefs and logging response patterns of the Changxing formation in the Wubaiti area of Sichuan basin

PEI Wenbin<sup>1</sup>, ZHANG Bing<sup>1</sup>, LIN Xiaoyang<sup>1</sup>, HUA Qing<sup>2</sup>, LI Hong<sup>2</sup>, WANG Yuheng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation/Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Geological Exploration and Development Research Institute of Sichuan Petroleum Administration, Chongqing 400021, China)

**Abstract:** To further determine the development characteristics and response model of reefs of Changxing Formation in the wubaiti area, Sichuan Basin. Based on the data of drilling cores, microscopic thin sections, and conventional logging curves, this paper systematically studies and summarizes the development characteristics of reefs in Wubaiti Changxing Formation in eastern Sichuan; it is clear that the reefs in the study area have the law of "vertical superposition and horizontal migration," and the stages of reefs gradually decrease from west to East; On this basis, a reef response model integrating geology and logging is established. Based on the analysis, it is considered that in the Wubaiti reef subfacies in eastern Sichuan, the logging facies corresponding to the reef base is finger type, the logging facies corresponding to the reef core is box type, and the logging facies corresponding to reef cover is funnel type; Type C corresponding to "reef core + reef cap" is the logging facies response model with the most developed reservoir; Type C corresponding to "reef core + reef cap" is the logging facies response model with the most developed reservoir.

**Keywords:** Sichuan basin; Changxing formation; reef; reef base; reef core; reef cap; logging facies pattern