

doi: 10.12029/gc20170101

翟刚毅, 包书景, 庞飞, 任收麦, 陈科, 王玉芳, 周志, 王胜建. 2017. 贵州遵义地区安场向斜“四层楼”页岩油气成藏模式研究[J]. 中国地质, 44(1): 1-12.

Zhai Gangyi, Bao Shujing, Pang Fei, Ren Shoumai, Chen Ke, Wang Yufang, Zhou Zhi, Wang Shengjian. 2017. Reservoir-forming pattern of “four-storey” hydrocarbon accumulation in Anchang syncline of northern Guizhou Province[J]. Geology in China, 44(1): 1-12(in Chinese with English abstract).

## 贵州遵义地区安场向斜“四层楼”页岩 油气成藏模式研究

翟刚毅<sup>1,2</sup> 包书景<sup>1,2</sup> 庞飞<sup>1,2</sup> 任收麦<sup>1</sup> 陈科<sup>1,2</sup> 王玉芳<sup>1,2</sup> 周志<sup>1,2</sup> 王胜建<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100029; 2. 中国地质调查局非常规油气地质重点实验室, 北京 100029)

**摘要:** 中国南方地区从震旦纪到古近纪发育多套烃源岩, 由于经历多期构造运动, 油气保存条件欠佳。60多年来, 除四川、江汉、苏北等盆地外, 盆外复杂构造区油气调查始终未获重大发现。文章通过对野外地质调查、地球物理勘查和系统的油气成藏条件研究, 认为黔北安场向斜五峰—龙马溪组富有机质页岩发育、热演化程度适中, 石牛栏组储集性能较好, 向斜翼部逆断层封挡, 具备良好的页岩气、油气富集成藏条件。在向斜西翼部署实施的安页1井, 在栖霞组、石牛栏组、五峰—龙马溪组和宝塔组获得“四层楼”式油气显示。其中, 石牛栏组获得日产超过 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 高产工业气流, 开辟了南方油气勘查的新区、新层系和新类型。安页1井的突破, 证实了黔北—渝东南盆外复杂构造区具有常规、非常规油气同生共存的成藏条件, 对邻区广泛发育的残留向斜油气勘探具有重要的指导意义。

**关键词:** 安场向斜; 安页1井; 页岩气; 油气; 成藏条件; 贵州

中图分类号: P618.130.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2017)01-0001-12

## Peservoir-forming pattern of “four-storey” hydrocarbon accumulation in Anchang syncline of northern Guizhou Province

ZHAI Gangyi<sup>1,2</sup>, BAO Shujing<sup>1,2</sup>, PANG Fei<sup>1,2</sup>, REN Shoumai<sup>1</sup>, CHEN Ke<sup>1,2</sup>, WANG Yufang<sup>1,2</sup>,  
ZHOU Zhi<sup>1,2</sup>, WANG Shengjian<sup>1,2</sup>

(1. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China; 2. The Key Laboratory of Unconventional Oil & Gas geology, CGS, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The Sinian-Paleogene period in South China developed several sets of hydrocarbon source rocks. Because of the multi-stage tectonic movements, the preservation conditions of oil and gas are poor. Over the past 60 years, oil and gas survey in complex structure areas outside the basins has not made a major breakthrough except for Sichuan, Jiangnan and Subei basins. Based on field geological survey, geophysical exploration and researches on hydrocarbon accumulation conditions, the authors hold that, because the Wufeng-Longmaxi Formation has well-developed organic matter-rich shale, moderate thermal evolution, Shiniulan Formation

收稿日期: 2016-12-27; 改回日期: 2017-02-13

基金项目: 中国地质调查局南方页岩气基础地质调查(12120115004601)、全国油气战略选区调查评价工程项目(1211302108020)、重大科技专项页岩气资源评价方法与勘查技术攻关(2016ZX05034)联合资助。

作者简介: 翟刚毅, 男, 1958年生, 教授级高级工程师, 主要从事油气基础地质调查和战略选区调查; E-mail: zhaigangyi@126.com。

provides good reservoir, and syncline wing is blocked by reverse faults, the shale gas, oil and gas accumulation conditions are very favorable. Well Anye-1 made the "four-storey" type oil and gas breakthrough in the Shiniulan Formation, Wufeng-Longmaxi Formation, Baota Formation and Qixia Formation. In the Shiniulan Formation, more than  $10 \times 10^4 \text{ m}^3$  industrial gas is produced everyday. New areas, new layers and new types are therefore opened up for oil and gas exploration in South China. The breakthrough of well Anye-1 confirms the fact that there exist the reservoir-forming conditions for the coexistence of conventional and unconventional oil and gas in the complex structure areas outside the basins in northern Guizhou and southeastern Chongqing. These achievements are of great significance for the development of residual syncline oil and gas exploration in the adjacent areas.

**Key words:** Anchang syncline; Well Anye-1; Shiniulan Formation; Wufeng-Longmaxi Formation; Baota Formation; Qixia Formation; Guizhou

**About the first author:** ZHAI Gangyi, male, born in 1958, professor, mainly engages in oil and gas basic geological survey and strategic constituency survey; E-mail: zhaigangyi@126.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No. 12120115004601, No. 1211302108020) and National Science and Technology Major Project (No. 2016ZX05034).

## 1 引 言

中国南方地区从震旦纪到古近纪共发育8套烃源岩,具有较好的页岩气形成和富集的物质基础(马永生等,2002;梁狄刚等,2008)。近几年,中国石化和中国石油在四川盆地的涪陵、长宁、威远和昭通等地区五峰—龙马溪组取得页岩气勘探开发重大突破,并形成产能(聂海宽等,2012;郭彤楼等,2013;伍坤宇等,2016)。初步形成“沉积是基础、构造保存是关键”的成藏理论(聂海宽等,2009;邹才能等,2010;蒲泊伶等,2010;郭旭升等,2014;魏祥峰等,2014),认为四川盆地内正向构造有利于页岩气形成和保存。四川盆地之外的武陵山复杂构造区广泛发育上奥陶统一志留统和下寒武统富有机质页岩,由于经历强烈构造运动,油气富集保存条件欠佳,残留向斜是否具有页岩气及油气勘查开发前景,关乎中国南方油气资源潜力大小和勘查方向。通过野外地质调查、地球物理勘查、有机地球化学指标对比等手段,系统对武陵山褶皱带重点地区开展了油气成藏条件综合分析,优选了黔北安场向斜有利区,部署实施的安页1井呈现“四层楼”式油气显示。

## 2 地质构造背景

安场向斜位于四川盆地东缘武陵山褶皱带西南段,北与道真向斜相邻,面积 $225 \text{ km}^2$ (图1)。研究区属扬子板块,经雪峰运动形成变质结晶基底(Ran et al., 2015)。震旦纪—奥陶纪早期,演变为被

动陆缘,始于晚奥陶世的都匀运动控制研究区北部川中隆起、南部黔中隆起、东南部雪峰隆起的形成(Chen et al., 2015)。受燕山期构造旋回叠加改造,形成以北东—北北东向为主的褶皱,发育NE、近SN、近EW向3组断裂,从相互切割和限定关系分析,NE向断裂形成时间最早,多为加里东期发育的压性断裂,且在燕山期复活,发生左行走滑,并牵制燕山期构造变形。

