

川东南地区中二叠统茅口组沉积相特征

王俊轲, 闫春桥, 张钊益, 杜安业

成都理工大学能源学院, 四川 成都

收稿日期: 2025年1月8日; 录用日期: 2025年2月27日; 发布日期: 2025年3月6日

摘要

通过对川东南地区中二叠统茅口组钻井岩心、薄片、野外剖面、测井资料的综合分析, 结合前人研究, 重新梳理构建了研究区沉积相类型、分布特征及平面分布演化。川东南地区茅口组发育泥晶灰岩、生屑灰岩、泥质灰岩、硅质岩及白云岩等岩性, 在碳酸盐岩缓坡型台地沉积模式下沉积相可划分为外缓坡、中缓坡、内缓坡及开阔台地共4种。茅一段沉积初期, 川东南地区发生大规模海侵, 水体普遍较深, 主要发育中缓坡-外缓坡沉积, 受川中古隆起的影响, 局部发育低能生屑滩; 茅二下亚段沉积期, 沉积相继承了茅一段沉积特征, 中缓坡相呈北西向展布, 相较内缓坡水体较深, 滩体发育少; 茅二上亚段沉积期, 受构造-沉积分异作用的影响, 川东南地区沉积相由碳酸盐缓坡转变为开阔台地, 分布广泛, 高能生屑滩较发育; 茅三至茅四段沉积期, 沉积相延续了茅二上亚段地层的沉积模式, 仍为开阔台地相沉积, 沉积相带展布转变为北西-南东向, 台地内生屑滩继承茅二上亚段位置, 水体深度加大, 台地分布更加广泛。研究区茅口组沉积期受区域海平面升降、构造活动和沉积相类型的控制, 有利沉积相带主要发育在茅二上亚段沉积期, 高石梯-荷包场一带发育具有勘探价值规模性的高能生屑滩。

关键词

川东南地区, 中二叠统, 茅口组, 缓坡型台地, 沉积相

Sedimentary Facies Characteristics of the Middle Permian Maokou Formation in Southeastern Sichuan

Junke Wang, Chunqiao Yan, Zhaoyi Zhang, Anye Du

College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Received: Jan. 8th, 2025; accepted: Feb. 27th, 2025; published: Mar. 6th, 2025

Abstract

Based on the comprehensive analysis of drilling cores, thin sections, field profiles and logging data

文章引用: 王俊轲, 闫春桥, 张钊益, 杜安业. 川东南地区中二叠统茅口组沉积相特征[J]. 自然科学, 2025, 13(2): 221-230. DOI: 10.12677/ojns.2025.132023

of Middle Permian Maokou Formation in southeastern Sichuan, combined with previous studies, the types, distribution characteristics and plane distribution evolution of sedimentary facies in the study area are reorganized and constructed. There are micrite limestone, bioclastic limestone, argillaceous limestone, siliceous rock and dolomite in Maokou Formation in southeast Sichuan. Under the carbonate gentle slope platform sedimentary model, the sedimentary facies can be divided into four types: outer gentle slope, middle gentle slope, inner gentle slope and open platform. In the early stage of Mao-1 Formation, large-scale transgression occurred in the southeast of Sichuan, and the water body was generally deep, mainly developing moderate slope-outer gentle slope deposits. Due to the influence of the Middle Paleozoic uplift in Sichuan, low-energy bioclastic beaches developed locally. During the sedimentary period of the second lower member of Mao-2 Formation, the sedimentary facies inherited the sedimentary characteristics of the first member of Mao-2 Formation, and the middle gentle slope facies distributed in the northwest direction, which was deeper than the inner gentle slope water body and less developed beach body. During the sedimentary period of the upper sub-member of Mao-2 Formation, influenced by tectonic-sedimentary differentiation, the sedimentary facies in southeastern Sichuan changed from carbonate gentle slope to open platform, which was widely distributed and developed with high-energy debris beach. During the sedimentary period from Mao-3 to Mao-4 member, the sedimentary facies continued the sedimentary model of the upper sub-member of Mao-2, and it was still open platform facies deposition. The distribution of sedimentary facies belt changed to NW-SE, and the debris beach on the platform inherited the position of the upper sub-member of Mao-2, and the water depth increased and the platform was more widely distributed. The sedimentary period of Maokou Formation in the study area is controlled by regional sea level fluctuation, tectonic activity and sedimentary facies types, and the favorable sedimentary facies belt is mainly developed in the sedimentary period of the upper second member of Mao-2 Formation, high-energy bioclastic beach with exploration value is developed in Gaoshiti-Hebaochang area.

Keywords

Southeast Sichuan, Middle Permian, Maokou Formation, Gentle Slope Platform, Sedimentary Facies

Copyright © 2025 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

四川盆地中二叠统茅口组勘探开发油气的历程始于上世纪 50 年代, 于今已过 70 余年[1]-[3], 其作为海相烃源岩的重要发育层系, 至今对油气勘探仍具有重要意义。目前, 针对于川东南茅口组的油气勘探稳中向好, 其中 XT1 井、DS1 井、ST1、LT1 等钻井相继在不同层位钻遇工业气流[4] [5]。

