

文章编号: 0253-9985(2002)01-0012-07

川东二叠纪生物礁的再认识*

范嘉松, 吴亚生

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 通过川东 8 口二叠纪长兴期钻井岩芯剖面的详细研究, 铁山 5 井、天东 10 井代表典型的礁相剖面; 板东 4 井、双 15 井既有礁相沉积, 且有棘屑滩沉积; 卧 117 井、黄龙 1 井以及云安 14 井基本上由碳酸盐台地沉积组成; 池 24 井出现两种类型的礁相: 海绵骨架礁和海绵障积礁。川东礁相剖面中的白云岩以海水与淡水混合作用而成的白云石化为主导因素, 但它们在深埋阶段以后, 又遭受后期白云石化的叠加, 因此表现出许多深埋白云石化的地化特征。白云岩的原始沉积既可能是礁骨架岩, 也可能是棘屑滩, 甚至是碳酸盐台地沉积。因此在寻找礁型白云岩储层时, 还应注意滩相白云岩储层以及一般的碳酸盐台地白云岩储层。

关键词: 生物礁; 二叠纪; 川东; 再认识

第一作者简介: 范嘉松, 男, 70 岁, 教授, 沉积学

中图分类号: P512.2

文献标识码: A

自重庆北碚老龙洞晚二叠世生物礁发现以后, 在川东地区地表和地下相继找到了许多生物礁露头和地下礁剖面^[1-7]。对这么多的地下礁剖面的出现, 它们都是礁吗? 还是属于其他沉积? 必须进行重新认识与鉴定。

1998 年, 笔者在孔金祥同志热情引导下, 到川东垫江县云台镇仔细观察了川东钻探公司的天东 10 井、铁山 5 井、黄龙 1 井、云安 14 井、卧 117 井、板东 4 井、双 15 井、池 24 井等 8 口钻井岩芯, 同时采集了部分样品, 进行了薄片鉴定和测试。通过这些研究, 我们发现上述所谓的礁剖面差异较大, 有些确实是典型的礁相, 有些剖面仅夹少量的礁岩, 有些则根本不属于礁相沉积。

1 生物礁剖面

1.1 铁山 5 井(图 1)

位于达川市的西南, 初始产能为每日 50 余万立方米。这是川东地区最发育的礁相剖面之一, 其生物保存完好, 礁相结构清楚, 完全可以与地表剖面媲美。其主要特征是海绵骨架岩、海绵-管壳石骨架岩与白云岩的交互层, 但白云岩的厚度较薄, 仅 0.7~1.4 m, 从未超过 2 m。最顶部为泥晶灰岩、角砾灰岩, 表明海面急剧上升, 或礁体下沉, 从

而使礁体被较深水的细粒碳酸盐沉积所覆盖, 最终将此礁体淹没, 并使其窒息死亡。

此剖面的礁岩占整个剖面的 86%, 它由 (1) 海绵-管壳石骨架岩、障积岩; (2) 海绵骨架岩; (3) 管壳石-纤维海绵障积岩或骨架岩 3 种类型组成。

在海绵-管壳石骨架岩、障积岩内, 主要生物为串管海绵、纤维海绵和管壳石, 其他生物则有硬海绵。具有明显的包覆构造, 基质为灰泥、球粒, 残留孔洞被亮晶方解石胶结物充填。海绵骨架岩以串管海绵、纤维海绵以及硬海绵为主要造架生物。在管壳石-纤维海绵障积岩或骨架岩一类内, 管壳石占优势。

铁山 5 井的礁岩不能构成储层, 因其孔隙均被方解石胶结物所充填, 因此, 储层主要由礁型白云岩组成。

1.2 板东 4 井(图 2)

位于板桥构造, 其初始产能每日可达 $80 \times 10^4 \text{ m}^3$, 是生物礁高产气井。此剖面内由海绵骨架岩组成的礁岩仅出现于第 2 层和第 8 层, 主要造礁生物为串管海绵、纤维海绵以及硬海绵, 在伴生的基质内, 骨屑占优势。

第 1, 4, 7, 9, 11 层均为骨屑泥粒岩、粒泥岩, 或为棘屑粒泥-泥粒岩。前者含丰富的棘屑、有孔虫 *Colaniella* 等, 而后者则以棘屑为主。因此这些岩层可能代表碳酸盐台地或棘屑滩。第 3, 5, 10 层由白云岩或棘屑泥粒岩组成, 其内棘屑丰富, 可能代表棘屑滩, 是该井的油气储层。

