

文章编号:1009-9603(2020)05-0013-12

DOI:10.13673/j.cnki.cn37-1359/te.2020.05.002

洛伊凹陷西南部边界大断裂发育特征及其对油气成藏的控制作用

于浩雨¹,于明德²,李洲³,熊亮¹

(1.自然资源部广州海洋地质调查局,广东广州 510075; 2.中国石化河南油田分公司勘探开发研究院,河南郑州 450000; 3.中国石化河南油田分公司石油工程技术研究院,河南南阳 473132)

摘要:洛伊凹陷在上三叠统试采获天然气流,为弄清其西南部边界大断裂发育特征及油气成烃、成储、成藏特点,在大量钻井/钻孔、关键地质露头和新老二维地震资料分析基础上,利用地震地质综合分析和断裂及盆地动力学分析手段,剖析了洛伊凹陷西南部边界大断裂发育特征、演化阶段及其对油气成藏的控制作用。结果表明:①义伊断裂是一条区域性的复杂深大断裂,分为叠瓦状强烈逆冲推覆段、逆冲挤压叠加后期负反转段、多角度叠瓦状强烈逆冲推覆叠加走滑构造段、不对称牛轭-叠瓦状较强逆冲推覆段共4段;②洛伊凹陷经历了海西中晚期弱伸展裂陷、印支早期弱挤压隆升变形、印支晚期不均衡整体拗陷、燕山期强烈的逆冲推覆-隆升剥蚀、喜马拉雅期左旋走滑裂陷等5个构造演化阶段;③义伊断裂的构造活动控制着研究区二叠系、上三叠统和中下侏罗统烃源岩发育特点、生烃阶段、沿构造转换带有利储层的发育及致密砂岩储层的裂缝化改造,同时,此断裂对油气成藏也有破坏作用;④义马次凹北部等3个区带是二叠系和中生界油气成藏的较有利区带。

关键词:边界大断裂;上三叠统;二维地震;逆冲推覆;走滑裂陷;褶皱变形;油气成藏;洛伊凹陷
中图分类号:TE122.3¹ **文献标识码:**A

Development characteristics of large fault in southwest boundary of Luoyi Sag and its controlling effect on hydrocarbon accumulation

YU Haoyu¹, YU Mingde², LI Zhou³, XIONG Liang¹

(1.Natural Resources, Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou City, Guangdong Province, 510075, China; 2.Exploration & Development Research Institute, Henan Oilfield Company, SINOPEC, Zhengzhou City, Henan Province, 450000, China; 3.Petroleum Engineering Research Institute, Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang City, Henan Province, 473132, China)

Abstract: Natural gas flow was obtained during the production test in the Upper Triassic in Luoyi Sag. In order to clarify the development characteristics of the large boundary fault, hydrocarbon generation, reservoir formation and hydrocarbon accumulation, based on the analysis of a large number of drilling, boreholes, key outcrops and new and old 2D seismic data, the development characteristics, evolutionary stages and the controlling effect on hydrocarbon accumulation of the southwest boundary fault in Luoyi Sag are studied in detail according to the seismic and geological data, fault patterns and basin dynamics. The results indicate that ① Fault YY is a complex regional deep fault, which can be divided into four sections: imbricated strong overthrusting section, negative inversion section after trust and extrusion, multi-angle imbricated strong overthrust superimposed strike-slip structural section, and asymmetric ox-imbricated strong overthrust section. ② Luoyi Sag has experienced five stages of structural evolution: weak extensional rifting in the middle and late Hercynian period,

收稿日期:2020-05-21。

作者简介:于浩雨(1994—),男,河南南阳人,硕士,从事油气构造地质综合研究。E-mail:554130855@qq.com。

通信作者:于明德(1969—),男,河南南阳人,高级工程师,博士。E-mail:yjymd@163.com。

基金项目:中国地质调查局重大科研项目“全国油气资源战略选区调查与评价”子项目“周口及周缘油气勘探目的层格局分布和目标优选研究”(1211302108023)。

weak compression and uplift deformation in the early Indosinian period, unbalanced depression in the late Indosinian period, strong overthrust uplift and denudation in the Yanshanian period, and sinistral strike slip rifting in the Himalayan period. ③The tectonic activities of Fault YY not only controls the development characteristics of hydrocarbon source rock in Permian, Triassic and lower-middle Jurassic, and multiple secondary hydrocarbon stages in late Indosinian and Yanshan-Himalayan period, but also controls the development series of strata and zones of favorable reservoirs such as underwater distributary channel sandstone along the tectonic transformation belt, as well as the fracture transformation of tight sandstone reservoirs. Meantime, the fractures also has a destructive effect on the hydrocarbon accumulation of Permian and Mesozoic periods in the study area. ④The three zones in the north of Yima sub-sag are more favorable for hydrocarbon accumulation in Permian and Mesozoic periods.

Key words: boundary large fault; upper Triassic; 2D seismic data; overthrust; strike-slip depressing and rifting; fold deformation; hydrocarbon accumulation; Luoyi Sag

洛伊凹陷位于豫西隆起中部,为秦岭-大别造山带南北毗邻的华北板块和扬子板块相互作用的结果,是秦岭余脉伏牛山和中条山、太行山共同夹持的三角地带^[1-6]。截至2020年3月,洛伊凹陷已有T1,T2,YC1等20余口油气探井和多个煤田钻孔,完成二维地震剖面56条2 357 km;其中T1,T2,T3,T4和Y1井在中生界上三叠统见到多套较好油气显示,T1井在上三叠统椿树腰组1 874~1 884 m井段试采获得折算平均日产量为7 200 m³/d的天然气流^[1]。边界大断裂可能对洛伊凹陷油气有控制作用,宋传中等根据地质露头或少量大地电磁测深剖面,或早期少许沿自由导向采集处理的人工地震剖面等,分别对洛伊凹陷西南部边界大断裂进行过论述,但因缺乏系统的人工地震勘探剖面 and 钻探资料,对豫西西南部边界主控断裂的具体特点、凹陷的成烃、成储、成藏等关键问题认识不清^[5-8]。笔者旨在通过对比分析洛伊凹陷各种新老钻井、测井、录井、化验分

析资料和地质露头、二维地震剖面的综合解释结果,分析其西南部边界大断裂的具体发育特征及演化阶段,并探讨此断裂与油气成藏之间的关系。

1 区域地质概况

洛伊凹陷处于华北板块西南缘、秦岭微板块西北,其西南部毗邻南秦岭造山带,南缘主要受控于商丹缝合带^[2-3],沿陕西商南县松树沟、丹凤县郭家沟、河南西峡二郎坪地区等均发现明显蛇绿岩带,该蛇绿岩的矿物测年表明其形成于新元古代-古生代^[1-3](图1)。洛伊凹陷东邻周口坳陷和太康隆起,南为伏牛山隆起,西北则以中条山隆起为界与鄂尔多斯盆地相望,东北为济源-开封坳陷。洛伊凹陷发育规模不等的北西-北西西向断裂与褶皱构造,根据凹陷的中-古生界分布和断裂发育特点,其具有“三鼻五次凹一推覆”的构造格局;3个鼻状构造

