

# 四川盆地关键构造变革期不整合特征及其油气地质意义

武赛军<sup>1</sup>,魏国齐<sup>2</sup>,杨威<sup>2</sup>,谢武仁<sup>2</sup>,王甬<sup>1</sup>,曾富英<sup>2</sup>

1. 中国石油勘探开发研究院,北京 100083
2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院,廊坊 065007

**摘要** 随着震旦系—下寒武统天然气勘探取得重大发现,对古构造格局有了新的认识,该地质时期发育呈南北向展布的隆坳构造。桐湾期、加里东期、印支期为四川盆地3期关键构造变革期,其不整合分析是构造演化研究的重要手段,因此有必要通过关键构造变革期不整合研究,分析构造变革对古构造演化的影响。基于钻井、野外露头、地震资料分析,并结合区域地质资料,探讨关键构造变革期不整合发育特征,研究震旦纪—早寒武世古构造演化及其对震旦系天然气成藏的影响。结果表明:1) 3期关键构造变革形成了震旦系—下寒武统(桐湾期)、中上寒武统一二叠系(加里东期)及上三叠统一侏罗系(印支期),7个区域性不整合;2) 不整合具有叠合性、迁移性特征,叠合性主要反映构造继承性,迁移性主要反映古构造的变迁过程,依据不整合发育特征,高石梯—磨溪构造区构造演化划分为发育期、调整期及稳定期3个演化阶段;3) 不整合与隆起区丘滩体叠加控制了震旦系岩溶储层发育,不整合面可作为油气运聚优势通道,不整合迁移性有助于分析古构造圈闭的形成与消亡。分析认为,关键构造变革期不整合特征分析对认识震旦纪—早寒武世隆坳构造后期演化及油气运聚具有重要意义。

**关键词** 关键构造变革期;震旦纪—早寒武世;不整合特征;桐湾运动;四川盆地

**中图分类号** TE122

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.10.009

## Unconformity characteristics and its petroleum geological implication in key tectonic change stages, Sichuan Basin

WU Saijun<sup>1</sup>, WEI Guoqi<sup>2</sup>, YANG Wei<sup>2</sup>, XIE Wuren<sup>2</sup>, WANG Nai<sup>1</sup>, ZENG Fuying<sup>2</sup>

1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China
2. Langfang Branch, PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Langfang 065007, China

**Abstract** With great discoveries of natural gas in the Sinian System–Lower Cambrian, new understanding of the paleotectonic framework has been formed. The uplift and depression structure is distributed in north–south trending in that geological time. Three key tectonic change stages are Tongwan Stage, Caledonian Period and Indo–Chinese Epoch. The analysis of unconformity characteristics is an important technique in the research of tectonic evolution. Therefore, analysis of unconformities of key tectonic change stages is helpful for further understanding their influence on paleotectonic evolution. Based on the analysis of drilling, outcrop, seismic data, combined with regional geological data, we discuss the unconformity characteristics and paleotectonic evolution in the Sinian Period–Early Cambrian and their influence on gas accumulation in the Sinian System. The results showed that: 1) Three key tectonic changes formed, which are the Sinian System–Lower Cambrian (Tongwanian), Upper Cambrian–Permian (Caledonian Period) and Upper Triassic–Jurassic (Indo–Chinese Epoch), seven regional unconformities; 2) The unconformity characteristics consist of superposition and migration. Superposition mainly reflects the structural inheritance, and migration mainly reflects the change processes of paleostructure. Tectonic evolution of the Gaoshiti–Moxi zone could be divided into stages of puberty, adjustment and

收稿日期:2015-03-13;修回日期:2015-04-27

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05007)

作者简介:武赛军,博士,研究方向为构造地质,电子邮箱:wsj\_8510@163.com

引用格式:武赛军,魏国齐,杨威,等.四川盆地关键构造变革期不整合特征及其油气地质意义[J].科技导报,2015,33(10):93-100.

stabilization on the basis of unconformity characteristics; 3) Superposition of unconformity and mound-beach system in uplift zone controls karst reservoir development in the Sinian System. Unconformable surfaces can be used for migration and accumulation channels for oil and gas. Unconformity migration is helpful for analyzing the formation and vanishment of paleotectonic traps. The analysis of unconformity characteristics in key tectonic change stages is significant for the later evolution and hydrocarbon migration of uplift and depression tectonic areas in Sinian Period-Early Cambrian.

**Keywords** key tectonic change stages; Sinian Period-Early Cambrian; unconformity characteristics; Tongwan movement; Sichuan Basin

四川盆地震旦系一下古生界油气勘探潜力巨大,勘探实践证实震旦系一下寒武统碳酸盐岩天然气资源丰富,2011年7月高石1井在寒武系龙王庙组、震旦系灯影组取得重大勘探突破<sup>[12]</sup>,已成为四川盆地天然气勘探的重要接替层位,其储层与烃源岩发育受震旦一早寒武世隆坳构造格局控制<sup>[3]</sup>。关键构造变革期的确定对于分析盆地演化史及油气生成聚史具有重要意义<sup>[4]</sup>,四川盆地经历多期构造变革,对震旦纪一早寒武世构造演化具有重要影响的构造变革期的确定,是研究该构造演化的基础。

自2011年特大型气田发现以来,众多学者对震旦纪一早寒武世隆坳构造开展大量的研究,震旦纪一早寒武世发育的南北向克拉通内裂隙(或侵蚀谷、拉张侵蚀槽、拉张槽)<sup>[3,5-7]</sup>,及其伴生发育东西两侧高石梯-磨溪、威远及西侧隆起区。与南北向隆坳构造格局不同,加里东期乐山-龙女寺古隆起构造变形显著,核部相对大幅隆升,主体呈向北东东向倾没古隆起<sup>[8-13]</sup>。印支期是四川盆地由海相沉积转为内陆湖相沉积的重要转折时期,印支早幕在盆地内出现了北东东的大型隆起与坳陷,发育泸州隆起、开江隆起<sup>[14,15]</sup>。加里东期及印支期分别为隆升剥蚀型变革期及海-陆转换型变革期<sup>[15]</sup>,其与桐湾运动整体抬升、差异隆升区遭受剥蚀构造变革期共同构成四川盆地海相及过渡相关构造变革期。

