

引用格式:朱彤,张哲,冯动军,等.梁平福祿镇剖面大安寨段泥页岩地质特征[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):139-149.

ZHU Tong, ZHANG Zhe, FENG Dongjun, et al. Geological characteristics of mud shale in Da'anzhai section of Fulu Town, Liangping [J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(1): 139-149.

DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.01.012

## 梁平福祿镇剖面大安寨段泥页岩地质特征

朱彤<sup>1,2,3</sup>,张哲<sup>4</sup>,冯动军<sup>1,2,3</sup>,郑荣才<sup>5</sup>,王烽<sup>6</sup>,彭勇民<sup>1,2,3</sup>

(1.页岩油气富集机理与有效开发国家重点实验室,北京 100083;2.中国石化页岩油气勘探开发重点实验室,北京 100083;  
3.中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083;4.中国地质大学,北京 100083;5.成都理工大学,四川 成都 610059;  
6.中国石化油田勘探开发事业部,北京 100029)

**摘要:**四川盆地侏罗系湖相泥页岩具有沉积相变快、岩性组合类型复杂多样、储层非均质性强的特点,与海相页岩存在较大的差异,因此,建立湖相泥页岩典型地质剖面,深入研究微相及岩性组合特征具有重要意义。选取川东重庆市梁平区福祿镇剖面大安寨段作为研究对象,通过对小层划分、沉积微相及其岩性组合特征的精细描述、样品采集,以及有机地化、储层物性和全岩X衍射等测试分析,结果表明:福祿镇剖面大安寨段主要为碳酸盐岩湖泊沉积,经历了完整的初始湖侵—最大湖侵—初始湖退3个阶段,微相及岩性组合具明显的三段式。大一亚段和大三亚段主要以碳酸盐浅湖介屑滩微相沉积的厚层介屑灰岩为特征,大二亚段为半深湖沉积,发育了湖坡风暴滩和半深湖泥2个微相,分别以灰色介屑灰岩与灰黑色泥页岩不等厚互层和厚层黑色页岩夹薄层介壳灰岩2种岩性组合为特征,泥页岩厚度大、有机质含量较高,特别是页岩与介屑灰岩互层组合,有利于微裂隙发育,脆性矿物含量相对较高,具有更好的渗透性和可压性,是页岩油气富集的甜点层段。与四川盆地典型页岩气钻井对比:大二亚段半深湖相主要分布于川东涪陵—建南地区,有利于页岩油气的形成;大一亚段和大三亚段碳酸盐浅湖介屑滩主要分布于川中—川东北地区,有利于致密油气的富集。

**关键词:**岩性组合;陆相泥页岩;页岩油气;大安寨段;福祿镇;四川盆地

中图分类号:TE122

文献标识码:A

### Geological characteristics of mud shale in Da'anzhai section of Fulu Town, Liangping

ZHU Tong<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Zhe<sup>4</sup>, FENG Dongjun<sup>1,2,3</sup>, ZHENG Rongcai<sup>5</sup>, WANG Feng<sup>6</sup>, PENG Yongmin<sup>1,2,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Shale Oil and Gas Enrichment Mechanisms and Effective Development, Beijing 100083, China;  
2. Sinopec Key Laboratory of Shale Oil/Gas Exploration and Production Technology, Beijing 100083, China; 3. Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 100083, China; 4. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;  
5. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 6. Sinopec Oilfield Exploration and Development Department, Beijing 100029, China)

**Abstract:** The lacustrine mud shale in Jurassic of Sichuan Basin is characterized by fast sedimentary phase transition, complex and diverse lithological combination types, and strong reservoir inhomogeneity, which is quite different from the marine shale. Therefore, it is of great significance to establish a typical geological section of Jurassic lacustrine shale in Sichuan Basin and further study the microfacies and lithologic assemblage characteristics of lacustrine shale. The Da'anzhai section of Fulu Town, Liangping District, Chongqing, Eastern Sichuan is selected as the research object. Through the division of small layers, fine description of sedimentary microfacies and lithologic combination characteristics, sample collection, field profile measurement, organic geochemistry, reservoir physical properties and whole rock X-ray diffraction, it is shown that the Da'anzhai section of Fulu town is mainly carbonate lake sediments. The microfacies and lithologic assemblages have three stages: initial transgression, maximum transgression and initial regression. The first and third members of the Da'anzhai formation are mainly composed of the microfacies of the thick layer mesoclastic limestone deposited in the bioclastic beaches of the carbonate shallow lake; The second

收稿日期:2021-11-08。

第一作者简介:朱彤(1968—),女,硕士,高级工程师,从事页岩气地质研究。地址:北京市昌平区沙河镇白沙路5号中国石化科学技术研究中心,邮政编码:102206。E-mail:zhuotong.syky@sinopec.com.cn

基金项目:中国石化页岩油气勘探开发重点实验室开放基金“四川盆地自流井组页岩成演化与储层孔隙形成机理”(33550000-21-ZC0613-0006)。

member of Da'anzhai formation is a semi deep lacustrine subfacies. There are two microfacies: Storm beach and semi deep lacustrine mud. They are characterized by two lithologic associations, i.e. unequal thickness interbedding of grey elastic limestone and grey black shale, and thick black shale with thin shell limestone. With high content of brittle minerals and better permeability and compressibility, it is a sweet spot for shale oil and gas enrichment. Compared with the typical shale gas drilling, The semi deep lacustrine facies of the second member is mainly distributed in Fuling Jiannan area in eastern Sichuan, which is conducive to the formation of shale oil and gas. The carbonate shallow lacustrine clastic shoals of the first and third members are mainly distributed in Central Sichuan Northeast Sichuan, which is conducive to the enrichment of tight oil and gas.

**Keywords:** lithological association; continental shale; shale oil and gas; Da'anzhai section; Fulu Town section; Sichuan Basin

四川盆地在多旋回构造演化过程中,发育了海相、陆相及海陆过渡相三类富含有机质的泥页岩层系<sup>[1-3]</sup>。其中,陆相泥页岩层系已在川东涪陵北地区大三亚段厚层介屑灰岩致密储层试获日产气 $(11 \sim 13) \times 10^4 \text{ m}^3$ ,日产油 $54 \sim 68 \text{ m}^3$ <sup>[4-6]</sup>,在大二亚段泥页岩层段水平井压裂试获日产气 $(1.4 \sim 1.7) \times 10^4 \text{ m}^3$ 页岩气流,揭示了川东地区大安寨段具备良好的致密油气和页岩油气形成条件和立体兼探潜力<sup>[7]</sup>。但湖相泥页岩与海相页岩相比,由于湖盆分布范围较海相规模小,受周缘构造活动影响大,导致沉积相变快,岩性变化频繁,岩性组合类型多样(互层、夹层),储层非均质性强的特点<sup>[8-9]</sup>。因此,精细研究和建立四川盆地侏罗系湖相泥页岩地质剖面特征,对湖相页岩油气形成条件分析具有重要意义。

