

四川盆地龙潭组沉积微相及页岩储层发育特征

王珏博, 薛帅朕, 周才植, 蔡俊腾, 苟富廉, 尹欢

西南石油大学地球科学与技术学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年2月1日; 录用日期: 2024年3月18日; 发布日期: 2024年3月28日

摘要

四川盆地上二叠统发育海陆过渡相沉积体系, 其中的龙潭组是页岩气的有利勘探开发层位。本文以露头剖面、钻井取样资料为主要研究对象, 利用常规和扫描电子显微镜、氩离子抛光、X-衍射、压汞等分析手段, 开展四川盆地海陆过渡相龙潭组沉积微相特征研究和储层发育特征研究。研究表明: (1) 川中-川南地区龙潭组在早期形成的峨眉山玄武岩的基础上, 由西南向东北依次发育河泛平原(冲积平原)——潮坪-浅水陆棚沉积体系, 其中, 泥页岩主要发育在河漫滩、河漫湖泊、泥坪、泥炭坪中; (2) 脆性矿物含量分布受沉积相带影响, 表现为川南地区粘土矿物多、脆性颗粒较少, 北部地区反之; (3) 龙潭组内泥页岩及砂岩主要发育粒(缘)间孔隙、晶间孔与微裂缝, 局部发育粒内孔隙与溶蚀孔隙, 少见有机质孔隙; (4) 川南地区为海陆过渡环境沉积产物, 粉砂质、炭质含量较高, 孔隙度介于1.51%~12.53%, 平均5.84%; 川东北地区为陆棚环境, 为一套海相沉积物, 储集岩孔隙度介于0.57%~7.69%之间, 平均孔隙度为2.79%。

关键词

四川盆地, 龙潭组, 沉积微相, 储层特征

Sedimentary Microfacies and Shale Reservoir Development Characteristics of Longtan Formation, Sichuan Basin

Juebo Wang, Shuaizhen Xue, Caizhi Zhou, Junteng Cai, Fulian Gou, Huan Yin

School of Earth Science and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 1st, 2024; accepted: Mar. 18th, 2024; published: Mar. 28th, 2024

Abstract

The sea-land transitional facies sedimentary system was developed in the Upper Permian of Si-

文章引用: 王珏博, 薛帅朕, 周才植, 蔡俊腾, 苟富廉, 尹欢. 四川盆地龙潭组沉积微相及页岩储层发育特征[J]. 石油天然气学报, 2024, 46(1): 100-109. DOI: 10.12677/jogt.2024.461013

chuan Basin, and the Longtan Formation is a favorable reservoir for shale gas exploration and development. Based on outcrop profile and well sampling data, this paper uses conventional and scanning electron microscopy, argon ion polishing, X-ray diffraction, mercury injection and other analytical methods to study the depositional microfacies and reservoir development characteristics of Longtan Formation in Sichuan Basin. The results show that: (1) Sichuan Basin is developed River panplain (alluvial plain)—tidal flat-hallow water shelf sedimentary system and Mud shale is mainly developed in four sedimentary microphases: flood plain, river lake, mudflat and peat flat. (2) The distribution of brittle minerals is affected by sedimentary facies belts, which shows that there are more clay minerals and less brittle quartz particles in southern Sichuan, and the accumulation of carbonate minerals and quartz particles in northern Sichuan is conducive to the high content of brittle minerals; (3) In the Longtan Formation of Sichuan Basin, the shale and sandstone mainly develop intergranular pores, intergranular pores and micro-fractures, and locally develop intra-granular pores and solution pores, rarely organic pores; (4) The silty, carbonaceous content is higher in southern Sichuan, and the porosity ranges from 1.51%-12.53%, with an average of 5.84%; The northeast Sichuan area is a set of Marine sediments with reservoir rock porosity ranging from 0.57% to 7.69% with an average porosity of 2.79%.

Keywords

Sichuan Basin, Longtan Formation, Sedimentary Microfacies, Reservoir Characteristics

Copyright © 2024 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

页岩气一直是近来非常规油气勘探开发的热点,随着美国和我国海相页岩气勘探开发相继获得成功,研究人员的目光逐渐转向了对非海相页岩气的研究。经过多轮地质评价,我国页岩气可采资源量大致在 $10\sim 32 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 之间,其中,海相页岩气可采资源量约为 $8.2\sim 13.0 \times 10^{12} \text{ m}^3$,海陆过渡相、陆相页岩气可采资源认识存在较大差异,但页岩气可采资源量丰富是基本共识[1] [2] [3] [4] [5]。因此,非海相页岩气虽然整体起步晚,但具有较大勘探开发前景。目前,中国已经在四川盆地、鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、华北和东部等六大地区发现了海陆过渡相页岩储层[6] [7] [8] [9] [10]。近年来,四川盆地上二叠统龙潭组油气显示丰富,在川西和蜀南地区勘探实践中均有良好显示,是非海相页岩气研究的热点地区[11] [12] [13] [14] [15]。研究认为四川盆地上二叠统发育海陆过渡相沉积体系,川中和川东南地区为龙潭组海陆交互相含煤碎屑岩沉积区,龙潭组除可为上下地层气藏提供气源外,其自身内部还残留有较多的未排出的天然气,因此还可形成页岩气、煤层气和致密砂岩气气藏,是页岩气、煤层气、致密砂岩气及火山岩勘探有利区,但目前尚未针对盆地内二叠系龙潭组页岩开展过系统性研究。本次研究主要基于研究区野外剖面、钻井取样等资料,利用常规和扫描电子显微镜、氩离子抛光、X-衍射、压汞等分析手段对四川盆地龙潭组地层的沉积微相特征及储层发育特征开展研究。研究成果可为盆地内龙潭组地层页岩气的进一步勘探开发提供地质参考。

