

## 沉积相控制下致密砂岩气藏分布特征

——以四川盆地川西坳陷中段蓬莱镇组为例

陈恭洋<sup>1</sup>, 晋 静<sup>1</sup>, 罗迎春<sup>1</sup>, 印森林<sup>1</sup>, 张 玲<sup>2</sup>, 张世华<sup>2</sup>

(1. 长江大学 录井技术与工程研究院, 湖北 荆州 434023;

2. 中国石化 西南油气分公司 勘探开发研究院, 四川 成都 610041)

**摘要:**针对致密砂岩气藏受沉积相影响控制作用不清晰的情况,综合利用野外露头、岩心分析化验、测井和地震等资料,对川西坳陷中段蓬莱镇组沉积相进行了深入研究,最后探讨了沉积相对致密砂岩气藏的控制作用。研究表明:蓬莱镇组可以划分为2个长期、4个中期及29个短期旋回;蓬莱镇组沉积体主要受来自北西部的龙门山短轴物源控制为主,东部长轴物源次之;从龙门山前至成都凹陷区依次发育冲积扇、冲积平原、辫状河三角洲和湖泊相等沉积体系,东部主要为一套河流相沉积体系;蓬莱镇组含气砂体主要分布在西部三角洲平原、前缘(水下)分流河道、河口坝砂体和东部的河道边滩和心滩砂体中,呈不连续条带状分布;有利的含气圈闭主要受砂体叠置关系与构造或斜坡背景联合控制。

**关键词:**沉积相;致密砂岩气;侏罗系;成都凹陷;川西坳陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

## Characteristics of tight sandstone gas reservoir distribution under control of sedimentary facies: A case study from the Penglaizhen Formation in the central western Sichuan Depression

Chen Gongyang<sup>1</sup>, Jin Jing<sup>1</sup>, Luo Yingchun<sup>1</sup>, Yin Senling<sup>1</sup>, Zhang Ling<sup>2</sup>, Zhang Shihua<sup>2</sup>

(1. Institute of Mud Logging Technology and Engineering, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China;

2. Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC Southwest Oil &amp; Gas Company, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** To understand the influences of sedimentary facies on tight sandstone gas reservoirs, this paper studied in-detail the sedimentary facies and their control on tight sandstone gas reservoir distribution of the Penglaizhen Formation in the central western Sichuan Depression by using outcrop, core, logging and seismic data. The Penglaizhen Formation can be stratigraphically divided into 2 long-term, 4 middle-term and 29 short-term sedimentary cycles. The deposition of Penglaizhen Formation is controlled primarily by the short-axis provenance in the northwestern Longmen Mountain and secondly by the long-axis provenance in the eastern part. Alluvial fan, alluvial plain, braided river delta and lacustrine depositional systems occur successively from piedmont of Longmen Mountain to Chengdu sag. The eastern area is dominated by a fluvial depositional system. The gas-bearing sand bodies of the Penglaizhen Formation mainly occur in the western delta plain, delta front distributary channels and river mouth bars, as well as the eastern fluvial point bars and mid-channel bars in the forms of discrete sands. The potential gas-bearing traps are jointly controlled by the superposition of sand bodies and slope structural setting.

**Key words:** sedimentary facies, tight sand gas, Jurassic, Chengdu Sag, western Sichuan Depression

四川盆地致密砂岩气储量巨大,对比常规气藏,致密砂岩气藏勘探难度较大,主要体现在致密砂岩气“甜点”控制因素多样化。杨克明等<sup>[1]</sup>认为川西坳陷叠覆

式致密砂岩气分布具有5个特点,“叠合性、广覆性、节律性、模糊性、多样性”;叠覆型致密砂岩气区成藏主控因素为“源控、相控、位控”;印森林等<sup>[2]</sup>研究认为岩相

收稿日期:2016-01-19;修订日期:2017-04-20。

第一作者简介:陈恭洋(1963—),男,博士,教授,石油地质。E-mail:gychen8888@126.com。

基金项目:国家科技重大专项(2017ZX05008006-004-002);油气资源与探测国家重点实验室开放基金项目(PPR/open-1510)。

构型叠置样式控制了致密砂岩气优质储层发育;王屿涛等<sup>[3]</sup>研究新光地区致密砂岩气藏认为良好的储盖组合与物性、倒置的气水关系、构造位置非最高点、多个“甜点”,为近源成藏。林潼等<sup>[4]</sup>、芦慧等<sup>[5]</sup>认为裂缝是控制致密砂岩高产富集的主要因素。学者们从沉积相、储层质量、裂缝等储层要素及成藏要素对致密砂岩气进行了研究,然而对于沉积微相对致密砂岩气藏的细节控制方面,研究较少。在川西坳陷中段侏罗系的次生岩性气藏勘探中,马井、什坊、新都、洛带等均发现了工业气藏,揭示了侏罗系的巨大勘探潜力<sup>[6]</sup>。然而,随着勘探的不断深入,研究区的气藏都揭示出了一个规律:岩性和构造-岩性气藏是川西坳陷中段侏罗系勘探的主体,无论是在单斜构造,还是背斜构造背景下,岩性、岩相都是气藏形成的主控因素。所发现的气藏都不是整装气藏的均匀分布,气藏在平面上明显受沉积微相展布的控制。而沉积微相受物源、层序格架控制作用明显,同时,研究区物源方向多年来一直存在较大的争议,何鲤等(1999)、陈洪德等(2010)认为物源方向以沿龙门山断裂带分布的北西向为主<sup>[7-9]</sup>,叶素娟等(2012)认为物源方向以北西向短轴和东西向长轴物源交互<sup>[10]</sup>。另一方面,研究区层序地层格架方案不够细化,目前主要在段一个级别<sup>[11-13]</sup>,对于砂组级别的高频层序结构则并不清晰,有待于进一步的研究。研究区目的层沉积相类型,是浅水三角洲还是正常三角洲沉积体系目前也存在较大的争议<sup>[14-17]</sup>。致密砂岩气藏受岩性控制影响明显,而岩性分布受到沉积相的控制和影响,不同成因的微相其岩性组成具有很大的差异<sup>[18]</sup>。因此,开展沉积微相研究和储层预测具有极其重大的意义。

