

# 断裂构造变形作用下的页岩气差异富集响应

## ——以川东阳春沟断裂为例

叶欣<sup>1,2,3</sup>, 胡涛<sup>1,2\*</sup>, 闫思雨<sup>1,2</sup>, 刘成林<sup>1,2</sup>, 姜福杰<sup>1,2</sup>

1 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249

2 中国石油大学(北京)油气资源与工程全国重点实验室, 北京 102249

3 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083

\* 通信作者, [thu@cup.edu.cn](mailto:thu@cup.edu.cn)

收稿日期: 2024-06-21; 修回日期: 2024-09-09

本文由国家自然科学基金(41872128、41872127、42202133)联合资助

**摘要** 阳春沟地区是我国川东页岩气勘探的重点接替区域, 阳春沟断裂为影响研究区页岩气成藏的重要构造, 但研究程度整体较低。为明确阳春沟断裂构造变形特征及其对页岩气差异富集的地质意义, 本文基于最新的三维地震资料解释, 刻画了阳春沟断裂的几何学特征, 结合断层性质及活动时期分析了成因机制, 探讨了阳春沟断裂与遵义断裂的关系以及对页岩气成藏的影响。研究表明: (1) 阳春沟断裂主要为自东向西逆冲构造, 具有左行压扭特征, 纵向上表现为沿志留系、寒武系发生滑脱的多条叠置、近乎平行的逆冲滑脱断层带, 控制了中浅层形变层的断展背斜; (2) 阳春沟断裂不属于遵义断裂的一部分, 二者变形特征差异巨大, 具有完全不同的构造样式; (3) 阳春沟断裂形成于雪峰造山导致遵义断层左行逆冲走滑和晚期弧形褶皱过程中, 经历了晚侏罗世—晚白垩世的不均匀收缩和晚白垩世自东向西逆冲滑脱; (4) 阳春沟断层形成了阳春沟背斜和复杂缝网, 其中阳春沟背斜降低了页岩埋深、减缓了页岩热演化, 复杂缝网增加了储集空间, 但未严重破坏保存条件, 二者有利于页岩气运移和聚集成藏, 而地层高陡和压扭断层的发育则对页岩气藏起破坏作用。研究结果对认识盆山耦合过程及页岩气勘探提供了参考。

**关键词** 阳春沟断层; 双重逆冲滑脱; 成因机制; 页岩气勘探; 四川盆地

中图分类号: P618.13

## Differential enrichment response of shale gas under the deformation of fault structures: A case study of Yangchungou fault in eastern Sichuan Basin

YE Xin<sup>1,2,3</sup>, HU Tao<sup>1,2</sup>, YAN Siyu<sup>1,2</sup>, LIU Chenglin<sup>1,2</sup>, JIANG Fujie<sup>1,2</sup>

1 College of Geosciences, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

2 State Key Laboratory of Petroleum Resources and Engineering, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China

3 Sinopec Petroleum Exploration & Production Research Institute, Beijing 100083, China

引用格式: 叶欣, 胡涛, 闫思雨, 刘成林, 姜福杰. 断裂构造变形作用下的页岩气差异富集响应——以川东阳春沟断裂为例. 石油科学通报, 2024, 09(05): 713-723

YE Xin, HU Tao, YAN Siyu, LIU Chenglin, JIANG Fujie. Differential enrichment response of shale gas under the deformation of fault structures: A case study of Yangchungou fault in eastern Sichuan Basin. Petroleum Science Bulletin, 2024, 09(05): 713-723. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2024.05.054

Received: 2024-06-21; Revised: 2024-09-09

**Abstract** The Yangchungou area is a key replacement area for shale gas exploration in eastern Sichuan in China. Its main control fault, the Yangchungou fault, is an important structure affecting shale gas accumulation in the area, but there are few previous studies, resulting in a low degree of overall research. In order to clarify the structural deformation characteristics of the Yangchungou fault and its geological significance, based on the latest interpretation of three-dimensional seismic data, the geometric characteristics of the Yangchungou fault are described. And we analyze its formation mechanism through fault properties and activity period. Based on this, the relationship between the Yangchungou and Zunyi faults and its influence on shale gas accumulation are discussed. The results show that: (1) The Yangchungou fault is mainly characterized by a planar thrust structure from east to west. The surface outcrop data show characteristics of sinistral compression and torsion. In addition, the Yangchungou fault is characterized by multiple superimposed and nearly parallel thrust slip fault zones along the Silurian and Cambrian, which control the fault development anticline of the middle and shallow deformation layers. (2) The Yangchungou fault is not a part of the Zunyi fault. The structural deformation characteristics of the Yangchungou and Zunyi faults are very different. They show completely different structural styles in seismic profiles. Therefore, the Yangchungou fault and the Zunyi fault are not two parts of the same fault. (3) The Yangchungou fault formed a small fault in a nearly north-south direction during the early Xuefeng orogeny, which caused the Zunyi fault to undergo left lateral reverse washing and sliding. The current form of the Yangchungou fault was formed in the late stage by the reverse compression torsion of the arc-shaped folded wing from east to west. Therefore, the Yangchungou fault has undergone uneven contraction from the Late Jurassic to the Late Cretaceous and reverse sliding from east to west in the Late Cretaceous. (4) The Yangchungou fault has formed the Yangchungou anticline and a complex fracture network. The Yangchungou anticline reduces the depth of shale burial, slows down the evolution of shale maturity, and the complex fracture network increases the storage space, but does not seriously damage the preservation conditions. Both are conducive to the migration and accumulation of shale gas into reservoirs. The development of high and steep strata and compressional and torsional faults can have a destructive effect on shale gas reservoirs. The results of this study can help for better understanding the basin-mountain coupling process and shale gas exploration.

**Keywords** Yangchungou fault; double reverse thrust detachment; genetic mechanism; shale gas exploration; Sichuan Basin

**doi:** 10.3969/j.issn.2096-1693.2024.05.054

## 0 引言

近年来,随着四川盆地页岩气勘探范围的扩大,川东盆缘转换带五峰-龙马溪组页岩气先后取得突破,建立了涪陵、平桥、丁山等商业气田,是目前已落实的重要富气带<sup>[1-5]</sup>。其中页岩气基础地质条件同样优越的阳春沟地区已成为页岩气勘探的新方向,前期胜页 3HF 井试获日产气 7 万余立方米,胜页 5HF 井试获日产 15 万 m<sup>3</sup> 高产商业气流,获得良好的常压页岩气勘探成果。同时由于该地区还是构造变形的转换带,经历了多期构造运动,具有复杂的演化历史,油气保存条件受到了一定的影响和破坏,因此其同样是构造研究的重点<sup>[6-7]</sup>。

阳春沟断裂是四川盆地东部一条南北向展布的断裂,与丰盛场背斜伴生,延伸约 70 km,地质填图揭示为近东倾的高角度逆断层,其北部与北东向石龙场背斜斜接,南部与区域大断裂-遵义断裂相连,二者强烈的控制川东盆缘带构造形态。前期研究人员针对阳春沟两侧平桥及丁山页岩气田构造变形特征、页岩气成藏条件<sup>[8-12]</sup>,以及盆缘主控断层-齐岳山断裂<sup>[13]</sup>、区域断裂-遵义断裂<sup>[14]</sup>的基本结构和活动演化做了详