* 中国石油天然气集团公司油气储层重点实验室资助项目并获
得剑桥大学地质系 CASP 的资助

收稿日期: 2001-09-22

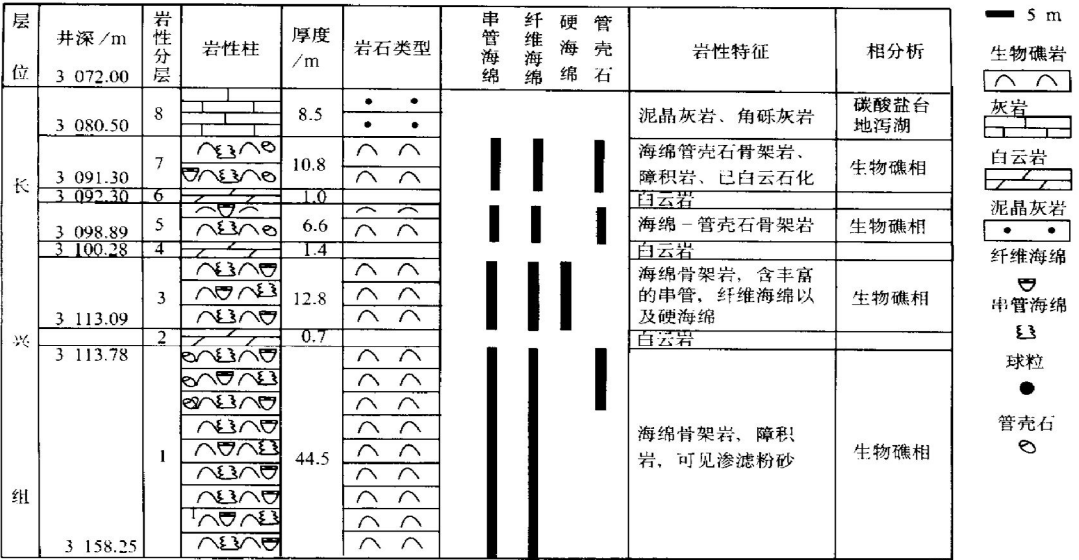


图 1 川东铁山 5 井上二叠统长兴组综合柱状图

Fig. 1 Column map of Changxing Formation from Tieshan- 5 Well of Eastern Sichuan

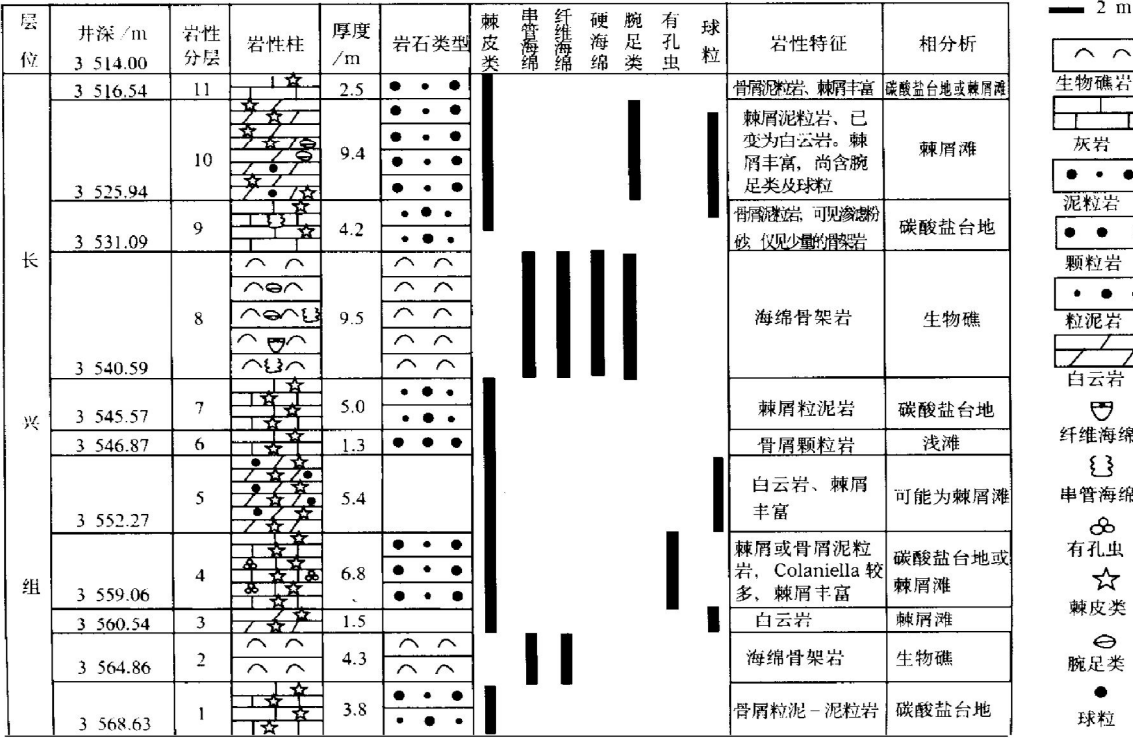


图 2 川东板东 4 井上二叠统长兴组综合柱状图

Fig. 2 Column map of Changxing Formation from Bandong- 4 Well of Eastern Sichuan

1.3 双龙场 15 井(图 3)

