

川西坳陷印支期古隆起成因初探

袁晓宇¹, 胡 烨², 刘光祥², 陈迎宾², 王彦青², 吴小奇²

¹常州工学院; ²中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所

摘 要 油气勘探实践表明,盆地中的古隆起对油气田的形成与分布起着十分重要的作用。结合钻探成果和地震资料,对川西坳陷印支期古隆起的成因开展了研究。分析表明:印支早期不仅在川西坳陷内部和龙门山前发育了北东走向的古隆起,而且在川西坳陷内部还发育了东西走向的古隆起。初步认为印支期古特提斯洋关闭是川西印支期古隆起发育的动力来源,川西坳陷内部北东向古隆起的形成与江南—雪峰山南东—北西向的逆冲推覆挤压作用有关,东西向古隆起的形成与扬子板块同华北板块沿勉略缝合带南北向的强烈碰撞挤压有关。

关键词 古隆起; 印支期; 成因; 川西坳陷

中图分类号: TE121.2 **文献标识码**: A

0 前 言

油气勘探实践已经证实,盆地中古隆起对油气田的形成与分布起着十分重要的作用^[1-2]。在我国油气资源丰富的中西部盆地,发育有数量众多的古隆起,例如塔里木盆地的塔北、巴楚和塔中古隆起^[3-6],准噶尔盆地的车排子、陆梁和车莫古隆起^[7-9],柴达木盆地的南八仙—大红沟、马海古隆起^[10],四川盆地的泸州—开江和大兴古隆起^[11],鄂尔多斯盆地的中央古隆起^[12-15]等。目前发现于四川盆地中的大中型油气田都与古隆起及古隆起斜坡带有关,例如:普光气田发育在开江古隆起,中兴场气田发育在泸州古隆起,威远气田发育在乐山—龙女寺古隆起。前人的研究也都强调了古隆起对油气成藏的控制作用^[16-20]。

近几年来,中石化在川西龙门山前及坳陷区都获得了中三叠统雷口坡组顶部风化壳油气勘探的重要突破,这表明川西地区的海相层系拥有良好的油气勘探潜力。川西地区已发现的古隆起主要有西北侧的天井山古隆起、西南侧的大邑古隆起以及中部区域的新场古隆起^[21],而目前已探明的油气田

也主要与这些古隆起密切相关。但是关于这些古隆起的发育时间还存在争议:较为多数的研究者认为川西坳陷的古隆起形成于燕山中晚期^[22-23];而有部分研究者认为这些古隆起形成于印支中幕运动后的“安县运动”或者晚印支期,并在之后存在从雏形阶段到持续发育,继而发展到定型的连续过程^[24-25]。杨克明^[26]认为在川西坳陷中段,由于受到印支早期运动的影响,形成了近东西向的孝泉—新场—丰谷巨型长垣。

本文结合最新的钻探成果及地震解释资料,针对川西坳陷发育在印支期的古隆起开展研究,明确印支期古隆起发育时间和展布特征,并结合区域构造背景,探讨了川西坳陷印支期古隆起的成因。

1 区域地质背景

川西坳陷位于扬子板块的西北缘,北界为米仓山隆起,西界为龙门山断裂,南邻泸州隆起,东部紧邻川中隆起,是一个受秦岭褶皱系、扬子准地台、巴彦喀拉褶皱系等多方控制和影响的二级构造单元(图1)。前震旦系的火地垭群变质岩系和晋宁期

收稿日期:2018-04-08;改回日期:2019-09-12

本文受江苏省2014年博士计划基金项目“川西海相上组合构造—沉积演化及控油作用”、国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”下属课题“中西部地区碎屑岩层系油气富集规律与勘探方向”(编号:2016ZX05002-006)、“南方海相碳酸盐岩大中型油气田分布规律及勘探评价”(编号:2017ZX05005-003)共同资助

第一作者: 袁晓宇,常州工学院讲师,博士研究生,从事地质—地震储层综合预测及大数据分析方面的工作。通信地址:213032 江苏常州新北区辽河路666号;E-mail:276109441@qq.com



图1 川西坳陷区域位置图(据文献[27])