为更深入的明确勘探有利区带, 前人对四川盆地及周缘中二叠统茅口组沉积相开展了较为详尽的研究, 但观点不一。主要认为其沉积时期继承了栖霞组台地相沉积环境[6]-[8], 经历了先快速海侵后缓慢海退的沉积过程, 整体为碳酸盐岩缓坡沉积环境, 兼具北东低及南西高的特点, 且由南西向北东, 沉积相依次为内缓坡、中缓坡、外缓坡以及斜坡-盆地相[9] [10]。除此外开阔台地沉积模式主要发育于茅三、茅四段, 由于构造沉积分异作用导致川东南地区广泛的开阔台地沉积展布, 而台地边缘相沉积集中于川西北地区[11] [12]。因此针对于川东南地区中二叠统茅口组沉积相特征的重新梳理及表征就显得尤为重要。

本文以茅口组碳酸盐岩缓坡型台地沉积模式为抓手, 通过对川东南地区茅口组的典型钻井观测、野

外剖面的实测以及镜下薄片鉴定等工作，立足于岩石学特征，聚焦沉积相特征研究，明确岩相古地理格局特征及其展布规律，为该区域进一步的油气勘探工作提供了基础地质资料。

2. 区域地质背景

四川盆地在大地构造上属于上扬子地台，盆地面积约 26 万 km²。四面环山，北面有龙门山岛链和大巴山古陆，向东北过渡到松潘 - 甘孜褶皱系，向西北过渡到秦岭造山带，南面靠近滇黔川鄂台褶区[13]-[15]，盆地按地理 - 构造属性可划分为五个构造带(图 1)，即川南帚状低陡褶皱带、川中鼻状低缓褶皱带、川北帽状低陡褶皱带、川东弧形高陡褶皱带和川西带状山前凹陷带。茅口组油气分布较广，除开川北地区低陡褶皱带外，其他四个构造带均有分布[6]，本文研究主体位于川东南地区近高陡褶皱带，聚焦于铁桥村、华蓥山等实测剖面，剖面出露较完整，分界清晰，古生物发育，观测方便。

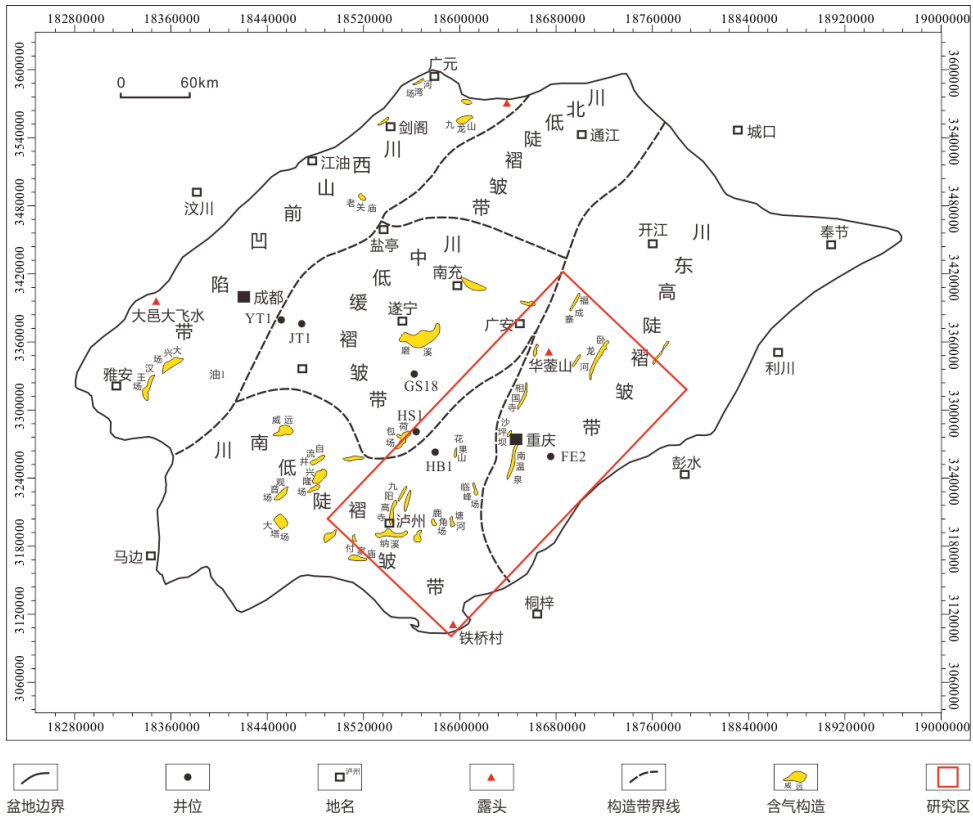


Figure 1. Structural division of Sichuan basin and natural gas discovery of Maokou Formation (According to the literature [15])