细研究,并取得大量成果,同时对断裂控藏规律不断取得新的认识。但受地震资料限制,目前对阳春沟断裂关注较少,前期研究比较薄弱,已有的工作也主要放在了区域构造上<sup>[15]</sup>,其认识来源于区域资料综合分析,缺乏该断层带构造的局部研究。对于其是否是遵义断裂向盆内延伸的一部分、以及二者如何交接还未明确,不仅制约了盆缘构造演化的认识,还增加了页岩气勘探开发的困难。为了加深对川东盆缘构造的认知,必须对阳春沟断裂特征进行详细研究。

因此本文以阳春沟断裂为对象,结合最新采集的地震资料以及野外地质现象,利用断层相关褶皱理论对其构造特征、变形机制和演化过程进行了分析,探讨其对川东盆缘转换带页岩气保存的影响,不仅可为该区盆山耦合研究提供新的证据,还可以指导页岩气勘探开发。

## 1 区域地质概况

阳春沟断裂地理上处于涪陵页岩气田的西南部、南川平桥区块西部,构造上位于川东盆山转换带以西隔档式褶皱带内、川东南高陡构造带与川南低伏帚状

褶皱带过渡处，其东部为似菱形的堡子场开阔向斜。区内经历了多期构造运动，遭受了不同方向构造应力改造，构造形迹主要呈南北走向，形态较复杂，南北两端均与北东向构造相接<sup>[6]</sup>。

研究区内地层发育较全，前震旦系板溪群浅变质岩沉积基底之上覆盖除缺失泥盆系、石炭系外震旦纪至侏罗纪地层，且西部地区发育白垩系及第四系。钻探揭示，区内上奥陶统五峰组一下志留统龙马溪组龙一段页岩气地质条件优越，但页岩发育多期裂缝交错切割形成复杂缝网，多被方解石充填，其总含气量与邻区相当，气测全烃高于邻区，游离气占也高于邻区<sup>[17-19]</sup>。

## 2 断裂发育特征

### 2.1 几何学特征

基于地质图以及已采集的二维和三维地震资料，阳春沟断裂走向由南向北整体发生了约 45° 的偏转；与川东盆缘相接的南段走向大致为 335°，中段走向大致为 0°，与石龙场背斜斜接的北段走向大致为 20°，由此可将其分为南段、中段、北段等三段(图 1)。目前已有三维地震资料主要覆盖了阳春沟断裂南段部分，为本次研究的主要区域。

地震剖面显示，受纵向上多套滑脱层影响，阳春沟断裂发生多重差异滑脱作用，形成多条叠置的、近

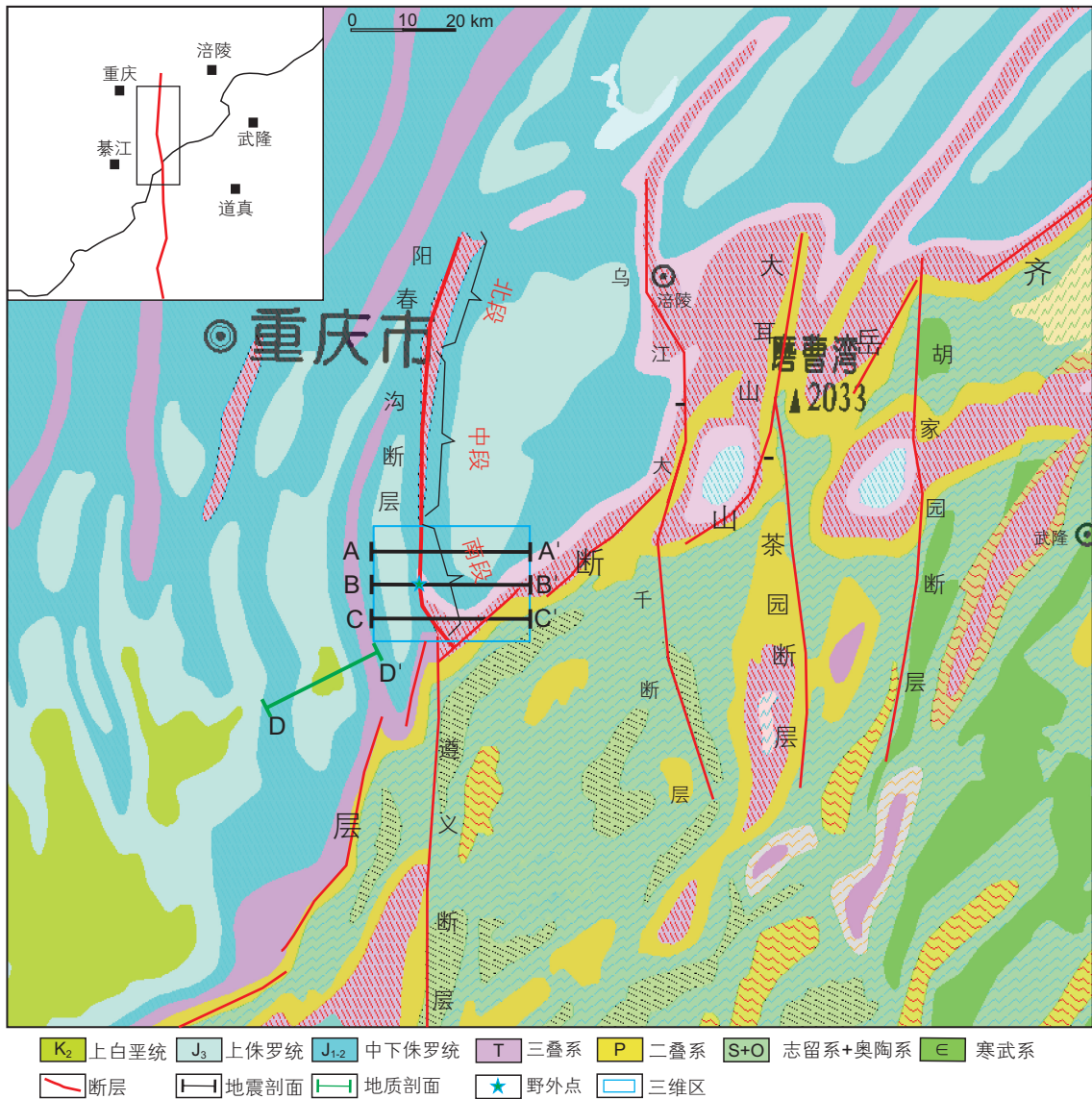


图 1 区域地质图

Fig. 1 Regional geological map

乎平行的逆冲滑脱断层,控制了盖层构造格架,具有深层、中层与浅层分层变形特征。断层和褶皱轴面的倾向、倾角显示该构造变形主要受自东向西的挤压作用,形成倾向东的逆冲断层及其控制的逆冲背斜(图2)。

其中南端深层构造样式在剖面上表现为沿前震旦系基底滑脱,断层前缘呈低角度铲形,形成低幅断背斜,而其西侧发育的遵义断层则发生基底冲断作用,导致盖层隆升。而北部盆内深层基底滑脱作用不发育,且遵义断层消失,对盖层影响较弱。

