

文章编号: 1009-3850(2018)03-0016-09

川西南荣经坳陷川荣页1井奥陶系沉积相 与古生物特征及地层厘定

熊小辉^{1,2}, 王 剑^{1,2}, 汪正江^{1,2}, 熊国庆^{1,2,3}, 邓 奇^{1,2}, 杨 平^{1,2}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081; 3. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 对川西南荣经坳陷内三口页岩气井尤其是川荣页1井奥陶系开展了系统的岩心观察和分析。三口钻井在梁山组之下均发育十余米厚的灰黑色泥岩, 其中川荣页1井灰黑色泥岩厚近16m。沉积相分析认为灰黑色泥岩为浅水陆棚相, 泥岩之下发育的大套砂岩为滨岸近滨亚相, 总体向上海水逐渐变深。砂岩中发育丰富的沉积软变形构造及波状交错层理、浪成沙纹层理、平行层理、斜层理等构造。川荣页1井上部泥岩中见大量三叶虫、笔石和腕足等化石及其碎片, 鉴定表明含有代表中下奥陶统的常见生物分子, 如对笔石(*Didymograotus* sp.)、大洪山虫(*Taihungshania* sp.)等。该套砂泥岩组合在沉积相及古生物化石等方面明显区别于荣经坳陷周缘奥陶系五峰组—志留系龙马溪组, 与研究区及邻区中下奥陶统红石崖组、涪潭组、大湾组、大官山组中段等层位相当。

关键词: 川荣页1井; 中下奥陶统; 沉积相; 古生物特征; 荣经坳陷

中图分类号: P534.42

文献标识码: A

引言

川西南雅安荣经地区, 大地构造上位于上扬子川中古隆起的边缘, 奥陶纪—志留纪时期, 处于盆地陆棚区与川中古陆的过渡地带^[1-3]。古地理研究表明, 晚奥陶世五峰期—早志留世龙马溪期, 在滇中古陆与川中古陆之间的汉源—荣经地区发育北西—南东相展布的陆棚相暗色泥页岩带^[4-10], 是研究区重要的页岩气勘探区域及层位。

荣经坳陷受周缘深大断裂围陷, 总体上呈“两隆夹一坳”的构造形态, 北西向展布, 隆起部位以断

裂、火山岩发育为主, 坳陷区内以褶皱发育、断裂不发育为特征(图1)。目前, 坳陷内部已完成多口钻井的页岩气地质调查, 包括一口参数井(川荣页1井), 以及两口调查井(荣地1井和荣地2井)。虽然在梁山组以下钻遇深灰色泥岩, 但是相关沉积与古生物特征却显示与区域上五峰组—龙马溪组具有一定的差异, 更可能是下部层位的地层, 因此, 有必要对荣经坳陷内相应地层进行重新厘定。这将帮助我们更好地开展研究区奥陶纪—志留纪沉积构造演化研究, 也有助于对该区页岩气勘探提供更加明确的指导。

收稿日期: 2017-05-19; **改回日期:** 2017-07-23

作者简介: 熊小辉(1987—), 男, 博士, 沉积学及沉积与油气地球化学研究。E-mail: xiongxiaohui1987@163.com。

通讯作者: 王剑(1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 二级研究员, 主要从事沉积能源、沉积大地构造学研究。E-mail: w1962jian@163.com。