此井位于长寿东北的双龙场构造, 其初始产能极高, 可达 $102 \times 10^4 \text{ m}^3$, 是礁型高产气井。此井的取芯厚度十分局限, 仅得 16 m。但在此剖面内, 礁相厚度达 9.4 m, 约占全厚的 59%, 主要位于该剖面的上部。

礁岩基本上由海绵骨架岩、障积岩组成, 造架生物为串管海绵、纤维海绵、苔藓虫和管壳石, 含量十分丰富, 偶含球粒, 属于典型的礁相沉积。

1.4 卧龙河 117 井(图 4)

位于双龙场 15 井的东北。该井由井深 3 931 m 到 3 999.18 m, 取芯达 68 m, 基本上属于长兴组三段。真正的礁岩仅 2.8 m, 只占全厚的 4%。此井不产气, 仅产水。

主要岩石为骨屑粒泥岩、泥粒岩, 总厚度达 19.6 m, 占全剖面的 28%。这些岩石含棘屑、腕足类、瓣类、苔藓虫等浅水海洋生物, 海绵、水螅偶见, 可见少量藻球粒, 代表碳酸盐台地相的岩石。

生物礁岩主要为海绵骨架岩,所含生物为海绵和水螅。除了上述岩石以外,其他均为白云岩,其

内藻球粒十分丰富,可能代表局限碳酸盐台地相沉积。

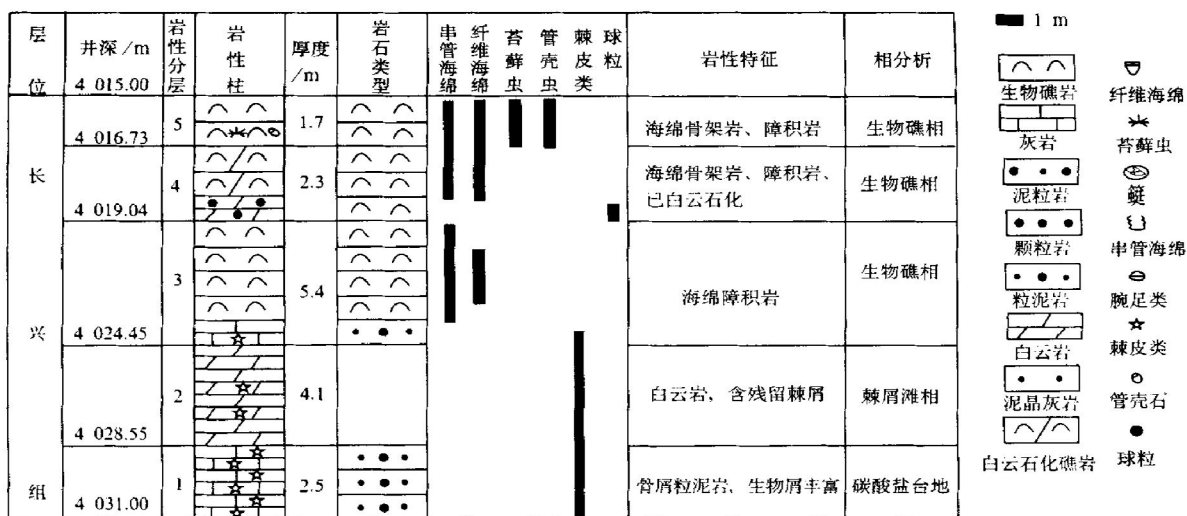


图3 川东双龙场15井上二叠统长兴组综合柱状图

Fig. 3 Column map of Changxing Formation from Shuanglongchang-15 Well of Eastern Sichuan

