

四川盆地大川中地区深层断裂发育特征及其地质意义

殷积峰,谷志东,李秋芬

(中国石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:应用地震综合解释技术,对四川盆地大川中地区 21 000 km² 二维地震和近 3 000 km² 三维地震进行深层断裂体系的系统解释研究。研究表明,深层断裂具有以下 3 个特征:(1)控制沉积盖层构造变形;(2)纵向上规模大,下部断入基底,上部断入飞仙关组,同时伴有花状断裂产生;(3)深、浅层断裂特征明显不同,深层断裂角度陡,以走滑断裂为主,浅层断裂角度相对较缓,以逆断层为主。在大川中地区共解释断裂 172 条,断裂平面延伸长度 3~79 km 不等。深层断裂平面展布具有明显的分区和分带性,威远—资阳—遂宁—大足一带,以北东向和近东西向为主;巴中—仪陇—广安一带,以北西向和近东西向为主;平昌—达州一带,以近南北向为主。深层断裂对该区沉积相带和有利沉积体的分布有控制作用,可以沟通低孔隙和致密储层,有效改善储层物性,提高油气产能。深层断裂可以控制局部构造圈闭的形成;同时可以作为油气运移的通道,有效沟通烃源岩和储集层,控制异源型烃源体系的油气成藏。

关键词:地震综合解释技术;深层断裂;大川中地区;四川盆地

中图分类号:TE121.1

文献标识码:A

Characteristics of deep-rooted faults and their geological significances in Dachuanzhong area, Sichuan Basin

Yin Jifeng, Gu Zhidong, Li Qiufen

(PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration & Development, Beijing 100083, China)

Abstract: To research the deep-rooted fault system in Dachuanzhong area of Sichuan Basin, 2D seismic data of 21 000 km² and 3D seismic data of 3 000 km² were interpreted applying the integrated seismic interpretation technique. Three characteristics of the deep-rooted faults were revealed. The deep-rooted faults control the tectonic deformation of the seals. They cut downward into the basement and upward into the Feixianguan Formation and are associated with flower-shaped faults. The deep faults and the shallow ones have distinct characteristics, with the former being high in angle and dominated by strike-slip faults while the latter being relatively low in angle and dominated by reverse faults. A total of 172 faults were interpreted in Dachuanzhong area and their lateral extensions range from 3 to 79 km. The areal distribution of deep faults shows distinct zonation. The first zone is Weiyuan-Ziyang-Suining-Dazu area where the faults are NE-trending or nearly EW-trending. The second is Bazhong-Yilong-Guang'an area where the faults are NW-trending or nearly EW-trending. The third is Pingchang-Dazhou area where the faults are SN-trending. The deep faults control the sedimentary facies belts and the distribution of favorable sedimentary body, communicate the low porosity and tight reservoirs, effectively improve the reservoir properties and increase oil and gas production capacity. They also control the formation of local structural traps and can act as effective migration pathways for hydrocarbons from source rocks to reservoirs and control hydrocarbon accumulation of allochthonous source systems.

Key words: integrated seismic interpretation technique, deep fault, Dachuanzhong area, Sichuan Basin

关于四川盆地基底断裂的研究,前人已做了大量工作,但研究重点多放在讨论龙门山断裂、城口断裂、华蓥山断裂、七曜山断裂等基底断裂活动对盆地的影响,认为这些深大断裂不仅控制了盆地的构造轮廓,而

且对不同时代的岩相变化、构造展布以及构造分区等都有重要影响。然而对于次一级深层断裂体系的展布特征及其对油气聚集的影响作用却研究较少。尤其是在大川中地区,受传统的“川中稳定地块”思想影响,

收稿日期:2012-09-15;修订日期:2013-04-10。

第一作者简介:殷积峰(1967—),男,高级工程师,储层预测。E-mail: yinjf@petrochina.com.cn。

基金项目:国家重大科技专项(2011ZX05004-001)。

较少有人开展断裂体系的研究,在实际生产中对地震资料进行构造解释时,也常常因为断距不大而回避断层的解释,认为断裂的作用不大。

然而,近几年须家河组、雷口坡组、嘉陵江组、长兴组-飞仙关组、震旦系-下古生界等层系的勘探成果和研究表明,深层断裂体系与油气聚集具有非常密切的关系。例如,长兴-飞仙关组生物礁滩体的分布受开江-梁平海槽和台内洼地控制,已经取得勘探突破的普光、黄龙场、渡口河、龙岗、剑阁等区块均分布于海槽两侧的台缘高能相带;大川中高产井磨溪1井处于台内洼地周缘的高能相带上,与台内洼地的分布密切相关,而海槽和台内洼地的分布与峨眉地裂期北西向展布的深层断裂有关。

四川盆地储层普遍致密化,由深层断裂持续活动所引发的断裂、裂缝系统,在改善储层物性、沟通低孔隙储层、改善渗透能力,提高油气产能方面具有重要作用。2000 年以来,随着大川中平缓构造区须家河组勘探力度的加大,油气勘探取得了重大成果,先后发现了广安、合川、潼南等储量规模均超过千亿立方米的大气田。这些大气田,也都与深层断裂的隐性活动密切相关。

