

渝东北双家坝气田黄龙组沉积微相分析

周永生¹ 郑荣才¹ 汪莉彬² 罗 韧³ 文华国¹ 陈智雍⁴

(1.“油气藏地质及开发工程国家重点实验室”,成都理工大学,四川 成都 610059;2.中石油新疆油田公司勘探开发研究院,新疆 克拉玛依 834000;3.中石油西南油气田分公司川东北气矿,四川 达州 635000;4.中石油西南油气田分公司勘探开发研究院,四川 成都 610041)

摘要:上石炭统黄龙组是渝东北双家坝气田天然气藏的主力产层。依据钻井、岩心、薄片、测井资料,并结合岩石学及古生物等的综合研究,建立了研究区石炭系黄龙组沉积模式。认为双家坝气田黄龙组沉积发育有萨勃哈、海湾陆棚 2 个沉积相带,具水体逐渐加深和范围向陆上超与扩大的海侵序列。根据沉积相标志又可进一步划分出 6 个亚相带和 8 个微相带。依据单井的沉积相研究成果进一步编制了黄龙组一段(C_2hl^1)、黄龙组二段(C_2hl^2)、黄龙组三段(C_2hl^3)沉积微相展布图,其中黄龙组二段的复合颗粒滩、砂屑滩、生屑滩微相是本区的有利沉积相带,为双家坝气田石炭系主力产气相带。

关键词:石炭系黄龙组;沉积微相;有利储层预测;双家坝气田;渝东北地区

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)02-0508-09

双家坝气田区域构造隶属川东断褶带七里峡高陡构造带东翼的次级潜伏构造。气田南与胡家坝潜伏构造相对,北与五灵山潜伏构造相邻,西与七里峡构造主体相隔,东与大天池构造带相望(图 1)。近年来针对川东地区高陡构造带天然气富集规律研究^[1-3],表明双家坝气田石炭系构造成形和烃源岩成熟史匹配良好,储层成层性和物性都较好,单井可控的气区面积较大,具有严格受有利沉积微相、成岩作用和古岩溶作用复合控制的特点,但近期针对双家坝气田黄龙组沉积微相的研究仍较为薄弱,明显制约了双家坝气田的勘探开发工程,因而也是双家坝气田急需解决的关键地质问题之一。本文通过钻井岩心观察、薄片鉴定、测井和地震资料及古生物学的综合研究,对双家坝气田黄龙组沉积微相进行了精细分析并建立了黄龙组沉积模式,编制了黄龙组 3 个段的岩相古地理图,期望为提高双家坝气田黄龙组气田的勘探开发效益提供更多的地质依据。

1 区域地质概况

川东地区除泥盆系缺失外,上古生代的其他层系基本齐全。据前人研究资料^[4],早古生代上扬子海盆受加里东运动影响,四川盆地东部地区于志留纪末开始抬升并遭受侵蚀,缺失泥盆系和下石炭统地层,直到晚石炭世才又开始接受沉积。石炭纪末的云南运动使得上扬子古陆再度隆升遭受剥蚀,川东大部分地区仅残存上石炭统黄龙组不整合超覆于中志留统韩家店组之上,其顶部被下二叠统梁山组不整合超覆(图 2)。黄龙组残余厚度变化大,如通江—南江—巴中地区为 20 m 左右,分布零星,达县地区厚达 70 m,以开县—大竹—垫江一带为主要分布区^[5]。晚石炭世黄龙早期,海水自鄂西海入侵,当时仅万县以东地区发育与鄂西海相连的通道,川东地区为一蒸发作用非常强烈的萨勃哈沉积环境^[6],以沉积泥晶白云岩和石膏等蒸发岩为主;至黄龙中期,海水自东侧的鄂西海

收稿日期:2012-09-10;改回日期:2013-02-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41002033)和国家科技重大专项(NO.2011ZX05030-003-02)共同资助。

作者简介:周永生,男,1988 年生,硕士生,主要从事沉积学研究;E-mail:358423378@qq.com。

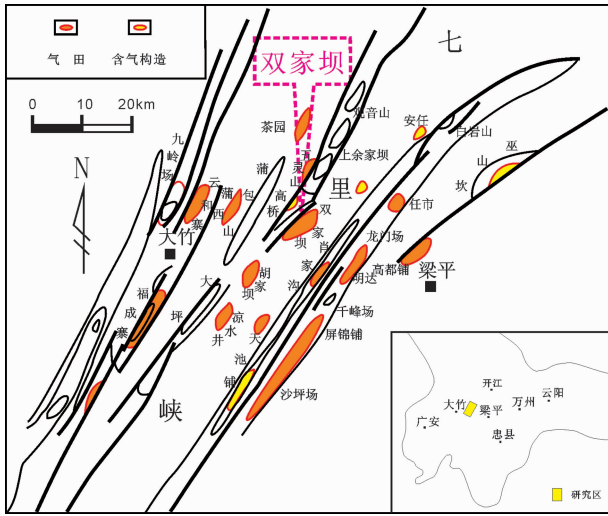
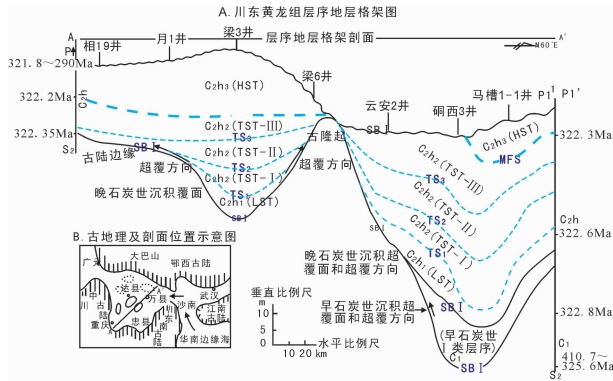


图 1 双家坝气田地理及构造位置略图

Fig.1 Geographic and structural location of the Shuangjiaba gas field



(垂直厚度为黄龙组钻井厚度, 顶部起伏变化按梁山组等厚图编制)

图 3 渝东北黄龙组层序-地层格架(据文献[2])

Fig.3 Sequence stratigraphic framework of Huanglong Formation in northeast Chongqing(after Reference [2])

