

Sedimentary Characteristics and Favorable Reservoir Microfacies of Carboniferous in the Fengjiawan Structure of Eastern Sichuan Basin

Ruonan Wu¹, Zhonggui Hu¹, Ling Gou², Jialan Cai², Yulai Pang², Mingtao Zuo¹, Lili Ji³

¹Sedimentary Basin Research Center, Yangtze University, Wuhan Hubei

²Chongqing Gas District, Southwest Oil and Gas Field Co., Ltd., PetroChina, Chongqing

³Linyi Agriculture School, Linyi Shandong

Email: 1259029876@qq.com

Received: Oct. 29th, 2019; accepted: Nov. 12th, 2019; published: Nov. 19th, 2019

Abstract

Due to the strong tectonic uplift and erosion in the early Hercynian period, only the incomplete Upper Carboniferous Huanglong Formation remained in the Carboniferous Period of Eastern Sichuan, but the main natural gas producing layers in Eastern Sichuan were formed under the strong dolomitization and paleokarst action. Taking the Carboniferous system of Fengjiawan structure in eastern Sichuan as the research object, based on systematic core observation and description, thin section identification and physical analysis, as well as the latest drilling data, the sedimentary microfacies and favorable reservoir microfacies of Huanglong Formation are studied in detail on the basis of fine stratigraphic division and comparison. The first and second members of Huanglong formation remain in Carboniferous in the research area. According to the principle of cyclic correlation, the second member of Huanglong Formation can be further divided into three sub-sections, and the residual thickness of the strata in the study area has little change. Based on lithofacies, paleontology and other sedimentary facies identification indicators, it is determined that the main carbonate tidal flat facies are developed in Huanglong Formation in this area, which is subdivided into supratidal, intertidal and subtidal plateau subfacies and some microfacies, and the carbonate tidal flat sedimentary model is established. Among them, the first member of Huanglong Formation is mainly in the upper tidal flat sedimentary environment, while the second member of Huanglong Formation mainly develops intertidal-subtidal cyclic sedimentary environment. Based on the physical property analysis data, it is determined that the favorable reservoir microfacies in the study area are mainly the intertidal sandy beach and algal sandy flat microfacies.

Keywords

Eastern Sichuan Basin, Fengjiawan Structure, Carboniferous Huanglong Formation, Sedimentary Microfacies, Favorable Reservoir Microfacies

川东冯家湾构造石炭系的沉积特征及有利储集微相

吴若楠¹, 胡忠贵¹, 苟玲², 蔡家兰², 庞宇来², 左滔滔¹, 季丽丽³

¹长江大学沉积盆地研究中心, 湖北 武汉

²中国石油西南油气田公司重庆气矿, 重庆

³临沂市农业学校, 山东 临沂

Email: 1259029876@qq.com

收稿日期: 2019年10月29日; 录用日期: 2019年11月12日; 发布日期: 2019年11月19日

摘要

川东地区石炭纪由于受到海西早期强烈构造隆升和侵蚀作用影响, 仅残存不完整的上石炭统黄龙组, 但经过强烈的白云石化作用和古岩溶作用下形成了川东地区主要的天然气产层。本文以川东地区冯家湾构造石炭系为研究对象, 基于系统的岩心观察描述、薄片鉴定和物性分析, 以及最新的钻井资料, 在精细小层划分和对比的基础上, 对黄龙组沉积微相和有利储集微相进行了详细研究。研究区石炭系黄龙组残存黄龙组一段和二段, 通过旋回对比原则, 将黄龙组二段进一步细分为三个亚段, 区内地层残存厚度变化不大。通过岩相、古生物等沉积相识别标志, 确定该区黄龙组主要发育碳酸盐潮坪相, 细分为潮上坪、潮间坪和潮下坪亚相及若干微相, 并建立了碳酸盐潮坪沉积模式。其中, 黄龙组一段主要处于潮上坪沉积环境, 黄龙组二段主要发育潮间-潮下带旋回性沉积环境。结合物性分析资料, 确定研究区有利储集微相主要为潮间坪的砂屑滩和藻砂坪微相。

关键词

川东地区, 冯家湾构造, 石炭系黄龙组, 沉积微相, 有利储集微相

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

对于四川盆地上石炭系黄龙组沉积相的研究, 前人提出了很多不同的观点: 一部分学者认为本区黄龙组的沉积为潮坪模式[1] [2], 有的学者认为属潟湖-海湾模式[3], 有的学者则归属为蒸发台地-局限台地模式[4] [5]。而对于碳酸盐岩沉积体系的多样性及成岩作用的复杂性, 很难对碳酸盐岩储层的类型进行定义及分类。有学者将全球碳酸盐岩储层归纳为6种类型[6]: 1) 不整合面之下的石灰岩和白云岩; 2) 潮上带到潮下带的白云岩; 3) 鲕粒、团粒浅滩; 4) 礁(包括与礁有关的储层); 5) 泥晶灰岩、白垩内的微孔隙; 6) 泥晶灰岩内的微裂缝。本文通过岩心观察、薄片鉴定, 结合岩石学、测井及地震资料的综合研究, 认为本区黄龙组主要为一套碳酸盐岩潮坪沉积, 编制了黄龙组一段和二段的沉积相平面图, 结合各类沉积微相的平均孔隙度来分析, 为提高四川盆地黄龙组勘探开发效益提供更多的地质依据。

2. 研究区概况

冯家湾气田地理位置位于重庆市万州区北部，区域构造位置隶属于川东断褶带云安厂构造带中部，为云①断层下盘(图 1)的一个潜伏构造，北部以断洼与构造带主体大坪垭口高点相隔，东北与沙塘潜高相邻，西南与大猫坪潜伏构造正鞍相接。川东地区在区域构造上位于川东弧形褶皱带的西南缘，因此，川东弧形褶皱带的空间展布与形成演化对该区各地层的构造—沉积演化具有极其重要的控制作用[7]。根据前人研究，川东地区由于受加里东运动的影响，直到晚石炭世才又接受沉积。石炭纪末的云南运动使得上扬子古陆再度上升遭受剥蚀，使石炭系仅残存上石炭统黄龙组，而研究区区内钻井仅揭示黄龙组一、二段，与上覆下二叠统整合接触[8] [9] [10]。本次研究旨在通过精细地层研究的基础上，细分石炭系黄龙组沉积微相及演化规律，判断其垂向演化和横向分布规律。