四川盆地中下侏罗统地层自下而上发育下侏罗统自流井组( $J_{1z}$ )、中侏罗统凉高山组( $J_{2l}$ )和沙溪庙组( $J_{2s}$ )。自流井组自下而上又可划分为珍珠冲段

( $J_{1zz}$ )、东岳庙段( $J_{1dy}$ )、马鞍山段( $J_{1m}$ )和大安寨段( $J_{1d}$ )。其中,大安寨段为稳定构造背景下的淡水湖沉积体系<sup>[10-11]</sup>,经历了完整的区域性湖侵—湖退沉积旋回,自下而上又可划分为大一亚段( $J_{1d}^1$ )、大二亚段( $J_{1d}^2$ )、大三亚段( $J_{1d}^3$ )。大套半深湖暗色页岩主要发育在最大湖侵期的大二亚段,并以其层位稳定、广泛发育淡水双壳类生物和富含有机质为显著特征,是页岩油气勘探的主要层段<sup>[12]</sup>,大一亚段、大三亚段为湖退期浅湖介屑滩沉积,是致密油气勘探的主要层段。

通过对川东地区中国石化涪陵工区北部湖相大安寨段页岩油气勘探区周缘野外剖面的踏勘,优选重庆市梁平区福禄镇剖面大安寨段开展实测工作。该剖面位于乡镇公路旁,具有交通便利,出露完整、植被覆盖少,泥页岩变化特征明显的优势;构造上位于梁平与万州交界处的万县复向斜北部(图1),隶属于川东高陡构造带<sup>[13-14]</sup>。前人对大安寨段野外剖面

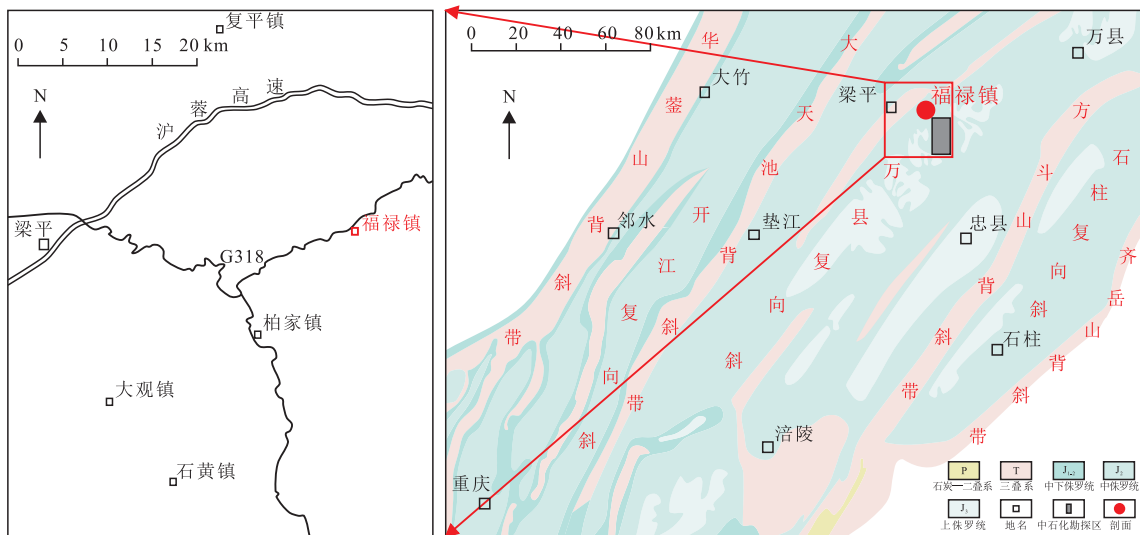


图1 梁平福禄镇剖面交通位置图和区域构造地质<sup>[14]</sup>

Fig. 1 Traffic location map and regional tectonic geological map of Fulu Town section, Liangping<sup>[14]</sup>

的研究,主要针对大一亚段和大三亚段厚层介屑灰岩开展致密油气储层发育特征的研究,认为该介屑灰岩储层为典型的超低孔、低渗裂缝性致密储层,次生溶蚀孔、缝发育不均衡,非均质性较强,裂缝是油气赋存主要空间<sup>[15-16]</sup>,而对大二段野外剖面变化特征不明显的湖相泥页岩,仅开展大段分层,简单岩性描述,少量采样进行烃源条件评价等工作,未从泥页岩源、储配置角度,对复杂的泥页岩岩性组合类型开展生烃、储集和可压性精细研究和评价,不利于对陆相

页岩油气形成物质基础的认识。

## 1 小层划分及特征描述

福禄镇剖面位于四川省重庆市梁平区福禄镇乡村公路旁,倾向305°,倾角41°。剖面长269.88 m,地层厚度109.88 m。按照接触关系、颜色、岩性组合、沉积构造和古生物化石特征,将福禄镇剖面自下而上划分为31个小层(表1、图2),采集样品42块,其