项目资助: 四川盆地龙马溪组页岩气战略选取调查(DD20160193)、四川盆地古生界海相页岩气基础地质调查项目(基金项目编号41402103)。

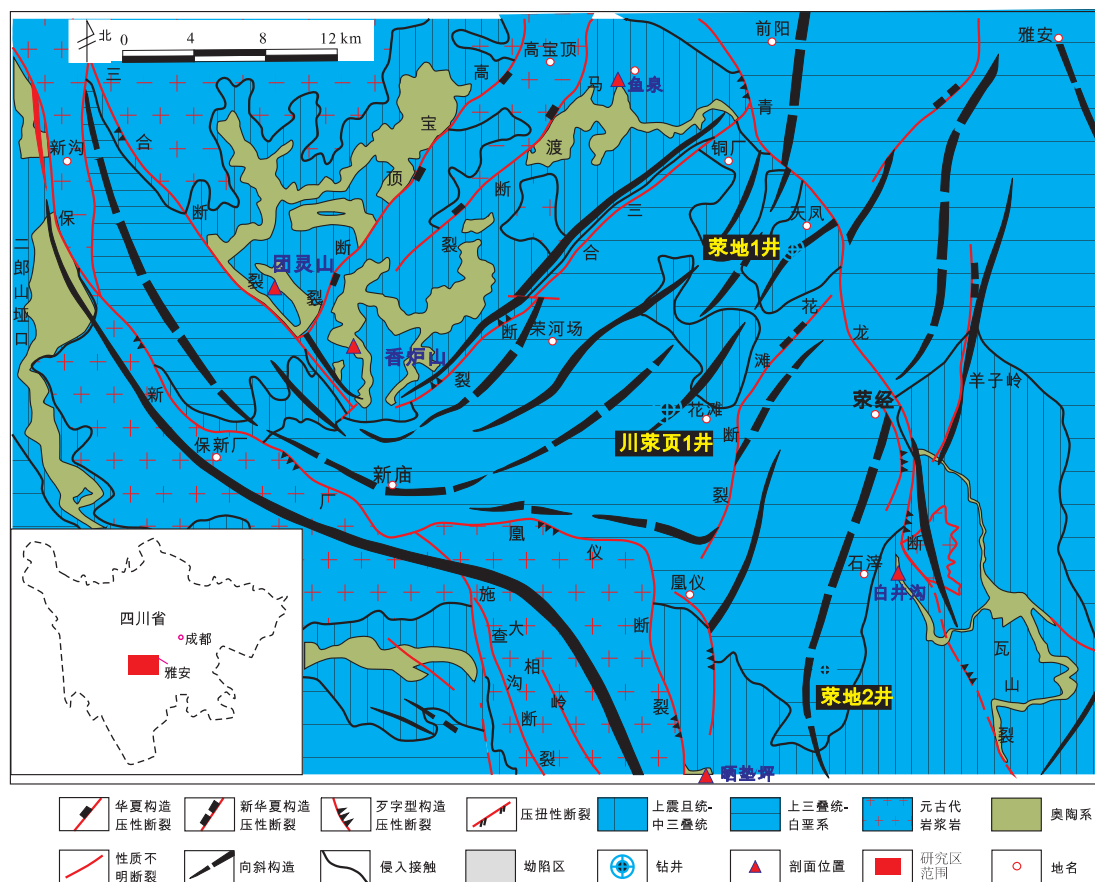


图 1 荣经坳陷及周缘构造纲要图与钻井位置(修改自 20 万荣经幅区调报告)

Fig.1 Structural outline map and well sites in the Yingjing Depression and its peripheral zones(modified from 1: 200000 Yingjing Sheet of Regional Geological Survey)

1 区域地质概况

上扬子陆块川西南地区以扬子古陆核刚性结晶基底为基础发展而来,震旦纪以来经历了($Z-S_2$) 克拉通海相盆地、($D-T_2$) 陆表海盆地、(T_2-J) 同造山前陆盆地、($K-E$) 后造山前陆盆地等^[11-13]。早古生代加里东期,由研究区西缘的康滇古隆起、东缘的黔中古隆起、北缘的川中古隆起夹持凉山-汉源古坳陷形成“三隆一坳”的古构造格局^[14-15],荣经坳陷即位于三大隆起之间的坳陷区内。

荣经坳陷内主要出露上三叠统一白垩系,坳陷周缘出露地层以上震旦统一中三叠统为主(图 1)。奥陶系一志留系地层出露于坳陷周缘,如天全鱼泉、团灵山、香炉山、安靖、晒垫坪、白熊沟、白井沟等地。受加里东构造运动及云南运动的影响,四川盆地大幅抬升,川中地区志留系一奥陶系地层大量剥蚀,本区缺失泥盆系和石炭系,上覆二叠系梁山

组与下伏地层之间为不整合接触。荣经坳陷周缘,如晒垫坪、团灵山、香炉山、鱼泉等地,均发育志留系龙马溪组及奥陶系典型宝塔组龟裂纹灰岩,而荣经县城东南的白井沟只发育中下奥陶统,缺失龙马溪组及宝塔组等。

川荣页 1 井位于荣经县花滩镇西南齐心村,构造上位于天凤背斜南段,距花滩断裂 3.88km,开孔层位为三叠系须家河组,地层产状较为平缓(图 1)。荣地 1 井位于荣经县新添镇莲池村,构造上位于天凤背斜核部,开孔层位为二叠系峨眉山玄武岩;荣地 2 井位于荣经县石滓乡鱼泉村附近,石滓向斜东翼,开孔层位为三叠系须家河组。