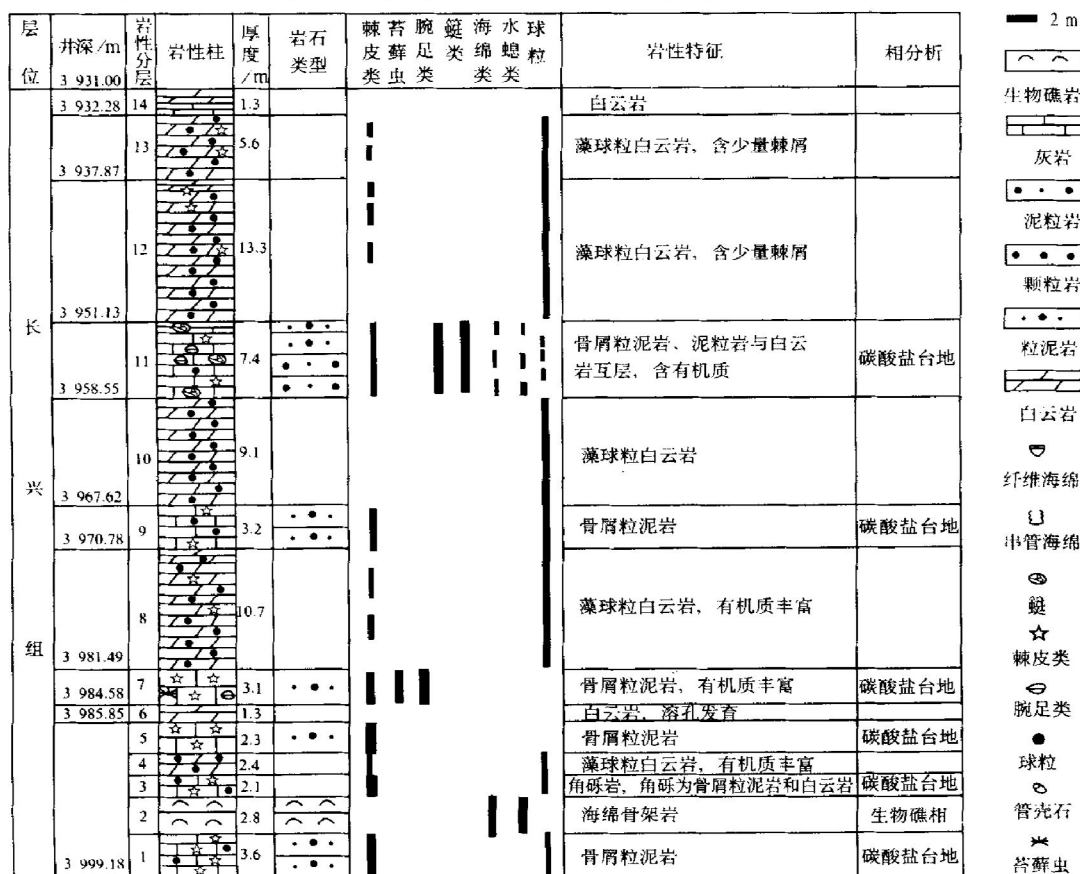


图4 川东卧龙河117井上二叠统长兴组综合柱状图

Fig. 4 Column map of Changxing Formation from Wolonghe-117 Well of Eastern Sichuan

1.5 大池干24井(图5)

该井位于忠县以西的大池干构造,剖面基本上属于长兴组一段。在此剖面内,生物礁相岩石出现两类截然不同的类型:(1)海绵-管壳石障积岩、海绵障积岩,主要特征与其他剖面的礁相岩石十分相似,其中串管海绵、纤维海绵以及管壳石是常见的

组成生物;(2)纤维海绵、硬海绵障积岩,其内灰泥、生物屑十分丰富,并出现了典型的层状孔洞构造(stromatactis)。这种具有层状孔洞构造的类型仅见于本井,其他钻井剖面均未发现。与此障积岩伴生的还有骨屑粒泥岩,其内层状孔洞构造也十分发育。

1.6 云安厂 14 井(图 6)

云安 14 井位于万县以西 6 km 处, 仅得微气。该井在井深 4 697.96 到 4 723.84 m 井距内仅取得岩芯 18.9 m, 未取芯段达 17.7 m。属长兴组三段。

在此剖面内, 主要为粒泥岩、泥粒岩和白云岩, 未见礁相岩石。在第 1、5 层内, 主要岩石为

粒泥岩、泥粒岩, 含藻类、棘皮类、苔藓虫以及球粒等, 它们属于碳酸盐台地岩石。第 3 层为生物屑粒泥岩, 含棘屑、苔藓虫、腕足类、腹足类以及少量的纤维海绵等, 并以棘屑占优势, 代表碳酸盐台地沉积, 或为棘屑滩。第 2 层为白云岩, 其内孔洞发育。

