

四川盆地西部晚二叠世吴家坪组沉积体系

何江^{1,2}, 郑荣才¹, 胡欣³, 张本健³, 尹宏³, 马华灵³, 王勇⁴, 冯春强²

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059; 2. 西南石油大学 地球科学与技术学院, 四川 成都 610500; 3. 中国石油西南油气田分公司 川西北气矿, 四川 江油 621700; 4. 中国石油西南油气田分公司 川中气矿, 四川 遂宁 629000)

摘要:通过详细的野外剖面观察、地层横向追踪与对比、典型沉积剖面实测、系统取样和室内实验分析等方法,首次对四川盆地西部晚二叠世吴家坪组沉积体系进行精细研究,发现早二叠世末发生的东吴运动属拉张背景下的块断隆升,导致西南康滇古陆受古特提斯洋壳的推挤形成物源区,西北广元—旺苍一带伴生拉张沉降形成海槽地堑区,区内地势由南西向北东方向低角度倾斜,间接控制了吴家坪组沉积及岩相展布,显示宽缓渐变的沉积相带特征。研究表明,晚二叠世吴家坪组为早期风化剥蚀界面基础上一次较高海平面北西—南西向海侵的产物,南西至北西方向依次发育剥蚀区及冲积平原—滨岸平原—滨岸沼泽—碳酸盐岩缓坡沉积体系。其中,浅缓坡生屑滩发育区是最为有利的储集相带,其厚度大、分布面积广,且位于广元—旺苍生烃中心附近,具备就近俘获油气的能力。多轮数字地震详查也发现众多潜伏构造,为盆地内碳酸盐岩气藏的扩大勘探展示了全新的后备领域。

关键词:沉积体系;演化模式;吴家坪组;晚二叠世;四川盆地

中图分类号:TE121.3 **文献标识码:**A

Sedimentary system of the Late Permian Wujiaping Formation in the western Sichuan Basin

He Jiang^{1,2}, Zheng Rongcai¹, Hu Xin³, Zhang Benjian³, Yin Hong³, Ma Hualing³, Wang Yong⁴, Feng Chunqiang²

(1. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan 610500, China; 3. Northwest Sichuan Gas Field of Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Jiangyou, Sichuan 621700, China; 4. Central Sichuan Gas Field of Southwest Oil and Gas Field Company, PetroChina, Suining, Sichuan 629000, China)

Abstract: By means of detailed outcrop observation, lateral formation tracking and correlation, realistic writing of typical sedimentary section, systematic sampling and laboratory experimental analysis, detailed study was performed for the first time on sedimentary system of the Late Permian Wujiaping Formation in the western Sichuan Basin. The study found that the Dongwu movement at the end of the Early Permian was uplifting of fault block under tensional background. The Dongwu movement turned the southwest Kang-Dian ancient land into a provenance under the pushing and shoving by the ancient Tethys oceanic crust. Meanwhile, a trough graben area was formed in the northwest Guangyuan-Wangcang area due to the associated tensional subsidence. The relief in the area declines at low angle from southwest to northeast and indirectly controls the formation and lithofacies distribution of Wujiaping Formation. The sedimentary facies zones feature in wide and gradual variation. The Late Permian Wujiaping Formation was resulted from an high sea level transgression from northwest to southwest above the early weathering erosion interface. A denudation area and alluvial plain-coastal plain-coastal swamps-carbonate ramp sedimentary systems are successively developed from the southwest to northwest. Among these sedimentary systems, the moderate-shallow ramp bioclast beach was the most favorable reservoir facies belt with large thickness, wide distribution and near distance to the Guangyuan-Wangcang hydrocarbon kitchen, and it is capable of trapping hydrocarbons generated nearby. Several rounds of detailed digital seismic investigation have revealed many buried structures, providing new domains for enlarged exploration of carbonate gas reservoirs in the basin.

Key words: sedimentary system, evolution model, Wujiaping Formation, Late Permian, Sichuan Basin

研究区地理位置位于四川盆地西部峨眉市、成都市北东方向一直延伸至广元市境内。大地构造处于

收稿日期:2014-07-25;修订日期:2014-11-15。

第一作者简介:何江(1981—),男,博士研究生、讲师,岩性—地层油气藏和非常规油气勘探。E-mail:78197878@qq.com。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05004-005)。

“扬子地台”西北缘,现今区域构造主体为龙门山褶皱带、川北坳陷低缓带、川西坳陷低陡带,属断裂、褶皱和推覆构造强烈复杂的区域^[1-4]。北与米仓山台缘隆起带、松潘甘孜地槽系相接,南与峨眉山瓦块断带为界,东与川中隆起斜坡带紧靠(图1)。

近年,随着对区内晚二叠世吴家坪期生屑滩储层天然气勘探开发的不断深入,在龙岗地区九龙山构造取得一定突破,钻揭该层的龙4、龙16、龙17和龙104井显示异常强烈,其中,龙17井获气 $3.31 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。此外,元坝地区钻揭该层的元坝29井获气 $103 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,为盆内碳酸盐岩气藏的扩大勘探展示了全新的后备领域,亟需对沉积体系进行精细研究。针对四川盆地晚二叠世地层,诸多沉积地质学家和石油地质学家进行了深入研究。张军、李建国等^[5]针对中国南方碳酸盐岩岩相古地理研究中发现,晚二叠世中国南方发育大型碳酸盐台地,四川盆地位于其西北部,自西向东依次发育冲积相、滨岸平原相、滨岸沼泽相和碳酸盐台地相;冯纯江、张继庆等^[6]针对四川盆地上二叠统沉积相及其构造控制因素做了详细分析,将该套沉积归类到浅水碳酸盐台地环境,其中生物礁(滩)有台缘礁(滩)和台内部礁(滩)两种可能性;近年来,王一刚等^[7]等对四川及邻区上二叠统沉积特征系统深入工作,认为在海侵的大

背景下,四川盆地晚二叠世为一大型碳酸盐缓坡沉积。但目前尚缺少针对四川盆地西部晚二叠世吴家坪期沉积体系的精细解剖实例和经验。笔者通过详细的野外剖面观察、地层横向追踪与对比、典型沉积剖面写实、系统取样和室内实验分析等方法,首次对区域地质背景、沉积类型及特征、沉积体系展布、沉积模式进行了精细解剖。