因此,本文的综合地质、物探、生产资料等的分析,从高分辨率层序地层特征、沉积相、地震相特征等分析入手,系统阐述研究区上侏罗统蓬莱镇组的沉积相特征和有利储层的分布规律,为该区的深入勘探提供重要的依据。

## 1 区域地质概况

研究范围为川西坳陷中段,西以龙门山为界,东为知新场南北向背斜构造带,北抵梓潼凹陷,南到崇州-成都-洛带一线,面积约10 000 km<sup>2</sup>(图1)。该区的钻探程度极不均匀,钻井主要集中于成都凹陷东部和东部的隆起和斜坡区,凹陷内的崇州-温江-郫县一带的钻井较少(图1)。前人研究认为成都凹陷及其所属的川西地区侏罗系可以划分为3个构造层序

(超长期旋回),8个三级层序(长期旋回),以及18个四级层序(中期旋回),其中上侏罗统为第3个构造层序(TS3),本文研究的层序蓬莱镇组划分为2个三级层序,4个四级层序,29个砂层组(图2)。川西前陆盆地侏罗系均为陆相沉积,受龙门山推覆构造带的影响,沉积相带大致呈北东-南西向展布。由西向东,即由盆缘向盆地中心,沉积物由粗变细,各种沉积相类型的变化及平面配置关系也呈现有规律的变化,总体上发育三级扇的模式,即由盆地边缘冲积扇(经冲积平原)到三角洲(或扇三角洲),经浅湖再到湖底扇。蓬莱镇组(J<sub>3p</sub>)在研究区的沉积厚度较为稳定,为700~1 000 m,分布具西厚东薄的特点。自下而上可划分为4个岩性段(J<sub>3p</sub><sup>1</sup>-J<sub>3p</sub><sup>4</sup>),每个岩性段的底部均有一层厚层块状中-细粒长石石英砂岩,自下而上依次为“蓬莱镇砂岩”、“太和镇砂岩”、“百工堰砂岩”和“A砂岩组”;各岩性段中上部由灰绿色、褐灰色细砂岩、粉砂岩与紫红色或暗棕红色泥岩不等厚韵律互层组成,夹灰绿色或灰色页岩、泥灰岩,以分别发育于蓬一段(J<sub>3p</sub><sup>1</sup>)、蓬二段(J<sub>3p</sub><sup>2</sup>)和蓬四段(J<sub>3p</sub><sup>4</sup>)中的“苍山页岩”、“梨树湾页岩”和“景福院页岩”为区域对比标志层。页岩中产有少量的淡水双壳类、介形类和轮藻化石。在研究区西部的龙门山前缘,蓬莱镇组相变为莲花口组。莲花口组沿龙门山前缘展布,为一套由砾岩组成的冲积扇群堆积。

## 2 高分辨率层序地层划分与对比

川西凹陷侏罗纪沉积时期为典型的前陆盆地发育期,根据野外露头观察,川西坳陷蓬莱镇组区域沉积岩性和厚度变化较大。龙门山前主要为冲积扇砂砾岩相(莲花口组),野外剖面主要见于剑阁、江油、安县、都江堰、芦山等剖面;而靠近凹陷一侧的绵阳、温江、邛崃、蒲江等剖面则为紫红色泥岩夹砂岩,或泥、砂岩不等厚互层(蓬莱镇组)。蓬莱镇期湖盆的沉降中心靠近山前,沉积水体较深,沉积物以泥质为主夹少量粉砂质,有时夹少量石灰岩(图3)。

根据高分辨率层序地层学原理及工作方法<sup>[19-22]</sup>,结合前人的研究成果<sup>[12-14]</sup>,综合利用露头、岩心、测井及地震等资料,将蓬莱镇组划分为2个三级层序(长期旋回)、4个四级层序(中期旋回)和29个五级层序(短期旋回)(图4)。