随着震旦纪一早寒武世隆坳构造格局的地质新认识的深入,关键构造变革期对其产生的影响有待进一步探讨。由于关键构造变革期不整合特征研究是构造演化的重要手段,因此其深入研究有助于分析震旦纪一早寒武世古构造形成及构造演化。

本文在前人研究基础上,以川中地震勘探资料、钻井及盆缘露头资料为基础,研究构造变革期不整合特征,并分析其对高石梯-磨溪构造区构造演化的意义,进而分析其对油气成藏与运聚的影响。

## 1 地质背景

四川盆地位于中国西部,为一具有明显“菱形”边框的叠合盆地,属扬子准台地偏西北侧的次一级构造单元(图1)。四川盆地主要经历晋宁-澄江期(前震旦)复杂基底的形成阶段、桐湾期(震旦纪一早寒武世)克拉通内裂隙构造形成与充填阶段<sup>[3,5-7]</sup>、加里东期大面积隆升与剥蚀阶段和海西期持续隆升与剥蚀阶段,并在印支期初步呈现盆地雏形,后

经喜马拉雅运动盆地全面褶皱才形成了现今构造面貌<sup>[6]</sup>。在演化过程中,盆地构造以整体抬升、局部差异升降为主,导致了古构造高部位的剥蚀,并形成了多期构造不整合。

四川盆地地层纵向上层系齐全、厚度巨大,具有多层系、多旋回特点,主要经历了克拉通盆地和前陆盆地沉积阶段,发育了震旦系一中三叠统海相碳酸盐岩(总厚达3500~6000 m)及上覆三叠统一第三系的陆相碎屑岩层(厚度达2500~6000 m)<sup>[16,17]</sup>。

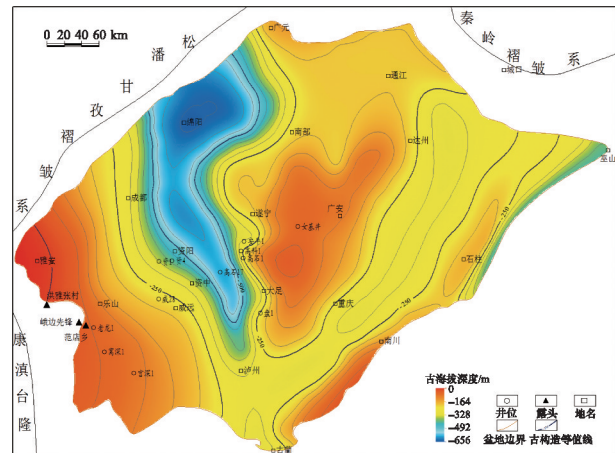


图1 四川盆地大地构造位置及震旦纪隆坳构造格局初期叠合图  
Fig. 1 Superposed map of geotectonic location and Early-Sinian uplift-depression tectonic framework in Sichuan Basin

## 2 关键构造变革期不整合

关键构造变革期是指大地构造环境发生根本性变化转折、导致盆地性质和盆地类型出现重大转换的构造运动期<sup>[18]</sup>。通过地震剖面、野外露头、钻井等资料分析,认为对震旦纪一早寒世古构造有重要影响的构造变革运动形成的不整合包括:震旦系一下寒武统(桐湾期)不整合、中上寒武统一二叠系(加里东期)不整合和上三叠统一侏罗系(印支期)不整合(图2、图3)。

### 2.1 震旦系一下寒武统(桐湾期)不整合

震旦纪一早寒武世桐湾运动为一期多幕构造运动,以垂直升降为主,在四川盆地及周缘表现为大范围的抬升剥蚀,发育区域性不整合,以平行不整合为主,局部地区发育角度不整合接触<sup>[19,20]</sup>(图2、图4)。