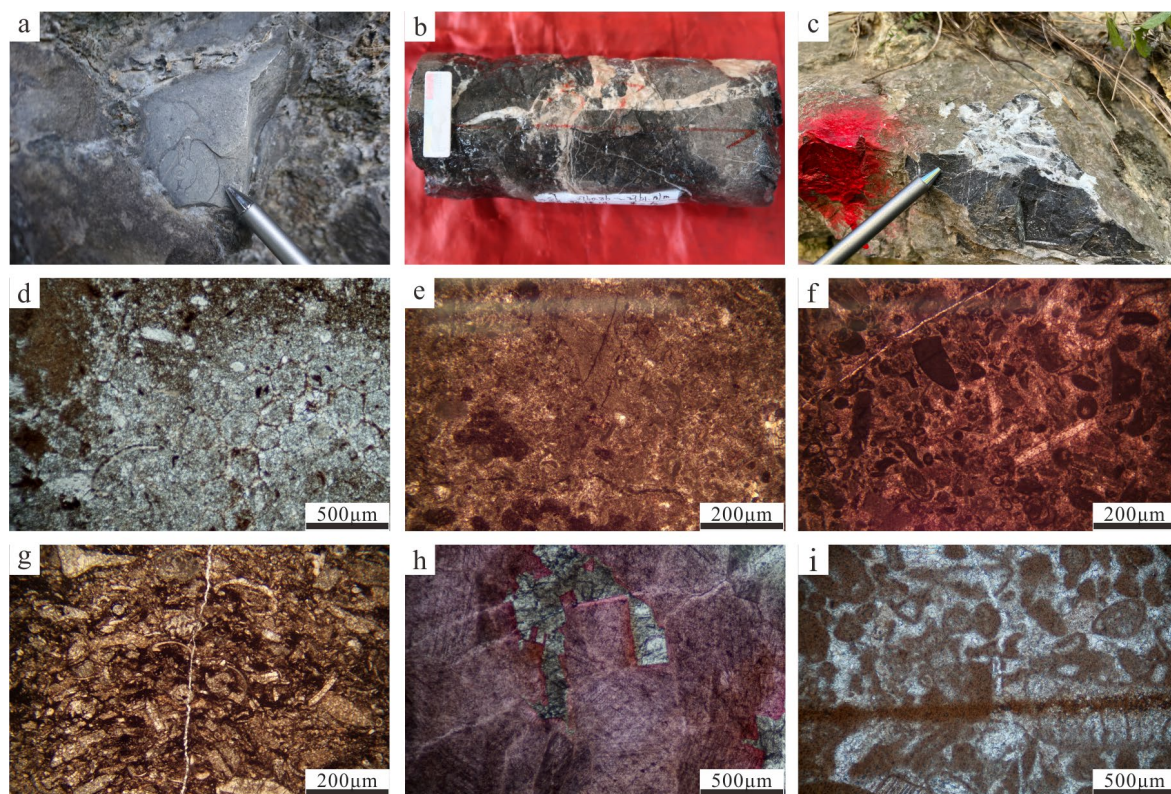
图 1. 四川盆地构造区划及茅口组天然气发现(据文献[15]修改)

3. 地层特征

受云南运动及峨眉地裂运动影响，在准平原化地貌背景之上，川东南地区茅口组为一套海相碳酸盐岩沉积地层，岩性以灰色、深灰色或灰黑色泥晶灰岩、泥晶或亮晶生物碎屑灰岩为主，夹有泥灰岩和泥页岩，含较多的燧石结核或条带，局部发育白云岩，形成有具备特色的灰岩 - 泥质灰岩韵律层[16]。

茅一段以灰黑色 - 深灰色泥质含量较高的灰岩为主，常发育灰岩 - 泥质灰岩互层的“眼皮眼球”瘤状灰岩(图 2(a))，镜下泥质、有机质及生屑发育(图 2(d)、图 2(g))，具一定烃源潜力，多为栖霞组和茅口组界线的标志层。茅二段以深灰色 - 灰色生屑泥晶灰岩为主(图 2(b))，泥质含量显著减少，生物碎屑含量

较茅一段发育(图 2(f)), 且在川东南地区茅二段上部地层发育有细 - 中晶白云岩及亮晶生屑灰岩(图 2(e)、图 2(h))。茅三段厚度较薄, 岩性上表现为泥质的含量渐少, 以灰色泥晶生屑灰岩为主(图 2(c)、图 2(i))。茅四段仅在川东南局部地区有所发育, 泥质含量增加, 主要发育泥晶灰岩和泥晶生屑灰岩, 常见硅质岩条带或结核。川东南地区茅一段受到古陆影响, 厚度较薄, 在 35~60 m, 向北东方向逐渐增厚, 厚度约在 140 m 左右。茅二段厚度均匀无构造变化, 地层厚度大多在 70~100 m [17]。结合前人针对于盆地内茅口组剥蚀量的相关论述[18], 发现茅三段到茅四段受东吴运动影响从北往南遭受剥蚀, 到茅四段盆地大部分地区被剥蚀, 仅局部残留茅四段地层。



(a) TQC-17, 茅一段, 泥质灰岩, 可见生物碎屑发育; (b) FT1 井, 茅二段, 生屑泥晶灰岩, 脉体发育; (c) TQC-56, 茅三段, 泥晶生屑灰岩, 见生物碎屑; (d) TQC-17-1, 茅一段, 泥晶生屑灰岩, 泥质充填晶间, $\times 5(-)$; (e) FT1-23-2, 茅二段, 亮晶生屑灰岩, $\times 5(-)$; (f) FT1-38-2, 茅二段, 泥晶生屑灰岩, 生物碎屑发育, $\times 5(-)$; (g) FT1-15-1, 茅一段, 泥质泥晶生屑灰岩, 泥质及有机质充填, $\times 5(-)$; (h) TQC-30-3b, 茅二段, 含云生屑粗晶灰岩, $\times 5(-)$; (i) TQC-56-5b, 茅三段, 微晶生屑灰岩, $\times 5(-)$