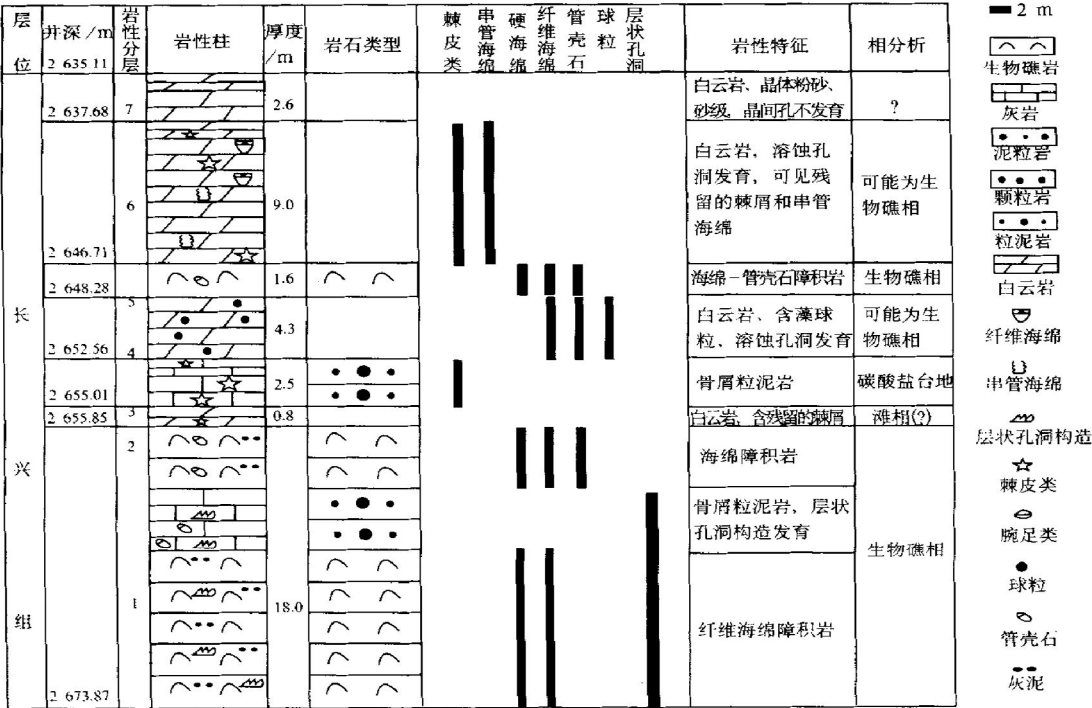


图 5 川东大池干 24 井上二叠统长兴组综合柱状图

Fig. 5 Column map of Changxing Formation from Dachigan-24 Well of Eastern Sichuan

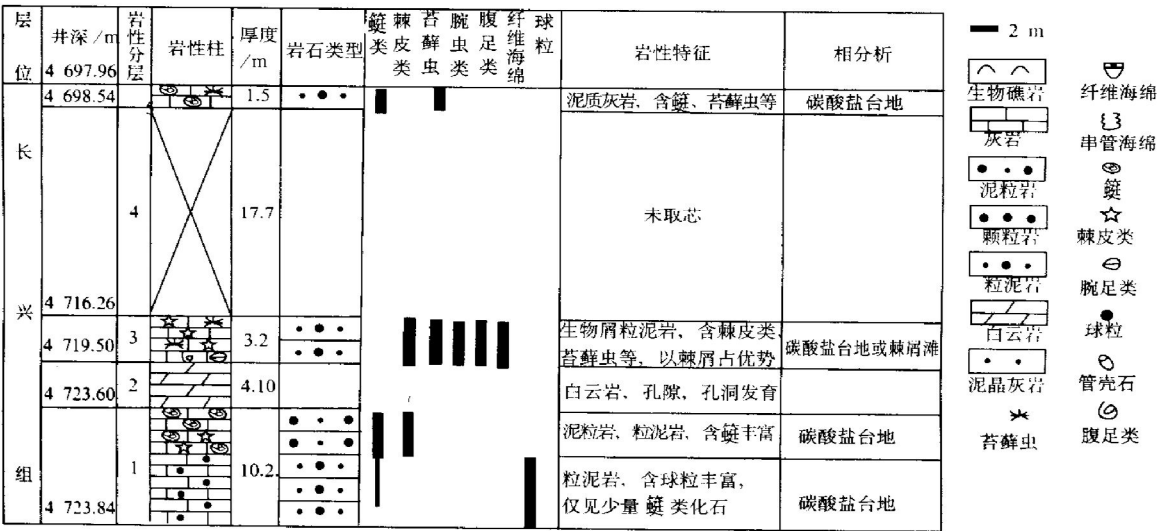


图 6 川东云安厂 14 井上二叠统长兴组综合柱状图

Fig. 6 Column map of Changxing Formation from Yun'an-14 Well of Eastern Sichuan

2 礁在川东地区的发育状况

川东晚二叠世生物礁在各地的发育状况很不相同, 变化较大。著名的北碚老龙洞生物礁, 海绵障积岩只是发育于下部, 其上部在短暂的礁相沉积

以后, 即为台地相沉积所代替。台地相以骨屑粒泥岩为主。

据王生海等^[3]的研究, 华蓥市之东的涧水沟生物礁是川东地区发育较好的礁体之一, 礁体厚达 156 m, 基本上由两个旋回组成。其发育特征类似

北碚老龙洞礁。

通过川东地下各井的讨论,礁相沉积在各井内的发育程度有很大的差别。现分别讨论如下:

板东4井是距离涧水沟露头礁最近的地下礁体,它的层位相当于长兴组三段。在此礁相剖面内,海绵骨架岩仅见于下部(仅4.3 m)和上部(9.5 m),其余都为棘屑滩和台地相沉积。

由板桥构造往东南的双龙场构造,在双15井长兴组三段礁剖面中,礁相发育于该剖面的上部,约占全剖面的60%。其余均为棘屑滩和碳酸盐台地相沉积。

由双龙构造往东北,相距甚近的卧龙河构造117井内,礁相已明显衰落,仅获2.8 m,占全厚度的4%,其层位也相当于长兴组三段。在该剖面内,以骨屑粒泥岩、泥粒岩和白云岩为主,前两者岩石代表碳酸盐台地典型岩石,但在白云岩内,除了存在棘屑以外,普遍出现了大量的藻球粒,因此我们认为它未必属于滩相沉积,可能属于局限碳酸盐台地相沉积。