中层构造样式在剖面上表现为断穿寒武系-奥陶系,上部消失于志留系中,且部分下端断入基底。其

中北部寒武系滑脱作用较强,断层主要沿寒武系底部膏泥岩滑脱,而南端受金佛山隆起及遵义断层左行逆冲走滑作用的影响,断层主要沿前震旦系韧性地层滑脱。

浅层构造样式在剖面上表现为断穿二叠系-三叠系,上部消失于侏罗系中,部分伴生断层断出地表,而下端消失于志留系滑脱层。其中北部断层倾角较陡,其控制的断背斜翼部地层也较陡,而南部断层及地层倾角都较缓。

平面上,阳春沟断裂南部呈近“S”形展布,南端被斜坡上北东向断层限制,消失于北东向断层之下,呈低角度滑脱卷入金佛山南斜坡基底。南部近南北向

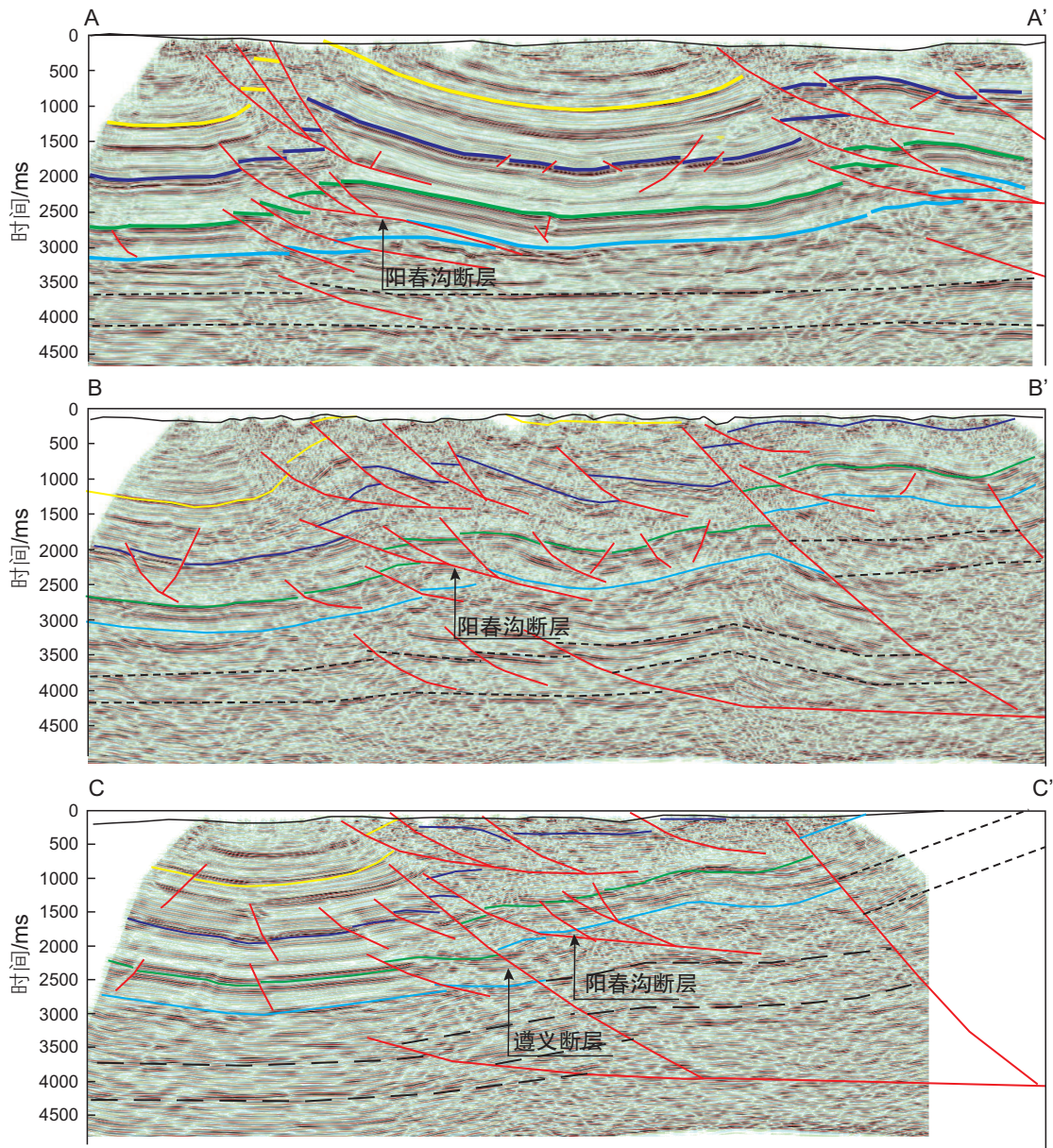


图2 南段阳春沟断裂地震解释剖面

Fig. 2 Seismic interpretation profile in southern of Yangchungou fault

遵义断裂沿基底向上逆冲-走滑,控制了东侧北东向断裂展布,其发育于阳春沟断裂西侧,二者未直接相连(图3)。

### 2.2 断层性质

阳春沟断裂走向近南北向,其同向派生断层在丰盛场背斜南至南川区神童镇,北至涪陵区新妙镇)可见出露,主要展布于东盘三叠系嘉临江组(T<sub>1j</sub>)-雷口坡组(T<sub>2l</sub>)与西盘须家河组(T<sub>3xj</sub>)之间。断层倾向E,倾角30°~75°。断层运动性质主体表现为逆断层,规模较大,断裂带可达数公里,在地表形成山谷,但由于风化严重导致地表多被土壤及植被覆盖,仅局部可见小断层出露点。其中神童镇断层出露点位于重庆市南川区神童镇石坝咀,断层宽度约3~4 m,断面近直立,走向为15°。断层西盘为自流井组紫红色泥岩,产状为284°∠84°,东盘为雷口坡组紫红色薄-中层泥岩,产状为100°∠74°。断层带由于风化作用形成沟谷,其两侧局部剖面可见边界断层面、劈理和地层揉皱等构造现象,且局部断面上可见擦痕,其上阶步显示出左行滑移特征(图4a-f)。这些现象表明研究

区断层运动性质主体表现为逆断层,同时带有左行压扭特征。

### 2.3 断层活动时期

川东盆缘发育多条近南北向断裂,除阳春沟断裂外,还发育乌江-大千断层、大耳山-茶园断层和胡家园断层,均形成的相似古应力环境<sup>[11,16]</sup>,因此通过区域断裂样式发育特征、不整合面发育特征、褶皱叠加关系等可以确定阳春沟地区构造活动期次,进而确定阳春沟断层活动时期。

区域地质调查显示,研究区南部綦江地区观察到上侏罗统蓬莱镇组(J<sub>3p</sub>)之上直接覆盖上白垩统夹关组(K<sub>2j</sub>),二者之间呈平行不整合接触,且同时被卷入近南北向褶皱(图5),表明阳春沟断裂及其控制的丰盛场背斜形成于晚白垩世之后。

精细地质填图显示阳春沟周缘地区发育2期褶皱,分别为北东向、近南北向构造,形成于北西向和近东西向两期挤压构造应力场,与野外共轭节理反演古应力场结果一致(图6,表1)。其中北东向褶皱在区域上的总体弯曲形态与江南-雪峰造山带北西向逆冲构造