表1 福禄镇剖面大安寨段分层数据  
Table 1 Layered data of Da'anzhai section in Fulu Town

分层号	地层名称	岩性描述	样品号	导线号	倾向λ (°)	倾角α (°)	方位角Φ (°)	坡度角β (°)	分层厚度 (m)	累计厚度 (m)
30	凉高山组	灰绿色厚层块状细砂岩		9	161	49	178	2	2.90	109.88
29	过渡层	灰黑色泥岩夹灰绿色细砂岩		8	161	49	178	2	2.60	106.98
28		震积角砾岩		8	161	49	178	2	2.30	104.38
27		灰黑色微晶灰岩	F-42	8	161	49	178	2	5.42	102.08
26		灰色介屑灰岩夹黑色泥岩	F-41	8	169	36	130	2	3.64	96.66
25		灰色微晶介屑灰岩夹灰黑色泥岩	F-40	7	171	38	130	2	2.16	93.02
24	大三段	灰色介屑灰岩与泥岩互层	F-39	7	171	38	130	2	1.02	90.86
23		灰色微晶介屑灰岩	F-38	7	171	38	130	2	0.62	89.84
22		灰褐色微晶灰岩夹灰黑色页岩	F-37	7	171	38	130	2	1.37	89.22
21		灰黑色泥岩夹粉晶灰岩	F-36	7	160	23	156	1	2.25	87.85
20		灰色粉晶介屑灰岩	F-34、35	7	155	23	156	1	1.40	85.60
19		灰黑色泥岩夹微晶灰岩	F-32、33	6	150	29	156	1	6.12	84.20
18		灰色微晶灰岩	F-31	6	158	26	156	1	0.63	78.08
17		灰色泥岩与介壳灰岩互层		6	158	26	156	1	3.07	77.45
16		灰色泥岩夹介屑灰岩	F-30	6	158	26	156	1	4.26	74.38
15		黑色泥岩与介壳灰岩互层	F-28、29	6	158	27	156	1	2.65	70.12
14		黑色泥岩夹薄层灰岩	F-27	6	168	34	156	1	1.70	67.47
13	大二段	灰色介屑粉晶灰岩	F-25、26	6	170	24	156	1	1.36	65.77
12		灰黑色泥岩夹介壳灰岩	F-23、24	6	163	21	156	1	3.90	64.41
11		灰色介壳灰岩	F-22	6	140	24	156	1	1.12	60.51
10		黑色页岩夹薄层介壳灰岩	F-18、19、20、21	6	158	36	188	2	24.12	59.39
9		灰黑色页岩夹介壳灰岩	F-17下、中、上	6	140	24	188	2	9.18	35.27
8		灰色介壳灰岩与灰黑色页岩互层	F-12、13、14、15、16	5	158	35	188	2	3.15	26.09
7		灰色介屑灰岩夹薄层泥岩	F-9、10、11	5	170	22	237	2	3.27	22.94
6		黑色泥岩	F-6、7、8	3-4	192	23	237	2	3.51	19.67
5		灰色介屑灰岩	F-5	2	150	14	237	2	1.93	16.16
4		灰黑色泥岩夹薄层灰岩	F-4	1	150	14	237	2	2.87	14.23
3	大一段	灰黑色泥岩		1	150	14	222	2	2.05	11.36
2		灰色亮晶介屑灰岩	F-3	1	194	14	222	2	2.18	9.31
1		灰褐色介屑灰岩夹泥岩	F-2	1	198	14	222	2	4.03	7.13
0	马鞍山段	灰绿色粉砂岩	F-1	0	155	13	222	2	3.10	3.10

中重点对大安寨段泥页岩层段进行了较密集采样,泥页岩采集样品31块,占总采集样品的74%。开展了有机地化(有机碳 TOC)、储层物性(薄片、亚离子抛光—扫描电镜、孔隙度、渗透率)和可压性(全岩 X 衍射)三大类测试,对不同岩性组合类型的生烃、储集和可压性特征进行差异分析,同时与四川盆地典型页岩油气钻井对比,为四川盆地大安寨段标准地质剖面的建立和湖相页岩油气评价提供科学依据。

该剖面底部0层为马鞍山段灰绿色粉砂岩,大安寨段为1—28层,自下而上可划分为大一亚段(1—5层)、大二亚段(6—19层)、大三亚段(20—28层);29—30层为中侏罗统凉高山组底部过渡层,岩性为灰黑色泥岩夹灰绿色细砂岩、灰绿色厚层块状细砂岩。大安寨段剖面出露完整,厚度101.28 m,其大一亚段底部(1号层)与下伏马鞍山段(0号层)为连续沉积,呈整合接触,两层产状均为倾向161°,倾角49°;大三亚段顶(28号层)与上覆中侏罗统凉高山组过渡

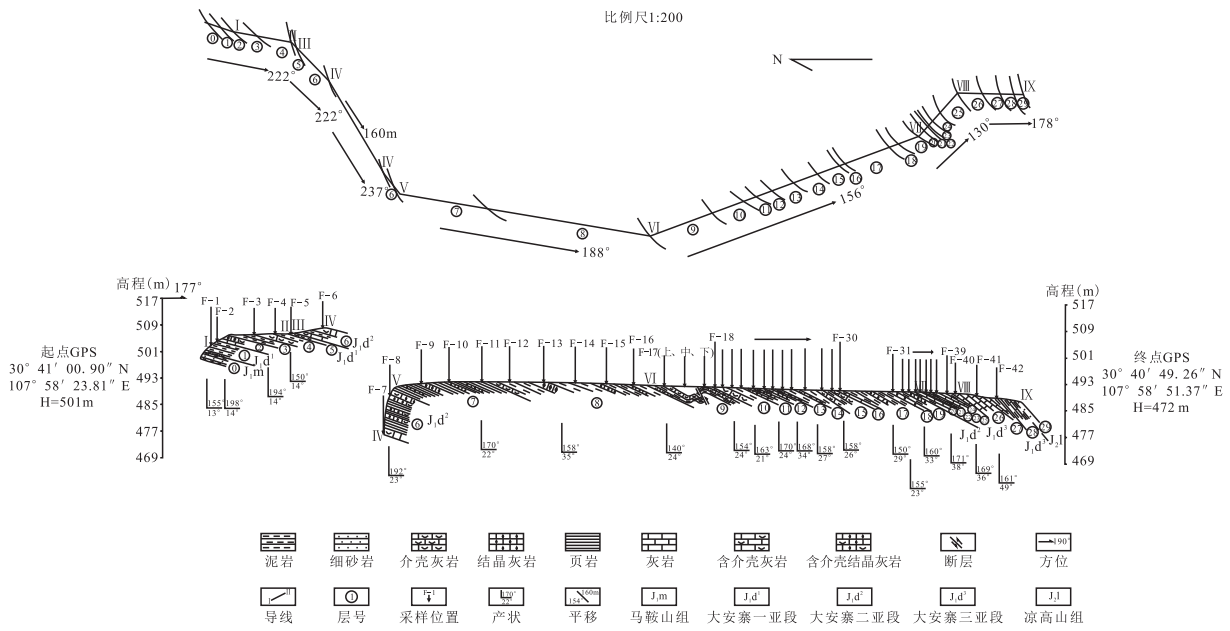


图2 福祿镇剖面大安寨段实测剖面

Fig. 2 Measured profile of Da'anzhai section in Fulu Town

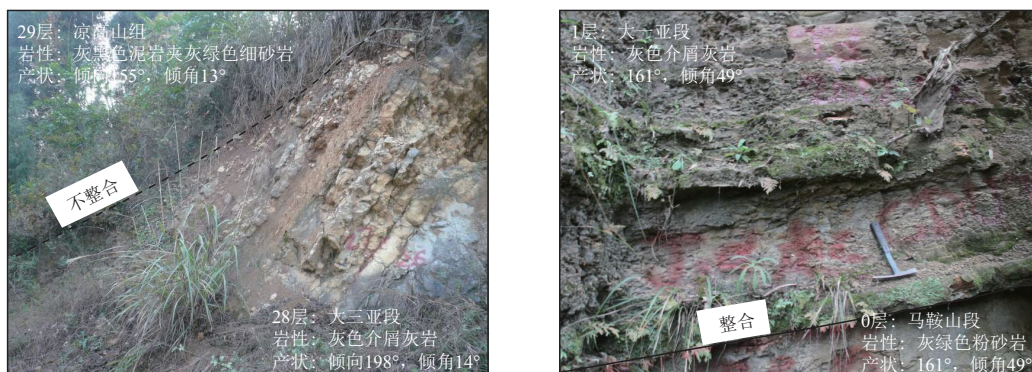


图3 福祿镇剖面大安寨段顶、底界限特征

Fig. 3 Characteristic of top and bottom boundary of Da'anzhai section in Fulu Town

