

# 观音桥段地质特征及其对页岩气产量的影响

## ——以南川地区为例

李佳欣

(中国石化华东油气分公司南川页岩气项目部,重庆 408400)

**摘要:**渝东南地区观音桥段为一套赫南特期形成的介壳相泥质灰岩地层,海平面和古地貌控制是影响地层分布的主要因素。其上覆、下伏层均为深水沉积的黑色页岩,岩相上的改变表明沉积环境发生了一定的变化,且在平面上部分地区观音桥段发生缺失。通过对南川地区的观音桥段特征进行分析,结合该地区页岩气井各项静态评价指标及单井产能,研究南川地区的页岩气井产能与观音桥段的存在是否具有一定联系,而影响页岩气产量,其结论对渝东南地区页岩气选区提供地质依据,并对开发政策制定具有一定的指导意义。

**关键词:**南川;观音桥段;页岩气;选区

中图分类号:TE122 文献标识码:A

### Geological features of Guanyinqiao member and its influence on the shale gas production: A case study of Nanchuan district

Li Jiaxin

(Nanchuan Shale Gas Project Department, East China Oil and Gas Company, SINOPEC, Chongqing 408400, China)

**Abstract:** The guanyinqiao member in Southeast of Chongqing is a suit of argillaceous limestone formation formed in the Nantes period. The sea level and the control of ancient landform are the main factors affecting the strata. The strata overlying and underlying layer are both black shale formed in deep-water sedimentary environment. On the plane, Guanyinqiao member is distributed uniformly and missing in some parts. By analyzing the characteristics of Guanyinqiao member in Nanchuan area, and combined with the static evaluation indexes and single well productivity of the shale gas wells in this area, we analyzed that whether there was the relationship between the productivity of shale gas well and the existence of the member, thus affecting the shale gas production. The conclusion has geological guidance to the selected areas of shale gas in the Southeast of Chongqing, and great guiding significance on exploration strategy of shale gas.

**Key words:** Nanchuan district, Guanyinqiao member, shale gas, selected area

四川盆地上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩是中国页岩气勘探开发的重要储层,在五峰组顶部页岩气层段中发育了一套赫南特期形成的区域分布介壳相泥质灰岩地层——观音桥。观音桥地层在南川地区平面上的展布并不连续。观音桥段地层厚度呈现盆地中心较厚,盆地外缘较薄的规律,在部分地区则表现为地层缺失。观音桥段的存在与否,对于判断五峰组和龙马溪组是否为连续的深水沉积,以及是否有良好储集层的分布,是否属于优质的

页岩区域判定有着十分重要的意义<sup>[1-3]</sup>。

通过对南川地区区域内部分井取心资料进行分析,结合页岩气单井产能进行对比,发现五峰—龙马溪组优质页岩储层产能与之存在一定的关系,为该地区页岩气有利选区提供地质依据。

## 1 区域地质背景

渝东南南川页岩气田属于上扬子地块扬子准地

收稿日期:2018-03-19。

作者简介:李佳欣(1993—),男,助理工程师,地质勘探开发研究。

台的中部地区,北与松潘地块和秦岭—大别山造山带相接,南与湘黔贵地块和江南—雪峰隆起相切,西相连于三江造山带,该地区上震旦统到中三叠统主要沉积一套海相碳酸盐岩,其总厚度可达到6 000~10 000 m(图1)。

研究区域发育地层为震旦纪至侏罗纪,除缺失晚志留世到早石炭世部分地层之外,其它各时代地层均发育齐全。该地区先后经历了加里东、海西—印支、燕山与喜山等相对稳定的沉降阶段,最终形成了多旋回沉积体系。其中石炭纪—中三叠世属于扬子—华南陆表海扬子海盆,发育浅海盆地、台地及台地边缘相带沉积,其主要岩性为浅海碳酸盐岩、膏盐岩及碎屑岩共同组成,沉积厚度为2 000~4 000 m;晚三叠世—侏罗纪为河湖—沼泽相沉积,砂泥岩及煤系地层为该地主要岩性,厚2 000~3 500 m,该区域是海相组合含油气系统的区域盖层<sup>[4]</sup>。