## 3 油气成藏地质条件

### 3.1 烃源岩地质条件

富含有机质的烃源岩是油气生成的物质基础,也是页岩气或自生自储油气储集的重要场所,有机质热演化不但可以生成油气,还可以形成大量有机质孔隙赋存页岩气。黔北地区广泛发育中二叠统栖霞组富有机质灰岩、上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组富有机质页岩,地面露头 and 地质调查并揭示厚度较大、有机质含量高、热演化成熟或过成熟,烃源岩品质较好。现分别介绍如下。

#### 3.1.1 五峰—龙马溪组

##### ①富有机质页岩的分布

受加里东运动影响,晚奥陶世五峰期至早志留世龙马溪期,研究区被北部川中隆起、南部黔中隆起、东南部雪峰隆起三大隆起包围,处于局限滞留浅海环境,同时发生大规模海侵,造成缺氧环境,以悬浮沉积作用为主。五峰组为局限滞留浅海盆地沉积,沉积了广泛分布的富有机质页岩,岩性为灰黑至黑色炭质泥页岩,夹薄层硅质岩,普遍夹数层

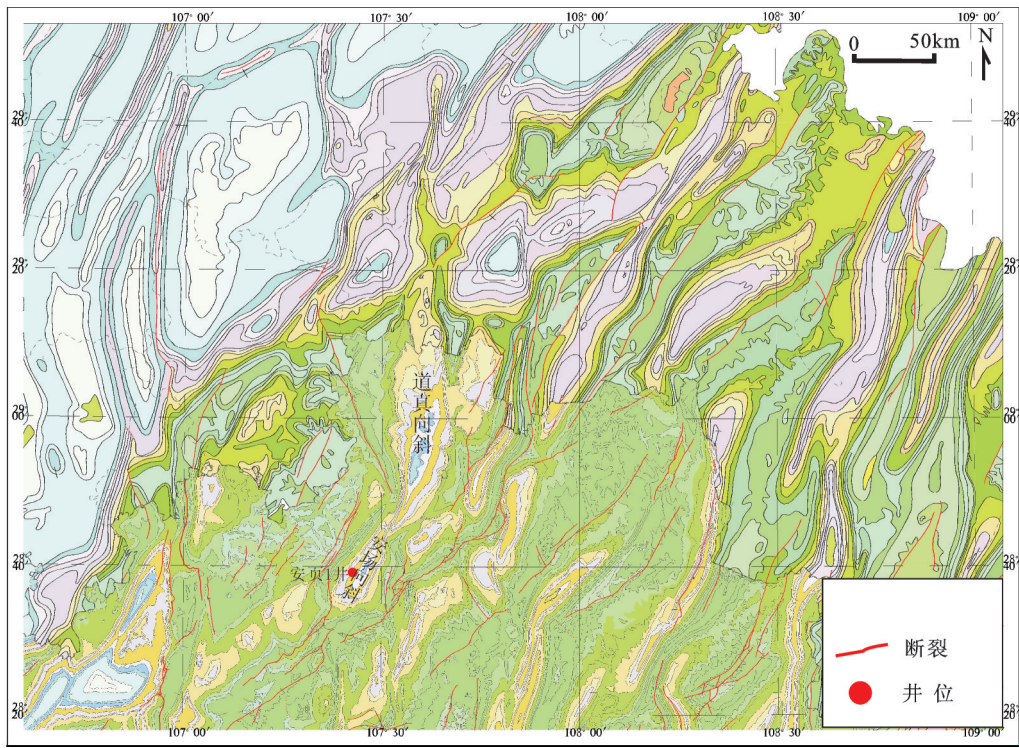


图1 安场向斜构造位置图  
 Fig.1 Structural location of Anchang syncline



图2 安页1井龙马溪组岩心  
 Fig.2 Longmaxi Formation core of Well Anye-1



图3 正安城北剖面龙马溪组页岩  
 Fig.3 Longma Formation shale of northern Zhengnan County section

毫米级斑脱岩。之上观音桥组发育一套生屑灰岩、泥灰岩地层,分布较稳定,除务川周边部分缺失外,均能在区内发现。龙马溪组页岩主要为一套黑色炭质页岩、含粉砂质炭质页岩夹少量同色薄层硅质岩,水平纹层极为发育,普遍含结核状、星散状分布的黄铁矿,含大量的笔石化石(图2,图3)。由下至