和西侧的川西海双向入侵(图 3), 逐渐加深和转化为局限海湾环境, 发育有多个较为完整的障壁滩→潟湖-潮坪→蒸发坪沉积旋回, 以沉积韵律交替的微-亮晶颗粒白云岩、颗粒微晶白云岩和微-粉晶白云岩为主, 富含孔虫、双壳类和藻类化石; 至黄龙晚期, 海侵范围继续扩大和水体加深为开阔海湾环境, 广泛沉积韵律交替的微晶颗粒灰岩、颗粒微晶灰岩、微晶灰岩和微晶白云岩, 富含孔虫、腕足、海百合、珊瑚、苔藓虫和藻类等生物化石。

黄龙组自下而上划分为 3 个岩性段^[2-5], 即黄龙组一段 (C_{2h1}^I)、黄龙组二段 (C_{2h2}^I)、黄龙组三段

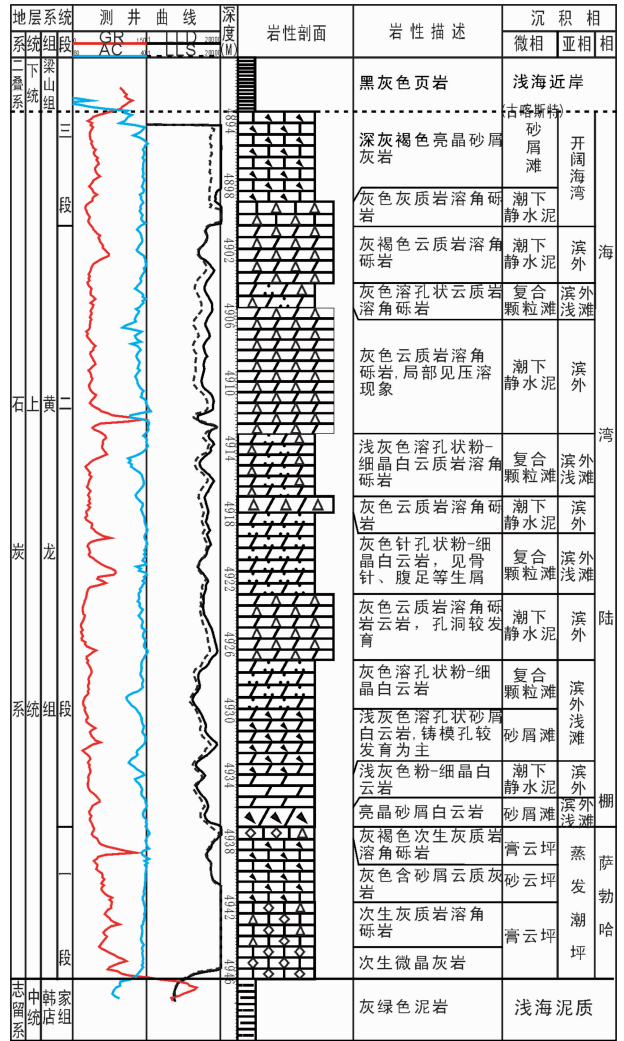


图 2 双家坝气田黄龙组沉积相综合柱状图(QL42 井)

Fig.2 Comprehensive column of sedimentary facies of Huanglong Formation in the Shuangjiaba gas field(well QL42)

(C_{2h3}^I)。各段岩性组合特征不同, 分别代表 3 个不同时期和不同环境的沉积相类型^[6-7]。在双家坝气田黄龙组一段为石膏岩、次生灰岩与白云岩组合, 属于萨勃哈沉积环境; 黄龙组二段为白云岩夹灰岩组合, 属于半局限海湾沉积环境; 黄龙组三段各类灰岩夹白云岩组合, 属于开阔海湾沉积环境(图 2)。

2 沉积相标志

2.1 岩性标志

根据 7 口井的钻井岩心观察和 135 件薄片鉴定资料, 双家坝气田石炭系黄龙组主要由海相碳酸盐岩及古表生期岩溶角砾岩组成, 可划分为石灰岩、白云岩、膏盐岩、岩溶角砾岩 4 大类。其中黄龙组一段

以次生灰岩、石膏岩为主,黄龙组二段以各类白云岩为主,黄龙组三段以各类灰岩为主。石灰岩可细分为(含生屑)微晶灰岩、微晶颗粒灰岩、亮晶颗粒灰岩等类型;白云岩可细分为微晶白云岩、粉-细晶白云岩、灰质白云岩、颗粒白云岩、残余生屑白云岩等类型;膏盐岩类包括石膏岩、膏质云岩、云质膏岩等类型。其中白云岩和石膏岩等类型经去云、去膏化作用后往往形成普遍发育的次生灰岩类。各类岩石中以白云岩为黄龙组储层最重要的储集岩类,岩溶角砾岩是黄龙组最具特色的储集岩类。

2.1.1 石灰岩类

(1) 微晶灰岩

由微晶方解石组成,占90%以上,呈中-薄层致密块状(图4-1),不含或少含介形虫、腹足、瓣鳃、棘皮、红藻等生物碎屑,少数可见到石膏假晶,以及示底构造、水平纹层等现象,反映该类灰岩一般形成于动力条件较弱的沉积环境中,在开阔海湾或正常碳酸盐岩陆棚相潮下低能环境中普遍分布。

(2) 微晶颗粒灰岩

根据颗粒成分不同可细分为微晶生屑灰岩、微晶砂屑灰岩、微晶球粒灰岩等(图4-2),主要形成于潮坪或浅滩沉积环境。

(3) 亮晶颗粒灰岩

亮晶颗粒灰岩中颗粒主要为生物碎屑、砂屑、砾屑,胶结物为亮晶方解石(图4-3)。其类型有亮晶生屑灰岩、亮晶生屑砂屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、亮晶砂砾屑灰岩和亮晶虫屑灰岩等。亮晶方解石胶结物常见二世胶结现象,少量可见三世胶结,主要形成于高能 and 间歇暴露的浅滩沉积环境。

2.1.2 白云岩类

(1) 微晶白云岩

由微晶白云石组成,可见水平藻纹层或残余藻屑纹层,也见有含石膏或石膏假晶的微晶白云岩(图4-4)。该类岩石形成于泻湖或潮下静水沉积环境,在一定的岩溶条件下可形成云质岩溶角砾岩。