奥陶纪与志留纪交替之际,全球发生大面积冰盖形成与消融事件,海平面发生了剧烈的升降,在中国扬子地区形成了深海沉积环境,有利于黑色页岩的发育。通过全球大面积的冰盖形成与快速消融导致四川盆地及周边地区海平面发生剧烈变化,从而显著影响了黑色优质页岩的沉积及分布,即:该地区在五峰组沉积的早期,气候温暖,海平面处于高位状

态,在整个研究区形成了有利于有机质沉积保存的深海陆盆环境;在五峰组沉积的中晚期,即赫南特早中期,由于全球冰盖大范围形成的影响,海平面快速下降,海水温度降低,使得该地区沉积时间较短、厚度较薄,且沉积主要为介壳灰岩,其中存在少量的赫南特贝;后期由于全球气候变暖冰盖消融,研究区再次出现大面积深水陆棚沉积环境。可见,该地区在奥陶纪与志留纪交替期间海平面出现了深—浅—深的旋回变化<sup>[5]</sup>。

从剖面我们可以看到,在基底断滑面及下寒武统、志留系的区域性滑脱层的控制下。由于受控的挤压应力为不同期次,并且在挤压应力方向发生了扭转,部分构造表现为左行排列<sup>[6]</sup>。

## 2 观音桥段特征

### 2.1 岩性地层特征

四川盆地五峰组整体来说比较薄,厚度一般不超过10 m(图2)。而观音桥段位于五峰组的顶部,其厚度一般不超过1.5 m,仅在黔北局部地区达2 m以上<sup>[7-16]</sup>。通过对南川地区部分井岩心进行研究对比发现,观音桥段在分布上有明显差异,发育厚度也不