3. 精细地层划分与对比

冯家湾潜伏构造钻遇石炭系的钻井有 9 口，其中钻穿石炭系的井 7 口。从冯家湾构造钻探情况看，下石炭统河洲组在区内无沉积，仅残存上石炭统黄龙组，残存厚度分布于 39 m~70 m 之间，总体上地层厚度分布比较稳定，厚度的差异性不大。传统的黄龙组地层纵向上自下而上依次可划分为黄龙组一段(C₂h₁)、二段(C₂h₂)和三段(C₂h₃) [11]，其中一段以次生粉晶灰岩为主，二段以泥晶-粉晶云岩为主，三段为泥晶-粉晶云岩和灰岩互层，黄龙组受岩溶作用影响而角砾化现象普遍，黄龙组三段在区内剥蚀殆尽，仅保留一段和二段地层(图 2)。

研究区内石炭系取心井均为全井段取心，且有系统的岩石薄片资料，为开展精细地层研究奠定了基础。通过对研究区取心井段系统观察描述和岩石薄片鉴定分析，依据岩相变化和组合规律对黄龙组进行了精细地层划分和对比研究。

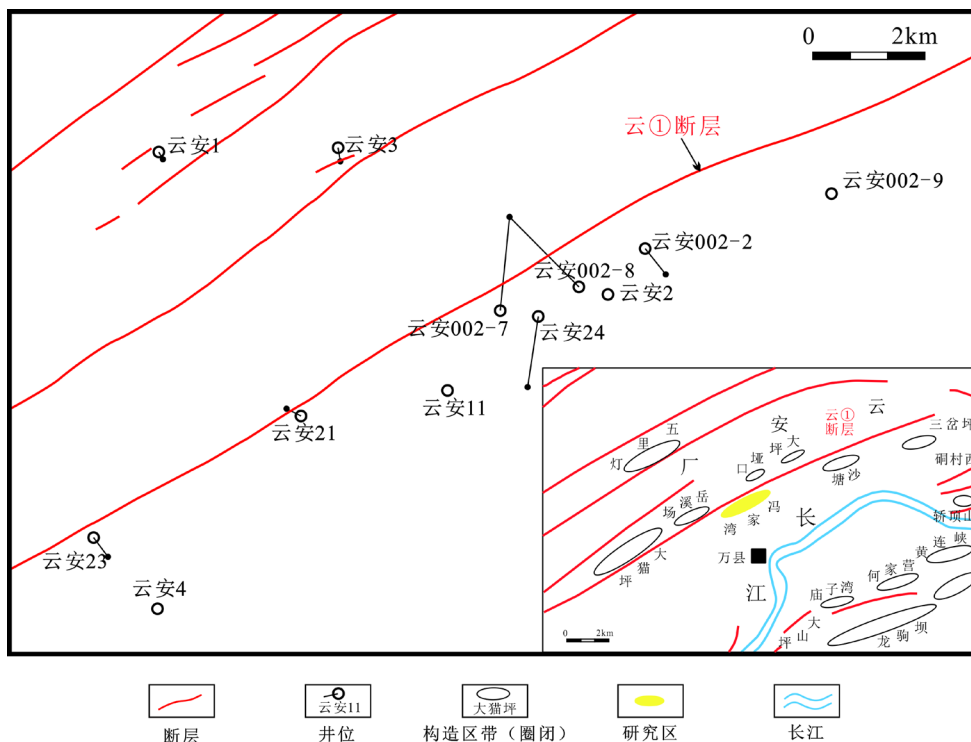


Figure 1. Tectonic location distribution and location of Fengjiawan
图 1. 冯家湾构造井位分布及构造位置图

3.1. 黄龙组一段(C₂hl₁)

川东地区黄龙组一段沉积超覆在中志留统灰绿色或杂色泥岩之上，一般厚度不超过 10 m [12]。冯家湾构造区黄龙组一段沉积厚度 2 m~8 m 之间，原岩以泥晶云岩或膏云岩为主，成岩期经去膏去云化作用或表生期岩溶作用大多形成次生粉晶灰岩或角砾状次生灰岩，几乎不见生物迹象。本段在云安 24 井变为灰岩及砂屑灰岩夹藻云岩，见少量有孔虫屑，偶见溶孔，角砾间见藻砂屑、砂屑、有孔虫、蠕屑。C₂hl₁ 沉积时期，川东大部分地区处在炎热气候下、水体盐度较大的潮上蒸发环境，该时期主要为潮上带亚相 [13]。本段岩性较为致密，不具有储集意义。

3.2. 黄龙组二段(C₂hl₂)

二段整合沉积于一上之上，厚 36.5 m~62 m，冯家湾构造云安 002-2 井区残余厚度相对较薄，最厚在南端云安 11-云安 21 井区，厚度在 45 m 左右。岩性主要为粉晶云岩、含颗粒白云岩、藻/砂屑白云岩、生屑白云岩、针孔状白云岩、鲕粒白云岩，岩溶角砾化形成的云质岩溶角砾岩普遍发育。在粉晶云岩、颗粒云岩和云质岩溶角砾岩中溶蚀孔洞及溶蚀缝等极其发育，储渗性好，是石炭系极为重要的储集岩和储集层位。本段的岩性及生物组合特征表明 C₂hl₂ 沉积时海侵范围扩大，全区基本上都接受沉积，但水体循环不畅通，盐度较大，总体仍属局限性沉积环境 [14]。黄龙组二段(C₂hl₂)根据岩相及沉积微相变化进一步细分为三个亚段 C₂hl₂¹、C₂hl₂²、C₂hl₂³，属于潮间 - 潮下的旋回(图 3)。