本文从前人涉足较少的深层断裂着手开展研究,充分利用新采集的地震资料,分析深层断裂的地震响应特征,开展深层断裂地震解译和发育特征研究,剖析深层断裂对有利沉积体分布、储层物性改善、局部构造

圈闭形成、油气运移的控制作用,对大川中地区的油气勘探意义重大。

1 区域构造背景

研究表明,四川盆地在燕山期—喜马拉雅期(白垩纪以来)总体上处于区域挤压环境,加里东期—海西期处于拉张和挤压并存的环境,而印支期—燕山早期应处于早期拉张、晚期逐渐转为挤压的过渡环境^[3]。

大川中地区地理位置系指北起仪陇、平昌,南至内江、大足,西起成都、梓潼,东至合川、渠县的广大地区,面积约6万余平方千米。构造位置处于龙泉山断裂与华蓥山断裂之间,是扬子地台区残留的最稳定地块区^[4],二级构造单元上属于川中低缓构造带(图1)。

在中、新生代的多次构造运动中,大川中周边的广大地区,如龙门山、华蓥山、大巴山等均发生了强烈的断褶变形,形成了巨大的高陡构造,而大川中地区则一直相对比较稳定^[5]。大川中地区构造变形弱的主要因素有两方面:一是基底刚性强度大,抗水平挤压构造变形能力强;二是盆地周边基底断裂的活动有效消减了来自盆缘的强烈挤压应力对大川中地块的影响^[6-7]。然而大川中地区的“稳定”只是相对的,加里东期和海西期就已发育的深层断裂体系,在中、新生代的构造运动中仍会继续活动,从而形成有利于油气聚集的局部构造和断裂、裂缝体系,它们是须家河组、雷口坡组、嘉

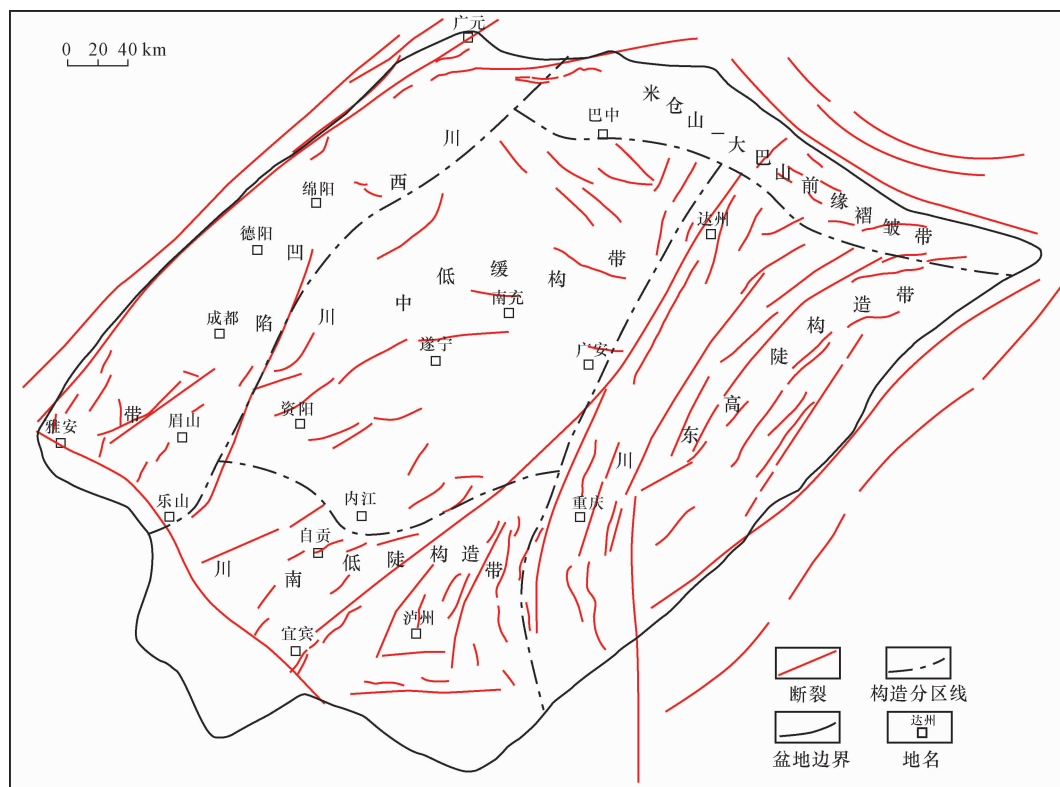


图 1 四川盆地断裂纲要及构造分区

Fig. 1 Fault outline and structure division of the Sichuan Basin

陵江组、长兴组-飞仙关组、震旦系-下古生界等层系油气富集的重要因素之一。

2 深层断裂发育特征

2.1 地震响应特征

通过对大川中地区地震资料深层断裂体系的系统解释,研究大川中地区深层断裂的剖面响应特征,主要表现在以下几个方面。

1) 控制沉积盖层构造变形

大川中地区深层断裂由于活动时间长,在加里东期、海西期、印支期、燕山期、喜马拉雅期等多期构造运动中均有活动,造成断裂周围沉积盖层发生构造变形,可形成局部背斜(图2)、断背斜、断鼻、断垒等构造。深层断裂对沉积盖层构造变形的影响不仅仅局限于断裂断开地层及其周边,在深层断裂的上部也可以引起构造变形,从而在中、浅层地层中形成局部构造圈闭^[8-9]。