层(29号层),因受燕山早期运动影响,多表现为不整合或侵蚀沉积间断面,为早期暴露作用的侵蚀冲刷接触关系,两层产状也存在不同,大三亚段顶28号层产状为倾向198°,倾角14°,凉高山组过渡层29号层产状为倾向155°,倾角13°(图3),该过渡层厚度2.6 m,岩性为灰黑色泥岩夹灰绿色细砂岩,区域可对比,多为杂色砂岩、泥岩过渡带。大安寨段各小层厚度、岩性描述、沉积相和源—储地质特征参数综合描述见表2、图4。

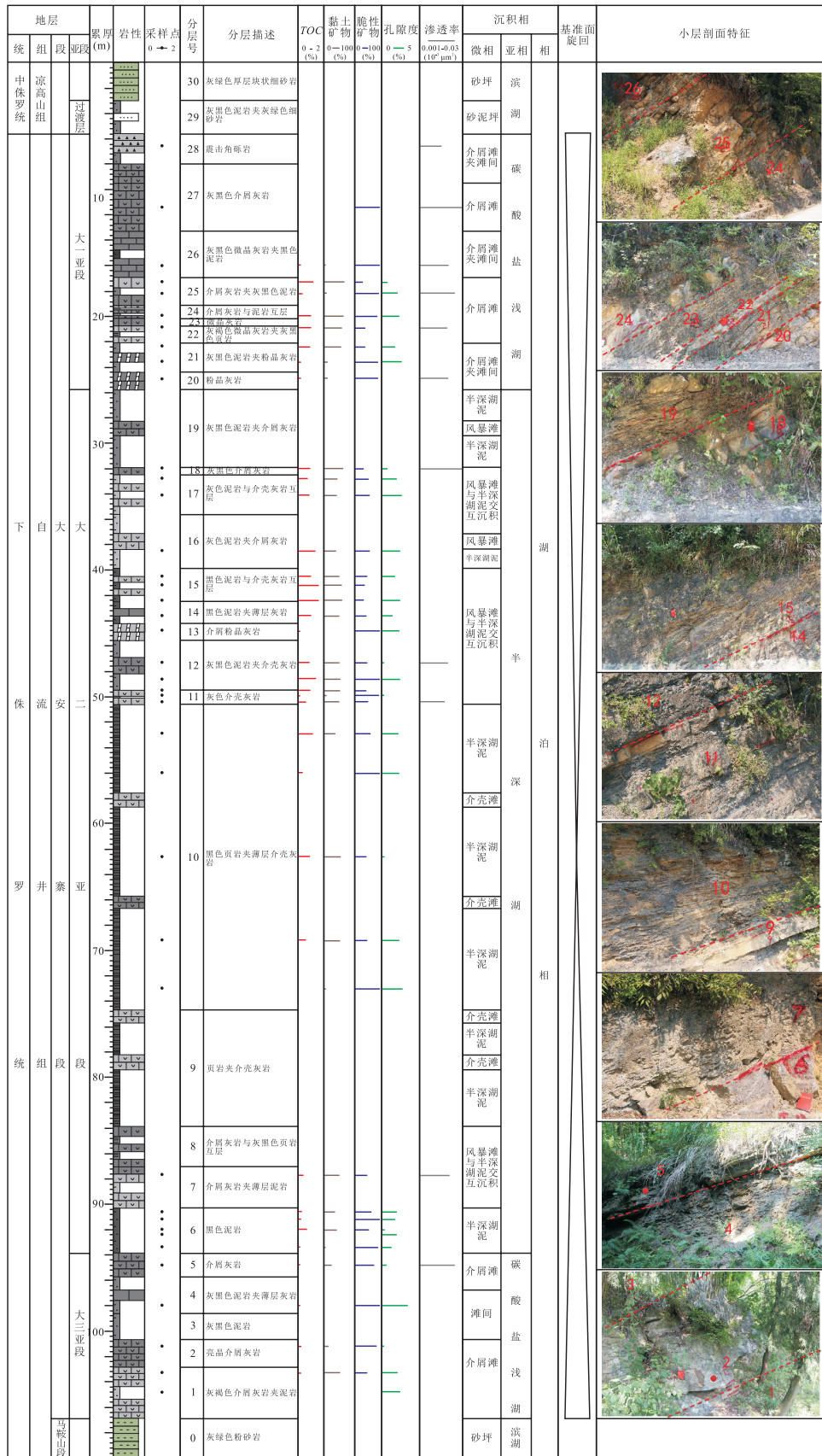
大一亚段:可划分为5个小层(1—5小层),厚度为13.06 m,与下伏马鞍山段(J<sub>1</sub>m)为连续沉积,呈整合接触。大一亚段为碳酸盐浅湖高能带介屑滩和滩间沉积,岩性主要以灰色厚层介屑灰岩、介屑灰岩夹薄层泥岩为主,泥地比为37.7%。其中1、3、5小层岩性为灰褐色厚层介屑灰岩,累计厚度8.01 m,单层厚约30~50 cm;受高能带湖浪持续颠选作用的影响,淡水双壳类生物经强烈破碎、分选和磨圆改造成介屑发育,多重结晶至粉—细晶;2、4小层岩性为灰黑色泥岩夹薄层灰岩,厚度5.05 m,风化严重,薄层介屑灰岩单层厚约3~8 cm左右,呈断续分布。

大二亚段:可划分为14个小层(6—19小层),厚度为68.04 m,与下覆大一亚段为连续沉积,其界限划分以黑色页岩出现为标志。大二亚段为半深湖相低能环境沉积,发育湖坡风暴滩和半深湖泥2种微相,岩性主要以灰色介屑灰岩与灰黑色页岩不等厚互层和厚层黑色页岩夹薄层介壳灰岩为主,泥页岩累计厚度占地层厚度的74.6%;该低能环境,瓣鳃介壳保存较完整,分选和磨圆改造作用弱。随着湖侵规模的变化,纵向上又可进一步划分为湖坡风暴滩—半深湖泥—湖坡风暴滩三个阶段。6—8小层为湖坡风暴滩与半深湖泥交替沉积,岩性主要以纹层状灰色介屑灰岩与灰黑色页岩不等厚互层为特征,累计厚度9.93 m,泥地比55.5%;9—10小层为最大湖侵阶段的半深湖泥沉积,岩性主要以厚层黑色页岩夹薄层介壳灰岩为主,累计厚度33.3 m,泥地比高达88%;11—19小层为初始湖退期,再次以湖坡风暴滩与半深湖泥交替沉积为特征,岩性以灰色介屑灰岩与灰黑色页岩不等厚互层,累计厚度24.81 m,泥地比64.4%。