2. 研究区概况

四川盆地处于扬子地台北西部,面积约为十六万平方公里,自震旦纪以来其与中、下扬子地台具有相似的海相沉积发展历史,沉积了一套巨厚的震旦系一中三叠统海相地层,厚度为 $4000\sim 7000 \text{ m}$ 。其中的下寒武统、上奥陶统-下志留统、下二叠统和上二叠统发育有4套区域性的烃源岩(图1)。

地质时代	地层	岩性	厚度 (m)	构造运动	构造旋回
第四系			0-380	晚喜马拉雅 早喜马拉雅	喜马拉雅旋回
第三系			0-1100		
白垩系			0-2000		
侏罗系	上统	蓬莱镇	650-1400	晚燕山	燕山旋回
	中统	遂宁	340-500		
		沙溪庙	600-2800		
		自流井	200-900	早燕山	
三叠系	晚期	须家河	250-3000	晚印支	印支旋回
	中统	雷口坡	900-1700	早印支	
		嘉陵江			
		飞仙关			
二叠系	上统	长兴 龙潭 吴家坪	200-500	东吴	海西旋回
	中统	茅口 栖霞	0-500		
	下统	黄龙	0-500		
石炭系			0-500		加里东旋回
志留系			0-1500		
奥陶系			0-600	兴凯	
寒武系	上统	龙王庙组 沧浪铺组 灯影组	0-2500	桐湾	
	中统				
	下统				
震旦系		灯影 陡山沱	200-1100	澄江 晋宁	扬子旋回
	前寒武系	基底	0-400		

Figure 1. Schematic map of stratigraphic system and tectonic movement in Sichuan Basin
图 1. 四川盆地地层系统和构造运动简图

上二叠统主要发育龙潭组海陆过渡相和大隆组深水陆棚相 2 种类型的富有机质页岩、硅质岩和硅质泥岩，是四川盆地主要的沉积地层与烃源岩发育层系。中二叠世末的东吴运动使得四川盆地大部分地区整体抬升暴露于海平面之上，接受风化剥蚀作用改造，康滇古陆进一步隆升、扩大，成为四川盆地上二叠统的主要物源区。古地势为南西高、北东低。晚二叠世之初，海平面开始间歇性上升，海侵由东至西、自北东向西南方向推进，在川中 - 川南地区广泛沉积了一套陆相和海陆过渡相的含煤岩系，沉积层序不断向西南部古陆(康滇古陆)周边地区上超。沉积相带由陆到海大致呈东西向展布、南北向延伸。

3. 沉积相划分及展布特征

3.1. 沉积相划分

通过对四川盆地龙潭组的野外剖面、钻井岩性的宏观及微观观察，结合钻测井和相关分析资料。依据其颜色、岩性、沉积构造、古生物化石、层序及测井相标志等相关沉积相标志，结合区域沉积演化以及前人研究成果，将四川盆地龙潭组/吴家坪组划分为 4 种相、8 种亚相以及 14 种微相类型(表 1)。总体来看，晚二叠世龙潭期/吴家坪期，四川盆地自西南向东北依次发育火山喷发相、陆相(河泛平原)、海陆过渡相(潮坪)及海相(陆棚)四大沉积区。

Table 1. Brief table of sedimentary facies division scheme of Upper Permian Longtan Formation in Sichuan Basin
表 1. 四川盆地上二叠统龙潭组沉积相划分方案简表

相	亚相	微相	岩石类型
河泛平原	河道	河道滞留沉积、边滩	含砾粉细砂岩、粉砂岩
	堤岸	天然堤、决口扇	粉砂质泥岩、粉砂岩夹泥岩
	河漫平原	河漫滩、河漫湖泊	粉砂质泥岩、粉砂岩、泥岩、炭质泥岩等
	河漫沼泽	泥炭坪	炭质泥岩、煤层等
潮坪	潮上带	泥坪、泥炭坪	炭质泥岩、煤层
	潮间带	砂坪、砂泥坪、泥坪	粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩
	潮下带	砂坪、	粉砂岩
陆棚	浅水陆棚	钙质陆棚、生屑滩	泥质灰岩、生屑灰岩、
	深水陆棚	泥质陆棚	泥岩、钙质泥岩
火山喷发		溢流、爆发	玄武岩、凝灰岩等