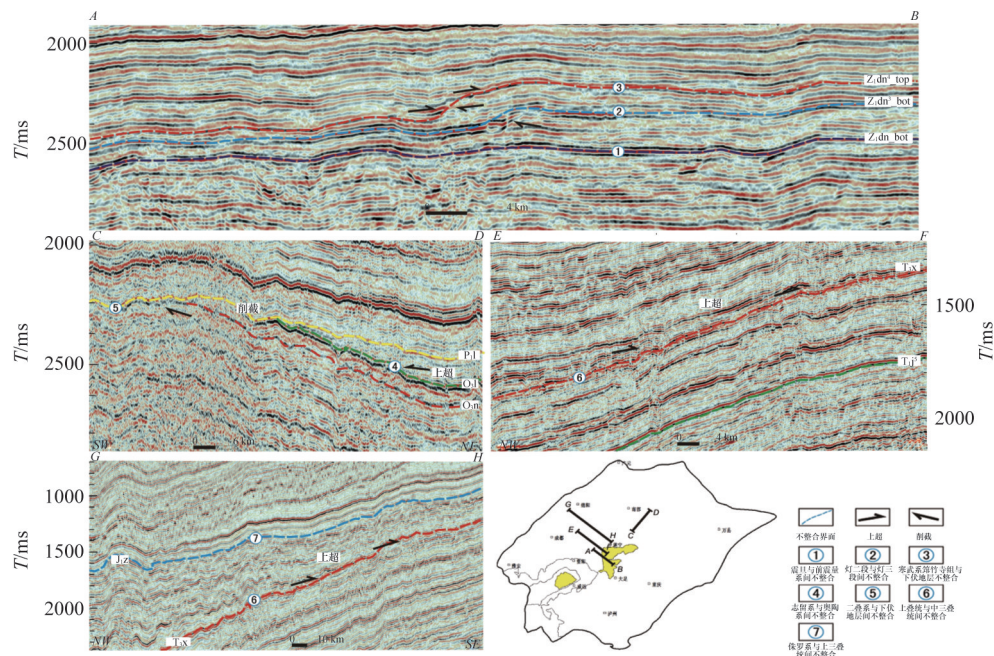


图2 四川盆地不整合发育特征  
Fig. 2 Features of unconformities in Sichuan Basin



①—灯影组二段;②—灯影组三段;③—灯影组四段;④—下寒武统麦地坪组;⑤—下寒武统筇竹寺组;  
⑥—中三叠统雷口坡组;⑦—上三叠统须家河组;⑧—侏罗系

图3 四川盆地及周缘野外不整合剖面

Fig. 3 Outcrop profiles of unconformities in and around Sichuan Basin

桐湾I幕造成四川盆地构造抬升,形成灯二段与灯三段间的不整合。高石梯-磨溪构造区高石1井、女基井等,以及威远-资阳地区钻井揭示灯二段顶部发育大量因地层隆升、沉积间断而遭受风化剥蚀和大气淡水溶蚀所形成的溶蚀孔、洞(图5(a)、(b)),并且在灯二段上部发育具有地层抬升暴露标志大气淡水溶蚀形成的渗流豆构造。盆地周缘峨边先锋

(图3(a))、巫溪康家坪等露头可见灯三段不整合于灯二段上,灯二段上部普遍发育溶蚀孔洞。

桐湾II幕与桐湾III幕构造运动形成了震旦系灯影组与麦地坪组、麦地坪组与筇竹寺组间的不整合,局部地区,如盆地内高石梯-磨溪、资阳局部桐湾II幕与III幕形成的不整合面叠合为一。地震剖面可见麦地坪组和筇竹寺组超覆不整

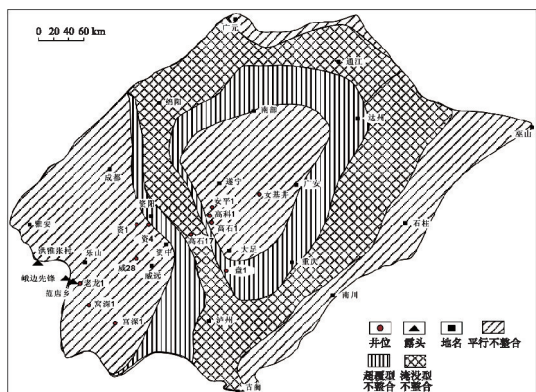


图4 桐湾期不整合类型分布简图

Fig. 4 Simplified distribution map of different unconformity types in Tongwanian

合在灯三段、灯四段地层之上(图2②),在裂隙带内麦地坪组与灯四—灯三段间为淹没不整合,由于灯四—灯三段欠补偿沉积地层很薄,地震难于识别,常显示麦地坪组与下伏地层的削蚀不整合特征;高石梯-磨溪、威远-资阳等广大地区主要表现为筇竹寺组平行不整合或削蚀不整合在灯四段之上,钻井岩心揭示灯四段广泛发育因构造抬升形成的大量溶蚀孔洞(图5(c)、(d)、(e)、(f)),资阳局部地区筇竹寺组直接覆盖于灯影组二段之上。盆缘先锋剖面、乐山范店剖面显示灯四段发育溶蚀孔洞,且与上覆地层呈不整合接触(图2②,图3(b))。桐湾III幕在盆缘川西南乐山范店剖面、高桥张沟-高坡剖面、峨眉市张山剖面、洪雅张村、神农架、峡东、南漳、黔中南麻江基东剖面等地,表现为在筇竹寺组与麦地坪组之间不整合<sup>[21,22]</sup>(图3(c)、(d))。