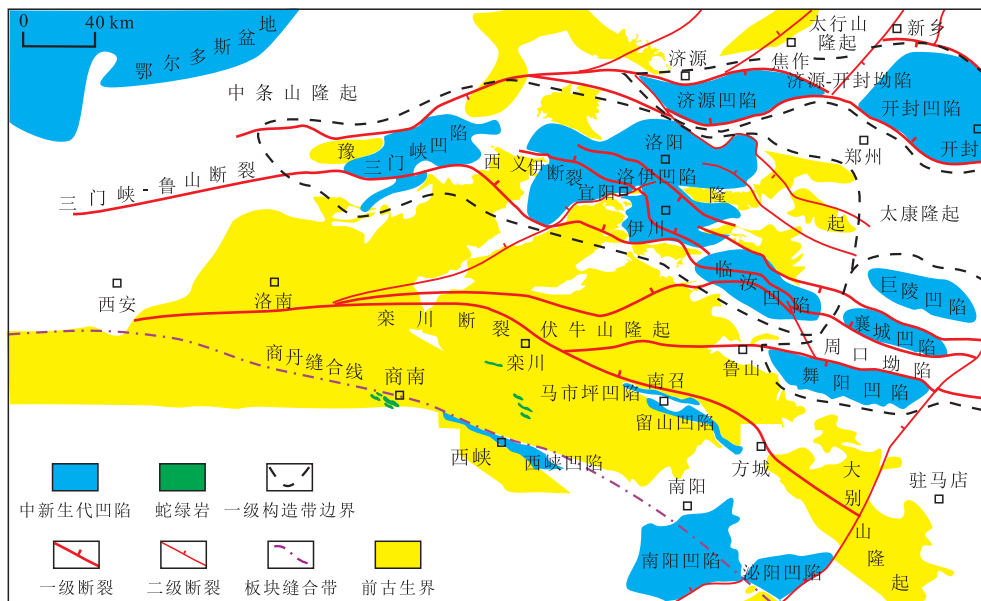


图1 洛伊凹陷构造区域划分
Fig.1 Tectonic unit division of Luoyi Sag

带自东北到西南依次为翟镇鼻状构造带、新安-龙门鼻状构造带和寻村-雅岭鼻状构造带,5个次凹自西北到东南分别为义马次凹、宜阳次凹、洛阳次凹、伊川北次凹和伊川南次凹,1个推覆带为西南部的义马-宜阳-伊川逆冲推覆带^[1]。研究区不同期次活动的断裂,尤其是边界大断裂对凹陷内不同类型构造带的形成起着主要控制作用。

洛伊凹陷是在太古界-古元古界变质结晶岩系和中元古界中酸性火山岩系双重基底之上发育起来的沉积凹陷,夹持于崤山、熊耳山、外方山和中条山、嵩山、箕山等6条山脉之间。因受其西南部秦岭-大别造山带的控制作用,洛伊凹陷所在的华北板块南缘经历了5个构造演化阶段:①古元古代-早奥陶世(Pt_1-O_1),经历了古秦岭岩石圈的裂解-裂陷、平移-火山作用及古秦岭洋的最大扩展;②中奥陶世-志留纪(O_2-S),经历了扬子板块向北侧向漂移、古秦岭洋壳向华北板块之下斜插俯冲和两板块间大面积区域隆升剥蚀;③早泥盆世-石炭纪(D_1-C),经历了海西早期扬子板块在整体由西向北东缓慢差异运动中的古勉略洋开启、秦岭微板块形成、海西中期(D_2)的秦岭微板块向华北板块的强烈斜向俯冲汇聚,及持续隆升剥蚀的华北板块到晚石炭纪(C_3)才开始沉降;④二叠纪-中三叠世($P-T_2$),经历了因扬子-华北与秦岭微板块自西南向东北的差异速率漂移和相向旋转汇聚,使古勉略-古秦岭洋盆逐步填满为残余海盆-陆表海-陆相沼泽,以及古洋盆全面闭合,华北与微秦岭板块全面陆-陆斜向碰撞造山;⑤晚三叠世-第四纪(T_3-Q),经历了秦岭晚三叠世的全面碰撞造山隆升-塌陷作用、燕山期发生脉动式向挤压式碰撞转变、侏罗纪因太行山隆升和西太平洋向东亚大陆的变速俯冲碰撞与左旋走滑形成了不均衡的陆内造山和小型凹陷,以及早白垩纪-晚白垩纪-古近纪(K_1-K_3-E)因太平洋板块和印度板块发生北西-北东向的斜向俯冲-碰撞挤压远程效应,使秦岭-大别-华北板块出现了挤压反转和走滑裂陷作用^[1-7]。

洛伊凹陷残存地层自下而上依次为中元古界蓟县系、新元古界青白口系和震旦系、寒武系、中奥陶统、上石炭统、二叠系、三叠系、中下侏罗统、上白垩统、古近系、新近系和第四系。其中,上白垩统残存厚度约为200 m,主要分布于渑池县南部;中下侏罗统为300~2 200 m左右的含煤暗色砂泥岩互层,主要残存于义马-宜阳深凹区;三叠系残存厚度约为2 500~5 000 m,主要分布于义马-宜阳-伊川-洛阳一线;上石炭统-二叠系残存厚度约为600~

1 300 m,寒武系残存厚度约为700 m,均主要分布于义马、宜阳、伊川和洛阳等凹陷的主体部位,厚薄稍有差异;其余残存地层也均分布于凹陷主体部位^[1]。

2 西南部边界大断裂发育特征

2.1 整体发育特征

洛伊凹陷内的地质露头、20余口已钻探井资料以及中-古生界的古生物化石^[9-17]、地层岩性与颜色组合特点^[18-20]和1991—2012年度采集处理的32条二维地震剖面解释成果分析表明(图2),研究区西南部边界受控于边界大断裂,且该断裂为区域性的复杂深大断裂,由一条主断裂与系列派生断裂构成,即由不同区段具有不同表现形式和活动方式的复杂断裂带构成。该断裂的主断裂西起豫西洛阳地区渑池县西南部的崤山之北,向南东东方向经义马市南、宜阳县城东、伊川县城西南延伸至汝州市西,三叠系底界主断裂平面延伸长度达170 km左右,命名为义马-伊川断裂,简称义伊断裂。该断裂的主断裂在宜阳县城东被洛宜断裂左旋走滑切割为2部分,且在宜阳县城西北到伊川县城西的平面延伸走向转变为南南东向。由西峡-栾川-伊川的地球物理大剖面^[1]及洛伊凹陷典型二维地震剖面可见,该主断裂深部的原动力来自于近乎垂直插入地下40 km左右的“岩浆房”所产生的南西-北东向强烈的逆冲推覆,以及直插入Moho面的超级大断裂栾川断裂和伊川断裂^[21-22]的组合效应。

2.2 主断裂分段发育特征

义伊断裂主断裂分布于豫西隆起与伏牛山隆起的分界线上,是洛伊凹陷与熊耳山隆起的分界断裂,在地震/地质剖面上古生界、中生界和新生界断点反映清晰;断裂不仅横跨渑池、义马、宜阳和伊川4个县/市,而且具隐伏与暴露地表兼备的特点。义伊断裂主断裂可划分为4段,主要依据为:是否绝大部分出露地表、断裂上盘变形程度、断裂上盘残存地层、断裂形成的构造样式等方面的差异与变化特征(图2,表1)。

2.2.1 义伊断裂①段

义伊断裂①段为叠瓦状强烈逆冲推覆段,出露于崤山西北、凹陷之西的渑池县青石岭-观音堂一带,北西西走向,倾向南南西,平面延伸25 km,主要由煤田钻孔和地质露头揭示,断裂可靠。区内煤田钻孔与地质露头资料表明,该段断裂表现为叠瓦状强烈逆冲推覆构造,逆冲盘残存地层为由南到北依次逆冲推覆的上元古界、下古生界、上古生界等,均