其中，泥页岩主要发育在河漫滩、河漫湖泊、泥坪、泥炭坪四个沉积微相中。

3.1.1. 河漫平原亚相

河漫平原属于川南地区龙潭组的主要沉积相带，可进一步分为河漫滩和河漫湖泊 2 个沉积微相。其中，河漫滩是河道外侧较平坦的地区。枯水期基本无水，洪水期水漫溢出河道两侧的天然堤坝，淹没河道两侧的平坦区域，形成的河漫滩沉积主要由泥质和粉砂质细粒物质堆积而成。区内龙潭组该相带主要由深灰 - 灰色薄互层的泥质粉砂岩、粉砂质泥岩构成，其中水平层理发育(图 2(a))，见少量植物碎片化石。河漫湖泊是河漫平原上最低的部分，在平原区的弯曲河流中，当河道在一个比河岸两侧地形高的“冲脊”上流动，洪水期河水漫溢至河道两侧河漫滩上，洪水期后，低洼地区就会积水，形成了河漫湖泊。以泥岩沉积为主，并有泥质粉砂岩出现，是河漫平原中最细的沉积类型。层理一般发育不好，有时可见到较薄的水平层理(图 2(b))。

3.1.2. 河漫沼泽亚相(泥炭坪)

又称岸后沼泽。由炭质泥岩和煤层组成，中含大量植物碎片，水平层理发育。在垂向上位于泛滥平原之上部，自下而上为炭质泥岩和煤(图 2(c))。在横向上，这种相单元代表了河流体系中离河道最远的沼泽沉积。由于冲积河道的迁移，漫滩沼泽随之可以在较大范围上扩展，并可具较好的延续性，形成较广泛分布的煤层，河漫沼泽亚相又可分为泥炭坪微相。

3.1.3. 潮间带

潮间带为潮坪的主要构成部分，位于平均潮平面和高潮面之间，其沉积一般具有向上变细的垂直层序，底部多以砂坪开始，向上可依次划分为混合坪(砂泥坪)和泥坪等微相。泥坪在潮坪沉积中位于平均高潮附近及潮上地带，属低能环境。岩性主要由灰色、深灰色泥岩组成，偶尔夹有大潮时带来的粉砂质沉积，含有植物化石和菱铁矿结核(地表风化后呈褐色黄铁矿)(图 2(d))，并发育生物扰动构造，层理类型多为水平层理和缓波状层理。

3.1.4. 潮上带

潮上带是指位于平均高潮线与最高风暴潮面之间的区域。正常潮汐作用下不能到达，但在大潮或风

暴潮时,海水可以淹没。宽度很大,可达数十—数百公里,地形较平坦、水体能量极低,沉积物主要是细粒物质,具薄层纹状层理、暴露构造常见。本区潮上带主要发育泥炭坪微相和泥坪微相。泥炭坪微相主要发育于潮上带低洼的泥炭沼泽中,环境中长期间歇性聚水、能量低,易于植物的生长和细粒物质的堆积,大量的植物死亡、沉积、埋藏后逐渐形成了中—薄层状的煤层和炭质泥岩(图 2(e), 图 2(f)),具块状构造,富含植物化石,并含结核状及薄层状黄铁矿、菱铁矿。