Figure 2. Thin plate of petrological characteristics in southern Sichuan

图 2. 川东南地区岩石学特征薄片图版

4. 茅口组沉积相特征

受区域海平面升降、区域构造活动以及碳酸盐缓坡型台地相模式的控制, 导致川东南地区茅口组沉积相、亚相及微相类型丰富, 主要沉积模式为碳酸盐缓坡与开阔台地(表 1)。研究认为茅一段至茅二下亚段沉积时海平面呈现下降趋势, 盆地内整体水体开始变迁, 最终形成以内缓坡、中缓坡及外缓坡为主的缓坡型沉积格局, 而茅二上亚段乃至茅四段沉积时水体相对变浅且稳定发育开阔台地沉积格局, 纵向上沉积多套滩体, 能量相对较强, 局部地区滩体厚度大, 岩性主要以生屑滩相沉积的生屑灰岩、生屑泥晶灰岩与滩间沉积的含泥泥晶生屑灰岩和生屑泥晶灰岩为主。

Table 1. Sedimentary facies division scheme of Maokou Formation in southeastern Sichuan
表 1. 川东南地区茅口组沉积相划分方案

沉积模式	相	亚相	微相	岩石类型
碳酸盐岩缓坡	外缓坡	风暴滩	生屑滩	泥晶生屑灰岩
		滩间洼地	-	含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩
		静水灰泥	瘤状灰泥	泥质泥晶生屑灰岩、泥晶灰岩
		风暴滩	生屑滩	泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩
	中缓坡	滩间洼地	-	含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩
		静水灰泥	瘤状灰泥	泥质泥晶生屑灰岩、泥晶灰岩
		颗粒滩	生屑滩	泥晶生屑灰岩、晶粒白云岩
		滩间洼地	-	含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩
	内缓坡	静水灰泥	瘤状灰泥	泥质泥晶生屑灰岩、泥晶灰岩
		台内滩	生屑滩	亮晶生屑灰岩
开阔台地	开阔海	台坪	灰坪	泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩
		滩间洼地	-	含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩

4.1. 沉积相类型及特征

根据冯增昭与刘宝珺教授按照结构类型把石灰岩分为颗粒 - 灰泥灰岩、晶粒灰岩、礁灰岩等[19]。再根据颗粒的类型和含量、灰泥的含量、生物碎屑的类型、基质类型等划分沉积微相等岩石学特征，对川东南地区进行了较为详细的沉积微相划分。

4.1.1. 外缓坡相

外缓坡风暴滩沉积相中主要沉积灰色 - 深灰色泥晶生屑灰岩，发育大量风暴沉积构造，呈低缓丘状，包括生物碎屑的不均匀分布、生物扰动等；生屑主要可见腕足、双壳类、有孔虫等，部分发育溶蚀孔(图 3(a))，反应水体能量较强。

外缓坡滩间洼地沉积相主要发育含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩，沉积环境能量中等，含泥生屑泥晶灰岩露头岩性较为致密，整体颜色较深，生物碎屑主要为腕足、有孔虫、双壳；生屑泥晶灰岩岩心颜色浅，较脆，主要为腕足、棘皮、有孔虫、腹足等生物，水体能量较弱(图 3(b))。

外缓坡静水灰泥沉积相主要发育泥质泥晶生屑灰岩、泥晶灰岩，生物以腕足、有孔虫为主，局部滑石发育，泥质含量增多，反应水体较深，能量较弱(图 3(c))。

4.1.2. 中缓坡相

中缓坡风暴滩主要发育深灰色 - 灰黑色泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩，由于风暴的偶发性，风暴滩多呈透镜状，在该风暴滩亚相上，可见生屑滩微相发育，整体水深比外缓坡风暴滩浅，位于风暴浪基面之上，其水体能量强于外缓坡风暴滩(图 3(d))。

中缓坡滩间洼地位于低洼区，发育含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩等岩性，主要以泥晶为主，整体颜色较深，镜下常见生屑，生屑少于外缓坡的滩间洼地，主要为腕足、棘皮、有孔虫、腹足等生物，水体能量较弱(图 3(e))。

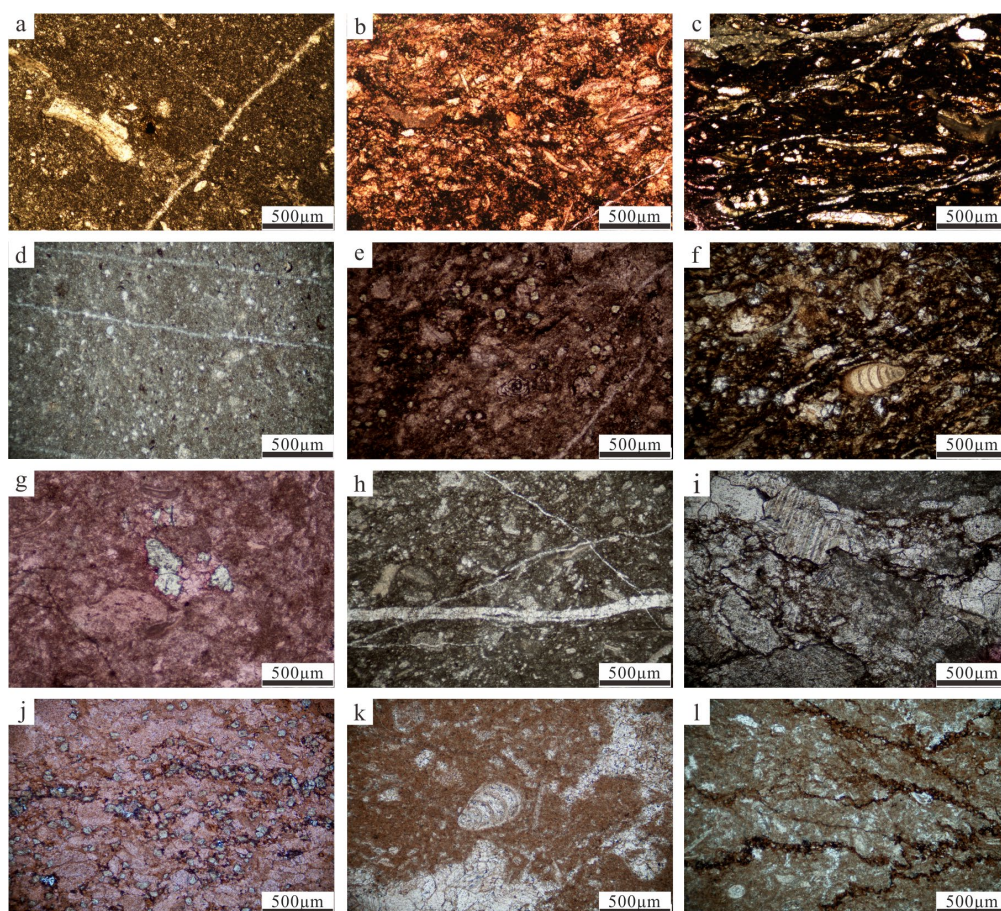
中缓坡静水灰泥主要发育泥质泥晶生屑灰岩、泥晶灰岩，水体处于较为安静的环境，泥质含量相对增多，可见生物滑石化(图 3(f))。