大三亚段:可划分为8个小层(20—28小层),厚度为20.18 m,与下覆大二亚段为连续沉积,其界限

表2 福禄镇剖面大安寨段样品分析测试数据  
Table 2 Sample analysis and test data of Da'anzhai section in Fulu Town

样号	岩性描述	TOC (%)	黏土矿物 (%)	石英、长石 (%)	碳酸盐矿物 (%)	其他矿物 (%)
FL-01	强风化灰褐色泥岩	0.20	53	34	13	0
FL-02	介屑灰岩	0.17	16	36	48	0
FL-03	亮晶介屑灰岩	0.07	3	1	95	1
FL-04	灰黑色泥岩	0.11	28	19	52	1
FL-05	介屑灰岩	0.09	7	9	55	29
FL-06	深灰色页岩					
FL-07	深灰色页岩	0.65	43	29	26	2
FL-08	亮晶介屑灰岩	0.18	4	2	94	0
FL-09	灰色页岩	0.24	36	41	22	1
FL-10	灰色页岩	0.36	50	24	24	2
FL-11	介屑灰岩	0.05	6	1	93	0
FL-12	灰黑色页岩	0.55	53	29	15	3
FL-13	深灰色页岩	0.86	55	31	12	2
FL-14	介屑灰岩	0.33	4	7	86	3
FL-15	深灰色页岩	1.08	38	19	39	4
FL-16	深灰色页岩	0.59	48	38	13	1
FL-17上	介壳灰岩	0.10	8	4	86	2
FL-17中	深灰色页岩	0.89	53	26	16	5
FL-17下	介壳灰岩	0.11	6	1	93	0
FL-18	深灰色页岩	1.36	56	33	7	4
FL-19	灰黑色页岩	0.69	55	28	15	2
FL-20	灰黑色页岩	0.82	51	27	21	1
FL-21	灰褐色介壳灰岩	0.16	4	12	81	3
FL-22	深灰色页岩	0.99	52	26	19	3
FL-23	深灰色页岩	1.58	61	29	6	4
FL-24	深灰色页岩	1.59	59	33	6	2
FL-25	深灰色页岩	0.94	52	29	17	2
FL-26	介壳灰岩	1.32	40	32	26	2
FL-27	深灰色页岩	0.83	43	48	7	2
FL-28	深灰色页岩	0.71	45	37	16	2
FL-29	深灰色页岩	0.91	62	30	5	3
FL-30	介壳灰岩	0.20	13	4	82	1
FL-31	灰色介壳灰岩	0.18	12	2	86	0
FL-32	灰色页岩	0.92	57	35	6	2
FL-33	灰色页岩	0.99	58	26	13	3
FL-34	介壳灰岩	0.32	12	3	83	2
FL-35	灰黑色页岩	1.02	64	28	4	4
FL-36	介壳灰岩	0.24	10	4	81	5
FL-37	介屑灰岩	0.31	6	3	88	3
FL-38	灰黑色页岩	1.15	66	25	5	4
FL-39	介屑灰岩	0.12	4	2	93	1
FL-40	介屑灰岩	0.03	5	1	93	1
FL-41	介屑灰岩	0.04	5	1	93	1



划分以厚层介屑灰岩再次出现为标志。大三亚段与大一段一样再次发育碳酸盐浅湖高能带介屑滩和滩间沉积,岩性主要为厚层灰色粉晶—微晶介屑灰岩,泥地比仅为16.2%。其中仅21、24小层岩性分别为灰黑色泥岩夹粉晶灰岩、灰色介屑灰岩与泥岩互层,其余6层主要以灰色粉晶—微晶介屑灰岩,单层厚约30~50 cm,多重结晶至细—中晶,介屑发育。大三亚段顶部28小层可见厚度2.3 m的震积角砾岩,含钙质结核,发育溶蚀孔洞被方解石充填,其成因与碳酸盐岩震动液化相关<sup>[17]</sup>。

## 2 沉积模式及岩性组合特征

由区域沉积相研究表明,四川盆地早侏罗纪为印支晚幕运动后的扇三角洲—湖泊环境沉积,经历了东岳庙期、大安寨期2次不同规模的湖侵<sup>[18]</sup>,发育了碳酸盐湖泊和陆源碎屑湖泊2种沉积模式<sup>[19]</sup>。大安寨段沉积时期,构造相对稳定,受益缘陆源碎屑物源的影响较小,湖侵期范围最大,以碳酸盐湖泊沉积模式为特征(图5),发育碳酸盐岩浅湖亚相高能介屑滩及滩间、半深湖亚相湖坡风暴滩和半深湖泥3种微相,分别对应的厚层介屑灰岩夹薄层泥页岩、页岩与介屑灰岩不等厚互层和厚层页岩夹薄层介壳灰岩3种岩性组合。其中湖坡风暴滩微相为浅湖介屑滩经风暴流作用打碎后间歇就近堆积在湖盆斜坡位置,

垂向上具有风暴滩与半深湖泥交替沉积特点<sup>[20]</sup>,生物以介屑、介壳为主,岩性组合以黑色、灰黑色页岩与薄层介屑灰岩不等厚互层,水平纹层发育;半深湖泥微相富含黄铁矿、菱铁矿等还原性自生矿物沉淀,为较深水环境,岩性组合以页岩夹薄层介壳灰岩为主,页岩沉积厚度较大,水动力较弱,双壳类生物保存完整,水平层理较发育。

通过福禄镇剖面大安寨段碳酸盐湖泊岩性组合地质特征对比表明(表3),梁平区福禄镇大安寨段大套暗色页岩主要发育在大二亚段。该时期因总体处于湖侵期半深湖相,受陆源碎屑物源的影响较小,水体清澈,浮游生物丰富,处于还原环境,有利于有机质的富集和保存<sup>[21]</sup>,生烃条件相对较好,TOC分布于0.3%~1.7%,平均为1.2%,有机质类型主要为II<sub>2</sub>;孔隙类型主要以黏土矿物间线状孔隙、溶蚀孔等无机矿物孔为主<sup>[22-23]</sup>,基质孔隙度0.7%~2.8%,平均为1.9%,具有相对较好源、储条件;特别是湖坡风暴滩微相发育页岩与介屑灰岩不等厚互层岩性组合,纹理和粒缘缝较发育,有利于水平微裂隙的形成,较半深湖泥沉积的厚层页岩夹薄层介壳灰岩更具良好的渗透性,而且方解石、石英等脆性矿物含量高(平均61%),黏土矿物含量较低(平均为31%),脆性指数可达0.6,有利于页岩压裂改造<sup>[24-25]</sup>,是页岩油气富集的甜点层段。但与海相页岩TOC普遍大于2%,储层有机质孔发育,基质孔隙度较高,可达5%~6%,