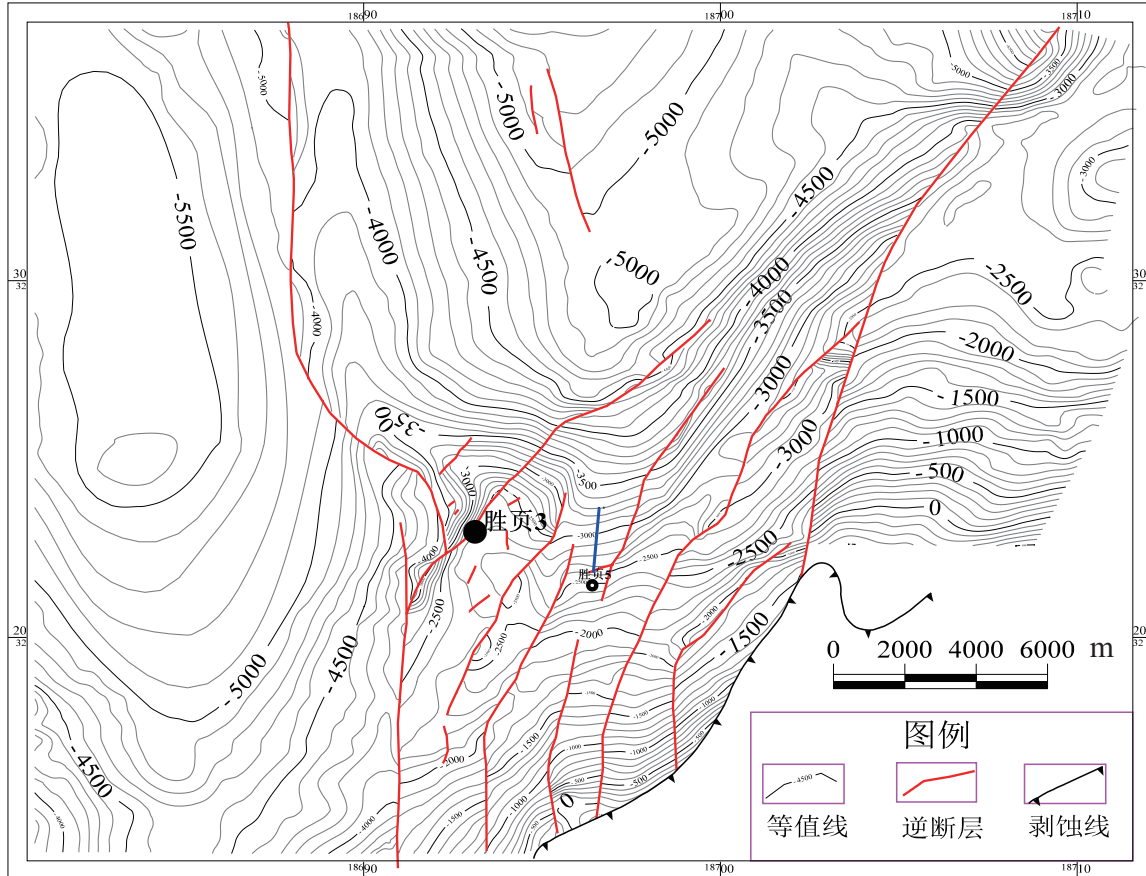


图3 阳春沟南部龙马溪组底界构造图

Fig.3 Structural map of the bottom of the Longmaxi Formation in southern of Yangchungou



图4 神童镇地表露头左行压扭特征(位置见图1)

Fig. 4 Left lateral compression and torsion characteristics of surface outcrop in Shentong town

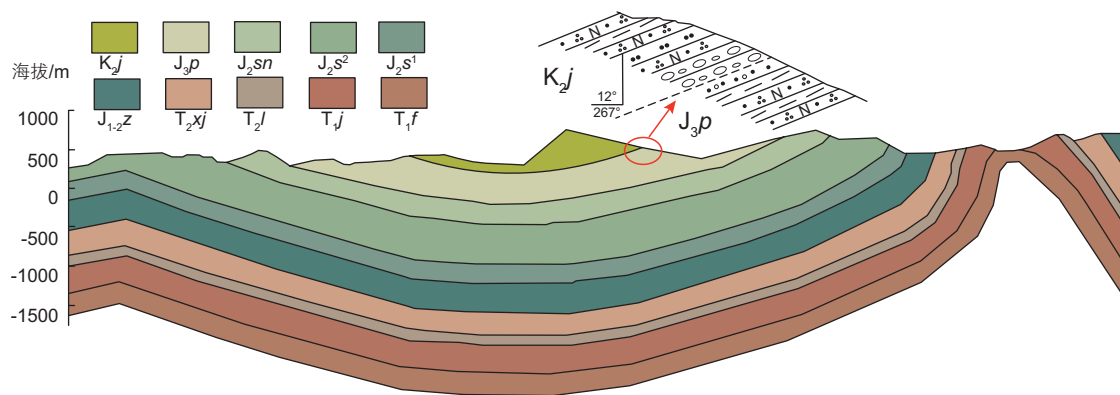


图5 阳春沟西部碁江地区马老山DD'地质剖面(位置见图1)

Fig. 5 Geological profile of Malao Mountain in Qijiang area, western Yangchungou

应力场相协调, 形成于晚侏罗-晚白垩世之间。而近南北向构造由不对称紧闭褶皱组成, 衔接在东北向的构造上, 形成斜接的复合关系, 例如北东东向黄草峡背斜东侧与北东向苟家场背斜、近南北向大山场背斜构成类似“人”型的褶皱, 西侧与近南北向丰盛场背斜斜接, 为北西向挤压与东西向挤压压力同时联合作用的结果<sup>[19]</sup>, 而似菱形的开阔向斜内近南北向石溪向