由卧龙河构造往东北,在大池干构造24井内,其取芯剖面基本上代表层位较低的长兴组一段,因此它不能与卧117井、板东4井、双龙15井对比。该井剖面出现了与其他剖面截然不同的面貌,上部出现一般的海绵礁,而下部出现了与众不同的海绵障积岩,其内灰泥十分发育,可见层状孔洞构造。这些构造是灰泥丘中常见的构造,因此这些具有层状孔洞构造的海绵障积岩是二叠纪礁中独特类型。

由大池干构造往东北到万县以西的云安厂构造,在该构造的云安14井,其钻井取芯剖面仍属于长兴组三段,但它基本上由碳酸盐台地沉积组成,始终未见礁相沉积。

在达川市西南的铁山构造中,铁5井取芯剖面由3 072.00~3 090.00 m为长兴组三段,其下部9.50 m厚的礁岩内已明显的白云岩化,但未见孔隙,因此它不能构成有效的储层。由3 090.00 m到3 158.25 m厚达68 m的长兴组二段内,均为极其发育的礁岩,这是川东井下最发育的礁剖面之一。如此巨厚的礁岩,又具有如此清楚的结构特征和保存完好的生物面貌是川东礁岩中十分罕见的和独特的现象。

天东10井的礁岩呈厚度不大的礁骨架岩与白云岩频繁交替互层,与铁山5井连续巨厚的礁岩有很大的差别。此井剖面井深3 885.56~3 897.99 m属于长兴组一段,主要由碳酸盐台地沉积组成,

礁相沉积不发育;其上的长兴组二段(3 771.00~3 885.56 m),基本上由海绵骨架岩与白云岩的交互层组成,是该井礁相的发育层段;长兴组三段(3 748.09~3 771 m),约23 m,代表碳酸盐台地相和礁后泻湖相沉积。

铁山5井与天东10井之间黄龙场构造的黄龙1井,井深3 895~4 070 m属于长兴组二段。取芯井深由3 944.00~4 020.65 m,为碳酸盐台地相沉积,礁岩不发育。

3 晚二叠世沉积相的再讨论

对川东晚二叠世长兴期沉积相的认识基本上可归纳为两类:(1)碳酸盐缓坡,其主要依据是其岩石类型为生屑粒泥岩或泥粒岩,富含正常浅海生物,缺乏波浪成因的沉积构造^[6];(2)碳酸盐台地^[8,9]。

根据北碚老龙洞含生物礁长兴组剖面分析,其台地相的岩石类型为:(1)藻屑粒泥岩-泥粒岩;(2)砂屑粒泥岩-泥粒岩;(3)生屑粒泥岩-泥粒岩等。所含浅水生物为藻类、有孔虫、棘皮类、苔藓虫、腕足类、腹足类、双壳类、钙藻(二叠钙藻、裸松藻及假蠕孔藻)等。杨万容^[8]通过微相分析认为老龙洞长兴组主礁剖面的中下部为局限台地相沉积,上部为浅滩-礁丘-潮下浅水台地相沉积和潮坪沉积,始终未见较深水缓坡型沉积。海绵动物的生长深度,特别是串管海绵的生长深度一般为15~40 m,推测长兴期的沉积深度不可能达到深缓坡深度。

川东-鄂西碳酸盐台地的东侧为同沉积的断裂所限,因此它的东缘陡峻的台地边缘,不可能呈平缓的缓坡。

4 白云岩

4.1 成因

川东8口井的礁白云岩的成因很不相同,而且它们的原始沉积也截然不同。

最典型的礁剖面应首推天东10井和铁山5井。天东10井表现为礁岩与白云岩频繁交替,礁岩与白云岩每层的厚度都在1~2 m,这表明白云岩的形成是礁体在海面频繁升降的条件下,受淡水作用而成。铁山5井基本上为一套礁岩,所夹的白云岩也均在1~2 m,或不到1 m,也是在海面频繁升降情况下,礁体出露海面时受淡水作用而成。

据天东10井、铁山5井白云岩的氧碳同位素分

析结果(表 1, 2), 白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -0.4925‰ ~ -0.5667‰ , 表明它们是在混合带产生的。

表 1 天东 10 井氧、碳同位素测试值

Table 1 Test values of oxygen and carbon isotope in Tiandong- 10 Well

样品号码	层位	岩性	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$
天东-536	14 层	白云岩	- 0.534 7	0.282 4
天东-571	14 层	灰岩	- 0.576 5	0.310 7
天东-585	14 层	白云岩	- 0.531 3	0.223 1
天东-637	12 层	灰岩	- 0.604 1	0.276 0
天东-665	12 层	白云岩	- 0.492 5	0.308 4
天东-683	12 层	云化灰岩	- 0.585 7	0.288 3