(2) 粉-细晶白云岩

可分为重结晶和交代两种成因类型^[8],重结晶成因的白云石晶形较差,呈他形-半自形的镶嵌状,往往具残余的微晶白云石基质和残余纹层理,岩性较致密,往往分布于潮下静水沉积环境中;交代成因的粉晶白云石大部分具有残余颗粒结构,白云石晶形较好,呈半自形-自形的晶粒支撑结构,常发育有

针状溶孔,有利于储层发育,往往分布于浅滩沉积环境(图4-5)。

(3) 颗粒白云岩

根据颗粒类型可分为(含)生物屑白云岩、虫屑白云岩、藻砂屑白云岩、砂屑白云岩、藻屑藻迹白云岩、球粒白云岩、残余鲕粒白云岩等(图4-6、4-7、4-8)。此类型岩石多形成于浅滩为主的高能沉积环境。

2.1.3 岩溶角砾类

受晚石炭世古表生期岩溶改造形成的岩溶角砾岩广泛分布于研究区黄龙组各个层段,可细分为3种类型^[9-10]:①网缝镶嵌状岩溶角砾岩,沿裂缝原地溶蚀角砾化,角砾无明显位移(图4-9);②角砾支撑状岩溶角砾岩,形成于洞穴顶蚀垮塌的杂乱堆积物(图4-10);③基质支撑状岩溶角砾岩,为地表残积物和暗河搬运的洞穴充填物,部分为洞穴顶蚀垮塌堆积物(图4-11)。

2.1.4 膏盐岩类

类型包括石膏岩、云质膏岩、膏质云岩、次生灰岩等(图4-12、4-13),反映其原始沉积环境为地形不平坦和蒸发作用强烈的潮间-潮上勃哈萨环境。其中黄龙组一段广泛发育的次生细-粗晶灰岩是晚石炭世云南运动构造隆升期大气水潜流带对蒸发岩系地层进行强烈去膏去云化作用的产物。

2.2 古生物标志

双家坝气田黄龙组普遍含有生物化石或碎屑(图4-14、4-15、4-16),其中黄龙组一段含生物稀少,黄龙组二段含量最多但属种较单一,以有孔虫和双壳类为主,黄龙组三段含量中等但属种最丰富,包括有孔虫、海百合、腕足、筴、红藻等,局部见有珊瑚、苔藓虫和骨针化石,主要为窄盐度生物组合,此外,生物扰动、钻孔和潜穴构造也很发育。这种生物丰度和分异度逐渐增加的组合反映水体逐渐加深、循环变好的环境演变过程,也可反映自黄龙组一段至三段海侵逐级加快、幅度加大的连续海侵沉积过程,其中尤其是以黄龙组三段下部生物最为丰富,普遍发育有含窄盐度组合的生物碎屑微晶灰岩,生物属种繁多,显示海平面上升达最高点位置时的海水循环良好的开阔海湾环境特点^[2]。