4.1.3. 内缓坡相

内缓坡的颗粒滩多沉积浅灰-灰色泥晶生屑灰岩,以细粒沉积为主,生屑滩多发育,生屑含量较高,常见的生屑为腕足、介形虫、蜓、藻类等,镜下常见方解石脉体胶结,部分地区还可见到白云石化现象,该时期周期性被海水淹没,水体能量较高(图 3(g))。

内缓坡滩间洼地靠近陆地一侧,水动力具有间歇性特征,发育灰色厚层泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩,可见生屑,部分生屑保存完整,反应水体浅,能量较低(图 3(h))。

内缓坡静水灰泥可见瘤状灰泥沉积微相,发育灰-深灰色中厚层-块状含泥泥晶生屑灰岩、泥晶灰岩,生屑较发育,水体较为安静(图 3(i))。



(a) HYS-1-1, 茅一段, 泥晶生屑灰岩, 见腕足、有孔虫等生物碎屑发育, 不均匀分布, $\times 5(-)$; (b) HYS-5-1, 茅一段, 含泥泥晶生屑灰岩, 生屑较发育, 局部见滑石, $\times 5(-)$; (c) HYS-7-1, 茅一段, 泥质泥晶生屑灰岩, 泥质含量较多与有机质充填晶间, 生屑发育, $\times 5(-)$; (d) TQC-19-4, 茅一段, 生屑泥晶灰岩, 生屑不均匀破裂发育, $\times 5(-)$; (e) TQC-30-2b, 茅二段, 含泥含云生屑泥晶灰岩, 生屑少量发育, 见白云石化, $\times 5(-)$; (f) TQC-25-4b, 茅二段, 泥质泥晶生屑灰岩, 生屑发育, 生屑滑石化, $\times 5(-)$; (g) HYS-21-1, 茅二段, 含云泥晶生屑灰岩, 见白云石化, 生屑较发育, $\times 5(-)$; (h) HYS-22-2, 茅二段, 含泥泥晶生屑灰岩, 泥质充填晶间, 裂缝及脉体发育, $\times 5(-)$; (i) HYS-25-5, 茅二段, 泥质生屑微晶灰岩, 泥质充填裂缝及晶间, $\times 5(-)$; (j) TQC-50-2b, 茅二段, 云质生屑泥晶灰岩, 白云石发育, $\times 5(-)$; (k) TQC-52-5b, 茅三段, 生屑泥晶灰岩, 有孔虫生屑保存完整, $\times 5(-)$; (l) TQC-55-2b, 茅三段, 含泥生屑泥晶灰岩, 裂缝充填泥质, 生屑较发育, $\times 5(-)$

Figure 3. Petrological characteristics of sedimentary facies of Maokou formation in Southeast Sichuan
图 3. 川东南地区茅口组沉积相岩石学特征图版

4.1.4. 开阔台地相

开阔台地台内滩沉积浅灰、灰白色厚层-块状亮晶生屑灰岩,生物颗粒多为有孔虫、藻类、棘皮和腕足类等,后期接受过白云石化作用改造,形成含云泥晶生屑灰岩、云质泥晶生屑灰岩和晶粒白云岩,晶间孔、晶间溶孔和粒间溶孔发育,该亚相主要分布于开阔台地局部地貌高地上,海水通畅,透光性好,水体能量较高(图 3(j))。

开阔台地台坪主要发育浅灰色中-厚层状泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩,该沉积环境盐度基本正常、水体连通性较好,适合大多数底栖生物生长,生物碎屑较为发育,水体较浅,水体能量低于台内滩(图 3(k))。

开阔台地滩间洼地沉积含泥泥晶生屑灰岩和生屑泥晶灰岩,生物颗粒为原地堆积的藻类、有孔虫、腹足、棘皮和介形虫等,个体保存较好,该亚相发育在生屑滩之间低于浪基面的低地,沉积时海水较深,能量小,沉积物粒度细(图 3(l))。