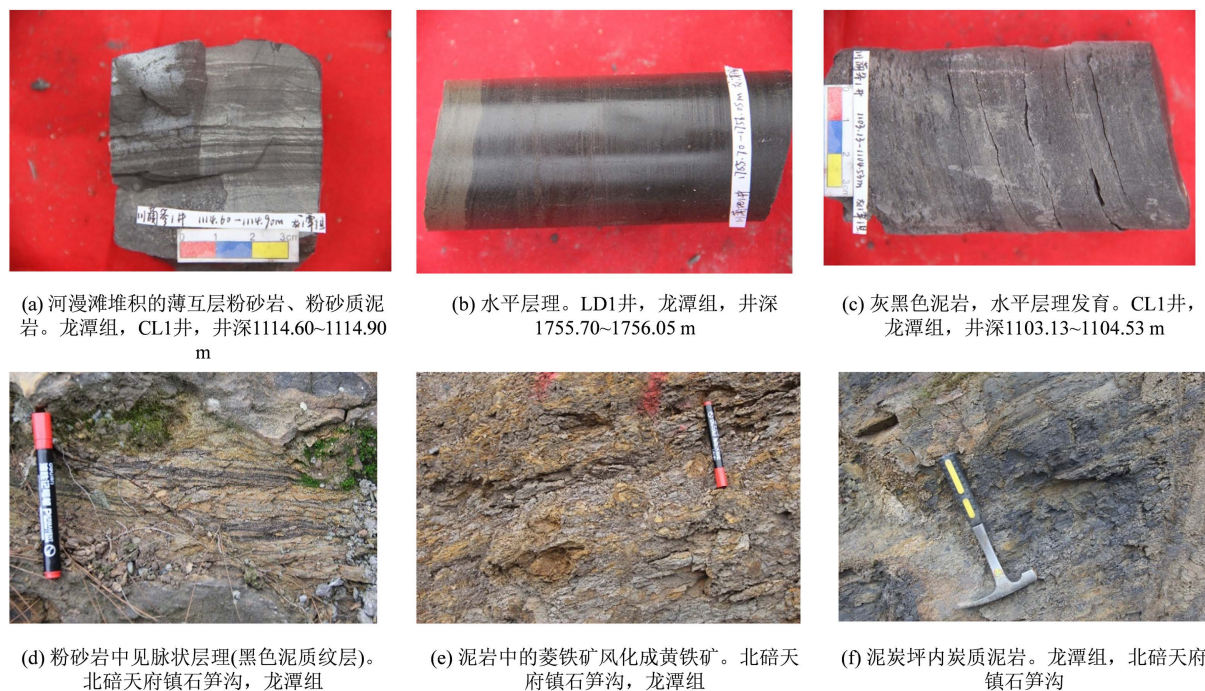


Figure 2. Sedimentary characteristics of Longtan Formation, Sichuan Basin

图 2. 四川盆地龙潭组沉积特征

3.2. 沉积相展布特征

3.2.1. 龙潭早期沉积相平面展布特征

龙潭期间,四川盆地处于康滇古陆的北东部,处于向东北倾斜的西陆东海的古地理背景之上。中二叠世末期,茅口组在各地遭受不同程度的风化剥蚀。随后,四川盆地西南部及西部地区发生大陆火山喷发。随着火山活动的停止,岩浆岩的冷却,其上沉积了一层铝土质、凝灰质碎屑岩。晚二叠世初期,四川盆地开始海侵,海水由东南和东北方向侵入,逐渐向西和西南方向扩展,三因素共同奠定了四川盆地龙潭早期(龙一时)沉积格局。即:自西南向东北依次发育火山岩喷发区—河泛平原(冲积平原)—潮坪—浅水陆棚沉积体系。火山岩喷发区(“峨眉山玄武岩”区)主要位于成都—资阳—宜宾一线的西南部,堆积的产物主要为凝灰岩、玄武岩,该区也是四川盆地当时的主要物源区。河泛平原主要分布于成都—资阳—宜宾一线与资阳—自贡—泸州一线之间的川南地区,堆积的岩性主要是泥岩、炭质泥岩夹薄到厚层的砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、煤层和煤线等。潮坪相区主要位于成都—资阳—泸州一线以北,苍溪—通江一线以南的广大区域,堆积的岩性主要为泥岩、泥质粉砂岩、砂岩、煤层、煤线等,局部有浅水灰质陆棚堆积的灰岩夹层,灰岩夹层数由西南向东北方向和自西向东增多。苍溪—通江一线以北的广大区域为浅水陆棚相区,川中地区东北部未见相区界限,水体向北变深。岩性主要为泥岩与灰岩不等厚互层或者厚层块状灰岩。此外,在龙潭早期,川东北地区有火山岩的喷发(图 3(a))。

3.2.2. 龙潭中 - 晚期沉积相平面展布特征

西部火山活动逐渐停止, 至龙潭晚期火山岩分布区(“峨眉山玄武岩”区)已退至眉山 - 宜宾以南。海水由东南和东北方向持续侵入, 由于海平面的上升, 海域从东向西南方向扩大, 沉积相带也随之迁移。苍溪 - 梁平 - 石柱 - 线附近逐渐由早期陆相河泛平原相相变为海陆过渡相的潮坪相, 至龙潭晚期绵阳 - 南充 - 华蓥一线以北基本已相变为浅水陆棚。河泛平原相与海陆过渡相分界变化相对较小(图 3(b), 图 3(c))。浅水陆棚相常出现泥岩与灰岩的不等厚互层, 主要是由于碳酸盐岩是快速的、对环境变化十分敏感的沉积物, 所以当陆源碎屑大量进入区内, 碳酸盐沉积立即终止进而沉积陆源碎屑。潮上带沼泽与河漫亚相的河漫沼泽中常形成煤层、煤线。根据剖面图可以了解到, 煤层主要是沿顺物源方向延伸, 这与海平面升降与区域构造作用有一定关联, 且潮上带沼泽中发育的煤层更厚。

