



移动阅读

陈涛, 李智武, 李金玺, 等, 2023. 川中—川西北加里东期古隆起对比研究[J]. 沉积与特提斯地质, 43(4): 675–687. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03007

CHEN T, LI Z W, LI J X, et al., 2023. A comparative study of the central Sichuan paleo-uplift and the northwest Sichuan paleo-uplift during Caledonian period[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 43(4): 675–687. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03007

川中—川西北加里东期古隆起对比研究

陈涛^{1,2}, 李智武^{1,2}, 李金玺³, 童赓², 王自剑², 蔡鸿燕², 袁梦雨²

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059; 3. 成都理工大学地球物理学院地球勘探与信息技术教育部重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 四川盆地加里东期经历了桐湾、郁南、都匀、广西等多期次构造运动, 于盆地中西部和西北部分别形成了川中古隆起和川西北古隆起。重建加里东期川中古隆起和川西北古隆起形成演化过程及其关联性可以为四川盆地中西部和西北部深层海相层系下一步油气勘探部署提供新思路。本文通过对四川盆地已有钻井和地震资料的分析, 开展了不同构造区的震旦系—早古生代地层对比分析, 识别出四川盆地加里东期古隆起各套地层尖灭点分布范围、不整合削截点和上超点。利用地震、连井剖面相结合的方法, 重塑了川中和川西北地区古隆起的形成演化过程。综合研究认为, 加里东期古隆起的构造形态在晚奥陶世—早志留世初步形成, 在晚志留世广西运动中经历了细微调整, 古隆起在早志留世达到最大展布范围, 于二叠纪沉积前定型, 郁南运动和都匀运动对加里东期古隆起的变形起着重要作用; 二者总体经历了“隆—凹”分异阶段($Z-\epsilon_1m$)、隆起定型阶段(ϵ_1q-S_1)、联合隆升阶段(S_2-C)、稳定埋藏阶段($P-T_2$)等4个阶段。

关键词: 四川盆地; 加里东古隆起; 地震解释; 形成演化; 关联性

中图分类号: P542; P618.13

文献标识码: A

A comparative study of the central Sichuan paleo-uplift and the northwest Sichuan paleo-uplift during Caledonian period

CHEN Tao^{1,2}, LI Zhiwu^{1,2}, LI Jinxi³, TONG Kui², WANG Zijian²,
CAI Hongyan², YUAN Mengyu²

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 3. MOE Key Laboratory of Earth Exploration and Information Technology, College of Geophysics, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The Caledonian paleo-uplifts in the Sichuan Basin are mainly located in the mid-west and northwest parts of the basin. Reconstructing and analyzing the formation and evolution of the Caledonian Middle Sichuan paleo-uplift and the northwest Sichuan paleo-uplift can provide new insights and perspectives for the future oil and gas exploration in the Sichuan Basin. Based on the results of the published borehole and seismic data, this study has carried out comparative analyses of the stratigraphic features between the middle and northwest parts of the Sichuan basin, and then identified the distribution of the pinching point, unconformity truncation point, and onlap point for each layer of the Caledonian paleo-uplift in the Sichuan Basin. On this basis, using seismic

收稿日期: 2021-12-01; 改回日期: 2022-02-25; 责任编辑: 郭秀梅; 科学编辑: 崔晓庄
作者简介: 陈涛(1994—), 男, 硕士研究生, 沉积学专业。E-mail: 409817274@qq.com
资助项目: 国家科技重大专项(2017ZX05005003-007)

profiles and cross well lines, we have detailedly depicted and reconstructed the formation and tectonic evolution process of Caledonian paleo-uplifts in the Sichuan Basin. The evidence shows that the Caledonian paleo-uplifts were initially formed from the Late Ordovician to the Early Silurian, and they were slightly readjusted during the Late Silurian Hanjiadian period. The paleo-uplifts reached their maximum distribution range in the Early Silurian and finalized before Permian. The Duyun Movement and the Yunan Movement in the region were key tectonic movements affecting the formation of Caledonian paleo-uplifts in the Sichuan Basin. It is concluded that the Caledonian paleo-uplifts in the Sichuan Basin mainly experienced four stages of tectonic evolution: the differential uplift-fall stage ($Z-\in_{1m}$), the developmental stage ($\in_{1q}-S_1$), the denudation and flattening stage (S_2-C), and the stable burial stage ($P-T_2$).

Key words: Sichuan Basin; Caledonian paleo-uplift; seismic interpretation; formation and evolution; relevance

0 引言

克拉通盆地古隆起和古隆起的斜坡往往是形成大型油气藏的主要区域,是油气勘探的重要领域和方向(何登发等, 2008)。四川盆地是以上扬子克拉通为基础而形成的叠合盆地,其基底为前震旦系变质岩,其上分别覆盖震旦纪—中三叠世的海相沉积地层和晚三叠世—第四纪的陆相沉积地层(刘树根等, 2011; 何登发等, 2011; 李皎等, 2015),是我国重要的天然气生产基地(何登发等, 2011; 邹才能等, 2014; 杜金虎等, 2014; 刘树根等, 2020; 葛祥英等, 2021)。

2015年以来,中国石油陆续在川中古隆起高石梯、磨溪地区的震旦系灯影组、寒武系龙王庙组两个层系发现了多个大型的天然气藏。2020年,对角探1井的寒武系沧浪铺组、二叠系茅口组和蓬探1井的震旦系灯影组等多个储气层位的测试结果表明川中古隆起北斜坡的风险勘探又取得了重大突破(Yan et al., 2021),与加里东古隆起相关的天然气勘探在四川盆地正扮演着越来越重要的角色(罗志立, 1981; 宋文海等, 1996; Yu et al., 2013; 刘树根等, 2013; 罗冰等, 2015; Wei et al., 2015; 杨跃明等, 2016)。

本文研究的加里东期古隆起指位于川中的乐山-龙女寺古隆起和位于川西北的天井山古隆起。二者的构造演化均被基底隆起和基底断裂所控制(宋文海等, 1987; 何登发和伍顺利, 2019; 梁霄等, 2020),在加里东构造期均经历了从雏形到定型的过程,并经历了多期次隆升剥蚀事件,表现出较为相似的形成演化过程(梅庆华等, 2014; 苏桂萍等, 2020; 李国辉等, 2018; 何登发和伍顺利, 2019; 梁霄等, 2020)。何登发等(2008)认为两者在志留纪连成一片,联合隆升,但没有对其具体发生时间和形

成演化过程进行详细地描述。

本文基于大量的钻井和地震资料,对川中、川西北地区震旦系—早古生代进行精细划分和地层对比(尤其是志留系),着重寻找两个古隆起的关联性以及约束两个古隆起隆升定型的具体时间,以期对四川盆地加里东古隆起高部位和斜坡带下一步的油气勘探部署提供新思路。

1 区域地质背景

四川盆地位于扬子板块西缘,是北东向延伸的菱形地貌盆地,兼具沉积盆地和构造盆地的双重属性(刘树根等, 2015; Liu et al., 2020; 罗改等, 2021)。四川盆地面积约为 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,盆地边界分别以北部米仓山冲断带、东北部大巴山冲断带、西部龙门山冲断带和松潘甘孜褶皱带、南部大凉山断裂带、东南部雪峰陆内构造系统为界限(刘树根等, 2011; 图1)。四川盆地经历了漫长的地质演化,从新元古代—古生代以交替的弱拉张-弱挤压体制下的海相碳酸盐岩沉积为主,至中三叠世转变为强挤压体制下的复合前陆盆地(刘树根等, 2011, 2018),积累了厚度巨大的陆相碎屑岩。在加里东构造期内,川中—川西北地区主要发生了灯影期—麦地坪期的桐湾运动(陈宗清, 2013; 汪泽成等, 2014)、寒武期末期的郁南运动(周恩恩和许效松, 2016)、奥陶期末期的都匀运动(孙冬胜等, 2015)、志留纪末的广西运动(陈旭等, 2012)等(表1)。

四川盆地中西部和西北部在晚震旦世—晚志留世形成了两个受龙门山周缘隆起及川西—川中基底隆起控制下发育的不规则状古隆起(周文等, 2007; 袁玉松等, 2013),习称为川中古隆起和川西北古隆起。两者在加里东期都经历了雏形期、发展期再到定型期的一个过程,并被后期的构造运动所改造(梅庆华等, 2014, 2015; 姜巽, 2019; 李洪奎