综上所述,通过统计对比各沉积相生屑含量及孔隙度等参数可发现,外缓坡相生物碎屑含量较高且分布不均可达 15%~45%,生物种类多样,发育低能生屑滩,但孔隙度较低在 0.5%~1.5%之间,均值为 0.7%;中缓坡相生物碎屑含量较外缓坡相降低在 5%~25%,在局部地貌高部位发育低能生屑滩,孔隙度低分布在 0.5~2.0%之间,均值为 1.3%;内缓坡相生物含量较中缓坡相增加至 10%~40%,在地貌高点局部发育具勘探潜力的高能生屑滩,孔隙度较好为 2.1~3.8%,均值为 2.6%;而开阔台地相生物含量发育于 15%~40%,于茅二上亚段地貌高地发育大量高能生屑滩,孔隙度较好为 2.0%~4.6%,均值为 2.9%(图 4(a)、图 4(b))。

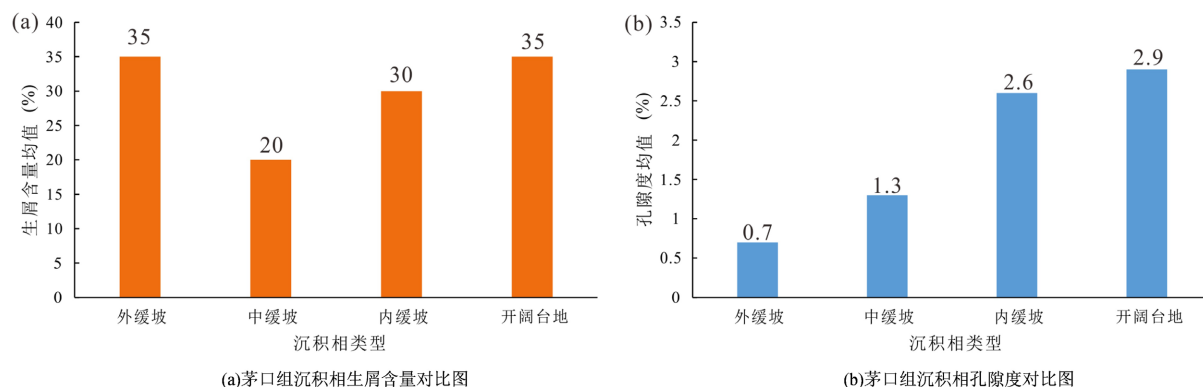


Figure 4. Comparison of detritus content and porosity in sedimentary facies of Maokou Formation in southeastern Sichuan
图 4. 川东南地区茅口组沉积相生屑含量及孔隙度对比图

4.2. 沉积相对比

基于上文的各类沉积相岩石学及古生物学特征,促使针对于沉积相连井的进一步分析,利用伽马及电阻率等不同测井相指标变化特征能更加刻画沉积相演变特征。分析由西东走向的 DYDFS-YT1-JT1-GS18-HS1-HB1-FE2 井茅口组沉积相连井展布图,自西向东水体深度渐增。茅一段沉积时,普遍海侵使盆地内水体较栖霞组整体变深,形成缓坡型沉积,由西向东逐渐由中缓坡沉积相过渡为外缓坡沉积相,伽马值较高可达 25~90 API,整个茅一段未见高能滩体发育;茅二段较茅一段水体变浅,茅二下亚段由西向东由内缓坡沉积相过渡为中缓坡沉积相,受古隆起影响,生屑滩主要发育在近川东南地区,连续性好,横向展布广,厚度薄约 5 m;茅二上亚段水体深度横向变化小,整体都为开阔台地相沉积,滩体仅发育在位于近川东南的 GS18 井,滩体厚度较茅二下亚段稍减薄达 4 m;茅三段整体也为开阔台地相,见生屑滩发育于 GS18、HS1 井,厚度达 4 m。从单井测井相来看,滩体发育段伽马值普遍较低(分布在 10~30 API),电阻率曲线为箱型,电阻率值高,从连井展布特征来看,茅二上亚段-茅三段局部发育的生屑滩受继承

性古地理高点控制(图 5)。

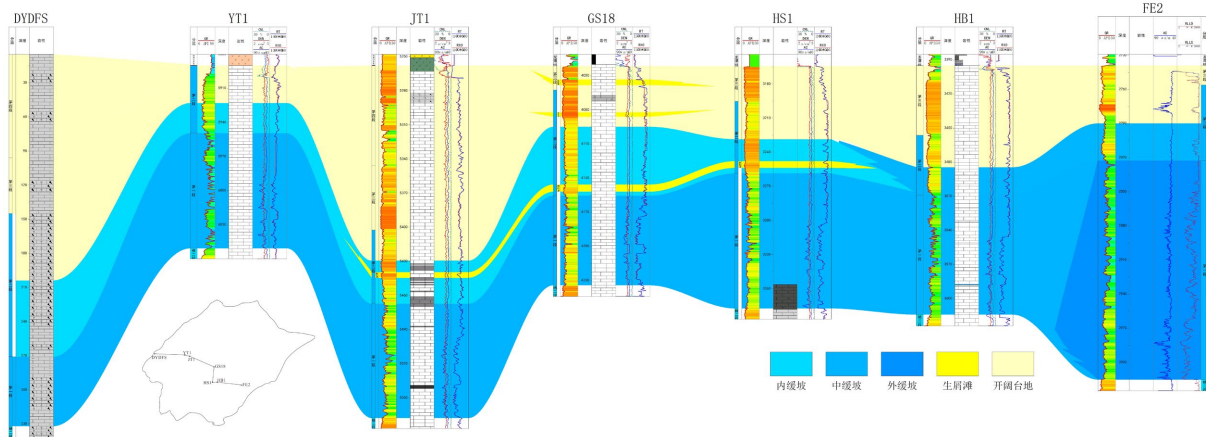


Figure 5. Distribution of sedimentary connected wells in Maokou Formation of Well DYDFS-YT1-JT1-GS18-HS1-HB1-FE2
图 5. DYDFS-YT1-JT1-GS18-HS1-HB1-FE2 井茅口组沉积相连井展布