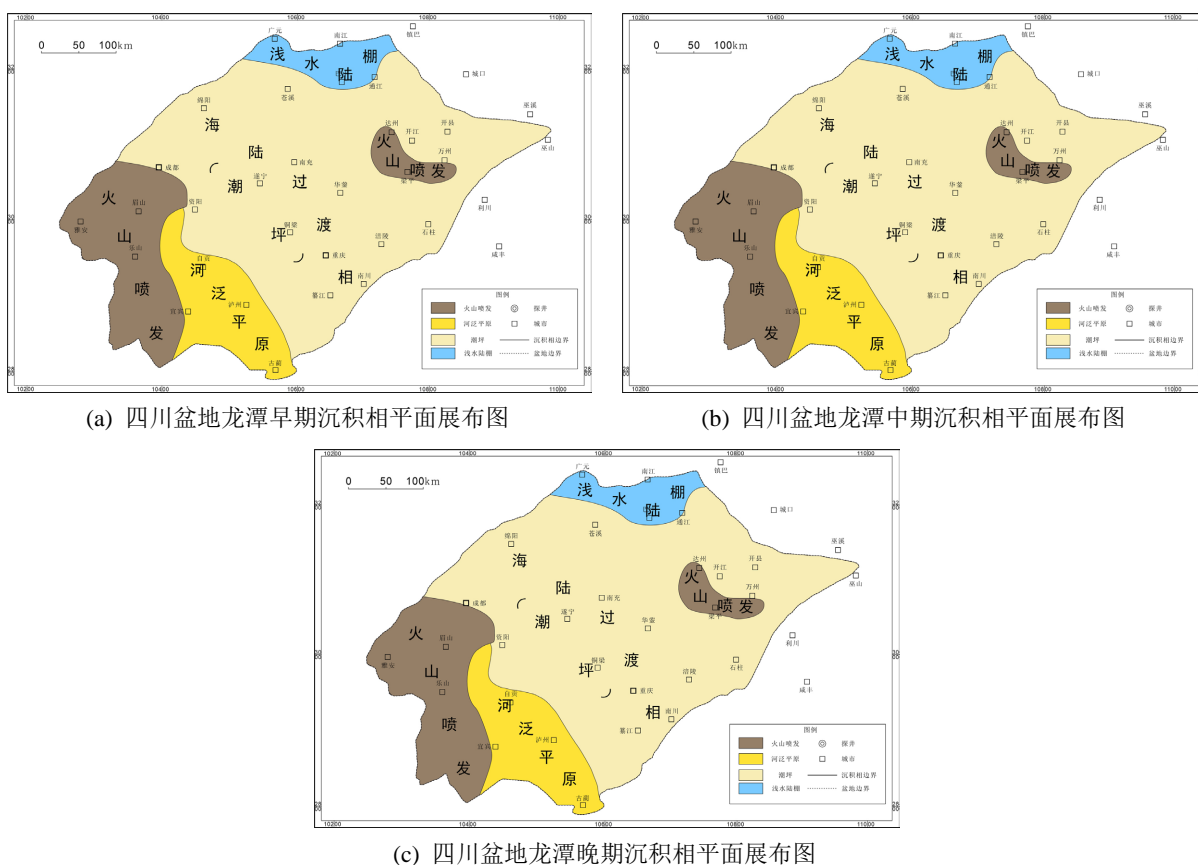


Figure 3. Planar distribution map of sedimentary facies of Longtan Formation, Sichuan Basin

图 3. 四川盆地龙潭期沉积相平面展布图

4. 储层特征

4.1. 储层岩石类型

四川盆地上二叠统龙潭组/吴家坪组岩石类型复杂, 主要涉及泥页岩、砂岩(粉砂岩)、煤层、灰岩和火山岩等类型。但由于灰岩主要集中分布在川北地区, 火山岩多集中分布在川西南地区, 不属于本文的主要研究区, 因此, 这里重点讨论川中 - 川南地区上二叠系龙潭组的煤层、泥(页)岩及砂岩(粉砂岩)三大类储集岩。依据其颜色、粒径大小、成分和古生物特征等将研究区龙潭组主要储集岩类型划分为表 2 中的三类。

Table 2. Summary of main reservoir rock types and distribution in Longtan Formation, Sichuan Basin
表 2. 四川盆地龙潭组主要储集岩类型及分布简表

	主要岩石类型	分布区域/层段
泥(页)岩	深灰 - 灰黑色泥(页)岩	主要分布于川中 - 川南地区龙潭组; 川北和川东北地区吴家坪组相对较少
	灰黑 - 黑色炭质泥(页)岩	
	灰 - 深灰色粉砂质泥(页)岩	
	灰白色铝土质泥(页)岩	龙潭组/吴家坪组底部
砂岩	灰色 - 深灰色(含砾)细中砂岩	川南 - 川中地区龙潭组分布较少
粉砂岩	灰色 - 深灰色粉砂岩	主要分布于川中 - 川南地区龙潭组; 川北地区吴家坪组偶见
	灰色 - 深灰色泥质粉砂岩	
煤岩	煤层、煤线	

4.2. 储集岩矿物组分特征

页岩中的脆性矿物在外力作用下极易产生裂缝, 有利于页岩气的开发[16]。因此, 页岩石矿物分析中一个重要参数就是脆性矿物含量, 本研究将页岩储层中石英、长石、方解石、白云石黄铁矿、菱铁矿等均纳入脆性矿物含量计算。

通过对龙潭组泥页岩岩心观察、薄片鉴定、扫描电镜及 X 射线衍射分析表明, 川南地区龙潭组泥页岩富含黏土矿物, 黏土矿物含量介于 19%~88%, 平均含量为 58.00%。几乎不含方解石, 而石英、长石等脆性矿物含量介于 3%~79%, 平均为 41.39%。因此, 黏土矿物含量相对较高, 而脆性矿物含量相对较低。川中地区泥页岩黏土矿物含量介于 34.3%~61.6%, 平均含量为 43.1%; 方解石含量平均含量为 29.3%; 石英与长石的含量介于 0.03%~28.7%, 平均含量为 9.8%, 相比川南地区, 黏土矿物含量与石英+长石含量显著降低, 方解石含量显著增多。川东北地区龙潭组石英含量高, 一般 3.82%~58.68%, 平均含量为 31.07%; 方解石含量介于 0%~92.70%, 平均含量为 23.58%; 黏土矿物含量介于 0%~85.47%, 平均含量为 31.44%。相比于川中 - 川南地区, 泥岩总体黏土矿物含量较低, 而石英和方解石含量较多, 因此脆性较高(图 4)。