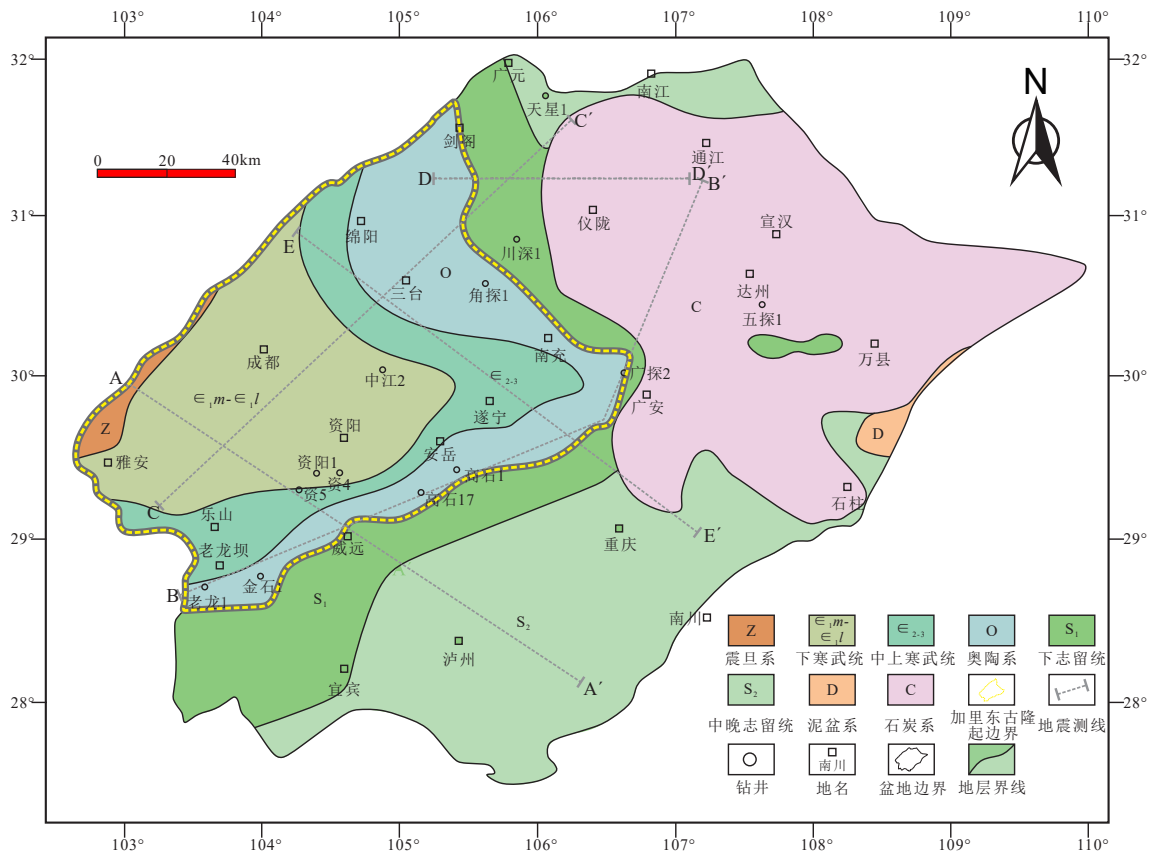


图1 四川盆地二叠纪沉积前古地理图及加里东古隆起分布范围(据梅庆华等, 2014 修改)

Fig. 1 Outline of Caledonian paleo-uplift in Sichuan Basin and the location of study area (modified after Mei et al., 2014)

等, 2019; 何登发和伍顺利, 2019; 梁霄等, 2020; 苏桂萍等, 2020)。

2 加里东期古隆起形态特征

川中—川西北古隆起是在二叠系之前形成的加里东古隆起。从二叠系沉积之前地层的构造面貌来看, 川中古隆起呈现为向北东东向倾没的大型鼻状古隆起, 其轴部位于雅安—资阳—岳池一线。从古隆起边缘向古隆起核部, 奥陶系、志留系依次被剥蚀, 在雅安附近更是已剥蚀至震旦系灯影组。川西北古隆起规模较小, 从古隆起边缘向古隆起核部, 石炭系、泥盆系、志留系、奥陶系依次被剥蚀, 核部二叠系不整合于寒武系之上。本文将从钻井地层和地震剖面两个方面来分析加里东古隆起的形成演化过程。

2.1 钻井证据

从横贯四川盆地的北东—南西向的连井对比剖面图(图2)来看, 将二叠系底部拉平后震旦系一下古生界表现为一个大型的古隆起, 古隆起核部发育震旦系和寒武系, 向周边依次出露奥陶系和志留

系, 泥盆系和石炭系缺失。从乐山地区的老龙1井, 过川中的金石1井、资5井、资4井, 到现今川西北地区的中江2井、角探1井、川深1井, 直至天星1井的广元一带, 下伏地层和上覆二叠系之间存在地层的缺失, 其中川中地区资5、资4井的西南方向, 奥陶系、志留系均缺失, 寒武系也遭受不同程度的剥蚀, 表明该区域存在区域上的不整合接触。二叠系沉积之前, 地层厚度总体呈现自北东向南西逐渐减薄的趋势。中江2井被剥蚀至沧浪铺组, 越往东北, 角探1井、川深1井和天星1井沉积地层越完整, 从寒武系保留完整区域来看, 天星1—川深1—角探1井寒武系地层厚度分别为1045 m、916 m、779 m, 表现为从古隆起北东翼向隆起核部逐渐减薄的趋势, 说明古隆起在寒武纪为同沉积古隆起。另外, 资5井缺失灯影组灯三—灯四段沉积, 寒武系筇竹寺组直接沉积在灯二段之上, 两者不整合接触, 说明古隆起在晚震旦世就已经经历了一次隆升剥蚀, 古隆起在晚震旦世已经发育雏形。