5. 岩相古地理特征

通过对茅口组野外剖面实测、大量野外露头沉积相及镜下岩石薄片观察等,研究区相关研究层位沉积相标志中岩石学及生物标志较为明显,可明确指示相应沉积相,岩石类型主要为灰岩类,其次为泥页岩类、白云岩类与硅质岩,生物要发育有孔虫、苔藓虫、腕足、钙藻、双壳、介壳等异养生物。

茅一段沉积时期,四川盆地经历了一次大规模的海侵,该时期古地貌仍为西高东低,但已不如栖霞期那么明显,盆地水体由东向西逐渐变浅,为中二叠世相对海平面最高时期,且持续时间较长,并经历了反复海侵的过程[11]。因此,其沉积相与栖霞组相比也发生了较大的变化,水体普遍较深,在川东南地区主要发育中缓坡-外缓坡相,沉积物供给及建造方面,主要为古海水环境下自然沉积沉降的碳酸盐岩,发育以富含泥质的深灰色泥晶生物碎屑灰岩,泥质生物碎屑灰岩及钙质泥岩。茅一段发育中-外缓坡沉积相,滩体发育减少,外缓坡上基本不发育滩体,滩体集中发育在中缓坡上。

茅二下亚段沉积时期,四川盆地继承有茅一段沉积相带特征,主要发育内缓坡、中缓坡沉积相,因海平面上升致沉积水体由西东有渐深的趋势变化,川东南地区主要发育中缓坡相,缓坡展布方向为北西向。中缓坡沉积相较内缓坡沉积相水体更深,沉积物供给及建造方面以泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩、(含)泥质生屑泥晶灰岩、泥晶灰岩为主,富含腕足、双壳、有孔虫、介形虫等生屑碎屑,镜下可见硅化现象和少量白云石化现象,次生溶孔较发育,多被充填,整体上看,中缓坡沉积相滩体发育较少,仅见少量岩性为泥晶生屑灰岩或生屑泥晶灰岩、晶粒白云岩的生屑滩,厚度较薄。

茅二上亚段沉积时期,受沉积-构造分异作用影响,沉积格局较茅二下亚段发生转变,由缓坡沉积相过渡为开阔台地沉积相,由西南向东北,水体深度呈现渐增的趋势[20] [21],但整体海平面相对下降。开阔台地相在茅二上亚段分布广泛,水体浅,沉积物供给及建造方面,岩性特征丰富,主要为泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩、含泥泥晶生屑灰岩、亮晶生屑灰岩、晶粒白云岩,生屑种类丰富,主要为腕足、蜓类、棘皮、藻类,亮晶生屑灰岩因水体能量高,生屑大多呈破碎状,水体能量相对较低的滩间洼地微相中生屑保存较完整,整体上来看,开阔台地相生屑滩发育,分布广泛,连续性较好,近东南方向的生屑滩岩性主要为生屑灰岩,总体上来说,川东南地区发育的生屑滩大多围绕着茅二上亚段古地理高点(如近高石梯-荷包场一带),开阔台地发育的生屑滩,特别是岩性为晶粒白云岩的高能生屑滩,可作为四川盆地茅二上亚段有利沉积相带。

四川盆地茅三及茅四段延续了茅二上亚段地层的沉积模式, 仍为开阔台地相沉积, 沉积相带展布为北西向, 由西南向东北, 水体深度呈现渐增的趋势, 海平面存在一个小幅度升降过程。茅三段的开阔台地沉积范围相较于茅二上亚段向川北方向推移了一定距离, 分布面积变广。茅三段的开阔台地沉积物供给及建造与茅二上亚段地层类似, 主要为泥晶灰岩、泥晶生屑灰岩、含泥泥晶生屑灰岩、生屑泥晶灰岩、亮晶生屑灰岩, 生物种类多样, 腕足、有孔虫、介形虫等生屑发育, 镜下可见白云石化和硅化现象, 开阔台地高能生屑滩数量较茅二上亚段地层少, 但单个生屑滩的分布范围更广, 整体来看, 茅三段的高能生屑滩分布受到茅二上亚段地层古地理高点的控制, 基本继承了茅二上亚段地层的高能生屑滩位置。而茅四段地层因受东吴运动隆升作用影响, 在川东南地区基本未发育, 不能形成大规模的有利沉积相带。

总的来说, 川南地区茅口组沉积相演变主要受海平面变化、构造沉积分异以及沉积物供给及建造控制, 川东南地区从茅一段沉积期开始区域相对海平面上升, 在茅一段上部达到顶点后开始缓慢下降, 在茅二下亚段顶部下降到最低。茅二上亚段底部区域相对海平面突然上升后开始下降, 直至茅口组沉积结束, 在这个下降过程中茅三段沉积期还存在一个小幅度的升降过程。且在古海水环境中灰岩、泥质灰岩、泥岩及白云岩等沉积物供给及建造基础上, 沉积展布受川中古隆起、东吴运动隆升及构造沉积分异作用影响, 在多层系地貌高地发育高能生屑滩, 有利勘探区带集中发育高石梯-荷包场一带。