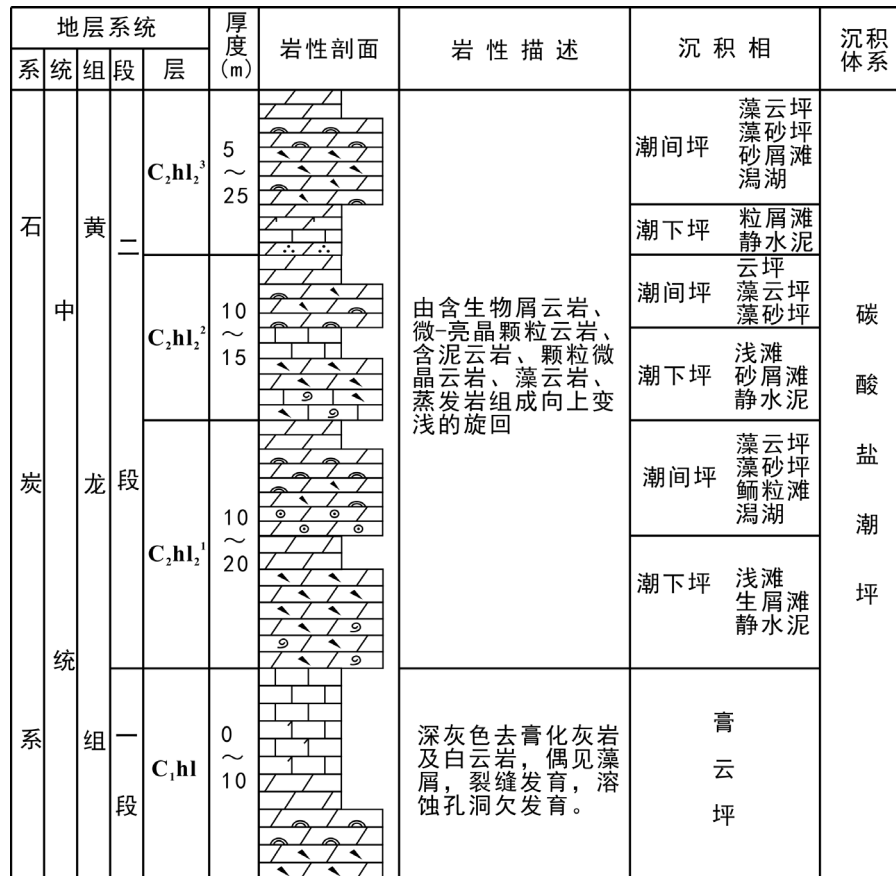


Figure 2. Ideal histogram of sedimentary strata of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan structure

图 2. 冯家湾构造石炭系黄龙组沉积地层理想柱状图

4. 沉积相标志及特征

4.1. 沉积相标志

4.1.1. 岩性标志

根据冯家湾区块 7 口井岩芯及薄片观察,发现各段的岩性具有不同的特征,从下到上依次为次生灰岩为主→微-粉晶白云岩为主→泥-粉晶灰岩为主夹白云岩递变(图 4(a), 图 4(b), 图 4(g)),同时也反映出了黄龙组沉积演化变迁。一段主要为深灰色或褐灰色去白云化、去膏化粉-细晶次生灰质岩溶角砾岩和白云质灰岩和灰质白云岩和泥-细晶白云岩(图 4(c)),偶见泥-微晶白云岩,反映气候炎热、干燥,水体盐度高。二段主要以白云岩为主(图 4(h), 图 4(i)),并发育丰富的溶蚀溶孔,反映为气候炎热、干燥,水体盐度较高。三段主要为由局限向开阔浅海陆棚相过渡的泥-微晶(少量粉晶)灰岩(图 4(d), 图 4(e), 图 4(f)),偶见少量有孔虫、棘皮等生物碎屑,局部夹有白云生物碎屑灰岩,水体盐度不高,为正常海水盐度。

4.1.2. 古生物标志

从薄片观察可见冯家湾地区生物碎屑含量较多,主要以窄度生物组合为主(图 5)。黄龙组一段生物较少。二段较丰富,以有孔虫发育为主,有少量藻类、海百合、腕足、蠕等,这种生物组合属于快速海侵沉积的产物,反映该时期水体突然增加的海侵作用。

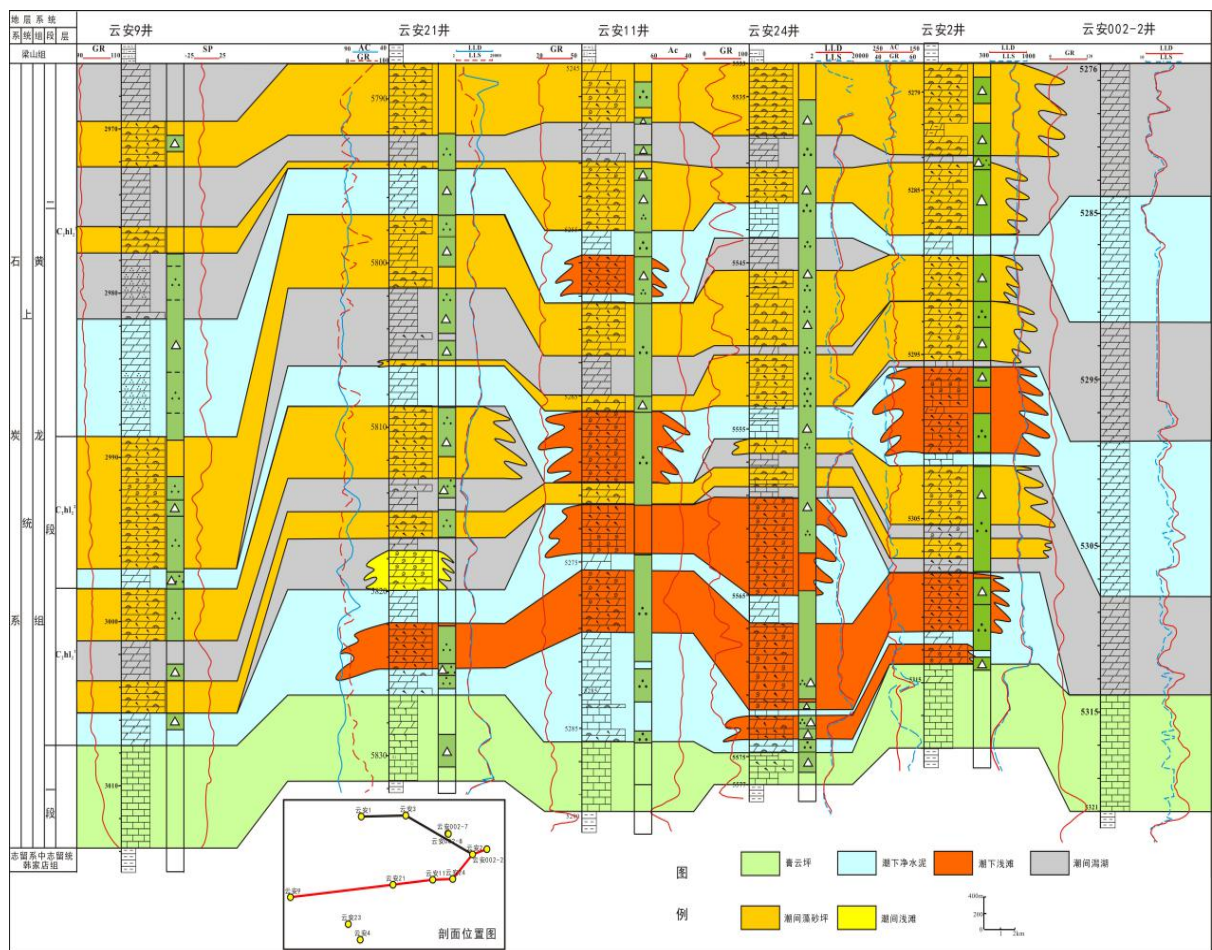
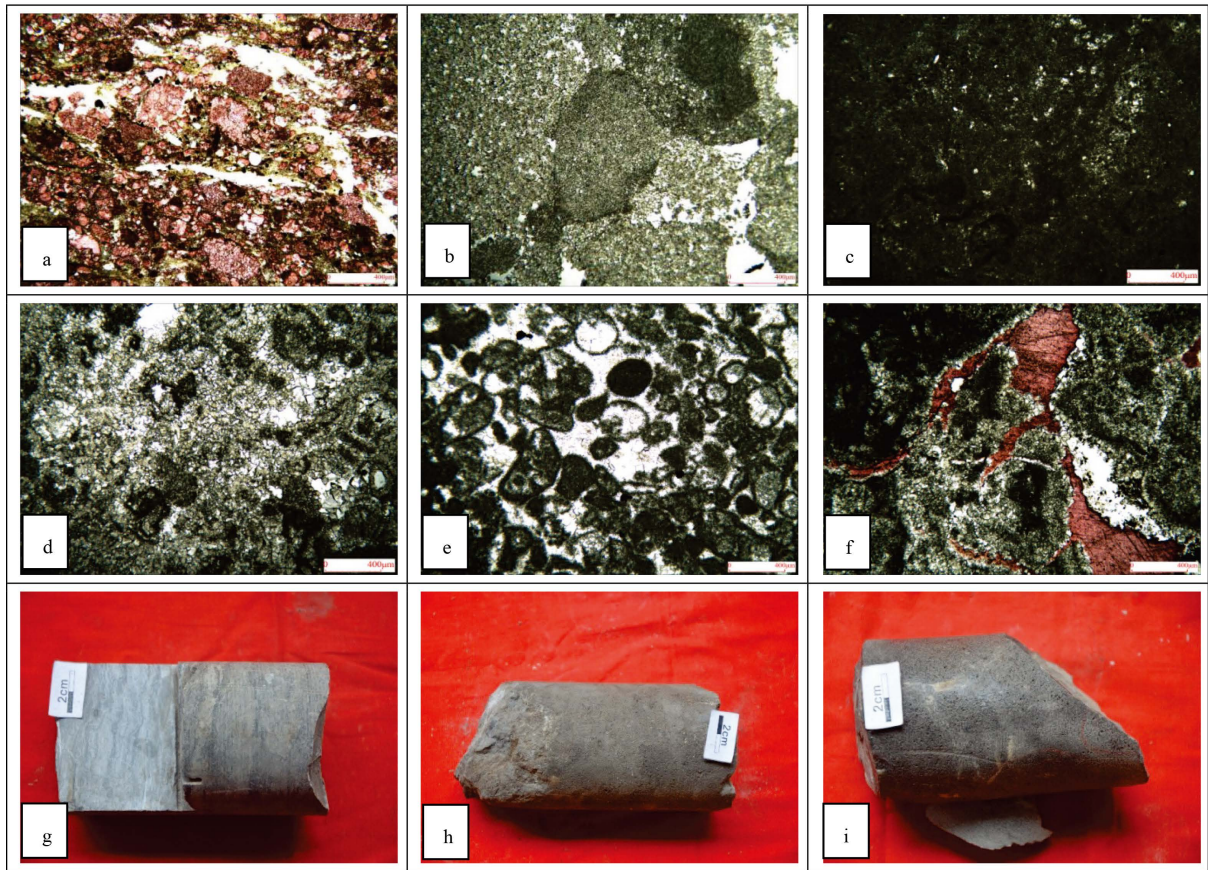