2.2 地震剖面证据

合成地震记录是连接深度域的钻井、测井资

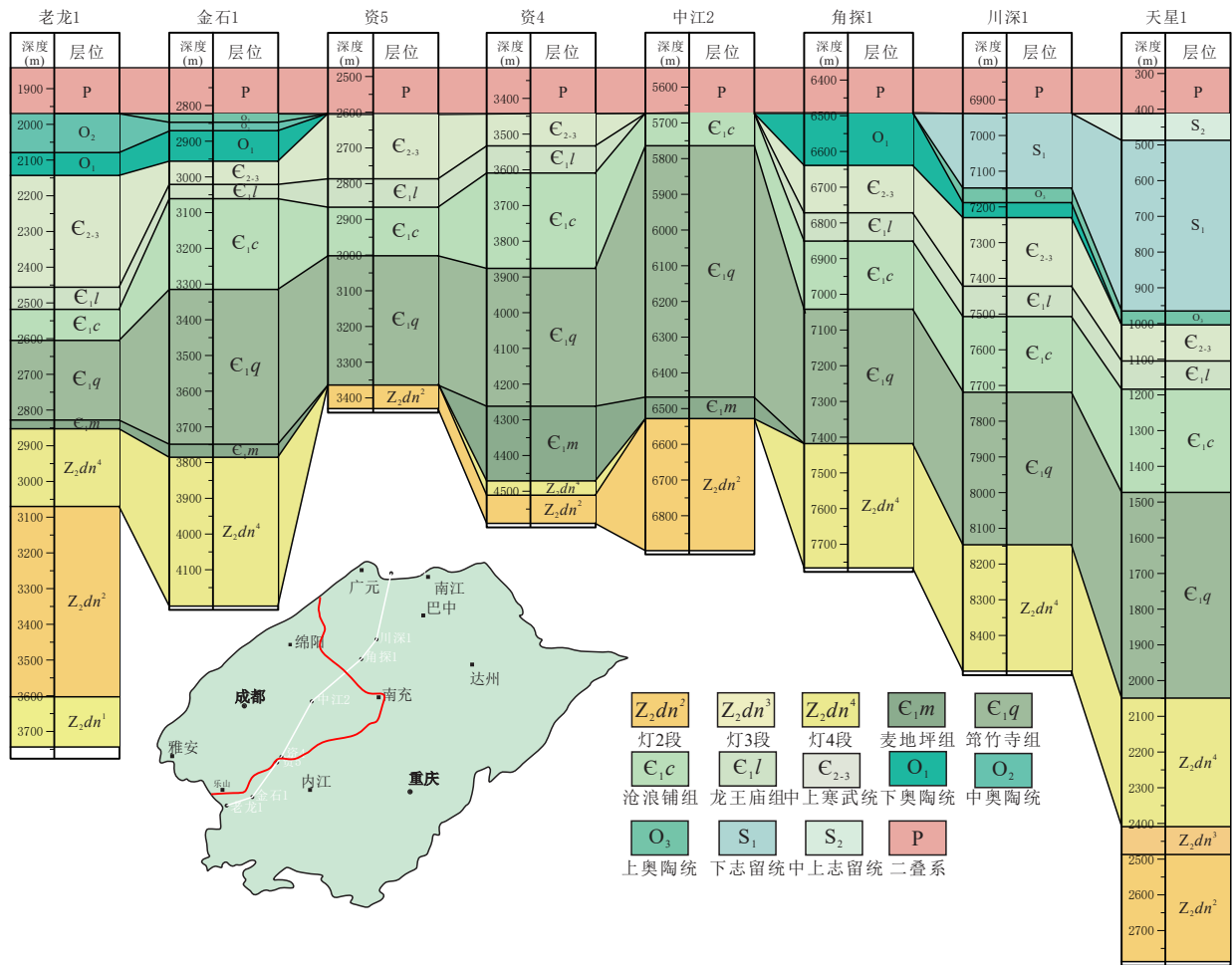


图2 四川盆地北东—南西向二叠纪前地层对比剖面

Fig. 2 NE-SW section showing the Pre-Permian strata in Sichuan Basin

个单斜构造,证明了二叠系沉积前古隆起的存在。古隆起区下古生界地层与上覆二叠系地层之间呈现为高角度的削截,在更大区域上,二者表现为不整合接触。寒武纪末期,受到郁南运动的影响,古隆起外围的川西地区和川北龙门山一带,部分寒武系被剥蚀(梅庆华等, 2014; 图 4b)。在寒武系沉积完整区域,从古隆起东南翼向隆起核部,地层逐渐减薄。龙王庙和中上寒武统地层厚度从低洼处的 2 700 ms 减到古隆起斜坡处的 1 500 ms,到龙王庙组尖灭处,只剩下 1 000 ms 左右;沧浪铺组也显示同样的趋势,在隆起东南斜坡有 1 200 ms,到地层尖灭处只剩下 500 ms 左右。结合在隆起东南斜坡寒武系的超覆现象(图 4c),推断古隆起在早寒武世为同沉积古隆起(梅庆华等, 2014; 李洪奎等, 2019; 苏桂萍等, 2020)。奥陶纪,古隆起继承性隆升,其控制了奥陶系的沉积展布,从古隆起凹陷处约 2 500 ms,到桐梓组尖灭附近已减至 500 ms。上

奥陶统五峰组和下志留统龙马溪组构成的同相轴与上覆二叠系呈削截不整合接触,早志留世超覆在该同相轴上(图 4d),这也说明川中古隆起在都匀运动期发生了一次剧烈的构造运动,并伴随着强烈的隆升剥蚀,古隆起初步成型(孙冬胜等, 2015)。中二叠统底界面与上志留统呈低角度削截不整合接触(图 4d),也说明志留纪末的广西运动细微调整了古隆起的构造形态。

北东—南西向地震反射剖面 BB' 贯穿了加里东古隆起。该剖面横贯四川盆地,南西端起于乐山市沙湾区西南部的龚嘴镇,北东端止于汉中市镇巴县西南部的渔渡镇,全长约 520 km(图 5a)。将 BB' 地震剖面二叠系底界面拉平(图 5b),可以看出川中地区整体形态为隆凹相间的背斜。威远附近的凹陷被剥蚀至志留系龙马溪组,凹陷内奥陶系向两侧超覆,志留系龙马溪组和上覆二叠系呈削截不整合接触(图 6c),指示都匀运动在川中地区表