1 区域地质背景

泥盆系和石炭系沉积期,四川盆地受加里东运动影响始终保持上升状态,仅在盆缘见有发育齐全的泥盆系和石炭系,盆内大面积缺失。中二叠世盆内开始广泛海侵,接受了一套十分稳定的中二叠统茅口组碳酸盐岩台地相沉积。中二叠世末发生了影响区域构造格局的东吴运动,其属拉张背景下的块断隆升,四川盆地西部显示为区域性的差异条块升降,发育为堑垒断陷古地貌^[8-10]:西南近雅安-峨眉的康滇古陆地垒区因受到古特提斯洋壳的不断推挤,导致陆地上升、扩大,爆发了峨眉地裂运动,产生了大量大型张性断裂,呈近南北向或北东向分布,继而有大规模玄武岩喷涌而出,构成了主要的物源分布区。除近源堆积了巨厚的峨眉山玄武岩组外,还在大邑-眉山等周边沉积了富含火

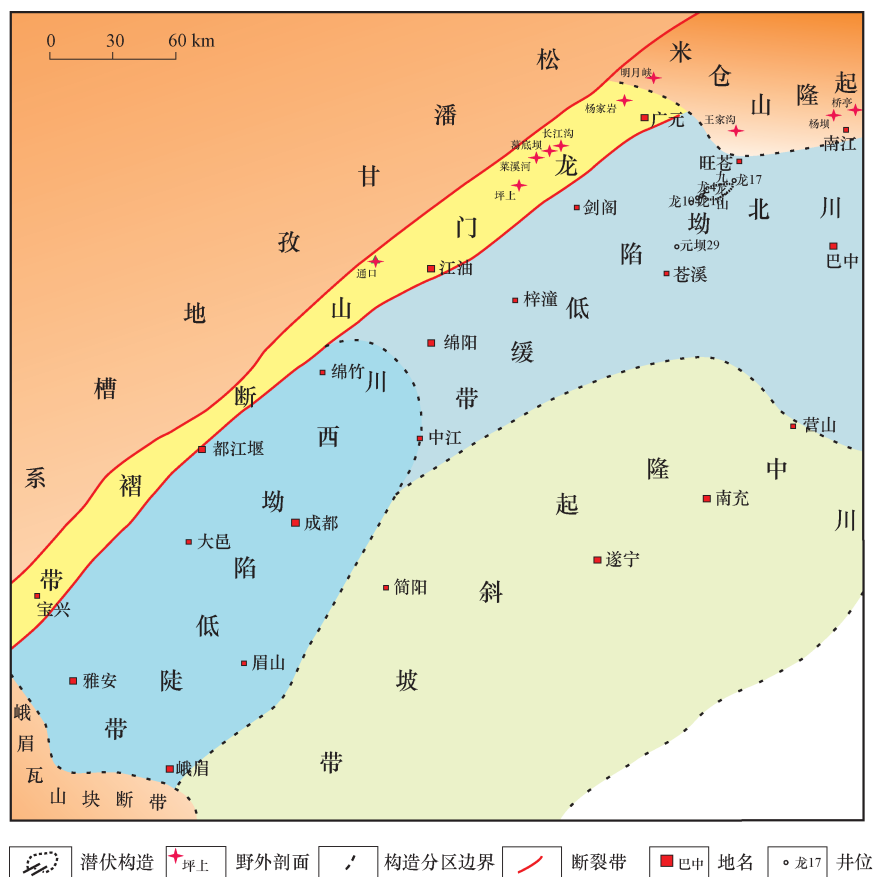


图1 四川盆地西部现今构造区划

Fig. 1 Current structure unit division of the western Sichuan Basin

山碎屑物质的宣威组碎屑岩类;同时,西北广元—旺苍一带因地壳的均衡作用,发生拉张沉降事件形成拉张性海槽地坳区,并与开江—梁平海槽相通,海槽区向西南康滇古陆区方向至滨岸之间的较浅水区主要沉积了吴家坪组海相富含燧石团块(或条带)石灰岩(图 2),较深水区还沉积了深色硅质灰岩。上述地质背景间接控制了四川盆地西部晚二叠世吴家坪期地层及岩相展布。

2 沉积体系特征

中二叠世末的东吴运动使四川盆地西南部的康滇古陆高耸并成为主要的物源区,其东侧被动大陆边缘的岩石圈张裂作用后发生热沉降,显示相对稳定的区域性沉降特点,沉降速度与大陆边缘板块厚度成反比关系^[1],因此,在同一个时间段中,从远离大陆向大陆内部方向,大陆边缘地壳的沉降幅度呈逐渐减小的趋势,构成原始、平缓的斜坡地貌,导致区内地势具有南西—北东向低角度倾斜的趋势。

基于区域沉积格局及前人研究成果^[11-17],结合盆缘桥亭、杨坝和王家沟等(图 3) 10 条野外露头剖面的实地观测及盆内钻、测井资料和地震剖面的综合分析,发现吴家坪期沉积体系具有以下重要特征。

1) 沉积相带显示宽缓渐变趋势

吴家坪沉积期,川西北部地区多数野外和钻井剖面沉积特征极其相似,主要由一套中—厚层状含硅质结核、团块或条带的含生物(屑)、生物(屑)质石灰岩构成,未发现明显突变的岩相界限。同时,颗粒岩(砂级和砂级以上的碳酸盐岩颗粒含量与岩石结构组分比 $\geq 50\%$ 的岩性)厚度变化也呈渐变趋势(图 3)。

2) 无台地边缘斜坡带

在吴家坪组中未见富含重力流沉积、滑塌变形构造为特色的台地边缘斜坡沉积,同时,地震剖面(吴家坪组底部拉平)也未见地层厚度的突变和斜坡(图 4),表明在吴家坪期不发育较陡的坡折带。

地 层			雅安-峨眉	大邑-眉山	绵阳-江油-剑阁-巴中	广元-旺苍	
二 叠 系	上二叠统	长兴阶	峨眉山玄武岩组	宣威组	长 兴 组		大隆组
		吴家坪阶			吴 家 坪 组		
	中二叠统	茅口阶			茅 口 组		

图 2 四川盆地西部上二叠统地层划分与对比

Fig. 2 Stratigraphic division and correlation of the Upper Permian in the western Sichuan Basin