### 2.1 典型层序界面特征

从图4可以看出,本区发育两类典型的层序界面。



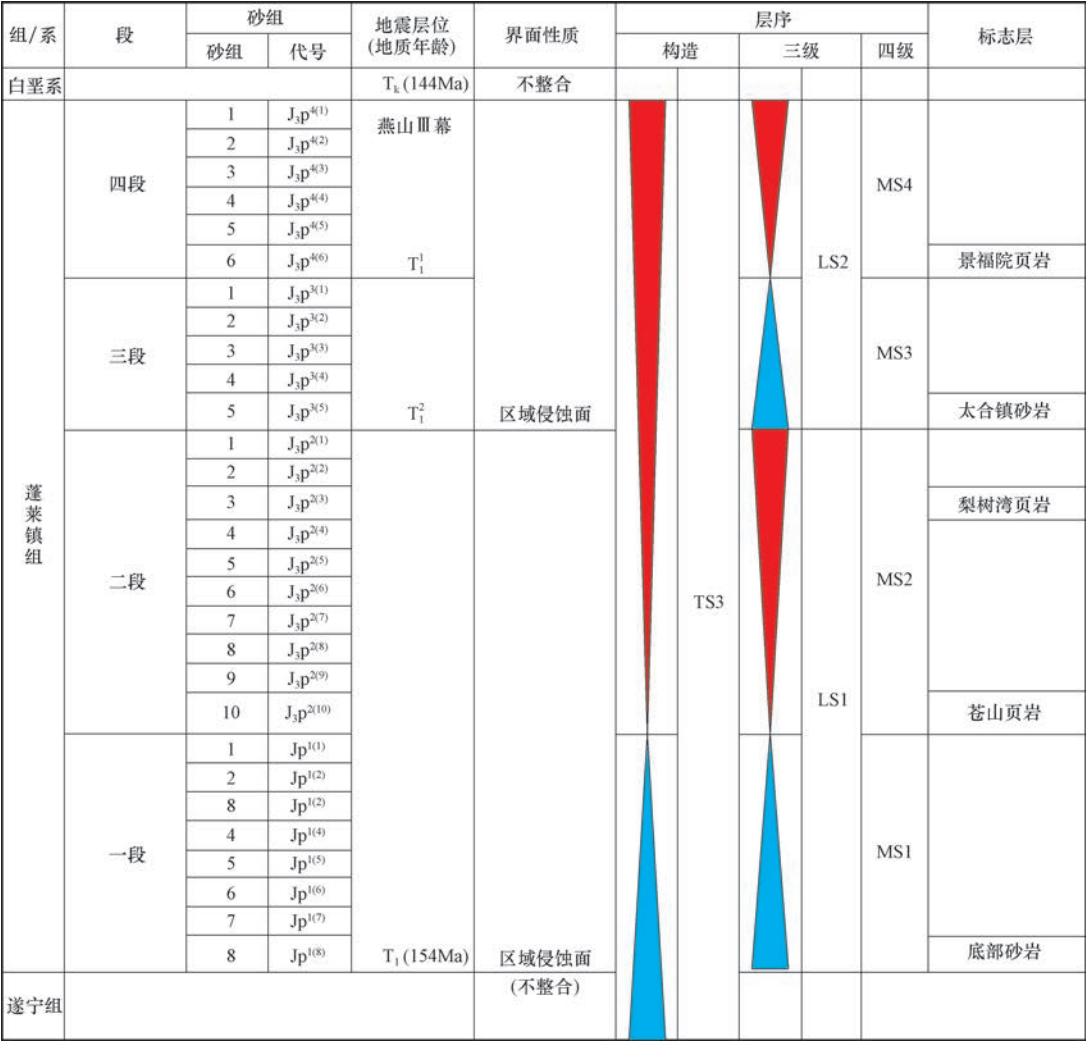


图 2 川西坳陷上侏罗统蓬莱镇组层序划分方案

Fig. 2 Stratigraphic division of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the western Sichuan Depression

系天马山组或夹关组砾岩底部区域性超覆面为顶( $T_3$ 反射层),对应蓬三、蓬四段。太和镇砂岩也代表基准面下降,冲积体系向湖盆中心进积的粗粒沉积。LSC2中上部的景福院页岩为凝缩段沉积,其顶面扩张转换面,亦具有等时面对比意义。

2) 中期基准面旋回(MS)的划分

蓬莱镇组自下而上划分为 4 个中期基准面旋回(图 4),分别对应蓬一、蓬二、蓬三、蓬四段。4 个旋回的扩张转换面分别为苍山页岩、梨树湾页岩、李都寺灰岩和景福院页岩。其中 MS1、MS2、MS3 三个中期旋回都是以上升基本面为主的极不对称旋回,反映了以持续退积为主的沉积特征,湖盆逐渐扩大。而 MS4 则恰恰相反,主要以下降基准面旋回为主,反映了蓬莱镇组沉积晚期可容空间逐渐被砂泥充填的特征。

3) 短期基准面旋回(SC)的划分

在高分辨率层序地层学研究中,短期基准面旋回

是最小的成因地层单元。主要根据地层岩性的旋回特征或沉积微相组合关系,将本区蓬莱镇组划分出了 29 个短期旋回。由于沉积部位的差异,各旋回中上升与下降的完整性和旋回的对称性呈现出变化多样的特点。在后续的沉积相研究中,皆以短期旋回作为研究的基本地层单元。为方便生产应用,以短期旋回作为砂组划分单元。