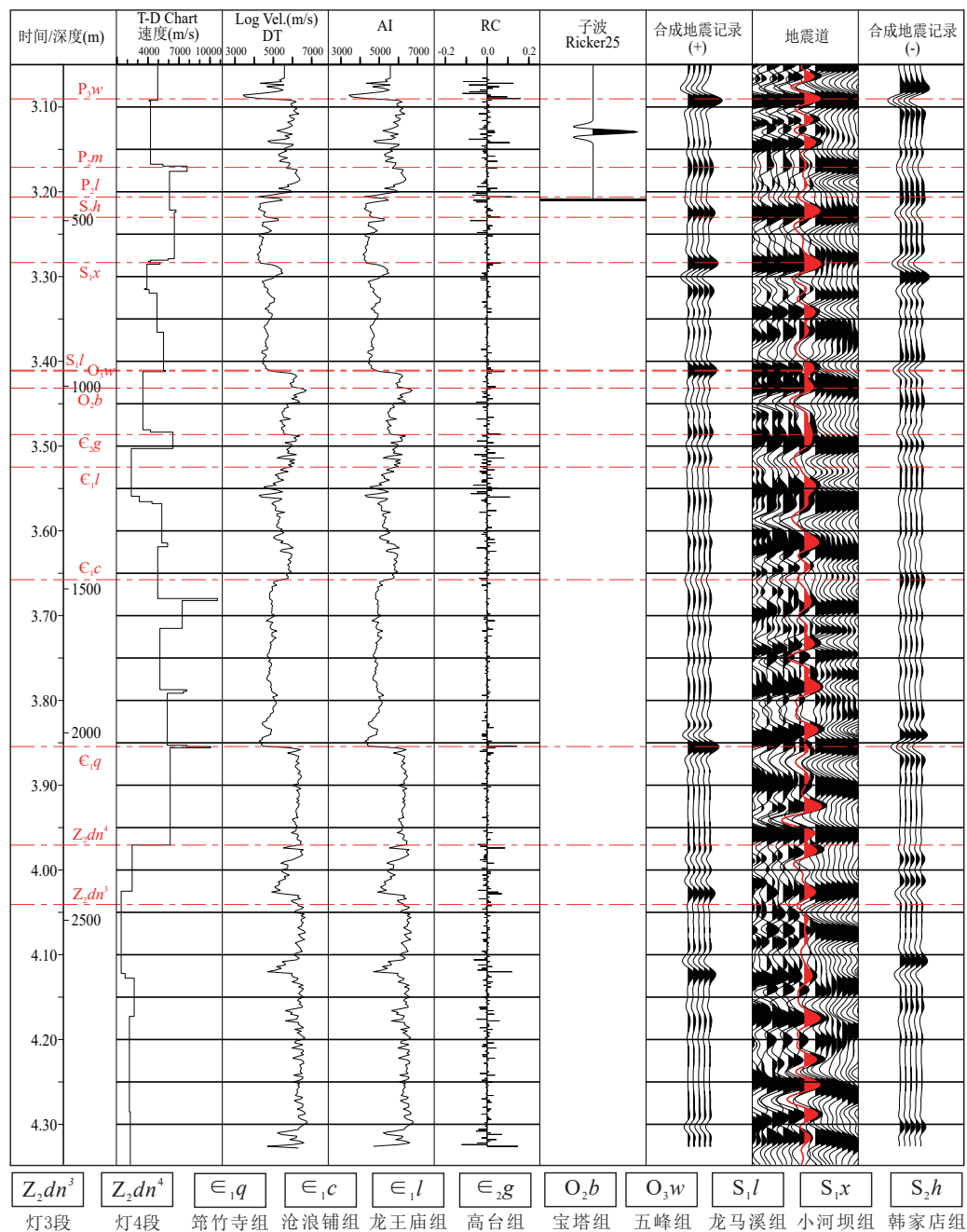


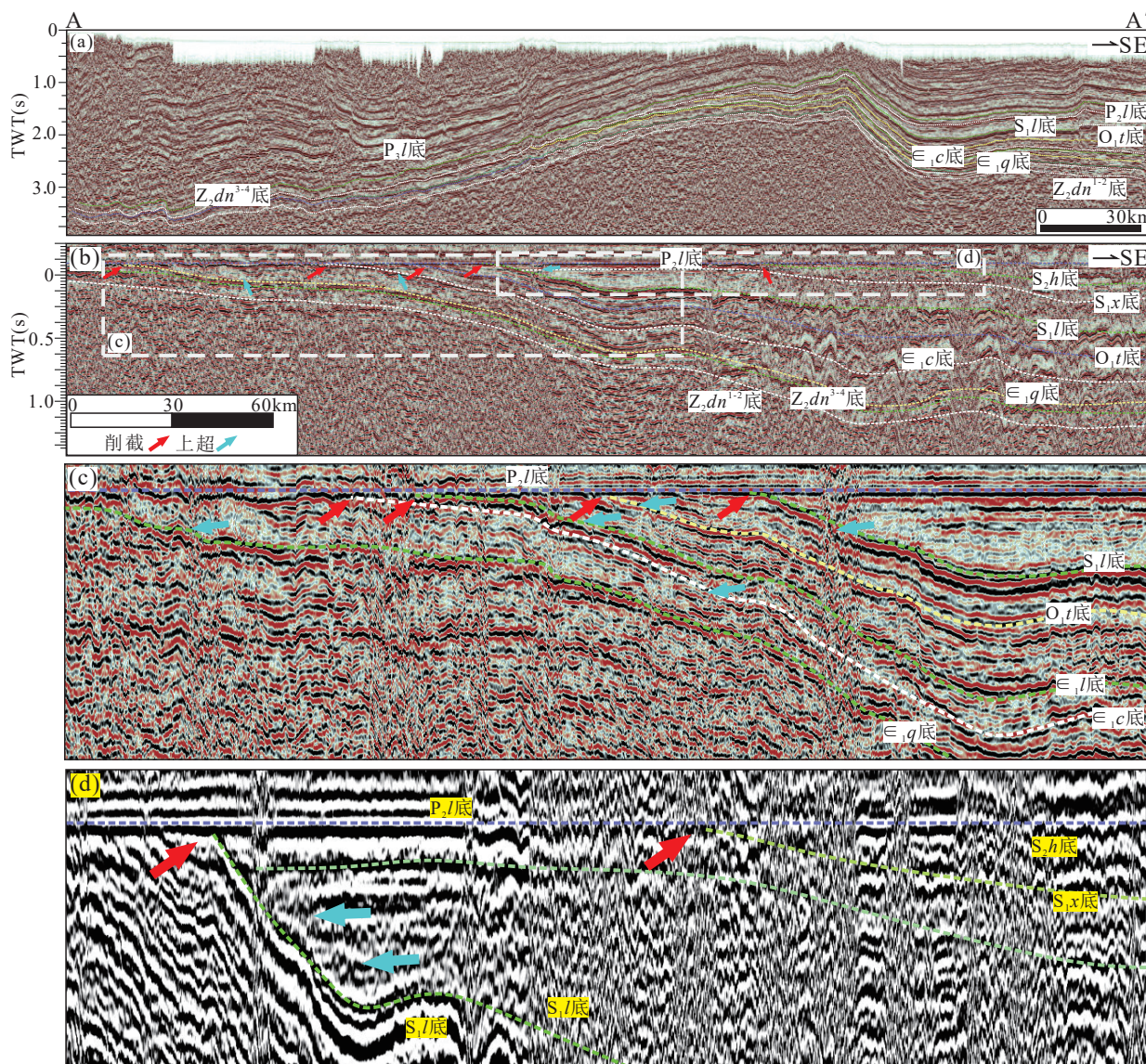
图3 天星1井合成地震记录

Fig. 3 Synthetic Seismic Records of Well Tianxing 1

现为隆拗作用。龙马溪组和小河坝组呈整合接触并超覆在龙马溪组底界面之上、韩家店组与上覆二叠系成低角度削截不整合接触(图5d),表明川中古隆起的构造形态在晚奥陶世和晚志留世都经历了调整。根据两次削截不整合的角度变化,可以判定都匀运动对加里东期古隆起的变形起着重要作用,广西运动对其调整较小。地震剖面解释结果显示,二叠系沉积在盆地内较为完整、分布稳定(图5b),说明四川盆地在经历了加里东期广泛的

隆升后遭受大范围海侵,逐渐变为稳定的克拉通台地。

地震剖面CC'位于盆地西部,为一条北东南西走向的剖面,南西端起于雅安市雨城区南部的沙坪镇,北东止于广元市旺苍县北部的正源乡,全长约450 km(图6a)。将地震剖面CC'二叠系底界面拉平(图7b),可以看出在二叠系沉积前,四川盆地西部呈现为向南西倾伏的单斜构造。基于地震剖面解析,在川西地区,龙王庙组和中上寒武统沉积厚度明显受到川中古隆起的控制,地层厚度从隆



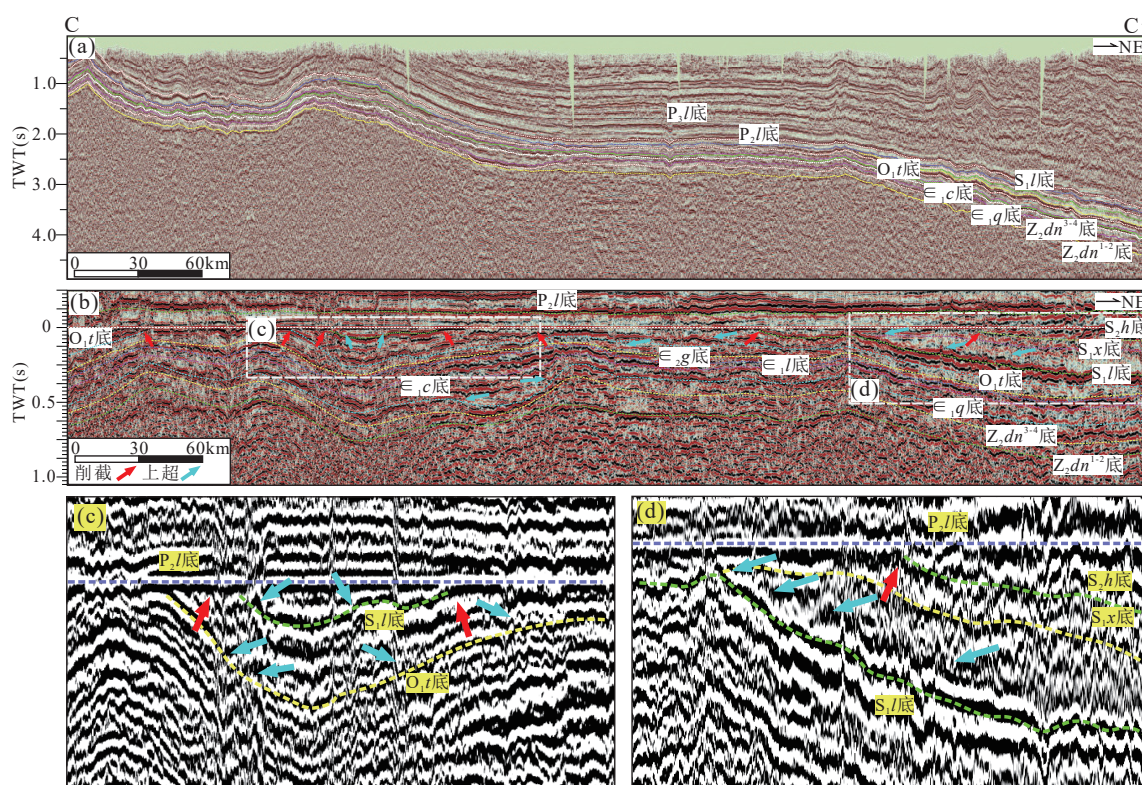
a. AA' 地震剖面 (位置见图 1); b. 二叠系底界拉平地震解释; c. 局部地质现象。

图 4 震旦纪—志留纪四川盆地加里东古隆起北西—南东向 AA' 剖面地震解释及局部地质现象

Fig. 4 Seismic interpretation and the key geological phenomena of NW-SE AA' Section from Sinian to Silurian Period

起北东翼向核部明显减薄,在斜坡处约 120 ms,到地层尖灭附近已减至 50 ms 左右(图 6b),在该套地层内也识别出了上超等地质现象,进一步表明在该时期川中古隆起为同沉积古隆起。早寒武世筇竹寺组沉积期,古隆起可能为水下古隆起,隆起斜坡带上可以识别出向下寒武统筇竹寺组底界面的超覆(图 6c)。与盆地中部的地震测线解释结果相同,志留系龙马溪组底界面与上覆二叠系呈削截不整合接触,并且下志留统超覆于龙马溪组底界面之上、上志留统韩家店组与上覆二叠系呈低角度削截不整合接触,同样说明都匀运动对加里东期古隆起的变形起着重要作用,广西运动对其调整较小(图 6d)。

