

浅滩碳酸盐岩发育镶边台地的沉积约束

——川东北镇巴地区寒武统龙王庙组为例

苏培嘉, 张小兵

成都理工大学能源学院(页岩气现代产业学院), 四川 成都

收稿日期: 2024年11月29日; 录用日期: 2025年1月6日; 发布日期: 2025年1月14日

摘要

目前资料表明, 川东北镇巴地区下寒武统龙王庙组储层发育与川中地区存在较大的差异, 且关于川北地区寒武系储层研究较少。文中以川东北镇巴地区龙王庙组野外露头剖面为研究对象, 利用野外勘测、岩石样品等资料, 探讨了镇巴地区下寒武统龙王庙组的沉积相类型及特征, 并结合前人资料分析镇巴地区下寒武统龙王庙组沉积模式及川北地区下寒武统龙王庙组平面展布规律。得出以下几个认知: 1) 镇巴地区下寒武统龙王庙组发育台地边缘和斜坡2种沉积相带, 并根据岩性特征、沉积构造、岩层厚度等多方面因素, 将进一步细分为台缘滩、滩间海、上斜坡、下斜坡等4种次相; 2) 川北地区下寒武统龙王庙组砂屑滩主要发育于剖面上部, 且在镇巴地区捞旗河与星子山剖面存在明显厚度差异具有坡度明显变陡的沉积特征, 根据前人总结沉积相展布规律, 认为镇巴地区下寒武统龙王庙期的沉积环境由碳酸盐缓坡转变为镶边碳酸盐台地。

关键词

沉积相类型, 浅滩, 镶边台地, 龙王庙组, 镇巴地区

Sedimentary Constraints of Rimmed Platform Developed in Shoal Carbonate Rocks

—The Cambrian Longwangmiao Formation in Zhenba Area of Northeastern Sichuan as an Example

Peijia Su, Xiaobing Zhang

College of Energy (College of Modern Shale Gas Industry), Chengdu University of Technology,
Chengdu Sichuan

Received: Nov. 29th, 2024; accepted: Jan. 6th, 2025; published: Jan. 14th, 2025

文章引用: 苏培嘉, 张小兵. 浅滩碳酸盐岩发育镶边台地的沉积约束[J]. 地球科学前沿, 2025, 15(1): 22-31.
DOI: 10.12677/ag.2025.151003

Abstract

The current data show that the reservoir development of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in Zhenba area of northeastern Sichuan is quite different from that in central Sichuan, and there are few studies on the Cambrian reservoirs in northern Sichuan. In this paper, the outcrop section of Longwangmiao Formation in Zhenba area of northeastern Sichuan is taken as the research object. The types and characteristics of sedimentary facies of Longwangmiao Formation of Lower Cambrian in Zhenba area are discussed by means of field survey and rock samples. Combined with previous data, the sedimentary model of Longwangmiao Formation of Lower Cambrian in Zhenba area and the plane distribution law of Longwangmiao Formation of Lower Cambrian in northern Sichuan are analyzed. The following conclusions are drawn: 1) Two sedimentary facies belts, platform margin and slope, are developed in the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in Zhenba area. According to the lithological characteristics, sedimentary structure, rock thickness and other factors, they are further subdivided into four sub-facies: platform margin beach, inter-beach sea, upper slope and lower slope. 2) The lower Cambrian Longwangmiao Formation in the northern Sichuan area is mainly developed in the upper part of the section, and there is a significant thickness difference between the Laoqihe and Xingzishan sections in the Zhenba area. The sedimentary characteristics of the slope are obviously steeper. According to the previous summary of the distribution of sedimentary facies, it is considered that the sedimentary environment of the lower Cambrian Longwangmiao period in the Zhenba area is changed from carbonate gentle slope to rimmed carbonate platform.

Keywords

Sedimentary Facies Type, Shoal, Rimmed Platform, Longwangmiao Formation, Zhenba Area

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

近年来,在四川盆地寒武系碳酸盐岩地层中已经取得了油气重大突破,震旦系-寒武系深层古老碳酸盐岩天然气具有巨大勘探的潜力。目前已经基本落实了 $2 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的天然气储量[1]。其中2005年,四川盆地威远地区龙王庙组储层工业气流产出,并在2012年,发现了当时国内最大的单体海相整装天然气藏——威远气藏。随着龙王庙组成为油气地质界的勘探热点,关于四川盆地寒武系龙王庙组的研究也逐渐增多,但对龙王庙的岩相特征和沉积模式一直存在争议。

第一种观点为碳酸盐岩缓坡沉积模式,认为上扬子及其邻区由于缺乏造礁生物,应处于碳酸盐岩台地生长阶段的初期,是一个较为典型的缓坡型台地[2]-[4]。第二种观点认为龙王庙组时期上扬子地区局限台地宽广、开阔台地狭窄,发育台地边缘和台缘斜坡,据此提出了龙王庙期上扬子地区的沉积模式为碳酸盐岩镶边台地[5]-[14]。但其中缓坡沉积模式,生物丘不规则分布在内缓坡与浅缓坡之间及无法总结出颗粒滩沉积相带的分布规律,而碳酸盐岩台地模式无法划分斜坡沉积相。因此也有学者提出了龙王庙组沉积时期经历了从早起的碳酸盐岩缓坡沉积逐渐演化为碳酸盐岩镶边台地的过程[15]。