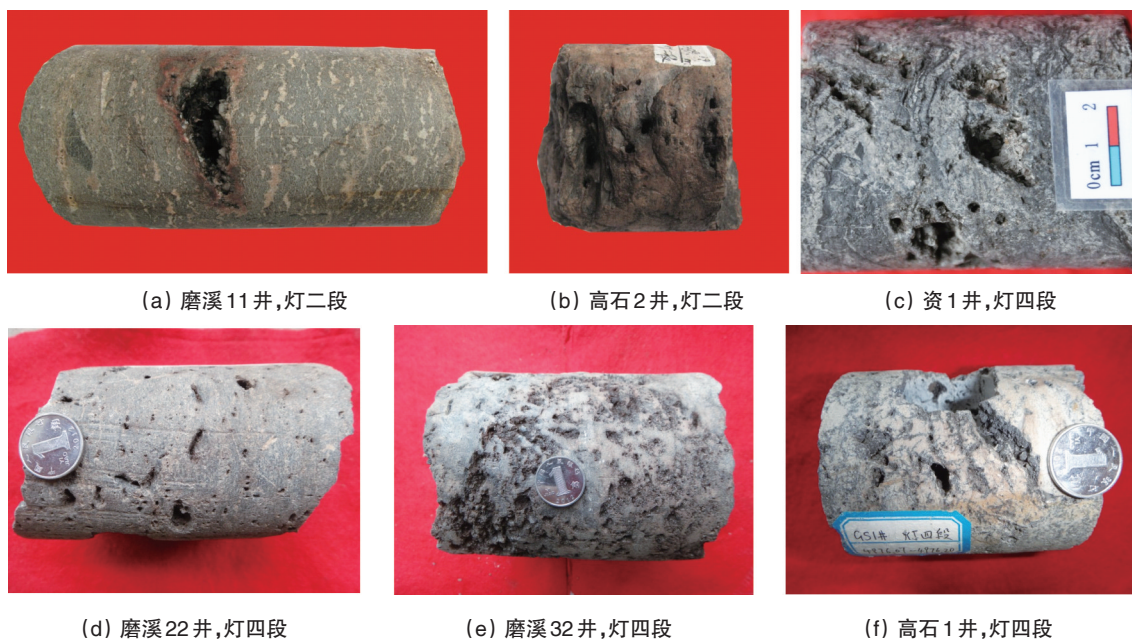


图5 四川盆地震旦系灯影组岩溶孔洞特征

Fig. 5 Features of Karst cavities of Sinian Dengying Formation in Sichuan Basin

## 2.2 中上寒武统一二叠系(加里东期)不整合

受加里东运动影响,四川盆地中、西部发生强烈褶皱变形,发育乐山—龙女寺大型隆起,川西南部强烈抬升,由于川中刚性稳定基底影响,川中抬升幅度相对较小,古隆起向北东东向倾没,剥蚀强度由南充向雅安方向依次增加,后期叠加云南运动,乐山—龙女寺古隆起再次抬升剥蚀,致使二叠系与寒武系、奥陶系、志留系等下覆地层之间不整合特征(图6)。地震剖面显示地层呈削截不整合接触关系(图2C-D剖面);川西南雅安地区二叠系直接上覆于震旦系地层之上,形成四川盆地发育最广泛、最容易识别的区域不整合之一(图2④),主要表现为古隆起区寒武系、奥陶系、志留系等下覆地层遭受严重剥蚀或缺失<sup>[8~13]</sup>。在乐山—龙女寺古隆起核部整体缺失奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系,震旦系—寒武系遭受严重剥蚀。其中高石梯-磨溪地区安平1—女基井以北剥蚀至中上寒武统。

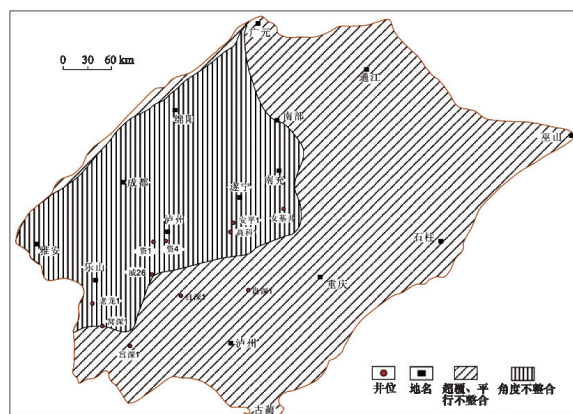


图6 加里东期不整合类型分布简图

Fig. 6 Simplified distribution map of different unconformity types in Caledonian stage

### 2.3 上三叠统一侏罗系(印支期)不整合

印支运动在四川盆地表现为明显的两期不整合,一为印支早幕形成的上三叠统须家河组与中三叠统之间不整合(图3(e)),另一为印支晚幕形成的侏罗系与上三叠统之间不整合(图3(f))。印支早幕以抬升为主,沉积由海相沉积转换为内陆湖盆沉积,隆升幅度以华蓥山一线为中心的隆起带最大,形成泸州、开江隆起区,川东南泸州及周缘雷口坡组剥蚀殆尽,嘉陵江组中上部地层遭受严重剥蚀,开江隆起区剥蚀较弱,仅剥蚀雷口坡组上部地层<sup>[14-16]</sup>。高石梯-磨溪地区钻井揭示,雷口坡组缺失雷二段以上地层,由须家河组直接不整合于残留的雷口坡组之上。地震剖面上可见雷口坡组顶部被削截,须家河组由北西向南东上超于雷口坡组之上(图2⑥),两者间为削截-超覆型不整合接触关系。

上三叠统与侏罗系之间不整合,主要表现为上三叠统遭受剥蚀,形成上下地层沉积间断,在钻井或露头可见其间为假整合接触(图3(f))或局部表现为角度不整合。川西北盆地边缘龙门山北段可见明显的角度不整合,如江油二郎庙白田坝组角度不整合于小塘子组和须家河组之上;江油柏胜大梁上白田坝组与飞仙关组呈角度不整合。高石梯-磨溪古隆起北部地震剖面上,侏罗系与须家河组地层产状基本一致,形成整一型不整合接触(图2⑦)。

## 3 不整合的叠合性与迁移性特征

四川盆地经历多期构造变革,表现出多幕构造运动形成的不整合面发生重合,即不整合的叠合性以及不整合随隆起区的变迁而具有的迁移性。

### 3.1 不整合的叠合性

四川盆地不同构造区同期不同幕或不同构造期形成的不整合具有叠合性特征,表现为不同期构造运动所形成的不整合面发生重合。川中高石梯-磨溪、威远构造区筇竹寺组直接上覆于震旦系灯四段之上,其间大部分或局部缺失麦地坪组(图2、图7),表现为该构造区桐湾II、III幕不整合发生叠合。资阳地区资1井区筇竹寺组上覆于震旦系灯二段之上,如资1、资5、资6井等,该区桐湾I、II、III幕不整合发生叠合(图7)。川中地区奥陶纪一二叠纪前构造运动形成加里东晚期及云南期不整合的叠合(图8),加里东运动造成乐山-龙女寺古隆起发生褶皱变形,在其倾没端隆起前缘奥陶系未剥蚀区,厚度变化不大,向川中剥蚀区延伸可见与二叠系间呈明显角度不整合,该不整合应为先沉积后期剥蚀所致。在乐山-龙女寺古隆起倾没端及隆起前缘志留系与奥陶系间呈超覆型不整合。上述分析可知,不整合叠合现象在川中演化受加里东及云南运动的影响,奥陶系沉积期川中地区接受沉积,并具小幅隆升,志留系沉积期,随着隆升持续,造成由东向西超覆沉积(图8中a),志留纪末期,加里东晚期运动致使川西南及川中隆升幅度急剧增加,隆起倾没端亦遭受剥蚀,后期云南运动使盆地整体抬升,大范围广遭剥蚀,从而致使在南充-遂宁等地区发生加里东期及后期不整合面的叠合