斜限制并改造北东向堡子场向斜以西形成两期枢纽斜交的斜限型叠加褶皱<sup>[19]</sup>, 则表明近东西向挤压略晚于北西向挤压应力, 形成于晚白垩世。

### 3 断裂形成机制

综合研究区构造分期和断裂几何学、运动学证据,

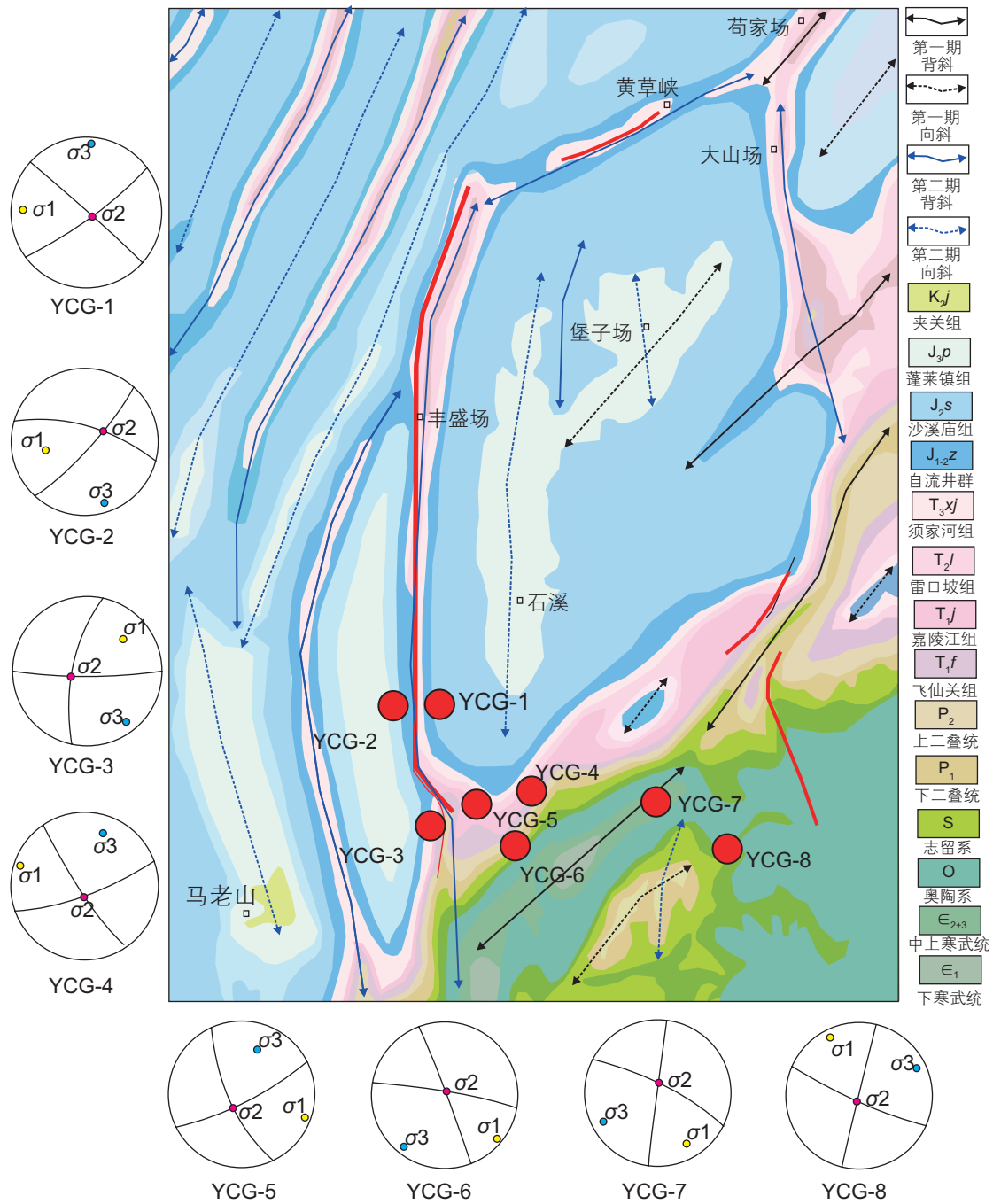


图 6 阳春沟周缘褶皱叠加关系及节理构造应力恢复  
 Fig. 6 Overlapping relationship of folds around Yangchugou

阳春沟断裂主要经历了两个阶段定型(图 7)。晚侏罗世-晚白垩世, 雪峰造山早期弧形构造形成过程中, 北西向挤压应力受黔中隆起阻挡向北偏转, 产生向北的挤压作用, 导致先存 S-N 向遵义张性断裂活化发生左行逆冲走滑运动<sup>[4]</sup>, 对盆内阳春沟产生不均匀挤压作用, 导致阳春沟断层南端弯曲, 此时由于收缩构造的不均一在研究区形成系列近南北向的未贯通小型破裂面, 形成阳春沟断层锥形。

晚白垩世雪峰造山挤压应力方向发生偏转形成晚期弧形构造<sup>[21]</sup>, 派生出扇状挤压应力场, 此时研究区处于该晚期弧的南翼部, 受到自东向西挤压应力场影响, 发生自东向西逆冲运动, 从而沿先前形成的南北向断层锥形发生逆冲作用, 从而形成现今构造形态。此外, 南部遵义断裂产生的向北挤压作用仍然发育, 其与东西向挤压作用联合, 导致阳春沟断裂北部构造形迹与雪峰造山晚期弧形构造形迹不协调。

表1 阳春沟地区共轭节理构造应力分析

Table 1 Analysis of structural stress referred to conjugate shear fractures in Yangchungou

| 位置    | 来源 | 共轭节理优势产状/ $^{\circ}$ |                 | 主应力/ $^{\circ}$ |                 |                 | ——最大主应力方向 |
|-------|----|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|
|       |    | I                    | II              | $\sigma_1$      | $\sigma_2$      | $\sigma_3$      |           |
| YCG-1 | 实测 | 144 $\angle$ 80      | 42 $\angle$ 88  | 272 $\angle$ 9  | 121 $\angle$ 79 | 3 $\angle$ 5    | 近东西向      |
| YCG-2 | 实测 | 16 $\angle$ 66       | 132 $\angle$ 78 | 257 $\angle$ 11 | 62 $\angle$ 78  | 163 $\angle$ 7  |           |
| YCG-3 | 实测 | 282 $\angle$ 67      | 180 $\angle$ 82 | 48 $\angle$ 14  | 253 $\angle$ 84 | 143 $\angle$ 10 |           |
| YCG-4 | 实测 | 160 $\angle$ 75      | 236 $\angle$ 80 | 287 $\angle$ 4  | 183 $\angle$ 74 | 18 $\angle$ 16  |           |
| YCG-5 | 实测 | 284 $\angle$ 89      | 204 $\angle$ 81 | 334 $\angle$ 6  | 200 $\angle$ 81 | 64 $\angle$ 7   | 南东-北西向    |
| YCG-6 | 实测 | 27 $\angle$ 75       | 277 $\angle$ 89 | 151 $\angle$ 14 | 4 $\angle$ 74   | 243 $\angle$ 9  |           |
| YCG-7 | 实测 | 245 $\angle$ 69      | 153 $\angle$ 77 | 110 $\angle$ 6  | 213 $\angle$ 66 | 18 $\angle$ 24  |           |
| YCG-8 | 实测 | 69 $\angle$ 87       | 10 $\angle$ 83  | 129 $\angle$ 4  | 4 $\angle$ 83   | 220 $\angle$ 6  |           |