目前关于四川盆地龙王庙组储层的研究成果主要以川中地区龙王庙组储层为研究对象,仅有部分研究对象为整个四川盆地,对盆地周缘地区龙王庙组岩性特征和沉积模式的认识尚存诸多不明朗之处。鉴

于此, 针对川北地区下寒武统龙王庙组的相关研究整体比较滞后的现状, 本文以川东北镇巴地区龙王庙组为研究对象, 通过分析岩相古地理特征, 分析该地区龙王庙组的沉积相类型及特征, 建立了该套地层沉积演化模式, 恢复了早寒武世龙王庙期古构造格局, 探讨了镶边台地与沉积特征的关系, 以期得出镶边台地沉积约束的相关结论, 为四川盆地周缘地区龙王庙组油气勘探提供地质资料及理论依据。

2. 区域地址概况

本文研究区为位于上扬子地块北缘的陕西镇巴地区, 处于四川盆地与秦岭–大别山造山带的过渡区, 东侧为大巴山前陆褶皱带, 西侧为汉南隆起–米仓山复合构造带(图 1)。

由于四川盆地的构造古地理格局具继承性, 四川盆地寒武纪延续了震旦纪末期的沉积格架, 先隆升剥蚀后沉积。早寒武世筇竹寺期, 上扬子地区发生大规模海侵, 盆地整体下沉, 沉降的同时伴有兴凯运动带来的强烈拉张作用, 因此大部分地区演变为陆棚沉积环境, 形成了北西高、南东低的构造格局[16]。至早寒武世龙王庙期, 海平面经历了缓慢的降低过程, 导致盆地沉积环境由缓坡台地逐渐演变为以碳酸盐岩为主的镶边台地。受海平面变化的影响, 龙王庙期经历了快速海进–缓慢海退的沉积过程, 龙王庙期发育碳酸盐台地, 整体水体相对较浅, 物源受益地川中古隆起和北部汉南古陆的影响, 沉积物中陆源碎屑较多, 由下至上沉积水体变浅, 沉积物粒度变粗, 研究区内沉积物主要为颗粒灰岩、颗粒白云岩、泥–粉晶灰岩和泥–粉晶白云岩等[17]。

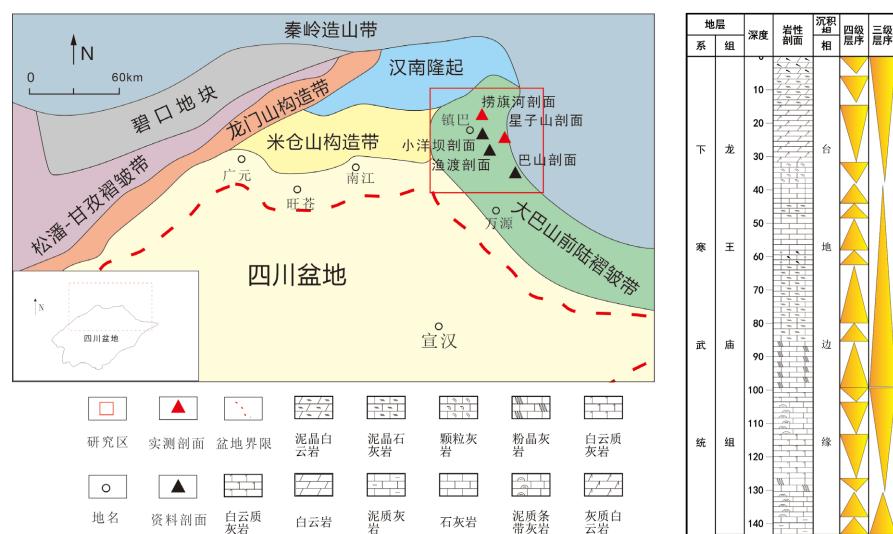


Figure 1. The structure of Sichuan Basin and the stratigraphic feature map of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation (modified according to literature [3])

图 1. 四川盆地构造及下寒武统龙王庙组地层特征图(据文献[3]修改)