6. 结论

1) 受云南运动及峨眉地裂运动影响, 在准平原化地貌背景之上, 川东南地区茅口组为一套海相碳酸盐岩沉积地层, 沉积物供给及建造方面, 主要为古海水环境下自然沉积沉降的碳酸盐岩, 发育灰色、深灰色或灰黑色泥晶灰岩、泥晶或亮晶生物碎屑灰岩, 夹有泥灰岩和泥页岩, 含较多的燧石结核或条带, 局部发育白云岩, 形成有具备特色的灰岩-泥质灰岩韵律层。

2) 茅一段沉积初期, 川东南地区发生大规模海侵, 水体普遍较深, 主要发育中缓坡-外缓坡沉积, 受川中古隆起的影响, 局部发育低能生屑滩; 茅二下亚段沉积期, 沉积相继承了茅一段沉积特征, 中缓坡相呈北西向展布, 相较内缓坡水体较深, 滩体发育少; 茅二上亚段沉积期, 受构造-沉积分异作用的影响, 川东南地区沉积相由碳酸盐缓坡转变为开阔台地, 分布广泛, 高能生屑滩较发育; 茅三至茅四段沉积期, 沉积相延续了茅二上亚段地层的沉积模式, 仍为开阔台地相沉积, 沉积相带展布转变为北西-南东向, 台地内高能生屑滩继承茅二上亚段位置, 水体深度加大, 台地分布更加广泛。

3) 川东南地区茅口组沉积时期为碳酸盐岩缓坡型台地模式。川东南地区茅一段至茅二下亚段沉积时多发育中缓坡-外缓坡相, 水体能量较低, 至茅二上亚段-茅三段时期海退, 纵向上发育多套生屑滩体, 能量相对较强, 为有利相带沉积地层, 有利勘探区带集中发育高石梯-荷包场一带。

参考文献

- [1] 马永生, 何登发, 蔡勋育, 等. 中国海相碳酸盐岩的分布及油气地质基础问题[J]. 岩石学报, 2017, 33(4): 1007-1020.
- [2] 汪泽成, 江青春, 黄士鹏, 等. 四川盆地中二叠统茅口组天然气大面积成藏的地质条件[J]. 天然气工业, 2018, 38(1): 30-38.
- [3] 黄士鹏, 江青春, 冯庆付, 等. 川南地区中二叠统茅口组岩溶储集层类型与分布规律[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(2): 281-289.
- [4] 李蓉, 宋晓波, 苏成鹏, 等. 川南威远地区二叠系茅口组一段泥灰岩储层特征及其发育主控因素[J]. 石油实验地质, 2024, 46(5): 1028-1038.
- [5] 杨柳, 朱亚东, 刁永波, 等. 基于新地震地质解释模式的川南荷包场地区茅口组油气地质条件再认识[J]. 天然气地球科学, 2024, 35(3): 529-541.
- [6] 郝毅, 姚倩颖, 田瀚, 等. 四川盆地二叠系茅口组沉积特征及储层主控因素[J]. 海相油气地质, 2020, 25(3): 202-

209.

- [7] 胡安平, 潘立银, 郝毅, 等. 四川盆地二叠系栖霞组、茅口组白云岩储层特征、成因和分布[J]. 海相油气地质, 2018, 23(2): 39-52.
- [8] 唐雪松, 谭秀成, 刘宏, 等. 四川盆地东部中二叠统茅口组白云岩及云质硅岩储层特征与发育规律[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 731-743.
- [9] 罗鹏, 李国蓉, 施泽进, 等. 川东南地区茅口组层序地层及沉积相浅析[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2): 74-78, 139.
- [10] 李大军, 陈辉, 陈洪德, 等. 四川盆地中二叠统茅口组储层形成与古构造演化关系[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 756-756.
- [11] 杨帅, 陈安清, 张玺华, 等. 四川盆地二叠纪栖霞——茅口期古地理格局转换及勘探启示[J]. 沉积学报, 2021, 39(6): 1466-1477.
- [12] 王斌, 宋金民, 刘树根, 等. 川西地区中二叠统茅口组二段白云岩类型与成因模式[J]. 石油学报, 2024, 45(12): 1743-1760.
- [13] 翟光明, 主编. 中国石油地质志(卷十)——四川油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989: 1-501.
- [14] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 上海: 地质出版社, 1992: 1-128.
- [15] 张培先, 何希鹏, 高全芳, 等. 四川盆地东南缘二叠系茅口组一段页岩气藏地质特征及富集模式[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(1): 146-157.
- [16] 刘瑾, 夏文谦, 李晶晶, 等. 川东南地区茅一段储层特征分析[J]. 科技通报, 2019, 35(7): 26-32.
- [17] 张宇, 曹清古, 罗开平, 等. 四川盆地二叠系茅口组油气藏勘探发现与启示[J]. 石油与天然气地质, 2022, 43(3): 610-620.
- [18] 江青春, 胡素云, 姜华, 等. 四川盆地中二叠统茅口组地层缺失量计算及成因探讨[J]. 天然气工业, 2018, 38(1): 21-29.
- [19] 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 1996(2): 3-12.
- [20] 曹华, 山述娇, 田辰, 等. 川东-川北地区二叠系茅口组沉积演化及其油气地质意义[J]. 石油实验地质, 2024, 46(3): 460-471.
- [21] 李龙龙, 罗开平, 刘栩, 等. 晚古生代构造——沉积分异对四川盆地二叠系多类型气藏的控制作用[J]. 石油实验地质, 2023, 45(1): 60-71.