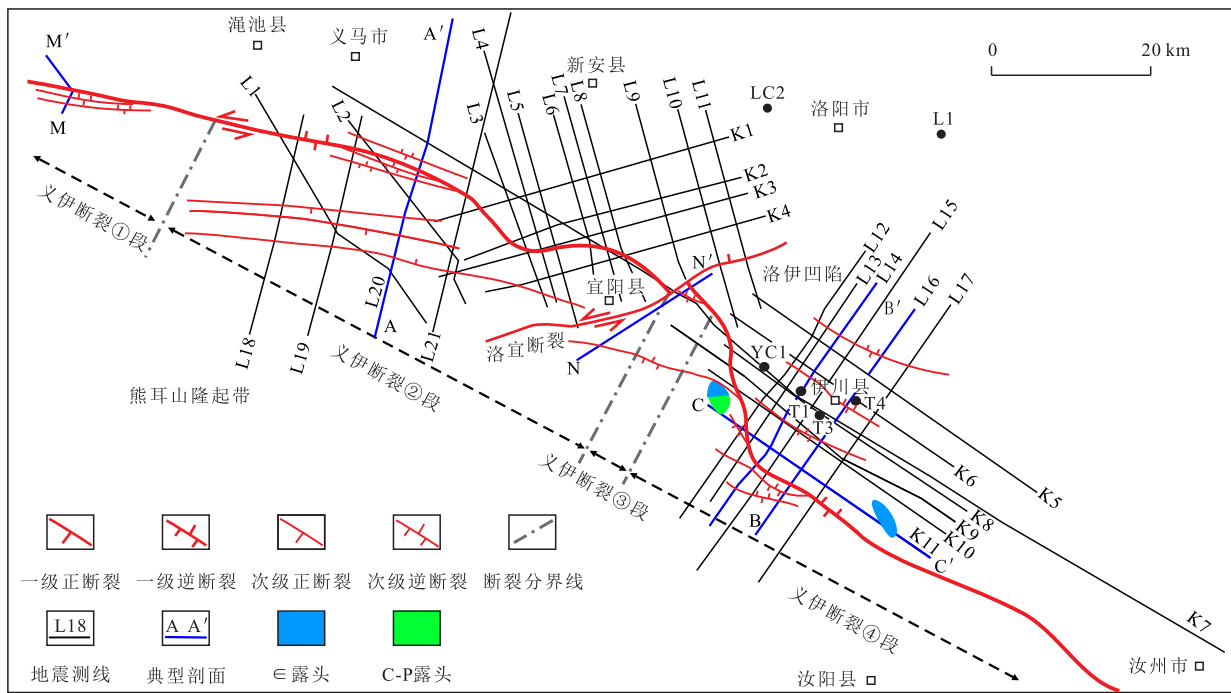


图2 洛伊凹陷典型二维地震/地质剖面 and 主要断裂分布

Fig.2 Location of main faults and typical 2D Seismic/geological cross-section of Luoyi Sag

表1 义伊断裂主断裂分段差异特征

Table1 Features of different segments of main Fault YY

分段	是否绝大部分出露地表	断裂上盘变形程度	断裂上盘残存地层	断裂形成的构造样式
①	是	强烈	元古界,寒武系-奥陶系,石炭系-二叠系	古生界为“正花状”构造样式
②	否	较强	元古界,寒武系-奥陶系,石炭系-二叠系,中下三叠统,古近系-新近系-第四系	古生界-中生界为“正花状”构造样式、新生界为“负花状”构造样式
③	是	强烈	元古界,寒武系-奥陶系,石炭系-二叠系,上白垩统	古生界为“正花状”构造样式
④	否	较强	元古界,寒武系-奥陶系,石炭系-二叠系,中下三叠统,古近系-新近系-第四系	古生界-中生界-新生界均为“正花状”构造样式

卷入强烈褶皱变形,以“正花状”构造样式为特点,断裂的前锋带为逆冲盘,产状近乎直立或者倒转;断裂深盘则为逆掩于逆冲盘之下的古生界等,褶皱变形较弱^[1,4];二叠系底界垂向断距大于1 km,逆冲根部向南南西方向快速走滑并消失于二叠系煤层之中(图3)。

2.2.2 义伊断裂②段

义伊断裂②段为逆冲挤压叠加后期负反转段,开始转为隐伏于地表的隐伏断裂,三叠系底部平面延伸长度为65 km,整体为北西西向展布,倾向南南西,在宜阳县城北西方向的L3与K3地震剖面处发生了较大的弧形转折,向东南方向被具有左旋走滑正断性质的洛宜断裂切断(图2)。据L20等17条相互交叉、方向不同的典型二维地震剖面(图4)可知:

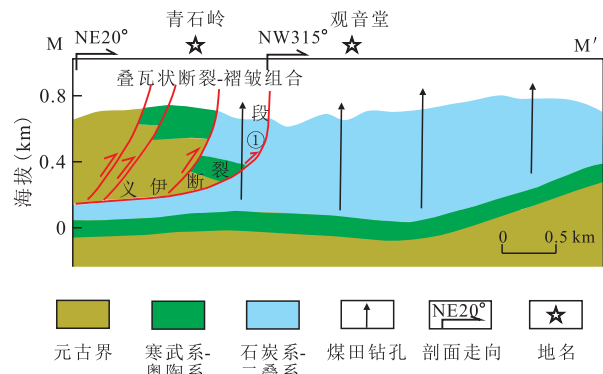


图3 渑池县青石岭-观音堂地质剖面(据文献[1,4]修改)

Fig.3 Cross-section of Qingshiling-Guanyintang in Mianchi (Modified according to references[1,4])

义伊断裂在该段表现为在古生代-中生代逆冲挤压构造的基础上发生了新生代的负反转,形成了晚期

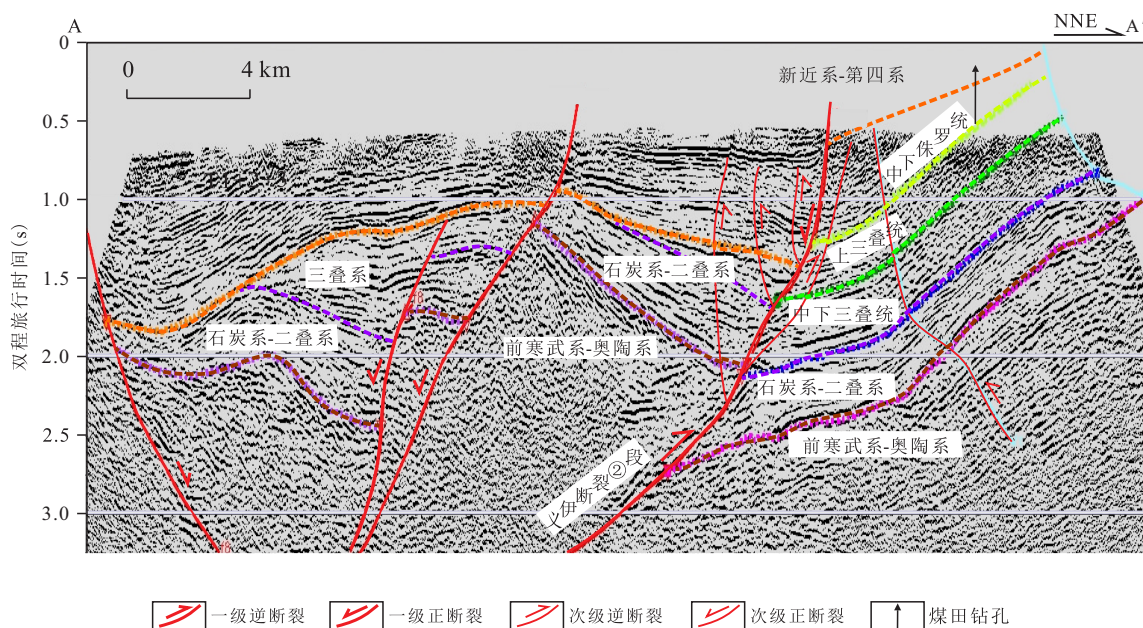


图4 洛伊凹陷L20二维地震剖面

Fig.4 2D-seismic-geological section on line L20 in Luoyi Sag

的新生代断陷,同时又叠加了古生代-中生代-新生代的走滑构造;断裂控制着义马和宜阳次凹的形成,其下盘残存地层较全,以构造变形相对较弱的古生界-中生界的三叠系和中下侏罗统为主,而逆冲盘则主要为卷入相对较强构造变形且残存较薄的古生界、中生界中下三叠统,以及相对较厚的古近系和新近系;义伊断裂上盘/逆冲盘发育古生界-中生界“正花状”和新生界“负花状”构造样式,新生界与中-古生界之间存在明显的角度不整合。

2.2.3 义伊断裂③段

义伊断裂③段为多角度叠瓦状强烈逆冲推覆叠加走滑构造段,位于义伊断裂②段的东南部,因新生代左旋走滑^[22-23]的洛宜断裂所切割,平面上沿北东方向被错断,地处宜洛河东岸,平面延伸长度为5 km,走向北东,倾向南西(图2),主要为地质露头,新生界缺失,逆冲盘残存地层为由南西向北东方向不同程度卷入强烈逆冲推覆的中元古界、寒武系、石炭系、二叠系及上白垩统,因此形成了强烈断裂褶皱变形^[1,5];其中,上、下古生界之间均存在明显的角度不整合,义伊断裂逆冲盘的古生界遭受了不同程度的强烈剥蚀,中生界剥蚀殆尽,寒武系底部垂向断距大于800 m,古生界和中生界产状在露头剖面西南端近乎直立乃至倒转^[5],沿义伊断裂主逆冲盘为低角度逆冲的“正花状”断裂-褶皱(图5)。