Fig. 1 Regional location map of the Western Sichuan Depression (cited from literature [27])

的岩浆岩构成了川西坳陷坚硬且稳定的基底。在地质历史的演化过程中,震旦纪到中三叠世沉积了巨厚的海相沉积序列。在中三叠世末,受到古特提洋关闭的影响,华北板块与扬子板块西部的北缘地区发生了碰撞,促使整个四川盆地发生了全面的隆升,海水从东往西方向退缩,终结了海相克拉通盆地的发育阶段,进而开始了川西前陆盆地的演化。受晚印支期、燕山期、喜马拉雅期构造运动的影响,龙门山、大巴山、米仓山依次活跃^[28],前陆盆地沉积中心也在山前带的川西坳陷区域不断迁移,从而造成川西地区海相碳酸盐岩地层现今埋深在5 000 m以上。

整体上,川西地区各地史时期的地层发育齐全,仅在部分区域缺失奥陶系和志留系,泥盆系—石炭系仅分布于西侧的龙门山区。川西坳陷二叠系—中三叠统的地层岩性如图2所示。

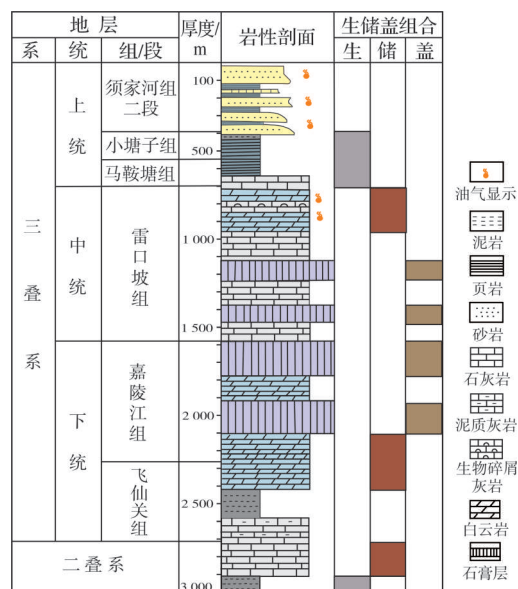


图2 川西坳陷二叠系—中三叠统地层柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column of Permian—Middle Triassic in Western Sichuan Depression

2 印支期古隆起发育特征

2.1 雷口坡组顶部地层剥蚀特征

在印支运动早期,四川盆地由于受到了构造抬升运动的影响,在中三叠统和上三叠统之间形成了一个全区分布的不整合接触界面。川西地区北西向二维地震剖面显示,中三叠统雷口坡组顶部在北西方向上显示出了清晰的削截特征,上三叠统的底部在北西方向上表现出了显著的超覆特征(图3),在中三叠统和上三叠统之间存在着明显的上超下削的反射特征,表现为明显的区域性角度不整合,这与川西地区位于川中古隆起斜坡构造背景的认识一致。另外,根据较新的三维地震资料解释,在研究区更靠近西侧和西南侧的彭州1井和大邑1井

的雷口坡组顶面也存在明显的削截特征^[29],这揭示在印支早期川西地区发生并存在差异剥蚀作用,据此推测彭州1井及大邑1井所处位置为印支早期构造的高点部位^[29]。但是,在利用钻井资料进行马鞍塘组厚度对比时(图4),发现孝深1井、川科1井及新深1井的上三叠统马鞍塘组厚度较薄,初步认为雷口坡组沉积时期该位置可能为古地貌高部位;而在西侧的彭州1井、龙深1井的马鞍塘组沉积厚度逐渐加大,故彭州1井和龙深1井的位置可能为雷口坡期古地貌的相对低部位。如此看来,利用钻井资料进行地层对比获得的认识与前述三维地震资料解释结果之间存在着冲突。由于研究区内钻井少,对无井区域地层厚度变化的认识不清,因此本文借助地震资料对印支早期的古地貌格局开展研究。