2 岩相特征及沉积相

研究区三口钻井岩心及录井资料显示,梁山组为一套灰色砂岩、石英砂岩夹灰黑色碳质泥岩,中部夹 3~5m 灰白色含灰黑色泥质团粒铝土岩,总厚

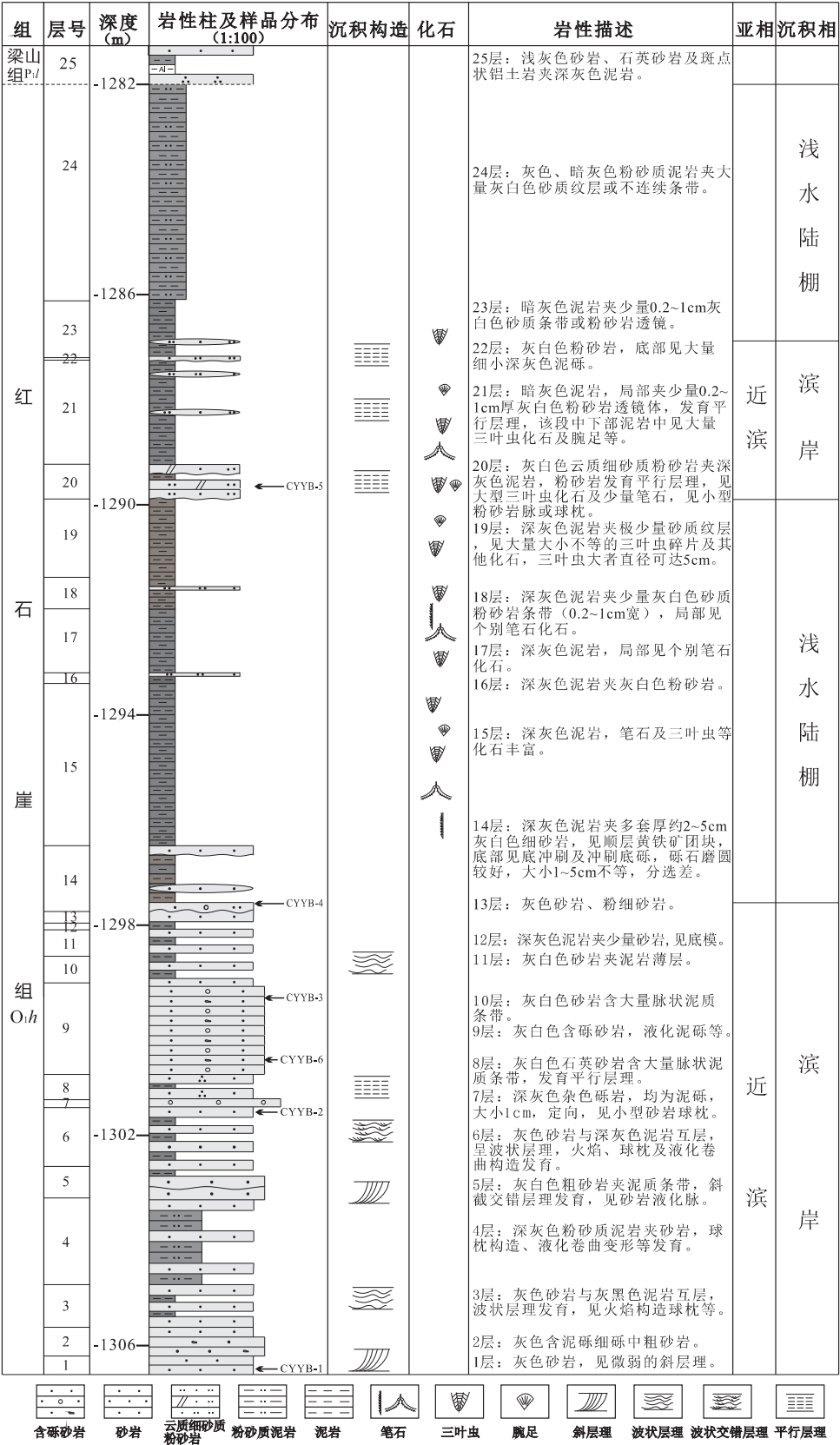


图2 川荣页1井(CYY1)沉积综合柱状图

Fig.2 Sedimentary composite column through the CYY1 well in the Yingjing depression

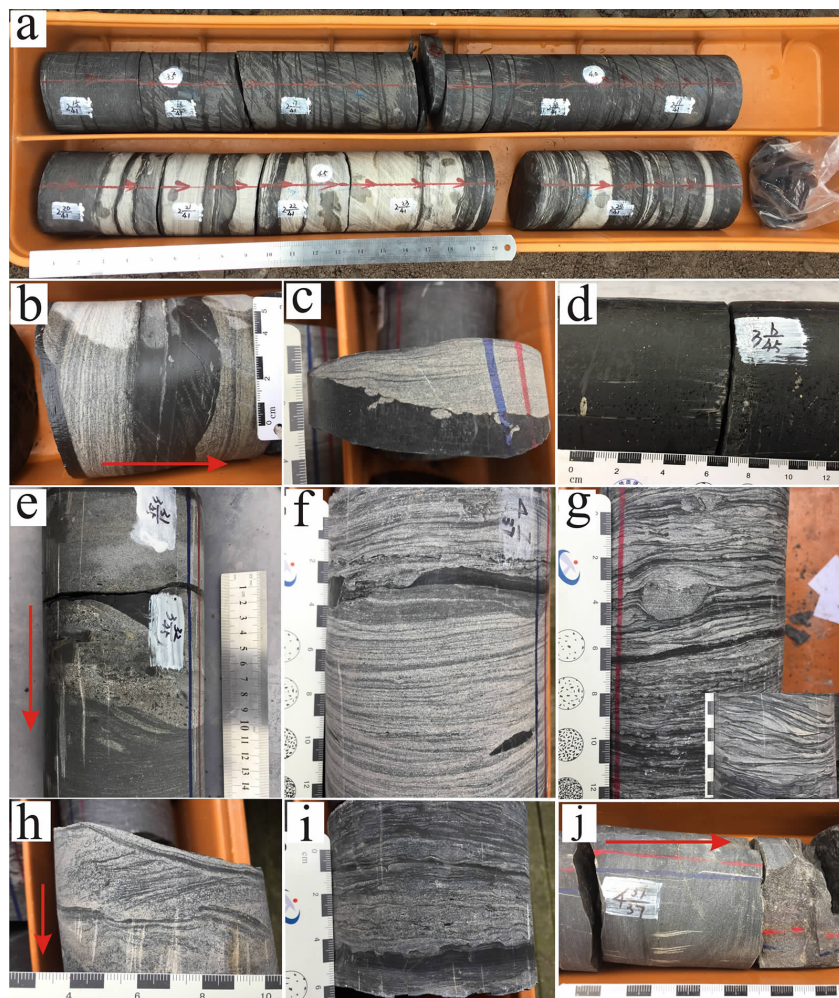


图3 川荣页1井目的层沉积结构特征(红色箭头指向下部层位)