2) 纵向上规模大

对大川中地区地震资料深层断裂的解译研究发现,深层断裂在大川中地区普遍发育,尽管断裂的断距普遍较小,断开地震同相轴的幅度较小,但这些深层断裂在纵向上规模大,上下延伸长,断开层位众多。深层断裂向下普遍断穿震旦系,断入基底,向上多断入飞仙关组,部分甚至断入须家河组,断穿层位包括

震旦系、寒武系、奥陶系、志留系、二叠系和中、下三叠统等多套地层(图3)。另外,在深层大断裂背景上,还发育众多中型跨层系断层和小型层间断裂,依附于深层大断裂的两侧,形成类似花状断裂的构造样式(图3)^[10-11]。

3) 与浅层断裂特征差异明显

四川盆地中-下三叠统膏盐岩分布广泛,主要发育于下三叠统嘉陵江组和中三叠统雷口坡组,膏盐岩厚50~600 m^[12],其中大川中地区膏盐岩厚度达到200~400 m。广泛发育的膏盐岩一方面可以很好地封盖油气,另一方面可以做为塑性滑脱层,起到构造应力释放的作用,造成深、浅层断裂和构造形态差异明显。深层断裂角度普遍很陡,一般大于75°,部分甚至近于直立,地层断距均很小,多表现为走滑断裂的特征。浅层断裂角度相对要缓一些,一般为45°~75°,多表现为逆断层的性质(图4)。

2.2 平面展布规律

对大川中地区52 500 km²范围内410余条二维地震测线(总长21 000 km)和近3 000 km²三维地震资料深层断裂体系的系统解译研究,明晰了大川中地区深层断裂平面展布规律(图5)。

在大川中地区共解释断裂172条,其中北东方向断裂99条,北西方向断裂41条,东西方向断裂26条,南北方向断裂6条,断裂平面延伸长度3~79 km不

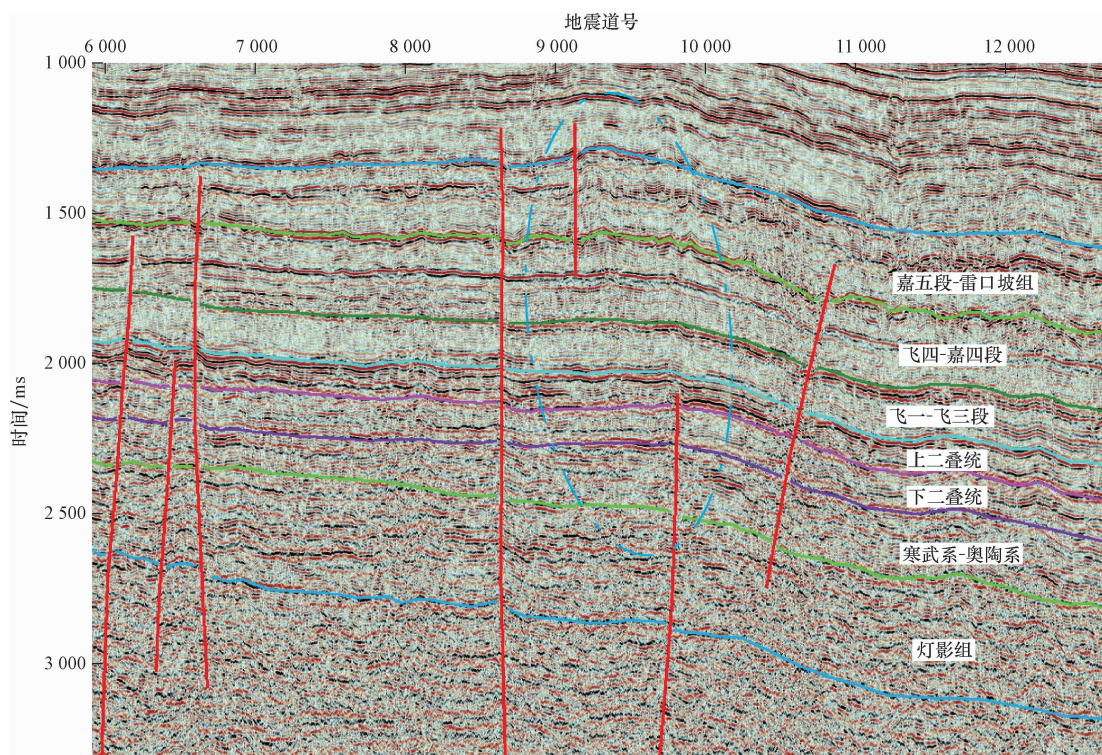


图2 大川中2009DCZ007测线深层断裂控制沉积盖层构造变形

Fig. 2 Seismic line 2009DCZ007 showing deep faults controlling the tectonic deformation of seals in Dachuanzhong area