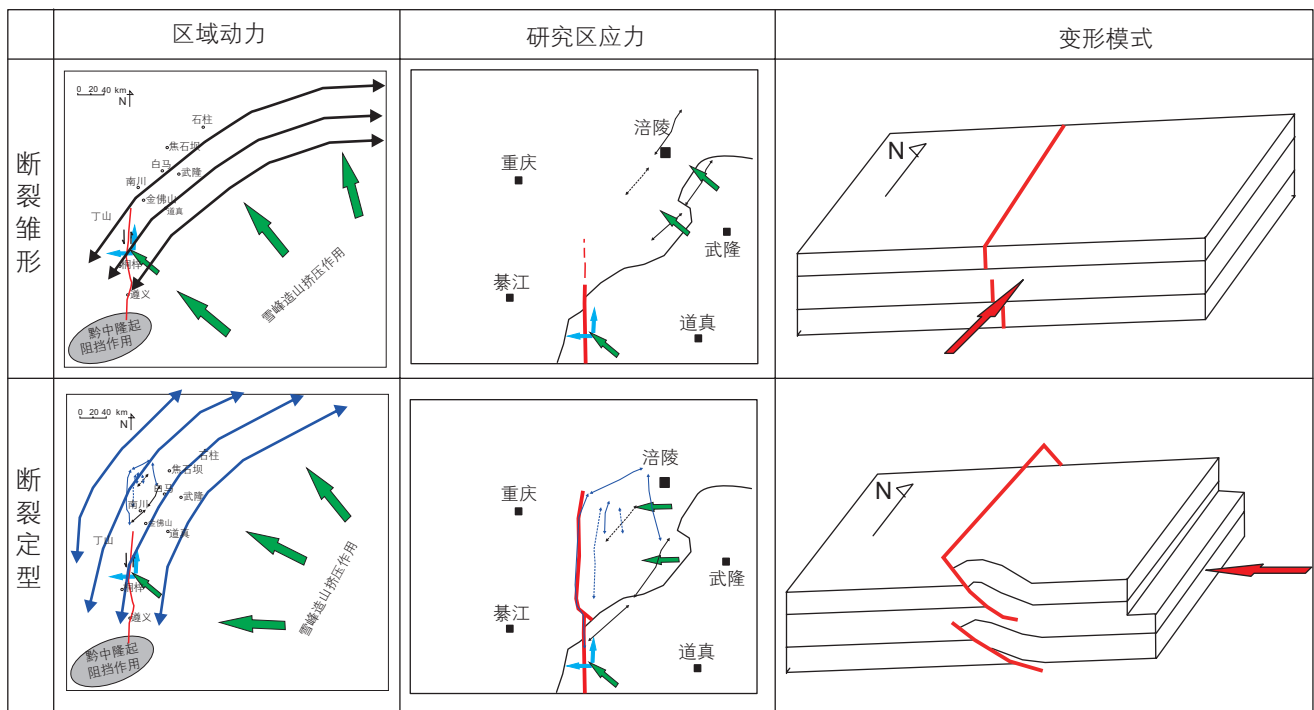


图7 近南北向阳春沟断层形成模式

Fig. 7 Formation model of Yangchungou fault

## 4 地质意义

### 4.1 阳春沟断层与遵义断层的关系

遵义断裂从黔中隆起东侧一直向北延伸到川东盆缘, 地表出露清楚, 近南北向展布, 切割震旦-志留系地层, 断裂对古生代及中生代三叠系地层均无控制作用<sup>[14]</sup>, 主体变形为晚侏罗世-早白垩世遭受强烈自东向西挤压逆冲作用并产生左行剪切形成。遵义断裂为一条由多条断续、分支断层组成的区域性大断裂, 由不同的压性断层组成, 断层面倾向南东或东, 单条断层规模不大, 破碎带宽度在10~40 m, 分支断层呈

斜列或“S”组合形态, 断面呈波状弯曲, 整体具有走滑断层高角度、上缓下陡、直插基底的典型性质<sup>[22]</sup>(图8)。

前人认为阳春沟断层为遵义断层向盆内延伸的一部分<sup>[9]</sup>, 而本文通过对阳春沟断层的详细解剖, 认为其以脆性破裂为主, 表现为多条叠置的、近乎平行的逆冲滑脱断层, 主要沿寒武系、志留系发生纵向双层滑脱, 未卷入基底, 是典型的盖层滑脱形成的断层。

同时, 从阳春沟南部三维地震精细解释成果来看, 平面上阳春沟断裂与遵义断裂北部未直接相连, 且二者变形特征差异巨大, 具有完全不同的构造样式, 表



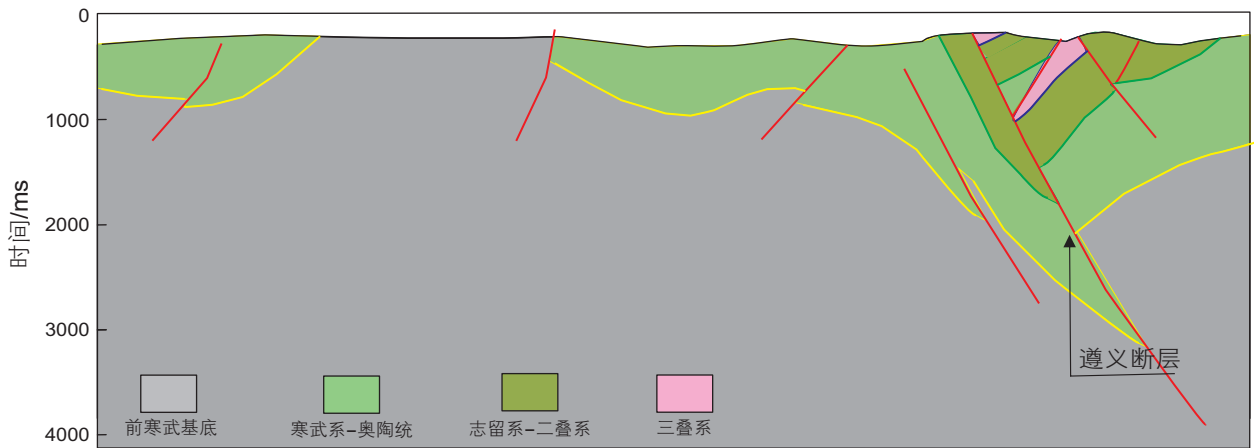


图8 遵义断裂地震地质解释剖面(据崔金栋<sup>[22]</sup>修改)

Fig. 8 Seismic geological interpretation profile of Zunyi fault (according to CUI J D<sup>[22]</sup>)

明二者形成于不同的构造活动中,因此二者不是同一条断层。但阳春沟断层南段受遵义断层影响,发生转向形成弧形断层,下端则呈低角度滑脱卷入金佛山南斜坡基底。

#### 4.2 阳春沟断层对页岩气勘探的影响

前期研究表明阳春沟及周缘地区五峰组—龙马溪组烃源岩具有较强的生烃潜力,顶底板岩性致密、厚度大、展布稳定,页岩气勘探前景与其保存条件密切相关,而后期构造运动改造是页岩气藏破坏与散失的根本原因<sup>[23-26]</sup>,因此阳春沟断层的发育对区内页岩气勘探具有重要影响。

阳春沟断裂对页岩气成藏的影响主要体现为两个方面。一方面四川盆地内五峰组—龙马溪组埋深过大,不仅会导致烃源岩成熟度过高而炭化,也不利于岩层系中游离气聚集和吸附气解吸,而阳春沟断裂的逆冲滑脱作用在其上盘形成阳春沟背斜,导致页岩埋深变浅,减缓了页岩成熟度演化、延长了页岩气生成时间、增加了页岩气含气量,同时抬升泄压导致吸附气解吸沿页理发生横向运移<sup>[27]</sup>,在背斜核部聚集成藏,提高了页岩气勘探经济效应。

另一方面阳春沟断层导致的构造变形会在五峰组—龙马溪组页岩中形成剪切缝、层理缝、滑脱缝等多种裂缝,导致阳春沟背斜页岩发育多期裂缝交错切割形成的复杂缝网<sup>[8]</sup>。裂缝发育对页岩气成藏影响重大,一方面裂缝作为重要的储集空间和运移通道,有利于页岩层系中游离气聚集和吸附气解吸;另一方面裂缝规模过大,破坏盖层封闭性,从而破坏页岩气藏<sup>[19, 28]</sup>。

北段及中段阳春沟断层以逆冲滑脱作用为主,扭

动作用较弱,形成的裂缝规模较小,未贯穿地层,且几乎都被方解石充填<sup>[8]</sup>,因此保存条件并未遭受严重破坏,仍具备较好的页岩气封闭性,因此页岩气勘探潜力较大。