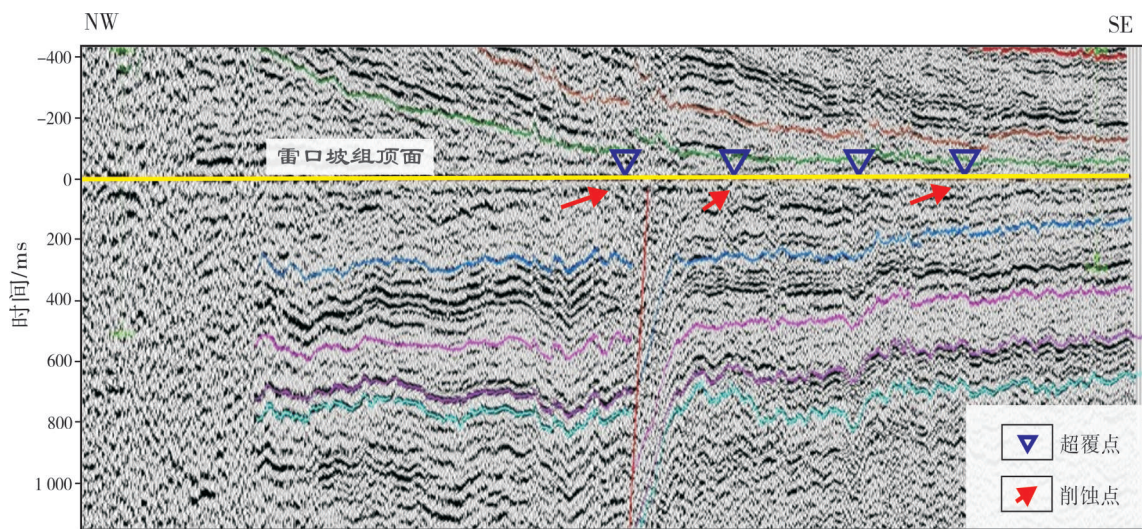


图3 川西坳陷2006-L2测线沿雷口坡组顶面拉平的地震剖面(剖面位置见图5)

Fig. 3 Seismic profile of 2006-L2 line flattened along the top surface of Leikoupo Formation in Western Sichuan Depression (line location is shown in Fig.5)

2.2 印支早期古地貌特征

雷口坡组沉积初期,整个川西地区为海相沉积环境。假设雷口坡组全区沉积厚度均一,印支早期构造运动使得雷口坡组抬升,造成雷四段遭受剥蚀,而雷三段全区保存完整。选取雷三段顶面为等时基准面,制作川西地区雷四段的残余厚度图来反映雷口坡组沉积之后,上覆马鞍塘组一小塘子组沉积之前的古地貌特征(图5)。可以看到川西地区的古地貌呈明显的条带状展布特征。根据川西地区处于川中古隆起斜坡带的地质构造背景,将位于

川西地区范围内的古地貌进一步细分为凹地和高地残丘区^[29]。其中,龙门山前缘带高地残丘区整体呈北东向分布特征;而川西坳陷内的高地残丘区分布范围较广,从川西矿区西南部位的大邑地区往北东方向延伸至梓潼洼陷的潼深1井区,包含了郫县—马井—新场等地区,宽度约为20~28 km,相对高程差最大可至200 m。此外,高地残丘区在孝泉—新场—丰谷区域内还呈现出东西走向的特征。综上所述,印支早期川西地区不仅在龙门山前和川西坳陷内部发育了北东走向的古隆起,而且还在川西坳陷内部发育了东西走向的古隆起。