a. 层20上部泥岩段夹发育砂岩; b. 层20砂岩中见平行层理; c. 层21泥岩中夹砂岩, 见小型液化砂岩脉及球枕; d. 层15深灰色泥岩中夹黄铁矿团块; e. 层14底部冲刷面, 见沉积底砾岩; f. 层8砂岩夹泥质条带, 平行层理, 夹顺层泥砾; g. 层6软沉积变形球枕构造, 浪成沙纹层理及波状交错层理; h. 层5中发育小型冲刷面; i. 层3中发育火焰构造, 波痕、波状层理等; j. 砂岩见微弱斜层理。

Fig. 3 Sedimentary structures in the target strata in the CYY1 well (red arrow pointing to the lower layer)

度介于6.7~15.27m。

荣经坳陷内川荣页1井、荣地1井及荣地2井在梁山组之下均发育10余米厚的深灰色泥岩、粉砂质泥岩, 泥岩之下为灰色砂岩、含砾砂岩夹薄层深灰色泥岩(图2)。总体呈现出下部砂岩上部泥岩、粒度由粗变细的沉积演化, 两部分之间见明显底冲刷面, 发育冲刷砾岩, 岩层中沉积软变形构造非常发育。根据其岩性组合、粒度分布特征及沉积构造特征, 下部砂岩夹泥岩应为滨岸相近滨亚相, 上部泥岩段为浅水陆棚相泥质沉积。

2.1 陆源碎屑滨岸相

以灰色细粒岩屑石英砂岩、岩屑长石砂岩、粉砂岩为主, 夹深灰色泥质条带、泥岩薄层及局部中

粗砂岩。砂岩中见浪成波状交错层理、浪成砂纹层理、浪成波痕、平行层理、冲刷充填构造等, 及大量软沉积变形构造(图3)。总体粒度较细, 水动力较弱, 受一定波浪作用影响, 为近滨沉积。

细粒岩屑石英细砂岩(CYYB-1, B-2, B-6): 主要由细粒、中粒碎屑组成, 碎屑成分主要为石英(68%~73%), 其次为长石、岩屑等。岩石风化程度中等, 分选好—较好, 磨圆为次圆—次棱, 颗粒支撑, 线—凹凸接触, 胶结方式为孔隙—压嵌型。粒度分析显示(表1, 图4), 频率曲线呈近单峰式(含微弱的黏土峰), 平均粒径(M_z)介于2.54~3.54 Φ , 偏度近对称, 微正偏, 峰度介于0.99~1.21。概率累计曲线以跳跃总体为主, 基本上缺失滚动总体, 少量

悬浮总体(小于5%),为多段式,悬浮总体与跳跃总体截点较高(3.5~5Φ),说明水动力较弱,含多个跳跃总体,表明受一定波浪作用影响,在CYYB-2所在的层3中见大量波状交错层理。

细粒岩屑长石砂岩(CYYB-3):主要由细粒、中粒碎屑组成,碎屑成分主要为石英,其次为长石、岩屑等。分选较好,磨圆度为次圆-次棱角,颗粒支撑,线接触,胶结方式为孔隙型。粒度分析显示(表1,图4),平均粒径(Mz)介于2.57Φ,偏度近对称,微负偏,峰度值为1.12。概率累计曲线为三段式,以跳跃总体为主(85%~90%),其次为滚动总体(<10%)和极少的悬浮总体(3%),其中跳跃总体呈两段式,反映动荡水体且受一定波浪作用影响。

粉砂岩(CYYB-4,B-5):主要由石英组成,其次为少量的铁质、云母等,CYYB-5含有一定的云质

(白云石37%)。样品CYYB-4由于接近冲刷面,粒度分布呈现多峰式,平均粒径(Mz)为4.59Φ,粒度分布区间较大,分选差,概率累计曲线发育滚动(30%)、跳跃(50%)及悬浮总体(20%)(表1,图4),各总体的截点均较高,反映强度中等-弱的牵引流特征,为冲刷水流。样品CYYB-5平均粒径为4.23Φ,粒度总体较细,分选较好,概率累计曲线呈现一跳一悬,以跳跃总体为主(占95%),悬浮总体占5%(表1,图4),反映强度较弱的震荡水体,为滨岸近滨接近浅水陆棚区。

利用萨胡粒度判别函数^[16],在海滩与浅海判别中,Y值均大于65.3650,介于75.68~102.3681,其中CYYB-4达到672.7188,且向上,数值越大,说明水体变深,尽管如此,其Y值绝大部分仍小于浅海平均值104.7536(表1);在浅海与河流三角洲的判