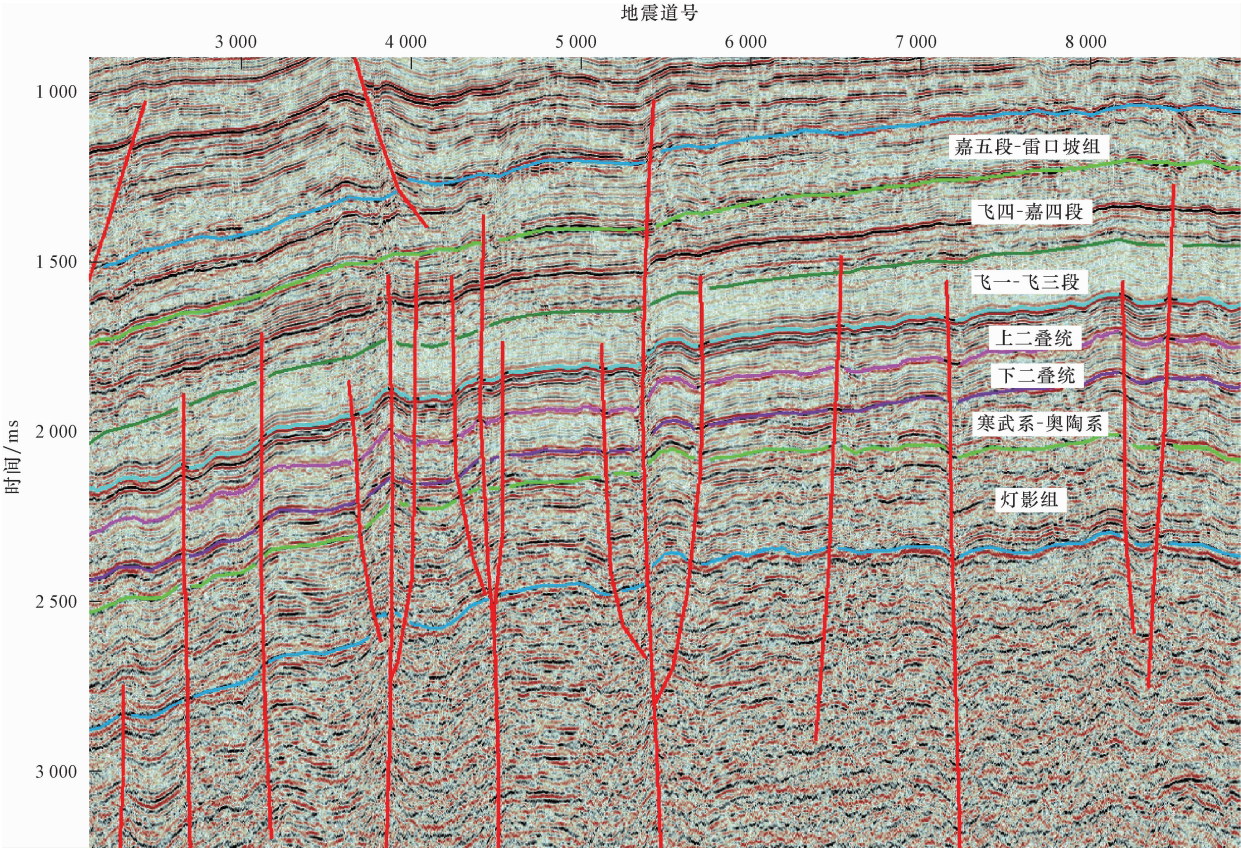


图 3 大川中 2008DCZ023 测线深层断裂解译及花状断裂

Fig. 3 Interpretation of deep faults and flower-shaped faults on seismic line 2008DCZ023 in Dachuanzhong area