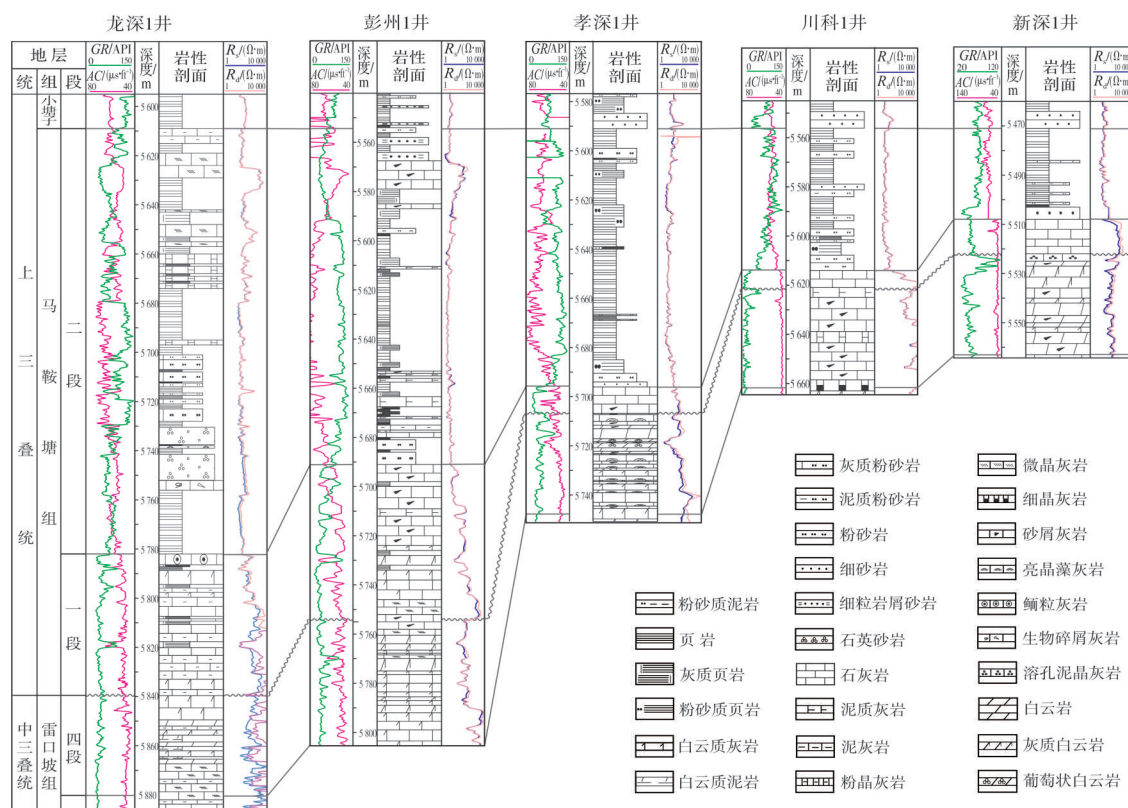


图4 川西坳陷龙深1井—新深1井马鞍塘组东西向连井对比剖面(剖面位置见图5)

Fig.4 Correlation section of Ma'antang Formation of EW connecting wells of Longshen-1-Xinshen-1 in Western Sichuan Depression (section location is shown in Fig.5)