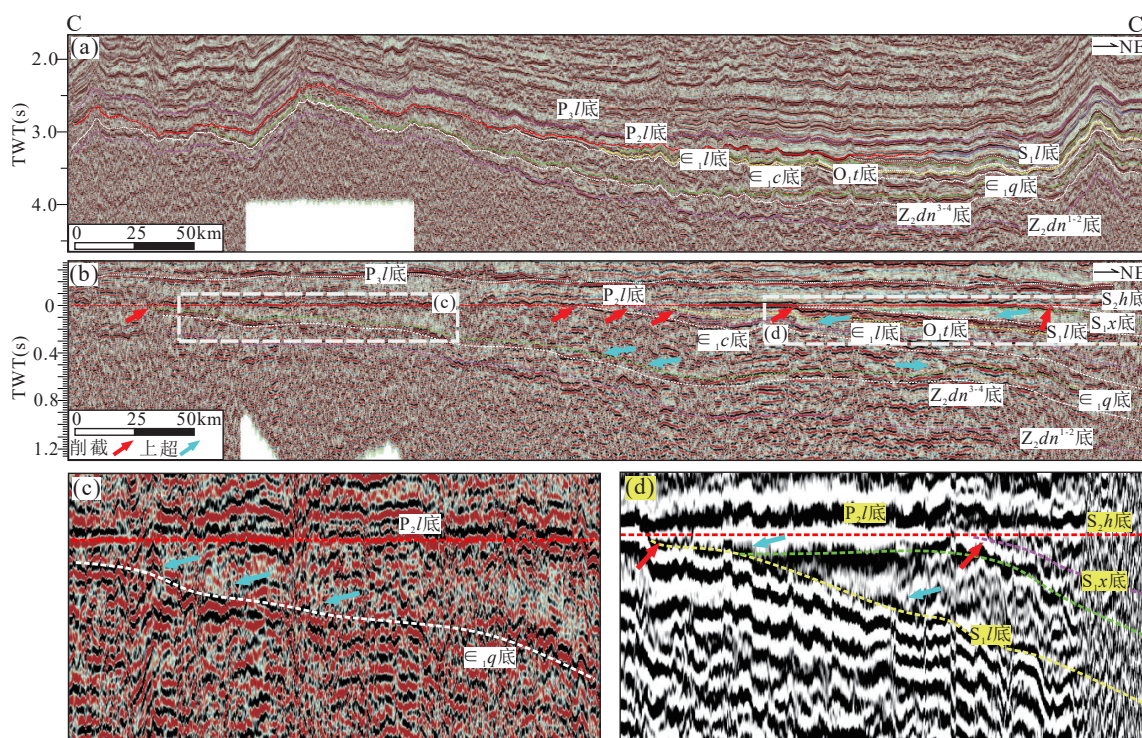
地震剖面 DD' 位于盆地西北部,为一条东西走向的剖面,全长约 102 km(图 7a)。将地震剖面 DD' 二叠系底界面拉平(图 7b),可以看出剖面为向西倾斜的单斜构造,奥陶系和寒武系厚度沿剖面由东向西明显减薄,川东地区相对较厚,其中奥陶系在斜坡低洼处约 200 ms,到奥陶系底界面尖灭附近已减至 80 ms 左右。寒武系则更为明显,沧浪铺组和中上寒武统的差异都达到了 100 ms 以上。表明川西北地区从早寒武世开始便为一个构造高点并控制着中上寒武统和奥陶系的沉积;此外,上奥陶统五峰组和下志留统龙马溪组构成的同相轴与上覆二叠系呈削截不整合接触,小河坝组和龙马溪



a. BB' 地震剖面 (位置见图 1); b. 二叠系底界拉平地震解释; c-d. 局部地质现象。

图 5 震旦纪—志留纪四川盆地加里东古隆起北东—南西向 BB' 剖面地震解释及局部地质现象

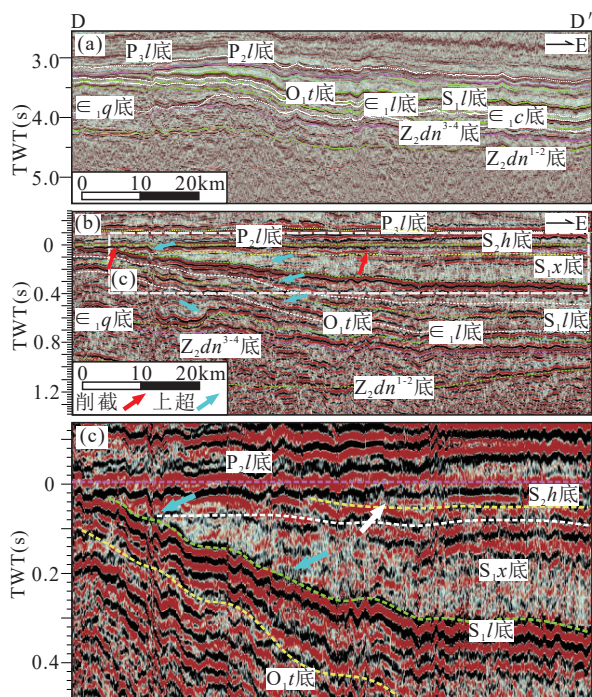
Fig. 5 Seismic interpretation and the key geological phenomena of NE-SW BB' Section from Sinian to Silurian Period



a. CC' 地震剖面 (位置见图 1); b. 二叠系底界拉平地震解释; c-d. 局部地质现象。

图 6 震旦纪—志留纪四川盆地加里东古隆起北东—南西向 CC' 剖面地震解释及局部地质现象

Fig. 6 Seismic interpretation and the key geological phenomena of NE-SW CC' Section from Sinian to Silurian Period



a. DD' 地震剖面 (位置见图 1); b. 二叠系底界拉平地震解释; c. 局部地质现象。

图 7 震旦纪—志留纪四川盆地加里东古隆起东西向 DD' 剖面地震解释及局部地质现象

Fig. 7 Seismic interpretation and the key geological phenomena of W-E DD' Section from Sinian to Silurian Period

组则超覆于该同相轴之上,上志留统韩家店组与上覆二叠系则为低角度削截不整合接触(图 7c),表明古隆起的构造形态在晚奥陶世和晚志留世都经历了调整,由两个不整合的削截角度推断都匀运动对加里东期古隆起的变形起着重要作用,广西运动对其调整较小。该测线关于志留系的解释结果与川中地区一致,因此推测川中古隆起与川西北古隆起在志留纪已经联合成一个大隆起。

地震剖面 EE' 位于盆地中部,为一条北西南东走向的剖面,全长约 290 km(图 8a)。拉平二叠系底界面(图 8b),可以看出在早寒武世至奥陶纪,川中—川西北地区表现为一个隆凹相间的形态,两个古隆起之间夹杂着一个凹陷(图 8c)。在南充附近,志留系龙马溪组底界面与上覆二叠系呈削截不整合接触,下志留统超覆于龙马溪组底界面之上,表明川中古隆起在早志留世为水下古隆起(图 8d)。川中地区和川西北都在郁南运动和都匀运动构造期进行了隆升剥蚀,川中古隆起和川西北古隆起控制了奥陶系和寒武系的沉积,两者沉积厚度向川西

北方向明显减薄,两个隆起之间相对凹陷,凹陷区被剥蚀至下奥陶统,且凹陷内下奥陶统超覆于两个隆起的斜坡上(图 8c),说明川中古隆起与川西北古隆起在奥陶纪并未联合在一起,仍在差异隆升。上志留统韩家店组与上覆二叠系成低角度削截不整合接触(图 8d),与川中地区保持一致,且凹陷区内无志留系沉积,推测川中—川西北古隆起在志留纪开始联合隆升。

3 古隆起形成演化过程对比分析

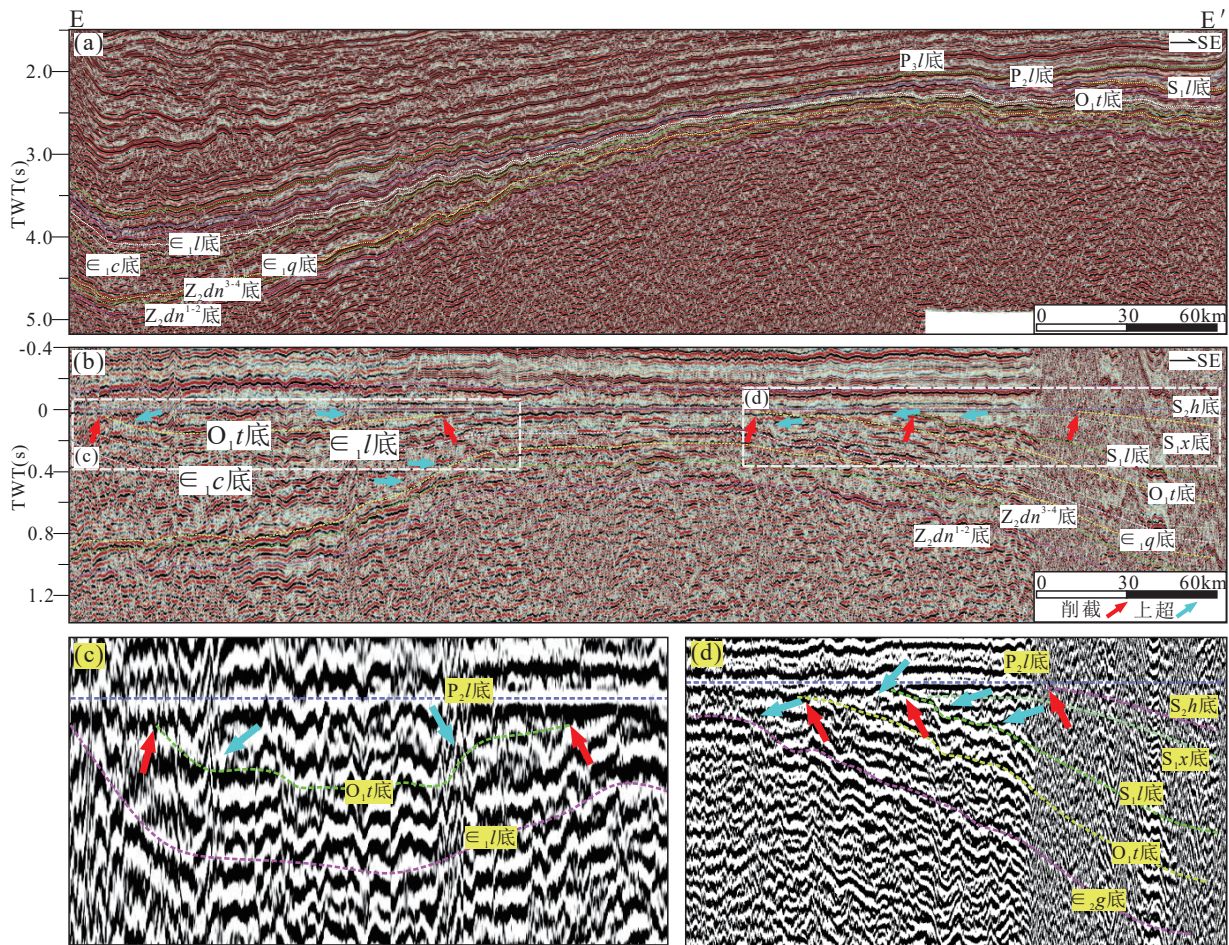
通过不整合面和层序分析,本文将川中—川西北加里东期古隆起分为“隆-凹”分异阶段($Z-\infty_m$)、隆起定型阶段(∞_q-S_1)、联合隆升阶段(S_2-C)、稳定埋藏阶段($P-T_2$)等 4 个阶段。