上,炭质及黄铁矿含量逐渐减少,岩石颜色由深逐渐变浅,未见底栖生物化石,属深水陆棚相沉积(张金川等,2008;张春明等,2012)(图4)。

区域上,受南部黔中隆起影响,五峰—龙马溪组页岩南薄北厚。正安城北、正安瑞溪、正安土坪等19个露头剖面测量数据显示,安场向斜五峰—龙

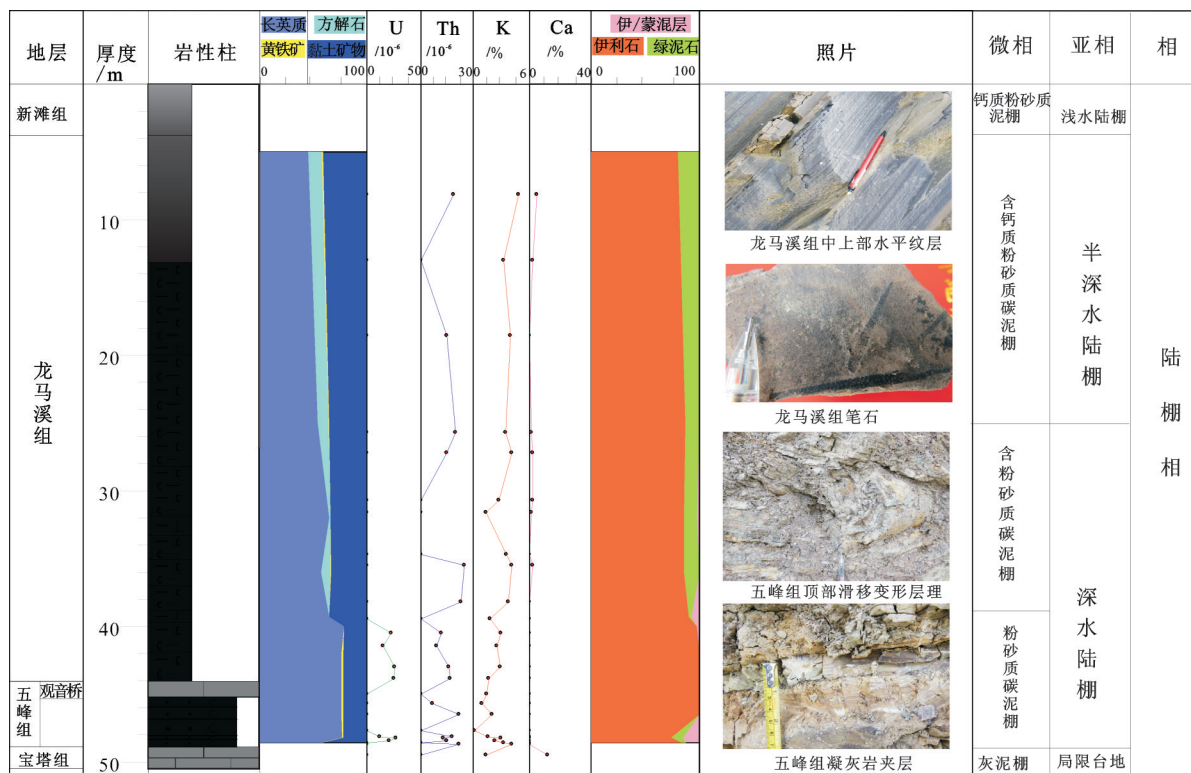


图4 五峰—龙马溪组沉积相划分柱状图

Fig.4 Sedimentary facies division columnar section of Wufeng-Longmaxi Formation

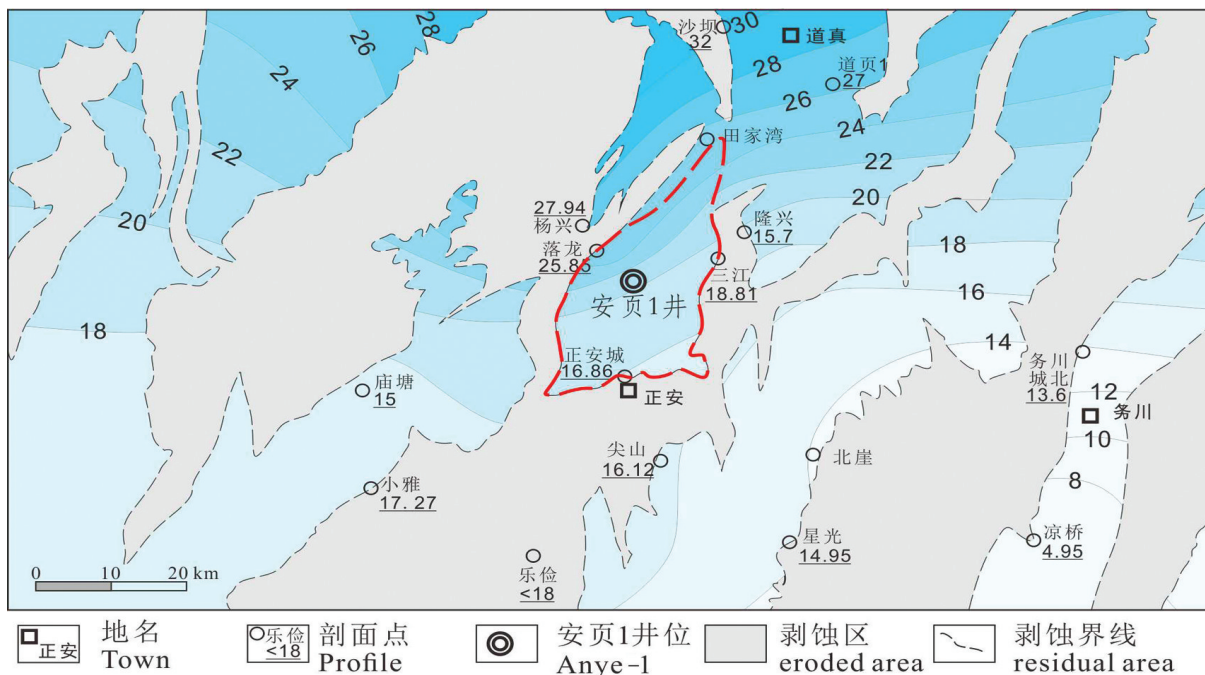


图5 安场向斜及其邻区五峰—龙马溪组富有机质页岩残留厚度等值线图

Fig.5 Rich organic shale residual thickness contour map of Wufeng-Longmaxi Formation in Anchang syncline and its adjacent area

表1 安场向斜干酪根显微组分鉴定及类型划分  
Table 1 Identification and type table of kerogen in Anchang syncline

样品号	腐泥组/%		壳质组/%							镜质组/%		惰质组/%	类型	
	浮游藻类体	腐泥无定形体	角质体	木栓质体	树脂体	孢粉体	腐殖无定形体	菌胞体	底栖藻无定形体	富氢镜质体	正常镜质体	丝质体	类型指数	类型
BY-1	/	93	/	/	/	/	/	/	/	/	4	3	87.00	I
BY-1	/	96	/	/	/	/	/	/	/	/	4	0	93.00	I
BY-1	/	95	/	/	/	/	/	/	/	/	5	0	91.25	I
BY-1	/	95	/	/	/	/	/	/	/	/	3	2	90.75	I
BY-1	/	85	/	/	/	/	/	/	/	/	7	8	71.75	II <sub>1</sub>
BY-1	/	89	/	/	/	/	/	/	/	/	7	4	79.75	II <sub>1</sub>
BY-1	/	98	/	/	/	/	/	/	/	/	2	0	97.00	I
AY-1	/	97	/	/	/	/	/	/	/	/	3	0	95.50	I

马溪组富有机质页岩厚度分布在16~25 m(图5)。安页1井钻探资料揭示厚度为19.5 m,与地表测量厚度相当。

②有机地球化学特征

有机质类型决定页岩生气能力,对安场向斜地表岩样和钻井岩心样品进行化验分析显示,腐泥组以无定型体为主,不含壳质组,镜质组主要为正常镜质体,惰质组见少量丝质体,类型指数71.75~97.00,以I型干酪根为主,个别样品为II<sub>1</sub>型(表

1)。美国页岩气开发的主力产层显示,I型与II型干酪根均具有较好的生烃潜力(王玉满等,2012)。

有机质丰度是页岩气形成富集的关键参数,有机质含量往往与页岩的生气率、吸附气量和总含气量成正比。通过对49个野外露头样品和80个岩心样品统计,仅个别样品TOC含量小于1%,含量大于2%的样品比例超过70%,含量大于5%比例超过20%,TOC含量整体较高(图6)。其中,钻井岩心样品TOC含量介于1.08%~4.73%,平均2.65%,略高于

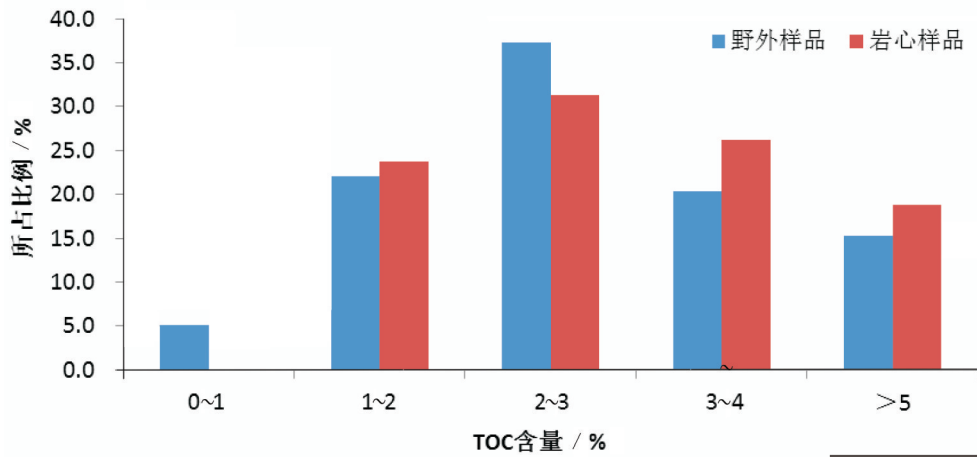


图6 五峰—龙马溪组 TOC 含量统计直方图

Fig.6 Total organic carbon content statistical histogram of Wufeng-Longmaxi Formation