Figure 3. Connected wells of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan

图 3. 冯家湾石炭系黄龙组连井图



(a) 含颗粒细粉晶灰岩, 云安 3 井, 3087.29 m~3087.39 m, 潮间坪 - 砂屑滩微相; (b) 砾间溶孔细粉晶角砾云岩, 内部发育少量溶孔, 云安 9 井, 2973.97 m~2974.08 m, 潮间坪 - 砂屑滩微相; (c) 浅灰褐色藻迹泥晶云岩, 云安 21 井, 5819.36 m~5819.42 m, 潮间坪 - 浅滩微相; (d) 深灰色溶孔虫屑粉晶云岩, 云安 2 井, 5303.1 m~5303.7 m, 潮下坪 - 生屑滩微相; (e) 亮晶鲕粒云岩, 主要见表鲕, 少量藻球粒局部富集, 另见少量藻砂屑和生屑, 云安 7-1 井, 5769.01 m~5769.06 m, 潮下坪 - 生屑滩微相; (f) 藻迹泥、细粉晶含灰质云岩, 藻迹呈斑点、纹状、包状分布, 另见少量溶孔, 云安 3 井, 3096.23 m~3096.31 m, 潮间坪 - 藻云坪微相; (g) 浅灰色、灰色纹层状次生灰岩, 云安 11 井, 潮间坪 - 砂屑滩微相; (h) 灰色、浅灰色云质岩溶角砾岩, 溶孔主要集中分布于角砾内, 溶孔整体向上呈现变好的趋势, 云安 21 井, 潮下坪 - 砾屑滩微相; (i) 浅灰色针孔状云岩, 溶孔分布不均匀, 云安 24 井, 潮下坪 - 砂屑滩微相; (a)~(f)均为单偏光。

Figure 4. Typical rock types of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan
图 4. 冯家湾石炭系黄龙组典型岩石类型

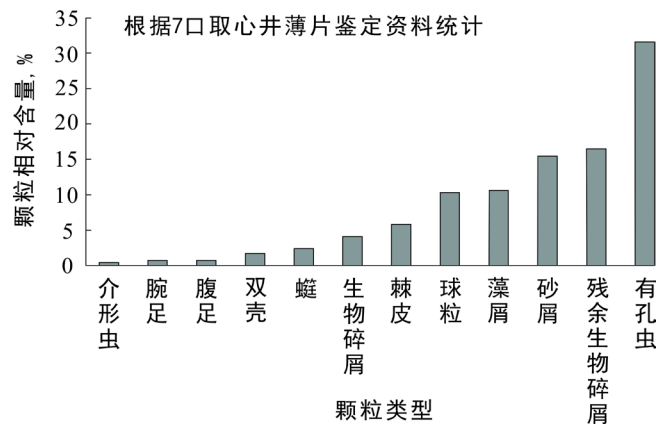


Figure 5. Histogram of types and relative contents of particles (raw chips) of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan
图 5. 冯家湾石炭系黄龙组颗粒(生屑)类型及相对含量直方图