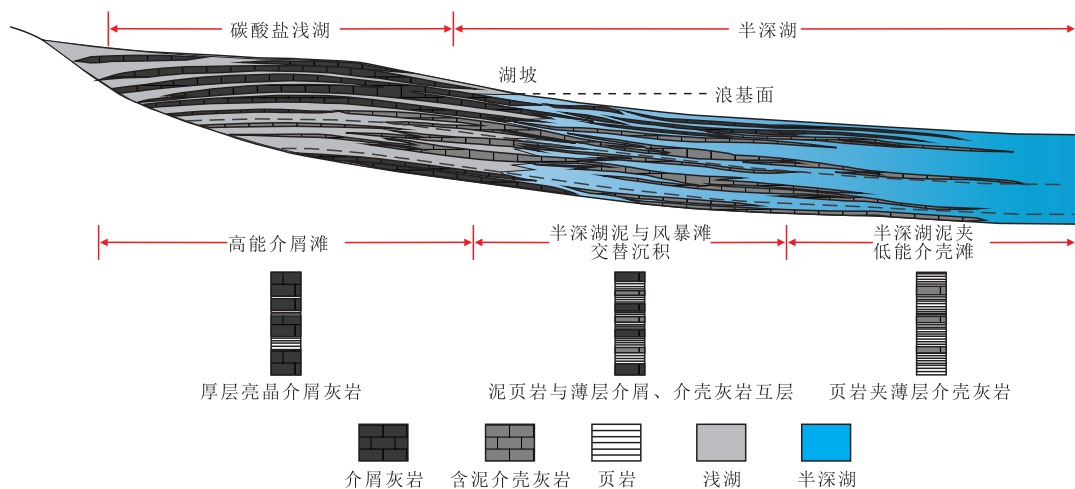



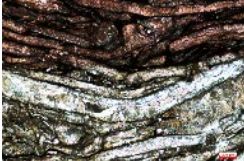




图5 碳酸盐湖泊不同沉积亚相及岩性组合特征

Fig. 5 Characteristics of different sedimentary subfacies and lithologic assemblages in a carbonate lake

表3 福祿镇剖面大安寨段碳酸盐湖泊岩性组合地质特征对比  
Table 3 Comparison of geological characteristics of carbonate Lake lithologic association in Da'anzhai section of Fulu Town, Liangping

		大一、三亚段	大二亚段	
亚相类型		浅湖	半深湖	
微相类型		高能介屑滩	湖坡风暴滩	半深湖泥
水动能条件		强	较强	弱
沉积构造		块状	纹层状	页理状
泥地比(%)		16~38	56~64	88
岩性组合		厚层介屑灰岩	泥页岩与介屑灰岩不等厚互层	厚层页岩夹薄层介壳灰岩
沉积相特征	宏观剖面特征			
	微观特征			
烃源特征	TOC(%)	0.1~1.1,平均0.6		0.3~1.7,平均1.2
	孔隙度(%)	0.8~3.1,平均2.2		0.7~2.8,平均1.9
储层特征	孔隙类型	晶间孔和溶蚀孔	黏土矿物线状孔为主、溶蚀孔	黏土矿物线状孔隙为主
	裂缝发育类型	构造裂缝较发育	纹理缝、粒缘缝发育	页理缝较发育
可压性	黏土矿物(%)	10~21,平均15	24~41,平均31	38~58,平均45
	硅质(%)	11~30,平均19	19~29,平均26	27~45,平均35
	钙质(%)	40~75,平均58	20~47,平均36	8~24,平均14
	脆性指数	平均0.8	平均0.6	平均0.45

脆性矿物多为生物硅可压性好相比,湖相泥页岩源、储条件均较海相差。此外,大一亚段和大三亚段发育的厚层介屑灰岩,TOC平均仅0.6%,孔隙类型主要以晶间孔和溶蚀孔为主,基质孔隙度0.8%~3.1%,平均为2.2%,构造裂缝较发育,具有裂缝性致密储层的特点。

### 3 沉积相区域分布特征

通过四川盆地东—西向CH100井—SS1井—YL4井—PG9井—TYQ1井—福祿镇剖面—XL101井

—JYHF-1井大安寨段沉积区域相对比结果可知:大安寨段碳酸盐浅湖—半深湖主要分布于川东—川东北地区(图6),层位、岩性和厚度都相对稳定,但由于不同地区与盆缘远近和物源的差异,沉积相及岩性组合也存在不同。最大湖侵期的半深湖范围主要分布于在川东涪陵—建南地区。川东涪陵地区大安寨段因远离盆缘,除大一亚段和大三亚段为碳酸盐浅湖介屑滩沉积外,大二段沉积时期主要发育半深湖泥及湖坡风暴滩沉积;涪陵以东的建南地区,因受盆地东缘碎屑物源的影响,大一亚段和大三亚段为碎屑岩浅湖沉积,以砂质滩沉积为主,大二亚段为半深