2.3 电性标志

测井曲线在纵向上可以较准确地反映岩石类型及物性的差异,双家坝气田黄龙组3个岩性段在电性特征上具有各自特征及规律性。

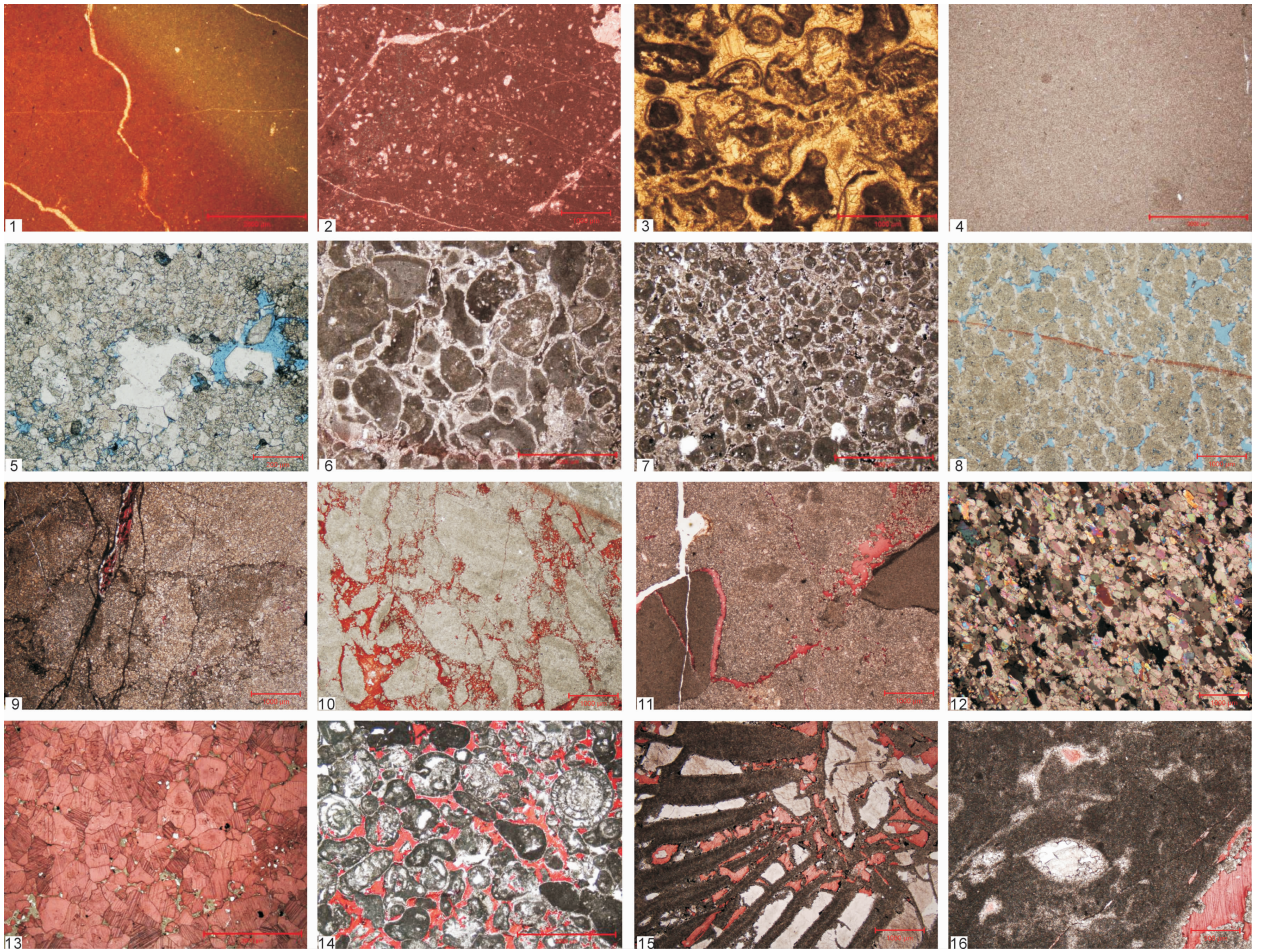


图 4 双家坝气田黄龙组常见岩石类型及古生物特征显微照片

1—微晶灰岩,潮下静水泥微相,QL9井,4886.5 m,染色薄片(-);2—微晶生屑灰岩,潮下静水泥微相,QL9井,4886.68 m,染色薄片(-);3—亮晶生屑灰岩,生屑滩微相,QL41井,4832 m,染色薄片(-);4—微晶白云岩,潮下静水泥微相,QL43井,块号305,染色薄片(-);5—粉—细晶白云岩,复合颗粒滩微相,QL9井,4915.1 m,铸体薄片(-);6—砂屑白云岩,砂屑滩微相,QL17井,4961.6 m,染色薄片(-);7—生屑白云岩,生屑滩微相,QL43井,块号637,染色薄片(-);8—残余鲕粒白云岩,砂屑滩微相,QL7井,4957.3 m,铸体薄片(-);9—网缝镶嵌状岩溶角砾岩,潮下静水泥微相,QL45井,4892.66 m,染色薄片(-);10—角砾支撑状岩溶角砾岩,潮下静水泥微相,QL17井,4964 m,染色薄片(-);11—基质支撑状岩溶角砾岩,复合颗粒滩微相,QL9井,4893.96 m,染色薄片(-);12—石膏岩,膏盐湖微相,QL17井,4968.8,染色薄片(+);13—次生灰岩,膏云坪微相,QL42井,4937.8 m,普通薄片(-);14—丰富的有孔虫化石,少量腕足和棘皮碎屑,生屑滩微相,QL4井,4890.3 m,染色薄片(-);15—珊瑚化石,潮下静水泥微相,QL45井,4887.46m,染色薄片(-);16—介形虫化石,生屑滩微相,QL45井,4901.13 m(-)

Fig.4 Thin section photomicrographs of different rock types and paleontology in the Shuangjiaba gas field

1—Microcrystalline limestone, subtidal static water mudstone, well QL9, 4886.5m, stained thin section(-); 2—Microcrystalline bioclastic limestone, subtidal static water mudstone, well QL9,4886.68m, stained thin section(-); 3—Sparry bioclastic limestone, bioclastic beach, well QL41, 4832m, stained thin section(-); 4—Micritic dolomite, subtidal static water mudstone, well QL43, block No. 305, stained thin section(-); 5—Silty-fine dolomite, composite particles beach, well QL9, 4915.1m, casting thin section(-); 6—Calcarene dolomite, calcarenite beach, well QL17, 4961.6m, stained thin section(-); 7—Bioclastic dolomite, bioclastic beach, well QL43, block No. 637, stained thin section(-); 8—Residual oolitic dolomites, calcarenite beach, well QL17, 4957.3m, casting thin section(-); 9—Net-slit mosaic of karst breccia, subtidal static water mudstone, well QL45, 4892.66m, stained thin section(-); 10—Brecciated support of karst breccia, subtidal static water mudstone, well QL17, 4964m, stained thin section(-); 11—Stroma support of karst breccia, composite particles beach, well QL9, 4893.96m, stained thin section(-); 12—Gypsum rock, salt lake, well QL17, 4968.8m, stained thin section(-); 13—Secondary limestone, gypsum dolomite flat, well QL42, 4937.8 m, stained thin section(-); 14—A lot of foraminifera and some brachiopods and echinoderms, bioclastic beach, well QL4, 4890.3 m, stained thin section(-); 15—Coral fossils, subtidal static water mudstone, well QL45, 4887.46 m, stained thin section(-); 16—Ostracod fossils, bioclastic beach, well QL45, 4887.46m, stained thin section(-)

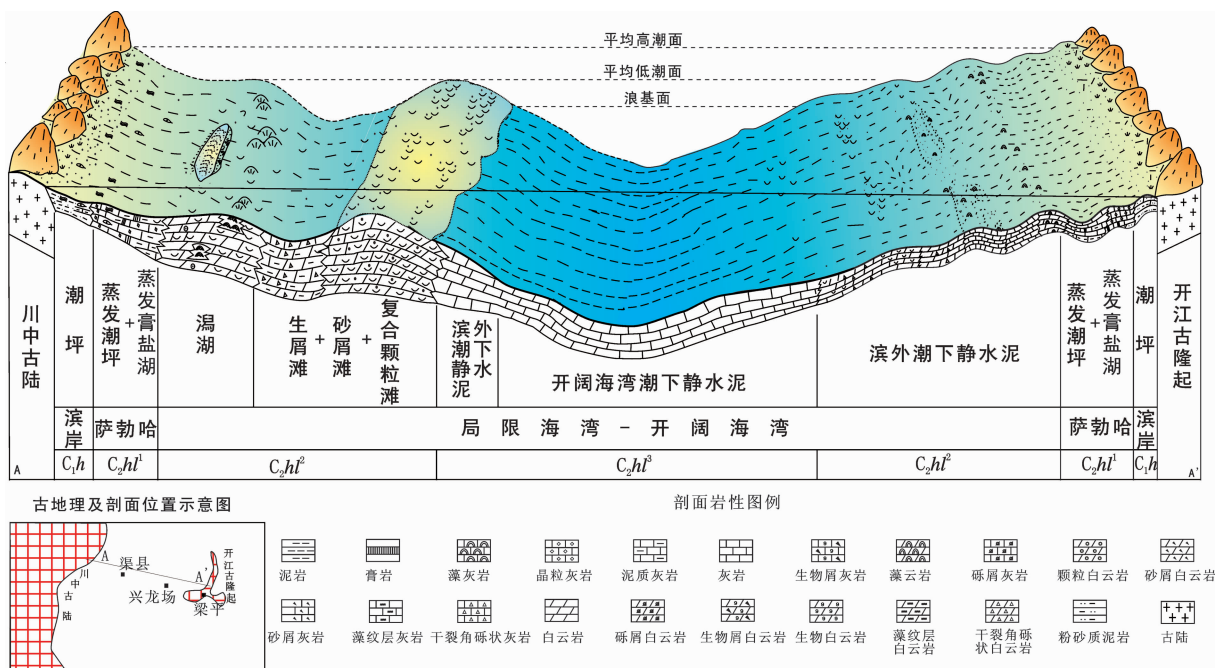


图5 双家坝气田黄龙组沉积模式图(据文献[14]修改)