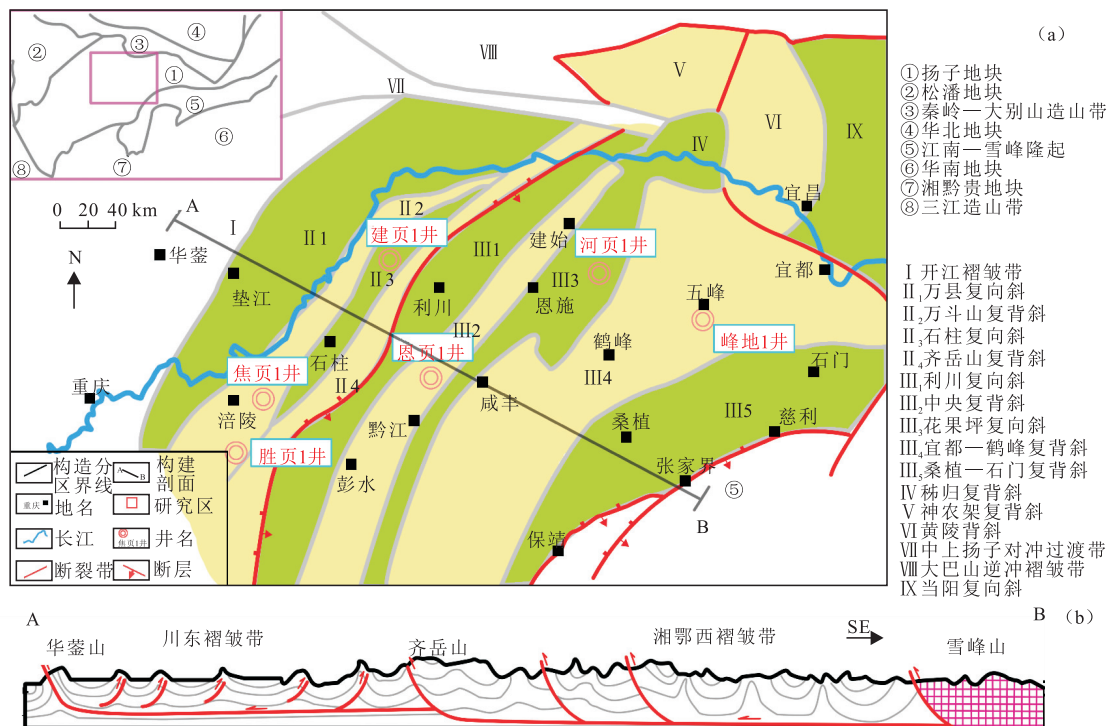


图1 中扬子地区西部构造单元区划略

Fig. 1 Unit division outline of western structural in mid Yangtze area

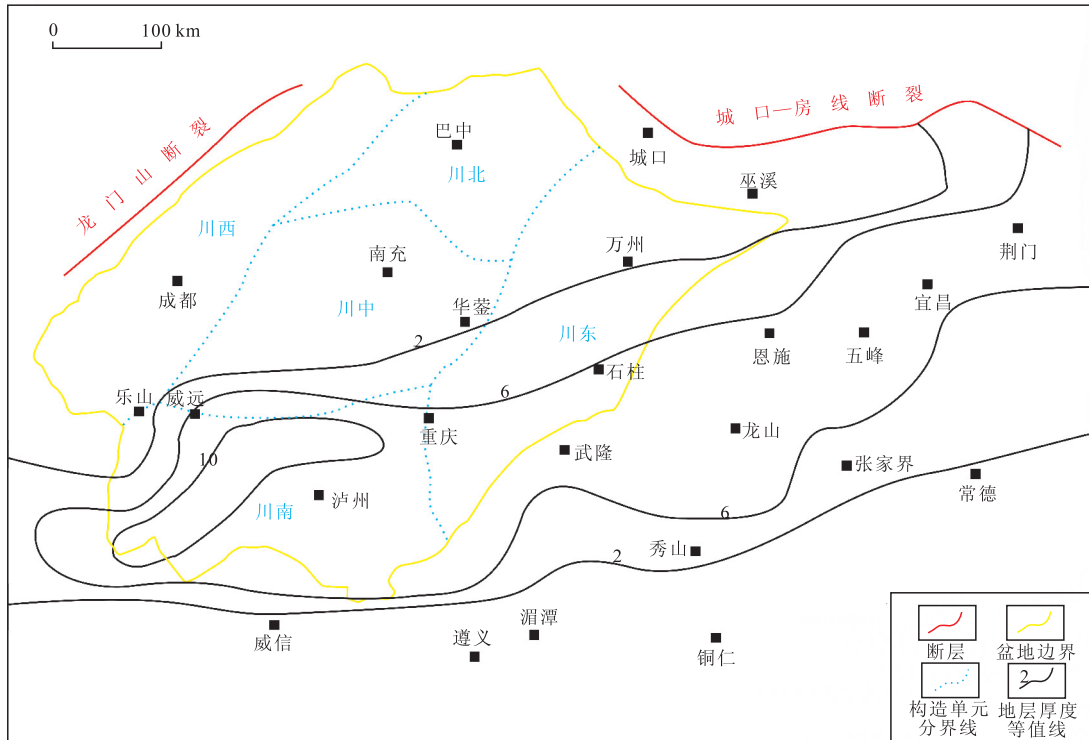


图2 四川盆地上奥陶统五峰组地层分布

Fig. 2 Distribution of Wufeng formation of Upper Ordovician in Sichuan basin

尽相同,主体岩性为泥灰岩。

通过对南川地区东胜背斜露头及探井岩心进行分析发现,该区域观音桥段主体为灰质泥岩,厚度约为0.4 m,与上覆龙马溪组为整合接触,可见明显的方解石脉充填,化石含量相对较少(图3)。在对南川地区平桥背斜钻探井取心时发现,该区域观音桥段出现缺失,龙马溪组与五峰组为连续的深水沉积。

通过钻探证实,观音桥段在四川盆地外泥灰岩相区表现出中低自然伽马和高电阻率响应的特征,自然伽马值一般在100 API左右,而电阻率值一般在 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 以上。可见我们在对自然伽马和电阻率等测井数据进行判断后就可以有效的对观音桥段进行识别并划分其岩相组合。