3. 沉积识别标识

3.1. 岩性特征

3.1.1. 白云岩类

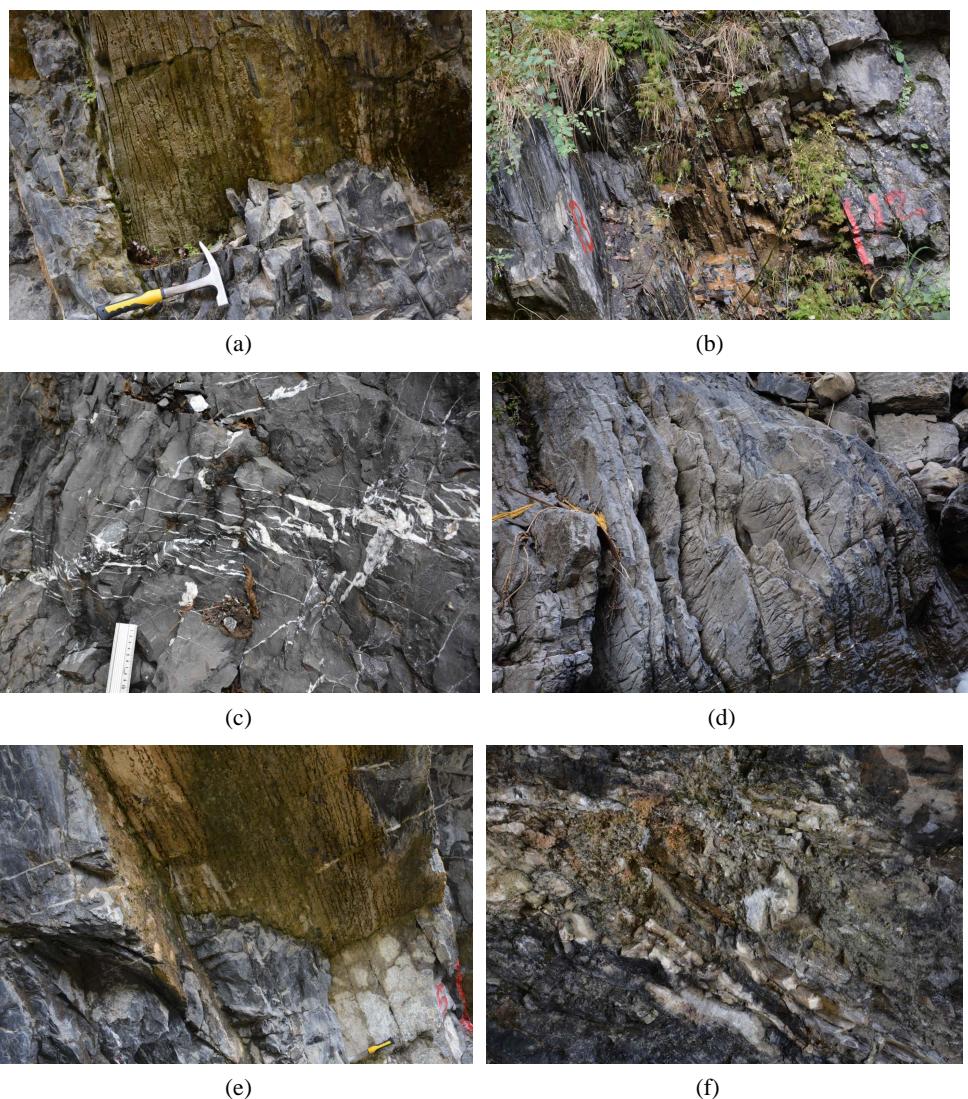
研究区寒武系龙王庙组白云岩主要有颗粒白云岩和晶粒白云岩。颗粒白云岩磨圆程度较好, 颗粒通常表现为砂屑, 部分颗粒及颗粒间发现充填方解石等, 据此可推测在成岩阶段发生了一定的白云石化、重结晶等成岩作用。此类岩性一般形成于水体活跃的沉积环境, 在局限台地的滩体沉积环境比较常见。晶粒白云岩包括泥晶白云岩、粉晶白云岩, 该类岩性通常出现在局限台地内水体相对较低的沉积环境。

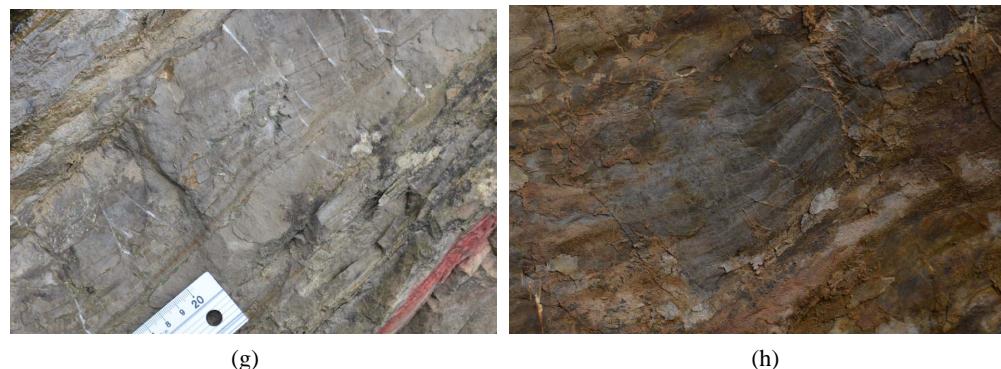
3.1.2. 灰岩类

灰岩是研究区内最常见的岩性，主要为砂屑颗粒灰岩和泥晶颗粒灰岩。颗粒灰岩成为主要由颗粒及充填物组成，根据不同充填物可细分为砂屑颗粒灰岩和泥晶颗粒灰岩两类。此类岩石类型一般形成于内水动力较强的浅水滩沉积环境中；泥晶颗粒灰岩的充填物为粒度更小的泥晶方解石，颗粒类型通常为砂屑，根据研究表明，泥晶颗粒灰岩沉积环境一般为相对低能的浅水滩。