4.2. 沉积微相类型划分

针对川东地区冯家湾石炭系黄龙组的沉积相, 前人已做了很多研究, 不同的研究者根据所采用的地质理论和依据的沉积相模式不同, 其相带名称的定义也不同[15] [16]。前人曾将不同的微相类型与一定的海平面变化位置(体系域)相对应, 分析微相的纵向演化与海平面相对变化及气候变化的关系。本次研究根据研究区的钻井、录井、岩心、薄片等分析, 以及对前人研究成果的剖析, 认为研究区在黄龙组时期主要处于碳酸盐岩潮坪环境沉积, 并将研究区沉积微相进行进一步的精细划分: 浅滩、潟湖、静水泥、藻砂坪、藻云坪、膏云坪。

研究区内黄龙组主要分三段, 一段主要为灰黑色及深灰色灰岩, 二段为一个潮下坪 - 潮间坪 - 潮下坪的沉积旋回, 而三段基本不发育。

1) 潮上坪亚相

① 膏云坪: 主要发育在黄龙组一段, 以灰岩为主, 含有云质灰岩, 夹有灰质云岩, 部分含有角砾, 偶见溶孔。

2) 潮间坪亚相

① 潟湖: 主要发育在潮间亚相, 主要以白云岩为主, 部分含有溶孔和角砾。

② 砂屑滩: 岩石类型主要为粒间溶孔砂屑细粉晶云岩, 泥、细粉晶砂屑云岩, 较均匀分布, 砂屑形态一般圆 - 椭圆, 部分变形成不规则的长条或其它形态, 砂屑普遍细 - 中级, 少许为砾屑级, 另少见毛团虫、介形虫等生屑, 另见少量藻砂屑和表鲕, 部分砂屑边缘具泥晶套, 形态欠规则, 见虫屑局部富集, 粒间溶孔较发育, 少量粒内溶孔和铸模孔。

③ 藻砂坪、藻云坪: 主要发育在潮间亚相, 主要以藻砂屑云岩及藻云岩为主, 其中夹有薄层云岩、灰质云岩, 部分含有角砾, 局部见溶孔, 以粒间溶孔和粒内溶孔为主, 少见铸模孔。

3) 潮下坪亚相

① 生屑滩: 岩石类型主要为生屑细粉晶云岩, 生屑仅辨较大的腹足、有孔虫(节房、球办、毛团等)。

② 静水泥: 主要发育在潮下亚相, 以白云岩、灰质云岩为主, 少量灰岩、云质灰岩, 部分见角砾。

③ 浅滩: 主要以生屑滩和砂屑滩为主, 部分发育少量的鲕粒滩。滩主要发育在黄龙组 2 段。

④ 鲕粒滩: 岩石类型主要为粒内溶孔残余鲕粒泥晶云岩, 粒间溶孔亮晶鲕粒灰岩, 其中, 残余鲕为细粉晶结构, 圆 - 椭圆形, 鲕内孔发育, 部分具示底构造, 部分鲕受压变形呈鸟嘴状, 含藻迹的泥晶云岩粘胶为主, 灰岩种分布少量变形鲕粒(呈鸟咀, 链状), 棘皮、办鳃、介形虫屑, 有孔虫屑少量, 亮晶胶结, 局部粒间溶孔发育, 零散见粒内溶孔。

我们以云安 2 井为研究区内的关键井, 根据录井资料, 云安 2 井黄龙组地层厚度为 42 m, 岩性主要为细粉晶白云岩、泥粉晶云岩、角砾云岩、砂屑云岩、藻云岩、细粉晶灰岩, 发育有较多的角砾碳酸盐岩(图 6)。

黄龙组一段厚度为 5 m, 岩性主要为细粉晶灰岩, 测井曲线形态呈现钟形 - 漏斗形复合特征, 根据岩性变化和测井曲线, 此段主要发育潮上带膏云坪。

黄龙组二段厚度为 37 m。C₂hl₁ 段厚度为 12 m, 岩性主要为藻云岩、砂屑白云岩, 发育部分灰质云岩以及鲕粒白云岩。测井曲线形态呈现柱形特征, 主要发育潮间带 - 潮下带亚相的旋回, 可识别出藻砂坪夹鲕粒滩以及大量浅滩微相沉积。C₂hl₂ 段厚度为 12 m, 岩性主要为砂屑白云岩、藻云岩、藻砂屑云岩, 发育部分生屑灰岩和云质灰岩。测井曲线形态呈柱形特征, 主要发育潮下带 - 潮间带的旋回, 可识别出藻云坪夹砂屑滩以及大量浅滩和少量潮下静水泥微相沉积。C₂hl₃ 段厚度为 13 m, 岩性主要发育砂屑白云岩和藻云岩夹少量次生云岩和泥质白云岩。测井曲线形态呈柱形特征, 主要发育潮下带 - 潮间带的旋回, 藻云坪、藻砂坪、砂屑滩及少量潟湖微相沉积。