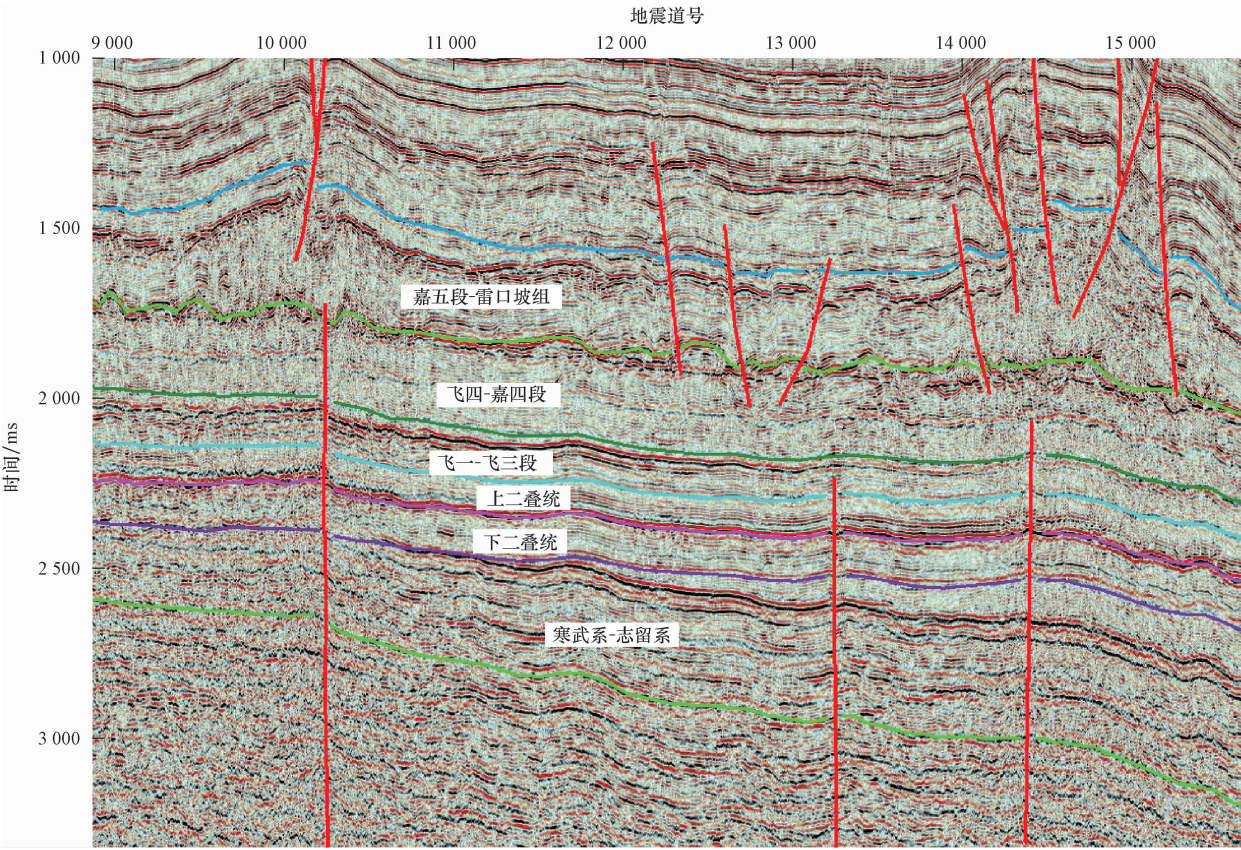


图 4 大川中 2008DCZ016 测线深、浅层断裂差异

Fig. 4 Difference between deep faults and shallow faults on seismic line 2008DCZ016 in Dachuanzhong area

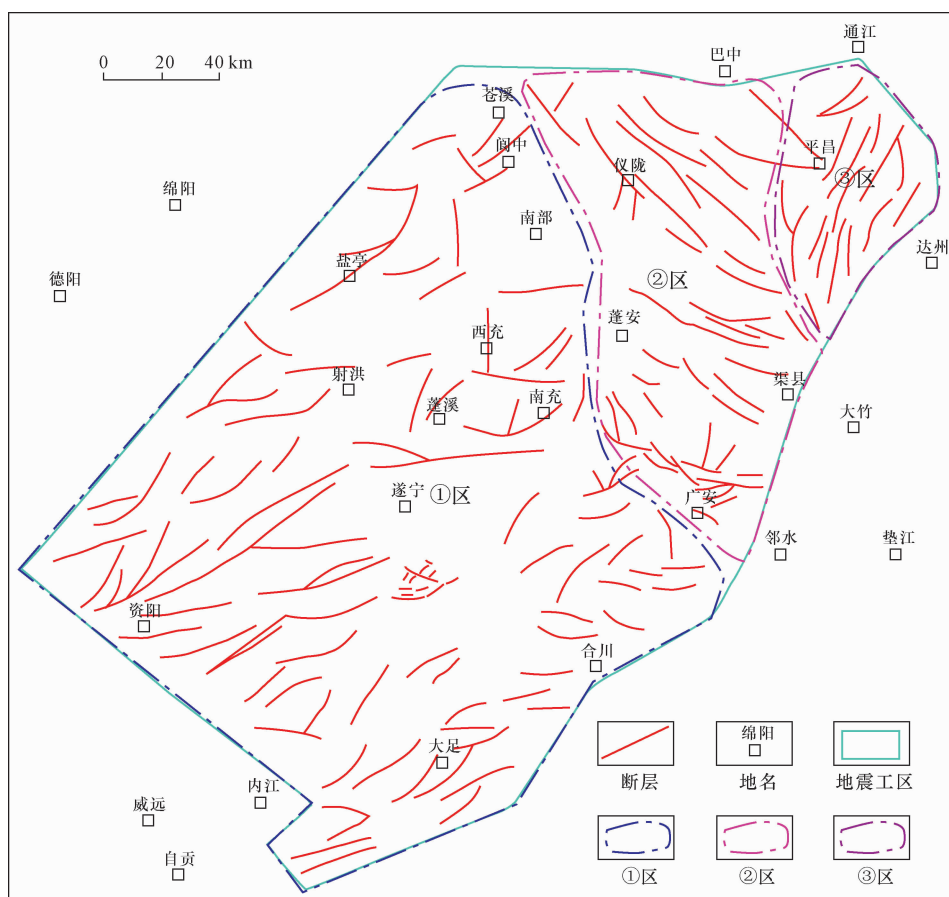


图5 大川中地区深层断裂平面展布及分区

Fig. 5 Areal distribution and zonation of deep faults in Dachuanzhong area

①区: 威远—资阳—遂宁—大足; ②区: 巴中—仪陇—广安; ③区: 平昌—达州

等,规模较大的断裂有36条。大川中地区深层断裂平面展布特征为以北东向和北西向为主,部分为东西向,少量为南北向。虽然大川中地区深层断裂在地震剖面上表现为垂直断距小的特征,但解释出的深层断裂在平面分布上却往往可以延伸几十千米,甚至上百千米,这也是断裂性质为走滑断裂的证据。因为平移断层的位移分量主要在平面上,而垂向上的分量一般比较小。