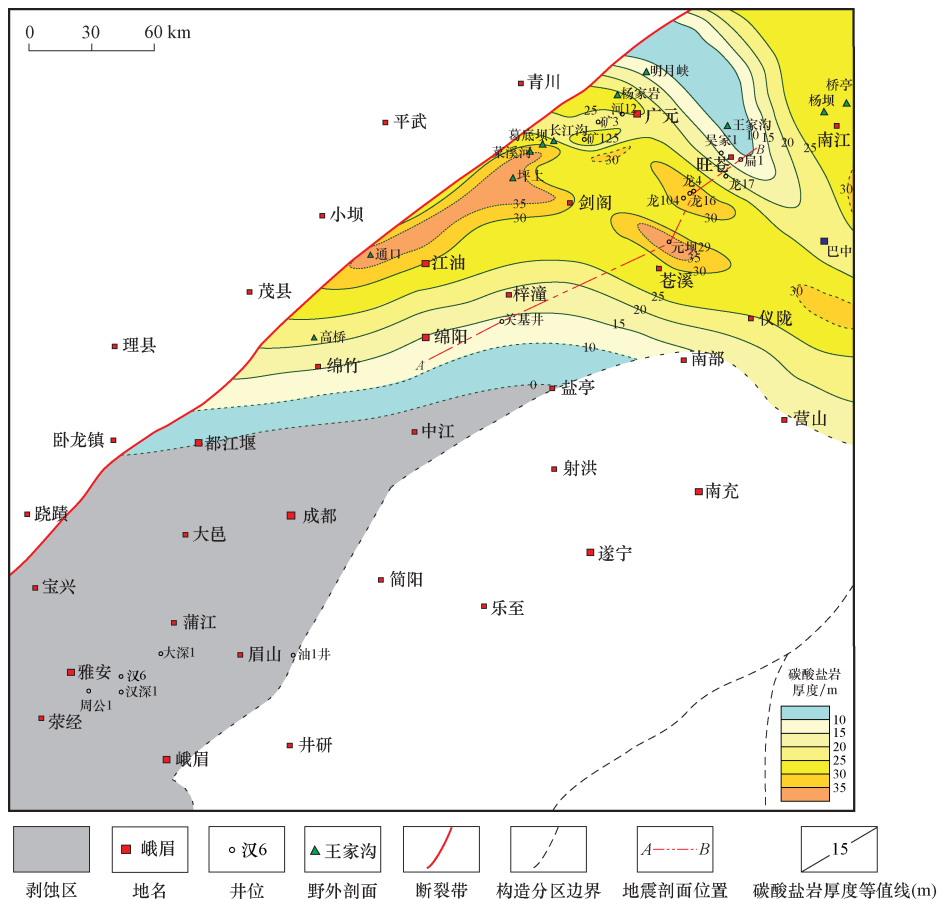


图 3 四川盆地西部吴家坪组颗粒碳酸盐岩厚度等值线

Fig. 3 Isopach map of granular carbonate rock in the Wujiaping Formation in the western Sichuan Basin

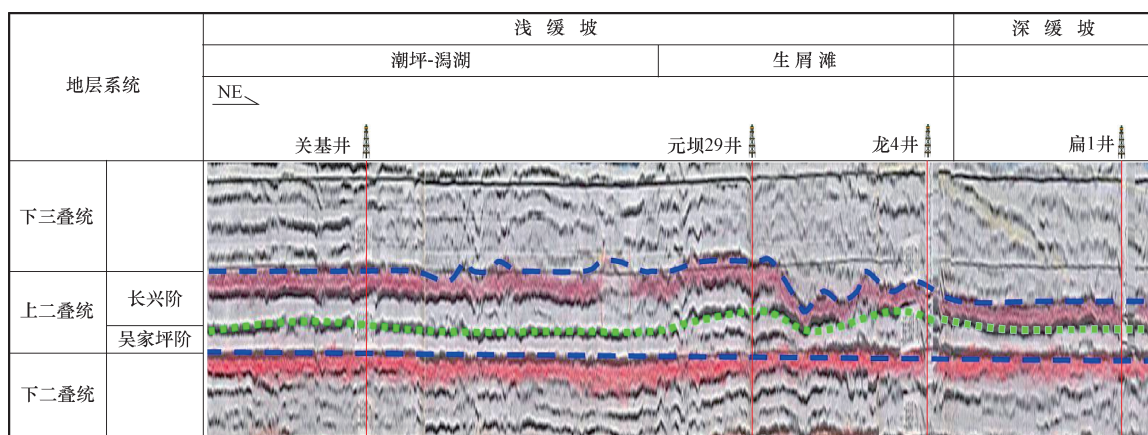


图4 四川盆地西北部上二叠统吴家坪组地震剖面相解释

Fig. 4 Facies interpretation on seismic profile of the Upper Permian Wujiaping Formation in the northwestern Sichuan Basin

3) 台地边缘高能沉积相带缺乏

区内仅在元坝29井和龙4井区、江油的坪上以及北川通口等区域发育一些近滨岸地带的较浅水滩体,规模较小,未能形成明显的障壁作用(图3,图4)。

结合研究区现状,参考 Armstrong 等^[18-21]的相模式,研究表明,四川盆地西部晚二叠世吴家坪期主要是在早期风化剥蚀界面的基础上发育起来的剥蚀区及冲积平原-滨岸平原-滨岸沼泽-碳酸盐岩缓坡沉积体系,可进一步识别出沉积相、亚相及微相(图5)。

2.1 剥蚀区与冲积平原

剥蚀区及冲积平原主要位于四川盆地西南部康滇古陆区及周边,其中剥蚀区由灰绿、深灰色厚层致密状、气孔状、杏仁状、斑状玄武岩及含铁玄武岩组成,与之紧临的冲积平原涵盖冲积扇相与河流相两种沉积

体。前者岩性以灰绿色、灰色中-厚层状玄武质砾岩和玄武质含砾砂岩为主,砾石分选及磨圆中等偏差。后者常见自下而上由含砾砂岩-粉砂岩-粘土岩构成的正韵律层,韵律层底部往往有冲刷面,与下伏峨眉山玄武岩呈假整合或整合接触,韵律层下部常发育平行层理和槽状交错层理,韵律层上部常见炭屑及植物化石。岩层横向上分布不稳定,快速变薄、尖灭。

2.2 滨岸平原与沼泽

滨岸平原分布在与冲积平原相接的近岸环境,位于最高海平面之上,主要受陆上河流控制,岩性以褐黄色、紫红色的泥岩、粉砂质泥岩为主,水平层理发育,见少量植物碎片,局部夹透镜状煤层、生屑质泥晶灰岩。此外,在四川盆地西北部江油市通口-坪上一带的吴家坪初期古地貌高点亦可出现此类沉积(图6a,b)。滨岸沼泽主要位于最高海平面与平均海平面之间的滨岸地带,在四川盆地西北部除江油市通口-坪上一带