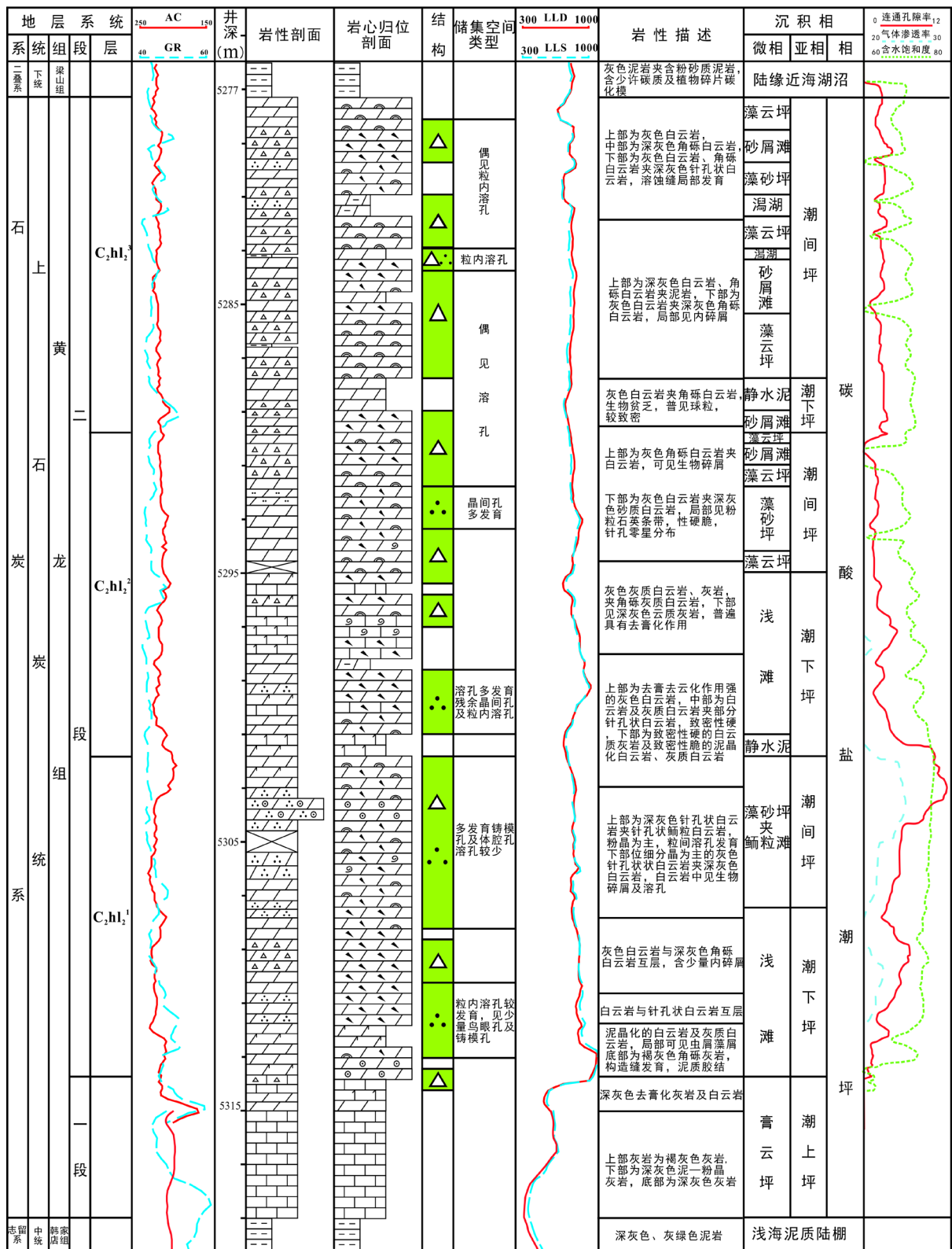


Figure 6. Sedimentary facies-reservoir comprehensive histogram of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan in Yunan 2 well

图 6. 冯家湾石炭系黄龙组云安 2 井沉积相 - 储层综合柱状图

5. 沉积微相分布特征

5.1. 连井相分析

该连井剖面选取研究区东西向：云安 9-云安 21-云安 11-云安 24-云安 2-云安 002-2 井黄龙组沉积相横向展布特征(图 3)。

该连井剖面呈东西方向展布，黄龙组划分为三段，黄龙组顶底界线明显，三个岩性段界限局部可对比。在研究区内，整体呈现潮下 - 潮间亚相的旋回，膏湖环境的水体深度无明显变化，三段则遭受到剥蚀，几乎无残余。

纵向上，该连井剖面自下而上发育碳酸盐潮坪，整体呈现一个潮下 - 潮间亚相的旋回。碳酸盐潮坪主要沉积一套细 - 粉晶去膏化次生灰岩与微 - 粉晶云岩、角砾状云岩、针孔状云岩、藻云砂屑云岩、藻砂屑云岩、生屑云岩和各类云质岩溶角砾岩。黄龙组一段沉积较薄，三段在该剖面不发育，二段沉积稳定，这是由于川东地区由于受加里东运动的影响，直到晚石炭世才又接受沉积，石炭纪末的云南运动使得研究区遭受抬升剥蚀[17] [18]。

横向上，自西向东主要沉积了一套灰岩、白云岩，为碳酸盐缓坡沉积，其中礁滩体不发育，这也成为了该时期的一个典型沉积特征。黄龙组一段沉积厚度变化稳定，在云安 24 井区，沉积厚度最薄；二段沉积厚度稳定；三段不发育。在该剖面上，云安 9 井的沉积厚度最大的，分析其原因可能是该井处于比较低洼的地区。在剖面上显示，黄龙组一段底部普遍发育膏云坪微相，这可能是蒸发作用导致水分大量蒸发而没有得到补给，使得水位逐渐降低的原因，同时也解释了一段沉积厚度不大的问题。二段普遍发育泻湖、藻砂坪和潮下静水泥微相，其中云安 21 井、云安 11 井、云安 24 井和云安 2 井发育潮下浅滩沉积微相，较少的发育暴露蒸发微相，陆源碎屑物减少，表明了水位比一段沉积时期高。

5.2. 平面相分析

5.2.1. 黄龙组一段

C_2hl_1 期主要发育一套大面积的膏云坪，随着海水入侵，研究区为高能沉积环境。主要发育大段灰岩、云质灰岩，夹杂部分白云岩、灰质云岩。生物发育较少，偶见溶孔和藻屑(图 7(a))。

5.2.2. 黄龙组二段

C_2hl_2 期为研究区主要研究层段，随着海侵范围扩大，研究区沉积环境演变滩间潟湖、浅滩、潮间藻砂坪潮下静水泥的沉积。

1) $C_2hl_2^1$ 亚段

由于海水的推进，黄二 1 期主要在处在潮下浅滩、潮下藻砂坪和潮下静水泥。研究区域内，云安 2 井、云安 9 井、云安 11 井和云安 24 井为潮下浅滩，云安 1 井和云安 3 井为藻砂坪，其他则为潮下静水泥沉积，沉积物以云岩、角砾云岩、针孔状云岩为主，下部有少量次生灰岩，此期生物也开始出现，腹足、藻类，局部还是见部分生物碎屑沉积(图 7(b))。

2) $C_2hl_2^2$ 亚段

此期海水继续侵入，研究区内，潮下浅滩环境只有零星存在，主要集中在云安 1 井和云安 9 井。除了云安 4 (4-1)井和云安 23 井位潮下静水泥沉积，其他均为潮间藻砂坪的沉积。主要沉积云岩、藻云岩、砂屑生屑白云岩、藻砂屑云岩，含有次生灰岩，颗粒主要为生屑、藻砂屑及少量鲕粒，分选较好。生物比较发育，生物碎屑常见，含蠕、有孔虫、珊瑚、腹足、腕足、棘屑、介形虫及藻类等生物化石(图 7(c))。