3.2. 沉积构造

根据剖面实测数据发现，星子山剖面台缘滩亚相的厚度比捞旗河小，且整套龙王庙组也变薄了，结合四川盆地早寒武世龙王庙期从北至南水体加深的古地理构造格局，加上滩与滩间海之间的叠置作用，可以大胆猜测镇巴地区是存在斜坡相，并从柱状图(图 1)中能看出岩层的泥质含量是明显增多的。且在捞旗河剖面上部出现岩性由泥-粉晶白云岩突变为砂屑灰岩，这种现象代表在沉积时期水动力较强，表现为岩性突变界面。在研究区实测的 2 条龙王庙组剖面中多次出现层理构造，包括斜层理(图 2(a))、波状层理(图 2(g))，表现出水动力较强的沉积特征；在剖面下部有部分薄层状的灰岩与泥岩互层(图 2(e))，呈现出泥质条带状灰岩的岩性，代表沉积环境相对较深、水动力较低。





(a) 斜层理沉积构造, 捞旗河剖面; (b) 含泥钙质砂岩, 捞旗河剖面; (c) 灰岩中见雁列状方解石填充, 捞旗河剖面; (d) 见刀砍纹典型白云岩特征, 捞旗河剖面; (e) 泥质条带状灰岩, 渣拉沟剖面; (f) 含砂屑灰岩, 星子山剖面; (g) 浅色灰岩夹条带状泥岩, 星子山剖面; (h) 泥岩见波痕, 星子山剖面。

Figure 2. Typical outcrop photos of sedimentary facies of Lower Cambrian Longwangmiao Formation in northern Sichuan Basin

图 2. 四川盆地北部下寒武统龙王庙组沉积相典型露头照片

4. 沉积相类型及特征

本次研究综合镇巴地区小洋坝、渔渡坝、巴山等剖面数据[5][8], 结合捞旗河、星子山野外露头剖面踏勘实测数据, 详细分析了野外露头剖面的岩性特征、沉积构造等沉积相识别标志, 并参考牟川龙关于相的命名, 运用相、亚相、次相、微相的概念[18], 根据四川盆地在早寒武世龙王庙时期展现出碳酸盐岩台地的古地理环境, 建立了镇巴地区龙王庙组时期的沉积环境划分方案(表 1), 将其沉积环境划分为开阔台地、台地边缘以及斜坡沉积亚相; 并进一步将开阔台地相细分为台内滩与台内海两个次相, 其中台内滩亚相主要发育砂屑滩微相, 台内海次相主要发育滩间、洼地等微相; 台地边缘亚相被细分为台缘滩次相和滩间海次相, 台缘滩发育砂屑滩微相, 滩间海发育滩间微相; 斜坡亚相细分为上斜坡次相和下斜坡次相。

Table 1. Division scheme of sedimentary facies of Cambrian Longwangmiao in Zhenba area

表 1. 镇巴地区寒武系龙王庙沉积相划分方案

相	亚相	次相	微相	主要岩性	发育剖面
镶边碳酸盐台地	台地边缘	台缘滩	砂屑滩	颗粒灰岩、晶粒灰岩及、灰质白云岩	捞旗河剖面、
		滩间海	泥灰质浅海	泥晶灰岩、泥晶白云岩、粉晶灰岩、泥质条带灰岩	星子山剖面、巴山剖面
	斜坡	上斜坡 下斜坡	颗粒质斜坡 泥灰质斜坡	粉晶白云岩、粉晶颗粒灰岩 泥岩、泥质条带灰岩、泥质灰岩、含泥灰岩及泥云岩	捞旗河剖面、星子山剖面

4.1. 台地边缘亚相

台地边缘相为浅水台地与深水斜坡之间坡折部分, 是波浪和潮汐作用改造强烈的高能地带, 研究区内主要发育的沉积次相, 常伴有白云化现象, 且随着剖面往上, 白云化现象越显著。关于龙王庙组缓坡台地和碳酸盐岩镶边台地在沉积模式上的差异主要表现在 2 个方面: 首先, 观察目标地层是否存在显著的增厚现象; 其次, 观察沿斜坡带朝向台地一侧是否发育有大规模且连续的礁滩相沉积[8]。

作者认为四川盆地及周边龙王庙组发育台地边缘相带, 有 2 方面的证据: ① 由台地向盆地方向有明显的坡折, 在镇巴捞旗河与星子山剖面存在明显厚度差异具有坡度明显变陡的沉积特征, 地层厚度变化明显, 在研究区内星子山龙王庙剖面地层厚度为 143.18 m, 捞旗河龙王庙地层厚度为 67.42 m; ② 该地区台地边缘相, 地层下部发育深灰色含泥质条带泥晶灰岩, 中部夹薄层粉晶灰岩和颗粒粉晶灰岩, 上部发育厚层状砂屑云岩, 且在前人资料露头剖面上部砂屑云岩连续分布, 形成连片分布的台地边缘滩相沉积。由此可见, 台地边缘相带在川北地区较发育, 推测为镶边碳酸盐岩台地沉积体系。