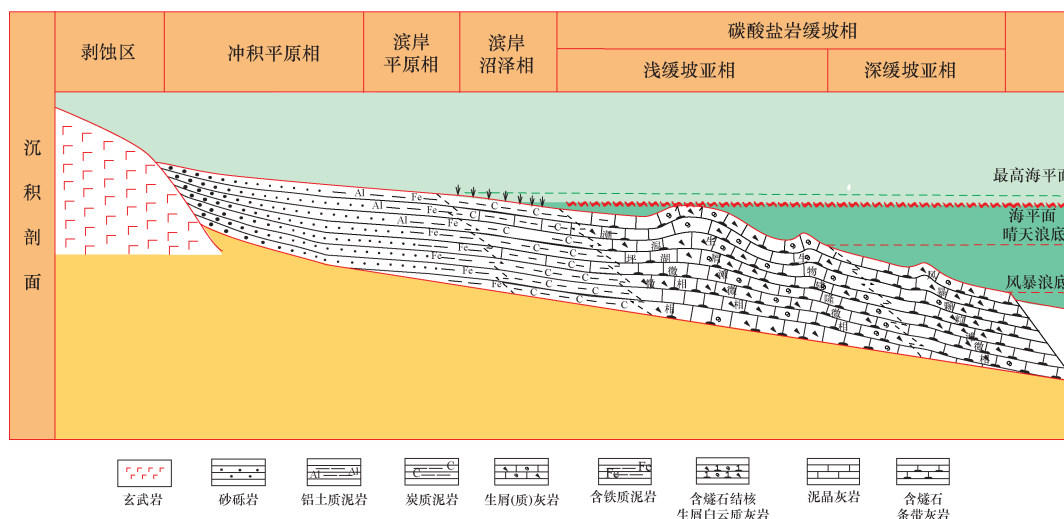


图5 四川盆地西部吴家坪组沉积模式示意图

Fig. 5 Schematic map showing the depositional model of the Wujiaping Formation in the western Sichuan Basin

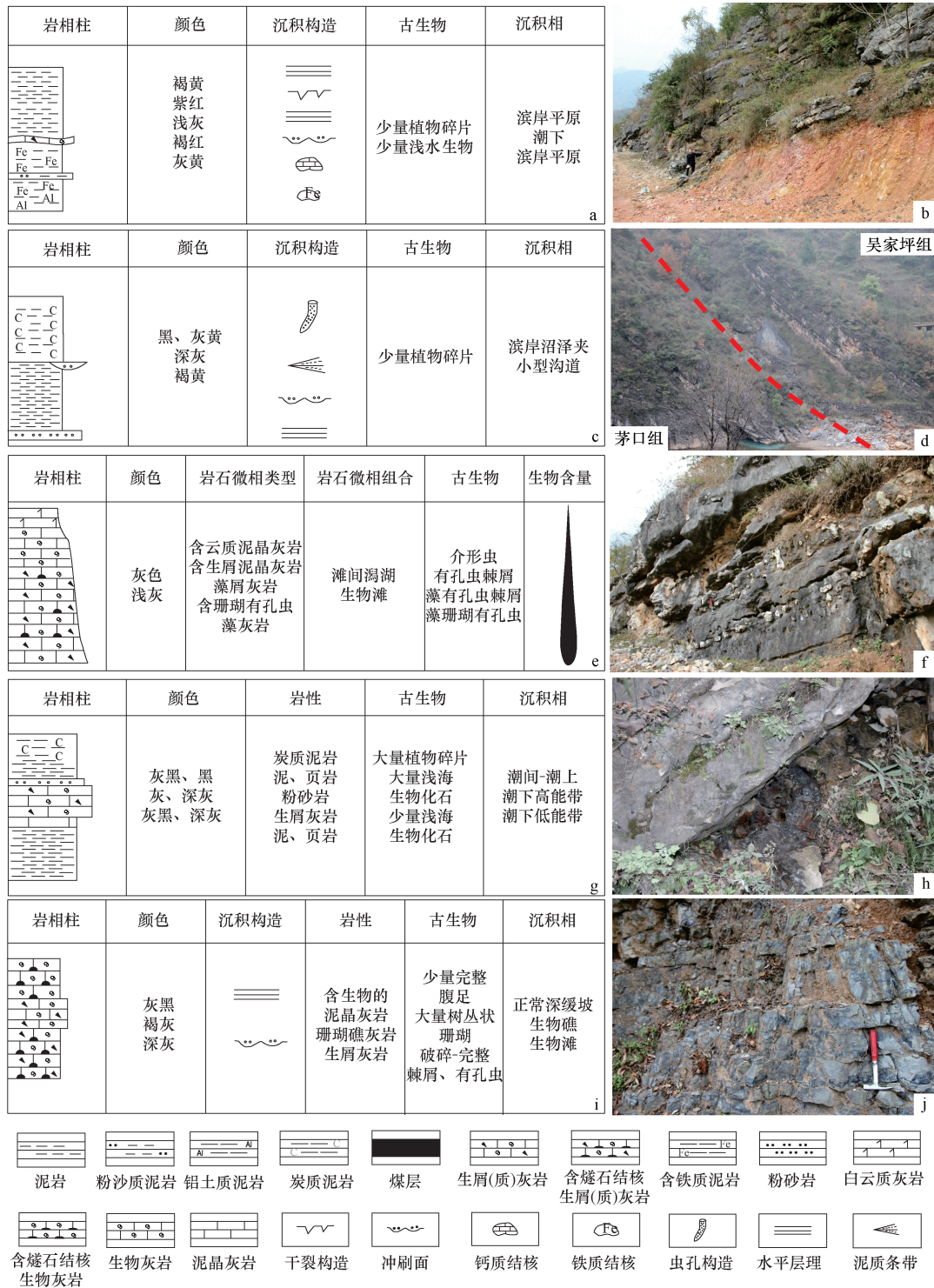


图 6 四川盆地西部滨岸平原与沼泽-碳酸盐岩缓坡沉积体系特征

Fig. 6 Characteristics of coastal plain and swamp-carbonate ramp depositional systems in the western Sichuan Basin

