

川东南-黔北志留系石牛栏组沉积与层序地层

王正和^{1,2}, 谭钦银^{1,2}, 何利^{1,2}, 程锦翔^{1,2}, 王瑞华^{1,2}

(1. 中国地质调查局 成都地质调查中心, 四川 成都 610081;

2. 国土资源部 沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要: 基于地震、钻井及露头资料的综合分析, 对川东南-黔北志留系石牛栏组及同期异相的小河坝组沉积与层序地层进行了研究。结果表明:①石牛栏组与下伏龙马溪组共同构成一个独立的三级层序, 石牛栏组为高位体系域的一部分;②石牛栏组内部呈现为两个次一级的海平面升降旋回, 可进一步划分为上、下两个四级层序;③台地边缘礁滩相在两个四级层序的高位体系域中均有一至两期小规模的发展, 但在上部四级层序中最发育;④石牛栏组沉积期表现为台缘缓坡模式, 因为台缘到斜坡没有明显坡折, 加上陆源碎屑的影响, 导致生物礁发育规模普遍很小, 多呈点状或串珠状分布;⑤研究区内石牛栏组白云岩化作用总体上很弱, 推测该时期海水盐度较低, 主要由两个原因所致, 一是来自南边黔中隆起及东边雪峰隆起的淡水河流注入导致研究区内海水盐度较低, 二是台地边缘礁滩隆起幅度较低, 无法形成相对局限的高盐度环境;⑥南川一带的小河坝组应当属于低河能量、欠充沛物源且以悬浮搬运为主的低建设性浅水三角洲。

关键词: 沉积相; 层序地层; 石牛栏组; 小河坝组; 志留系; 黔中隆起; 雪峰隆起

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

Deposition and sequence stratigraphy of the Silurian Shiniulan Formation in southeastern Sichuan-northern Guizhou province

Wang Zhenghe^{1,2}, Tan Qinyin^{1,2}, He Li^{1,2}, Cheng Jinxiang^{1,2}, Wang Ruihua^{1,2}

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610081, China;

2. Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resource, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: Based on the integrated analysis of seismic, drilling and outcrop data, this paper studied the deposition and sequence stratigraphy characteristics of Shiniulan & Xiaoheba formations in southeastern Sichuan-northern Guizhou provinces. The following results were obtained. The Shiniulan Fm and its underlying Longmaxi Formation compose a separate third-order sequence, and the Shiniulan Formation is part of a high-stand system tract. There are two sub-eustatic sea level cycles in the Shiniulan Formation, so this formation can be further divided into an upper and a lower fourth-order sequence. There are one to two development phases of platform margin reef & bank facies in the high-stand system tract of each fourth-order sequence, but the best platform reef & bank facies lies in the upper one. The bioherms developed during the deposition of the Shiniulan Formation are generally small and in scattered or beaded distribution due to the non-existence of obvious slope break between platform margin and slope as well as the dilution of terrigenous inputs. In the study area, the dolomitization of the Shiniulan Fm is very weak as a whole. It is assumed that the salinity was low in this stage mainly due to factors. The first is the input of fresh water from the central Guizhou Uplift in the south and Xuefeng Uplift in the east. The second is the low amplitude of uplift of platform margin reef & bank. The sedimentary environment of the Xiaoheba Formation in Nanchuan area should be a shallow water constructive delta with low river energy, non-well developed provenance and predominant suspension transport.

Key words: sedimentary facies, sequence stratigraphy, Shiniulan Formation, Xiaoheba Formation, Silurian, Central Guizhou Uplift, Xuefeng Uplift

川东南-黔北地区位于上扬子地区, 该地区下古生界为连续沉积。研究区内下志留统龙马溪组下部为

富含笔石化石的黑色炭质页岩, 有机质类型多为 I 型, 是良好的烃源岩, 该烃源岩厚度在研究区内可达 200 m

左右^[1-2];石牛栏组中上部则发育有碳酸盐岩礁滩相,且与石牛栏组同期异相的小河坝组在局部地区则发育有较厚的粉-细砂岩;而中志留统韩家店组中则发育有较厚的泥页岩,从而构成了一个较好的生储盖组合^[3-4]。

20 世纪 80—90 年代,石油公司在川南所钻遇的小河坝组砂岩天然气显示普遍^[4]。而且,在黔北习水县发现下志留统石牛栏组古油藏^[5]之后,进一步预示了川东南-黔北地区下古生界志留系良好的勘探前景^[6]。总之,较多的研究成果均表明该区志留系是一个重要的勘探层系^[7-11]。

前人对于扬子地区志留系沉积相、石牛栏组沉积相及石牛栏组灰岩储层特征等方面均有较多研究成果^[12-17]。但将石牛栏组及同期异相的小河坝组统一纳入层序研究,并按四级层序进行沉积相编图,尚未见公开报道。因此,对研究区石牛栏期沉积与层序地层的研究将会有助于认识的深化。笔者结合露头、地震、钻井及前人研究成果,对川东南-黔北地区志留系石牛栏组沉积与层序进行了综合分析与研究,这对后续的勘探具有重要的参考意义。

1 地质背景

扬子地区在晚奥陶世-志留纪演化形成前陆盆地^[18]。受广西运动影响,扬子地区中上志留统多被剥蚀,部分地区仅保留了中、下志留统。研究区位于扬子板块中南部,即黔中隆起北缘。其现今地理位置为四川盆地东南部(图 1)。区内志留系仅残留中下统,自

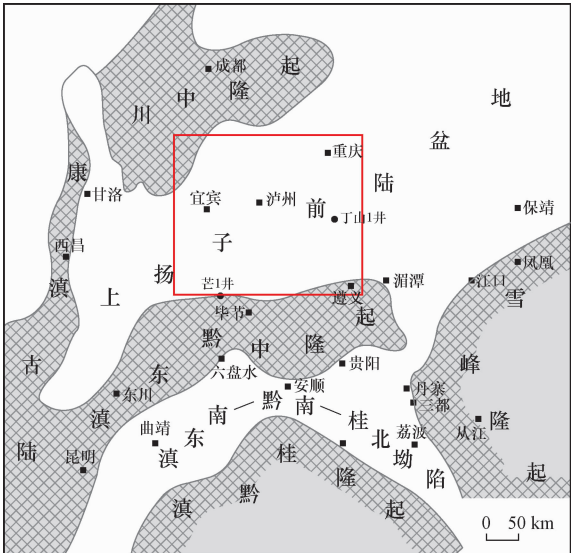


图 1 晚奥陶世—早志留世四川盆地古地理格局及研究区位置(据[18-19]修改)