(图8中b)。川西南雅安地区,受桐湾运动的影响,龙门山带抬升,普遍剥蚀至富藻白云岩段,与上覆寒武系呈假整合接触<sup>[9]</sup>。经历加里东期古隆起形成阶段,川西南地区普遍抬升,致使川西南地区遭受严重剥蚀,该区叠合性表现为桐湾期的平行不整合与加里东期的削截不整合叠合。

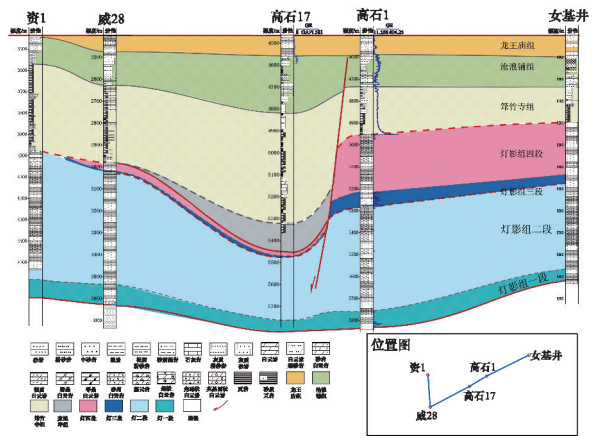
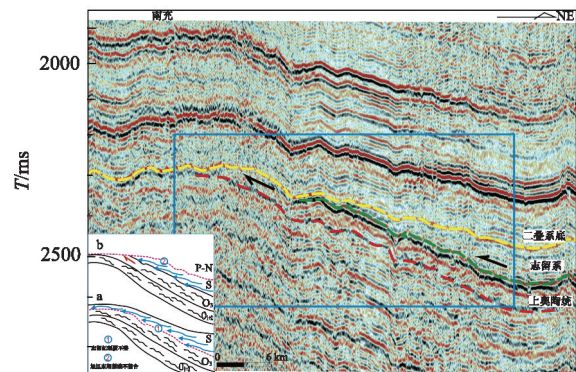


图7 资阳-威远-高石梯-龙女寺构造区连井剖面  
Fig. 7 Connecting well section of Ziyang-Weiyuan-Gaoshiti and Longnvsi tectonic region



a—奥陶纪—志留纪不整合形成示意;b—泥盆—二叠纪不整合形成示意

图8 四川盆地不整合叠合性典型地震剖面

Fig. 8 Typical seismic profiles of unconformable superposition in Sichuan Basin

### 3.2 不整合的迁移性

不整合的迁移性主要表现为3期不同构造变革期之间不整合强烈发育区的变迁。下寒武统以碎屑岩为主的地层厚度由川西向川东逐渐减薄(图9),超覆不整合于下伏地层之上,结合盆地范围不整合分布(图4),西侧拗陷区发育淹没型不整合,向东斜坡区发育超覆型不整合,至高石梯-磨溪-龙女寺构造相对隆起区发育平行不整合,该区构造运动强烈致使麦地坪组缺失,为不整合强烈发育区。位于龙女寺构造区西侧现今构造斜坡区二叠系底界与下伏地层呈明显削截不整合接触(图9(a))。印支期不整合强烈发育区位于华蓥山构造带,龙女寺构造及绵阳西侧不整合表现为削截-超覆型

不整合。不整合发育区的变迁,反映不同构造变革期古构造多次迁移。通过运用层拉平技术,恢复其构造演化阶段(图9(a)),结合区域地质资料,研究表明四川盆地不整合强烈发育区在震旦纪—现今发生多期迁移(图9(a))。1)震旦纪—早寒武世,地壳整体抬升,局部差异沉降,高石梯—龙女寺构造区西侧局部发育超覆型不整合,东西向剖面显示构造高部位位于龙女寺构造区(图9(a)①),以发育平行不整合为主,

为不整合强烈发育区;2)奥陶纪—前二叠纪,受加里东运动影响,盆地西侧强烈隆升,不整合强烈发育区由龙女寺构造区向盆地西侧现今构造斜坡区迁移,并发育削截—超覆型不整合(图9(a)②);3)二叠纪—现今,不整合由西侧向东侧迁移,发育削截—超覆型不整合,其中上三叠统与下伏地层间不整合最为明显(图9(a)③)。不整合的多期迁移反映桐湾、加里东、印支构造变革期构造高部位的迁移。

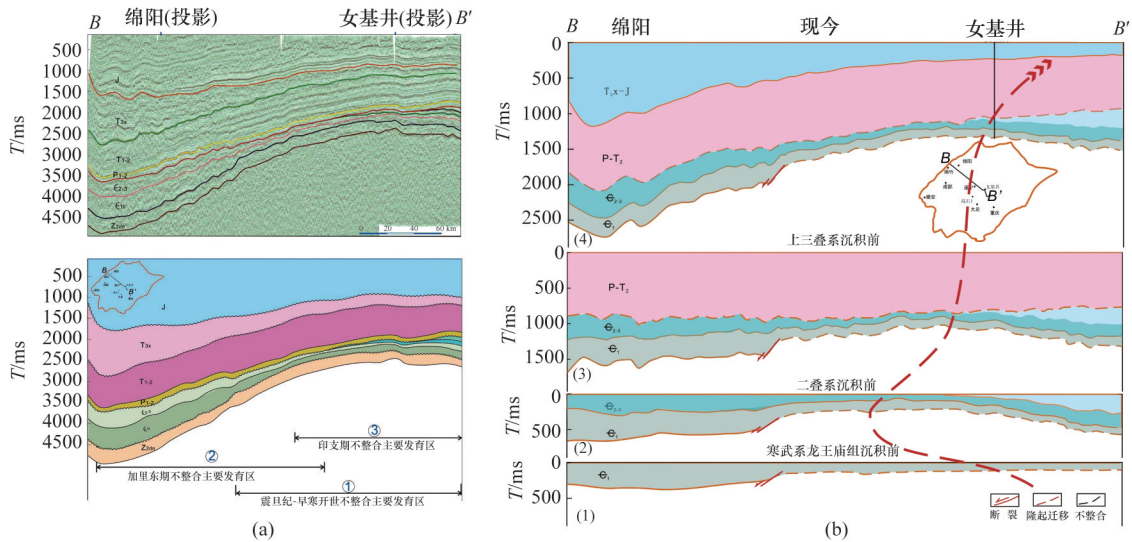


图9 不整合迁移典型剖面(a)及其构造演化剖面(b)