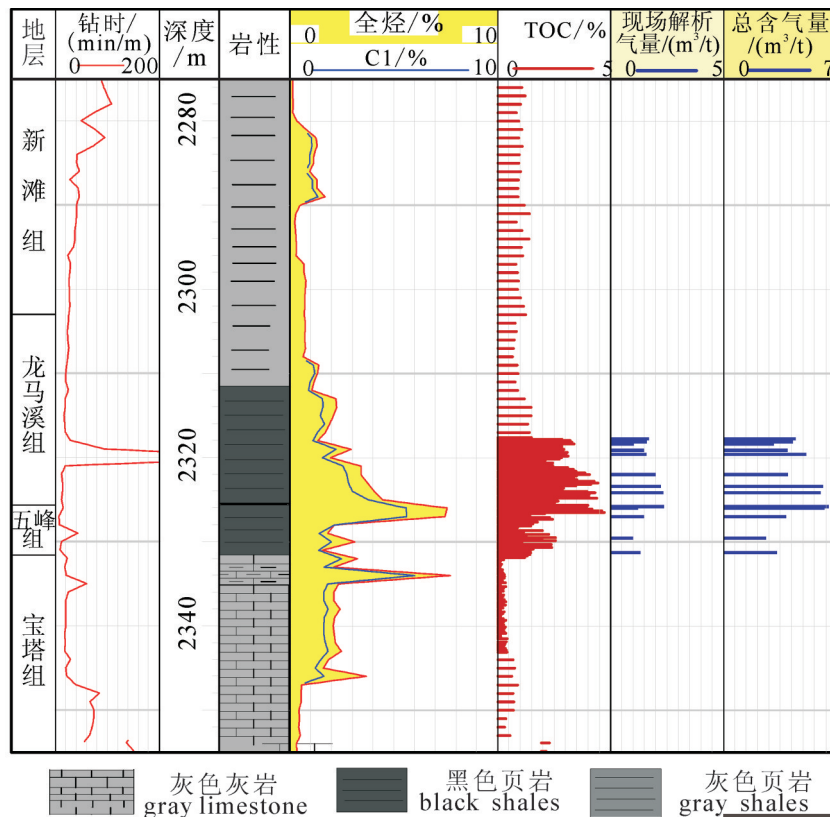


图7 安场向斜安页1井五峰—龙马溪组综合柱状图

Fig.7 Integrated histogram of Wufeng—Longmaxi Formation in Well Anye-1

野外露头样品均值2.53%,可能与风化淋滤作用有关,但均超过了优质页岩评价标准2%的界限。区域上,由南向北TOC含量呈逐渐增加的趋势。纵向上,五峰组TOC含量总体小于龙马溪组,龙马溪组下部整体高于上部,与页岩气测录井和现场含气量解析显示规律基本一致(图7)。

### ③有机质成熟度

通过对安场向斜和相邻的斑竹向斜五峰—龙马溪组页岩样品分析,有机质镜质体反射率在1.92%~2.19%,平均为2.06%,处于高成熟—过成熟早期演化阶段,有利于烃类气体生成。

#### 3.1.2 栖霞组

该区栖霞组为一套海相碳酸盐岩沉积地层,岩性以灰色、深灰色灰岩、泥灰岩为主(Ma Z W, et al., 2008),分布广,整个南方地区均有分布;厚度大,安页1井钻遇含气层厚度147 m;有机质丰度高,TOC含量介于0.15%~5.04%;热演化程度适中, $R_o$ 介于1.53%~1.87%,为湿气阶段,具备较好的生烃能力。

### 3.2 生储盖组合特征

安页1井自下而上主要发育四套生储盖组合,纵向上组成“四层楼式”油气成藏模式(图8)。

#### (1) 宝塔组—五峰—龙马溪组上生下储式生储盖组合

宝塔组浅灰色灰岩裂缝、溶洞发育,具有良好的储集空间。上覆地层五峰—龙马溪富有机质页岩排出的天然气可在宝塔组缝、洞中储集,同时五峰—龙马溪组页岩致密可作为盖层,与宝塔组组成上生下储式生储盖组合。

#### (2) 五峰—龙马溪组自生自储页岩气组合

五峰—龙马溪组有机质丰富、有机质类型好、热演化程度适中,不但具备较好的生烃能力,同时有机质在热演化过程中产生的大量微孔隙,可有效增加对天然气储集和吸附能力,加之页岩页理、微裂缝、矿物粒间孔发育,以及粘土矿物的吸附作用,生成的天然气可以以游离态和吸附方式赋存于页岩中,为典型的自生自储式生储盖组合。

地层			厚度 /m	生储盖组合			“四层楼”式油气 成藏模式		
系	统	组		生	储	盖			
二 叠 系	上统	合山组	153.0						
		茅口组	129.5						4
	中统	栖霞组	269.0						
		梁山组	2.5						
志 留 系	下统	韩家店组	502.5						3
		石牛栏组	321.5						
		新滩组	88.5						
		龙马溪组	13.5					2	
奥 陶 系	上统	观音桥组	0.2					1	
		五峰组	5.8						
		宝塔组	46.5						

图8 安页1井生储盖组合

Fig.8 Source-reservoir-cap assemblages of Well Anye-1

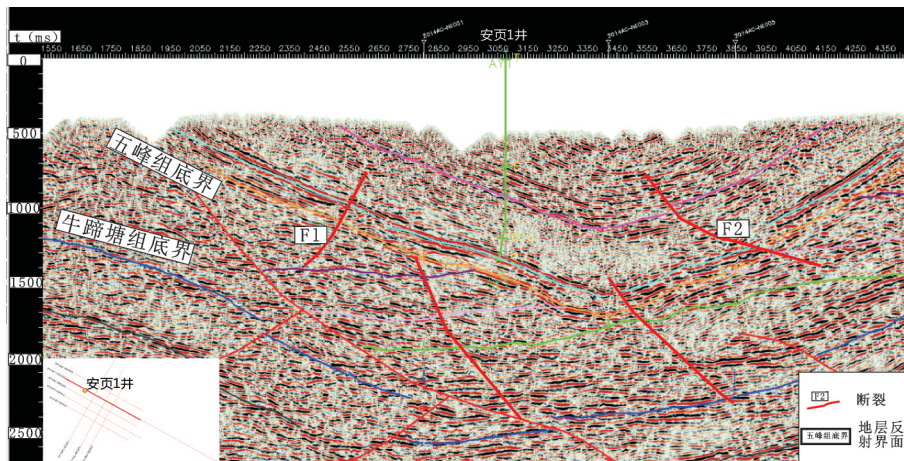


图9 过安页1井地震剖面

Fig.9 Seismic profile through Anye-1 well

(3)龙马溪组—石牛栏组—韩家店组生储盖组合  
 该区志留系石牛栏组上段为灰色致密灰岩,下段以条带状—扁豆状—瘤状泥灰岩、灰质泥岩为主,为一套深水混积陆棚沉积地层(马东洲等,2006)。下段泥灰岩、灰质泥岩段层理和微裂缝发育,地面露头可见珊瑚礁滩沉积,具备较好的储集空间。地层发育两组高角度节理,为下伏地层五峰—龙马溪组优质烃源岩生成的油气向上运移提供了良好的通道,石牛栏组上段致密灰岩及上覆韩家店组巨厚的泥页岩可作为有效盖层,形成了“下生—中储—上盖”式正常油气生储盖组合。