Fig. 1 Location of the study area and paleogeographic framework of the Sichuan Basin in the Late Ordovician - Early Silurian

下而上分别为早志留世龙马溪组、石牛栏组(或同期异相的小河坝组)及中志留世韩家店组。其中,龙马溪组下部主要为黑色炭质页岩夹少量薄层生屑灰岩或生屑灰岩条带,上部主要为泥灰岩与灰泥岩薄互层。石牛栏组以灰岩为主,而小河坝组则以粉砂岩、泥岩为主。韩家店组为碎屑岩沉积,夹少量薄层生屑灰岩条带。

2 沉积与层序地层特征

扬子地区所残留的志留系构成一个二级层序^[20],但对于整个志留系内部三级层序的划分方案则不太统一。朱志军等将石牛栏(小河坝)组划分为两个三级层序^[9];牟传龙等以习水吼滩剖面为例将石牛栏组、龙马溪组及晚奥陶世涧草沟组、五峰组划分为一个三级层序,其中涧草沟组与五峰组构成海侵体系域^①。但刘伟等经研究认为五峰组沉积晚期,中、上扬子经历了一次大范围海退过程,从而在上扬子大部分地区沉积了与五峰组同期异相的以泥质生物灰岩-钙质泥岩为主的观音桥组^[21-22]。从野外露头纵向岩性、岩相变化及组合特征来看,龙马溪与石牛栏组构成一个连续且向上变浅的沉积序列,即龙马溪组下部的黑色含笔石炭质页岩向上渐变为泥岩与灰岩薄互层,到石牛栏组中上部则以较纯的灰岩为主,并发育礁滩相。因此,对钻井、地震、露头及前人研究成果的综合分析,笔者倾向于将志留系石牛栏组(小河坝组)与龙马溪组共同划分为一个独立的三级层序。其中,龙马溪组下部的黑色炭质页岩构成海侵体系域,上部则与石牛栏组共同构成三级层序高位体系域。而石牛栏组内部可进一步划分为两个四级层序,即 SQ1 和 SQ2。层序界面均为 II 型层序界面。

2.1 典型露头剖面沉积与层序地层特征

以羊久剖面为代表来揭示石牛栏组沉积与层序地层特征。该剖面位于习水县,其石牛栏组出露良好。

2.1.1 沉积特征

石牛栏组自下而上总体表现为沉积水体由深变浅的趋势,即由较深水陆棚相沉积向上演化为较浅水的台地边缘礁滩相沉积。其岩性响应表现为:自下而上,泥质含量越来越少,中下部以薄-厚层瘤状灰岩为主,上部以中层-块状礁灰岩、生屑灰岩及砂屑灰岩为主。

陆棚相沉积主要以灰色-深灰色中-薄层灰岩与含灰泥岩互层(图 2)。台地边缘斜坡相沉积主要以瘤状灰岩为主,瘤状灰岩中的瘤体多为生屑灰岩或泥晶灰岩,瘤体间多为灰质泥岩或泥质灰岩充填(图 3)。

① 牟传龙. 四川盆地沉积演化及其对油气控制作用研究. 中石化南方分公司,2008.

台地边缘礁滩相沉积多以生屑灰岩、礁灰岩为主;其中,生屑滩或核形石滩做为礁基,障积岩做为礁核,礁顶白云岩不发育;障积岩中造礁生物有链状珊瑚、蜂巢珊瑚、苔藓虫、海绵等,生物含量约60%,但以珊瑚为主(图4)。石牛栏组顶部以最后一期台地边缘浅滩相沉积而结束,岩性为残余生屑结晶灰岩(图5)。

2.1.2 层序地层特征

石牛栏组内部可划分为两个SQ1和SQ2四级层序,各层序界面均为Ⅱ型层序界面,且各层序内部均由海侵体系域与高位体系域构成。下部层序厚度远大于上部层序厚度,为一个海侵体系域与高位体系域厚度大致相当的近对称型层序,海侵体系域由陆棚-斜坡相构成,高位体系域由台地边缘礁滩相构成。上部层序中,海侵体系域厚度明显小于高位体系域厚度,为一个明显的非对称型层序,海侵体系域由斜坡相构成,高位体系域由台地边缘礁滩及局限台地相构成。



图2 习水盐井石牛栏组陆棚相深灰色薄-中层状泥晶灰岩与薄层状含灰质泥岩互层

Fig. 2 Dark gray thin to moderate micritic limestone interbedded with thin laminated lime mudstone of shelf facies in the Shiniulan Formation in Yanjing, Xishui area

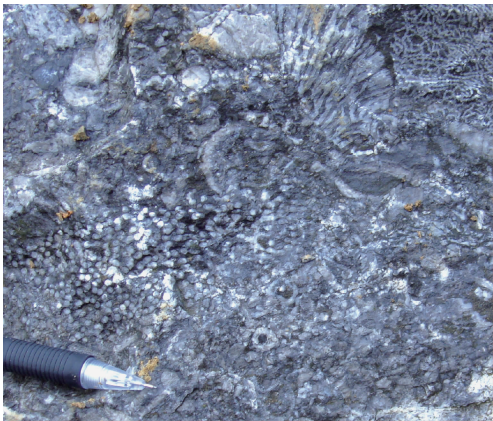


图4 习水仙源石牛栏组台地边缘障积礁灰岩

Fig. 4 Bafflestone of platform margin in the Shiniulan Formation in Xianyuan Xishui area

在该剖面中,自下而上有3期生物礁的发育。第一期生物礁发育于下部四级层序高位体系域末期;第二期和第三期则发育于上部层序高位体系域中。每一期生物礁厚度均较小,约5m左右(图6)。第一期生物礁的生长因沉积水体加深而终止生长;第二期与第三期生物礁则均因陆源泥质影响而被呛死。