3.1 “隆-凹”分异阶段 ($Z-\infty_m$)

早震旦世末,四川盆地经历了桐湾运动(陈宗清, 2013; 邢凤存等, 2015)。前人通过划分区域地层和识别地层接触关系,将桐湾运动分为 3 幕(汪泽成等, 2014; 邢凤存等, 2015; 武赛军等, 2016)。桐湾运动 I 幕使得资阳地区灯二段被剥蚀,表现为灯二段与灯三段不整合接触(武赛军等, 2016),桐湾 I 幕使得四川盆地“隆-凹”格局发育,隆起部位普遍遭受风化剥蚀(图 5b, 图 6b)。桐湾运动 II 幕发生在灯四段沉积期末(邢凤存等, 2015; 武赛军等, 2015, 2016),此时“隆-凹”格局进一步差异升降,隆起部位继续隆升。川中—川西北地区的资 5 井、资 4 井和中江 2 井灯四段均被剥蚀,“隆-凹”格局快速发育(图 5b, 图 6b)。桐湾运动 III 幕发生在麦地坪组沉积期,四川盆地整体弱抬升,资阳和高磨地区麦地坪组遭受剥蚀,“隆-凹”格局仍在进一步差异隆升(图 5b; 冯伟明等, 2017)。

3.2 隆起定型阶段 (∞_q-S_1)

寒武世—中奥陶世,冈瓦纳大陆聚合期时澳大利亚板块和印度板块之间发生碰撞,板块碰撞的远程控制效应引发了郁南运动,影响了四川盆地这个时期的演化(张浩然等, 2020)。早寒武世筇竹寺期,“隆-凹”格局继承性发育,拉张槽内沉积了巨厚的筇竹寺组(图 5b, 图 6b, 图 8b)。在其后的沧浪铺组沉积期,相比于筇竹寺组沉积期所表现的“隆-凹”特征,其地层沉积厚度明显可见受到加里东古隆起所控制。从钻井地层看,从古隆起核心往外,资 5 井、威 117 井、高石 17 井的沧浪铺组沉积厚度逐渐增加,分别为 136 m、230 m、264 m。这些证



a. EE' 地震剖面 (位置见图 1); b. 二叠系底界拉平地震解释; c-d. 局部地质现象。

图 8 震旦纪—志留纪四川盆地加里东古隆起北西—南东向 EE' 剖面地震解释及局部地质现象

Fig. 8 Seismic interpretation and the key geological phenomena of NW-SE EE' Section from Sinian to Silurian Period

据也说明拉张槽在此时被填平补齐,到了龙王庙组沉积期,拉张槽已被填平补齐,中晚寒武世的沉积均表现为受川中和川西北古隆起控制,从古隆起两翼向古隆起核部逐渐减薄(图 4c, 图 6b, 图 7b)。郁南运动在四川盆地表现为隆拗作用,寒武系与奥陶系产生了一系列不整合接触,可见上超、削截等现象(图 4c, 图 5b)。此外,川中威远地区发育一个凹槽,凹槽内奥陶系向两侧超覆(图 5c)。从连井对比剖面图可见,在川中和川西北地区寒武系完整保存区域,由隆起周缘向隆起核部沉积厚度均逐渐减薄,从地震剖面可见筇竹寺组、龙王庙组和中上寒武统均有超覆现象且地层分布厚度也是由隆起周缘向隆起核部逐渐减薄(图 2, 图 4c, 图 6b, 图 7b),说明加里东期古隆起在寒武纪持续同沉积隆升。到奥陶纪,连井对比剖面图和地震解释结果均显示奥陶系由隆起周缘向隆起核部,沉积厚度均逐渐减薄(图 2, 图 4b, 图 7b),说明加里东期古隆起在奥陶

纪依然为同沉积古隆起。

晚奥陶世—早志留世,滇桂—北越板块和华夏板块与扬子板块之间挤压,四川盆地被都匀运动影响(杜远生和许亚军, 2012; 孙冬胜等, 2015)。都匀运动在川中—川北地区表现为隆拗作用,川西北—川中地区相对隆升遭受剥蚀,川西和川东沉降拗陷(图 4b, 图 5b, 图 5c, 图 6b, 图 7b, 图 8c)。早志留世,川中—川西北地区的地震剖面解释结果均显示下志留统超覆于龙马溪组底界面之上(图 4d, 图 5d, 图 6d, 图 7c, 图 8d),说明在早志留世,古隆起为水下古隆起,其周缘仍经历着海侵上超。此间古隆起的构造形态没有改变,展布范围持续扩大。

3.3 联合隆升阶段 (S₂—C)

地震解释结果显示,上志留统韩家店组与上覆二叠系呈低角度单斜不整合接触(图 4d, 图 5d, 图 6d, 图 7c, 图 8d),说明广西运动对加里东期古隆起的构造形态只是细微调整,古隆起在早志留世达到最

大展布范围(图 1)。广西运动使得川中川西北地区进一步抬升,导致四川盆地西北部大部分地区的上志留统被剥蚀,川中古隆起与川西北古隆起之间的凹陷被剥蚀至奥陶系(图 8c),之后云南运动使盆地大规模抬升,川中古隆起与川西北古隆起均无泥盆系和石炭系沉积,古隆起持续隆升剥蚀(李伟等, 2014),川西和川西北地区甚至被剥蚀至下寒武统,一直持续到二叠纪沉积之前,形成了北东向延伸、横卧于盆地的大型加里东期联合古隆起(陈旭等, 2012; 梅庆华等, 2014, 2015; 李洪奎等, 2019; 张浩然等, 2020; 苏桂萍等, 2020)。

3.4 稳定埋藏阶段(P—T₂)

从拉平二叠系底部和二叠系顶部地震剖面上,可以看出盆地内部二叠纪厚度整体变化较小,川中和川西北地区也没有发现明显的不整合接触界面,这些证据都表明二叠纪沉积前加里东古隆起的展布范围已经确定。自二叠纪开始到中三叠世,四川盆地处于稳定沉降期,整体为陆表海碳酸盐台地发育过程,加里东联合古隆起被整体埋藏(刘树根等, 2011; 李忠权等, 2011; 李洪奎等, 2019)。

4 结论

本文基于钻井和地震资料的再解释,对加里东期川中古隆起和川西北古隆起的关联性及其二者的形成演化过程进行了比较研究,获得如下认识:

(1)加里东古隆起的构造形态在晚奥陶世—早志留世初步形成,晚志留世的广西运动再次对其细微调整,古隆起在早志留世达到最大展布范围,于二叠纪沉积前定型,郁南运动和都匀运动对加里东古隆起的变形起着重要作用。

(2)加里东古隆起是加里东期形成的具有同沉积兼剥蚀的继承性古隆起,其形成演化过程共划分为 4 个阶段:“隆-凹”分异阶段(Z— ϵ_1m)、隆起定型阶段(ϵ_1q —S₁)、联合隆升阶段(S₂—C)、稳定埋藏阶段(P—T₂)。

References

Chen X, Zhang Y D, Fan J X, et al., 2012. Onset of the Kwangian Orogeny as evidenced by biofacies and lithofacies[J]. Science China: Earth Sciences, 55 (10): 1592 – 1600 (in Chinese with English abstract).