(4)栖霞组—合山组生储盖组合

二叠系栖霞组在四川盆地西部、中部均有探井获得高产工业油气流。该区栖霞组泥灰岩有机质丰度较高、热演化程度适中,具有较好的生烃条件,栖霞组灰岩岩溶、裂缝发育,储集能力较好,上覆合山组泥岩致密为良好盖层,野外露头可见多处油苗显示,形成栖霞组自生自储—合山组生储盖组合。

### 3.3 构造保存条件

安场向斜位于槽档转换带,轴向北北东20°~30°,延伸长度约30 km,核部出露侏罗纪—三叠纪地层,翼部为志留纪—奥陶纪地层。通过地质带帽、构造建模、属性识别等方法,精细刻画了地层分布和断裂发育特征,明确向斜内无大型通天断裂。东翼

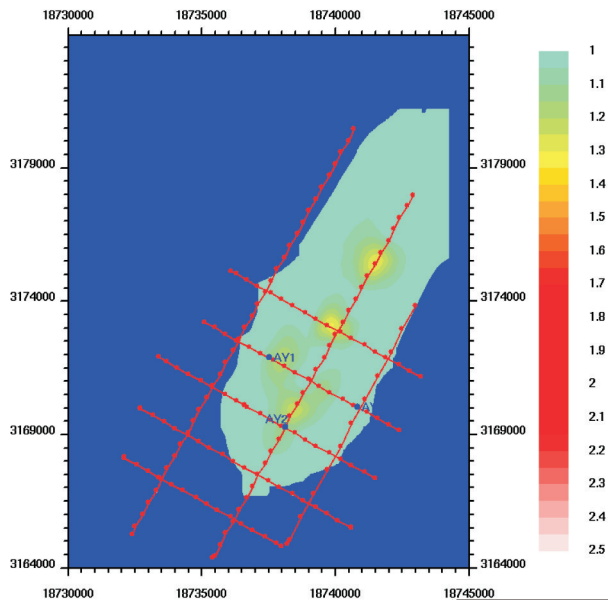


图10 安场向斜奥陶—志留系地层压力预测分布图  
Fig.10 Pressure prediction distribution of Ordovician-Silurian in Anchang syncline

岩层倾角相对较陡,倾角一般在50°左右,西翼地层倾角相对较小,在25°~35°。向斜内发育多条NE向断裂,主要为加里东期发育正安断裂的伴生断层,断层规模较小,断距在30~120 m,且均为隐伏断层。其中东、西翼发育的F1、F2逆断层在侧向上可对油气运移

形成遮挡(图9),形成局部自封闭的超压环境。

采用波速压力预测、地震频谱烃类检测等新技术,发现多处压力异常和烃类显示(图10、图11),证实逆断层具有良好的封堵效果。综合页岩埋深、地震资料品质及反射强度、地层压力等因素,通过地质—地震一体化储层评价与油气预测方法,识别油气“甜点”区,在向斜西翼论证部署的安页1井。钻探及试气结果数据显示,五峰—龙马溪组上覆地层石牛栏组压力系数高达2.27,下伏地层宝塔组压力系数为1.62,证实了安场向斜具有较好的油气保存条件。

#### 4 “四层楼”式油气藏的确立

按照深水陆棚相页岩、稳定的构造保存、地层超压“三位一体”的页岩气富集高产理论,安场向斜富有机质页岩发育,西翼发育逆断层,在侧向上可有效遮挡油气的运移,利于油气的保存成藏,地震资料压力预测在断层下盘存在异常高压区,为油气和页岩气高产提供了重要保障。安页1井部署的主要目的是主探上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组页岩气,兼探二叠系常规油气和志留系石牛栏组致密天然气。通过精心钻井施工和压裂测试,安页1井一举探获栖霞组油气、石牛栏组海相致密气、五峰—龙马溪组页岩气和宝塔组天然气“四层楼”式

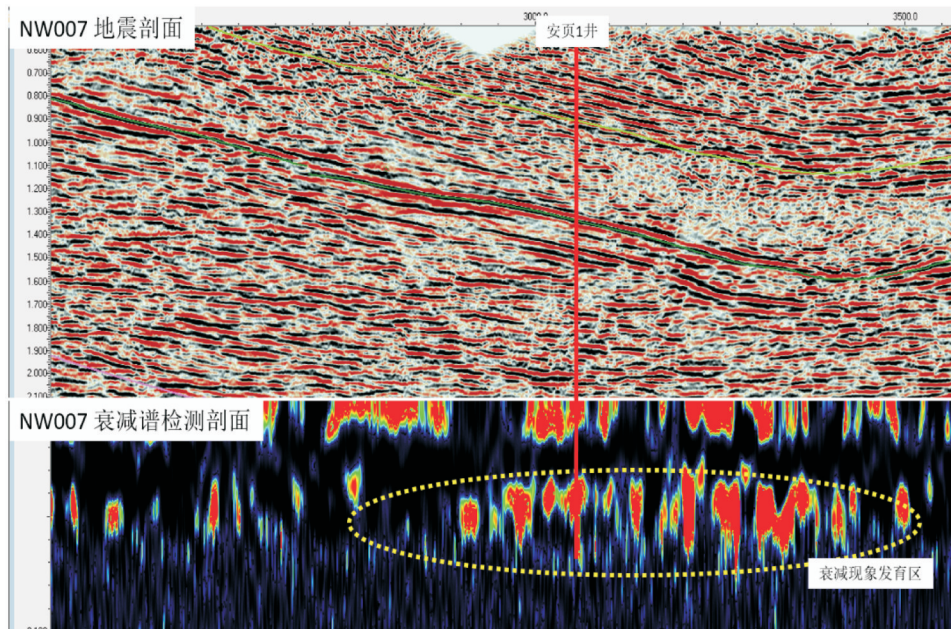


图11 安场向斜奥陶—志留系地震频谱烃类检测图  
Fig.11 Hydrocarbon seismic spectrum detection map of Ordovician-Silurian in Anchang syncline