a. 下部为中-厚层状的褐红、灰黄色铁质泥岩,中、上部是中-薄层状褐黄、紫红色泥岩,水平层理发育,见少量暴露标志,中部夹透镜状、不规则状浅灰色生物(屑)灰岩,滨岸平原,吴家坪组,坪上剖面;b. 吴家坪组底部紫红色、黄褐泥岩夹透镜状黄灰色粉砂岩、粉砂质泥岩,前者中偶见暴露干裂和灰白色钙质结核,上覆吴家坪组下部灰色薄-中层状生物石灰岩,滨岸平原,吴家坪组,坪上剖面;c. 底部为中-薄层状、透镜状的生屑石灰岩,中、上部为中-厚层深灰、黑、灰黑色的泥岩、炭质泥岩夹小型生屑质石灰岩透镜体,顶部见煤层,滨岸沼泽,桥亭剖面;d. 吴家坪组与下伏茅口组呈角度不整合接触,前者底部为一套黑色炭质泥岩夹薄煤层的滨岸沼泽沉积,王家沟剖面;e. 下部为中-层状浅灰色含珊瑚-有孔虫藻灰岩,中部为中-厚层状浅灰色生物(屑)灰岩和藻屑灰岩,上部为含生物(屑)泥晶灰岩,顶部为含云质粉晶灰岩,其中含少量生物,均含有燧石团块或结核,浅缓坡生屑滩,吴家坪组,坪上剖面;f. 灰色厚-中层状生物(屑)石灰岩为主,多见顺层断续分布的灰白色硅质结核分布,浅缓坡生屑滩,吴家坪组,坪上剖面;g, h. 下部由中-薄层状灰黑、深灰色泥岩组成,水平层理发育,含少量完整的腕足和海绵骨针,中部为中层状灰、深灰色的含生屑-生物(屑)灰岩,上部是灰黑、黑色的泥页岩和炭质泥岩,含较多的植物碎片和黄铁矿,浅缓坡潮坪,吴家坪组,高桥剖面;i, j. 深灰色薄层状含生物泥晶石灰岩,夹不规则成层分布的黑色硅质岩,硅质矿物成分主要为隐晶质玉髓、微晶石英,但绝大多数均含生物颗粒,中部夹生物层风暴岩,深缓坡,吴家坪组,坪上剖面

外均有出现,因受到海平面脉动式升降影响导致常年积水,有利于植物大量生长,沉积了一套中-薄层状黑色、深灰色、灰黑色含较多炭化植物碎片和植物根茎化石的炭质泥岩或泥岩(图6c,d),间夹薄层状煤线和碳酸盐岩,泥岩中水平层理和生物扰动构造发育,含有少量的完整的腕足类,如 *Perigeyerella costellata*, *S. janus*, *Spinomarginifera*, *pseudosintanensis* 等,局部可见陆源的玄武质细砂岩-粉砂岩透镜体。

2.3 碳酸盐岩缓坡

根据水体深度和水动力条件等各方面特征,可将碳酸盐缓坡相细分为浅缓坡和深缓坡两个亚相。

2.3.1 浅缓坡亚相

浅缓坡亚相由陆向海方向按沉积特征可进一步分为潮坪、潟湖和生屑滩等微相。

生屑滩是浅缓坡主体,位于正常浪基面以上,海水通畅,水动力较强,由于波浪作用,藻类和带壳的底栖动物极其发育,沉积生屑石灰岩为主,岩层中顺层断续分布的硅质结核发育(图6e,f)。生屑灰岩中颗粒含量一般为10%~60%,最高可达70%左右。颗粒种类繁多,常见红藻类、绿藻类、腹足类、放射虫、棘皮类、钙球、非瓣孔虫类、瓣孔类、腕足类、介形虫类、四射珊瑚类、苔藓虫类和骨针类等,因晚二叠世吴家坪期为一海侵序列,水体相对较深,生屑颗粒分选、磨圆中等偏差,粒间充填物中灰泥基质较亮晶胶结物多。

潮坪微相分布在以明显周期性潮汐活动为特征的平缓倾斜滨岸地带,无强波浪作用,在充分的陆源物质供应条件下,薄-中层状细粒碎屑岩与薄层状碳酸盐岩交互沉积。潮坪环境向海方向,随水体加深依次出现潮上带的白云质-泥质沉积,潮间带的生屑质-泥灰质沉积,潮下带的泥灰质沉积。因次级海平面的脉动式升降,三个沉积单元在纵向上常多旋回叠复出现形成特征的潮坪组合(图6g,h)。

潟湖微相分布于平均低潮线—平均浪基面之间,因受到向海一侧较连续分布的生屑滩的遮挡作用,波浪作用的影响较小,为偏低能环境,处于还原的低能状态,水体循环差,盐度较高,常由深灰色厚-中层状泥晶灰岩、泥质白云岩等组成,水平层理发育,生物化石稀少,黄铁矿和有机质富集。

2.3.2 深缓坡亚相

深缓坡亚相属于深水低能环境,位于平均浪基面之下,最大风暴浪基面之上,沉积了一套褐灰、灰黑色、深灰色薄-中层状含生物(屑)泥晶灰岩、生屑泥晶灰岩、泥晶灰岩,岩层中富含近顺层分布的硅质条带(图

6i,j)。此外,因受到间歇性的风暴浪影响外,局部发育风暴成因的颗粒石灰岩生物滩,颗粒碳酸盐岩含量小于34%,颗粒成分主要为生屑,局部间夹少量下部地层岩屑,粒间为由灰泥充填。风暴岩与下伏地层呈侵蚀突变接触,向上渐变为泥晶灰岩和含生物泥晶灰岩等正常低能沉积,总体呈正粒序,偶见丘状交错层理。

2.4 沉积演化

四川盆地西部上二叠统是在一风化剥蚀面准平原化缓坡的基础上,由一次较高海平面(三级)北西-南西方向海侵的产物。吴家坪组沉积初期,海平面缓慢上升,关基井及其西北地势较低的平缓处大范围发育为近岸地带的滨岸沼泽环境,灰色、灰黑色的泥岩、炭质泥岩夹煤层沉积发育。但海侵对地势较高的通口-坪上一带剖面影响不大,主要发育滨岸平原,沉积了一套浅黄红色、紫红色的粉砂质泥岩或泥岩,局部夹透镜状煤线。同时,因次级海平面升降,滨岸平原及沼泽沉积环境中或多或少可见一到数层海相沉积夹层。关基井西南方向仍分布为剥蚀区、冲积平原等陆上沉积环境。

晚二叠世吴家坪期的中-晚期发生区域性大规模海侵,物源快速向西南方向后退,四川盆地西北角剑阁长江沟、广元杨家岩等地区快速过渡为深缓坡环境,中-薄层灰黑色、深灰的泥晶灰岩、硅质灰岩、少量硅质页岩组成,向南西至江油坪上一青川葛底坝一带水体稍浅,发育为浅缓坡环境,主要沉积了一套中-厚层深灰、黑灰色的生物(屑)泥晶灰岩,关基井及其西南侧仍为滨岸及陆上环境。