2.2.4 义伊断裂④段

义伊断裂④段为不对称牛轭-叠瓦状较强逆冲推覆段,位于义伊断裂的东南端,主要分布在宜阳

县城之东到汝州市西南,三叠系底断裂沿北北西-北西走向呈不对称牛轭状,平面延伸长度为70 km左右,倾向为南西西-南西,从北西向南东方向逆冲推覆距离大于17 km。由K11等12条二维地震剖面 and K11 两端的寒武系、石炭系-二叠系地质露头分析发现(图2),该段为新生界-古生界均卷入的宽幅逆冲推覆,控制着伊川次凹的形成与演化,上古生界底垂向断距为4 000~4 400 m;在L16和K11典型二维地震剖面中,古生界-中生界-新生界均表现为地层产状变化较缓、断面较陡的叠瓦状逆冲推覆叠加“正花状”走滑构造组合特征(图6,图7)。该段断裂逆冲盘残存地层相对齐全且较厚,卷入相对较强构造变形的地层为中元古界、寒武系、石炭系-二叠系、中下三叠统及极薄的残存新生界,且在新生界与中-古生界之间存在明显的角度不整合。

3 构造演化特征及对沉积的控制作用

典型地质露头和二维地震剖面揭示结果表明,海西中晚期以来,在秦岭微板块、华北板块、太平洋板块、东亚板块等相互作用下^[18],义伊断裂在华北板块南缘陆壳向北逆冲的过程中,因来自深部陆壳乃至Moho面深部地球动力源的作用,使其断面近乎陡直插入前寒武系基底(图8),并在研究区不同地质历史时期形成了不同的构造沉积特征。综合区域构造演化特征和前人研究成果^[1,24]认为,研究区

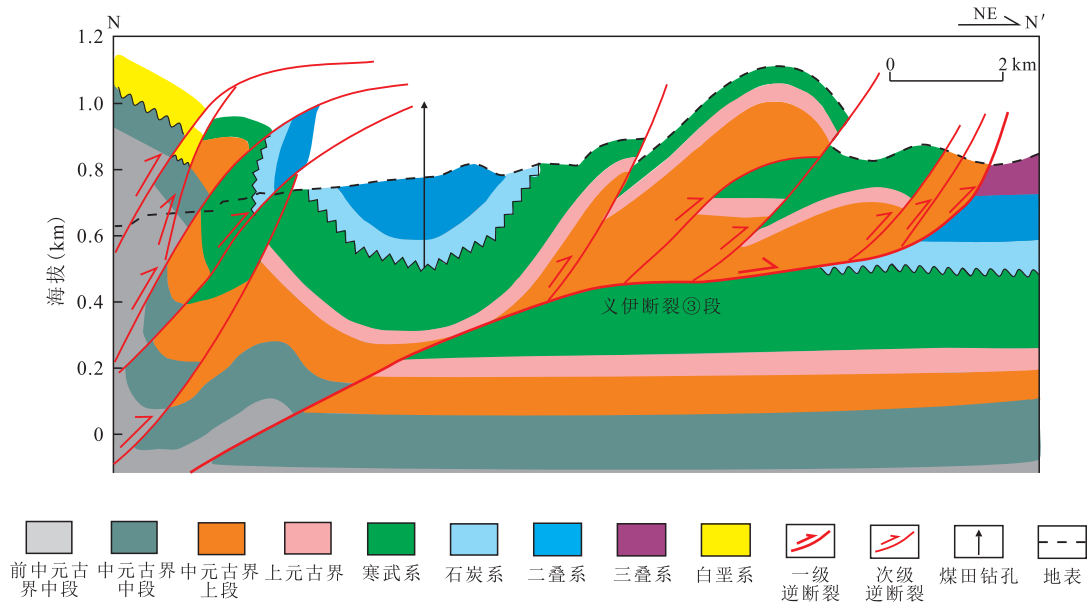


图5 洛伊凹陷石门-于沟地质剖面(据文献[1,5]修改)

Fig.5 Cross-section of Shimen-Yugou in Luoyi Sag (Modified according to references [1,5])

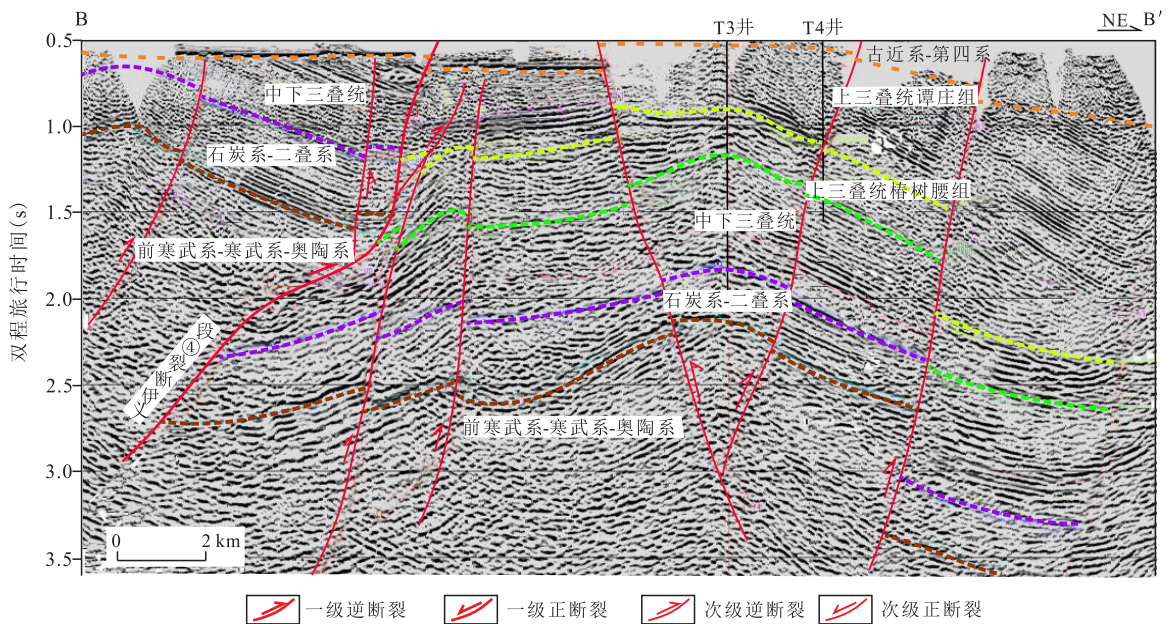


图6 洛伊凹陷L16二维地震剖面

Fig.6 2D Seismic profile of L16 in Luoyi Sag

自海西中晚期以来主要经历了海西中晚期(C-P)弱伸展裂陷、印支早期(T_{1-2})弱挤压隆升变形、印支晚期(T_3)不均衡整体拗陷、燕山期(J-K)强烈逆冲推覆-隆升剥蚀、喜马拉雅期(E-Q)左旋走滑裂陷等5个关键构造演化阶段。

3.1 海西中晚期(C-P)弱伸展裂陷

海西中晚期(C-P),在扬子-秦岭-华北微板块向北东方向不同速率的漂移、旋转、俯冲、汇聚效应下,区内产生了南西方向的弱伸展裂陷和向北东方向的快速挤压隆升^[19,21-23],尤其在海西末期,随着商

丹缝合带的逐步形成,义伊断裂开始由南西向北东方向发生逆冲推覆,并因此形成了厚度约为30 m的下石炭统滨海海潟湖环境下的以含铁铝质岩为特点的泥岩、海相灰岩等海陆交互沉积。随着伏牛古陆的逐步隆起,以及义伊断裂的逆冲推覆效应,形成了区内二叠世逐步形成且缓慢抬升的嵩箕、太行山和中条山水下古低凸起,并发育了一套陆表海环境下太原阶-山西阶的潮坪灰岩-含煤岩系,以及海陆过渡相的石盒子阶-石千峰期阶三角洲-滨浅湖克拉通陆相沉积;一般二叠系残存厚度约为600~