总体上,台地边缘浅滩相在上部四级层序中最为发育,表现为单层厚度大,多为亮晶生屑结构。

2.2 格架剖面沉积与层序地层特征

以两条大致垂直和大致平行沉积相带的对比剖面为代表来揭示研究区石牛栏组沉积与层序地层特征。

2.2.1 林1井—二郎—铁索桥—鱼化—椒园剖面

该剖面近南北向,整体上看,SQ1厚度远大于SQ2厚度,且因受南边黔中古陆的影响,均呈现为南薄北厚的楔状(图7)。



图3 习水盐井石牛栏组台地边缘斜坡相灰色中-厚层生屑瘤状灰岩

Fig. 3 Gray moderate to thick bioclastic nodular limestone of platform margin slope facies in the Shiniulan Formation in Yanjing Xishui area



图5 习水仙源石牛栏组台地边缘浅滩亮晶生屑灰岩

Fig. 5 Biological clastic limestone of platform margin bank facies in the Shiniulan Formation in Xianyuan, Xishui area

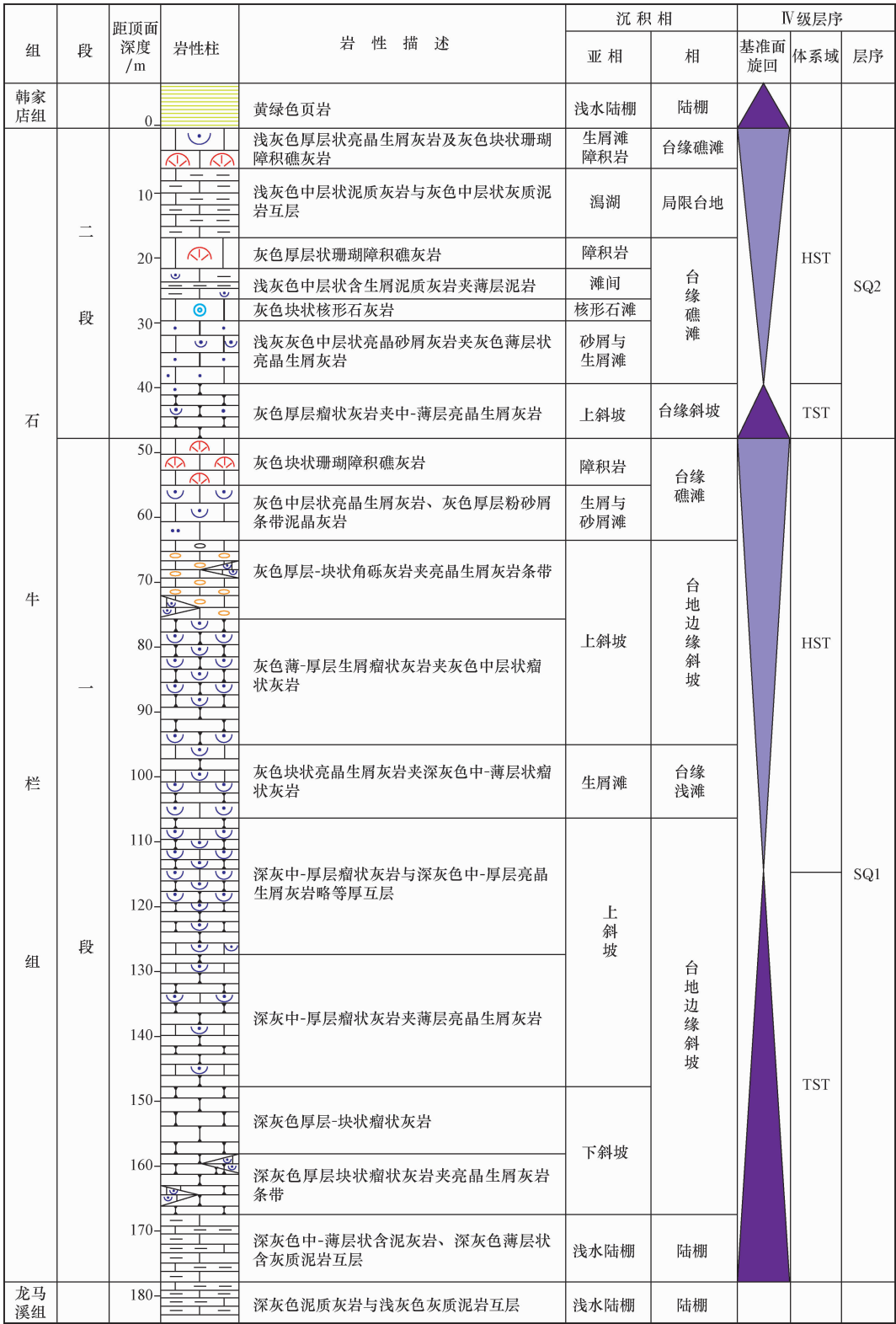


图 6 习水羊久剖面石牛栏组沉积与层序地层柱状图

Fig. 6 Deposition and sequence stratigraphic column of the Shiniulan Formation in Yangjiu, Xishui area

从宏观上看, SQ1 沉积期, 沉积底形坡度相对较陡(经估算台地边缘斜坡坡度约 0.14°, 而台地边缘浅滩至滨岸带坡度约 0.06°), 导致南北沉积水体深度差异较大, 有效可容纳空间差异也较大, 而且导致该四级层序南北厚度差异相当显著。在该时期, 台地边缘生物礁整体上不太发育, 但台地边缘浅滩相

展布范围较广。

到 SQ2 沉积期, 因为早期填平补齐的影响, 沉积底形坡度变得更平缓(经估算坡度约 0.02°), 使得南北沉积水深差异较小, 导致该四级层序南北厚度差异较小。该时期生物礁相对较发育, 但规模较小, 且横向上多不连续。