4.1.1. 台缘滩次相

台缘滩是指位于台地边缘相的浅滩, 常呈带状平行于台地边缘展布, 规模一般较大, 滩体分布广, 岩性主要以颗粒灰岩、粉晶颗粒灰岩及灰质白云岩为主, 且多见内碎屑和雁列状方解石填充, 为碳酸盐岩台地储层最为发育的有利相区。且由于滩体处于古地貌高部位, 台缘滩常存在白云岩化作用及岩溶作用, 在捞旗河露头剖面上部见典型刀砍纹白云岩沉积特征(图 2(d))。

4.1.2. 滩间海次相

滩间海通常位于滩与滩之间的地形平缓区域, 水体流动性较好, 发育台缘浅海微相和泥质洼地微相, 台缘浅海微相主要岩石类型为泥晶灰岩、泥晶白云岩, 呈现出潮下低能带沉积特征; 泥质洼地主要发育泥质条带灰岩, 在剖面下部见斜层理沉积构造, 呈现出水动力相对较强的特征。

4.2. 斜坡亚相

斜坡相是指深海盆地至台地边缘高能带之间的部分, 水体深度一般位于风暴天气浪基面以下, 在非阵发性滑塌事件、重力流事件以及海啸事件时期, 沉积环境水体安静, 斜坡的沉积物来源于浅海和生物, 岩石类型以深灰色泥晶灰岩、含泥质灰岩为主, 夹薄层泥质条带及少量灰质云岩、白云岩。

斜坡沉积相主要发育在星子山剖面, 岩石类型以深灰色泥晶颗粒灰岩、含砾屑灰岩为主, 夹薄层泥质条带、泥岩。并发育包卷层理沉积构造(图 2(f)), 反映了坡度较大的古地貌特征。

4.2.1. 上斜坡次相

上斜坡沉积亚相主要岩性粉晶白云岩、粉晶颗粒灰岩, 分选较好, 粒度较大, 地层厚度较薄为 1~2 m, 随着水体环境逐渐变浅, 从剖面由下往上白云化作用变强。

4.2.2. 下斜坡次相

下斜坡沉积次相主要岩性为泥岩、泥质条带灰岩、泥质灰岩、含泥灰岩及泥云岩, 泥质含量较高, 沉积环境稳定、时间较长, 地层厚度为 2~10 m。在星子山剖面中部见岩层沉积过程中出现的波状层理, 代表沉积环境水动力较强。