3) $C_2hl_2^3$ 亚段

此期海侵较缓，海水继续扩进，为潮间藻砂坪和潮下静水泥环境过渡，只有云安 1 和云安 21 有小的

潮下浅滩的发育。沉积主要为藻云岩、砂屑云岩、藻砂屑云岩、云岩，含有次生灰岩物，生物比较发育，生物碎屑常见(图 7(d))。

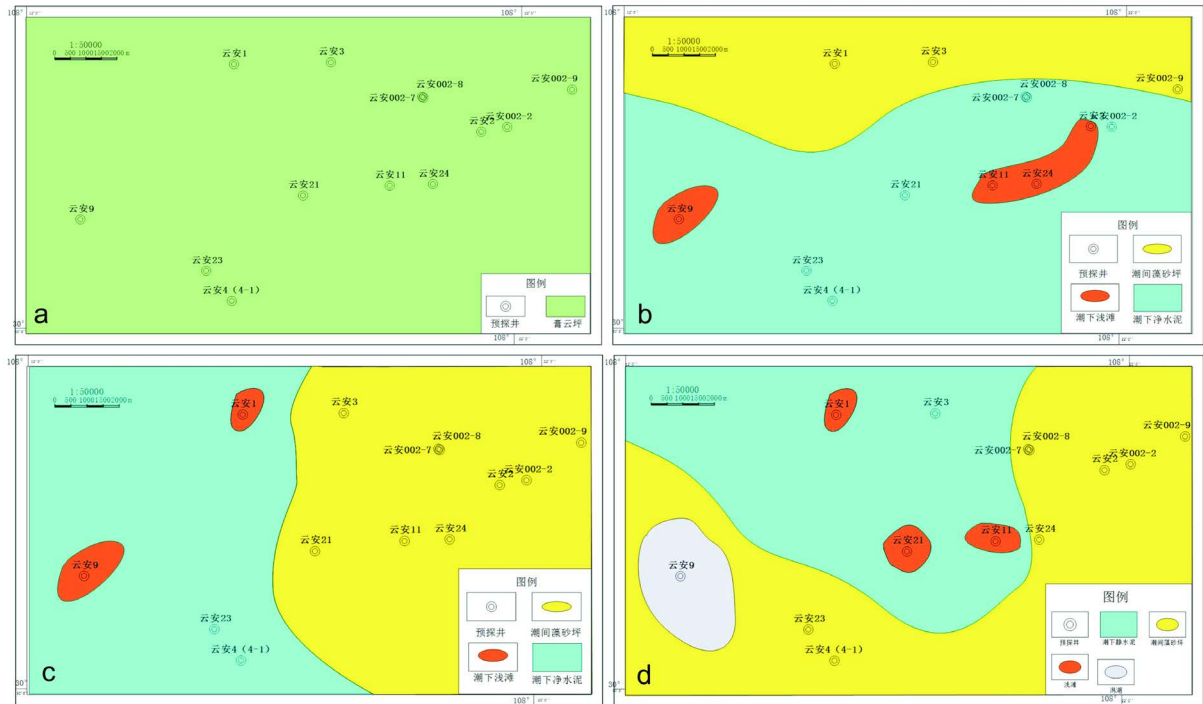


Figure 7. Sedimentary facies distribution map of Carboniferous Huanglong Formation subdivided layer in Fengjiawan structure

图 7. 冯家湾构造石炭系黄龙组细分层沉积相分布图

6. 沉积相模式

根据研究区取心井和野外剖面的沉积构造标志、古生物化石类型、沉积相类型及特征、沉积相的空间展布及垂向演化特征的分析，参考 Laporte (1967)的经典潮汐作用模式，建立川东地区冯家湾石炭系黄龙组沉积相模式(图 8) [19]。

7. 有利储集微相

通过对研究区内，根据对单井物性数据分析，研究区内井云安 2 井、云安 11 井、云安 21 井、云安 24 井的平均孔隙度为 4.63%。从各类沉积微相平均孔隙度结合孔隙度分布来看，由高到低依次为浅滩、潮下静水泥、鲕粒滩、砂屑滩、藻云坪和藻砂坪、潟湖、生屑滩、膏云坪。其中高能沉积环境下的浅滩和潮下静水泥孔隙度明显高于其他几类，高能沉积环境为储层发育提供了有利的物质基础，这两种微相是研究区有利储层发育的类型。而膏云坪的孔隙度相对较低，普遍为低孔隙，基本不发育储层(图 9)。研究区主要储集岩类型为颗粒云岩、藻屑云岩、细粉晶颗粒云岩等，说明优质储集岩主要赋存于高能的滩相环境中，浅滩微相则为区域有利储集微相。

8. 结论

通过对研究区内石炭系黄龙组的岩心、薄片、测井、古生物等方面的资料的综合分析，在前人的研究成果的基础上，主要对研究区进行了地层以及沉积的研究，取得如下的成果和认识：

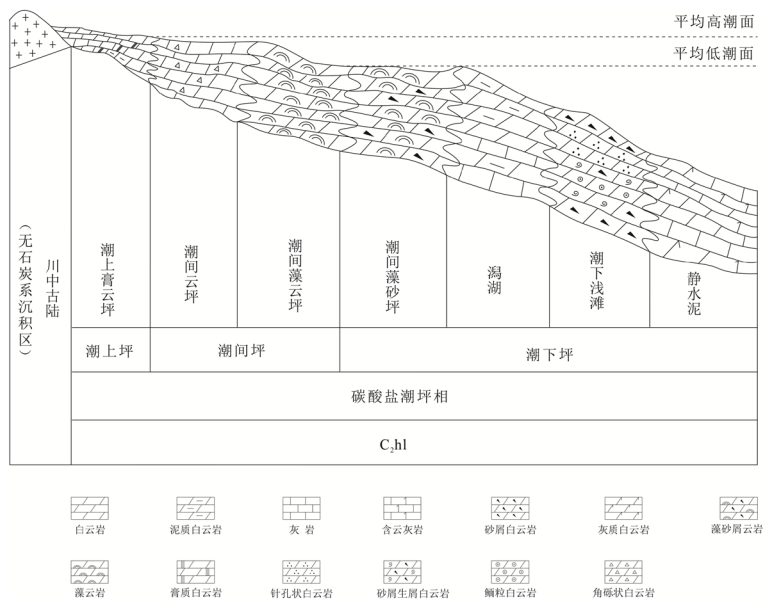


Figure 8. Sedimentary facies model map of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan
图 8. 冯家湾石炭系黄龙组沉积相模式图