3 沉积相分析

沉积相是在特定的岩相古地理条件下的产物,碎屑岩的沉积相研究主要涉及到物源区的岩性和位置、古水流方向、各种指相标志、砂岩体的形态等方面的内容。

3.1 物源及古水流方向

本文研究中对野外地质剖面的观察和井下岩性的

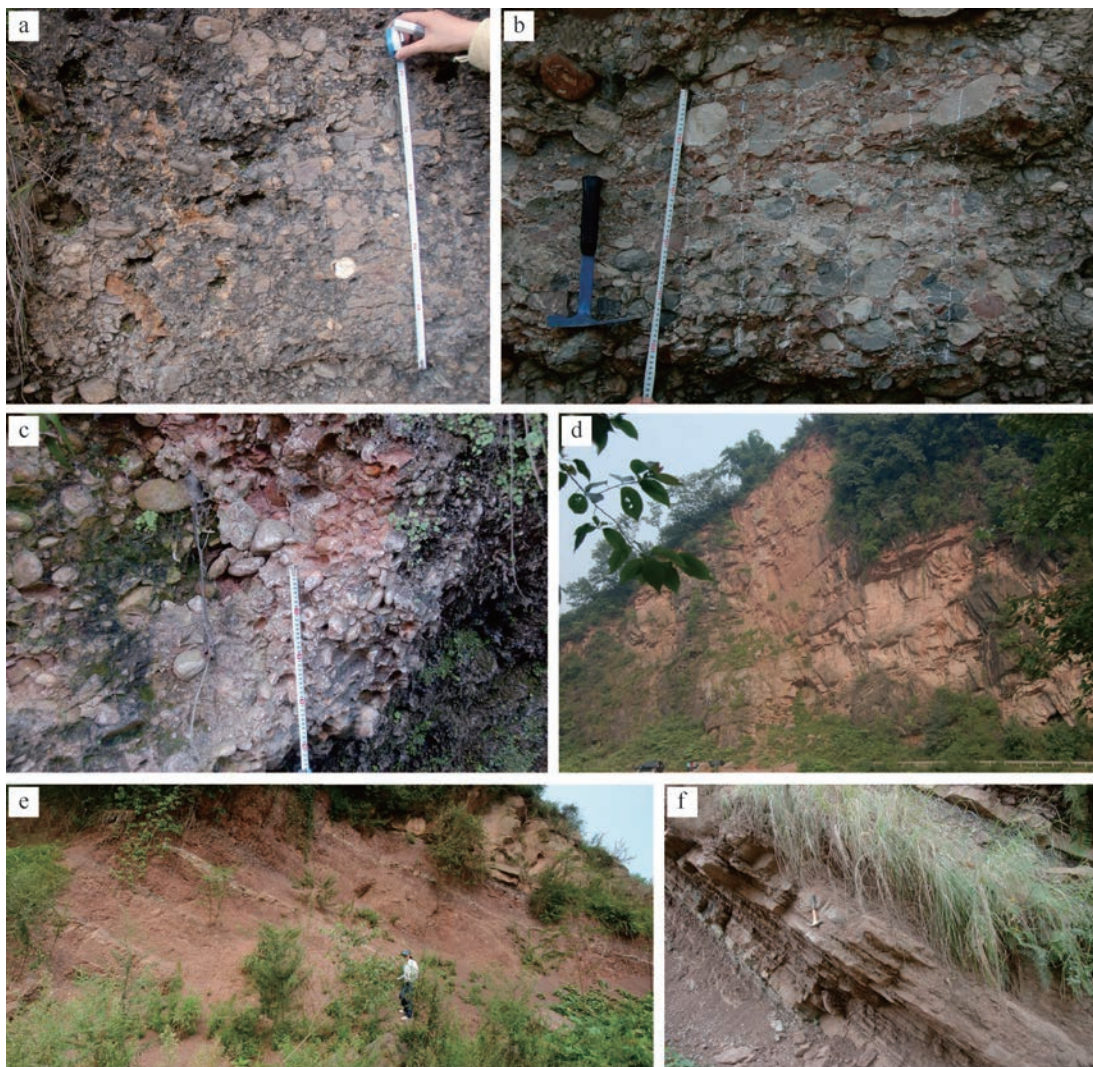


图3 川西凹陷蓬莱镇组典型野外露头剖面

Fig. 3 Typical outcrop of the Penglaizhen Formation in the western Sichuan Depression

- a. 剖面冲积扇砾岩;b. 安县冲积扇砾岩;c. 都江堰蓬冲积扇砾岩;d. 大邑块状灰色-紫红色砂岩;e. 蒲江红色泥岩夹薄层灰色砂质灰岩;f. 龙泉驿蓬三段太和镇砂岩夹透镜状灰色灰岩

统计结果显示,在侏罗系沉积时期,龙门山物源控制着研究区的主要沉积。其显著依据是山前带断续分布的冲积砾岩体(图4)。从广元到剑阁金子山发育一个砾岩体,其大小为  $70\text{ km} \times 10\text{ km} \sim 70\text{ km} \times 30\text{ km}$ ,沉积厚度为  $0 \sim 400\text{ m}$ ,砾石成分以石英质为主;盆地西缘中段从江油到都江堰发育一个长条状砾岩体,其大小为  $180\text{ km} \times (10 \sim 20)\text{ km}$ ,沉积厚度在  $0 \sim 300\text{ m}$  变化,砾石成分为石英质和碳酸盐岩均有,还可以识别出两个较小的砾岩体,向南西方向延伸。而到了龙门山南段,砾石成分主要以碳酸盐岩为主,砾岩体形态向南西方向发育。总体呈现出物源供给具有从北东向南西逐渐迁移的过程,显示了龙门山逆冲构造的走滑对沉积的控制作用。

另外,从野外剖面中的交错层理的产状测量结果

和重矿物  $ZTR$  等值线看,研究区蓬莱镇组的沉积主要受北西龙门山短轴和南东川中古隆起长轴两个物源控制(图5),呈现出多物源的特点。

### 3.2 沉积相标志

从野外剖面 and 井下岩心的观察与对比,研究区蓬莱镇组主要发现了以下沉积体系及其相标志。

#### 1) 冲积扇沉积体系

主要发育于龙门山前,由山前带或陡崖朝着邻近低地延伸的扇形沉积体。其典型的沉积相标志是极其发育的洪积层理。是山区溪沟间歇性洪水挟带的碎屑物质在山前沟口的堆积,属快速流水搬运。因此,一般颗粒较粗,除砂、砾外,还有巨大的块石,分选性也差,大小混杂。因为洪流搬运距离不长,碎屑圆度不好,多



呈次棱角状。层理面不清晰,交错层理发育(图2a—c)。冲积扇沉积在自然伽马测井曲线上表现为块状低值(如图3中川CY95井中的蓬一段、蓬二段)。

## 2) 辫状河沉积体系

本区蓬莱镇组辫状河沉积体系中最为典型的沉积构造是大型槽状交错层理和侧积交错层理的广泛发育,底部见明显的冲刷面。前者为不稳定河道频繁改道所形成的心滩的沉积特征,后者则为相对稳定河道所形成的边滩的沉积特点(图6)。同时还可见大型板状交错层理、斜层理、平行层理和块状层理等。测井曲线上表现为下部低值块状曲线,向上逐步过渡为正旋回的钟形曲线(如图4中的蓬莱镇砂岩最为典型)。