南部地区受阳春沟断层自东向西逆冲形成叠瓦状分支断层的影响,背斜西翼被系列断层切割,地层封闭性被破坏,页岩气保存条件差。同时还导致上盘部分页岩地层高陡,加上压扭作用形成高陡破裂面,减弱了盖层封闭性,导致上盘背斜部分地区页岩气藏封闭性变差,但仍具有一定的保存条件,可发育常压页岩气藏<sup>[29-30]</sup>。

盆缘斜坡区大量北东向断层发育,靠近盆内处由于埋深较大、断层走向与最大水平主应力夹角大,导致页理面及断面封闭,页岩气仍具有较好的保存条件,整体为常压页岩气藏,其中已钻胜页3井压力系数1.2、含气量3.2 m<sup>3</sup>/t,胜页5井含气量3.9 m<sup>3</sup>/t。随着斜坡区向南埋深变浅,页理面、盖层及断面封闭性被破坏,导致页岩气保存条件变差,因此实际页岩气勘探过程中需要对该变形的分布范围进一步确认。

## 5 结论

1) 近南北向阳春沟断裂不属于遵义断裂的一部分,二者变形特征具有较大差异巨大。其中遵义断裂以走滑—逆冲构造为主,断裂呈高角度深切基底;而阳春沟断层以自东向西逆冲构造为主,带有左行压扭特征,纵向上沿志留系、寒武系发生滑脱形成多条叠置的、近乎平行的逆冲滑脱断层,控制了中浅形变层发育双重逆冲滑脱背斜。

2) 阳春沟断裂受研究区两期构造作用影响,主要

经历了断裂雏形、断裂定型两个阶段。晚侏罗世—晚白垩世受遵义断裂左行走滑产生的不均匀挤压作用影响,发生收缩构造的不均一近形成近南北向的阳春沟断层雏形;晚白垩世由于雪峰造山晚期弧形构造挤压,研究区受到自东向西挤压应力场,沿断层雏形发生逆冲作用,形成现今双重逆冲滑脱断裂形态。

3) 阳春沟断层的发育影响了页岩气成藏。一方面形成阳春沟背斜,减缓了页岩成熟度演化,增加了页岩气含气量,同时形成的复杂缝网未严重破坏保存条件,反而增加了储集空间,二者有利于页岩气运移和局部聚集成藏。另一方面导致部分页岩高陡,同时压扭断层的发育,会对页岩气藏起破坏作用。

## 参考文献

- [1] 赵文智,贾爱林,位云生,等. 中国页岩气勘探开发进展及发展展望[J]. 中国石油勘探, 2020, 25 (01): 31–44.[ZHAO W Z, JIA A L, WEI Y S, et al. Progress in shale gas exploration in China and prospects for future development [J]. China Petroleum Exploration, 2020, 25(1): 31–44.]
- [2] 邹才能,董大忠,王玉满,等. 中国页岩气特征、挑战及前景(二)[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43 (02): 166–178.[ZOU C N, DONG D, Z, WANG Y M, et al. Shale gas in China: Characteristics, challenges and prospects (II)[J]. Petroleum Exploration and Development, 2016, 43(2): 166–178.]
- [3] 李敏,刘雅利,冯动军,等. 中国海相页岩气资源潜力及未来勘探方向[J]. 石油实验地质, 2023, 45 (06): 1097–1108.[LI M, LIU Y L, FENG D J, et al. Potential and future exploration direction of marine shale gas resources in China[J]. PETROLEUM GEOLOGY & EXPERIMENT, 2023, 45(6): 1097–1108.]
- [4] 张勇,李彦婧,潘兰,等. 构造特征对重庆南川地区页岩气保存条件的影响[J]. 地质通报, 2023, 42 (05): 680–686.[ZHANG Y, LI Y J, PAN L, et al. The influence of structural characteristics on the preservation conditions of shale gas in Nanchuan Area, Chongqing[J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(5): 680–686.]
- [5] 马新华,张晓伟,熊伟,等. 中国页岩气发展前景及挑战[J]. 石油科学通报, 2023, 04: 491–501.[MA X H, ZHANG X W, XIONG W, et al. Prospects and challenges of shale gas development in China[J]. Petroleum Science Bulletin, 2023, 04: 491–501.]
- [6] 周杨帆,罗良,曾联波,等. 涪陵页岩气田白马构造带变形特征及页岩气成藏模式[J]. 石油科学通报, 2024, 02: 183–195.[ZHOU Y F, LUO L, ZENG L B, et al. Deformation characteristics and shale gas accumulation model of the Baima structural belt in the Fuling shale gas field[J]. Petroleum Science Bulletin, 2024, 02: 183–195.]
- [7] 边瑞康,孙川翔,聂海宽,等. 四川盆地东南部五峰组—龙马溪组深层页岩气藏类型、特征及勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2023, 44(6): 1515–1529.[BIAN R K, SUN C X, NIE H K, et al. Types, characteristics, and exploration targets of deep shale gas reservoirs in the Wufeng-Longmaxi formations, southeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2023, 44(6): 1515–1529.]
- [8] 马军,房大志,张培先,等. 渝东南地区阳春沟构造带五峰组—龙马溪组页岩构造裂缝特征及形成期次解析[J]. 天然气地球科学, 2022, 33 (07): 1117–1131.[MA J, FANG D Z, ZHANG P X, et al. Characteristics and genesis of shale fractures in Wufeng-Longmaxi Formations of Yangchungou structural belt in Southeast Chongqing[J]. Natural Gas Geoscience, 2022, 33(7): 1117–1131.]
- [9] 汤济广,汪凯明,秦德超,等. 川东南南川地区构造变形与页岩气富集[J]. 地质科技通报, 2021, 40 (05): 11–21. [TANG J G, WANG K M, QIN D C, et al. Tectonic deformation and its constraints to shale gas accumulation in Nanchuan Area, southeastern Sichuan Basin[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2021, 40(5): 11–21.]
- [10] 卢志远,何治亮,余川,等. 复杂构造区页岩气富集特征——以四川盆地东南部丁山地区下古生界五峰组—龙马溪组为例[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42 (01): 86–97. [LU Z Y, HE Z L, YU C, et al. Characteristics of shale gas enrichment in tectonically complex regions: A case study of the Wufeng-Longmaxi Formations of Lower Paleozoic in southeastern Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(1): 86–97.]
- [11] 吴建发,张成林,赵圣贤,等. 川南地区典型页岩气藏类型及勘探开发启示[J]. 天然气地球科学, 2023, 34(8): 1385–1400.[WU J F, ZHANG C L, ZHAO S X et al. Typical types of shale gas reservoirs in southern Sichuan Basin and enlightenment of exploration and development[J]. Natural Gas Geoscience, 2023, 34(8): 1385–1400.]
- [12] 邱楠生,冯乾乾,腾格,等. 川东南丁山地区燕山期—喜马拉雅期差异构造—热演化与页岩气保存[J]. 石油学报, 2020, 41 (12): 1610–1622. [QIU N S, FENG Q Q, TENG G E, et al. Yanshanian-Himalayan differential tectono-thermal evolution and shale gas preservation in Dingshan Area, southeastern Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2020, 41(12): 1610–1622.]
- [13] 唐秀松,陈孔全,罗顺社,等. 四川盆地东南缘齐岳山断裂构造特征与页岩气保存条件[J]. 石油与天然气地质, 2020, 41 (05): 1017–1027. [TUO X S, CHEN K Q, LUO S S, et al. Structural characteristics of Qiyueshan Fault and shale gas preservation at the southeastern margin of Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(5): 1017–1027.]
- [14] 邓新,杨坤光,刘彦良. 遵义断裂带变形特点及其演化历史探讨[J]. 贵州地质, 2010, 27 (03): 161–167. [DENG X, YANG K G, LIU Y L. Discussion about deformation characters and its evolution history of Zunyi fracture zone[J]. Guizhou Geolo-