Fig.5 Sedimentary model of Huanglong Formation in the Shuangjiaba gas field(modified after Reference [14])

(1) 黄龙组一段(C_2h^1): 深、浅侧向测井曲线呈块状高阻, 自然伽马测井曲线上部呈高值, 下部呈低值, 底部石膏层自然伽马为低值, 电阻率为高值, 代表萨勃哈沉积的测井响应特征(图2)。

(2) 黄龙组二段(C_2h^2): 深、浅侧向电测井曲线阻率比 C_2h^1 和 C_2h^3 都低, 呈锯齿状, 自然伽马测井曲线上部有一高值段, 中下部呈齿状低值, 代表了半局限海湾沉积的测井响应特征(图2)。

(3) 黄龙组三段(C_2h^3): 深、浅侧向测井曲线呈明显的厚层状高阻夹不规则的“V”字型低值, 声波时差测井曲线总体变化较小, 自然伽马呈齿状低值, 代表开阔海湾沉积的测井响应特征(图2)。

3 沉积模式与沉积微相平面展布

3.1 沉积相划分及沉积模式

关于川东地区黄龙组沉积相划分有较大的争议, 曾提出有潮坪模式^[4]、咸化潟湖-陆表海模式^[7]、海湾潮坪-开阔潮下模式^[9]、蒸发台地-局限台地模式^[11]等。本次研究在借鉴前人研究成果的基础上, 结合 QL4 井、QL7 井、QL9 井等取心井沉积相特征及研究区所处的古地理背景, 依据渝东北地区黄龙组沉积期沉积盆地由强烈蒸发的局限海湾向半局限海湾和正常开阔浅海演化的特点^[12-13], 提出黄龙组萨勃哈-海湾陆棚

沉积相划分方案(表1)和沉积模式(图5)。

3.1.1 萨勃哈相

主要发育于黄龙组一段(C_2h^1), 由蒸发潟湖、蒸发潮坪等亚相组成。

表1 双家坝气田黄龙组沉积相划分简表
Table.1 Sedimentary facies classification of the Huanglong Formation in the Shuangjiaba gas field

沉积相	亚相	微相	岩性特征
海湾陆棚	开阔海湾	潮下静水泥、生屑滩、砂屑滩、复合颗粒滩	微-粉晶灰岩、白云岩, 部分岩溶角砾化, 生物屑泥-微晶灰岩, 残余砂屑灰岩, 藻砂屑灰岩
海湾陆棚	滨外	潮下静水泥	泥-粉晶白云岩, 泥-粉晶灰质白云岩, 泥-微晶白云质岩溶角砾岩
	滨外浅滩	生屑滩、砂屑滩、复合颗粒滩	砂砾屑白云岩, 生物屑白云岩, 藻砂屑白云岩, 藻迹粉晶白云岩, 泥晶虫屑白云岩
	局限海湾	潟湖	泥-粉晶白云岩, 泥-粉晶含灰白云岩, 细粉晶白云岩, 泥晶白云岩
萨勃哈	蒸发潮坪	膏云坪、砂云坪	次生晶粒灰岩和膏盐假晶次生灰质云泥岩, 微晶-粉晶白云岩
	蒸发潟湖	膏盐湖	石膏岩

(1)蒸发潟湖亚相

蒸发潟湖亚相中的膏盐湖微相以沉积大套的块状石膏岩为主,厚度可达数米至数十米。因暴露多形成干裂化角砾,若遭受溶蚀则普遍可形成膏溶角砾岩,常见结核状和串珠状构造。该相带岩性致密,不利于储层发育。

(2)蒸发潮坪亚相

蒸发潮坪亚相中的膏云坪和砂云坪微相以沉积泥-微晶云岩、膏质云岩、云质膏盐和含膏盐假晶的云岩为主,水平纹层和干裂构造极其发育,局部可见不明显的冲刷面。由于受云南运动之后发生的古岩溶作用的影响,大部分云质膏盐发生去云化和去膏化作用而形成现在黄龙组普遍可见到的次生晶粒灰岩或次生灰质岩溶角砾岩。

3.1.2 海湾陆棚相

海湾陆棚即浅海陆棚沉积体系,由局限和开阔海湾、滨外、滨外浅滩等亚相和众多微相组成。

(1)局限海湾亚相

局限海湾系指地理上或水动力上受到限制的一种潮下浅水低能的碳酸盐沉积环境,主要发育于黄龙组二段(C₂hl^f)。研究区主要为潟湖微相,发育于受保护的潮下静水的低能带,以沉积微晶白云岩和少量生物碎屑、颗粒白云岩为特征。

(2)滨外浅滩亚相

系指浪基面之上为有波浪和潮汐作用的浅滩沉积,可细分为生屑滩、砂屑滩、复合颗粒滩 3 种微相类型,散布于开阔海湾陆棚中。由于受原始基底或沉积高地控制的正地形微地貌影响,水动力条件较强,岩性以微-亮晶颗粒白云岩、针孔状白云岩为主,颗粒以窄盐度组合的生物屑为主,如瓣、海百合、腕足、苔藓虫、海绵等,另可见砂砾屑、鲕粒和藻团粒等。

(3)滨外亚相

是指在浪基面之下的不受或几乎不受波浪潮汐作用影响的区域,一般水体深度较深,主要发育潮下静水泥沉积微相。岩性以泥-粉晶白云岩、泥-粉晶灰质白云岩、泥-微晶白云质岩溶角砾岩为主,沉积物颜色较暗,生物含量较低。

(4)开阔海湾亚相

开阔海湾为远离沉积高地或古陆的正常浅海区域,是黄龙组三段(C₃hl^f)的主要沉积相类型。在开阔海湾中,浪基面以下为潮下静水沉积区-潮下静水泥微相,主要沉积微晶灰岩、(含)颗粒微晶灰岩,颗