Chen Z Q, 2013. On Five Crustal Movements and Petroleum Exploration in Lower Paleozoic, Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 18 (5): 15 – 23 (in Chinese with English abstract).

Du J H, Zhou C N, Xu C C, et al., 2014. 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, 41 (3): 268 – 277 (in Chinese with English abstract).

Du Y S, Xu Y J, 2012. A Preliminary Study on Caledonian Event in South China[J]. Geological Science and Technology Information, 31 (5): 43 – 49 (in Chinese with English abstract).

Feng M W, Xie Y, Li R, et al., 2017. Restoration of Karst Palaeotopography on the Tongwan Movement Period in the Southeastern Sichuan and Northwestern Guizhou[J]. Geological Review, 63 (5): 1270 – 1280 (in Chinese with English abstract).

Ge X Y, Mou C L, Yu Q, et al., 2021. A study on the enrichment of organic materials in black shales of the Wufeng to Longmaxi Formations in eastern Sichuan Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 41 (3): 418 – 435 (in Chinese with English abstract).

He D F, Li D S, Tong X G, et al., 2008. Accumulation and distribution of oil and gas controlled by paleo-uplift in poly-history super imposed basin[J]. Acta Petrolei sinica, 29 (4): 475 – 488 (in Chinese with English abstract).

He D F, Li D S, Zhang G W, et al., 2011. Formation and evolution of multi-cycle superposed Sichuan Basin, China[J]. Chinese Journal of Geology, 46 (3): 589 – 606 (in Chinese with English abstract).

He D F, Wu S L, 2019. The “past and present” of the Tianjingshan palaeo-uplift: discussion on structural restoration of paleo-uplift[J]. Earth Science Frontiers, 26(1):86-101 (in Chinese with English abstract).

Jiang X, 2019. Characteristics and Tectonic Significance of Major Unconformities in Sichuan Basin[D]. Chengdu: Chengdu University Of Technology.

Li G H, Yang G, Li L, et al., 2018. Formation and evolution of Tianjingshan paleo-uplift, northwestern margin of Sichuan Basin[J]. Natural Gas Exploration and Development, 41 (4): 1 – 7 (in Chinese with English abstract).

Li H K, Li Z Q, Long W, et al., 2019. Vertical configuration of Sichuan Basin and its super imposed characteristics of the prototype basin[J]. Journal of Chengdu University of technology (Science & Technology Edition), 46 (3): 257 – 267 (in Chinese with English abstract).

Li J, He D F, Mei Q H, 2015. Tectonic-depositional environment and proto-type basins evolution of the Ordovician in Sichuan Basin and adjacent areas[J]. Acta Petrolei Sinica, 36 (4): 427-445 (in Chinese with English abstract).

Li W, Yi H Y, Hu W S, et al., 2014. Tectonic evolution of Caledonian paleohigh in the Sichuan Basin and its relationship with hydrocarbon accumulation[J]. Natural Gas Industry, 34 (3): 8 – 15 (in Chinese with English abstract).

Li Z W, Ran B, Xiao B, et al., 2019. Sinian to Early Cambrian uplift-depression framework along the northern margin of the Sichuan Basin, central China and its implications for hydrocarbon exploration[J]. Earth Science Frontiers, 26 (1): 59 – 85 (in Chinese with English abstract).

Li W, Fan B, Jia P, et al., 2019. Sequence stratigraphy and lithofacies paleogeography of the Middle-Upper Cambrian Xixiangchi Group in

- the Sichuan Basin and its adjacent area, SW China[J]. [Petroleum Exploration and Development](#), 46 (2) : 238 – 252 .
- Li Z Q, Ying D L, Li H K, et al., 2011. Evolution of the western Sichuan Basin and its superimposed characteristics, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27 (8) : 2362 – 2370 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G, Yang Y, Deng B, et al., 2021. Tectonic evolution of the Sichuan Basin, Southwest China[J]. *Earth-Science Reviews*, 213: 103470 .
- Liang X, Wu L L, Li Y D, et al., 2021. Oil source correlation and its relationship with deeply buried hydrocarbon accumulations in Tianjingshan Paleo-uplift area, northern segment of Western Sichuan Depression[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 43 (1) : 96-111 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G, Ding B, Sun W, et al., 2018. Sichuan Basin : A superimposed sedimentary basin mainly controlled by its peripheric tectonics[J]. [Chinese Journal of Geology](#), 53 (1) : 308 – 326 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G, Ding B, Sun W, et al., 2020. May Sichuan Basin be a Super Petroliferous Basin?[J]. *Journal of Xihua University (Natural Science Edition)*, 39 (5) : 20 – 35 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G, Li Z W, Sun W, et al., 2011. Basic geological features of superimposed basin and hydrocarbon accumulation in Sichuan Basin, China[J]. [Chinese Journal of Geology \(Scientia Geologica Sinica\)](#), 46 (1) : 233 – 257 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G, Sun W, Luo Z L, et al., 2013. Xingkai taphrogenesis and petroleum exploration from Upper Sinian to Cambrian Strata in Sichuan Basin, China[J]. [Journal of Chengdu University of Technology \(Science & Technology Edition\)](#), 40 (5) : 511 – 520 (in Chinese with English abstract).
- Liu S G, Sun W, Song J M, et al., 2015. Tectonics-controlled distribution of marine petroleum accumulations in the Sichuan Basin, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 22(3):146-16 (in Chinese with English abstract).
- Luo B, Zhou G, Luo W G, et al., 2015. Discovery from Exploration of Lower Paleozoic-Sinian System in Central Sichuan Palaeo-uplift and Its Natural Gas Abundance Law[J]. [China Petroleum Exploration](#), 20 (2) : 18 – 29 (in Chinese with English abstract).
- Luo G, Wang Q W, Qing Y L, et al., 2021. Divisions and their basic characteristics of tectonic units in Sichuan Province[J]. [Sedimentary Geology and Tethyan Geology](#), 41 (4) : 633 – 647 (in Chinese with English abstract).
- Luo Z L, 1981. The influence of ground fissure movement on the formation of petroleum and other minerals since the Late Paleozoic in Southwest China[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2 (1) : 1 – 22 (in Chinese with English abstract).
- Mei Q H. 2015. Tectonic evolution and formation mechanism of Leshan-Longnysi Paleo-uplift, Sichuan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing) .
- Mei Q H, He D F, Wen Z, et al., 2014. Geologic structure and tectonic evolution of Le shan-Long nv si paleo-uplift in Sichuan Basin, China[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 35 (1) : 11-25 (in Chinese with English abstract).
- Song W H, 1987. Some new knowledge of Caledonian Paleo-uplift in Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 7 (3) : 6 – 11 (in Chinese with English abstract).
- Song W H, 1996. Research on reservoir-formed conditions of large-medium gas fields of Leshan- Longnysi Paleo uplift[J]. *Natural Gas Industry*, 16 (Supp. 1) : 13-26.
- Su G P, Li Z Q, Ying D N, et al., 2020. Formation and evolution of the Caledonian paleo-uplift and its genetic mechanism in the Sichuan Basin[J]. [Acta Geologica Sinica](#), 94 (6) : 1793 – 1812 (in Chinese with English abstract).
- Sun D S, Li S J, Zhu D Y, et al., 2015. Unconformity of the Duyun Movement in the Sichuan Basin and its significance of petroleum geology[J]. *Oil & Gas Geology*, 36 (5) : 15-22 (in Chinese with English abstract).
- Wang Z C, Jiang H, Wang T S, et al., 2014. Paleo-geomorphology formed during Tongwan tectonization in Sichuan Basin and its significance for hydrocarbon accumulation[J]. [Petroleum Exploration and Development](#), 41 (3) : 305 – 312 (in Chinese with English abstract).
- Wu S J, Wei G Q, Yang W, et al., 2015. Unconformity characteristics and its petroleum geological implication in key tectonic change stages, Sichuan Basin[J]. [Science & Technology Review](#), 33 (10) : 93 – 100 (in Chinese with English abstract).
- Wu S J, Wei G Q, Yang W, et al., 2016. Tongwan Movement and its geologic significances in Sichuan Basin[J]. [Natural Gas Geoscience](#), 27 (1) : 60 – 70 (in Chinese with English abstract).
- Wei G Q, Yang W, Du J H, et al., 2015. Tectonic features of Gaoshiti - Moxi paleo - uplift and its controls on the formation of a giant gas field, Sichuan Basin, SW China[J]. [Petroleum Exploration and Development](#), 42 (3) : 283 – 292 .
- Xing F C, Hou M C, Lin L B, et al., 2015. The records and its dynamic genesis discussion of tectonic movement during the Late Sinian and the Early Cambrian of Sichuan Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 22 (1) : 115 – 125 (in Chinese with English abstract).
- Yan W, Luo B, Zhou G, et al., 2021. Natural gas geology and exploration direction of the Cambrian Lower Canglangpu Member in central Sichuan paleo – uplift, Sichuan Basin, SW China[J]. [Petroleum Exploration and Development](#), 48 (2) : 337 – 353 .
- Yang Y M, Wen L, Luo B, et al., 2016. Hydrocarbon accumulation of Sinian natural gas reservoirs, Leshan- Longnysi paleo-high, Sichuan Basin, SW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 43 (2) : 179 – 188 (in Chinese with English abstract).
- Yu K H, Jin Z K, Su K, et al., 2013. The Cambrian sedimentary characteristics and their implications for oil and gas exploration in north margin of Middle-Upper Yangtze Plate[J]. [Science China \(Earth Sciences\)](#), 56 (6) : 1014 – 1028 .
- Yuan Y S, Sun D S, Li S J, et al., 2013. Caledonian erosion thickness reconstruction in the Sichuan Basin[J]. [Chinese Journal of Geology](#), 48 (3) : 581 – 591 (in Chinese with English abstract).
- Zhang H R, Jiang H, Chen Z Y, et al., 2020. A review of the research status of Caledonian movement stages in Sichuan Basin and surrounding areas[J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 39 (5) : 118 – 126 (in Chinese with English abstract).
- Zhou K K and Xu X S, 2016. Evolution of Paleo-uplifts in the Western Upper Yangtze Craton and Its Reflection on Yunan Orogeny[J].