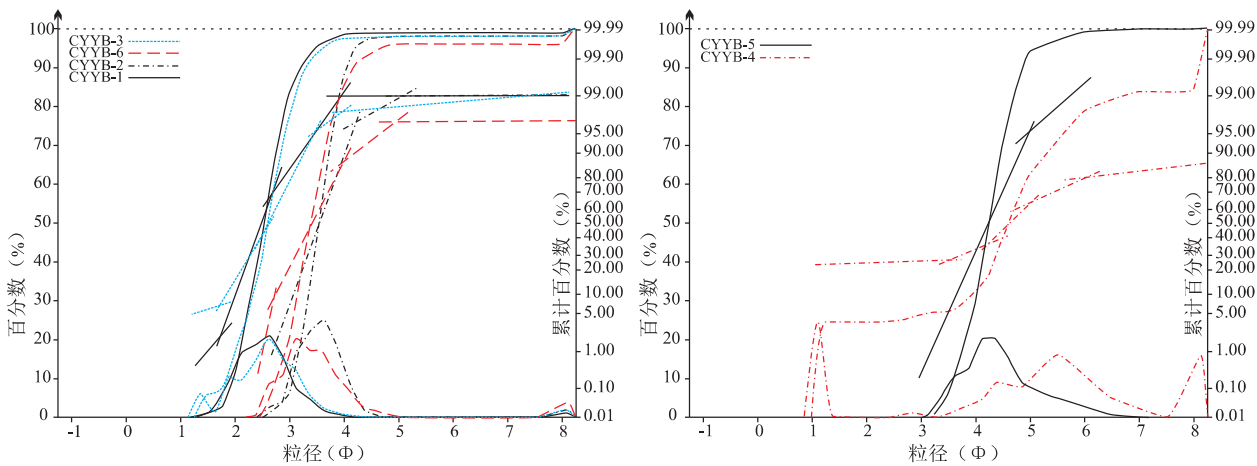


图4 川荣页1井样品粒度分布图解

Fig.4 Grain size distribution in the samples from the CYY1 well in the Yingjing depression

表1 川荣页1井样品粒度参数

Table1 Grain size parameters for the samples from the CYY1 well in the Yingjing depression

样品号	岩性	样品深度 (m)	平均粒径 (Φ)	标准偏差 σ	偏度 SK	峰度 K	Y(海滩- 浅海)	Y(浅海- 河流及三角洲)
CYYB-5	云质细砂质粉砂岩	1289.5	4.23	0.51	0	1.03	102.3681	-1.02254
CYYB-4	含泥含细砂粉砂岩	1297.6	4.59	2.97	0.07	1.08	672.7188	-76.256
CYYB-3	岩屑长石细砂岩	1299.5	2.57	0.62	-0.07	1.12	84.94745	-2.23803
CYYB-6	含粉砂岩屑石英细砂岩	1300.5	3.41	0.58	0.17	1.21	100.9541	-2.74799
CYYB-2	含粉砂岩屑石英细砂岩	1301.47	3.54	0.4	0.01	0.99	84.43001	-0.39327
CYYB-1	中粒质岩屑石英细砂岩	1306.5	2.54	0.49	0.07	1.02	75.68056	-1.67232

注: Y(海滩-浅海) =15.6543Mz +65.7091σ² +18.1071SK +18.5043K, Y 浅海 >65.3650, 平均为 104.7536; Y(浅海-河流三角洲) =0.2852Mz-8.7604σ²-4.8932SK +0.0482K, Y 浅海 >-7.4190, 平均为 -5.3167



图 5 荣地 1 井滨岸相石英砾岩

Fig. 5 Littoral quartz conglomerates sampled from the YD1 well

别中,也落入浅海,但是样品 CYYB-4 落入河流三角洲范围,可能与其靠近冲刷面有关。此外,砂岩中大量发育浪成沙纹层理、浪成波状交错层理等,表明其沉积仍受到滨岸带波浪作用影响,且位于该井北东约 12km 距离的荣地 1 井同层位发育滨岸相磨

圆度及成分成熟度均很高的石英砾岩(图 5),北东方向为川中古陆,川荣页 1 井较荣地 2 井深度更大,综合考虑应处于近滨带(靠近浅水陆棚相区)。

2.2 浅水陆棚相

主要为深灰色泥岩,粉砂质泥岩等,偶夹粉砂岩透镜或薄层,中下部泥岩中偶见黄铁矿团块,块状构造,上部泥岩中见大量毫米级砂质纹层或不连续条带。古生物化石见三叶虫、笔石、腕足及双壳类,尤其见大量三叶虫碎片(图 5)。

总体上,自下而上海水深度逐渐增加,中部略有下降,呈现出多个海侵旋回。

3 古生物特征

川荣页 1 井梁山组以下深灰色泥岩中见大量三叶虫、笔石和腕足类化石及化石碎片,其中,三叶虫、腕足主要见于泥岩段的中上部,笔石主要见于泥岩段下部(图 2、图 6)。