晚二叠世晚期,海水继续向西南推进,关基井西北侧均已演化为深缓坡沉积环境,沉积大量深灰色、灰黑色硅质灰岩(图7)。

3 沉积体系展布

沉积体系展布受相对海平面变化、古气候、沉积物源供给、海岸古地形等诸多因素制约。在区域沉积背景分析的基础上,结合区域各野外、钻井单剖面,地震剖面、沉积相对比剖面,地层厚度以及颗粒岩厚度等值线图的综合分析,编制出四川盆地西部晚二叠世吴家坪期的沉积体系展布图(图8)。

四川盆地西部晚二叠世吴家坪期主要是在早期风化剥蚀界面的基础上发育起来的剥蚀区及冲积平原-滨岸平原-滨岸沼泽-碳酸盐岩缓坡沉积体系,由陆相-海陆过渡相-浅海相-半深海相变化比较明显。剥蚀区位于区内西南角宝兴-眉山-峨眉等地区,长

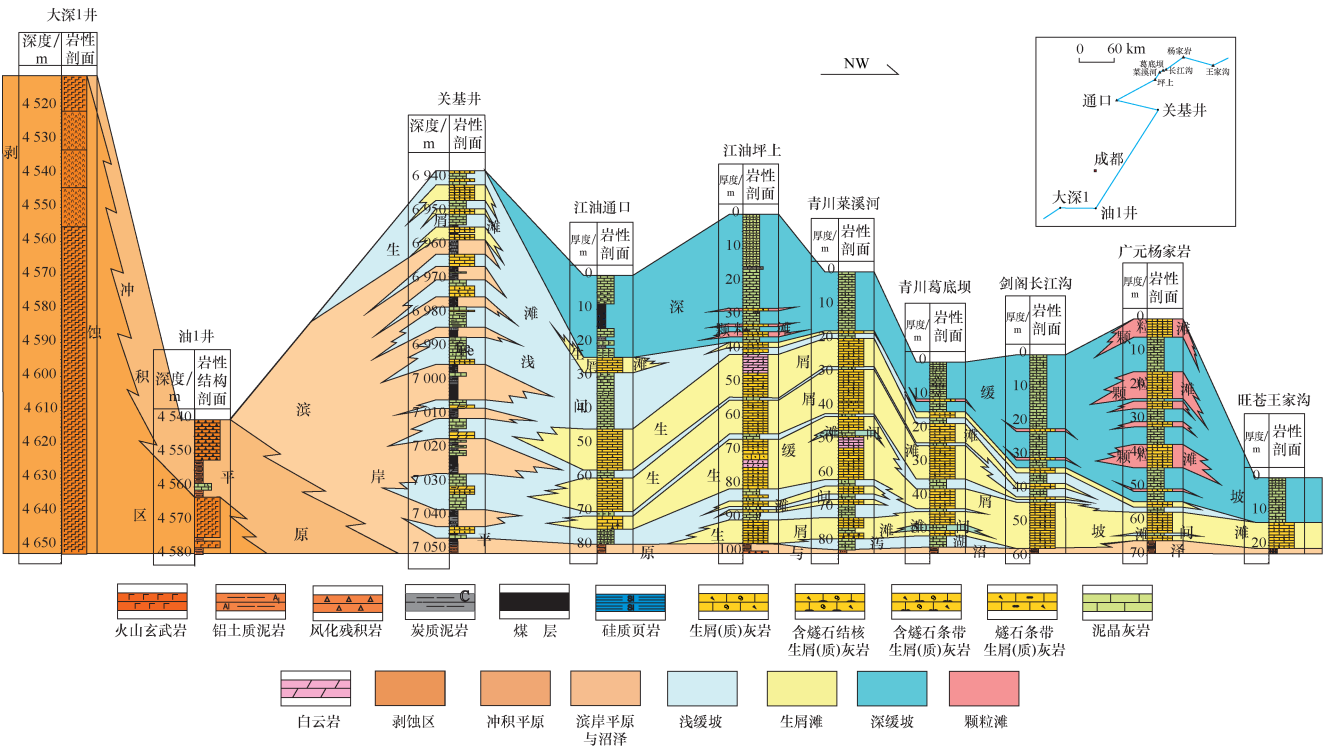


图 7 四川盆地西部吴家坪组沉积微相对比剖面

Fig. 7 Correlation profile of the Wujiaping Formation sedimentary microfacies in the western Sichuan Basin

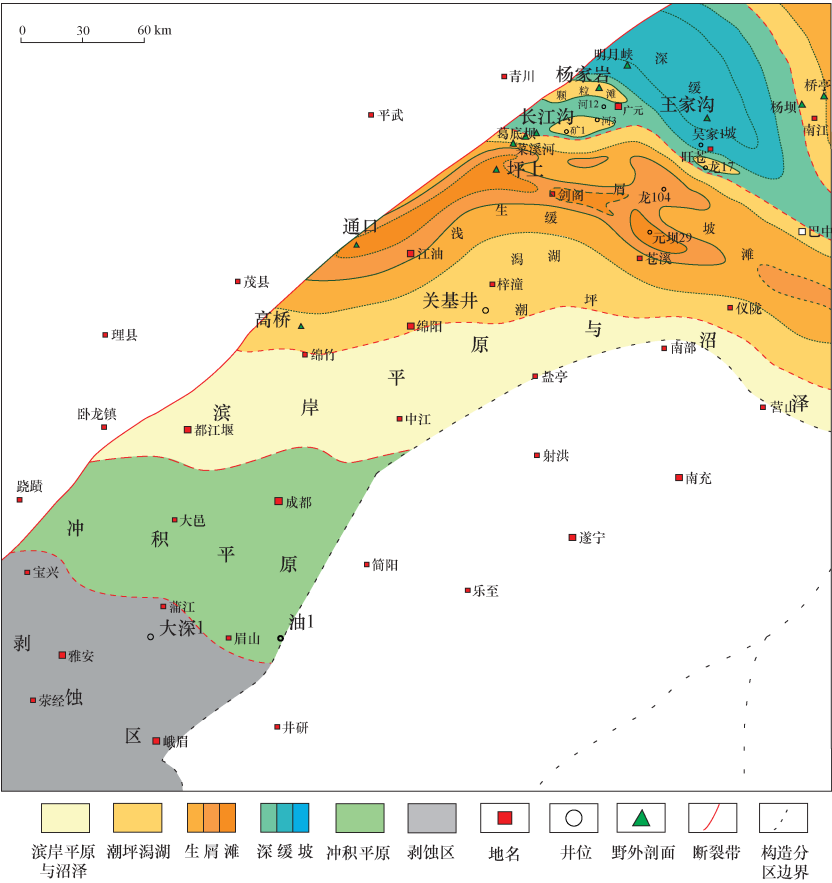


图 8 四川盆地西部吴家坪组沉积体系展布

Fig. 8 Distribution of depositional systems of the Wujiaping Formation in the western Sichuan Basin