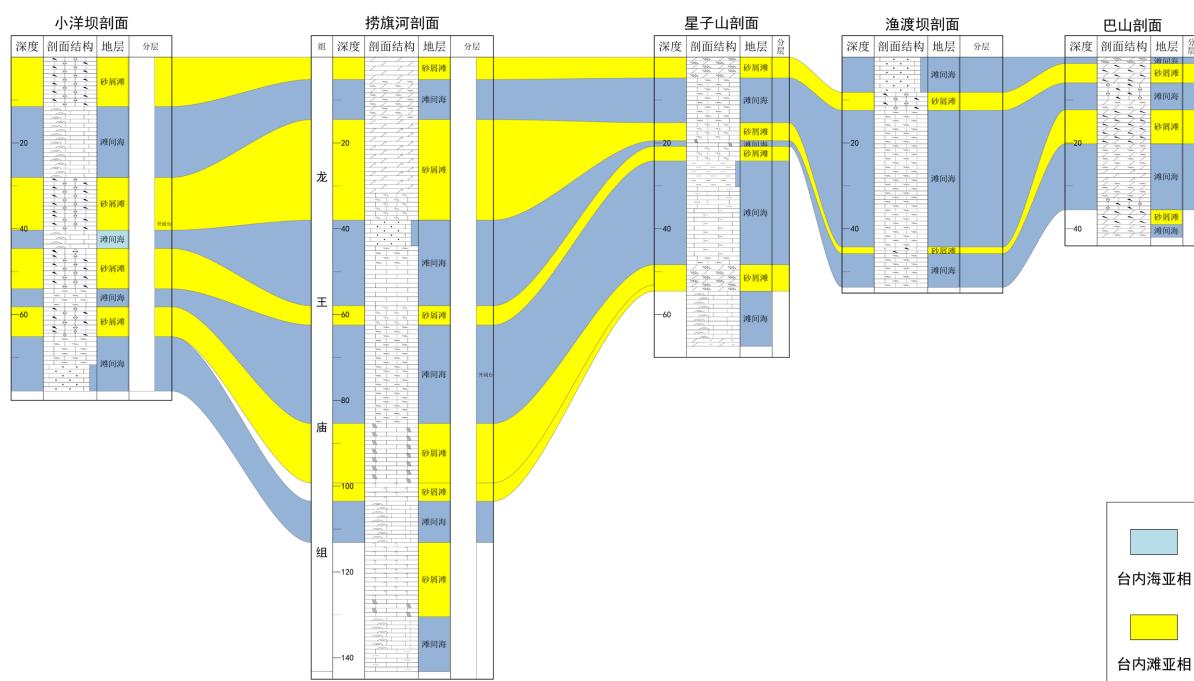
5. 沉积相演化及展布规律预测

5.1. 镇巴地区龙王庙期沉积垂向演化

本文以镇巴地区捞旗河、星子山野外露头剖面为例, 对该地区沉积相进行精细解剖。镇巴地区龙王庙组界限清晰, 其下部与沧浪铺组为连续沉积且与灰色粉砂质泥岩整合接触, 顶部则与高台组紫红色泥岩不整合接触。其中捞旗河龙王庙组剖面位于研究区的偏西侧, 该剖面在龙王庙期属于典型的开阔台地——台地边缘相, 厚 143.17 m。星子山剖面位于捞旗河剖面的东南侧, 地层厚 67.1 m。

以本次研究捞旗河、星子山实测剖面为基础, 搜集前人资料绘制了地层岩性对比图(图 3), 可以看出镇巴地区下寒武统龙王庙组整体上构成三个海侵-海退沉积旋回, 龙王庙组发育主要受乐山-龙女寺古

隆起构造运动影响, 物源上镇巴地区龙王庙组与川中地区龙王庙组相似。龙王庙期先经历缓慢海退, 在镇巴地区龙王庙组捞旗河剖面和星子山剖面下部分别观察到两种不同岩性特征的沉积相, 捞旗河剖面发育台地边缘亚相, 而星子山剖面可以发现整套地层厚度明显变薄, 且泥质含量增加以及观测到颗粒较大的内碎屑沉积物, 为斜坡相。相同地区同期地层识别出不同沉积相, 因此推测镇巴地区存在下寒武统龙王庙组地层台地边缘与斜坡相界限。至龙王庙组中部, 大范围海侵, 水体深度较深, 水动力小, 沉积地层厚度较大、颜色较深, 沉积物粒度明显更小。中间经历多次海侵-海退旋回, 可以识别出多个台内海-台内滩的水体向上变浅的次一级沉积旋回。到龙王庙期晚期, 上部整体发育砂屑滩, 沉积物主要为粉晶云岩、灰质云岩、颗粒灰岩, 在该时期见较多白云质现象, 证明海退时水体较浅, 沉积环境为氧化环境, 水动力作用较弱, 水体循环受到限制, 地形较高处形成台缘滩亚相, 地形平坦区域发育滩间海亚相。



注: 数据来自杜双宇, 2016; 魏杨, 2020; 及实测捞旗河、星子山野外剖面数据。

Figure 3. Stratigraphic correlation map of Lower Cambrian Longwangmiao Formation in Zhenba area
图 3. 镇巴地区下寒武统龙王庙组地层对比图

5.2. 镇巴地区龙王庙期沉积垂向演化

本文借鉴了部分前人关于四川盆地下寒武统龙王庙组沉积相发育特征及盆地北部沉积相展布规律的相关研究成果, 结合实地勘测的野外资料, 参照前人定量划分标[19], 依据前文建立的沉积相类型划分方案, 粗略绘制了川北地区早寒武世龙王庙期沉积相模式图(图 4)。龙王庙组沉积期, 四川盆地在西部和北部分别发育了摩天岭古陆和汉南古陆, 结合国内其他学者调研资料, 可发现川北地区主体为一个碳酸盐台地环境, 总体呈现出西部水浅、东部水深的古地理格局, 主要发育了混积潮坪、局限台地、开阔台地、台地边缘、斜坡、盆地多种沉积相[7] [20]。在研究区镇巴, 捞旗河实测剖面与星子山实测剖面, 存在明显厚度差异, 处于研究区东部的捞旗河剖面更厚, 而处于西缘的星子山剖面地层较薄, 具有坡度明显变陡的沉积特征, 并在剖面顶部存在砂屑滩, 结合前人关于台地边缘的研究成果, 并划分出了川北地区台地边缘和斜坡界限。

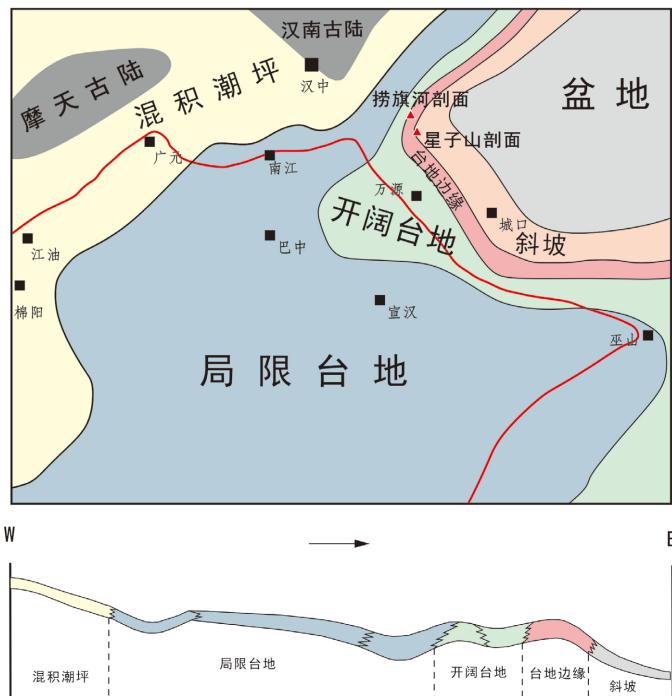


Figure 4. Sedimentary facies distribution law of Lower Cambrian Longwangmiao Formation in northern Sichuan
图 4. 川北地区下寒武统龙王庙组沉积相展布规律