## 3) 辫状河三角洲沉积体系

该沉积体系是辫状河入湖的产物,发育辫状河三角洲平原、前缘和前三角洲等亚相,其沉积物主要有水上(平原)、水下(前缘)分流河道砂体(图6a—d)、泛滥平原泥岩(水上)、间湾泥岩(水下)、决口扇砂(水上)、河口坝砂(水下)、前三角洲泥等。

## 4) 湖相沉积体系

该区的湖泊沉积广泛分布,前文所述的“苍山页岩”、“梨树湾页岩”、“李都寺灰岩”和“景福院页岩”等都是最大湖泛期的产物。根据沉积物的颜色可以确定水体的深浅,进而划分为滨浅湖亚相和半深湖亚相。在滨浅湖亚相中发育有湖相砂坝砂体。

## 3.3 砂体形态

根据地震和钻井资料分析,可以获得砂体形态及分布。

### 1) 剖面形态

从图3和图7都可以清楚地看出,研究区的沉积物主要为来自龙门山的冲积沉积体系入湖所形成,冲积扇主要分布于龙门山前构造带,进入凹陷带,则主要为三角洲—湖泊沉积体系。砂体在剖面上的形态主要表现为一个大型的人湖楔形体。

### 2) 平面形态

图8选取了研究区蓬莱镇组代表性砂组的砂岩百分比等值线图。从图中可以清楚地看出各砂组砂体的

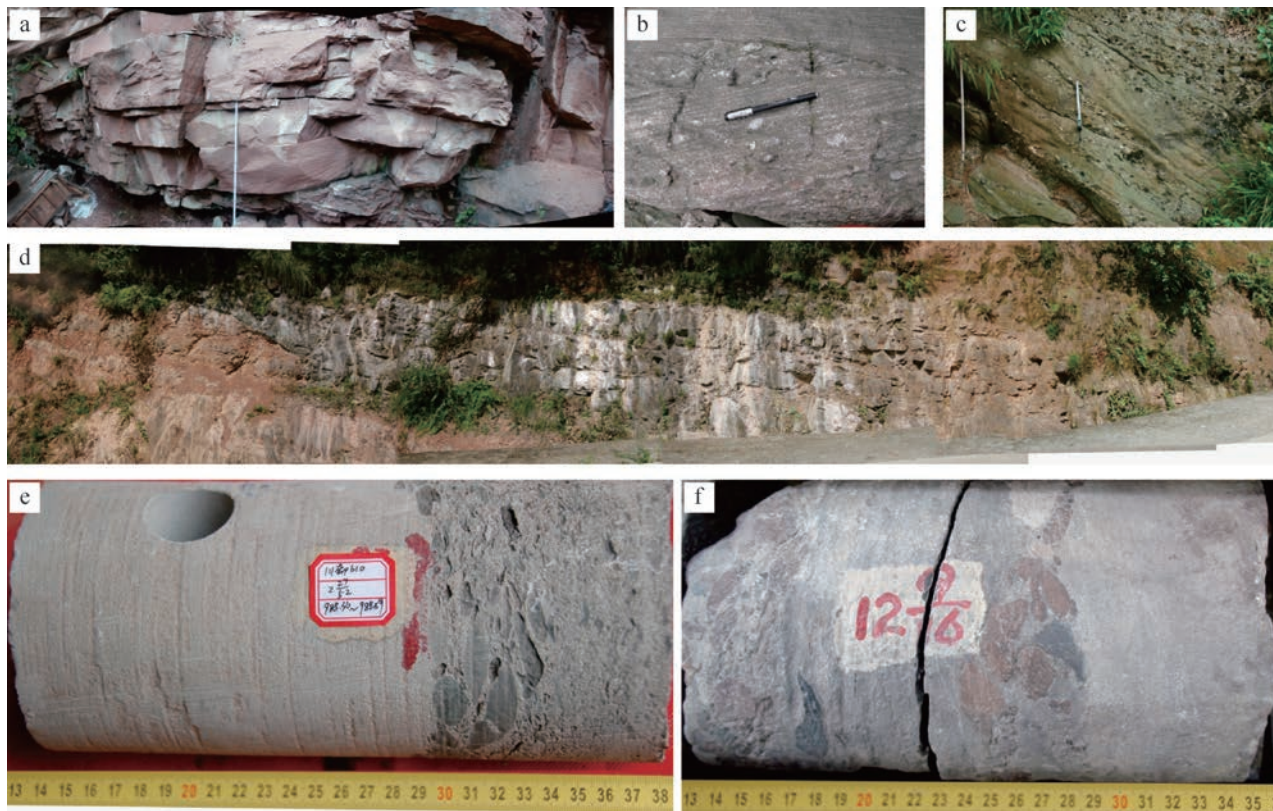


图6 川西凹陷蓬莱镇组辫状河沉积特征

Fig. 6 Depositional characteristics of braided river system in the Penglaizhen Formation in the western Sichuan Depression

- a. 龙泉山蓬莱镇组底部槽交错层理; b. 大邑斜源蓬莱镇组大型板状交错层理; c. 李冰陵剖面蓬莱镇组侧积交错层理;  
d. 青林口蓬三段的河道充填; e. 川都610井蓬四段冲刷面(埋深988.4m); f. 温江2井蓬莱镇组的冲刷面



平面分布形态及其演变规律。

砂体的平面形态总体上表现为从北西和东部两个物源区入湖的多个朵叶状,并在湖中心相互交叉。整个蓬莱镇组从下往上,砂岩百分比含量逐渐减少,反映了基准面逐渐上升,可容空间逐渐增大的特点。