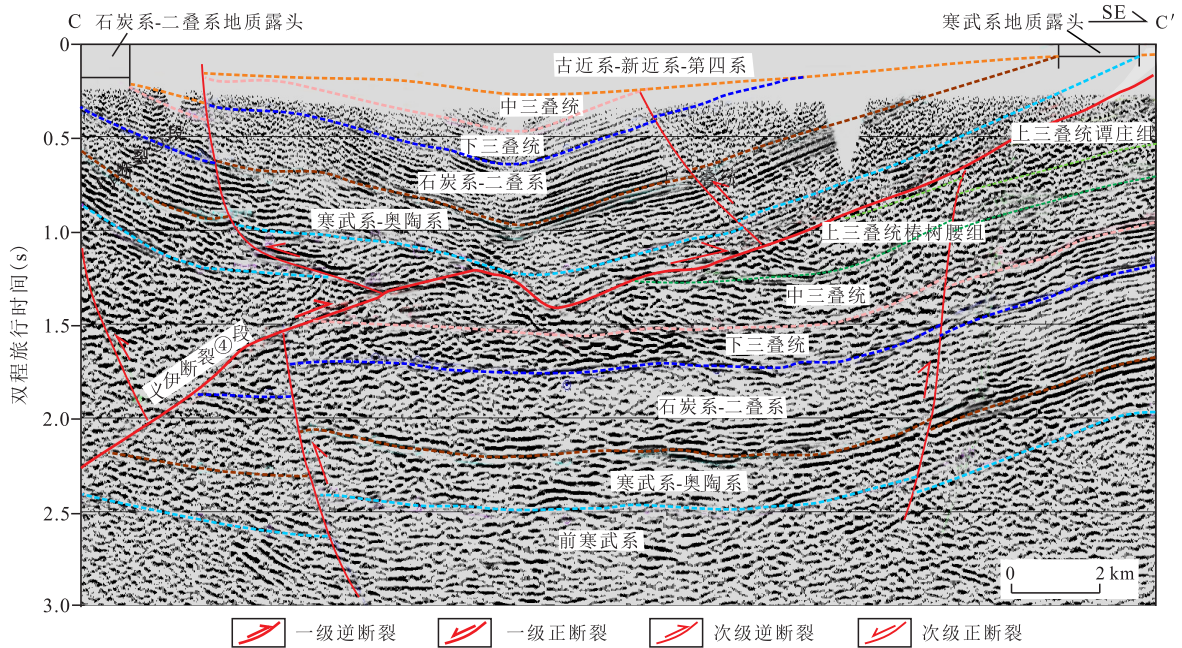


图7 洛伊凹陷K11二维地震剖面

Fig.7 2D seismic profile of K11 in Luoyi Sag

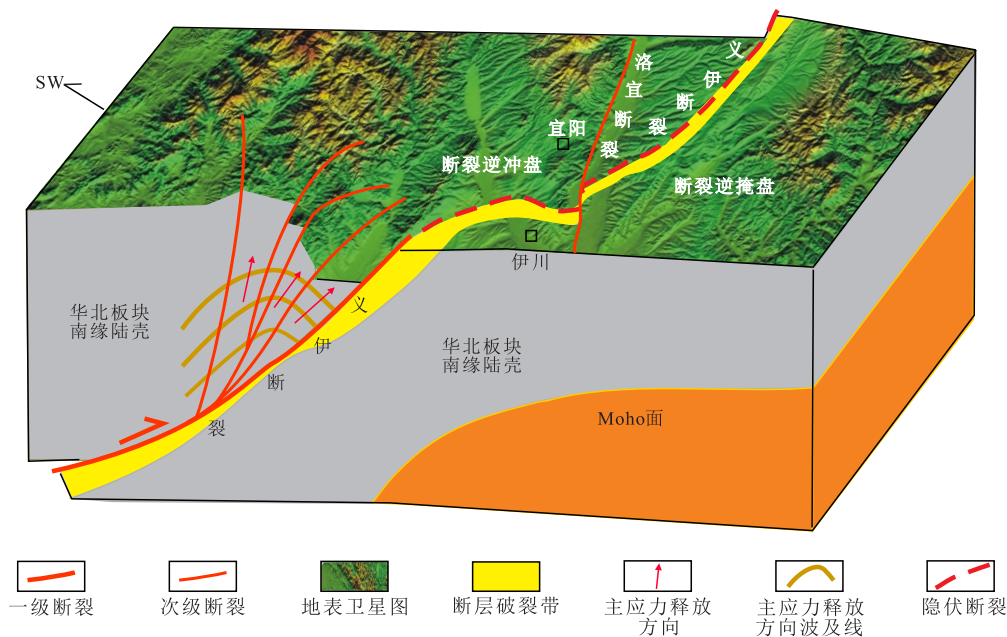


图8 义伊断裂活动模式

Fig.8 Activities of Fault YY

1 300 m,最厚约达 1 500 m,较厚区主要分布在义伊断裂逆掩盘之下到雅岭-伊川县一带。海西末期,义伊断裂发生了明显的快速挤压和地层收缩-隆升剥蚀,在不均衡的隆升剥蚀下形成了二叠系与上覆三叠系之间明显的角度不整合关系,这种地质现象在整个南华北地区也是首次发现(图6)。

3.2 印支早期(T₁₋₂)弱挤压隆升变形

印支早期(T₁₋₂),在秦岭微板块与华北板块南缘的俯冲消减和仰冲作用下,叠加北部西伯利亚板块

向南挤压俯冲、东部郟庐断裂带的左旋走滑影响^[25-28],豫西进入弱碰撞地台型盆地发展阶段,义伊断裂以挤压隆升变形为特点。在新安-石陵-伊川一线的较低凹陷区及间断性出露地表的高箕-中条山和太行山水下低凸起区等,发育了一套氧化环境下厚度为 1 000~2 000 m 的三角洲、河流和浅湖相^[24]杂色泥砂岩沉积。

3.3 印支晚期(T₃)不均衡整体拗陷

晚三叠世,在华北板块南缘与秦岭微板块发生

了全面的陆-陆碰撞,再加上郯庐断裂带的左旋走滑及太平洋板块与东亚板块的碰撞俯冲,华北板块发生了明显的不均衡整体拗陷,即华北板块东南缘抬升褶皱,而西南缘的豫西则转入克拉通陆内挤压拗陷,并整体呈现西坳东隆的构造格局。在南华北的豫西乃至鄂尔多斯盆地的广大地区均发育了一套厚度为2 000~3 000 m甚至大于4 000 m左右的较厚的拗陷型沉积,为还原环境下的浅湖-深湖相暗色砂泥岩,区内的较深拗陷区主要分布在伊川北-石陵-浞池-义马一线。印支晚期,因全面的板块碰撞隆升,义伊断裂发生了显著的由南西向东北方向的逆冲推覆,且逆冲推覆盘遭受了不同程度的剥蚀。

3.4 燕山期(J-K)强烈逆冲推覆-隆升剥蚀

燕山期(J-K),处于扬子和华北板块碰撞造山带前锋的豫西地区,其断裂构造活动强度是整个地质历史时期最强的,为不均一的强烈逆冲推覆和差异隆升剥蚀等复杂构造变动共生,义伊断裂发生了明显的左旋走滑和逆冲推覆,区内三叠系所遭受的剥蚀主要集中在该时期,甚至古生界也遭受了差异隆升剥蚀,尤其在义伊断裂的逆冲推覆盘,其上三叠统剥蚀殆尽,中下三叠统也遭受严重剥蚀,义伊断裂①段和③段三叠系被剥蚀殆尽,②段和③段中下三叠统部分残存。在义伊断裂的逆冲推覆作用下,仅在义马、宜阳地区形成了具明显分割性的局部拗陷,并沉积了一套类似于鄂尔多斯盆地中南部的中下侏罗统,为最厚达2 000 m左右的义马组冲积扇相砾岩段沉积及湖沼相暗色泥岩含煤岩系,与下伏三叠系之间呈微角度不整合或平行不整合关系^[1]。燕山末期,义伊断裂发生了强烈逆冲推覆和隆升剥蚀,嵩山、箕山、熊耳山和太行山在该阶段快速隆升造山,遭受风化剥蚀,仅在浞池县南部、研究区西南部的西峡和南召北及研究区东南部的汝阳县沉积了一套干热环境下厚度为30~200 m左右的上白垩统东盟村组砂岩-砂泥岩-砾岩沉积,该套地层与下伏侏罗系呈角度不整合关系,地层中曾发现蜥脚类等恐龙骨骼和蛋化石^[9]。