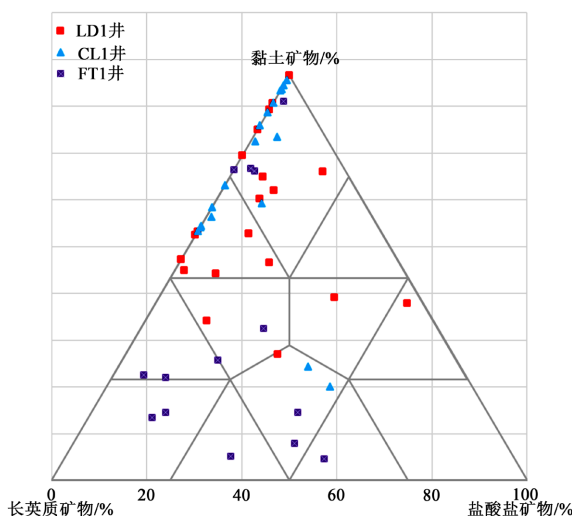


Figure 4. Triangulation of mineral composition of Longtan Formation, Sichuan Basin
图 4. 四川盆地龙潭组/吴家坪组矿物组分三角图

总体来看,四川盆地由南向北,龙潭组/吴家坪组地层中对应的脆性矿物具有增加的趋势。其主要原因是受到沉积相带和物源的影响:川南地区主要属于陆相河泛平原沉积,主要的物源为同期的火山喷发产物(主要的凝灰质水化后易向粘土矿物转变,石英较少),因而粘土矿物多、脆性石英颗粒较少,加之陆相地层不利于脆性碳酸盐矿物的形成,因此,南部地区脆性矿物含量较低。而北部地区在吴家坪组主要属于海相地层,利于碳酸盐矿物和石英颗粒的堆积,因而脆性矿物含量高。

4.3. 储集空间类型

对四川盆地龙潭组样品进行薄片鉴定、扫描电镜(氩离子抛光)观察,并对其储集空间类型进行归纳,四川盆地龙潭组内泥页岩及砂岩主要发育粒(缘)间孔隙、晶间孔与微裂缝,局部发育粒内孔隙与溶蚀孔隙,少见有机质孔隙,其中以黏土矿物层间晶间孔和微裂缝发育最为广泛。

粒(缘)间孔隙在全区广泛发育,常见于矿物颗粒间或矿物与有机质间,孔径介于几百纳米级到几微米,连通性较好(图 5(a)~(c));晶间孔隙主要为黏土矿物晶粒之间形成的孔隙,常呈多线状、少数呈三角形或不规则状,具有广阔的吸附空间,连通性好,能够连通矿物颗粒间孔(图 5(d))。龙潭组微裂缝主要表现为黏土矿物层间微裂缝及颗粒边缘缝(图 5(d)~(f))。粒内孔主要见于刚性颗粒发育处,多见于川东地区,孔隙形态呈线状、点状,孔隙一般顺解理发育,粒径介于几到几十纳米,部分孔隙常充填有机质(图 5(g))。有机质孔区内较为少见,川南地区页岩有机质孔单个呈圆点状、川北地区页岩有机质孔多呈蜂窝状、不规则状,部分呈圆点状、气泡状,孔径可达几十到几百纳米(图 5(h), 图 5(i))。