图3 观音桥段露头及岩心图片

Fig. 3 Outcrop and core of Guanyinqiao member

以川东南构造带东胜背斜上的胜页1井为例,观音桥段主体岩性为灰质泥岩,厚度为0.48 m,块状层理,滴盐酸微弱起泡;同时发育两条高角度裂缝,缝宽0.1~1 cm,延伸长度0.5 m,总体上裂缝相对较发育,高角度裂缝的发育有利于页岩气储集和渗流。成像测井表明高阻缝发育,以中—高角度高阻缝为主,优势走向明显,为北东东—南西西向,与其相近的龙济桥断层走向接近,推测高阻缝的发育可能受其控制;生物化石含量较少,未见典型介壳类化石,即赫南特贝;岩心实验结果显示,石英含量为18.4%,黏土含量为18.9%,脆性矿物含量低,可压性较差;TOC值仅为1.5%~1.7%,相对于上下围岩相对较低,不具有好的物质基础,自然伽马值在观音桥段具有低幅度值的负尖峰响应,自然伽马值也较低,与上下围岩反差较大。

## 2.2 观音桥段沉积背景

观音桥段形成于赫南特期全球海平面较低的一段时间,受到了海平面变化和古地理环境的影响较大,其沉积特征在四川盆地及周边地区表现为沉积范围大但横向岩相变化大。

在赫南特期中晚期,五峰组初期沉积的古地理格局依旧在四川盆地及其周围地区保持着,早已上升为古陆的黔中隆起,江南雪峰造山带也初步形成<sup>[17-19]</sup>,湘鄂西地区也在水下形成了高地势地区,较为平坦的深拗陷依旧是川南—川东北的主体地势。随着海平面发生了大幅度的下降,大面积的浅水区和局部出露区在原有的拗陷斜坡带上快速形成。

拗陷斜坡区的中上部以及顶部主体为浅水岩相和缺失区。南川地区川东南构造带发育浅水泥灰岩相,我们发现川东南地区观音桥段厚度差异较大,表明当时斜坡背景上凹凸不平的古地理特征;平桥区块观音桥段发生缺失,可以大体推测平桥背斜主要存在于斜坡区的顶部。该地区古水体较浅,有机物的沉积难以得到保存;另外各岛屿分布区,五峰组已经出露地表,整段出露和顶部剥蚀现象发生较为普遍<sup>[20]</sup>。

### 3 观音桥与页岩气产量关系及意义

通过对南川地区不同构造位置的井进行对比,我们发现观音桥段的存在与否对于页岩气产量有着一定的影响。

#### 3.1 胜页1井静态评价指标

1) 页岩地化指标较好,具有较好的物质基础。胜页1井钻遇五峰—龙马溪组351.2 m,其中①—⑤小层优质页岩段厚30 m,TOC为1.6%~7.1%,平均3.1%,①—④小层为页岩气勘探甜点段,TOC为1.6%~7.1%,平均为3.6%。

2) 储层物性好。孔隙以有机孔为主,孔径较大。①—⑤小层有机孔发育,孔径50~200 nm,连通性好。①—⑤小层孔隙度平均2.2%,①—④小层孔隙度平均2.5%,渗透率为 $(159 \sim 355) \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ ,平均 $256 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ 。岩心观察发现,胜页1井总体裂缝相对较发育,高角度缝主要发育在五峰组,有利于页岩气储集和渗流。成像测井表明高阻缝发育,以中—高角度高阻缝为主,优势走向明显,为北东东—南西西向,与其相近的龙济桥断层走向接近,推测高阻缝的发育可能受其控制。

3) 页岩含气性较好。本井①—⑤小层气测曲线饱和,全烃平均3%,甲烷最高4%;岩心气泡显示活跃,溢出速度快,能量强;①—⑤小层解吸气含量0.6~2.3 m<sup>3</sup>/t,平均1.2 m<sup>3</sup>/t;损失气含量0.7~4.6 m<sup>3</sup>/t,