3.5 喜马拉雅期(E-Q)左旋走滑裂陷

喜马拉雅期(E-Q)以来,以喜马拉雅期为主活动期的洛宜大型走滑断裂、义伊断裂②段的活化裂陷作用等为代表,豫西整体转入具明显差异的左旋走滑裂陷,并在义伊断裂②段的逆冲盘、洛宜断裂的北部分别形成了残存厚度约为1 000和4 000 m的古近系沉积凹陷,为氧化环境下的河湖相棕红-红色砂泥岩,其余地方沉积残存地层较薄。新近

纪,同样在洛宜走滑断裂的北部形成了700 m左右的河湖相杂色砂泥沉积凹陷。第四纪,豫西则发育了一套100 m左右厚度不一的风成或者泛滥河湖沉积,为干旱条件下的土黄色、棕红色黏土和砂质黏土沉积。

4 断裂活动对油气成藏的控制作用

义伊等断裂的活动控制着洛伊凹陷的成烃、成储及成藏特点,尤其海西中晚期以来,经过印支期、燕山期和喜马拉雅期的多期次改造作用,对二叠系和上三叠统、侏罗系等3套烃源岩的油气生成与运聚、储层改造和最终成藏具有重要的控制作用。

4.1 对烃源岩发育和生排烃的控制作用

海西晚期,受扬子、秦岭微板块和华北板块不平衡的漂移汇聚作用,在弱伸展裂陷下形成了区内一套含煤泥页岩系,其中,在还原条件下沉积的以太原组、山西组和下石盒子组为主的二叠系暗色泥页岩和煤层分布较广^[24-29],暗色泥页岩和煤层累积厚度分别为200~500和10~40 m,是区内主要生油层系之一, R_o 值分别为0.7%~1.16%和2.18%~3.48%;印支末期该套烃源岩灶达到生烃高峰期,燕山期-喜马拉雅期,义马-宜阳和伊川部分地区在差异沉降的再次深埋中发生二次规模生烃,印支末期和燕山末期在义伊断裂的逆冲推覆中部分遭受剥蚀破坏。在印支晚期不平衡拗陷中,义马-宜阳-伊川地区以还原环境为主的原始沉积厚度可能大于4 000 m的上三叠统砂泥岩沉积,有效烃源岩为厚度为500~1 000 m的暗色泥岩, R_o 值为0.6%~1.3%,为区内主力烃源岩之一;印支末期底部的部分烃源岩开始生烃,燕山期-喜马拉雅期于再次深埋中大规模生烃,燕山末期在义伊断裂的逆冲盘等部位部分遭受严重破坏。燕山期在不均一的差异沉降隆升中,在义马-宜阳等地区发育厚度达400~800 m的中下侏罗统暗色泥页岩含煤岩系,是洛伊凹陷的次要烃源岩, R_o 值为0.57%~0.7%,为低成熟烃源岩,主力生烃期为喜马拉雅期。上述烃源岩主要以义伊断裂主控的北西方向残存分布。

4.2 对有效储层分布和构造-裂缝性储层的控制作用

对储层的控制作用^[30-32]主要表现在2个方面:一是义伊断裂控制着区内沿古水下低凸起发育的致密砂岩有效储层的发育。其中,在二叠纪因断裂的持续性活动控制沉积的中统大古组砂岩、上统田

家沟组砂岩和平顶山组砂岩沿着北西向成带展布；而晚三叠世发育的三角洲砂体和水下分流河道砂体等也主要沿着因断裂逆冲作用形成的构造转换带展布，如沿着北西走向的雅岭-白沙古水下低凸起发育的物性较好的水下分流河道和河口坝微相砂体。二是持续活动的义伊断裂为致密砂岩的构造-裂缝性储层的形成和改造创造了条件，印支末期，因主断裂的再次复活和逆冲推覆，在前期形成的寻村-雅岭等鼻状构造带派生了较多次级断裂或裂缝，对前期已形成圈闭的砂岩、裂缝等储层进行了裂缝化或者再成岩储层改造；如T1井、3001孔岩心中以各种角度延伸60~80mm的裂缝和一到几十微米的微裂缝，有的裂缝宽度达10mm^[1]。

4.3 对油气运聚的控制作用

对油气运聚的控制作用主要表现为对油气运移方向和油气聚集成藏的控制作用^[30-33]。区内发育的上三叠统谭庄组和椿树腰组主力烃源岩灶，因义伊断裂的控制作用主要沿着北西和北西西走向发育，在澠池-义马、石陵-雅岭北和雅岭南-伊川南形成3个主力生烃条带，并因此控制了如图9所示的印支期-燕山期沿着生烃条带轴向方向分布的较明显的3个油气运聚分隔槽的形成，且油气主要沿生排烃分隔槽的优势路线和方向运聚成藏；由于断裂对致密砂岩的裂缝化效应，在改善储层的同时也利于油气沿着优势通道运移聚集。在雅岭构造-岩性

圈闭钻探的T1井上三叠统椿树腰组1874~1884m井段，因微裂缝和水下分流河道砂岩较发育，且具有较好的盖层保存条件，试采获得折算平均日产量为7200m³/d的天然气流^[1]；其中，因印支期-燕山期大规模的逆冲隆升剥蚀，使部分在二叠系或者上三叠统已成藏的油气在后期抬升剥蚀中发生了向更浅部位置的调整和再运聚成藏(图10)。

4.4 对油气保存的控制作用

由于义伊断裂的逆冲推覆效应，在海西期到印支期-燕山期以来，逆冲推覆作用使得其逆冲盘的残存上三叠统或者二叠系烃源岩遭受严重剥蚀，不仅破坏了原来部分正生排烃的烃源岩，而且也使得已经成藏于二叠系中上部或者上三叠统的砂岩油气藏在后期的构造改造中，因断裂面的脉冲散失效应和盖层的剥蚀效应等，导致油气藏的保存条件变差而部分遭受严重破坏、散失。实钻中T1井在上三叠统发现的谭庄组泥岩裂缝沥青就是油气藏被破坏的直接证据。

综上所述，在义伊断裂的控制下，义马次凹北部、宜阳次凹石陵乡西北和伊川次凹雅岭等构造-岩性圈闭发育区不但具有较好的油气保存条件，而且具备较好的水下分流河道砂体-裂缝性储层发育条件，油气成藏条件较优越，是下一步突破二叠系和中生界上三叠统或中下侏罗统油气突破的有利区带。

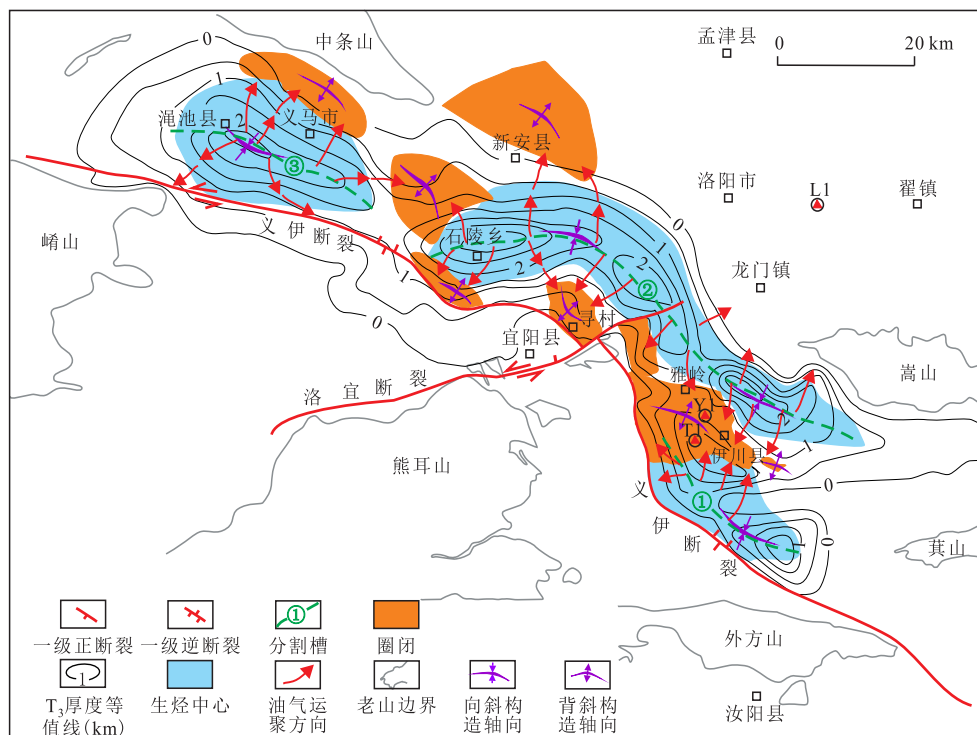


图9 豫西上三叠统油气运聚与断裂活动的关系

Fig.9 Relationship of hydrocarbon migration-accumulation and fault activity of Upper Triassic in Yuxi