- gy,2010,27(3):161-167.]
- [15] 屈念念,李家斌,张西君,等. 基于重磁资料研究贵州省深部构造特征[J]. 地球物理学进展, 2019, 34 (05): 1785-1793. [QU N N, LI J B, ZHANG X J, et al. Study of deep structural feature in Guizhou based on gravity and magnetic data[J]. Progress in Geophysics, 2019, 34(5): 1785-1793.]
- [16] 冯动军, 胡宗全, 李双建, 等. 川东盆缘带龙马溪组关键保存要素对页岩气富集的控制作用[J]. 地质论评, 2021, 67 (01): 144-158.[FENG D J, HU Z Q, LI S J, et al. Control of key preservation factors on shale gas enrichment in the Longmaxi Formation in the margin of the eastern Sichuan Basin[J]. Geological Review, 2021, 67 (01): 144-158.]
- [17] 黄开展, 刘薇. 南川地区龙马溪组海相页岩孔隙特征精细描述及分形特征分析—以胜页 1 井为例[J]. 中国海上油气, 2022, 34 (05): 64-71. [HUANG K Z, LIU W. Pore structure and fractal characteristics of marine shale in Longmaxi Formation, Nanchuan area: A case study of Well SY-1[J]. China Offshore Oil and Gas, 2022, 34(05): 64-71.]
- [18] 何希鹏, 高玉巧, 何贵松, 等. 渝东南南川页岩气田地质特征及勘探开发关键技术[J]. 油气藏评价与开发, 2021, 11 (03): 305-316. [HE X P, GAO Y Q, HE G S, et al. Geological characteristics and key technologies for exploration and development of Nanchuan Shale Gas Field in southeast Chongqing[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2021, 11(3): 305-316.]
- [19] 马军. 页岩裂缝成因及其对含气性影响—以渝东南地区阳春沟构造带五峰—龙马溪组为例[J]. 油气藏评价与开发, 2020, 10 (03): 126-134. [MA J. Origin of shale fractures and its influence on gas-bearing properties: A case study of Wufeng-Longmaxi Formation in Yangchungou structural belt in southeast Chongqing[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2020, 10(3): 126-134.]
- [20] 孙东, 刘树根, 邓宾, 等. 米仓山与龙门山接合部叠加褶皱特征及构造演化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(02): 156-168. [SUN D, LIU S G, DENG B, et al. Superposed fold characteristics and structural evolution in the junction area of Longmenshan Mountains and Micangshan Mountains in the southwest of China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2011, 38(2): 156-168.]
- [21] 唐永, 胡望水, 朱美衡, 等. 湘鄂西中生代弧形叠加扩展的变形记录[J]. 地质学报, 2022, 96 (04): 1197-1214. [TANG Y, HU W S, ZHU M H, et al. Deformation record of multi-stage overprinting and expansion of the Mesozoic arcuate structure in western Hunan and Hubei[J]. Acta Geologica Sinica, 2022, 96(4): 1197-1214.]
- [22] 崔金栋. 黔中隆起及周缘构造演化的沉积响应[D]. 中南大学, 2013. [CUI J D. Sedimentary response to tectonic evolution of the Central Guizhou Uplift and its adjacent areas[D]. Central South University, 2013.]
- [23] 张旭亮, 刘珠江, 陈超, 等. 高陡复杂构造带深层页岩气保存条件差异性分析——以川东南綦江高陡复杂构造带为例[J]. 石油实验地质, 2023, 45 (06): 1121-1131. [ZHANG X L, LIU Z J, CHEN C, et al. Differences in preservation conditions of deep shale gas in high-steep complex tectonic belt: Taking Qijiang high-steep complex tectonic belt in southeast Sichuan as an example[J]. PETROLEUM GEOLOGY & EXPERIMENT, 2023, 45(6): 1121-1131.]
- [24] 郭旭升, 腾格尔, 魏祥峰, 等. 四川盆地深层海相页岩气赋存机理与勘探潜力[J]. 石油学报, 2022, 43 (04): 453-468. [GUO X S, TENG G E, WEI X F, et al. Occurrence mechanism and exploration potential of deep marine shale gas in Sichuan Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(4): 453-468.]
- [25] 郭旭升. 四川盆地涪陵平桥页岩气田五峰组—龙马溪组页岩气富集主控因素[J]. 天然气地球科学, 2019, 30 (01): 1-10. [GUO X S. Controlling factors on shale gas accumulations of Wufeng-Longmaxi Formations in Pingqiao shale gas field in Fuling area, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2019, 30(1): 1-10.]
- [26] 杨威, 蔡剑锋, 王乾右, 等. 五峰—龙马溪组海相页岩生—储耦合演化及对页岩气富集的控制效应[J]. 石油科学通报, 2020, 02: 148-160.[YANG W, CAI J F, WANG Q Y, et al. The controlling effect of organic matter coupling with organic matter porosity on shale gas enrichment of the Wufeng-Longmaxi marine shale[J]. Petroleum Science Bulletin, 2020, 02: 148-160.]
- [27] 唐建明, 何建华, 魏力民, 等. 川东南林滩场地区五峰组—龙马溪组页岩气藏压力演化及其地质意义[J]. 石油实验地质, 2023, 45 (04): 739-750. [TANG J M, HE J H, WEI L M, et al. Pressure evolution of shale gas reservoirs in Wufeng-Longmaxi formations, Lintanchang area, southeast Sichuan Basin and its geological significance[J]. PETROLEUM GEOLOGY & EXPERIMENT, 2023, 45(4): 739-750.]
- [28] 范存辉, 李虎, 钟城, 等. 川东南丁山构造龙马溪组页岩构造裂缝期次及演化模式[J]. 石油学报, 2018, 39(04): 379-390.[FAN C H, LI H, ZHONG C, et al. Tectonic fracture stages and evolution model of Longmaxi Formation shale, Dingshan structure, Southeast Sichuan[J]. Acta Petrolei Sinica, 2018, 39(04): 379-390.]
- [29] 云露, 高玉巧, 高全芳. 渝东南地区常压页岩气勘探开发进展及下步攻关方向[J]. 石油实验地质, 2023, 45(6): 1078-1088.[YUN L, GAO Y Q, GAO Q F. Progress and research direction of normal-pressure shale gas exploration and development in south-eastern Chongqing[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2023, 45(6): 1078-1088.]
- [30] 郭彤楼, 蒋恕, 张培先, 等. 四川盆地外围常压页岩气勘探开发进展与攻关方向[J]. 石油实验地质, 2020, 42(05): 837-845.[GUO T L, JIANG S, ZHANG P X, et al. Progress and direction of exploration and development of normally-pressured shale gas from the periphery of Sichuan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2020, 42(05): 837-845.]