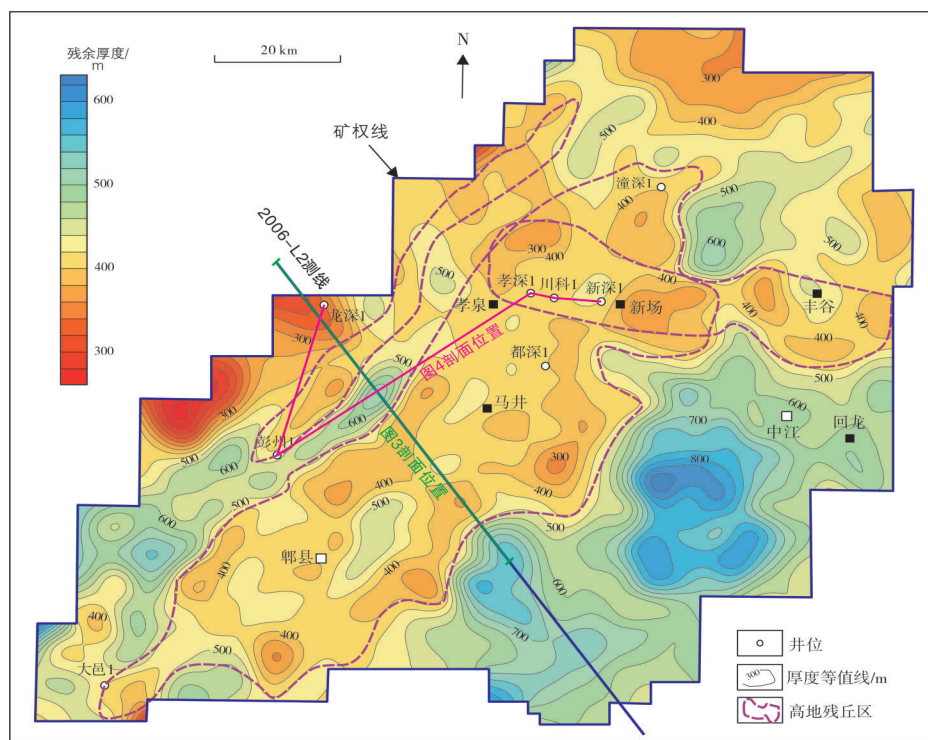


图5 川西坳陷雷口坡组四段残余厚度平面图(据文献[29])

Fig.5 Residual thickness map of the Leikoupo Formation Member 4 in Western Sichuan Depression (cited from literature [29])

3 印支早期古隆起成因探讨

3.1 印支期古隆起剥蚀量计算

由于川西海相地层勘探程度低,因此本文采用地层对比法定性地确定川西印支早期古隆起剥蚀量的范围。地层对比法认为,局部范围内同一期发育的地层在纵向厚度变化上会呈现出规律性的特征,即呈现出线性递增递减,或厚度相同等特征。在未剥蚀区地层厚度明确的前提下,应用地层厚度横向对比和纵向厚度变化趋势来追踪并计算得出剥蚀前的整个地层厚度,然后减去被剥蚀后残余的地层厚度,最后得到剥蚀量^[30-31]。

图6为川西地区中三叠统雷口坡组剥蚀量分布图,将其与中三叠统雷口坡组四段(简称雷四段)的地层残余厚度图对比,可以发现剥蚀厚度与雷四段的地层残余厚度具有很好的“镜像”关系。从图上可以看到:北东向古隆起及东西向古隆起展布特征

明显,其中彭州1井所处的北东向古隆起的剥蚀量约为50~100 m;川西坳陷中部的北东向及东西向古隆起的剥蚀量为100~200 m;最东部的中江—回龙地区剥蚀量最大,为200~400 m。

图6也可以较好地解释上述连井地层厚度对比图。印支早期,由于孝深1、川科1及新深1井所在位置相比彭州1井为相对古隆起高点,故而沉积了相对较薄的马鞍塘组。这些钻井均处于川西印支期古隆起之上。

3.2 印支早期古隆起成因讨论

前人对印支期中扬子—黔中地区的剥蚀量研究成果^[32](图7)揭示:印支期泸州—开江古隆起剥蚀量为1 000~2 500 m,江南—雪峰山古隆起剥蚀量为1 000~2 500 m。整体来看,中上扬子地区呈现出一种隆坳相间的格局,并且表现出自南东向北西方向隆升幅度逐渐减弱的特征。