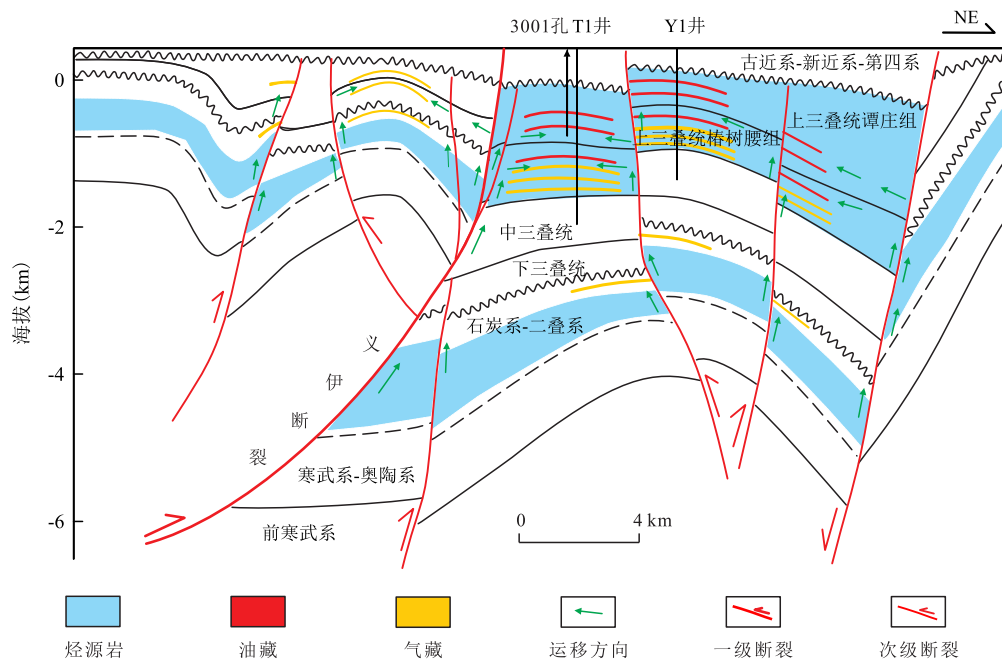


图 10 豫西油气成藏模式(L14剖面)

Fig.10 Hydrocarbon accumulation mode in Yuxi(Cross-section L14)

5 结论

义伊断裂是一条控制形成洛伊凹陷中-古生界生排烃次凹和基本构造格局的区域性复杂深大断裂,自西北到东南可分为叠瓦状强烈逆冲推覆段、逆冲挤压叠加后期负反转段、多角度叠瓦状强烈逆冲推覆叠加走滑构造段、不对称牛轭-叠瓦状较强逆冲推覆段等4段。

在义伊断裂的控制作用下,区内经历了海西中晚期弱伸展裂陷、印支早期弱挤压隆升变形、印支晚期不均衡整体拗陷、燕山期强烈逆冲推覆-隆升剥蚀、喜马拉雅期左旋走滑裂陷等5个构造演化阶段。

义伊断裂的构造活动不仅控制着区内二叠系、上三叠统和中下侏罗统烃源岩的发育,及印支末期和燕山期-喜马拉雅期多期次生烃,而且还控制着区内构造转换带的三角洲砂体和水下分流河道砂体等有利储层的发育与分布,及二叠系和上三叠统等致密砂岩储层的裂缝化改造。此外,还导致区内二叠系和中生界的抬升剥蚀,尤其对其油气成藏具有较大的破坏作用。

在义伊断裂的控制作用下,与生排烃期等匹配较好,尤其是-古生界具有保存条件的义马次凹北部、宜阳次凹石陵乡西北和伊川次凹雅岭等构造-岩性圈闭发育区是洛伊凹陷二叠系和中生界具有

较好油气成藏条件的有利区带。

参考文献

[1] 于明德. 洛伊凹陷三叠纪构造体制变迁及其油气运聚响应 [D]. 长春: 吉林大学, 2012: 49-170.
YU Mingde. Reform of tectonic system and its response of hydrocarbon migration-accumulation in Luoyi Depression in Triassic [D]. Changchun: Jilin University, 2012: 49-170.

[2] 张国伟, 孟庆任, 于在平, 等. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征 [J]. 中国科学: D辑 地球科学, 1996, 26(3): 193-200.
ZHANG Guowei, MENG Qingren, YU Zaiping, et al. Orogenic process and its dynamic characteristics of the Qinling Mountains Orogenic Belt [J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 1999, 26(3): 193-200.

[3] 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带的主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义 [J]. 岩石学报, 1995, 11(2): 101-114.
ZHANG Guowei, ZHANG Zongqing, DONG Yunpeng. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling Orogen: Implications for the tectonic evolution [J]. Acta Petrologica Sinica, 1995, 11(2): 101-114.

[4] 石铨曾, 尚玉忠, 庞继群, 等. 河南东秦岭北麓的推覆构造及煤田分布 [J]. 河南地质, 1990, 8(4): 22-34, 21.
SHI Quanzeng, SHANG Yuzhong, PANG Jiqun, et al. Overthrust structures and coalfield distribution in the northern foot of East Qinling Mountains in Henan [J]. Henan Geology, 1990, 8(4): 22-34, 21.

[5] 宋传中, 刘国生, 牛漫兰, 等. 秦岭-大别造山带北缘新生代的构造特征及动力学探讨 [J]. 地质通报, 2002, 21(8/9): 530-535.