6. 沉积模式及演化

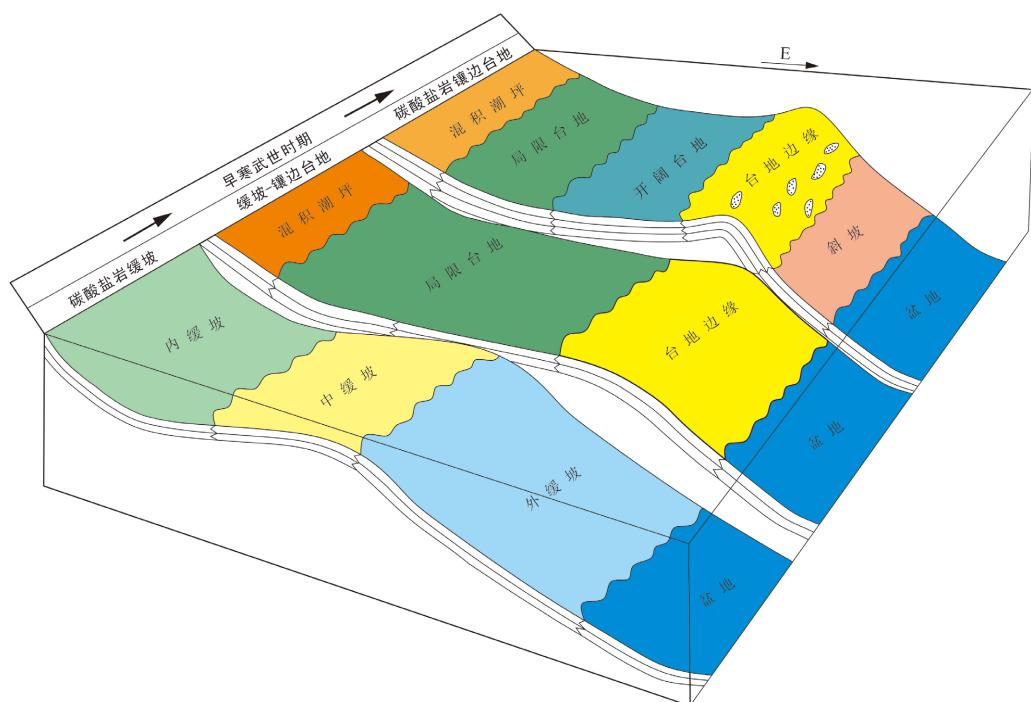


Figure 5. Evolution process of sedimentary model of Lower Cambrian in northern Sichuan (modified according to literature [21])
图 5. 川北地区下寒武统沉积体系演化过程(据文献[21]修改)

早寒武世筇竹寺期, 由于受桐湾运动的影响, 上扬子地区抬升, 部分地区遭到剥蚀, 盆地形成西北高东南低的古地貌, 呈现为深水盆地的沉积格局。发育碎屑岩台地沉积相。至沧浪铺期, 四川盆地及周缘地区发生海退, 海平面下降, 在筇竹寺期沉积的填平补齐后, 形成较为平缓的古地理格局, 整体发育碳酸盐缓坡沉积模式。早寒武世晚期, 由于海侵作用, 在盆地西部地区生长了多个的前积体, 并不断堆积形成了一个明显的坡折带。随着海平面下降, 高能带逐渐向坡折带附近迁移, 台地边缘开始发育, 形成弱镶边台地, 龙王庙组晚期气候变得干旱, 镶边台地边缘持续发育, 形成镶边碳酸盐台地[21]。

综上所述, 四川盆地盆地北部早寒武世碳酸盐沉积所经历的从缓坡模式向镶边台地的转化过程(图5)。前人研究认为川北地区早寒武世龙王庙期盆地内水体自西向东逐渐增加[6], 受沉积期汉南古陆物源影响, 陆源碎屑物质较多, 且自北向东南方向逐渐减少, 龙王庙期的2次海进-海退旋回过程中, 台内点滩由浅水区向深水区迁移。因此, 可以发现在龙王庙组沉积早期, 研究区内整体上沉积时期水体较深, 水动力较小, 沉积环境比较稳定。先后受到桐湾运动和兴凯运动的影响, 川北地区下寒武统形成了西北高东南低的古地理格局, 在筇竹寺期快速海侵, 主要发育厚层页岩、砂质页岩、砂质灰岩及泥质粉砂岩; 随后在沧浪铺期先海退后海侵, 镇巴地区下部主要为碎屑岩沉积物, 向上逐渐过渡为白云岩、灰岩等碳酸盐沉积物, 呈现出自下而上由海退转变为海侵的沉积序列, 变现出由混积潮坪沉积相向碳酸盐缓坡转化的趋势; 至早寒武世晚期, 长期受海侵作用的影响, 在龙王庙组上部发育砂屑滩, 盆地东北缘形成条带状台缘滩沉积, 为台地边缘沉积相, 表现为镶边碳酸盐台地沉积模式。