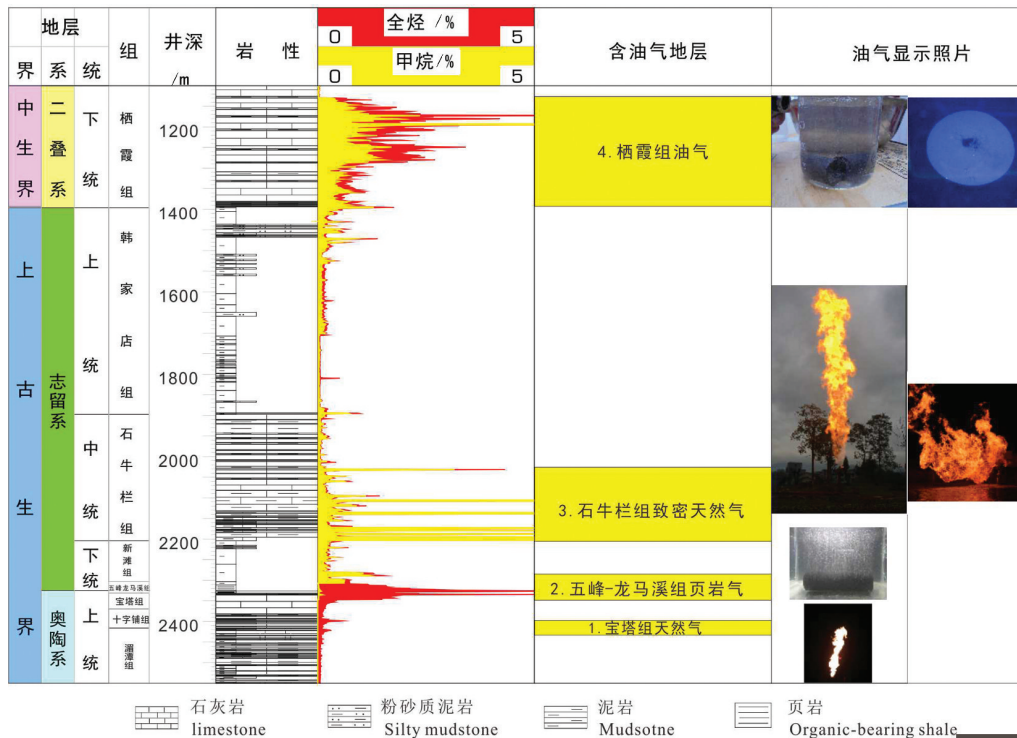


图12 安页1井“四层楼”油气成藏模式图

Fig.12 "Four-storey" type oil and gas accumulation model of Well Anye-1

油气页岩气(图12)。

#### 4.1 志留系石牛栏组探获稳定高产工业气流

安页1井在志留系石牛栏组钻遇11层含气层, 累计厚68 m。钻探过程中气测异常显示强烈, 全烃异常值最高85.40%, 甲烷异常值最高80.50%, 且多次发生泥浆溢流。其中, 钻至井深2122.73 m时出现井涌, 接气液分离器管线点火, 火焰高达30m。中途裸眼测试, 最大瞬时流量 $42.01 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ , 并见少量稠油。石牛栏组为致密泥灰岩夹灰质页岩储层, 气藏表现出压力高、产量高和递减快, 以及关井压力恢复快等特点, 分析认为石牛栏组为高压低渗海相致密天然气藏, 储集空间主要为基质孔隙和微裂缝。基于上述认识和和酸溶实验分析结果, 创新提出采取水力体积压裂进行储层改造工艺, 经压裂测试获得日产 $10.22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产气流, 是我国首次发现的含油气新层系。经分析, 石牛栏组岩心TOC含量分布在0.04%~0.11%, 生烃能力有限, 通过气源对比, 气源为下伏的五峰—龙马溪组富有机质页岩。

#### 4.2 五峰组—龙马溪组探获页岩气

安页1井钻遇五峰—龙马溪组高含气碳质页岩

厚度20 m, 岩心浸水试验, 气泡剧烈逸出, 现场解析含气量最高 $2.36 \text{ m}^3/\text{t}$ , 总含气量高达 $6.49 \text{ m}^3/\text{t}$ , 与涪陵焦石坝页岩气田相当(图13)。测井和录井综合解释I类含气页岩厚度达18 m, 与焦石坝、彭水和黔江地区相当, 对比分析认为通过水平井钻探和分段压裂改造, 有望获得页岩气工业气流。

#### 4.3 奥陶系宝塔组钻遇高压天然气层

中奥陶统宝塔组岩性为浅灰色致密灰岩, 含泥质并夹泥质条带, 具有“龟裂纹”网纹形态特征, 为广海陆棚相碳酸盐岩沉积地层。安页1井在宝塔组钻遇13 m厚高压气层, 在井深2346 m处发生泥浆溢流, 气液分离管线点火焰高约20 m, 岩心发育开启裂缝, 为裂缝型天然气藏。经计算, 地层压力系数为1.62。这是中国南方又一个取得天然气重大发现的新层系, 经分析气源为五峰—龙马溪组富有机质页岩, 盖层也为五峰—龙马溪组, 为上生下储油气成藏组合。

#### 4.4 栖霞组获得良好油气显示

安页1井在栖霞组灰岩钻遇147 m含气层, 显示连续, 全烃异常值最高达85.93%, 岩心浸水实验见气

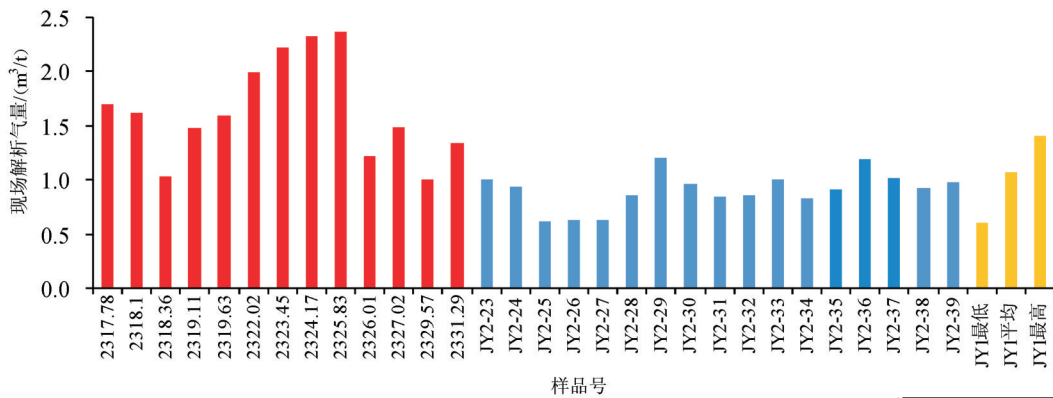


图13 安页1井与焦石坝地区页岩现场解析含气量对比柱状图

Fig.13 Shale gas content correlation columnar section between Well Anye-1 and Jiaoshiba area