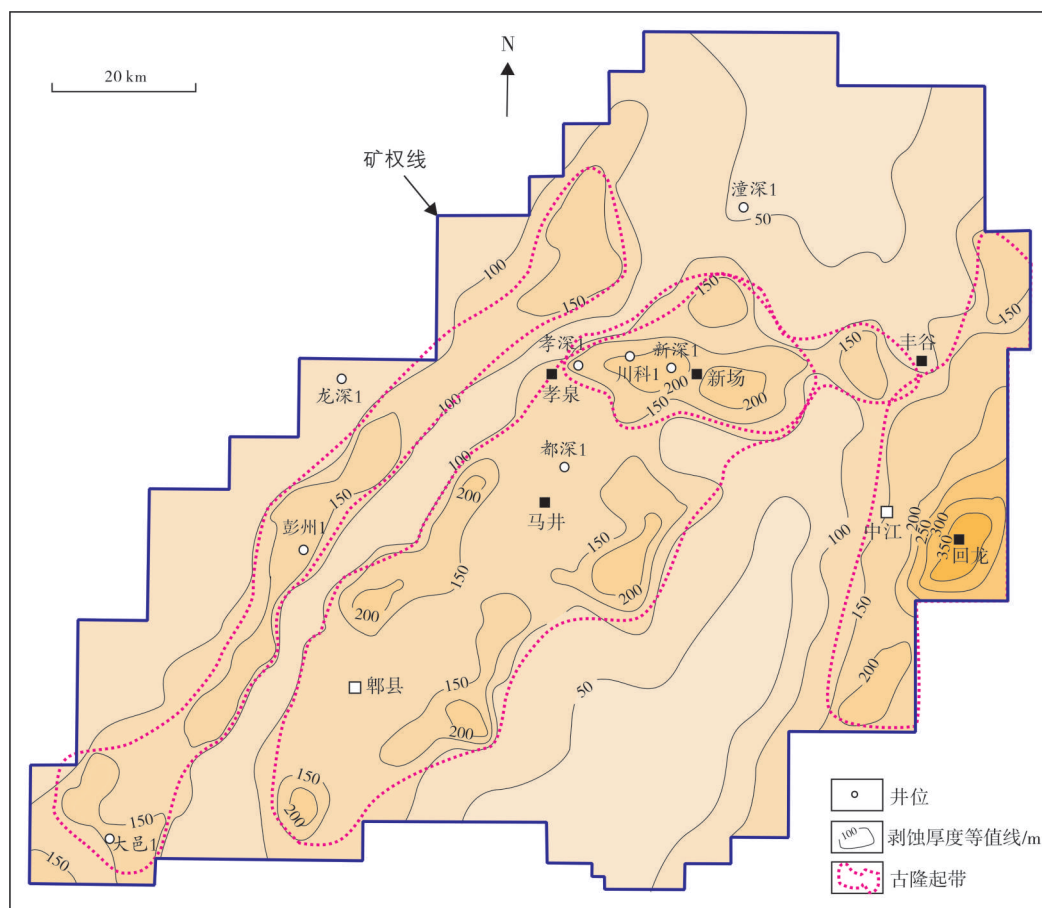


图6 川西坳陷中三叠统雷口坡组剥蚀量平面分布图

Fig. 6 Map of erosion thickness of Leikoupo Formation of Middle Triassic in Western Sichuan Depression