Fig. 9 Typical profiles (a) and tectonic evolution profile (b) of unconformable migration

### 3.3 不整合特征分析对高石梯—磨溪地区构造演化意义

叠合性,反映古构造发育的继承性。震旦纪—早寒武世四川盆地隆拗构造格局发育<sup>[3]</sup>,桐湾Ⅲ幕抬升运动,形成多个以平行不整合界面,在不同构造区发生不同程度的叠合,威远、高石梯—磨溪构造区表现为桐湾Ⅱ、Ⅲ幕叠合,资阳局部区表现为三幕叠合。高石梯—磨溪地区下寒武统筇竹寺组直接上覆于灯四段,其间缺失麦地坪组(图7),表明桐湾Ⅱ幕及桐湾Ⅲ幕构造抬升,导致麦地坪组沉积间断或薄层沉积后期遭受剥蚀,反映该区在灯四末期及麦地坪期处于隆拗构造格局的继承性古构造高地。

迁移性,反映古构造的变迁过程。随着不同构造变革期演化,不整合随之迁移,对于不整合迁移性的研究不仅有助于分析不整合形成时期构造变迁,而且有助于分析构造运动对深层构造的影响,为古构造演化提供依据。

震旦纪—早寒武世不整合主要发育于隆拗构造格局的隆起区,如威远—资阳、高石梯—磨溪至龙女寺构造为核心区域(图9(b)(1))。加里东期不整合强烈发育区由川中向川西南迁移,表现为雅安—资阳—南充地层遭受不同剥蚀,雅安地区剥蚀至震旦系(图9(b)(2))。反映该地质时期乐山—龙女寺古隆起强烈褶皱隆升,隆升幅度川西南最大,高石梯—磨溪—龙女寺构造区隆升幅度相对减小,但整体表现为古构造

高部位向西侧略迁移,乐山—龙女寺古隆起在高石梯—磨溪—龙女寺构造区隆升幅度小,隆升未继续向东侧扩展,除与地质作用力由西向东影响力减弱有关外,推测可能与川中为刚性地块有关,进而高石梯—磨溪—龙女寺构造区表现为相对稳定区。又由于加里东期乐山—龙女寺古隆起的倾没端(高石梯—磨溪构造区)不整合叠合性发育,反映高石梯—磨溪构造区受加里东期构造改造的同时具有继承性发育的特征。印支早期不整合再次迁移(图9(b)(3)),强烈发育区由川西南迁移至泸州及开江等地区,泸州—宜宾一线雷口坡组剥蚀殆尽,开江地区剥蚀相对较弱,残留部分雷口坡地层,表明华蓥山构造带大幅隆升,震旦纪高石梯—磨溪古构造区相对整体抬升,并向东侧迁移,桐湾期高石梯—磨溪隆起区整体表现为整体稳定,局部调整。三叠纪末,印支晚期构造运动,在甘孜—阿坝区表现最为强烈,受其波及,川西北发育削截—超覆型不整合,川中高石梯—磨溪地区表现为超覆性不整合(图9(b)(4))。

该时期前陆盆地发育,但对桐湾期高石梯—磨溪潜伏古构造影响相对较小,表现为继承性发育,另将侏罗纪沉积前震旦系顶界古构造与现今构造形态图(图10、图11)对比可见,高石梯—磨溪构造区隆起范围相似,表明后期对潜伏古构造改造相对较弱,构造整体表现为稳定性发育。

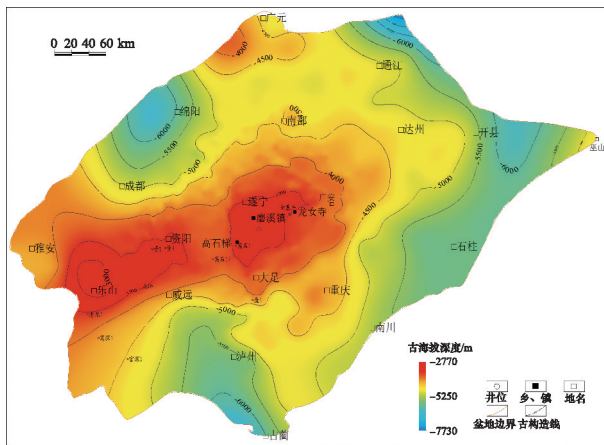


图10 侏罗系沉积前震旦系顶界古构造形态

Fig. 10 Paleo-structural map of Sinian top before Jurassic sediment

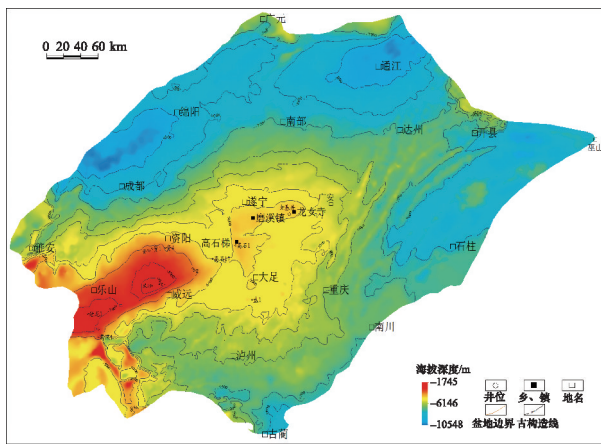


图11 震旦系顶界现今构造形态

Fig. 11 Current structural map of Sinian top

总之,依据不整合的叠合性、迁移性特征分析,高石梯-磨溪构造区古构造在早期(震旦纪)不整合叠合发育反映古构造继承性发育;后期加里东期不整合向盆地西侧迁移,四川盆地总体受西南缘大幅隆升影响,虽在乐山-龙女寺古隆起前缘-高石梯-磨溪构造区受到一定程度的影响,但对古构造影响较小,表现为调整作用;印支期及后期构造运动对其影响小。总体上,高石梯-磨溪地区古构造具有一定的继承性发育的特点,高石梯-磨溪地区潜伏古构造发育史可划分为3个阶段,即桐湾期发育阶段,加里东构造期的调整阶段,以及印支期至今相对稳定阶段。