表 2 铁山 5 井氧、碳同位素测试值

Table 2 Test values of oxygen and carbon isotope in Tiandong- 5 Well

样品编号	岩性	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$
铁山-303	白云岩	- 0.516 5	0.232 4
铁山-386	海绵骨架岩	- 0.671 5	- 0.100 2
铁山-432	白云岩	- 0.566 7	0.183 7

吴熙纯等^[2]对板东 4 井碳氧同位素分析后认为, 礁盖层的 $\delta^{13}\text{C}$ 值(0.1088‰)与礁岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相比, 轻得多, 说明有淡水的渗入, 表明礁盖层早期曾暴露出水面。同时他们认为不同时期的礁顶有多次暴露的可能性, 特别是每期的间歇滩处于最浅水处, 易于早期暴露, 产生淋滤和溶蚀作用。

他们认为既有早期暴露, 因此混合水成岩作用环境可能存在。混合水白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 相对较轻, 一般为 -0.3‰ ~ -0.7‰ , 板东 4 井白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -0.38‰ ~ -0.60‰ 与此吻合。

王运生等^[4]分析了双 18 井等 5 个礁白云岩样品, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 均在 -0.423‰ ~ -0.674‰ 之间, 说明白云岩形成于盐度较低的环境, 形成于成岩早期大气降水与海水混合的混合带。但其微量元素 K, Na, Sr, Mn 含量偏低, 反映白云石化作用是在还原环境中发生的, 因此他们认为这些白云岩是在混合水白云石化基础上, 受到后期多成因白云石化的叠加, 但主体仍是混合水成因。

天东 10 井和铁山 5 井的钻井剖面, 白云岩与礁岩呈紧密交互叠置层, 如果是深埋白云岩, 为什么不呈白云岩的巨大块体? 因此, 笔者认为白云岩主体仍是混合水成因, 但在深埋以后, 又遭受后期白云石化的叠加, 因此表现出许多深埋作用的地化特征^[10, 11]。

4.2 原始沉积

川东地区的白云岩既是礁相岩石白云石化而

成, 也可能是由棘屑滩相岩石白云石化而成, 甚至还是碳酸盐台地相的岩石。

(1) 铁山 5 井: 第 7 层基本为白云岩, 但通过薄片鉴定发现这些白云岩含有较多的海绵和管壳石, 应属于礁相。第 4 层厚仅 1.4 m 的白云岩内, 经鉴定也属于骨屑泥粒岩, 代表碳酸盐台地沉积或礁相沉积。由此可见这些白云岩实质上就是礁岩。

(2) 天东 10 井: 经过薄片鉴定, 第 12 层(井深 3 809.35~ 3 818.54 m)厚仅 0.63 m 的白云岩, 实际为骨架岩, 含有许多造架生物; 第 14 层(井深 3 794.28~ 3 806.79 m)厚达 3.34 m 的白云岩, 实际为骨屑粒泥岩或泥粒岩; 第 15 层的白云岩内有棘屑、苔藓虫等; 第 17 层的白云岩含有许多浅水生物。以上这些白云岩代表碳酸盐台地相沉积。

(3) 板东 4 井: 根据第 3、5 以及第 10 层的特征, 白云岩的原始岩石为棘屑泥粒岩或颗粒岩, 其内棘屑十分丰富, 次要生物则为腕足类, 尚可见藻球粒, 推断原始沉积应为棘屑滩。

(4) 双龙场 15 井: 在第 2 层的白云岩内, 发现较多棘屑残余, 推测其原始沉积似为棘屑滩; 第 4 层的骨架岩已明显白云石化。由此可见该剖面内的白云岩既可由棘屑滩而成, 也可能是由礁相骨架岩受白云石化而成。

(5) 卧龙河 117 井: 在此剖面内白云岩的厚度较大, 厚达 43.7 m, 约占全剖面厚度的 64%。这些白云岩的普遍特征是含有十分丰富的藻球粒, 并伴生不少棘屑, 推测其原始沉积环境可能形成于局限碳酸盐台地, 或台地内泻湖相环境。

(6) 大池干 24 井: 在第 4、6 层内, 发现残留的串管海绵、棘屑, 推测其原始沉积为礁相沉积; 而第 2 层的白云岩仅见残留的棘屑, 因此推测其原始沉积为棘屑滩。

(7) 云安 14 井和黄龙 1 井: 这两口井的白云岩的原始沉积还难以判断, 可能是碳酸盐台地沉积受到白云石化而成。

5 主要结论

(1) 川东晚二叠世长兴期沉积为浅水碳酸盐台地, 在台地内受古断裂的控制, 使广宽的台地切割成台隆与台槽。从总体来看, 以浅水碳酸盐沉积为主, 富含各种海洋生物, 包括营光合作用的钙藻。从串管海绵的生态环境来看, 其生长深度为 15~ 40 m。川东地下各井均出现或多或少的钙藻和海