Geological Review, 62 (5): 1125–1133 (in Chinese with English abstract).

Zhou W, Deng H C, Qiu D Z, 2007. The discovery and significance of the Devonian paleo-reservoir in Tianjingshan structure of the Northwest Sichuan, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 34 (4): 413–417 (in Chinese with English abstract).

Zhou C N, Du J H, Xu C C, et al., 2014. Formation, distribution, resource potential and discovery of the Sinian- Cambrian giant gas field, Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 41 (3): 278–293 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

陈旭, 张元动, 樊隽轩, 等, 2012. 广西运动的进程: 来自生物相和岩相带的证据[J]. 中国科学: 地球科学, 42 (11): 1617–1626.

陈宗清, 2013. 论四川盆地地下古生界 5 次地壳运动与油气勘探论[J]. 中国石油勘探, 18 (5): 15–23.

杜金虎, 邹才能, 徐春春, 等, 2014. 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, 41 (3): 268–277.

杜远生, 徐亚军, 2012. 华南加里东运动初探[J]. 地质科技情报, 31 (5): 43–49.

冯伟明, 谢渊, 李嵘, 等, 2017. 川东南—黔西北桐湾 III 幕岩溶古地貌恢复[J]. 地质论评, 63 (5): 1270–1280.

葛祥英, 牟传龙, 余谦, 等, 2021. 四川盆地东部五峰组—龙马溪组黑色页岩有机质富集规律探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 41 (3): 418–435.

何登发, 李德生, 童晓光, 等, 2008. 多期叠加盆地古隆起控油规律[J]. 石油学报, 29 (4): 475–488.

何登发, 李德生, 张国伟, 等, 2011. 四川多旋回叠合盆地的形成与演化[J]. 地质科学, 46 (3): 589–606.

何登发, 伍顺利, 2019. 天井山古隆起的“前世今生”: 论古隆起的构造复原[J]. 地学前缘, 26(1):86-101.

姜巽, 2019. 四川盆地主要不整合特征及其构造意义[D]. 成都: 成都理工大学.

李国辉, 杨光, 李莉, 等, 2018. 四川盆地西北缘天井山古隆起的形成与演化[J]. 天然气勘探与开发, 41 (4): 1–7.

李洪奎, 李忠权, 龙伟, 等, 2019. 四川盆地纵向结构及原型盆地叠合特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 46 (3): 257–267.

李皎, 何登发, 梅庆华, 2015. 四川盆地及邻区奥陶纪构造-沉积环境与原型盆地演化[J]. 石油学报(4): 427-445.

李伟, 易海永, 胡望水, 等, 2014. 四川盆地加里东古隆起构造演化与油气聚集的关系[J]. 天然气工业, 34 (3): 8–15.

李智武, 冉波, 肖斌, 等, 2019. 四川盆地北缘震旦纪-早寒武世隆-拗格局及其油气勘探意义[J]. 地学前缘, 26 (1): 59–85.

李忠权, 应丹琳, 李洪奎, 等, 2011. 川西盆地演化及盆地叠合特征研究[J]. 岩石学报, 27 (8): 2362–2370.

梁霄, 吴亮亮, 李亚丁, 等, 2021. 川西坳陷天井山古油藏油源判识及其与深层油气成藏关系厘定[J]. 石油实验地质, 43 (1): 96-111.

刘树根, 邓宾, 孙玮, 等, 2018. 四川盆地: 周缘活动主控下形成的叠合盆地[J]. 地质科学, 53 (1): 308–326.

刘树根, 邓宾, 孙玮, 等, 2020. 四川盆地是“超级”的含油气盆地吗?[J]. 西华大学学报(自然科学版), 39 (5): 20–35.

刘树根, 李智武, 孙玮, 等, 2011. 四川含油气叠合盆地基本特征[J]. 地质科学, 46 (1): 233–257.

刘树根, 孙玮, 罗志立, 等, 2013. 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), 40 (5): 511–520.

刘树根, 孙玮, 宋金民, 等, 2015. 四川盆地海相油气分布的构造控制理论[J]. 地学前缘, 22 (3): 146-160.

罗冰, 周刚, 罗文军, 等, 2015. 川中古隆起下古生界震旦系勘探发现与天然气富集规律[J]. 中国石油勘探, 20 (2): 18–29.

罗改, 王全伟, 秦羽龙, 等, 2021. 四川省大地构造单元划分及其基本特征[J]. 沉积与特提斯地质, 41 (4): 633–647.

罗志立, 1981. 中国西南地区晚古生代以来地裂运动对石油等矿产形成的影响[J]. 四川地质学报, 2 (1): 1–22.

梅庆华, 2015. 四川盆地乐山—龙女寺古隆起构造演化及其成因机制[D]. 北京: 中国地质大学(北京).

梅庆华, 何登发, 文竹, 等, 2014. 四川盆地乐山-龙女寺古隆起地质结构及构造演化[J]. 石油学报, 35 (1): 11-25.

宋文海, 1987. 对四川盆地加里东期古隆起的新认识[J]. 天然气工业, 7 (3): 6–11.

宋文海, 1996. 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, 16 (z1): 13-26.

苏桂萍, 李忠权, 应丹琳, 等, 2020. 四川盆地加里东古隆起形成演化及动力学成因机理[J]. 地质学报, 94 (6): 1793–1812.

孙冬胜, 李双建, 朱东亚, 等, 2015. 四川盆地都匀运动不整合及其油气意义[J]. 石油与天然气地质, 36 (5): 15-22.

汪泽成, 姜华, 王铜山, 等, 2014. 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, 41 (3): 305–312.

武赛军, 魏国齐, 杨威, 等, 2015. 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, 33 (10): 93–100.

武赛军, 魏国齐, 杨威, 等, 2016. 四川盆地桐湾运动及其油气地质意义[J]. 天然气地球科学, 27 (1): 60–70.

邢凤存, 侯明才, 林良彪, 等, 2015. 四川盆地晚震旦世-早寒武世构造运动记录及动力学成因讨论[J]. 地学前缘, 22 (1): 115–125.

杨跃明, 文龙, 罗冰, 等, 2016.

四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦系天然气成藏特征[J]. 石油勘探与开发, 43 (2): 179–188.

袁玉松, 孙冬胜, 李双建, 等, 2013. 四川盆地加里东期剥蚀量恢复[J]. 地质科学, 48 (3): 581–591.

张浩然, 姜华, 陈志勇, 等, 2020. 四川盆地及周缘地区加里东运动幕次研究现状综述[J]. 地质科技通报, 39 (5): 118–126.

周恩恩, 许效松, 2016. 扬子陆块西部古隆起演化及其对郁南运动的反映[J]. 地质论评, 62 (5): 1125–1133.

周文, 邓虎成, 丘东洲, 等, 2007. 川西北天井山构造泥盆系古油藏的发现及意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 34 (4): 413–417.

邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等, 2014. 四川叠合盆地震旦系-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, 41 (3): 278–293.