大川中地区深层断裂平面展布还具有明显的分区和分带性,可以分成3个区带,各区带断裂展布特征具有较大的差异性。①区:威远—资阳—遂宁—大足一带,以北东向和近东西向断裂为主;②区:巴中—仪陇—广安一带,以北西向和近东西向断裂为主;③区:平昌—达州一带,以近南北向断裂为主(图5)。

3 深层断裂油气地质意义

3.1 控制有利沉积体分布

四川盆地深层断裂广泛发育,大川中地区深层断裂体系的地震解译研究表明,这些深层断裂多在加里东构造期就开始活动,在海西期、印支期、燕山期和喜马拉雅期等多次构造运动期均有所活动,控制了加里

东期乐山—龙女寺古隆起和印支期泸州—开江古隆起的形成和演化,同时对多个时期沉积相带和有利沉积体的宏观展布具有明显的控制作用^[13-15]。例如,北西向展布的峨眉地裂期深层断裂体系控制了晚二叠世的古地理格局,形成北西—南东向延伸的开江—梁平海槽地貌单元,在海槽的两侧台缘高能相带上广泛发育生物礁、滩沉积体,形成长兴组—飞仙关组的有利储集体^[16-18]。北东向展布的深层断裂体系控制了震旦系—寒武系的沉积相带展布格局,进而形成北东—南西向展布的震旦系灯影组二段和四段以及寒武系龙王庙组滩体等有利沉积体。

3.2 有效改善储层物性

勘探实践表明,四川盆地地质特点之一就是裂缝发育程度与油气藏形成关系密切。深层断裂的长期活动,导致断裂周缘及其上覆地层产生一系列派生小断裂和裂缝体系,从而有效地改善了储层的储渗能力,形成高产。裂缝是沟通改造低孔隙储集层,产生一定的渗透能力的重要因素。对于低孔隙和致密储集层而言,只有裂缝发育油气方能产出,并且是裂缝越发育,越容易出现高产^[19-21]。川中地区侏罗系大安寨段石

油勘探、蜀南地区嘉陵江组气藏勘探成果等都与深层断裂体系引起的裂缝系统密切相关。

3.3 控制局部构造圈闭形成

伴随着深层断裂的多期活动,引起断裂周缘地层发生构造形变,形成背斜、断背斜和断垒等局部构造圈闭。另外,深层断裂的隐性活动也可以引起其上覆未断穿地层的构造形变,形成背斜和穹窿等构造圈闭^[22-23]。这些构造圈闭的规模、幅度大小不一,在大川中地区由于具有刚性稳定地块的特征,规模和幅度一般都比较小,平面分布上一般沿深层断裂走向呈串珠状分布,是油气聚集成藏的有利地带。

3.4 作为油气运移通道

多年的勘探成果和研究表明,四川盆地主要有六套烃源岩层,其中海相烃源岩4套,陆相烃源岩2套,从下往上分别是寒武系的筇竹寺组、志留系、下二叠统、上二叠统龙潭组、上三叠统须家河组和侏罗系。而四川盆地的含油气层系众多,几乎涵盖了从震旦系—侏罗系的各个层系。这些含油气层系有的与烃源岩毗邻,可以直接捕获烃源岩所生的油气,如须家河组油气藏就是以直接捕获其自身烃源岩所生的油气为主。而有的含油气层系,如飞仙关组鲕滩气藏、嘉陵江组气藏、雷口坡组气藏等都与烃源岩相隔较远,中间又多被致密岩层分割。对于这些勘探层系而言,只有断裂通向烃源层系时,才能使烃源岩生产的油气运移至储集层圈闭中,形成油气藏^[24]。深层断裂在这些油气成藏中作为油气运移的通道,起到了非常关键的作用。大川中地区2009年部署的风险探井蓬莱1井在嘉陵江组获得 $26.06 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流,深层断裂对烃源岩和储集层的沟通和作为油气运移通道的作用是不言而喻的(图6)。

4 结论

1) 四川盆地大川中地区属于川中低缓褶皱构造带,构造变形弱,传统观点认为大川中地区为刚性稳定地块,深层断裂不发育,然而近几年的勘探实践和研究成果表明,该区不仅深层断裂发育,而且深层断裂的分布与油气聚集具有密切的关系。