另从沉积演化的角度分析,蓬四段沉积期,沉积中心偏向于工区南部,物源入口位于都江堰附近(图8中的 $J_3p^{2(2)}$ ),东部物源没有影响到本区;随后,物源逐渐北移,绵竹、安县附近的物源影响逐渐增大,东部物源主要影响到丰谷和中江一回龙一带(图8中的 $J_3p^{2(2)}$ )。

综合前述研究成果,在砂岩百分比等值线图的基础上,结合单井岩心沉积相、测井相和地震属性分析,完成各砂组的沉积相编图(图8)。

#### 4 典型气藏解剖及相带与致密气藏关系

另从各砂组已钻探的结果分析,工业性气层都出现

在砂岩百分比小于25%左右的范围内的水下分流河道、河口坝、席状砂、远砂坝等沉积微相砂体(图8,图9)。有利的岩性勘探区为图7中的虚线范围内,充分说明了沉积相对本区蓬莱镇组气藏形成的控制作用。

致密砂岩气藏与相带关系密切,与砂体的厚度及其沉积体位置有较大关系。已有发现的气藏均显示了一个重要的特征,即砂岩含量在25%左右,发育的主要亚相带为三角洲前缘,其中微相单元主要为分流河道、河口坝、席状砂、远砂坝等类型。气藏的发育整体呈“星点状”,连续性不强,大小不一。整体来说,由冲积扇-冲积平原-辫状河三角洲-浅湖相等构成的沉积体系中,研究区致密砂岩气藏的优势相带主要为三角洲前缘的砂体含量不高的相带。处于这些相带位置的距离生油岩距离近、储层物性特征较好、盖层的封盖能力强,生、储、盖组合配置较好(图10)。

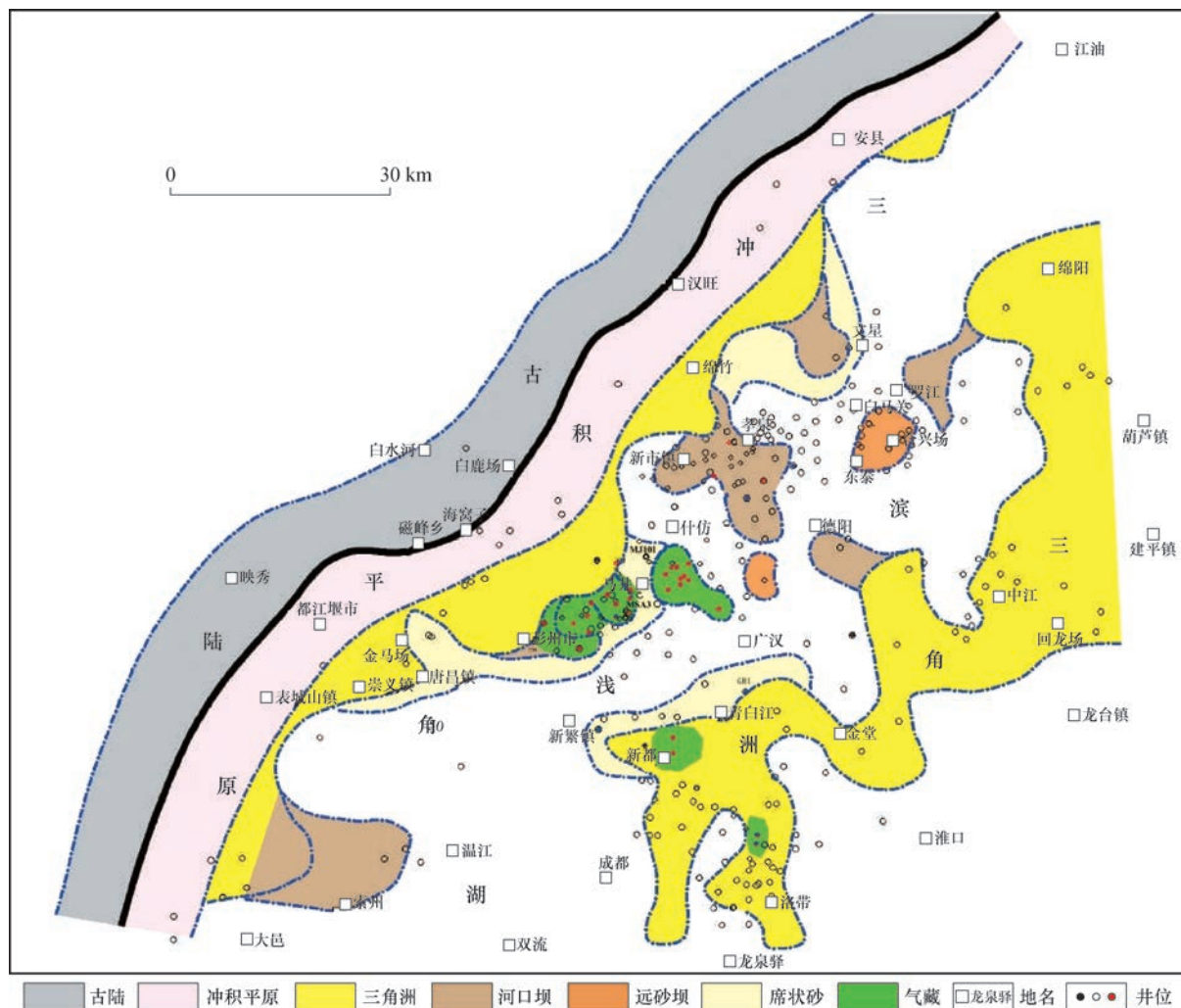


图9 川西凹陷蓬莱镇组二段二亚段典型砂组沉积相

Fig.9 Sedimentary facies distribution of typical sand bodies in the  $J_3p^{2(2)}$  in the western Sichuan Depression