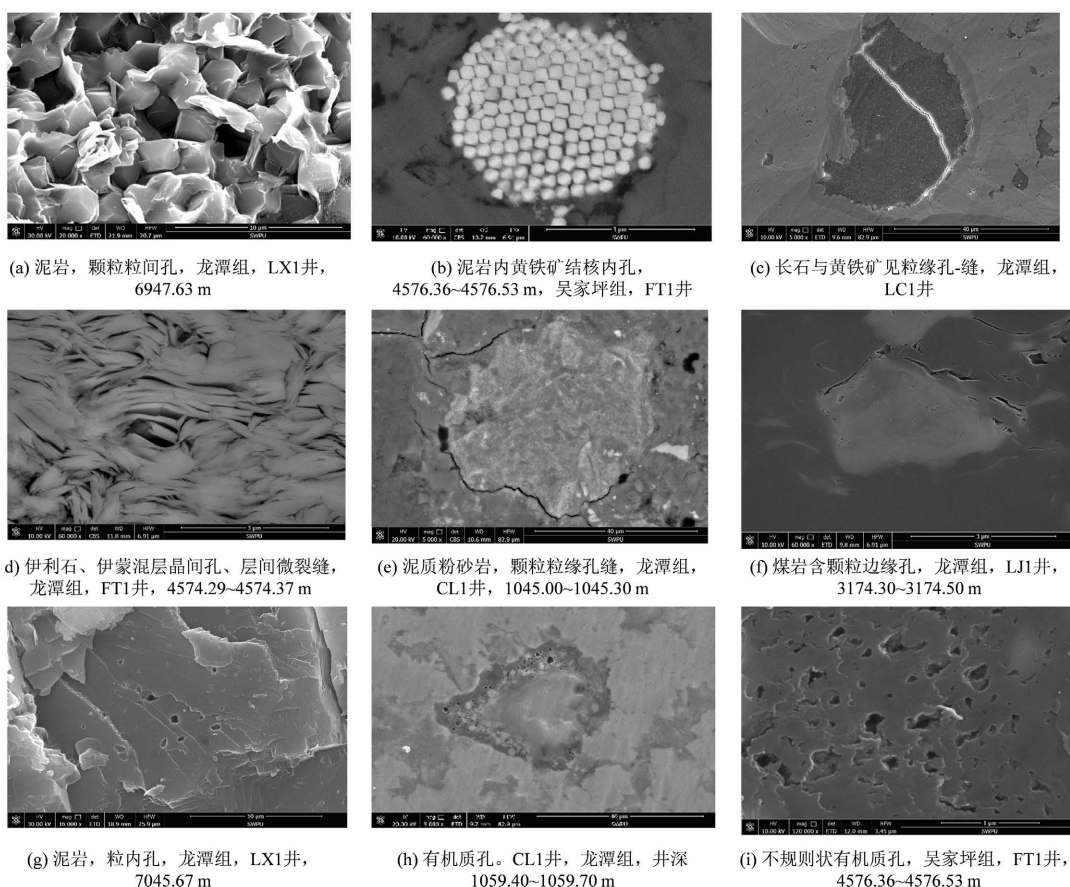


Figure 5. Micro-pore characteristics of Longtan Formation, Sichuan Basin
图 5. 四川盆地龙潭组孔隙微观特征

4.4. 储层物性

对研究区 63 个样品进行孔隙度和渗透率测定,实验结果表明,龙潭组岩石孔隙度介于 0.31%~12.53% 之间,平均 4.59% (表 3)。川南地区为海陆过渡环境沉积产物,粉砂质、炭质含量较高,其中粉砂岩样品 2 个,孔隙度介于 5.03%~6.95%,平均 5.99%;泥质粉砂岩样品 1 个,孔隙度为 5.02%;粉砂质泥岩样品 4 个,孔隙度介于 3.68%~5.72%,平均 4.88%;泥岩样品 1 个,孔隙度为 3.85%;炭质泥岩样品 13 个,孔隙度介于 1.51%~7.08%,平均 3.7%;煤样品 3 个,孔隙度介于 10.59%~12.53%,平均 11.62%。川东北地区为陆棚环境,为一套海相沉积物,储集岩孔隙度介于 0.57%~7.69%之间,平均孔隙度为 2.79%;灰质页岩样品有 7 个,孔隙度介于 0.57%~2.51%之间,平均孔隙度为 1.30%;泥质灰岩样品有 9 个,孔隙度介于 0.31%~0.80%之间,平均孔隙度为 0.54%;炭质页岩样品有 1 个,孔隙度为 2.53%;泥岩样品有 22 个,孔隙度介于 0.59%~7.659%之间,平均孔隙度为 4.27%。整体而言,川中 - 川南地区孔隙度好于川东北地区。

Table 3. Statistical table of porosity of Longtan Formation, Sichuan Basin

表 3. 四川盆地龙潭组孔隙度统计表

区块	岩性	样品数(个)	孔隙度(%)		
			最小值	最大值	平均值
川南地区	粉砂岩	2	5.03	6.95	5.99
	粉砂质泥岩	4	3.68	5.72	4.88
	泥岩	1	3.85	3.85	3.85
	炭质泥岩	13	1.51	7.06	3.7
	煤	3	10.59	12.53	11.62
	泥质粉砂岩	1	5.02	5.02	5.02
川东北地区	灰质页岩	7	0.57	2.51	1.3
	泥质灰岩	9	0.31	0.8	0.54
	炭质页岩	1	2.53	2.53	2.53
	页岩	22	0.59	7.69	4.27

5. 结论

(1) 晚二叠世龙潭期/吴家坪期,四川盆地自西南向东北依次发育火山喷发相、陆相(河泛平原)、海陆过渡相(潮坪)及海相(陆棚)四大沉积区。依据沉积相标志可以划分为 4 种相、8 种亚相以及 14 种微相类型。其中,泥页岩主要发育在河漫滩、河漫湖泊、泥坪、泥炭坪四个沉积微相中。

(2) 茅口组末期的东吴运动,整个四川盆地整体抬升,使川中 - 川南地区出现了一次普遍海退,伴随康滇古陆的不断隆起,发生了广泛而强烈的峨眉山玄武岩的多次喷发,随着海岸线不断向北东迁移,陆地面积逐步扩大。川中 - 川南地区龙潭组在早期形成的峨眉山玄武岩的基础上,由西南向东北依次发育河泛平原(冲积平原) - 潮坪 - 浅水陆棚沉积体系。