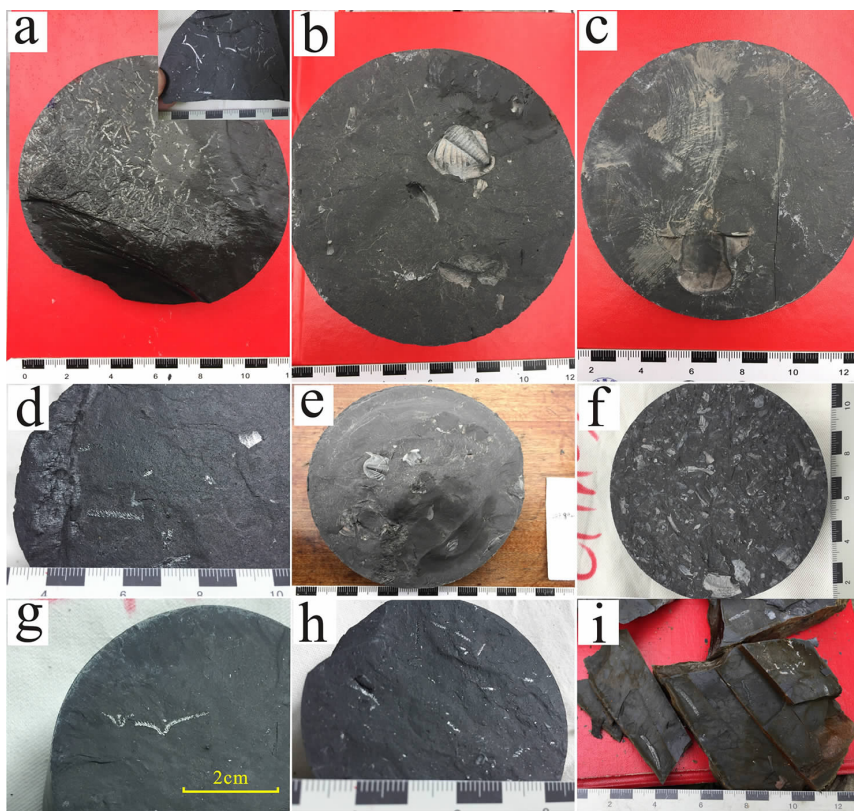


图 6 川荣页 1 井及邻井、剖面化石特征

a. 层 15 底部大量小型对笔石化石(*Didymograotus* sp. ?); b. 层 21 三叶虫(大洪山虫?)及腕足动物化石; c. 层 19 三叶虫头盖骨印模; d. 层 14 笔石及三叶虫碎片化石; e. 层 19 三叶虫(*Taihungshania* sp.)及小舌形贝(*Lingulella* sp.)化石; f. 层 15 大量三叶虫、腕足及少量笔石化石碎片; g. 荣地 2 井(YD2)对笔石(*Didymograotus* sp. ?)化石; h. 荣地 2 井不知名笔石化石; i. 白井沟剖面早奥陶世笔石化石

Fig. 6 Fossil assemblages collected from the CYY1 and YD2 well, and adjacent Baijngou section

三叶虫: 大小不一, 小者直径小于 5mm, 大者头盖骨可达 4cm 宽, 部分层段化石较为破碎, 呈碎片状; 壳体遇盐酸不起泡, 为几丁质或磷质, 通过形态较为完整的化石鉴定, 识别为大洪山虫属 (*Taihungshania* sp.)。查阅相关区域资料(西南地区 20 万区调报告), 大洪山虫主要分布于川西南、川南及贵州地区奥陶系中下统红石崖组、湄潭组等地层中。

腕足: 见正形贝、舌形贝等属, 纹饰清晰, 化石直径主要以 1cm 左右大小居多(图 5)。

笔石: 保存相对完整, 多数呈现对称的两枝, 单边胞管发育, 向内两枝呈下曲式及少量下垂式。个头大小中等(1~2cm), 鉴定表明, 应为对笔石属 (*Didymograotus* sp.) (图 5)。此外, 在泥岩段底部见不同种属笔石, 残存的笔石体相对上部对笔石肢体较粗, 呈近笔直状(图 3), 该类特征笔石也见于荣经县城东南的白井沟下奥陶统灰黑色泥岩中。

中科院南京地质古生物研究所戎嘉余院士、詹仁斌研究员认为, 川荣页 1 井所产化石及组合特征, 与中下奥陶统的生物分子组合较为相似, 如典型的大洪山虫及一些正形贝、对笔石等, 而明显不同于五峰组—龙马溪组化石组合, 与滇东北红石崖组^[17-18]、黔北湄潭组化石组合较为接近。

4 地层讨论

荣经拗陷位于川中古隆起西南边缘, 受早古生代加里东构造运动的影响, 古隆起边缘奥陶系一志留系不同程度遭受剥蚀, 二叠系梁山组直接覆于其上。拗陷周缘出露龙马溪组, 缺失五峰组及观音桥段, 龙马溪组直接覆于宝塔组(荣经岩上坪、天全鱼泉)或巧家组之上(天全大河剖面)。

荣经拗陷内三口钻井均显示梁山组下伏深灰色泥岩特征与拗陷周缘的龙马溪组泥岩具有明显区别: 周缘的龙马溪组为一套深灰色钙质粉砂岩、钙质泥岩, 见明显水平纹理, 遇盐酸剧烈起泡, 泥岩中部未见明显砂岩夹层, 为一套陆棚相泥岩; 而拗陷内钻井岩心泥岩中见大量云母片, 岩石或粉末遇盐酸不起泡, 生物碎屑沉积丰富(如三叶虫腕足等碎片), 中部夹平行层理砂岩, 总体为一套浅海相泥, 但比较靠近滨岸带, 偶尔接受近滨带粉砂岩沉积。荣经县城东南白井沟剖面下奥陶统滨岸相石英砂岩中发育波痕及斜层理, 斜层理产状为 269°