绵类,足以说明其沉积深度。因此把川东晚二叠世长兴期沉积视为碳酸盐深缓坡,未必合适。

(2)在天东 10 井、铁山 5 井长兴组钻井剖面内,礁相沉积十分发育,是典型的海绵礁,其层位为长兴组二段。黄龙 1 井的层位也为长兴组二段,却仅见 0.4 m 的礁相。

(3)板东 4 井的礁相仅见于上部,下部的礁相厚度较薄。双 15 井的礁相发育于上部。整个卧龙河 117 井长兴组剖面,经再核实,只有下部或底部有很薄(2.8 m)的海绵骨架礁相,其他均为碳酸盐台地相沉积。它们的层位均为长兴组三段。云安 14 井的钻井剖面层位虽属于长兴组三段,但缺失礁相沉积。

(4)池 24 井长兴组钻井剖面层位较低,属于长兴组一段,礁相由海绵障积岩组成,其内灰泥较多。

(5)白云岩的原始沉积既可能是礁骨架岩,如天东 10 井、铁山 5 井,也可能是棘屑滩或碳酸盐台地沉积,如板东 4 井、卧龙河 117 井。

(6)川东礁相剖面中的白云岩以海水与淡水混合作用而成的白云石化为主导成因,但它们在深埋阶段以后,又遭受后期白云石化的叠加,因此又具深埋白云石化的地化特征。

致谢:在川东云台观察岩芯时,蒙孔金祥同志热情帮助与提供各种资料。川东钻探公司为作者观察岩芯、采集样品提供方便。吴熙纯同志借给不

少薄片,使本文的资料更趋完备。英国剑桥大学地质系 CASP 的郭丽博士与笔者深入讨论共同研究。对上述同志及单位,特致以真诚的感谢。

参 考 文 献

- 1 张继庆,李汝宁,官举铭,等.四川盆地及邻区晚二叠世生物礁[M].成都:四川科学技术出版社,1990.1~138
- 2 吴熙纯,刘效曾,杨仲伦,等.川东上二叠统长兴组生物礁控储层的形成[J].石油与天然气地质,1990,11(3):283~296
- 3 王生海,强子同.四川华蓥山涧水沟上二叠统生物礁[J].石油与天然气地质,1992,12(2):147~154
- 4 王运生,金以钟.四川盆地长兴期生物礁及礁型气藏[J].矿物岩石,1996,(2):62~69
- 5 曾伟,徐建斌,黄继祥,等.川东北地区长兴期生物礁结构分类及分布[J].沉积学报,1998,16(3):132~136
- 6 王一刚,张静,杨雨,等.四川盆地东部上二叠统长兴组生物礁气藏形成机理[J].海相油气地质,2000,5(1-2):145~152
- 7 沈安江,陈子料,寿建峰.相对海平面升降与中国南方二叠纪生物礁油气藏[J].沉积学报,1999,17(3):367~373
- 8 范嘉松,杨万容,闻传芬,等.四川重庆北碚老龙洞二叠纪生物礁[A].见:范嘉松,编.中国生物礁与油气[C].北京:海洋出版社,1996.170~244
- 9 陈洪德,覃建雄,王成善,等.中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J].沉积学报,1999,17(4):510~521
- 10 强子同,文应初,雷卞军,等.川东鄂西上二叠统生物礁白云石化岩石学和地球化学[J].地球化学,1992,(2):158~165
- 11 雷卞军,强子同,陈季高.川东上二叠统生物礁成岩作用与孔隙演化[J].石油与天然气地质,1991,12(4):364~375

RESTUDIES ON PERMIAN REEFS IN EASTERN SICHUAN, CHINA

Fan Jiasong Wu Yasheng

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing)

Abstract: Through the study of eight well cores from the Upper Permian reefs of Changxing stage in Eastern Sichuan, rocks from Tieshan-5 Well and Tiandong-10 well represent typical sponge reefs; rocks from Bandong-4 Well and Shuanglongchang-15 Well have not only the deposits of reef facies, but also crinoidal or echinoderm banks; rocks from Wolonghe-117 Well, Huanglongchang-1 Well and Yun'anchang-14 Well are mainly composed of carbonate platform deposits; rocks from Dachigan-24 Well consist of two types of reef facies: sponge framework reefs and sponge baffling reefs. Dolomites in the Permian reefs were formed of saline water mixed with fresh water during subaerial exposure of reefs above the sea level, then suffered late dolomitization during deeper burial stage, so they have evident geochemical characteristics of late dolomitization. The original deposits of these dolomites are of framework; not only they could be transformed by reef rocks, but also by those deposits of echinoderm banks, even common carbonate platform deposits. So in finding dolomite reservoirs of reef types, one should pay attention to find dolomite reservoirs formed of bank deposits as well as carbonate platform deposits.

Keywords: reefs; Permian; Eastern Sichuan; restudy