- SONG Chuazhong, LIU Guosheng, NIU Manlan, et al. Cenozoic structures and dynamics on the northern margin of the Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 21(8/9): 530-535.
- [6] 解东宁, 何明喜, 周立发, 等. 东秦岭-大别造山带北缘逆冲推覆构造特征及油气前景[J]. *石油与天然气地质*, 2006, 27(1): 48-55.
- XIE Dongning, HE Mingxi, ZHOU Lifa, et al. Characteristics of overthrust structures on northern edge of East Qinling-Dabie orogenic belt and hydrocarbon potentials [J]. *Oil & Gas Geology*, 2006, 27(1): 48-55.
- [7] 徐汉林, 赵宗举, 杨以宁, 等. 南华北盆地构造格局及构造样式[J]. *地球学报*, 2003, 24(1): 27-33.
- XU Hanlin, ZHAO Zongju, YANG Yining, et al. Structural pattern and structural style of the Southern North China basin [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 24(1): 27-33.
- [8] 李文勇, 夏斌, 路文芬. 东秦岭的地球物理、构造分带特征及演化[J]. *地质与勘探*, 2004, 40(1): 36-40.
- LI Wenyong, XIA Bin, LU Wenfen. Geophysical, tectonic zoning character and evolution in eastern Qiling [J]. *Geology and Prospecting*, 2004, 40(1): 36-40.
- [9] 周世全, 梁新权, 冯祖杰. 河南西南部含恐龙蛋化石盆地沉积及构造特征[J]. *大地构造与成矿学*, 2002, 26(3): 306-313.
- ZHOU Shiquan, LIANG Xinquan, FENG Zujie. Sedimentary and tectonic characteristics of the oolithias of dinosaurs containing basins in southwestern Henan [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2002, 26(3): 306-313.
- [10] 康明, 孟凡顺, 任宝山, 等. 豫西义马组的时代及杨树庄组的创建[J]. *地层学杂志*, 1984, 8(3): 194-198.
- KANG Ming, MENG Fanshun, REN Baoshan, et al. Age of Yima Formation and the creation of the Yangshuzhuang Formation in the western Henan [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1984, 8(3): 194-198.
- [11] 康明. 河南义马中生代含煤地层[J]. *地层学杂志*, 1988, 12(2): 81-92.
- KANG Ming. Mesozoic coal-bearing strata of Yima area in Henan Province [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1988, 12(2): 81-92.
- [12] 杨世蓉. 河南义马地区晚三叠世-侏罗纪孢粉组合及其地质意义[J]. *古生物学报*, 1994, 33(6): 765-779.
- YANG Shirong. Late Triassic-Jurassic sporopollen assemblages from Yima area, Henan [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1994, 33(6): 765-779.
- [13] 周志炎. 银杏型胚珠器官的异时发育起源[J]. *古生物学报*, 1994, 33(2): 131-139.
- ZHOU Zhiyan. Heterochronic origin of Ginkgo biloba-type ovule organs [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1994, 33(2): 131-139.
- [14] 吕君昌, 张兴辽, 贾松海, 等. 河南省义马县中侏罗统义马组兽脚类恐龙足印化石的发现及其意义[J]. *地质学报*, 2007, 81(4): 439-444.
- LÜ Junchang, ZHANG Xingliao, JIA Songhai, et al. The discovery of theropod dinosaur footprints from the middle Jurassic Yima Formation of Yima County, Henan Province [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(4): 439-444.
- [15] 刘绍龙. 华北地区大型三叠纪原始沉积盆地的存在[J]. *地质学报*, 1986, 60(2): 128-138.
- LIU Shaolong. The existence of a large-scale Triassic Sedimentary Basin in North China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1986, 60(2): 128-138.
- [16] 周新科, 徐化政, 胡宗全, 等. 豫西地区晚三叠世原型盆地及含油气性分析[J]. *石油实验地质*, 2005, 27(3): 211-217.
- ZHOU Xinke, XU Huazheng, HU Zongquan, et al. Characteristics of prototype basin and hydrocarbon potential evaluation of the Late Triassic in the west He'nan Province [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2005, 27(3): 211-217.
- [17] 彭兆蒙, 吴智平. 华北地区三叠纪地层发育特征及原始沉积格局分析[J]. *高效地质学报*, 2006, 12(3): 343-352.
- PENG Zhaomeng, WU Zhiping. Development features of Triassic strata and analysis of original sedimentary pattern in North China [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2006, 12(3): 343-352.
- [18] 张国伟, 张宗清, 董云鹏. 秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J]. *岩石学报*, 1995, 11(2): 101-114.
- ZHANG Guowei, ZHANG Zongqing, DONG Yunpeng. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling orogen: Implications for the tectonic evolution [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(2): 101-114.
- [19] 杨文涛, 汪校锋, 杨江海, 等. 豫西义马地区中-晚三叠世古地震引起的软沉积物变形构造[J]. *古地理学报*, 2011, 13(6): 635-644.
- YANG Wentao, WANG Xiaofeng, YANG Jianghai, et al. Soft-sediment deformation structures caused by palaeoearthquake in the Middle-Late Triassic in Yima area, western Henan Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2011, 13(6): 635-644.
- [20] 董银磊, 于浩雨, 曹建康, 等. 伊宁凹陷构造样式分析及其与油气关系[J]. *油气地质与采收率*, 2016, 23(1): 31-38.
- DONG Yinlei, YU Haoyu, CAO Jiankang, et al. Analysis on tectonic style and its relationship with oil and gas in Yining sag [J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2016, 23(1): 31-38.
- [21] 夏斌, 刘朝露, 陈根文. 渤海湾盆地中生代构造演化与构造样式[J]. *天然气工业*, 2006, 26(12): 57-60.
- XIA Bin, LIU Zhaolu, CHEN Genwen. Meso-cenozoic tectonic evolution and tectonic styles in the Bohai Bay Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(12): 57-60.
- [22] 贾承造, 魏国齐, 李本亮. 中国中西部燕山期构造特征及其油气地质意义[J]. *石油与天然气地质*, 2005, 26(1): 9-15.
- JIA Chengzao, WEI Guoqi, LI Benliang. Yanshanian tectonic features in west-central China and their petroleum geological significance [J]. *Oil & Gas Geology*, 2005, 26(1): 9-15.
- [23] 蒲仁海, 姚宗慧, 张艳春. 鄂尔多斯盆地古构造演化在气田形成中的作用及意义[J]. *天然气工业*, 2000, 20(6): 27-29.
- PU Renhai, YAO Zonghui, ZHANG Yanchun. Signification and effect of palaeostructural evolution on gas field formation in E'erdusi Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2000, 20(6): 27-29.
- [24] 曾秋楠, 张交东, 于炳松, 等. 太康隆起上古生界海陆交互相页岩气地质条件分析[J]. *特种油气藏*, 2019, 26(3): 49-55.

- ZENG Qiunan, ZHANG Jiaodong, YU Bingsong, et al. Shale gas geology analysis of the upper paleozoic marine-continental interaction facies in Taikang Uplift[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2019, 26(3): 49-55.
- [25] 李宏伟, 米利华. 河南伊川中生代盆地控油构造及石油勘探前景分析[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2009, 28(4): 441-444.
- LI Hongwei, MI Lihua. Oil controlling structures and exploration prospect analysis on the petroleum in the Yichuan Mesozoic basin, Henan province[J]. Journal of Henan Polytechnic University: Natural Science, 2009, 28(4): 441-444.
- [26] 于明德, 王璞珺, 蒋永福, 等. 敦化盆地烃源岩地球化学特征及其生烃潜力[J]. 石油实验地质, 2008, 30(5): 270-275.
- YU Mingde, WANG Pujun, JIANG Yongfu, et al. Geochemical characteristics of source rocks and its hydrocarbon generation potential in the Dunhua Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2008, 30(5): 270-275.
- [27] 张小浩, 周鼎武, 赵伟波. 豫西地区构造样式与油气勘探的探究[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2007, 37(4): 647-652.
- ZHANG Xiaohao, ZHOU Dingwu, ZHAO Weibo. The structural style and oil and gas exploration prediction in western of Henan Province[J]. Journal of Northwest University: Natural Science Edition, 2007, 37(4): 647-652.
- [28] 袁晓飞. 断裂向下输导油气成藏分布的主控因素[J]. 大庆石油地质与开发, 2020, 39(2): 36-41.
- YUAN Xiaofei. Main controlling factors of the oil-gas accumulation distribution by the downward transportation of the faults[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020, 39(2): 36-41.
- [29] 韩国猛, 吴雪松, 崔宇, 等. 渤海湾盆地黄骅坳陷二叠系致密砂岩储层特征、主控因素及发育模式[J]. 中国石油勘探, 2019, 24(4): 509-519.
- HAN Guomeng, WU Xuesong, CUI Yu, et al. Characteristics, control factors and development models of Permian tight sandstone reservoirs in Huanghua depression, Bohai Bay Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2019, 24(4): 509-519.
- [30] 谢晓永, 黄敏. 基于等效毛细管的低渗透气藏液相侵入模型[J]. 石油钻探技术, 2019, 47(1): 107-111.
- XIE Xiaoyong, HUANG Min. Equivalent capillary-based liquid phase invasion model for low permeability gas reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(1): 107-111.
- [31] 方成名, 赵利. 复合陆内山前冲断构造转换类型及其成因[J]. 石油实验地质, 2019, 41(6): 791-799.
- FANG Chengming, ZHAO Li. Compound intracontinental piedmont thrust structure transformation and its formation mechanisms[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2019, 41(6): 791-799.
- [32] 肖雷. 源断时空配置输导油气有效性研究[J]. 断块油气田, 2019, 26(3): 294-298.
- XIAO Lei. Effectiveness of oil and gas transporting by spatial-temporal matching of source-fault[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2019, 26(3): 294-298.
- [33] 柴方园. 下扬子下古生界沉积相研究及有利区评价[J]. 油气藏评价与开发, 2019, 9(2): 7-12.
- CHAI Fangyuan. Study on Paleozoic sedimentary facies and favorable area evaluation in lower Yangtze basin[J]. Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(2): 7-12.

编辑 刘北羿