平均2.0 m<sup>3</sup>/t,总含气量1.3~6.9 m<sup>3</sup>/t,平均3.2 m<sup>3</sup>/t,表明东胜背斜具有良好的含气性。

4) 五峰—龙马溪组页岩具有良好的可压性。胜页1井龙一段①—⑤小层石英含量平均44.7%,黏土34.9%,长石7.6%,碳酸盐岩8.1%,黄铁矿4.9%;①—④小层石英含量平均48.1%,黏土32.5%,长石6.2%,碳酸盐岩7.5%,黄铁矿6.0%。脆性指数为0.75。

#### 3.2 平桥南已钻井静态评价指标与胜页1井对比

平桥南区自2016年开工以来,完成钻井27口,其中取心井4口,选取两口取心井进行统计分析,发现其各项静态评价指标与胜页1井存在较好的可比性(表1)。

表1 东胜及平桥地区井静态评价指标数据  
Table 1 Static evaluated index data of well in Dongsheng and Pingqiao area

井号	①—⑤ 厚度/m	平均 TOC,%	平均孔隙 度,%	含气性/ (m <sup>3</sup> ·t <sup>-1</sup> )	脆性矿物 含量,%
胜页1	30	3.1	2.2	3.2	44.7
焦页194-3	34.7	3.2	3.8	3.0	49.3
焦页195-2	33	3.2	3.7	3.1	48.6

#### 3.3 产量影响因素分析

位于川东南构造带东胜背斜上的胜页1井,取心过程中钻遇观音桥段,其地层厚度0.48 m。胜页1井水平段长度1 628 m,设计压裂段23段,通过压裂作业并实行试气作业,进行放喷求产。

位于平桥背斜上的数口井,在取心过程中未钻遇观音桥段。其水平段长度多为1 600 m左右,设计压裂段多为20段左右,对平桥数口井进行压裂作业并实行试气作业,进行放喷求产。

通过对东胜背斜和平桥背斜地层压力进行测试,发现两者均属于高压地层,地层压力系数大于1.2,在各种外部因素都相同的情况下,其压裂后东胜地区井口压力远小于平桥地区,产量也存在巨大差距(表2)。故分析,东胜地区由于拥有介壳层观音桥段,我们在选取压裂层位的时候为了更大化地利用有利的页岩段,水平段一般选取观音桥上部的二、三小层中穿行。在压裂作业时,由于介壳层为灰质泥岩,可压性差,无法将其压穿而利用观音桥下部的五峰组有利页岩段;与之相对应的平桥地区,由于缺

表2 东胜及平桥地区井放喷求产数据  
Table 2 Production by relief of well in Dongsheng and Pingqiao area

井号	油嘴 10 mm		油嘴 12 mm	
	井口压力/MPa	瞬时气量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	井口压力/MPa	瞬时气量/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
胜页 1HF	10.47 ~ 10.61	7.00 ~ 7.05	7.51 ~ 10.47	9.26 ~ 10.52
焦页 194-3HF	22.0 ~ 22.1	22.9 ~ 23.7	20.5 ~ 20.8	30.7 ~ 34.2
焦页 195-2HF	20.7 ~ 21.1	22.6 ~ 23.2	21.1 ~ 23.8	36.6 ~ 42.0
焦页 195-5HF	13.8 ~ 14.2	11.9 ~ 12.1	14.3 ~ 14.8	21.7 ~ 30.6
焦页 197-4HF	22.7 ~ 22.8	22.9 ~ 23.7	21.2 ~ 21.4	29.4 ~ 31.4