期接受剥蚀,由玄武岩组成,是区内主要的物源区。冲积平原分布在大邑-眉山-成都等区域,未受海洋影响,以宣威组火山碎屑岩沉积为主。滨岸平原与沼泽位于都江堰-中江-南部等区,发育海陆过渡交互沉积,自南向北海相碳酸盐岩含量逐渐增加。江油通口-广元长江沟-剑阁-龙17井-苍溪-巴中一线发育为浅缓坡沉积环境,根据沉积特征的差异可细分为潮坪、潟湖、生物滩等微相。生物滩属于浪基面附近相对高能沉积区,分布在江油通口-江油坪上-剑阁-元坝29井区一带、龙4井-龙104井区,其岩性主要为一套中-厚层浅灰、灰色生物(屑)灰岩,其余微相环境能量偏低,沉积富含硅质结核、条带的含生物(屑)泥晶灰岩。广元长江沟-龙17井-巴中-南江之间发育为深缓坡环境,沉积中-薄层状深灰色泥晶灰岩、含生物泥晶灰岩为主,硅质条带富集。

4 有利相带优选

四川盆地西部浅缓坡亚相有利于生屑滩的发育,生屑滩主要分布于北川通口-剑阁-苍溪一带,颗粒岩的厚度大,分布于40~70 m。原生孔隙较为发育,其在后期成岩过程中部分可保留至今。此外,滩体古地貌较高,受到脉动式的海平面升降控制,其顶部常出露于水面,频繁接受不同程度的溶解作用,可形成小规模次生溶孔、溶洞,在炎热气候条件下,还可发生白云化作用,形成一定的晶间孔。加之四川盆地西部在漫长的地质运动史中,受到印支、燕山、喜马拉雅运动等多期构造运动的影响,形成大量的破裂缝并多期叠加,在原生生屑滩体的基础上易于进行埋藏岩溶作用,可形成一定的次生孔隙,如生物体腔孔,改善了原有储层。

此外,浅缓坡亚相位于广元-旺苍生烃中心附近,具备就近俘获油气的能力。吴家坪早期,广元-旺苍地区沉积了一套由灰黑色泥岩、炭质泥岩和煤层组成的滨岸沼泽沉积,生物丰富。中、晚期,广元-旺苍地区处于深缓坡沉积环境中,形成了一套厚20 m左右的深灰富含硅质条带的泥晶灰岩沉积^[22-23]。据吴家1井烃源岩分析,其底部滨岸沼泽环境的炭质泥岩有机碳含量平均达1.58%,上部深缓坡环境的深色灰岩中有机碳平均含量达1.27%,均具备良好的生烃能力。同时,区内吴家坪组由下向上依次发育为底部滨岸沼泽烃源层、中部浅缓坡滩相储层、上部深缓坡硅质灰岩烃源层、封盖层,构成良好的生储盖组合,多轮数字地震详查也发现了众多较好潜伏构造,具备了较好的封盖条件。

基于烃源岩、储层、构造条件的综合分析表明,川

西地区北川通口-剑阁-苍溪一带的吴家坪组浅缓坡亚相生屑滩微相具备一定的勘探潜力,可作为四川盆地西部天然气勘探选区的后备领域。

5 结论

1) 通过详细的野外剖面观察、地层横向追踪与对比、典型沉积剖面实测、系统取样和室内实验分析等分析,发现吴家坪期四川盆地西北部沉积相特征大致相当,主要由一套中-厚层状灰色含硅质结核、团块或条带的含生物(屑)或生物(屑)质泥晶灰岩、生物(屑)灰岩构成,显示了宽缓渐变的沉积相带。未见富含重力流沉积和滑塌变形构造为特色的台地边缘斜坡沉积,缺乏台地边缘处的高能沉积相带。研究表明,晚二叠世吴家坪期主要是在早期风化剥蚀界面的基础上发育起来的剥蚀区及冲积平原-滨岸平原-滨岸沼泽-碳酸盐岩缓坡沉积体系。

2) 四川盆地西部上二叠统是在一风化剥蚀面准平原化缓坡的基础上,由一次较高海平面北西-南西方向海侵的产物。吴家坪组沉积初期,随海平面缓慢上升,西北部平缓处逐渐发育为滨岸沼泽环境。吴家坪组沉积中-晚期,随海侵的不断推进,西北角广元杨家岩、剑阁长江沟等地由滨岸平原与沼泽、浅缓坡快速过渡为深缓坡环境,江油通口-青川葛底坝发育为浅缓坡环境,关基井以西南地区为滨岸及陆上环境。吴家坪组沉积晚期,海水继续往西南推进,关基井西北侧全部演化为深缓坡沉积环境。

3) 对烃源岩、储层、构造条件的综合分析表明,川西地区吴家坪组的浅缓坡亚相有利于生屑滩的发育,生屑滩颗粒岩厚度大,介于40~70 m之间,可形成储集性能良好的储集体,且处于广元-旺苍地区生烃中心附近,加之此区吴家坪组由下向上依次发育滨岸沼泽烃源层、浅缓坡滩相储层、深缓坡硅质灰岩烃源层和封盖层,构成良好的生储盖组合,多轮数字地震详查也发现了众多的潜伏构造,且封盖条件好,具备一定的勘探潜力,可作为四川盆地西部天然气勘探选区的后备领域。

致谢:本文为《川西地区上二叠统有利储集相带研究》项目成果之一,研究得到中国石油西南油气田分公司邱宗恬、蓝贵、朱永刚、张豫等高工的细心指导与修改,并得到中国石油西南油气田分公司川西北气矿杨跃明、李跃纲、王勇、杨华、李梅等的关怀和大力支持,谨此致谢。

参 考 文 献

- [1] 何丽娟,许鹤华,汪集旻. 早二叠世-中三叠世四川盆地热演化及其动力学机制[J]. 中国科学:地球科学, 2011, 12: 1884-1891.
He Lijuan, Xu Hehua, Wang Jiyang. Thermal evolution and dynamic mechanism of the Sichuan Basin during the early Permian-middle Tri-