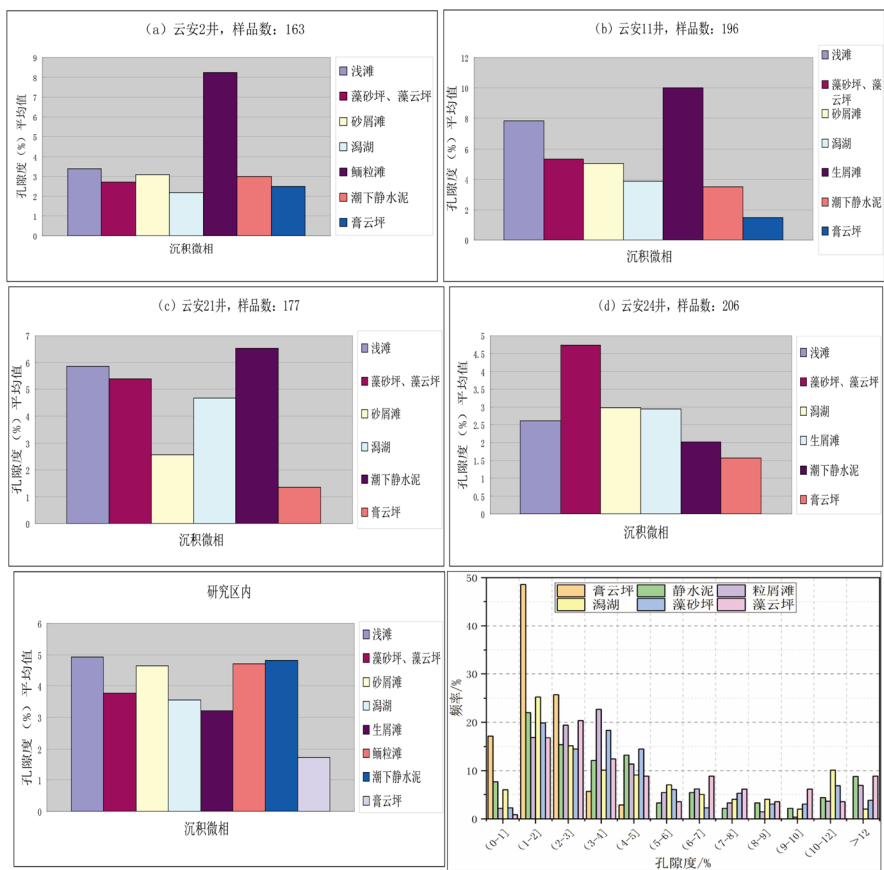


Figure 9. Porosity histogram of different sedimentary microfacies of Carboniferous Huanglong Formation in Fengjiawan
图 9. 冯家湾石炭系黄龙组不同沉积微相类型孔隙度直方图

1) 本次研究通过地层厚度特征及地层发育特征, 将石炭系黄龙组分为五段: 黄一段、黄二¹段、黄二²段、黄二³段和黄三段。根据结果表明, 研究区石炭系地层总体厚度分布比较稳定, 厚度的差异性均不大, 各时期地层分布具有一定的继承性, 也具有一定差异。

2) 针对川东地区石炭系黄龙组的沉积相, 本文认为在研究区内, 黄龙期主要处于碳酸盐潮坪环境沉积, 研究区划分为潮上坪、潮间坪、潮下坪三个相带以及浅滩、潟湖、静水泥、藻砂坪、藻云坪、膏云坪 6 个微相带, 这样的沉积模式更能反映研究区的沉积特征。

3) 从各类沉积微相平均孔隙度结合孔隙度分布来看, 由高到低依次为浅滩、潮下静水泥、鲕粒滩、砂屑滩、藻云坪和藻砂坪、潟湖、生屑滩、膏云坪。其中高能沉积环境下的浅滩和潮下静水泥孔隙度明显高于其他几类。由于优质储集岩主要赋存于高能的滩相环境中, 浅滩微相则为区域有利储集微相。

基金项目

中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司项目“云安厂气田冯家湾区块石炭系气藏精细气藏描述—三维地质建模及数值模拟”(XNS02JS2018-0081), 十三五国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2016ZX05007002)资助。

参考文献

- [1] 陈宗清. 川东中石炭世黄龙期沉积相及其与油气的关系[J]. 沉积学报, 1985(1): 71-80+143.
- [2] 李伟, 张志杰, 党录瑞. 四川盆地东部上石炭统黄龙组沉积体系及其演化[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(4): 400-408.
- [3] 方少仙, 侯方浩, 李凌, 等. 四川华蓥山以西石炭系黄龙组沉积环境的再认识[J]. 海相油气地质, 2000(Z1): 158-166.
- [4] 郑荣才, 陈洪德. 川东黄龙组古岩溶储层微量和稀土元素地球化学特征[J]. 成都理工学院学报, 1997(1): 5-11.
- [5] 陈浩如, 郑荣才, 罗韧, 等. 川东北地区黄龙组储层特征及主控因素[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(1): 36-44.
- [6] Mann, P., Gahagan, L. and Gordon, M.B. (2003) Tectonic Setting of the World's Giant Oil and Gas Field. In: Halbouty, M.T., Ed., *Giant Oil and Gas Fields of the Decade 1990-1999*, AAPG Memoir 78, AAPG, Tulsa, 15-105.
- [7] 胡忠贵. 川东-渝北地区石炭系白云岩成因与成岩系统研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [8] 代龙, 胡明毅, 胡忠贵, 等. 四川盆地上石炭统黄龙组沉积相分析[J]. 海相油气地质, 2015, 20(1): 45-52.
- [9] 张翼. 华蓥西石炭系黄龙组沉积相研究[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2015, 17(4): 31-36.
- [10] 张成富, 徐国盛, 龚德瑜, 等. 川东大天池气田龙门区块石炭系黄龙组沉积相研究[J]. 物探化探计算技术, 2010, 32(4): 371-379+336.
- [11] 周存俭. 川东沙罐坪气田石炭系沉积微相与储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [12] 王少奇, 唐洪, 苏鸣久, 等. 五灵山——蒲包山地区石炭系黄龙组沉积相研究[J]. 复杂油气藏, 2012, 5(3): 23-26+40.
- [13] 朱智鹏. 四川盆地东部石炭系黄龙组沉积演化特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2014.
- [14] 胡明毅, 邓猛, 胡忠贵, 等. 四川盆地石炭系黄龙组储层特征及主控因素分析[J]. 地学前缘, 2015, 22(3): 310-321.
- [15] 陈宗清. 扬子区石炭纪黄龙期沉积相[J]. 沉积学报, 1990, 8(2): 23-31.
- [16] 彭俊, 何文祥, 彭娉姿. 时频分析技术在预测残留地层厚度中的应用——以 PG 地区石炭系黄龙组为例[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(2): 28-31+4-5.
- [17] 林仲虔, 钟国初. 川东中石炭统碳酸盐岩的沉积环境及沉积特征[J]. 石油实验地质, 1982(2): 114-120.
- [18] 赖宇翔. 川东北龙会场-铁山地区石炭系黄龙组储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2017.
- [19] 郑荣才, 李珂, 马启科, 等. 川东五百梯气田黄龙组碳酸盐岩储层成岩相[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2014, 41(4): 401-412.