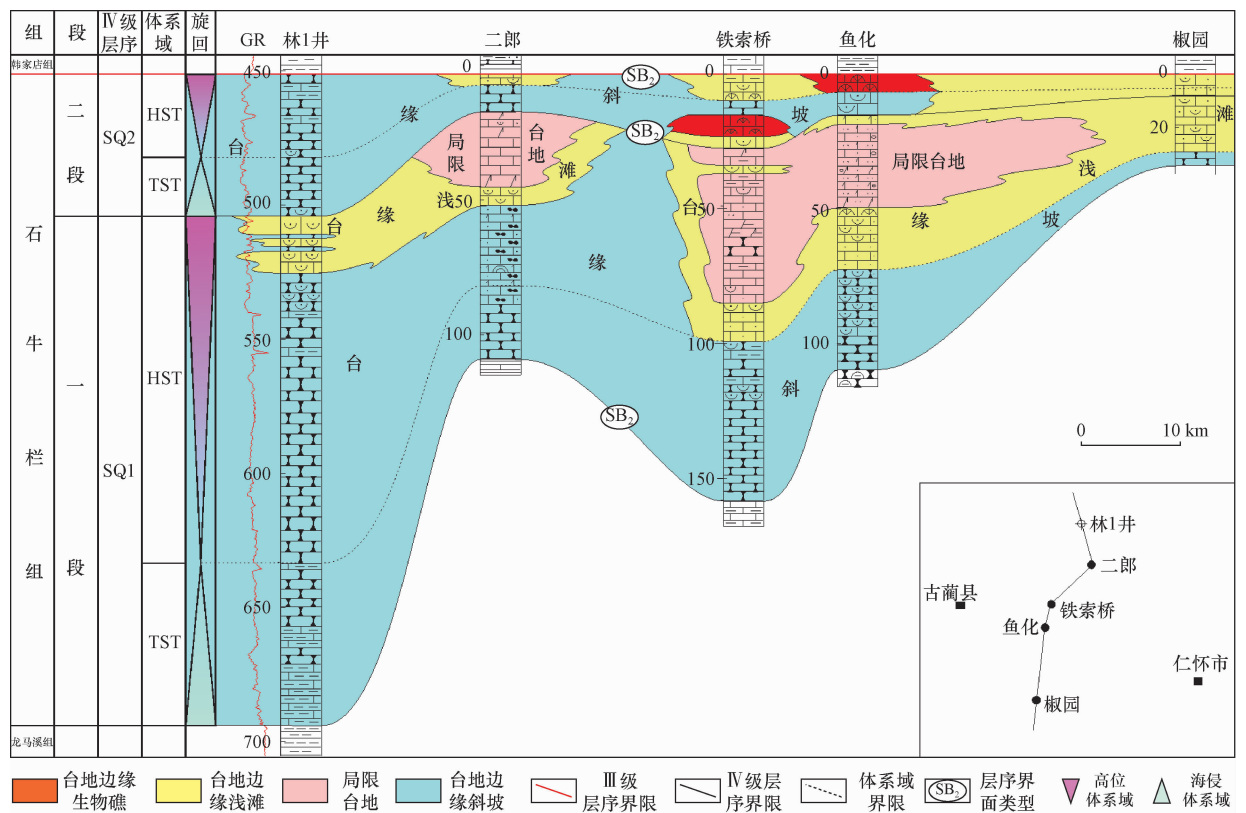


图7 林1井—二郎—铁索桥—鱼化—椒园剖面石牛栏组沉积与层序地层格架

Fig. 7 Deposition and sequence stratigraphic framework of the Shiniulan Formation crossing Well Lin 1 – Erlang – Tiesuoqiao – Yuhua – Jiaoyuan profile

2.2.2 狮子滩—水落坡—小水—鱼化—马岩滩—盐井—观音桥—小河坝剖面

该剖面大致呈东—西向。总体上表现为SQ1厚，SQ2薄，东西两端厚，中间薄的特征(图8)。

西部的狮子滩及东部的小河坝以碎屑岩沉积为主，而之间的区域则主要为海相碳酸盐岩沉积。水落坡至盐井区域大致表现为一种向东、西两侧水体加深的沉积格局，从而呈现为孤立的碳酸盐岩沉积环境。

东边小河坝除底部有一套瘤状灰岩沉积以外，与西边狮子滩一样由下而上均表现为持续性的碎屑岩沉积，以粉砂岩、泥质粉砂岩及粉砂质泥岩为主。但是，西边狮子滩的沉积厚度远大于邻近区域，且间夹少量风暴成因的生屑灰岩。

此外，生物礁仅在高位体系域中有少量小规模局部发育，其纵向厚度与横向展布范围都较小。

2.3 沉积相平面展布

以四级层序为编图单元，针对石牛栏组分别编制了早期及晚期岩相古地理图(图9，图10)。从图中可以看出，研究区内石牛栏早、晚期，其沉积格局具有很大的继承性。晚期与早期的明显差别在于：台地边缘生物礁晚期比早期相对更为发育，但规模均较小，且呈串珠状。

研究区内，荣县—威远以西为川中古陆，彝良县—遵义一带则为黔中古陆。南川区域主要为碎屑岩构成的小河坝组，为三角洲相沉积。筠连区域为滨岸相碎屑岩沉积区，内部夹碳酸盐岩。兴文县—桐梓县一带为碳酸盐岩沉积区域。观音桥—小河坝一带为碎屑岩与碳酸盐岩混积区。屏山县—重庆一带大范围内则为陆棚相沉积区。总体上，兴文县—桐梓县一带呈现为一个较为孤立的碳酸盐岩沉积区，其东、西两侧被碎屑岩沉积所限制。从沉积特征推断，在较纯的碳酸盐岩沉积区应当没有来自于黔中古陆的河流入海。

2.3.1 滨岸相

主要分布于黔中古陆西端北缘，即筠连县、珙县及盐津县等地。岩性为灰白色、灰色泥质粉砂岩、粉砂岩、砂岩、生屑灰岩、粉砂质页岩。沉积构造丰富，发育平行层理、波状层理、羽状交错层理、透镜状层理及波痕等。见笛管珊瑚、蜂巢珊瑚、单体珊瑚、台鲜虫等化石。

2.3.2 局限台地相

分布于威信县、古蔺县、桐梓县及绥阳县以南、黔中古陆以北等地，相带近东西向展布。主要为碳酸盐沉积，岩性有灰色中厚层瘤状亮晶生屑灰岩、瘤状灰岩、绿灰色泥晶白云岩、灰色薄层泥晶灰岩夹少量灰、黄绿色(泥)页岩。发育丰富的沉积构造，如沙纹层