## 4 油气地质意义

### 4.1 桐湾期关键构造变革形成的不整合与构造隆起区丘滩体叠加,有利于岩溶储层形成

震旦纪四川盆地隆坳格局继承性发育,裂隙两侧的隆起区发育丘滩体沉积,桐湾III幕构造运动使四川盆地整体发育幕式抬升,灯二段、灯四段2套地层在震旦纪被抬升至地表的

过程中受大气淡水作用影响,导致川中高石梯-磨溪隆起区、威远-资阳及其以西区灯影组二段、四段受到不同程度的岩溶作用,形成2套不整合,改善了云岩的储集物性,如高石1井、磨溪11井、资阳-威远井区,岩心上灯二段、灯四段均发育溶蚀孔洞(图5),镜下薄片上也见到粒间溶蚀孔洞,其中灯四段取心段有大量孔洞发育,分布相对较集中,连通性较好。受后期构造运动叠加,形成了以溶孔、溶洞、溶蚀缝及构造缝为主的多种类型储集空间,这为四川盆地二叠纪-三叠纪油气充注提供了有利储集空间。

### 4.2 构造运动形成的不整合面可作为油气运移的优势通道

桐湾III幕在灯二段及灯四段顶部形成的不整合面与高石梯-磨溪构造区西侧的断裂<sup>[1]</sup>匹配,形成油气运移的优势通道,裂隙内巨厚烃源岩生成油气快速高效在古圈闭中聚集,如高石梯-磨溪隆起区古圈闭油气的聚集。桐湾多幕运动影响下形成的岩溶储层还可作为油气二次运移的良好通道,如四川盆地中一晚三叠世为油气充注主要时期,高石梯-磨溪古构造继承性发育,其西北侧早期形成的构造圈闭受印支期、喜山期等后期构造运动的调整,可沿不整合面附近孔渗带在继承性高石梯-磨溪古构造形成圈闭中快速聚集,减少二次运移过程中油气的散失。

### 4.3 不整合迁移性有助于分析古构造圈闭的形成与消亡

奥陶纪-前二叠纪,由剖面可见不整合强烈发育区由龙女寺构造区向盆地西侧绵阳等地区迁移(图9),表明在该地质时期盆地西侧构造相对隆升,形成构造圈闭。由于地层抬升剥蚀作用,圈闭顶部遭受削截,圈闭破坏。二叠纪,盆地大范围下沉,海侵广泛发育,使得二叠系覆盖于石炭系等不同时代地层之上,形成地层复合型圈闭。二叠纪-现今,不整合由西侧向东侧迁移,使得构造圈闭及地层复合型圈闭构造上倾向遮挡条件遭受破坏,从而使古构造圈闭消亡,不利于油气成藏与保存。而龙女寺-高石梯-磨溪-遂宁构造区,在构造演化中不整合具有多期叠合性,构造整体为构造相对稳定区,从而有利于早期隆坳构造相对隆起区继承性发育,圈闭得以保存。与不整合面优势运移通道、断裂、岩溶储层、相邻坳陷区优质烃源岩的发育等有机匹配,有利于大型油气田的成藏与保存。

## 5 结论

1) 四川盆地存在多期构造变革,对川中震旦一早寒武世构造演化具有重要影响的关键构造变革期包括桐湾期、加里东期、印支期等3期,并发育多套不整合。

2) 不同变革期形成的不整合面具有叠合性、迁移性等特征,叠合性主要反映构造继承性,迁移性主要反映古构造的变迁过程。依据关键构造变革期不整合发育特征及对古构造影响的分析,可将高石梯-磨溪构造区构造演化划分为发育期、调整期及稳定期3个阶段。

3) 桐湾期关键构造变革形成的不整合与震旦纪一早寒武世古构造隆起区丘滩体叠加,有利于岩溶储层发育;不整

合面可作为油气运聚优势通道;不整合迁移性有助于分析古构造圈闭的形成与消亡。

参考文献 (References)