粒组分以生屑和球粒为主。

3.2 沉积微相平面展布

针对黄龙组地层发育特征,在对双家坝气田及周边共 32 口单井的沉积相特征分析基础上,采用单因素制图的综合编图技术^[13],分别统计各地层单元的地层厚度、颗粒岩厚度、角砾岩厚度,以及整个黄龙组残余厚度等基础数据资料,以黄龙组各岩性段为编图单元,分别编制以地层厚度、颗粒岩厚度、岩溶角砾岩厚度为单因素的平面分布图,在综合各种单因素编图成果基础上,结合区域构造背景及演化特征,编制了黄龙组 C₂hl^f、C₂hl^f、C₂hl^f 3 个岩性段的岩相古地理图(图 6~8),非常精细地描述了各岩性段的沉积微相平面展布特征。

3.2.1 黄龙组一段沉积微相展布

双家坝气田黄龙组一段沉积厚度差异较大,最薄处在 QL7 井,厚度仅为 2.5 m,而 QL8 井则最厚达 20.3 m,双家坝气田黄龙组一段主要发育蒸发潮坪亚相和膏盐湖微相。膏盐湖微相主要分布在北部的 A 区块,包括 QL8 井、QL43 井、QL17 井、QL12 井、QL22 井等 5 个井区,其余 B 区块均发育蒸发潮坪亚相,为本区黄龙组一段的优势相(图 6),由于岩

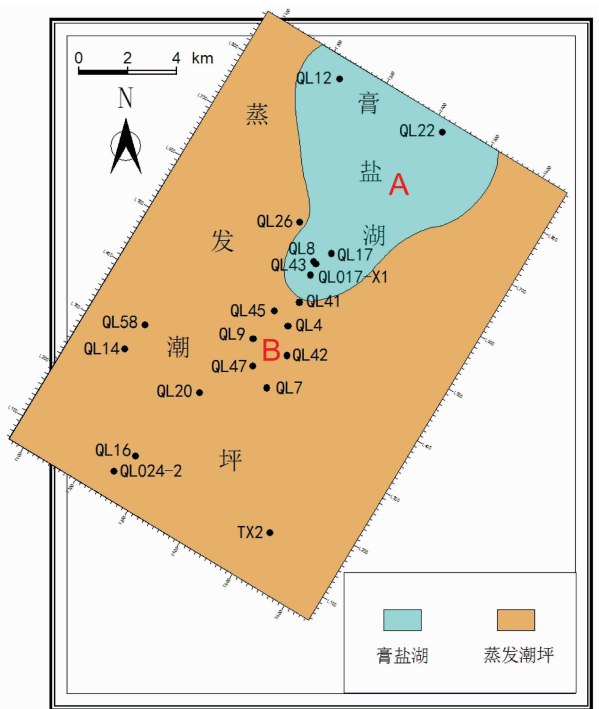


图 6 黄龙组一段(C₂hl^f)沉积相展布图
Fig.6 Sedimentary facies of 1st Member (C₂hl^f) of Huanglong Formation

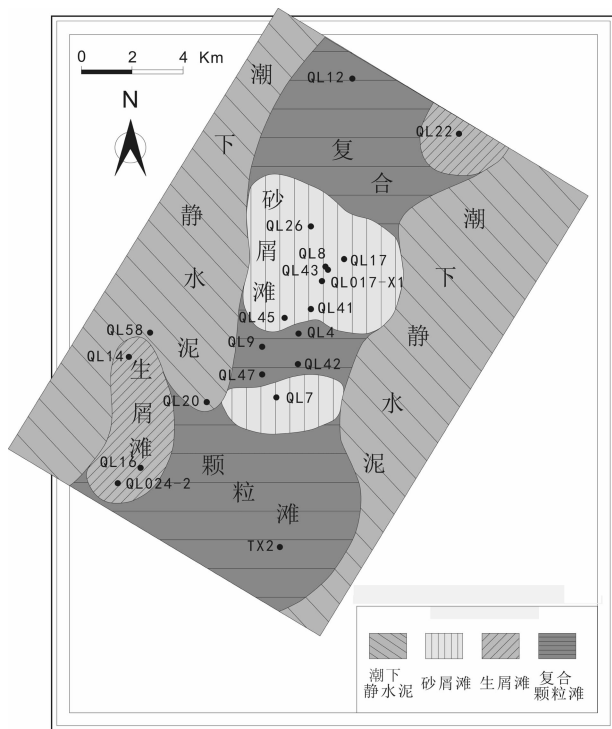


图7 黄龙组二段(C_{2h}²)沉积相展布图
Fig.7 Sedimentary facies of 2nd Member(C_{2h}²) of Huanglong Formation

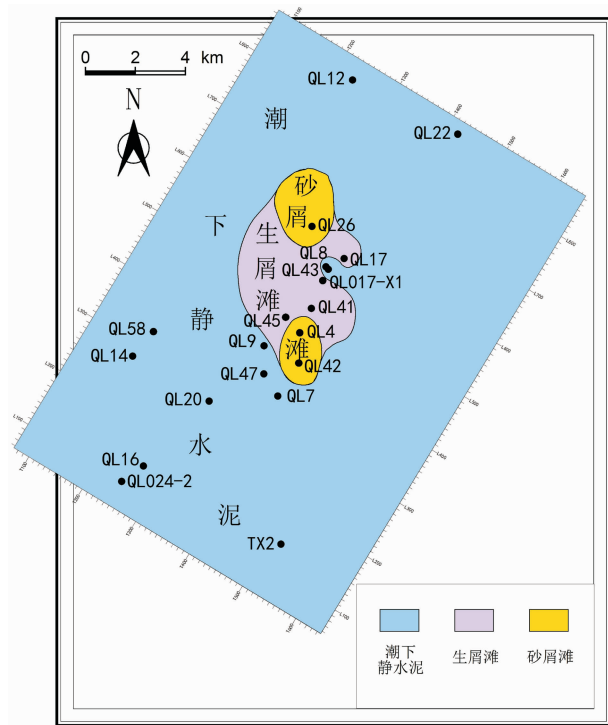


图8 黄龙组三段(C_{2h}³)沉积相展布图
Fig.8 Sedimentary facies of 3rd Member (C_{2h}³) of Huanglong Formation