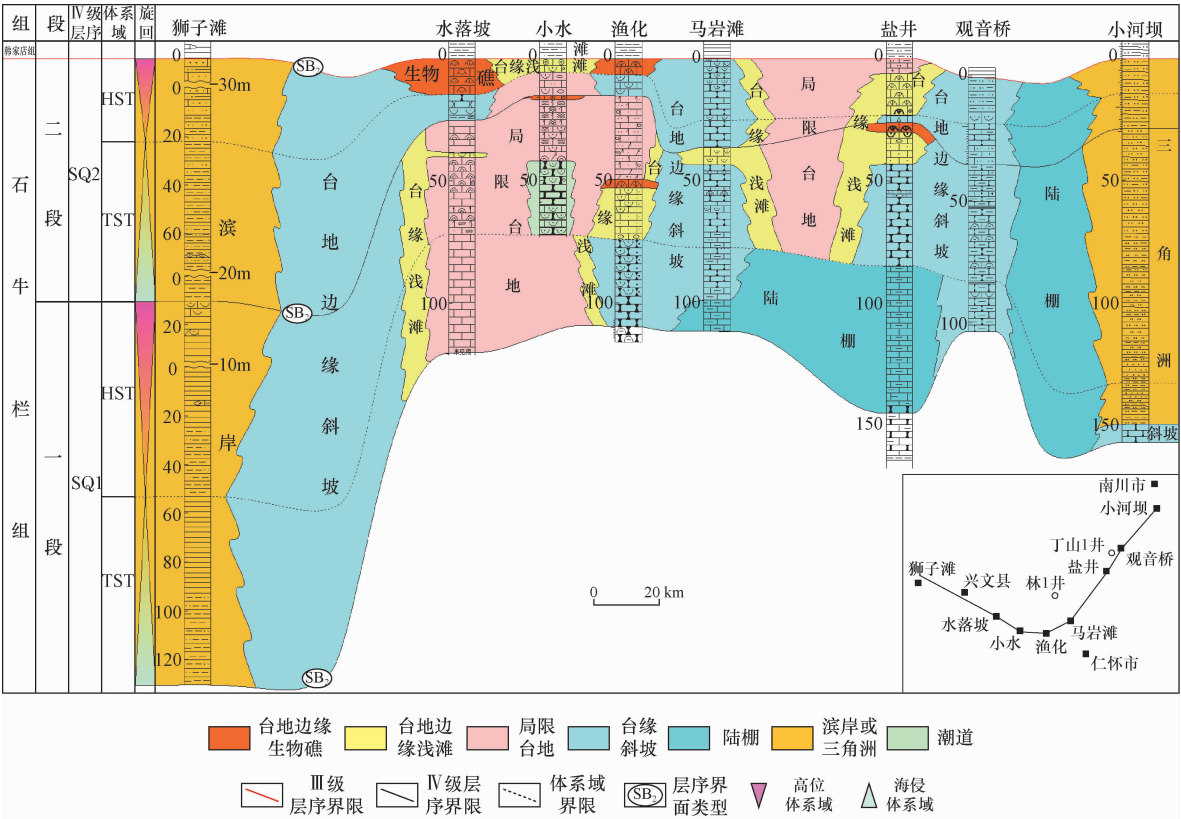


图 8 狮子滩—水落坡—小水—鱼化—马岩滩—盐井—观音桥—小河坝剖面石牛栏组沉积与层序地层格架
Fig. 8 Deposition and sequence stratigraphic framework of the Shiniulan Formation crossing Shizitan - Shuילוopo - Xiaoshui - Yuhua - Mayantan - Yanjing - Guanyinqiao - Xiaoheba profile

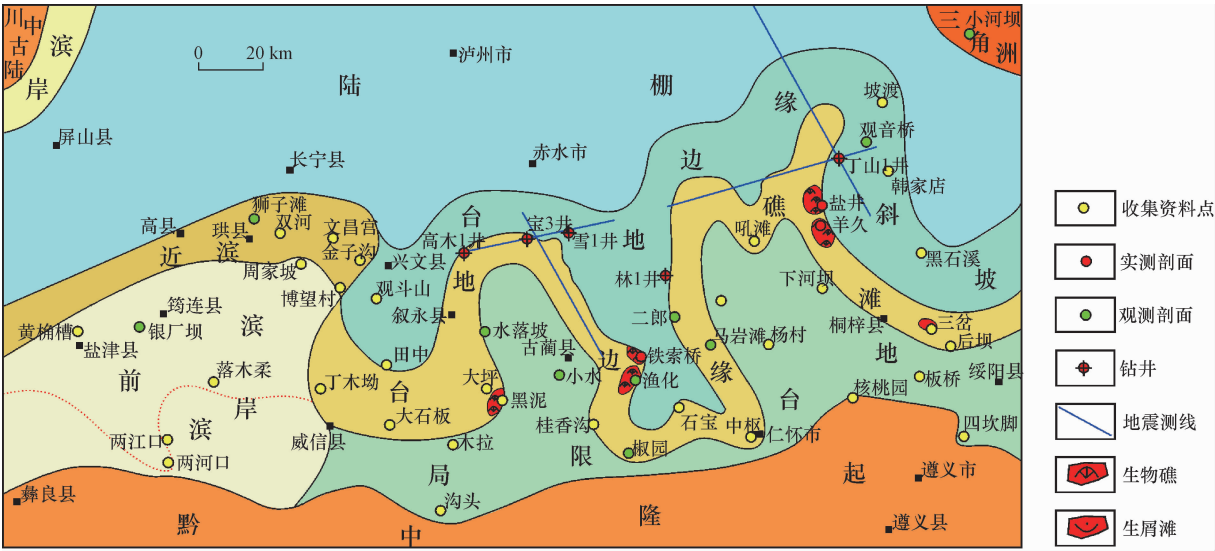


图 9 川东南—黔北地区石牛栏组早期沉积相平面分布

Fig. 9 Plane view of sedimentary facies of the Early Shiniulan Formation in southeastern Sichuan-northern Guizhou province

理、波状层理、透镜状层理、脉状层理等,产丰富的腕足化石及珊瑚、苔藓虫及海百合茎等生物碎屑。

2.3.3 台地边缘礁滩相

呈弯曲的条带状展布。分布于威信县、叙永县、椒园、二郎、桐梓县等地。由浅滩相颗粒灰岩与生物礁相礁灰岩混合组成。岩性有核形石灰岩、障积礁灰岩、骨架礁灰岩、亮晶生屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、少量砾屑灰