- [1] 杜金虎, 邹才能, 徐春春, 等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 268-277.  
Du Jinhui, Zou Caineng, Xu Chunchun, et al. Theoretical and technical innovations in strategic discovery of a giant gas field in Cambrian Longwangmiao Formation of central Sichuan paleo-uplift, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 268-277.
- [2] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等. 四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 278-293.  
Zou Caineng, Du Jinhui, Xu Chunchun, et al. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian-Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 278-293.
- [3] 魏国齐, 杨威, 杜金虎, 等. 四川盆地震旦纪—早寒武世克拉通内裂陷地质特征[J]. 天然气工业, 2015, 35(1): 24-35.  
Wei Guoqi, Yang Wei, Du Jinhui, et al. Geological characteristics of the simian-early Cambrian intracratonic rift, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(1): 24-35.
- [4] 汤良杰, 崔敏, 中上扬子区关键构造变革期、构造变形样式与油气保存[J]. 石油实验地质, 2011, 33(1): 12-16.  
Tang Liangjie, Cui Min. Key tectonic changes, deformation styles and hydrocarbon preservations in Middle-upper Yangtze region[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(1): 12-16.
- [5] 汪泽成, 姜华, 王铜山, 等. 四川盆地桐湾期古地貌特征及成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 305-312.  
Wang Zecheng, Jiang Hua, Wang Tongshan, et al. Paleo-geomorphology formed during Tongwan tectonization in Sichuan Basin and its significance for hydrocarbon accumulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 305-312.
- [6] 李忠权, 赖芳, 李应, 等. 四川盆地震旦系威远—安岳拉张侵蚀槽特征及形成演化[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(1): 26-33.  
Li Zhongquan, Lai Fang, Li Ying, et al. Formation and evolution of Weiyuan-Anyue extension-erosion groove in Sinian system, Sichuan Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(1): 26-33.
- [7] 刘树根, 孙玮, 罗志立, 等. 兴凯地裂运动与四川盆地地下组合油气勘探[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2013, 40(5): 511-520.  
Liu Shugen, Sun Wei, Luo Zhili, et al. Xingkai taphrogenesis and petroleum exploration from Upper Sinian to Cambrian Strata in Sichuan Basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2013, 40(5): 511-520.
- [8] 许海龙, 魏国齐, 贾承造, 等. 乐山—龙女寺古隆起构造演化及对震旦系成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 406-416.  
Xu Hailong, Wei Guoqi, Jia Chengzao, et al. Tectonic evolution of the Leshan-Longnusi paleo-uplift and its control on gas accumulation in the Sinian strata, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(4): 406-416.
- [9] 宋文海. 对四川盆地加里东期古隆起的新认识[J]. 天然气工业, 1987, 7(3): 6-11.  
Song Wenhai. Some new knowledge of Caledonian paleo-uplift in Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 1987, 7(3): 6-11.
- [10] 李晓清, 汪泽成, 张兴为, 等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(4): 347-350.  
Li Xiaqing, Wang Zecheng, Zhang Xingwei, et al. Characteristics of paleo-uplifts in Sichuan basin and their control action on natural gases[J]. Oil & Gas Geology, 2001, 22(4): 347-350.
- [11] 刘顺, 罗志立, 熊荣国, 等. 从实验岩石变形过程探讨四川盆地加里东古隆起的形成机制[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(4): 343-347.  
Liu Shun, Luo Zhili, Xiong Rongguo, et al. On formation mechanism of Caledonian paleo-uplift in Sichuan basin from experimental rocks deformational process[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(4): 343-347.
- [12] 魏国齐, 沈平, 杨威, 等. 四川盆地震旦系大气田形成条件与勘探远景区[J]. 石油勘探与开发, 2013, 40(2): 129-138.  
Wei Guoqi, Shen Ping, Yang Wei, et al. Formation conditions and exploration prospects of Sinian large gas fields, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(2): 129-138.
- [13] 宋文海. 乐山—龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究[J]. 天然气工业, 1996, 16(增1): 13-26.  
Song Wenhai. Research on reservoir-formed condition of large-medium gas fields of Leshan-Longnusi palaeohigh[J]. Natural Gas Industry, 1996, 16(Suppl 1): 13-26.
- [14] 韩克猷. 川东开江古隆起大中型气田的形成及勘探目标[J]. 天然气工业, 1995, 15(4): 1-5.  
Han Keyou. Large-Middle scale gas fields at kaijiang palaeohigh in east Sichuan and Exploration target[J]. Natural Gas Industry, 1995, 15(4): 1-5.
- [15] 张廷山, 陈晓慧, 姜照勇, 等. 泸州古隆起对贵州赤水地区早、中三叠世沉积环境和相带展布的控制[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 583-592.  
Zhang Tingshan, Chen Xiaohui, Jiang Zhaoyong, et al. controls of Luzhou uplift on sedimentary environment and facies distribution in early and middle Triassic, Chishui, Guizhou Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(4): 583-592.
- [16] 中国石油地质志编委会. 四川油气区: 卷十[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.  
Editorial Committee of Petroleum Geology of China. Sichuan oil and gas provinces: Vol.10[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1989.
- [17] 童崇光. 四川盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 21-25.  
Tong Chongguang. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in Sichuan Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 21-25.
- [18] 汤良杰, 黄太柱, 金文正, 等. 叠合盆地差异构造变形与油气聚集[J]. 地学前缘, 2009, 16(4): 13-22.  
Tang Liangjie, Huang Taizhu, Jin Wenzheng, et al. Differential deformation and hydrocarbon accumulation in the superimposed basins[J]. Earth Science Frontiers, 2009, 16(4): 13-22.
- [19] 李启桂, 李克胜, 周卓铸, 等. 四川盆地桐湾不整合面古地貌特征与岩溶分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(4): 516-521.  
Li Qigui, Li Kesheng, Zhou Zhuozhu, et al. Palaeogeomorphology and karst distribution of Tongwan unconformity in Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2013, 34(4): 516-521.
- [20] 李启桂, 李克胜, 唐欢阳. 四川盆地不整合发育特征及其油气地质意义[J]. 天然气技术, 2010, 4(6): 21-25.  
Li Qigui, Li Kesheng, Tang Huanyang. Unconformity characteristics of Sichuan basin and its geological implication[J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(6): 21-25.
- [21] 薛耀松, 周传明. 扬子区早寒武世早期磷质小壳化石的再沉积和地层对比问题[J]. 地层学杂志, 2006, 30(1): 64-74.  
Xue Yaosong, Zhou Chuanming. Resedimentation of the early Cambrian phosphatized small shell fossils and correlation of the simian-cambrian boundary strata in the Yangtze region, Southern China[J]. Journal of Stratigraphy, 2006, 30(1): 64-74.
- [22] 薛耀松, 曹瑞骥, 唐天福, 等. 扬子区震旦纪地层序列和南、北方震旦系对比[J]. 地层学杂志, 2001, 25(3): 207-234.  
Xue Yaosong, Cao Ruiji, Tang Tianfu, et al. The Simian stratigraphic sequence of the Yangtze region and correlation to the late precambrian strata of north china[J]. Journal of Stratigraphy, 2001, 25(3): 207-234.

(责任编辑 王媛媛)