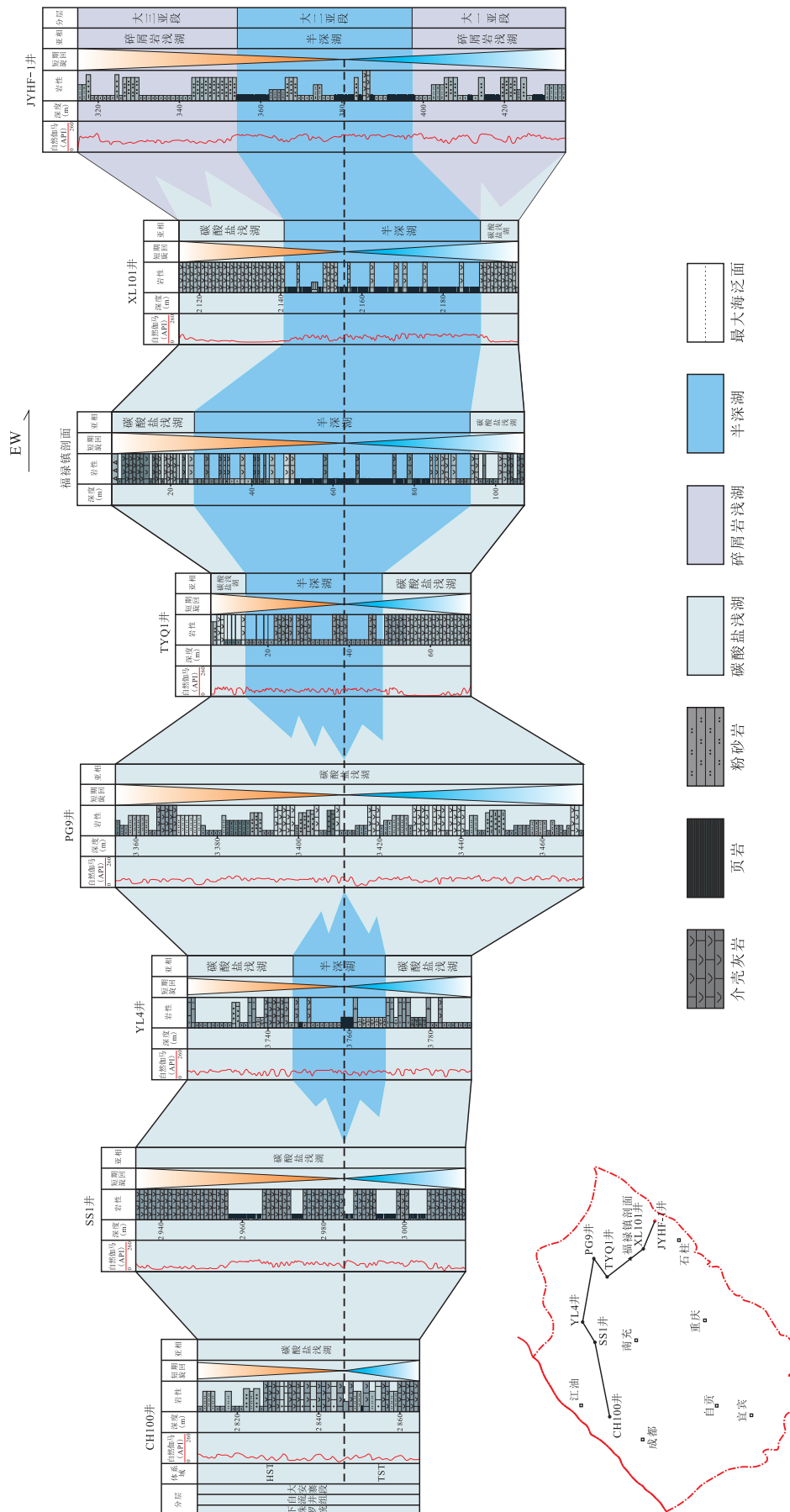


图6 四川盆地大安寨段钻井—露头沉积相区域对比剖面

Fig. 6 Correlation profile of drilling outcrop sedimentary facies in Da'anzhai section of Sichuan Basin

湖泥及介壳、砂质滩混积沉积;涪陵北西方向的达县、元坝、阆中地区,大安寨段主要为碳酸盐浅湖沉积,湖侵、湖退的3个阶段不明显,类似涪陵地区三段式岩性组合难以划分,大二段半深湖亚相的沉积时期短,厚度薄,以页岩为主体夹灰岩的岩性组合不发育。因此,川东涪陵—建南地区为大安寨段湖盆中心,半深湖亚相最发育,为页岩油气发育的最有利的半深湖沉积相带;向北西方向逐渐过渡为碳酸盐浅湖亚相,有利于致密油气的富集。

## 4 结论

1) 梁平区福禄镇剖面邻近公路,地层出露完整,地层界限清晰,大安寨段累计厚度101.28 m,展示了一个完整的初始湖侵—最大湖侵—初始湖退沉积旋回,沉积亚相分别为碳酸盐岩浅湖—半深湖—碳酸盐岩浅湖,岩性组合具有明显的三段式,微相及岩性组合类型多样,其中大二亚段半深湖亚相厚度68.04 m,占剖面厚度的67%,为良好的湖相页岩油气研究的典型剖面。

2) 梁平区福禄镇大安寨段主要为碳酸盐湖泊沉积模式。大一亚段、大三亚段呈碳酸盐浅湖高能介屑沉积,大二亚段为半深湖亚相沉积,具有湖坡风暴滩和半深湖泥2个微相,分别以灰色介屑灰岩与灰黑色泥页岩不等厚互层和厚层黑色页岩夹薄层介壳灰岩2种岩性组合为特征,泥页岩厚度大,有机质含量较高,特别是页岩与介屑灰岩互层组合,有利于微裂隙发育,脆性矿物含量高,具有更好的渗透性和可压性,是页岩油气富集的甜点层段。

3) 由于陆相侏罗系半深湖相泥页岩与海相龙马溪组深水陆棚优质页岩沉积环境存在较大的差异,因此,湖相页岩油气形成的物质基础较海相差。精细研究半深湖不同微相泥页岩岩性组合的源储配置关系及其可压裂性,优选水平井穿行的甜点位置,开展适应性工程工艺技术的攻关,是湖相页岩气的实现勘探突破的关键。

### 参考文献

[1] 康玉柱. 中国非常规泥页岩油气藏特征及勘探前景展望[J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 1-5.  
KANG Yuzhu. Characteristics and exploration prospect of

unconventional shale gas reservoirs in China[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(4): 1-5.

[2] 张金川, 姜生玲, 唐玄, 等. 我国页岩气富集类型及资源特点[J]. 天然气工业, 2009, 29(12): 109-114.

ZHANG Jinchuan, JIANG Shengling, TANG Xuan, et al. Accumulation types and resources characteristics of shale gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2009, 29(12): 109-114.

[3] 张金川, 聂海宽, 徐波, 等. 四川盆地页岩气成藏地质条件[J]. 天然气工业, 2008, 28(2): 151-156.

ZHANG Jinchuan, NIE Haikuan, XU Bo, et al. Geological condition of shale gas accumulation in Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2): 151-156.

[4] 王良军, 王庆波. 四川盆地涪陵自流井组页岩气形成条件与勘探方向[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2013, 43(5): 757-764.

WANG Liangjun, WANG Qingbo. Formation conditions and explorative directions of Jurassic shale gas in Fuling, Sichuan Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2013, 43(5): 757-764.

[5] 朱彤, 曹艳, 张快. 美国典型页岩气藏类型及勘探开发启示[J]. 石油实验地质, 2014, 36(6): 1-7.

ZHU Tong, CAO Yan, ZHANG Kuai. Typical shale gas reservoirs in USA and enlightenment to exploration and development[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(6): 1-7.

[6] 魏祥峰, 黄静, 李宇平, 等. 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, 2014, 41(3): 970-981.

WEI Xiangfeng, HUANG Jing, LI Yuping, et al. The main factors controlling the enrichment and high production of Da'anzhai member continental shale gas in Yuanba area[J]. Geology in China, 2014, 41(3): 970-981.

[7] 郑荣才, 何龙, 梁西文, 等. 川东地区下侏罗统大安寨段页岩气(油)成藏条件[J]. 天然气工业, 2013, 33(12): 30-40.

ZHENG Rongcai, HE Long, LIANG Wenxi, et al. Forming conditions of shale gas (oil) plays in the Lower Jurassic Da'anzhai member in the eastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(12): 30-40.

[8] 郭旭升, 胡东风, 李宇平, 等. 海相和湖相页岩气富集机理分析与思考: 以四川盆地龙马溪组和自流井组大安寨段为例[J]. 地学前缘, 2016, 23(2): 18-28.