∠52°, 经地层产状(253°∠70°)校正之后, 计算古流向为 38.79°, 物源来自北东方向的川中隆起区。

化石, 尤其是笔石化石可以很好地指示地层的层位。通过化石对比研究, 该笔石层位倾向于奥陶系中下统宁国阶 N_3 *Didymograptus Deflexus* 笔石带^[19-25], 为弗洛期中晚期, 而前人对滇东地区红石崖组中部笔石鉴定属于 *Corymbograptus varicosus* 笔石带^[17], 属于弗洛期中期, 该组跨越了整个弗洛期; 腕足组合、三叶虫中大洪山虫(经南古所李越老师鉴定)的出现也进一步表明, 荣经拗陷梁山组下伏深灰色泥岩大致相当于滇东北地区的红石崖组、渝东南黔北地区的湄潭组、宜昌地区的大湾组以及川南长宁地区的大官山组中段^[26-35], 故本文暂将其层位与地层定为下奥陶统红石崖组。

5 结论

为了查明川西南雅安地区荣经拗陷内奥陶系一志留系页岩发育及页岩气潜力, 开展了川荣经 1 井、荣地 1 井及荣地 2 井的钻探, 重点对川荣经 1 井岩心进行了系统的观察编录, 分析了其岩相、沉积相及古生物特征, 实现了地层的重新厘定, 得出以下结论:

(1) 荣经拗陷内川荣页 1 井梁山组之下为一套滨浅海相砂泥岩组合, 下部为滨岸相近滨亚相砂岩、粉砂岩夹泥岩, 上部主要为浅水陆棚相灰黑色泥岩。

(2) 川荣页 1 井古生物化石丰富, 包括大量三叶虫、笔石及腕足等化石或碎片, 识别出对笔石属 (*Didymograotus* sp.) 笔石, 大洪山虫属 (*Taihungshania* sp.) 三叶虫, 以及小舌形贝属 (*Lingulella* sp.) 腕足。其中对笔石属及大洪山虫属化石的确定指示目的层为中下奥陶统。

(3) 荣经拗陷内梁山组以下十余米厚的深灰色泥岩与砂岩在沉积相及古生物化石组合等方面明显区别于拗陷周缘的奥陶系五峰组—志留系龙马溪组泥岩, 与研究区及邻区中下奥陶统红石崖组、湄潭组、大湾组、大官山组中段等层位相当。

致谢: 非常感谢中科院南京地质古生物研究所戎嘉余院士、詹仁斌研究员以及李越研究员在古生物鉴定方面给予的帮助, 古生物化石及其组合在地层层位的确定上起着关键作用, 感谢詹仁斌研究

员,在钻井化石所属层位方面给予了宝贵的意见!

参考文献:

- [1] 康义昌. 川中古隆起的形成、发展及其油气远景[J]. 石油实验地质, 1988, (1): 15-26.
- [2] 甘昭国. 从上扬子地台西部古生代构造演化探讨川中古隆起[J]. 四川地质学报, 1991, (2): 93-100.
- [3] 徐世琦, 熊荣国. 加里东古隆起形成演化特征及形成机制[J]. 天然气勘探与开发, 1999, (2): 1-6.
- [4] 严德天, 王清晨, 陈代钊, 等. 扬子及周缘地区上奥陶统一下志留统烃源岩发育环境及其控制因素[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 321-327.
- [5] 黄盛, 王国芝, 邹波, 等. 中上扬子区志留系龙马溪组页岩气勘探区优选[J]. 成都理工大学学报(自科版), 2012, 39(2): 190-197.
- [6] 张海全, 许效松, 刘伟, 等. 中上扬子地区晚奥陶世-早志留统页岩相古地理演化与黑色页岩的关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(2): 17-24.
- [7] 郑和荣, 高波, 彭勇民, 等. 中上扬子地区下志留统沉积演化与页岩气勘探方向[J]. 古地理论, 2013, 15(5): 645-656.
- [8] 李皎, 何登发, 梅庆华. 四川盆地及邻区奥陶纪构造-沉积环境与原型盆地演化[J]. 石油学报, 2015, 36(4): 427-445.
- [9] 牟传龙, 葛祥英, 周恩恩, 等. 川西南晚奥陶世五峰期岩相古地理[J]. 中国地质, 2015, (1): 192-198.
- [10] 牟传龙, 王秀平, 王启宇, 等. 川南及邻区下志留统龙马溪组下段沉积相与页岩气地质条件的关系[J]. 古地理论, 2016, 18(3): 457-472.
- [11] 童崇光, 胡受权. 上扬子地台区构造演化与油气资源[J]. 海相油气地质, 1995(3): 14-19.
- [12] 尹福光, 许效松, 万方, 等. 华南地区加里东期前陆盆地演化过程中的沉积响应[J]. 地球学报, 2001, 22(5): 425-428.
- [13] 郭旭升, 梅廉夫, 汤济广, 等. 扬子地块中、新生代构造演化对海相油气成藏的制约[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3): 295-304.
- [14] 刘特民. 黔中何时隆起——从黔北奥陶、志留纪各期沉积环境演变探讨黔中隆起何时形成[J]. 贵州地质, 1987, (1): 67-73.
- [15] 周恩恩, 许效松. 扬子陆块西部古隆起演化及其对郁南运动的反映[J]. 地质论评, 2016, 62(5): 1125-1133.
- [16] Sahu B K. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1964, 34(1): 73-83.
- [17] 张举, 张元动, 宋妍妍. 滇东地区奥陶系红石崖组的时代[J]. 地层学杂志, 2013, 37(1): 8-17.
- [18] 罗惠麟, 周志毅, 胡世学, 等. 滇东奥陶纪三叶虫序列[J]. 古生物学报, 2014(2): 146-171.
- [19] 穆恩之. 中国笔石的研究[J]. 古生物学报, 1980, 19(2): 84-92.
- [20] 杨达铨. 下曲类对笔石在浙西的发现[J]. 地层学杂志, 1981, (4): 65-67.
- [21] 方一亭, 王海峰. 论宁国组和胡乐组[J]. 地层学杂志, 1991, 15(3): 68-71+38.
- [22] 陈旭, 戎嘉余, 汪啸风, 等. 中国奥陶纪生物地层学研究的新进展[J]. 地层学杂志, 1993, (2): 89-99.
- [23] 王传尚, 汪啸风, 陈孝红, 等. 华南下/中奥陶统界线附近笔石相的分异与全球下/中奥陶统界线生物标志的选择[J]. 现代地质, 2004, 18(1): 89-95.
- [24] 张元动, 陈旭, Dan. 华南早—中奥陶世主要环境下笔石动物的多样性与生物地理分布[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(9): 1164-1180.
- [25] 李丽霞, 冯洪真, 王文卉. 湖南益阳早奥陶世弗洛期的笔石[J]. 古生物学报, 2010(2): 174-195.
- [26] 穆恩之, 朱兆玲, 陈均远, 等. 四川长宁双河附近奥陶纪地层[J]. 地层学杂志, 1978(2): 27-43.
- [27] 陈朋飞, 詹仁斌. 扬子区下、中奥陶统大湾组及其同期地层[J]. 地层学杂志, 2006, 30(1): 11-20.
- [28] 张元动, 刘晓, 詹仁斌. 贵州遵义高桥奥陶系湄潭组下部的笔石[J]. 古生物学报, 2007, 46(2): 145-166.
- [29] 杨宇宁, 郭云胜, 孙海静, 等. 乌当地区奥陶系湄潭组的地层学研究[J]. 贵州大学学报(自然版), 2010, 27(6): 36-42.
- [30] 杨宇宁, 赵明宇, 孙海静, 等. 贵阳乌当奥陶系湄潭组下段笔石带的划分[J]. 古生物学报, 2011, (1): 77-91.
- [31] 魏鑫, 袁文伟. 四川长宁下、中奥陶统的三叶虫序列[J]. 古生物学报, 2015, 24(4): 453-464.
- [32] 汪啸风. 中国南方奥陶纪构造古地理及年代与生物地层的划分与对比[J]. 地学前缘, 2016, 23(6): 253-267.
- [33] 戎昆方, 吴明确. 贵阳乌当奥陶纪湄潭晚期岩相古地理特征[J]. 贵州工业大学学报: 自然科学版, 1987, (4): 72-82.
- [34] 傅锐, 梅冥相. 贵州及邻区湄潭早期岩相古地理特征[J]. 贵州地质, 1989, (4): 337-346.
- [35] 李宗发. 黔东北地区早奥陶世宁国中期地层相变位置的新认识[J]. 贵州地质, 1998, (1): 32-36.

Sedimentary facies, paleontological characteristics and stratigraphic delineation of the Ordovician strata through the CYY1 well in the Yingjing depression, southwestern Sichuan

XIONG Xiao-hui^{1,2}, WANG Jian^{1,2}, WANG Zheng-jiang^{1,2}, XIONG Guo-qing^{1,2,3}, DENG Qi^{1,2}, YANG Ping^{1,2}

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Key Laboratory of Sedimentary Basins and Oil and Gas Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: A systematic core observation and analysis are carried out for the Ordovician strata through three wells, especially through the CYY1 well in the Yingjing depression, southwestern Sichuan. Below the Permian Liangshan Formation through the three wells, a succession of greyish black mudstones is developed, with a thickness of more than 10 m (16 m thick in the CYY1 well), and assigned to the shallow shelf facies. Then the nearshore sandstones are found below the greyish black mudstones in the shallow shelf facies, with some siltstone strips or lens interbedded, displaying an overall deepening-upward sequence. In the sandstones and siltstones of nearshore facies, there occur abundant sedimentary structures including wavy cross bedding, wave-built cross bedding, parallel bedding, oblique bedding, as well as plenty of soft-sediment deformational structures. In the upper greyish black mudstones through the CYY1 well, there occur numerous fossils and fossil fragments of trilobite, graptolite and brachiopods. In addition, there are also the Middle-Lower Ordovician members such as *Didymograotus* sp. and *Taihungshania* sp. The above-mentioned sandstone-mudstone successions are highly different in sedimentary facies and fossil from those in the Ordovician-Silurian Wufeng Formation and Longmaxi Formation around the Yingjing depression, but correspond with the stratigraphic horizons of the Middle-Lower Ordovician Hongshiya Formation, Meitan Formation, Dawan Formation and the middle member of the Daguanshan Formation.

Key words: CYY1 well; Middle-Lower Ordovician; sedimentary facies; paleontological characteristics; Yingjing depression