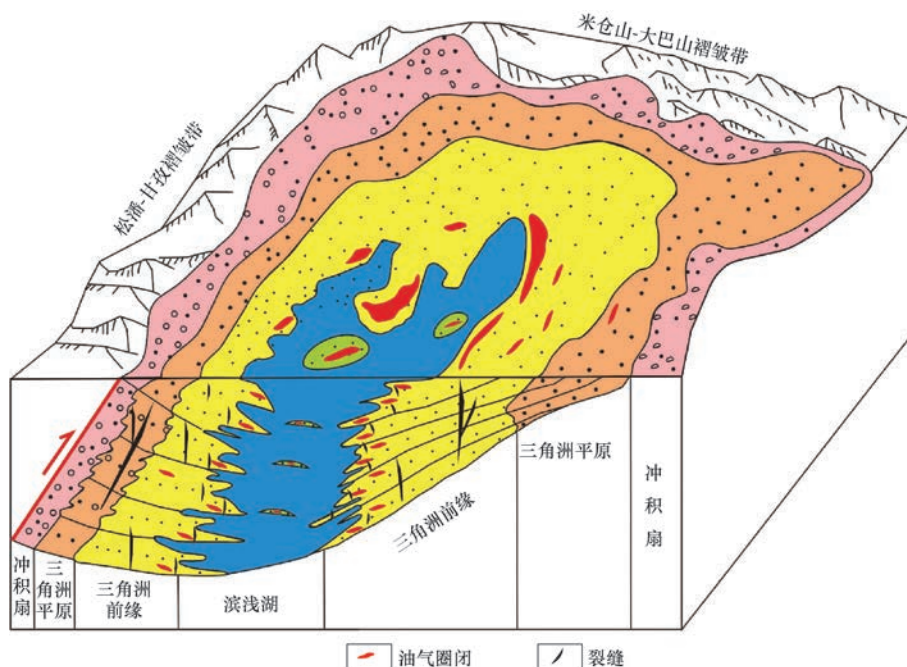


图10 川西凹陷蓬莱镇组沉积相带控制下致密砂岩气藏分布模式

Fig. 10 Tight sandstone reservoir distribution pattern under the control of sedimentary facies in the Penglaizhen Formation in the western Sichuan Depression

## 5 结论

1) 川西坳陷中段蓬莱镇组沉积主要受来自北西向的龙门山短距离物源控制为主, 东部长距离物源次之; 从龙门山前至凹陷区依次发育冲积扇、冲积平原、辫状河三角洲、湖泊相等沉积体系。

2) 依据高分辨率层序地层学原理, 将蓬莱镇组划分为2个长期、4个中期及29个短期旋回。

3) 蓬莱镇组含气砂体主要为三角洲前缘水下分流通河道、河口坝、席状砂、远砂坝等砂体, 砂岩百分含量25%为重要的含气界限, 有利的含气圈闭主要是上述砂体受构造或斜坡背景控制而形成。

## 参 考 文 献

- [1] 杨克明, 朱宏权. 川西叠覆型致密砂岩气区地质特征[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 1-8.  
Yang Keming, Zhu Hongquan. Geological characteristics of superposed tight sandstone gas-bearing areas in western Sichuan[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(1): 1-8.
- [2] 印森林, 陈恭洋, 张玲, 等. 岩相构型对致密砂岩优质储层的控制作用——以川西坳陷须家河须二段为例[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(7): 1179-1189.  
Yin Senlin, Chen Gongyang, Zhang Ling, et al. The controlling effect of lithofacies architecture on high quality tight sandstone reservoirs: A case study of second member of the Upper Triassic of Xujiahe For-

mation, western Sichuan Depression, China[J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(7): 1179-1189.

- [3] 王屿涛, 吕纯刚, 姚爱国, 等. 准噶尔盆地致密砂岩气资源潜力及勘探前景[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(5): 855-860.  
Wang Yutao, Lv Chuangang, Yao Aiguo, et al. Tight sandstone gas resource potential and exploration prospect in the Junggar Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(5): 855-860.
- [4] 林潼, 易士威, 叶茂林, 等. 库车坳陷东部致密砂岩气藏发育特征与富集规律[J]. 地质科技情报, 2014, 33(2): 116-122.  
Lin Tong, Yi Shiwei, Ye Maolin, et al. Characteristic of tight sandstone gas reservoir and the enrichment regularity in Eastern Kuqa Depression[J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(2): 116-122.
- [5] 芦慧, 鲁雪松, 范俊佳, 等. 裂缝对致密砂岩气成藏富集与高产的控制作用——以库车前陆盆地东部侏罗系迪北气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(6): 1047-1056.  
Lu Hui, Lu Xuesong, Fan Junjia, et al. The controlling effects of fractures on gas accumulation and production in tight sandstone: A case of Jurassic Dibe gas reservoir in the east Kuqa Foreland Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2015, 26(6): 1047-1056.
- [6] 赵双丰, 张枝焕, 李文浩, 等. 川西坳陷什邡地区蓬莱镇组天然气藏特征及成藏过程分析[J]. 中国地质, 2015, 42(2): 515-524.  
Zhao Shuangfeng, Zhang Zhihuan, Li Wenhao, et al. Accumulation process and characteristics of gas reservoirs in the Penglaizhen Formation of Shifang area, Western Sichuan Depression[J]. Geology in China, 2015, 42(2): 515-524.
- [7] 何鲤, 柳梅青, 何治国, 等. 川西及邻区蓬莱镇组沉积层序特征及有利储集相带预测[J]. 石油实验地质, 1999, 21(2): 119-127.  
He Li, Liu Meiqing, He Zhiguo, et al. Sedimentary sequence charac-