- assic[J]. Science in China(Earth Science),2011,12:1884-1891.
- [2] 赵从俊. 四川盆地构造垂向变异特征类型及其机理探讨[J]. 石油学报,1984,5(2):11-21.
- Zhao Congjun. On the characteristics, types and mechanism of vertical structural variations in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 1984,5(2):11-21.
- [3] 邓康龄. 四川盆地形成演化与油气勘探领域[J]. 天然气工业, 1992,12(5):7-12.
- Deng Kangling. Formation and evolution of Sichuan Basin and domains for oil and gas exploration[J]. Natural Gas Industry,1992,12(5):7-12.
- [4] 罗志立. 四川盆地油气勘探前景及发展对策[J]. 石油与天然气地质,1999,20(3):260-262.
- Luo Zhili. Development counter measures and prospects of oil and gas exploration in Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology,1999,20(3):260-262.
- [5] 张军,李建国,等. 中国南方碳酸盐岩岩相古地理初探[M]. 北京:地质出版社,1982:34-112.
- Zhang Jun, Li Jianguo, et al. First exploration of carbonate rock lithofacies palaeogeographic in south China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982:34-112.
- [6] 冯纯江,张继庆,等. 四川盆地上二叠统沉积相及其构造控制[J]. 岩相古地理,1988,34(2):1-15.
- Feng Chunjiang, Zhang Jiqing, etc. The upper Permian sedimentary facies in Sichuan Basin and their tectonic controls[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1988,34(2):1-15.
- [7] 王一刚,文应初,洪海涛,等. 四川盆地及邻区上二叠统-下三叠统海槽的深水沉积特征[J]. 石油与天然气地质,2006,10(5):702-714.
- Wang Yigang, Wen Yingchu, Hong Haitao, et al. Petroleum geological characteristics of deep water deposits in upper Permian-Lower Triassic trough in Sichuan Basin and adjacent areas[J]. Oil & Gas Geology, 2006,10(5):702-714.
- [8] 金玉珏,王向东,尚庆华,等. 中国二叠纪年代地层划分和对比[J]. 地质学报,1999,02:97-108.
- Jin Yugan, Wang Xiangdong, Shang Qinghua, et al. Chronostratigraphic subdivision and correlation of the Permian in China[J]. Acta Geologica Sinica, 1999,02:97-108.
- [9] 马永生,牟传龙,谭钦银,等. 关于开江-梁平海槽的认识[J]. 石油与天然气地质,2006,03:326-331.
- Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, et al. A discussion on Kaijiang-Liangping ocean trough[J]. Oil & Gas Geology, 2006,03:326-331.
- [10] 魏国齐,陈更生,杨威,等. 四川盆地北部开江-梁平海槽边界及特征初探[J]. 石油与天然气地质,2006,01:99-105.
- Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, et al. Preliminary study of the boundary of Kaijiang-Liangping trough in northern Sichuan Basin and its characteristics[J]. Oil & Gas Geology, 2006,01:99-105.
- [11] 李勇,苏德辰,董顺利,等. 晚三叠世龙门山前陆盆地早期(卡尼期)碳酸盐缓坡和海绵礁的淹没过程与动力机制[J]. 岩石学报, 2011,11:3460-3470.
- Li Yong, Su Dechen, Dong Shunli, et al. Dynamic of drowning of the carbonate ramp and sponge build-up in the early stage (Carnian) of Longmen Shan foreland basin, Late Triassic, China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2011,11:3460-3470.
- [12] 赵宗举,周慧,陈轩,等. 四川盆地及邻区二叠纪层序岩相古地理及有利勘探区带[J]. 石油学报,2012,S2:35-51.
- Zhao Zongju, Zhou Hui, Chen Xuan, et al. Sequence lithofacies paleogeography and favorable exploration zones of the Permian in Sichuan Basin and adjacent areas, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,S2:35-51.
- [13] 范嘉松,吴亚生. 川东二叠纪生物礁的再认识[J]. 石油与天然气地质,2002,01:12-18.
- Fan Jiasong, Wu Yasheng. Restudies on Permian reefs in eastern Sichuan, China[J]. Oil & Gas Geology, 2002,01:12-18.
- [14] 乔彦国,时志强,王艳艳,等. 四川广元上寺剖面晚二叠世一早三叠世旋回地层:基于小波分析的 P-T 界线地质事件探讨[J]. 古地理学报,2012,03:403-410.
- Qiao Yanguo, Shi Zhiqiang, Wang Yanyan, et al. The Late Permian-Early Triassic cyclostratigraphy in Shang sisection of Guangyuan area, Sichuan Province: implications for P-T geological event based on wavelet analysis[J]. Journal of palaeogeography, 2012,03:403-410.
- [15] 李波,颜佳新,薛武强,等. 四川广元地区中二叠世斑状白云岩成因及地质意义[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2012,S2:136-146.
- Li Bo, Yan Jiaxin, Xue Wuqiang, et al. Origin of patchy dolomite and its geological significance from Middle Permian, Guanyuan, Sichuan Province[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2012,S2:136-146.
- [16] 童金南,崔玮霞. 碳酸盐缓坡区的露头层序地层研究[J]. 地球科学,2002,05:565-569.
- Tong Jinnan, Cui Weixia. Outcrop sequence stratigraphy in carbonate ramp[J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 2002,05:565-569.
- [17] 王剑. 缓坡及其构造背景——以中国南方早寒武世龙王庙期扬子碳酸盐缓坡为例[J]. 岩相古地理,1990,05:13-22.
- Wang Jian. Carbonate ramps and their tectonic controls, with an example from the Longwangmiaoian (Early Cambrian) Yangzi carbonate ramp in south China[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1990,05:13-22.
- [18] Armstrong A K. Carbonate depositional models, preliminary lithofacies and paleotectonic maps[J]. AAPG Bulletin, 1974,58(4):621-645.
- [19] Willson J L. Carbonate facies in geologic history[M]. Heidelberg: Springer Verlag, 1975:1-471.
- [20] Read J F. Carbonate platform facies models[J]. AAPG Bulletin, 1985,69(1):1-21.
- [21] Tucker M E. Shallow marine carbonate facies and facies models[M]. Blackwell Scientific Publications, 1985:147-169.
- [22] 刘喜停,马志鑫,颜佳新. 扬子地区晚二叠世吴家坪期沉积环境及烃源岩发育的控制因素[J]. 古地理学报,2010,02:244-252.
- Liu Xiting, Ma Zhixin, Yan Jiaxin. Sedimentary environments and controlling factors of hydrocarbon source rocks of the Late Permian Wujiaping Age in Yangtze area[J]. Journal of Palaeogeography, 2010,02:244-252.
- [23] 夏茂龙,文龙,王一刚,等. 四川盆地上二叠统海槽相大隆组优质烃源岩[J]. 石油勘探与开发,2010,06:654-662.
- Xia Maolong, Wen Long, Wang Yigang, et al. High-quality source rocks in trough facies of Upper Permian Dalong Formation of Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2010,06:654-662.