性致密,一般不利于储层发育。

3.2.2 黄龙组二段沉积微相展布

双家坝气田各井黄龙组二段厚度变化差异不大,普遍在 36.4~56.7 m,局部高值为 74.6 m。区块内沉积微相主要有潮下静水泥微相、生屑滩微相、砂屑滩微相和复合颗粒滩微相。潮下静水泥微相主要发育于研究区的东西两侧,分布范围较广,岩性较为致密,一般不太有利于储层发育,常形成储层间的隔层。滩相沉积在本区发育范围最广和最有利于储层发育的沉积微相,主要分布于研究区中部,包括生屑滩微相、砂屑滩微相和复合颗粒滩微相。其中,生屑滩微相主要发育于研究区的北部和西南部,包括 QL22 井区和 QL14、QL16 井区;砂屑滩微相发育于研究区的中部,覆盖的井区最多,包括 QL26、QL8、QL43、QL17、QL41、QL45、QL17-X1 和 QL7 井区;复合颗粒滩微相主要发育于研究区的北部、中部和南部,包括 QL12、QL4、QL9、QL42、QL47 和 TX2 井区(图 7)。

3.2.3 黄龙组三段沉积微相展布

双家坝气田黄龙组三段厚度差异较大,在 3.8~

20.8 m。该段在区块内主要发育潮下静水泥微相、生屑滩微相和砂屑滩微相。生屑滩微相和砂屑滩微相的分布面积较黄龙组二段大大缩小,仅在 QL26 井、QL4 井和 QL42 井区发育有砂屑滩微相,在 QL17 井、QL41 井和 QL45 井区发育有生屑滩微相。潮下静水泥微相覆盖除砂屑滩微相和生屑滩微相之外的区块其余地区,为黄龙组三段的主要发育的沉积微相(图 8),同样因岩性较致密而不太有利于储层发育。

3.3 有利沉积微相带评价和储层预测

据前人对渝东黄龙组多年来的研究和勘探开发成果 [1,8-13],结合本次研究该气田钻井岩心、薄片、测井和各种化验资料的综合分析,证实黄龙组一段和黄龙组三段几乎无储层发育,而黄龙组二段储层最发育,是渝东北地区石炭系气藏的主力产层。以黄龙组二段为例,不同沉积微相储层物性特征(表 2)和有利沉积微相带展布有如下特点:①纵向上,黄龙组二段沉积微相主要包括潮下静水泥、生屑滩、砂屑滩和复合颗粒滩微相,复合颗粒滩、砂屑滩、生屑滩微相孔隙度和渗透率明显高于潮下静水泥微相,显示为典型的有利储集微相类型,例如:QL4 井位于复合

表2 双家坝气田不同沉积微相物性统计
Table 2 Physical characteristics of different sedimentary microfacies in the Shuangjiaba gas field

沉积相微相	孔隙度/%		渗透率/($10^{-6} \mu m^2$)		
	最大值	最小值	平均值	最大值	平均值
潮下静水泥	14.07	0.23	2.46	3.9	0.49
生屑滩	14.25	0.37	3.88	11.41	1.29
砂屑滩	17.41	0.22	4.25	15.10	1.57
复合颗粒滩	17.9	0.30	5.23	22.69	2.15

颗粒滩微相中的储层段,酸后石炭系测试产气 $33.4 \times 10^4 m^3/d$;②平面上,复合颗粒滩、砂屑滩、生屑滩微相在平面上分布面积最广,遍布 QL12、QL22、QL8、QL4、QL16 等 18 个井区,此为双家坝气田气田石炭系主力高产井区。

综上所述,复合颗粒滩、砂屑滩、生屑滩微相是本区最有利的沉积微相带,是优质储层发育区。例如:处于复合颗粒滩有利微相带内的 QL17、QL41、QL42、QL43、QL45、QL7 和 QL9 等井储层段孔隙度均大于 5.0%,渗透率大于 $1 \times 10^{-3} \mu m^2$,酸化后无阻流量均大于 $30 \times 10^4 m^3/d$,其中 QL45 井的无阻流量更可高达 $290.92 \times 10^4 m^3/d$ 。

4 结论

(1)作为川东地区双家坝气田的主力产层,石炭系黄龙组沉积了 1 套以砂屑云岩、生屑云岩以及角砾云岩为主的碳酸盐岩地层。

(2)双家坝气田的石炭系黄龙组可划分为 6 个亚相带:①开阔海湾亚相,②滨外亚相,③滨外浅滩亚相,④局限海湾亚相,⑤蒸发潟湖亚相,⑥蒸发潮坪亚相。

(3)双家坝气田的石炭系黄龙组可划分为 8 个微相:①膏盐湖微相,②生屑滩微相,③砂屑滩微相,④复合颗粒滩微相,⑤潮下静水泥微相,⑥潟湖微相,⑦膏云坪微相,⑧砂坪微相。

(4)复合颗粒滩、砂屑滩和生屑滩微相在研究区黄龙组二段时期分布范围最广、储层物性最好,是最有利的沉积相带。

参考文献 (References):

[1] 陈宗清. 扬子区石炭纪黄龙组沉积期沉积相[J]. 沉积学报, 1990, 8 (2):23-31.

Chen Zongqing. Huanglungqi sedimentary facies in the Yangtze region [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8 (2):23-31 (in

Chinese with English abstract).

[2] 郑荣才, 李德敏, 张梢楠. 川东黄龙组天然气储层的层序地层学研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊):1-9.

Zheng Rongcai, Li Demin, Zhang Shaonan. A study on sequence stratigraphy of the Huanglong Formation, Upper Carboniferous in Eastern Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(supp): 1-9(in Chinese with English abstract).

[3] 李忠, 雷雪, 晏礼. 川东石炭系黄龙组层序地层划分及储层特征分析[J]. 石油物探, 2005, 44(1):39-43.

Li Zhong, Lei Xue, Yan Li. The division of sequence stratigraphy and analysis of reservoir characteristics in Huanglong Formation of Carboniferous in east Sichuan area [J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2005, 44(1):39-43(in Chinese).

[4] 陈宗清, 川东石炭系气藏分布规律与深化勘探 [J]. 中国海上油气 (地质), 2001, 15(3):182-186.

Chen Zongqing. The division of sequence stratigraphy and analysis of reservoir characteristics in Huanglong Formation of Carboniferous in east Sichuan area[J]. China Offshore Oil And Gas(Geology), 2001, 15(3):182-186(in Chinese with English abstract).