GUO Xusheng, HU Dongfeng, LI Yuping, et al. Analyses and thoughts on accumulation mechanisms of marine and lacustrine shale gas: A case study in shales of Longmaxi Formation and Da'anzhai Section of Ziliujing Formation in Sichuan Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(2): 18-28.

[9] 朱彤, 俞凌杰, 王烽. 四川盆地海相、湖相页岩气形成条件对比及开发策略[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(4): 633-641.

ZHU Tong, YU Lingjie, WANG Feng. Comparative analysis of the accumulation conditions and development strategies of the

- marine and lacustrine shale gas from the Sichuan Basin, China [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2017, 28(4): 633-641.
- [10] 胡宗全,郑荣才,熊应明.四川盆地侏罗统大安寨组层序分析[J].*天然气工业*,2000,20(3):34-37.  
HU Zongquan, ZHENG Rongcai, XIONG Yingming. Sequence analysis of the Lower Jurassic Da'anzhai Formation in Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2000, 20(3): 34-37.
- [11] 郑荣才.四川盆地侏罗统大安寨段高分辨率层序地层学[J].*沉积学报*,1998,16(2):42-49.  
ZHENG Rongcai. High-resolution sequence stratigraphy of Da'anzhai Formation, Lower Jurassic in Sichuan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(2): 42-49.
- [12] 李延钧,冯媛媛,刘欢,等.四川盆地湖相页岩气地质特征与资源潜力[J].*石油勘探与开发*,2013,40(4):423-428.  
LI Yanjun, FENG Yuanyuan, LIU Huan, et al. Geological characteristics and resource potential of lacustrine shale gas in the Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2013, 40(4): 423-428.
- [13] 李忠权,冉隆辉,陈更生,等.川东高陡构造成因地质模式与含气性分析[J].*成都理工学院学报*,2002,29(6):605-609.  
LI Zhongquan, RAN Longhui, CHEN Gengsheng, et al. Genetic geologic model and gas-bearing analysis of high and steep structures in east Sichuan[J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2002, 29(6): 605-609.
- [14] 韦清海.四川省地质局区测报告—垫江幅1:20万[R].成都:四川省地质局107地质队,1980.  
WEI Qinghai. Regional survey report of Sichuan Geological Bureau: Dianjiang, 1:200 000[R]. Chengdu: No. 107 Geological Team, Sichuan Geological Bureau, 1980.
- [15] 倪超,郝毅,陈更生,等.四川盆地中部侏罗系大安寨段含有机质泥质介壳灰岩储层的认识及其意义[J].*海相油气地质*, 2012,17(2):45-56.  
NI Chao, HAO Yi, CHEN Gengsheng, et al. Cognition and Significance of Lower Jurassic Da'anzhai Organic Muddy Shell Limestone Reservoir in Central Sichuan Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2012, 17(2): 45-56.
- [16] 何龙,郑荣才,梁西文,等.川东涪陵地区大安寨段裂缝控制因素及期次分析[J].*岩性油气藏*,2014,26(4):88-96.  
HE Long, ZHENG Rongcai, LIANG Xiwen, et al. Controlling factors and development periods of fracture of Da'anzhai member in Fuling area, eastern Sichuan Basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2014, 26(4): 88-96.
- [17] 林世国,郑荣才,刘满仓,等.陆相碎屑沉积岩形成机理及其研究意义[J].*天然气地球科学*,2013,24(1):78-84.  
LIN Shiguo, ZHENG Rongcai, LIU Mancang, et al. Formation mechanism and significance of continental clastic seismite[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2013, 24(1): 78-84.
- [18] 朱彤.四川盆地陆相页岩油气富集主控因素及类型[J].*石油实验地质*,2020,42(3):345-354.  
ZHU Tong. Main controlling factors and enrichment types of continental shale oil and gas in Sichuan Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2020, 42(3): 345-354.
- [19] 朱彤,龙胜祥,王烽,等.四川盆地湖相泥页岩沉积模式及岩石相类型[J].*天然气工业*,2016,6(8):22-28.  
ZHU Tong, LONG Shengxiang, WANG Feng, et al. Sedimentary models and lithofacies types of lacustrine mud shale in the Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2016, 6(8): 22-28.
- [20] 冯荣昌,吴因业,杨光,等.川中大安寨段风暴沉积特征及分布模式[J].*沉积学报*,2015,33(5):909-908.  
FENG Rongchang, WU Yinye, YANG Guang, et al. Storm deposition of the Da'anzhai member (Jurassic) in central Sichuan basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2015, 33(5): 909-908.
- [21] 朱彤,胡宗全,刘忠宝,等.四川盆地湖相页岩气源—储配置类型及评价[J].*石油与天然气地质*,2018,39(6):1146-1153.  
ZHU Tong, HU Zongquan, LIU Zhongbao, et al. Type and evaluation of the source-reservoir configuration of lacustrine shale gas in the Sichuan basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2018, 39(6): 1146-1153.
- [22] 郑荣才,郭春利,梁西文,等.四川盆地大安寨段非常规储层的储集空间类型与评价[J].*岩性油气藏*,2016,28(1):16-29.  
ZHENG Rongcai, GUO Chunli, LIANG Xiwen, et al. Characteristics and evaluation of reservoir spaces of shale gas (oil) in Da'anzhai member of Ziliujing formation in Sichuan basin[J]. *Lithologic Reservoirs*, 2016, 28(1): 16-29.
- [23] 卢炳雄,郑荣才,梁西文,等.川东地区侏罗系自流井组大安寨段页岩气(油)储层评价[J].*石油与天然气地质*,2015,36(3):488-496.  
LU Bingxiong, ZHENG Rongcai, LIANG Xiwen, et al. Evaluation of reservoirs in the Da'anzhai member of the Jurassic Ziliujing formation in Eastern Sichuan basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2015, 36(3): 488-496.
- [24] 许丹,胡瑞林,高玮,等.页岩纹层结构对水力裂缝扩展规律的影响[J].*石油勘探与开发*,2015,42(4):523-528.  
XU Dan, HU Ruilin, GAO Wei, et al. Effects of laminated structure on hydraulic fracture propagation in shale[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015, 42(4): 523-528.
- [25] 赵文韬,侯贵廷,张居增,等.层厚与岩性控制裂缝发育的力学机理研究——以鄂尔多斯盆地延长组为例[J].*北京大学学报(自然科学版)*,2015,51(6):1047-1058.  
ZHAO Wentao, HOU Guiting, ZHANG Juzeng, et al. Study on the development law of structural fractures of Yanchang formation in Longdong area, Ordos basin[J]. *Acta Scientiarum Naturalium (Universitatis Pekinensis)*, 2015, 51(6): 1047-1058.

(编辑 余聪)