岩等。其中,骨架礁体厚可达 10 余米,为圆丘状点礁。生屑灰岩及砂屑灰岩中发育交错层理。造礁生物有枝状珊瑚、链状珊瑚、蜂巢珊瑚、苔藓虫、层孔虫、海绵等,但以珊瑚为主。

2.3.4 台地边缘斜坡相

分布于台地边缘礁滩北侧的兴文县、雪 1 井、观音桥、韩家店、黑石溪等地。岩性为灰、深灰色薄—厚层

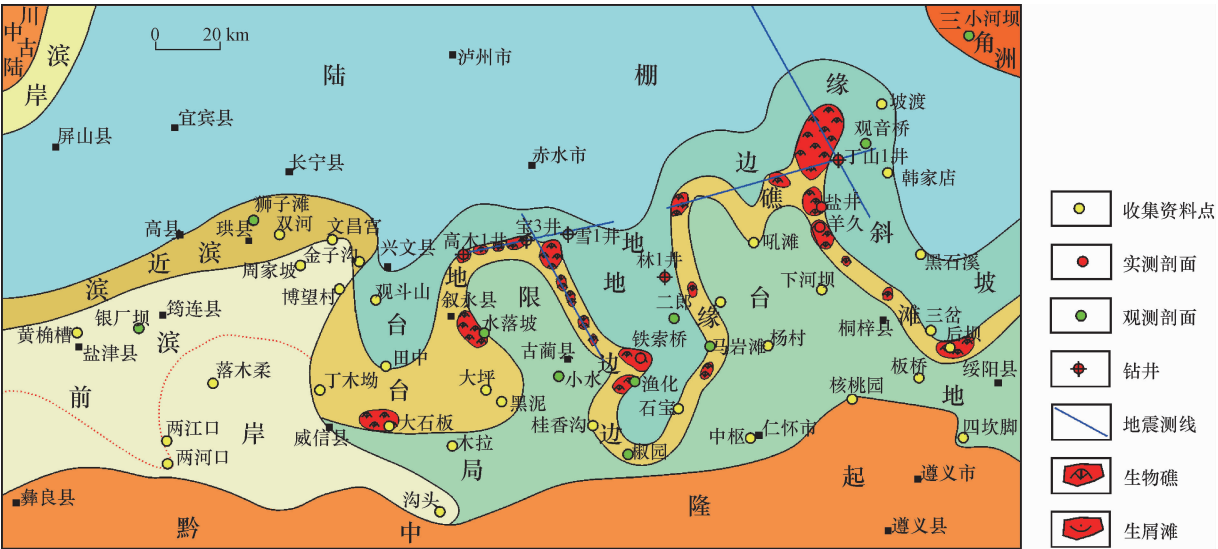


图 10 川东南-黔北地区石牛栏组晚期沉积相平面分布

Fig. 10 Plane view of ssedimentary facies of the Late Shiniulan Formaiton in southeastern Sichuan-northern Guizhou province

瘤状灰岩、瘤状亮晶生屑灰岩、薄层灰岩及少量砾屑灰岩等。发育有包卷层理等。岩石中见较多的生物碎屑。石牛栏组沉积期因为坡度平缓,涨潮与落潮时所波及的范围较广,因此,上斜坡中的生屑瘤状灰岩更具钙屑浊积的特征。

2.3.5 陆棚相

分布于屏山县、水富县、江安县、合江县、綦江县、内江、自贡等地区。岩性有灰-深灰色薄层泥晶灰岩及含灰泥岩互层,灰、灰绿色页岩及粉砂质页岩,夹灰色中薄层泥质灰岩及生屑灰岩。发育水平层理及少量小型沙纹层理,见笔石化石及腕足、珊瑚等生物碎屑。

2.3.6 三角洲相

分布于南川市以东三泉、小河坝等地区。岩性为灰色薄-中层状泥质粉砂岩、灰色中厚层粉砂质泥岩、浅灰色薄-中层石英粉砂岩等。发育水平层理、透镜状层理、潮汐层理及波痕等沉积构造,见较多遗迹化石。据侯明才等研究表明,该三角洲相物源来自于东边的雪峰隆起^[21]。笔者经研究认为该区三角洲应当属于河流能量低、物源不充沛、沉积速率较低的低建设性浅水三角洲,其依据有以下几个方面:①沉积底形坡度很平缓,估算为0.03°~0.17°之间,近源端与远源端地层厚度差异较小;②变形沉积构造、交错层理等很少见,潮汐层理、波痕及遗迹化石较发育;③小河坝组沉积厚度与碳酸盐岩沉积区的石牛栏组厚度大致相当,这说明三角洲的沉积速率低,且与碳酸盐岩沉积速率大致接近;④泥/砂比较高,而且泥、砂沉积分异度较低;⑤砂粒细,以粉砂为主。

2.4 沉积演化

在早志留世,四川盆地大部地区为深水陆棚沉积环境,沉积了龙马溪组下部黑色炭质泥页岩。之后,随着龙马溪组的沉积充填以及广西运动的影响,区内相对海平面下降,致使深水陆棚区沉积水体变浅,并逐渐演变为石牛栏早期浅水陆棚相、台地边缘斜坡相及石牛栏晚期台地边缘浅滩相及局限台地相。到石牛栏末期,相对海平面下降到最低点,但随后又突然加深,并进入韩家店组沉积阶段。

总体上,石牛栏组沉积期,研究区内没有明显的坡折带,表现为一种台缘缓坡模式(图 11),自南向北依次发育为局限台地、台地边缘礁滩、台地边缘斜坡到陆棚沉积。缓坡之依据有:①从地震资料上所揭示的结构特征来看,该时期沉积底形没有明显的坡折;②经过粗略估算,其坡度很小,大约小于0.15°;③从斜坡相所沉积的瘤状灰岩特征来看,其中的瘤体多为生屑灰岩,而且瘤体长、短轴均较小,多数呈现为长轴/短轴比值特别高的长条状或豆荚状;④万云等 1995 年所发表的研究成果从古生物组合及沉积构造特征也证实为缓坡模式^[22]。