- teristics and favorable reservoir facies-tract prediction for the Penglaizhen formation of west Sichuan and adjacent areas[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1999, 21(2): 119–127.
- [8] 陈洪德,徐胜林. 川西地区晚侏罗世蓬莱镇期构造隆升的沉积响应[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2010, 37(4): 353–358.
- Chen Hongde, Xu Shenglin. Depositional response to the tectonic uplift during the Late Jurassic Penglaizhen Stage in West Sichuan, China[J]. *Journal of Chengdu University of technology (Science & Technology Edition)*, 2010, 37(4): 353–358.
- [9] 钱利军,陈洪德,时志强,等. 川西拗陷中段蓬莱镇组物源及沉积相展布特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2013, 40(1): 15–24.
- Qian Lijun, Chen Hongde, Shi Zhiqiang, et al. Provenance and sedimentary facies evolution of Penglaizhen Formation in the part of West depression[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2013, 40(1): 15–24.
- [10] 叶素娟,李嵘,张庄. 川西拗陷中段上侏罗统蓬莱镇组物源及沉积体系研究[J]. *沉积学报*, 2014, 32(5): 930–940.
- Ye Sujuan, Li Rong, Zhang Zhuang. Provenance analysis and depositional system of the Upper Jurassic Penglaizhen Formation in the Middle Part of Western Sichuan, China[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(5): 930–940.
- [11] 朱志军,陈洪德,林良彪,等. 川西前陆盆地蓬莱镇组层序、岩相古地理特征及演化[J]. *地层学杂志*, 2009, 33(3): 318–325.
- Zhu Zhijun, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of the penglaizhen formation in west sichuan foreland basin[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2009, 33(3): 318–325.
- [12] 雷卞军,杨跃明,蒋裕强,等. 川西邛崃—蒲江蓬莱镇组高分辨率层序地层研究[J]. *天然气工业*, 2003, 23(6): 68–73.
- Lei Bianjun, Yang Yueming, Jiang Yuqiang, et al. Research on high resolution sequence stratigraphy of jurassic Penglaizhen Formation in west Sichuan [J]. *Natural Gas Industry*, 2003, 23(6): 68–73.
- [13] 苟宗海. 四川龙门山中段前陆盆地沉积相与层序地层划分[J]. *沉积与特提斯地质*, 2000, 20(4): 79–88.
- Gou Zonghai. Division of sedimentary facies and sequence stratigraphy of the foreland basin in the Longmen mountain area, Sichuan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2000, 20(4): 79–88.
- [14] 陈兆荣,侯明才,董桂玉,等. 川西前陆盆地上侏罗统蓬莱镇组沉积特征[J]. *东华理工大学学报(自然科学版)*, 2008, 31(4): 325–331.
- Chen Zhaorong, Hou Mingcai, Dong Guiyu, et al. The characteristics of sedimentary facies at Penglaizhen Formation of Upper Jurassic in Western Sichuan Foreland Basin[J]. *Journal of East China Institute of Technology*, 2008, 31(4): 325–331.
- [15] 陈竹新,贾东,魏国齐,等. 川西前陆盆地中—新生代沉积迁移与构造转换[J]. *中国地质*, 2008, 35(3): 472–481.
- Chen Zhuxin, Jia Dong, Wei Guoqi, et al. Meso-Cenozoic sediment transport and tectonic transition in the western Sichuan for eland basin[J]. *Geology in China*, 2008, 35(3): 472–481.
- [16] 徐强,朱同兴,牟传龙. 川西晚三叠世—晚侏罗世层序岩相古地理编图[J]. *西南石油学院学报*, 2001, 23(1): 1–4.
- Xu Qiang, Zhu Tongxing, Mou Chuanlong. Sequence-paleogeographic mapping of upper Triassic Xujiahe formation and upper Jurassic Penglaizhen formation in western Sichuan, China[J]. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 2001, 23(1): 1–4.
- [17] 刘君龙,纪友亮,杨克明,等. 浅水湖盆三角洲岸线控砂机理与油气勘探意义——以川西拗陷中段蓬莱镇组为例[J]. *石油学报*, 2015, 36(9): 1060–1073.
- Liu Junlong, Ji Youliang, Yang Keming, et al. Mechanism of lake shoreline control on shoal water deltaic sandbodies and its significance for petroleum exploration: a case study of Penglaizhen Formation in the middle part of western Sichuan depression[J]. *Acta petrolei sinica*, 2015, 36(9): 1060–1073.
- [18] 李学明,吕正祥,黎从军. 川西新场气田蓬莱镇组有利储集砂体展布研究[J]. *岩相古地理*, 1997, 17(3): 54–59.
- Li Xueming, Lv Zhengxiang, Li Congjun. Distribution of the favourable reservoir sandstone bodies in the Penglaizhen Formation in the Xinchang gas field, western Sichuan[J]. *Lithofacies Paleogeography*, 1997, 17(3): 54–59.
- [19] Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high-resolution stratigraphic correlation[C]. *Norwegian: Petroleums-Forening Conference Volume*, 1996: 1–24.
- [20] Cross T A. Controls on coal distribution in transgressive-regressive cycles, Upper Cretaceous, Western Interior D S A[J]. *SEPM Sepecial Publication*, 1988, 42: 371–380.
- [21] Cross T A. Straigraphic controls on reservoir attributes in continental strata[J]. *Earth Science Frontiers*, 2000, 7(4): 322–350.
- [22] Cross T A, Baker M R, Chapin M A, et al. Applications of high-resolution sequence stratigraphy to reservoir analysis[J]. *Collection Colloques et Seminaires-Institut Francais Du Petrole*, 1993, 51: 11–11.

(编辑 张亚雄)