2) 大川中地区深层断裂广泛发育,地震剖面上以高角度的走滑断裂为主要特征,伴有花状构造;平面展布上以东北向和北西向为主,部分为东西向,少量为南北向,具有明显的分区和分带性。

3) 深层断裂对于大川中地区的油气勘探意义重大,深层断裂可以控制沉积相带和有利沉积体的分布;

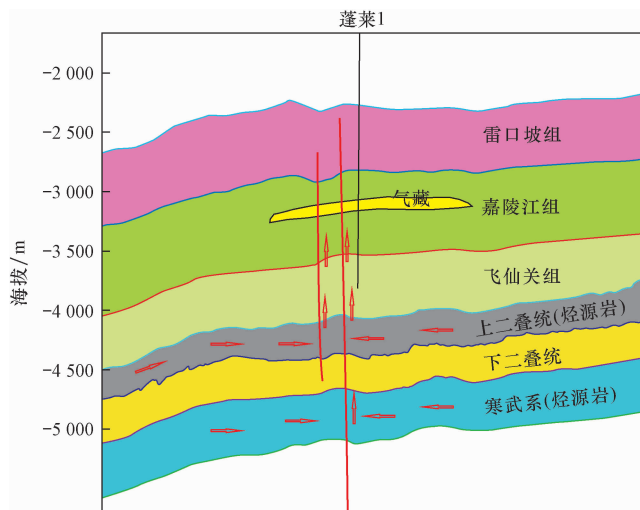


图6 大川中蓬莱1井深层断裂控制嘉陵江组油气成藏剖面
Fig. 6 Profile showing deep faults controlling hydrocarbon accumulation of Jialingjiang Formation, Well Penglai-1 in Dachuanzhong area

深层断裂活动引起的小断裂和裂缝系统可以沟通低孔隙和致密储层,有效改善储层物性,提高油气产能;深层断裂活动引起周缘地层构造形变,可以控制局部构造圈闭的形成,可以作为油气运移的通道,有效沟通烃源岩和储集层,控制异源型烃源体系的油气成藏。

参 考 文 献

- [1] 宋鸿彪,罗志立. 四川盆地基底及深部地质结构研究的进展[J]. 地学前缘,1995,2(3):231-236.
Song Hongbiao, Luo Zhili. The study of the basement and deep geological structures of Sichuan Basin, China[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3): 231-236.
- [2] 汪泽成,赵文智,张林,等. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京:地质出版社,2002:6-9.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Zhang Lin, et al. Tectonic sequence and gas exploration in Sichuan Basin [M]. Beijing: Geocological Press, 2002: 6-9.
- [3] 李忠权,潘懋,萧德铭,等. 四川盆地拉张-挤压构造环境探讨[J]. 北京大学学报(自然科学版),2001,37(1):87-92.
Li Zhongquan, Pan Mao, Xiao Deming, et al. Studies of extension-compression tectonic dynamic setting in Sichuan Basin[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2001, 37(1): 87-92.
- [4] 秦启荣,李乐,苏培东,等. 挤压性盆地正断层成因探讨——以川中公山庙构造断裂为例[J]. 新疆石油地质,2005,26(2):134-136.
Qin Qirong, Li Le, Su Peidong, et al. On genesis of complex normal faults in compressional basin—an example of Gongshanmiao structural faulting in middle Sichuan basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2005, 26(2): 134-136.
- [5] 聂海宽,包书景,高波,等. 四川盆地及其周缘上奥陶统—下志留统页岩气成藏体系研究[J]. 石油实验地质,2012,34(2):115-119.
Nie Haikuang, Bao Shujing, Gao Bo, et al. Accumulation system for shale gas from Upper Ordovician to Lower Silurian in Sichuan Basin