这种台缘缓坡模式产生两个方面的影响:首先,洋流沿长缓坡向陆涌动的过程中,在未到达适合生物礁生长的水深时,其能量已经变得相当微弱,导致水深与光照均适合生物礁生长的区域中因水体交换不充分,营养物缺乏,所以生物礁难以大规模发育;其次,因坡度平缓,导致生物礁生长区域受相对海平面频繁变化的影响比较敏感,从而无法为生物礁的生长提供持续稳定的生长环境与条件。此外,较多露头上生物礁被泥质呛死的证据也揭示了陆源泥质对生物礁生长发育

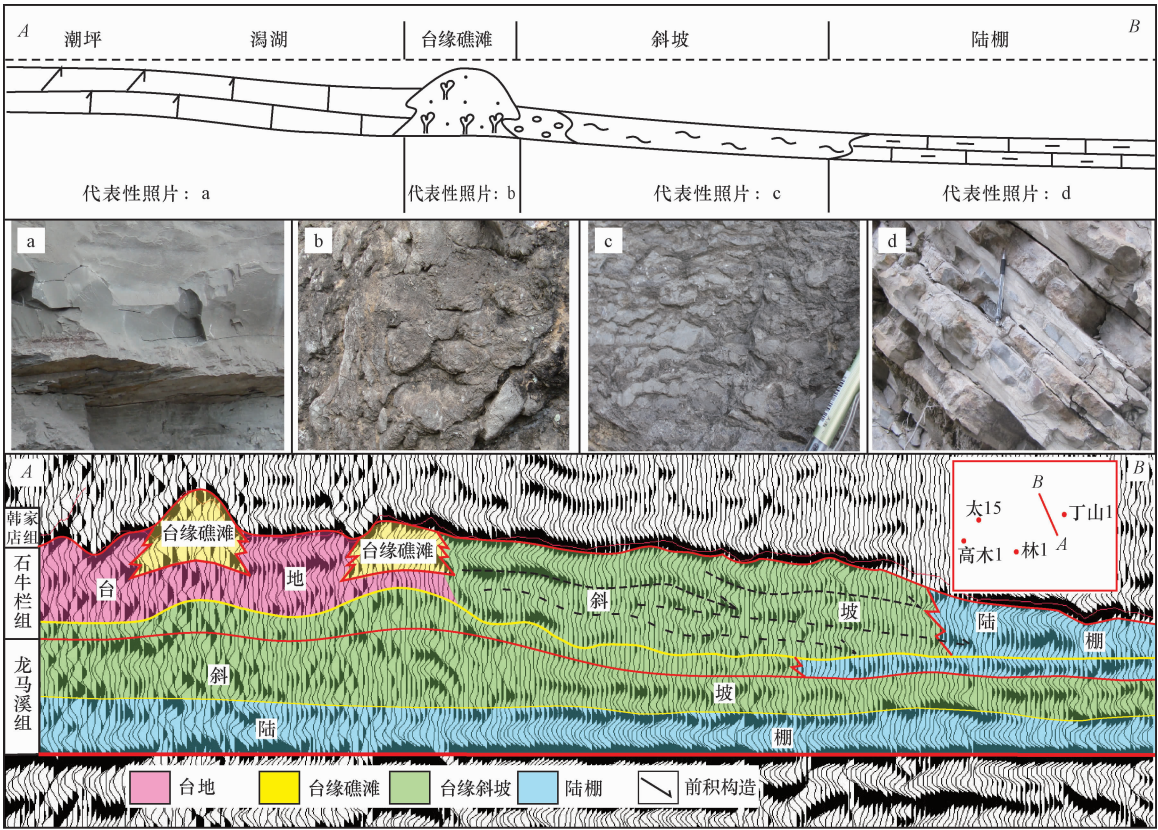


图 11 川东南 - 黔北志留系石牛栏组缓坡沉积模式

Fig. 11 Gentle slope depositional model of the Shiniulan Formation in southeastern Sichuan-northern Guizhou province

a. 二郎镇石牛栏组中的泥晶白云岩; b. 铁索桥石牛栏组中的珊瑚礁灰岩; c. 盐井石牛栏组中的瘤状灰岩; d. 铁索桥石牛栏组中的泥质灰岩

的抑制性影响。所有这些因素的综合,决定了研究区内石牛栏组中的生物礁滩规模均较小,建隆特征不明显,隆起幅度较低。

3 结论与讨论

1) 从早志留世到晚志留世,从纵向上的沉积演化来看,川东南 - 黔北地区总体上表现为两个沉积水体由深变浅的旋回,且总体上由两个旋回又构成一个更大一级的由深变浅的旋回。

2) 石牛栏组上部总体上发育有两至三期台地边缘生物礁。第一期数量少,第二、第三期生物礁数量增多,且基本上都分布于四级层序高位体系域中。石牛栏组上部层序中的生物礁多因受陆源泥质影响而呛死。

3) 石牛栏组沉积期表现为缓坡模式,因为没有明显坡折,加上受陆源碎屑的干扰,生物礁发育规模普遍很小,多呈点状或串珠状分布。

4) 研究区内石牛栏组白云岩化作用总体上很弱,推测该时期海水盐度较低,并主要由两个原因所致:一是来自南边黔中隆起及东边雪峰隆起的淡水河流注入导致研究区内海水盐度较低;二是台地边缘礁滩隆起幅度较低,无法形成相对局限的高盐度环境。

5) 南川一带的小河坝组应当属于低河流能量、欠充沛物源所形成的低建设性浅水三角洲,且其陆源碎屑多以悬浮搬运为主。

参 考 文 献

[1] 王津义,涂伟,曾华盛,等. 黔西北地区天然气成藏地质特征[J]. 石油实验地质,2008,30(5):445-450.
Wang Jinyi, Tu Wei, Zeng Huasheng, et al. Geologic characteristics of natural gas accumulations in the northwest of Guizhou[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(5): 445-450.

[2] 聂海宽,张金川,包书景,等. 四川盆地及其周缘上奥陶统 - 下志留统页岩气聚集条件[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3):335-345.
Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Bao Shujing, et al. Shale gas accumulation conditions of the Upper Ordovician-Lower Silurian in Sichuan Basin and its periphery[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 335-345.

[3] 肖开华. 中国南方志留系油气地质特征与勘探方向[J]. 天然气工业,2009,29(11):1-4.
Xiao Kaihua. Geological features and exploration direction of the Silurian hydrocarbon reservoirs in Southern China[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(11): 1-4.