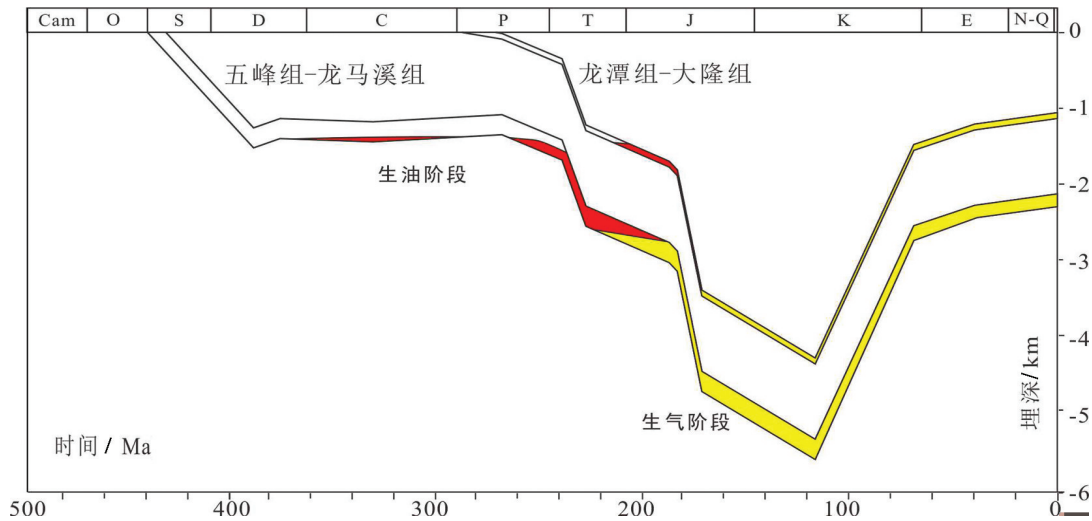


图14 安页1井五峰—龙马溪组和栖霞组埋藏史图

Fig.14 Buried history of Wufeng-Longmaxi Formation and Qixia Formation in Well Anye-1

泡逸出,现场解析含气量最高为 $1.4 \text{ m}^3/\text{t}$ ,见荧光显示,含油气性好。经分析,栖霞组深灰色泥质灰岩有机丰富,TOC含量局部大于5%,具有较好的生烃能力。初步判断,栖霞组为自生自储油气成藏组合。

## 5 油气成藏模式讨论

该区五峰组—龙马溪组页岩为一套深水陆棚相沉积地层,富有机质页岩厚度近20 m、有机质丰度高、热演化程度适中;栖霞组为一套海相泥灰岩沉积地层,厚度大、分布广,均具有较好的生烃条件,为油气的形成富集奠定了物质基础。埋藏史分析表明(图14),安场向斜发育的五峰—龙马溪组富有机质页岩,自早志留世沉积开始,至早白垩世,长期

处于持续深埋阶段,大约于早泥盆世开始进入生烃窗口,在中二叠世开始进入生油高峰期,在早侏罗世开始进入生气高峰期,并于晚侏罗世开始,有机质热演化进入过成熟阶段,到早白垩世最大埋深可达5300 m。区域上广泛分布的栖霞组烃源岩,自早二叠世沉积开始,至早白垩世,处于持续深埋阶段,大约于晚三叠世开始进入生烃窗口,在早侏罗世开始进入生油高峰期,在晚侏罗世开始进入湿气阶段。

由于雪峰运动的影响,安页1井所在的安场地区同周缘地区一起,在大约105 Ma开始,遭受大规模挤压隆升,该作用一直持续到新生代,并形成现今残留向斜型构造(图13)。五峰组—龙马溪组页岩、石牛栏组上段致密灰岩、韩家店组巨厚的泥页

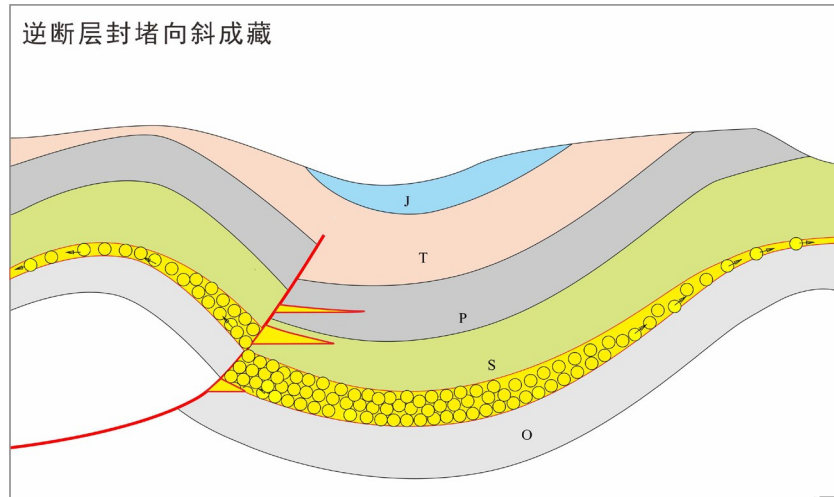


图15 安场向斜油气成藏模式图

Fig.15 Oil and gas reservoir pattern of Anchang syncline

岩、和合山组致密泥岩可作为良好盖层,可对油气形成垂向封堵;安场向斜西翼发育逆断层,在侧向上可有效遮挡油气的逸散,利于油气的聚集和保存,从而形成逆断向斜侧向封堵、常规与非常规油气同生共存成藏模式(图15),自下而上依次为:宝塔组裂缝型天然气藏、五峰—龙马溪组页岩气藏、石牛栏组海相致密气藏、栖霞组常规油气藏。

## 6 结论

安场向斜位于武陵山褶皱带东南段,自燕山期以来经历了强烈的构造运动,奥陶系及其上覆地层遭受了大面积剥蚀,油气保存条件欠佳。安页1井“四层楼”油气页岩气的发现,揭开了南方复杂地质构造区油气成藏的神秘面纱。取得的主要认识有:一是初步确定了“四层楼”油气成藏模式,从下而上依次是宝塔组天然气藏、五峰—龙马溪组页岩气藏、石牛栏组海相致密气藏和栖霞组常规油气藏;二是油气地质调查表明黔中隆起以北五峰—龙马溪组发育富有机质页岩,不但具备良好的页岩气形成富集条件,同时也是优质烃源岩;三是志留系石牛栏组压裂试获稳定高产工业气流,这是我国首次发现海相致密天然气藏;四是奥陶系宝塔组具备上生下储裂缝型天然气成藏条件;五是四川盆地外二叠系栖霞组具有较好的油气资源前景。武陵山复杂构造区多层系多类型的油气发现,在世界上也是很少见的,实现了由盆地找油气向造山带找油气、由正向构造找油气向负向构造找油气思路的转变,

具有重大的经济意义和科学价值。

**致谢:**在武陵山地区页岩气资源调查、安页1井论证实施和论文编写过程中,得到了贵州省国土资源厅、贵州黔能页岩气开发有限责任公司、成都地质调查中心、贵州地质调查院、中石化胜利工程公司西南分公司、中石化江苏工程公司录井分公司积极协助和大力支持,得到了康玉柱院士、何继善院士等专家的精心指导,得到了《中国地质》编辑部全力帮助,在此表示衷心的感谢!