失介壳层观音桥段,在压裂作业时,可以充分利用有利的页岩段,使页岩段的改造作用更加显著,故其页岩气产量相比东胜地区更优。

## 4 结论

四川盆地及周边地区五峰组观音桥段为赫南特冰期形成的介壳层,海平面和古地貌控制是影响地层分布的主要因素,与上下围岩接触关系区域变化大,在盆地外部存在整合接触和缺失区。观音桥段存在与否是我们判断区块内五峰组—龙马溪组有效储集层优劣的重要指标之一。在存在观音桥段的地区,由于存在压裂作业的影响,使有利页岩段无法被充分利用,使其页岩气产量无法与观音桥段缺失的地区相比较,其页岩气勘探开发潜力也相对较小,勘探风险相对较大,但如今,水平井技术和压裂技术日益成熟,该地区一定可以得到新的突破。

### 参考文献

- [1] 王玉满,董大忠,李建忠,等.川南下志留统龙马溪组页岩气储层特征[J].石油学报,2012,33(4):551-561.
- [2] 郭彤楼,刘若冰.复杂构造区高演化程度海相页岩气勘探突破的启示:以四川盆地东部盆缘JY1井为例[J].天然气地球科学,2013,24(4):643-651.
- [3] 郭彤楼,张汉荣.四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J].石油勘探与开发,2014,41(1):28-35.
- [4] 陈静.中扬子地区页岩气勘探潜力分析[J].科技创业月刊,2015,28(6):10-11.
- [5] 肖传桃,李建成,郭成贤.中上扬子地区五峰组沉积环境的认识[J].四川地质学报,1996,16(4):294-298.
- [6] 陈玉明,高星星,盛贤才.湘鄂西地区构造演化特征及成因机理分析[J].石油地球物理勘探,2013,12(S1):157-162.
- [7] 王传尚,汪啸风,陈孝红,等.奥陶纪末期层序地层学研究[J].地球科学:中国地质大学学报,2003,28(1):6-10.
- [8] 李双建,肖开华,沃玉进,等.南方海相上奥陶统一志留统优质烃源岩发育的控制因素[J].沉积学报,2008,26(5):872-880.
- [9] 董大忠,高世葵,黄金亮,等.论四川盆地页岩气资源勘探开发前景[J].天然气工业,2014,34(12):1-15.
- [10] 高振中,何幼斌,李罗照,等.中国南方上奥陶统五峰组观音桥段成因讨论:是“浅水介壳相”,还是深水异地沉积? [J].古地理学报,2008,10(5):487-494.
- [11] 徐论勋,肖传桃,龚文平,等.论扬子地区上奥陶统五峰组观音桥段的深海成因[J].地质学报,2004,78(6):726-732.
- [12] 何心一,陈建强,唐兰,等.黔北晚奥陶世 Hirnantian 期观音桥层四射珊瑚新资料及其地质意义[J].古生物学报,2006,45(3):293-310.
- [13] 邓义楠,王约,陈洪德,等.黔北桐梓五峰组观音桥段双壳类和腹足类的生态意义[J].地层学杂志,2010,34(3):328-333.
- [14] 谢尚克,汪正江,王剑,等.綦江观音桥中上奥陶统微量元素地球化学特征[J].沉积与特提斯地质,2010,30(5):60-65.
- [15] 苏文博,李志明, Frank R Etensohn,等.华南五峰组—龙马溪组黑色岩系时空展布的主控因素及其启示[J].地球科学:中国地质大学学报,2007,32(6):819-827.
- [16] 王怿,樊隽轩,张元动,等.湖北恩施太阳河奥陶纪—志留纪之交沉积间断的研究[J].地层学杂志,2011,35(4):361-367.
- [17] 王玉满,董大忠,黄金亮,等.四川盆地及周边上奥陶统五峰组观音桥段岩相特征及对页岩气选区意义[J].石油勘探与开发,2016,43(1):42-50.
- [18] 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):32-39.
- [19] 刘伟,许效松,冯心涛,等.中上扬子上奥陶统五峰组含放射虫硅质岩与古环境[J].沉积与特提斯地质,2010,30(3):65-70.
- [20] 戎嘉余,陈旭,王怿,等.奥陶—志留纪之交黔中古陆的变迁:证据与启示[J].中国科学:地球科学,2011,41(10):1407-1415.

(编辑 尹淑容)