[4] 宋文海. 川东南下志留统小河坝砂岩含气地质条件论述——一个未来的勘探区块[J]. 天然气勘探与开发,1998,21(2):1-5.
Song Wenhai. Discussion on the geological conditions of gas in of the sandstone in Silurian Xiaohaba formation in Southeastern Sichuan

- Province—a future exploration blocks[J]. Natural Gas Exploration & Development, 1998, 21(2): 1–5 (in Chinese).
- [5] 李双建, 周雁, 肖开华, 等. 四川盆地东南缘水吼滩志留系古油世藏特征[J]. 石油学报, 2009, 30(6): 849–856.
- Li Shuangjian, Zhou Yan, Xiao Kaihua, et al. Characteristics of Silurian destroyed oil reservoir in Houtan section of Xishui area in southeastern margin of Sichuan Basin[J]. Acta Petrolci Sinica, 2009, 30(6): 849–856.
- [6] 朱志军, 陈洪德, 林良彪, 等. 黔北—川东南志留系层序格架下的沉积体系演化特征及有利区带预测[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 243–252.
- Zhu Zhiyun, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Depositional system evolution characteristics in the framework of sequences of silurian and prediction of favorable zones in the Northern Guizhou-Southeastern Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(2): 243–252.
- [7] 许国明, 王国司, 石国山. 黔中隆起及其南北斜坡区天然气勘探前景[J]. 贵州地质, 2008, 25(2): 27–31.
- Xu Guoming, Wang Guosi, Shi Guoshan. The natural gas exploration prospecting in Qianzhong protrusion and its south and north slope area [J]. Guizhou Geology, 2008, 25(2): 27–31.
- [8] 陈洪德, 庞林, 倪新锋, 等. 中上扬子地区海相油气勘探前景[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1): 13–18.
- Chen Hongde, Pang Lin, Ni Xinfeng, et al. New brief remarks on hydrocarbon prospecting of marine strata in the Middle and Upper Yangtze Region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1): 13–18.
- [9] 杨晓萍, 张宝民, 柳少波. 四川盆地南部志留系碳酸盐灰泥丘成因与储集性[J]. 海相油气地质, 2002, 7(4): 26–32.
- Yang Xiaoping, Zhang Baomin, Liu Shaobo. Origin and reservoir property of Silurian carbonate mud mound in Southern Sichuan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2002, 7(4): 26–32.
- [10] 文玲, 胡书毅, 田海芹. 扬子地区志留纪岩相古地理与石油地质条件研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(6): 11–15.
- Wen Ling, Hu Shuyi, Tian Haiqin. Lithofacies paleogeography and petroleum geology of the Silurian in Yangtze area [J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(6): 11–15.
- [11] 马文辛, 刘树根, 黄文明, 等. 四川盆地东南缘志留系古油藏特征及其油气勘探意义[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(3): 432–441.
- Ma Wenxin, Liu Shugen, Huang Wenming, et al. Characteristics of Silurian Paleo-oil reservoirs and their significance for petroleum exploration on the southeast margin of Sichuan Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 432–441.
- [12] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社, 1985.
- Wang Hongzhen. Atlas of palaeogeography of China [M]. Beijing: Map Publishing House, 1985.
- [13] 刘宝珺. 中国南方岩相古地理图集[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- Liu Baojun. Atlas of lithofacies and paleogeography in South of China [M]. Beijing: Science Press, 1994.
- [14] 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. Sequence stratigraphy and Paleogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [15] 马东洲, 陈鸿德, 朱利东, 等. 川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2006, 33(3): 228–233.
- Ma Dongzhou, Chen Hongde, Zhu Lidong, et al. Depositional system and lithofacies and paleogeography of the Silurian Shiniulan Formation in the southern Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of technology (Science & Technology Edition), 2006, 33(3): 228–232 (in Chinese with English abstract).
- [16] 郭英海, 李壮福, 李大华, 等. 四川地区早志留世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 21–29.
- Guo Yinghai, Li Zhuangfu, Li Dahua, et al. Lithofacies palaeogeography of the early Silurian in Sichuan area [J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(1): 21–29 (in Chinese with English abstract).
- [17] 刘若冰, 田景春, 黄勇, 等. 川东南震旦系灯影组白云岩与志留系石牛栏组灰岩储层特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(3): 245–251.
- Liu Ruobing, Tian Jingchun, Huang Yong, et al. Characteristics of the carbonate rock reservoir of the Upper Sinian Dengying Formation and the Lower Silurian Shiniulan Formation in the southeast of Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2007, 34(3): 245–251.
- [18] 许效松, 汪正江. 对中国海相盆地油气资源战略选区的思考[J]. 海相油气地质, 2003, 8(1/2): 1–9.
- Xu Xiaosong, Wang Zhengjiang. Thought clew to search after strategic prospecting precincts of oil and gas resources in marine facies basins in China [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2003, 8(1/2): 1–9.
- [19] 侯明才, 陈鸿德, 陈安清. 江南—雪峰隆起对川东南—黔南凹陷石牛栏期沉积古地理的制约[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37(4): 395–400.
- Hou Mingcai, Chen Hongde, Chen Anqing. Constraints of the Jiangnan-Xuefeng upheaval to the depositional system and paleogeography distribution of Southeast Sichuan-South Guizhou depression during Shiniulan period [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37(4): 395–400.
- [20] 张林, 魏国齐, 郭英海, 等. 四川盆地志留系层序地层及有利储集层分布[J]. 天然气工业, 2005, 25(5): 6–8.
- Zhang Lin, Wei Guoqi, Guo Yinghai, et al. Favorable reservoir distribution in Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(5): 6–8 (in Chinese with English abstract).
- [21] 刘伟, 许效松, 余谦, 等. 中上扬子晚奥陶世赫南特期岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39(1): 32–37.
- Liu Wei, Xu Xiaosong, Yu Qian, et al. Lithofacies palaeogeography of the Late Ordovician Hirnantian in the middle-upper Yangtze region of China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2012, 39(1): 32–37.
- [22] 万云, 张廷山. 川东南—黔北地区志留纪生物礁与古环境演化[J]. 沉积学报, 1997, 15(4): 106–113.
- Wan Yun, Zhang Tingshan. The Silurian reef and its environmental evolution in the southeastern Sichuan Province and northern Guizhou Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 106–113.