## References

- Chen Lei, Lu Yongchao, Jiang Shu, Li Jianqing, Guo Tonglou, Luo Chan. 2015. Heterogeneity of the Lower Silurian Longmaxi marine shale in the southeast Sichuan Basin of China[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 65:232-246.
- Guo Tonglou, Liu Ruobing. 2013. Implication from marine shale gas exploration breakthrough in complicated structural area at high thermal stage: Taking Longmaxi formation in well JY1 as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 24(4): 643- 651 (in Chinese with English abstract).
- Guo Xusheng, Hu Dongfeng, Wen Zhidong, Liu Ruobing. 2014. Major factors controlling the accumulation and high productivity in marine shale gas in the Lower Paleozoic of Sichuan Basin and its periphery: A case study of the Wufeng- Longmaxi Formation of Jiaoshiba area[J]. *Geology in China*, 41(3): 893- 901 (in Chinese with English abstract).
- Liang Digang, Guo Tonglou, Chen Jianping, Bian Lizeng, Zhao Zhe. 2008. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, Southern China(Part 1):Distribution of four suits of regional marine source rocks[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 13 (2):1-16 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- Ma Dongzhou, Chen Hongde, Zhu Lidong, Lin Liangbiao. 2006. 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), 33(3): 228–232.
- Ma Yongsheng, Guo Tonglou, Fu Xiaoyue, Xiao Zhaohui. 2002. Petroleum geology of marine sequences and exploration potential in Southern China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 7(3):19–29 (in Chinese with English abstract).
- Ma Zhongwu, Hu Chaoyong, Yan Jiixin, Xie Xinong. 2008. Biogeochemical records at Shangsi section, northeast Sichuan in China: The Permian paleoproductivity proxies[J]. J Earth Sci., 19: 461–470.
- Nie Haikuan, Tang Xuan, Bian Ruikang. 2009. Controlling factors for hale gas accumulation and prediction of potential development areain shale gas reservoir of south China[J]. Acta Petrolei Sinica, 30(4): 484–491 (in Chinese with English abstract).
- Nie Haikuan, Zhang Jinchuan, Bao Shujing, Bian Ruikang, Song Xiaojiao, Liu Jianbin. 2012. Shale gas accumulation conditions of the Upper Ordovician– Lower Silurian in Sichuan Basin and its periphery[J]. Oil and Gas Geology, 33(3): 337– 345 (in Chinese with English abstract).
- Pu Boling, Jiang Youlu, Wang Yi, Bao Shujing, Liu Xinjin. 2010. Reservoir– forming conditions and favorable exploration zones of shale gas in Lower Silurian Longmaxi Formation of Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 31(2): 225– 230(in Chinese with English abstract).
- Rana Bo, Liu Shugen, Jansa Luba, Sun Wei, Yang Di, Ye Yuehao, Wang Shiyu, Luo Chao, Zhang Xuan, Zhang Changjun. 2015. Origin of the Upper Ordovician– Lower Silurian cherts of the Yangtze block, South China, And their palaeogeographic significance[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 10(8):1–15.
- Wang Yuman, Dong Dazhong, Li Jianzhong, Wang Shejiao, Li Xinjing, Wang Li, Cheng Keming, Huang Jinliang. 2012. Reservoir characteristics of shale gas in Longmaxi Formation of the Lower Silurian, southern Sichuan[J]. Acta Petrolei Sinica, 33(4): 551–561 (in Chinese with English abstract).
- Wei Xiangfeng, Huang Jing, Li Yuping, Wang Qingbo, Liu Ruobing, Wen Zhidong. 2014. The main factors controlling the enrichment and high production of Da'anzhai member continental shale gas in Yuanba area[J]. Geology in China, 41(3): 970– 981 (in Chinese with English abstract).
- Wu Kunyu, Zhang Tingshan, Yang Yang, Liang Xing, Zhou Songyuan, Zhang Zhao. 2016. Geological characteristics of Wufeng Longmaxi shale gas reservoir in the Huangjinba gas field, Zhaotong National Shale Gas Demonstration Area[J]. Geology in China, 43(1): 275–287(in Chinese with English abstract).
- Zhang Chunming, Zhang Weisheng, Guo Yinghai. 2012. Sedimentary environment and its effect on hydrocarbon source rocks of Longmaxi Formation in southeast Sichuan and northern Guizhou[J]. Earth Science Frontiers, 1(1): 136– 145(in Chinese with English abstract)
- Zhang Jinchuan, Nie Haikuan, Xu Bo, Jiang Shengling, Zhang Peixian, Wang Zongyu. 2008. Geological condition of shale gas accumulation in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 28(2): 151–156 (in Chinese with English abstract).
- Zou Caineng, Dong Dazhong, Wang Shejiao, Li Jianzhong, Li Xinjing, Wang Yuman, Li Denghua, Cheng Keming. 2010. Geological characteristics, formation mechanism and resource potential of shale gas in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 37(6): 641–653 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 郭彤楼, 刘若冰. 2013. 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, 24(4):643–651.
- 郭旭升, 胡东风, 文治东, 刘若冰. 2014. 四川盆地及周缘下古生界海相页岩气富集高产主控因素—以焦石坝地区五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国地质, 41(3):893–901.
- 梁狄刚, 郭彤楼, 陈建平, 边立曾, 赵喆. 2008. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(一) 南方四套区域性海相烃源岩的分布[J]. 海相油气地质, 13(2):1–16.
- 马东洲, 陈洪德, 朱利东, 林良彪. 2006. 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), 33(3): 228–232.
- 马永生, 郭彤楼, 付孝悦, 肖朝晖. 2002. 中国南方海相石油地质特征及勘探潜力[J]. 海相油气地质, 7(3):19–29.
- 聂海宽, 唐玄, 边瑞康. 2009. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报, 30(4):484–491.
- 聂海宽, 张金川, 包书景, 边瑞康, 宋晓蛟, 刘建斌. 2012. 四川盆地及其周缘上奥陶统一下志留统页岩气聚集条件[J]. 石油与天然气地质, 33(3):337–345.
- 蒲泊伶, 蒋有录, 王毅, 包书景, 刘鑫金. 2010. 四川盆地志留统龙马溪组页岩气成藏条件及有利地区分析[J]. 石油学报, 31(2): 225–230.
- 王玉满, 董大忠, 李建忠, 王社教, 李新景, 王黎, 程克明, 黄金亮. 2012. 川南下志留统龙马溪组页岩气储层特征[J]. 石油学报, 33(4): 551–561.
- 魏祥峰, 黄静, 李宇平, 王庆波, 刘若冰, 文治东. 2014. 元坝地区大安寨段陆相页岩气富集高产主控因素[J]. 中国地质, 41(3): 970–981.
- 伍坤宇, 张廷山, 杨洋, 梁兴, 周松源, 张朝. 2016. 昭通示范区黄金坝气田五峰—龙马溪组页岩气储层地质特征[J]. 中国地质, 43(1): 275–287.
- 张春明, 张维生, 郭英海. 2012. 川东南—黔北地区龙马溪组沉积环境及对烃源岩的影响[J]. 地学前缘, 1(1): 136–145.
- 张金川, 聂海宽, 徐波, 姜生玲, 张培先, 汪宗余. 2008. 四川盆地页岩气成藏地质条件[J]. 天然气工业, 28(2):151–156.
- 邹才能, 董大忠, 王社教, 李建忠, 李新景, 王玉满, 李登华, 程克明. 2010. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 37(6):641–653.