- 和建议[J]. 海相油气地质, 1998,3 (1): 49-56.
- [3] 张宗命, 贾承造. 塔里木克拉通盆地内古隆起及其找油气方向[J]. 西安石油学院学报, 1997,12(3): 8-13, 42.
- [4] 徐旭辉. 塔里木盆地古隆起的形成和油气控制[J]. 同济大学学报, 2004,32(4): 461-465.
- [5] 张小兵, 赵锡奎. 塔里木盆地塔中隆起构造演化与油气关系[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24 (2): 70-75.
- [6] 徐国强, 刘树根, 李国蓉, 等. 塔中、塔北古隆起形成演化及油气地质条件对比[J]. 石油与天然气地质, 2005,26(1): 114-119, 129.
- [7] 何登发, 翟光明, 况军, 等. 准噶尔盆地古隆起的分布与基本特征[J]. 地质科学, 2005,40 (2): 248-261.
- [8] 何登发, 陈新发, 况军, 等. 准噶尔盆地车排子—莫索湾古隆起的形成演化与成因机制[J]. 地学前缘, 2008,15(4): 42-55.
- [9] 况军. 准噶尔盆地古隆起与油气勘探方向[J]. 新疆石油地质, 2005, 26 (5): 502-509.
- [10] 张敏, 尹成明, 陈琰. 柴达木盆地北缘含油气系统与油气勘探方向[J]. 沉积学报, 2005,23(1): 143-149.
- [11] 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): 347-351.
- [12] 任文军, 张庆龙, 张进, 等. 鄂尔多斯盆地中央古隆起板块构造成因初步研究[J]. 大地构造与成矿学, 1999, 23(2): 191-196.
- [13] 解国爱, 张庆龙, 郭令智. 鄂尔多斯盆地西缘和南缘古生代前陆盆地及中央古隆起成因与油气分布[J]. 石油学报, 2003,24(2): 18-23.
- [14] 候方浩, 方少仙, 董兆雄, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境与岩相发育特征[J]. 沉积学报, 2003,21(1): 106-112.
- [15] 黄建松, 郑聪斌, 张军. 鄂尔多斯盆地中央古隆起成因分析[J]. 天然气工业, 2005,25(4): 23-26.
- [16] 杨俊杰. 陕甘宁盆地地下古生界天然气的发现[J]. 天然气工业, 1991,11(2): 1-6.
- [17] 康玉柱, 黄有元, 黎邦荣, 等. 塔里木盆地古生代海相油气田[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 158-160.
- [18] 汤良杰. 塔里木盆地演化和构造样式[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 137-139.
- [19] 何登发, 李德生. 塔里木盆地构造演化与油气聚集[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 154-162.
- [20] 何登发, 谢晓安. 中国克拉通盆地中央古隆起与油气勘探[J]. 勘探家, 1997,2(2): 11-19.
- [21] 唐立章, 曹烈, 安凤山. 川西坳陷油气圈闭类型分析[J]. 石油实验地质, 2004,26(4): 328-332.
- [22] 曹烈, 安凤山, 王信. 川西坳陷须家河组气藏与古构造关系[J]. 石油与天然气地质, 2005,26(2): 224-229.
- [23] 雍自权, 刘庆松, 李倩. 川西前陆盆地的发展演化、地层充填及其对油气成藏的意义[J]. 天然气工业, 2008,28(2): 26-29.
- [24] 李耀华, 李宗银, 李红亮, 等. 川西前陆盆地须家河组圈闭评价[J]. 天然气工业, 2005(增刊A): 11-13.
- [25] 林良彪, 陈洪德, 侯明才. 须家河组砂岩组分特征与龙门山推覆体的形成演化[J]. 天然气工业, 2007,27(4): 28-30.
- [26] 杨克明. 四川盆地“新场运动”特征及其地质意义[J]. 石油实验地质, 2014,36(4): 391-397.
- [27] 刘树根, 等. 扬子西缘龙门—川滇构造系统及成藏效应研究[R]. 成都: 成都理工大学, 2009.
- [28] 杨克明, 朱宏权, 叶军, 等. 川西致密砂岩气藏地质特征[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [29] 胡焯, 袁晓宇, 王彦青, 等. 四川盆地川西坳陷印支早期古隆起发育特征及控油作用[J]. 石油实验地质, 2018, 40(5): 650-654.
- [30] 李家强. 层拉平技术在沉积前古地貌恢复中的应用: 以济阳坳陷东营地区为例[J]. 胜利油田职工大学学报, 2008, 22(1): 31-36.
- [31] 袁玉松, 郑和荣, 涂伟. 沉积盆地剥蚀量恢复方法[J]. 石油实验地质, 2008,30(6): 636-642.
- [32] 刘光祥. 中扬子—黔中地区海相烃源岩生烃史研究[R]. 无锡: 无锡石油地质研究所, 2008年.

编辑: 黄革萍

A preliminary research on the genesis of Indosinian palaeo-uplift in the Western Sichuan Depression

YUAN Xiaoyu, HU Ye, LIU Guangxiang, CHEN Yingbin, WANG Yanqing, WU Xiaoqi

Abstract: The practice of oil and gas exploration shows that the palaeo-uplift in the basin plays an important role in the development and distribution of oil and gas fields. Based on the drilling data and seismic data, the genesis of the Indosinian palaeo-uplift in the Western Sichuan Depression was researched. It is shown that the western Sichuan region not only developed NE trending paleo-uplift in front of Longmen Mountain in the early Indosinian period, but also developed EW trending paleo-uplift in the Western Sichuan Depression. It is tentatively concluded that the closure of the Paleo-Tethys Ocean during the Indosinian period is the driving force for development of the paleo-uplift in Western Sichuan Depression. The formation of the NE trending paleo-uplift is related to the SE-NW trending thrust-nappe compression of the Jiangnan-Xuefengshan paleo-uplift belt, and the formation of EW trending paleo-uplift is related to the SN trending strong compression of the Yangtze Plate and the North China Plate along the Mianlue suture belt.

Key words: palaeo-uplift; Indosinian; genesis; Western Sichuan Depression

YUAN Xiaoyu, First author: PhD, Lecturer of Changzhou Institute of Technology, engaged in geological-seismic integrated reservoir prediction and big data analysis. Add: No.666 Liaohe Rd., Xinbei District, Changzhou, Jiangsu 213032, China