(3) 四川盆地由南向北,龙潭组地层中对应的脆性矿物具有增加的趋势。其主要原因是受到沉积相带和物源的影响:川南地区主要属于陆相河泛平原沉积,主要的物源为同期的火山喷发产物(主要的凝灰质

水化后易向粘土矿物转变, 石英较少), 因而粘土矿物多、脆性石英颗粒较少, 加之陆相地层不利于脆性碳酸盐矿物的形成, 因此, 南部地区脆性矿物含量较低。而北部地区在吴家坪组主要属于海相地层, 利于碳酸盐矿物和石英颗粒的堆积, 因而脆性矿物含量高。

(4) 四川盆地龙潭组内泥页岩及砂岩主要发育粒(缘)间孔隙、晶间孔与微裂缝, 局部发育粒内孔隙与溶蚀孔隙, 少见有机质孔隙, 川南地区页岩有机质孔单个呈圆点状、川北地区页岩有机质孔多呈蜂窝状、不规则状, 部分呈圆点状、气泡状。

(5) 川南地区为海陆过渡环境沉积产物, 粉砂质、炭质含量较高, 孔隙度介于 1.51%~12.53%, 平均 5.84%; 川东北地区为陆棚环境, 为一套海相沉积物, 储集岩孔隙度介于 0.57%~7.69%之间, 平均孔隙度为 2.79%。

参考文献

- [1] 马永生, 蔡勋育, 赵培荣. 中国页岩气勘探开发理论认识与实践[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(4): 561-574.
- [2] 赵文智, 贾爱林, 位云生, 王军磊, 朱汉卿. 中国页岩气勘探开发进展及发展展望[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(1): 31-44.
- [3] 聂海宽, 何治亮, 刘光祥, 张光荣, 卢志远, 李东晖, 孙川翔. 中国页岩气勘探开发现状与优选方向[J]. 中国矿业大学学报, 2020, 49(1): 13-35.
- [4] 张金川, 史淼, 王东升, 仝忠正, 侯旭东, 牛嘉亮, 李兴起, 李中明, 张鹏, 黄宇琪. 中国页岩气勘探领域和发展方向[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 69-80.
- [5] 杨跃明, 陈玉龙, 刘燊阳, 邓宾, 徐浩, 陈丽清, 黎丁源, 殷樱子, 李怡. 四川盆地及其周缘页岩气勘探开发现状、潜力与展望[J]. 天然气工业, 2021, 41(1): 42-58.
- [6] 李琪琪, 徐尚. 海陆过渡相页岩储层研究现状与展望[J]. 地质通报, 2022, 41(8): 1417-1429.
- [7] 董大忠, 邱振, 张磊夫, 李树新, 张琴, 李星涛, 张素荣, 刘翰林, 王玉满. 海陆过渡相页岩气层系沉积研究进展与页岩气新发现[J]. 沉积学报, 2021, 39(1): 29-45.
- [8] 郭少斌, 王子龙, 马啸. 中国重点地区二叠系海陆过渡相页岩气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2021, 43(3): 377-385+414.
- [9] 刘雯, 赵群, 邱振, 赵培华, 李树新, 董大忠, 刘洪林, 侯伟, 张琴, 肖玉峰, 刘丹, 王玉满, 周尚文, 梁峰, 林文姬. 鄂尔多斯盆地东缘海陆过渡相页岩气成藏条件研究现状与展望[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(5): 868-887.
- [10] 董大忠, 高世葵, 黄金亮, 管全中, 王淑芳, 王玉满. 论四川盆地页岩气资源勘探开发前景[J]. 天然气工业, 2014, 34(12): 1-15.
- [11] 马新华, 谢军. 川南地区页岩气勘探开发进展及发展前景[J]. 石油勘探与开发, 2018, 45(1): 161-169.
- [12] 郭旭升, 胡东风, 刘若冰, 魏祥峰, 魏富彬. 四川盆地二叠系海陆过渡相页岩气地质条件及勘探潜力[J]. 天然气工业, 2018, 38(10): 11-18.
- [13] 杨雨, 汪华, 谢继容, 孙豪飞, 张本健, 明盈, 赵容容, 叶玥豪, 徐亮, 戴鑫, 刘佳, 陈丽清. 页岩气勘探新领域: 四川盆地开江—梁平海槽二叠系海相页岩气勘探突破及展望[J]. 天然气工业, 2023, 43(11): 19-27.
- [14] 张烈辉, 何骁, 李小刚, 李昆成, 何江, 张智, 郭晶晶, 陈怡男, 刘文士. 四川盆地页岩气勘探开发进展、挑战及对策[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 143-152.
- [15] 何贵松, 何希鹏, 高玉巧, 张培先. 四川盆地东南部南川地区发现二叠系龙潭组页岩气[J]. 中国地质, 2023, 50(3): 965-966.
- [16] 刘国军, 鲜学福, 周军平, 张良, 刘启力, 张树文. 页岩受载变形特性及矿物组分对岩石脆性影响实验[J]. 煤炭学报, 2016, 41(S2): 369-375.