- and surrounding areas[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2012, 34(2): 115–119.
- [6] 王英民, 童崇光, 徐国强, 等. 川中地区基底断裂的发育特征及成因机制[J]. *成都地质学院学报*, 1991, 18(3): 52–60.
- Wang Yingmin, Tong Chongguang, Xu Guoqiang, et al. On the characteristics and mechanism of basement faults in central Sichuan Basin[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1991, 18(3): 52–60.
- [7] 汪泽成, 赵文智, 徐安娜, 等. 四川盆地北部大巴山前带构造样式与变形机制[J]. *现代地质*, 2006, 20(3): 429–435.
- Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Xu Anna, et al. Structure styles and their deformation mechanisms of Dabashan foreland thrust in the north of Sichuan basin[J]. *Geoscience*, 2006, 20(3): 429–435.
- [8] 张宇航, 汤良杰, 云露, 等. 塔里木盆地巴楚隆起卡拉沙依断层差异构造变形特征及其控制因素[J]. *石油实验地质*, 2013, 35(3): 255–262.
- Zhang Yuhang, Tang Liangjie, Yun Lu, et al. Features and controlling factors of differential structural deformation of Kalashayi Fault in Bachu Uplift, Tarim Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2013, 35(3): 255–262.
- [9] McClay K, Shaw J H, Suppe J. Thrust fault-related folding[M]. AAPG Memoir 94, 2011: 1–20.
- [10] Corredor F, John H, Shaw, et al. Structural styles in the deep-water fold and thrust belts of Niger Delta[J]. *AAPG Bulletin*, 2005, 89(6): 753–780.
- [11] 付广, 王立志. 源断裂在断陷盆地油运聚成藏中的作用研究[J]. *断块油气田*, 2011, 18(6): 686–690.
- Fu Guang, Wang Lizhi. Effect of source faults in oil migration and accumulation in fault basin[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2011, 18(6): 686–690.
- [12] 金之钧, 龙胜祥, 周雁, 等. 中国南方膏盐岩分布特征[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(5): 571–593.
- Jin Zhijun, Long Shengxiang, Zhou Yan, et al. A study on the distribution of saline-deposit in southern China[J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(5): 571–593.
- [13] 汪泽成, 赵文智, 李宗银, 等. 基底断裂在四川盆地须家河组天然气成藏中的作用[J]. *石油勘探与开发*, 2008, 35(5): 541–547.
- Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Li Zongyin, et al. Role of basement faults in gas accumulation of Xujiahe Formation, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2008, 35(5): 541–547.
- [14] 冷济高, 杨克明, 杨宇. 川西坳陷孝泉—丰谷构造带须家河组超压与天然气成藏关系研究[J]. *石油实验地质*, 2011, 33(6): 574–579.
- Leng Jigao, Yang Keming, Yang Yu. Relationship between natural gas accumulation and overpressure in Xujiahe Formation, Xiaoquan-Fenggu structural belt, Western Sichuan Depression[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2011, 33(6): 574–579.
- [15] 唐大卿, 陈新军, 张先平. 川东北宣汉—达县地区断裂系统及构造演化[J]. *石油实验地质*, 2008, 30(1): 58–63.
- Tang Daqing, Chen Xinjun, Zhang Xianping. Fault systems and their tectonic evolution in Xuanhan-Daxian area, the Northeastern Sichuan basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2008, 30(1): 58–63.
- [16] 邹才能, 徐春春, 汪泽成, 等. 四川盆地台缘带礁滩大气区地质特征与形成条件[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(6): 641–651.
- Zou Caineng, Xu Chunchun, Wang Zecheng, et al. Geological characteristics and forming conditions of the large platform margin reef-shoal gas province in the Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(6): 641–651.
- [17] 谭秀成, 罗冰, 江兴福, 等. 四川盆地基底断裂对长兴组生物礁的控制作用研究[J]. *地质论评*, 2012, 58(2): 277–283.
- Tan Xiucheng, Luo Bing, Jiang Xingfu, et al. Controlling effect of basement fault on Changxing Formation reef in Sichuan Basin[J]. *Geological Review*, 2012, 58(2): 277–283.
- [18] Li Qiufen, Wang Zecheng, Li Jun, et al. Discovery of Yanting-Tongnan Trough of Late Permian in Sichuan Basin and its significance[J]. *Journal of Earth Science*, 2012, 23(4): 582–596.
- [19] 董立, 李鹏, 陈伟, 等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷西部次凹构造特征分析[J]. *石油地质与工程*, 2011, 25(3): 33–36.
- Dong Li, Li Peng, Zhang Wei, et al. Tectonic characteristics of West subsag of Tanan sag in the Tamsag Basin, Mongolia[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2011, 25(3): 33–36.
- [20] 张玺华, 陈洪德, 侯明才, 等. 四川盆地西部新场地区须家河组四段9砂组地震沉积学[J]. *石油与天然气地质*, 2013, 34(1): 95–101.
- Zhang Xihua, Chen Hongde, Hou Mingcai, et al. Seismic sedimentology of the 9th sand group in the 4th member of the Triassic Xujiahe Formation in Xinchang area of the western Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2013, 34(1): 95–101.
- [21] 白斌, 邹才能, 朱如凯, 等. 四川盆地九龙山构造须二段致密砂岩储层裂缝特征、形成时期与主控因素[J]. *石油与天然气地质*, 2012, 33(4): 526–535.
- Bai Bin, Zou Caineng, Zhu Rukai, et al. Characteristics, timing and controlling factors of structural fractures in tight sandstones of the 2nd member of Xujiahe Formation in Jiulong Mountain structure, Sichuan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2012, 33(4): 526–535.
- [22] 汪泽成, 赵文智, 门相勇, 等. 基底断裂“隐性活动”对鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏的作用[J]. *石油勘探与开发*, 2005, 32(1): 9–13.
- Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Men Xiangyong, et al. Control of basement fault minor-activity on gas pool formation of Upper Paleozoic, Ordos Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2005, 32(1): 9–13.
- [23] 范柏江, 刘成林, 庞雄奇, 等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对油气成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(2): 192–198, 206.
- Fan Bojiang, Liu Chenglin, Pang Xiongqi, et al. Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu Sag, the Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(2): 192–198, 206.
- [24] 胡望水, 吴婵, 梁建设, 等. 北部湾盆地构造迁移特征及对油气成藏的影响[J]. *石油与天然气地质*, 2011, 32(6): 920–927.
- Hu Wangshui, Wu Chan, Liang Jianshe, et al. Tectonic transport characteristics and their influences on hydrocarbon accumulation in Beibuwan Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2011, 32(6): 920–927.