[5] 郑荣才, 张梢楠, 李德敏. 川东黄龙组碳酸盐岩角砾岩成因及其研究意义[J]. 成都理工大学学报, 1996, 23(1):8-18.

Zheng Rongcai, Zhang Shaonan, Li Demin. Origin and researching significance of breccias in the Upper Carboniferous Huanglong Formation, Eastern Sichuan [J]. Journal of Chengdu Institute of Technology, 1996, 23(1):8-18(in Chinese with English abstract).

[6] 陈宗清, 川东中石炭世黄龙组沉积期沉积相及其与油气的关系 [J]. 沉积学报, 1985, 3(1):71-76.

Chen Zongqing. Sedimentary facies during Huanglong stage of Mid-Carboniferous in Eastern Sichuan and its correlation with oil and gas [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3 (1):71-76 (in Chinese with English abstract).

[7] 钱峥. 川东石炭系碳酸盐岩沉积环境探讨 [J]. 天然气工业, 1999, 19(4):19-22.

Qian Zheng. Discussion on the sedimentary environment of Carbonate Rocks in East Sichuan[J]. Natural Gas Industry, 1999, 19 (4):19-22(in Chinese).

[8] 胡忠贵, 郑荣才, 文华国, 等. 川东邻水-渝北地区石炭系黄龙组白云岩成因研究[J]. 岩石学报, 2008, 24(6):1369-1378.

Hu Zhonggui, Zheng Rongcai, Wen Huaguo, et al. Dolostone genesis of Huanglong Formation of Carboniferous in Linshui of

- eastern Sichuan-northern Chongqing area[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24(6):1369-1378(in Chinese with English abstract).
- [9] 郑荣才, 彭军, 高红灿. 渝东黄龙组碳酸盐岩储层的古岩溶特征和岩溶旋回[J]. *地质地球化学*, 2003, 31(1):28-35.
- Zheng Rongcai, Peng Jun, Gao Hongcan. Palaeokarst-related characteristics and cycles of carbonate reservoirs in Huanglong Formation, Upper Carboniferous, Eastern Chongqing [J]. *Geology-Geochemistry*, 2003, 31(1):28-35(in Chinese with English abstract).
- [10] 郑荣才, 胡忠贵, 郑超, 等. 渝北-川东地区黄龙组古岩溶储层稳定同位素地球化学特征[J]. *地学前缘*, 2008, 15(6):303-311.
- Zheng Rongcai, Hu Zhonggui, Zheng Chao, et al. Geochemical characteristics of stable isotopes in paleokarst reservoirs in Huanglong formation in northern Chongqing-eastern Sichuan area [J]. *Earth Science Frontiers*, 2008, 15(6):303-311(in Chinese with English abstract).
- [11] 李德江, 杨威, 谢增业, 等. 渝东石炭系岩相古地理及有利储集相带研究[J]. *断块油气田*, 2009, 16(5):1-3.
- Li Dejiang, Yang Wei, Xie Zengye, et al. Lithofacies palaeogeography and favorable reservoir facies belts of Carboniferous in East Chongqing[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2009, 16(5):1-3(in Chinese with English abstract).
- [12] 陈浩如, 郑荣才, 文华国, 等. 川东地区黄龙组层序-岩相古地理特征[J]. *地质学报*, 2011, 85(2):247-251.
- Chen Haoru, Zheng Rongcai, Wen Huaguo, et al. Sequence Characteristics and Lithofacies Paleogeography of the Huanglong Formation in Eastern Sichuan Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(2):247-251(in Chinese with English abstract).
- [13] 胡忠贵, 郑荣才, 文华国, 等. 渝东-鄂西地区黄龙组层序-岩相古地理研究[J]. *沉积学报*, 2010, 28(4):696-705.
- Hu Zhonggui, Zheng Rongcai, Wen Huaguo, et al. Sequence-Lithofacies Paleogeographic Study on Huanglong Formation in Eastern Chongqing Western Hubei Area [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(4):696-705(in Chinese with English abstract).
- [14] 文华国, 郑荣才, 沈忠民. 四川盆地东部黄龙组碳酸盐岩储层沉积-成岩系统[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2011, 36(1):111-121.
- Wen Huaguo, Zheng Rongcai, Shen Zhongmin. Sedimentary-Diagenetic Systems of Carbonate Reservoirs in the Huanglong Formation, Eastern Sichuan Basin [J]. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 2011, 36(1):111-121(in Chinese with English abstract).

Sedimentary micro-facies analysis of Huanglong Formation in the Shuangjiaba gas field, northeast Chongqing

ZHOU Yong-sheng¹, ZHENG Rong-cai¹,
WANG Li-bin², LUO Ren³, WEN Hua-guo¹, CHEN Zhi-yong⁴

(1.State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2.Research Institute of Exploration and Development of Xinjiang Oil Company of CNPC, Karamay 834000, Xinjiang, China; 3.Northeast Sichuan Gas District of Southwest Oil and Gas Company of CNPC, Dazhou 635000, Sichuan, China; 4.Research Institute of Exploration and Development of Southwest Oil and Gas Company of CNPC, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: The Upper Carboniferous Huanglong Formation in the Shuangjiaba gas field of northeast Chongqing is the principal producing formation of natural gas pool. Based on the drilling, cores, thin slice and logging information, in combination with a comprehensive study of petrology, paleobiology and well logging, the authors established a sedimentary model of Huanglong Formation. Studies show that the Huanglong Formation consists of two types of sedimentary systems, i.e., sabkha and continental shelf. The water bodies of two sedimentary systems deepened gradually and expanded, forming a transgression sequence. Six subfacies and eight microfacies were recognized based on the signature of sedimentary facies. On the basis of sedimentary facies of each well, the plane distributive map of sedimentary micro-facies about the first Member (C_2hl^1), the second Member (C_2hl^2) and the third Member (C_2hl^3) of the Huanglong Formation was compiled. Composite particles beach, calcarenite beach and bioclast beach are the most favorable microfacies. The second section of Huanglong Formation was the main gas-producing area in the upper Carboniferous period.

Key words: Carboniferous Huanglong Formation; sedimentary micro-facies; reservoir prediction; Shuangjiaba gas field; northeast Chongqing

About the first author: ZHOU Yong-sheng, male, born in 1988, master candidate, mainly engages in the study of sedimentology, E-mail: 358423378@qq.com.