7. 结论

- 1) 川东北镇巴地区下寒武统龙王庙组发育镶边碳酸盐岩台地沉积体系, 发育台地边缘(台缘滩、滩间海亚相)和斜坡(上斜坡、下斜坡亚相)等多种沉积相。
- 2) 在镇巴地区龙王庙组捞旗河剖面和星子山剖面地层厚度存在明显差异, 形成坡度变化, 捞旗河剖面主要发育台地边缘亚相, 星子山剖面主要发育斜坡亚相, 因此镇巴地区存在沉积相界限, 据此可对龙王庙组川北地区自西向东沉积相展布进行新的划分。
- 3) 川北地区下寒武统沉积相自下而上, 随着海侵-海退旋回, 海平面发生变化, 四川盆地北部早寒武世的沉积体系由早期的碳酸盐缓坡演化成镶边碳酸盐台地。

参考文献

- [1] 郭泽清, 赵文智, 谢增业, 等. 原油裂解气资源评价的理论技术创新与评价应用——以四川盆地震旦系-寒武系为例[J]. 地质论评, 2024, 70(1): 309-329.
- [2] 沈安江, 陈娅娜, 潘立银, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组沉积相与储层分布预测研究[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8): 1176-1190.
- [3] 王龙, 沈安江, 陈宇航, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组岩相古地理特征和沉积模式[J]. 海相油气地质, 2016, 21(3): 13-21.
- [4] 杜金虎, 张宝民, 汪泽成, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组碳酸盐缓坡双颗粒滩沉积模式及储层成因[J]. 天然气工业, 2016, 36(6): 1-10.
- [5] 刘自亮, 邓昆, 施泽进, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组浅水碳酸盐岩台地沉积相特征及模式[J]. 古地理学报, 2020, 22(3): 504-522.
- [6] 张文济, 李世临, 任晓莉, 等. 川东地区寒武系龙王庙组沉积相特征与有利相带分布[J]. 天然气勘探与开发, 2019, 42(2): 56-65.
- [7] 黄梓桑, 杨雪飞, 王兴志, 等. 川北地区下寒武统龙王庙组沉积相及与储层的关系[J]. 海相油气地质, 2019, 24(1): 1-8.
- [8] 杨威, 魏国齐, 谢武仁, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组沉积模式新认识[J]. 天然气工业, 2018, 38(7): 8-15.
- [9] 邓金花. 四川盆地龙王庙组沉积相特征及发育模式[J]. 内江科技, 2018, 39(6): 87.

-
- [10] 马腾, 谭秀成, 李凌, 等. 四川盆地早寒武世龙王庙期沉积特征与古地理[J]. 沉积学报, 2016, 34(1): 33-48.
 - [11] 杨雪飞, 王兴志, 唐浩, 等. 四川盆地中部磨溪地区龙王庙组沉积微相研究[J]. 沉积学报, 2015, 33(5): 972-982.
 - [12] 任影, 钟大康, 高崇龙, 等. 川东及其周缘地区下寒武统龙王庙组沉积相[J]. 古地理学报, 2015, 17(3): 335-346.
 - [13] 冯伟明, 刘建清, 谢渊, 等. 上扬子区龙王庙期碳酸盐岩台地模式及油气勘探[J]. 特种油气藏, 2015, 22(1): 61-65, 153.
 - [14] 李伟, 刘静江, 邓胜徽, 等. 四川盆地及邻区震旦纪末-寒武纪早期构造运动性质与作用[J]. 石油学报, 2015, 36(5): 546-556, 563.
 - [15] 杨跃明, 文龙, 罗冰, 等. 四川盆地乐山-龙女寺古隆起震旦系天然气成藏特征[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(2): 179-188.
 - [16] 李毕松, 唐秀丽. 川北地区寒武系油气成藏主控因素及富集区带[J]. 天然气技术与经济, 2017, 11(3): 19-22, 81-82.
 - [17] 李皎, 何登发. 四川盆地及邻区寒武纪古地理与构造-沉积环境演化[J]. 古地理学报, 2014, 16(4): 441-460.
 - [18] 牟传龙. 关于相的命名及其分类的建议[J]. 沉积与特提斯地质, 2022, 42(3): 331-339.
 - [19] 魏杨. 川东北镇巴地区寒武系龙王庙组碳酸盐岩储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2020.
 - [20] 胡平. 四川盆地早寒武世龙王庙期岩相古地理[D]. [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2015.
 - [21] 王胜利, 孟万斌, 祝贺, 等. 塔里木盆地北部震旦系-寒武系盐下碳酸盐沉积模式演化及油气地质意义[J]. 矿物岩石, 2024, 44(2): 122-136.